



**TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU**

**OPINNÄYTETYÖ**

**VIRTUALISOINTI KAHDELLA ERI ALUSTALLA  
VMware ESX Server ja avoimen lähdekoodin XEN hypervisor**

**Marko Kanerva**

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma  
Huhtikuu 2008  
Työn ohjaaja: Harri Hakonen

**TAMPERE 2008**



# Tampereen ammattikorkeakoulu

---

<b>Tekijä(t)</b>	Marko Kanerva	
<b>Koulutusohjelma(t)</b>	Tietojenkäsittely	
<b>Opinnäytetyön nimi</b>	VIRTUALISOINTI KAHDELLA ERI ALUSTALLA - VMware ESX Server ja avoimen lähdekoodin Xen hypervisor	
<b>Työn valmistumis- kuukausi ja -vuosi</b>	Huhtikuu 2008	
<b>Työn ohjaaja</b>	Harri Hakonen	<b>Sivumäärä: 38</b>

---

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kahta eri virtualisointialustaa, VMware ESX Serveriä ja avoimen lähdekoodin Xen hypervisoria. Työssä esitellään molempien alustojen ominaisuudet ja lopuksi suoritetaan vertailu aiemmin esiteltyjen tietojen pohjalta.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Nokia Siemens Networks (NSN). Tarve työn tekemiseen syntyi, kun NSN halusi selvittää Xenin soveltuvuutta heidän käyttöönsä tuotannossa. Tämän lisäksi Xenia haluttiin verrata NSN:llä jo käytössä olevaan VMware ESX Serveriin. Tavoitteena tällä oli selvittää, soveltuisiko Xen laboratorion käyttöön ESX Serverin rinnalle ja olisiko sillä jopa mahdollista korvata VMwaren tuote.

Tekijä on työssään ylläpitänyt ESX Servereita, minkä lisäksi hän on osallistunut koulutukseen kyseisestä tuotteesta. Tämän pohjalta tekijällä oli hyvät tiedot ESX Serveristä. Xen sen sijaan oli hänelle uusi tuttavuus, mutta siitä on saatavilla internetistä paljon tietoa, minkä avulla pystyy keräämään opinnäytetyössä tarvittavan tiedon. Aineisto työhön on kerätty kvalitatiivisen työtutkimuksen menetelmiä käyttäen, ja se koostuu pääosin Internetissä saatavilla olevista artikkeleista, tuotetiedoista sekä wikisivuista.

Työn tärkeimpänä tuloksena voidaan pitää sitä, että testattu Xenin versio ei vielä sovellu NSN:n tarpeisiin, ainakaan bare metal -virtualisointiin. Tulevaisuuden haasteena olisi mielenkiintoista selvittää Xenin paremmin hallitseman paravirtualisoinnin toimivuutta samoisissa laboratorio-olosuhteissa.



<b>Author(s)</b>	Marko Kanerva	
<b>Degree Programme(s)</b>	Business Information Systems	
<b>Title</b>	Virtualization using two different platforms - VMware ESX Server and open source Xen hypervisor	
<b>Month and year</b>	April 2008	
<b>Supervisor</b>	Marko Kanerva	<b>Pages: 38</b>

---

## **ABSTRACT**

This thesis handles two different virtualization platforms, VMware ESX Server and open source Xen hypervisor. Their features will be presented and later on they will be compared based on the information given earlier.

This thesis is based on the assignment given by Nokia Siemens Networks (NSN). There was a need to investigate the feasibility of Xen for NSN laboratory usage. Also VMware ESX Server, which was already in use, was needed to be compared to Xen. Objective for this was to investigate the feasibility of Xen to be run side by side with ESX Server or to wholly replace it.

In my job at NSN I have administrated ESX Servers and I have also attended trainings of the product. Based on this I have gathered rather good knowledge of the ESX Server. Nevertheless Xen was a new acquaintance to me. Fortunately, there is much information about Xen in the Internet which helped me to gather the information needed for my thesis. I collected the material using the methods of qualitative methods, and it mainly consists of articles, product information and wikipages available on the internet.

The most important result in the thesis is the fact that Xen is not yet ready to be taken in use in NSN laboratory, at least the bare metal virtualization of it. As a challenge for the future, it would be interesting to find out whether if the paravirtualization, which Xen handles far more better, could be used in the same laboratory environment.

---

## Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	5
2 Nokia Siemens Networks .....	6
3 Virtualisointi.....	7
3.1 Mitä virtualisointi on.....	7
3.2 Ohjelmistojen virtualisointi .....	7
3.3 Käyttöjärjestelmien virtualisointi.....	8
3.3.1 Virtualisointi isäntäkäyttöjärjestelmän päällä.....	9
3.3.2 Bare metal virtualisointi.....	10
3.4 Virtualisointituki laitteistoissa.....	11
4 VMware.....	12
4.1 VMware yhtiönä.....	12
4.2 VMwaren tuotteet.....	13
4.3 ESX Server.....	13
4.4 Virtuaalikoneet ESX Serverissä.....	15
5 Avoimen lähdekoodin Xen hypervisor.....	18
5.1 Xen-projekti.....	18
5.2 Xen hypervisor.....	19
5.2.1 Dom0.....	19
5.2.2 DomU.....	20
5.2.3 HVM.....	21
5.2.4 Xenin tukemat kokoonpanot.....	21
5.3.5 Virtuaalikoneet Xenissä.....	22
6 Vertailussa käytetyt virtualisointiympäristöt.....	28
6.1 Laitteisto.....	28
6.2 VMware ESX Server.....	29
6.3 XEN hypervisor.....	31
7 Ominaisuuksien vertailu.....	33
8 Johtopäätökset.....	35
9 Pohdinta.....	37
Lähteet.....	38

---

---

# 1 Johdanto

Opinnäytetyölleni oli jo pitkään ollut toimeksiantajana Nokia Siemens Networks mutta sopivan aiheen löytäminen oli pitkä prosessi. Kiinnostavia iheita olisi kyllä ollut tarjolla, mutta ongelmalliseksi ne teki niiden kohdistuminen Nokia Siemens Networksin (myöhemmin NSN) tuotteen ja täten salassapitosopimuksen piiriin joutuminen. Tämä olisi johtanut opinnäytetyön ainakin osittaiseen salaamiseen. Lopulta sopiva aihe löytyikin virtualisoinnin saralta, mikä on tämän hetken yksi kuumimmista ellei jopa kuumin aihe tietotekniikassa.

Aiheen valitseminen virtualisoinnista oli myös sikäli luonnollista, että se on työkuvani NSN:llä. Opinnäytetyössä tarkastellaan bare metal virtualisointia kahdella eri alustalla, VMware ESX Serverillä ja avoimen lähdekoodin Xenillä. ESX Server oli ollut käytössä NSN:llä jo muutaman vuoden ajan, joten haluttiin testata, soveltuisiko Xen mahdollisesti NSN:n käyttöön. Tästä syntyikin opinnäytetyöni aihe eli virtualisointi kahdella eri alustalla - VMware ESX Server ja avoimen lähdekoodin Xen hypervisor.

Opinnäytetyössäni olen keskittynyt alustojen ominaisuuksien vertailuun ja virtuaalikoneen asennukseen ja käyttöönottoon. ESX Server oli valmiiksi asennettuna ja Xen testit suoritettiin Red Hat Enterprise Linux 5.1 mukana asentuvalla Red Hat Virtualizationilla, joka asennettiin oletusasetuksilla. Pelkästä Xenin asentamisesta ja käyttöönotosta olisi varmasti jo yksinään saanut kokonaisen opinnäytetyön, mutta tällä kertaa haluttiin vertailla alustoja keskenään.

Opinnäytetyön lähteenä on käytetty laajalti kaupallisten yhtiöiden digitaalista materiaalia mikä on kaikkien vapaasti luettavissa WWW:stä. Tämän takia lähdemateriaaliin suhtautuminen on pyritty pitämään mahdollisimman kriittisenä, sillä aineiston keruuvaiheessa markkinointimateriaalin sekoittaminen teknisiin kirjoituksiin on ollut mahdollista.

---

## 2 Nokia Siemens Networks

Nokia Siemens Networks (NSN) aloitti toimintansa 1.4.2007 ja se on muodostettu yhdistämällä Nokian Networks toimialaryhmä ja Siemensin operaattorimarkkinoiden langattomien ja kiinteiden verkkojen toiminnot (Nokia 2008). NSN on Nokia Oyj:n ja Siemens AG:n puoliksi omistama tytäryhtiö, jolla on noin 60000 työntekijää ympäri maailmaa, joista 9000 Suomessa. NSN:n pääkonttori sijaitsee Espoossa.

Yrityksen toimiala on tietoliikenneverkkoratkaisujen suunnittelu ja tuotanto. Tähän kuuluu sekä laitteistoja että ohjelmistoja. Toimintaa on tällä hetkellä noin 150:ssa maassa, tärkeimpinä keskuksina ovat muunmuassa Suomi, Saksa, Kiina, Intia ja USA. NSN:n toiminta on jaettu kuuteen liiketoimintayksikköön, joita ovat:

- Huoltopalvelut (*Services*)
- Tuotanto ja ohjelmistokehitys (*Operations and Business Software*)
- Radioverkot (*Radio Access*)
- Puhelinkeskukset (*Broadband Access*)
- IP tietoverkot (*IP Transport*)
- Huoltopalvelut ja -sovellukset (*Service Core and Applications*)

NSN:n asiakaskunta muodostuu noin 1400 asiakkaasta 150 maassa ja 75 % maailman suurimmista operaattoreista on yhtiön asiakkaita. Maailman laajuinen markkina-asema langattomissa verkoissa ja operaattoripalveluissa on toinen ja lankaverkoissa kolmas (Nokia Siemens.. 2008).

---

## 3 Virtualisointi

### 3.1 Mitä virtualisointi on

Virtualisoinnista on nykyään tullut varsinainen muoti-ilmiö tietotekniikassa. Lähes jokaisessa tietotekniikan seminaarissa, messutapahtumassa tai yrityksille suunnatussa mainonnassa puhutaan virtualisoinnista. Kyseessä ei kuitenkaan ole mikään uusi keksintö, vaan jo 1970-luvulla suuriin keskustietokoneisiin muodostettiin virtualikoneita, joiden avulla käyttäjille pystyttiin jakamaan heidän tarvitsemaansa laskenta-aikaa. Toinen syy virtualisointiin oli eri ohjelmaversioiden samanaikainen käyttö. Kun x86-arkkitehtuuri ja moniajokäyttöjärjestelmät alkoivat yleistyä, siirrettiin myös palvelinten tehtäviä suoritettavaksi halvemmän arkkitehtuurin päälle. Tällöin yleistyi tapa, jossa jokaista yksittäistä ohjelmaa ja tehtävää varten oli oma palvelimensa. Ajan mittaan palvelinten tarve ja määrä on kasvanut huomattavia määriä, tuoden mukanaan tila-, hallinta- ja virtaongelmat, ja virtualisointia tarjotaan ratkaisuksi näihin ongelmiin. (Hämäläinen 2007: 61)

Sekä laiteresursseja, että ohjelmia voidaan virtualisoida. Laiteresurssien virtualisoinnilla tarkoitetaan sitä, kun useammasta palvelinkoneesta muodostetaan kokonaisuus, yksi klusteri eli palvelinrypäs, joka näkyy käyttäjärajapintaan yhtenä tehokkaana palvelinkoneena. Tämä voi myös olla yksi tehokas palvelinkone. Eräänlainen esimerkki tästä ovat erinäiset grid-tekniikalla luodut palvelinryppäät, jotka ovat tietoverkon kautta yhteydessä toisiinsa. Kyseessä ei kuitenkaan ole varsinainen virtualisointi, vaan tästä käytetään termiä hajautettu-laskenta. Yksi tunnetuimpia ja ensimmäinen grid-tekniikkaa käyttävä palvelinrypäs oli SETI@home (*Search for Extraterrestrial Intelligence*). Kyseessä on tieteellinen koe, joka käyttää Internetiin yhteydessä olevia tietokoneita Maan-ulkopuolisen elämän etsimiseen (SETI@home 2008).

Gerald J. Popek ja Robert P. Goldberg ovat määritelleet virtuaalikoneen seuraavasti: ”Eristetty, tehokas kopio oikeasta koneesta”. (Popek 1973: 121)

### 3.2 Ohjelmistojen virtualisointi

Ohjelmistojen virtualisointi voi olla joko työpöytäsovelluksen tai kokonaisen käyttöjärjestelmän virtualisointia. Ohjelmien virtualisoinnissa yhdellä tai useammalla palvelinkoneella ajetaan ohjelmistoa, joka palvelee työpöytäkoneissa olevaa asiakasohjelmistoa.

---

Ohjelmiston avulla asiakaskoneissa voidaan käyttää ohjelmia, joita ei ole asennettu fyysisesti koneelle, vaan kaikki tarvittava ladataan tietoverkon läpi palvelinkoneelta. Tällä pyritään helpottamaan ohjelmistojen hallintaa, kun jokaiselle yksittäiselle työpöytäkoneelle ei tarvitse asentaa kaikkia ohjelmia, vaan yksittäinen asiakasohjelma riittää. Varsinkin suuremmissa yrityksissä ja virastoissa, missä jokaisella työntekijällä on oma tietokone, tämä helpottaa tietotekniikkaosaston työtaakkaa, koska päivitykset virtualisoituihin ohjelmiin tehdään keskitetysti palvelinkoneella.

Nykyaikana myös ohjelmistojen lisensointi aiheuttaa sekä ongelmia, että työtä, koska jokaisella ohjelmalla on erilainen lisensointitapa sekä ehdot. Palvelinohjelman kautta pystytään seuraamaan käytössä olevia lisenssejä ja reagoimaan uusiin tarpeisiin. Koska jokaiselle työpöytäkoneelle ei tarvitse enää ohjelmaa asentaa, ei näin myöskään lisenssiä välttämättä kulu (riippuen toki lisenssiehdoista). Tietohallinto on myös tyytyväisempi, koska kerättyjen tietojen avulla sille pystytään toimittamaan tarkemmin tiedot käytössä olevista lisensseistä sekä mahdollisista uusista lisenssitarpeista.

### 3.3 Käyttöjärjestelmien virtualisointi

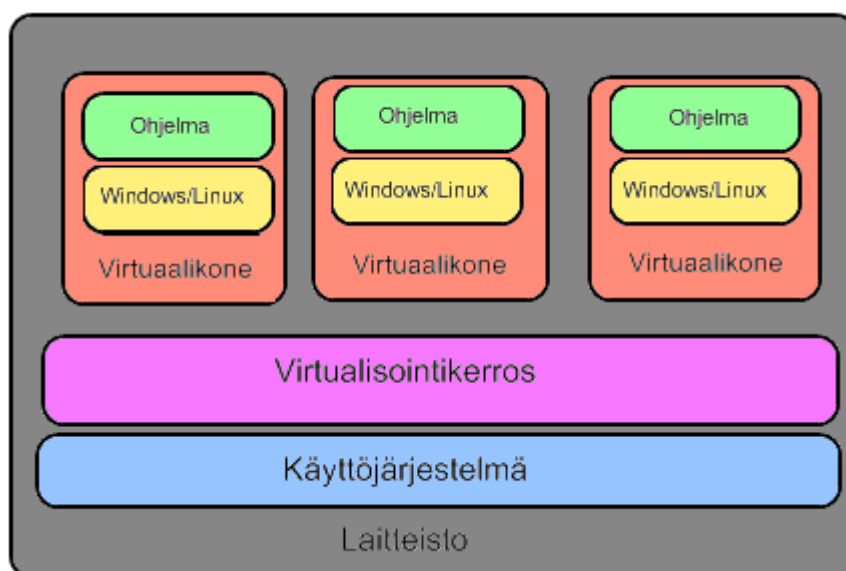
Puhuttaessa ohjelmistojen virtualisoinnista voidaan tarkoittaa joko työpöytäohjelmien-, ohjelmistojen tai käyttöjärjestelmien virtualisointia. Käyttöjärjestelmien ollessa kyseessä käytetään termiä alustojen virtualisointi. Yleensä kyseessä on yhden palvelinkoneen käyttö virtualisointialustana, jolla ajetaan yhtä tai useampia virtuaalisia koneita. Näin yhden palvelimen avulla voidaan tuottaa aiemmin useamman palvelimen vaatinut määrä palvelinalustoja. Näitä alustoja kutsutaan virtuaalikoneiksi. Nykyaikana yleisin käyttöjärjestelmien virtualisointi tapahtuu vielä isäntäkäyttöjärjestelmän avulla, mutta suuntaus on kohti virtualisointia ilman isäntäkäyttöjärjestelmää (*bare metal virtualization*).

---



### 3.3.1 Virtualisointi isäntäkäyttöjärjestelmän päällä

Virtualisoinnissa isäntäkäyttöjärjestelmän alaisuudessa tietokoneeseen asennetaan ensin käyttöjärjestelmä, jonka päälle luodaan virtualisointiohjelmistolla alusta käyttöjärjestelmien virtualisointia varten. Alustana toimii virtualisointikerros, joka tarjoaa tarvittavat tiedot laitteistosta virtuaalikoneelle. Kuvassa 1 on esitetty virtualisointi kaavakuvana. Tämä lähestymistapa kuluttaa suoritustehoa virtuaalikoneilta, koska virtualisointikerros joutuu suorittamaan muunnoksia isäntäkäyttöjärjestelmän ja virtuaalikoneen välillä, jotta virtuaalikonetta pystytään ajamaan isäntäkäyttöjärjestelmän päällä. yhteensopivuusongelmia saattaa esiintyä, koska isäntäkoneen laitteisto joudutaan ohjelmallisesti esittämään virtuaalikoneelle. (Hämäläinen 2007: 61)



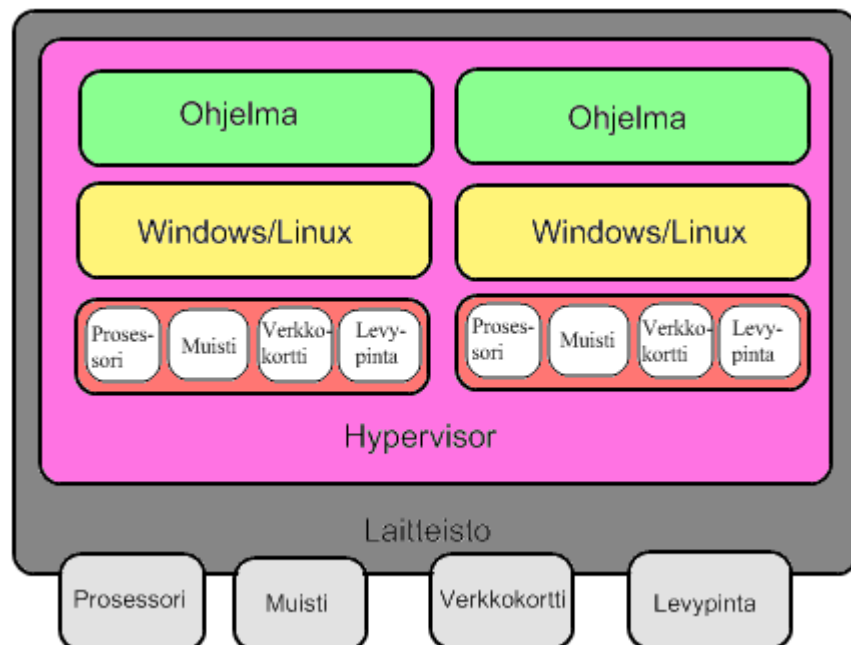
Kuva 1 Virtualisointi isäntäkäyttöjärjestelmän päällä

Esimerkki virtualisointiohjelmistosta, joka toimii isäntäkäyttöjärjestelmän päällä, on Microsoft Virtual Server 2005. Tässä tapauksessa ainoastaan Microsoft Windows Server 2003 R2 tai tuoreempi versio sopii isäntäkäyttöjärjestelmäksi. Virtual Server 2005 ei toimi ilman isäntäkäyttöjärjestelmää, koska sitä ei voida asentaa suoraan laitteiston päälle.

### 3.3.2 Bare metal virtualisointi

Virtualisoinnissa ilman isäntäkäyttöjärjestelmää, eli bare metal menetelmässä, ei ole varsinaista käyttöjärjestelmää laitteiston päällä. Tarpeisiin muokattu käyttöjärjestelmä asentuu virtualisointiohjelmiston kera. Tällöin virtualisointialusta, eli *hypervisor*, toimii suoraan laitteiston päällä (Kuva 2). Hypervisor tarjoaa suoran väylän isäntäkoneen komponentteihin, toisin kuin isäntäkäyttöjärjestelmän päälle rakennetun virtualisoinnin kohdalla. Isäntäkäyttöjärjestelmän alaisuudessa tapahtuvassa virtualisoinnissa tarvitsisi lähettää pyynnöt laitteille virtualisointikerroksen ja isäntäkäyttöjärjestelmän lävitse. Verrattuna isäntäkäyttöjärjestelmän alaisuudessa tapahtuvaan virtualisointiin bare metal virtualisoinnin etu nopeuden ja käyttövarmuuden lisäksi on siinä, että yhteensopivuusongelmia ei yleensä synny, koska käyttöjärjestelmillä on laitteiston välissä ainoastaan hypervisor. Tämä tosin koskee ainoastaan tuettuja käyttöjärjestelmiä.

Toinen vertailtavista virtualisointiratkaisuista on VMware ESX Server 3 (jatkossa ESX Server), joka on bare metal virtualisointiratkaisu. Siinä hypervisor asennetaan suoraan palvelimen kovalevyille karsitun Linux-käyttöjärjestelmän kera. Tämä Linux on virtuaalikone, ja toimii tässä ratkaisussa ESX Serverin hallintakonsolina.



Kuva 2. Bare metal virtualisointi

### 3.4 Virtualisointituki laitteistoissa

Suosituinta virtualisointi on X86-arkkitehtuuria käyttävien tietokoneiden keskuudessa. Ei olekaan yllättävää, että kaksi suurinta kyseisen arkkitehtuurin prosessorituottajaa kehittivät suoritintason tuen virtualisoinnille. Kyseessä ovat siis Intel ja AMD, joiden tekniikat tunnetaan nimellä Intel VT ja AMD-V. Kumpikin yhtiö julkisti tekniikkansa vuonna 2005, mutta vasta vuodesta 2006 alkaen kyseisen tekniikan tarjoavia prosessoreita on toimitettu asiakkaille. Vaikka molempien valmistajien prosessoriarkkitehtuuri on X86, on kumpikin valinnut hieman erilaisen tavan toteuttaa suoritintason virtualisointituki. Tämä johtaa siihen, että Intelin ja AMD:n tekniikat eivät ole yhteensopivia keskenään samassa ympäristössä käytettynä, kun suoritetaan käynnissä olevien virtuaalikoneiden siirtoja palvelimelta toiselle.

Suoritintason virtualisointitukea ei ole yksinkertaista ottaa käyttöön, sillä virtualisointikerroksen on tuettava sitä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että virtualisointikerrokseen on lisättävä koodia suorittimia varten. Koska Intel VT and AMD-V eroavat toisistaan tekniikoiltaan, kumpaakin varten tarvitaan oma koodina.

Opinnäytetyössä vertailtavista tekniikoista toinen on avoimen lähdekoodin Xen hypervisor, joka tarvitsee isäntäkäyttöjärjestelmän toimiakseen, mutta tarjoaa bare metal virtualisointiratkaisun suoritintason virtualisoinnin avulla. Ennen suoritintason virtualisointitukea Xen kykeni vain paravirtualisointiin, missä virtualisoitava käyttöjärjestelmä joudutaan erikseen muokkaamaan virtualisointiin. Luultavasti tästä syystä avoimen lähdekoodin Linux onkin suosituin paravirtualisoitava käyttöjärjestelmä ja Windowsia ei kyseisellä tekniikalla pystytä ajamaan, sillä sitä ei voi muokata tukemaan paravirtualisointia, koska lähdekoodia ei ole saatavilla.

---

## 4 VMware

### 4.1 VMware yhtiönä

VMware muodostuu sanoista *Virtual Machine ware*, eli karkeasti käännettynä virtuaalinen tietokone ohjelmisto. Nimensä mukaisesti, yhtiö keskittyy pelkästään tietokoneiden virtualisointiin, kaikki sen tuotteet on tähdätty joko suoraan IT-ratkaisuiden virtualisointiin tai tukemaan prosessia.

VMware, Inc. on maailman johtava virtualisointiratkaisuiden toimittaja x86-arkkitehtuuriin pohjautuviin tietokoneisiin, sekä työpöytä-, että palvelin puolella. Yhtiö perustettiin vuonna 1998 Kaliforniassa ja sen pääkonttori sijaitsee Palo Altossa, joka on Piilaakson pohjoisosassa. Vuonna 2004 tiedonhallinta- ja tallennusyhtiö EMC<sup>2</sup> hankki aiemmin yksityisomistuksessa olleen VMwaren omistukseensa tehden siitä tytäryhtiönsä. VMwaresta tuli julkinen osakeyhtiö vuoden 2007 elokuussa kun EMC<sup>2</sup> laski 10% osuuden VMwaren osakkeista New Yorkin pörssiin (VMware, Inc. 2008).

Työntekijöitä VMwarella on tällä hetkellä suunnilleen 4500 ja toimistoja yli 40 kaupungissa ympäri maailman. Yhtiö tekee yhteistyötä yli 350 laitteisto-, ohjelmisto-, verkko- ja yhtiöiden kanssa ja sillä on reilut 6000 jälleenmyyjää, jakelijaa ja järjestelmäintegraattoria.

---

## 4.2 VMwaren tuotteet

Työpöytätietokoneiden virtualisointiin keskittyviä tuotteita ovat VMware Workstation, VMware Fusion ja VMware Player. Edellisten tuotteiden apuna työpöytä puolella ovat VMware Virtual Desktop Infrastructure ja VMware ACE, jotka on tarkoitettu virtuaalikoneiden hallintaan (Server.. 2008).

Palvelinten virtualisointiin VMwaren tuotevalikoimasta löytyy enemmän laajuutta. Varsinaisia virtualisointituotteita ovat VMware ESX Server 3, VMware ESX Server 3i sekä VMware Server. ESX Server 3 ja 3i ovat molemmat bare metal virtualisointiratkaisuja. Erona näissä on se, että 3i toimitetaan erillisenä piirikorttina tai ulkoisella tallenvälineellä, jossa hypervisor sijaitsee. ”Pelkkä” 3 asennetaan puolestaan tavalliseen tapaan koneen massamuistiin, josta sitä käytetään. ESX Server sisältää VMware Virtual SMP ja VMware VMFS tekniikat, joista ensin mainittu on moniprosessori tuki hypervisorille ja jälkimmäinen klusteroitu tiedostojärjestelmä. VMware Server sen sijaan ei ole bare metal ratkaisu ja se asennetaan siis isäntäkäyttöjärjestelmän päälle (Server.. 2008).

Muita VMwaren lisäosia, jotka voidaan hankkia lisänä aiempiin neljään ovat VMware DRS, VMware High Availability, VMware Consolidated Backup, VMware Storage Vmotion, VMware Vmotion ja VMware Update Manager. Nämä tuovat lisää ominaisuuksia perustason ESX Serveriin, mutta eivät ole välttämättömiä toiminnan kannalta. Hallintaan ja automaatioon VMware tarjoaa seuraavia ohjelmia: VMware VirtualCenter, VMware Converter, VMware Capacity Planner, VMware Site Recovery Manager ja VMware Lab Manager (Server.. 2008). Näitä ohjelmia ei ole käytetty opinnäytetyötä tehtäessä.

## 4.3 ESX Server

Opinnäytetyössä käytetty VMwaren tuote oli VMware ESX Server 3 Enterprise, joka on suurimpien palvelinkeskusten käyttöön suunnattu virtualisointialusta. ESX Server 3 on bare metal hypervisor virtualisointiratkaisu, joka asentuu suoraan palvelimen massamuistiin. Jokainen virtuaalikone toimii kuten fyysinen kone, kaikilla on oma BIOS ohjelma sekä oma prosessori, muisti, massatallennus ja verkotus (VMware ESX.. 2008). Virtuaalikoneen kokoonpano koostuu muutaman perus PC-laitteista, jotka

---

on virtualisoitu VMwaren hypervisorin avulla. Nämä virtuaalilaitteet pysyvät hypervisorin kautta hyödyntämään isäntäkoneen laitteistoa. Kuvassa 3 on esitetty ESX Serverin kokoonpano yleisellä tasolla.



Kuva 3 VMware ESX Server ([http://www.vmware.com/files\\_inline/images/products\\_esx\\_diagram.gif](http://www.vmware.com/files_inline/images/products_esx_diagram.gif))

VMwaren tukemia virtuaalikoneiden käyttöjärjestelmiä ovat Microsoft Windows, Linux, Novell NetWare sekä SUNin x86 Solaris. Taulukossa 1 on listattu VMwaren tukemat käyttöjärjestelmät ESX Server 3.02:n alaisissa virtuaalikoneissa. Linux-käyttöjärjestelmiä voidaan toki ajaa muitakin kuin tuettuja levitysversioita, mutta tällöin VMware ei tarjoa tukea ongelmatilanteissa.

Taulukko 1 Käyttöjärjestelmien tuetut versiot ESX Serverissä (Guest.. 2008)

Microsoft Windows	Red Hat Enterprise Linux	SUSE Linux Enterprise Server	Ubuntu Linux	Netware Server	Solaris x86
NT 4.0	5	10	7.04	6.5	10
2000	4	9		6.0	
XP	3	8		5.1	
Server 2003	2.1				
Vista					

ESX Server voidaan asentaa palvelinkoneelle, jossa voi olla jopa 32 prosessorin ydintä, esimerkiksi kahdeksan kappaletta neljän ytimen prosessoria tai 16 kappaletta kahden ytimen prosessoria. Palvelimella voi olla maksimissaan asennettuna 128 gigatavua muistia. Yhdelle virtuaalikoneelle voidaan esittää maksimissaan neljä prosessoria ja 64 gigatavua muistia, joten erilaisia asetusmahdollisuuksia on olemassa lukemattomia.

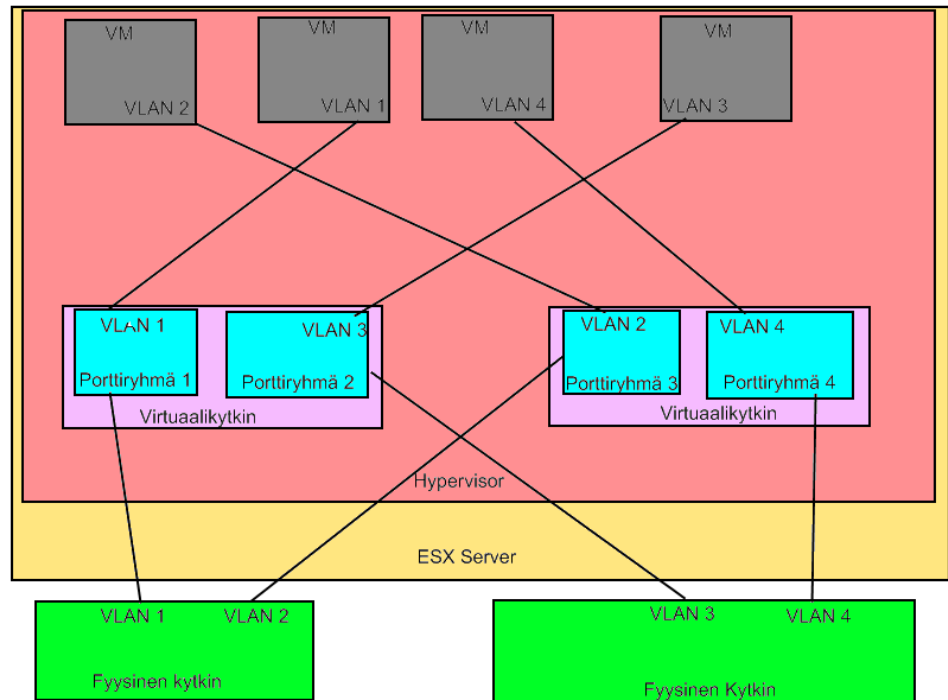
#### **4.4 Virtuaalikoneet ESX Serverissä**

Virtuaalikoneita voidaan ajaa dynaamisesti määritetyillä arvoilla. Tämä mahdollistaa virtuaalikoneiden käytön todella vaihteleviin tarpeisiin, pienin resurssein varustettu kone voi palvella pienen ryhmän tiedostopalvelimena ja suurin resurssein varustettuna virtuaalikoneella voidaan ajaa esimerkiksi tietokantapalvelinta. Palvelimella tarvitsee olla vähintään kaksi loogista prosessoria, jotta virtuaalikoneelle pystytään esittämään useampi kuin yksi prosessori. (VMware ESX.. 2008).

Hypervisor mahdollistaa virtuaalikoneille näkymän palvelimen laitteistoon poistaen näin virtualisoitavan käyttöjärjestelmän muokkauksen tarpeen, toisin kuin paravirtualisoinissa. Vaikka jokainen virtuaalikone näkee laitteistoon hypervisorin kautta, se estää samalla palvelimella olevia koneita näkemästä toisiaan. Koneiden välinen keskustelu tapahtuu samaan tapaan kuin fyysisten koneiden kohdalla, eli verkon kautta.

ESX Serverille luodaan virtuaalisia kytkimiä, johon koneet kytkeytyvät niille määritettyjen virtuaaliverkkokorttien kautta. Jos koneet ovat samassa verkkoalueessa, verkkoliikenne kulkee pelkästään sisäisen kytkimen kautta, mutta ei kuitenkaan suoraan koneesta koneeseen. Jos taas koneet kuuluvat eri verkkoihin, liikenne tarvitsee reitittää aivan kuten oikeillakin koneilla. Verkkoliikenne kulkee virtuaalisen kytkimen kautta palvelimen verkkoliitäntään, josta se jatkaa kytkimen kautta reitittimelle asti, päätyen lopulta toiselle samalla palvelimella olevalle virtuaalikoneelle (Kuva 4). Tämä siis tapahtuu aina, vaikka virtuaalikoneiden verkkoliikenne kulkisi saman fyysisen verkkoliitäntännän kautta. Eri verkkoihin liitetyt virtuaalikoneet erotellaan toisistaan yleisimmin virtuaalikytkimellä VLANien avulla. Virtuaalikytkimelle luodaan porttiryhmiä, joihin määritellään tarvittavat VLANit. Virtuaalikoneiden verkkokorteille puolestaan määritellään nämä porttiryhmät.

---



Kuva 4 Verkkoliikenne ESX Serverissä virtuaalikoneille.

Virtuaalikoneita varten tulee luoda VMFS tiedostojärjestelmällä alustettu levyosio. Se voi olla osio paikalliselta SCSI kovalevyiltä, palvelimelle esitely osio TCP/IP:n päällä toimivalta iSCSI-protokollalla liitettyllä levypalvelimelta tai perinteiseltä kuituliitännäiseltä SAN tallennuspalvelimelta. Itse virtuaalikone koostuu vain muutamasta VMFS osion päällä olevasta tekstitiedostosta, sekä yhtenä isona tiedostona näkyvästä virtuaalikoneen kovalevystä. Tekstitiedostoissa on kuvattu virtuaalikoneen laiteressurssit sekä BIOS, jotka ESX Server osoittaa koneen käyttöön hypervisorin kautta.



VMware ESX Server tukee virtuaalikoneen käytönaikaista siirtoa ESX hostilta toiselle ESX:lle ilman käyttökatkosta. Kun siirto suoritetaan, virtuaalikoneen sen hetkinen muistisisältö jäädytetään ja kopioidaan verkon kautta toiselle ESX Serverille. Tässä tapahtuu muutaman kymmenen millisekunnin katkos, jolla ei ole käytännön merkitystä koska timeout-ajat ovat paljon pidemmät. Muistin kopiointia varten tarvitaan dedikoitu verkkosovitin, jonka kautta verkkoliikenne tapahtuu. Kyseinen sovitin liitetään verkkoon, jota ei ole reititetty, sillä muistin kopiointi pysähtyisi reitittimeen. Tämän lisäksi SAN levyt, jossa virtuaalikone sijaitsee, tarvitsee olla esitelty molemmille ESX Servereille samalla LUN ID:llä (Logical Unit Number ID, SCSI väylässä olevan laitteen tunnistus). Virtuaalikoneita voidaan siirrellä ESX Serveriltä toiselle ilman rajoituksia, kunhan edellä mainitut vaatimukset on täytetty. VMware on antanut tälle tekniikalle nimen Vmotion. Tämä ei kuulu ESX Server peruslissenssiin, vaan on sisällytetty osaksi enterprise-tason lissenssiä.

---

## 5 Avoimen lähdekoodin Xen hypervisor

### 5.1 Xen-projekti

Xen on avoimen lähdekoodin hypervisor eli vastine VMwaren hypervisorille. Xen sai alkunsa Ian Prattin johtamassa "Building an Open Infrastructure for Global Distributed Computing" tutkimusprojektissa Cambridgen yliopistossa (Cambridge 2008). Ensimmäinen versio Xenistä julkiseen käyttöön julkaistiin vuonna 2003. Aikanaan avoimen lähdekoodin projektin, eli Xen-yhteisön (*Xen Community*), rinnalle perustettiin voittoa tavoitteleva Xensource Inc.-yhtiö, jonka perustajina toimivat Xen hypervisorin kehittäjät. Xensource on jatkanut hypervisorin kehittämistä, pitänyt lähdekoodin avoimena sekä tukenut yhteisöä. Yhtiö ja yhteisö ovatkin olleet hyvin läheisessä suhteessa, mutta ne eriytettiin toisistaan vuoden 2007 lopulla (Xen Community 2008).

Citrix Systems, Inc osti Xensourcen lokakuussa 2007, jolloin yhtiön ja yhteisön eriyttäminenkin tapahtui. Xensource jatkaa jatkossakin yhteisön tukemista ja on edelleen suurin Xenin lähdekoodin edistäjä, mutta yhteisö siirtyi omalle sivustolleen Xensourcen alaisuudesta, vaikkakin yhteisön internet-sivusto on edelleen Xensourcen ylläpitämä. Hieman ennen kuin Citrix hankki Xensourcen, Xen-projektia johtamaan perustettiin Xen Project Advisory Board, suomennettava Xen-projektin neuvoa-antava johtokunta. Tämä koostuu viidestä suurimmasta Xen projektin edistäjästä ja tärkeimmistä jakelijoista, jotka toimittavat Xen hypervisorilla markkinoille tuotteissaan. Vuoden 2008 tammikuusta alkaen johtokunnan jäsenet ovat Xensource, IBM, Intel, HP, Novell, Red Hat ja Sun Microsystems (Xen Community 2008).

---

## 5.2 Xen hypervisor

Toisena virtualisointialustana opinnäytetyössä käytettiin RedHat Enterprise Linux 5.1:n mukana tulevaa Xen hypervisorin versiota 3. Xen hypervisor kykenee paravirtualisoimaan päällään ajettavan virtuaalikoneen, mutta tässä tapauksessa sitä ei käytetty, jotta vertailu ESX Serverin kanssa olisi mahdollisimman yhtenevä. Paravirtualisoinnin sijaan käytettiin fyysisen prosessoriin sisältyvää virtualisointitukea apuna, jotta päästiin bare-metal virtualisointiin, kuten ESX Serverinkin kohdalla. Jollei prosessorissa ole virtualisointitukea, Xen ei kykene bare metal virtualisointiin.

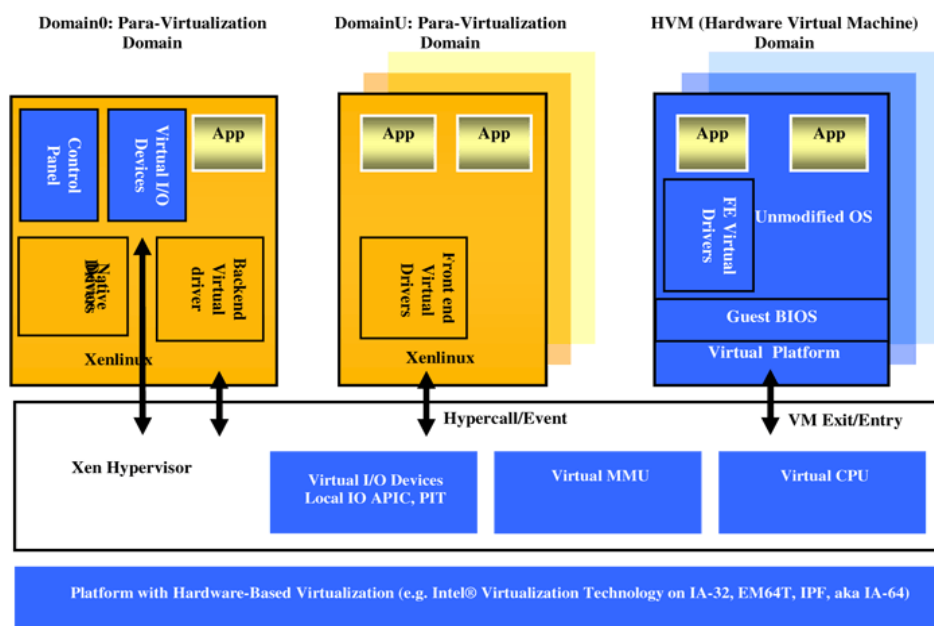
Ilman prosessoreiden virtualisointitukea Xen hypervisor kykenee ajamaan virtuaalikoneessa Linux, BSD ja Solaris x86 käyttöjärjestelmiä. Jos taas käytetyssä prosessorissa on virtualisointituki, Xen hypervisor kykenee virtualisoimaan myös eri versioita Microsoft Windows käyttöjärjestelmistä. Luonnollisesti prosessorin virtualisointituen avulla Xen kykenee ajamaan myös muitakin muuttamattomia käyttöjärjestelmiä. Esimerkiksi Linuxin ydintä ei tarvitse muokata tässä tapauksessa, toisin kuin paravirtualisoinnissa.

Xen hypervisor tarvitsee aina alleen isäntäkäyttöjärjestelmän, jonka päälle Xen asennetaan. Isäntäkäyttöjärjestelmänä on mahdollista käyttää mitä tahansa Linuxin levitysversioita, jotka sisältävät 2.6-sarjan ytimen. Jotta Linux kykenee ajamaan Xen hypervisoria, tarvitsee ydin konfiguroida ”CONFIG\_XEN\_PRIVILEGED\_GUEST” parametrilla (Dom0 2008).

### 5.2.1 Dom0

Xen kutsuu virtuaalikoneita domaineiksi, joita on kolmen tyyppisiä, Dom0, DomU ja HVM. Xen hypervisor käynnistää aina ensimmäisenä Dom0-domainin. Tämä toimii hallintarajapintana Xenissä, jonka avulla luodaan uudet virtuaalikoneet, hallitaan niiden virtuaalisia laitteistoja ja muun muassa käynnistetään ne. Dom0:lla on myös suora yhteys laitteistoon, kuten esimerkiksi kovalevyohjaimiin ja verkkokortteihin, ja se ajaa myös kaikkia tarvittavia laiteajureita, jotta käytössä oleva laitteisto pystytään hyödyntämään (Dom0 2008). Kuvassa 5 Xenin rakenne on esitetty graafisessa muodossa.

---



Kuva 5. Xen 3.0 architecture ([http://www.intel.com/technology/itj/2006/v10i3/3xen/figures/figure\\_1\\_lg.gif](http://www.intel.com/technology/itj/2006/v10i3/3xen/figures/figure_1_lg.gif))

## 5.2.2 DomU

Jos paravirtualisointi on käytössä, kutsutaan virtuaalikonetta Xenin sanastossa DomU-domainiksi. Näillä ei ole samanlaisia oikeuksia kuin Dom0-domaineilla, sillä niillä ei ole suoraa yhteyttä isäntäkoneen laitteistoon, vaan kaikki yhteydet kulkevat Dom0:n kautta (DomU 2008). Apuna virtuaalikoneessa toimii frontend-ajuri, joka on yhteydessä Dom0:ssa ajettavaan backend-ajuriin. Virtuaalikoneen käyttöjärjestelmälle ja kaikille ohjelmille frontend-ajuri näkyy pelkkinä normaaleina laitteina, esimerkiksi verkkokortina tai kovalevynä (FrontendDriver 2008). Kun virtuaalikone suorittaa pyynnön käyttää verkkokorttia, lähettää frontend ajuri pyynnön tästä backend ajurille Dom0:ssa, joka järjestää pyynnöt jonoon ja välittää sitten ne oikealle laitteistolle. Sama toistuu vastakkaisessa järjestyksessä, kun virtuaalikoneen pyyntöön saapuu vastaus tai jos siihen otetaan esimerkiksi verkkoyhteys toisesta koneesta (BackendDriver 2008). Paravirtualisoitu käyttöjärjestelmä on tietoinen siitä, että se on virtualisoitu. Paravirtualisoinnin mahdollistaa käyttöjärjestelmän muokkaus virtualisointia varten, eli esimerkiksi Linuxin kohdalla ytimen kääntö ja ajureiden asennus. Näiden avulla virtuaalikoneen teho voidaan säilyttää lähes samana kuin oikeankin koneen.

### 5.2.3 HVM

Kolmas domainin tyyppi on HVM, joka tulee sanoista *hardware-based virtual machine* eli laitteistoperustainen virtuaalikone. HVM-domainia kutsutaan *fully virtualized domainiksi*, eli suomennettuna täysin virtualisoiduksi domainiksi. Tämä vastaa VMware ESX Serverin bare metal-virtualisointitapaa. HVM-domainia varten Xen hypervisor tuottaa virtuaalisen alustan, joka vastaa oikeaa konetta, aivan kuin ESX Serverinkin kohdalla. Alusta koostuu samoista laitteista kuin oikeassakin koneessa olisi, jotka emuloidaan Xen hypervisorin päällä. Kaikki laitteet alustassa ovat virtuaalisia, joten HVM-domain ei näe yhtään fyysistä laitetta, vaan Xen hypervisor toimii rajapintana niiden välillä (Intel 2006: 194).

### 5.2.4 Xenin tukemat kokoonpanot

Xen hypervisorin voi asentaa palvelimeen, jossa on maksimissaan 32 prosessorin kantaa ja 128 gigatavua muistia. Tämä mahdollistaa nykyteknikan neliytimisillä prosessoreilla jopa 128:n ytimen kokoonpanon yhdessä palvelimessa. Virtuaalikoneille voidaan osoittaa maksimissaan 32 virtuaalista prosessoria ja 32 gigatavua muistia. Nämä mahdollistavat laajan kirjon erilaisia kokoonpanoja virtuaalikoneille. Perus-konsoli käyttöä varten tehty virtuaalikone voidaan varustaa esimerkiksi yhdellä prosessorilla ja vähäisellä määrällä muistia. Toisaalta, koska yhdelle koneelle on mahdollista esitellä 32 prosessoria ja 32 gigatavua muistia, on tällaisella kokoonpanolla varustetulla virtuaalikoneella mahdollista ajaa tietokantaohjelmistoa, jossa on suurikin määrä tietoa (Citrix XenServer En.. 2008).

Xen hypervisor tukee paravirtualisointina Linux 2.6-ydintä, NetBSD:n 3.1- ja 4.0-versioita, erillisen korjauksen avulla FreeBSD:n versiota 7, sekä Sunin Solaris käyttöjärjestelmän versiota 10. Prosessorin virtualisointituen avulla Xen hypervisor kykenee ajamaan käytännössä kaikkia x86-arkkitehtuurille tehtyjä käyttöjärjestelmiä. Tämän mahdollistaa se, että käyttöjärjestelmää ei tarvitse muokata virtualisointia varten, vaan sitä pystytään ajamaan aivan kuin fyysisen koneen tavoin.

---

Taulukossa 2 on listattuna Xen 3.0:n tukemat käyttöjärjestelmät isäntäkoneissa ja virtuaalikoneissa, sekä paravirtualisoituna että täysin virtualisoituna (OSCompatibility 2008).

Taulukko 2. Xenissä toimivat käyttöjärjestelmät (OSCompatibility 2008).

Käyttöjärjestelmä	Dom0 (isäntä käyttöjärjestelmä)	DomU ja HVM (virtualisoitu käyttöjärjestelmä)
Linux 2.6 ydin	Kyllä	Kyllä
NetBSD 3.1	Ei	Kyllä
NetBSD 4.0	Kyllä	Kyllä
FreeBSD 5.3	Ei	Ei toimi tällä hetkellä
FreeBSD 7	Ei	Korjauksen avulla kyllä
Solaris 10	Ei tiedossa	Kyllä
Muokkaamaton Käyttö- Järjestelmä (mm. Windows)	Ei	Prossessorin virtualisointituen avulla kyllä

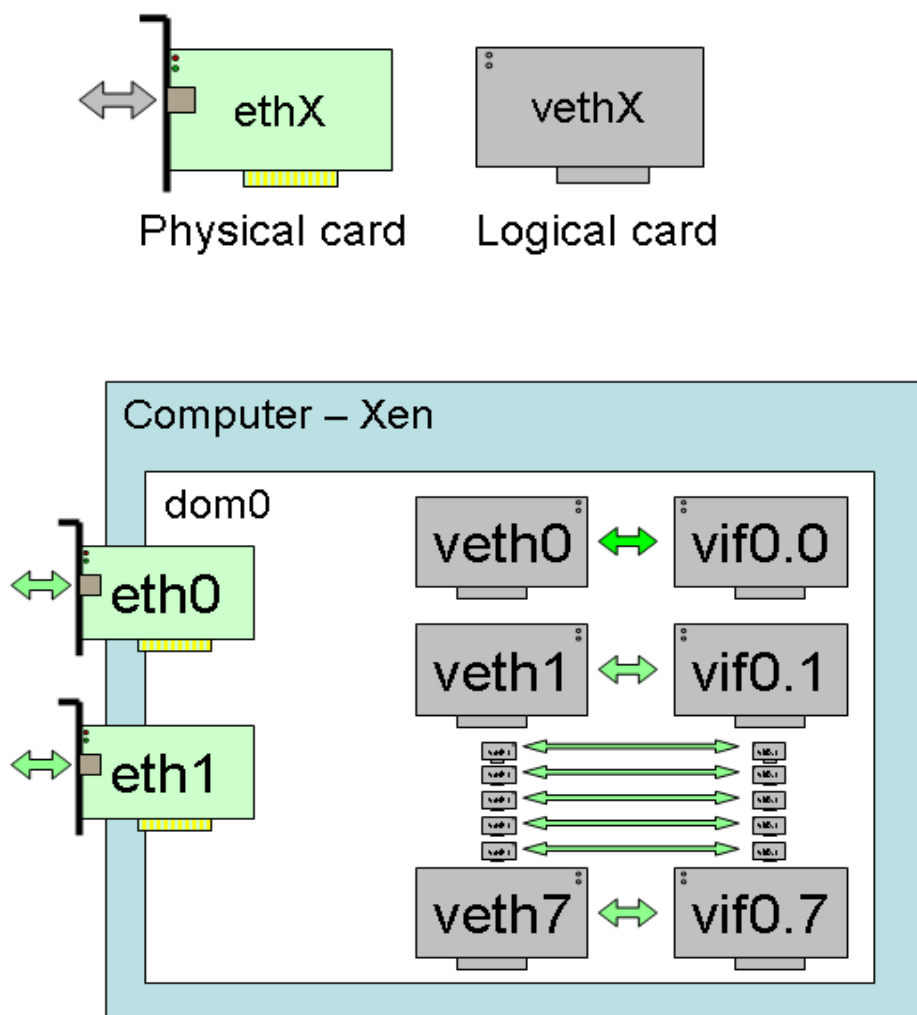
### 5.3.5 Virtuaalikoneet Xenissä

Xen hypervisor ei käytä omaa tiedostojärjestelmää, vaan virtuaalikoneet asennetaan isäntäkoneessa oleville massamuistilaitteille, jotka virtuaalikone alustaa omien tarpeidensa mukaan. Virtuaalikone voidaan asentaa joko levykuvalle tai kokonaan omalle osiolleen. Jos käytetään levykuvaa, se luodaan isäntäkoneessa valmiina olevalle levyille, joka on alustettu isäntäkoneen ymmärtämään levyjärjestelmään. Virtuaalikoneen massamuisti näkyy tässä tapauksessa yhtenä tiedostona isäntäkoneella. Tällä tavalla esitelty massamuisti käyttää levytilaa ainoastaan sen, mitä virtuaalikone varsinaisesti vie, eli siinä ei ole yhtään hukkatilaa. Näin määritelty levy on tosin huomattavan hidas heti kun I/O-kuorma kasvaa.(Xen 2008).

Mikäli virtuaalikoneelle esitellään kokonaan oma levy massamuistiksi, isäntäkoneella ei tarvitse alustaa eikä ottaa levyä käyttöön mutta sille on luotava osio. Tämä levy voi olla suoraan isäntäkoneen näkemä, esimerkiksi /dev/hda tai /dev/sda, jolle siis luodaan osio /dev/hda1 tai /dev/sda1. Toinen vaihtoehto on käyttää Logical Volume Manager (LVM) järjestelmää, jolla on esimerkiksi mahdollista liittää useita levyjä yhdeksi ja kasvattaa jo olemassa olevien levyjen kokoa (rPath 2008). Jos tiedetään, että

virtuaalikoneella tulee olemaan normaalia enemmän I/O-kuorma onkin suositeltavaa käyttää joko suoraan fyysisellä massamuistilla olevaa osiota tai LVM:n kautta määriteltyä osiota.

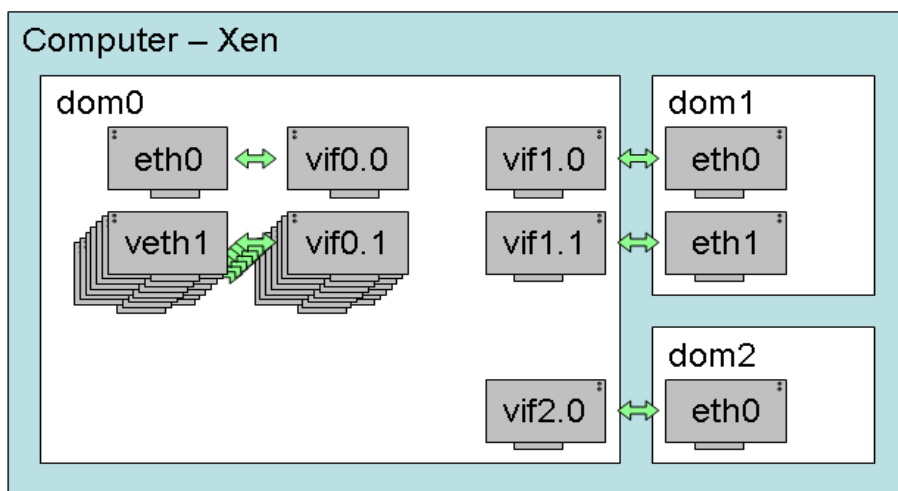
Virtuaalikoneiden verkkoliikenne Xen hypervisorissa hoidetaan virtuaalisilla verkkoliitännöillä ja siltauksella tai reitityksellä. Dom0 domainille eli hypervisorille luodaan oletuksena seitsemän paria virtuaalisia verkkokortteja, veth0 – X ja vif0.0 – X, jotka ovat Dom0:n eli isäntäkoneen käytössä (Kuva 6). Jokaista ethX:ta vastaa saman numeroinen vethX, jolle on taas vastaavan numeroinen vif0.X. Toisin sanoen eth0:lle on veth0 ja eth1:lle veth1 (XenNetworking 2008).



Kuva 6. Xen Dom0 verkotus [http://koocotte.googlepages.com/Diapositi ve5.png](http://koocotte.googlepages.com/Diapositi%20ve5.png)

Aina, kun uusi virtuaalikone luodaan, dom0:lle luodaan vastaava määrä vifX.X kortteja. Ensimmäisen kortin tunnus vif1.0 ja seuraava voi olla vif1.1 tai vif2.0 riippuen ensimmäisen virtuaalikoneen verkkokorttien määrästä. Virtuaalikoneen verkkokortti keskustelee vastaavan numeroisen vif-kortin kanssa, ensimmäisen virtuaalikoneen eth0 keskustelee siis vif1.0 kanssa ja toisen virtuaalikoneen eth0 vif2.0 kanssa. Kun taas ensimmäisen virtuaalikoneen eth1 keskustelee vif1.1:den kanssa mikä on esitetty kuvassa 7. Samalla isäntäkoneella olevien virtuaalikoneiden keskeinen verkkoliikenne tapahtuu Dom0:n kautta jos ne ovat samassa aliverkossa. Jos virtuaalikoneet ovat eri aliverkoissa niin verkkoliikenteen tarvitsee käydä reitittimellä, josta se ohjataan oikeaan aliverkkoon (XenNetworking 2008).

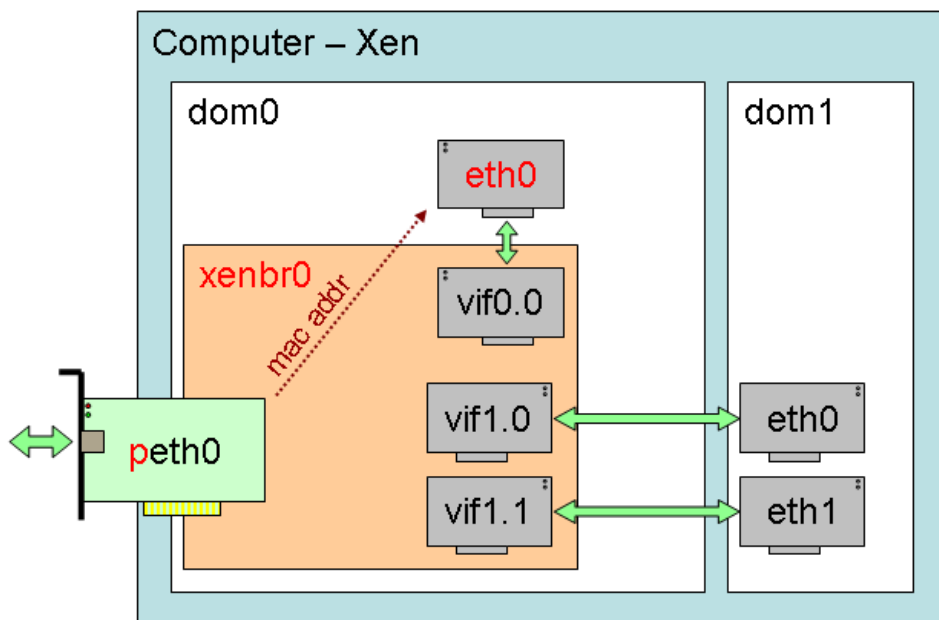
Virtuaalikoneiden verkkokorttien MAC-osoitteet voidaan luoda automaattisesti Xen hypervisorin toimesta, joilloin niistä tulee sattumanvaraisia riippuen domainista. On kuitenkin suositeltavaa määrittellä MAC-osoitteet käsin 00:16:3e:xx:xx:xx sarjasta jokaiselle verkkokortille virtuaalikonetta luotaessa (XenNetworking 2008).



Kuva 7. Xen hypervisorin sisäinen verkotus <http://koocotte.googlepages.com/Diapositive5.png>



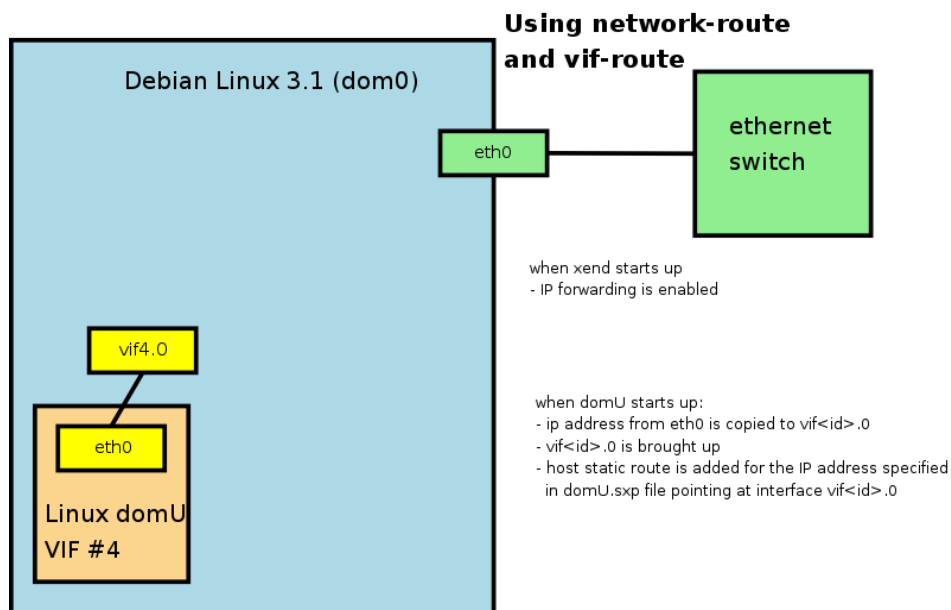
Xen hypervisorin verkotuksen voi toteuttaa kolmella eri tapaa, siltaamalla, reitittämällä tai virtuaaliverkolla. Siltauksessa luodaan xenbr0 niminen silta, siirretään eth0:n IP ja MAC osoite veth0:lle, samalla eth0 uudelleennimetään peth0:ksi. Tämän jälkeen veth0 nimetään uudelleen eth0:ksi, jonka jälkeen peth0 ja vif0.0 liitetään xenbr0 siltaan. Kun tämä on valmista, xenbr0, peth0, eth0 ja vif0.0 verkkokortit käynnistetään ja siltaava verkotus on toimintakunnossa. Kun siltaus on käytössä, kaikki IP-pohjainen liikennöinti isäntäkoneelle ja koneelta tapahtuu virtuaalisen eth0 verkkokortin kautta, johon silta ohjaa virtuaalikoneiden verkkoliikenteen. Kuvassa 8 on havainnollistettu verkotuksen siltaus Xen hypervisorilla. Kun tehdään uusi virtuaalikone, sille luodaan samanaikaisesti Dom0:aan vif1.0 verkkokortti, joka liitetään automaattisesti xenbr0:aan, minkä jälkeen virtuaalikone pystyy liikennöimään verkossa. Siltaus on oletustapa toteuttaa verkotus Xen hypervisorilla (XenNetworking 2008).



Kuva 8. Xenin verkotus siltauksella <http://koocotte.googlepages.com/Diapositive6.png>

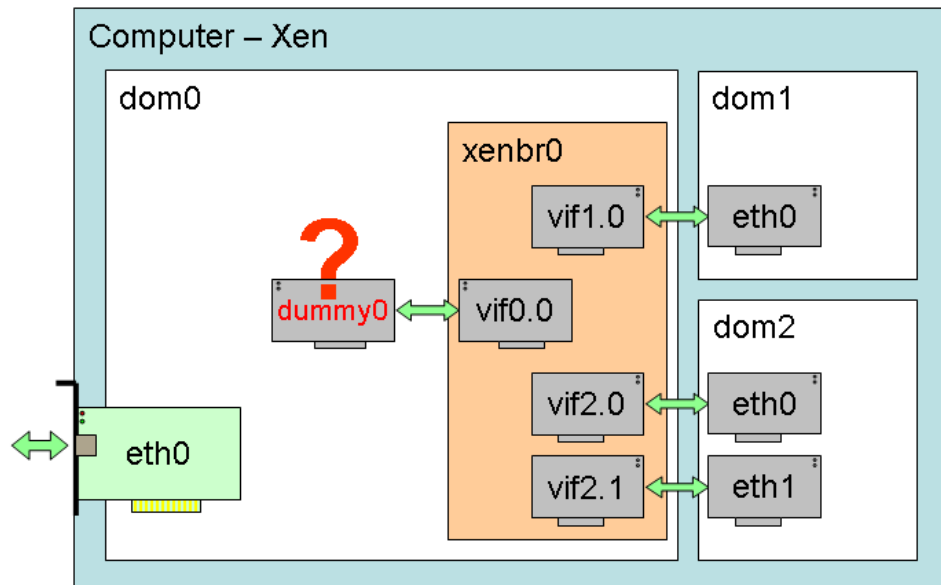
Xen pystyy toteuttamaan verkkoliikenteen virtuaalikoneille reitityksellä. Ensimmäisenä, kun Xen prosessi käynnistyy otetaan käyttöön IP-osoitteiden edelleenlähetykseen Dom0:ssa. Reititys luo point-to-point linkit virtuaalikoneiden ja Dom0:n välille, sekä lisää reitit virtuaalikoneille Dom0:n reititystauluun. Tämä vaatii tunnetun eli kiinteän IP:n virtuaalikoneilta. DHCP:tä ei taten voida käyttää, koska reittiä virtuaalikoneelle ei

voida tehdä ilman IP:tä ja DHCP-tarjous ei tavoita virtuaalikonetta. Kun virtuaalikone X:n käynnistyessä sen verkkokortin (esim eth0) IP kopioidaan vifX.0 virtuaaliverkkokortille Dom0:ssa. Tämän jälkeen vifX.0 käynnistetään ja staattinen reitti virtuaalikoneelle lisätään Dom0:n reititustauluun (XenNetworking 2008). Kuvassa 9 on havainnollistettu reititys Xen hypervisorilla.



Kuva 9. Xenin verkotus reitittämällä <http://lists.xensource.com/archives/html/xen-users/2006-02/pngy2DEMwu3Fb.png>

Xenin verkotus on myös mahdollista toteuttaa virtuaaliverkolla, missä domU:t (eli virtuaalikoneet) ovat samassa jaetussa virtuaalisessa verkossa dom0:n (eli hypervisorin) kanssa (Kuva 10). Tämä mahdollistaa Dom0:n tarjoaman DHCP-palvelimen käytön DomU:lla ilman, että DHCP pyynnöt kulkeutuvat fyysiseen verkkoon. Xenin verkotuksen toteuttaminen virtuaalisella verkolla ei ole kuitenkaan standardin mukainen tällä hetkellä.



Kuva 10. Xenin verkotus virtuaaliverkolla <http://koocotte.googlepages.com/Diapositive9.png>

Xen hypervisor tukee myös moninkertaisia VLAN-verkkoja, kunhan Dom0:aan eli isäntäkoneeseen on käännetty 802.1Q VLAN-tuki. Jokainen VLAN vaatii tosin oman fyysisen verkkosovittimensa, mutta IP:tä niille ei tarvitse asettaa, kunhan hypervisorin verkotus on toteutettu siltaamalla.

## 6 Vertailussa käytetyt virtualisointiympäristöt

### 6.1 Laitteisto

Molemmat vertailussa käytetyt ympäristöt oli asennettu samanlaisille palvelimille, jotka olivat HP Proliant DL585 G2. Kyseinen palvelin perustuu AMD:n Opteron prosessoreihin, joissa on mukana AMD-V virtualisointitekniikka. Tämä mahdollisti Xenin testauksen, koska haluttiin nimenomaan testata täysin virtualisoituja virtuaalikoneita.

Palvelinten kokoonpano oli testauksen aikana seuraavanlainen:

- Prosessorit: AMD Opteron 8224SE 3,2 GHz (4 kpl), tuplaydin malli. Tämä tarkoittaa sitä, että kummallakin palvelimella oli kahdeksan loogista prosessoria. Tämän enempää prosessoreita ei tähän malliin ole mahdollista laittaa, sillä kaikki neljä prosessorikantaa on käytössä.
  - Muisti: 667 MHz:n PC2-5300-DDR2, yhteensä 64Gt. Tämä on puolet palvelimen maksimimäärästä, joka tosin onnistuu vain 533 MHz:n PC2-4200-DDR2 muistityypillä.
  - Massamuisti: 72Gt:n SFF SAS kovalevyä (2 kpl, RAID 1-tasossa eli peilattuna keskenään). DL585 G2 tukee maksimissaan kahdeksaa 146Gt:n SAS kovalevyä, nämä ovat niin sanottuja hot swappable levyjä jotka mahdollistavat käytönaikaisen vaihdon.
  - Levyohjain: Smart Array P400 (tukee RAID 0, 1, 1+0 ja 5 tasoja ja on päivitettävissä tukemaan vielä RAID 6 tasoa).
  - Verkkosovittimet: yhteensä 4 kappaletta, yksi kaksi porttinen PCI-Express väylään liitetty verkkokortti sekä kaksi sisäistä sovitinta. Kaikkia sovitimia käytettiin 1 Gb:n nopeudella.
  - Kuitukortti: Qlogicin 4Gb FC Dual-Port PCIe HBA, eli 4:n gigabitin nopeuksia tukeva kaksiporttinen PCI-express-väylään liitettävä lisäkortti.
-

- Tallennuspalvelin: HP StorageWorks Enterprise Virtual Array 6000 sarjan SAN levypalvelin, josta esiteltiin LUN:ejä eli tallennus tilaa virtuaalikoneita varten (HP 2008).
- Virtuaalikoneen käyttöjärjestelmä: Red Hat Enterprise Linux 4.5 julkaisun 64-bittinen versio. Tämä on tällä hetkellä uusin julkaisu RHEL 4-sarjassa, tosin 5-sarjasta on julkaistu jo versiot 5 ja 5.1.

## 6.2 VMware ESX Server

VMwaren tuotteista testauksessa käytettiin sen enterprise tason virtualisointialustaa, ESX Server versio 3.02. Tuotteesta oli jo julkaistu testauksen aikana uusi 3.5 versio, mutta koska Nokia Siemens Networksissä käytössä oli versio 3.02, ei uudempaa versiota käytetty testauksessa.

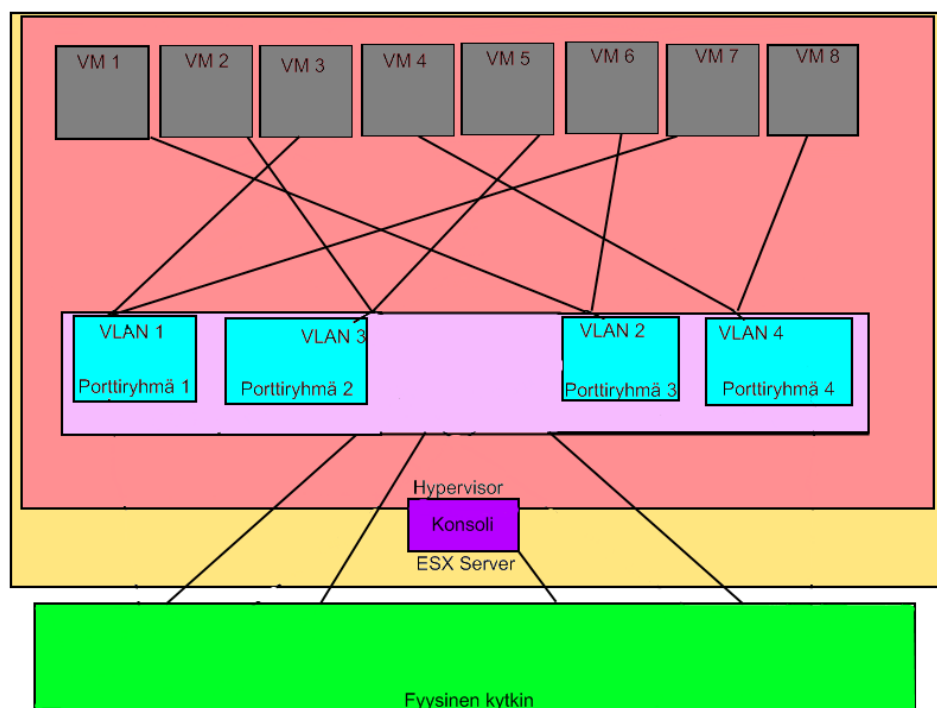
ESX Server oli asennettu DL585 G2:n paikallisille levyille, jotka olivat RAID 1 tasossa ja osioitu seuraavasti: Tallennustilaa kahden kovalevyn muodostamassa RAID 1 osiossa oli 72 gigatavua, josta 30 gigatavua varattiin hypervisorille ja hallintakonsolille ja 42 gigatavua paikalliselle VMFS osiolle. SAN levypalvelimelta esiteltiin kahdeksan kappaletta 60 gigatavun LUN:ejä virtuaalikoneita varten, yksi jokaista virtuaalikonetta kohden. Palvelimen neljästä verkkoliitännästä yksi varattiin konsolille ja loput virtuaalikoneiden verkotusta varten. Nämä kolme verkkoliitännää liitettiin yhteen virtuaalikytkimeen, tällä luotiin HA:ta (High Availability, tällä pyritään varmistamaan jatkuva toimivuus vaikka jokin menisikin viikaan. Tässä tapauksessa verkkoliitännät on kolminnettu.) verkkoliikenteeseen. Virtuaalikytkimeen luotiin tämän jälkeen neljä eri porttiryhää neljälle eri verkolle.

Jokaisesta LUNista luotiin datastore (virtuaalikoneelle osoitettu massamuisti) virtuaalikoneita varten, mikä tarkoittaa sitä, että ne alustettiin VMFS-tiedostojärjestelmään. Tämän jälkeen luotiin virtuaalikoneet, joille määriteltiin kokoonpanoksi kaksi prosessoria, kuusi Gt muistia, yksi verkkokortti ja 50 gigatavun kovalevy. Vaikka esitelty LUNin koko olikin 60 gigatavua, tarvitsee virtuaalikoneen datastoresta jättää levytilaa käyttämättä ainakin sille määritellyn muistin verran. Tämä johtuu siitä, että ESX Server tarvitsee virtuaalikoneen muistin verran vapaata tilaa datastorelle, tai virtuaalikone ei käynnisty. Tämä tila käytetään välimuistina virtuaalikoneen muistille siinä tapauksessa, että ESX Serverillä ei ole tar-

---

peeksi fyysistä muistia vapaana.

Kahdeksan virtuaalikonetta jaettiin tasan neljään eri verkkoon, yhdessä porttiryhmässä oli siis aina kaksi virtuaalikonetta. Tämä kokoonpano mahdollisti sekä samassa verkossa että eri verkkojen välillä tapahtuvan verkkoliikenteen testauksen. Näin virtuaalikytkimen sisällä pysyvä ja reitittimellä käyvä verkkoliikenne voitiin todeta toimivaksi. Kuvassa 11 on havainnollistettu testikäytössä olleen VMware ESX Serverin verkkokokoonpano.



Kuva 11 VMware ESX Serverin verkkototeutus, VM on virtuaalikone

Käyttöjärjestelmät asennettiin verkkokäynnistyksellä eli PXE-bootilla. Tässä käytettiin jo olemassa olevaa DHCP-palvelimen ja TFTP-palvelimen yhdistelmää. Jokaisen virtuaalikoneen MAC-osoite määriteltiin DHCP-palvelimen ja TFTP-palvelimen asetustiedostoihin, jotta nämä saivat käynnistyksen yhteydessä sekä IP:n että tarvittavat tiedostot käyttöjärjestelmän asentamista varten. Käyttöjärjestelmä asennettiin olemassa olevien kickstartien pohjalta, ainoastaan koneiden nimet tarvitsi vaihtaa, koska IP saatiin DHCP palvelimelta. Kickstart on Red Hatin asennusohjelma Anacondan asetustiedosto, jonka mukaan se kykenee suorittamaan asennukset automaattisesti.

Asennuksia seurattiin VMware ESX Serverin hallintaohjelman VI Clie-

tin avulla. Kyseinen ohjelma mahdollistaa itse ESX Serverin hallinnan sekä virtuaalikoneiden hallinnan. Ohjelman kautta saadaan myös yhteys virtuaalikoneiden graafisiin konsoleihin, mitä tarvitaan, jos asennuksen yhteydessä koneelle ei aseteta IP:tä tai asenneta etäyhteyden mahdollistavaa ohjelmaa. Konsoli tulee tarpeeseen myös ongelmanratkaisussa, jos virtuaalikoneeseen ei jostain syystä saada etäyhteyttä. Kaikki kahdeksan asennusta sujuivat ongelmitta, ja heti kun käyttöjärjestelmä oli asentunut virtuaalikoneeseen ja se oli käynnistynyt, voitiin siihen ottaa SSH-etäyhteys. Kun käyttöjärjestelmät oli asennettu virtuaalikoneisiin, asennettiin koneisiin VMware Tools-paketti, joka sisältää VMwaren ajureita sekä työkaluja. Kun käyttöjärjestelmä ja Tools-paketti oli asennettu, suoritettiin virtuaalikoneissa erinäisiä testejä, joilla tutkittiin virtuaalikoneiden toimivuutta asennuksen jälkeen. Testejä ei ole esitelty tarkemmin osana tätä opinnäytetyötä, koska suurin osa niistä kuuluu salassapitosopimuksen piiriin.

### 6.3 XEN hypervisor

Vertailussa käytetty Xen oli Red Hat Enterprise Linux (RHEL) 5.1 version mukana tuleva Red Hat virtualization, mikä on avoimen lähdekoodin Xen hypervisorin versio 3.02. Red Hat on tosin kehittänyt ohjelmia virtuaalikoneiden luontiin ja hallintaan, jotka on avoimeen lähdekoodiin kuuluvaan tapaan vapaasti saatavilla. Ohjelmien lisäksi Red Hat toimittaa virtualisointialustansa mukana paravirtualisoidut laiteajurit täysin virtualisoiduille virtuaalikoneille, joissa käytetään Red Hat Enterprise Linuxin versioita 3, 4 ja 5.

RHEL 5.1 oli asennettu ESX Serverin tavoin paikallisille levyille, jotka olivat RAID 1 tilassa. Kahden levyn muodostamassa osiossa oli 72 gigatavua tilaa, joka varattiin kokonaisuudessaan käyttöjärjestelmälle. SAN levypalvelimelta esiteltiin kahdeksan kappaletta 60 gigatavun LUNeja, aivan kuten VMwaren kohdallakin, mutta niiden käyttöönotto virtuaalikoneita varten suoritettiin LVM:n avulla. Jokaisesta LUNista luotiin looginen osio isäntäkoneelle, joten sitä ei alustettu mihinkään levyjärjestelmään, eikä sitä myöskään liitetty isäntäkoneelle. Koska molemmat alustat oli asennettu samoille palvelimille, oli tässäkin käytössä neljä verkkosovittinta. Näistä sovittimista kahta ei käytetty lainkaan, mutta kahdesta luotiin yksi looginen verkkosovitin Linuxin bonding-ajurilla. Tällä tavoin luotiin verkkoliikenteen HA sekä isäntäkoneelle, että virtuaalikoneille. Tämän mahdollisti se, että virtuaalikoneiden verkkoliikenne kulkee isäntäkoneen verkkosovittimien kautta. Hypervisor määriteltiin käyttämään

---

siltausta virtuaalikoneiden verkkoliikenteeseen, mikä oli pakkovalinta, jotta DHCP-palvelinta pystyttiin käyttämään virtuaalikoneiden IP:den asettamisessa.

Xenin päällä oleville virtuaalikoneille määriteltiin sama kokoonpano kuin VMwaren päällä oleville, eli kaksi prosessoria, kuusi gigatavua muistia, yksi verkkokortti ja 50 gigatavun kovalevy. Kovalevyinä käytettiin isäntäkoneella luotuja loogisia LVM osioita, jotka olisi voitu käyttää kokonaisuudessaan, mutta näin ei tehty, koska haluttiin edelleen säilyttää yhtenevyys VMwaren kanssa. Xen ei tosin kykene käyttämään kovalevyä väli-muistina virtuaalikoneille, jos sen fyysinen muisti on lopussa.

Kuten VMwarenkin kohdalla, virtuaalikoneet jaettiin neljään eri verkkoon. Kaksi konetta kuhunkin, jotta pystyttiin testaamaan sekä saman, että eri verkkojen välinen verkkoliikenne. Tässäkin tapauksessa saman verkon sisällä tapahtuva liikenne kahden virtuaalikoneen kesken kävi hypervisorilla eli sillassa, ja verkosta toiseen tapahtuva liikenne kulki reititimen kautta.

Xenin kohdalla virtuaalikonetta ei voitu asentaa PXE-bootilla, koska Xen ei tue sitä. Sen sijaan virtuaalikonetta luodessa sille määriteltiin HTTP polku (ainoastaan HTTP, NFS ja FTP ovat tuettuja), missä Linuxin käynnistyslevykuva sijaitsi. Kun virtuaalikone oli käynnistynyt ja Linux käynnistyskuva latautunut sille tarvitsi vielä kertoa verkko-osoite kickstart tiedostoon, minkä perusteella käyttöjärjestelmä asennettiin. Tällä kertaa pelkkä virtuaalikoneen nimen muuttaminen kickstart-tiedostossa ei riittänyt vaikka, IP tiedot kyettiinkin asettamaan DHCP-palvelimen kautta. Ongelman aiheutti se, että täysin virtualisoidut virtuaalikoneet eivät tue SCSI-kovalevyjä vaan ainostaan perinteisiä IDE-kovalevyjä. Kickstart-tiedostosta tarvitsi siis muuttaa SCSI kovalevyt IDE:ksi. Tätä ongelmaa ei ollut VMwaren kohdalla, sillä siinä kovalevyt ovat aina SCSI-levyjä ja ainostaan virtuaalinen CD-ROM asema on toteutettu IDEnä.

Xen hypervisorin kohdalla graafinen konsoli virtuaalikoneeseen toteutetaan vnc:n kautta. Jokainen virtuaalikone saa oman ID:n, joka lisätään isäntäkoneen VNC-palvelimen porttiinumeron. Kun isäntäkoneeseen luotiin VNC-yhteys porttiin 5900, niin ensimmäiseen virtuaalikoneeseen yhteys luotiin porttiin 5901 ja järjestyksessä toisen virtuaalikoneen konsoli avattiin portin 5902 kautta. IP-osoite osoitti luonnollisesti aina isäntäkoneeseen. Tästä konsolista oli mahdollista seurata käyttöjärjestelmien asentumista virtuaalikoneisiin. Myös ongelmatilanteissa kun etäyhteys ei

---



ollut mahdollista, tämän konsolin avulla ongelmanratkaisu helpottui. Kickstart-tiedoston muokkauksen jälkeen kaikki kahdeksan virtuaalikoneita asentuivat ongelmitta ja niihin oli mahdollista luoda etäyhteys. Käyttöjärjestelmien asennuttua virtuaalikoneisiin asennettiin tarvittavat ajurit ja niissä suoritettiin samat testit kuin VMwaren päällä olevissa virtuaalikoneissa.

## 7 Ominaisuuksien vertailu

Pintapuolelisesti tarkasteltuna molempien virtualisointialustojen ominaisuudet ovat huomattavan samankaltaiset. Tämä on yllättävää jos ottaa huomioon, että vertailtava ovat kaupallinen ja avoimen lähdekoodin tuote. Merkittävämät erot tulisivat esiin varmasti vasta, kun alettaisiin tutkimaan tekniikoiden toteutustapoja. Taulukossa 4 on koostettuna molempien vertailtujen virtualisointialustojen ominaisuuksia.

Taulukko 3. Vertailtujen virtualisointialustojen ominaisuuksia

Ominaisuus	VMware ESX Server	Xen Hypervisor
Maksullinen	Kyllä	Ei
Prosessoreiden max määrä palvelimella	32 kappaletta loogisia prosessoreita	32 kpl prosessorin kantoja, jopa 128 loogista prosessoria
Muistin max määrä palvelimella	128 gigatavua	128 gigatavua
Prosessoreiden max määrä virtuaalikoneella	4 kappaletta virtuaaliprosessoreita	32 kappaletta virtuaaliprosessoreita
Muistin max määrä virtuaalikoneella	32 gigatavua	32 gigatavua
Baremetal virtualisointi ilman prosessorin tukea	Kyllä	Ei
Paravirtualisointi tuki	Versio 3.02 Ei Versio 3.5 Kyllä	Kyllä
Käytönaikainen virtuaalikoneen siirto	Kyllä (ei perusversiossa)	Kyllä
Virtuaalikoneen verkkokäynnistys	Kyllä	Ei
VLAN tuki	Kyllä	Kyllä
Graafinen hallinta-ohjelma	Kyllä	Kyllä
Palvelimen ja hypervisorin hallinta ohjelmalla	Kyllä	Ei

Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi ESX Serveriin on mahdollisista hankkia vielä yksi alemman tason lisenssi ja kaksi korkeamman tason lisenssiä, mitä testauksessa käytetty. Nyt käytössä ollut lisenssitason ESX Server on mahdollisista liittää Virtual Center Server-tuotteeseen, jolla pystytään hallitsemaan useita ESX Server palvelimia keskitetysti. Tämän lisäksi lisenssi oikeuttaa Consolidated Backup ja Update Manager tuotteiden käyttöön. Alemman tason lisenssissä ei ole mitään edellä mainituista, vaan sillä pystytään ajamaan ainoastaan virtuaalikoneita ilman keskitettyä hallintaa. Korkeampi lisenssitaso tuo mukana ainoastaan automaattisen virtuaalikoneen käynnistyksen toiselle ESX Serverille, mikäli alkuperäinen palvelin ei jostain syystä ole enää toimintakunnossa. Tämän tuotteen nimi on VMware HA. Ylimmän tason lisenssissä tulee mukana jo huomattavasti enemmän uusia ominaisuuksia, yhtenä muun muassa VMotion tekniikka. Tämän lisäksi lisenssiin sisältyy Storage Vmotion (mukana vasta versiossa 3.5) ja VMware DRS, joista ensin mainitulla pystytään siirtämään käynnissä olevan virtuaalikoneen tiedostot VMFS-osiolta toiselle, ja jälkimmäinen kykenee siirtämään virtuaalikoneita automaattisesti ESX Serveriltä toiselle palvelinten kuormitusasteiden mukaan (How to.. 2008).

Vastaavasti Xenistäkin on olemassa kaupallisia tuotteita, ehkä tunnetuimpana nykyisin Citrixin omistaman Xensourcen Citrix XenServer-tuoteterhe. XenServereistä löytyy kolme eri lisenssitasoa, eli perustason lisenssi, keskitason lisenssi ja enterprise-tason lisenssi. Peruslisenssillä pystyy suorittamaan vain perustason virtualisoinnin, eikä sitä voida asentaa edes nykyisille tehopalvelimille prosessori- ja muistirajoitusten vuoksi. Seuraavalla lisenssitasolla ei ole enää rajoituksia prosessorien ja muistien määrässä ja hallintakin onnistuu keskitetysti, mutta vasta ylin taso tuo mukanaan virtuaalikoneiden käytönaikaisen siirron (XenMotion) ja VLAN tuen. Voidaankin todeta, että kaupallisella puolella enterprise tason lisenssit vastaavat sisällöltään toisiaan. (Citrix XenServer v4 2008).

Xensourcen lisäksi kaupallisia ratkaisuja Xenistä ovat rakentaneet muun muassa Virtual Iron (Virtual Iron), Oracle (VM) ja SUN Microsystems) (xVM). Näiden lisäksi käytännössä kaikissa kaupallisissa Linux- jakeluisissa on sisällytetty Xen-virtualisointi mukaan, tästä hyvänä esimerkkinä opinnäytetyössä käytetty Red Hat Enterprise Linux.

---

## 8 Johtopäätökset

Vertailun aikana kävi ilmi selkeä ero kaupallisen VMware ESX Serverin hyväksi Red Hat Enterprise Linuxin Xen-toteutukseen verrattuna. ESX Server on tuotteena paljon valmiimpi ja käyttäjäystävällisempi kuin RHEL:ssä mukana tuleva Xen, vaikkakin RHEL:ssä tulee mukana lisäohjelmia virtualisoinnin hallitsemista varten. ESX Serverissä on mahdollista tehdä kaikki tarvittava yhden asiakasohjelman alaisuudessa, eli sekä itse palvelimen, että virtuaalikoneiden hallinta. Luonnollisesti tarvitsee ottaa huomioon, että ESX Server on VMwaren järein virtualisointialusta, joka on suunnattu myös enterprise-tason virtualisointitarpeisiin. Tämä ei voi olla näkymättä ominaisuuksissa, varsinkin alustan hallinnan kohdalla. Jotain kertoo myös markkinatilanne viime vuodelta, sillä VMwaren osuus markkinoista oli 75 % - 85 % riippuen arvion antajasta.

Xenin hallinta on hajautettua. Palvelinta ja sen resursseja hallitaan isäntäkoneella eli Dom0:n alla, tämä tapahtuu aivan kuin normaalikin Linux käyttöjärjestelmän hallinta. Red Hatin mukaan ”paketoimalla” virtualmanager ohjelmalla virtuaalikoneita pystyy kyllä, hallitsemaan, mutta virtuaalikoneiden luonti oli pakko suorittaa komentokehoitteelta. Tämä johtuu siitä, että ohjelma ei tukenut verkkoasennusta millä virtuaalikoneet haluttiin nimenomaan asentaa. Xen ei myöskään tue SCSI-kovalevyjä täysin virtualisoiduissa virtuaalikoneissa. Toisaalta olisi ollut mielenkiintoista, jos Xenin testauksessa olisi käytetty paravirtualisointia, mikä olisi mahdollistanut SCSI-levyn käytön virtuaalikoneessa. Lisäksi tehokkuuseroja olisi ollut hyvä verrata bare metal- ja paravirtualisointi ratkaisun välillä.

Nyt testattujen virtualisointialustojen lisäksi olisi ollut kiinnostaavaa suorittaa testausta kaupallisella Xen-toteutuksella, joista nimenomaan XenSourcen ratkaisu eli nykyinen CitrixXenServer Enterprise Edition kävi mielessä testauksen aikana. Myöskään ajallisesti lisäohjelmistojen läpikäynti ei olisi ollut mahdollista opinnäytetyön puitteissa.

Opinnäytetyössä suoritettu vertailu osoitti, että kaupallinen VMware ESX Server on selvästi parempi vaihtoehto virtualisointiin kun halutaan nimenomaan toteuttaa bare metal virtualisointi. Xenissä ei tarjoa kaikkia ominaisuuksia, mitä ESX Serverissä on ja hallintatyökalutkin ovat aivan eri luokkaa. Toki tarvitsee muistaa, että Xenistäkin on saatavilla kaupallisia ratkaisuja, ja sen vahvuudet ovat paravirtualisoinnin saralla. Vaikka

---

VMware ESX Server on kaupallisena tuotteena huomattavasti hintavampi kuin vertailun toinen osapuoli, kustannustehokkuus syntyy sen sisältämistä ominaisuuksista. Loppupäätelmänä voidaan todeta, että Xen ei vielä sovellu NSN:llä käytettäväksi, ainakaan bare metal virtualisoinnin osalta.

---

## 9 Pohdinta

Opinnäytetyössä käsittelemäni aihe liittyy työkuvaani Nokia Siemens Networksillä, joten sitä oli helppo lähestyä. Tämän lisäksi minulla oli kokemusta VMware ESX Serveristä, joten opinnäytetyötä varten riitti tutustuminen Xeniin. Aiheesta ei myöskään ole tehty kuin muutama opinnäytetyö ja nekin hieman eri näkökulmasta omaan aiheeseeni verrattuna, joten Xenin käsittely opinnäytetyössäni tuo luultavasti uutta tietoa aiheesta. Virtualisointi on nykyisin tietotekniikan kuuma aihe, jolle ennustetaan useiden kymmenien prosenttien vuosikasvua, ja tekee täten aiheesta ajankohtaisen.

Opinnäytetyötä tehdessäni opin suhtautumaan virtualisointiin myös toisesta näkökulmasta. VMwaren toteutuksille on olemassa vaihtoehtoja, jotka tosin ovat joillakin osa-alueilla hieman jäljessä. Kirjoittaessani raporttia opinnäytetyöstäni törmäsin haasteisiin työn sisällön rajauksen suhteen. Tämän aiheutti se, että jo toisesta työssä käsitellystä virtualisointialustasta olisi saanut tarpeeksi materiaalia yhden opinnäytetyön tuottamiseksi.

Haastavinta työssä oli raportin kirjoittamisen aloitus ja työtahdin ylläpito. Kunhan ensimmäiset sivut oli saatu aikaiseksi, varsinainen kirjoitusurakka valmistui vajaassa kolmessa kuukaudessa. Luonnollisesti tähän sisältyi suvantovaiheita, kun kirjoittamisesta ei tullut yhtään mitään ja koko opinnäytetyö tuntui riippakiveltä kaulassa. Toisaalta opinnäytetyötä käsittelemielessään tänäkin aikana. Toinen seikka, mikä loi haastetta työn edistymiselle, oli sen sovittaminen säännölliseen työssäkäyntiin NSN:llä. Vaikka pystyinkin käyttämään työaikaani opinnäytetyön tekemiseen, minun oli kuitenkin hoidettava normaalit työtehtävät samanaikaisesti. Käytännössä kirjoitusurakka tehtiin työajan ulkopuolella ja kokeellinen osuus työpaikalla.

---

## Lähteet

- Hämäläinen 2007. Verkkovoimaa virtuaalisesti. Tietokone 26 (13), 61 – 64.
- SETI@home kotisivut 2008. SETI@home. [online][viitattu 22.1.2008]  
<http://setiathome.berkeley.edu/>
- Popek, Goldberg 1973. Formal requirements for virtualizable third generation architectures. [online][viitattu 10.1.2008].  
[http://portal.acm.org/ft\\_gateway.cfm?id=808061&type=pdf&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=14943464&CFTOKEN=84798597](http://portal.acm.org/ft_gateway.cfm?id=808061&type=pdf&coll=GUIDE&dl=GUIDE&CFID=14943464&CFTOKEN=84798597)  
ACM SIGOPS Operating Systems Review 7 (4), 121.  
portal.acm.org
- VMware, Inc. Kotisivut 2008. VMware. [online][viitattu 24.1.2008]  
<http://www.vmware.com/company/>
- VMware 2008. Server Virtualization, Virtual Server, Virtual Infrastructure. [online] [viitattu 12.2.2008]  
[http://www.vmware.com/products/server\\_virtualization.html](http://www.vmware.com/products/server_virtualization.html)
- VMware 2008. VMware ESX Server. Platform for virtualizing servers, storage and networking. [online][viitattu 26.1.2008]  
[http://www.vmware.com/files/pdf/esx\\_datasheet.pdf](http://www.vmware.com/files/pdf/esx_datasheet.pdf)
- VMware 2008. Guest Operating System Installation Guide. [online] [viitattu 12.2.2008]  
[http://www.vmware.com/pdf/GuestOS\\_guide.pdf](http://www.vmware.com/pdf/GuestOS_guide.pdf)
- Cambridge Computer Laboratory 2008. Xen virtual machine monitor. [online][viitattu 12.2.2008]  
<http://www.cl.cam.ac.uk/research/srg/netos/xen/>
- Xen Community kotisivut 2008. About Xen.org. [online][viitattu 11.2.2008] <http://www.xen.org/about/>
- Xen Wiki 2008. OSCompatibility. [online][viitattu 21.2.2008]  
<http://wiki.xensource.com/xenwiki/OSCompatibility>
- Xen Wiki 2008. Dom0. [online][viitattu 21.2.2008]  
<http://wiki.xensource.com/xenwiki/Dom0?highlight=%28Dom0%29>
- Xen Wiki 2008. DomU. [online][viitattu 25.2.2008]  
<http://wiki.xensource.com/xenwiki/DomU>
- Xen Wiki 2008. FrontendDriver. [online][viitattu 25.2.2008]  
<http://wiki.xensource.com/xenwiki/FrontendDriver>
-

- Xen Wiki 2008. BackendDriver. [online][viitattu 25.2.2008]  
<http://wiki.xensource.com/xenwiki/BackendDriver>
- Intel 2006. Extending Xen with Intel Virtualization Technology. [online]  
[viitattu 1.3.2008]  
<http://download.intel.com/technology/itj/2006/v10i3/v10-i3-art03.pdf>  
Intel Technology Journal 10 (3) 192 – 205.
- Citrix 2008. Citrix XenServer Enterprise Edition. [online][viitattu 4.3.2008]  
<http://www.citrixserver.com/products/Pages/XenEnterprise.aspx>
- Xen 2008. User's Manual. [online][viitattu 24.3.2008]  
<http://tx.downloads.xensource.com/downloads/docs/user/#SECTION03310000000000000000>
- rPath 2008. Virtual Appliances:Xen DomU Guide. [online][viitattu 24.3.2008] [http://wiki.rpath.com/wiki/Xen\\_DomU\\_Guide](http://wiki.rpath.com/wiki/Xen_DomU_Guide)
- Xen Wiki 2008. XenNetworking. [online][viitattu 26.3.2008]  
<http://wiki.xensource.com/xenwiki/XenNetworking?highlight=%28network%29>
- HP 2008. HP ProLiant DL585 G2 - yleiskatsaus ja ominaisuudet. [online]  
[viitattu 29.3.2008] <http://h10010.www1.hp.com/wwpc/fi/fi/sm/WF05a/911-913-364865-364865-12083385-12846218.html>
- VMware 2008. How to buy ESX Server, Server Virtualization, Virtual Infrastructure. [online][viitattu 3.4.2008] [http://www.vmware.com/products/vi/esx/esx\\_buy.html](http://www.vmware.com/products/vi/esx/esx_buy.html)
- Citrix 2008. Citrix XenServer v4. [online][viitattu 3.4.2008]  
<http://www.citrixserver.com/products/Pages/myproducts.aspx>
- Nokia 2008. Nokia lyhyesti. [online][viitattu 7.5.2008]  
[http://www.nokia.fi/NOKIA\\_FINLAND\\_50/Nokia/About\\_Nokia/pdf/Nokia\\_lyhyesti\\_2007.pdf](http://www.nokia.fi/NOKIA_FINLAND_50/Nokia/About_Nokia/pdf/Nokia_lyhyesti_2007.pdf)
- Nokia Siemens Networks 2008. Facts on Nokia Siemens Networks [online][viitattu 7.5.2008] [http://www.nokiasiemensnetworks.com/NR/rdonlyres/509EB955-1EB6-4E9C-AA45-DA7081FB3FB8/0/Factsheet\\_January\\_09012008.pdf](http://www.nokiasiemensnetworks.com/NR/rdonlyres/509EB955-1EB6-4E9C-AA45-DA7081FB3FB8/0/Factsheet_January_09012008.pdf)
-