

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE U VARAŽDINU

Vjekoslav Dalić

**Analiza uvođenja virtualne infrastrukture te studija isplativosti implementacije unutar  
obrazovnih ustanova**

Zagreb, 2009.

Ovaj rad izrađen na Fakultetu organizacije i informatike u Varaždinu, pod vodstvom prof. dr. sc. Željka Hutinskog i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2008/2009.

## Popis i objašnjenje kratica

**CMS** (engl. Content Management System) - sustav za upravljanje web sadržajem

**CPU** (Central Processing Unit) - elektronički sklop koji može izvršavati instrukcije programa

**DNS** (eng. Domain Name System) - distribuirani hijerarhijski sustav Internet poslužitelja u kojem se nalaze informacije povezane s nazivima domena, tj. o povezanosti IP adresa i njihovih logičkih (simboličkih) imena

**LDAP** (eng. Lightweight Directory Access Protocol) - komunikacijski protokol za dodavanje i modifikaciju podataka unutar adresne baze podataka. Ovaj protokol koristi TCP/IP

**RADIUS** (eng. Remote Authentication Dial In User Service) - mrežni protokol koji omogućava autentikaciju i autorizaciju korisnika kod spajanja na mrežne servise

**SLA** (eng. Service Level Agreement) – ugovor o razini pružanja usluge

**TCO** (eng. *Total cost of ownership*) – ukupna cijena vlasništva dobara (predstavlja vrijednost svih troškova nekog IT dobra tijekom njegovog životnog vijeka)

**ROI** (eng. Return On Investment) - povrat od uloženog ukupnog kapitala, pokazatelj rentabilnosti odnosno profitabilnosti uloženog kapitala ili investicije

**RAM** (eng. Random Access Memory) - oblik primarne računalne memorije čijem se sadržaju može izravno pristupiti

**SAN** (eng. Storage Area Network) - mreža za spajanje računala na spremišta podataka (spremišna mreža)

**NAS** (eng. Network Attached Storage) - mrežno spojena spremišta podataka

**VLAN** – virtualna mreža koja omogućuje segmentaciju jednog mrežnog sučelja na više podmreža koje ne moraju biti povezane

**VoIP** (eng. Voice over Internet Protocol) - komunikacijska tehnologija koja omogućava prijenos zvučne komunikacije preko internetske mreže

**FIFO** (engl. First In First Out) - metoda prema kojoj prvi element koji uđe u neku strukturu, prvi iz nje i izlazi (koristi se u računovodstvu i informatici)

**RAID** (eng. *Redundant Array of Inexpensive (Independent) Disks*) - metoda kombiniranja više fizičkih diskova u jednu logičku cjelinu

**SCSI** (eng. Small Computer Storage Interface) - spremišni međuspoj za mala računala

**iSCSI** (eng. internet Small Computer System Interface) - standard za korištenje SCSI protokola na TCP/IP mrežama

**OS** - skup osnovnih sustavskih programa koji upravljaju sklopovljem računala (eng. hardware) radi ostvarivanja osnovnih funkcija računala: ulaz, memoriranje, obrada i izlaz podataka

**Load balancing** – tehnika podjele posla između dva ili više računala, mrežnih veza, CPU-a, tvrdih diskova ili ostalih resursa kako bi se optimalno iskoristili resursi, maksimizirao protok podataka i minimiziralo vrijeme odaziva

**AS-IS, TO-BE** - generički pojmovi iz planiranja i upravljanja poslovnim procesima, odnose se na postojeće i buduće stanje nekog sustava ili njegovog podsustava

## Sadržaj rada

<b>POPIS I OBJAŠNENJE KRATICA</b> .....	<b>II</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Problem i predmet istraživanja .....	1
1.2. Ciljevi istraživanja .....	2
<b>2. ANALIZA POČETNOG STANJA</b> .....	<b>3</b>
<b>3. HIPOTEZA</b> .....	<b>5</b>
<b>4. PRIJEDLOG RJEŠENJA POMOĆU VIRTUALIZACIJE</b> .....	<b>6</b>
<b>5. POJAM VIRTUALIZACIJE I VIRTUALIZACIJSKE INFRASTRUKTURE</b> .....	<b>7</b>
5.1. Povijesni razvoj .....	7
5.2. Što je to virtualizacija? .....	9
5.3. Hipervizor (Hypervisor) .....	9
5.4. Što sve možemo virtualizirati? .....	10
5.4.1. Virtualizacija operacijskih sustava.....	10
5.4.2. Virtualizacija aplikacijskih servera.....	10
5.4.3. Virtualizacija sustava za pohranu podataka .....	11
5.4.4. Virtualizacija mrežne infrastrukture .....	11
5.4.5. Virtualizacija računalnog sklopovlja .....	11
5.5. Postojeća virtualizacijska rješenja .....	12
5.6. Virtualizacija u Republici Hrvatskoj .....	14
<b>6. PRIJEDLOG IMPLEMENTACIJE</b> .....	<b>15</b>
6.1. VMware Virtual Infrastructure (VI) .....	15
6.1.2. Definicije .....	15

6.1.3. Komponente VMware Virtual Infrastructure okoline .....	16
<b>7. ANALIZA PRIJEDLOGA IMPLEMENTACIJE.....</b>	<b>18</b>
<b>7.1. TCO/ROI analiza .....</b>	<b>20</b>
7.1.1. Godišnje uštede na amortizaciji sklopovlja poslužitelja.....	21
7.1.2. Električna energija.....	24
7.1.3. Dodatne uštede.....	27
7.1.4. Troškovi migracije .....	28
<b>7.2. Rezultati analize .....</b>	<b>29</b>
<b>8. TESTNA IMPLEMENTACIJA - VS.FOI.HR .....</b>	<b>30</b>
<b>9. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>34</b>
<b>POPIS DODATNIH SADRŽAJA.....</b>	<b>35</b>
<b>POPIS LITERATURE.....</b>	<b>36</b>
<b>SAŽETAK RADA.....</b>	<b>37</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>38</b>

## 1. Uvod

Svjedoci smo tehnološke revolucije koja iz godine u godinu, iz dana u dan, mijenja način življenja i djelovanja u svim područjima ljudske djelatnosti. Primjena računala u današnjem svijetu je sve prisutnija. Internet je postao svakodnevica i alat za rad u gotovo svim aspektima života. Količina podataka kojom rukujemo svakodnevno postaje sve veća. Proporcionalno tome, povećava se broj poslužitelja na koje su svi ti podaci smješteni. Sam smještaj tih podataka postaje sve veći problem, kako u fizičkom smislu, tako u ekološkom i financijskom. Jedno od mogućih rješenja za smanjenje tog problema je virtualizacija. Virtualizacija je nadolazeća tehnologija kojoj je prvenstveni cilj minimalizacija fizičkih resursa s jedne strane, te ušteda energije i očuvanje okoliša s druge, primjenom novih tehnologija iskorištavanja računalnog sklopovlja i aplikacijskog softvera. Neki autori navode da je postotak u kojemu su današnja računala iskorištena jednak otprilike petini (10-17%) njegovih stvarnih mogućnosti [1]. Principi ove tehnologije koriste upravo tu mogućnost računala, da bi na njemu izgradili više virtualnih sustava, koji će imati osobine jednake onim stvarnim fizičkim.

Obrazovne institucije poput fakulteta u današnje vrijeme raspolažu velikom količinom opreme. Svaka ustanova ima svoju mrežu, svoje radne servere i vlastitu računalnu infrastrukturu. Kao student Fakulteta organizacije i informatike, odabrao sam primjer infrastrukture mog Fakulteta, po kojoj ću načiniti model dijela iste takve infrastrukture u virtualiziranoj okolini. Taj model treba dati odgovore na pitanja kao što su:

- isplativost uvođenja,
- relativni postotak dostupnosti,
- sigurnost podataka u virtualiziranoj okolini,
- poboljšanje administracije sustava,
- i druga.

### 1.1. Problem i predmet istraživanja

Unutar svake obrazovne ustanove kao što je Fakultet, djeluje velika količina opreme. Današnja administracija takvih sustava iziskuje mnoge materijalne i ljudske resurse. Svake godine na Fakultetu se dodaje više poslužitelja što iziskuje nove prostore, energetske i ljudske

resurse, i samim time i nove materijalne izdatke. Potrošnja struje, zauzimanje novog fizičkog prostora, konfiguracija i slično, svakodnevna su pitanja na koja nailazi Uprava jednog takvog fakulteta. Informatički fakultet bitan je u ovom istraživanju zbog toga što je kod ovakvih ustanova povećana potreba za računalnim resursima budući je ona na njima potrebna i za edukaciju studenata, testiranje konfiguracija i slično. Takva testiranja ponekad mogu dovesti do pada dijela računalnog sustava, pa čak i pada cijelog poslužitelja. To od administratora sustava zahtjeva ponovno pokretanje poslužitelja a ponekad i prepisivanje sustava sigurnosnom kopijom. U svakom slučaju, zahtjeva trošenje ljudskih i materijalnih resursa.

Predmet istraživanja u ovom radu prvenstveno su ekonomski učinci optimizacije jednog ovakvog računalnog sustava pomoću virtualne infrastrukture. Migracija na ovakvu infrastrukturu složen je proces koji zahtjeva brojna mjerenja i ispitivanja, i podrazumijeva potpunu promjenu filozofije rada računalnog sustava u cjelini. No, potreba za takvom optimizacijom je očita, prvenstveno radi toga što virtualna infrastruktura povećava sigurnost podataka, pomaže ostvarenju veće dostupnosti sustava (High Availability), omogućava centralizirano upravljanje cijelim računalnim sustavom, omogućava centralizirani sustav baze podataka, osigurava lakšu i efikasniju migraciju podataka s jednog mjesta na drugo, a nudi jednake mogućnosti kao i fizička infrastruktura.

## **1.2. Ciljevi istraživanja**

Shodno prethodno izrečenom opisu, cilj ovog rada je istražiti može li migracija postojećeg računalnog sustava na virtualnu infrastrukturu povećati učinkovitost njegovog rada pružajući u skladu s time veću dostupnost sustava i veću raspoloživost računalnih resursa. Cilj istraživanja nadalje je izgraditi testnu implementaciju evaluacijskog softvera na jednom poslužitelju radi ispitivanja kvalitete softverskog rješenja i primjernog prikaza njegovog rada.

Rezultati istraživanja pokazat će mogućnosti koje nudi virtualizacijska tehnologija i dati odgovore na pitanja fleksibilnosti takvog sustava.

Istraživanje ima za cilj procijeniti troškove i isplativost uvođenja virtualizacijske tehnologije unutar visoke obrazovne ustanove te dati procjenu vremena koje je potrebno za povratak investicije. Kako ova tehnologija u obrazovnim ustanovama Republike Hrvatske još nije implementirana, cilj istraživanja je skrenuti pažnju na pripreme koje je potrebno izvršiti kako bi se ona mogla provesti te na taj način pomoći službama koje se bave implementacijom i administracijom informacijskih sustava unutar obrazovne ustanove.



## 2. Analiza početnog stanja

Analiza početnog stanja utvrđena je intervjuiranjem Centra za informatičku podršku na Fakultetu organizacije i informatike u Varaždinu. Utvrđeno je da se na 16 poslužitelja odvija rad informacijskog sustava Fakulteta. Ta je brojka odabrana za izgradnju referentnog modela po kojem je izrađena analiza isplativosti migracije na virtualizacijsku infrastrukturu. U odabiru poslužitelja velika pažnja posvećena je analizi iskorištenosti ovih poslužitelja, te je utvrđeno kako 5 poslužitelja ima visoku frekvenciju korištenja, dok su ostali poslužitelji u upotrebi samo u određenim dijelovima godine. Kako poslužitelje s visokim opterećenjem čine između ostaloga mail poslužitelj, baza podataka, e-learning sustav, CMS stranice Fakulteta te DNS poslužitelj s LDAP bazom i RADIUS protokolom za prijavljivanje na bežičnu mrežu Fakulteta, također je bitno da oni budu dostupni tijekom cijele godine (365 dana, 7 dana u tjednu, 24 sata na dan). Drugi dio infrastrukture čine poslužitelji koji su u znatno manjoj mjeri iskorišteni, a u gotovo jednakom omjeru troše resurse električne energije, energije iskorištene za rad i hlađenje, fizički prostor i vrijeme potrebno za administraciju. Postavlja se pitanje je li moguće te resurse iskoristiti kako bi potpomogli radu opterećenih poslužitelja te dio svojih slobodnih resursa dodijelili njima u svrhu veće stabilnosti, iskoristivosti, te otpornosti sustava na moguće greške koje se javljaju u svakom računalnom okruženju.

Na području iskorištenja podatkovnog prostora utvrđeno je također kako je na nekim poslužiteljima iskorištenost veća od 80%, što dodatno usporava rad koji je već usporen zbog velikog broja korisničkih zahtjeva za isporukom podataka. Drugi dio poslužitelja, koji se koriste kao sekundarni poslužitelji za vitalne dijelove infrastrukture, imaju slabu ili vrlo slabu iskorištenost diskovnog prostora. Taj slobodni prostor također troši resurse te bi se mogao prenamijeniti.

Kroz intervju s djelatnicima Centra za informatičku podršku došlo se do podatka kako je dostupnost poslužitelja tijekom jedne godine nešto niža od 95,5%, što znači da su poslužitelji vremenski nedostupni 3,6 sati mjesečno. Za uvođenje i instalaciju novog poslužitelja u sustav prosječno je administratorima potrebno 10 sati rada, dok se za dobavljanje istog na isporuku čeka do 60 dana. Utvrđeno je i kako prosječno 50% radnih sati administratora čini podrška korisnicima informacijskog sustava, 10% uklanjanje pogrešaka u sustavu. Na raspoloživost i performanse sustava troši se prosječno 5% vremena, dok ostatak od 35% čine menadžment sigurnosti i upravljanje razmještajem sredstava za rad. Poslužitelji na Fakultetu organizacije i informatike dislocirani su na tri različite lokacije u dvije odvojene

zgrade, što dodatno otežava rad administratora jer je ponekad potrebno kvar riješiti na licu mjesta. Dio vremena administracije, dakle, u nekom slučaju treba odvojiti i za odlazak do poslužitelja koji se nalazi u drugoj zgradi.

Kako se iz analize početnog stanja da zaključiti, postoji dosta prostora za optimizaciju ovakvog sustava. Najprije se ovdje misli na povećanje dostupnosti računalnog sustava. Trend koji je prisutan unutar ICT industrije kod potpisivanja Ugovora o razini usluge popularno se naziva "five nines". Taj izraz znači da se davatelj usluge obvezuje kako će implementacija njegovog rješenja biti dostupna 99,999% vremena, što znači da je vrijeme u kojem je poslužitelj nedostupan 5,26 minuta godišnje. Ako usporedimo taj broj s ranije navedenim postotkom od 95,5%, može se zaključiti kako ovdje ima puno prostora za optimizaciju.

Isto tako, vrijeme koje je potrebno kako bi naručeni poslužitelj stigao u posjed djelatnika CIP-a od 60 dana nije prihvatljivo budući je to pola vremena trajanja jednog semestra, a ponekad je postavljanje novog poslužitelja u računalnu infrastrukturu potrebno izvesti u puno kraćem roku, posebno ako se radi o projektima koji imaju kraći krajnji rok završetka. Uz pomoć virtualizacije isporuku novog poslužitelja moguće je postići u samo nekoliko minuta.

Ponekad do pada poslužitelja dolazi zbog istovremenog posjeta do tisuću korisnika, te je za povratak takvog poslužitelja u rad potrebno do 4 sata. Sukladno tome, za to je vrijeme rad na tom poslužitelju onemogućen svim tim korisnicima. Studenti tijekom polaganja kolokvija i rješavanja tjednih zadaća ponekad iste trebaju riješiti preko e-learning sustava na koji se povezuju preko internetske veze te je u tom slučaju dostupnost sustava vrlo bitna stavka. Vrijeme od 4 sata povratka poslužitelja u rad vrlo je dugo i ono se mora minimalizirati kako bi sustav kod pada u što kraćem roku mogao opet normalno funkcionirati.

Nakon što sam utvrdio početno stanje računalne infrastrukture i snimio funkcionalnost informacijskog sustava obrazovne ustanove, uvidio sam da postoji potreba za optimizacijom. Odabrao sam način optimizacije pomoću implementiranja virtualne infrastrukture, te iz toga postavio hipotezu.

### 3. Hipoteza

Hipoteza: Primjenom virtualizacijske tehnologije optimizirat će se informacijska infrastruktura, a da se funkcionalnost rada informacijskog sustava neće promijeniti. Time će se ostvariti znatne uštede na prostoru potrebnom za smještaj poslužitelja, električnoj energiji, te obujmu administracije.

Za dokaz hipoteze potrebno je prethodno definirati pojmove virtualizacijskog modela računalne infrastrukture. Posebice se to odnosi na virtualizaciju računalnog sklopovlja, mrežne infrastrukture, te aplikacijskog softvera. Istraživanje za ovakvu promjenu računalne infrastrukture možemo podijeliti na dva dijela. Prvi dio je ekonomska analiza isplativosti projekta koju podupire formalna TCO/ROI metoda (povrat na uložena sredstva), dok je drugi dio studija implementacije modela virtualizacijske infrastrukture u akademskoj ustanovi - Fakultetu. U TCO/ROI studiji u okvir razmatranja stavit će se problemi radnog okruženja (trenutna iskorištenost poslužitelja, problem hlađenja, te cjelokupni fizički prostor koji zauzima podatkovni centar obrazovne ustanove), administracija (trenutni broj administratora s obzirom na broj poslužitelja, prosječan trošak administracije svakog poslužitelja) i cijene sustava za pohranu podataka (koliko je neiskorištenog prostora na postojećim poslužiteljima). Pod implementacijom virtualizacijskog rješenja smatra se dizajniranje nove IT infrastrukture, dizajn mreže i instalacija aplikacije virtualizacijske programske podrške na postojeću sklopovsku podršku obrazovne ustanove.

Za potrebu ovog istraživanja bit će objavljeni zaključci i rezultati intervjua s administratorima jedne obrazovne ustanove, kako bi se što realnije procijenio obujam i kompleksnost migracije te u praktičnom dijelu ispitala iskoristivost virtualnih sustava. Od tvrtke proizvođača softvera za virtualizacijsku infrastrukturu, biti će korištena evaluacijska verzija programa na kojem takav sustav počiva.

Očekuje se da će rezultati istraživanja pokazati koji su to kritični faktori uspješnosti primjene virtualne infrastrukture, kako bi se planiranjem odgovora na povećanje stalnih potreba za novim računalnim resursima omogućilo brzo implementiranje istih na osnovu predloženog modela. Smatrat će se da je hipoteza potvrđena ukoliko rezultati analize dokaza pretpostavke budu zadovoljavajući s jedne strane, te ukoliko se procijeni da je migracija obrazovne ustanove na virtualnu infrastrukturu potrebna.

## 4. Prijedlog rješenja pomoću virtualizacije

Danas se na tržištu mogu pronaći mnoga rješenja koja bi ovu početnu računalnu infrastrukturu mogla djelomično optimizirati. Od spajanja poslužitelja u klastere kako bi se postigla visoka dostupnost sustava, pa sve do iskorištavanja energije sunca upotrebom solarnih ćelija. Postoje i mnogi drugi načini kojima se postižu uštede u određenim segmentima infrastrukture. Problem je u tome što svaki od spomenutih načina infrastrukturu optimizira samo djelomično. Zbog toga je moje rješenje optimizacije ovog računalnog sustava virtualizacija. Tvrdim da niti jedan od ranije spomenutih tipova optimizacije ne obuhvaća sva područja u kojima su uštede moguće koliko to čini virtualizacija. U području potrošnje električne energije virtualizacijski sustavi minimaliziraju fizičke resurse čime se automatski smanjuje potrošnja. Upotrebom posebnih virtualizacijskih mehanizama postiže se visoka dostupnost sustava, povećava se sigurnost poslužitelja te ubrzava administracija.

Odabrao sam metodu virtualizacije zbog toga što ona uzima sve fizičke resurse koji su na raspolaganju i smatra ih jednom cjelinom. Na samom administratoru dalje ostaje da rasporedi tu cjelinu na zadatke koje njegov sustav treba odrađivati i dinamički rasporedi te resurse ovisno o zahtjevnosti svakog pojedinog zadatka. Ukoliko nakon određenog vremena dođe do prevelike opterećenosti trenutne virtualizacijske okoline, sustav se može lako nadograditi novim poslužiteljem čiji će resursi biti raspoređeni prema trenutnim zadacima sustava i omogućiti kreiranje novih virtualnih poslužitelja ukoliko se za tim ukaže potreba. Tako će implementacija virtualizacije na modelu koji se u ovom radu promatra pridonijeti poboljšanju sustava na svim područjima na kojima za to postoji osnova.

## 5. Pojam virtualizacije i virtualizacijske infrastrukture

### 5.1. Povijesni razvoj

Sredinom 1960-ih godina IBM je pokušao implementirati u M44/44X projektu prvi sustav s podjelom vremena. Glavno računalo bio je IBM 7044 (M44), a svako virtualno računalo (VM) bilo je eksperimentalna slika glavnog računala (44X). Ono je simuliralo više 7044 računala unutar jednog fizičkog. Taj sustav bio je implementiran preko multi-programiranja i virtualne memorije i smatra se prvim računalom u kojem je implementiran CTSS (Compatible Time-Sharing System) razvijen na MIT-u. CTSS je imao kontrolu nad I/O konzolom, rasporedom redosljeda poslova (sistemskih i korisničkih), privremenom memorijom, diskom, i imao je direktnu kontrolu nad pozivima prekida. Nakon tog računala, IBM je nastavio sa stalnim razvojem i implementacijom CTSS sustava i u drugim računalima poput CP-40, CP-67, VM/360 i drugim. Sva ta virtualna računala bila su identične kopije svojih domaćina. Kroz VMM (Virtual Machine Manager), koji se pokretao na "fizičkom" sklopovlju, bilo je moguće kreirati virtualna računala, i svaka instanca virtualnog računala mogla je imati svoj vlastiti operacijski sustav. VMM je bio sloj softvera koji je omogućavao iluziju pravog računala za svako virtualno računalo posebno. [2,3]

Tijekom 1980-ih i 1990-ih godina, virtualizacija se nije razvijala zbog toga što su se u to vrijeme počeli razvijati dosta jeftini x86 poslužitelji na kojima su se razvile klijent-server aplikacije te distribuirani (remote) rad na računalu. Široka upotreba Microsoft Windowsa i Linuxa kao poslužiteljskih operacijskih sustava x86 arhitekturu postavila je de facto kao standard u IT industriji. Budući su serveri bili dovoljno jaki da podrže klijent-server aplikacije, virtualizacija jednostavno nije bila potrebna. IBM-ova virtualizacijska rješenja u tom vremenu bila su (a takva su manje-više i danas) vrlo robusne platforme poznatije kao IBM mainframe računala koja su svojom cijenom profit mogle donijeti samo velikim proizvodnim organizacijama. Mainframe računala zadržala su se do današnjih dana, ali se njihova upotreba sve više i više smanjuje dijelom zbog veličine glavnog računala te visoke cijene. Sa x86 poslužiteljima stvorena je nova IT infrastruktura i novi izazovi. Neki od njih bili su:

- Slaba (niska) iskorištenost infrastrukture - organizacije radi stabilnosti sustava obično pokreću jednu aplikaciju po serveru kako bi se minimizirali sigurnosni rizici međusobnog utjecaja jedne aplikacije na drugu
- Stalno povećanje troškova za nove poslužitelje i ostalu infrastrukturu
- Povećanje troškova IT menadžmenta - kako raste računalna infrastruktura, tako se povećava i potreba za novim sistemskim inženjerima i administratorima, za obrazovanjem radnika, i slično
- Postotak godišnje nedostupnosti poslužitelja
- Kako svojom infrastrukturom pratiti rapidan razvoj novih aplikacija
- i drugi.

Ova i druga slična pitanja dovela su do nastanka posebne grane informacijske djelatnosti koja se danas naziva virtualizacija.

Krajem 1990-ih godina u Kaliforniji je osnovana tvrtka VMware Inc. koja je 1999. godine izdala prvi virtualizacijski softver, VMware Workstation koji se instalirao unutar "host" operacijskog sustava, a omogućavao je podizanje više instanci x86 i x86-64 virtualnih računala. VMware Workstation bio je dostupan za instalaciju na svim operacijskim okruženjima (poput Windowsa, Linuxa i drugih), a isti su se mogli instalirati i unutar samog softvera. Tu godinu možemo smatrati početkom razvoja virtualizacije kakvu poznajemo i danas. Dvije godine kasnije VMware je izdao prvu inačicu ESX Servera i time se uključio u virtualizaciju poslužitelja. O VMware ESX Serveru posebno će se govoriti unutar ovog rada, budući je probna implementacija virtualne infrastrukture napravljena upravo na tom sustavu. Osim VMware-a, danas postoje određeni separativni pristupi virtualizacijskim rješenjima poput onih open-source zajednice, a isto tako se i Microsoft predstavio u virtualizacijskom svijetu sa Microsoft Hyper-V Server 2008 tehnologijom koja zbog svojeg ranog stadija razvitka (nešto više od godine dana) u ovom radu neće biti detaljnije razmatrana. Xen je projekt koji je nastao početkom 21. stoljeća na Sveučilištu Cambridge i prva njegova inačica izdana je 2003. godine pod GNU GPL licencom kao besplatni softver. Danas Citrix Systems izdaje licencu za Xen, a u projekt su uključene mnoge velike tvrtke poput Citrixa, IBM-a, Intela, HP-a, Novell-a i drugih. Svaka od ovih tvrtki nudi Xen hipervizor (hypervisor) kao svoje rješenje za virtualizaciju. Smatra se da je virtualizacija jedna od najviše razvijanih grana IT industrije u posljednje dvije godine, i da će potpuno promijeniti način na koji upravljamo informacijskom tehnologijom.[4]

## 5.2. Što je to virtualizacija?

Ne postoji genetička definicija virtualizacije, no možemo reći da je virtualizacija udruživanje i podjela tehnoloških resursa, uključujući servere, spremišta podataka i mreže. Uz pomoć virtualizacije, resursi mogu biti dinamički posloženi unutar organizacije. Unutar virtualizacijske okoline, logičke funkcije servera, sustava za pohranu podataka i mrežne opreme, odvojene su od njihovog fizičkog smještaja. To omogućava da alokaciju elemenata ovakvog sustava (ručnu ili automatsku) provodimo točno prema potrebama okoline za koju sustav radi. Takav način rada pridonosi velikim uštedama, ekološkoj svijesti, te pruža potpuno prilagodljivu radnu infrastrukturu. Još jedna od prednosti takvog načina rada je višestruka iskoristivost dijeljenih resursa te orijentiranost resursa prema trenutnim zadacima sustava. [14,16]

## 5.3. Hipervizor (Hypervisor)

Hypervisor, poznat i kao VMM (Virtual Machine Manager/Monitor), glavni je program koji omogućava različitim operacijskim sustavima podjelu hardverskih resursa unutar jednog računalnog sklopovlja (domaćina). Hipervizor omogućava svakom pojedinom operacijskom sustavu njegov vlastiti procesor, memoriju i druge resurse potrebne za rad, distribuirajući ih pri tome prema točno određenim zahtjevima svakog pojedinog virtualnog računala. Postoje dva osnovna tipa hipervizora:

- Hipervizor bez domaćina (Bare metal/Native hypervisor) - softverski sustav koji se pokreće direktno na domaćinu, a kontrolira hardver i nadgleda gostujući operacijski sustav koji je na višem sloju od samog hipervizora, i
- Gostujući hipervizor (Embedded/Host Hypervisor) - aplikacije koje se pokreću unutar uobičajene okoline operacijskog sustava. Budući hipervizor predstavlja poseban sloj aplikacije, a gostujući operacijski sustavi djeluju tek na trećoj razini.

Može se reći da Hipervizor predstavlja "mozak" svake virtualizacijske okoline. [16]

## **5.4. Što sve možemo virtualizirati?**

Kada govorimo o virtualizaciji, prva stvar koju je potrebno definirati je koji svi tipovi virtualizacije postoje. Općenito govoreći, postoje tri osnovna tipa virtualizacije: virtualizacija operacijskih sustava, virtualizacija sustava za pohranu podataka, te virtualizacija aplikacija. Ova podjela je dosta općenita, i okvirno predstavlja samo ključne aspekte virtualizacije podatkovnih sustava. Da bismo lakše razumjeli sličnosti i razlike između ova tri osnovna aspekta, pojasnit ću u daljnjem tekstu neke od osnovnih ideja virtualizacije.

### **5.4.1. Virtualizacija operacijskih sustava**

Ovaj tip virtualizacije najrasprostranjeniji je u današnje vrijeme. Virtualni operacijski sustavi (ili virtualne mašine) već danas su uobičajeni dio infrastrukture modernih IT sustava. Koriste ih i mnogi studenti te razvojni programeri, kako bi olakšali rad na određenim kompaktnim cjelinama, i rasteretili rad svog računala. Virtualna računala (VMs) obično su pune implementacije standardnih operacijskih sustava poput Windows XP i Debiana, koje su istovremeno pokrenute na istom fizičkom sklopovlju. Svakom od tih VM-a korisnik upravlja preko centraliziranog programa za upravljanje (Virtual Machine Manager, VMM). Paralelnim korištenjem više VM-a, smanjena je potrošnja električne energije, te potreba za stalnim dodavanjem novih fizičkih komponenti poput servera, kablova, itd., te tako i potreba za fizičkim prostorom koji bi zauzimale te komponente.

### **5.4.2. Virtualizacija aplikacijskih servera**

U novijoj budućnosti, sve je više govora o "cloud computing"-u. Ovdje se radi o tome da korisnik ne mora imati lokalno instalirane aplikacije, već ih koristi kao internetske servise (SaaS - Software as a Service). Uloga korisnikovog računala je u tome da on daje CPU i RAM koji je potreban za pokretanje programa, ali nikakve instalacije nisu potrebne na računalu, već se sve odvija u tzv. "oblaku". To omogućava da u isto vrijeme više klijenata kroz preglednik koristi istu aplikaciju. Primjer ovakvog rada je Softgrid razvijen u Microsoftu. Isto tako, ovakva infrastruktura omogućava da na jednom fizičkom serveru budu pokrenuti proxy server, mail server, itd.



### **5.4.3. Virtualizacija sustava za pohranu podataka**

Ovaj tip virtualizacije možemo promatrati kroz dvije osnovne cjeline: to su SAN (Storage Area Network) i NAS (Network Attached Storage). To su distribuirane mreže sustava za pohranu podataka koje djeluju kao jedan fizički uređaj. Prednost ovakve implementacije je što bez obzira na fizičku smještenost takvih sustava, te logičku podjelu blokova među njima (kao što su particije itd.), virtualno možemo kreirati RAID i iSCSI sustave točno prema našim potrebama, koje ne moraju uopće odgovarati fizičkom smještaju i lokaciji ovakvih sustava.

### **5.4.4. Virtualizacija mrežne infrastrukture**

Mrežna virtualizacija predstavlja nešto što smo do sada imali priliku vidjeti na ruterima u obliku subinterface-a, i switchevima u obliku VLAN-ova. VLAN je tipičan primjer IP virtualizacije gdje jedno fizičko mrežno sučelje ima mogućnost preko VLAN tagova segmentirati promet prema više računala-domaćina koji nisu (u pravilu) u istoj mreži. Svaka IP konekcija koja prolazi kroz jedno fizičko mrežno sučelje nezavisna je od druge, ali preklopnik svaku od njih gleda i upravlja s njom kao da je zasebno mrežno sučelje. Drugi primjer su virtualne usmjerne tablice. U Linuxu još od davnih vremena postoje virtualna mrežna sučelja (eth0:1 ...), ali su informacije o usmjeravanju podataka smještene u samo jednu usmjernu tablicu. To znači da imamo vezu 1:1 (1 fizički port - 1 usmjerna tablica). Kod virtualne mrežne infrastrukture svako virtualno mrežno sučelje ima svoju zasebnu usmjernu tablicu iako je fizički vezano uz samo jedan port. Dakle dobili smo vezu 1:N. To nam olakšava da prilikom promjene mrežne konfiguracije, migracije mrežnih segmenata i slično, ostatak mreže zadržava konzistentnost i neometan rad.

### **5.4.5. Virtualizacija računalnog sklopovlja**

Virtualizacija računalnog sklopovlja uvelike je povezana s virtualizacijom operacijskih sustava. Ona zapravo i ovisi o njoj. Koncepti virtualizacije računalnog sklopovlja leže u tome da se njegov učinak maksimalizira. Zamislimo situaciju da raspolažemo jednim fizičkim serverom, no naše potrebe zahtijevaju tri odvojena operacijska sustava. Ti sustavi bit će korišteni paralelno. Zamislimo i da jedan od tih sustava predstavlja mail server, drugi proxy server, a treći VoIP centralu. Nakon instalacije tih triju virtualnih računala trebamo podijeliti resurse. U tom trenutku možemo napraviti dvije stvari. Prva je pre-alokacija fizičkih resursa CPU-a i RAM-a. Ovaj oblik podjele resursa dobar je ukoliko je sustav statičan i nije podložan

velikim promjenama. No zamislimo sada da na VoIP centralu moramo spojiti 500 novih korisnika. Kod pre-alokacije resursa sada dolazi do problema jer VoIP centrala zahtijeva više procesorskog vremena i više radne memorije. U tom trenutku dodatno zahtijevane procesorske operacije za tu VoIP centralu biti će stavljene u FIFO buffer zbog toga što CPU ne može dati više od pre-allociranog procesorskog vremena za taj dio sustava. Za ovakve dinamičke sustave postoji implementacija dinamičke podjele resursa. Ako imamo tako implementirane gore navedene sustave, tada će menadžment virtualne infrastrukture sam dodjeljivati onoliko fizičkih resursa koliko je to svakoj od virtualnih mašina potrebno. Tako će sada VoIP centrala dobiti više resursa i neće doći do usporenog rada tog dijela sustava. [21]

Ovo su samo neki od tipova virtualizacije koje je moguće implementirati u raznim sustavima. Osim njih, postoje još mnogi tipovi kao što su virtualizacija aplikacija, virtualizacija menadžmenta, virtualizacija servisa, i drugi.

## **5.5. Postojeća virtualizacijska rješenja**

Danas u svijetu postoje mnoga virtualizacijska rješenja. Neka od njih nastala su u zajednici otvorenog koda, besplatna su za korištenje i potpuno otvorena za vlastitu modifikaciju, a neka su dostupna u ponudi velikih kompanija koji se bave sistemskom integracijom i operacijskim sustavima. Evaluacijom nekih od tih rješenja došao sam do zaključka da je za virtualnu infrastrukturu obrazovne ustanove najprihvatljivije rješenje ESX server tvrtke VMware Inc. Parametri koji su pridonijeli ovoj odluci odnose se prije svega na modularnost sustava, vrlo dobru sustavsku podršku, te proizvod koji nije ovisan o operacijskom sustavu domaćinu. On omogućava da svaki gostujući operacijski sustav bude bez modifikacije pokrenut u izoliranoj okolini i da djeluje kao zaseban fizički sustav dobivajući pri tome simulirane sklopovske resurse. Kažemo da "sustav ima osjećaj" da je pokrenut na fizičkom sklopovlju. Drugo evaluirano rješenje, Xen, spada u paravirtualizaciju gdje sustav domaćin ne mora neophodno simulirati sklopovlje, već postavlja specijalni API koji se može koristiti kroz modifikaciju gostujućeg operacijskog sustava. Tablica na sljedećoj stranici trebala bi dati konačan dokaz moga izbora.

Tablica 1. Usporedni prikaz virtualizacijskih rješenja [5]

Naziv	Tip virtualizacije	Procesor domaćina	Procesor gosta	OS domaćina	OS gosta	Licenca	Live migracija	Komercijalna podrška
Vmware Workstation	potpuna virtualizacija	x86	x86	Linux, Windows	Windows, Linux, Solaris, BSD...	vlasnička	-	+
Vmware Server	potpuna virtualizacija	x86	x86	Linux, Windows	Windows, Linux, Solaris, BSD...	vlasnička	-	+
Vmware ESX	<b>potpuna virtualizacija</b>	<b>x86</b>	<b>x86</b>	<b>nepotreban</b>	<b>Windows, Linux, Solaris, BSD...</b>	<b>vlasnička</b>	+	+
VirtualBox	potpuna virtualizacija	x86	x86	Linux, Windows, Mac, Solaris	Windows, Linux, Solaris, BSD...	GPL	+	+
VirtualBox OSE	potpuna virtualizacija	x86	x86	Linux, Windows, Mac, Solaris	Windows, Linux, Solaris, BSD...	vlasnička	-	-
Qemu	potpuna virtualizacija	x86, PowerPC, Sparc,....	x86, PowerPC, Sparc,....	Linux, Windows, Mac, Solaris..	Windows, Linux, Solaris, BSD...	GPL	+	-
KVM	hardverski potpomognuta	x86, Power PC, system Z	isti kao domaćin	Linux	Linux, Windows	GPL	+	+
Xen	paravirtualizacija	x86, PowerPC	isti kao domaćin	Linux, FreeBSD, NetBSD, Solaris	Linux, Solaris, Plan9, Windows	GPL	+	+
Linux Vserver	virtualizacija OS-a	x86, Alpha, PowerPC...		Linux	Linux	GPL	+	-
User mode Linux	paravirtualizacija	x86, PowerPC	isti kao domaćin	Linux	Linux	GPL	-	-
Iguest	paravirtualizacija	x86	x86	Linux	Linux	GPL	-	-
OpenVZ	virtualizacija OS-a	x86, PowerPC, Sparc,....	isti kao domaćin	Linux	Linux	GPL	+	+ (virtuozzo)
dosemu	DOS API virtualizacija	x86	x86	Linux	DOS	GPL	-	-
dosbox	DOS API virtualizacija	sve	x86	Linux, Windows, Mac,...	emuliran DOS	GPL	-	-
wine	WIN32 API emulacija	x86	x86	Linux, FreeBSD, Solaris, MacOS,..	Windows	GPL	-	-
Crossover Office	WIN32 API emulacija	x86	x86	Linux (Mac)	Windows	GPL/\$	-	+

## 5.6. Virtualizacija u Republici Hrvatskoj

U Hrvatskoj se sve više govori o virtualizaciji, ali je to za nas još uvijek tek "tehnologija budućnosti". Tijekom svog istraživanja uspio sam pronaći svega nekoliko tvrtki koje su već sada implementirale ovaj sustav. Razlog tome je ponajprije nedostatak stručnjaka iz ovog područja IT industrije u Hrvatskoj, ali i manjak ustanova u kojima je moguća edukacija za ovu tehnologiju. U vrijeme pisanja ovog rada, na području Republike Hrvatske postoji samo jedan edukativni centar u kojemu se možete certificirati za virtualizacijske tehnologije. Osim edukacije u edukativnim centrima možemo razmotriti i fakultete. Naime, u programima koje nude visoke obrazovne ustanove na području Republike Hrvatske, nisam pronašao niti jedan kolegij koji se bavi ovom problematikom. Smatram to najboljim pokazateljem neistraženosti ove tehnologije, ali i pokazateljem da trebamo još puno ulagati u visoko obrazovanje kako bismo mogli ići u korak sa razvijenim zemljama.

Jedini primjer tvrtke koja je u Hrvatskoj provela potpunu virtualizaciju svoje računalne infrastrukture je Privredna Banka Zagreb, druga po veličini banka u Republici Hrvatskoj. U navedenoj banci, uz pomoć virtualizacijske tehnologije broj poslužitelja smanjen je sa 105 na samo 18, čime je u razdoblju od 4 godine postignuta ušteda veća od 50% samo na računalnoj infrastrukturi. [Izvor: vlastiti]

Osim Privredne Banke Zagreb, postoji još nekolicina tvrtki u Hrvatskoj koje su implementirale djelomičnu virtualizaciju. To su prije svega sistemski integratori poput King ICT-a, Recro.net, Combis, S&T. Većina poslužitelja koje su virtualizirali služi za dokazivanje pretpostavki (Proof of Concept) svojih rješenja klijentima, budući se sve od tih tvrtki bave implementacijom virtualizacijskih rješenja. Za ostale tvrtke nisu mi dostupne informacije.

Virtualizacija u sveučilištima u RH još nije provedena niti djelomično, i ovaj koncept trebao bi staviti naglasak na potrebu uvođenja ove tehnologije u pojedine fakultete. Potreba za tim postoji prije svega zbog velikih ušteda koje pruža virtualizacijska tehnologija, no također zbog toga što se centralizacijom upravljanja računalnom infrastrukturom daje više prostora za ostvarivanje svrhe rada obrazovne ustanove, a to je edukacija i druge kreativne aktivnosti.

## **6. Prijedlog implementacije**

Nakon što se testiralo nekoliko softverskih rješenja dostupnih na Internetu u evaluacijskim verzijama, utvrđeno je kako je trenutno najkvalitetnije rješenje za visoku obrazovnu ustanovu kao što je Fakultet organizacije i informatike čija infrastruktura je uzeta kao referentni model, ono tvrtke VMware Inc. VMware je tvrtka koja je prva proizvela virtualizacijski proizvod ove vrste te patentirala neke od programskih modula koji još nemaju konkurenta u ovoj tehnologiji. Jedan od tih proizvoda je VMware Virtual Infrastructure.

### **6.1. VMware Virtual Infrastructure (VI)**

VMware Virtual Infrastructure virtualizacijsko je rješenje koje čini skup komponenti i servisa koji omogućavaju implementaciju i menadžment cjelokupne virtualizacijske infrastrukture. Cjelokupno rješenje podrazumijeva nekoliko komponenti: samu ESX Server platformu, VirtualCenter Server koji omogućava administraciju i konfiguriranje domaćina ESX Servera i mnoštva dodatnih servisa za upravljanje i nadzor virtualnih računala. Ti servisi omogućuju tehnologije kao što su dinamički load balancing, redundancija i automatsko ispravljanje grešaka te udaljeni pristup virtualnim računalima.

Prednost u korištenju virtualnih računala je prvenstveno u fleksibilnosti koju takva infrastruktura pruža, jer više nije potrebno voditi brigu o fizičkom sklopovlju, nego samo o količini resursa potrebnoj da bi se neki posao mogao izvršiti. Virtualna računala koja se nalaze unutar VMware virtualne infrastrukture međusobno su potpuno izolirana između sebe, domaćina na kojem se izvode i vanjske mreže na koju su spojene.

#### **6.1.2. Definicije:**

1. Virtual Infrastructure - skup programskih komponenti i servisa koji omogućava implementaciju i menadžment virtualne okoline.
2. Virtualna okolina - predstavlja implementaciju virtualne infrastrukture koja se koristi za pružanje servisa.

3. ESX Server - ključna komponenta u skupu programa VMware Virtual Infrastructure. Operacijski sustav koji omogućava virtualizaciju i apstrakciju sklopovskih resursa.
4. ESX Server domaćin - fizički poslužitelj na kojem je pokrenuta instanca ESX Server operacijskog sustava.
5. VirtualCenter Server - menadžment poslužitelj koji omogućava administraciju ESX Server domaćina definiranjem korisnika, grupa i skupa dozvola korištenja.
6. Virtual Infrastructure Client - aplikacija napravljena za Windows okruženje, omogućava administraciju i spajanje na ESX Server ili VirtualCenter Server.

### **6.1.3. Komponente VMware Virtual Infrastructure okoline**

Osnovne komponente kojima je ostvaren rad ovog programskog rješenja su:

1. Virtual SMP (Symmetric Multi-Processing).

Ova komponenta omogućava administratoru virtualizacijske infrastrukture izgradnju virtualnih računala s više virtualnih procesora. Broj takvih virtualnih procesora nije usko vezan uz broj fizički prisutnih procesora na ESX domaćinu.

2. VMotion i Storage VMotion.

Programska komponenta koja omogućava premještanje virtualnih računala s jednog ESX domaćina na drugi, bez potrebe za prekidanjem rada istih. Storage VMotion omogućava fizičku migraciju virtualnih računala između spremišta podataka. Ukoliko jedno spremište dosegne kritičnu razinu popunjenosti, dinamički se virtualno računalo koje se na njemu nalazi može prebaciti na drugo spremište.

3. DRS (Distributed Resource Scheduler).

Tehnologija koja omogućava automatsku distribuciju svih fizičkih resursa uključenih u virtualizacijsku infrastrukturu. Ovaj mehanizam se "brine" kako ne bi došlo do zastoja u radu, te administrator više nema potrebu za stalnim pregledavanjem opterećenja rada ključnih komponenti sustava.

#### 4. HA (High Availability).

Ovaj pojam ranije je poznat iz Windows i Unix/Linux poslužiteljskih platformi. No u terminologiji VMware-a ovaj pojam se odnosi na mehanizam unutar virtualizacijske infrastrukture koji omogućava automatiziran proces ponovnog pokretanja virtualnog računala na ESX poslužitelju u slučaju potpunog pada.

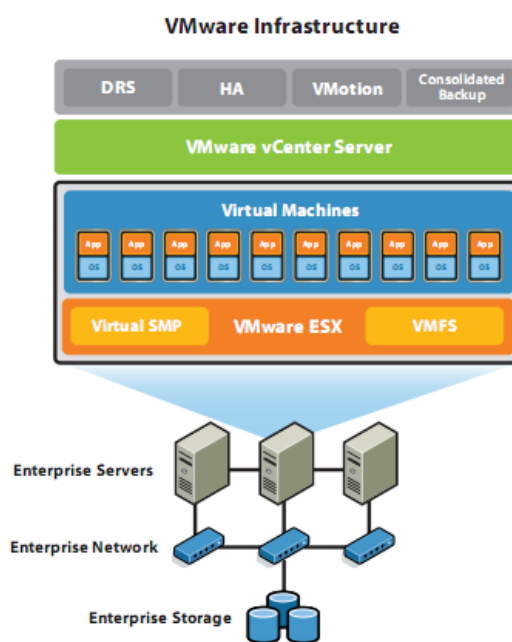
#### 5. VMware Consolidated Backup (VCB).

Strategija stvaranja sigurnosnih kopija sustava unutar VI-a je jedan od kritičnih aspekata administracije sustava. VCB iskorištava mogućnost stvaranja trenutne snimke stanja sustava, te uz pomoć VCB skripti koje je moguće integrirati unutar nekog drugog rješenja za sigurnosne kopije automatizira proces stvaranja istih.

Ovo su samo osnovne (ključne) komponente sustava koji je uključen u programski paket VMware Virtual Infrastructure, no najvažnija činjenica koja se dobiva prelaskom na virtualizacijsku infrastrukturu koju nudi VMware je centralizacija upravljačkih zadataka svih virtualnih poslužitelja, kao i poslužitelja domaćina. Ranije evaluirana rješenja nisu se mogla pohvaliti ovom činjenicom.

Kod same instalacije VMware ESX Server-a prethodno nije potrebna instalacija nekog od postojećih operacijskih sustava (poput Microsoft Windows-a ili Unix/Linux-a) već se njegova instalacija samostalno postavlja na sklopovlje. Sama instalacija ESX Servera manja je od 30 MB (megabajta) i na poslužitelj se postavlja preko CD-ROM jedinice. Slika 1. prikazuje logički smještaj pojedinih komponenta unutar VMware Virtual Infrastructure okoline.

Osnovni principi rada VMware ESX Servera i Virtual Infrastructure paketa objašnjeni su u poglavlju testne implementacije vs.foi.hr.



Slika 1. Logički smještaj komponenta unutar infrastrukture [7]

## 7. Analiza prijedloga implementacije

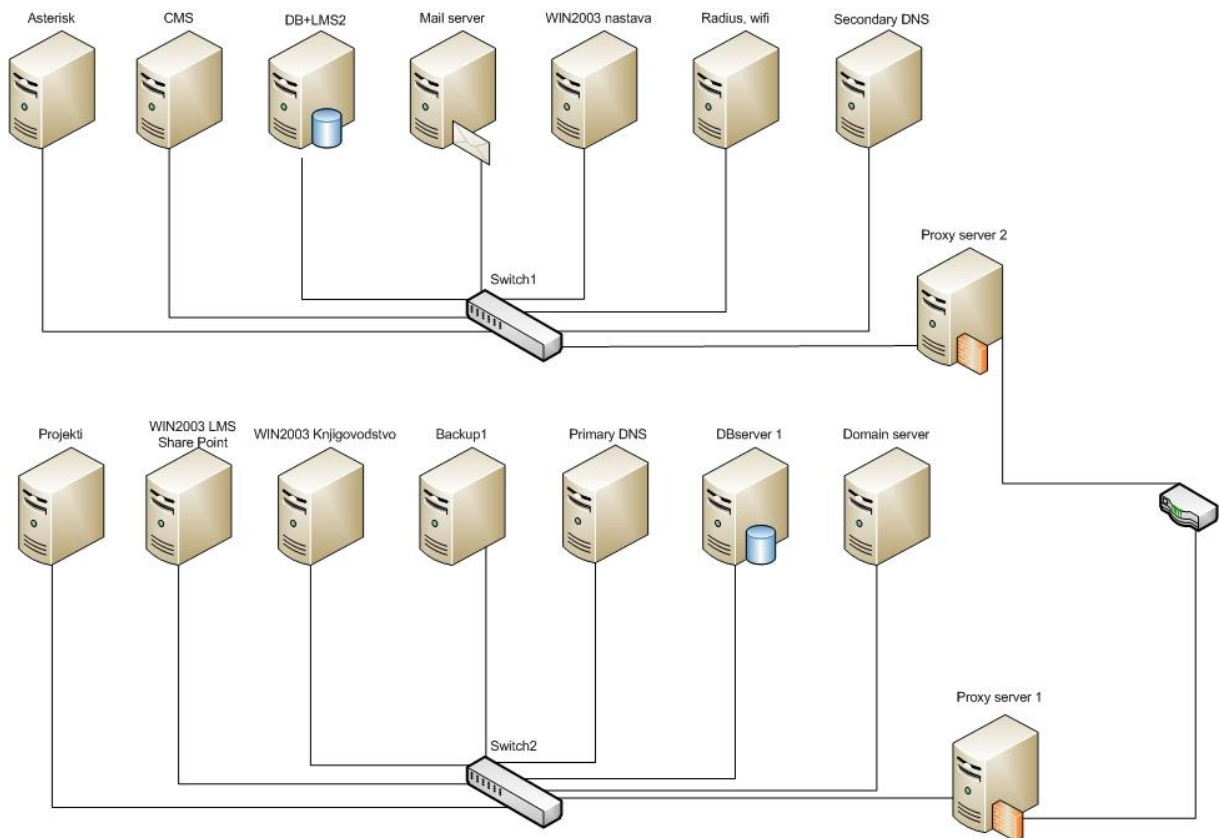
Prije svake investicije u veliki projekt kao što je migracija računalne infrastrukture na virtualnu, potrebno je načiniti što bolju i što točniju analizu isplativosti prije investiranja u istu. U analizu treba uključiti što više parametara kako bi ona donijela što točnije rezultate provođenja. Tako će unutar ove analize, kojom bi se trebala dokazati početna hipoteza, biti u omjer stavljeni sljedeći parametri:

- broj poslužitelja uključenih u migraciju,
- cijena koštanja električne energije potrebne za rad poslužitelja,
- cijena koštanja električne energije potrebne za hlađenje poslužitelja (klima uređaji),
- prostor potreban za fizički smještaj poslužitelja,
- troškovi administracije i održavanja poslužitelja
- te amortizacija istih.

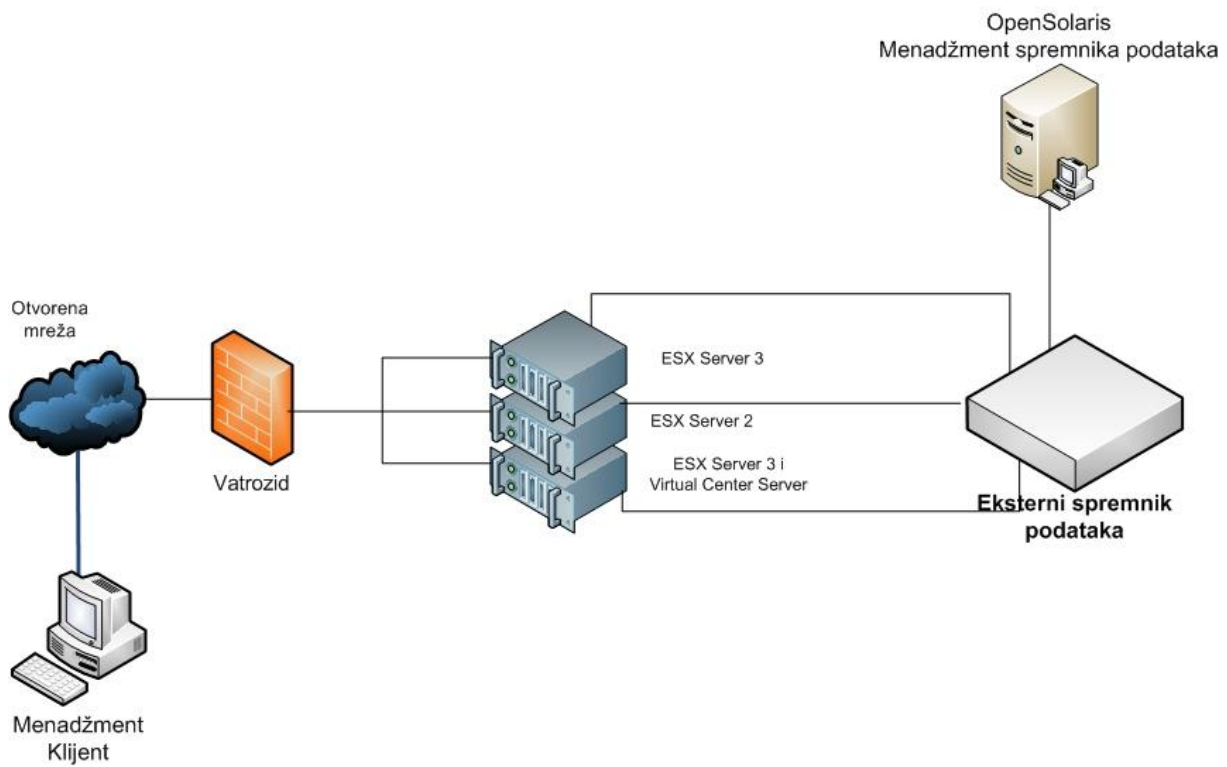
Osim navedenih vrijednosti koje ulaze u TCO/ROI analizu, u pogledu isplativosti uzimaju se i parametri povećanja dostupnosti sustava te smanjenje radnog opterećenja administratora i računalnog sustava u cjelini.

Unutar ove analize uzima se u obzir broj od 16 produkcijskih poslužitelja računalne infrastrukture Fakulteta organizacije i informatike u Varaždinu. Iako ova brojka nije sasvim točna, ovom analizom trebao bi se dobiti jedan prihvatljivi model investicije migracije na virtualnu infrastrukturu unutar visoke obrazovne ustanove kakva je Fakultet, te se kao takav, uz modifikacije i prilagodbu realnim vrijednostima sustava, može upotrijebiti kao referenca za analizu. Broj od 16 poslužitelja odabran je nakon intervjuiranja i anketiranja centra za informatičku podršku Fakulteta kao okvirna brojka i ne može se smatrati preslikom realne slike sustava. Na sljedećoj stranici je prikaz AS-IS modela te TO-BE modela nakon migracije.





Slika 2. Infrastruktura AS-IS modela



Slika 3. Infrastruktura TO-BE modela

## 7.1. TCO/ROI analiza

[7] Pojam *Total Cost of Ownership* (TCO) podrazumijeva kumulativni iznos troškova posjedovanja određenog resursa. U praksi se koristi za zahvaćanje svih kategorija troškova, pa i onih koji su prema uobičajenom računovodstvenom zahvatu "nevidljivi", tj. spadaju pod različite kategorije općih troškova (struja, hlađenje poslužitelja, itd.), iako se, u osnovi, troše na informacijski sustav. Za razliku od TCO-a, *Return of investment* (ROI) označava izračun vremena povrata investicije. Izračunava se stavljanjem u odnos neto koristi, odnosno prihoda od projekta/investicije s njegovim kumulativnim troškovima. S obzirom da ovaj model računanja ROI-a ne uzima u obzir da buduće investicije imaju sadašnju vrijednost (jer se novac investira uz odgovarajuću stopu prinosa), on u većini slučajeva nije odgovarajući, stoga za konkretniji način izračuna ROI-a treba uzeti u obzir neto sadašnju vrijednost novčanih tijekom projekta/investicije, ili pak krenuti od analize interne stope povrata i/ili vremena povrata uloženog iznosa.

Prije svakog ulaska u veću investiciju, ove dvije vrijednosti potrebno je izračunati i u izračun uključiti što veći broj parametara, sve do najsitnijih detalja, kako bi dobivene brojke mogle biti preslika realne slike budućnosti iniciranog ulaganja.

Za analizu koja slijedi korištena je TCO/ROI metodologija koja je predložena od strane Gartnerovog istraživačkog centra za informacijske tehnologije.

## 7.1.1. Godišnje uštede na amortizaciji sklopovlja poslužitelja

Tablica 2. Neki pokazatelji početnog stanja računalne infrastrukture obrazovne ustanove iz modela

Ulaz	Opis	Standardna vrijednost	Izvor
Broj poslužitelja	Broj poslužitelja kategoriziran po broju jezgri procesora	N/A	Ulaz/Izlaz
Životni vijek poslužitelja	Koristan životni vijek poslužitelja (vrijeme osvježavanja)	3 god.	Industrijski prosjek
Godišnja amortizirana vrijednost poslužitelja	Trošak po fizičkom poslužitelju kategoriziran po broju jezgri	1 jezgra: 3672 kn 2 jezgre: 10000 kn 4 jezgre: 15000 kn  Poslužitelji se amortiziraju tijekom životnog vijeka	Prosječna prodajna cijena. Uključuje kućište, procesor, RAM (dobiven u paketu). Ne uključuje cijenu umrežavanja i diskovnog prostora
Opterećenje po procesoru za VMware	Prosječan broj virtualnih procesora po jednom fizičkom	6	Vlastiti izvor. (VMware preporučuje 4, no taj broj se odnosi na produkcijske data centre)
Godišnji rast broja poslužitelja	Očekivani godišnji rast broja poslužitelja	10%	Određeno u intervjuu sa CIP-om

### AS-IS model

Kako bi se izračunala amortizirana cijena koštanja poslužitelja, u obzir je uzet broj poslužitelja s jednojezgrenim, dvojezgrenim i četverojezgrenim procesorom. U odabranom modelu postoje sljedeći poslužitelji:

Tablica 3. Broj poslužitelja obrazovne ustanove u AS-IS modelu

Broj jezgri	Količina (1)	Jedinična cijena (2)	Cijena ukupno (3) = (1)*(2)	Godišnja amortizirana cijena koštanja (4) = (3)*0,2
1	10	3.672,00 kn	36.720,00 kn	7.344,00 kn
2	2	5.555,00 kn	11.110,00 kn	2.222,00 kn
4	4	15.000,00 kn	60.000,00 kn	12.000,00 kn
<b>UKUPNO:</b>				<b>21.566,00 kn</b>

Ukupan diskovni prostor koji je dostupan ovim poslužiteljima iznosi 3450 TB (terabajta) i montiran je direktno u serverima (Ne postoji odvojena jedinica za diskovni prostor kao na primjer SAN, NAS, iSCSI).

#### TO-BE model

Model poslužitelja predložen za optimizaciju postojećeg sustava sastavljen je od 3 četverojezgrene poslužitelja te jednog jednoprocesorskog računala za upravljanje diskovnim prostorom. Model ne zahtijeva kupovinu dodatnih poslužitelja jer poslužitelji za novonastalu infrastrukturu mogu biti preuzeti iz AS-IS modela. Na taj način imamo uštedu pri nabavi opreme za novu infrastrukturu.

Za iznos amortizacije korištena je stopa od 20% (realna je 50%), zbog slabog trošenja poslužitelja i prema politici obnove računalne infrastrukture obrazovnih ustanova.

**Tablica 4. Broj poslužitelja u TO-BE modelu**

Komponenta	Količina (1)	Jedinična cijena (2)	Cijena ukupno (3)=(1)*(2)	Godišnja amortizirana cijena koštanja (4)=(3)*0,2
1 jezgra	1	3.672,00 kn	3.672,00 kn	734,40 kn
4 jezgre	3	15.000,00 kn	45.000,00 kn	9.000,00 kn
podatkovni podsustav	1	15.729,71 kn	15.729,71 kn	3.145,94 kn
<b>UKUPNO:</b>				<b>12.880,34 kn</b>

#### TCO kalkulacija

**Tablica 5. Formule**

Sklopovlje poslužitelja	Trenutno (AS-IS)	Projicirano (TO-BE)
Za svaku godinu	Ukupan broj poslužitelja prije konsolidacije * Godišnja amortizirana cijena poslužitelja	Ukupan broj poslužitelja poslije konsolidacije * Godišnja amortizirana cijena poslužitelja

*Uštede na sklopovlju poslužitelja*

$$= \text{Godišnja amortizacija}_{AS-IS} - \text{Godišnja amortizacija}_{TO-BE}$$

**Tablica 6. Uštede na sklopovlju poslužitelja u prvih 5 godina**

	1. godina	2. godina	3. godina	4. godina	5. godina	
AS-IS	21.566,00 kn	23.722,60 kn	26.094,86 kn	28.704,35 kn	31.574,78 kn	
TO-BE	12.880,34 kn	14.168,37 kn	15.585,21 kn	17.143,73 kn	18.858,11 kn	
<b>Ukupno:</b>	8.685,66 kn	9.554,23 kn	10.509,65 kn	11.560,61 kn	12.716,67 kn	<b>53.026,82 kn</b>

Iz prethodne tablice može se primijetiti da uštede na sklopovlju poslužitelja nisu velike, no uzme li se u obzir da za novu infrastrukturu nisu potrebna ulaganja za nove poslužitelje, već će poslužitelji iz AS-IS modela biti iskorišteni za njenu izgradnju, ove uštede više će biti vidljive na drugim parametrima analize poput električne energije za rad i hlađenje poslužitelja.

### 7.1.2. Električna energija

Kod izračuna prosječne potrošnje električne energije za poslužitelje te električne energije koja se troši za njihovo hlađenje, korišteni su sljedeći ulazni parametri:

**Tablica 7. Prikaz elemenata korištenih pri izračunavanju potrošnje električne energije u podatkovnom centru obrazovne ustanove**

Ulaz	Oznaka	Opis	Standardna vrijednost	Izvor
Deklarirana jačina napajanja poslužitelja	A	Zbroj vrijednosti svih poslužitelja u kW	1 jezgra: 356 W 2 jezgre: 475 W 4 jezgre: 665 W	Specifikacije poslužitelja. Prosječne vrijednosti tri najveća proizvođača
Cijena električne energije po satu	B	Cijena po satu za 1 kW struje	0.87 kn	Hrvatska elektroprivreda
Konverzija stacionarnog stanja	C	Konstanta koja se koristi za konverziju deklarirane potrošnje u stacionarno stanje	0.67	Sawyer, Richard, "Calculating Total Power Requirements for Data Centers", American Power Conversion, 2004
Faktor hlađenja	D	Procijenjena vrijednost (količina Watta potrebna da bi se ohladio 1 W topline )	0.8	Empirijski dobivena vrijednost. HP Laboratories
Redundancija protoka zraka	E	Redundancija protoka zraka u prostoriji sa poslužiteljima	125%	McFarlane, R., "Let's Add an Air Conditioner", objavljeno 30.11.2005.
Usporavanje protoka zraka	F	Postotak zraka koji hladi toplinu koju stvara poslužitelj	80%	
Operativni sati poslužitelja	G	Broj sati u godini	8736	24 sata dnevno tijekom cijele godine
Godišnje povećanje potrošnje energije	H	Godišnji rast broja poslužitelja (računa se od 2. godine)	10%	Povećanje količine poslužitelja definirano ranije u kalkulaciji

### TCO kalkulacija

Za izračun godišnje potrošene električne energije za sam rad poslužitelja korištene su sljedeće formule:

*OP – operativna potrošnja po poslužitelju godišnje*

*HP – potrošnja za hlađenje po poslužitelju godišnje*

$$OP = A * B * C * G \qquad HP = OP * D * \frac{E}{F}$$

$$Ukupna potrošnja godišnje = broj poslužitelja * (OP + HP)$$

## AS-IS model

Za izračune potrošnje električne energije 16 poslužitelja podjeljenih u tri grupe prema broju jezgri koje poslužitelji imaju dobiveni su sljedeći rezultati:

**Tablica 8. Potrošnja električne energije AS-IS**

	1 jezgra [10 poslužitelja]	2 jezgre [2 poslužitelja]	4 jezgre [4 poslužitelja]	
OP	1.812,83 Kn [2087,10 kW]	2.418,80 Kn [2780,23 kW]	3.386,32 Kn [3892,32 kW]	
HP	2.266,04 Kn [2604,64 kW]	3.023,50 Kn [3475,29 kW]	4.232,90 Kn [4865,40 kW]	
<b>Ukupno godišnje</b>	<b>40.788,70 Kn [46883,56 kW]</b>	<b>10.884,60 Kn [12511,03 kW]</b>	<b>30.476,88 Kn [35030,89 kW]</b>	<b>82.150,18 Kn [94425,48kW]</b>

Potrošnja električne energije tijekom prve godine iznosi 82.150,18 Kn. Ovaj broj godišnje se poveća 10% prema istom povećanju broja poslužitelja godišnje.

## TO-BE model

Jednake vrijednosti korištene su i u TO-BE modelu u kojem u ulazne parametre ulazi 1 SAN (Storage Area Network), 1 jednojezgreni poslužitelj te 3 četverojezgrene poslužitelja na koje će biti instaliran VMware ESX Server. Dobiveni rezultati su sljedeći:

**Tablica 9. Potrošnja električne energije TO-BE**

	SAN	1 jezgra	4 jezgre	
OP	2.546,11 Kn [2926,56 kW]	1.812,83 Kn [2083,71 kW]	3.386,32 Kn [3892,32kW]	
HP	3.182,64 Kn [3657,64 kW]	2.266,04 Kn [2604,64 kW]	4.232,90 Kn [4865,40kW]	
<b>Ukupno godišnje</b>	<b>4.812,15 Kn [5531,21 kW]</b>	<b>4.078,87 Kn [4688,36 kW]</b>	<b>22.857,66 Kn [26273,17kW]</b>	<b>31.748,68 Kn [35773,74kW]</b>

Potrošnja električne energije tijekom prve godine iznosi 31.748,68 Kn. Kao i kod AS-IS modela, ova brojka povećavat će se 10% godišnje sukladno povećanju broja poslužitelja.

Ukupne uštede na električnoj energiji za prvih 5 godina:

Uštede dobivene TCO kalkulacijom izračunate su oduzimanjem TO-BE vrijednosti potrošnje od one u AS-IS modelu te su dobivene uštede prema sljedećoj tablici:

**Tablica 10. Ukupne uštede na električnoj energiji za prvih 5 godina**

	1.godina	2.godina	3.godina	4.godina	5.godina	
AS-IS	82.150,18 kn	90.365,2	99.401,72 kn	109.341,89 kn	120.276,1 kn	
TO-BE	31.748,68 kn	34.923,55	38.415,90 kn	42.257,49 kn	46.483,24 kn	
Ukupno	50.401,5 kn	55.441,65 kn	60.985,82 kn	67.084,40 kn	73.792,84 kn	307.706,20 kn

Ukupna ušteda tijekom 5 godina iznosi 307.706,20 kuna.

Pretpostavke korištene u izračunu:

- očekivani rast od 10% godišnje za povećanje broja poslužitelja koji povlači i povećanje potrošnje električne energije za rad i hlađenje poslužitelja
- kalkulacija za izračun električne energije za rad poslužitelja pojednostavljena je zbog izostavljanja podataka o amortizaciji i troškovima održavanja, no za eksplicitni izračun ovih vrijednosti one moraju biti uključene u izračun

Osim potrošnje električne energije koja se koristi za rad i hlađenje poslužitelja, u novije vrijeme u izračune implementacije ICT rješenja mnoge tvrtke za analizu uzimaju i faktor emisija ugljičnog dioksida, budući ICT industrija čini 2% ukupne emisije CO<sub>2</sub> na svijetu. [21]. Za usporedbu emisija CO<sub>2</sub> koje stvaraju poslužitelji uzet je prosječan automobil koji godišnje prijeđe 19.200 kilometara i emitira 5,443 tone ugljičnog dioksida. Emisija ugljičnog dioksida za električnu energiju jednaka je 0,45359 kg po kW struje[10]. Dobiveni rezultati su sljedeći:

- AS-IS emisija CO<sub>2</sub> jednaka je 42,83 tona,
- TO-BE emisija CO<sub>2</sub> jednaka je 16,23 tona,
- te ukupno smanjenje emisija CO<sub>2</sub> iznosi 58,653 tona



### 7.1.3. Dodatne uštede

Analize koje se provode za tvrtke s velikim podatkovnim centrima uključuju još brojne čimbenike, no radi jednostavnosti izračuna i realnijim rezultatima ove kalkulacije za računalni sustav obrazovnih ustanova bit će samo nabrojane.

Ostali parametri koji se mogu računati su:

- Mrežni podsustav podatkovnog centra - budući većina poslužitelja više neće fizički postojati, nema potrebe za preklopicima i kablovima za povezivanje istih.
  - izostavljen je iz kalkulacije zbog malog broja poslužitelja, no postoji i kod računalnih sustava obrazovnih ustanova.
- Administracija podatkovnog centra - u virtualizacijskoj okolini većina stvari je automatizirana poput pravljenja sigurnosnih kopija, povratka poslužitelja u rad nakon pada te odlaska administratora u podatkovni centar radi popravka poslužitelja.
  - unutar obrazovnih ustanova administratori računalnog sustava imaju fiksne plaće, te se za njegovu administraciju ne unajmljuje druga tvrtka.
- Naknade zbog nedostupnosti sustava - u obrazovnim ustanovama još ne postoje naknade ukoliko je sustav nedostupan, nego se takav događaj evidentira kao gubitak ugleda određene obrazovne ustanove
- Troškovi zbog redovnog godišnjeg održavanja poslužitelja - kod podatkovnih centara u većim tvrtkama potpisuju se ugovori za redovito održavanje poslužitelja.
  - obrazovne ustanove nemaju ovakve ugovore već se o redovitom održavanju brinu administratori Centra za informatičku podršku.

Osim pobrojanih parametara koji ne ulaze u TCO/ROI kalkulaciju, postoje i parametri koji ne utječu na uštede ili troškove, ali postaju sve bitniji u današnjem svijetu. Jedan od tih parametara je ekologija. Smanjenjem broja poslužitelja smanjuje se emisija ugljikovog dioksida, što uvelike pridonosi ugledu obrazovne ustanove koja implementira ovakvo rješenje.

## 7.1.4. Troškovi migracije

Ulaz	Oznaka	Opis	Standardna vrijednost	Izvor
Cijena VI Enterprise Edition licence	A	Jedinična cijena VMware Infrastructure Enterprise	32.302,09 kn	[11]
Broj licenci VI Enterprise Edition	B	Količina licenci potrebnih za ostvarenje projekta	2	Izračunava se
Cijena VirtualCenter Management Server licence	C	Jedinična cijena VirtualCenter Management Server-a	28.060,68 kn	[11]
VMware Infrastructure Training	D	Edukacija administratora za korištenje VI (po osobi)	21.947,80 kn	Cjenik Učilišta Algebra, 25.04.2009.
Sun Storage J4200 Array	E	Podatkovni sustav	15.729,71 kn	Sun Microsystems
Troškovi postavljanja arhitekture	F	Konektori i Mini SAS kartice	2.000,00 kn	Sun Microsystems
Licence za 2.,3.,4. i 5. godinu	G	Cijene produljenja licenci (rast virtualne infrastrukture od 8% godišnje)	28.830,10 kn	[11]

Ukupni troškovi migracije za prvu godinu iznose:

Naziv	Količina	Cijena	Ukupno
Licence za VI Enterprise	2	32.302,09 kn	64.604,18 kn
Licenca za vCenter Management Server	1	28.060,68 kn	28.060,68 kn
VMware Training program za administratore	2	21.947,80 kn	43.895,60 kn
Podatkovni podsustav	1	15.729,71 kn	15.729,71 kn
<b>Početni trošak investicije:</b>			<b>152.290,17 kn</b>

## 7.2. Rezultati analize

Unutar VMware virtualne infrastrukture, jedan poslužitelj može konsolidirati virtualne poslužitelje u omjeru 1:8 do 1:15 ovisno o njihovom tipu. To znači da vrijedi omjer jedno fizičko računalo : osam do petnaest virtualnih. U ovoj analizi omjer s kojim će se računati je 1:8. S obzirom na raznolikost poslužitelja u infrastrukturi jedne obrazovne ustanove, to je realan omjer budući se neki od poslužitelja koriste u manjem vremenskom razdoblju, dok su neki pod stalnim opterećenjem. Kako bi se izračunalo cijenu poslužitelja kako AS-IS tako i TO-BE (projicirana) slučaja, u obzir kroz cijelo vrijeme analize treba uzeti uštede na konsolidaciji poslužitelja i ispitati trošak kapitala za amortizaciju poslužitelja.

Analiza napravljena na predloženom modelu 16 poslužitelja pružila je za uvođenje VMware virtualne infrastrukture sljedeće:

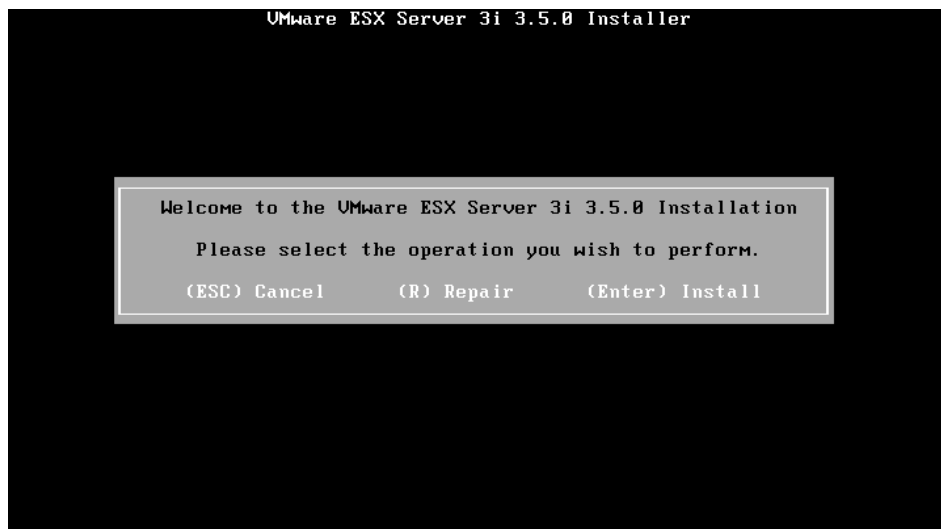
- smanjenje broja poslužitelja kroz virtualizaciju, sa 16 na 3 poslužitelja i jedan SAN - smanjenje za 75 % uz omjer konsolidacije 8:1,
- uštedu na amortizaciji poslužitelja od 8.685,66 kn u prvoj godini i 28.749,54 kn u prve 3 godine (vrijeme amortizacije)
- ukupnu uštedu od 24.590 kW godišnje za operativni rad svih poslužitelja, 31.600 kW godišnje potrebnih za hlađenje poslužitelja, te prostornu uštedu od približno 3 kvadratna metra
- redukciju emisije CO<sub>2</sub> od 26,6 tona, što je ekvivalentno isključenju iz prometa 5 automobila (4,89 točno) prosječne potrošnje [8]

Uz početnu investiciju od 152.290,17 kuna potrebnih za licence programa za upravljanje virtualnom infrastrukturom te podatkovni sustav Sun J4200 Array, postignut je ROI od 137,24%. Investicija za VMware VI za sljedeće 4 godine iznosi 28.830,10 kuna. NPV (čista sadašnja vrijednost, kamatna stopa od 10%) projekta iznosi 39.384,60 kuna, dok je interna stopa profitabilnosti jednaka 29% uz povratak uložene vrijednosti za 33 mjeseca.

## 8. Testna implementacija - vs.foi.hr

U svrhu evaluacije programskog rješenja tvrtke VMware implementiran je testni poslužitelj vs.foi.hr te 4 virtualna poslužitelja unutar istog. Za instalaciju ESXi poslužitelja potreban je CD-ROM na poslužitelju te instalacijski CD.

Sama instalacija traje oko 20 minuta i potpuno je automatizirana.



Slika 4. Početni zaslon instalacije

Nakon instalacije potrebno je na samom poslužitelju još samo podesiti mrežne postavke i testirati vezu prema poslužitelju te se cjelokupan posao prenosi na VI Client aplikaciju.

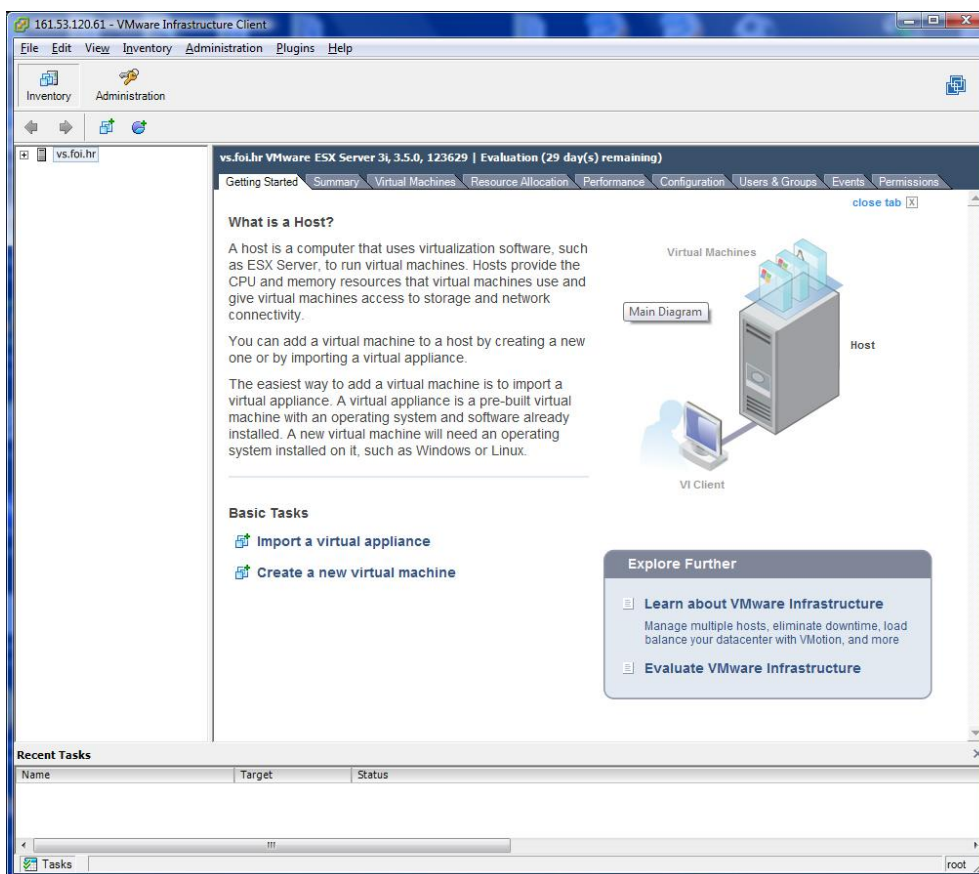


Slika 5. Podešavanje konfiguracija na poslužitelju

Virtual Infrastructure Client je aplikacija koja se preko IP adrese ESX poslužitelja skida na vlastito računalo s kojega se naknadno instaliraju virtualni poslužitelji. Broj virtualnih poslužitelja koji se mogu instalirati unutar ESX Server aplikacije je ograničen samo resursima na kojima se odvija njegov rad.

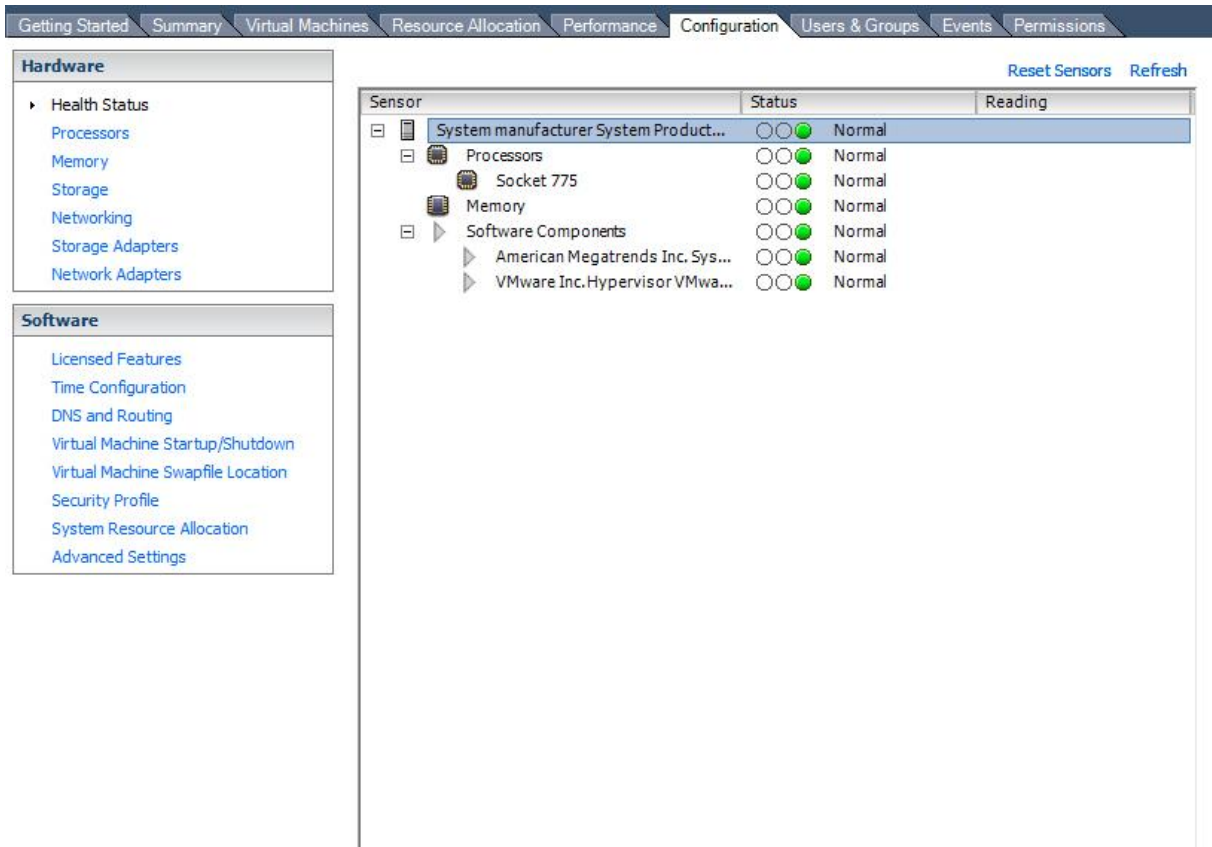


Slika 6. Login forma aplikacije za menadžment ESX Servera



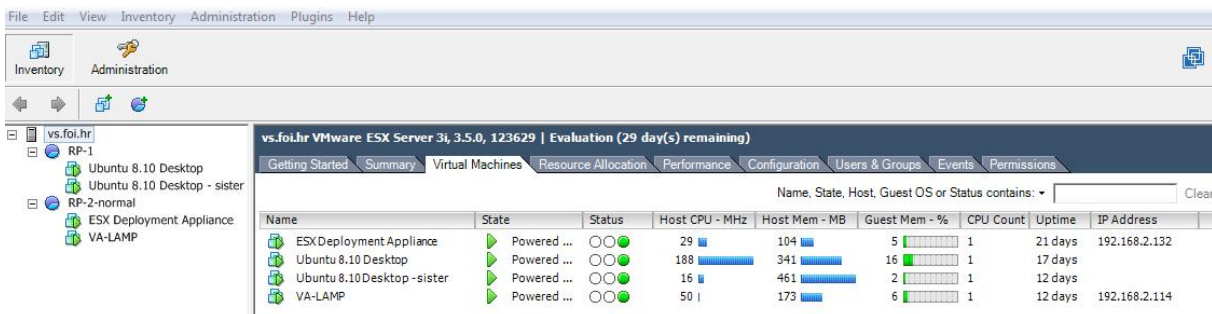
Slika 7. Glavna forma aplikacije za menadžment virtualnih poslužitelja na ESX Serveru

Unutar aplikacije VMware Infrastructure Client nalaze se svi upravljački programi potrebni za instalaciju, praćenje rada te konfiguriranje virtualnih poslužitelja, te je administratoru računalne infrastrukture potrebno jako kratko vrijeme ne bi li se priviknuo na eleganciju rada u ovakvoj aplikaciji.



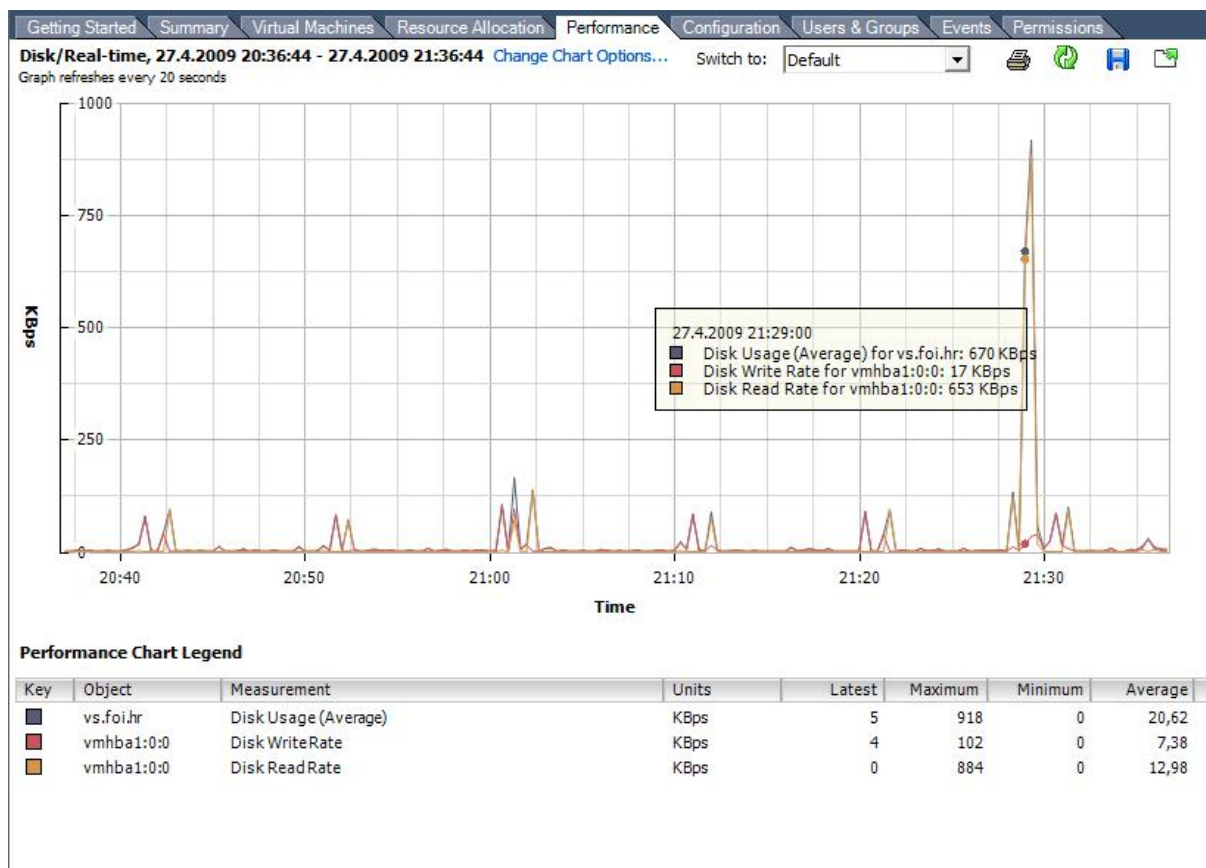
Slika 8. Kartica Configuration u kojoj se nalaze postavke mreže, memorije, sigurnosti i drugo

Kartica Configuration najbitniji je dio ove aplikacije te se sav rad u virtualnom okruženju upravo ovdje konfigurira.



Slika 9. Pregled virtualnih poslužitelja i računala unutar vs.foi.hr

Unutar VMware Infrastructure Client-a moguće je napraviti predloške svih postojećih poslužitelja koji se nalaze u produkcijskom radu, što omogućava kreiranje novog poslužitelja (recimo za nekakav projekt) za nekoliko minuta. Rad i stanja virtualnih poslužitelja logiraju se te ih je moguće u bilo kojem trenutku vidjeti. Postoje brojni načini prikaza poput tablica, dijagrama ili grafova.



Slika 10. Prikaz trenutnog stanja diskovnog prostora za vs.foi.hr

Sve dijagrame i log datoteke moguće je eksportirati u različite vrste prikaza i formata. VI Client klasična je aplikacija Windows platforme te za rad unutar nje svaki poznavatelj ovog operacijskog sustava treba samo nekoliko minuta za prilagođavanje.

## 9. Zaključak

Virtualizacija je u praksi našla čitav niz primjena. U doba kada su podatkovni centri postali farme poslužitelja, više niti samo iznajmljivanje ili kupovina prostora za smještaj poslužitelja ne mora nužno biti "sitan novac". Zbog toga se velike tvrtke odlučuju na virtualizaciju. Ekološki osvještene organizacije shvaćaju kako naš planet Zemlju treba štiti za buduće generacije i kako podatkovni centri postaju sve veći neprijatelj našoj zemlji. Manje organizacije, gdje se ubraja i obrazovna ustanova, najveći problem vode sa sve većim sustavima i podatkovnim centrima koje posjeduju te i ovdje je sve više prostora za virtualizaciju. Iako ona u Hrvatskoj još nije uzela maha, izuzev jedne banke i nekoliko sistemskih integratora, budućnost će pokazati kako je ovo jedna nova stranica računalne znanosti. Stranica u kojoj ćemo svi profitirati.

Cilj moga rada bio je istražiti da li je isplativo virtualizaciju implementirati unutar obrazovnih ustanova. Osobnog sam mišljenja da bi one mogle koristiti virtualizaciju, a moje istraživanje je potvrdilo i financijski dio toga. Možda je za virtualizaciju u Hrvatskoj još prerano. Vrijeme će pokazati.



## Popis dodatnih sadržaja

Slika 1. Logički smještaj komponenata unutar infrastrukture [7] .....	17
Slika 2. Infrastruktura AS-IS modela .....	19
Slika 3. Infrastruktura TO-BE modela .....	19
Slika 4. Početni zaslon instalacije .....	30
Slika 5. Podešavanje konfiguracija na poslužitelju .....	30
Slika 6. Login forma aplikacije za menadžment ESX Servera .....	31
Slika 7. Glavna forma aplikacije za menadžment virtualnih poslužitelja na ESX Serveru .....	31
Slika 8. Kartica Configuration u kojoj se nalaze postavke mreže, memorije, sigurnosti i drugo .....	32
Slika 9. Pregled virtualnih poslužitelja i računala unutar vs.foi.hr .....	32
Slika 10. Prikaz trenutnog stanja diskovnog prostora za vs.foi.hr .....	33
Tablica 1. Usporedni prikaz virtualizacijskih rješenja [5] .....	13
Tablica 2. Neki pokazatelji početnog stanja računalne infrastrukture obrazovne ustanove iz modela .....	21
Tablica 3. Broj poslužitelja obrazovne ustanove u AS-IS modelu.....	21
Tablica 4. Broj poslužitelja u TO-BE modelu.....	22
Tablica 5. Formule .....	22
Tablica 6. Uštede na sklopovlju poslužitelja u prvih 5 godina .....	23
Tablica 7. Prikaz elemenata korištenih pri izračunavanju potrošnje električne energije u podatkovnom centru obrazovne ustanove .....	24
Tablica 8. Potrošnja električne energije AS-IS .....	25
Tablica 9. Potrošnja električne energije TO-BE .....	25
Tablica 10. Ukupne uštede na električnoj energiji za prvih 5 godina .....	26

## Popis literature

- [1] <http://mediaproducts.gartner.com/reprints/juniper/vol1/article2/article2.html>  
(Učitano: 16.4.2009.)
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/Vmware> (učitano: 22.4.2009.)
- [3] [http://en.wikipedia.org/wiki/IBM\\_M44/44X](http://en.wikipedia.org/wiki/IBM_M44/44X) (učitano: 22.4.2009.)
- [4] Amit Singh: An Introduction to Virtualization, objavljeno u siječnju 2004.
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_platform\\_virtual\\_machines](http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_platform_virtual_machines)  
(Učitano: 1.3.2009)
- [6] McCain, Rivera: Mastering VMware Infrastructure 3, Wiley Publishing, Inc., 2008.
- [7] Izvor: Financijski management, RRIF Plus, Zagreb, 2002.
- [8] Fichera, Richard: "Power and Cooling Heat Up The Data Center", Forrester Research, Inc., 8.3.2005
- [9] Patel, Shah, Amip J.: Cost Model for Planning, Development, and Operation of Data Center", Internet System and Storage Laboratory, HP Laboratories, Palo Alto, 9.6.2005.
- [10] Shulz, Gary: "Storage Power and Cooling Issues Heat Up", 21.5.2007.
- [11] [www.vmware.com/files/pdf/vi\\_pricing3.pdf](http://www.vmware.com/files/pdf/vi_pricing3.pdf), (učitano: 22.4.2009.)
- [12] <http://www.ebizmags.com/outsourcing-treba-temelje-sla-ugovor/> (Učitano 21.4.2009.)
- [13] Edward Haletky: "VMware ESX Server in the Enterprise", Pearson Education, Inc., 2008.
- [14] Marshall, Beaver, McCarty: "VMware ESX: Essentials in the Virtual Dana Center", CRC Press, 2009.
- [15] VMware white paper: "Resources Management Guide", VMware Inc., 2009.
- [16] VMware white paper: "The Roadmap to Virtual Infrastructure: Practical Implementations Strategies", VMware Inc., 2009.
- [17] Rakesh Kumar: "Data Center Power and Cooling Scenario Through 2015", Gartner Research Center, 2007.
- [18] Žugaj, Dumičić, Dušak: "Temelji znanstvenoistraživačkog rada", TIVA Varaždin, 2006.
- [19] J.W.Creswell: "Research Design", SAGE Publications Ltd., 2009.
- [20] A.Murphy: "Virtualization defined - eight diferent ways", white paper, 2008.
- [21] Gartner Research Center, Symposium ITxpo, 2008.

## Sažetak rada

Rad pod nazivom "Analiza uvođenja virtualne infrastrukture te studija isplativosti implementacije unutar obrazovnih ustanova" obrađuje pozitivne i negativne parametre uvođenja virtualizacijske infrastrukture unutar obrazovnih ustanova, te isplativost implementacije iste. Implementacija ovakve infrastrukture složen je proces koji prethodno zahtjeva brojna mjerenja, provođenje dokaza pretpostavke, te odgovara na pitanja o korisnosti i samoj potrebi te isplativosti uvođenja. Najčešće se ovakva analiza provodi stvaranjem modela postojeće računalne infrastrukture ili jednog njezinog dijela i ispitivanjem njegovog rada u kontroliranim uvjetima, unutar zadanog vremenskog roka. U odabiru elemenata koji će ući u model u obzir treba uzeti važnost pojedinih segmenata računalne infrastrukture, kako bi se mogla dobiti što jasnija slika budućeg stanja sustava.

Cilj rada je korištenjem metodologije za ispitivanje isplativosti uvođenja utvrditi koji je to vremenski rok potreban za povratak ovako velike investicije, te koji su koraci potrebni za njegovo uvođenje.

U poglavlju "Pojam virtualizacije" ukratko je opisana povijest nastanka virtualizacijske tehnologije, te je dan odgovor na pitanje zbog čega je došlo do potrebe za njenim stvaranjem. U istom poglavlju definirani su karakteristični termini virtualizacije kao što je hipervizor, virtualizacije operacijskih sustava, aplikacijskih poslužitelja, sustava za pohranu podataka, mrežne infrastrukture te računalnog sklopovlja, i iznesen je kratak usporedni pregled postojećih virtualizacijskih rješenja uz osvrt na virtualizaciju u Republici Hrvatskoj.

U poglavlju "Prijedlog implementacije" opisan je proizvod tvrtke VMware koji je odabran za analizu isplativosti, sa svojim osnovnim elementima i funkcijama, te je izrađena TCO/ROI analiza. U analizu su uključeni svi važni elementi zbog kojih postoje temeljne razlike između postojeće računalne infrastrukture i ispitanog virtualizacijskog rješenja.

Poglavlje "Testna implementacija - vs.foi.hr" opisuje rezultate dobivene migracijom nekoliko poslužitelja iz zadanog modela na evaluacijski proizvod ranije opisane tvrtke, te daje uvid u izgled i elemente rada s virtualizacijskom okolinom. Ovdje se misli na administraciju takvog sustava te pregled njegovog rada u cjelini.

U zadnjem poglavlju dan je zaključak te pregled korištene literature tijekom izrade ovog rada.

## Summary

My paper "Introduction analysis of virtual infrastructures and implementation feasibility study for educational institutions" processes positive and negative parameters of the introduction of virtualization infrastructure within educational institutions, and its cost-effective implementation.

The implementation of this kind of infrastructure is a complex process that requires numerous measurements, implementation of the proof of concept, and it also answer on questions about the usefulness and the need and feasibility of the implementation.

Most often, such analysis is carried out by creating a model of existing computer infrastructure or one of its part, and testing its work in controlled conditions, within a specified period of time.

In selecting the elements that will enter the model it's important to take into consideration the importance of individual segments of the computer infrastructure, in order to get a clearer picture what the future state of the system will be.

The purpose of this work is to determine the time that is required to return such a large investment, and what are the steps for its implementation.

The chapter "The concept of virtualization" briefly describes the history of the formation of virtualization technology, and it answers the question why there has been a need for its creation.

The same chapter defines typical virtualization terms such as hypervisor, operating system virtualization, server virtualization, storage virtualization, network virtualization and hardware virtualization, and gives a brief comparative oversight of existing virtualization solutions with an overview of virtualization in Croatia.

The section "Proposal of implementation" describes a product of VMware company, which was selected for the cost-effectiveness analysis, with its basic elements and functions. The section also contains TCO/ROI analysis.

The analysis includes all the important elements for which there are fundamental differences between the existing computer infrastructure and tested virtualization solution.

The chapter "Test implementation - vs.foi.hr" describes the results obtained by migration of a few servers from the default model on the evaluation product of previously described company and gives an insight into the layout and elements of work with

virtualization environment. The emphasis is on the administration of such system and an overview of its overall work.

The last chapter contains a conclusion and an overview of literature used for the creation of this paper.