

Ville Uusitalo

Työpöytävirtualisointi Etelä-Pohjanmaan sairaanhoidopiirissä

Opinnäytetyö

Syksy 2015

SeAMK Tekniikka

Tietotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Tietotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka

Tekijä: Ville Uusitalo

Työn nimi: Työpöytävirtualisointi Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiirissä

Ohjaaja: Alpo Anttonen

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 42

Liitteiden lukumäärä: 0

Opinnäytetyön aihe rakentuu Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin tietohallinnossa tehtävän virtualisointi- ja kevytpääteprojektin ympärille. Tämän työn tarkoituksena on käsitellä projektissa rakennettua testiympäristöä ja siinä käytettyjä päätelaitteita.

Projektin yhtenä tavoitteena on korvata työasemia virtuaalista työpöytäympäristöä käyttävillä kevytpäätteillä. Virtuaalisella työpöydällä käyttäjällä on saatavissa kaikki tarvittavat ohjelmistot ja verkkoresurssit.

Tämän työn aihe käsittelee edellä mainittua työpöytävirtualisointia ja siinä käytettyjä kevytpäätelaitteita. Työssä kerrotaan ensiksi virtualisoinnista yleisesti sekä erilaisista virtualisointiratkaisuista. Seuraava osio työstä käsittelee projektia varten rakennettua testiympäristöä ja toteutukseen valittuja Igel-kevytpäätteitä. Testiympäristö on rakennettu työpöytäympäristön osalta Microsoftin RDS-tekniikalla ja sovellukset ovat RDS-tekniikkaan liittyviä RemoteApppeja.

Yksi osio työssä käsittelee pelkästään Igel-päätelaitteita ja niiden hallintasovellusta Universal Management Suitea. Laitteet ovat projektin kannalta isossa roolissa ja niiden käyttöönotto tapahtui työn kirjoittamisen aikana.

Työn lopussa käydään läpi testiympäristöstä saatuja tuloksia ja siinä käytyjä haasteita sekä niiden perusteella tehtyjä johtopäätöksiä.

Avainsanat: virtualisointi, etäkäyttö, järjestelmäsuunnittelu, työpöytävirtualisointi, RDS, thin client

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Network Technology

Author: Ville Uusitalo

Title of thesis: Desktop virtualization in the Hospital District of South Ostrobothnia

Supervisor: Alpo Anttonen

Year: 2015

Number of pages: 42

Number of appendices: 0

The topic of this thesis is based on desktop virtualization and a thin client project in the IT management of the Hospital District of South Ostrobothnia. One of the main goals of the project was to replace a majority of the normal workstations with thin client devices which use virtual desktop environment. Virtual desktops contain all software that the users need and an access to network resources.

The thesis studies various virtualization techniques and solutions. In addition to the different solutions this thesis also presents thin client end-point devices. The beginning of the thesis handles different techniques from a wider perspective and the next part is about the test environment that was created for the virtualization project. The test environment contains also the thin clients and their management software. The virtual desktops were deployed with a Microsoft RDS technique and the software used in the test environment was deployed as a RemoteApp solution within the RDS.

One chapter of the thesis is dedicated to IGEL thin client devices and to the IGEL device management Universal Management Suite. These thin clients have a major role in the virtualization project and these clients were deployed during the writing process.

The end of the thesis contains results from the test environment and challenges that were faced during the testing. It also contains conclusions which are based on the results.

Keywords: virtualization, remote access, system design, desktop virtualization, RDS, thin client

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ	2
Kuvioluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	6
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tavoitteet	9
1.2 Työn rajaus	10
1.3 Toimeksiantajan esittely.....	11
2 VIRTUALISOINTI	12
2.1 Sovellusvirtualisointi.....	12
2.2 Palvelinvirtualisointi.....	14
2.3 Työasemavirtualisointi	15
2.4 Työpöytävirtualisointi	15
3 VIRTUALISOINTIRATKAISUT	17
3.1 Microsoft	17
3.2 Citrix	19
3.3 VMWare	19
3.4 Päätelaitteet	20
4 IGEL.....	22
4.1 Igel-päätelaitteet	22
4.2 Laitehallinta, Universal Management Suite (UMS).....	23
4.2.1 Igel kevytpäätteiden lisääminen hallintasovellukseen	25
4.2.2 UMS-sovelluksen käyttäjätilit ja kirjautuminen	26
4.2.3 Etäyhteys Igel-päätteisiin	28
5 TESTIYMPÄRISTÖ JA TESTAUS	30
5.1 Testiympäristön rakenne ja palvelimet.....	30
5.2 Testiympäristön pääte- ja oheislaitteet.....	33
5.3 Testaus	35
6 TULOKSET	37

6.1 Haasteet	37
6.2 Johtopäätökset.....	38
7 YHTEENVETO.....	40
LÄHTEET	41

Kuvioluettelo

Kuvio 1. Sovellusvirtualisointi.....	13
Kuvio 2. Palvelinvirtualisointi.....	15
Kuvio 3. Universal Management Suite 5:n asennus.....	24
Kuvio 4. Universal Management Suiten päänäkö.....	25
Kuvio 5. Csv-tiedostolla liitetyt uudet laitteet.....	26
Kuvio 6. Administrator-käyttäjän pääsynhallinta	27
Kuvio 7. UMS:n kirjautumisruutu.....	28
Kuvio 8. Etäyhteyden asetukset.....	29
Kuvio 9. Testiympäristön rakenne.....	31
Kuvio 10. Työpöytäpalvelimen RDS-rooli.....	32
Kuvio 11. Testiympäristön päätteiden yleiset asetukset.....	35

Käytetyt termit ja lyhenteet

AD	Active Directory. Tietokanta- ja hakupalvelu, joka sisältää tietoa toimialueen käyttäjistä ja resursseista.
BYOD	Bring Your Own Device. Käytäntö, joka sallii käyttäjien tuoda omia laitteitaan työympäristöön.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol. Verkkoprotokolla, jonka tehtävänä on jakaa ip-osoitteita verkkoon liitetyille laitteille.
Domain	Toimialue, joukko tietokoneita, joita hallitaan keskitetysti yhdeltä tai useammalta palvelimelta.
Firmware	Laiteohjelmisto, laitteeseen kiinteästi asennettu ohjelmisto tai ohjelmiston osia, jotka huolehtivat laitteen perustoiminnoista.
Group policy	Ryhmäkäytäntö, asetusten keskitetty jakaminen ryhmittäin, joko käyttäjä- tai konekohtaisesti.
HDX	High Definition Experience, Citrixin käyttämä yhteysprotokolla, käytetään sovelluksen tai työpöydän kuvan välittämiseen. Sisältää myös ICA-protokollan.
Hypervisor	Virtualisointikerros. Toimii rajapintana virtuaalisen koneen ja fyysisen laitteiston välissä.
ICA	Intepended Computing Architecture, Citrixin tiedonsiirto-protokolla, jota käytetään palvelimen ja client-ohjelmiston välillä. On osa HDX-protokollaa.
IIS	Internet Information Services, Microsoftin kehittämä web-palvelinohjelmisto. Suunniteltu Windows-ympäristöön.
IP	Internet Protocol, internet-protokolla, jota käytetään tietoliikennepakettien reitittämiseen.

MAC-osoite	Media Access Control, laitteen verkkosovittimen yksilöivä numero.
NLA	Network Level Authentication, teknologia jolla käyttäjä tunnistetaan RDP-ympäristössä ennen session muodostamista palvelimelle.
RemoteApp	Virtualisoitu sovellus, jota voidaan jaella suoraan Microsoftin RDS-palvelulla.
RFID	Radio Frequency IDentification, radiotaajuudella toimiva etätunnistus. Käytetään tiedon etälukuun.
RDP	Remote Desktop Protocol, Microsoftin tekniikka tietokoneiden etäkäyttöä varten.
RDS	Remote Desktop Service, Windows-palvelimissa käytetty palvelu saman alustan jakamiseen usealle käyttäjälle.
SaaS	Software as a Service, toimitustapa, jolla tarjotaan ohjelmistot palveluina.
SSO	Single Sign-On, menetelmä jolla voidaan toteuttaa käyttäjän pääsy useisiin palveluihin yhdellä kirjautumisella.
Thin client	Kevytpääte, laitteistoltaan kevennetty tietokone, jonka tarkoitus on toimia yhteytenä verkossa toimivaan palvelimeen.
TS	Terminal Service. Sama kuin RDS, mutta aiemmin käytössä ollut termi.
UPN	User Principal Name,
VDI	Virtual Desktop Infrastructure, työpöytävirtualisointiin käytetty tekniikka.
VNC	Virtual Network Computing, yhteysprotokolla työaseman graafiseen etäkäyttöön.

VLAN

Virtual Local Area Network, virtuaalinen lähiverkko. Tarkoittaa tekniikkaa, jolla fyysinen tietoliikenneverkko voidaan jakaa useaan loogiseen osaan.

1 JOHDANTO

Tämä työ käsittelee Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin tietohallinnossa toteutettavaa virtualisointi- ja kevytpääteprojektia. Työssä käsitellään projektissa rakennettua testiympäristöä ja siinä käytettyjä päätelaitteita sekä niiden hallintaa.

Työpöytävirtualisointi toteutetaan thin client -kevytpäätteiden avulla. Toimintamallina päätelaitteilla on, että käyttäjä syöttää henkilökohtaisen toimikorttinsa päätteelle, jonka jälkeen pääsee käsiksi käyttäjälle oikeutettuihin resursseihin ja palveluihin. Tämän työn tarkoituksena on etsiä tähän ratkaisuun sopiva tekninen toteutus.

Virtuaalisen työpöydän toimintaideana on tarjota käyttäjälle automaattisesti kaikki työtehtävissä tarvittavat resurssit ja ohjelmistot päätelaitteesta riippumatta. Tarvitavien resurssien tulee olla saatavissa heti työpöydältä ilman että niitä pitäisi etsiä useasta lähteestä. Tähän ratkaisun toteuttamiseen tullaan käyttämään kolmannen osapuolen sovellusta.

Kokonaisuudessaan projektiin kuuluu myös kertakirjautumisjärjestelmän käyttöönoton suunnittelu ja toteuttaminen, mutta se jätetään tämän työn ulkopuolelle järjestelmän laajuudesta johtuen. Virtualisointia on toteutettu Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiirissä palvelinten ja muutaman sovelluksen kohdalla.

1.1 Työn tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on löytää sopiva tekninen toteutus, jonka avulla voidaan tehostaa työntekoa, helpottaa liikkuvuutta sekä saada aikaan kustannussäästöjä. Ylläpitäjän näkökulmasta projekti yksinkertaistaa ylläpitoa sekä parantaa tietoturvaa.

Jotta projekti on kannattavaa toteuttaa, pitää pystyä vaihtamaan vähintään 45 prosenttia kaikista Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin työasemista kevytpäätteisiin. Tämä määrä vastaa noin 1300 työasemaa. Ensimmäisen vuoden aikana on tarkoitus ottaa käyttöön noin 150 kevytpäätettä. Päätteiden vieminen toimintayksiköi-

hin toteutetaan vaihtamalla elinkaarensa päässä oleva työasema kevytpäätteesen.

Tuotantoympäristöön rakennettuun ratkaisuun vaaditaan seuraavat tavoitteet:

- **Nopea kirjautumisaika.** Alle 20 sekuntia ns. kylmäkäynnistyksellä, eli käyttäjällä ei ole istuntoa virtuaaliympäristössä. Päätelaitteen käynnistymistä ei oteta tässä tapauksessa huomioon, ainoastaan käyttäjän istunnon muodostamiseen kulunut aika.
- **Session siirtyminen.** Käyttäjän virtuaalialustalla oleva istunto siirtyy päätteeltä siirryttäessä toiselle ja käyttäjä voi jatkaa työskentelyä siitä mihin aiemmin jäi.
- **Korttikirjautuminen.** Päätelaitteille kirjaudutaan vain henkilökohtaisella Väestörekisterikeskuksen myöntämällä toimikortilla.
- **Kertakirjautuminen.** Käyttäjän ei tarvitse enää muistaa useita salasanoja ja käyttäjätunnuksia eri järjestelmiin, vaan käyttäjä kirjautuu vain toimikortilla ja saa suoraan käyttöönsä työtehtävissään tarvittavat sovellukset ja palvelut. Toteutus tehdään SSO-järjestelmällä.
- **Käynnistyssovellus.** Virtuaalityöpöydällä olevat kuvakkeet käynnistetään erillisestä sovelluksesta, joka aukeaa automaattisesti kirjauduttaessa. Sovellus kerää lokitietoja käynnistetyistä ohjelmista, ja kuvakkeet määräytyvät käyttäjän työroolin mukaisesti. Sovelluksen kautta on saatavissa kaikki käyttäjän tarvitsemat resurssit ja ohjelmistot.

1.2 Työn rajaus

Projektin ulkopuolelle jätetään kaikki erikoiskäytössä olevat työasemat, eli suoraan lääkintälaitteisiin kytketyt ja muut erikoistehoa vaativat työasemat. Näitä on paljon esimerkiksi radiologiassa, sairaala-apteekissa ja laboratorio- ja leikkaustoiminnassa, joten muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta nämä jätetään virtualisoimatta.

Tässä työssä ei käydä läpi kertakirjautumiseen käytettävää järjestelmää ja sen suunnittelua, vaan käsitellään vain työpöytävirtualisointia ja sen saattamista tuotantokäyttöön.

Työssä esitetty testiympäristö on yksi esimerkki työpöytävirtualisoinnista ja työn tulokset perustuvat tässä ympäristössä esitettyyn ratkaisuun. Testiympäristössä ei käsitellä tietoturvasyistä verkon tarkempaa rakennetta, eikä kaikkia testauksessa käytettyjä sovelluksia. Työssä esitetyt IP-numerot sekä palvelimien ja muiden laitteiden nimet ovat keksittyjä.

1.3 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyö tehtiin Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiirin tietohallinnolle. Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri tuottaa erikoissairaanhoidon palveluita 19 jäsenkunnalle, joissa on asukkaita noin 198 300. Henkilöstöä sairaanhoitopiirissä on yhteensä 3300, joista lääkäreitä 310, hoitohenkilökuntaa 1933 ja muuta henkilöstöä 1057. (EPSHP 2015.)

Sairaanhoitopiirin toiminta ja organisaatorakenne koostuu useasta eri toimintayksiköstä, joista suurin osa toimii Seinäjoen Keskussairaalassa, mutta useita yksiköitä on sijoitettu ympäri Etelä-Pohjanmaan maakuntaa. (EPSHP 2015).

2 VIRTUALISOINTI

Virtualisointi on sanana hyvin monikäsitteinen, mutta yleisellä tasolla se tarkoittaa fyysisen tietoteknisen laitteen jakamista useaan pienempään loogiseen osaan. (Portnoy 2012, 2).

Virtualisointi tunnettiin ensiksi nimellä time sharing 1960-luvulla. Christopher Strachey, Oxfordin yliopiston professori, ideoi tämän julkaisussaan ”Time Sharing in Large Fast Computers”. Hän esitteli tavan, kuinka useampi ohjelmoija voi yhtäaikaaisesti työskennellä saman koodin parissa. Tätä kutsuttiin moniajo-ohjelmoinniksi. Tekniikka nopeutti ohjelmoiden työtä ja aloitti virtualisoinnin elinkaaren. (Dittner & Rule 2007, 3.)

Viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana tietotekniikan palveluissa ja teknologiassa suuret muutokset ovat tapahtuneet tietyn trendin mukaan. Ensimmäiset vuosikymmenet, 1960–1970 olivat keskuskonekeskeisiä (mainframe). Keskuskoneiden jälkeen alkoi yleistymään fyysiset työasemat ja palvelimet (client-server-teknologia). 2000-luvulla internetin yleistyttyä ja datakeskuksien kasvun myötä virtualisointi alkoi kasvamaan palvelinvirtualisoinnin avulla. Virtualisointi kehittyy edelleen ja yhä useampi käyttää virtualisointia jossain muodossa. (Portnoy 2012, 1.)

Yleisimmät käyttötapaukset ovat sovellusten, työpöytien, työasemien, palvelimien ja verkon virtualisointi. Näistä tällä hetkellä suurimpana ovat palvelimet ja niiden myötä sovellukset ovat toinen nopeasti kasvava osa-alue. Yhteistä näillä kaikilla tavoilla on se, että kaikki käyttötapaukset toimivat jonkin virtualisointikerroksen päällä, joka taas vaatii jonkin fyysisen laitteen ”isännäksi”.

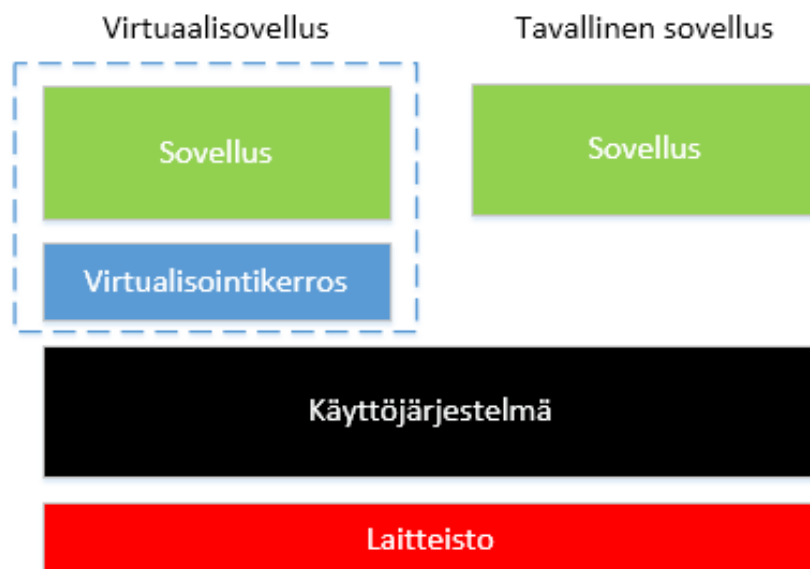
2.1 Sovellusvirtualisointi

Sovellusvirtualisoinnilla tarkoitetaan tapaa suorittaa sovellusta joltain sille määriteltä palvelimelta. Näin poistetaan riippuvuus käyttöjärjestelmän ja ohjelmiston väliltä. Riippuvuuden poistamisella mahdollistetaan esimerkiksi sovelluksen ajaminen eri käyttöjärjestelmässä. (Dittner & Rule 2007, 25-26.) Ohjelmien päivitys ja asen-

nus helpottuu, koska asennus- ja päivityspaketteja ei tarvitse jaella työasemille. Sovelluksen päivitys tehdään palvelimelle, jolta sovellusta käytetään. Asennus tapahtuu jakelemalla käyttäjille kuvake, jolla suoritetaan palvelimella sijaitseva sovellus. Käyttäjällä muodostuu henkilökohtainen sessio, jossa sovellusta suoritetaan. Tällä tavalla voidaan mahdollistaa usean käyttäjän yhtäaikainen sovelluksen suorittaminen ilman että sovelluksen käytössä tapahtuu ristiriitoja. Sovellussessiot toimivat siis omissa ”hiekkalaatikoissaan” eli eristetyissä ympäristöissä. (Ruest & Ruest 2009, 39.)

Esimerkiksi Microsoftin RemoteApp on yksi vaihtoehto sovellusvirtualisoinnille. Siinä hyödynnetään Windows-palvelimelle asennettavaa RDS-palvelua. Yhteyden muodostamiseen käytetään Windows-käyttöjärjestelmän etätyöpöytäyhteyttä, joka viestii palvelimen ja sovelluksen välillä RDP-protokollalla. Tavallisen etätyöpöytäyhteyden sijasta yhteys muodostuu suoraan palvelimelta julkaistuun sovellukseen. (Microsoft 2015a.)

Virtuaalinen sovellus käyttää isäntäpalvelimen resursseja sovelluksen suorittamiseen. Virtualisointikerros sijaitsee fyysisen laitteen käyttöjärjestelmän ja virtualisoidun sovelluksen välissä. Tavallinen sovellus taas toimii suoraan käyttöjärjestelmän päällä. (Kuvio 1.)



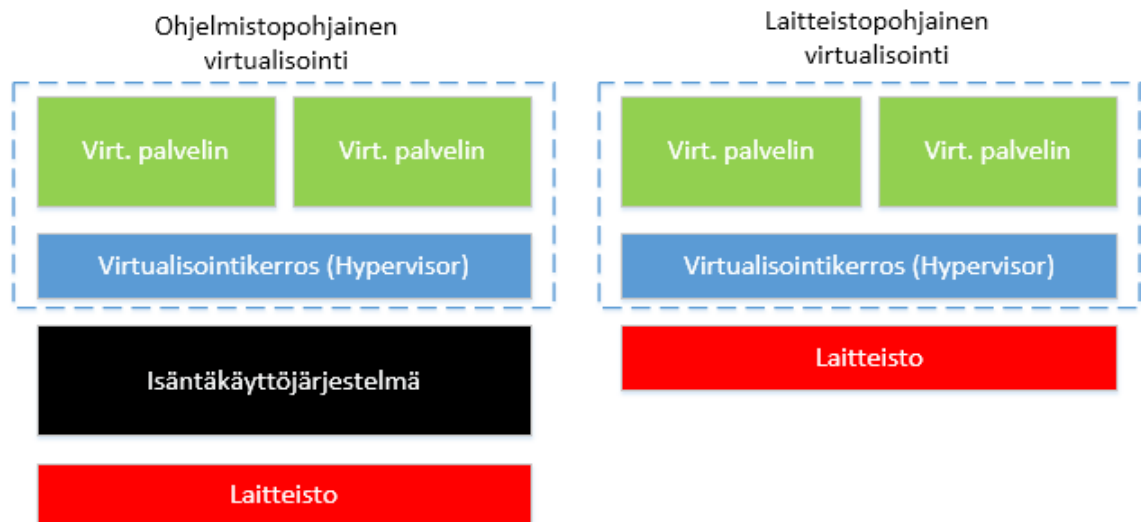
Kuvio 1. Sovellusvirtualisointi.

2.2 Palvelinvirtualisointi

Palvelinvirtualisoinnilla voidaan mahdollistaa fyysisen palvelimen täysi hyödynnettävyys jakamalla se virtuaalisiin palvelimiin. Virtuaaliset palvelimet toimivat täysin riippumattomasti toisistaan, kuten fyysiset palvelimet. Palvelinvirtualisoinnissa käytetään alustana virtualisointikerroksessa toimivaa hypervisoria. Hypervisorin tehtävänä on toimia rajapintana eristettyinä toimivien virtuaalisten palvelimien ja laitteiston välillä. Sillä luodaan virtuaalikoneet ja hallitaan niiden resurssien käyttöä. Virtuaalikoneita voi olla yksi tai useampi, riippuen käytettävän alustakoneen suorituskyvystä ja virtuaalisen käyttöjärjestelmän järjestelmävaatimuksista. (Tulloch 2010.)

Palvelinvirtualisointia on kahdenlaista; ohjelmisto- ja laitteistopohjaista. Ohjelmistopohjainen tapa vaatii laitteiston ja virtualisointikerroksen väliin isäntäkäyttöjärjestelmän. Ohjelmistopohjainen palvelinvirtualisointi on esitettynä vasemmalla kuviossa 2. Tämän tavan heikkoutena on isäntäkäyttöjärjestelmä, joka käyttää laitteiston resursseja. Häiriötilanteessa tai uudelleenkäynnistyksen aikana kaikki sen päällä toimivat virtuaalipalvelimet ovat poissa käytöstä. Virtuaalisen palvelimen suorituskyky on näin myös hitaampaa, koska palvelin varaa resurssit laitteistolta isäntäkäyttöjärjestelmän kautta. Ohjelmistopohjainen tapa on kuitenkin käyttöön otolta nopea ja soveltuu tilanteisiin, joissa esimerkiksi käytetään jotain toista käyttöjärjestelmää isäntäkäyttöjärjestelmän päällä. Tällaisia käyttökohteita on lähinnä testi- ja kehitysympäristöt. (Ruest & Ruest 2009, 31-32.)

Laitteistopohjainen palvelinvirtualisointi toimii suoraan laitteiston päällä, eikä vaadi pohjalle isäntäkäyttöjärjestelmää, koska hypervisor on asennettu suoraan laitteistolle. Tällä tavalla laitteistopohjainen tapa on siis tehokkaampi ja vikasietoisempi. Vikasietoisuutta kasvatetaan jakamalla palvelimet hypervisorissa niin sanottuihin resurssialtaisiin, jotka varaavat käytettäviä resursseja laitteistolta. Esimerkiksi vika-tilanteissa voidaan tietyssä resurssialtaassa olevia palvelimia ohjata toimimaan vaikkapa toisen laitteiston päällä, jolloin käyttökatkot jäävät hyvin lyhyiksi. Tuotantoympäristöissä palvelinvirtualisointi on useimmiten laitteistopohjaista. (Ruest & Ruest 2009, 33-34.) Laitteistopohjainen palvelinvirtualisointi on esitettynä kuviossa 2.



Kuvio 2. Palvelinvirtualisointi

2.3 Työasemavirtualisointi

Työasemavirtualisointi on toimintaperiaatteiltaan hyvin samanlainen kuin palvelinvirtualisoinnissa, mutta palvelinlaitteiston suorituskykyä käytetään alustana virtuaalisille työasemille. Vastaavasti tavallisella työasemalla voidaan ajaa useampia virtuaalityöasemia. Virtuaalinen työasema koostuu käyttöjärjestelmästä, joka toimii virtuaalikerrosohjelmiston emuloimassa ympäristössä. Käyttöjärjestelmän lisäksi virtuaalikone tarvitsee konfiguraatiotiedostoja, joilla määritellään käytettävät resurssit ja lokitiedostot. Virtuaalisesta työasemasta käytetään nimitystä VM (Virtual Machine). (Ruest & Ruest 2009, 30.)

2.4 Työpöytävirtualisointi

Työpöytävirtualisointi on yksi eniten kasvavista osa-alueista organisaatioiden virtualisointistrategioissa. Tavallinen työasema ja sen tuomat kustannukset, sekä rahalliset että resurssilliset, ovat saaneet yritykset ja muut suuremmat tahot etsimään ratkaisua virtualisoinnista. Hyödyt ovat samat kuin palvelinvirtualisoinnissa; kustannussäästöt, parempi tietoturva, hallinta ja joustavuus. Virtuaalinen työpöytä

voi myös kasvattaa kokonaisvaltaista käyttäjäkokemusta. (Cerling & Buller 2009, 411.)

Työpöytävirtualisointi on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin työasema- tai palvelinvirtualisointi, mutta käyttäjän sessio on kokonaisen käyttöjärjestelmän sijaan esimerkiksi palvelimen työpöytä, jota käytetään esimerkiksi RDP-protokollan välityksellä. Yhdellä palvelimella on useita yhtäaikaisia käyttäjiä omilla työpöydillään. Työpöytä voidaan julkaista näkyvästi, jolloin käyttäjällä on erillinen ikkuna, jolloin voidaan erottaa selvästi onko kyseessä paikallinen vai virtuaalinen työpöytä. Toinen vaihtoehto on näkymätön käyttäjälle, jolloin virtuaalinen työpöytä julkaistaan koko ruudun kokoisena. Käyttäjä ei tällöin suoraan näe isäntäkoneen paikallista työpöytää. (Tulloch 2009, 109.)

3 VIRTUALISOINTIRATKAISUT

Virtualisointiin käytettäviä ohjelmistoja ja tuotteita on tarjolla usealta eri valmistajalta. Tässä luvussa esitellään yleisimpiä virtualisointituotteita sekä virtualisoinnin yhteydessä käytettäviä päätelaitteita.

3.1 Microsoft

Microsoft Corporation tarjoaa useita erilaisia tuotteita palvelin-, työpöytä- ja sovellusvirtualisoinnin toteuttamiselle. Esimerkiksi Hyper-V on Microsoftin ratkaisu palvelimen virtualisoinnille, App-V on sovelluksille ja MED-V sekä Remote Desktop Services (RDS) ovat työpöydille. (Cerling & Buller 2009, xii).

Hyper-V on Microsoftin hypervisor-tuote, jota on olemassa kahtena erillisenä versiona. Ensimmäinen vaihtoehto on asentaa olemassa olevalle Windows Serverille Hyper-V -rooli, joka sisältää virtuaalikerroksen laitteiston ja käyttöjärjestelmän välille. Rooli on olemassa Windows Server 2008 R2:ssa ja sitä uudemmissa käyttöjärjestelmissä. Toinen vaihtoehto on kokonaan erillinen Hyper-V, joka sisältää vain virtuaalikerroksen laitteistolla, mutta ei graafista käyttöjärjestelmää, eikä tue muita palvelinrooleja. (Cerling & Buller 2009, 46.)

MED-V, Microsoft Enterprise Desktop Virtualization, on työpöytävirtualisointiin käytettävä tekniikka, joka on suunnattu erityisesti suurille organisaatiolle. MED-V kuuluu osaksi Microsoftin laajempaa tuotepakettia Microsoft Optimized Desktopia, (MDOP). Paketin tavoitteena on parantaa yleistä käyttökokemusta työpöytäympäristöstä, yksinkertaistaa ylläpitoa ja hallintaa sekä vähentää niihin liittyviä kustannuksia. (Cerling & Buller 2009, 411-412).

App-V on Microsoftin sovellusvirtualisointiin ja -suoratoistoon käytettävä tuote. App-V sisältää sovellusten paketointiin käytettävän Microsoft Application Virtualization Sequencer -ohjelmiston, sovellusten suoratoistoon käytettävän palvelinohjelmiston ja päätelaitteessa käytettävän client-sovelluksen. Myös App-V on osa MDOP -pakettia. (Cerling & Buller 2009, 255.)

Remote Desktop Services (RDS) on Windows-palvelimelle asennettava palvelu, jonka avulla voidaan jakaa kyseisen palvelimen työpöytää sekä sovelluksia etäkäyttöä varten. Etäkäyttö tapahtuu RDP-protokollalla ja esimerkiksi Windows-käyttöjärjestelmän etätyöpöytäsovellusta käyttäen. RDS oli ennen Windows Server 2008 ja sitä aikaisemmin julkaistuissa käyttöjärjestelmissä Terminal Services (TS) -nimellä. Nimenmuutoksen mukana tuli uutena ominaisuutena aiemmin mainittu virtuaalisen työpöydän jakaminen. (Cerling & Buller 2009, 223.)

RDS-työpöytä toimii RD Session Host -palvelimella, joka on palvelun osakomponentti. Session Host välittää käyttäjän päätelaitteella tekemät painallukset virtuaaliympäristöön ja palauttaa käyttäjälle toiminnon tuloksen. Tietoliikenne RDS-ympäristössä käyttää TCP/IP-verkossa TCP:n tietoliikenneporttia 3389. (Tulloch 2009, 228.)

RDS:n kautta voidaan jaella palvelimelle asennettuja sovelluksia. RDS:llä jaetuista sovelluksista käytetään nimitystä RemoteApp, joka toimii myös RDP-protokollan avulla. RemoteApp-sovelluksia varten palvelimelle täytyy ottaa käyttöön RD session host -palvelu. RemoteApp-sovellukset käyttävät alustapalvelimen käyttöjärjestelmää, joten vain Windows-sovellusten jakaminen tällä tekniikalla on mahdollista. (Tulloch 2009, 231-232.)

RemoteApp-toteutuksena Microsoftin RDS-ympäristössä on Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiirissä virtualisoitu Tiedon kehittämä potilastietojärjestelmä Effica. Sovellus otettiin tuotantokäyttöön vuoden 2014 alussa ja virtuaalisovelluksella on parhaimmillaan noin 800 yhtäaikaista käyttäjää. Sovellusta tarjotaan palveluna, eli SaaS-ratkaisulla, muun muassa Etelä-Pohjanmaan alueen terveyskeskuksille.

RDS-palvelun lisäksi on mahdollista ottaa käyttöön sen päälle toinen palvelinrooli Remote Desktop Web Access (RDWeb). RDWeb käyttää Windows Serverille asennettavaa Internet Information Services (IIS) -palvelua tuomaan RemoteApp-ohjelmat, virtuaaliset työpöydät käyttäjille web-palveluna. Palvelu toimii verkkosivuna, jolla on kuvakkeet RDS:n kautta tarjottaviin ohjelmiin ja työpöytiin. (Tulloch 2009, 256.)

3.2 Citrix

Citrix Systems Inc. on yhdysvaltalainen yritys joka on erikoistunut virtualisointiin. Pääpainona on työpöytä-, sovellus- ja mobiiliteettiratkaisut. Lisäksi yritys tarjoaa ratkaisuja liikkuvuuden hallintaan sekä SaaS-palveluihin. Yhtiö on perustettu vuonna 1989 ja tällä hetkellä Citrix on suosituin alusta työpöytä- ja sovellusvirtualisointiratkaisuissa. (Citrix 2015.)

Virtualisointiin liittyvät tuotteet kuuluvat Xen-tuoteperheeseen, joita ovat muun muassa XenApp, XenDesktop ja XenMobile. XenApp on virtuaalisten sovellusten jakeluun tarkoitettu alusta, kun taas XenDesktop on työpöytäympäristön jakamiseen. XenMobile on ratkaisukokonaisuus mobiiliteetin ja mobiilipäätelaitteiden hallintaan. Palvelut pohjautuvat Citrixin XenServer-alustaan. (Citrix 2015.)

Citrix käyttää HDX-yhteysprotokollaa client-sovelluksen ja palvelimen välillä. Client-sovelluksena toimii Citrix Receiver. Sovellus on saatavilla lähes jokaiselle mahdolliselle päätelaitteelle ja käyttöjärjestelmälle. Muun muassa tuettuja alustoja ovat: Windows, Windows Phone, iOS, OSX, Linux, Android. Näiden lisäksi useat thin clientit sisältävät valmiiksi asennetun Citrix Receiverin. (Citrix 2015).

3.3 VMWare

VMWare on maailman käytetyin alusta palvelinvirtualisoinnille. Yhtiön tuotteilla oli vuonna 2014 56 %:n markkinaosuus palvelinvirtualisoinnissa. (Nasdaq 2014.) Yhtiö on keskittynyt pilvitallennus- ja virtualisointiratkaisuihin. VMWaren tunnetuimpia tuotteita ovat ESXi, ThinApp, Vsphere, VMWare Player sekä - Workstation. Sovellusvirtualisointiin VMWare tarjoaa ThinApp-tuotetta. (VMWare 2015).

ESXi on ilmainen hypervisor-ohjelma, jota käytetään virtuaalisten koneiden luontiin ja hallintaan. Ohjelma asennetaan suoraan palvelimelle, jolloin se luo virtualisointikerroksen palvelimen laitteiston päälle. Tämän kerroksen päälle luodaan erilliset virtuaalikoneet. ESX on maksullinen, mutta se sisältää laajemmat ominaisuudet, joita ovat muun muassa keskitetyn hallinnan työkalu, päivitysten hallinta hy-

pervisorille ja virtuaaliselle kuormalle sekä reaaliaikaisen migraatio virtuaalikoneiden siirtämiselle tallennustilasta toiseen. (Ruest & Ruest 2009, 175.)

Vsphere on ohjelma, jota käytetään yrityksen sisäisen datakeskuksen luontiin ja hallintaan. Sillä hallitaan virtuaalisia koneita sekä niiden käyttämiä resursseja. Ohjelmisto tavallaan virtualisoi koko yrityksen konesalin. Player ja Workstation ovat isäntäohjelmistoja, joilla luodaan ja käytetään virtuaalisia koneita tavallisen käyttöjärjestelmän päällä, joka taas on ohjelmistopohjaista virtualisointia. Player on ilmainen ja vastaavasti Workstation on maksullinen, mutta sisältää enemmän ominaisuuksia Playeriin verrattuna. (VMWare 2015.)

3.4 Päätelaitteet

Päätelaitteina työpöytä- ja työasemavirtualisoinnin yhteydessä käytetään yleensä thin- tai zero client -kevytpäätteitä. Virtuaaliympäristössä työskentelyyn ei tarvita päätelaitteelta paljoakaan suoritustehoa ja tavallinen työasema on tyypillistä korvata edellä mainitulla päätteillä. Laitteiden pääasiallinen käyttö on siis verkon yli tapahtuvaa, joten ne ovat riippuvaisia jatkuvasta verkkoyhteydestä. Päätelaitteet ovat huomattavasti tavallista työasemaa halvempia ja niiden hallinta on keskitympää ja yksinkertaisempaa. (Odgen 2013.)

Kevytpäätelaitteita on tarjolla melkein jokaisella työasemien valmistajalta, esimerkiksi Dell, Fujitsu, Lenovo ja HP. Lisäksi on pelkästään kevytpäätteisiin erikoistuneita yrityksiä joita on esimerkiksi saksalainen Igel.

Thin Clientit ovat tavalliseen työasemaan verrattuna kevyempiä ohjelmistoltaan ja laitteistoltaan. Niihin on yleensä esiasennettuna jokin käyttöjärjestelmä, joko Windows Embedded tai Linux. Käyttöjärjestelmässä on tuki eri yhteysprotokollille, esimerkiksi ICA ja RDP, joilla voidaan muodostaa yhteys virtuaaliympäristöön. Laitteiston osalta eroja on siinä että yleensä kevytpääte ei sisällä mitään liikkuvia osia, jolloin niiden elinkaarikin on pidempi kuin tavallisella työasemalla. Kiintolevyn sijasta päätteissä on muutamana gigatavun flash-muisti, jolle asennetaan käyttöjärjestelmä ja muut tarvittavat ohjelmat. Ohjelmilla tarkoitetaan tässä tapauksessa muun muassa rdp-client-sovellusta, Citrix Receiveria ja internetselainta. Jos esi-

merkiksi päätelaite pitää vikatilanteessa toimittaa huoltoon, voidaan tilalle vaihtaa uusi pääte ilman erillisiä asennuksia. (McCabe 2009.)

Zero Client on kevyempi vaihtoehto thin clientille. Merkittävin ero on, että siinä ei välttämättä ole käyttöjärjestelmää ollenkaan, vaan siihen on firmwareen eli laiteohjelmistoon ohjelmoitu joku tietty yhteysprotokolla. Jos siinä on käyttöjärjestelmä, niin sekin on määritetty tukemaan yhtä tiettyä yhteysprotokollaa. (Odgen 2013.)

Päätelaitteiden lisäksi yksi vaihtoehto on konvertoida työasema kevytpäätteeksi, jolloin siihen asennetaan sama kevyt käyttöjärjestelmä kuin kevytpäätteissä. Tällä tavalla voidaan jatkaa vanhentuvan työaseman elinkaarta, sillä elinkaarensa päässä oleva pc voidaan ottaa uudestaan käyttöön kevytpäätteenä. (Knuth 2009.)

Toinen, mutta yleistyn vaihtoehto on käyttää päätelaitteena jotain mobiililaitetta; tablettia, älypuhelinta tai kannettavaa tietokonetta. Näihin laitteisiin on helppo tuoda virtualisoinnin avulla samat palvelut kuin työasemaympäristössään. Laite voi olla jopa käyttäjän oma. BYOD-tapa eli henkilökohtaisten laitteiden käyttö työpaikan omien sijasta on yleistymässä ympäri maailmaa. (Odgen 2013.)

Tässä työssä mobiilipäätelaitteiden tuki ei ollut yksi tavoitteista, joten ratkaisussa ei oteta niitä huomioon. Myöskään ei ollut tarvetta hankkia lääkinnällisiä vaatimuksia täyttävää päätelaitetta, koska laitteita ei tulla sijoittamaan hoitoalueelle.

4 IGEL

Igel on Saksan Ausburgissa vuonna 1989 perustettu, kevytpäätelaitteisiin ja niihin liittyviin ohjelmistoihin erikoistunut yhtiö. Igel aloitti kehittämällä UNIX-ympäristöön grafiikkakortteja ja siirtyi päätelaitteisiin vuonna 1992. Ensimmäisen modernin thin client -pääteen yhtiö toi markkinoille 1997. Nykyään Igel on yksi nopeimmin kasvavista kevytpäätelaitteistajista. (Igel 2015c.)

Igel-laitteisiin päädyttiin testiympäristöä rakennettaessa niiden edullisuuden ja yksinkertaisen ylläpidon takia. Ylläpidossa ei tarvitse hallita skriptejä tai muita vastaavia, vaan kaikki tapahtuu graafisen käyttöliittymän avulla. Niillä on myös laaja tuki kolmannen osapuolen oheislaitteille.

4.1 Igel-päätelaitteet

Igel-päätelaitteita on sekä Windows- että Linux-pohjaisina. Windows-päätteissä on kevennetty Windows Embedded Standard 7 -käyttöjärjestelmä. Kyseinen käyttöjärjestelmäversio on suunniteltu eritoten kevytpäätteisiin sekä teollisuuden sulautettuihin tietokoneisiin. (Microsoft 2015b.) Windows-päätteissä on hieman enemmän suorituskkyä ja hintaa verrattuna Linux-päätteisiin.

Igel-päätteitä on kahta erilaista sarjaa: UD-sarjan thin clientit ja IZ-sarjan zero clientit. Sarjojen päätteet ovat fyysisesti samanlaisia, mutta eroavat tuettujen yhteysprotokollien osalta. UD (Universal desktop), tukee rajatonta määrää eri virtualisointitekniikoilla otettuja yhteyksiä. IZ (Igel Zero), on lisensoitu vain yhdelle tietylle yhteysprotokollalle, esimerkiksi RDP:lle tai ICA:lle. IZ-sarjaa on saatavana kahtena eri mallina. IZ2 ja IZ3. Ne ovat saatavana vain Linux-käyttöjärjestelmällä. UD-sarjaa on saatavilla viittä eri mallia, joista kaksi on ns All-in-One, eli laite itsessään on integroituna kosketusnäyttöön. (Igel 2015b.)

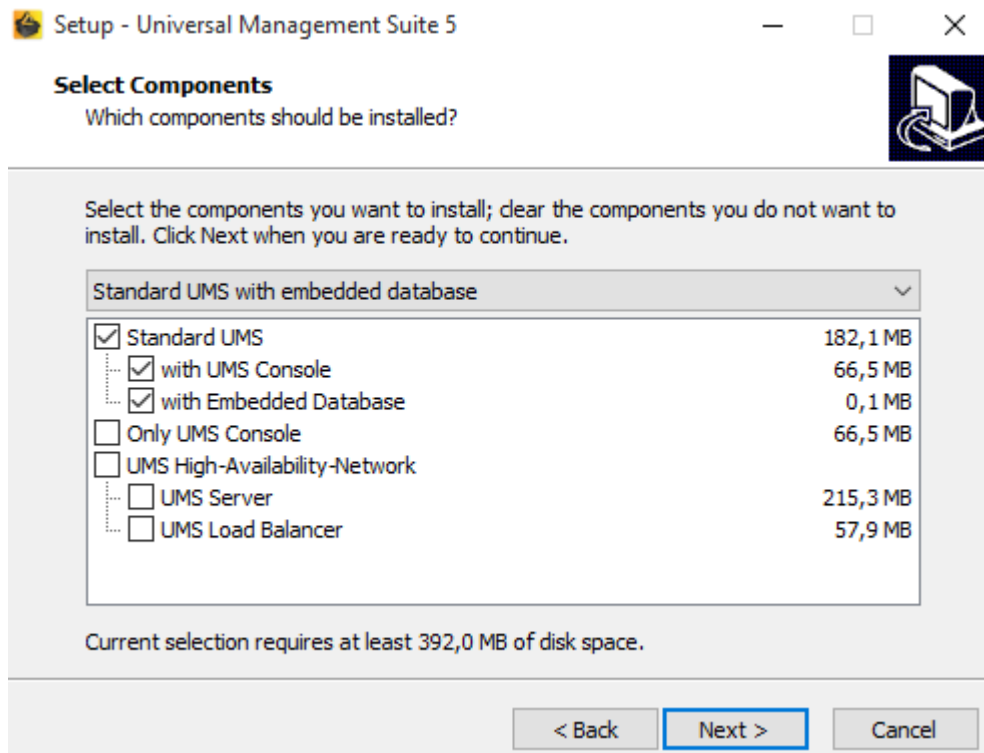
Valmiiden kevytpäätteiden lisäksi on saatavilla konvertointityökalu UDC2 (Universal Desktop Converter 2). Tällä voidaan asentaa tavalliselle työasemalle Igelin Linux-käyttöjärjestelmä ja saada se samaan hallintaan muiden laitteiden kanssa. Kyseessä on USB-tikku, joka sisältää lisenssiavaimen käyttöjärjestelmälle.

4.2 Laitehallinta, Universal Management Suite (UMS)

Igel-laitteita hallitaan keskitetysti Universal Management Suitella UMS:lla. Ohjelmisto muun muassa tukee päätelaitteiden hallintaa useiden eri tietoverkkojen välillä ja tarjoaa integraatiota Microsoftin Active Directory -hakemisto ja käyttäjäpalveluun. UMS on saatavana ilmaiseksi päätelaitteen hankinnan yhteydessä. Siitä on saatavilla myös maksullinen High Availability (HA) -laajennus. HA-laajennus tuo mahdollisuuden parantaa päätelaiteympäristön vikasietoisuutta esimerkiksi jakamalla hallintasovellus usealle eri palvelimelle. Lisäksi se antaa paremman tuen verkkoliikenteen kuormanjaolle hallintasovelluksen ja päätelaitteiden välille. (Igel 2015c, 7.)

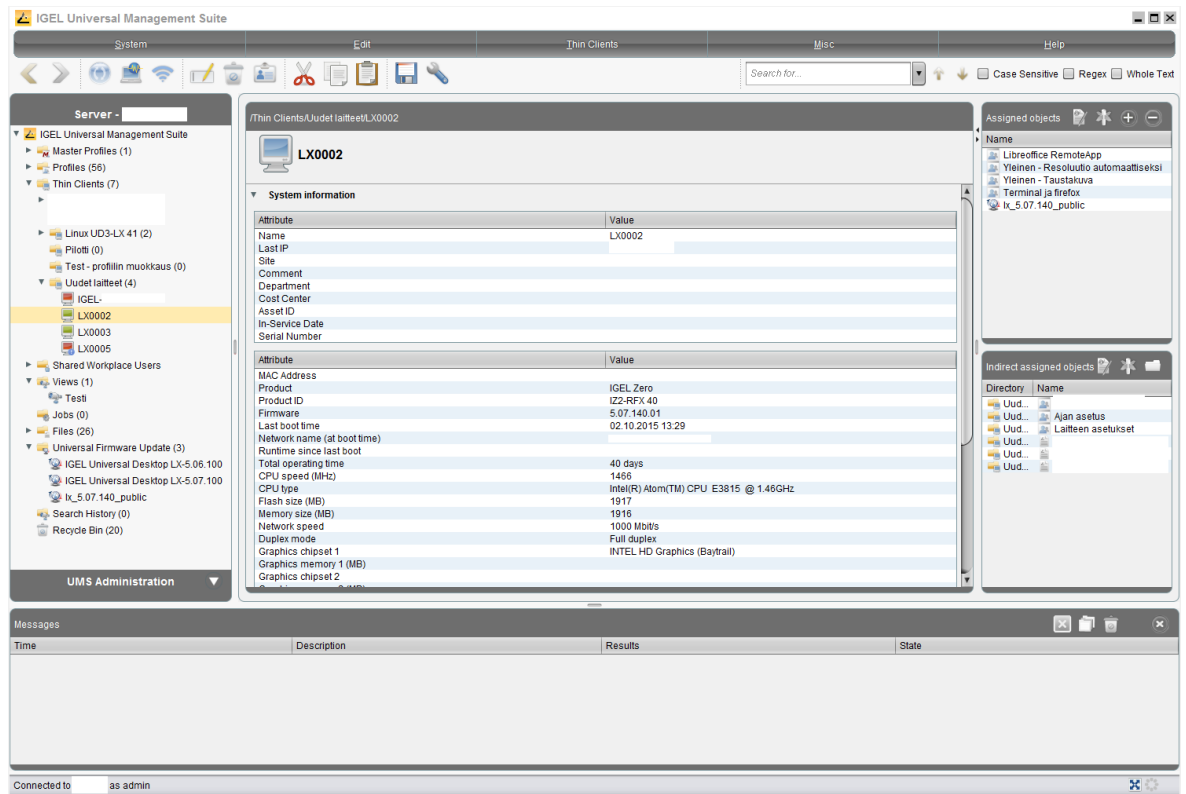
Ohjelmisto koostuu kolmesta osakomponentista: Server, Administration ja Console. Server-komponentti on palvelinohjelmisto ja sisältää laitehallinnan tietokannan. Tietokanta voi olla ohjelmiston sisäinen tai esimerkiksi ulkoinen SQL-tietokanta. Tietokantaan tallennetaan kaikki päätelaitteille määriteltävät asetukset ja komennot. Administration on ohjelmiston ylläpitokeskus. Siellä hallitaan käytettäviä tietokantoja ja tietoliikenneportteja sekä niihin liittyviä asetuksia. Console-komponentti on itse varsinainen päätelaitteiden hallintatyökalu. Sen perustoimintoina on näyttää päätelaitteiden tila, hallita niiden asetuksia ja ohjelmistopäivityksiä sekä määritellä ajoitettuja tehtäviä. Ajoitettuja tehtäviä voi olla esimerkiksi päätelaitteiden hallittu uudelleenkäynnistys tietyinä kellonaikana. Console-komponentti voi olla asennettuna palvelimen lisäksi tavalliselle työasemalle tai sitä voidaan suorittaa Java Web Start -applikaationa ilman asennusta. (Igel 2015c, 9-10).

Kuviossa 3 on Universal Management Suite 5 -version asennusohjelmassa olevat asennusvaihtoehdot. Kuviossa on valittuna perusasennus sulautetulla tietokannalla. Ulkoista tietokantaa käytettäessä Embedded Database-asetus jätetään valitsematta. Pelkän Console-komponentin asennuksessa valitaan Only UMS Console.



Kuvio 3. Universal Management Suite 5:n asennus

UMS -ohjelmiston päätelaitteiden hallinnan toiminnallisuus perustuu erilaisiin konfiguraatioprofiileihin joissa määritellään päätelaitteille käytettäviä asetuksia. Asetukset voidaan jaella laitteille suoraan tai kansiotasolle. Hallittavuuden pitämiseksi mahdollisimman selkeänä kannattaa luoda periaatteessa jokaiselle muokattavalle asetukselle tai ominaisuudelle oma profiili. Näin on helpompi selvittää syy, jos jokin ominaisuus aiheuttaa virheen tai ristiriitatilanteen. Kuviossa 4 on valittuna laite LX0002. Kuvion keskiosassa näkyy laitteen tiedot ja siihen suoraan kohdistetut profiilit näkyvät oikealla laatikossa Assigned objects. Ylemmältä kansiotasolta määräytyvät profiilit näkyvät edellä mainitun laatikon alapuolella nimellä Indirect assigned objects. Kuvion vasemmassa reunassa näkyy hallinnan kansiorakenne.



Kuvio 4. Universal Management Suiten päänäkö

4.2.1 Igel-kevytpäätteiden lisääminen hallintasovellukseen

Uusien laitteiden lisääminen UMS- ohjelmistoon on mahdollista tehdä etsimällä laitteita tietyltä verkkoalueelta, lisäämällä Consolessa laitteen tiedot käsin tai tuomalla usean laitteen tiedot kerralla csv-tiedostolla. Tiedoston lisäämisen jälkeen kevytpääte saa automaattisesti yhteyden ja sertifikaatin hallintapalvelimelle sekä saa sitä kautta oikeat asetukset ensimmäisellä käynnistyskerralla. Csv-tiedostolla lisäämisellä hallintasovellukseen saavutetaan se etu, että laitteet voidaan lisätä ennen niiden käyttöönottoa. Tiedosto luodaan esimerkiksi Excel-taulukkona tai Muistio-työkalulla ja tallennetaan csv-muotoon.

Tiedoston tuontiin on kolme vaihtoehtoa: lyhyessä tai pitkässä muodossa tai Igel-sarjanumeron perusteella. Lyhyessä muodossa tarvitaan laitteen mac-osoite, keksitty nimi jolla laite näkyy verkossa ja hallintasovelluksessa sekä ohjelmiston firmwaren id-numero. Firmware id vastaa UMS -ohjelmistoon rekisteröityjä firmware-versioita. Pitkässä muodossa (kuvio 5) vaaditaan kansio, johon uusi laite vietään, MAC-osoite, firmware-versio ja nimi. Igel-sarjanumerolla tuontiin tarvittavan

tiedoston voi saada jo suoraan laitteiden toimittajalta ja päätteet voi lisätä hallintaan ennen laitteiden vastaanottamista. (Igel 2015b, 24).

Import Thin Clients

☐ Short Format
☒ Long Format
☐ IGEL Serial Numbers Format

TC-Import Data: (fields marked with * are mandatory)

Directory	MAC Address *	Firmware *	Name *	Site	Departm...	Comm...	Asset ID	In-Ser...	Serial...	Profile ...	Cost C...
/Thin Clients/Uudet laitteet	00-0	IGEL Zero 5.07.140.01	LX02								
/Thin Clients/Uudet laitteet	00-0	IGEL Zero 5.07.140.01	LX03								
/Thin Clients/Uudet laitteet	00-0	IGEL Zero 5.07.100.01	LX04								

Buttons: Open File, Import TCs, Clear, Close

Kuvio 5. Csv-tiedostolla liitetyt uudet laitteet

4.2.2 UMS-sovelluksen käyttäjätilit ja kirjautuminen

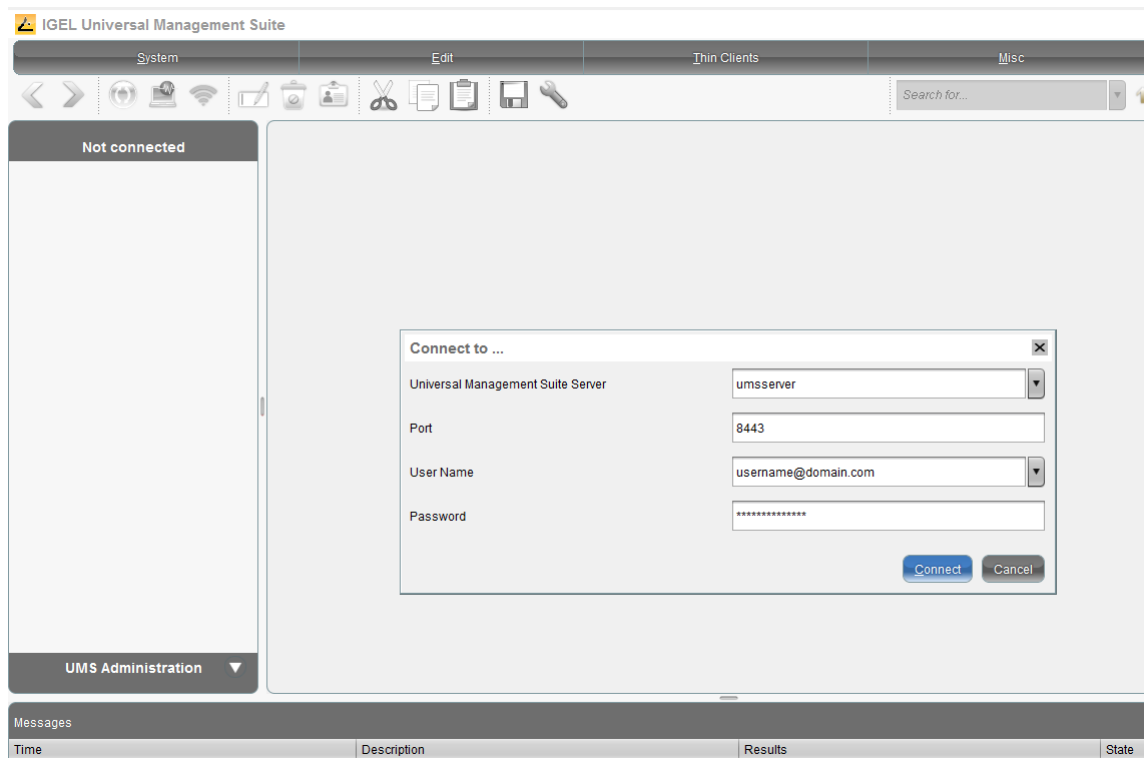
Oletuksena UMS-sovelluksessa on valmiina yksi admin-tason pääkäyttäjätunnus ja sillä on käyttöoikeudet muokata kaikkea sovelluksessa. Muita käyttäjätunnuksia voidaan luoda manuaalisesti yksitellen tai käyttäjiä sekä käyttäjäryhmiä voidaan liittää Microsoftin AD-tietokannasta. Vastaavasti UMS-ohjelmistoon voidaan käyttäjille luoda ryhmiä.

Käyttäjätilien käyttöoikeuksia voi muokata suoraan käyttäjätunnuksittain tai -ryhmittäin. Käyttöoikeuksia voidaan määrittää UMS-ohjelmistoon kansiotasolle, profiileihin ja laitteisiin sekä asetuksiin. Lisäksi käyttäjien pääsyä voidaan rajoittaa eri toimintoihin, kuten kuviossa 6 on esitetty.

Edit administrator permissions		
User Name	Allow	Deny
Administrator 1		
'System' Menu		
Administrator accounts	☐	☐
Event and log messages	☐	☐
Firmware management	☐	☐
License management	☐	☐
Snapshot management	☐	☐
'Thin Clients' Menu		
Scan for Thin Clients	☐	☐
'Misc' Menu		
Cache management	☐	☐
Default Directories	☐	☐
Host Assignment (Jobs)	☐	☐
Public Holidays Management	☐	☐
Sql Console	☐	☐
'Help' Menu		
Save support information	☐	☐
Ok Cancel		

Kuvio 6. Administrator-käyttäjän pääsynhallinta

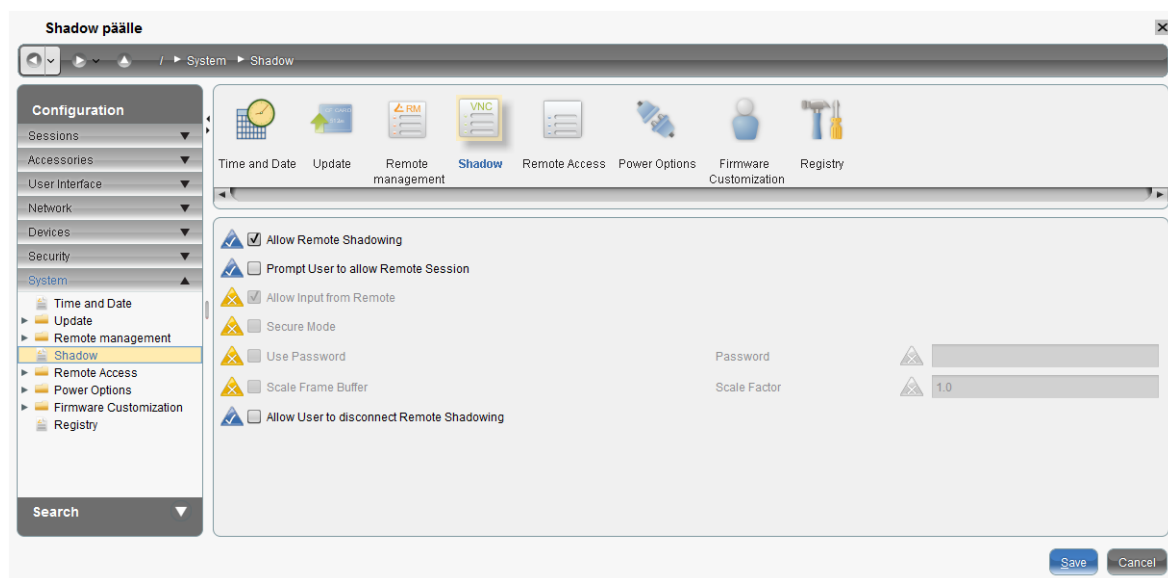
Kirjautuminen Console-sovellukseen tapahtuu kuvion 7 mukaisesti. Jos kirjautumisessa käytetään Windows-verkon AD-tunnusta, täytyy toimialue syöttää käyttäjätunnuksen perään. Jos sovellukseen kirjaudutaan muualta kuin UMS-palvelimelta, tulee kirjautumisikkunassa asettaa UMS-palvelimen toimialueen nimi tai IP-osoite. UMS-palvelimelta kirjauduttaessa palvelimen nimeksi tulee asettaa localhost.



Kuvio 7. UMS-kirjautumisruutu

4.2.3 Etäyhteys Igel-päätteisiin

Etäyhteys on yksi tukipalveluiden tärkeimmistä työkaluista ja Igel-päätteille voidaan muodostaa etäyhteys UMS-ohjelmiston VNC Remote Shadow-komponentilla. Kuviossa 8 on esitettynä Shadow-toimintoon liittyvät asetukset. Kyseinen kuvio on profiilista, joka on jaettu testiympäristössä oleviin päätteisiin. Profiilissa muokatut asetukset näkyvät sinisellä värillä. Profiilissa käyttäjältä on otettu pois mahdollisuus katkaista tai estää etäyhteyden muodostaminen ja sallittu yhteyden muodostaminen päätteeseen.



Kuvio 8. Etäyhteyden asetukset

5 TESTIYMPÄRISTÖ JA TESTAUS

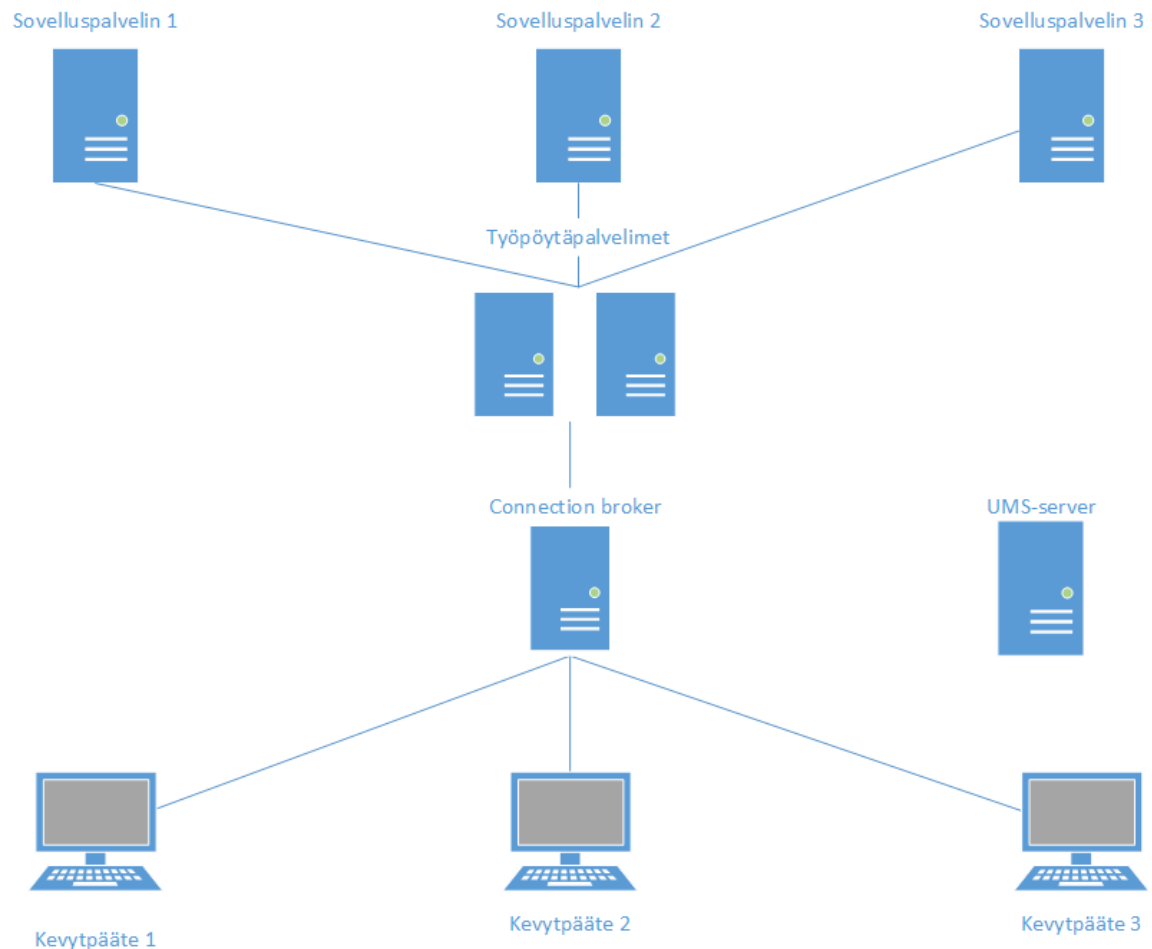
Testiympäristöön valittiin Microsoftin RDS-tekniikka, eli käyttäjille jaetaan palvelimen työpöytä. Sovelluksien virtualisointi toteutetaan ja julkaistaan RDS:n mahdollistamalla RemoteApp-tekniikalla. Kaikki käytössä olevat sovellukset ovat Windows-pohjaisia. RemoteApp-toteutuksia on jo organisaatiossa olemassa, joten erillisen sovellusvirtualisointituotteen hankinnalle ei toistaiseksi ollut tarvetta.

Tavoitteena oli saada testiympäristö vastaamaan mahdollisimman paljon tuotantoympäristössä olevaa tilannetta.

5.1 Testiympäristön rakenne ja palvelimet

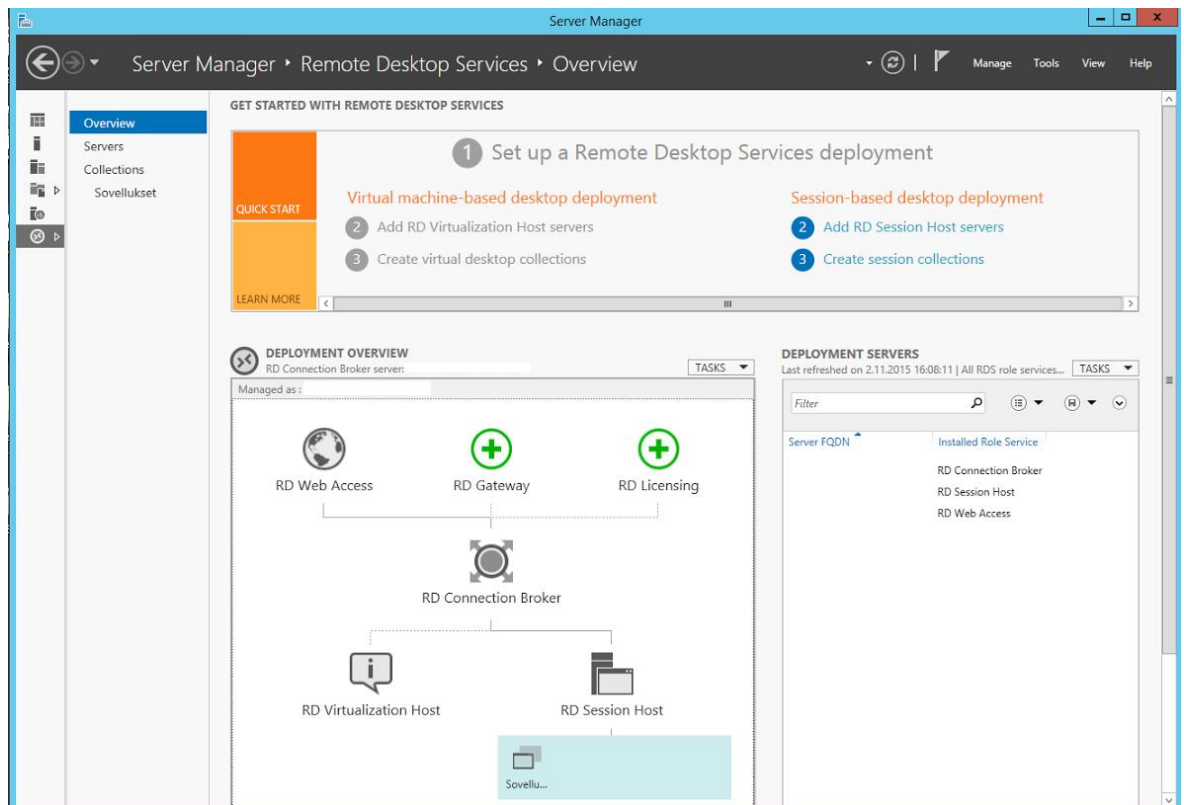
Testausympäristö rakennettiin Microsoftin RDS-tekniikalla ja palvelimet toimivat sairaanhoitopiirin omassa konesalissa.

Testiympäristöön kuului kokonaisuudessaan neljä Windows Server 2012 r2 -virtuaalipalvelinta, joista kaksi toimi työpöytäpalvelimina, yksi connection brokerina eli välityspalvelimenä ja yksi päätelaitteiden hallintapalvelimenä. Palvelinten virtualisointialustana toimi VMWaren VSphere, jolla luotiin ja hallittiin palvelimia. Päätelaitteina oli muutama IGEL UD3- ja IZ2/RFX-kevytpääte. Kuviossa 4 on esitetty testiympäristössä käytetyt virtuaalipalvelimet.



Kuvio 9. Testiympäristön rakenne

Työpöytäpalvelimille asennettiin käyttöjärjestelmäksi Windows Server 2012 r2. Niihin otettiin käyttöön Remote Desktop Services-rooli, joka mahdollistaa usean käyttäjän samanaikaisen yhdistämisen. Kuviossa 10 on yleiskuva RDS-palvelusta ja siinä olevista komponenteista. Käyttäjät yhdistetään rdp-protokollan välityksellä ja jokaiselle käyttäjälle aukeaa palvelimelta jaettu henkilökohtainen työpöytä. Rdp-client-sovelluksena käytetään Igel Linuxpäätteessä olevaa FreeRDP-sovellusta. Työpöydällä olevat kuvakkeet määriteltiin ryhmäkäytäntöjen avulla, eli tietyllä ryhmäliitoksella tietyn sovelluksen kuvake liitettiin käyttäjän työpöydälle. Ainoat testiympäristössä työpöytäpalvelimille asennetut sovellukset olivat yleiset toimisto-ohjelmat ja toimikortin vaatima ohjelmisto.



Kuvio 10. Työpöytäpalvelimen RDS-rooli

Testiympäristössä käyttäjän autentikointiin käytetään Fujitsu mPollux Digsign Client -kortinlukijaohjelmistoa. Ohjelmiston tarjoaa Väestörekisterikeskus ja se sisältyy terveydenhuollon varmennepalveluun, joka on tarkoitettu kansalaisille, organisaatioille ja terveydenhuoltosektorille. Näitä varmenteita käytetään verkon yli tapahtuvassa käyttäjän tunnistamisessa. Tunnistautunut käyttäjä voi varmenteen avulla allekirjoittaa sähköisiä asiakirjoja (Väestörekisterikeskus 2015). DigiSign-ohjelmistosta testiympäristöön asennettiin työpöytäpalvelimille versio 3.2.6.

Välityspalvelimen (Connection Broker) rooli on ohjata käyttäjän kirjautuminen oikealle työpöytäpalvelimelle. Välityspalvelimella oli asennettu sovellus, joka tunnistaa Linux-päätelaitteesta tulevan kirjautumisen toimikortin UPN-tiedon mukaan. UPN-tieto on jokaisen kortin yksilöivä numerosarja, joka on käyttäjätunnuksen alias-nimi käyttäjäprofiiliin AD-tietokannassa. Tiedon luettuaan sovellus joko palauttaa käyttäjän aiemman istunnon tai ohjaa käyttäjän palvelimelle, jolla on vähiten kuormaa.

Suurin osa sovelluksista ajetaan RemoteApp-ratkaisuna omilta sovelluspalvelimilta. Syy tähän on pitää työpöytäpalvelimet ja sovelluspalvelimet erillään. Näin kasvatetaan järjestelmän vikasietoisuutta ja vähennetään käyttökatkojen tarvetta. Tässä ratkaisussa käyttökatkon aikana vain kyseinen sovellus on poissa käytöstä. Jos se olisi asennettu työpöytäpalvelimelle, katko voisi koskea koko ympäristöä. Sovelluspalvelimia voidaan myös käyttää tavallisessa työasemaympäristössä ja näin korvata fyysiset asennukset jakamalla RemoteApp-kuvakkeet keskitetysti työasemille. Tällä tavoin voidaan myös hyödyntää olemassa olevaa ympäristöä, sillä organisaatiolla on jo käytössä muutamia käytössä olevia virtualisoituja sovelluksia, kuten potilastietojärjestelmä ja muutama henkilöstöhallinnon sovellus. Virtualisoidut sovellukset toimivat RemoteApp-tekniikalla. Sovelluspalvelimien ohjelmistojen asennuksien jakeluun käytettiin Microsoftin SCCM-järjestelmää. Järjestelmän avulla voidaan hallitusti jaella oikeat asennuspaketit Windows-palvelin- ja työasemaympäristöissä. Sovelluspalvelimet vaativat myös RDS-roolin, jotta RemoteApp-sovelluksia voidaan luoda.

UMS-palvelimella on asennettuna Igel-päätelaitteiden hallintasovellus. Hallintasovelluksen yhteydessä siihen asennettiin sovelluksen sulautettu tietokanta. Sen voi tarvittaessa siirtää erilliseen tietokantaan tai toiselle palvelimelle asennettuun UMS-ohjelmistoon, jos tuotantoympäristössä käytetään erillistä palvelinta. UMS-ohjelmistoon otettiin käyttöön liitos AD-tietokantaan, josta liitettiin käyttäjiä hallinnan ylläpitäjiksi. AD-liitos helpottaa ylläpitäjän työtä, sillä hallintaan pääsee kirjautumaan henkilökohtaisella Windows-verkon tunnuksella.

5.2 Testiympäristön pääte- ja oheislaitteet

Päätelaitteina testiympäristössä käytettiin kahta eri Igel-mallia; IZ2/RFX ja UD3. IZ2/RFX:n lisenssi kattaa pelkästään Microsoftin yhteysprotokollaa. Päätelaitteet valittiin niiden edullisuuden ja hallittavuuden kannalta. Tavoitteena on kuitenkin saada tuotantoympäristö mahdollisimman päätelaiteriippumattomaksi.

Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiirissä on käytössä maakunnan laboratorioiden näytteenottopisteissä muutama virtuaalinen Oraclen Sun Ray -thin client, mutta

kyseisen laitteen valmistus on lopetettu, joten niiden käyttöä ei voida harkita tässä projektissa.

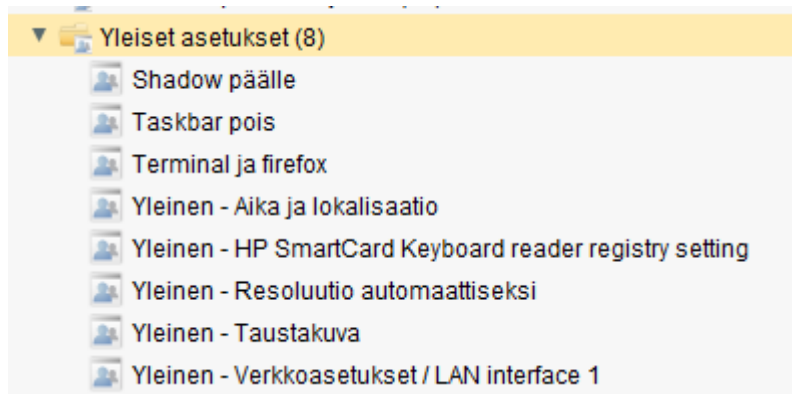
Yhteen päätteeseen on liitetty digitaalinen sanelulaite ja sen vaatimat laiteajurit sekä ohjelmistot. Tavoitteena on saada myös digitaalinen sanelu toimimaan kevytpääteympäristössä. Vastaavasti yhdellä päätelaitteella testattiin sanelun purkuun käytettäviä ohjauspolkimia. Sanelulaitteiden toimittajalta saadun selvityksen perusteelta tarvittiin tuotantoympäristöstä poiketen uudempi versio laiteajureista. Aiemmassa versiossa ei ollut tukea Linux-pohjaiselle ympäristölle. Sanelulaitteena käytettiin Philips SpeechMike III -sarjan digisanelimia. Laite on tällä hetkellä uusin organisaatiossa käytössä olevista. Vanhemmat mallit eivät ole Igelin, eikä enään nlaitevalmistajan virallisesti tukemia, joten muita malleja testaukseen ei harkittu.

Muita testattavia oheislaitteita ovat tulostimet. Tulostinmallien laajan krjon takia ja ylläpidon helpottamiseksi valittiin vain muutama yleisimmin käytössä oleva malli. Tarkoitus on tukea samoja malleja myös tuotantoympäristössä. Tulostusta on tavoite keskittää oheistulostimien sijasta enemmän verkkotulostukseen ja näissä verkkotulostimissa käytetään mahdollisimman paljon turvatulostusta. Turvatulostuksella tarkoitetaan, että tulostustyön saamiseksi käyttäjä tunnistetaan tulostinlaitteella. Tunnistautumiseen käytetään toimikorttia ja sen sisältämää RFID-sirua. Käytännössä turvatulostus tarkoittaa yhtä erillistä tulostusjonoa ja tulostettava materiaali on noudettavissa kaikista organisaatiossa olevista tulostimista, joissa turvatulostus on käytössä. Ylläpito yksinkertaistuu, sillä laitekohtaisia tulostusjonoja ei tarvitse määrittää jokaiselle kevytpäätteelle. Samalla myös käyttäjän liikkuvuus helpottuu, koska käyttäjän ei tarvitse käyttää vain tiettyjä tulostimia. Tavallisia oheistulostimia kuitenkin tarvitaan pisteissä, joissa ollaan suoraan kontaktissa potilaaseen tai asiakkaaseen, ja tulostuksen noutaminen kauempaa vaikeuttasi toimintaa. Kaikkia verkkotulostimia ei voida korvata turvatulostimella, joten nämä verkkotulostimet määritellään käyttäjälle ryhmäkäytäntöjen avulla.

Päätelaitteet on rajattu omaan virtuaalilähiverkkoon (VLAN). Tähän verkkoon otettiin käyttöön DHCP-palvelu. DHCP:n avulla päätelaitteet saavat automaattisesti laitekohtaisen IP-numeron. DHCP mahdollistaa myös päätteiden lisäämisen hallinnan piiriin ennen kun ne kytetään verkkoon. Muuten niille olisi pitänyt määritellä

kiinteä IP-numero ensimmäisellä käynnistyskerralla laitekohtaisesti. Laitteita ei liitetä toimialueelle, koska toimialueliitos ei tuo Linux-päätteiden kohdalla lisäarvoa.

UMS Consolella luotiin testiympäristöä varten profiileja, joilla ensiksi määriteltiin kevytpäätteille yleiset kaikkiin laitteisiin käytettävät asetukset. Näitä ovat muun muassa näppäimistön kielimääritykset, kortinlukijallisen näppäimistön käyttäminen ja käyttöliittymän muokkaus mahdollisimman yksinkertaiseksi. Kuviossa 11 on esitettyä kyseiset kaikille laitteille jaetut asetukset. Yleisten asetusten lisäksi määriteltiin enemmän kohdennettuja profiileja päätelaitteen toiminnan määrittämiseksi. Käytännössä laitteessa olevan etäyhteyteen käytettävän FreeRDP-sovelluksen muodostaman yhteyden määrittämistä virtuaaliympäristöön. FreeRDP-sovellus on Linux-ympäristössä toimiva RDP-asiakassovellus. Profiilien asetuksia ja UMS:n käyttöä pyrittiin parantamaan koko testauksen ajan.



Kuvio 11. Testiympäristön päätteiden yleiset asetukset

Projektin tavoitteena ollutta käynnistyssovellusta ei testiympäristöön asennettu, vaan se otetaan käyttöön suoraan tuotantoympäristössä.

5.3 Testaus

Testaus toteutettiin tietohallinnon sisällä muutamalla käyttäjällä. Tarkoituksena oli saada kokemuksia RDS-työpöytäympäristön ja siinä käytettävien päätelaitteiden sekä oheislaitteiden perustoiminnallisuuksista ja käytettävyydestä. Testauksen tuloksien perusteella päätetään projektin jatkosuunnitelma.

Testauksessa käytetyt käyttäjätunnukset olivat peruskäyttäjän käyttöoikeuksilla ja vastasivat tavallisen käyttäjän tunnuksia. Tällä pystytään todentamaan myös todellista käyttötilannetta vastaava toiminta ja helpottaa käytettävyyden parantamista. Kirjautumisen testaukseen käytetyt toimikortit olivat liitettynä kyseisiin käyttäjätunnuksiin.

Ensimmäinen vaihe testauksessa oli toimikorttikirjautuminen päätelaitteelta työpöytäpalvelimelle. Samassa yhteydessä käsiteltiin järjestelmän vakautta ja session siirtoa toiselle päätteelle. Testaus toteutettiin tekemällä useita peräkkäisiä kirjautumisia ja vaihtamalla päätelaitetta. Päätelaitteen vaihdolla pystyttiin toteamaan session siirtyminen ja olemassa olevan session palauttaminen oikealle käyttäjälle. Tämän vaiheen jälkeen testattiin RemoteApp-sovellusten julkaisua suoraan kevytpäätteiden työpöydälle ja niiden käytettävyyttä sekä vakautta.

Muita testattuja asioita olivat oheislaitteet. Oheistulostimia ja niiden liittämistä rdp-istuntoon testattiin ja todettiin toimiviksi. Enemmän huomiota tuli kiinnittää digitaalisen sanelun toimivuuteen ja laitteiden toiminnallisuuteen virtuaaliympäristössä. Etenkin sanelulaitteen painikkeiden toimivuus tuli testata virtuaaliympäristössä ja varsinkin virtualisoidun potilastietojärjestelmän kanssa. Sanelulaitteiden testaus toteutettiin tekemällä potilastietojärjestelmässä olevalle testipotilaalle uusi sanelu Igel-päätelaitteelta.

RemoteApp-sovelluksien sisäisiä toiminnallisuuksia testattiin lähinnä toimikorttikirjautumisen ja session siirtämisen osalta. Koska osa sovelluksista on jo Windows-ympäristössä käytössä RemoteAppin kautta, ei sisällön testaamiselle ollut sen kannalta tarvetta.

6 TULOKSET

Työn tuloksia käsitellään toiminnallisuuden sekä käytettävyyden näkökulmista ja niiden perusteella voidaan siirtyä rakentamaan tuotantoympäristöä.

6.1 Haasteet

Testiympäristössä tuli ilmi, että toimikortin käyttäminen kirjautumiseen osoittautui ongelmalliseksi. Ongelmat johtuivat käyttäjätunnustietojen välittämisestä palvelimelta toiselle. Tässä tapauksessa ongelma esiintyi, kun työpöytäpalvelimelta käynnistää minkä tahansa virtualisoidun sovelluksen, piti avaamisen yhteydessä käyttäjän syöttää PIN-koodi uudelleen. Käyttäjätunnuksella ja salasanalla kirjauttaessa tätä ongelmaa ei ollut, eikä myöskään silloin jos sovellukset ajettiin samalta palvelimelta. Ratkaisua ei ole testiympäristössä käytetyllä tekniikalla saatavissa, sillä Microsoft ei tuotteissaan itsessään tue käyttäjän PIN-koodin delegoimista eteenpäin seuraavalle palvelimelle (Microsoft TechNet 2015).

PIN-koodin uudelleenvälittämisen lisäksi korttikirjautumisohjelmiston testiympäristössä käytetyssä versiossa esiintyi satunnaista epävakautta. Satunnainen epävakaus esiintyi tiettyjen ohjelmistojen yhteydessä ja oli ratkaistu uudemmassa versiossa. Uudempi versio ei kuitenkaan ollut tuettu kaikkien ohjelmistojen osalta ja toimi epävakaaasti Igel-päätteestä kirjauduttaessa olemassa olevaan istuntoon. Igel-päätteiden osalta ongelma ei ollut korttiohjelmistossa, vaan laitteessa ja korjaantui laiteohjelmiston versiopäivityksellä, joka julkaistiin testauksen aikana.

Korttikirjautumisen lisäksi haasteelliseksi koettiin käyttäjän palvelinistunnon siirtäminen päätteeltä siirryttäessä toiselle. Työpöytäistunnon siirtämisessä ei ilmennyt ongelmia, mutta jos työpöydälle jätetään auki jotain sovelluksia, niissä saattoi ilmetä satunnaista epävakautta. Epävakaus liittyi sovelluksien tekemiin tietokantalukituksiin käyttäjän ja päätelaitteen nimen perusteella. Käytännössä ongelma ilmeni, kun käyttäjä siirtyi päätteeltä toiselle, sovellus saattoi ilmoittaa käyttäjän tietojen olevan jo varattuna edellisellä päätteellä. Ongelma saatiin kuitenkin ratkaistua kertomalla käyttäjän päätelaitteeksi työpöytäpalvelimen nimi, koska se ei vaihdu päätettä vaihdettaessa.

6.2 Johtopäätökset

Muilta toiminnallisuuksiltaan testiympäristö todettiin toimivaksi ja sen pohjalta aloitettiin rakentamaan palvelinympäristöä tuotantokäyttöä varten. Tekniikaksi valittiin RDS-työpöytä ja RemoteApp-sovellukset sekä päätelaitteiksi Igel UD2 -sarjan kevytpäätteet. Toimikorttikirjautumisessa olleiden haasteiden ja projektin edistämisestä johtuen alustavasti päätelaitteisiin kirjaudutaan Windows-verkon tunnuksella. Korttikirjautumiseen liittyviä ongelmia ratkotaan kuitenkin tuotantoympäristöä rakennettaessa ja tavoitteena on saada se toimimaan ennen laajempaa käyttöönottoa. Toimikorttia voidaan kuitenkin käyttää digitaaliseen allekirjoitukseen, joka on oleellinen osa esimerkiksi lääkärin työtä. Digitaalinen allekirjoitus on vaadittu muun muassa sähköisiä reseptejä määrättäessä.

Testauksessa olleiden UD3-sarjan päätteiden sijasta UD2-sarja on suorituskyvyltään riittävä ja ainoa konkreettinen ero on integroidun kortinlukijan puute. Nykyään käytettävissä työasemissa on liitettynä näppäimistöt, joissa on integroidut kortinlukijat. Samat näppäimistöt toimivat myös UD2-kevytpäätteissä, joten integroidulle lukijalle ei ole tarvetta. Näppäimistössä olevan lukijan ansiosta päätteiden sijoittelukin on vapaampaa ja ne voidaan kytkeä esimerkiksi VESA-kiinnikkeellä näytön taakse.

Tuotantoympäristön rakenne tulee vastaamaan suurimmilta osin testiympäristön rakennetta, mutta yksittäisten palvelimien sijaan käytetään erillisiä palvelinfarmeja suuren käyttäjämäärän mahdollistamiseksi. Testiympäristöstä poiketen rakennetaan lisäksi yksi erillinen palvelinfarmi internetselausta varten. Tältä farmilta julkaistaan internetselain tai selaimet virtuaaliselle työpöydälle. Näin saadaan kasvatettua tietoturvaa pitämällä internetselaus omassa ympäristössään. Testiympäristössä olevaa välityspalvelinta ei sellaisenaan tarvita tuotannossa, sillä korttikirjautuminen jää toteutettavaksi myöhemmin. Välityspalvelimella oleva sovellus toimii kuitenkin odotetusti eikä aiheuttanut minkäänlaista epävakautta.

Digitaalinen sanelu saatiin toimimaan testiympäristössä toiminnallisuutensa puolesta, mutta testausta tulee jatkaa usealla yhtäaikaaisella käyttäjällä vakauden selvittämiseksi. Samoin myös testatut oheistulostimet toimivat ongelmitta. Kaikki oheislaitteet vaativat kuitenkin Igel-päätteissä erilliset profiilit, joissa jokaiselle pää-

telaitetyypille määriteltiin asetuksia. Oletusasetuksilla esimerkiksi sanelulaitteen äänen ja painikkeiden toimivuus RDP-istunnossa ei ollut päällä. Oheistulostimille täytyi myös määrittää asetus, jolla tulostin näkyi päätelaitteen lisäksi virtuaaliympäristössä.

Testauksen aikana laadittiin toimintatapa päätteisiin etäyhteydellä tapahtuvaan tukitoimintaan sekä uusien laitteiden tuomiseen hallinnan piiriin. Nykyinen etäyhteystyökalu on tarkoitettu vain Windows-käyttöjärjestelmällä ja toimialueelle liitettyihin laitteisiin. Etäyhteyden käyttäminen on olennainen osa tukitoimintaa ja kevytpäätteiden etäyhteyksiin käytetään UMS:n Remote Shadow -toimintoa. UMS-hallintasovellukseen luotiin testauksessa AD-integraatio ja ylläpitäjät pääsevät kirjautumaan hallintaan henkilökohtaisella Windows-tunnuksella. Ylläpitäjien käyttöliittymää muokattiin yksinkertaisemmaksi, koska heidän tehtävissään käyttötarve on lähinnä etäyhteyden käyttöä ja uusien laitteiden lisäämistä. Näiden tarpeiden pohjalta käyttöoikeuksia ja pääsyä muihin toimintoihin rajoitettiin. UMS-sovellukseen jätettiin järjestelmävalvojan erillinen tunnus, jolla on täydet oikeudet koko järjestelmän hallintaan ja osakomponentteihin.

Kevytpäätelaitteita tuotantoympäristöön on kahdenlaiseen käyttötarkoitukseen. Ensimmäinen käyttötarkoitus on käyttää päätteellä RDS-työpöytää, joka on jaettu työpöytäpalvelinfarmilta. Sovellusten käyttö tapahtuu työpöytäpalvelimen kautta. Toisessa käyttötapauksessa päätelaitteelta käytetään vain kahta sovellusta, joista ensimmäinen on tässä tapauksessa potilastietojärjestelmä ja toinen internet-selain, jolla voidaan tarjota sisäverkossa toimivia web-pohjaisia palveluita. Sovellukset julkaistaan RemoteApp-sovelluksena päätelaitteen työpöydälle UMS-ohjelmiston kautta. Pelkkään sovelluskäyttöön tulevaa päätettä voidaan myös tarjota palveluna Etelä-Pohjanmaan alueen muille terveydenhuollon organisaatioille.

7 YHTEENVETO

Testiympäristössä työpöydän ja sovelluksien virtualisointiin käytetyt RDS- ja RemoteApp-tekniikat soveltuivat parhaiten organisaation tarpeisiin projektin tavoitteet huomioiden. Samoin päätelaitteiksi valitut Igel-kevytpäätteet, jotka ovat hyvin yhteensopivia edellä mainittujen tekniikoiden kanssa. Myös laitteiden hallinta Universal Management Suite oli selkeä toiminnallisuuksiltaan ja ylläpidoltaan.

Työn tavoitteena oli nopea kirjautumisaika, käyttäjän session siirtyminen ja toimikorttikirjautuminen. Työhön asetettuihin tavoitteisiin päästiin kaiken muun paitsi toimikorttikirjautumisen osalta. Kirjautumiseen liittyvien ongelmien ratkaisemista jatketaan tuotantoympäristön käyttöönoton aikana. Tavoitteesta täytyi luopua siltä osin, että projektia pystyttiin jatkamaan. Muilta osin testiympäristöstä saadut tulokset mahdollistivat tuotantoympäristön rakentamisen. Virtualisointiprojektin jatko käsittää palvelinympäristön rakentamista ja kertakirjautumisjärjestelmän käyttöönottoa.

Opinnäytetyössä käsitelty projekti on opettanut ymmärtämään laajasti virtualisointia kokonaisuutena sekä suurikokoisessa organisaatiossa toimintaympäristön muutoksen suunnittelua ja toteutusta, sekä strategisesta että teknillisestä näkökulmasta. Työn aikana on myös saanut kokemusta IT-projekteista sekä oppinut ymmärtämään laajoja, useasta eri toimittajasta riippuvia järjestelmäkokonaisuuksia.

LÄHTEET

Cerling, T. & Buller, J. Mastering Microsoft Virtualization. 2009. Yhdysvallat: Sybex.

Citrix. 2015. Tietoja meistä. [www-dokumentti]. Citrix Inc. [Viitattu 3.10.2015]. Saatavissa: <https://www.citrix.fi/about.html>

Dittner, R. & Rule, D. 2007. The best damn virtualization book period. Yhdysvallat: Syngress Publishing.

Etelä-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri. 2015. Yleisesittely.[www-dokumentti]. EPSHP. [Viitattu 22.8.2015]. Saatavissa: http://www.epshp.fi/files/111/Esittelydiat_EPSHP_2015.pdf

IGEL. 2015a. Hardware overview. [www-dokumentti]. IGEL Technology. [Viitattu 22.8.2015]. Saatavissa: <https://www.igel.com/products/igel-thin-clients/hardware-overview/overview-hardware.html>

IGEL. 2015b. Who we are. [www-dokumentti]. IGEL Technology. [Viitattu 22.8.2015]. Saatavissa: <https://www.igel.com/company/who-we-are.html>

IGEL. 2015c. Universal Management Suite. [www-dokumentti]. IGEL Technology. [Viitattu 1.10.2015]. Saatavissa: http://edocs.igel.com/manuals/pdf/en_ums.pdf

Knuth, G. 2009. Converting PCs into thin clients - a rundown of a suddenly crowded niche. [www-dokumentti]. [Viitattu 30.9.2015]. Saatavissa: <http://www.brianmadden.com/blogs/gabeknuth/archive/2009/09/29/converting-pc-s-into-thin-clients-a-rundown-of-a-suddenly-crowded-niche.aspx>

McCabe, L. 2009. What is a Thin Client, and Why Should You Care?. [Verkköjulkaisu]. [www-dokumentti]. IT Business Edge. [Viitattu 30.9.2015]. Saatavissa: <http://www.smallbusinesscomputing.com/testdrive/article.php/3836486/What-is-a-Thin-Client-and-Why-Should-You-Care.htm>

Microsoft. 2015a. Overview of RemoteApp. [www-dokumentti]. Microsoft Corporation. [Viitattu 1.9.2015]. Saatavissa: <https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc755055.aspx>

Microsoft. 2015b. Windows Embedded Standard 7. [www-dokumentti]. Microsoft Corporation [Viitattu 1.9.2015]. Saatavissa: <https://www.microsoft.com/windowseembedded/en-us/windows-embedded-standard-7.aspx>

- Microsoft TechNet. 2015. Failure to Delegate Default Credentials with Smart Card. [www-dokumentti]. Microsoft Corporation. [Viitattu 1.9.2015] Saatavissa: [https://technet.microsoft.com/en-us/library/ee844194\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/en-us/library/ee844194(v=ws.10).aspx)
- Nasdaq. 2015. Growing Competition For VMware In Virtualization Market. [www-dokumentti]. Nasdaq. [Viitattu 1.10.2015]. Saatavissa: <http://www.nasdaq.com/article/growing-competition-for-vmware-in-virtualization-market-cm316783>
- Odgen, D. 2013. Choosing between 'Thin vs Zero' Clients for Virtual Desktop Computing. [www-dokumentti]. Devon IT. [Viitattu 30.9.2015]. Saatavissa: <http://www.devonit.com/blog/thin-vs-zero-thin-vs-zero-clients-virtual-desktop-computing>
- Portnoy, M. 2012. Virtualization Essentials. Yhdysvallat: Sybex.
- Ruest, D. & Ruest, N. 2009. Virtualization: A Beginner's Guide. Yhdysvallat: The McGraw-Hill Companies.
- Tulloch, M. 2010. Understanding Microsoft Virtualization Solutions (Second Edition). Yhdysvallat: Microsoft Press.
- VMWare. 2015. Products. [www-dokumentti]. VMWare Inc. [Viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <http://www.vmware.com/products>
- Väestörekisterikeskus. 2015. Varmenteet. [www-dokumentti]. [Viitattu 1.10.2015]. Saatavissa: <http://vrk.fi/default.aspx?id=134>