

LABORATORIOTYÖASEMAN VIRTUALISOINTI

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2011
Jori Sauranen

Tietoliikennetekniikan opinnäytetyö, 45 sivua

Kevät 2011

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee laboratoriotyöaseman toteuttamista virtualisoinnin avulla Lahden ammattikorkeakoulun tietoverkkolaboratorioon. Työn tavoitteena on virtualisoida graafisia laboratoriotyöasemia päätelaitteiksi laboratorion testiverkkoihin. Tavoitteena on selvittää eri virtualisointiohjelmistojen soveltuvuus laboratoriokäyttöön ja tutkia niiden laitteistovaatimuksia eri graafisilla käyttöjärjestelmillä. Opinnäytetyön päätavoitteena on saada toteutettua mahdollisimman vähän laitteistoresursseja kuluttava graafisella käyttöjärjestelmällä varustettu virtuaalikone, joka kuitenkin sisältää kaikki laboratorioympäristössä tarvittavat perustoiminnot.

Virtualisoinnin avulla voidaan suorittaa useita käyttöjärjestelmäympäristöjä samanaikaisesti yhdessä fyysisessä tietokoneessa. Virtualisointi voidaan toteuttaa useammalla eri tekniikalla, jotka ovat emulointi, täysi virtualisointi, paravirtualisointi, ohjelmistotason virtualisointi sekä työpöydän virtualisointi. Työssä esitellään lyhyesti kaikki virtualisointitekniikat, mutta erityisesti keskitytään täyteen virtualisointiin ja siinä käytettäviin hypervisor-tyyppeihin. Hypervisoreita on kaksi päätyyppiä: Tyyppi 1 on niin sanottu "bare-metal" -versio, ja se asennetaan itsenäiseksi käyttöjärjestelmäksi fyysiseen tietokoneeseen. Tyyppi 2 on niin sanottu "hosted" hypervisor, ja se asennetaan fyysisessä tietokoneessa olevaan käyttöjärjestelmään virtualisointiohjelmistoksi.

Työn käytännön osuudessa tutkitaan seuraavia virtualisointiohjelmistoja: VMware Server, VMware Server 2 Beta 2, VMware Server 2, VMware ESXi, Oracle VM VirtualBox ja XenSource.

Työn tuloksena voidaan todeta VMware Server 2 -virtualisointiohjelmiston soveltuvan testatuista ohjelmistoista parhaiten laboratoriokäyttöön helppokäyttöisyytensä ja joustavuutensa vuoksi. Mahdollisimman vaatimattomaan resurssien kulu- tukseen päästiin asentamalla virtuaalikoneisiin pieniä ja kevyitä Linux-käyttöjärjestelmiä. Paras virtualisointitehokkuus saadaan laitteistolla, missä on tehokas prosessori, paljon keskusmuistia ja laitteistoavusteinen virtualisointi.

Tulevaisuudessa virtualisointi jatkaa yleistymistään ja erityisesti hallintatyökalut kehittyvät monipuolisempaan suuntaan.

Avainsanat: virtualisointi, virtuaalikone, graafiset käyttöjärjestelmät

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology

SAURANEN, JORI: Virtual laboratory workstation

Bachelor's Thesis in telecommunications technology 45 pages

Spring 2011

ABSTRACT

This thesis is deal with making virtualized laboratory workstations for the telecommunications laboratory of Lahti University of Applied Sciences. The goal of the thesis was to virtualize graphical laboratory workstations and use them as terminals in the test network. The objective was to discover how each virtualization software may be applicable to laboratory use, and find out their hardware requirements with different kinds of graphical operating systems. The main objective was to create a virtual machine equipped with a graphical operating system that uses as few hardware resources as possible and is still capable of performing all the basic functions needed in the laboratory environment.

With the help of virtualization, it is possible to operate multiple operating system environments simultaneously in one physical computer. Virtualization can be implemented with various techniques, which are emulation, full virtualization, para-virtualization, application virtualization and workspace virtualization. In this thesis all virtualization techniques are introduced, but the main interest is in full virtualization and the hypervisor types used with it. There are two types of hypervisors. Type 1 is the so-called "bare-metal" version and it is an independent operating system installed to the physical computer. Type 2 is the so-called "hosted" hypervisor and it is installed as virtualization software on the operating system of the physical computer.

In the practical part of the thesis the following virtualization programs were studied: VMware Server, VMware Server 2 Beta 2, VMware Server 2, VMware ESXi, Oracle VM VirtualBox, and XenSource.

As for the results, it can be said that VMware Server 2 virtualization software is best suited for laboratory use because of its ease of use and flexibility. The minimum use of resources was achieved using virtual machines with small and light Linux operating systems. The best virtualization performance was achieved by using equipment with a powerful processor, lots of main memory and hardware assisted virtualization.

In the future virtualization will continue to become more common and especially management software will evolve so that it is expected to be much more versatile.

Key words: virtualization, virtual machine, graphical operating systems

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 VIRTUALISOINTITEKNIIKAT	3
2.1 Virtualisoinnin tavoitteet	3
2.2 Täysi virtualisointi	4
2.3 Laitteiston emulointi	9
2.4 Paravirtualisointi	9
2.5 Työpöydän virtualisointi	11
3 VIRTUALISOINTIOHJELMISTOT	14
3.1 VMware-ohjelmistot	14
3.2 VirtualBox	17
3.3 Xen Source	18
3.4 Ohjelmistojen vertailu	19
4 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUKSET	24
4.1 Testiympäristön kuvaus	24
4.2 Käyttöjärjestelmät	24
4.3 Xen Source	28
4.4 VMware Server	29
4.5 VMware Server 2	34
4.6 VirtualBox	35
4.7 VMware ESXi	38
4.8 Tulokset	40
5 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	46

LYHENNELUETTELO

AMD-V	Proessorivalmistaja AMD:n laitteistoavusteista virtualisointia tukevan prosessoriominaisuuden nimi.
DCUI	Direct Console User Interface, ESXi -palvelin konsolin käyttöliittymä.
DEV	Device Exclusion Vector, AMD -ratkaisu I/O -laitteiden virtualisoinnin avustamiseksi.
DMA	Direct Memory Access, suora muistinosoitus, mikä mahdollistaa muistin käytön ilman prosessorin kautta tapahtuvaa liikennöintiä.
DLL	Dynamic link library -tiedostot ovat pieniä ohjelmia, joita muut ohjelmat voivat käyttää hyväkseen.
HVM	Hardware-based Virtual Machine, Xen -virtualisointiohjelmiston yhteydessä käytetty termi täydestä virtualisoinnista.
IDE	Integrated Drive Electronics, kiintolevyjen ja optisten asemien liittämiseen tarkoitettu liitännäväylä. Nykyään käytetään myös lyhennettä PATA.
NAS	Network-attached storage, verkkolaite, mikä tarjoaa tiedostojen säilytystä verkossa oleville tietokoneille.
MMU	Memory Management Unit, laitteistoavusteisessa virtualisoinnissa tapahtuvien sivutusvirheiden poistamiseen käytetty tekniikka.
OVF	Open Virtualization Format, standardi, joka mahdollistaa virtualikoneiden siirtelyn eri virtualisointiohjelmistojen välillä.

PATA	Parallel ATA, vanha tiedostojen tallennuksessa käytettävien laitteiden liitäntä standardi.
RCLI	Remote Command line Interface, VMware ESXi -palvelimen etähallintaan käytetty ohjelma.
SAN	Storage Area Network, tietoliikenneverkkoon liitetty kiintolevy, jota verkossa olevat tietokoneet voivat käyttää.
SAS	Serial Attached SCSI käyttää sarjamuotoista liikennöintiä rinnakkaismuotoisen perinteisen SCSI:n sijaan.
SATA	Serial ATA, sarjamuotoinen liitäntä sisäisen tai ulkoisen massamuistilaitteen liittämiseksi tietokoneeseen.
SCSI	Small Computer System Interface, standardi tiedon välittämiseksi tietokoneen ja oheislaitteiden välillä.
SSH	Secure Shell, salattuun tietoliikenteeseen tarkoitettu protokolla.
SSL	Secure Sockets Layer, salausprotokolla, jolla voidaan suojata Internet-sovellusten tietoliikenne IP -verkkojen yli. TLS -versio 1.2 korvaa vanhemmat SSL -versiot.
SVGA	Super Video Graphics Array, nimitys VGA -näyttöstandardin ominaisuudet ylittävälle PC:n grafiikkaominaisuuksille.
SVM	Secure Virtual Machine, laitteistoavusteinen virtualisointiteknologia, minkä nimeksi AMD myöhemmin antoi AMD-V.
TLS	Transport Layer Security, salausprotokolla, joka on korvannut SSL -protokollan.

VDI	Virtual Desktop Infrastructure, virtualisointiratkaisu, missä jokaiselle käyttäjälle on luotu oma palvelimella sijaitseva käyttöjärjestelmä.
VIC	VMware Infrastructure Client, VMware ESXi -ohjelmiston etähallinnointiohjelmisto.
VNC	Virtual Network Computing, protokolla tietokoneen graafisen käyttöliittymän etäkäyttöön.
VMCS	Virtual Machine Control Structure, säilyttää laitteistoavusteisessa virtualisoinnissa fyysisten ja virtuaalisten prosessorien tilat.
VMFS	Virtual Machine File System, VMwaren kehittämä klusteritiedostojärjestelmä.
VMM	Virtual Machine Manager, virtualisointikerros, joka välittää käskyjä virtuaalisen laitteiston ja fyysisen laitteiston välillä. Kutsutaan myös hypervisoriksi.
VT-d	Vastaa AMD:n DEV -tekniikkaa, mutta on kehittyneempi ja hallitsee suoran muistinosoituksen käyttäen DMA -uudelleenohjaustaulukkoa.
VT-x	Prosesori valmistaja Intelin laitteistoavusteista virtualisointia tukevan prosessoriominaisuuden nimi.
XVNC	Linuxin X-Serverissä käynnissä oleva VNC -palvelin.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty Lahden ammattikorkeakoulun tietoverkkolaboratorion laboratorioympäristön kehittämistä varten. Laboratoriossa suoritettavat tietoverkkojen suunnittelu- ja testausharjoitukset toteutetaan usein ryhmätyönä fyysisillä laitteilla. Koska fyysisiä laitteita on rajallinen määrä, harjoitusten toteuttamiseen varattu aika on jokseenkin tarkkaan mitoitettu. Tästä johtuen ongelmatilanteen sattuessa ongelman ratkaisuun kuluva aika saattaa viedä niin kauan, että harjoitusta ei saada suoritettua kunnolla loppuun.

Laboratorion verkkolaitteiston infrastruktuuri, eli reitittimet ja kytkimet on liitetty valmiiksi toisiinsa, mutta päätelaitteet on kytkettävä testiympäristöön erikseen. Koska ylimääräiset kytkennät tulee purkaa työskentelyn lopussa, jotta seuraavat testaajat pääsevät aloittamaan omat tehtävänsä puhtaalta pöydältä, harjoituksen myöhempi jatkaminen on hankalaa. Siksi tässä opinnäytetyössä tutkitaan päätelaitteiden virtualisointia monipuolistamaan laboratorion kokoonpanoa ja mahdollistamaan etätyöskentelyä.

Laboratorion testiverkkoon haluttiin etsiä mahdollisimman kevyitä ja vähän resursseja kuluttavia graafisia käyttöjärjestelmiä ja virtualisoida ne. Käyttöjärjestelmien keveys oli oleellista, koska haluttiin välttyä suurilta laitehankinnoilta. Virtuaalikoneisiin asennettujen graafisten käyttöjärjestelmien tuli vähintään kyetä käyttämään ohjelmia, joilla verkkoyhteyksien testaaminen onnistuisi. Yksinkertainen ohjelma, jolla voidaan nopeasti testata verkon reititykset ja toiminta, on sellainen, ja graafisen selaimen käyttö on kaikkein luontevinta. Virtualisointiohjelmistojen osalta tärkeää oli selvittää yhteensopivuus fyysisen laitteiston kanssa ja testata ohjelmiston käytön yksinkertaisuus, joustavuus ja tehokkuus.

Nykyään ei enää riitä, että yksi tietokone suorittaa yhtä ohjelmistoympäristöä. Tietokoneiden suorituskyvyn lisääntyttyä voidaan yhdellä fyysisellä koneella suorittaa samanaikaisesti erilaisia ohjelmistoympäristöjä ja työtehtäviä. Tällöin ei tarvitse hankkia jokaista ohjelmistoympäristöä tai käyttäjää varten erillistä tietokonetta, vaan useat käyttäjät voivat käyttää samaa fyysistä laitteistoa.

Työn tavoitteena on selvittää, miten fyysinen tietokone voidaan valjastaa tarjoamaan samanaikaisesti useille käyttäjille oman virtualisoidun graafisen työympäristön. Työssä vertaillaan erilaisia virtualisointiympäristöjä, joista suurin osa on Linux-pohjaisia ratkaisumalleja, sekä erilaisten tietokoneiden soveltuvuutta graafisten työasemien virtualisointiin. Täten tutkitaan myös, mitä virtualisointi vaatii toimiakseen laitteistolta, mahdolliselta oheislaitteistolta ja käyttäjiltään. Lisäksi tavoitteena oli vertailla eri virtualisointiohjelmistojen tapaa hallita virtualikoneita, sekä tutkia virtualisointiohjelmistojen ratkaisuja virtualityöasemien asentamisen, käyttöönoton, siirrettävyyden ja saman virtualikoneen useamman profiilin hallinnan kannalta. Koska kyseessä on testiympäristö, on tärkeää, että virtuaalikoneisiin saa talletettua oletusasetukset ja oletusasetuksiin palauttaminen tapahtuu luontevasti.

2 VIRTUALISOINTITEKNIIKAT

2.1 Virtualisoinnin tavoitteet

Virtualisointi on tietokonejärjestelmä, jonka avulla yhdessä tietokoneessa voidaan käyttää useaa eri käyttöjärjestelmää, useita eri versioita samasta käyttöjärjestelmästä, tai samaa käyttöjärjestelmää eri asetuksin. Tämä saattaa aluksi vaikuttaa hyödyttömältä, mutta kun tarkemmin asiaa ajattelee, löytyy käyttökelpoisia virtualisointimahdollisuuksia melkein rajattomasti. Esimerkiksi vanhat Windows 3.11 -ympäristöön tehdyt ohjelmat saadaan virtualisoinnilla toimimaan samassa tietokoneessa, jossa toimivat uudemmille käyttöjärjestelmille tehdyt ohjelmat. (Koski 2008, 267.)

Virtuaalisointi kehitettiin 60-luvulla, jotta IBM:n tehokkaita keskustietokoneita olisi voitu hyödyntää monipuolisemmin ja useammassa samanaikaisessa tehtävässä. Aikoinaan tietokoneita oli vähän, joten jos yhden tehokkaan tietokoneen sai osioitua useiksi näennäisesti erillisiksi tietokoneiksi, riitti yksi tietokone usean eri osaston tarpeisiin. Eri osastot halusivat vähitellen käyttää eri laiteympäristöistä periytyneitä käyttöjärjestelmiä. Laittevalmistaja taas halusi puhtaasti optimoida laitteiston ja mukauttaa sen virtualisoinnin avulla erilaisiin vaatimuksiin. IBM:n suurtietokoneissa natiivin käyttöjärjestelmän tehtävänä olikin tarjota alusta muille käyttöjärjestelmille ja antaa ylläpidolle työkalut koneen resurssien osiointiin. (Koski 2008, 267.)

Virtualisointi ja sitä lähellä olevat tekniikat ovat hyvin laaja kokonaisuus. Sekä laitteistoa että ohjelmistoja voidaan virtualisoida, ja varsinkin ohjelmistojen virtualisoinnissa on useita eri tapoja ja niiden yhdistelmiä. Kolme yleisintä virtualisointityyppiä ovat seuraavat:

- järjestelmän virtualisointi, eli täysi virtualisointi
- laitteiston emulointi
- paravirtualisointi.

Lisäksi on käyttöjärjestelmätason virtualisointi, jossa vain palvelinohjelmat virtualisoidaan, ja ne kaikki toimivat saman käyttöjärjestelmän päällä. Käyttöjärjestelmätason virtualisointi vaatii muutoksia käyttöjärjestelmään, mutta etuna on, että hidastumista ei tapahdu. (Koski 2008, 269 - 270.)

2.2 Täysi virtualisointi

Järjestelmän virtualisointi mahdollistaa järjestelmien keskittämisen, työkuormituksen tasaamisen ja käyttöjärjestelmäympäristöjen yhdistämisen. Virtualisoinnilla on mahdollista myös optimoida resursseja, parantaa IT-alustan joustavuutta ja yhteensopivuutta ja lisätä vikasietoisuutta. Järjestelmän virtualisoinnissa luodaan useita virtuaalisia laitteistoja yhteen fyysiseen laitteeseen. Virtuaaliset laitteistot eli virtuaalikoneet ovat itsenäisiä käyttöympäristöjä, jotka käyttävät virtuaalisia resursseja. Järjestelmän virtualisointi voidaan saavuttaa joko laitteiston osioimisella tai käyttämällä hypervisor-teknologiaa. (IBM 2010.)

Fyysisen laitteiston osioimisessa fyysinen palvelin jaotellaan omiksi itsenäisiksi alaosioiksi, joista jokainen kykenee suorittamaan omaa käyttöjärjestelmää. Tällaisia alaosioista koostuvia palvelimia kutsutaan nimillä ”Blade Server” tai ”Brick Server”, sillä kyseiset alaosiokoneet ovat pienempiä kuin tavallisesti palvelinkehikkoon asennettavat tietokoneet. Kyseiset alaosiokortit koostuvat pelkästään tietokoneen peruskomponenteista, eli ne sisältävät emolevyn, prosessorin ja muistin. Blade server -tekniikka mahdollistaa virtualisoinnissa laitteiston keskittämisen. Blade-palvelimien hyvänä puolena onkin parantunut vikasietoisuus. Ohjelmistot blade-koneisiin voidaan ladata niin sanotulta ”Storage Area Network” -eli SAN -verkkokiintolevyltä, ja tämä mahdollistaa yhden blade-koneen rikkoutuessa ohjelmiston käynnistämisen toisessa toimivassa blade-koneessa. Huonona puolena tämän tyyppisessä virtualisoinnissa on, etteivät palvelimen alaosiot kykene jakamaan resursseja keskenään eivätkä ne myöskään suorita emulointia, jonka hypervisor mahdollistaa. (IBM 2010.)

Koska hypervisor-tekniikka tarjoaa mahdollisuuden dynaamiseen resurssien jakamiseen ja parhaan joustavuuden virtuaalisten resurssien hallintaan, on se ensisijainen vaihtoehto laitteistoa virtualisoidessa. Hypervisor-tekniikkaa hyödyntävässä

virtualisoinnissa on fyysisen laitteiston ja virtualisoinnissa ajettavan käyttöjärjestelmän välissä ns. ”hypervisor-kerros”. Hypervisor välittää virtuaalikoneissa olevien käyttöjärjestelmien käskyt fyysiselle laitteistolle ja käsittelee osan käskyistä niin, että virtualisointialustalla ajettava käyttöjärjestelmä luulee käsittelevänsä suoraan laitteistoa, vaikka todellisuudessa jakaakin sen muiden käyttöjärjestelmien kanssa. Esimerkiksi virtuaalikoneen kiintolevy on todellisuudessa vain tiedosto fyysisellä kiintolevyllä. Täysi virtualisointi on nopeampaa kuin laitteiston emulointi, vaikka sitä hidastaa hieman se, että kaikkia käskyjä ei voida välittää sellaisenaan suoraan laitteistolle. Etuna on käyttöjärjestelmien ajaminen sellaisenaan edellyttäen, että käyttöjärjestelmä tukee laitteistoa, jossa sitä virtualisoidaan. (Koski 2008, 269.)

Hypervisoreita on olemassa kaksi tyyppiä. Tyypin 1 hypervisorit käyttävät suoraan fyysistä laitteistoa (kuvio 1) ja jakavat virtuaalisia resursseja niiden päällä toimiville virtuaalikoneille. Tyypin 1 hypervisorit ovat yleensä mieluisampi vaihtoehto, sillä niillä saavutetaan parempi resurssien hyödyntäminen käyttämällä fyysistä laitteistoa suoraan ilman välissä olevaa käyttöjärjestelmää. Hypervisor tyyppillä 1 saavutetaan tehokkaampi suorituskyvyn hyötysuhde, suurempi virtualisointiin vapaiden resurssien määrä ja parempi turvallisuus kuin tyyppillä 2. Hypervisor tyyppillä 2 sen sijaan saavutetaan laajempi yhteensopivuus fyysisen laitteiston kanssa.



KUVIO 1. ”Bare-Metal” Hypervisor eli tyyppi 1

Tyypin 2 hypervisorit suoritetaan puolestaan fyysisen isäntäkoneen käyttöjärjestelmässä (kuvio 2). Isäntäkoneen käyttöjärjestelmä huolehtii laitteistohallinnasta ja muistinhajauksesta. Tällöin laitteistotuki saadaan myös virtuaalikoneiden käyttöön. Tyypin 2 hypervisoria käytetäänkin silloin kun tarvitaan laajaa laitteistoyhteensopivuutta ja virtuaalikoneiden suorituskyky on vähemmän kriittistä. (IBM 2010.)



KUVIO 2. ”Hosted” Hypervisor eli tyyppi 2

On myös olemassa hypervisorien yhdistelmä nimeltään ”Virtual Machine Manager” VMM, jossa on yhdistetty ”Stand-Alone” VMM eli tyypin 1 hypervisor ja ”hosted” VMM eli tyypin 2 hypervisor. Kyseistä virtualisointiratkaisua kutsutaan nimellä ”Hybrid VMMs”. Hybrid VMM yhdistää stand-alone VMM-hallintaperiaatteen hosted VMM yhteensopivuuden kanssa. Tämä tapahtuu luomalla erikoisvirtuaalikone ”Service OS”, jossa on laitteistohallinnan tarvitsemat ajurit ja mahdolliset emuloidut laitteet. Kaikki muut normaalit virtuaalikoneet saavat tämän jälkeen laitteiston käyttöönsä reitittämällä laitekutsut ”Service OS” virtuaalikoneen läpi. (Fisher-Ogden 2011.)

Toimiakseen tarkoituksenmukaisesti tyypin 1 hypervisor tarvitsee laitteistolta, tarkemmin sanottuna prosessorilta virtualisointituen. Tätä kutsutaan laitteistoavusteiseksi virtualisoinniksi, ja kyseistä teknologiaa PC-tietokoneiden prosessoreihin on valmistanut vuodesta 2006 lähtien Intel ja AMD. Vaikka Intel VT-x (aikaisemmin

koodinimellä Vanderpool) ja AMD-V (aikaisemmin ”Secure Virtual Machine” SVM koodinimeltään Pacifica) toimivat samankaltaisesti, eivät ne ole keskenään yhteensopivia. Eroavaisuudet eri prosessorivalmistajien virtualisointituen kanssa ovat sen verran merkittäviä, että tyypin 1 hypervisor joudutaan muokkaamaan tietyn valmistajan prosessorille sopivaksi, eivätkä ne tällöin toimi ristiin. Prosessorin virtualisointituki mahdollistaa kevyemmän ”Virtual Machine Monitor” VMM:n toisin sanoen hypervisorin käytön, koska laitteisto huolehtii isäntäkoneen ja virtuaalikoneiden prosessoreiden tilasta. Oleellinen komponentti laitteistoavusteisessa virtualisoinnissa on fyysisen ”host” koneen ja virtuaalisen ”guest” koneen vuoro-vaikutuksen ohjaaminen. Sitä varten on ”Virtual Machine Control Structure” VMCS, mikä sisältää sekä guest- että host-tilat. VMCS toimii käytännössä siten, että kun virtuaalikone on aktiivinen, guest prosessorin tila ladataan VMCS:stä kunhan ensiksi sinne on tallennettu host prosessorin tila. Kun virtuaalikoneen prosessointi lakkaa, operaatio suoritetaan päinvastoin, eli guest-tila talletetaan ja host-tila ladataan käyttöön. VMCS sisältää prosessorien rekisteritiedot, kuten keskeytykset ja sivutuksen. (Fisher-Ogden 2011.)

Vaikka esimerkiksi Intel VT-x tarjoaa laitteistotuen virtualisointiin ja täten mahdollisuuden yksinkertaisempaan hypervisoriin, ei tämä automaattisesti tarkoita sitä, että suorituskyky olisi parempi. Yksinkertaisuus ja suorituskyky ei aina tarkoita samaa asiaa, vaan ovat toisinaan kilpailevia päämääriä. Virtualisointitekniikoistakin on olemassa testituloksia, joissa paravirtualisointi ja binäärikääntäminen tarjoaa parempaa suorituskykyä kuin laitteistoavusteinen virtualisointi. Vaikka laitteistoavusteinen virtualisointi suoriutuukin joistain tehtävistä paremmin, silti ohjelmallisesti toteutetulla virtualisoinnilla saavutetaan parempi suorituskyky. Syyt laitteistoavusteisen virtualisoinnin yleisen suorituskyvyn heikkouteen löytyvät ensinnäkin lähinnä kypsymättömyydestä, eli laitteistoavusteinen virtualisointi on melko uutta tekniikkaa, kun sen sijaan ohjelmalliset tekniikat ovat olleet olemassa tarpeeksi kauan kypsyäkseen. Toinen heikkous on sivutusvirheet, koska prosessorin pitää ylläpitää ehjiä sivutustauluja, saattaa tämä aiheuttaa paljon virtuaalikoneen keskeytyksiä. Kolmas syy on tilattomuus, eli hypervisor joutuu rakentamaan joka kerta virtuaalikoneen keskeytyksen syy VMCS:n tarjoamista tiedoista. Laitteistoavusteisen virtualisoinnin heikkouksista vain viimeinen on laitteistoon sidonnainen, sillä muut haittatekijät poistuvat ajan myötä tekniikan kehityessä. AMD ja Intel ovat kumpikin esimerkiksi esitelleet ratkaisuja sivutusvirhei-

den poistamiseksi virtualisoidulla ”Memory Management Unit” MMU:lla. Lisäksi AMD on tehnyt ehdotuksen nimeltä ”Device Exclusion Vector” DEV, I/O-laitteiden virtualisoinnin avustamiseksi. Intelin vastaava mutta kehittyneempi ehdotus VT-d käsittää teoriassa virtualisoidut keskeytykset ja suoran muistiosoitus eli DMA-uudelleenohjaustaulukon. Kyseisellä DMA-uudelleenohjaustaulukolla varmistetaan nopeampi laitteiston käyttö sekä virtuaalikoneiden eristäminen toisistaan. (Fisher-Ogden 2011.)

Täyden virtualisoinnin tuomat hyödyt näkyvät parhaiten laitteistokustannuksissa. Koska useita erilaisia käyttöjärjestelmiä ja käyttökuormituksia voidaan yhdistää käyttämään samaa fyysistä palvelinta, vähenevät tällöin laitteisto- ja ylläpitokustannukset. Lisäksi uusien ohjelmistoversioiden testaaminen virtuaalikoneessa auttaa yhteensopivuuden tarkistamisessa, ennen kuin ohjelmisto otetaan aktiivikäyttöön. Näin vältetään mahdolliset päivityksistä aiheutuvat alkuvaikeudet. Virtuaalisia laitteistoja voidaan muutenkin käyttää edullisina testiympäristöinä, ilman varsinaisen käytössä olevan ympäristön vaarantumista. Laitteiston täysi virtualisointi mahdollistaa myös useiden käyttöjärjestelmien suorittamisen samassa fyysisessä laitteessa. Näin päästään käyttämään sellaisia virtuaalikoneita, joihin on asennettu käyttöjärjestelmä, mikä aina parhaiten vastaa ohjelmiston vaatimuksia tai käyttäjän mieltymyksiä. Hypervisoreilla voidaan myös saavuttaa laitteiston resurssien parempi hyödyntäminen jakamalla dynaamisesti virtuaalisia resursseja, mitkä voivat ylittää fyysisen laitteen resurssit. On myös mahdollista tarjota virtuaalikoneita, joiden toiminta ja resurssit poikkeavat fyysisestä laitteesta. Esimerkiksi voidaan virtualisoida ylimääräisiä prosessoreja tai käyttää 32-bittisessä fyysisessä laitteessa 64-bittistä virtuaalikonetta. Pääosin hypervisor on kuitenkin parhaimmillaan silloin, kun pitää pystyä tarjoamaan suorituskykyä ajoittain. Jos palvelu tarvitsee suorituskykyä hetkittäin, mutta keskimäärin tarvitsee vain vähän resursseja, voidaan samassa fyysisessä laitteessa suorittaa useita palveluja samaan aikaan ja antaa hypervisorin jakaa resurssit tarpeen vaatiessa. Järjestelmän virtualisointi antaa edellytykset myös nopeaan palveluiden tarjoamisiin, koska voidaan luoda nopeasti yksi virtuaalinen kone tai kloonata useita koneita tarpeen vaatiessa. (IBM 2010.)

2.3 Laitteiston emulointi

Toinen yleinen virtualisointitekniikka on emulointi. Emulointi-nimitystä on käytetty useista erilaisista tekniikoista, joilla on tarjottu ohjelmille ja käyttöjärjestelmille alustaa, joka on aidon sijasta virtuaalinen. Esimerkkejä löytyy muun muassa vanhojen pelikonsolien peleille olevista emulaattoreista. Mitä vanhempi tai staattisempi emuloitava ympäristö on, sitä korkeammalla tasolla tai kauempana laitteistosta emulaatio voidaan toteuttaa. Jos joudutaan emuloimaan myös laitteistotasoa, lopputulos hidastuu mitä enemmän laitteistoa joudutaan emuloimaan. Virtualisointi tai ”perusteellinen emulointi” onkin ollut hankalaa riittämättömän kone-tehon vuoksi. Nykyisissä prosessoreissa tosin alkaa olla jo tarpeeksi tehoa ja niihin ollaankin lisätty tukea virtualisoinnille. Aidon virtualisoinnin resurssien syönnin takia osittaista virtuaalisointia tai emulointia on toteutettu eri tasoilla ja tavoilla. Yleinen tapa saada vieraille käyttöjärjestelmälle tarkoitettu ohjelma toimimaan on tarjota ohjelmalle käyttöjärjestelmäkutsut muuntava tai tulkkava kerros. Toinen vanhempi tapa oli lisätä prosessori ja sen vaatimat apupiirit erillisellä lisäkortilla ja suorittaa vieras käyttöjärjestelmä lisäkortissa. (Koski 2008, 268.)

Laitteiston emulointi on kaikkein vaikein tapa toteuttaa virtualisointi. Siinä luodaan virtuaalikone, jonka laitteisto emuloidaan halutunlaiseksi. Tämä menetelmä on kaikkein hitain, koska jokainen laitteistolle lähetetty käsky pitää emuloida. Siksi 100-kertainen hidastuminen on tavanomaista, ja jos emulointi on hyvin tarkkaa, jopa 1000-kertainen hidastuminen ei ole mitenkään poikkeuksellista. Laitteistoemuloinnilla on hyviäkin puolia, sillä se mahdollistaa useille eri prosessoreille tarkoitettujen käyttöjärjestelmien ajamisen samassa koneessa. (Koski 2008, 269.)

2.4 Paravirtualisointi

Kolmas yleinen tapa nopeuttaa virtualisoitavaa ympäristöä ja samalla kiertää prosessorien heikkoa tukea virtualisoinnille, on ollut käyttää muokattua versiota virtuaalisoidusta ohjelmasta sekä sen käyttöjärjestelmästä. Tämän menetelmän käyttö helpottuu huomattavasti jos kyseisen ohjelman tai varsinkin käyttöjärjestelmän lähdekoodi on saatavilla. Näin on mahdollista kääntää emulointiin paremmin soveltuvat versiot. (Koski 2008, 268.)

Paravirtualisoinnissa käyttöjärjestelmässä otetaan jo valmiiksi huomioon se, että sitä tullaan ajamaan virtuaalikoneessa. Käytännössä tämä toimii siten, että kääntäessä konekielelle kaikki ongelmalliset käskyt korvataan ongelmia aiheuttamattomilla versioilla ja mahdollisesti sallitaan käskyjen suorittaminen tavallisin käyttöäoikeuksin. Paravirtuaalisoinnin eli avustetun virtuaalisoinnin haittana on mainittu tarve tehdä ajettaviin käyttöjärjestelmiin muutoksia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ohjelmiston lähdekoodi pitäisi olla saatavilla. Etuna on järjestelmän nopeus, joka on lähellä aidon järjestelmän nopeutta. Kuten täydessä virtuaalisoinnissa useita käyttöjärjestelmiä voidaan ajaa samanaikaisesti samassa laitteistossa. (Koski 2008, 269.)

Koska paravirtualisointi on realistista vain vapaan lähdekoodin käyttöjärjestelmien kanssa, niin yleisimpien käyttöjärjestelmien suorittaminen ei onnistu luotettavasti. Koska yleensä kaupallisten käyttöjärjestelmien lähdekoodia ei ole saatavilla, jää paravirtualisoitavaksi käyttöjärjestelmäksi Linux. Linux on POSIX-standardin mukainen moniajokäyttöjärjestelmä, jonka kehityksen aloitti suomalainen Linus Torvalds vuonna 1991. Linuxin kehitykseen on Linuksen lisäksi osallistuneet sadat vapaaehtoiset ohjelmoijat, jotka pitävät yhteyttä toisiinsa internetissä. Linux-lähdekoodi on vapaasti saatavilla GNU copyleft -tekijänoikeuslisenssin vuoksi, joten kuka tahansa voi tutustua ja muuttaa lähdekoodia mieleisekseen omien tarpeidensa mukaiseksi. (Puska 2001, 15.)

Linux on aito monen käyttäjän keskeyttävä moniajokäyttöjärjestelmä. Muistinhallinnalla varmistetaan, että eri prosessit toimivat omissa suojatuissa muistiavaruuksissaan, minkä vuoksi Linux on hyvin vakaa käyttöjärjestelmä, jota voidaan ajaa monissa eri prosessoreissa ja symmetrisissä moniprosessorijärjestelmissä. Näin ollen Linux on avoin valmistaja- ja prosessoririippumaton käyttöjärjestelmä, joka skaalautuu tarpeiden mukaan.

Linux-asennuksen aikana voidaan valita asennettavat ohjelmat hyvin tarkasti, joten asennus voidaan mukauttaa juuri tarpeita vastaavaksi kokonaisuudeksi. Asennuksen jälkeenkin on mahdollista lisätä palveluita Linux-järjestelmään. Linux tarjoaa useita virtuaalikonsoleita ja graafisia virtuaalityöpöytä. Istuntojen välillä voi liikkua helposti ja pitää esimerkiksi eri tehtävät omissa istunnoissaan. Graafisessa tilassa voidaan käyttää näyttöä suurempaa virtuaalityöpöytää ja liikkua fyysisen näytön ulkopuolelle. (Puska 2001, 16.)

2.5 Työpöydän virtualisointi

Työpöydän virtualisoinnilla saavutettavat edut muodostuvat yleensä keskitetystä hallinnoimisesta. Kun työympäristöt on keskitetty yhteen paikkaan, niiden ylläpito ja päivittäminen tapahtuu yhdessä paikassa. Tällöin työympäristöjen hallinta nopeutuu ja helpottuu, koska poistuu tarve käydä varmistamassa fyysisesti kaikkien tietokoneiden päivittyminen eri puolilla organisaatiota. Käyttäjille hyöty työpöydän virtualisoinnista tulee järjestelmän joustavuudesta. Käyttäjä ei ole sidoksissa yhteen tiettyyn tietokoneeseen, vaan pystyy käyttämään omaa työpöytänsä miltä tietokoneelta tahansa. Työpöytävirtualisointi mahdollistaa salatun tietoliikennetyden johdosta etätyöskentelyn vaikkapa toisesta kaupungista. (Vile, Lock, Atherton & Collins 2010.)

Yksinkertaisin työpöydän virtualisointivaihtoehto on käyttäjätilan virtualisointi, eli ”User state virtualization.” Tällöin virtualisoidaan pelkästään linkki käyttäjäasetusten ja tiedostojen välillä. Kyseinen linkki tallennetaan palvelimelle ja sitä päästään käyttämään muodostamalla istunto käyttäjätiliin ”Desktop Client”, eli työpöytä-asiakasohjelmalla. Käyttäjätilan virtualisointi ei vaadi juurikaan uusia laitteisto- tai ohjelmistohankintoja, koska se tukeutuu perinteisen tiedostopalvelimen ja etäkäyttöisen työpöydän ratkaisuihin. Käyttäjätilan virtualisointi toimii hyvin ohjelmistovirtualisoinnin kanssa ja standardoidussa työpöytäympäristössä, missä jokaisessa työpöydässä suoritetaan samankaltaisia ohjelmia. Hyödyt käyttäjän osalta on kirjautuminen työpöytään mistä tahansa ja vikatilanteen sattuessa työskentelyä voidaan nopeasti jatkaa vaihtamalla fyysinen terminaaliksi, koska tiedostot ja asetukset ovat tallella keskuspalvelimessa. (Vile, Lock, Atherton & Collins 2010, 6, 18.)

Ohjelmistovirtualisointi eli ”Application virtualization” tarkoittaa perinteisesti ohjelmiston yhdistämistä työpöytäkäyttöjärjestelmään. Yleensä yhdistäminen tapahtuu asentamalla ohjelmisto työpöytään tai asiakkaaseen, jossa ohjelmistot jakavat yhteiset resurssit, kuten tietokannat, rekisteritiedot ja muut asetukset. Ohjelmistovirtualisoinnissa yksittäiset ohjelmat on niputettu keskenään niihin resursseihin, joita toimiakseen tarvitsevat. Ohjelmistoja ei asenneta käyttäjän tietokoneelle. Täten vältetään muutokset asiakaskoneen käyttöjärjestelmään ja näin vältetään myös yhteensopivuusongelmia, joita voisi muodostua muiden ohjelmistojen kanssa. Suurin hyöty ohjelmistovirtualisoinnista saadaan käyttäjäkohtaisesta mukautuvuu-

desta, koska ohjelmistot voidaan linkittää käyttäjään tietokonelaitteiston sijasta. Lisäksi ohjelmistojen vakaus ja luotettavuus paranee suojattujen asetustiedostojen myötä. Tietohallinto hyötyy ohjelmistojen yhteensopivuusongelmien testauksen vähentymisestä ja saavat mahdollisuuden luoda pienempiä järjestelmänkuvaustiedostoja. Lisenssikustannukset voivat myös laskea ottamalla ohjelmistoja käyttöön vain silloin, kun niille on käyttöä. (Vile, Lock, Atherton & Collins 2010, 7, 18.)

Istuntovirtualisointi eli ”Session virtualization” on kehittynyt Citrixin ”Thin Client Architecture” -mallista. 1990-luvulla Citrix julkaisi kokoonpanon, jossa useita työpöytäasiakkaita kirjautui yhteen käyttöjärjestelmään, mitä ajettiin yhdessä palvelimessa. Tällöin kaikki ohjelmistot tai koko työpöytä suoritetaan samassa palvelimessa ja näytölle tuleva grafiikka lähetetään työpöytäasiakkaalle. Asiakas voi olla ”thin” eli niin sanottu tyhjä pääte, minkä tarvitsee vaan näyttää grafiikkaa eikä välttämättä tarvitse edes prosessoria. Päätteet joissa ei ole juuri muuta kuin verkkoliitin ja näytönohjain kutsutaan termillä ”Ultra-thin Clients.” Hyötyinä istuntovirtualisoinnissa on keskitetty hallinta ja tiedostojen säilytys. Tosin siitä voi myös saada jokseenkin monipuolisen tarjoamalla erilaisia kokoonpanovaihtoehtoja eri käyttäjäryhmille. Mutta kuten virtuaalisessa työpöytäinfrastruktuurissa ja blade-pohjaisissa virtuaalityöpöydissä, istuntovirtualisointi on riippuvainen vapaasta verkkokaistasta, ja täten soveltuu lähinnä yritysten sisäisiin verkkoihin. (Vile, Lock, Atherton & Collins 2010, 7, 18.)

VDI eli ”Virtual Desktop Infrastructure” on jatkokehitetty idea tyhmästä päätteestä. Tosin tässä tapauksessa sen lisäksi että yhtä palvelinta käytetään kaikkien käyttäjien prosessointitehon tuottamiseen, jokaisella käyttäjällä on oma käyttöjärjestelmä kyseisellä palvelimella. Tämä on mahdollista luomalla virtuaalikoneita käyttäjille. Kun yleisesti puhutaan työpöydän virtualisoinnista, puhutaan yleensä juuri VDIstä, mutta se ei ole ainoa tapa toteuttaa työpöydän virtualisointia, sillä muitakin toteutustapoja on olemassa. Pääosin VDI-virtualisoinnissa hyödyt ovat samat kuin istuntovirtualisoinnissa. Eli VDI mahdollistaa keskitetyn hallinnan ja sillä voidaan toteuttaa eri käyttäjäryhmille räätälöidyt työpöytäympäristöt. Virtuaalikoneista johtuen VDI-mallin toteutus ja palvelun saatavuus on erinomainen, koska virtuaalikoneita pystyy kopioimaan ja siirtämään helpommin kuin fyysisiä laitteita. Pienenä haittapuolena on istuntovirtualisointia suurempi resurssien kulutus,

koska jokaisella käyttäjällä on oma virtuaalikoneensa. (Vile, Lock, Atherton & Collins 2010, 7, 19.)

Blade-pohjaiset virtuaaliset työpöydät käyttävät palvelimille standardisoituja blade-moduuleita, jotka asennetaan palvelimeen lisäkortteina. Blade-tekniikalla saavutetaan pienempi virrankulutus ja parempi fyysisen tilan hyödyntäminen kuin erillislaitteilla. Kuten istuntovirtualisoinnissa tai VDI:ssä blade-pohjaisessa virtualisoinnissa prosessointi suoritetaan palvelimella ja grafiikka välitetään käyttäjän työpöydälle. Tosin blade-tekniikassa kussakin blade-yksikössä suoritetaan yhtä käyttöjärjestelmää ja sen käyttö luovutetaan yhdelle käyttäjälle. Suurimman hyödyn blade-pohjaisesta virtualisoinnista saadaan silloin, kun tarvitaan paljon prosessointitehoa tai käytetään graafisia suunnitteluohjelmia. Haittapuolena voidaan pitää järjestelmän laitteistohintaa verrattuna esimerkiksi VDI ja istuntovirtualisointiin, koska jokaiselle käyttäjälle hankitaan oma blade. (Vile, Lock, Atherton & Collins 2010, 8, 19.)

On olemassa myös yhden työpöydän virtuaalikone eli ”Single-desktop Virtual Machine”. Käytännössä tällöin suoritetaan virtualisointia työpöytäkoneessa. Tämä virtualisointimalli kehittyi testauksarpeisiin, koska työkoneessa suoritettava virtuaalinen käyttöjärjestelmä mahdollisti ohjelmistojen testaamisen ilman ylimääräisen laitteiston hankintaa. Yhden työpöydän virtualisointi ei tarvitse verkkoyhteyksiä, koska virtualisointiohjelmisto suoritetaan samassa laitteessa missä on virtualisoidut työpöydät. Kyseistä virtualisointia käytetään esimerkiksi Windows 7 -käyttöjärjestelmien XP-tilassa, jossa on mahdollista suorittaa Windows XP -ohjelmia. Toinen yleinen käyttökohde on suorittaa Microsoft Windows -käyttöjärjestelmiä Apple Macintosh -tietokoneissa. Suurin hyöty käyttäjälle henkilökohtaisesti on työkoneensa käytön saavuttama joustavuus. Esimerkiksi suorittamalla samanaikaisesti useita käyttöjärjestelmäversioita helpotetaan ohjelmiston kehityksessä yhteensopivuuden testaamista. Tai vastaavasti vanhentuneelle käyttöjärjestelmälle suunniteltu ohjelma voidaan suorittaa virtuaalikoneessa, joka on varustettu tarvittavalla käyttöjärjestelmällä. (Vile, Lock, Atherton & Collins 2010, 8, 19 - 20.)

3 VIRTUALISOINTIOHJELMISTOT

3.1 VMware-ohjelmistot

VMware on muodostettu sanoista Virtual Machine ware, mikä tarkoittaa virtuaalista tietokoneohjelmistoa. Aivan kuten nimestä voi päätellä, yhtiön tuotteet keskittyvät tietokoneiden virtualisointiin. VMwaren tuotteet on suunnattu pelkästään IT-ratkaisuiden virtualisointiin ja virtualisointiin liittyviin oheistyökaluihin.

VMware, Inc. perustettiin vuonna 1998 Kaliforniassa, ja yhtiön pääkonttori on Palo Altossa, joka sijaitsee Piilaaksossa. Aikaisemmin yksityisomistuksessa olleen VMware-yhtiön osti vuonna 2004 EMC-yhtiö, joka teki VMwaresta tytäryhtiönsä. Vuonna 2007 EMC yhtiö laski 10 % VMwaren osakkeista New Yorkin pörssiin tehden näin VMwaresta pörssi-yhtiön. (VMware. Inc. Milestones 2010.)

VMwaren tunnetuin ja vanhin tuote on VMware Workstation, joka julkaistiin vuonna 1999. Kyseinen ohjelmisto mahdollistaa useiden käyttöjärjestelmien samanaikaisen suorittamisen yhdessä fyysisessä pc-tietokoneessa. Samankaltainen ohjelmisto on saatavilla myös Intel Mac -alustalla toimiville tietokoneille nimeltään VMware Fusion. VMware tarjoaa myös ilmaisen VMware Player -virtualisointiohjelman, joka on tarkoitettu henkilökohtaiseen käyttöön. Palvelinkäyttöön VMwarella on ESX-ohjelmisto, joka on yrityksille suunnattu virtualisointituote varustettuna ominaisuuksilla, jotka mahdollistavat virtuaalikoneiden ajonaikaisen siirtämisen palvelimien tai säilytyspaikkojen välillä. Tämä mahdollistaa palvelimien kuormituksen tasaamisen tai laitteistovian sattuessa virtuaalikoneen automaattisen käynnistyksen toimivassa palvelimessa. Tuotteista löytyy myös ESX:n kaltainen ilmainen ESXi-versio, joka on perustoiminnaltaan samanlainen, mutta muilta ominaisuuksiltaan karsittu. Ominaisuudet, jotka löytyvät ESX-ohjelmistosta, voi ostaa erikseen myös ESXi-ohjelmistoon. VMwarelta on saatavilla myös ilmainen VMware Server -virtualisointituote, joka on tarkoitettu henkilökohtaiseen-, tai ei-kaupalliseen käyttöön. (VMware Inc. 2010.)

VMware ESX eli täysi versio ja ESXi eli ohut versio eroavat toisistaan pääosin kokonsa puolesta. ESXi:n muistin kulutus on vain 32 megatavua, kun ESX tarvit-

see tilaa kiintolevyiltä suunnilleen 2 gigatavua. Lisäksi toiminnan ja käytön kannalta merkittävin ero on ESX serverin mukana tuleva automaattisesti asentuva virtuaalikone nimeltään ”Service Console”. Service Console -virtuaalikone on käytännössä Red Hat Enterprise Linux, joka asentuu vakiona aina jokaiseen ESX-serveriin. Service Console -virtuaalikoneessa tiedostojärjestelmänä on VMwaren oma VMFS-tiedostojärjestelmä ja virtuaalikoneessa voidaan suorittaa Linuxille tarkoitettuja hallintaohjelmistoja. VMware on sisältänyt Service Console -virtuaalikoneeseen ESX-palvelimen hallintaan liittyviä työkaluja, joita pääsee käyttämään SSH-yhteyden kautta. ESXi Serverissä ei ole Service Console -virtuaalikonetta, eikä sitä tällöin hallita SSH-yhteyden kautta, eikä siihen saa myöskään asennettua kolmannen osapuolen valmistamia ohjelmia. ESXi-hallinta tapahtuu ”Remote Command line Interface” RCLI-ohjelmalla, joka asennetaan etähallinnoivaan koneeseen. ESX-palvelimen tietoturva on myös erilainen, koska tietoturvasta huolehtii Service Console -virtuaalikone ja ESXi-palvelimessa on sisäinen yksinkertainen ohjelmistopalomuuri, jolla voi sallia tasan kaksi tietoturva profiilia. Käynnistyksessä erona on, että ESX käynnistää Service Console -virtuaalikoneen ja ESXi käynnistyy tekstipohjaiseen ”Direct Console User Interface” DCUI-käyttöliittymään, missä voi tehdä vain verkkoasetukset ja asettaa salasanan. Tulevaisuudessa ESXi tulee kokonaan korvaamaan käytöstä poistuvan ESX-virtualisointiohjelmiston. (Davis 2009.)

VMware Server on ilmainen hypervisor tyyppiä 2 käyttävä, lisensoinnin vaativa vaihtoehto. Siitä on versiot Windows Server- ja Linux-käyttöjärjestelmille. VMware Serverillä on mahdollista ajaa useita käyttöjärjestelmiä samanaikaisesti yhdessä fyysisessä laitteessa. VMware Serverillä voidaan luoda uusia ja muokata jo olemassa olevia virtuaalikoneita. VMware Server on kaikista VMware-tuotteista käyttäjäystävällisin, sillä se pystyy käyttämään esimerkiksi Microsoftin virtual PC:llä tehtyjä virtuaalikoneita. VMware Server on niin sanottua ”hosted”-arkkitehtuuria käyttävä ohjelmisto, eli se toimii isäntäkoneen käyttöjärjestelmän päällä olevana kerroksena. Tämä tarkoittaa sitä, että virtualisointikerros tukeutuu isäntäkoneen käyttöjärjestelmään laiteajureissa ja fyysisten resurssien jakamisessa. Etuna ”hosted”-ohjelmistossa on laaja yhteensopivuus laitteiston kanssa. Jos isäntäkoneessa käytössä oleva käyttöjärjestelmä tukee laitteistoa, silloin kyseinen laitteisto on teoriassa myös virtualisoinnin käytössä. Yleensä ”hosted”-ohjelmiston edut näkyvät myös hinnassa, koska valmistajan ei tarvitse kehittää omaa käyttöjär-

jestelmää. Haittana on isäntäkoneen käyttöjärjestelmän kuluttamat resurssit. Käyttöjärjestelmän tarvitsemat resurssit ovat kaikki pois virtuaalikäytöstä, kuten esimerkiksi muisti, jota käyttävät sekä virtuaaliohjelmistot että fyysiseen laitteistoon asennettu käyttöjärjestelmä. (Hammersly 2007, 3 - 5.)

VMware ESXi on niin sanottu ”Bare-metal” hypervisor eli tyypin 1 hypervisor-arkkitehtuuria käyttävä ohjelmisto, joka toimii isäntäkoneen laitteistossa suoraan ilman erillistä käyttöjärjestelmää. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelmisto asennetaan suoraan isäntäkoneeseen. Oma käyttöjärjestelmä sekä kaikki laitteiston tarvitsemat ajurit tulevat suoraan ohjelmiston mukana. Etuna tyypin 1 hypervisor-arkkitehtuurissa on laitteiston kuormituksen radikaali pienentyminen, koska virtuaalisointi-ohjelmistossa on itsessään kaikki mitä laitteiston ohjaamiseen tarvitaan. Isäntäkoneessa ei täten tarvita erillistä käyttöjärjestelmää kuluttamaan resursseja virtualisoinnilta. Haittapuolena on rajoittunut laitteiston tukeminen. Yleensä laitevalmistajat tekevät ajurit yleisimpiin käyttöjärjestelmiin, mutta erikoisvalmistukseen virtualisointikäyttöjärjestelmään joutuvat ohjelmiston kehittäjät tekemään laiteajurit itse. (Hammersly 2007, 3 - 5.)

VMwarella on myös työkalu virtuaalikoneiden kääntämiseksi yhteensopiviksi VMwaren eri virtualisointiohjelmistojen kesken, mukaan lukien kilpailijoiden lanseeraamien virtualisointiohjelmistojen tuotteista VMwaren ohjelmistoihin. Työkalu on nimeltään VMware Converter, ja ohjelma oli ennen maksullinen, tosin sitä pääsi testaamaan ilmaiseksi hetkenaikaa. Nykyään Converterista on ladattavissa uusi ilmainen versio. VMware Converterin avulla voidaan myös luoda fyysisestä tietokoneesta virtuaalinen tietokone. Tämä onnistuu fyysisistä koneista, joihin on asennettu Windows-käyttöjärjestelmä tai kolmannen osapuolen tuotteen tekemästä fyysisen koneen levynkuvaustiedostosta. VMware Converter tukee esimerkiksi Nortonin tai Symantecin varmuuskopiointiohjelmalla järjestelmästä tehtyä varmuuskopio ”imagea”. VMware Converteria voidaan käyttää myös valmiin virtuaalikoneen virtuaalikiintolevyn suuruuden muuttamiseen. VMware Converter on sittemmin muuttanut nimensä VMware vCenter Converteriksi, koska se tulee maksullisen VMware vCenter Server -hallintaohjelmiston mukana. Tosin vCenter Converterin saa ladata myös erillisenä ilmaiseksi. (Converter_datasheet.pdf 2011.)

3.2 VirtualBox

VirtualBox on Oraclen omistaman Sun Microsystems yhtiön virtualisointi-ohjelmisto. Sun Microsystems tuottaa network computing -ratkaisuja, missä normaalisti tietokoneiden suorittamat toiminnot toteutetaan verkkopalveluina. Yhtiön tuotteisiin kuuluvat tietokonejärjestelmät, puolijohdepiirit, tallennusratkaisut ja asiakaspalvelut mukaan lukien huolto. Sun Microsystems yrityksen tunnetuimpiin tuotteisiin kuuluu Java, OpenOffice, MySQL, Solaris-käyttöjärjestelmä ja Ultra-SPARC-prosessori. (Sun Microsystems. Inc. 2010.)

VirtualBox oli alkujaan Innotekin kehittämä ohjelmisto, jonka Sun Microsystems hankki ostaessaan Innotekin vuonna 2008. VirtualBox xVM kuului alunperin Sun xVM tuoteperheeseen osana Sun xVM Server -virtualisointiohjelmistoa, mutta sittemmin VirtualBox on eriytynyt omaksi ohjelmistokseen. Sun xVM Server perustuu xVM hypervisor -projektiin, mikä oli alunperin Solaris-käyttöjärjestelmän komponentti ja perustuu kehitystyöhön, jota tehtiin OpenSolaris Xen -yhteisössä. Sun xVM Server on termistöstä lähtien samankaltainen Xen-serverin kanssa, koska kummassakin on käytössä samasta avoimesta lähdekoodista kehitetty tyyppin 1 hypervisor. (Vijay 2008.)

VirtualBox samoin kuin VMware Server on ”hosted hypervisor” eli tyyppin 2 hypervisor, joka tarvitsee isäntäkoneessa käyttöjärjestelmän toimiakseen, toisin kuin esimerkiksi VMware ESXi, mikä on tyyppi 1 ”bare-metal” hypervisor. VirtualBox löytyykin monille käyttöjärjestelmäalustoille, kuten Windowsille, Linuxille ja MAC-koneille. Pääosiltaan VirtualBox toimii kaikissa järjestelmissä samalla lailla, näin saadaan aikaan virtuaalisovelluksien mahdollisimman hyvä liikuteltavuus. Esimerkiksi Windows-käyttöjärjestelmään asennetulla VirtualBox-ohjelmistolla tehty virtuaalisovellus toimii, jos se siirretään Linux-käyttöjärjestelmään asennettuun VirtualBox-ohjelmistoon. Ohjelmisto tukee OVF ”Open Virtualization Format” -standardia, mikä mahdollistaa virtuaalisovelluksien viemisen ja tuomisen eri virtualisointiohjelmistojen välillä. (Oracle VM VirtualBox 2010.)

VirtualBox on tällä hetkellä vahvasti kehittyvä vapaaseen lähdekoodiin perustuva virtualisointivaihtoehto, josta löytyy kaksi eri lisensseillä julkaistua versiota. VirtualBox-tuotteen käyttöehdot löytyvät lisenssistä ”VirtualBox Personal Use and Evaluation License”. Saatavilla on myös VirtualBox Open Source Edition (OSE),

joka sisältää lähdekoodin pois lukien joitain yrityksille suunnattuja ominaisuuksia. Kyseisellä lisensointimenetelmällä saadaan yrityksiltä tuloja jatkokehitystyöhön vaikka tuote sinänsä on ilmainen. (Virtualbox.org 2010.)

3.3 Xen Source

Xen hypervisorin kehitys alkoi 1990-luvun loppupuolella, kun Keir Fraser ja Ian Pratt kehittivät sen osana Cambridgen yliopiston Xenoserver -tutkimusprojektia. Yleiseen käyttöön Xen julkaistiin vuonna 2003, ja ohjelmisto on alusta alkaen perustunut avoimen lähdekoodin ideologiaan. Avoimen lähdekoodin projektia vetää Xen-yhteisö, joka tekee yhteistyötä Xen hypervisorin kehittäjien perustaman voittoa tavoittelevan Xensource inc. -yhtiön kanssa. Xensource on jatkanut Xen hypervisorin kehittämistä tehden yhteistyötä Xen-yhteisön kanssa ja säilyttämällä lähdekoodin edelleen avoimena. Vuonna 2007 Xensource inc. eriytettiin Xen-yhteisöstä ja yhtiön osti Citrix Systems inc. Vaikka Xensource on edelleenkin suurin Xen-lähdekoodin kehittäjä ja yhteistyö Xen-yhteisön kanssa jatkuu, on yhteisön verkkosivut eriytetty Xensource-sivustosta, vaikkakin Xensource edelleen ylläpitää myös yhteisön sivuja. Xen-projektia perustettiin johtamaan Xen Project Advisory Board, joka koostuu viidestä suurimmasta Xen-projektin edistäjästä ja tärkeimmistä jakelijoista, joiden tuotteissa Xen hypervisor on mukana. Johtokunnan jäseniä ovat Citrix, Fujitsu, HP, IBM, Intel, Novell, Oracle, ja VA Linux Systems Japan. (Xen.org 2009; WhyXen.pdf 2009.)

Xen Source on saatavilla kaupallisena ja maksuttomana versiona. Pystyäkseen ajamaan melkein kaikkia x86-arkkitehtuurille tehtyjä käyttöjärjestelmiä Xen vaatii prosessorilta virtualisointituen. Virtualisointituki mahdollistaa suoran laitteisto-osoituksen. Virtuaalikoneessa käyttöjärjestelmää ei tarvitse erikseen muokata, vaan sitä pystytään käyttämään samoin kuin se olisi fyysisessä laitteessa. Ilman laitteistossa olevaa virtualisointitukea Xen ei kykene virtualisoimaan Windows-käyttöjärjestelmiä. Tämän tyyppinen virtualisointi on ”Hardware-based Virtual Machine” eli HVM. HVM tarkoittaa täysin virtualisoitua konetta, joka vastaa aitoa käytössä olevaa konetta. Virtuaalilaitteisto on täten sama kuin oikeassakin koneessa ja sitä emuloi Xen hypervisor, joka toimii rajapintana virtuaalisen ja oikean laitteiston välillä. Xen osaa suorittaa virtualisoinnin myös niin sanotulla paravir-

tualisointimenetelmällä. Paravirtualisointi on Xen-työryhmän kehittämä virtualisointiratkaisu, jonka ovat myöhemmin myös muut virtualisointiohjelmiä kehittävä tahot omaksuneet. Paravirtualisointi on mahdollista muokkaamalla virtualisoitavaa käyttöjärjestelmää nimenomaan virtualisointia varten. Tämä tapahtuu asentamalla virtualisoidun laitteiston ajurit ja Linuxin tapauksessa käytetään tarkoitukseen käännettyä ydintä eli kerneliä. Näin saadaan säilytettyä virtuaalikoneessa melkein yhtä hyvä teho, kuin oikealla laitteella. (XenOverview 2009.)

Xen hypervisor -virtualisointiohjelmistoa voidaan etähallita käyttämällä graafista käyttöliittymää nimeltään XenCenter. XenCenter on Windows-sovellus Xen-serverin ja virtuaalikoneiden hallintaan. Etähallinnointityökalu XenCenterin laitteistoksi kelpaa normaali tietokone, jossa on yli gigatavu muistia ja prosessorin kellotaajuus yli 750 MHz. Tietokoneen tulee kyetä suorittamaan Windows-käyttöjärjestelmää, johon on asennettu NET framework 2.0 tai uudempi. Käytännössä tämä tarkoittaa Windows 2000-, 2003-, XP-, 2008-, Vista- ja Windows 7 -käyttöjärjestelmiä. (XenCenter requirements 2008.)

3.4 Ohjelmistojen vertailu

Virtualisointiohjelmistojen vertailu keskenään on hankalaa, koska ohjelmistojen lähtökohdat, toteutustavat ja niiden tavoitteet poikkeavat toisistaan. Virtualisointiohjelmit jakaantuvatkin niissä käytettyjen tekniikkojen osalta heti omiin ryhmiinsä. Samanlaisella tekniikalla toteutetut virtualisointiohjelmit eivät juurikaan eroa toisistaan, koska perustekniikka on lähtökohdaltaan ja toiminnaltaan samankaltaista. Esimerkiksi tyypin 1 hypervisorit, joita käyttää VMware ESXi ja XenServer ovat toiminnoiltaan samantapaisia, eli ne ylläpitävät virtuaalikoneiden toimintaa välittämällä virtualisoidun laitteiston käskyt fyysiselle laitteistolle. Ja etenkin virtualisointiohjelmit, joissa Xen hypervisor on ollut lähtökohtana, kuten Oracle xVM, Citrix XenServer ja Microsoft Hyper-v eivät juurikaan eroa toisistaan. Eroavaisuudet ohjelmistojen välillä tuleekin virtuaalisien ympäristöjen hallintatyökalujen ominaisuuksista. Hallinnointiohjelmitkin kehittyvät koko ajan ja käytännölliset hyviksi havaitut innovaatiot tulevat jossakin vaiheessa oletusominaisuuksiksi kaikkiin hallinnointiohjelmiin.

Virtualisointiohjelmistojen hallintaan tarkoitettujen työkalujenkaan vertailu ei ole suoraviivaista, sillä ohjelmistojen valmistajat hinnoittelevat tuotteensa eri lailla. Esimerkiksi jos vertaa Citrixin XenCenter-hallinnointiohjelmistoa VMware vSphere -ohjelmistoon on vSphere huomattavasti alkeellisempi. Kun vSpheren yhdistää ”VMware vCenter Management Server” -ohjelmistoon, alkaakin hallinnointitoiminnallisuutta olla siinä määrin, mitä markkinajohtajalta voisi olettaa. Kustannukset tosin VMwaren kohdalla kasvavat, koska joudutaan maksamaan kahdesta ohjelmistosta ja pelkästään VMware vCenter maksaa suunnilleen yhtä paljon kuin XenCenter Platinum. Vastaavasti XenCenter-perusversiota voi käyttää ilmaiseksi ja XenCenterin lisäominaisuudet tulevat käyttöön eri lisenssiavaimien asentamisella, eli varsinaiselle ohjelmalle ei tarvitse tehdä lisäasennuksia. XenCenter versiot ovat ”Free”, ”Advanced”, ”Enterprise” ja ”Platinum”. Verrattuna VMware hallinnointituotteisiin ovat maksullisetkin XenCenter-lisenssit edullisempia, sillä Advanced-lisenssi maksaa tuhat dollaria, Platinum-lisenssi on viisituhatta dollaria ja Enterprise puolet Platinumin hinnasta. Vastaavasti VMware-virtualisointiohjelmistot voivat kaikenkaikkiaan maksaa kymmeniätuhansia dollareita.

VMwaren virtualisoinnin hallintaan tehty ohjelma oli ennen VMware Infrastructure, mutta uuden version myötä nimi on nyt VMware vSphere. Hallintaominaisuuksia lisäävä VMware vCenter Management Server taas oli ennen nimeltään VMware VirtualCenter. Ominaisuuksia ohjelmistopakelistä löytyy seuraavasti:

- hallintaohjelma Windows-käyttöjärjestelmästä ESXi, ESX tai vCenter Serveriin nimeltään vSphere Client
- verkkoselaintyhteys virtuaalikoneiden hallintaan nimeltä vSphere Web Access
- klusteroitu tiedostojärjestelmä ESXi- ja ESX-palvelimille nimeltä Virtual Machine File System (VMFS)
- ominaisuus, joka mahdollistaa yhden virtuaalikoneen käyttämään useita fyysisiä prosessoreja nimeltä Virtual SMP
- ohjelmat, jotka mahdollistavat käytön aikana tapahtuvan virtuaalikoneen siirtämisen fyysisestä laitteesta toiseen toimintaa katkaisematta nimeltään vMotion ja Storage vMotion
- vikasietoisuutta lisäävä ominaisuus, joka käynnistää vikatilanteessa virtuaalikoneen toisessa palvelimessa, jossa on vapaita resursseja nimeltä High Availability (HA)

- ohjelma, jolla tasataan virtualisointi laitteistojen tehonkulutusta jakamalla virtuaalikoneet dynaamisesti virtualisointipalvelimien kesken nimeltä Distributed Resource Scheduler (DRS)
- käyttöliittymä vSphere VMware- ja kolmannen osapuolen lisäosille nimeltä vSphere SDK
- varmuuskopio kloonaus ominaisuus, missä käynnistetään klooni virtuaalikone jos alkuperäiseen virtuaalikoneeseen menetetään yhteys nimeltä Fault Tolerance
- ominaisuus, jossa virtuaalisten verkkokytkimien avulla pidetään fyysisten palvelimien verkkoyhteydet yhdenmukaisina, mahdollistaen virtuaalikoneiden vapaan siirtelyn fyysisten laitteiden välillä nimeltä vNetwork Distributed Switch (vDS)
- ominaisuus, jolla luodaan käyttäjä profiileja virtualisointi palvelimille nimeltä Host Profiles
- tiedostosäilytyksestä ja kuormitusta tasaavista ratkaisuista huolehtiva rajapinta nimeltä Pluggable Storage Architecture (PSA)
- keskitetty palvelin tuomaan lisä toiminnallisuutta virtualisoitujen palveluiden hallintaan nimeltä vCenter Server

Ydinpalvelut, joita vCenter tarjoaa, ovat virtuaalikoneiden ohjaus ja resurssien hallinta. Hallintakäyttöliittymä tarjoaa työkalut isäntäkoneiden ja virtuaalikoneiden konfigurointiin sekä kerää ja tallentaa tietoja virtualisointiympäristön toiminnasta ja antaa varoituksia jos jotain hälyttävää tapahtuu. VMware vCenter tarjoaa seuraavia lisäominaisuuksia:

- ajoittaa tehtäviä, kuten tiettyyn aikaan tapahtuvia virtuaalikoneiden siirtelyä
- suosittelee, mitkä fyysiset laitteet olisi tehokkaampaa korvata virtuaalikoneilla
- niputtaa yhteen virtuaalikoneeseen useita virtuaalikoneita tai virtualisoituja laitteita ja hallitsee niitä pakettina, eli tavallaan kyseessä on virtuaalinen hypervisor nimeltä vApp

Myös VMware vCenter Server-lisäosaan saa liitettyä muita lisäosia kuten, VMware vCenter Converter ja VMware Update Manager. (Introduction to VMware vSphere 2010.)

XenCenter tarjoaa lähestulkoon samoja ominaisuuksia kuin VMwaren virtualisointiympäristön hallintapaketti. Eroina on etäkäyttö, johon XenCenter käyttää VNC-yhteyttä asennuksen aikana, Xvnc yhteyttä Linux-käyttöjärjestelmien kanssa ja Remote Desktop-yhteyttä Windows-käyttöjärjestelmien kanssa. Ohjelmistossa on myös XenSearch-toiminto jonka avulla saadaan etsittyä ja järjesteltyä virtuaalikoneita tiettyjen kriteereiden mukaan. Uutena ominaisuutena on tullut dynaaminen virtuaalikoneiden muistinhallinta, missä virtuaalikoneiden muistin käytölle voidaan asettaa minimi- ja maksimiarvot. XenCenter mahdollistaa VMwaren tavoin myös hyvin havainnollisen virtuaalikoneiden ”snapshot” käytön. Snapshot-hallinnointi toimii siten, että virtuaalikoneen tila otetaan talteen ennen uusien muutoksien tekemistä ja kyseisiin tiloihin voi virtuaalikoneen palauttaa niin halutessa, samalla muistiin jää myös ne virtuaalikoneiden tilat joista palautus on tehty. (Turner 2011.)

Hypervisor tyyppiä 2 käyttävät virtualisointiohjelmit sen sijaan eroavat toisistaan jo pelkästään niiden tukemien isäntäkoneen käyttöjärjestelmien suhteen. Toisin yleensä kaikilta virtualisointiohjelmistovalmistajilta löytyy versiot yleisimmille käyttöjärjestelmille. Lisäeroja tuo virtuaalikoneissa suoritettavien käyttöjärjestelmien tehostamiseksi asennettavat ”Tools”-ohjelmisto. Tools-ohjelmisto antaa seuraavanlaisia virtuaalikoneen käyttöä parantavia ominaisuuksia. VMware-Tools ohjelmistossa tulee mukana esimerkiksi Windows-käyttöjärjestelmille hiiri-ajuri, joka tekee kursorin siirtymisen normaalin työpöydän ja virtuaalikoneen työpöydän välillä sujuvammaksi. Käyttöä parantavina palveluina tulee muun muassa virtuaalikoneen ja sitä käyttävän koneen välille kopioi-, leikkaa- ja liitä-toiminto sekä hiirellä tapahtuva tiedostojen tai vaikkapa kuvan ”raahaus”. Lisäksi käskyt välittyvät paremmin virtuaalikoneen ja isäntäkoneen välillä, kuten käynnistys, sammutus, skriptien suoritus ja kellonajan synkronointi. VMware Tools -paketissa tulee myös näytön SVGA-ajuri, joka parantaa suorituskykyä ja kuvan laatua huomattavasti. Lisäksi Tools-paketin ajuri mahdollistaa virtuaalikoneen työpöydän resoluution asettamisen samaksi kuin virtuaalikonetta ohjaavassa työpöydässä on, tai resoluutiota voidaan muuttaa virtuaalikoneen ikkunanäkymässä ikkunan reunoja venyttämällä. Mukana tulee myös ”VMware Tools control panel”, jonka avulla voidaan tehdä asetusmuutoksia virtuaalikoneisiin. (Workstation User’s Manual 2010.)

VirtualBox-virtualisointiohjelmiston mukana tulevia virtuaalikoneen Windows-käyttöjärjestelmän suorituskykyä parantavia lisäyksiä kutsutaan nimellä ”Guest Additions”. Guest Additions tarjoaa samankaltaisia parannuksia kuin VMware tools, mutta lisänä tulee parempi kuvan välitys, jossa on mahdollista näytönohjaimen 3D- ja 2D-kiihdytys. Lisäksi tulee saumaton ikkuna isäntäkoneen työpöydän ja virtuaalikoneen ohjelman välille, joten virtuaalikoneessa suoritettavat ohjelmat eivät toiminnaltaan erotu isäntäkoneen työpöydän ohjelmista. Guest Additions -paketti tuo mukanaan myös yhteisen verkkoaseman, jota kaikki virtuaalikoneet voivat käyttää, vaikka virtuaalikoneisiin ei olisi tehty verkkoasetuksia. (Oracle VM VirtualBox 2010.)

Myös Xen-pohjaisille hypervisoreille on olemassa ”tools”-paketit. Kyseiset paketit tosin eroavat hieman VirtualBoxin ja VMwaren tools paketista. XenServer-ohjelmistolle on tarjolla ”Citrix Tools for Virtual Machines”, joka sisältää paravirtualisointi ajureita virtuaalikoneille. Kyseessä on lähinnä ajureita I/O-laitteiston ohjaukseen, jotta fyysisen laitteiston kuormitusta saataisiin pienemmäksi. Lisäksi on olemassa myös täysin erilainen Xen-tools-paketti, jota ei asenneta virtuaalikoneisiin. Xen-tools asennetaan isäntäkoneeseen, ja se pitää sisällään kokoelman skriptejä, joiden avulla uusien virtuaalikoneiden luominen saadaan esimerkiksi automatisoitua.

4 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUKSET

4.1 Testiympäristön kuvaus

Käytännön toteutuksessa ensimmäinen laitteisto, johon VMware Server asennettiin, oli vanha Compaq Proliant Server varustettuna Pentium 3 -prosessorilla ja SCSI-kiintolevylevypakalla. Laboratoriossa tehtyjen alkuasennuksien ja toiminnan varmistuksen jälkeen Compaq-palvelin asennettiin konehuoneeseen pelkätään etäkäytettäväksi. VMware Server 1-asennuksen ja ensimmäisten käyttötestien jälkeen hankittiin testejä varten normaali pöytäkone, jossa oli AMD-V laitteistoavusteinen tuki virtualisoinnille. PC-tietokoneessa oli AMD x2 5500 prosessori, SATA-kiintolevy ja muistia löytyi kaksi gigatavua. Kyseisessä tietokoneessa suoritettiin XenSource-virtualisointiohjelmiston testaus.

Seuraava virtualisointilaitteistohankinta oli Intelin neljäytiminen q6600 prosessorilla varustettu pöytäkone, jossa oli SATA-kiintolevy ja kahdeksan gigatavua muistia. Kyseisellä tietokoneella oli tarkoitus testata VMware ESXi -virtualisointiohjelmiston tyyppin 1 hypervisorin, koska q6600-prosessorissa on virtualisointituki. Tämän jälkeen suunnitelmissa oli suorittaa samassa laitteessa tehokkuusvertaus VMware Server 2-ohjelmistoon. Koska VMware ESXi tarvitsee hallinnoimiseen etäyhteyden, käytettiin hallinnointitarkoituksiin laboratorion normaaleja työkoneita. VirtualBox-testit tehtiin myös Intel-valmisteisellä prosessorilla, mutta kyseisessä prosessorissa ei ollut virtualisointitukea. Tällä kertaa PC-tietokoneessa oli Intelin tuplaydinprosessori, SATA-kiintolevy ja neljä gigatavua muistia.

4.2 Käyttöjärjestelmät

Tarkoituksena oli virtualisoida erilaisia työpöytäympäristöjä ja verrata kyseisten virtuaalisovelluksien toiminnallisuutta ja käyttöönoton kätevyyttä. Lisäksi tavoitteena oli löytää mahdollisimman vähän resursseja kuluttavia virtualisoitavia graafisia käyttöjärjestelmiä. Pääpainoisesti virtuaalisovellustestinä ja vertailukohteena oli Windows XP. Vertailtavina virtuaalisovelluksina käytössä oli erilaisia kevyitä työpöytäkäyttöjärjestelmiä. Verrattavia ominaisuuksia oli käynnistyksen nopeus,

käyttötuntuma, resurssien varaaminen ja kuinka paljon tilaa virtuaalisovelluksen varastoiminen vei.

Virtuaalikoneisiin asennettavilla käyttöjärjestelmillä tuli olla edellytykset normaaliin käyttöjärjestelmätoimintaan. Toisaalta virtuaalikoneiden tuli olla mahdollisimman pieniä ja kuluttaa niin vähän resursseja kuin mahdollista. Kyseiset kriteerit asetteli lähinnä tarve saada virtualisoitua mahdollisimman monta työasemaa ilman massiivisia laitehankintoja. Perustoiminnot joita virtuaalikoneiden tuli kyetä suorittamaan, olivat lähinnä verkkoyhteyksien ja palomuurien asetusten testaamiseen tarvittavia ohjelmia. Tärkeimpinä ohjelmina ja protokollina oli nettiselain, ping, ssh, telnet, ftp, tftp ja Putty. Kyseisten perustarpeiden ohella tuli lisäksi kyetä tarpeen vaatiessa asentamaan virtuaalikoneisiin muitakin ohjelmistoja, kuten esimerkiksi verkkoliikennettä seuraavia ohjelmia. Mutta kuitenkin pääasiallinen tarve graafiselle pienelle virtuaalikoneelle tuli juuri nettiselaimen käytön johdosta. Nettiselaimella on kaikkein havainnollisinta testata koko testiverkon toiminta aina Internetiin asti. Toki nettiselaimia saa myös tekstipohjaisina, mutta niiden käyttö ei ole niin sujuvaa kuin graafisten kanssa. Muut vaadittavat perusohjelmat eivät olisi välttämättä tarvinneet graafista työpöytää, mutta koska suurin osa käyttäjistä on nykyään tottunut graafisiin työympäristöihin, valittiin ne virtuaalikoneiksi käyttömukavuuden vuoksi.

Virtuaalisovelluksina oli käytössä kaksi eri maksullista graafisista Windows-käyttöjärjestelmää: Windows XP ja WinFLP. Maksuttomina käyttöjärjestelminä testeissä käytettiin Linux-versioita. CentOS nimellä oleva Linux oli käytössä virtuaalipalvelimen käyttöjärjestelmänä ja myös testeissä virtuaalisovelluksena, kuten oli myös Debianiin pohjautuva Ubuntu. Kaikille käyttöjärjestelmille, jotka toimivat virtuaalisovelluksena, asetettiin samankokoinen neljän gigatavun kokoinen virtuaalikiintolevy. Poikkeuksena tästä olivat mahdollisimman vähän resursseja vievien graafisten käyttöjärjestelmien testiyksilöt ”Linux Mint”, ”DebianMini” ja ”Damn Small Linux” jotka kaikki pohjautuvat Linux Debian-versioon.

Windows XP oli käytössä vertailukohteena, ja asennukseen tehtiin kaikki kriittiset päivitykset ja lisäksi asennettiin VM-lisäosat, jos tarve vaati. Asennusten jälkeen virtuaalisovellusta kuvaava tiedosto oli yli 2 Gt. Tämän jälkeen alkoi tarpeettomien tiedostojen ja toimintojen poisto. Ensimmäiseksi järjestelmän palautustoi-

minto otettiin pois päältä viemästä turhaan levytilaa. Tämän jälkeen visuaaliset erikoistehosteet otettiin pois päältä vähentämään prosessorikuormitusta. Seuraavaksi edessä oli turhien tiedostojen poisto, joita olivat tiedostot ”TEMP” hakemistosta ja ”%WINDIR%\\$NtUninstall-----\$” hakemistot. Vaikka poistettujen tiedostojen koko oli yhteensä useita satoja megatavuja ja virtualisoidulle kiintolevyille tuli tyhjää tilaa, ei levynkuvaustiedoston koko pienentynyt. Levynkuvaustiedoston pienentämistä yritettiin eheyttämällä virtuaalista kiintolevyä Windows XP:n omalla eheytysohjelmalla. Eheytyksen jälkeen ei ollut havaittavana muutoksia levynkuvaustiedoston suuruudessa. Eheytystä yritettiin myös Windows-käyttöjärjestelmiin tarkoitetulla hiukan paremmalla eheytysohjelmalla, jonka saa ladattua <http://technet.microsoft.com/enus/sysinternals/bb897443.aspx>-sivustolta. Tämäkään eheytyks ei tuonut muutoksia levynkuvaustiedostoon, kuten ei myöskään VMwaren työkaluissa oleva eheytysohjelma.

Ensimmäinen vertailukohde oli kevennetty Windows XP nimeltään ”Windows Fundamentals for Legacy PCs” eli WinFLP. WinFLP on Microsoftin minimalistinen Windows-käyttöjärjestelmä, ja se on tarkoitettu kevyeksi käyttöjärjestelmäksi koneisiin, jotka eivät täytä Vistan ja Windows 7 laitteistovaatimuksia. WinFLP ei ole saatavilla kaupoista, vaan se on tarjolla yrityksille, joilla on ”Microsoft Software Assurance”-sopimus. WinFLP on tarkoitettu yrityksille, joiden koneissa on käytössä Microsoftin aikaisempia käyttöjärjestelmiä, joista tuotetuki on jo loppunut.

WinFLP:n laitteistovaatimukset ovat noin puolet siitä mitä aito Windows XP tarvitsisi. Minimi RAM-muistinmäärä on 64 Mt ja suositus on 128 Mt. Windows XP:llä minimi RAM on sama, mutta suositus on 256 Mt. Kiintolevytilaa tarvitaan vähintään 500 Mt ja suositellaan 1 Gt, kun taas Windows XP:n minimi on 1500 Mt ja suositus on 2 Gt. Muut laitteistovaatimukset ovat Pentium-suoritin, 800 x 600 pikselin resoluutio ja verkkokortti.

Graafisen Linux-käyttöjärjestelmän asentamisessa virtuaalikoneisiin valinnanvapautta on runsaasti. Vaikka kyseessä on kussakin tapauksessa Linux, on silti käyttöjärjestelmien välillä eroja. Erot ovat syntyneet lähinnä kehityksen saamasta suunnasta ja siitä, mitä ohjelmistoja kukin yhteisö on alkanut aktiivisesti kehittää tai omaksua muilta yhteisöiltä. Testeissä oli mukana CentOS ja Fedora, jotka

kummatkin muistuttavat kaupallista RedHat Linuxia. Lisäksi testeissä oli Debian ja siitä muodostettu Ubuntu. Debianista oli testissä käytössä myös minimalistinen asennus, joka oli ladattu valmiina netistä ”VMware Virtual Appliance Marketplace” -sivuston kautta osoitteesta <http://www.visoracle.com/download/debian/>.

Myös pienikokoinen valmis versio LinuxMint-käyttöjärjestelmästä oli mukana testauksessa. LinuxMint on räätälöity yhdistämällä Debianin ja Ubuntu ominaisuuksia tehden siitä yhden suosituimmista maksuttomista työpöytäkäyttöjärjestelmistä. LinuxMintin lähtökohtana on tarjota helppokäyttöinen käyttöjärjestelmä, joka on helposti asennettavissa ja toimii samantien. LinuxMint on saatavilla useissa erilaisissa kokoonpanoissa. Pääasiallisessa versiossa tulee mukana kaikki mahdollinen, mitä LinuxMint-yhteisöltä on toivottu. Lisäksi toivomusten pohjalta on tehty versioita eniten suosiota saaneista eri ikkunankäsittelijöistä. On myös versioita, joissa on käytössä köykäisempiä ikkunankäsittelijöitä ja täten ne vaativat vähemmän resursseja laitteistolta. LinuxMint löytyy osoitteesta <http://www.linuxmint.com>.

Mahdollisimman kevyiden graafisten käyttöjärjestelmien testiin otettiin mukaan myös Damn Small Linux. DSL on myöskin Debian-pohjainen Linux-julkaisu. Ideana on ollut DSL:n kehityksen alusta lähtien pitää käyttöjärjestelmän osuus mahdollisimman kevyenä. DSL tulee eri käynnistysmediamuodoissa ja kiintolevyille asennettuna se näyttäytyy Debianina. Vaikka se alunperin onkin tarkoitettu työkaluksi ongelmatilanteisiin, kuten esimerkiksi käynnistyslevyksi järjestelmän varmuuskopiointia varten, on DSL täysin toimiva käyttöjärjestelmä, johon voi tarvittaessa asentaa lisäohjelmia kuten muihinkin Linux Debian käyttöjärjestelmiin.

Levytilaa DSL vie vain alle 50 Mt ja on näin ollen pienin työpöytäkäyttöjärjestelmä joka testeissä oli. Pienestä koosta huolimatta on DSL hyvin varusteltu. Siinä on esimerkiksi kolme erilaista vaihtoehtoa nettiselaimissa, tekstieditoreissa ja jopa ikkunankäsittelijöissä. Käytössä olevien kevyiden ikkunankäsittelijöidensä ansiosta järjestelmävaatimuksetkaan eivät ole suuret. Damn Small Linux toimii jopa 486DX-koneissa 16 Mt:n muistilla. Kokonaisuudessaan DSL latautuu muistiin muistin määrän ollessa 128 Mt. DSL:n kotisivut löytyvät osoitteesta <http://www.damnsmalllinux.org>.

4.3 Xen Source

Xen vaatii laitteistolta virtualisointituen, jotta sillä voisi virtualisoida muitakin kuin Linux-käyttöjärjestelmiä. Vaikka Xen kykenee myös paravirtualisointiin tarkoituksena kuitenkin oli testata myös Windows-käyttöjärjestelmiä, joten testeissä käytettiin pelkästään HVM-virtualisointia. HVM-virtualisointi valittiin Xen hypervisor -testaukseen myös siksi, jotta sitä voisi verrata toiseen laitteiston virtualisointitukea käyttävään VMware ESXi -ohjelmistoon. Virtuaalikoneiden verkkoliikenteen Xen järjestää luomalla virtuaalisia verkkoliitäntöjä, joita reititetään tai yhdistetään siltauksella. Oletuksena virtuaalisia verkkokortteja luodaan seitsemän paria.

Xen Source tulee kahdenlaisena asennusversiona. Kaupallinen ”Citrix XenServer Enterprise” toimitetaan asennusmedialla joka sisältää koko järjestelmän ja hypervisor-tyyppisen virtualisointiohjelmiston, eikä täten tarvitse toimiakseen esiasennettua käyttöjärjestelmää. Toinen, vapaasti käytettävissä oleva versio, jonka saa ladata www.xen.org-sivustolta, tarvitsee toimiakseen täysin toiminnallisen esiasennetun Linux-käyttöjärjestelmän, tarkemmin sanottuna vähintään Debian Etch, Red Hat RHEL 5 /Fedora7/CentOS5, Novell SUSE Linux Enterprise 10 tai Sun Microsystems Solaris. Testeissä käytettiin vapaasti ladattavissa olevaa versiota. Koska Xen hypervisorin lähdekoodi on avoin, Xen-yhteisön Internet-sivustoilta löytyy paljon tietoa, sekä hyvä dokumentointi asennukseen ja yksilöllisten säätöjen tekemiseen.

Xen Source asennettiin tietokoneeseen, jossa oli kaksiytiminen AMD-prosessori. Kyseisessä tietokoneessa oli virtualisointituki nimeltään AMD-V jo laitteistossa. Laitteistoavusteinen virtualisointi pitäisi teoriassa olla nopeampaa ja vähentää virtualisointikäyttöjärjestelmän kuormitusta. Laitteistoon asennettiin käyttöjärjestelmäksi Debian.

Asennus eteni asennuslevykkeeltä ilman ongelmia ja virtualisointiohjelmisto tuntui toimivan niin kuin pitikin. Virtuaalikoneen tekeminen tapahtui kyseiseen tarkoitukseen olevalla opastetulla luomisprosessilla. Kaikissa virtualisointiohjelmistoissa tuntui olevan samankaltainen uuden virtuaalikoneen luomismenetelmä. Virtuaalikoneen käyttöjärjestelmäksi asennettiin CentOS ja kaikki tuntui toimivan erinomaisesti. Kunnes virtuaalikoneen sammutti. Virtuaalikone ei suostunut ensi-

sammutuksen jälkeen käynnistymään ja Xen Source ohjelma antoi virheilmoituksen korruptoituneesta virtuaalikoneen kuvaustiedostosta. Järjestelmän uudelleen-asennuksessa kokeiltiin Fedora8-käyttöjärjestelmää isäntäkoneessa ja Debiania virtuaalikoneessa samoin tuloksin. Muutaman erilaisen uudelleen-asennuskerran jälkeen ja tiedostojärjestelmäkokeilujen päätyttyä testaus lopetettiin.

Xen Source:lla virtuaalikoneen imagen luonti onnistui helposti ja toimi hyvin kunnes virtuaalikoneen sammutti. Uudelleenkäynnistyksessä tuli virheilmoitus image korruptoitunut. Kyseistä virtuaalikonetta ei tämän jälkeen pystynyt enää käyttämään. Tämä tapahtui joka kerta. Koko järjestelmän usean eri uudelleen-asennuskerran jälkeenkin ja eri käyttöjärjestelmillä vikaan ei löytynyt ratkaisua. Koska vika ei ratkennut omin voimin, eikä myöskään internetistä löytynyt ongelman korjaamiseen ohjeita, ohjelmiston testaus lopetettiin.

4.4 VMware Server

VMware Server on ilmainen rekisteröinnin kautta hankittava lisenssiavaimen vaativa virtualisointiympäristö. Koska kyseessä on virtualisointiohjelmistoihin erikoistuneen yhtiön ilmainen tuote, otettiin VMware Server käyttöön vertailukohteeksi ilmaisten avoimen lähdekoodin virtualisointiohjelmistojen suorituskyvylle ja käyttöominaisuuksille. Lisäksi käyttöönoton valintaan vaikutti ohjelmiston monipuoliset hallinnointimahdollisuudet, kuten hallinta nettiselaimella. VMware Server tarvitsee toimiakseen isäntäkäyttöjärjestelmän ja tukeekin useita eri Linux- ja Windows-versioita. Tarkoituksena oli asentaa VMware Server koneeseen siten, että sitä pystyisi hallitsemaan paikallisesti ja etänä. Paikallinen hallinnointi graafisesti oli mahdollista työpöytäkäyttöjärjestelmäksi asennetun CentOS:n tarjoaman X:n myötä. Etähallinta oli mahdollista erityisellä "Remote Client" -ohjelmalla. Toinen etähallintatapa oli käyttää nettiselainta, kunhan Server 1 -ohjelmistoon ensiksi asensi VMware-mui lisäosan. VMware Serveriä oli tarkoitus käyttää virtuaalisten työpöytäkoneiden hallinnoimiseen. Pentium 3 -prosessorilla varustetulla koneella oli tarkoitus verrata, kuinka paljon resursseja vaatii erilaiset työpöytäkäyttöjärjestelmät ja miten usean virtuaalikoneen yhtäaikainen ajaminen vaikuttaa suorituskykyyn.

VMware Server 1 asennettiin Compaq Proliant Pentium 3 -prossoria käyttävään serveriin, johon oli asennettu CentOS Linux. Asennustiedostot sai ladattua osoitteesta <http://www.vmware.com/download/server> ja vaihtoehtoisista paketeista valittiin tar. Ennen tiedoston latautumista piti rekisteröityä ja rekisteröinnin jälkeen sähköpostiin tuli sarjanumero, jota tarvittiin ohjelman asentamisessa. Ennen Server 1 -ohjelmiston asentamista käyttöjärjestelmään piti asentaa "xinet". Asennus tapahtui tar-paketin purkamisen jälkeen käynnistämällä Perl scripti `./vmware-install.pl` Linux-konsolissa. Suurin osa asennusvaihtoehdoista oli oletuksena kelvollisia. Ainostaan hakemistopolkuihin tarvitsi tehdä muutoksia. Asennuksen jälkeen Server 1-ohjelmistolle annettiin asetukset suorittamalla `"/usr/bin/vmware-config.pl"`. Vmware-config.pl Perl-skripti on Linux-järjestelmissä suositeltava tapa VMware Server-asetuksien tekemiseen ja muokkaamiseen, mukaanlukien virtuaaliverkkojen asetukset. Jälleen suurin osa suositusasetuksista oli kelpaavia. Muutoksia tarvitsi tehdä ainoastaan verkko-osoitteisiin ja porttinumeroihin. Asetuksien tekoskripti valitti portin 902 olevan käytössä, joten etähallinnointi portiksi ehdotettiin 904. Ilmeisesti asetuksien teko skripti käy katsomassa vapaat portit `"/etc/services"` tiedoista. Kyseinen `"/etc/services"` listaa standardipalveluiden varaamat portit, eikä pelkästään niitä palveluita, mitkä ovat järjestelmässä oikeasti käytössä. Etähallinta sovelluksen käyttämä oletusportti on kuitenkin 902, ja koska portti ei oikeasti ollut minkään palvelun käytössä, kyseisen portin käyttö asetettiin VMware Serverin käyttöön.

Viimeiseksi asennettiin nettiselaimella VMware Serverin etähallinnan mahdollistava VMware-mui, minkä saa ladattua samalta nettisivulta kuin Serveri 1 asennustiedoston. Tar-paketti purkautui kotihakemiston `vmware-mui-distrib` hakemistoon, mistä käynnistettiin `"/vmware-install.pl"` skripti. Asennus meni oletusarvoin koneeseen ja käynnisti lopussa `"/usr/bin/vmware-config-mui.pl"` skriptin. Asetuksissa määritettiin, kuinka kauan odotetaan ennen kuin yhteys katkaistaan, ja visuaalisesti varmistettiin, että SSL-sertifikaatin luominen onnistui ja `"httpd.vmware"` käynnistyi.

Etähallintaohjelmiston asennus Windows XP -käyttöjärjestelmään tapahtui suoraviivaisesti ottamalla nettiselaimella yhteys VMware Server -koneeseen muistaen käyttää Serverin asennuksen yhteydessä määriteltyä porttia. Serverin tarjoama nettisivu antoi alavetovalikon josta valittiin `"VMware Server Console for Windows"`

ja hyväksyttiin lataus "Download"-painikkeesta. Serverin lähettämä asennusohjelma suoritettiin Windows XP -koneessa ja VMware Server Console asentui käyttövalmiina koneeseen. Myös SSL-suojattua yhteyttä käyttävä nettiselainhallinta alkoi toimia VMware Server -koneen palomuurin asianmukaisen konfiguroinnin jälkeen.

Virtuaalikoneen luominen oli yksinkertaista seuraamalla alusta loppuun "New Virtual Machine Wizard" -apuohjelmaa. Tarvitsi määritellä vain virtualisoitavan laitteiston fyysiset ominaisuudet, kuten muistin määrä, verkkokortit, kiintolevyn koko ja tyyppi sekä muut laitteet, jotka virtuaalikoneeseen halutaan käyttöön. Lisäksi syötettiin tiedot, joissa määriteltiin virtuaalikoneen nimi, käyttöjärjestelmän tyyppi ja versio sekä se mihin virtuaalikoneen kuvaustiedosto tallennetaan. Asetettiin myös säännöt virtuaalikoneen käyttäytymiselle käynnistyksen ja sammutuksen yhteydessä sekä käyttöoikeudet ja se miten "snapshot" toimintaa käytetään. Snapshot on toiminto, joka tallentaa virtuaalikoneen senhetkisen tilan. Toiminto on hyödyllinen varsinkin silloin, kun halutaan testata jotain tiettyä asiaa, joka vaatii käyttöjärjestelmään muutoksia. Testien jälkeen virtuaalikoneen saa käynnistettyä testejä edeltävään tilaan lataamalla snapshot-tallenteen. Kun virtuaalinen-kone oli valmis, siihen asennettiin haluttu käyttöjärjestelmä, esimerkiksi Windows XP. Lopuksi virtuaalikoneen käyttöjärjestelmään asennettiin suorituskykyä parantava "VMware Tools" -ajurisarja. Kyseinen ajurisarja on oleellinen asennettava, etenkin jos haluaa saada graafisen käyttöjärjestelmän näyttämään hyvältä. Siksi VMware Server erikseen huomauttaa "VMware Tools"-asennuksesta ja asennus tapahtuu automaattisesti hyväksymällä asennuskehotus. Asennuksen voi tehdä koska vaan virtuaalikoneen ollessa käynnissä valitsemalla VM menusta "Install VMware Tools" -kohdan.

Lisäksi testattiin VMware Server-päivitystä uudempaan Server 2 Beta 2 versioon, koska VMware Server 2 -ohjelmistoa oli tarkoitus käyttää myöhemmissä testeissä, jotka oli suunniteltu toteutettavaksi virtualisointituen omaavassa tehokkaammassa tietokoneessa. Siksi tarvittiin vertailutestaus samassa laitteessa Server 1- ja Server 2 -ohjelmistojen välillä. Server 2 Beta2 asennettiin samaan koneeseen jossa aikaisempi Server 1 oli ollut. Ensiksi vanha VMware Server poistettiin järjestelmästä käyttämällä "/usr/bin/vmware-uninstall.pl" skriptiä. Asennus tapahtui samalla tavalla kuin ennenkin, käynnistämällä asennusskripti. Asennus meni suurimmaksi

osaksi samalla lailla kuin ennenkin, paitsi Server 2 Beta 2 -asennuksessa asentui mui samalla asennuskerralla. Itse asiassa VMware Server 2 Beta 2 -etäkäyttöliittymä on tehty ainoastaan nettiselaimelle. Tämä uudistettu etäkäyttöliittymä oli ulkoisesti erilainen kuin aikaisempi "mui" ja joitain toimintoja, joita oli "VMware Server Console"-ohjelmassa ei oltu liitetty uuteen mui-käyttöliittymään. Samalla tosin ilmestyi uusia toimintoja, kuten virtuaalikoneiden päivitysvalikko. Valikosta voi valita vanhojen virtuaalikoneiden päivityksen eri versioihin. Päivitys on automaattinen ja ennen päivitystä ohjelma kertoo ne tuotteet joiden kanssa virtuaalisovellus tulee olemaan yhteensopiva ja että päivitys on lopullinen. Muita uudistuksia ei oikeastaan ilmestynyt, jos ei oteta lukuun usb2 ja 64-bittistä tukea, joilla kummallakaan ei kyseisen laitteiston kohdalla ollut merkitystä. Myös suorituskyky oli samaa tasoa kuin aikaisemmin.

Varsinaisten virtuaalikoneiden käytössä ja vertailussa tässä vaiheessa mukana oli Windows XP, WinFLP, LinuxMint, DebianMini ja Fedora8. Kaikki Linux-versiot oli ladattu netistä "VMware Virtual Appliance Marketplace" -sivustolta, jonka osoite on <http://www.vmware.com/appliances/>. Kaikki virtuaalikoneet kopioituivat VMware Server -ohjelmistoon vaivatta ja käynnistyivät ilman ongelmia. Kaikki paitsi DebianMini toimivat täydellisesti. DebianMini jostakin syystä ei halunnut muodostaa nettiyhteyttä. Käynnistysnopeustestissä Windows XP oli hitain, vaikka käynnistyi nopeammin, kuin jos olisi käynnistänyt oikeaa fyysistä tietokonetta. WinFLP ei ollut näennäisesti yhtään nopeampi. Tämä johtune siitä, että kyseessä on Windows XP -muunnelma. Fedora käynnistyi hieman nopeammin kuin virtuaaliset Windows-koneet, vaikka käytössä oli isokokoinen graafinen työympäristö Gnome. Virtuaalisen Fedoran mukana oli myös KDE graafinen työympäristö, mutta sitä ei käytetty vertailun vuoksi, koska DebianMini ja LinuxMint oli asennettu käyttämään Gnome-ympäristöä.

LinuxMint 4.0 Light oli jo selvästi parempi käynnistysnopeudessa. LinuxMint oli käyttövalmiina jo reilusti alle kymmenessä sekunnissa virtuaalikoneen käynnistytksen jälkeen. Käynnistytksen nopeus kuitenkin vaihteli riippuen siitä, oliko jo ennestään muita virtuaalikoneita käynnissä. Nopein kaikista oli minimalistinen DebianMini, joka käynnistyi muutamassa sekunnissa. Lisäksi käynnistyminen oli ripeää silloinkin, kun samanaikaisessa ajossa oli muitakin virtuaalikoneita. DebianMini-käyttöjärjestelmä oli muistin tarpeeltaankin kevyempi. Muille virtuaali-

koneille muistinmääräksi oli asetettu 256 Mt, mutta DebianMini pienen kokonsa johdosta tarvitsi muistia vain 96 Mt.

Käytössä oleva fyysinen kone oli muutenkin alitehoinen useamman virtuaalisen graafisen käyttöjärjestelmän yhtäaikaiseen suorittamiseen. Yksittäinen Windows XP -virtuaalikone toimi ihan moitteettomasti, mutta kun käynnissä oli kaksi Windows XP -konetta alkoi suorituskyky heiketä. Kolmannen virtualisoidun XP -koneen käynnistymisessäkin kesti kauemmin, koska kaksi muuta jo käynnissä olevaa virtuaalikonetta vei suorituskykyä isäntäkoneelta ja virtuaalikoneiden käyttö alkoi tahmaantua.

WinFLP suoriutui hiukan paremmin. Kolmen virtuaalisen WinFLP -koneen yhtäaikainen käyttö oli joutuisampaa kuin kolmen Windows XP -koneen, mutta tehonkulutus erosta on hyötyä vain tehokkaampien koneiden kohdalla. Linux -virtuaalikoneiden kohdalla tilanne oli toinen. LinuxMint oli resurssien kulutuksen kohdalla noin suunnilleen samaa luokkaan kuin WinFLP. DebianMini sen sijaan erottui selkeästi ylitse muiden. Neljä yhtäaikaista virtuaalikonetta toimi normaalisti ilman käyttömukavuuden rappeutumista. Järjestelmälle aiheutunut kuorma meni aika lähelle suhteessa siihen, kunka paljon virtuaalikone vei isäntäkoneen kiintolevyllä tilaa. Windows XP -virtuaalikoneen tilantarve oli reilut kaksi gigatavua ja WinFLP vei tilaa yli gigatavun. LinuxMint oli noin 700 Mt ja DebianMini alle 400 Mt.

VMware Server 1:n kanssa ongelmat olivat lähinnä autentikointipuolella, koska remote client vaati käyttöön muuta porttia kuin oletusportin. Tämä aiheutti client ohjelmaan asetusten muokkaamista tai Linux-palvelimen asetusten muokkaamista siten, että Remote Client sai käyttöön oletusportit. Server 2 beta 2 -asennuksen jälkeen löytyi pieniä ongelmia. Esimerkiksi Remote Client -autentikointipalvelu ei aina jostakin syystä käynnistynyt. Ohjelmistosta ei myöskään löytynyt järkevää tapaa kloonata virtuaalikoneita, vaan jokainen virtuaalikäyttöjärjestelmä piti kopioida erikseen järjestelmään. Onneksi VMware Server -ohjelmisto ei pitänyt saman virtuaalisovelluksen kopioita mitenkään hälyttävinä. Virtuaalikoneen tuominen VMware Serveri -ohjelmistoon tapahtui helpottavan käyttöliittymän avulla, jolle piti oikeastaan vastata vain, onko kyseessä siirretty vai kopioitu virtuaalikone. Tämän jälkeen virtuaalikone liitettiin järjestelmään.

4.5 VMware Server 2

VMware Server 2 valittiin testeihin tarkoituksena verrata sen suorituskykyä VMware ESXi -virtualisointiohjelmistoon. Koska Server 2 on hypervisor tyyppiltään 2, pitäisi sen olla hyötysuhteeltaan huonompi kuin ESXiin, joka on tyyppin 1 hypervisor, missä virtuaalikoneet toimivat lähempänä laitteistotasoa. Jotta hyötysuhdevertailu onnistuisi, VMware Server 2 asennettiin samaan laitteistoon kuin VMware ESXi.

Asennus oli perusosiltaan samanlainen kuin Serveri 1:llä. Isäntäkone vaihtui Serveri 2 -testeihin Intelin neljäytimiseen prosessoriin ja muistinmäärä kasvoi kahdeksaan gigatavuun. Isäntäkoneeseen valittiin ja asennettiin käyttöjärjestelmäksi Ubuntu, minkä asennus tapahtui ongelmitta asennusohjelmiston mukaisesti. Tämän jälkeen asennettiin virtualisointi ohjelmisto VMware Server 2. Kuten Serveri 1 kohdallakin oletusarvot asennuksessa olivat pääosin kohdallaan, joten asennus tapahtui tutulla rutiinilla. Vaikka kyseinen asennus tällä kertaa tehtiinkin Ubuntu Linux -käyttöjärjestelmään, oli asennusprosessi pääosiltaan samanlainen Server 2 Beta2 -asennuksen kanssa.

Suorituskyky uudessa laitteistossa oli entiseen verrattuna monta kertaa parempi. Tämä suorituskyvyn kasvu ilmeni kaikilla osa-alueilla. Useiden virtuaalisovelluksien samanaikainen ajo ei antanut käyttäjälle vihjeitä siitä, että ne olivat oikeasti käynnissä samassa fyysisessä laitteessa. VMware Tools -ajureiden ansiosta suorituskyky virtuaalisessa Windows XP:ssä ei juurikaan eronnut ESXi-ohjelmiston tarjoamasta suorituskyvystä. Sen sijaan virtuaaliset pienet graafiset Linux-työpäristöt erottuivat selkeästi edukseen. Esimerkiksi LinuxMint kulutti muistia 94 Mt. Ja prosessorikuormaa sillä oli 16 MHz. Resurssien kulutus oli täten melkein kymmenen kertaa pienempi, kuin Windows XP -virtuaalikoneella. Virtuaalisovellusten aktiviteettitasosta riippuen realistisempi arvio olisi noin kuusinkertainen. Isäntäkoneelta VMware Server 2 -ohjelmistoa käyttäessä muistia kului LinuxMint-virtuaalisovelluksen käynnissä ollessa 482 Mt.

Ongelmatilanteet VMware Server 2 -ohjelmiston kanssa olivat pienempiä ja vähälukuisampia kuin beta 2 -version kanssa, vaikkakin lisähankaluuksia tuotti VMware Server 2 -käyttäjryhmien oikeuksien tekeminen ja säätäminen. Vaikeu-

det johtuivat isäntäkoneen Ubuntu-käyttöjärjestelmästä, koska tietoturva-asetuksia joutui asettelemaan isäntäkoneen käyttöjärjestelmän puolellakin.

4.6 VirtualBox

VirtualBox valittiin testaukseen mukaan, koska se käyttää samankaltaista ”hosted hypervisor”-toimintaperiaatetta, kuin VMware server -ohjelmistoperhe. Tarkoituksena oli myös verrata virtualisointiohjelmistoa, josta on saatavilla lähdekoodi vastaavanlaiseen ohjelmistoon, josta lähdekoodia ei ollut saatavilla. Laitteistolta vaaditaan esiasennettu käyttöjärjestelmä, koska kyseessä on tyypin 2 hypervisor. Laitteistossa pitää olla myös paljon keskusmuistia, koska isäntäkäyttöjärjestelmä vaatii oman osuutensa keskusmuistista ja näin keskusmuistia on vähemmän virtuaalikoneiden käytettävissä. VirtualBox-ohjelmisto osaa hyödyntää myös OVF-standardia noudattavia virtuaalikoneita. Esimerkiksi VMware Server -ohjelmistolla luotu virtuaalikone on ajettavissa VirtualBox-ohjelmistolla, kunhan ”VMware Tools” -ajuripaketin poistaa ensiksi virtuaalikoneen käyttöjärjestelmästä. VirtualBox-ohjelmistolla on oma ”Guest Additions” -ajuripaketti, joka parantaa toiminnallisuutta samantapaisesti kuin ”VMware Tools” VMware-ohjelmistoissa. VirtualBox-ohjelmistolla, toisin kuin VMware Server 2 -ohjelmistolla, on myös mahdollista kloonata virtuaalisovelluksia.

VirtualBox asennettiin laitteistoon, jossa oli Intel-tuplaydinprosessori ja neljä gigatavua muistia. Koska laitteisto ei ollut verrattavissa mihinkään aikaisempiin käytössä olleisiin tietokoneisiin, testaus sisälsi lähinnä käyttöönoton ja käyttötuntuman testaamista. Isäntäkoneen käyttöjärjestelmäksi valittiin Ubuntu.

VirtualBox-ohjelmisto voidaan asentaa kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on ladata ohjelmiston asennuspaketti <http://www.virtualbox.org> sivustolta. Toinen tapa on muokata tässä tapauksessa Ubuntuun ”/etc/apt/sources.list”-tiedostoa, lisäämällä Ubuntu-versiosta riippuva verkko-osoite. Tämän jälkeen tehdään listan päivitys ”sudo apt-get update”-käskyllä ja asennetaan VirtualBox versio 3.2” sudo apt-get install virtualbox-3.2”-käskyllä. Molemmilla asennustavoilla tarvitsee tutustua verkkosivustoon ”http://www.virtualbox.org/wiki/Linux_Downloads”. Lisäksi pitää ladata ja ottaa käyttöön salausavain käskyllä. ”wget -q

load.virtualbox.org/virtualbox/debian/oracle_vbox.asc -O- | sudo apt-key add -". Asennus ja käyttöönotto onnistuivat ilman ongelmia, ja graafisen käyttöliittymän avulla virtuaalikoneen luominen oli yhtä yksinkertaista kuin muillakin testeissä olleilla virtualisointiohjelmistoilla. Virtuaalikoneen Windows XP -käyttöjärjestelmään asennettavien virtualisointia tehostavien ajureiden asennus tapahtui käynnistämällä kyseinen virtuaalikone ja valitsemalla "Devices"-valikosta "Install Guest Additions...". Guest additions toi myös lisänä virtuaalikoneiden välisen yhteisen verkkokiintolevyn, mikä oli uutta verrattuna "VMware Tools"-pakettiin. VirtualBox-ohjelmiston ominaisuuksissa oli maininta kloonauksesta, joten sitä haluttiin myös testata. Koska kloonausta varten ei ollut graafista apuohjelmaa, piti käyttää komentorivikäskyä "vboxmanage clonehd Win_xp.vdi Win_xp_clone.vdi". Kloonauksessa ensimmäisellä yrityksellä tuli virheilmoitus. Win_xp-virtuaalikone piti ensiksi käydä vapauttamassa ja poistamassa "Virtual Media Manager" käyttöliittymän kautta. Virtuaalikiintolevyn kloonauksen jälkeen luotiin uusi virtuaalikone ja annettiin sille samat ominaisuudet kuin alkuperäisessä Win_XP-virtuaalikoneessa oli ollut, mutta sille ei luotu uutta virtuaalista kiintolevyä vaan valittiin käyttöön kloonattu virtuaalikiintolevy. Uusi ja vanha virtuaalikone liitettiin tämän jälkeen VirtualBox-ohjelmiston virtuaalisten kiintolevyjen joukkoon.

Virtuaalikone, johon oli asennettu Linux-käyttöjärjestelmä, ei kloonauksen jälkeen suostunut lataamaan käyttöjärjestelmää. Ongelma ratkesi lopulta ja pienen boot loader -muokkauksen jälkeen Linux-virtuaalikoneen kloni alkoi toimia. Kloonaus ei tuntunut olevan helppo ja nopea toimenpide VirtualBox-järjestelmässä. Jos tarvetta on kymmenille Linux-virtuaalisovelluksille, niitä saakin tehtyä helpoiten asentamalla uusiin virtuaalikoneisiin Linux automatisoidulta asennusmediaalta.

Internetistä testaukseen ladatut VMware-virtuaalikoneet toimivat myös VirtualBoxissa, jos virtuaalikoneista poisti VMware tools-ajuripaketin. VirtualBoxin ongelmatilanteet esiintyivät lähinnä virtuaalikoneiden kloonauksen yhteydessä. Lisäksi oli havaittavissa muitakin pikku puutteita, joita ei luultavasti olisi kaupallisessa ohjelmassa. Lisäksi virtuaaliseen Windows XP -käyttöjärjestelmään asennettava "VirtualBox Guest Additions" ei asentanut 3D-grafiikkakiihdytystä. Ilmeisesti Windows XP ei sallinut tehdä joitakin dll-tiedostojen muutoksia. Ongelman sai

ratkaistua käynnistämällä virtuaalisen Windows XP:n vikasetotilaan ja asentamalla sitten VirtualBox Guest Additions -ajuripaketin.

Jos virtuaalikoneita yrittää VirtualBoxissa monistaa kopioimalla suoraan kiintolevytiedostoja, eivät virtuaalikoneet suostu käynnistymään, koska niillä on sama virtuaalikiintolevyn tunnistemerkintä. Virtuaalisovellukset pitääkin siirtää käyttämällä asianmukaisia työkaluja ”export ja import”. Jos samaa virtuaalikonetta halutaan monistaa, käytetään ”VboxManage clonehd”-komentoa. Ongelmana monistuksessa ovat uudemmat Linux-käyttöjärjestelmät, koska ne käyttävät kiintolevyn tunnistetta boot-osion tunnistamiseen. Koska kloonauksen yhteydessä kiintolevyn tunniste muuttuu, ei Linux löydä käynnistysosiota. Tämän korjaamiseen joudutaan käyttämään ”hdparm -i /dev/sda” komentoa ja saadulla kiintolevyn tunnisteella korvataan ”/boot/grub/menu.lst” tiedostossa vanhan levyn tunniste. Kloonauksen tapahtuu vain virtuaalikiintolevylle, ja jotta virtuaalisovellus käynnistyisi, pitää ensiksi luoda uusi vastaavanlainen virtuaalikone ja valita siihen kiintolevyksi kloonattu virtuaalikiintolevy.

VirtualBoxin vertailu VMware Server -tuoteperheeseen oli hieman vaikeaa, koska VirtualBox kuuluisi ennemminkin samaan sarjaan VMware Workstation -ohjelmiston kanssa. Suurin ero on ohjelmien tapa integroida virtuaalikoneet isäntäkoneen käyttöjärjestelmän työpöydälle. VMware Serverillä virtuaalikoneet suoritetaan selkeästi omissa käyttöliittymissään, kun taas VirtualBox pyrkii suorittamaan virtuaalikoneita näennäisen saumattomasti isäntäkoneen työpöydällä. VirtualBoxin virtuaalikoneiden hallintatapa onkin työpöytäympäristössä huomattavasti käyttäjäystävällisempi, koska virtuaalikoneet eivät ”kaappaa” hiiren kursoria, vaan virtuaalikoneiden ohjelmat toimivat isäntäkoneen työpöydällä, kuten muutkin graafiset ohjelmat. Virtuaalikoneiden etäkäyttö on puolestaan VMware Server -ohjelmistolla kehittyneempää, koska hallinnointi tapahtuu kyseiseen tarkoitukseen tehdyillä käyttöliittymillä, toisin kun VirtualBox-ohjelmistolla, jossa ei ole varsinaista etäkäyttöön tarkoitettua ohjelmistoa, vaan etäkäyttö tapahtuu yleisillä työpöydän etäkäyttö ohjelmilla. Tässä tulevatkin eroavaisuudet avoimen ja suljetun lähdekoodin ohjelmistojen kesken selkeästi esille. VMware Server-ohjelmistot, joista lähdekoodi ei ole saatavilla, ovat paikallisen- ja etäkäytön osalta valmiiksi niputettu kokonaisuus, johon on mahdollista hankkia VMware:lta lisäominaisuuksia. VirtualBox sen sijaan on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, jossa käyt-

tö- ja hallinnointimenetelmät eivät ole staattisia, vaan niitä on kenen vain mahdollista muokata ja parantaa jos tarvitsee ohjelmistolta jotain tiettyä lisäominaisuutta. Yleensä avoimen lähdekoodin ohjelmissa tukeudutaan vahvasti jo olemassa oleviin tekniikoihin, koska tällöin voi kehittää puuttuvia toimintoja ohjelmistoon. Sen sijaan, että tehtäisiin omat versiot jo olemassa olevista ohjelmista, voidaan ottaa käyttöön tai käyttää hyväksi muiden tekemiä valmiita ohjelmia. Näin avoimen lähdekoodin ohjelmistot ovat monimuotoisempia ja niiden kehitys edistyy nopeammin. VirtualBox-ohjelmiston pystyy säätämään lähes virtualisointi-palvelinta vastaavaan kuntoon, koska isäntäkoneen käyttöjärjestelmänä toiminut Linux on pääasiallisesti palvelinkäyttöön alunperin tarkoitettu. Silti ohjelmiston etähallinta on mahdollista lähinnä vain työpöydän etäkäyttöohjelmalla, joten VirtualBox soveltuu lähinnä työasemassa tapahtuvaan virtualisointiin.

4.7 VMware ESXi

VMware ESXi valittiin testeihin mukaan, koska kyseinen tuote on hypervisor tyyppiä 1 eli niin sanottu ”Bare-metal”-virtualisointiohjelmisto. Lisäksi ESXi on itsessään kevyt alusta virtuaalikoneille, joten virtualisointiohjelmiston isäntäkoneelle tuottama kuormitus pitäisi teoriassa olla paljon pienempi kuin ”Hosted”-tekniikalla toteutetulla ohjelmistolla. Näin saman virtualisointiin erikoistuneen yhtiön erilaisiin hypervisorisiin perustuvia tuotteita päästiin vertaamaan keskenään. VMware ESXi-ohjelmistoa oli tarkoitus myös verrata Xen hypervisorin, koska ne hyödyntävät samankaltaista virtualisointitekniikkaa ja tarvitsevat laitteistolta virtualisointituen.

Laitteisto, johon ESXi-ohjelmisto asennetaan, pitää olla varustettuna SAS-, SCSI- tai SATA-kiintolevyillä, koska ESXi ei tue PATA-kiintolevyjä. Ympäristö vaatii kaksi tietokonetta, koska ESXi hypervisor ei sisällä hallintakonsolia. ESXi-hallinta tapahtuu etäyhteydellä toisesta laitteesta, ja siksi hallinnointiin tarvitaan oma tietokone. Hallinnointiin käytetään VIC ”VMware Infrastructure Client” -ohjelmaa etähallintakoneelta. Lisäksi testattaessa virtuaalikoneen käyttöä NAS-verkkovalevyltä testeissä käytettiin kolmatta tietokonetta. Laitteisto, johon VMware ESXi asennettiin, oli identtinen VMware Server 2 -testeissä käytetyn laitteiston

kanssa. Eli laitteisto sisälsi Intelin neljäytimisen prosessorin, kahdeksan gigatavua muistia ja virtualisointituen.

Asennus tapahtui asennuslevyltä suoraan tyhjään tietokoneeseen. Asennuksen kanssa ei ollut vaikeuksia ja alkuasetuksien tekeminen tapahtui yksinkertaisen käyttöliittymän kautta. Tekstipohjainen käyttöliittymä oli ulkoasultaan samantapainen, kuin mitä tietokoneiden bios-asetuksien tekemiseen käytetään. ESXi-konsolin kautta sai tehtyä vain perus ESXi-asetukset, kuten root-salasanan ja verkkoasetukset. Lisäksi pystyi katselemaan lokitietoja ja uudelleenkäynnistämään palveluja.

Etähallintakoneena käytettiin laboratorion normaalia Windows XP -käyttöjärjestelmällä varustettua tietokonetta. Etähallintaohjelman asennus tapahtui VMware Server 1 -testeistä tuttuun tapaan ottamalla yhteys ESXi serveriin ja asentamalla serverin lähettämän ”VMware Infrastructure Client” eli VIC-clientin. Testeissä kokeiltiin myös NAS-verkkoaseman käyttöä minkä toiminnassa ei ollut ongelmia. Koska ESXi tuntui hylkivän kaikkia muita jo valmiina olevia virtuaalisovelluksia, luotiin sillä suomenkielinen Windows XP ja kaksi Windows 2003 serveriä. Virtuaalikoneiden luominen tapahtui samankaltaisella opastetulla menetelmällä kuin muissakin VMware-virtualisointituotteissa.

Testeissä oli myös mukana useamman ESXi-serverin hallintaan tarkoitettu ”VMware VirtualCenter Server” -ohjelma, jota testattiin asentamalla se virtuaaliseen Windows 2003 serveriin ja yhdistämällä Windows 2003 server virtuaalikytkimellä ESXi-servereiden hallintaverkkoon. Näin saatiin hallittua kahta ESXi-serveriä yhden hallintapalvelimen avulla. Koska käytössä oli sama fyysinen laitteisto kuin VMware Server 2 -testeissä, voitiin verrata virtualisoidun työaseman resursien kulutusta ohjelmien välillä. Koska ESXi ei suostunut ajamaan ennakkoon tehtyjä virtuaalikoneita, tehtiin tehonkulutustesti uudella Windows XP -virtuaalikoneella. Testissä ilmeni virtuaalisen Windows XP -käyttöjärjestelmän kuormittavan isäntäkoneen prosessoria noin 1400 MHz ja vievän muistia 550 Mt. Virtuaalisen graafisen työympäristön ajaminen ESXi Server -ohjelmistossa ei olennaisesti poikennut VMware Server 2 -ohjelmiston suorituskyvystä, ei ainakaan tehonkulutuksen suhteen ajettaessa virtuaalista Windows XP -työympäristöä.

Ongelmatilanteet muodostuivat suurimmaksi osaksi valmiiden virtuaalikoneiden liittämisen epäonnistumisesta ESXi Serveriin ja virtuaalikoneiden monistuksesta. Tämän takia ongelmalliseksi muodostui monen virtuaalisovelluksen järjestelmään syöttämisen hitaus. ESXi:n ilmaisversio ei ollut varustettuna virtuaalisovelluksen kloonaustoiminnolla, joten virtuaaliset työpöytäkoneet joutui asentamaan erikseen yksi kerrallaan. Kaikkein harmittavinta oli se, ettei muissa testeissä mukana olleita valmiita virtuaalikoneita saanut liitettyä ESXi-palvelimeen. Liittämisyritykset päättyivät virheilmoitukseen. Osa virheilmoituksista johtui siitä, ettei virtuaalikoneen kiintolevy ollut SCSI-tyyppinen vaan IDE. Tosin nekään virtuaalikoneet mitkä oli luotu ESXi:llä eivät suostuneet toimimaan kopioimalla, toisin kuin VMware Server 2 -ohjelmistossa.

4.8 Tulokset

VMware server 2 on varteenotettava valinta, kun haluaa nopeasti ja pienellä vaivalla tehdä tietokoneesta usean virtuaalikoneen pc:n. Erityisesti VMware Server 2 on hyvä valinta silloin, kun haluaa kokeilla nopeasti uusia käyttöjärjestelmiä tai hyödyntää jo olemassa olevia vanhoja virtuaalikoneita. Server 2 onkin kaikista testatuista virtualisointiohjelmistoista mukautuvim, koska siinä on itsessään sisäänrakennettuna virtuaaliohjelmiston päivitys- ja käännösohjelmat. Etäkäytössäkin VMware Server 2 on helppo ja yksinkertainen, sillä hallinnointikäyttöliittymää voidaan käyttää normaalin verkkoselaimen avulla.

VMware ESXi vaikutti näennäisesti ammattimaiselta ja vakuuttavalta, mutta osoittautui käytössä hankalaksi. ESXi ei ymmärtänyt jostain syystä muualta kopioituja virtuaalikoneita. Vaikka siirrettävä virtuaalikone olisikin päivitetty VMware Serverillä ja virtuaalikiintolevyksi oli määritetty SCSI, ei ESXi jostain syystä halunnut käynnistää kuin ne virtuaalisovellukset, jotka oli luotu samalla ESXi-ohjelmistolla.

VirtualBox on varteenotettava vaihtoehto, jos haluaa käyttää avoimen lähdekoodin ohjelmistoa ja haluaa saada nopeasti kehittyvän virtualisointiohjelmiston. Lisäksi ohjelmisto on hyvä henkilökohtaisessa käytössä, silloin kun tarvitsee yhdessä koneessa käyttää useita käyttöjärjestelmiä. Erityisen käytännölliseksi osoittau-

tui kaikkien virtuaalikoneiden jakama yhteinen kiintolevyosio, minkä sai asennettua helposti ilman monimutkaisia virtuaalisia reitityksiä. Lisäksi rajaton puumainen snapshot-hierarkia on hyvä, jos on tarve testata erilaisia asennusvariaatioita. Huonona piirteenä voidaan pitää muistin varausta isäntäkoneessa, mikä määrittyy virtuaalikoneelle asennetun muistinmäärän suuruudesta, eikä virtuaalikoneen senhetkisen muistinmäärän käytöstä. Tämä asettaa virtuaalikoneiden muistin suuruuden määrittämisen hankalaksi tasapainotteluksi virtuaalikoneen käyttömukavuuden ja isäntäkoneen resurssienkulutuksen välillä. Toisaalta tällä menetelmällä varmistetaan, että koneelle määritelty muistin määrä on aina virtuaalikoneella käytävissä. Joka tapauksessa muistinmäärää virtuaalikoneessa voidaan muokata koneen ollessa pois päältä, joka mahdollistaa tarvittaessa niidenkin ohjelmien testauksen, jotka vievät enemmän muistia.

Virtualisoiduista käyttöjärjestelmistä parhaimmiksi osoittautuivat pienet Linux-työpöytävirtuaalisovellukset. Jos ei ole tarvetta nimenomaan ajaa Windows-käyttöjärjestelmää vaativaa ohjelmaa, ei kannata virtualisoida Windows-ympäristöä. Pienet Linux-virtuaalikoneet käyttivät huomattavasti vähemmän prosessoritehoa, muistia ja kiintolevytilaa kuin täysikokoiset Linux-työpöytäkäyttöjärjestelmät ja raskas Windows XP. Myös käynnistysnopeudessa oli huikea ero. Pienet Linux-virtuaalisovellukset käynnistyivät muutamassa sekunnissa, mikä on hyvä etenkin jos tarvitsee käynnistää useita virtuaalisovelluksia samanaikaisesti.

Jos kuitenkin tarvitsee virtualisoida useita samanaikaisia Windows-ympäristöjä, niin kannattaa käyttää WinFLP:tä. Vaikka WinFLP ei käynnistyäkään juuri sen nopeammin kuin Windows XP, voi sille varata vähemmän resursseja säilyttäen silti käyttömukavuuden. Haittapuolena tosin on se, että Microsoftin mukaan kaikkia Windows-ohjelmia ei voida asentaa WinFLP-käyttöjärjestelmään.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli mielenkiintoisesta aiheesta huolimatta haastava, sisälsi paljon hankaluuksia ja vaati paljon työtä. Etenkin työn alkuvaiheessa tuotti hankaluuksia aiheeseen liittyvän kirjallisuuden löytäminen. Suurimmaksi osaksi aineiston joutui etsimään erilaisista verkkojulkaisuista, jolloin joutui analysoimaan saatavissa olevan materiaalin käytettävyyttä. Internetistä löytyneestä aineistosta pyrittiin rajaamaan pois mainokset ja muut PR-tuotteet, joissa kerrottiin juuri kyseisen ohjelmiston olevan luokkansa paras, tehokkain, luotettavin ja tyylikkään.

Työn aloittaminen tapahtui tutustumalla ohjelmistoista saatavaan tietoon ja ominaisuuksiin sekä kartoittamalla erilaisia graafisia työpöytäkäyttöön suunniteltuja käyttöjärjestelmiä. Virtuaalikoneiksi pyrittiin etsimään mahdollisimman vaatimattomilla laitevaatimuksilla olevia käyttöjärjestelmiä ja vertaamaan niitä normaaleihin työpöytäkäyttöjärjestelmiin. Koska työn tekijän aikaisempi virtualisointiin liittyvä kokemus oli jokseenkin vaatimatonta, oli aluksi palvelinkäyttöön tarkoitettujen virtualisointiohjelmistojen valinta hieman epäselvää. Termistön tullessa tutummaksi alkoi hahmottua ne ohjelmistot, joista löytyi työn kannalta oleelliset ominaisuudet ja niiden eroavaisuudet.

Käytännön toteutuksen alkuvaiheessa vuonna 2008 ei vielä ollut laboratoriossa käytettävissä laitteistoa, jossa olisi ollut virtualisointituki. Siksi käytännön toteutus aloitettiin vanhalla Pentium 3 -laitteistolla asentamalla siihen ”hosted” virtualisointiohjelmisto VMware Server. Kyseinen vanhahko palvelin valittiin testialustaksi juuri virtualisoinnin kannalta vaatimattoman suorituskykynsä vuoksi. Näin päästiin selkeämmin testaamaan erilaisten virtuaalikoneiden aiheuttamaa kuormitusta. Virtualisointiohjelmistojen vertailu alkoi vasta kun tarpeeksi moderni virtualisointituella varustettu laitteisto saatiin testeihin käyttöön. Näin tuli mahdolliseksi ”Bare-metal”-ohjelmistojen vertaaminen Hosted-versioihin.

Testeissä todettiin graafisia käyttöjärjestelmiä virtualisoidessa, laitteiston resurssien kulutuksen osalta, että Linux-työympäristöt ovat selkeästi taloudellisimpia. Linux-virtuaalikoneiden kanssa ei myöskään tarvitse huolehtia lisenssien hankinnasta. Jollei erityisesti tarvitse käyttää ohjelmia, joista on olemassa vain Win-

dows-versiot, löytyy lukuisien Linux-versioiden joukosta suurella todennäköisyydellä käyttötarpeet täyttävä käyttäjäystävällinen graafinen työympäristö.

Virtualisointiohjelmistojen osalta monipuolisempaan käyttöön parhaiten soveltuvaksi ohjelmaksi osoittautui VMware Server 2. Vaikka ammattimaisempi ESXi olikin tehokas, vaati sen käyttö ja asentaminen enemmän aikaa ja vaivaa kuin Server 2 -ohjelmiston. Jos käyttötarkoitus on muodostaa kiinteä virtuaalikoneisto tiettyssä laitteistossa, on ESXi toimiva ratkaisu, olettaen laitteiston olevan ESXi-yhteensopiva. Esimerkiksi ESXi ei osaa käyttää kaikkia markkinoilla olevia verkkokortteja. Jos käyttötarkoitus on virtuaalisesti kokeilla ja testata käyttöjärjestelmiä ja ylläpitää alati muuttuvaa virtuaalikoneistoa, on VMware Server 2 tällöin parempi vaihtoehto. Laajempi virtualisoinnin hallinnointi maksullisen ESXi-version tapaan on myös mahdollista, sillä Server 2 toimii myös maksullisilla VMware-hallinnointiohjelmilla. VMware Serverin ollessa hyvin käyttäjäystävällinen Internetistä ladattavien virtuaalikoneiden suhteen on se hyvä ympäristö saada testaus alkuun nopeasti.

VirtualBox oli myös hyvä ominaisuuksiensa ja yhteensopivuutensa puolesta, mutta kaikkien ominaisuuksien käyttö ei onnistunut graafisen käyttöliittymän kautta. Joitakin ominaisuuksia joutuikin käyttämään Linux-konsolin puolelta. Konsolikäskyjen etsiminen ja käyttäminen ei ollut niin itsestään selvää, kuin mitä graafisilla käyttöliittymillä on. VirtualBox ei oikeastaan kuulunut virtualisointipalvelinohjelmistojen vertausryhmään, koska tuote vaikuttaa olevan ennemminkin suunnattu työpöytäkoneisiin.

Parhaimman toiminnallisuuden virtualisointi saavutti laitteistossa, josta löytyi suoraan tuki virtualisoinnille. Tästä johtuen ei virtuaalista ympäristöä kannata rakentaa sellaiseen laitteistoon, jossa ei virtualisointitukea ole. Lisäksi kaikki virtuaalisovellukset tarvitsevat kunnolla toimiakseen reilusti muistia, etenkin graafiset työympäristöt. Laitteistolta vaaditaan täten myös paljon keskusmuistia.

Opinnäytetyön alussa asetetut tavoitteet tutkia ja verrata graafisten virtuaalikoneiden resurssien kulutusta ja pienten ”kevyiden” käyttöjärjestelmien mahdollisesti mukanaan tuomaa hyötyä verrattuna normaaleihin käyttöjärjestelmiin onnistui varsin selkeästi. Lopputuloksen voikin kiteyttää sanomalla, mitä pienemmän tilan

virtuaalikoneen levynkuvaustiedosto käyttää, sitä ripeämpi se on virtuaalikonekäytössä. Normaaleihin työpöytäkäyttöjärjestelmiin verrattuna pienet työpöytäkäyttöjärjestelmät käynnistyvät nopeammin, niitä pystyy suorittamaan samanaikaisesti useampia ja niiden säilytys vie vähemmän tilaa kiintolevyllä.

Virtualisointiohjelmistojen osalta tavoitteiden toteutuminen ei ollut aivan yhtä selkeää kuin graafisten käyttöjärjestelmien osalta. Tavoite oli tutustua eri virtualisointiohjelmistoihin ja testata niiden käyttämien virtualisointitekniikoiden toimivuutta ja soveltuvuutta laboratorion testiympäristöön. Tarkoituksena oli myös ottaa huomioon ohjelmistojen käyttöönoton sujuvuus. Vertailua hankaloitti ohjelmistojen hallinnoimiseen käytettyjen työkalujen lähestulkoon identtisyys. Virtualisointiohjelmistojen hallintatyökalujen samankaltaisuus on luultavasti selitettävissä alan pioneerien valmistamien ja nyttemmin käyttöön vakiintuneiden toimintojen toteutuksesta. Esimerkiksi uuden virtuaalikoneen luomiseen tarjottu työkalu noudatti jokaisessa ohjelmistossa samaa kaavaa. Jos osaa tehdä virtuaalikoneen jollakin ohjelmistolla, niin sen osaa tehdä muillakin. Lisäksi suurin osa erilaisista virtualisointiohjelmistoista on ottanut mallia Xen-projektista, joten niiden toiminta ei muutenkaan juuri eroa Xen-virtualisointiohjelmistosta.

Suurimmaksi osaksi erot eri virtualisointiohjelmistojen välillä muodostuivat automatisoiduista lisäominaisuuksista virtuaalikoneiden yhteensopivuuden ja siirrettävyyden osilta. Loppupäätelmänä voidaan todeta, että tavoitteet virtualisointiohjelmistojen osalta toteutuivat melko hyvin ja ilmaisista ohjelmistoista parhaiten tietoverkkolaboratorioon soveltuu VMware Server 2. Lisäksi virtualisoinnin tarvitsema laitteisto on sitä parempi, mitä enemmän siinä on keskusmuistia ja prosessoritehoa.

Virtualisointi on kehittynyt nopeasti vuonna 2008 tehtyjen työn käytännön toteutusten jälkeen ja erityisesti hallintatyökalut ovat kehittyneet selvästi. Tulevaisuuden näkymät virtualisoinnin suhteen tulevat kehittymään laitteistoavusteisen virtualisoinnin suuntaan. Laitteistoavusteisen virtualisoinnin kehittyessä tehokkaammaksi ja integroitua palvelimien emolevyille tulee se syrjäyttämään muut virtualisointitekniikat, tai eri tekniikkojen parhaat ominaisuudet sulautuvat hybridi tekniikaksi. Jatkokehitys tietoverkkolaboratorion virtualisointitarpeisiin tulisi mielestäni olla virtualisointiohjelmisto, joka kykenee vieläkin parempaan yhteensopi-

vuuteen erilaisten virtuaalikoneiden kanssa. Näin mahdollistetaan muualla tehtyjen virtuaalikoneiden käyttöönotto ja laboratoriossa suoritettavat harjoitukset saavat lisää monimuotoisuutta. Lisäksi eri kurssien toteuttamiseen tarvittavat resurssit lisääntyisivät. Hyvä idea jatkokehitykselle voisi olla myös kokonainen virtuaalinen tietoverkkolaboratorio, jota opiskelijat voisivat käyttää vaikkapa kotonaan ottamalla yhteyden laboratorion palvelimeen. Tällainen ympäristö onkin ehditty jo toteuttamaan opinnäytetyön käytännön testien suorittamisen jälkeen.

LÄHTEET

Converter_datasheet.pdf. 2011. VMware [viitattu 10.3.2011].

Saatavissa: http://www.vmware.com/pdf/converter_datasheet.pdf

Davis, D. 2009. How does VMware ESXi Server compare to ESX Server?. VirtualizationAdmin.com [viitattu 10.3.2011].

Saatavissa: <http://www.virtualizationadmin.com/articles-tutorials/vmware-esx-and-vsphere-articles/general/vmware-esxi-server-compare-esx-server.html>

Fisher-Ogden, J. 2011. Hardware Support for Efficient Virtualization. University of California, San Diego [viitattu 10.3.2011].

Saatavissa: <http://cseweb.ucsd.edu/~jfisherogden/hardwareVirt.pdf>

Hammersly, E. 2007. Professional VMware Server. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.

IBM. 2010. Systems Software Information Center. IBM Corporation [viitattu 28.12.2010]. Saatavissa: <http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/eserver/v1r2/index.jsp?topic=/eicay/eicayvservers.htm>

Introduction to VMware vSphere. 2010. VMware Inc. [viitattu 27.12.2010]. Saatavissa: http://www.vmware.com/pdf/vsphere4/r41/vsp_41_intro_vs.pdf

Koski, R. 2008. Linux tehokäytössä. Jyväskylä: Gummerus.

Oracle VM VirtualBox. 2010. User Manual. Oracle Corporation [viitattu 6.10.2010]. Saatavissa: <http://www.virtualbox.org/manual/UserManual.html>

Puska, M. 2001. LINUX palvelimena. Helsinki: Satku.

Sun Microsystems. Inc. 2010. Oracle [viitattu 27.12.2010]. Saatavissa: <http://www.sun.com/aboutsun/company/index.jsp>

Turner, S. 2011. XenCenter Features. Citrix [viitattu 10.4.2011]. Saatavissa:
<http://community.citrix.com/display/xs/XenCenter>

Vijay, S. 2008. Sun Microsystems [viitattu 6.2.2011]. Saatavissa:
http://blogs.sun.com/vsarathy/entry/virtualbox_and_sun_xvm

Vile, D. Lock, T. Atherton, M. & Collins, J. 2010. Desktop Virtualization For Dummies. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Elektroninen versio saatavissa:

<http://viewer.zmags.com/publication/54ef6966#/54ef6966/4>

VirtualBox.org. 2010. Oracle Corporation [viitattu 11.10.2010]. Saatavissa:
<http://www.virtualbox.org/>

VMware. Inc. 2010. VMware kotisivut [viitattu 27.12.2010]. Saatavissa:
<http://www.vmware.com/company/>

VMware. Inc. Milestones. 2010. VMware kotisivut [viitattu 27.12.2010]. Saatavissa: <http://www.vmware.com/company/mediaresource/milestones.html>

WhyXen.pdf 2009. Xen yhteisö [viitattu 10.11.2009].
Saatavissa: <http://www.xen.org/files/Marketing/WhyXen.pdf>

Workstation User's Manual. 2010. VMware Inc. [viitattu 27.12.2010]. Saatavissa:
http://www.vmware.com/pdf/ws6_manual.pdf

XenCenter requirements. 2008. HP [viitattu 10.12.2009]. Saatavissa:
<http://bizsupport1.austin.hp.com/bizsupport/TechSupport/SoftwareDescription.jsp?swItem=MTX-7e697b3aa7a0473f815e19849e&taskId=135&swLang=8&swEnvOID=1005&prodNameId=3279719&lang=en&cc=us&idx=0&mode=4&&printver=true>

Xen.org History. 2009. Xen yhteisö [viitattu 10.11.2009]. Saatavissa:
<http://www.xen.org/community/xenhistory.html>

XenOverview. 2009. Xen yhteisö [viitattu 10.11.2009]. Saatavissa: <http://wiki.xensource.com/xenwiki/XenOverview>