



UNIVERZITET SINGIDUNUM
FAKULTET ZA INFORMATIKU I RAČUNARSTVO

**PRIMENA VIRTUALIZACIJE KOD
SISTEMA ZA ELEKTRONSKO
TESTIRANJE STUDENATA**
- Diplomski rad -

Mentor:

Prof. dr Mladen Veinović

Student:

Dušan Stamenković

Br. indeksa: II-2502/2008

Beograd, 2011.



FAKULTET ZA INFORMATIKU I RAČUNARSTVO

UNIVERZITET SINGIDUNUM

FAKULTET ZA INFORMATIKU I RAČUNARSTVO

Beograd, Zorana Đinđića 44

Kandidat: Dušan Stamenković

Broj indeksa: II-2502/2008

Smer: Programiranje i projektovanje

Tema: Primena virtualizacije kod sistema za elektronsko testiranje studenata

Zadatak: Analizirati tehnologije za virtualizaciju sistema za elektronsko testiranje mTutor G2 na Univerzitetu Singidunum. Prikazati eksperimentalne rezultate testiranja i poređenja različitih tipova virtualizacije.

Datum odobrenja rada:
Beograd, _____.____._____.

MENTOR

Prof. dr Mladen Veinović

DEKAN

Prof. dr Mladen Veinović

PRIMENA VIRTUALIZACIJE KOD SISTEMA ZA ELEKTRONSKO TESTIRANJE STUDENATA

Sažetak: U ovom radu je prikazan i testiran koncept virtualnog računara. Rad se bavi virtualizacijom sistema za elektronsko testiranje mTutor G2 na Univerzitetu Singidunum. Analiziraju se različite tehnologija i aktuelna softverska rešenja vodećih proizvođača na polju virtualizacije. U radu su dati eksperimentalni rezultati testiranja i poređenja više tipova virtualizacije: Microsoft Hyper-V, VMware ESXi, Workstation, Player, Oracle Virtual Box i Citrix XenServer. Na osnovu eksperimentalne analize ukazano je na prednosti i mane svakog od proizvoda za virtualizaciju, kako u ekonomskom smislu tako i po pitanju sigurnosti, bezbednosti i lakšeg održavanja.

Ključne reči: Virtualizacija, testiranje performansi, Microsoft Hyper-V, VMware ESXi, Workstation, Citrix XenServer, Oracle Virtual Box

APPLICATION OF VIRTUALIZATION ON SYSTEM FOR ELECTRONIC TESTING OF STUDENTS

Abstract: In this paper was presented, described and tested the concept of virtual computers, the author deal with virtualization System for electronic testing mTutor G2 at the Singidunum University, analysis technology and software solutions using current leaders in the field of virtualization. Major keystone of this paper are focused on analysis and comparing different software technologies such as Microsoft Hyper- V, VMware ESXi, Workstation and Player, Oracle Virtual Box, and Citrix XenServer. After experimental part of the paper research results are presented via graphic and chart tables.

Key words: virtual environment, virtualization, performance testing, Microsoft Hyper-V, VMware ESXi, VMware Workstation, OracleVirtual Box, Citrix XenServer

SADRŽAJ

1	UVOD.....	2
2	KONCEPT VIRTUALIZACIJE I IMPLEMENTACIJA	3
2.1	Pojam i osnovni koncepti	3
2.2	Hardverska podrška	4
2.3	Popularne implementacije	6
2.3.1	VMware®	6
2.3.2	Microsoft®	9
2.3.3	Citrix®	10
2.3.4	Oracle® (Sun®)	11
3	ELEKTRONSKO TESTIRANJE STUDENATA	12
3.1	Implementacioni zahtevi	12
3.1.1	Performanse	13
3.1.2	Dostupnost	13
3.1.3	Skalabilnost	14
3.1.4	Bezbednost	14
3.2	Arhitektura sistema za elektronsko testiranje.....	16
3.2.1	Klijent-server arhitektura	16
3.2.2	Web aplikacija.....	18
3.2.3	Organizacija sistema.....	20
4	MERENJE I ANALIZA PERFORMANSI	24
4.1	Testiranje.....	24
4.1.1	Performanse i zauzeće resursa.....	24
4.1.2	Import velikog broja pitanja, pokretanje testa sa velikim brojem pitanja	24
4.2	Rezultati virtualizacionih platformi.....	24
4.2.1	Pojedinačni rezultati virtualizacionih platformi	25
4.3	Upoređivanje rezultata i izbor optimalne virtualizacione platforme	41
5	ZAKLJUČAK.....	44
6	LITERATURA	45
7	INTERNET STRANICE	45

1 UVOD

Potreba za unapređenjem IT servisa na Univerzitetu Singidunum, tačnije povećanje zahteva krajnjih korisnika i zastarevanje postojeće opreme-a, prouzrokovala je nabavku novog hardvera i implementaciju novih informacionih tehnologija i sigurnosnih rešenja. Prethodni sistem za elektronsko testiranje mTutor G1 predstavlja kombinaciju dva fizička servera (servera baze podataka i aplikativnog servera) zasnovanih na Linux operativnim sistemima. Novi sistem za testiranje, mTutor G2, takođe je zasnovan na Linuxu koji funkcioniše kao virtualni server. Osnovni problem koji se razmatra u ovom radu je izbor najoptimalnijeg rešenja iz oblasti virtualizacije prema kriterijumima: cena, pouzdanost, bezbednost, rukovanje novom opremom i sl. U radu su prikazani rezultati testiranja na različitim proizvodima za virtualizaciju u odnosu na opterećenje procesora i radne memorije, brzinu odziva (čitanja iz baze), brzinu ažuriranja (upis u bazu) i sl.

Hardver koji je obezbeđen za realizaciju ovog projekta je brendirani server trenutni lider na tržištu, IBM System x3400 M3 sledećih karakteristika:

- Intel® Xeon® Processor E5620 (12M Cache, 2.40 GHz, 5.86 GT/s Intel® QPI)
- IBM 12GB 1333MHz DDR3 RAM, RDIM ECC
- IBM 3x 500GB 2.5" hot-swap SAS HDDs
- IBM ServeRAID M1015 SAS/SATA Controller
- IBM Integrated dual Gigabit Ethernet.

Proizvodi za virtualizaciju sistema koji su korišćeni za realizaciju ovog projekta su:

- Microsoft® Hyper-V™ pod operativnim sistemom Windows Server 2008 R2 SP1 Enterprise x64
- Sun® Virtual Box 3.1 pod operativnim sistemom Windows Server 2008 R2 SP1 Enterprise x64
- Oracle® Virtual Box 4.0 pod operativnim sistemom Windows Server 2008 R2 SP1 Enterprise x64
- VMware® Player 3.1.3 pod operativnim sistemom Windows Server 2008 R2 SP1 Enterprise x64
- VMware® Workstation 7.1.3 pod operativnim sistemom Windows Server 2008 R2 SP1 Enterprise x64
- VMware® vSphere Hypervisor™ (ESXi) 4.1 Update 1
- Citrix® XenServer 5.6.1

2 KONCEPT VIRTUALIZACIJE I IMPLEMENTACIJA

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.¹ 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 moguće je znatno unaprediti efikasnost i dostupnost resursa i aplikacija unutar organizacije. Takođe, moguće je konsolidovati infrastrukturu, smanjiti troškove održavanja i iskoristiti dosad neiskorišćene kapacitete postojeće opreme.

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.

2.1 Pojam i osnovni koncepti

Virtualizacija, u kompjuterskoj nauci, predstavlja kreiranje virtualne verzije nečega, kao npr. hardverske platforme, operativnog sistema, uređaja za skladištenje podataka ili mrežnih resursa.² Navešćemo nekoliko primera upotrebe virtualizacije, odnosno one najvažnije i najčešće korišćene. Virtualizacija može biti hardverska, softverska, mrežna, aplikacijska i virtualizacija skladištenja podataka.

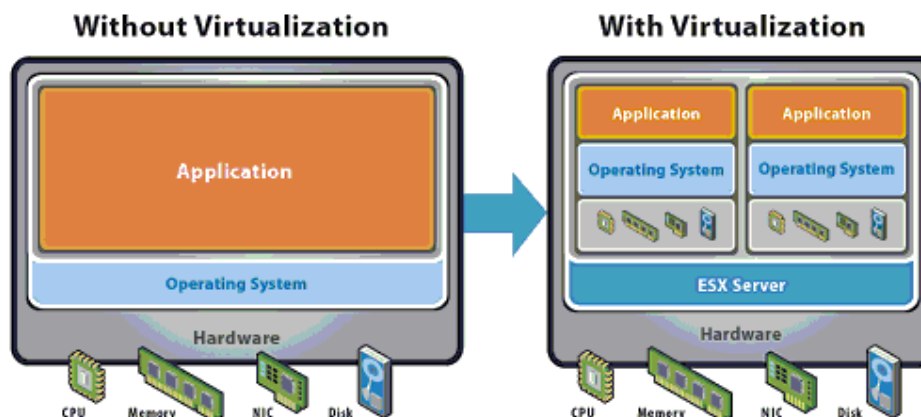
- virtualizacija skladištenja podataka (*storage virtualization* - povezivanje više fizičkih *storage* uređaja u jedan virtualni),
- mrežna virtualizacija (*network virtualization* - omogućava razdvajanje dostupnih *bandwith*-a u zasebne kanale kako bi se mogli dodeljivati pojedinim resursima),
- serverska virtualizacija (*server virtualization*, često nazvana i hardverska virtualizacija - prikriva 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).

¹ Virtualization for Security: Including Sandboxing, Disaster Recovery, High Availability, Forensic Analysis, and Honeypotting - John Hoopes

² <http://en.wikipedia.org/wiki/Virtualization>

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.

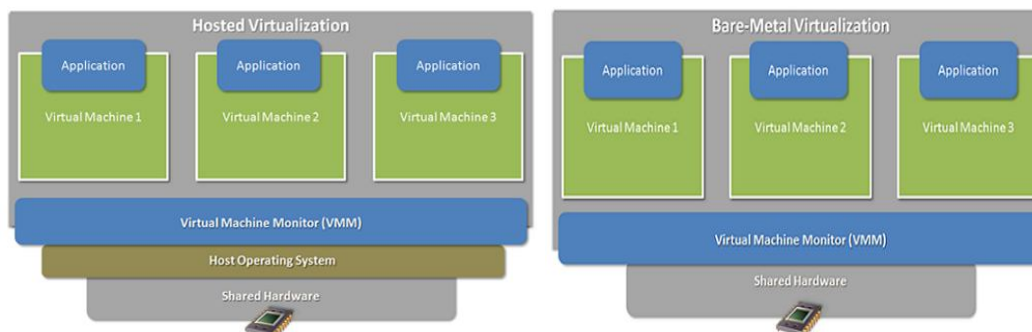


Slika 1. Prikaz klasičnog računara bez i sa virtualizacijom

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 zavrpe, nove verzije aplikacija ili dodatne alatke i svi korisnici sistema preko virtualnih mašina imaju iste uslove za rad.

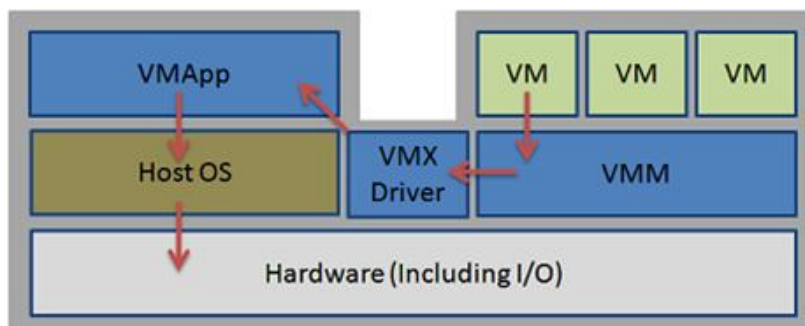
Osnovne prednosti ovakvog metoda sada su jasno uočljive. Ne samo da je smanjena količina sredstava potrošenih na nabavku hardvera, kao i sredstava za održavanje hardverskog sistema, već je i povećana iskorišćenost skupo plaćenih servera, olakšana je migracija softvera bez podrške, jer se sada nalazi 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.



Slike 2. i 3. Prikaz upravljanja hardverskim resursima putem VMM-a (softverska i hardverska virtualizacija)

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.



Slika 4. Prikaz emulacije i alokacije potrebnih resursa putem VMM-a

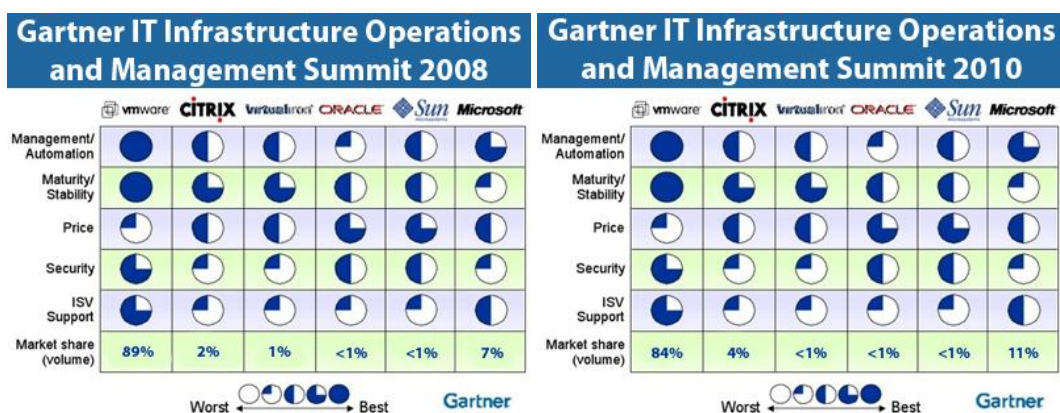
Konkretno, razmotrimo računar na kojem su instalirani Windows i neka distribucija Linux operativnog sistema. U tom, standardnom slučaju često ima mnogo posla oko migracije podataka. Ako se želi migraciju aplikacija zbog navike na neki program ili prosto plaćeno je puno novca da bi bio korišćen, nailazi 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.

2.3 Popularne implementacije

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*.³ 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%.



Slike 5. i 6. Prikaz ocena cene, bezbednosti, stabilnosti, upravljivosti softvera za virtualizaciju i udela 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

2.3.1 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

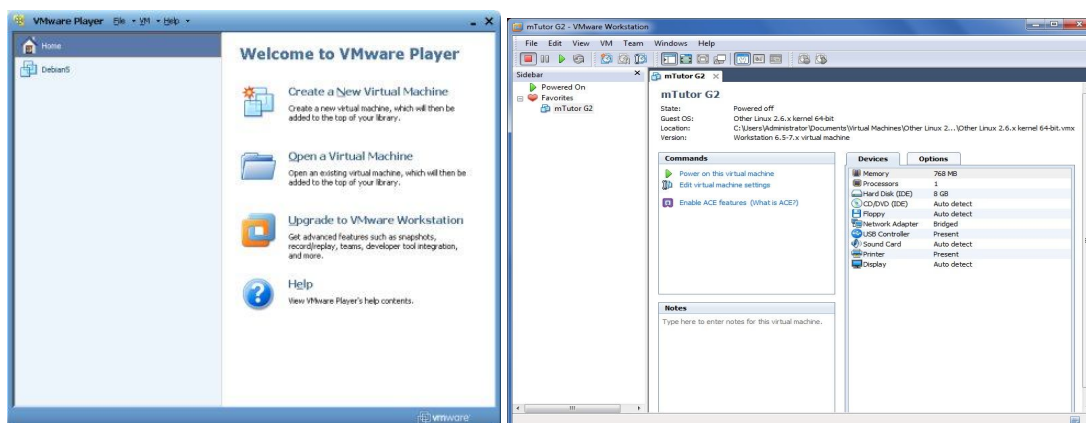
³ <http://www.gartner.com/technology/summits/na/it-operations/>

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.

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.⁴

VMware Destktop 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.



Slike 7. i 8. Prikaz korisničkog interfejsa VMware® Player-a 3.1 i VMware® Workstation-a 7.1

VMware Server softver za virtualizaciju

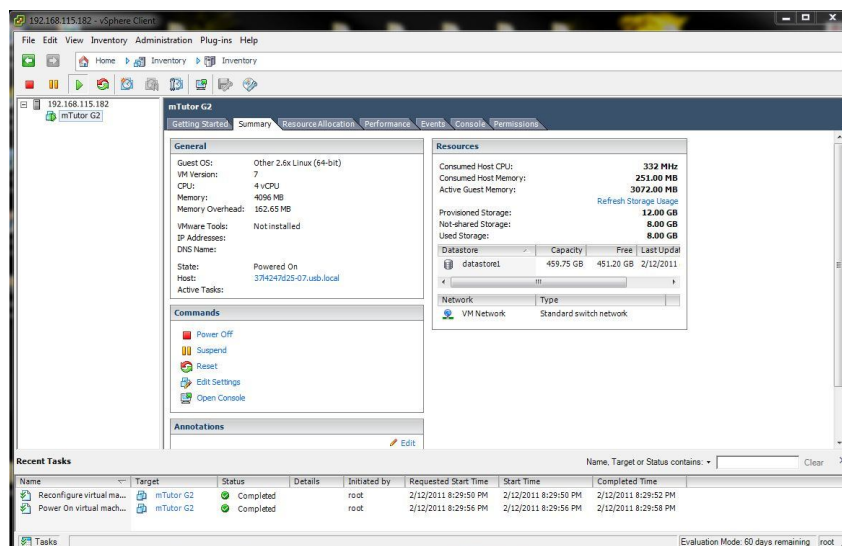
- **VMware ESX** (prvobitno nazvan *ESX Server*), može da pruži bolje performanse u odnosu na besplatan VMware Server zbog manjeg opterećenja sistema. VMware ESX je „bare-metal“ proizvod, radi direktno na hardveru servera omogućavajući virtualnim mašinama da manje ili više direktno koriste hardver. VMware uz ESX nudi i dodatne usluge za poboljšanje pouzdanosti i upravljivosti servera kao što su:
 - VMotion – sposobnost migracije virtualne mašine u upotrebi iz jednog skladišta podataka (storage) u drugo skladište podataka,

⁴ <http://en.wikipedia.org/wiki/VMware>

- 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®.



Slika 9. Prikaz servisne konzole VMware® ESXi 4.1



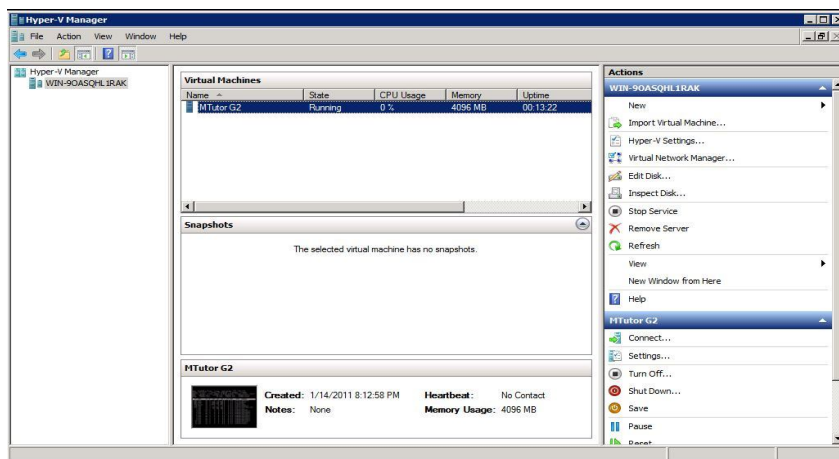
Slika 10. VMware® vSphere klijent za pristup ESXi serveru

2.3.2 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.⁵ 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 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 11. Prikaz Microsoft® Windows Server 2008 R2 SP1 Hyper-V korisničkog interfejsa

⁵ <http://www.microsoft.com/virtualization/en/us/why-microsoft.aspx>

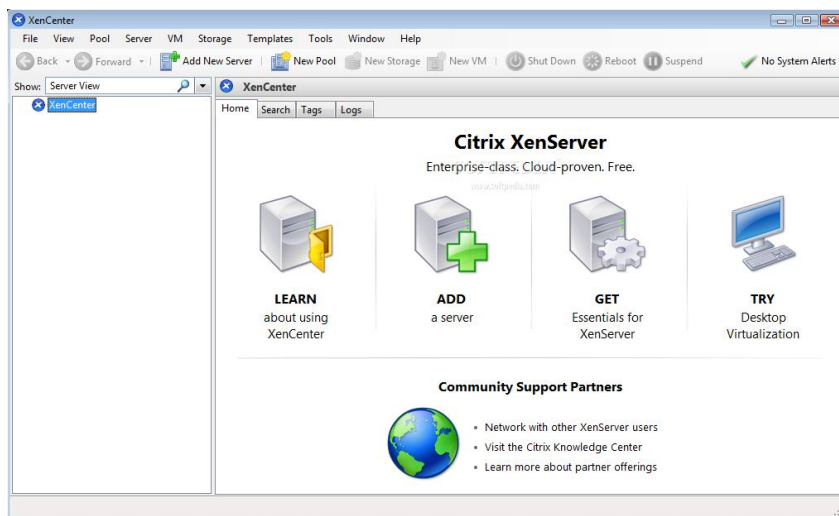
2.3.3 Citrix®

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.⁶

XenServer® je „*bare-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).



Slika 12. Prikaz servisne konzole Citrix® XenServer-a



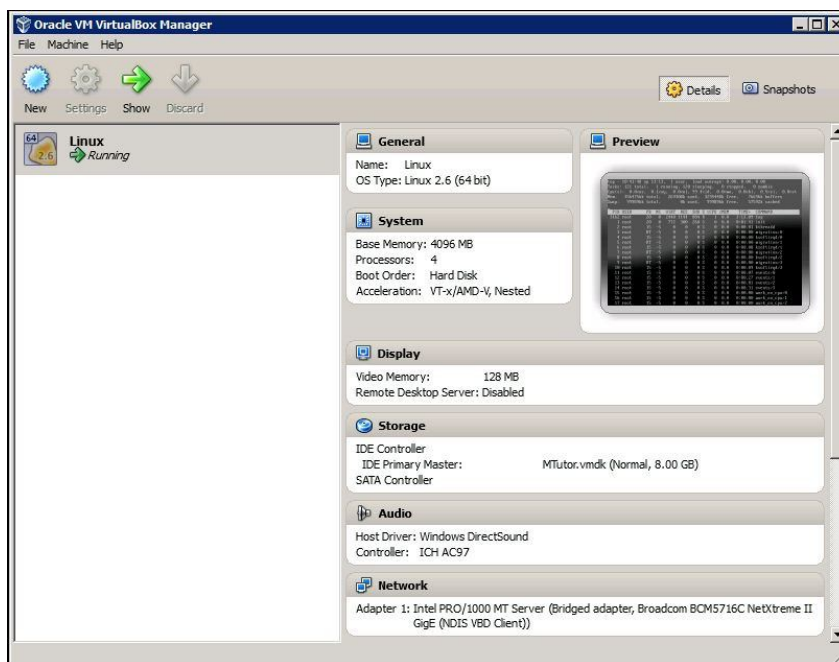
Slika 13. Citrix® XenCenter klijent za pristupanje XenServer-u

⁶ <http://www.citrix.com/English/ps2/products/feature.asp?contentID=2300351>

2.3.4 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, pritom dobijajući veliku fleksibilnost u radu i maksimalnu iskorišćenost resursa svojih računara.⁷ 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 14. Prikaz Oracle® VM VirtualBox korisničkog interfejsa

⁷ <http://www.oracle.com/us/technologies/virtualization/oraclevm/061976.html>

3 ELEKTRONSKO TESTIRANJE STUDENATA

Sistemi za elektronsko testiranje opšte namene predstavljaju efikasno i ekonomično sredstvo za proveru znanja studenata. Rezultati dobijeni ovim sistemima osim informacije o nivou znanja koje su studenti usvojili pružaju i informacije neophodne za unapređivanje nastavnih materijala i procesa.⁸

Uloga računara u savremenom procesu obrazovanja postaje svakim danom sve veća i sve značajnija. Vodeće svetske IT kompanije kao što su *Microsoft*, *Cisco*, *SAP*, *IBM*, *Oracle*, itd., poseduje sopstvene platforme za elektronsko testiranje. Na ovaj način se vrši sertifikacija kandidata u specijalizovanim centrima za proveru.

Osim ekonomskog značaja, ostvarenje uštede pri kupovini papira, transportu, skladištenju, zatim štampanju, takođe i zauzetost prostorija na duži vremenski period dok se testovi rade klasičnim putem, ovi podaci upućuju na sve izraženiji ekološki značaj elektronskog testiranja i primene savremenih informacionih tehnologija. Takođe, korišćenjem sistema za elektronsko testiranje studenata svakom profesoru ili asistentu je uštedeno puno vremena (u proseku 5 sati) za pregledanje i ocenjivanje radova.

3.1 Implementacioni zahtevi

Faza implementacija sistema je, sa stanovišta krajnjih korisnika, veoma značajna i u većini slučajeva ključna faza razvoja nekog sistema. Sistem može biti dobro isplaniran, sprovedena analiza, zamišljen i realizovan dizajn, ali će njegova funkcionalnost i uspešnost zavisiti od načina realizacije implementacije.

Analizom zahteva krajnjih korisnika i uvidom u IT kapacitete, predložena je nabavka novog namenskog servera koji bi trebalo da ispuni sva očekivanja i uslove koji su pred njega postavljeni. Server bi bio smešten u fakultetski *data center*, obezbeđenu prostoriju sa hlađenjem i sigurnosnim strujnim napajanjem. Autor ovog rada se bavi problematikom implementacionih zahteva i nalaženjem najoptimalnijeg rešenja sa raspoloživim IT kapacitetima i mrežnom infrastrukturom.

Na *Fakultetu za informatiku i računarstvo* su u upotrebi dve elektronske laboratorije kapaciteta 100 i 30 računara, koji će se koristiti za elektronsko testiranje studenata. Takođe, definisana su i dve mreže (studentska i profesorska), potrebno je omogućiti pristup sistemu i iz jedne i iz druge mreže, takođe, omogućiti i pristup profesorma i asistentima od njihovih kuća. Fakultet poseduje i svoju WiFi mrežu, slobodnu za korišćenje koja dobija adrese iz studentskog opsega pa je bilo potrebno izolovati i obezbediti sistem od nepredviđenih zlonamernih upada.

⁸ <http://www.singipedia.com/content/2509-Iskustva-u-kori%C5%A1%C4%87enju-standarda-u-sistemima-za-testiranje-putem-ra%C4%8Dunara>

3.1.1 Performanse

Sistem za elektronsko testiranje studenata zahteva prisustvo dva tipa instaliranih softverskih komponenta da bi funkcionisao:

- *Mozilla Firefox Web Browser* verzije 3 (ili noviji) na korisničkim računarima i
- *Oracle VirtualBox, VMware ESXi, Player* ili *Workstation, Citrix XensServer* ili *Microsoft Hyper-V* platforma za virtualizaciju na serveru x86 32b/64b arhitekture.

Izbor platforme za virtualizaciju prvenstveno zavisi od očekivanog opterećenja sistema i dostupnosti samih platformi.

Instalacija sistema za elektronsko testiranje predstavlja jednostavan i vremenski nezahtevan proces ukoliko su ispunjeni svi navedeni preduslovi - instaliran je noseći operativni sistem i neka od platformi za virtualizaciju.

Prvi korak u instalaciji sistema jeste kreiranje nove virtualne mašine kojoj treba dodeliti jedno ili više procesorskih jezgara. Sistem za elektronsko testiranje može da koristi do 32 procesorska jezgra (512 uz rekonfigurisanje jezgra operativnog sistema), a performanse rastu gotovo linearno. Podržana količina radne memorije je 4GB uz mogućnost rekonfigurisanja jezgra operativnog sistema na vrednost od 64GB. Minimalna preporučena količina radne memorije je 1GB, a ne očekuje se ispravno funkcionisanje sistema za vrednosti manje od 512MB.

Snagu virtualne mašine treba prilagoditi najvećem očekivanom broju studenata koji će rešavati testove istovremeno. Na primer, sa jednim jezgrom savremenog serverskog procesora, i sa 4GB radne memorije, očekuje se nesmetan rad do sto studenata istovremeno. Takođe, uticaj na performanse sistema može imati i broj pitanja i odgovora koje studenti dobijaju u okviru testa. Veći broj pitanja zahteva veću količinu radne memorije za nesmetano funkcionisanje sistema.

Mrežni adapter virtualne mašine treba postaviti u *bridge* režim rada (*Bridged Adapter*) da bi virtualna mašina imala pristup i bila vidljiva sa fizičke računarske mreže. Ispravan rad sistema ne zahteva prisustvo flopi i CD/DVD drajvova, zvučne kartice i USB kontrolera tako da je preporučeno isključivanje tih podrški.

3.1.2 Dostupnost

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. Svaka konekcija oduzima određenu količinu (konačnih) resursa na serveru, a nije redak slučaj da istom resursu u svega nekoliko sekundi pristupi i do par hiljada korisnika. Takođe, određeni tipovi napada mogu namenski otvoriti veliki broj konekcija sa ciljem da server izvedu iz normalnog funkcionisanja ili onemoguće pristup ostalim korisnicima sistema. Prestanak normalnog funkcionisanja sistema je situacija koja može imati negativne ekonomsko/bezbednosne posledice, a takođe može doći i do ugrožavanja testiranja i ocenjivanja studenata jer se sve veći broj profesora oslanja upravo na ovaj IT servis.

Iz tog razloga neophodno je obezbediti pouzdanu infrastrukturu za IT servise sa ciljem da se smanji šansa i rizik od prekida pružanja usluge. TIA-942⁹ predstavlja standard koji opisuje zahteve za infrastrukturu data centra. 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.

Serverska soba u kojoj bi bio smešten server spada pod najviši, Nivo 4, tj., prostorija je opremljena sa dva klima uređaja, protivpožarnim uređajima, redundantnom mrežnom infrastrukturom, dok sam server poseduje redundantna strujna napajanja i hardverske komponente, što obezbeđuje dostupnost servisa od 99.995% po ovoj skali.

3.1.3 Skalabilnost

U oblasti telekomunikacija i softverskog inženjeringa, skalabilnost je opisana kao mogućnost povećanja performansi i dostupnosti (u skladu sa rastom zahteva) putem dodavanja hardverskih resursa. Skalabilnost može biti vertikalna, predstavljena je dodavanjem hardverskih resursa (procesora, RAM memorije, skladišne memorije) serveru koji je zadužen za servis. Takođe, skalabilnost može biti i horizontalna, a predstavlja dodavanje većeg broja servera zaduženih za isti servis. Vertikalna skalabilnost je trenutno znatno ograničenija od horizontalne ali i zahteva manje (ili nikakve) izmene na softveru. Primer horizontalne skalabilnosti je klaster aplikacijskog servera (grupa servera zadužena za isporuku sadržaja jednog sistema), a takav pristup zahteva i odgovarajući softver (npr. potreban je jedan server sa softverom koji omogućava deljenje sesije). Robusnot predstavlja osobinu normalnog funkcionisanja u nepredviđenim uslovima. Ova osobina se može obezbediti određenim dizajnom softvera ili spoljnim tehnikama kao što je virtualizacija.

Predviđeni server je lako skalabilan, poseduje mogućnost proširenja kapaciteta putem dodavanja još jednog fizičkog, Intelovog procesora poslednje generacije koji sadrži 8 logičkih procesora, kao i mogućnost dodavanja RAM memorije do ukupnog kapaciteta od 128GB (64GB po fizičkom procesoru).

3.1.4 Bezbednost

Bezbednost informacionih sistema obuhvata održavanje poverljivosti, pouzdanosti i dostupnosti podataka koji su napravljeni, čuvani, obrađeni i/ili koji se prenose putem automatizovanih informacionih sistema. Zaposleni na ovim poslovima razvijaju procedure i zaštitu od hakera i drugih neautorizovanih pokušaja pristupa podacima, zaštitu od virusa i ostalih pretnji po informacione sisteme.

Bezbednost informacionih sistema (ISS) je važno i sve veće polje bezbednosti koje oslikava današnju zavisnost od podataka, interneta i elektronskog poslovanja. Profesionalci

⁹ <http://www.adc.com/Attachment/1270711929361/102264AE.pdf>

za bezbednost informacionih sistema odgovorni su za zaštitu hardvera, softvera i poslovnih procesa uz istovremeno obezbeđivanje da autorizovani korisnici poštuju utvrđene bezbednosne politike i procedure. U zavisnosti od zaduženja, profesionalci za bezbednost informacionih sistema takođe će da budu direktno ili indirektno odgovorni za kontinuitet u radu i planiranje obnove posle vanrednih situacija u njihovim organizacijama.

Tehnička kompleksnost sistema bezbednosti zahteva detaljno poznavanje pretnji po računarske operacije, mreže (uključujući TCP/IP, UDP i ICMP protokole), kao i zaštite unutrašnjeg i mrežnog perimetra. Profesionalci za bezbednost sistema moraju poznavati uobičajenu zaštitu kao što su *firewall*, detekcija/sprečavanje upada, antivirus programi, kontrola pristupa ruterima, i metodi za kontrolu napada kroz svih sedam slojeva ISO modela za povezivanje otvorenih sistema (OSI).

Nakon podizanja sistema za elektronsko testiranje, pristup njemu moguć je na dva načina:

- Direktan pristup putem konzole na serverskom računaru.
- Mrežni pristup putem *Web Browser*-a.

Prvi pristup se koristi za potrebe administriranja osnovnih parametara sistema (podešavanje mrežnih parametara i administratorske lozinke) dok je drugi pristup namenjen za realnu upotrebu sistema - pristup studenata, nastavnika i administratora. Načini pristupa svake od ovih grupa korisnika dati su u okviru uputstva za korišćenje odgovarajuće aplikacije.

Za pristup putem mreže, odnosno, za korišćenje svih aplikacija, preporučen je *Mozilla Firefox 3+ Web Browser*. Podrazumeva se korišćenje stabilnih, produkcionih verzija ovog veb čitača, a instaliranje različitih dodataka veb čitača može dovesti do pada performansi sistema, ili čak do nemogućnosti njegovog korišćenja.

Sa aspekta mrežne bezbednosti i kako je već napomenuto, postoje dva korisnička mrežna opsega u zgradi fakulteta. Računari u elektronskim laboratorijama pripadaju studentskoj mreži, definisane su dve podmreže kako bi se stvorila mogućnost da se u sistemu za testiranje odrede „prostorije“ (zaključani mrežni opsezi sa mrežnim maskama), npr. učionica od 100 računara je određena sa 192.168.1.128/25, dok je učionica od 30 računara određena sa 192.168.1.64/26), ovakva podešavanja pružaju mogućnost upotrebe obe prostorije u isto vreme za dva različita testiranja, pritom studenti iz jedne prostorije ne vide testove definisane za onu drugu prostoriju i ne mogu greškom započeti testiranje iz nekog drugog predmeta. Takođe, pristup administratorskoj konzoli je omogućen samo sa nekoliko IP adresa koje su dodeljene računarima administratora računskog centra.

Centralizovana administracija Sistema za elektronsko testiranje, autorizacija korisnika putem korisničkih naloga i lozinke, kao i određeni nivo privilegija, takođe doprinose bezbednosti sistema i poverljivosti podataka. Postoje tri grupe korisnika sistema:

- Administrator – Posедуje najviši nivo privilegija
- Nastavnik – Poseduje određeni nivo privilegija
- Student – Nema nikakve privilegije

Kako Sistem za elektronsko testiranje funkcioniše kao virtualna mašina, lakša je i administracija i očuvanje zaštite podataka. Predviđene bezbednosne mere su RAID i svakodnevni *backup* virtualne mašine koji omogućavaju brzo uspostavljanje rada sistema usled vanrednih situacija ili havarije opreme.

3.2 Arhitektura sistema za elektronsko testiranje

Mnogi sistemi za elektronsko učenje i testiranje kandidata su komercijalni i predstavljaju zatvorene celine koje korisnici ne mogu modifikovati i prilagođavati svojim potrebama. Proizvođači obezbeđuju veliku tehničku i implementacionu podršku, ali ne postoji nikakva mogućnost kojom bi korisnici sami modifikovali sistem i integrisali ga sa svojim postojećim tehnologijama. Zbog ovakvog odnosa proizvođača, dobar deo korisnika pristupa izgradnji sopstvenih sistema, pri čemu im je dostupan veliki broj „*open source*“ i druge besplatne tehnologije kao što su (npr. *Java/PHP*, *MySQL DMBS*, besplatni OS i šelovi ES, itd.). Do pre nekoliko godina ove tehnologije su bile slabije zastupljene, pa su retko korišćene za razvoj sistema za elektronsko učenje i testiranje. Takođe, i pojava različitih besplatnih integrisanih razvojnih okruženja (IDE – *integrated development environment*, npr., *Eclipse*, *NetBeans*, *Sun Creator*) koja se mogu koristiti za razvoj kompleksnih aplikacija, kao što su sistemi za elektronsko učenje i testiranje.

Osnova mTutorG2 sistema je izgrađena na HTTP, HTTPS, XHTML, CSS i PHP protokolima i tehnologijama, a bazirana je na klijent/server i SOA arhitekturama što omogućava i korišćenje sistema putem Interneta. Kroz korišćenje apstrakcionog sloja ka bazi podataka izbegnuta je zavisnost od nekog određenog SUBP-a. U inicijalnoj upotrebi je iskorišćen MySQL sistem za upravljanje bazama podataka.

3.2.1 Klijent-server arhitektura

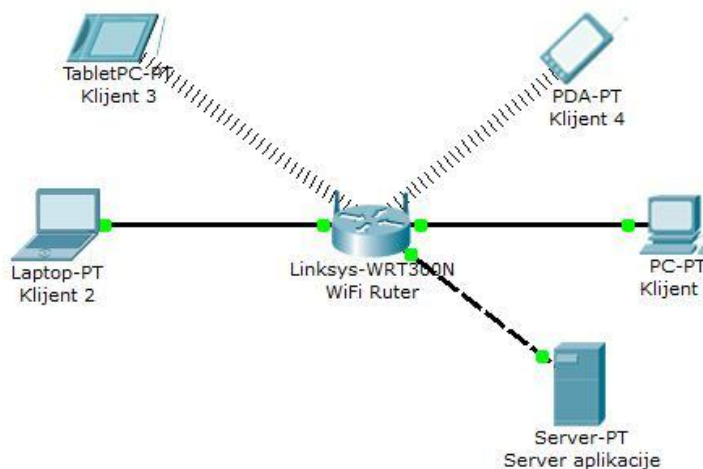
U mreži sa više od 10 korisnika, mreža ravnopravnih korisnika u kojoj se računari ponašaju i kao klijenti i kao serveri, nije adekvatno rešenje. U takvim situacijama postoje namenski serveri. Namenski server je računar čiji je zadatak pružanje usluga ostalim članovima mreže i ovaj računar se ne koristi ni kao klijent ni kao radna stanica. Za servere se kaže da su „namenski“ zato što mogu brzo da ispune zahteve mrežnih klijenata i osiguraju bezbednost datoteka i direktorijuma.

Kako se mreža širi i broj računara u mreži povećava, nastaje potreba za većim brojem servera. Podela poslova na nekoliko servera obezbeđuje da se svi poslovi obavljaju na najefikasniji mogući način. Raznovrsnost i složenost poslova koje serveri treba da obave je velika. Mnoge velike mreže imaju različite vrste namenskih servera (*dedicated servers*):

- Server za datoteke i štampanje
- Server za aplikacije
- Komunikacioni server
- Server za organizaciju podataka
- FTP server

Ono što nas zanima je kako funkcionišu serveri za aplikacije. Ovi serveri obično poseduju velike količine raznih podataka koje su lako i brzo dostupne korisnicima. Kod

servera za aplikacije, centralna logika aplikacije i osnovni podaci ostaju na serveru, a u računar koji je uputio zahtev za podacima, učitavaju se samo rezultati. Dakle, server za aplikacije klijentima pruža klijentsku stranu klijent-server aplikacije (slika 15.). Klijentska aplikacija radi na lokalnom računaru, a podacima pristupa putem serverske aplikacije, tj., umesto da se u lokalni računar učitavaju svi podaci iz baze podataka, učitavaju se samo rezultati koji se dobijaju kao odgovor na poslato zahtev.



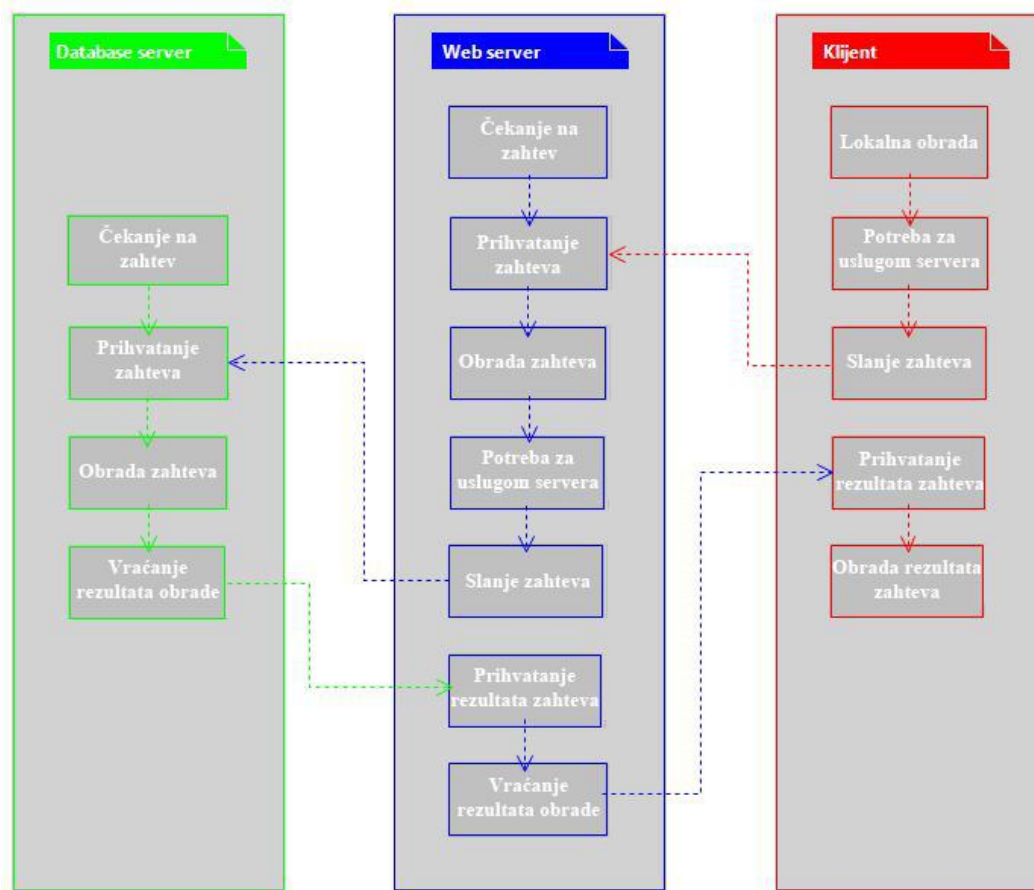
Slika 15. Prikaz povezivanja klijenata na server putem mreže

Postoji puno načina kako se može definisati baza podataka. U osnovi to je skup podataka koji su organizovani prema potrebama korisnika, koji se održavaju i koji se koriste za dobijanje informacija.¹⁰ Moderne baze podataka se čuvaju na računaru, ali to nije bitno za samu definiciju. Računarski zasnovane baze podataka omogućavaju jednostavno i brzo dobijanje informacija. Pored osnovnih informacija iz odgovarajuće baze podataka se mogu dobiti i posebne informacije.

Na razvoj baza podataka presudno je uticao razvoj računara, računarskih mreža, kao i klijent-server obrade. Istraživanje, projektovanje i upotreba baza podataka su vrlo brzo pokazali niz svojih dobrih strana kao što su: smanjeni troškovi održavanja; smanjena potreba za mrežnim resursima; poboljšana integritet podataka; donošenje ispravnih odluka na osnovu objektivnih informacija, brža reakcija na tržištu, itd.

Klijent-server arhitektura predstavlja arhitekturu gde su klijent (korisnik) i server odvojeni ili neravnopravni (slika 16.). Najrasprostranjeniji je primer pregledanja internet stranica, pri čemu klijenta predstavljaju korisnikov računar i *Web browser*, dok je server predstavljen kao računar i baza podataka koja čini web stranicu. Klijent je obično aktivan korisnik, on zahteva neki sadržaj ili rezultate, šalje zahteve i čeka na odgovor dok se isti ne ispune, dok je server pasivan, čeka na zahteve korisnika, ispunjava ih i šalje korisniku. Serveri su obično veoma jaki računari sa dobrim performansama i karakteristikama zbog toga što istovremeno moraju obraditi mnogo zahteva koji rastu iz dana u dan. Obično servere pokreću i posebni operativni sistemi za razliku od običnih - klijent operativnih sistema, serverski operativni sistemi pružaju veće opcije i imaju već definisane pojedine uloge.

¹⁰ M. Veinović, G. Šimić, *Baze podataka*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2010., str. 4



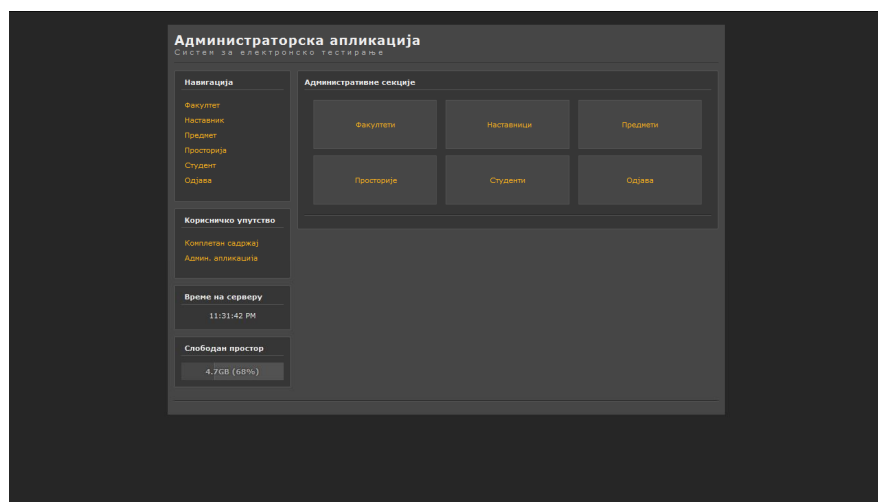
Slika 16. Prikaz klijent/server arhitekture

3.2.2 Web aplikacija

Sistem za elektronsko testiranje studenata realizovan je u vidu tri Web aplikacije:

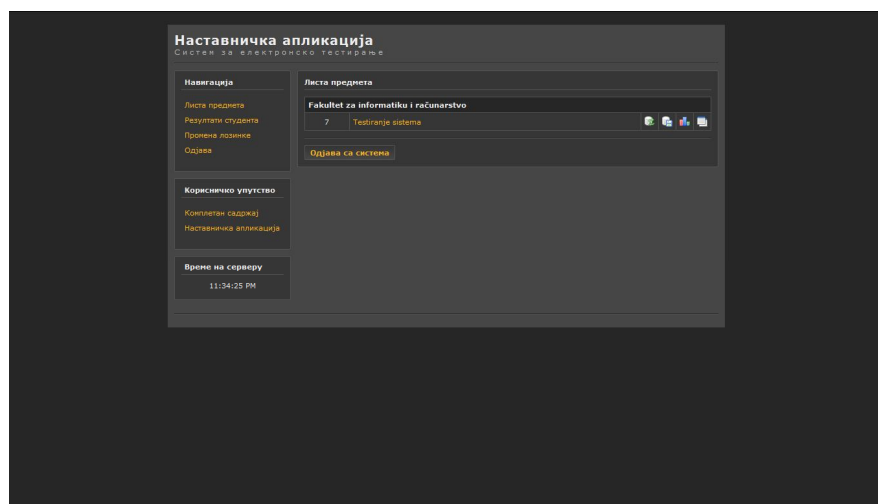
- Administratorska
- Nastavnička
- Studentska

Administratorska aplikacija (slika 16.) je namenjena upravljanju fakultetima u sistemu, nastavničkim nalogima i privilegijama, predmetima, prostorijama i studentskim nalogima. Za korišćenje ove aplikacije se preferira tehničko lice (npr. administrator računarske mreže).



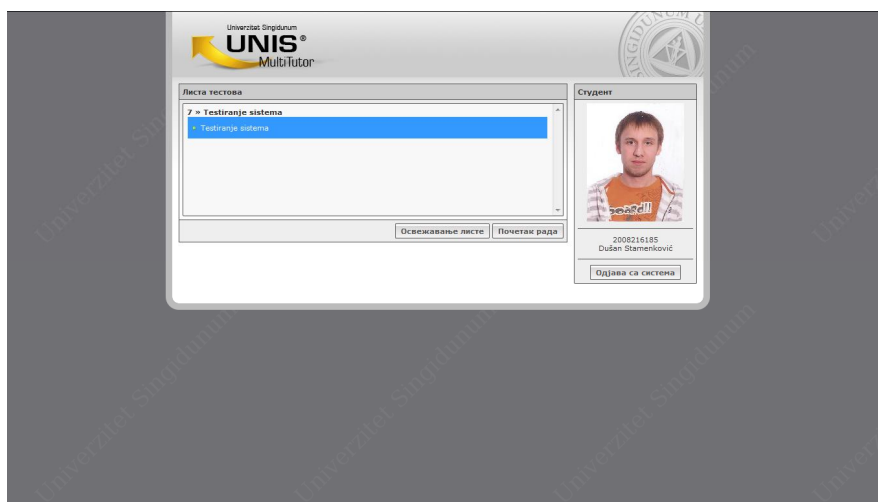
Slika 16. Stanica administratorske aplikacije

Nastavnička aplikacija (slika 17.) je namenjena nastavnicima i omogućava kreiranje strukture predmeta (odnosno, podelu predmeta na oblasti) i upravljanje bazom pitanja (dodavanje, izmena i uklanjanje pitanja). Nastavnička aplikacija omogućava i kreiranje testova (provera znanja) na koje će studenti odgovarati, i pregled studentskih radova. Takođe, preko nastavničke aplikacije može se pristupiti i statističkoj analizi rezultata.



Slika 17. Stanica nastavničke aplikacije

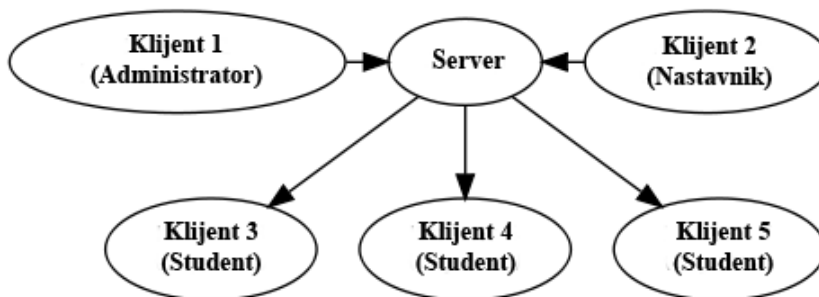
Studentska aplikacija (slika 18.) je namenjena za korišćenje od strane studenata i omogućava rešavanje testova koje je nastavnik kreirao. Funkcionalnosti ove aplikacije su podređene najvišem stepenu stabilnosti i onemogućavanja malverzacija.



Slika 18. Stanica studentske aplikacije

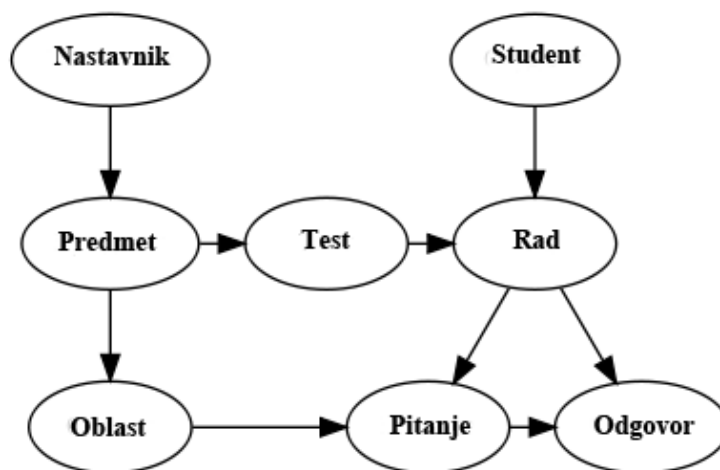
3.2.3 Organizacija sistema

Sistem za elektronsko testiranje studenata je softversko rešenje koje omogućava ekonomično i precizno određivanje nivoa znanja studenata kroz proveru na osnovu pitanja sa jednim ili više tačnih od ponuđenih odgovora. Sistem je predviđen za rad u umreženom računarskom okruženju sa pretpostavkom da svaki student radi test na jednom računaru, korišćenjem *Web browser*-a, a da se jezgro sistema izvršava na mrežnom serveru (slika 19.). Korisnike sistema, dakle, predstavljaju administrator, nastavnici i studenti.



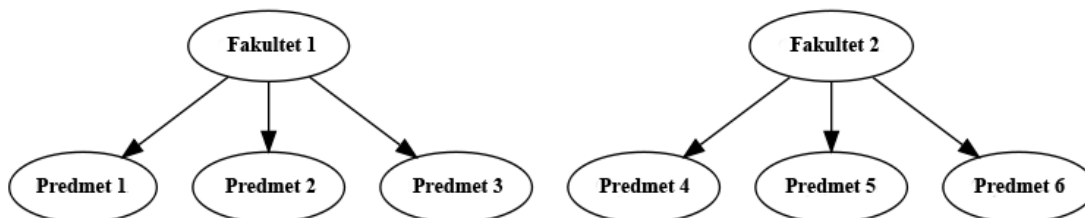
Slika 19. Mrežna organizacija sistema za elektronsko testiranje

Organizacija korisnika i sadržaja sistema (prikazana na slici 20.) definiše da nastavnik u okviru predmeta kreira oblasti i testove. U oblasti nastavnik unosi pitanja i odgovore koji se, zatim, koriste u testovima. Student pristupa testu i u okviru svog rada za dobijena pitanja odabira ponuđene odgovore koje smatra tačnim.



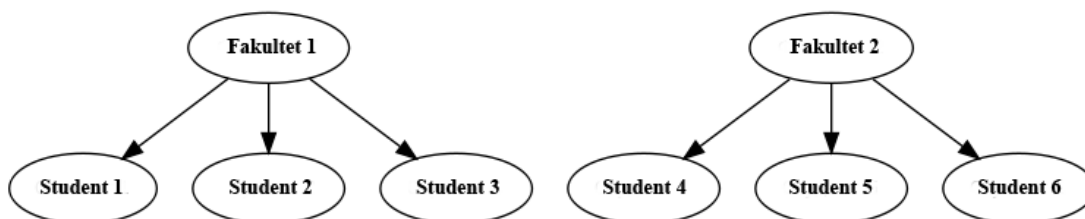
Slika 20. Organizacija korisnika i sadržaja sistema za elektronsko testiranje

Osnovni sadržalac predmeta i studenata u sistemu jeste fakultet. Hijerarhijska organizacija fakulteta i predmeta definiše da se na jednom fakultetu može naći više predmeta, ali da se jedan predmet ne može naći na više, već samo na jednom fakultetu (slika 21.). Ovo ne znači da se na dva različita fakulteta ne mogu naći predmeti sa istim nazivom, već da su u pitanju potpuno različiti predmeti čije su oblasti, pitanja, testovi i radovi potpuno odvojeni.



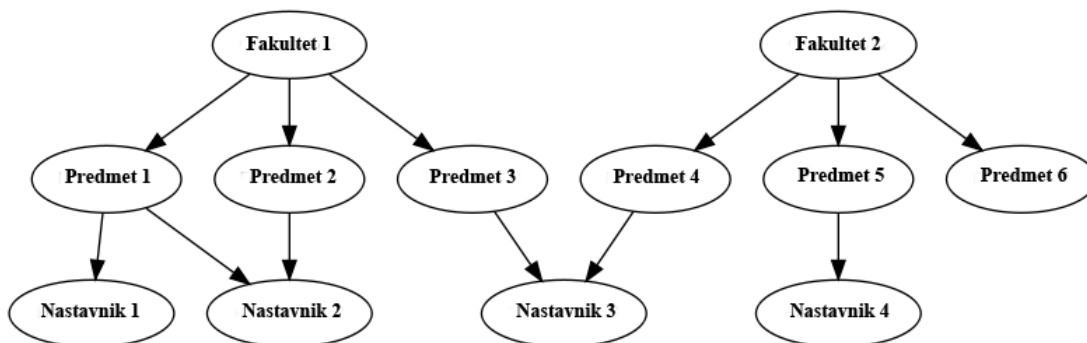
Slika 21. Hijerarhijska organizacija fakulteta i predmeta

Na sličan način kao i kod organizacije fakulteta i predmeta, uređena je i organizacija fakulteta i studenata. Hijerarhijska organizacija fakulteta i studenata definiše da se na jednom fakultetu može naći više studenata, ali da se jedan student ne može naći na više, već samo na jednom fakultetu (slika 22.). Ovo ne znači da se na dva različita fakulteta ne mogu naći studenti sa istim brojem indeksa, imenom i prezimenom, već da su u pitanju potpuno različiti studenti čiji su rezultati potpuno odvojeni.



Slika 22. Hijerarhijska organizacija fakulteta i studenata

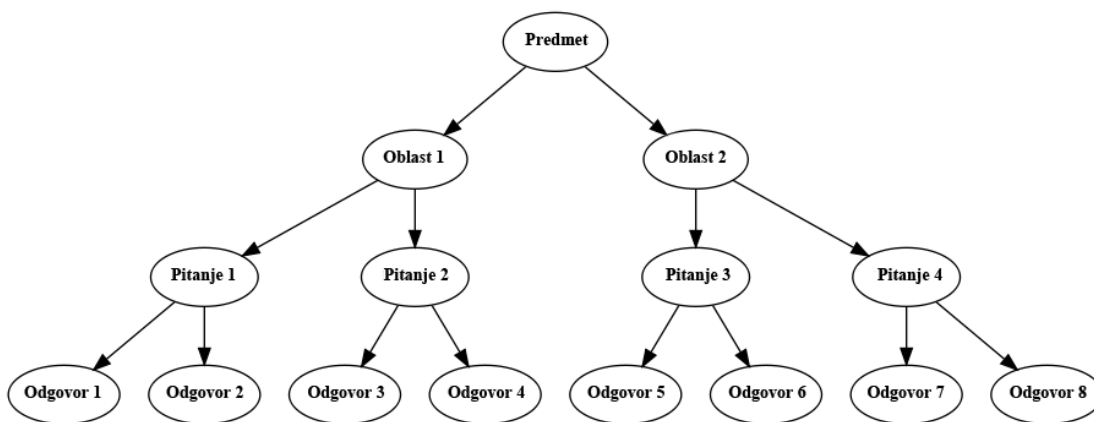
Nalozi nastavnika nisu vezani za određeni fakultet već se mogu koristiti za davanje nadležnosti nad predmetima svih fakulteta u sistemu (slika 23.). Takođe, jedan nastavnički nalog može biti nadležan za više predmeta u sistemu, a za jedan predmet može biti nadležno više profesora. U slučaju da je za jedan predmet nadležno više profesora, njihove privilegije su jednake. U slučaju da određenom predmetu nije dodeljen nijedan nastavnik, predmet je aktivan u sistemu ali njegovo uređivanje nije omogućeno nijednom nastavniku.



Slika 23. Odnos fakulteta, profesora i predmeta

Osnovni nosilac sadržaja (pitanja) u sistemu jeste predmet. Predmet se deli na oblasti a u oblasti se unose pitanja i odgovori (slika 24.). Pravila koja važe u ovoj hijerarhiji su:

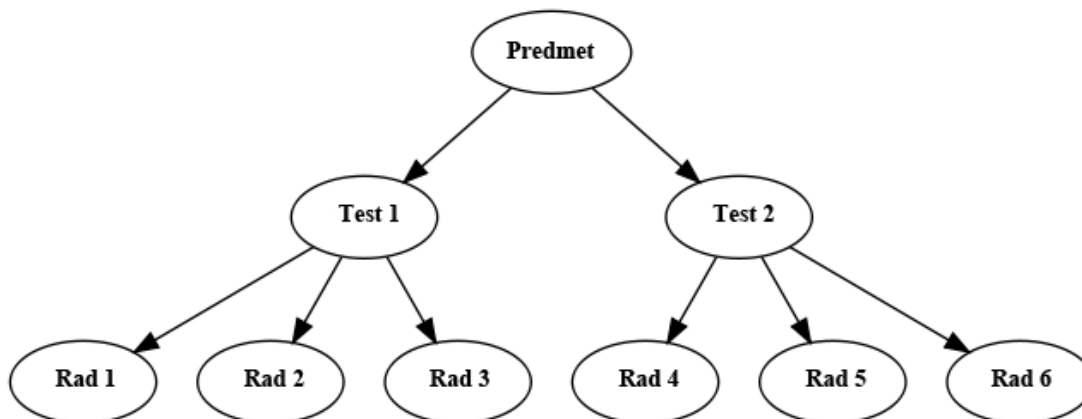
- Jedan predmet može imati više oblasti, jedna oblast može pripadati samo jednom predmetu.
- Jedna oblast može sadržati više pitanja, jedno pitanje može pripadati samo jednoj oblasti.
- Jedno pitanje može imati više odgovora, jedan odgovor može pripadati samo jednom pitanju.



Slika 24. Hijerarhijska organizacija sadržaja

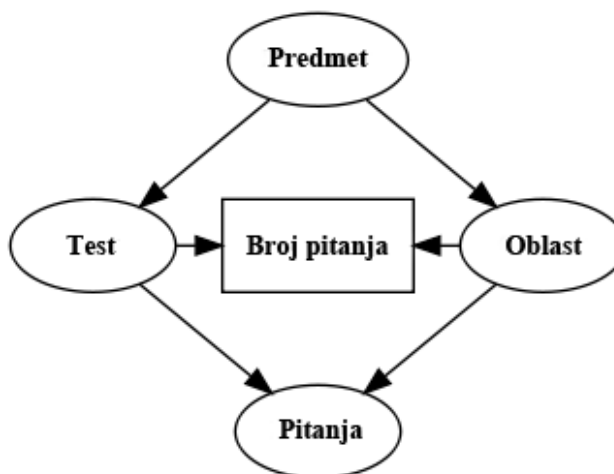
Organizacija testova i studentskih radova u sistemu podrazumeva da se testovi kreiraju u okviru predmeta, a studentski radovi se odnose na te testove (slika 25.). Testovi mogu pripadati samo jednom predmetu i mogu koristiti samo pitanja iz tog predmeta. Takođe, jedan studentski rad se odnosi samo na jedan test. Student može imati više radova

iz više predmeta, iz jednog predmeta za različite testove, ili iz samo jednog testa (ukoliko su u testu dozvoljeni višestruki radovi).



Slika 25. Hijerarhijska organizacija testova i studentskih radova

Kao što je u prethodnom tekstu objašnjeno, predmet se proširuje u dva pravca - kroz oblasti (i pitanja i odgovore), i kroz testove (i studentske radove). Odnos oblasti i testova je takav da se za svaki test definiše iz koje oblasti tog predmeta će biti korišćeno koliko pitanja (slika 26.). Taj broj pitanja može biti jednak ukupnom broju pitanja iz oblasti, ili manji.



Slika 26. Odnos oblasti, pitanja i testova

Još jedna značajna karakteristika sistema jeste nelinearnost u pogledu redosleda pitanja i odgovora kod testiranja studenata. Ovo znači da će studenti za isti test dobijati različita pitanja ukoliko za test nisu iskorišćena sva pitanja. Takođe, redosled pitanja biće drugačiji za svakog studenata, kao i redosled odgovora u pitanjima.

4 MERENJE I ANALIZA PERFORMANSI

Autor ovog rada je pokušao da da svoj doprinos razvoju Sistema za elektronsko testiranje tako što je u eksperimentalnom okruženju radio testove na različitim proizvodima za virtualizaciju.

4.1 Testiranje

Testiranje se zasnivalo na:

- Praćenju opterećenosti procesora i radne memorije
- Vremenu potrebno za import velikog broja pitanja
- Vremenu potrebnom za pokretanje testa sa velikim brojem pitanja – 1 pitanje po stranici
- Vremenu potrebnom za pokretanje testa sa velikim brojem pitanja – 100 pitanja po stranici
- Vremenu potrebnom za pokretanje testa sa velikim brojem pitanja – 250 pitanja po stranici

4.1.1 Performanse i zauzeće resursa

Prilikom eksperimentalnih merenja, velika pažnja je posvećena posmatranju zauzeća resursa, pre svega dostupnosti procesora i radne memorije, kao i propusnosti mrežnih uređaja koji prilikom testiranja nisu pokazali nikakav bitniji uticaj.

4.1.2 Import velikog broja pitanja, pokretanje testa sa velikim brojem pitanja

Testovi iz ove oblasti oslikavaju uticaj virtualizacije na upisivanje podataka u bazu Sistema za elektronsko testiranje. Testovi su rađeni po principu importa (unosa) velikog broja pitanja u bazu. Uzorci sa kojima su vršeni testovi su 1000, 2500 i 5000 pitanja sa po 3 ponuđena odgovora od kojih je samo 1 tačan. Pitanja su razvrstana po oblastima, tj., uzorak od 1000 pitanja je podeljen na 10 oblasti po 100 pitanja, uzorak od 2500 pitanja na 25 oblasti po 100 pitanja i uzorak od 5000 pitanja na 50 oblasti po 100 pitanja. Takođe, urađeni su i testovi čitanja podataka iz baze po principu kreiranja testova sa 1000, 2500 i 5000 pitanja iz baze pitanja od 5000 pitanja. Npr., test od 1000 pitanja iz baze od 5000 (50 oblasti po 100 pitanja), iz svake oblasti po nelinearnom principu biće uzeto po 20 pitanja, za test od 2500 po 50 pitanja, a za test od 5000 svih 100 pitanja po oblasti. Pokretani su i testovi sa velikim brojem pitanja na jednoj stranici. Mereno je vreme potrebno da se izvrše upiti importovanja pitanja i pokretanja testova, takođe praćena je i zauzetost procesora i potrošnja RAM memorije.

4.2 Rezultati virtualizacionih platformi

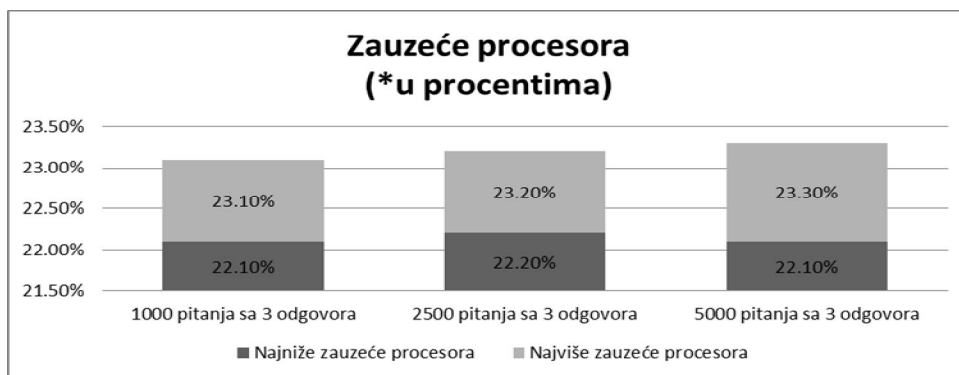
U ovom delu biće prikazani statistički podaci dobijeni eksperimentalnim testiranjem uticaja virtualizacije na Sistem za elektronsko testiranje mTutorG2.

4.2.1 Pojedinačni rezultati virtualizacionih platformi

Pojedinačni rezultati su razvrstani prema virtualizacionim platformama koje su korišćene prilikom eksperimentalnog testiranja.

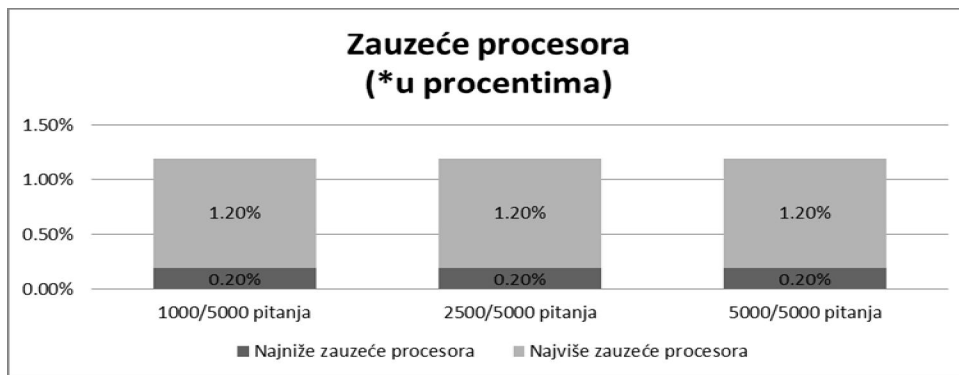
Tokom testiranja, primećeno je da su opterećenja procesora i njegovo zauzeće kod svih virtualizacionih platformi bili jednaki dok su potrošnja i zauzeće radne memorije varirali u zavisnosti od proizvođača i samog proizvoda.

Zauzeće procesora prilikom importa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazano u procentima nalazi se na slici 27.



Slika 27. Zauzeće procesora prilikom importovanja pitanja

Zauzeće procesora prilikom pokretanja testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazano u procentima nalazi se na slici 28.



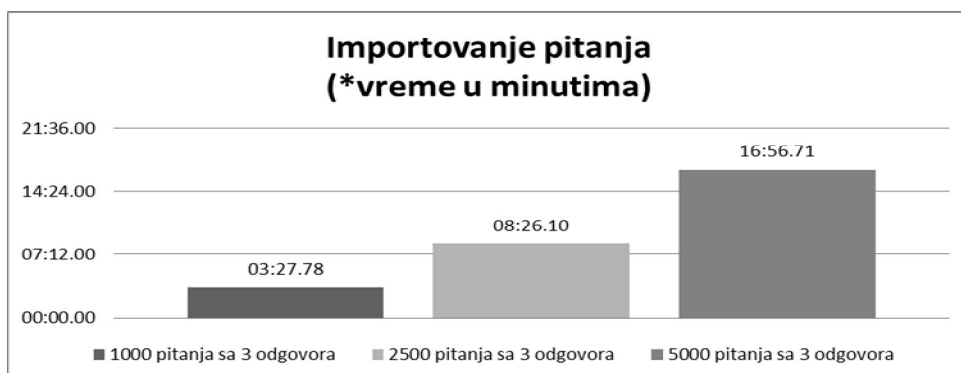
Slika 28. Zauzeće procesora prilikom pokretanja testa

4.2.1.1 VMware®

Na sledećih nekoliko stranica prikazani su rezultati testiranja proizvoda za virtualizaciju koje nudi VMware, ESXi, Workstation i Player.

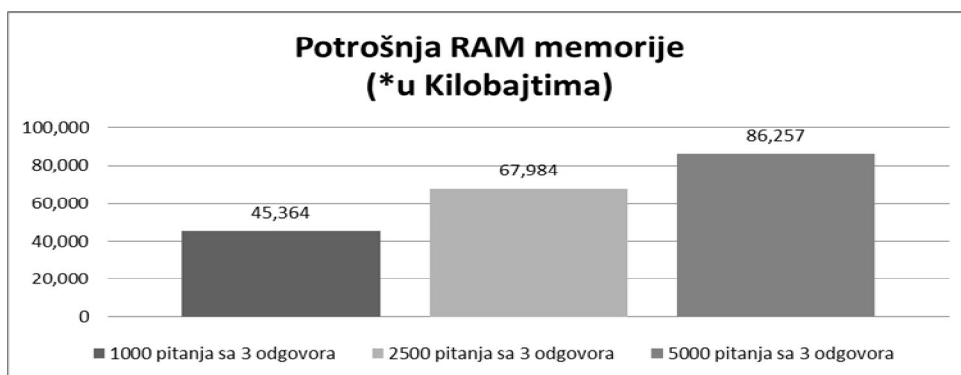
VMware® vSphere Hypervisor™ (ESXi) 4.1 Update 1

Vreme izraženo u minutima potrebno za import 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazano je na slici 28.



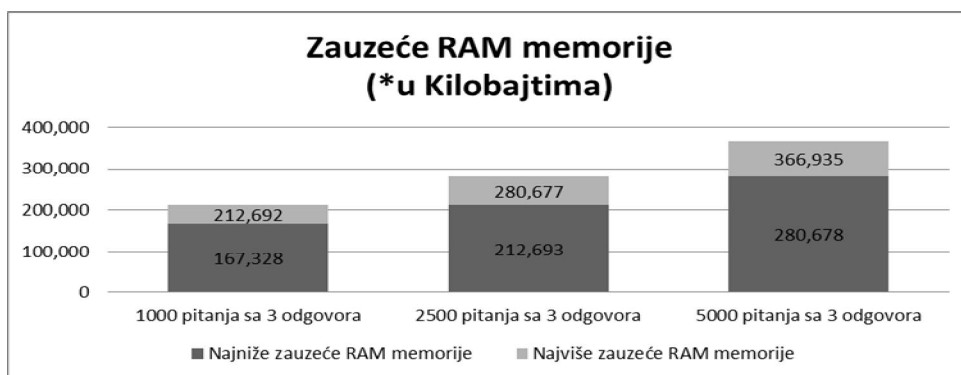
Slika 28. Vreme potrebno za import pitanja

Potrošnja radne memorije potrebna za importovanje 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 29.



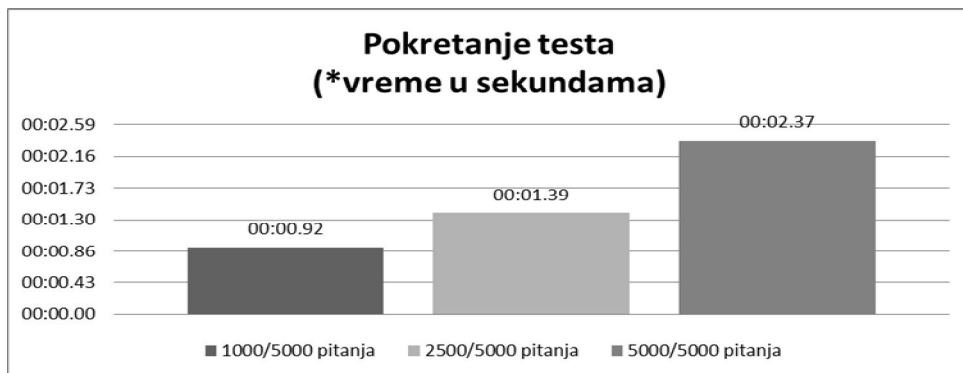
Slika 29. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom importovanja 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 30.



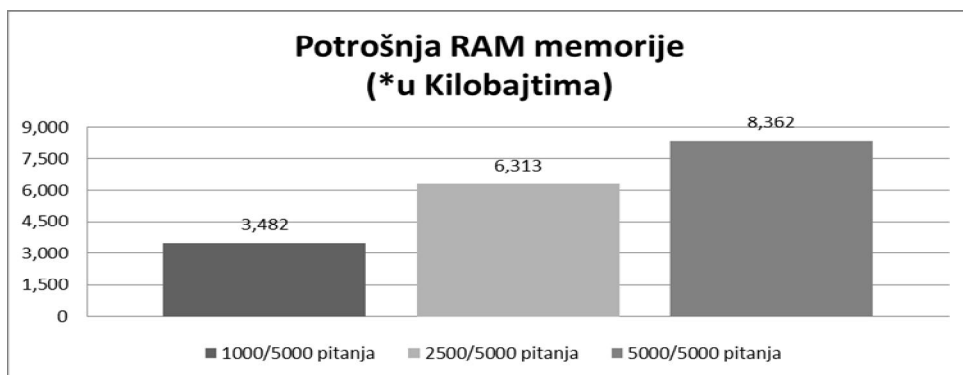
Slika 30. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog importovanja

Vreme izraženo u sekundama potrebno da bi se pokrenuo test od 1000, 2500 i 5000 prikazano je na slici 31.



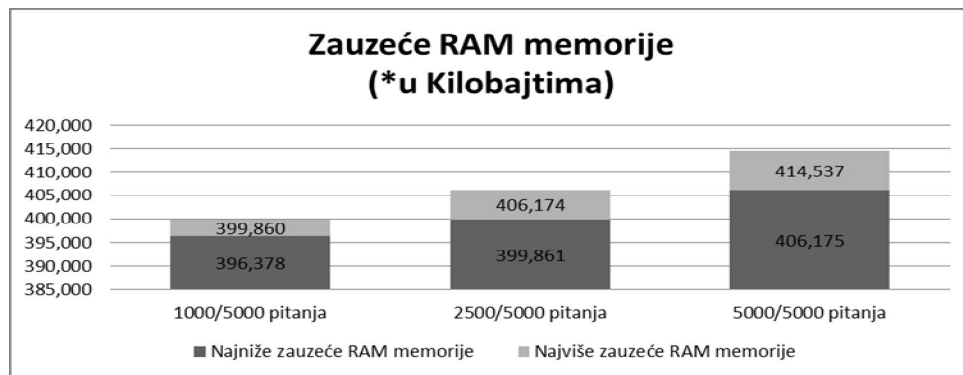
Slika 31. Vreme potrebno za pokretanje testa

Potrošnja radne memorije potrebna za pokretanje testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 32.



Slika 32. Potrošnja RAM memorije

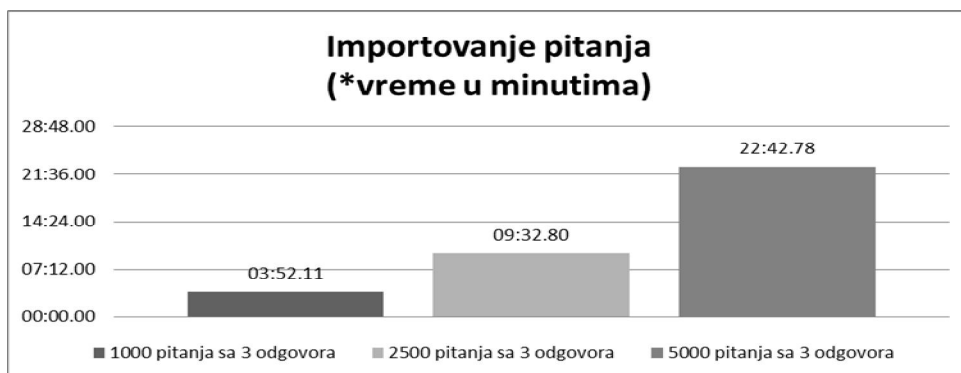
Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom pokretanja testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 33.



Slika 33. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog testa

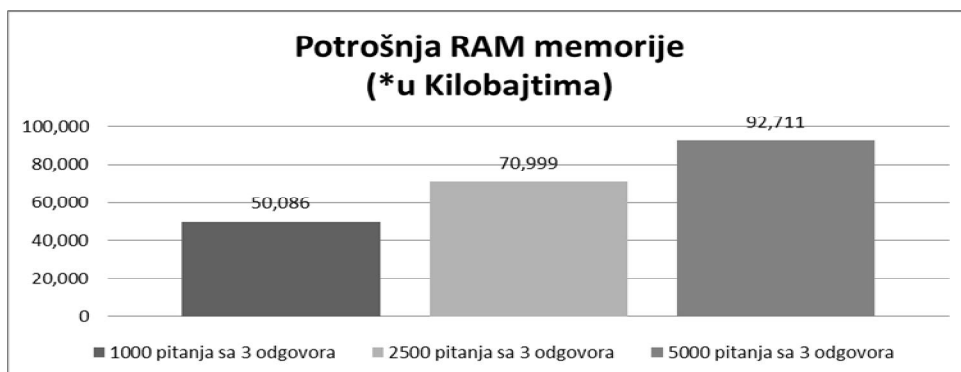
VMware® Workstation 7.1.3

Vreme izraženo u minutima potrebno za import 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazano je na slici 34.



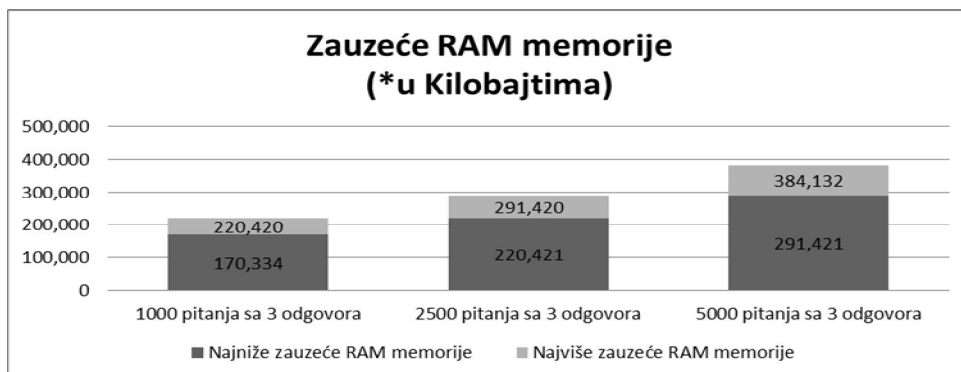
Slika 34. Vreme potrebno za import pitanja

Potrošnja radne memorije potrebna za importovanje 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 35.



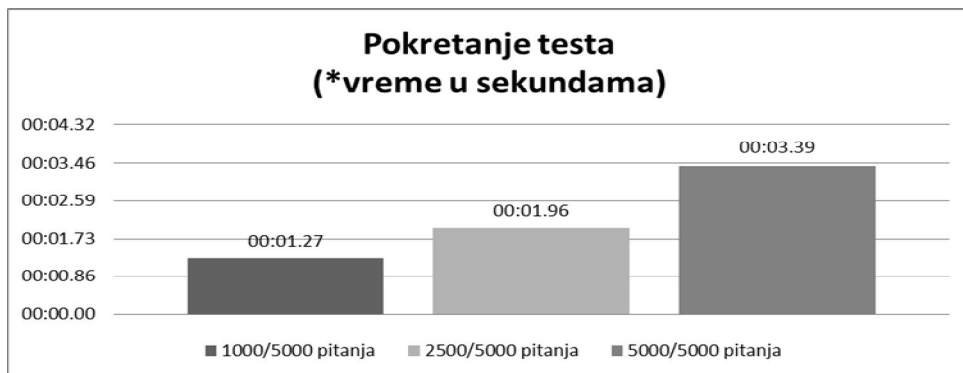
Slika 35. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom importovanja 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 36.



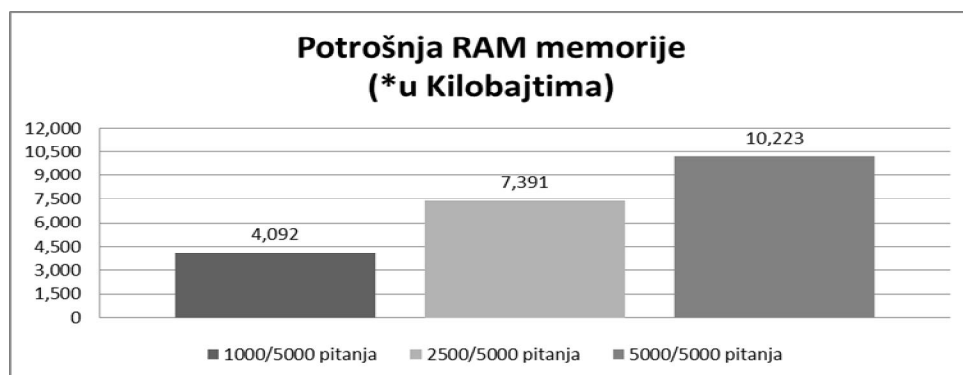
Slika 36. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog impotovanja

Vreme izraženo u sekundama potrebno da bi se pokrenuo test od 1000, 2500 i 5000 prikazano je na slici 37.



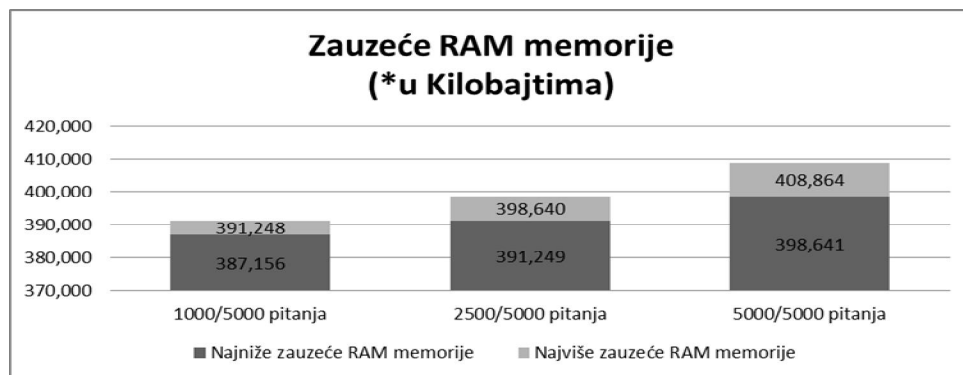
Slika 37. Vreme potrebno za pokretanje testa

Potrošnja radne memorije potrebna za pokretanje testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 38.



Slika 38. Potrošnja RAM memorije

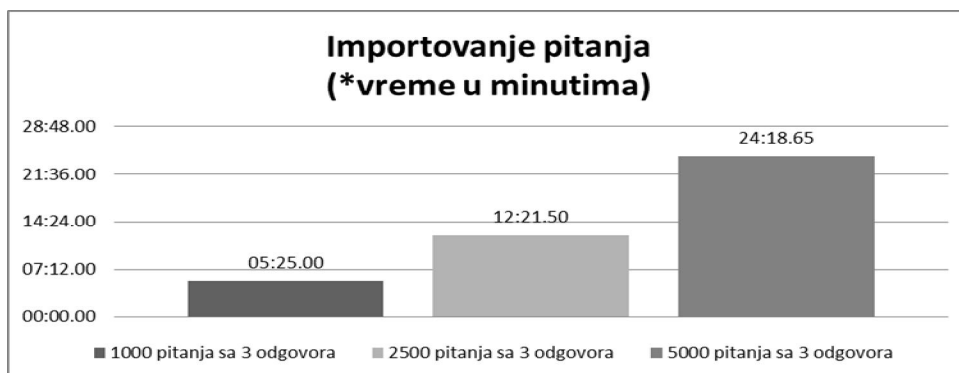
Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom pokretanja testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 39.



Slika 39. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog testa

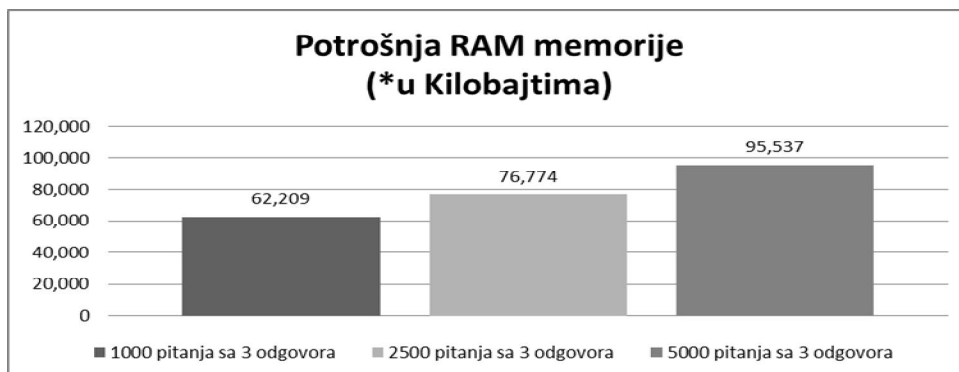
VMware® Player 3.1.3

Vreme izraženo u minutima potrebno za import 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazano je na slici 40.



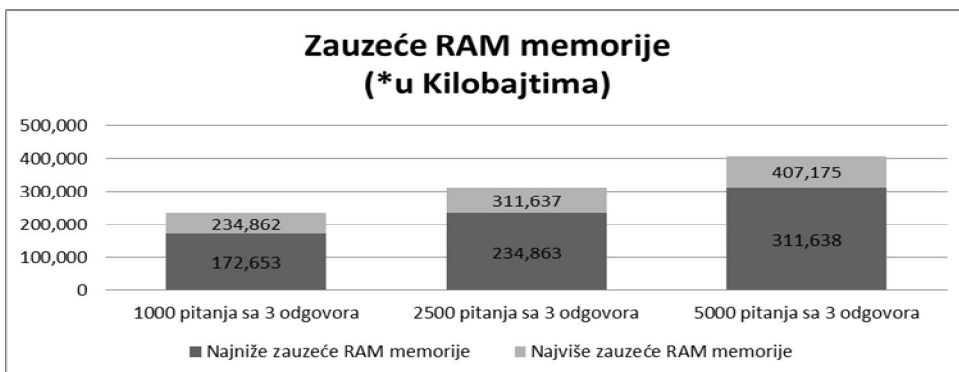
Slika 40. Vreme potrebno za import pitanja

Potrošnja radne memorije potrebna za importovanje 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 41.



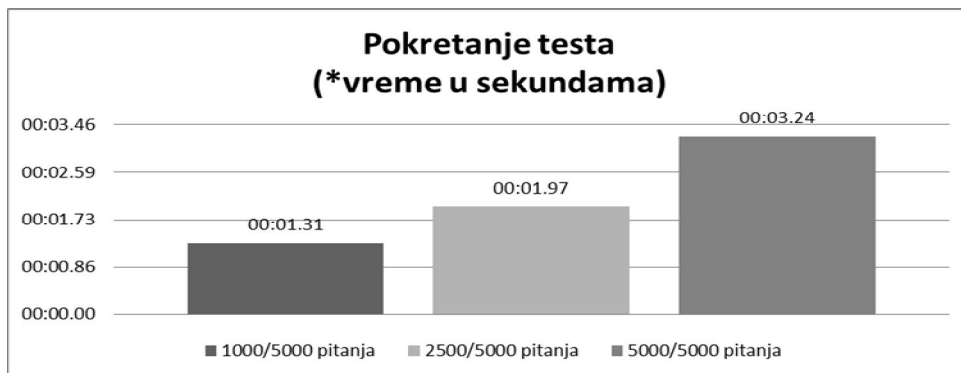
Slika 41. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom importovanja 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 42.



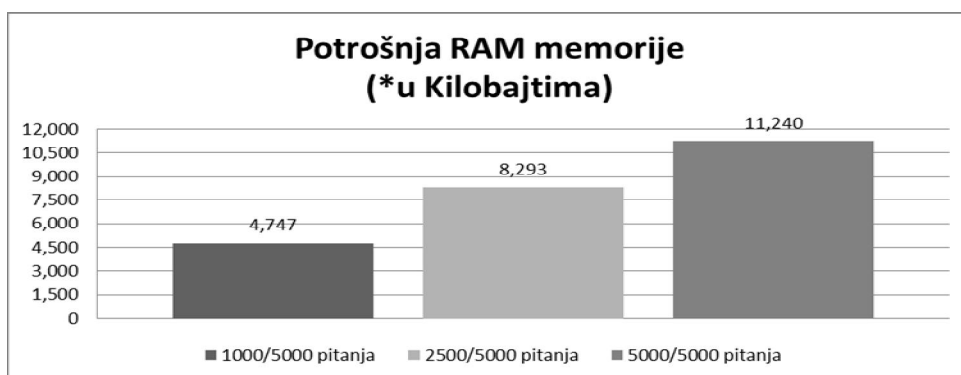
Slika 42. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog impotovanja

Vreme izraženo u sekundama potrebno da bi se pokrenuo test od 1000, 2500 i 5000 prikazano je na slici 43.



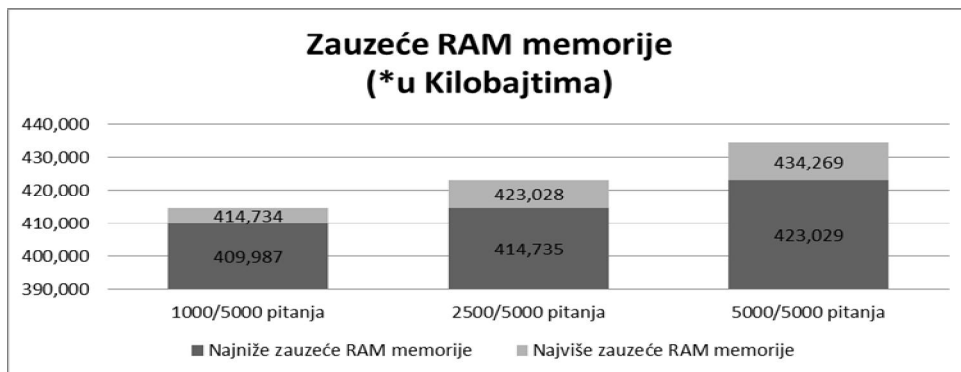
Slika 43. Vreme potrebno za pokretanje testa

Potrošnja radne memorije potrebna za pokretanje testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 44.



Slika 44. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom pokretanja testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 45.



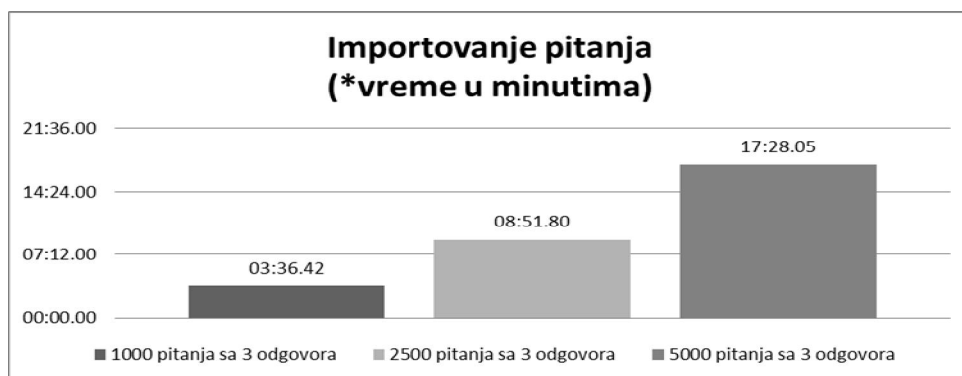
Slika 45. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog testa

4.2.1.2 Microsoft®

Na sledećih par stranica prikazani su rezultati Microsoft-ovog proizvoda za virtualizaciju, Hyper-V druge generacije.

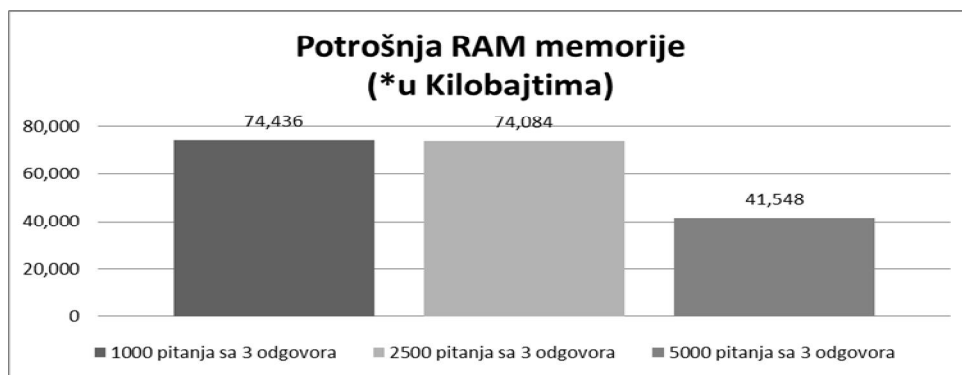
Microsoft® Hyper-V™

Vreme izraženo u minutima potrebno za import 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazano je na slici 46.



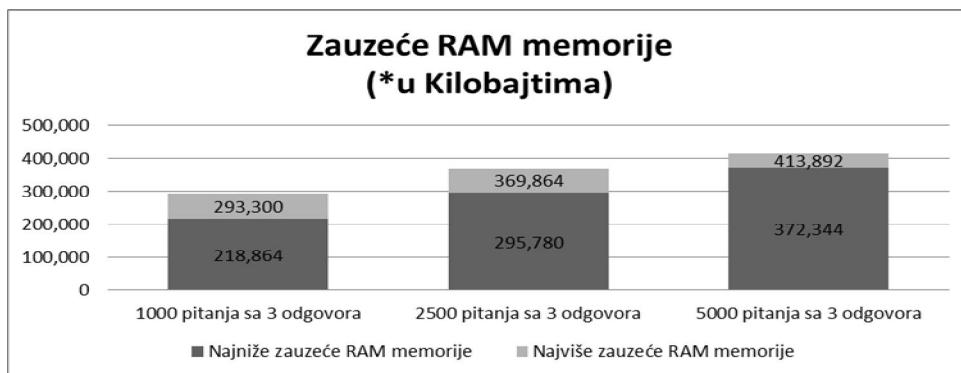
Slika 46. Vreme potrebno za import pitanja

Potrošnja radne memorije potrebna za importovanje 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 47.



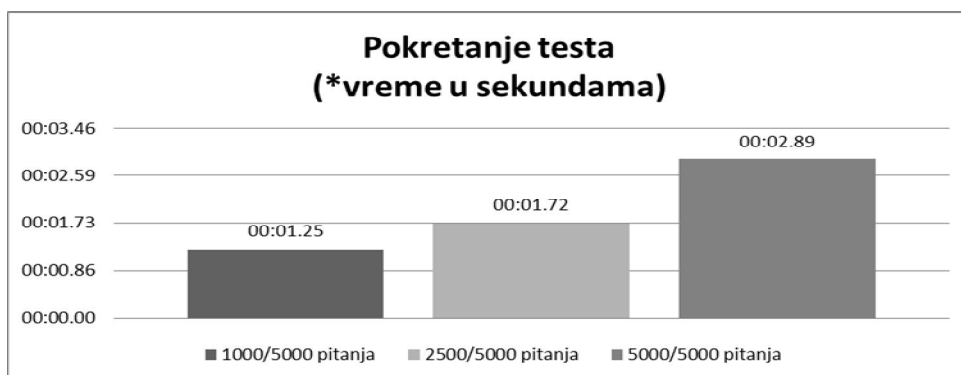
Slika 47. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom importovanja 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 48.



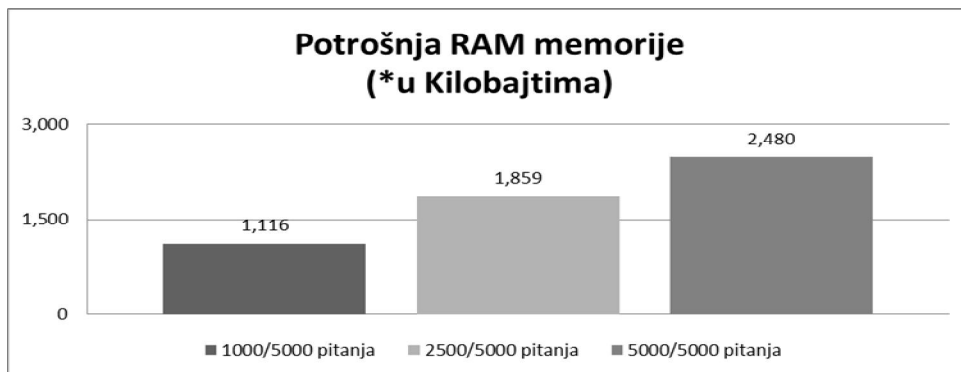
Slika 48. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog importovanja

Vreme izraženo u sekundama potrebno da bi se pokrenuo test od 1000, 2500 i 5000 prikazano je na slici 49.



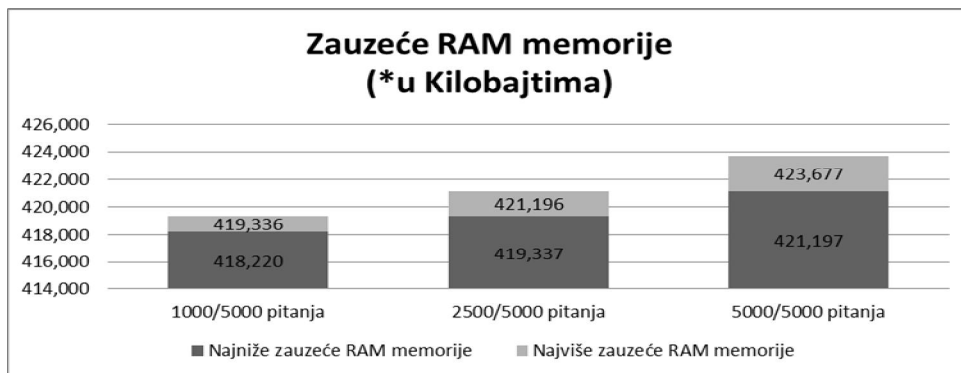
Slika 49. Vreme potrebno za pokretanje testa

Potrošnja radne memorije potrebna za pokretanje testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 50.



Slika 50. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom pokretanja testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 51.



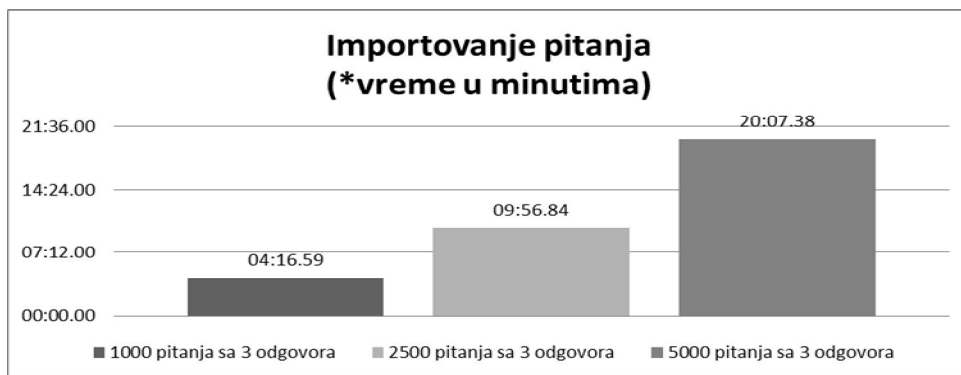
Slika 51. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog testa

4.2.1.3 Citrix®

Na sledećih par stranica prikazani su rezultati Citrix-ovog proizvoda za virtualizaciju, XenServer-a.

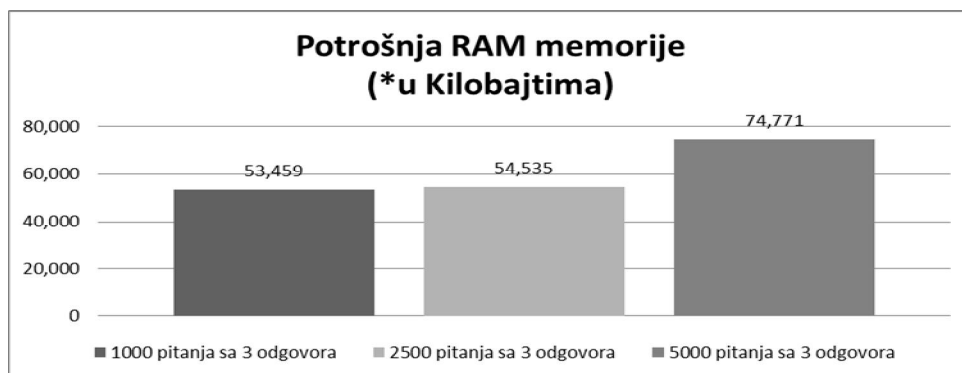
Citrix® XenServer 5.6.1

Vreme izraženo u minutima potrebno za import 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazano je na slici 52.



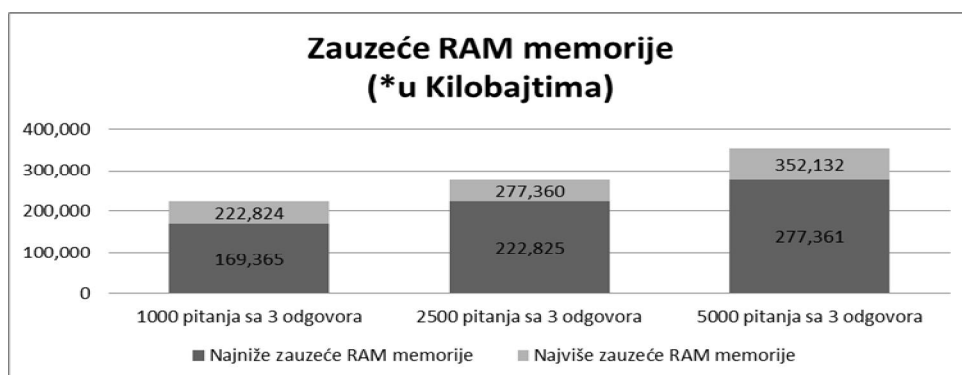
Slika 52. Vreme potrebno za import pitanja

Potrošnja radne memorije potrebna za importovanje 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 53.



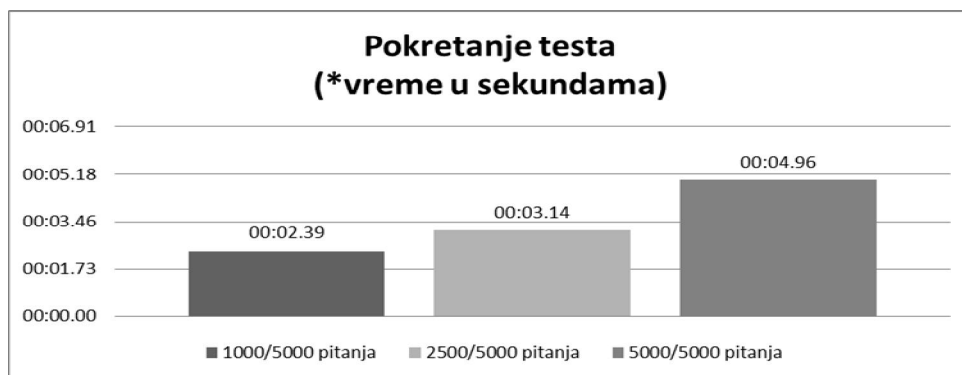
Slika 53. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom importovanja 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 54.



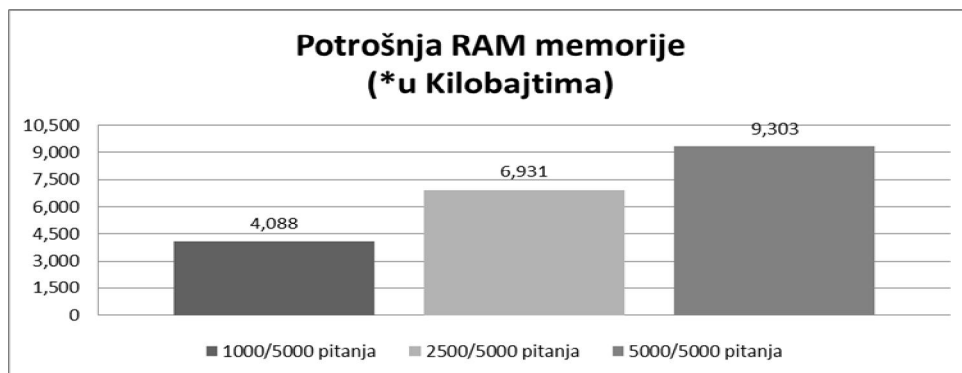
Slika 54. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog importovanja

Vreme izraženo u sekundama potrebno da bi se pokrenuo test od 1000, 2500 i 5000 prikazano je na slici 55.



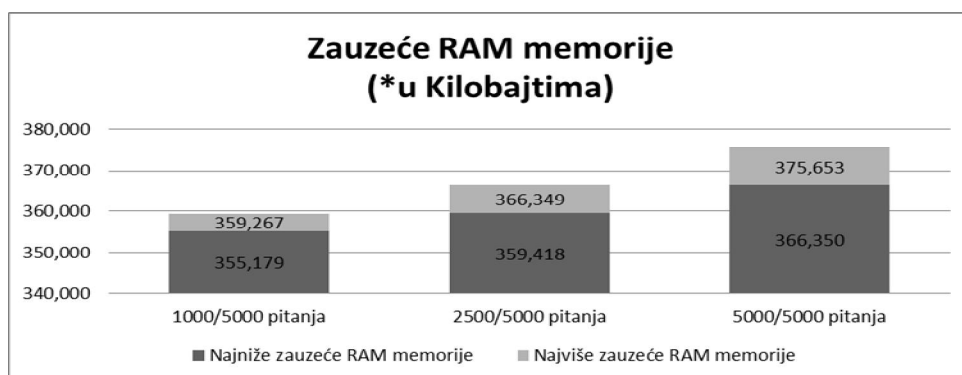
Slika 55. Vreme potrebno za pokretanje testa

Potrošnja radne memorije potrebna za pokretanje testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 56.



Slika 56. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom pokretanja testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 57.



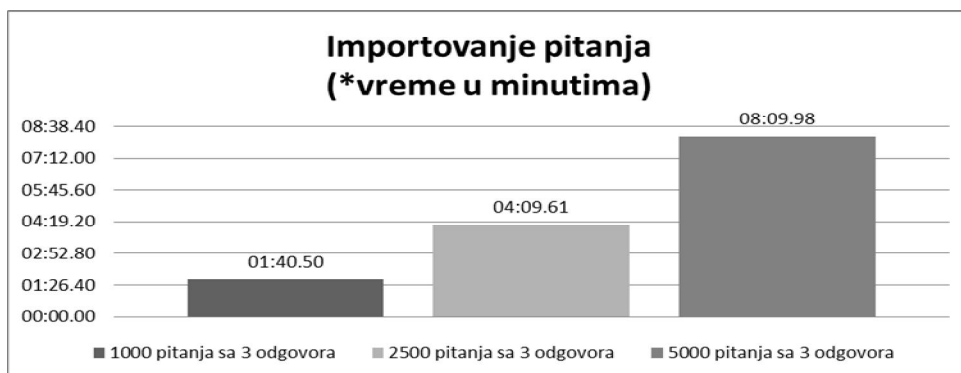
Slika 57. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog testa

4.2.1.4 Oracle® (Sun®)

Na sledećih nekoliko stranica prikazani su rezultati Oracle (Sun)-ovih proizvoda za virtualizaciju, Virtual Box treće i četvrte generacije.

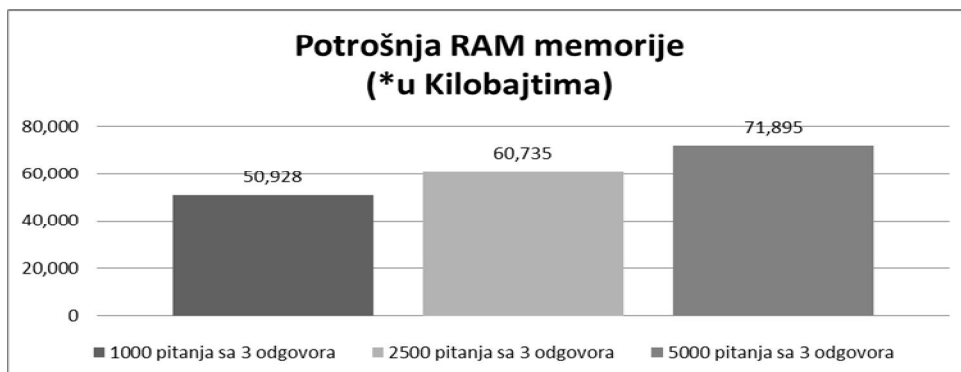
Sun® Virtual Box 3.1

Vreme izraženo u minutima potrebno za import 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazano je na slici 58.



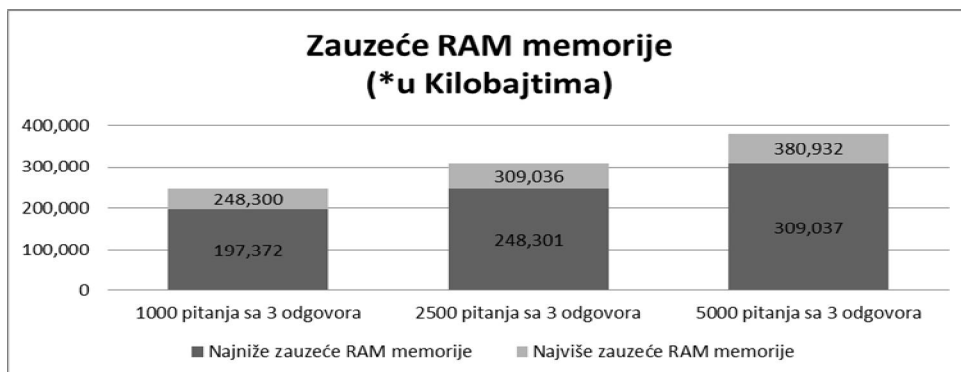
Slika 58. Vreme potrebno za import pitanja

Potrošnja radne memorije potrebna za importovanje 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 59.



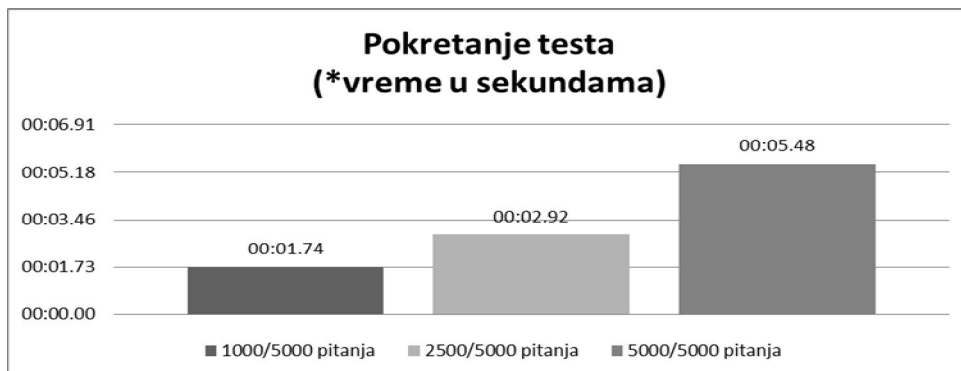
Slika 59. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom importovanja 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 60.



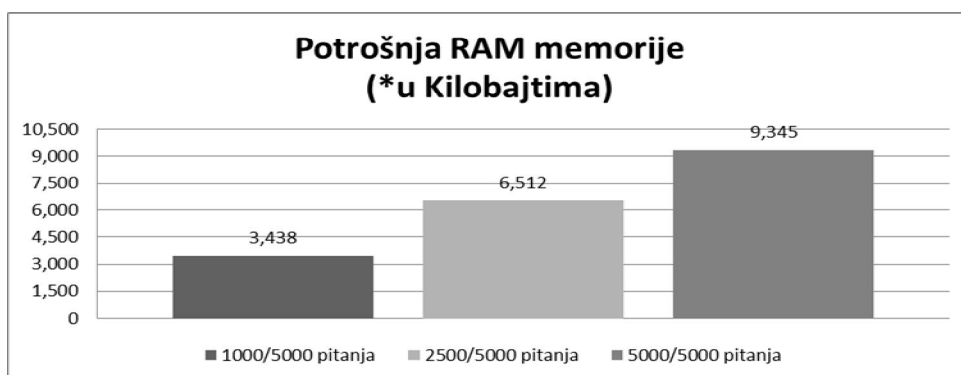
Slika 60. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog impotovanja

Vreme izraženo u sekundama potrebno da bi se pokrenuo test od 1000, 2500 i 5000 prikazano je na slici 61.



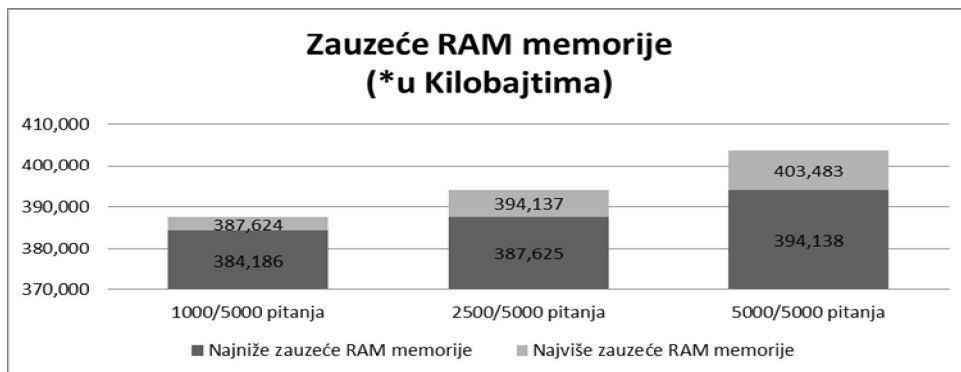
Slika 61. Vreme potrebno za pokretanje testa

Potrošnja radne memorije potrebna za pokretanje testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 62.



Slika 62. Potrošnja RAM memorije

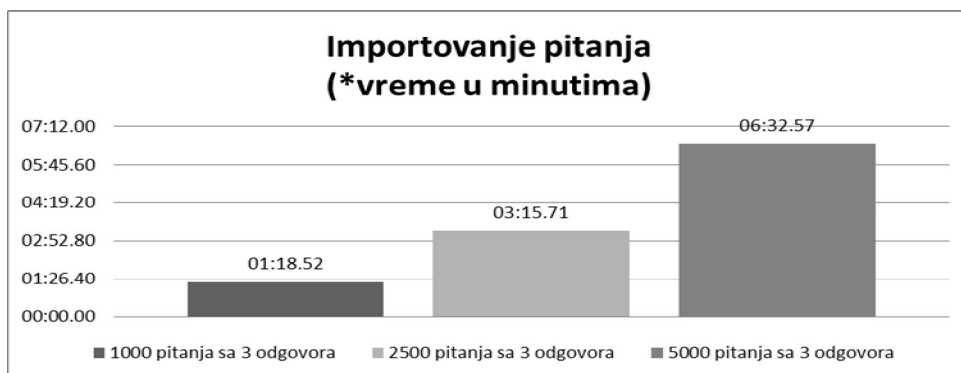
Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom pokretanja testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 63.



Slika 63. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog testa

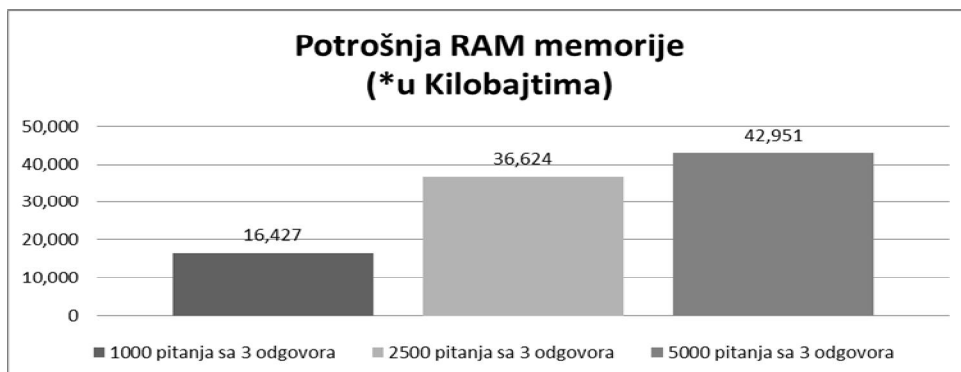
Oracle® Virtual Box 4.0

Vreme izraženo u minutima potrebno za import 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazano je na slici 64.



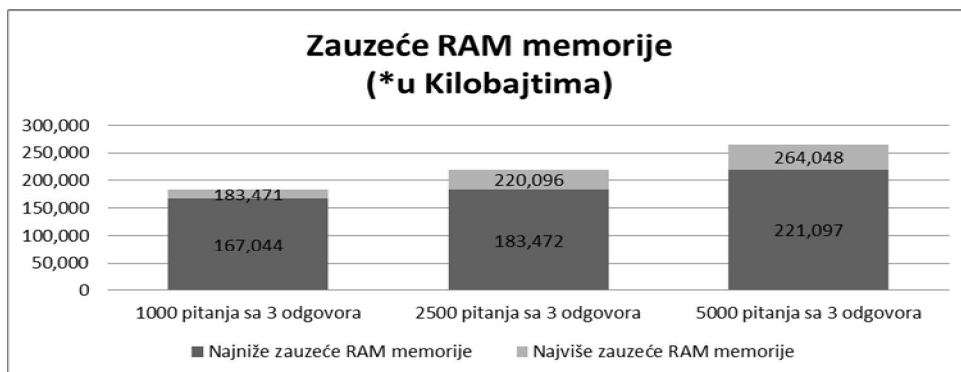
Slika 64. Vreme potrebno za import pitanja

Potrošnja radne memorije potrebna za importovanje 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 65.



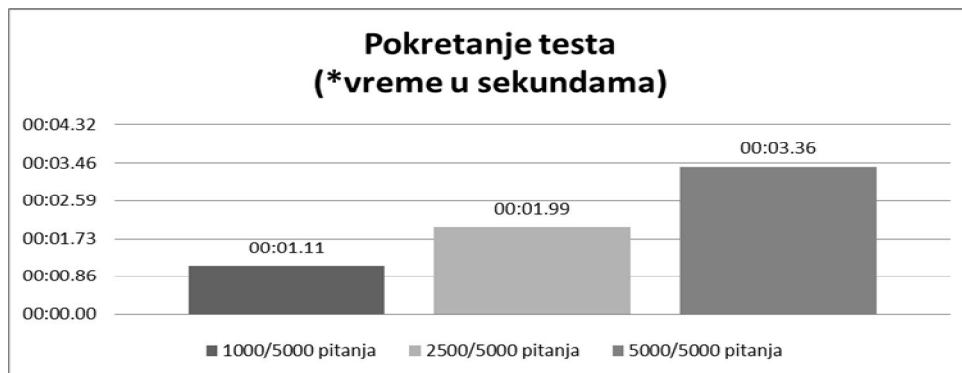
Slika 65. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom importovanja 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 66.



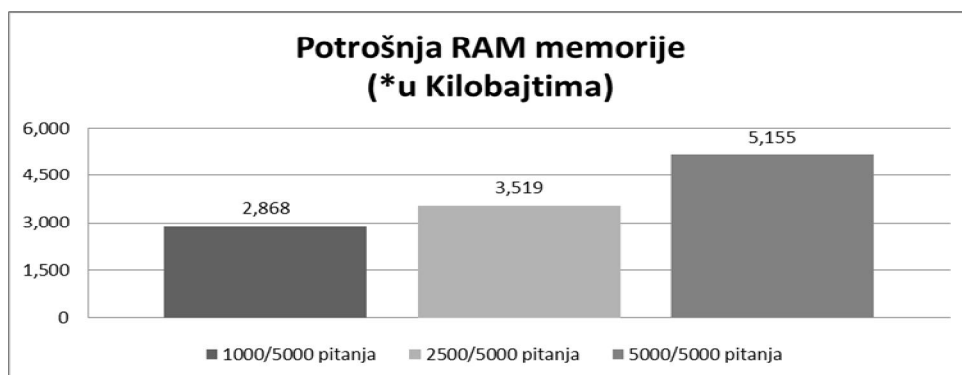
Slika 66. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog impotovanja

Vreme izraženo u sekundama potrebno da bi se pokrenuo test od 1000, 2500 i 5000 prikazano je na slici 67.



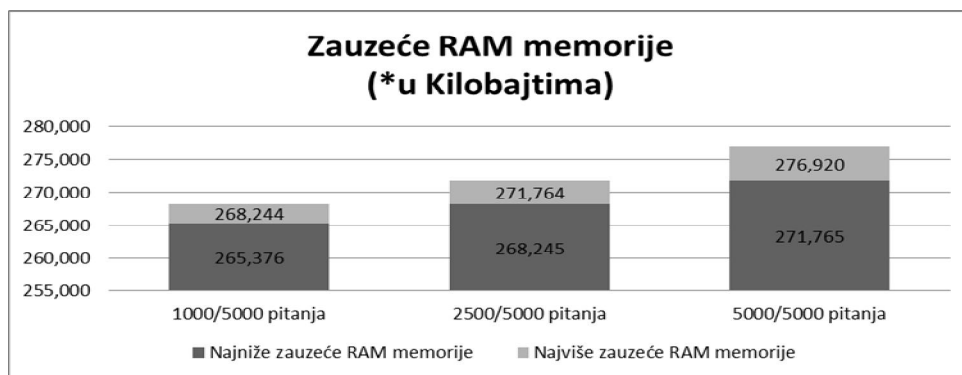
Slika 67. Vreme potrebno za pokretanje testa

Potrošnja radne memorije potrebna za pokretanje testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana u kilobajtima predstavljena je na slici 81.



Slika 68. Potrošnja RAM memorije

Zauzeće radne memorije prikazane sa početnom i krajnjom vrednošću prilikom pokretanja testa sa 1000, 2500 i 5000 pitanja prikazana je na slici 69.



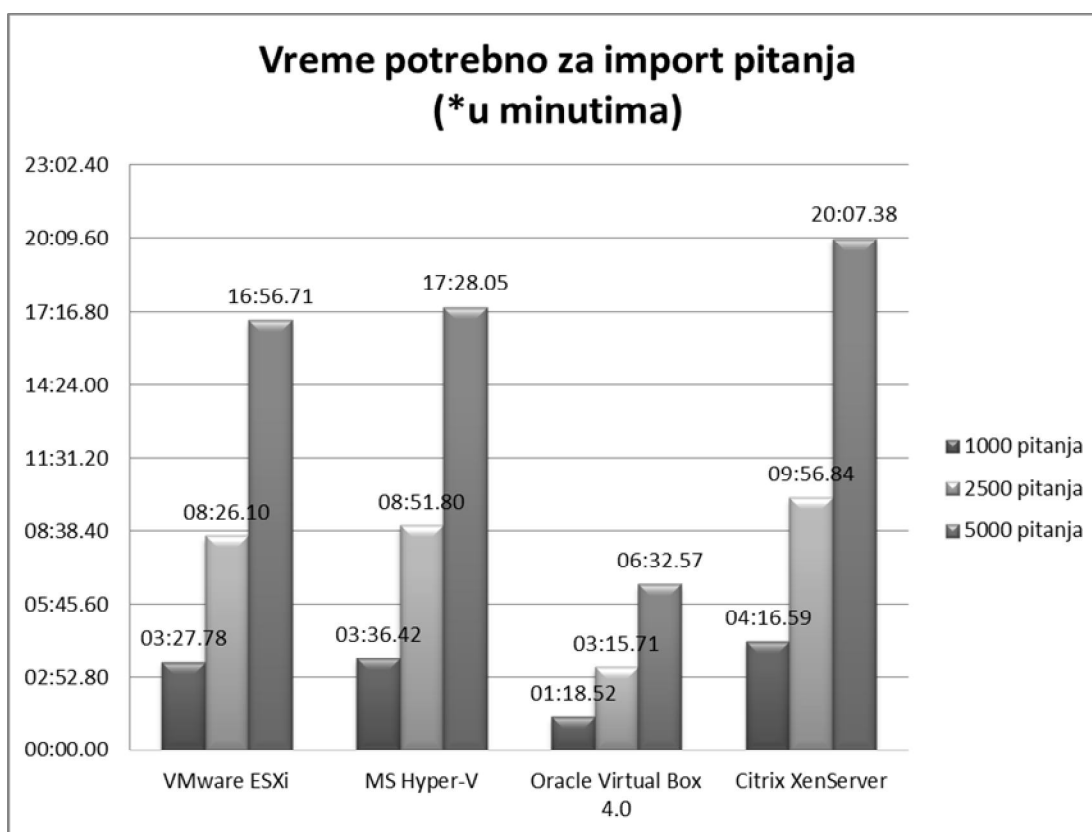
Slika 69. Zauzeće RAM memorije pre i nakon završenog testa

4.3 Upoređivanje rezultata i izbor optimalne virtualizacione platforme

Kako je već naglašeno, opterećenje procesora, tačnije 4 virtualna procesora koliko je bilo dodeljeno virtualnim mašinama, bilo je gotovo identično kod svih proizvođača za virtualizaciju. Podjednako su bila opterećena sva 4 virtualna procesora.

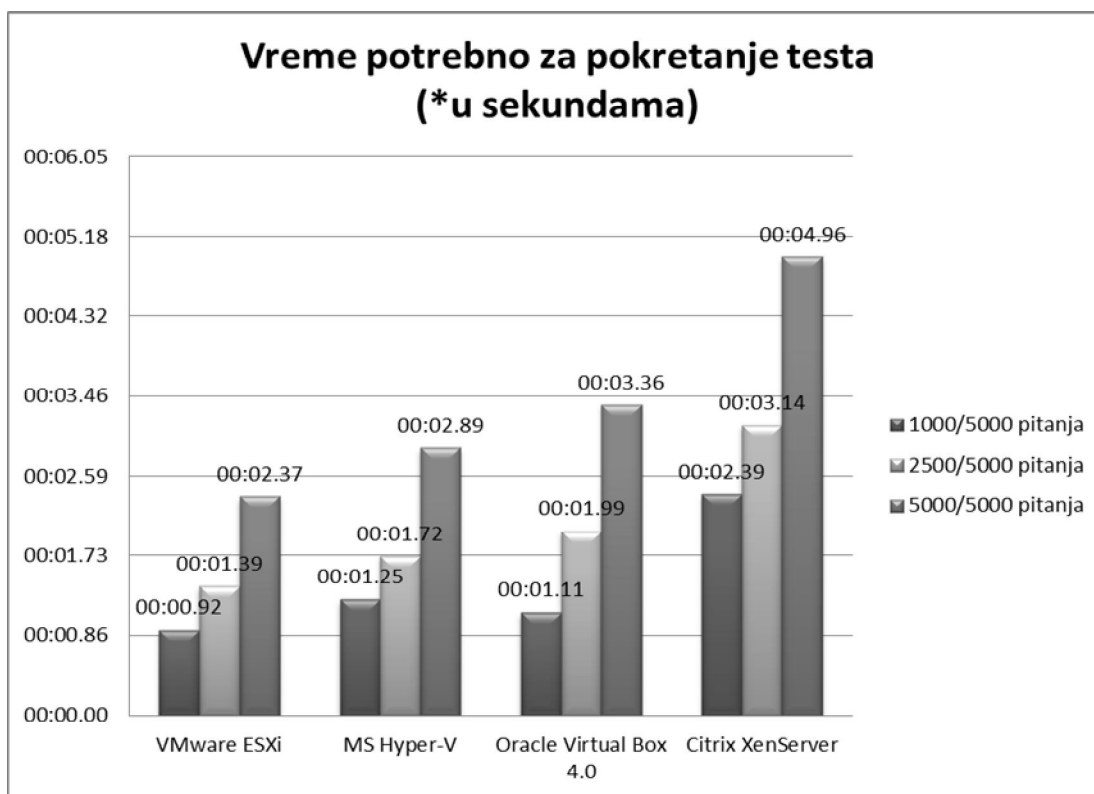
Što se tiče upoređivanja zauzeća radne memorije i vremena potrebnog za import, odnosno pokretanje testa sa velikim brojem pitanja, autor ovog rada se opredelio da uporedi proizvode sa najboljim rezultatima svakog od proizvođača.

Uporedni prikaz vremena potrebnog za importovanje velikog broja pitanja, tačnije, rezultati sa najboljim vremenima svakog od proizvođača se nalaze na slici 70, dok se uporedni prikaz vremena potrebnog za pokretanje testa sa velikim brojem nasumično odabranih pitanja i redosleda odgovora nalazi na slici 71.



Slika 70. Uporedni prikaz vremena potrebnog za import pitanja

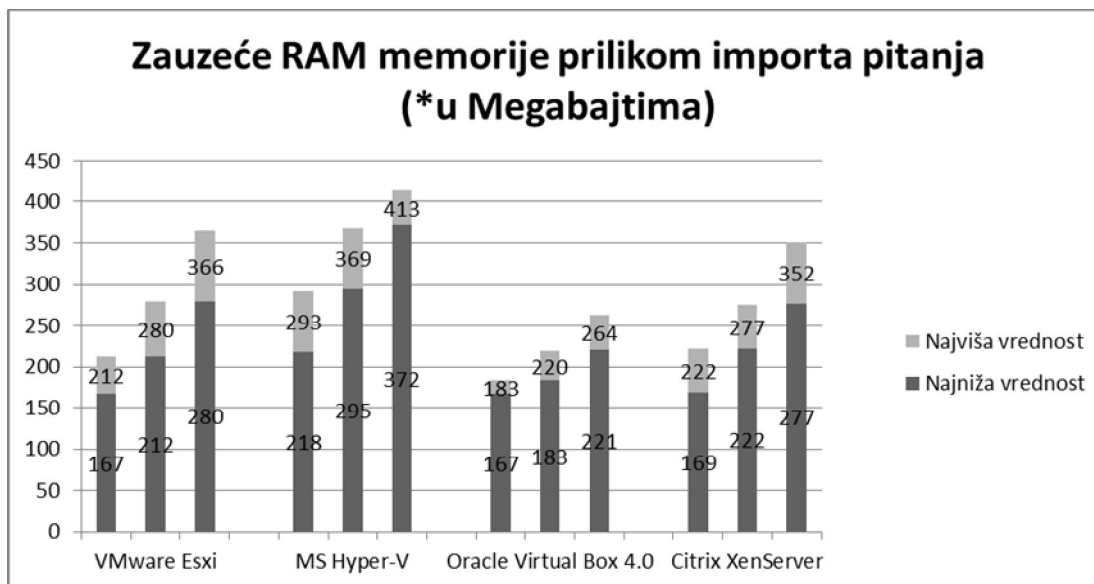
Iz priloženog se može zaključiti da je najmanje vremena, gotovo tri puta manje, potrebno Oracle Virtual Box-u 4.0 u odnosu na druge proizvode. Ovaj proizvod za virtualizaciju se znatno bolje pokazao i od svog prethodnika Sun Virtual Box 3.1 (brži za 20-30%). Zatim gotovo iste rezultate beleže VMware ESXi i Microsoft Hyper-V.



Slika 71. Uporedni prikaz vremena potrebnog za pokretanje testa

Sa ovog dijagrama se može zaključiti da najbolji odziv na zahtev korisnika koji pokreće test ima VMware ESXi, zatim Microsoft Hyper-V.

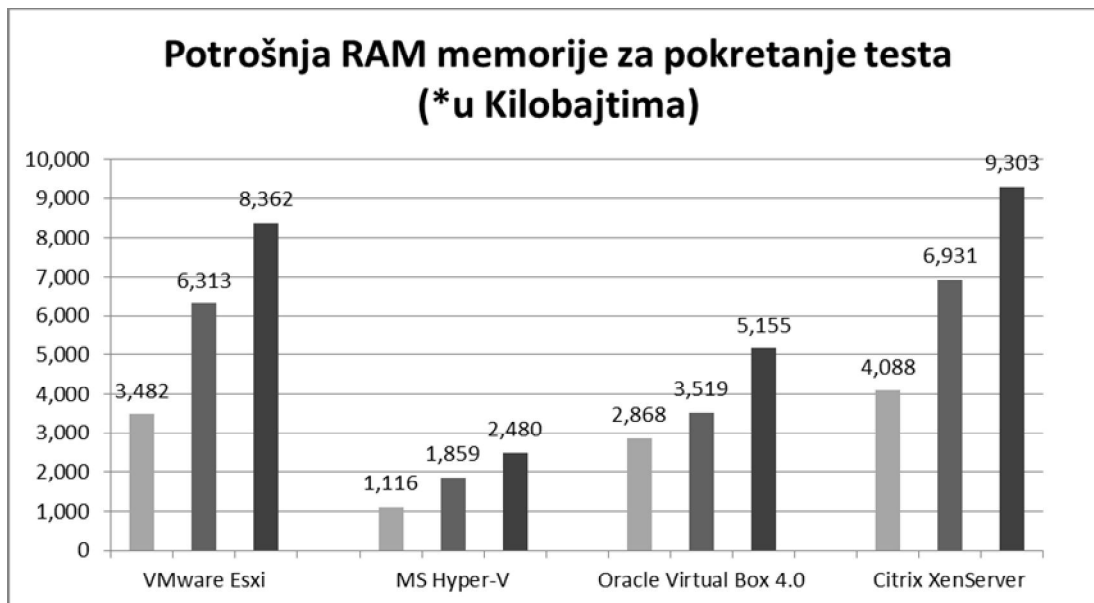
Uporedni prikaz zauzeća radne memorije prilikom importa velikog broja pitanja u sistem nalazi se na slici 72.



Slika 72. Uporedni prikaz zauzeća radne memorije

Iz priloženog dijagrama jasno se vidi da Oracle Virtual Box 4.0 zauzima najmanje radne memorije, dok je najveći potrošač Microsoft Hyper-V.

Uporedni prikaz potrošnje radne memorije po pokrenutom testu sa 1000, 2500 ili 5000 pitanja nalazi se na slici 73.



Slika 73. Potrošnja radne memorije po pokrenutom testu

Sa dijagrama na slici 73., može se primetiti da je potrebno dva do tri puta manje radne memorije Microsoft-ovom proizvodu za virtualizaciju Hyper-V za razliku od ostalih proizvoda.

Analizom ukupnih rezultata, došli smo do sledećih podataka:

- **VMware ESXi** Kao najbolje rešenje se pokazao prilikom brzine odziva pri pokretanju testova sa velikim brojem pitanja.
- **Microsoft Hyper-V** Kao najbolje rešenje se pokazao prilikom potrošnje radne memorije prilikom pokretanja testova sa velikim brojem pitanja.
- **Oracle Virtual Box 4.0** Kao najbolje rešenje se pokazao prilikom brzine importovanja pitanja i potrebne radne memorije.

5 ZAKLJUČAK

Ukupni rezultati pokazuju da je Oracle Virtual Box 4.0 možda i najbolji proizvod za virtualizaciju koju umanjuje njen uticaj na performanse virtualnih mašina. Ali kako ovaj softver spada u red besplatnih proizvoda koji se koriste samo za nekomercijalnu upotrebu i ne poseduje dodatne opcije kao što su migracija, klastering, snapshot, sistemski backup i dr., za potrebe Univerzitetskog Sistema za elektronsko testiranje, ovaj proizvod ne bi bio dobro rešenje. Ostala tri proizvoda uz odgovarajuću finansijsku naknadu nude mnogo više opcija, pre svega bezbednosnih, zatim za monitoring i lakšu administraciju i dr.

Rezultati Citrix XenServer-a po autoru ovog rada nisu opravdali očekivanja i iz ugla administratora ovo rešenje je dosta komplikovano za implementaciju, samu upotrebu i manipulaciju virtualnim mašinama i potrebno je dosta vremena za uhodavanje i sitna podešavanja.

Proizvod lidera na svetskom tržištu VMware-a, konkretno njihovog ESXi je pokazao zavidne performanse prilikom testiranja i najkonstantniji je od svih proizvoda. Njegova prednost se ogleda u tome što je to besplatna platforma, dok je za ostale dodatke kao što su migracija, podešavanje backup-a i sl., potrebno izdvojiti popriličnu sumu novca.

Sa druge strane Hyper-V kompanije Microsoft, proizvod druge generacije koji dolazi u sklopu operativnog sistema Windows Server 2008 ili Windows Server 2008 R2, se takođe pokazao kao rešenje koje je veoma uspešno odgovorilo na sve zahteve i čiji su rezultati testiranja bili ujednačeni. Uz odgovarajuću finansijsku naknadu za nabavku licence za Windows Server 2008(R2) koja je znatno niža u odnosu na VMware ESXi, dobijaju se svi potrebni dodaci. Administracija je znatno olakšana i automatizovani su ključni procesi za očuvanje bezbednosti. Univerzitet Singidunum je član MSDN AA (Microsoft Developer Network Academic Alliance) programa na nivou IT Pro-Platinum. Kao član programa, Univerzitet je pretplaćen na korišćenje platformi i servera kompanije Microsoft, kao i razvojnih alata, stoga je ovaj proizvod krajnje besplatan kao i svi prateći alati koji se vremenom mogu pojaviti kao nadogradnja.

Autor ovog rada se opredelio za Microsoft Hyper-V, između ostalog i zbog toga što ima najviše iskustva sa pomenutim proizvodom koji je iz ugla sistem administratora najzahvalnije rešenje. Lako i brzo se može implementovati u svako okruženje, hardverski je zahtevan koliko i drugi proizvodi za virtualizaciju, a glavna odlika su mu lako manipulisane virtualnim mašinama, klastering, migracija virtualnih mašina, sistemski backup i dr.

6 LITERATURA

- [1] M. Veinović, G. Šimić, *Uvod u baze podataka*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2010.
- [2] M. Veinović, A. Jevremović, *Uvod u računarske mreže*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2008.
- [3] M. Šarac, *Informacione tehnologije i računarske mreže, fizičko i virtualno okruženje datacentra*, Master rad, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2008.
- [4] A. Jevremović, *Informacioni sistem univerziteta*, Magistarski rad, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2007.
- [5] Veinović, M. Šarac, D. Radovanović, M. *Analiza procesa virtuelizacije*, VI naučni skup Sinergija, Bijeljina, 2010.
- [6] M. Veinović, M. Šarac, *Analiza performansi i bezbednosti fizičkog i virtuelnog datacentra*, Singidunum revija Vol.5/No.2, Beograd, 2008.
- [7] G. Šimić, A. Jevremović, *Studija slučaja: UNIS.MULTITUTOR*, Singidunum revija Vol.5/No.1, Beograd, 2008.
- [8] G. Šimić, A. Jevremović, T. Radojević, *Unapređenje provera znanja studenata korišćenjem elektronskog testiranja*, Singidunum revija Vol.6/No.1, Beograd, 2009.

7 INTERNET STRANICE

<http://www.sk.rs/2008/04/skse01.html>
http://www.link-elearning.com/lekcija-Uklju%C4%8Divanje-dizajna-razmatranja_1308
<http://novabezbednost.com/2011/06/bezbednost-informacionih-sistema/>
http://bs.wikipedia.org/wiki/Ra%C4%8Dunarske_mre%C5%BEE#Klijent-server
<http://en.wikipedia.org/wiki/Virtualization>
<http://www.gartner.com/technology/summits/na/it-operations/>
<http://en.wikipedia.org/wiki/VMware>
<http://www.microsoft.com/virtualization/en/us/why-microsoft.aspx>
<http://www.citrix.com/English/ps2/products/feature.asp?contentID=2300351>
<http://www.oracle.com/us/technologies/virtualization/oraclevm/061976.html>
<http://www.adc.com/Attachment/1270711929361/102264AE.pdf>