

Pilvipalveluympäristön rakentaminen

Anna Saavalainen

Opinnäytetyö
Maaliskuu
2016

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma
Luonnontieteiden ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tekijä(t) Saavalainen, Anna	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 14.03.2016
	Sivumäärä 60	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Pilvipalveluympäristön rakentaminen		
Tutkinto-ohjelma Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jarkko Immonen, Tero Ratilainen		
Toimeksiantaja(t) Pardco Group Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla kahta erilaista pilvipalvelua toisiinsa sekä asentaa toinen pilvipalveluympäristöön. Toimeksiantajana työssä oli jyvaskyläläinen Pardco Group Oy, joka halusi selvittää, mitä ominaisuuksia uusi pilvipalvelu sisältää.</p> <p>Tutkimus toteutettiin kehittämistutkimuksena. Teoreettisessa viitekehyksessä tutkimuksen alussa perehdyttiin pilvipalveluihin käsitteenä sekä esiteltiin yleisesti siihen liittyvät asiat. Varsinaisessa kehitystyössä rakennettiin pilvipalveluympäristö, asennettiin valittu pilvipalvelu sekä tutustuttiin sen ominaisuuksiin testaamalla.</p> <p>Pilvipalveluiden vertailu suoritettiin kriteeristön avulla. Vertailtavina palveluina olivat vOneCloud sekä Platform9, joista asennettavaksi päättyi vOneCloud. Pilvipalveluympäristö rakennettiin VMwaren tuotteilla, joita olivat vSphere sekä vCenter. vOneCloudin graafisena käyttöjärjestelmänä toimi OpenNebula Sunstone.</p> <p>Tutkimustuloksina saatiin vOneCloud asennettua sille rakennettuun ympäristöön sekä testattua sitä. Ominaisuuksia, mukaan lukien virtuaalikoneet sekä käyttäjät ja käyttäjäryhmät voitiin luoda ja hallita monipuolisesti ja helposti. Tuote oli nopeahko asentaa. Opinnäytetyö tarjoaa asennusohjeet pilvipalveluympäristön rakentamiseen, vOneCloudin asentamiseen sekä testaamiseen, ja sitä voivat hyödyntää niin toimeksiantaja kuin muutkin pilvipalveluista sekä niiden rakentamisesta kiinnostuneet.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Pilvipalvelut, virtualisointi, virtuaaliympäristö, virtuaalikone, IaaS, PaaS, SaaS, VMware, vSphere, vCenter, vOneCloud, OpenNebula		
Muut tiedot		

Author(s) Saavalainen, Anna	Type of publication Bachelor's thesis	Date 14.03.2016
	Number of pages 60	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: X
Title of publication Setting up of cloud service environment		
Degree programme Business Information Systems		
Supervisor(s) Immonen, Jarkko; Ratilainen, Tero		
Assigned by Pardco Group Ltd.		
Description <p>The purpose of the thesis was to compare two cloud computing solutions and install the chosen one to a cloud service environment. The thesis was assigned by Pardco Group Ltd, a company which needed to know what properties a new cloud service include.</p> <p>The research method of the thesis was development study. The theoretical framework consist of basic information on cloud computing such as virtualization and utility computing. In the actual development work the cloud service environment was build, after this the chosen cloud service was installed and tested.</p> <p>The comparison of the cloud computing services was performed with the help of the set criteria. The services to be compared were vOneCloud and Platform9 of which vOneCloud was installed. The environment of the cloud service was built on products with VMware vSphere and vCenter. As graphic operating system of OpenNebula Sunstone was selected as the graphic operating system of vOneCloud.</p> <p>As result, vOneCloud was installed and tested in the cloud service environment. It was easy to create and command the new virtual machines, users and user groups. It was fairly quick to install the product. The thesis offers installation manuals to the build cloud service environment and installation and testing manuals to the vOneCloud. The thesis can be used by the client and everyone who are interested in cloud computing.</p>		
Keywords (subjects) cloud computing, virtualization, cloud service environment, virtual machine, IaaS, PaaS, SaaS, VMware, vSphere, vCenter, vOneCloud, OpenNebula		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Pilvipalvelut osana yhteiskuntaa	3
2	Tutkimusasetelma.....	4
2.1	Toimeksiantaja	4
2.2	Tutkimus- /kehittämismenetelmät.....	4
2.3	Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset	8
3	Pilvipalvelut.....	9
3.1	Yleistä pilvipalveluista.....	9
3.2	Virtualisointi.....	10
3.2.1	Virtualisointi ja pilvipalvelut	11
3.2.2	Hypervisor	11
3.3	Pilvipalvelumallit.....	13
3.3.1	IaaS	14
3.3.2	PaaS	15
3.3.3	SaaS.....	15
3.4	Pilvipalvelumarkkinat.....	16
3.4.1	Toimijat.....	16
3.4.2	VMware	16
3.4.3	OpenStack.....	18
3.4.4	vOneCloud	21
3.4.5	Platform9	22
3.5	Pilvipalvelut ja tietoturva.....	22
4	Kehitystyö.....	24
4.1	Toteutus.....	24
4.2	Kriteeristö	26
4.3	Valinta	28
4.4	Pilvipalveluympäristön rakentaminen.....	28
4.4.1	Yleistä	28
4.4.2	vSphere Hypervisor	29
4.4.3	vCenter Server	33
4.4.4	vOneCloud	35
4.4.5	Testaus.....	41
4.5	Tulokset.....	52
4.6	Haasteet asennuksessa.....	53
5	Johtopäätökset	55
	Lähteet.....	57

Kuviot

Kuvio 1. Hypervisor.....	12
Kuvio 2. Pilvipalvelumallit.....	14
Kuvio 3. vCloud	17
Kuvio 4. OpenStackin komponentit.....	19
Kuvio 5. vOneCloudin vaatimukset	29
Kuvio 6. VMwaren lataussivusto	30
Kuvio 7. ESXi asentumassa	31
Kuvio 8. Ip-osoitteen konfigurointi.....	32
Kuvio 9. vSphere Client.....	33
Kuvio 10. vCenter konfiguroituna	34
Kuvio 11. vSphere Web Client	35
Kuvio 12. vOneCloudin .ova-tiedoston lataus	36
Kuvio 13. .ova-tiedoston lisääminen Web Clientiin	37
Kuvio 14. vOneCloud latautumassa.....	38
Kuvio 15. vOneCloud-konsolin ensinäkymä	39
Kuvio 16. vOneCloud konfiguroitu	39
Kuvio 17. OpenNebula Sunstone pääkäyttäjänäkymä	40
Kuvio 18. oned.conf-tiedosto	42
Kuvio 19. Move Hosts Into Cluster -painike	43
Kuvio 20. Hostin lisääminen OpenNebulaan.....	44
Kuvio 21. vCenter OpenNebulassa	45
Kuvio 22. Käyttäjät-näkymä OpenNebulassa	46
Kuvio 23. OpenNebula Template	47
Kuvio 24. Debian asennuksen alussa.....	49
Kuvio 25. Debianin ip-osoite	50
Kuvio 26. Apache toimii.....	51
Kuvio 27. Debian vCenterissä	51
Kuvio 28. Debian OpenNebulassa	52

Taulukot

Taulukko 1. Toimintasuunnitelma.....	25
Taulukko 2. vOneCloud ja Platform vertailussa	26

1 Pilvipalvelut osana yhteiskuntaa

Pilvipalvelut ovat nuoresta iästään huolimatta tulleet kiinteäksi osaksi nyky-yhteiskuntaamme. Vaikka perinteisiä konesaleja ja fyysisiä ohjelmistoja on edelleen käytössä, pilvipalveluiden suosiota ovat lisänneet mahdollisuus tehdä asiat nopeammin, helpommin sekä myös taloudellisimmin. Tosin nykyään taloudellisuutta enemmän ajatellaan etuna prosessimuutosta, joka mahdollistaa yrityksille täysin uudet tavat toimia. (Salo 2014, 102.)

Pilvipalvelumarkkinoilla on useita erilaisia toimijoita ja toimintatapoja. Myös käyttäjiä on yksityisistä ihmisistä aina satoja ihmisiä työllistäviin yrityksiin. Pilvipalvelumarkkinat koostuvat viidestä keskeisestä toimijasta: asiakkaista, palveluntarjoajista, palveluiden jälleenmyyjistä, palveluiden välittäjistä sekä auditoijista. (Salo 2014, 100.) Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii jyväskenyläläinen Pardco Group Oy, joka lukeutuu palveluntarjoajiin.

Opinnäytetyössä tutustutaan Pardco Groupin näkökulmasta kahteen erilaiseen pilvipalveluun, koska yritys haluaa lisätä pilvipalveluvalikoimaansa. Opinnäytetyössä selvitetään, minkälainen pilvipalvelu soveltuisi parhaiten yrityksen käyttöön. Pilvipalveluita verrataan kriteeristön avulla toisiinsa, ja valittu palvelu asennetaan sille rakennettuun ympäristöön sekä testataan. Ympäristön rakentaminen kuuluu osaksi tätä opinnäytetyötä, ja opinnäytetyössä tullaankin käymään lävitse ne tarpeelliset työt, joita valittu palvelu vaatii toimiakseen. Tähän kuuluu oleellisena mm. virtualisointialustan rakentaminen. Työn lopussa pohditaan valitun palvelun soveltuvuutta Pardco Groupin käyttöön.

Tällä tutkimuksella saadaan lisätietoa ajankohtaisista pilvipalveluista ja niiden käytöstä todellisessa työympäristössä. Lisäksi opinnäytetyö tarjoaa ohjeet pilvipalveluympäristön rakentamiseen sekä testaamiseen.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Pardco Group Oy. Pardco Group (myöhemmin myös toimeksiantaja) on Jyväskylässä toimiva ICT-alan palveluja ja ohjelmistoja toteuttava monipuolinen teknologiayritys.

Asiakaslähtöisyys yhdistettynä asiantuntemukseen tekee yrityksestä vahvan toimijan omalla alallaan. Yrityksellä on laaja kumppaniverkosto, mutta se on kuitenkin täysin riippumaton laite- ja ratkaisutoimittajien palveluista.

(Yrityksestä n.d.)

Vaikka Pardco Group on asiantuntijaorganisaatio, se on kuitenkin hyvin asiakaslähtöinen. Pardcon pyrkimyksenä on omien tuotteidensa avulla auttaa asiakasta menestymään. Ratkaisut räätälöidään aina yksilöllisesti asiakkaan liiketoiminnan ja tarpeen mukaan. (Yrityksestä n.d.)

Pardcolla on käytössään paljon eri tuotteita sekä teknologioita, kuten verkkokaupat integroituina myyntijärjestelmiin, konesalipalvelut ja virtuaalipalvelimet, pilvipalvelut, ajanvarausohjelmistot, integroidut kassajärjestelmät, järjestelmäylläpito sekä yrityssivustot. Teknologioista ovat käytössä mm. Linux debian ja Ubuntu, Magento, VMware, OpenStack, Drupal ja Google Apps. (Yrityksestä n.d.)

2.2 Tutkimus- /kehittämismenetelmät

Tutkimusmenetelmänä tässä työssä on kehittämistutkimus. Tämä tutkimusmenetelmä valikoitui käytettäväksi, koska kyseessä on kehitystyö, johon liitetään tutkimus. Yleensä kehittämistutkimuksen suorittamisessa perusteena on olemassa oleva ongelma, johon haetaan ratkaisua tutkimuksen avulla. (Kananen 2012, 19–21.) Tämä asia toteutuu myös tässä tutkimuksessa, jossa haetaan kahta erilaista pilvipalvelua vertaamalla paras

ratkaisu toimeksiantajan tarpeisiin ennalta määritellyn kriteeristön pohjalta. Toimeksiantaja haluaa lisätä pilvipalveluvalikoimaansa ja selvittää, mikä palvelu soveltuu heidän tarpeisiinsa parhaiten.

Tutkimuksesta saatu ratkaisu tullaan sovittamaan toimeksiantajan vaatimukseen sopivaan toimintaympäristöön. Kehittämistutkimus vaatii tutkimuksellista otetta, jotta saadaan selville tausta sekä teoriat, joihin tutkimuksessa nojataan. (Kananen 2012, 19–21.) Myös tässä opinnäytetyössä tutkimus nojaa taustateorioihin.

Kehittämistutkimus jaetaan kuuteen eri vaiheeseen, joita ovat (Kananen 2012, 52.):

- nykytilan kartoitus
- ongelmatilanteen analyysi ja siihen vaikuttavat tekijät
- synteesi: parannusehdotus ja interventio
- kokeilu
- arviointi sekä
- seuranta.

Ohessa selvitetään, kuinka nämä eri vaiheet tulevat esille tässä opinnäytetyössä.

Nykytilan kartoitus

Kehittämistutkimus alkaa aina siihen ilmiöön perehtymällä, jota tuleva tutkimus koskee. Tätä voidaan kutsua kehittämistutkimuksen lähtökohdaksi, koska on selvitettävä ilmiö, jotta siihen voidaan tarjota ratkaisua interventio- sekä kokeiluvaiheessa. Ilmiöön perehtymistä helpottaa mm. alan kirjallisuus, julkaisut sekä kysymysten esittäminen aiheeseen perehtyneille henkilöille. (Kananen 2012, 54–60.)

Tässä työssä nykytilannetta on kartoitettu keskustelemalla toimeksiantajan kanssa. Tässä yhteydessä tuli selville, että virtualisointialustana heillä on mm. VMware. He haluaisivat tietää, kuinka uusi tuote vOneCloud integroituu tähän alustaan ja miten sitä käytetään. vOneCloudia ei heillä ole asennettu eikä testattu aiemmin. Koska kyseessä on tutkimus, tullaan tätä uutta tuotetta vertaamaan toiseen pilvipalveluratkaisuun, joka tässä tapauksessa on Platform9. Kriteeristön pohjalta valittu ratkaisu asennetaan.

Toimeksiantajan keskustelun pohjalta olen tutustunut aiheeseen myös internetiä ja alan kirjallisuutta tutkimalla sekä kysynyt ilmiöstä aiheeseen perehtyneiltä henkilöiltä.

Ongelmatilanteen analyysi ja siihen vaikuttavat tekijät

Kehittämiskohde tulee rajata aina tarkasti. Esimerkiksi organisaation ollessa tutkimuksen kohteena voidaan se rajata tiettyyn osastoon tai henkilöstöryhmään. Ongelmatilanne täytyy ymmärtää, jotta siihen voidaan löytää oikea ratkaisu. (Kananen 2012, 63–64.)

Tässä työssä tutkittava asia on rajattu kahteen eri pilvipalveluun sekä teknologiaan niin ajallisten resurssien vuoksi kuin myös siksi, että työ pysyisi selkeänä ja vertailu pilvipalveluiden välillä olisi helpompaa. Lisäksi kokeiluvaiheessa asennetaan ainoastaan toinen palveluista. Analyysin sekä rajauksen pohjalta on esitetty tutkimusongelma sekä -kysymykset, jotka on kerrottu luvussa 2.3.

Synteesi: parannusehdotus ja interventio

Jotta ongelma voidaan ratkaista, täytyy löytää oikea ratkaisumenetelmä eli interventio. Tätä ennen täytyy olla perehtynyt tutkittavaan ilmiöön tarpeeksi kattavasti. Ratkaisuvaihtoehdoissa tulee käydä ilmi, miksi tiettyyn menettelytapaan on päädytty. (Kananen 2012, 74–75.)

Ratkaisumenetelmänä tässä työssä tullaan käyttämään apuna kriteeristöä. Kriteeristö luodaan toimeksiantajan sekä muiden resurssien, kuten toimintaympäristön, infrastruktuurin, perusteella. Ilmiöön eli tässä

tapauksessa pilvipalveluihin perehdytään luvussa 3, ja kriteeristö käydään lävitse kohdassa 4.2.

Kokeilu

Tässä vaiheessa toteutetaan kehittämissuunnitelma.

Kehittämissuunnitelman läpiviemiseksi on hyvä ottaa avuksi toimintasuunnitelma, jossa kuvataan kokeiluvaiheen toiminnot. (Kananen 2012, 77.)

Seuraaviin kysymyksiin tulee olla vastaukset (Kananen 2012, 77–78.):

- perustelut projektille
- kehittämisprojektin tavoite
- toteuttamiseen tarvittavat tehtävät
- henkilöt
- ajoitus
- resurssit (aineelliset) sekä
- resurssit (taloudelliset).

Kokeiluvaiheen toimintasuunnitelma löytyy kohdasta 4.1 (Toimintasuunnitelma) taulukosta 1.

Seuranta

Seurantavaiheessa arvioidaan se, kuinka hyvin alussa asetettuun tavoitteeseen on päästy. Kehittämistavoitteita mitataan sillä, onko päästy siihen tavoitteeseen, jota alussa tavoiteltiin. Tavoitteen toteuttamista voidaan arvioida suhteessa asetettuun tavoitteeseen tai muutoksena. (Kananen 2012, 80–81.)

Tutkimuksen tulokset on esitetty luvussa 4.5 Tulokset, ja näiden avulla voidaan päätellä, kuinka hyvin alussa asetettuun lopputulokseen päästiin. Tavoitteena on selvittää vertailemalla, kumpi kahdesta pilvipalvelusta vastaa toimeksiantajan tarpeisiin parhaiten. Valittu palvelu asennetaan sekä testataan. Tavoitteena on myös tuottaa arvokasta lisätietoa toimeksiantajalle valitusta pilvipalvelusta ja sen asentamisesta. Tulosta voidaan täten mitata sillä, kuinka konfigurointi on saatu tehtyä ja mitä lisätietoa toimeksiantajalle saatiin tuotettua. Varsinaista seuranta ei tässä opinnäytetyössä voitu suorittaa. Vaatii pidemmän ajan, jotta voidaan sanoa, kuinka valittu pilvipalvelu toimii varsinaisessa yrityskäytössä.

2.3 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Tutkimus lähtee toimeksiantajan tarpeesta selvittää pilvipalveluiden eroavaisuuksia, jotta he tietävät, ottavatko mahdollisesti uuden tuotteen tuoterepertuaariinsa ja miten se eroaa toisesta tuotteesta. Oleellista tietoa tämän asian selvittämiseen on se kuinka tuotteet eroavat toisistaan, kuinka valittu palvelu konfiguroidaan sekä miten kahta valittua pilvipalvelua voi verrata toisiinsa.

Edellä esitetyn tutkimusongelman perusteella tutkimuskysymyksiksi valikoituivat seuraavat kolme kysymystä:

Mitä ovat pilvipalvelut?

Millä kriteereillä pilvipalveluita voidaan verrata toimeksiantajan näkökulmasta?

Kuinka valitun pilvipalvelun konfigurointi toteutetaan?

Teoriaosassa, luvussa 3, esitellään peruskäsitteitä niistä pilvipalveluominaisuuksista, jotka ovat tämän työn kannalta oleellisia. Kriteeristö, jossa asetetaan vaatimukset valittavalle pilvipalvelulle, käydään

lävitse luvussa 4.2. Luvussa 4 esitetään kriteeristön pohjalta valitun pilvipalvelun asennus ja testaus.

3 Pilvipalvelut

3.1 Yleistä pilvipalveluista

Pilvipalveluille (cloud computing) ei ole olemassa yhtä yhtenäistä määritelmää. Sanaa pilvipalvelut käytetään yhteisnimityksenä palveluille, jossa tietotekniikkaresursseja (mm. tietoliikenneyhteydet, sovellukset sekä palvelut) tarjotaan asiakkaalle ilman, että asiakkaan tarvitsee tietää, missä resurssit fyysisesti sijaitsevat. (Salo 2010, 16.)

Pilvipalveluiden pilvi on otettu käsitteeksi siksi, että ICT-alan toimijat ovat yleisesti käyttäneet kuvaa pilvestä kertoessaan pilvipalveluihin liittyvistä käsitteistä. Pilvi-symbolin avulla on helpompi kuvata palvelua, kuin piirtää monimutkaisia puhelin- ja tietoliikenneverkkoja laitteineen. Pilvipalveluiden käsitteitä ovat mm. Grid Computing (pilvilaskenta), Utility Computing (pilvipalvelumallit), IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service) sekä SaaS (Software as a Service). Virtualisointi liittyy myös oleellisesti pilvipalveluihin. (Salo 2012, 34; Heino 2010, 9.)

Pilvipalvelut tekee suosituiksi niiden helppo käyttöönotto sekä ylläpito. Ratkaisua ei tarvitse asentaa paikallisesti, joten käyttöönotto tapahtuu murto-osassa verrattuna perinteisiin ohjelmistoihin. Myös palveluiden käyttö on vaivatonta ja käyttäjä tarvitsee vain internetyhteyden päästääkseen kiinni haluamiinsa palveluihin. (Pilvipalvelut yrityskäytössä 2014.)

On olemassa julkinen pilvi (public cloud) sekä yksityinen pilvi (private cloud). Pilveä kutsutaan yksityiseksi silloin, kun yrityksen oma palvelinkeskus ICT-infrastruktuurin ohjelmistojen ja laitteistojen osalta on muutettu pilvipalveluiden mukaiseen toimintamalliin. Jos palvelu ostetaan ulkoiselta

palveluntarjoajalta, sitä kutsutaan julkiseksi pilveksi. Joskus myös näitä kahta tapaa yhdistellään, ja silloin on kyseessä hybridipilvi. (Salo 2012, 27; Mitä virtualisointi on? n.d.) Pardco Group on palveluntarjoaja, ja heidän tuotteensa asiakkaille on täten julkinen pilvi.

Toimijat pilvipalvelumarkkinoilla

Pilvipalvelutoimialan 5 keskeisintä toimijaa ovat asiakkaat, palveluntarjoajat, palveluiden jälleenmyyjät ja välittäjät sekä auditoijat.

Asiakkaisiin kuuluvat luonnollisesti pilvipalveluita käyttävät yksityiset ihmiset sekä työntekijät yrityksissä. Palveluntarjoajat tarjoavat tuottamiaan palveluita asiakkaille suoraan tai välillisesti. Jälleenmyyjien ja välittäjien rooli eroaa lähinnä siinä, että markkinoinnillisen roolin lisäksi välittäjät tarjoavat myös palveluita niin asiakkaalle kuin jossain tapauksessa myös palveluntarjoajille. Auditoijat toimivat palveluiden laadunvarmistuksessa ja auttavat asiakkaita tekemään laadukkaita päätöksiä. (Salo 2014, 100.) Pardco Group kuuluu palveluntarjoajiin.

3.2 Virtualisointi

Virtualisointi (virtualization, v12n) on keskeinen käsite puhuttaessa pilvipalveluista. Virtualisoinnilla tarkoitetaan palvelinkeskuksen tai palvelinjoukon muuttamista yksityiseksi tai julkiseksi pilveksi, ja sitä voidaan kutsua liitokseksi fyysisen laitteen ja palvelun välissä. Virtualisoinnin avulla voidaan siis ottaa käyttöön kapasiteetti- ja sovelluspalveluita ilman fyysisiä laitteita. Virtualisoinnin etuna asiakasyritykselle on kustannusten pieneneminen virtualisointilaitteisiin sijoitetun alkuinvestoinnin jälkeen, ja yritys myös pääsee eroon ylimääräisistä fyysisistä laitteista, mikä puolestaan vaikuttaa myönteisesti kustannuksiin. Kustannuksia keventää myös se, että enää fyysisiä laitteita ei tarvitse hävittää, vaan tarpeeton virtuaalikone voidaan vain yksinkertaisesti tuhota hallintakonsolissa. Virtualisointi rakentuu

hypervisorin tai ”isäntäkoneen” ympärille. (Heino 2010, 59–60.)

Hypervisorista kerrotaan enemmän luvussa 3.2.2.

Virtualisointi ei ole kovinkaan uusi teknologia. Jo vuonna 1960 IBM:llä muutettiin keskusyksiköt tukemaan virtualisointia, ja vuonna 1972 IBM lanseerasi markkinoille ensimmäisen virtualisoinnin laitteessa System / 370. Vuonna 1974 on taas kirjattu roolit ja tehtävät virtuaalikoneille, ja nämä säännöt pätevät edelleen. (Portnoy 2012, 2; Heino 2010, 60.)

Palvelinvirtualisoinnin avulla voidaan tehostaa fyysisten palvelimien käyttöastetta, ja sen elinkaaren hallinta on helpompaa ja vikatilanteista toipuminen on nopeampaa. (Mitä virtualisointi on? n.d.)

3.2.1 Virtualisointi ja pilvipalvelut

Virtualisointi on kuin moottori fyysisten ja virtuaalisten resurssien välissä, koska virtualisoinnin avulla saadaan otettua virtuaalinen konesali eli pilvipalvelut käyttöön. Pilvipalvelut ovat täten virtuaalinen palvelinkeskus, joka sisältää samat ominaisuudet kuin varsinainen fyysinen konesali vaikka se olisi kaukanakin varsinaisesta fyysisestä palvelinkeskuksesta. (Portnoy 2012, 14.)

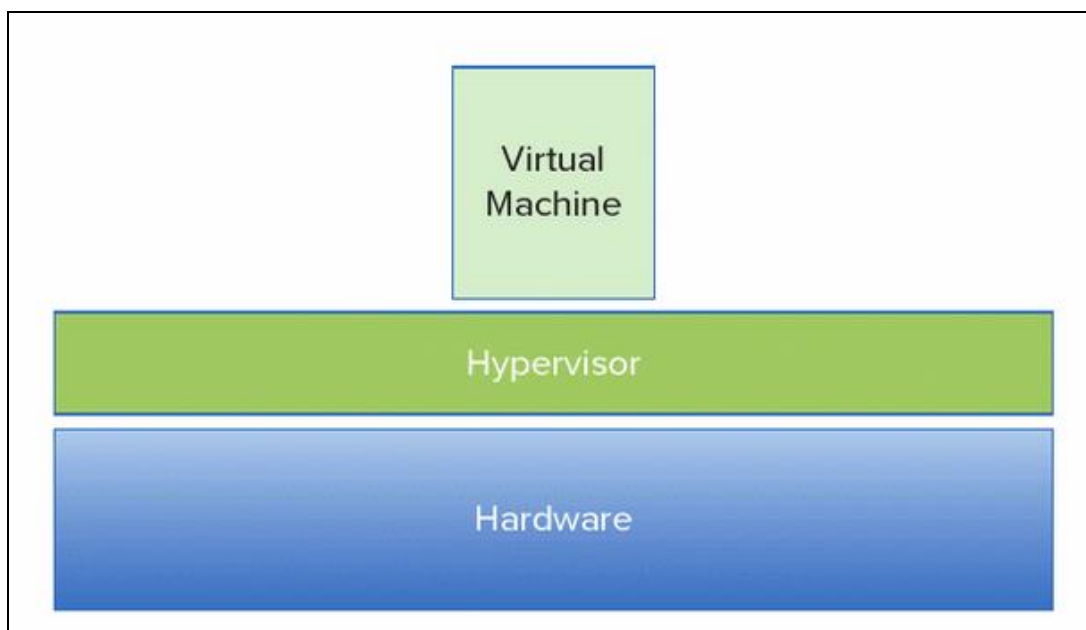
Virtualisoinnin avulla yritys saa vapautettua aikaansa ongelmanratkaisuiden ja perustoimenpiteiden sijaan kehitystyöhön sekä innovointiin, joka aikaisemmin söi jopa 70 % työntekijän työajasta. Enää yrityksen ei tarvitse huolehtia skaalautuvuudesta, saatavuudesta tai joustavuudesta. (Portnoy 2012, 14.) Virtualisointi mahdollistaa myös useiden käyttöjärjestelmien sekä sovelluksien ajamisen yhtä aikaa samalla palvelimella, minkä puolestaan ajatellaan tuovan kustannussäästöjä. (Virtualization 2015.)

3.2.2 Hypervisor

Palvelimen virtualisointi aloitetaan asentamalla virtualisointialusta fyysiselle palvelimelle. Hypervisor on kerros, joka esittää käytössä olevat virtuaalipalvelimet, ja se sijaitsee ikään kuin fyysisen palvelimen sekä

virtuaalipalvelimien välissä. (Ks. kuvio 1.) Virtuaalipalvelimia hallitaan hypervisorin avulla.

Hypervisor on ohjelmisto, jonka tarkoitus on tuottaa virtuaalikoneelle tarvittava muista ohjelmista eristetty ympäristö. Hypervisor sisältää asiakaskäyttöjärjestelmän ajamista varten tarvittavat rajapinnat. (Ratilainen 2015.)



Kuvio 1. Hypervisor (alkup. kuvio ks. Portnoy 2012, 20)

Hypervisor tekee kuitenkin paljon muutakin kuin vain pyörittää virtuaalikoneita. Hypervisor mahdollistaa saatavuuden tehostamista sekä auttaa uusien hallintatapojen kehittämisessä. (Portnoy 2012, 15.)

VMwarella hypervisoria kutsutaan nimellä VMware vSphere Hypervisor, joka tunnetaan myös nimellä "VMkernel". (vSphere 2015.) Myös mm. OpenStack tukee VMwaren hypervisoria. (Hypervisors 2015.)

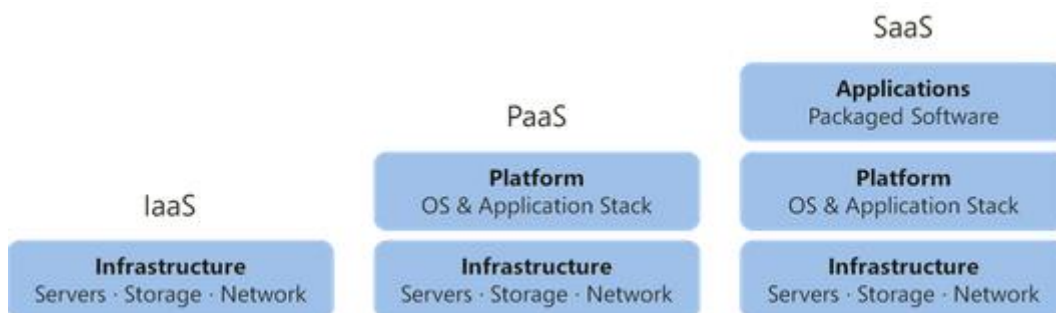
3.3 Pilvipalvelumallit

Pilvipalvelumallit eli Utility computing tarkoittavat tietotekniikan tarjoamista asiakkaille palveluna tuotteen sijaan. Käytäntö on otettu käyttöön asiakkaiden arjen helpottamiseksi. On ajateltu, että asiakkaiden ei tarvitse murehtia esimerkiksi verkon kapasiteetista, vaan he voivat alkaa käyttää tietokonetta kytkemällä laitteen jakeluverkkoon.

It-alalla on ollut perinteisesti tapana kuvata palvelun tai kapasiteetin älykkyyttä kerroksilla. Pilvipalveluissa kuvaaminen onkin ollut hyvin samankaltainen kuin perinteisessä OSI-mallissa, ja pilvipalveluissa toimintamalli on pyritty esittämään viiden kerroksen pinona. Toiminta-ajatuksena tässä on ollut, että asiakas voisi ottaa palveluita käyttöön vain haluamaltaan kerrokselta, eikä muita kerroksia tarvitse toteuttaa päästäkseen kiinni mallin hyötyihin. Pinoa ei ole kuitenkaan koettu hyväksi esitystavaksi, vaan on otettu käyttöön pilvipalvelumallit. (Heino 2010, 50.)

Pilvipalvelut jaotellaan tyypillisimmin kolmeen eri ryhmään ominaisuuksien mukaan, eli SaaS, PaaS ja IaaS. Infrastrukturi (IaaS) on pohjana palvelualustalle (PaaS), ja tämän päälle voidaan rakentaa sovelluksia (SaaS). (Salo 2010, 22; Salo 2012, 20.)

Opinnäytetyössä toteutus suoritetaan IaaS-kerroksella. Toimeksiantajan asiakkaat saavat käyttöönsä PaaS-kerroksen, ja heidän asiakkaansa käyttävät SaaS-kerrosta. Seuraavissa luvuissa (3.3.1–3.3.3) selvitetään tarkemmin, mitä nämä palvelukokonaisuudet käytännössä tarkoittavat. Lisäksi kuviossa 2 on havainnollistettu yksinkertaisesti, mitä kukin palvelumalli sisältää.



Kuvio 2. Pilvipalvelumallit (alkup. kuvio ks. Vishwas 2014)

3.3.1 IaaS

IaaS eli Infrastructure as a Service, infrastruktuuri palveluna, tarkoittaa palveluntarjoajan laitteistojen ostamista yrityksen käyttöön palveluna. Käytännössä palveluntarjoaja myy asiakkaan tarvitsemat palvelut virtuaalisesta konesalista ja näitä palveluita voivat olla mm. virtuaalikoneet sekä tallennustila varakopiointimahdollisuudella. Omien laitteiden ostamisen sijaan yritys saa ostettua ja laajennettua kapasiteettia aina tarpeen mukaan. Tässä mallissa palveluiden käyttöönotto ja tästä seuraava käyttö on yrityksen omalla vastuulla, ja se vaatii asiakkaalta tietämystä sekä kärsivällisyyttä palvelun käyttöönotossa sekä ylläpidossa. Yritys ja palveluntarjoaja eivät välttämättä ole koskaan missään yhteydessä toisiinsa. Kuitenkin, jos asiakkaalla on entuudestaan käytössä virtualisoinnin hypervisoreita, tekniikat ja tavat ovat varmasti tuttuja. Asiakas saa haltuunsa käyttöliittymän, joka sisältää palvelun hallintakonsolin, sekä komentorivityökaluja. (Salo 2012, 22–23; Heino 2010, 52–53.)

Vaikkakin IaaS ostetaan yleensä palveluna, voidaan tähän ryhmään laskea myös yrityksen itsensä tuottama IaaS. Tästä puhutaan silloin, kun yritys hallitsee ja käyttää resurssejaan pilvipalvelumallin mukaisesti ostamatta sitä palveluntarjoajalta. Tällä tavoin toteutettua IaaS-mallia kutsutaan yksityiseksi pilveksi eli private cloudiksi. Yksityinen pilvi voi olla kuitenkin myös palveluna ostettu, jolloin varsinainen konesali on muualla, mutta ympäristö on vain

yhdelle organisaatiolle rajattu. (Salo 2012, 22–23; Heino 2010, 52–53; Laaksonen 2015.)

3.3.2 PaaS

PaaS eli Platform as a Service, sovellusalusta palveluna, tarjoaa palvelumallina alustan, jonka päälle sovelluksia voidaan kehittää, ja niitä voidaan testata sekä ylläpitää. Kyseessä on täysin virtuaalinen palvelinympäristö, josta asiakasyritykselle lohkaistaan osa. Tämä palvelumalli helpottaa yrityksen jokapäiväistä työtä, kun sen ei tarvitse huolehtia infrastruktuurista, ja sen lisäksi erilaisia toiminnallisuuksia rajapintoihin on saatavissa valmiina. Yritys voi kehittää omia sovelluksiaan kustannustehokkaasti ilman, että sen tarvitsee huolehtia esimerkiksi kapasiteettirajoituksista. Jotta kuitenkin tämän palvelumallin ympäristö saadaan toimimaan rutiineineen, se vaatii yritykseltä aikaa sekä viitseliäisyyttä. Tämän palvelumallin on sanottu toimivan parhaiten yrityksissä, jotka rakentavat itse omat sovelluksensa. (Salo 2012, 24–25; Heino 2010, 51.)

3.3.3 SaaS

SaaS eli Software as a Service, sovellukset palveluna, on ylivoimaisesti suosituin palvelukokonaisuus. Tässä palvelumallissa asiakkaan ei itse tarvitse huolehtia omistamisesta, asentamisesta, ylläpidosta tai päivittämisestä, vaan nämä tarjotaan palveluna. Käytännössä asiakas hankkii itselleen ainoastaan sovelluksen, joka jaetaan asiakkaan selaimen tietoliikenneyhteyden avulla. Yritys voi täten keskittyä omaan ydinbisnekseen vailla päivittämisen ja ylläpidon vaivaa. Yritykselle kuitenkin tarjotaan tässäkin mallissa hallintakonsoli, jonka kautta asiakas voi seurata sovelluksen toimintaa sekä mm. hallita käyttäjiä. Palveluntarjoajalle tämä palvelumalli asettaa kuitenkin suurimmat vaatimukset, koska kaiken oletetaan toimivan häiriöttömästi. (Salo 2012, 25–26; Heino 2010, 53.)

3.4 Pilvipalvelumarkkinat

3.4.1 Toimijat

Pilvipalvelumarkkinoilla on monia toimijoita, kuten luvussa 3.1 mainittiin. Tässä yhteydessä kerrotaan tarkemmin VMwaresta sekä OpenStackista, joiden palvelua Pardo Group palveluntarjoajana tarjoaa asiakkailleen.

Muita pilvipalveluntarjoajia löytyy niin IaaS-, PaaS- kuin SaaS-puoleltakin paljon. IaaS-puolelta voidaan mainita mm. Amazon, IBM, Rackspace sekä Verizon. PaaS-tarjoajia ovat taas mm. Google App Engine, Windows Azure sekä RedHat. SaaS-palveluitakin on paljon, kuten Googlen Gmail, Adwords sekä Analytics, Microsoftin Office 365 sekä Visma Severa. Monesti tavalliselle työasemakäyttäjälle näyttäytyy nimenomaan SaaS-puoli. (Salo 2012, 60–82.)

3.4.2 VMware

VMware on palveluntarjoaja, joka tuotteidensa avulla mahdollistaa pilvipalvelut yrityksille IaaS- ja PaaS-palvelumallia noudattaen ja on tunnettu erityisesti virtualisointiratkaisuistaan. Tuotteet perustuvat VMwaren omaan sekä kumppaniyritysten tekniikkaan, ja niiden avulla yritys voi rakentaa joko yksityisen tai julkisen pilven. (Salo 2010, 132.) Alla on lueteltu joitakin VMwaren palveluita.

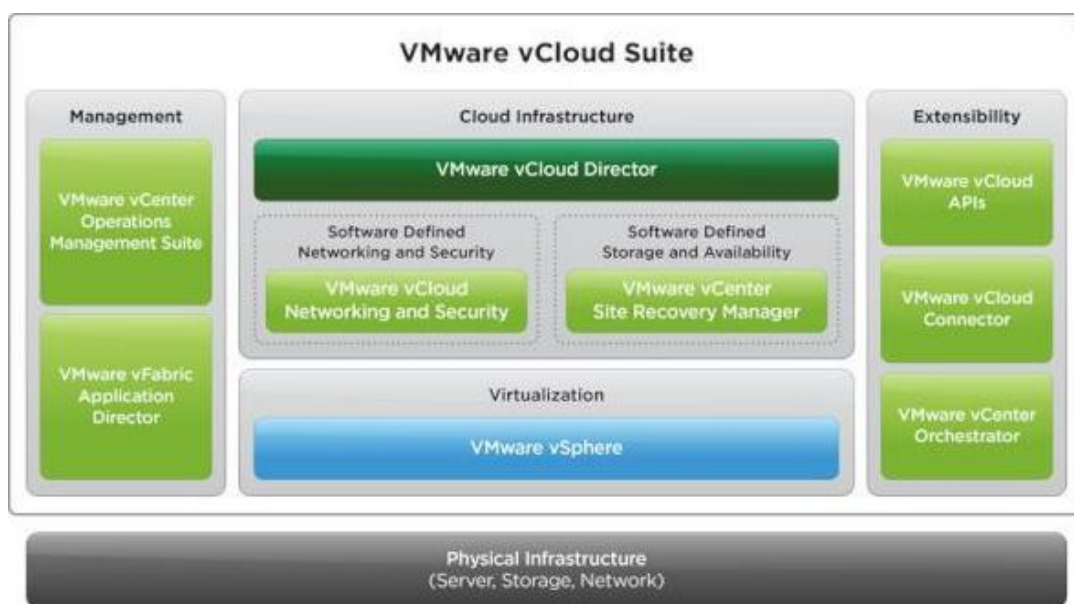
vCloud

VMwaren vCloud on yhteinen nimittäjä niille pilvipalvelut mahdollistaville tekniikoille, joita yritys VMwarelta käyttää. Kyseessä ei siis ole yksittäinen palvelu tai tuote. vCloud voi sisältää mm. vSpheren, vCloud API:n ja vCenterin. (Salo 2010, 132.)

vCloudia voidaan laajentaa tarpeen mukaan, koska kaikki sen komponentit ovat ladattavissa, asennettavissa ja konfiguroitavissa erikseen. Asennuksen jälkeen ne toimivat yhdessä muodostaen oman datakeskuksen (software-

defined data center, SDDC). (VMware vCloud Suite 6.0 Documentation 2015) Kuviossa 3 on esitetty vCloud mahdollisine komponentteineen

Tässä tutkimuksessa vCloud rakentuu vSpheren sekä vCenter Serverin ympärille.



Kuvio 3. vCloud (alkup. kuvio ks. VMware vCloud suite 2012)

vSphere

vSphere on VMwaren virtualisointialusta, joka muuttaa olemassa olevan infrastruktuurin pilvipalvelumallin mukaiseksi. vSpheren avulla voidaan hallinnoida saatavuutta, tietoturvallisuutta sekä skaalautuvuutta palvelin-, tallennustila- ja tietoliikennesresssien, virtualisoinnin sekä näiden päällä toimivien sovellusten osalta. vSpheren avulla täten hallinnoidaan rakennettuja pilvipalvelimia. (Salo 2010, 132; vSphere 2015.)

vCloud API

vCloud API on ohjelmointirajapinta, joka mahdollistaa hybridipilven rakentamisen. Hybridipilvessä yksityinen sekä julkinen pilvi ovat yhteiskäytössä, ja rajapinnan avulla voidaan siirtää dataa sekä sovelluksia joustavasti pilvestä toiseen. (Salo 2010, 132.)

vCenter (Server)

vCenter on keskitetty alusta vSphere-ympäristöjen hallintaan. vCenter helpottaa kokonaisuuden hallintaa sekä toimintojen automatisointia. vCenterin avulla järjestelmänvalvoja näkee virtuaalisessa infrastruktuurissa tarkasti kaikki käytössä olevat klusterit, virtuaalikoneet, hostit, talletukset sekä vieraskäyttäjät. (Salo 2010, 132; VMware vCenter Server 2014.)

3.4.3 OpenStack

OpenStack on avoimen lähdekoodin pilvialusta, jonka avulla voidaan rakentaa yksityisiä tai julkisia pilvipalveluita IaaS-palvelumallilla. OpenStackia pidetään tulevaisuuden pilvipalvelumallina, koska sen takana on monia suuria toimijoita (mm. IBM) tarjoamassa niin ohjelmistokehitystä kuin hostaustakin. Toimijoita varten on perustettu voittoa tavoittelematon OpenStack Säätiö (The OpenStack Foundation), jonka kautta OpenStackia kehitetään sekä hallinnoidaan. (Mikä on OpenStack? n.d; What is OpenStack? n.d.)

OpenStack sisältää valmiina monia erilaisia tekniikoita. Avoimesta lähdekoodista johtuen käyttäjän on mahdollista luoda niitä myös itse, mutta OpenStack on määritellyt 9 ydinkomponenttia (ks. kuvio 4), jotka virallisesti sisältyvät OpenStackiin ja joiden ylläpitämisestä vastaa OpenStack Säätiö. Nämä komponentit ovat tällä hetkellä Nova, Swift, Cinder, Neutron, Horizon, Keystone, Glance, Ceilometer sekä Heat. (Mikä on OpenStack? n.d; What is OpenStack? n.d.) Jokaisen komponentin merkitys on selvennetty alempana.

COMPONENT	SERVICE	ADDITIONAL PACKAGES
OpenStack Identity	Keystone	
OpenStack Compute	Nova	KVM, QEMU, Xen, VMWare
OpenStack Block Storage	Cinder	Ceph, LVM, NFS
OpenStack Object Storage	Swift	
OpenStack Image	Glance	
OpenStack Networking	Neutron	VLAN, GRE
OpenStack Orchestration	Heat	
OpenStack Telemetry	Ceilometer	
OpenStack Dashboard	Horizon	

Kuvio 4. OpenStackin komponentit (alkup. kuvio ks. Software Overview 2014)

Nova

Nova on tärkein komponentti OpenStackissa. Sen tarkoituksena on käyttöönottaa sekä hallinnoida suuria määriä virtuaalikoneita sekä käsitellä muita ohjelmistotehtäviä. Oletusarvoisesti Nova hyödyntää KVM:n hypervisorina, mutta se toimii myös muiden yleisimpien hypervisorien päällä, kuten VMwaren vSpheren. Lisäksi Nova skaalautuu erittäin paljon, lähes äärettömästi. (Mikä on OpenStack? n.d; What is OpenStack? n.d; Renski 2013.)

Swift ja Cinder

Swift sekä Cinder ovat molemmat OpenStackin skaalautuvia tietovarastoja. Swift on ns. perinteinen tietovarasto, jossa levyt voidaan osoittaa suoraan jonkin tietyn palvelimen levyksi. Cinder poikkeaa tästä siten, että kehittäjät voivat viitata yksilölliseen tunnisteeseen tiedostossa ja antaa OpenStackin päättää, minne tiedot tallennetaan. Tieto kopioituu automaattisesti useamman palvelimen kesken. Cinder helpottaa kehittäjän

työtä varmuuskopioinnin ja skaalautuvuuden suhteen. (What is OpenStack? n.d.)

Neutron

Neutron on tarkoitettu verkkojen hallintaan. Se on kehitetty varmistamaan, että OpenStackin komponenttien keskinäinen kommunikointi sujuu kitkattomasti. Tämän ominaisuuden avulla käyttäjä voi luoda tarvitsemansa arkkitehtuurin sisä- tai ulko verkkoon, joka sisältää tarvittavan määrän verkkoja, reitittämiä sekä palomuuureja. (What is OpenStack? n.d.)

Horizon

Horizon on OpenStack:in graafinen käyttöliittymä. Horizonissa on kerätty yhteen kaikki palveluiden tiedot, ja tätä kautta palveluita myös hallitaan. (What is OpenStack? n.d.)

Keystone

Keystone on tarkoitettu käyttäjien hallintaan. Se sisältää luettelon kaikista käyttäjistä sekä heidän käyttöoikeuksista. (What is OpenStack? n.d.)

Glance

Glance sisältää OpenStackin levykuvat. Glancen mahdollistaa levykuvien käyttöönoton malliksi uutta virtuaalikonetta luotaessa. (What is OpenStack? n.d.)

Ceilometer

Ceilometer on tarkoitettu infrastruktuurin kapasiteetin sekä suorituskyvyn mittaukseen. Ceilometer myös kerää näitä arvoja raportiksi, ja niitä voidaan seurata infrastruktuuri- tai sovelluskohtaisesti. (What is OpenStack? n.d.)

Heat

Heat on orkestrointikomponentti, jonka avulla ohjelmistokehittäjä voi määritellä ja tallentaa vaatimuksia sekä lisättäviä resursseja

pilvisovellukselle. Orkestrointipohjaa hyväksi käyttäen asiakkaan vaatimuksista voidaan provisoida eli ottaa automaattisesti käyttöön haluttu alusta. (Mikä on OpenStack? n.d; What is OpenStack? n.d; Orkestrointi n.d; Mitä tarkoittaa provisiointi? n.d.)

3.4.4 vOneCloud

vOneCloud on ilmainen OpenNebula-jakelu. OpenNebula (OpenNebula Systems) on vuonna 2010 perustettu, avoimen lähdekoodin palveluja tuottava yritys. (The Open Replacement for vCloud 2015; OpenNebula.systems 2016).

vOneCloud on optimoitu käyttönotettavaksi VMware vCenterissä, ja sen sanotaan olevan tehokas, taloudellinen, joustava sekä helppo ottaa käyttöön. vOneCloud sisältää mm. virtuaalisen datakeskuksen, ja sitä voidaan käyttää hybridipilviratkaisuna yrityksen omassa infrastruktuurissa VMware-ympäristössä. vOneCloud on kuitenkin alustasta riippumaton, eli sitä voidaan hyödyntää muissakin virtualisointialustoissa. (The Open Replacement for vCloud 2015.)

vOneCloud on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, ja siinä ei ole minkäänlaisia lisenssimaksuja. Siihen on kuitenkin mahdollista ostaa erilaisia tukipalveluita OpenNebulalta. Tukipalveluiden hinta on alkaen 1000 € /vuosi tätä opinnäytetyötä kirjoitettaessa. Avoimen lähdekoodin vuoksi vOneCloud on myös täysin muokattavissa yrityksen tarpeisiin. (The Open Replacement for vCloud 2015.) Opinnäytetyötä tehtäessä tukipalveluita ei käytetty.

vOneCloud on optimoitu otettavaksi käyttöön vCenterissä, ja se hyväksikäyttää graafisena käyttöliittymänä OpenNebulan Sunstonea. vOneCloud otetaan siis käyttöön vCenterissä, mutta graafinen hallinta suoritetaan Sunstonen avulla. (The Open Replacement for vCloud 2015.) OpenNebulan Sunstonesta kerrotaan tarkemmin luvussa 5.4 vOneCloudin asennus.

3.4.5 Platform9

Platform9 on OpenStackin kehittämä yksityinen pilvi-ratkaisu, jota tarjotaan yrityksille SaaS-palvelumallia noudattaen. Täten se on OpenStackin hallinnoima ja yritys ei saa sitä itselleen asennettavaksi. Platform9 myös huolehtii valvonnasta, vianmäärityksestä sekä päivittämisestä yrityksen puolesta. Yritys voi hallita palvelua joko OpenStackin tai VMwaren vSpheren työkaluilla toiveensa mukaan. Platform9 on yhteensopiva vSpheren Datastorejen sekä Networkien kanssa. Palvelun sanotaan olevan myös turvallinen, koska tieto kulkee salattuna infrastruktuurissa. Täten ulkopuolisen on erittäin vaikea päästä tietoihin käsiksi. Turvallisuutta lisää myös moninkertainen tunnistus, käyttäjien rajoittaminen sekä verkkoon pääsyn estäminen. Varmuuskopioita tiedostoista säilytetään 30 päivää. Versioon 9 on lisäksi saatavissa joitain rajapintakuvauksia.

Platform9 tarjoaa yhden alustan, jolta voidaan hallita koko käynnissä olevaa infrastruktuuria. Hallintapaneelin kautta yritys näkee olemassa olevat sekä käytössä olevat resurssit mm. muistin ja verkon osalta. Siellä on nähtävissä myös käytössä olevan infrastruktuurin kuvaukset. Platform9 voi hyödyntää hypervisorinaan niin VMwaren vSphereä kuin KVMääkin sekä Dockeria. (Platform9 2015; Younis 2015.)

3.5 Pilvipalvelut ja tietoturva

Pilvipalveluiden kasvua hidastamassa suomalaisten yritysten osalta on yritysten huoli käyttöönottoon liittyvistä haasteista. Tietoturva on yksi näistä osa-alueista. Pilvipalveluillahan yritys ulkoistaa osan omasta ICTstään sekä palveluluistaan ulkoiselle palveluntarjoajalle. Varsinkin kriittisten järjestelmien ollessa kyseessä yrittäjät ovat entistä varovaisempia. (Ihalainen 2014.)

Pilvipalveluihin liittyviä, konkreettisia tietoturvariskejä ovat mm. (Järvinen 2011, 14.):

- tietovuoto tai tiedon häviäminen
- tunnusten kaappaaminen
- haavoittuvuudet pilviteknologiasta johtuen (mm. rajapinnat)
- tiedon fyysinen sijainti
- pääsy ulkopuoliseen palveluun omien tietoturvakäytäntöjen ulottamisen osalta (hallinta-aste)
- alustan jakaminen
- häiriötä aiheuttava käyttö (pilven rikollinen)
- tuntemattomat uhat uuden konseptin vuoksi.

On kuitenkin ajateltava, että pilvipalvelut eivät itsessään ole uhka, vaan varomattomuus ja se, että uhkiin ei ole varauduttu.

Tietoturvallisuus lähtee siitä, että **uhkiin varaudutaan**. On siis ymmärrettävä, että uhkia on, ja tietoisuus uhista on ulotettava kaikkien järjestelmien parissa työskenteleville. Näitä ovat siis niin yrityksen omat kuin kumppaneidenkin työntekijät. Ihmisille on kerrottava, mitkä ovat kriittiset järjestelmät ja mikä niitä voi uhata. **Järjestelmätasolla on varauduttava suojukseen ja palautuskykyyn**. Järjestelmä on siis testattava ja suojattava huolellisesti. Yrityksen kannattaa varautua siihen, että se saa nopeasti varajärjestelmät sekä varmuuskopiot käyttöönsä, mikäli ongelmia syntyy. Etukäteen kannattaa miettiä, kuinka pitkiä ja millaisia keskeytyksiä järjestelmät kestävät ja miten ne saa palautettua tarvittaessa.

Prosessitason suojauksessa sekä palautuskyvyssä on tärkeää, että yritys on tiedostanut, voiko se toimia varaprosessien varassa, mikäli keskeytys ja ongelma pidentyvät. Tätä helpottaa huolellinen suojaus, jossa yritys on ymmärtänyt, kuinka sen työntekijät sekä työprosessit toimivat. Kaikista tärkein ominaisuus tietoturvallisuudessa on kuitenkin **johtaminen**.

Mikäli tietoturva ei ole johdettu tarpeeksi, riskit yrityksen maineelle sekä sen tietoturvalle kasvavat. (Tuominen 2015.)

4 Kehitystyö

Tutkittava asia perustuu järjestelmäteknologioihin sekä keskittyy niistä pilvipalveluihin. Tässä opinnäytetyössä tarkoitus on perehtyä kahteen erilaiseen pilvipalveluun ja verrata niitä keskenään ennalta mietittyjen kriteereiden pohjalta. Kriteeristön pohjalta valittu palvelu konfiguroidaan, testataan sekä pohditaan sen sopivuutta toimeksiantajan tarpeeseen.

4.1 Toteutus

Kokeiluvaihe aloitetaan vertaamalla kahta pilvipalvelua toisiinsa kriteeristön avulla. Kriteeristön pohjalta valitaan pilvipalvelu, jotka konfiguroidaan hypervisorin. Ennen pilvipalvelun asentamista rakennetaan hypervisor, jossa virtualisointialustana toimii tässä tapauksessa VMware vSphere. Varsinaisina pilvipalveluina vertailussa toimivat vOneCloud sekä Platform9. Molemmat kykenevät hyödyntämään VMwaren vSphereä hypervisorina.

Tässä kohdassa on kuvattu myös kokeiluvaiheen toimintasuunnitelma, johon on viitattu luvussa 2.2 Tutkimus- /kehittämismenetelmät.

Toimintasuunnitelma on koottu taulukkoon 1, ja tämän toimintasuunnitelman perusteella suoritetaan kokeiluvaiheen toiminta.

Taulukko 1. Toimintasuunnitelma

Toimintasuunnitelma	
Perustelu projektille	Toimeksiantajan tarve selvittää, kuinka vOneCloud integroituu VMwaren hypervisorin ja kuinka se poikkeaa toisesta palvelusta nimeltä Platform9.
Kehittämiprojektin tavoite	Tavoitteena on kriteeristön pohjalta valita toinen pilvipalvelu sekä integroida se hypervisorin.
Toteuttamiseen tarvittavat tehtävät	Kokeiluvaiheessa asennetaan VMwaren virtualisointialusta palvelimelle. Tämän jälkeen asennetaan vCenter, jonne konfiguroidaan valittu pilvipalvelu.
Henkilöt	Toimintasuunnitelman läpiviemisessä päävastuu on opinnäytetyön tekijällä. Lisäksi työtä varten tarvitaan tietoja opinnäytetyön ohjaajilta sekä toimeksiantajalta.
Ajoitus	Toimintasuunnitelman toteuttamiseen raportointineen menee noin 1,5 kk. Toimintasuunnitelman läpivienti on aloitettu 3.11.2015, ja se aiotaan saada päätökseen 11.12.2015.
Resurssit (aineelliset)	Työn läpiviemiseksi tarvitaan työtila, hypervisorin vaatimiin kapasiteetteihin vastaava palvelin, työasema sekä työaikaan niin opinnäytetyön tekijältä, ohjaajilta kuin toimeksiantajaltakin.
Resurssit (taloudelliset)	Taloudellisia resursseja on vaikea kuvata, koska kyseessä on opinnäytetyö. Opinnäytetyön tekijä on saanut veloituksetta käyttöönsä työtilan sekä palvelimen Jyväskylän ammattikorkeakoululta. Työasema on työn tekijän oma. Opinnäytetyön ohjaajien sekä toimeksiantajat tiedot ovat veloituksettomia.

4.2 Kriteeristö

Jotta voidaan valita toimeksiantajalle sopivin ratkaisu, täytyy ratkaisuja verrata keskenään. Vertailu tehdään kriteeristön pohjalta. Kriteeristön laatiminen pohjautuu toimeksiantajan kanssa käytyihin keskusteluihin. Lisäksi on otettava huomioon palvelun hinta. Kyseessä on kokeiluluontoinen työ, joten maksulliset lisenssit eivät tulleet kysymykseen.

Kriteeristön alussa käydään lävitse pilvipalveluille asetetut vaatimukset ja sen jälkeen esitetään taulukossa (ks. taulukko 2), kuinka palvelu täyttää asetetut vaatimukset vertailun helpottamiseksi. Tässä luvussa esitetään myös fyysisen palvelimen vaatimukset, koska palvelinta tarvitaan pilvipalveluympäristön rakentamiseen.

Vaatimukset

1. Palvelu pystytään konfiguroimaan VMwaren hypervisorin
2. On sovitettavissa toimeksiantajan infrastruktuuriin
3. Palvelu skaalautuu toimeksiantajan asiakkaan tarpeen mukaisesti
4. Palvelun hinta

Taulukko 2. vOneCloud ja Platform vertailussa

Vaatimukset	vOneCloud 1.8.0	Platform9
Toimii VMwaren vSphere 6.0 hypervisorissa	Kyllä	Kyllä

Sovitettavissa toimeksiantajan ympäristöön	Kyllä	Kyllä
Skaalautuvuus	<ul style="list-style-type: none"> - max. 4 vCenteriä (suositus 1) - max. 40 ESXiä jokaisessa vCenterissä - max. 1000 virtuaalikonetta yht. (250 virtuaalikonetta / vCenter) - max. 100 käyttäjää samanaikaisesti - klusterointimahdollisuus (vOneCloud Documentation 2015) 	<ul style="list-style-type: none"> - tavoitteena rajaton skaalautuminen - klusterointimahdollisuus (Mauro 2015)
Hinta	Ilmainen (vOneCloud Documentation 2015)	Ilmainen kokeilu. Tämän jälkeen alk. 999 \$ /vuosi (Pricing 2015)

Fyysisen palvelimen vaatimukset

Hypervisorina tässä tutkimuksessa toimii VMware vSphere, johon molemmat palvelut on konfiguroitavissa. Koska hypervisorilla ei ole valmiina, vaan se joudutaan rakentamaan tutkimusta varten, on otettava huomioon vaatimukset, jotka vSphere asettaa palvelinkoneelle. Seuraavassa luettelossa on mainittu nämä vaatimukset (vSphere Hypervisor 2015):

- min. 2 ytiminen prosessori
- min. 4 GBtä muistia
- 1 GbEn verkkokortti
- 1 x 4 GBn SATA-liitäntä

- NFS-, iSCSI- tai kuitukaapeliliitäntä. (vSphere Hypervisor 2015.)

Tutkimuksessa käytettävä palvelin on HP ProLiant ML350 Gen9, joka täyttää VMwaren hypervisorille asettamat minimivaatimukset erittäin hyvin.

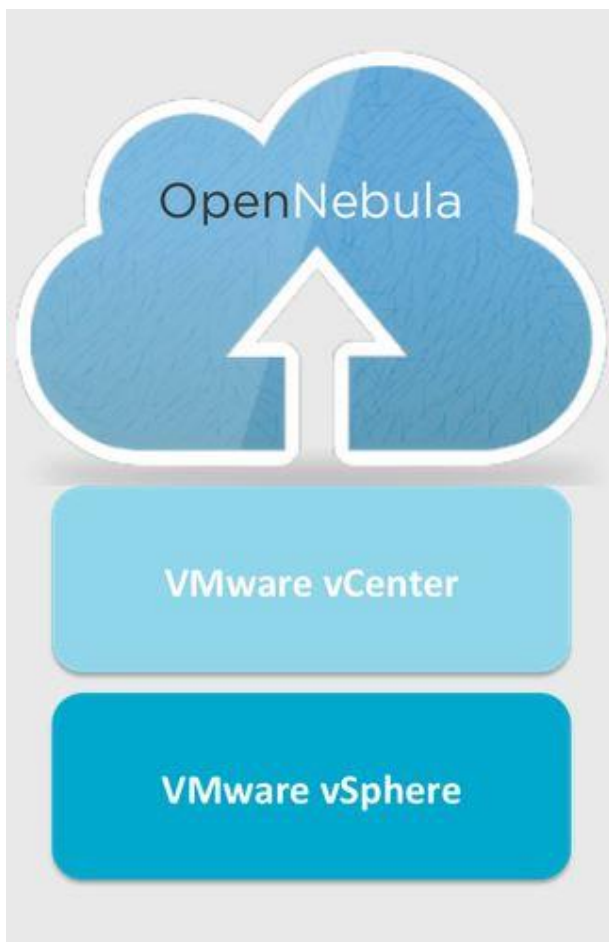
4.3 Valinta

Kriteeristön pohjalta tehdyssä vertailussa päädyttiin asentamaan vOneCloud. Tähän päädyttiin siksi, että vOneCloud on ilmainen, kun taas Platform9 on maksullinen. Lisäksi tarkemmassa tutkimuksessa kävi ilmi, että Platform9 on valmis SaaS-alusta, joka on käytännössä kilpailija toimeksiantajalle. Tätä palvelua ei siis saa itselle asennettavaksi, vaan se täytyy ostaa suoraan valmistajalta. Kyseessä on OpenStackin tuottama yksityinen pilvi-ratkaisu. Luvussa 5 kerrotaan asennusprosessi aina hypervisorin asennuksesta vOneCloudin asentamiseen.

4.4 Pilvipalveluympäristön rakentaminen

4.4.1 Yleistä

Kriteeristön pohjalta päädyttiin siis asentamaan vOneCloud. vOneCloud on PaaS-ratkaisu, joka tarvitsee alleen IaaS-ratkaisun. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vSphere (hypervisor) sekä vCenter täytyy olla asennettu ennen vOneCloudia. (Ks. kuvio 5.) Koska näin ei ollut, asennukseen jouduttiin liittämään sekä vSpheren että vCenterin asennukset, joista kerrotaan tarkemmin alla olevissa luvuissa.

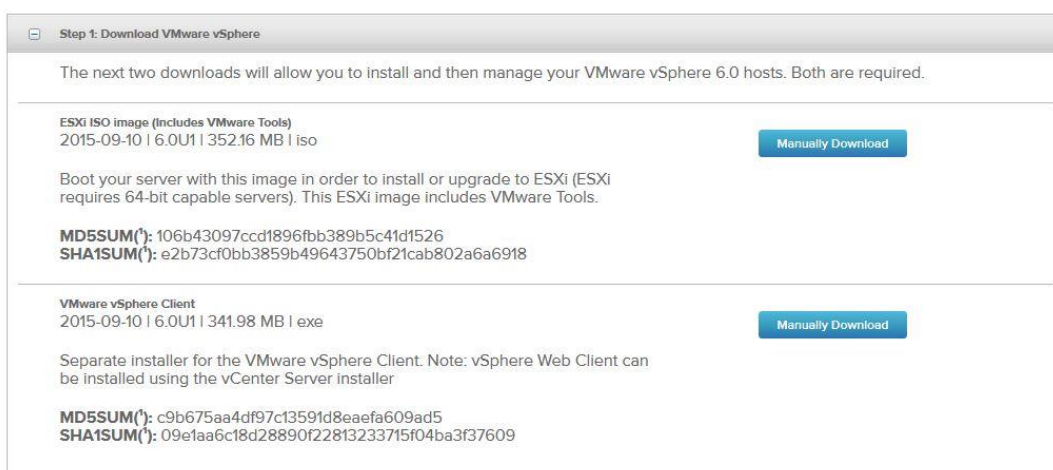


Kuvio 5. vOneCloudin vaatimukset (alkup. kuvio ks. The Open Replacement for vCloud 2015)

4.4.2 vSphere Hypervisor

Hypervisorin luomiseksi tarvitaan fyysiselle palvelimelle asennettava virtualisointialusta, joka VMwarella on vSphere Hypervisor (ESXi). vSphere sisältää palvelinkoneelle asennettavan ESXin sekä etäkäyttöön sopivan vSphere Client -ohjelmiston. Clientin avulla ESXiä voi käyttää muiltakin koneilta kuin varsinaiselta palvelimelta. Tutkimuksessa käytettiin VMwarelta saatavia ilmaisia kokeiluversioita. Tuotteita sai kokeiluun 60 päivän ajaksi rekisteröitymällä VMwaren sivuilla. Tästä syystä saatiin myös uusimmat versiot käyttöön kaikista tuotteista. VMwaren vSpheren uusin versio on tätä opinnäytetyötä kirjoitettaessa 6.0.

Käyttäjätunnusten luomisen jälkeen työ aloitettiin yksinkertaisesti lataamalla ESXi ISO -kuvake ja siirtämällä se USB-tikulle. Samalla ladattiin myös Client valmiiksi ladattuihin tiedostoihin odottamaan sitä, että ESXi on saatu asennettua palvelimelle. (Ks. kuvio 6.)



Kuvio 6. VMwaren lataussivusto (alkup. kuvio ks. License & Download 2015)

ESXiin voi asentaa mm. skriptaamalla, cd:nä tai USB-tikun avulla. Opinnäytetyötä tehtäessä päädyttiin asennuksessa USB-ratkaisuun ajan säästämiseksi. Palvelinkoneessa ei myöskään ollut cd-asemaa käytettävissä. (Methods for installing ESXi 6.0 2015.)

ESXiin asennus

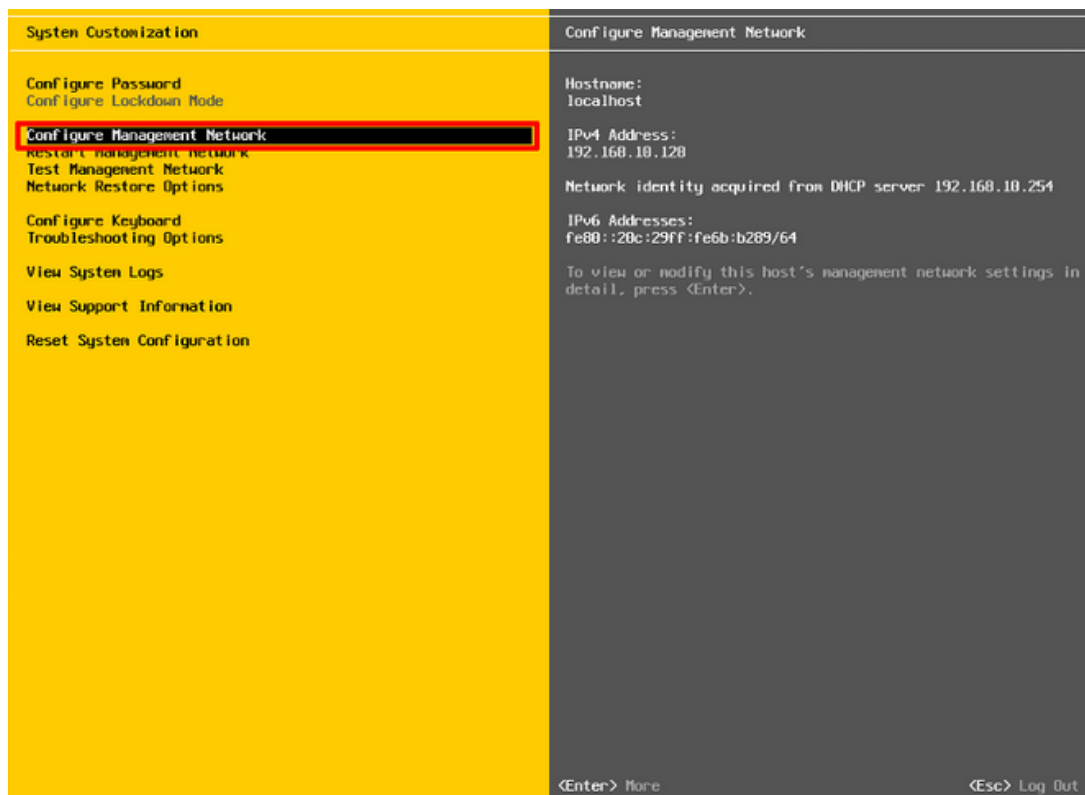
ESXiin asennus alkoi laittamalla ESXiin sisältämä USB-tikku kiinni palvelimeen ja käynnistämällä palvelinkone. Palvelinkoneessa täytyy olla luonnollisesti myös näyttö ja näppäimistö kiinnitettyinä. Palvelinkoneen käynnistyessä lataus lähtee heti käyntiin. (Ks. kuvio 7.)



Kuvio 7. ESXi asentumassa (alkup. kuvio ks. Hancock 2015)

Ihan latauksen alussa sovellus varmistaa, että asennus halutaan varmasti käynnistää sekä pyytää hyväksymään käyttöehdot. Näissä kohdissa painetaan yksinkertaisesti enteriä ja F11-näppäimellä hyväksytään käyttöehdot. Seuraavaksi valitaan haluttu kiintolevy, mikäli niitä on käytössä useampia. Latauksen edetessä valitaan näppäimistön kieli sekä syötetään salasana root-käyttäjälle. Tämän jälkeen sovellus vielä varmistaa, että ESXi halutaan asentaa. Mikäli näin on, painetaan enteriä, ja palvelin käynnistyy automaattisesti uudelleen. Kun sovellus on käynnistynyt uudelleen, se on antanut ESXille ip-osoitteen automaattisesti. Mikäli ip-osoitetta halutaan muuttaa, painetaan F2. Tällä komennolla pääsee System Customization-ikkunaan, josta asetuksia voidaan muuttaa. Opinnäytetyötä tehtäessä palvelimelle annettiin staattinen ip-osoite (jota myös VMware suosittelee käytettävän), ja tämä päästiin tekemään valitsemalla System Customization -ikkunassa Configure Management Network. (Ks. kuvio 8.) System

Customization -ikkunaan pääseminen edellyttää aikaisemmin määritellyn root-salasanan käyttöä.



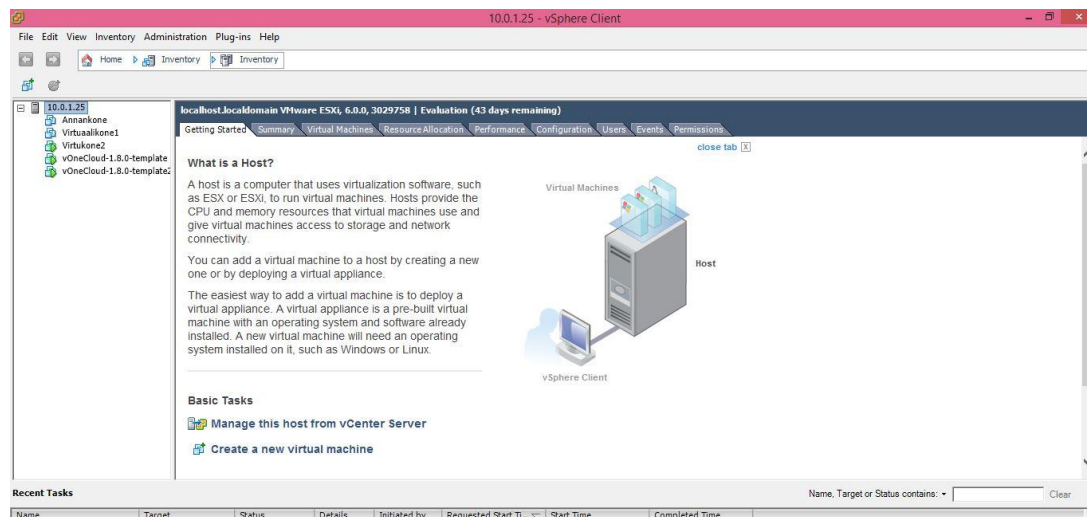
Kuvio 8. Ip-osoitteen konfigurointi (alkup. kuvio ks. Hancock 2015)

Kun palvelinkoneella on ESXin asennus suoritettu, voidaan siirtyä käyttämään ESXiä etänä vSphere Clientin avulla, jonka asennuksesta kerrotaan seuraavaksi.

vSphere Clientin asennus

VMware tarjoaa vSphere Clientin käyttöön valmiina .exe-tiedostona. Tiedosto ladataan omalle työasemalle. Latauksen ollessa valmis annetaan Clientille hostin (ESXin) ip-osoite sekä root-salasana. Tämän jälkeen Client on käyttövalmis. Tässä opinnäytetyössä Clientiä käytettiin hyvin vähän, koska vOneCloud vaatii vCenterin asennuksen. vCenterillä on oma

käyttöliittymä nimeltään vSphere Web Client, jonka kautta myös vOneCloud asennetaan. Kuviossa 9 on nähtävillä näkymä vSphere Clientin etusivulta.



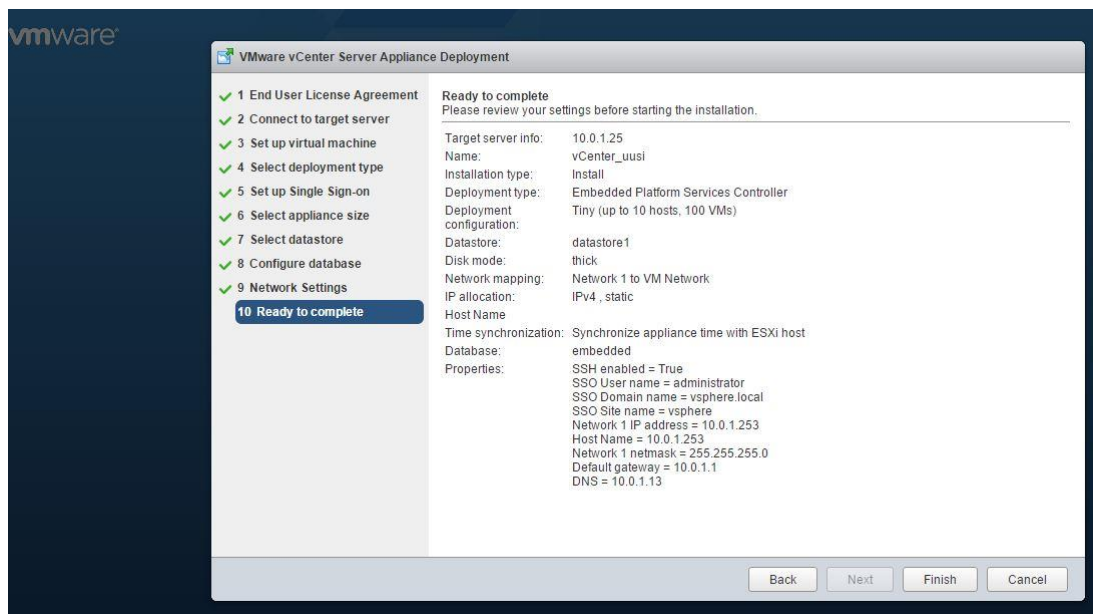
Kuvio 9. vSphere Client

4.4.3 vCenter Server

Kuten aikaisemmin on mainittu, vOneCloudin asentaminen vaatii niin vSpheren kuin vCenterinkin asentamista pohjalle. vCenter Server asennettiin työasemalle, ja tätä varten VMwaren sivuilta ladattiin vCenter Server Appliance (VCSA). VCSAn ISO-tiedoston latauduttua koneelle paketista haettiin VMware Client Integration Plugin, joka täytyy asentaa ennen vCenteriä. Plugin löytyy vsca-kansiosta. Tämän toimenpiteen jälkeen voidaan napsauttaa paketista löytyvää index.html-tiedostoa, joka käynnistää vCenterin lataamisen automaattisesti. Tässä yhteydessä kannattaa huomata, että lataus kestää melko kauan (n.1h), joten ihan kiireessä sitä ei kannata ruveta käynnistämään. Vaikka loppuosa latauksesta ei juuri huomiota vaadi, on työaseman vierellä hyvä olla latauksen loppuunsaattamiseksi. Kuviossa 10 vCenter on latautunut valmiiksi, ja siitä

on hyvin nähtävissä, mitä tietoja vCenter tarvitsee asentuaikseen. Näiden tietojen antamiseen on siis syytä varautua.

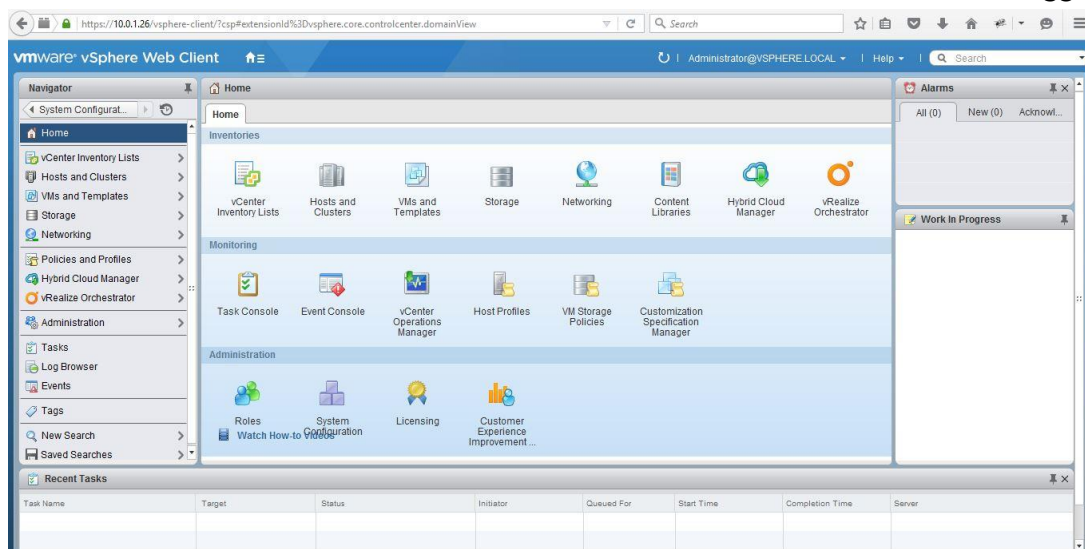
vCenteriä hallitaan vSphere Web Clientin avulla. Web Client on osa vCenteriä, ja täten latauksen ollessa valmis pääsee kirjautumaan Web Clientiin saman tien. Web Clientista kerrotaan tarkemmin seuraavaksi.



Kuvio 10. vCenter konfiguroituna

vSphere Web Client

vSphere Web Client on vCenterin hallintaan tarkoitettu työkalu. Tätä kautta voidaan hallita mm. palvelimia, tietokantoja, klustereita sekä käyttöoikeuksia. Web Clientin aloitusnäky on esitetty kuviossa 11. Web Clientin avulla asennetaan myös vOneCloud, jonka asennuksesta kerrotaan seuraavaksi.

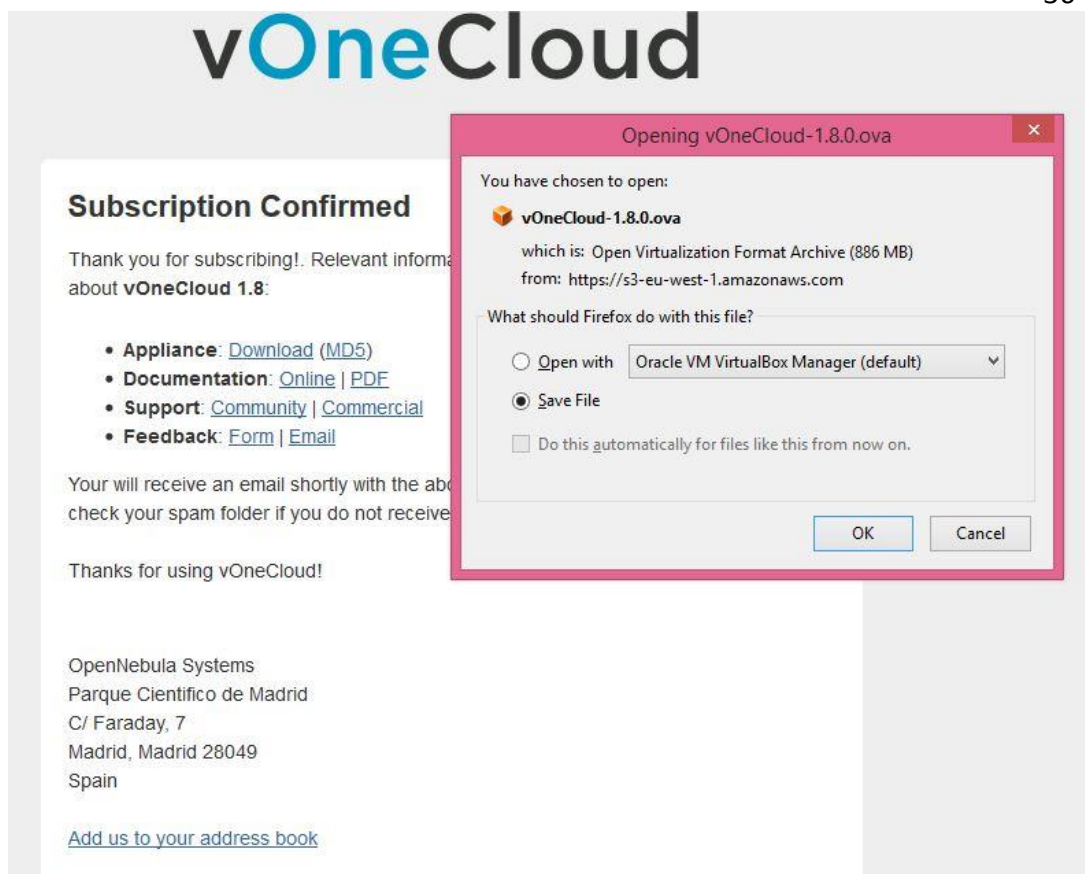


Kuvio 11. vSphere Web Client

4.4.4 vOneCloud

Ihan ensimmäiseksi täytyy käydä lataamassa .ova-tiedosto vOneCloudin sivuilta. (Ks. kuvio 12.)

Tiedoston lataamisen jälkeen, ennen Web Clientin puolelle siirtymistä täytyy käytettävälle työasemalle asentaa Client Integration Plug-in (mikäli sitä ei ole asennettu Web Clientin asennuksen yhteydessä), koska ilman tätä .ova-tiedostojen avaaminen ei onnistu Web Clientissa. vOneCloud kyllä ohjeistaa lataamaan Plug-inin asennuksessa, mutta ainakin tätä opinnäytetyötä tehtäessä linkki ohjasi sellaiseen asennukseen että Plug-in ei toiminut oikein. Toiselta sivustolta löytyi tieto, että Plug-in on sisältänyt virheitä, ja annettiin linkki oikeaan lataussivustoon.



Kuvio 12. vOneCloudin .ova-tiedoston lataus

Kun .ova-tiedosto on ladattu ja Client Integration Plug-in asennettu, voidaan siirtyä Web Clientin puolelle varsinaiseen vOneCloudin asennukseen. Asennus aloitetaan luomalla Datacenter, kuten seuraavaksi kerrotaan.

Datacenterin luominen

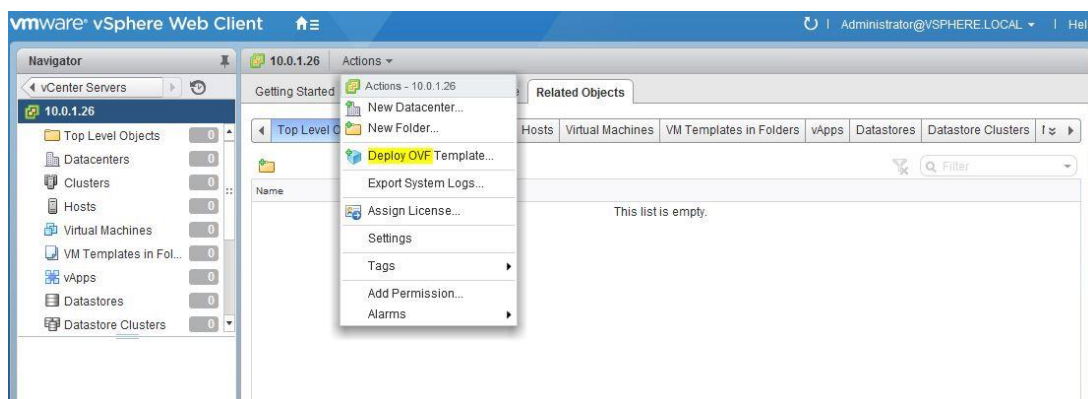
Web Clientissa vOneCloudin asennus aloitetaan luomalla uusi tietovarasto (Datacenter), koska vOneCloud vaatii tiedostoille oman kansion.

Datacenterin luominen aloitetaan napsauttamalla vCenter Inventory Lists-kohtaa. Kun Datacenter on luotu, määritellään mihin ESXiin tällä tietovarastolla viitataan (add standalone host). Kun nämä on tehty, voidaan uutta Datacenteriä napsauttaa hiiren oikealla ja luoda sitä kautta uusi kansio vOneCloudille.

Tietovaraston ja kansion luomisen jälkeen voidaan aloittaa varsinaisen vOneCloudin asennus, josta kerrotaan seuraavaksi.

vOneCloudin asennus


vOneCloudin asentaminen aloitetaan valitsemalla Home-välilehden vasemmalla sijaitsevasta valikosta kohta vCenter Inventory List ja tämän alta vCenter Servers. vCenter Serversin alta löytyy vCenterissä käytössä olevat isäntäkoneet. Näistä isännistä valitaan tarkoitukseen haluttu kone. Koneen Actions-listasta valitaan Deploy OVF Template. (Ks. kuvio 13.) Tämän jälkeen valitaan, haetaanko tiedosto omalta työasemalta, vai ladataanko se URL-osoitteen perusteella. Tässä opinnäytetyössä tiedosto haettiin omalta työasemalta, jonne se oli ladattu.



Kuvio 13. .ova-tiedoston lisääminen Web Clientiin

Tiedoston hakemisen jälkeen uusi vOneCloud voidaan nimetä ja sille määritellään kohdekansio Datacenteristä, joka on luotu aiemmin. Tämän jälkeen uudelle virtuaalikoneelle määritellään tietovarasto, jota sen halutaan käyttävän. Opinnäytetyössä käytettiin paikallista tietovarastoa (LocaDatastore), jolloin vOneCloud hyväksikäyttää käytettävää selainta tiedon varastoimiseen. Kun tietovarasto on määritelty, valitaan vielä käytettävä tietoverkko, joka opinnäytetyötä tehtäessä oli VM Network.

Näiden töiden jälkeen asennus näyttää vielä yhteenvedon valituista tiedoista, ja mikäli kaikki on ok, hyväksytään asennus ja vOneCloudin lataus käynnistyy automaattisesti. Kuviossa 14 on nähtävissä vOneCloud latautumassa sekä ennen sitä tehdyt työt.



Task Name	Target	Status	Initiator	Queued For	Start Time	Completion Time
Deploy OVF template	vOneCloud-1.8.0-te...	11 %	VSPHERE.LOCAL\...	8 ms	11.11.2015 10:16:18	
Initialize OVF deployment	10.0.1.25	Completed	Administrator@VSP...	0 ms	11.11.2015 10:16:17	11.11.2015 10:16:27
Create folder	Datacenter1	Completed	VSPHERE.LOCAL\...	17 ms	11.11.2015 10:12:37	11.11.2015 10:12:37
Add standalone host	Datacenter1	Completed	VSPHERE.LOCAL\...	15 ms	11.11.2015 10:10:59	11.11.2015 10:11:13
Create datacenter	10.0.1.27	Completed	VSPHERE.LOCAL\...	18 ms	11.11.2015 10:06:31	11.11.2015 10:06:32

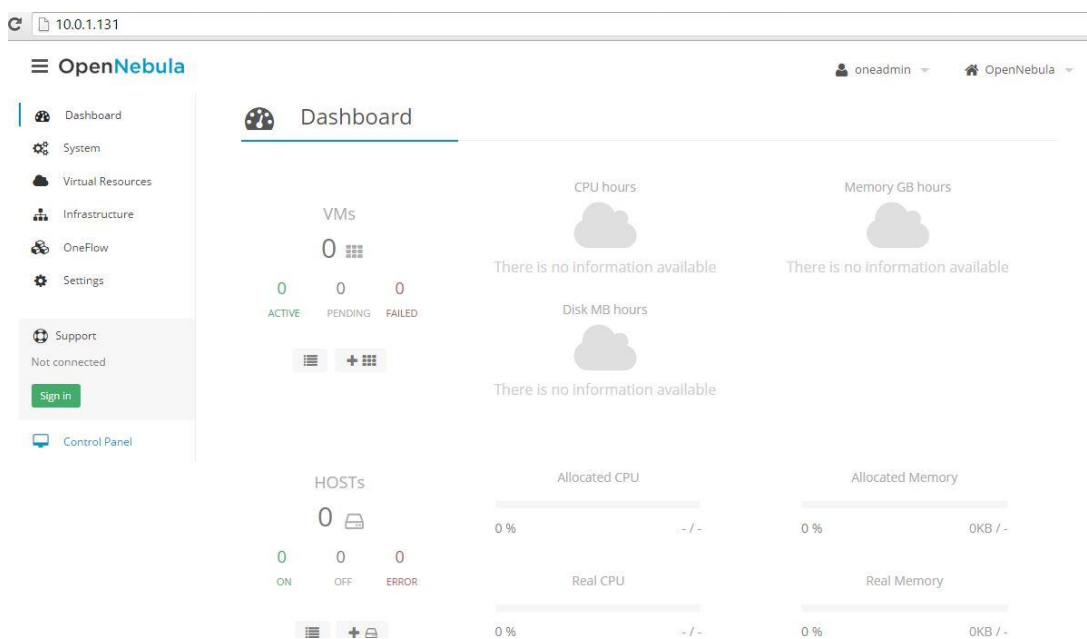
Kuvio 14. vOneCloud latautumassa

Kun tiedoston lataus on valmis, uusi vOneCloud löytyy vCenter Serversin alta kohdasta Virtual Machines. Klikkaamalla hiiren oikealla uutta virtuaalikoneetta se voidaan kytkeä päälle. Virtuaalikoneen Summary-välilehdeltä löytyy kohta Launch Console, jota napsauttamalla päästään uuden virtuaalikoneen konsolinäkymään. Summary-välilehdellä on nähtävissä myös ip-osoite, jonka Web Client on antanut uudelle virtuaalikoneelle. vCenterin salasanan antamisen jälkeen päästään näkymään, joka on esitetty kuviossa 15.

OpenNebula Sunstone

Sunstone on OpenNebulan graafinen käyttöliittymä, jonka kautta voidaan hallita kaikkia OpenNebula-resursseja ja täten myös vOneCloudia. Käyttöliittymän avulla voidaan suorittaa tyypillisiä toimintoja liittyen järjestelmäinfrastruktuuriin sekä mm. hallita käyttäjien oikeuksia. Käyttöliittymä mukautuu annettujen käyttöoikeuksien mukaan. (OpenNebula Sunstone: The Cloud Operations Center 2015.)

Opinnäytetyössä uuden virtuaalikoneen ip-osoite oli 10.0.1.131. Osoitteesta 10.0.1.131:8000 löytyy vOneCloudin Control Panel, jonka kautta pääsee Sunstoneen. Sunstonen pääkäyttäjän etusivun näkymä on esitetty kuviossa 17.



Kuvio 17. OpenNebula Sunstone pääkäyttäjänäkymä

4.4.5 Testaus

Jotta vOneCloudia saadaan testattua, on ensin tehtävä vCenteristä host OpenNebulaan. Hostin luomisen myötä kaikki vCenterissä olevat virtuaalikoneet ovat saatavilla OpenNebulassa. Testaus aloitetaan hostin luonnilla, kokeillaan OpenNebulan eri ominaisuuksia ja lopuksi asennetaan virtuaalikone ja testataan sen toimivuus.

SSH-yhteyden luominen

Testauksen alussa täytyy käydä tarkastamassa oned.conf-tiedosto, joka tehdään SSH-yhteydellä. OpenNebula ei automaattisesti tue SSH-yhteyttä, vaan käyttäjälle täytyy tuoda SSH-avain. Avain luotiin tässä tapauksessa PuTTYgenillä. **PuTTYgen** on ohjelmisto, jonka avulla voidaan luoda julkisia ja yksityisiä avainpareja. (Ubuntu manuals 2010.)

Kun avain on luotu, se kopioidaan ja vietään Oneadmin-käyttäjälle OpenNebulan Sunstonessa. Käyttäjät löytyvät napsauttamalla etusivulla System-kohtaa. Alavalikosta valitaan Users ja sieltä edelleen oikea käyttäjä. SSH-avaimelle on paikka käyttäjätiedoissa. SSH-yhteyttä käytetään seuraavaksi hostin luomisessa.

Hostin luonti

Hostin luonti aloitetaan tarkastamalla OpenNebulan oned.conf-tiedosto. Tätä varten avataan SSH-yhteys siihen vOneCloudia hallinnoivaan OpenNebulaan, jonne vCenterin tiedot halutaan tuoda. Opinnäytetyötä tehtäessä yhteyden muodostamiseen käytettiin PuTTYä. **PuTTY** on avoimen lähdekoodin ohjelmisto SSH-etäyhteyden luomiseen palvelimelle.

Kun yhteys on avattu, kirjaudutaan palvelimelle root-käyttäjänä. Mennään One-kansioon:

```
cd /etc/one.
```

Avataan oned.conf-tiedosto:

vi oned.conf.

Tarkastetaan, että vCenter Information Driver Manager ja vCenter Virtualization Driver Manager konfiguroinnit ovat oikein tai että niitä ei ole kommentoitu pois käytöstä. Kuviossa 18 ovat nähtävillä kohdat, joiden täytyisi löytyä tiedostosta.

```
#-----  
# vCenter Information Driver Manager Configuration  
#   -r number of retries when monitoring a host  
#   -t number of threads, i.e. number of hosts monitored at the same time  
#-----  
IM_MAD = [  
    name      = "vcenter",  
    executable = "one_im_sh",  
    arguments  = "-c -t 15 -r 0 vcenter" ]  
#-----  
  
#-----  
# vCenter Virtualization Driver Manager Configuration  
#   -r number of retries when monitoring a host  
#   -t number of threads, i.e. number of hosts monitored at the same time  
#-----  
VM_MAD = [  
    name      = "vcenter",  
    executable = "one_vmm_sh",  
    arguments  = "-t 15 -r 0 vcenter -s sh",  
    type      = "xml" ]  
#-----
```

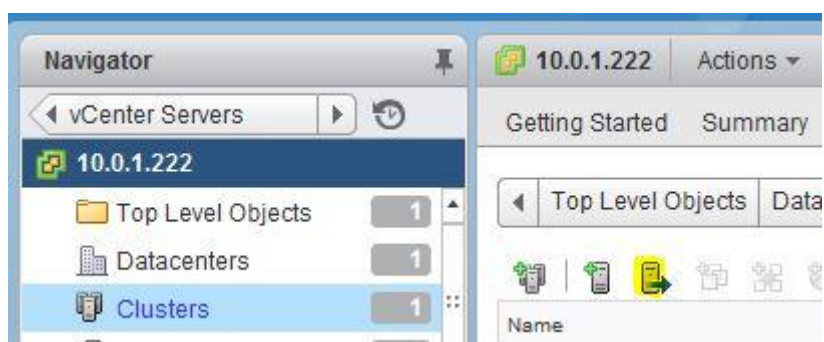
Kuvio 18. oned.conf-tiedosto (alkup. kuvio ks. OpenNebula Configuration 2015)

SSH-yhteyden voi sulkea kirjoittamalla komentoriville exit.

Kun tiedosto on tarkistettu, siirytään vSphere Web Clientiin tekemään vCenteristä ja ESXistä yhteinen klusteri, joka viedään Sunstoneen.

vCenterissä valitaan ensimmäiseksi vCenter Inventory List ja tämän alta vCenter Servers ja edelleen oikea isäntäkone. Oikea isäntä raahataan alla olevaan Clusters-kohtaan. Tämän jälkeen valitaan kohta Clusters ja luodaan

uusi klusteri. Samasta valikosta löytyy kohta Hosts. Napsautetaan sitä, ja tämän alta löytyy ESXi. ESXi lisättiin vCenteriin kohdassa 4.4.4 datacenterin luominen. ESXi napsautetaan aktiiviseksi, minkä jälkeen valitaan ylhäältä Actions-valikosta: New Resource Pool. Kun resource pool on tehty, valitaan vielä painikkeista Move Hosts Into Cluster Clusters-välilehden takana (ks. kuvio 19). Kun nämä asiat on tehty, vCenter on luonut ESXistä ja vCenterin serveristä yhteisen klusterin, joka on vietävissä Sunstoneen. Opinnäytetyössä tämän klusterin nimi on Anna.



Kuvio 19. Move Hosts Into Cluster -painike

Seuraavaksi siirrytään Sunstoneen puolelle. Etusivulta valitaan Infrastructure ja sen alta Hosts. Uusi isäntä lisätään painamalla +-painiketta. Type-kohdasta valitaan vCenter ja syötetään vCenterin administrator-käyttäjätunnus ja salasana sekä annetaan vCenterin ip-osoite. Tämän jälkeen painetaan Get vCenter Clusters -painiketta. vSphere Web Clientissa tehty klusteri integroituu nyt Sunstoneen (ks. kuvio 20).

System

Virtual Resources

Virtual Machines

Templates

Infrastructure

Clusters

Hosts

Virtual Networks

Zones

OneFlow

Settings

Support

Not connected

Sign in

Control Panel

Reset

Type: vCenter

Cluster: Default (none)

vCenter

User: Administrator@vsphere.local

Hostname: 10.0.1.222

Password:

Clusters

Please select the vCenter Clusters to be imported to OpenNebula. Each vCenter Cluster will be included as a new OpenNebula Host

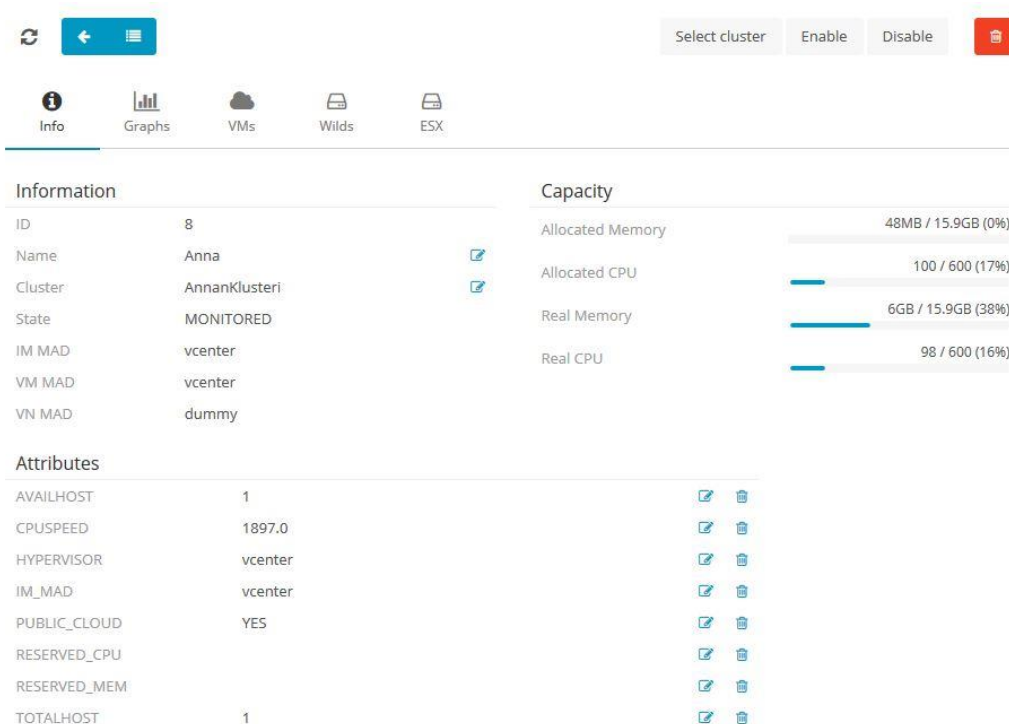
datacenter1 Datacenter

Anna

Host created successfully ID:8

Kuvio 20. Hostin lisääminen OpenNebulaan

Kun isäntä on lisätty Sunstoneen oikein, ovat sen ominaisuudet nähtävissä (ks. kuvio 21), kun painetaan uudelleen kohtaa Hosts ja valitaan haluttu isäntä. Opinnäytetyötä kirjoitettaessa isännän nimi oli Anna.



Kuvio 21. vCenter OpenNebulassa

Hostin näkymästä ovat nähtävillä mm. isäntäkoneen OpenNebulassa olevat virtuaalikoneet sekä Esxin tiedot. Wilds-välilehden alla löytyvät vCenteristä tuodut virtuaalikoneet, josta niitä voidaan ottaa käyttöön.

OpenNebulan ominaisuuksia

Sunstoneessa on monia eri ominaisuuksia, joista kerrotaan seuraavaksi. Heti pääkäyttäjänäkymään kirjaututtaessa ovat näkyvillä valikot: Dashboard, System, Virtual Resources, Infrastructure, Oneflow sekä Settings. Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin ajallisten resurssien vuoksi tarkemmin Dashboard-, System-, Virtual Resources- sekä Infrastructure-ominaisuuksiin, joista on kerrottu seuraavaksi. Settings-välilehdeltä löytyvät kyseisen vOneCloudin asetukset, ja Oneflow on tarkoitettu monitasoisten sovellusten sekä palveluiden hallintaan. (Ming Goh 2014.)

Dashboard-painikkeen alta ovat nähtävissä virtuaalikoneet sekä niiden tilat, käyttäjät, virtuaalikoneiden, hostien sekä käyttäjien käyttämät muistit sekä

cpu:t. Täältä löytyvät myös pikapainikkeet virtuaalikoneiden, hostien sekä käyttäjien luomiseen.

System-painikkeen alta puolestaan näkyvät käyttäjät, ja se, mihin käyttäjäryhmiin he kuuluvat. Käyttäjien käytössä olevat virtuaalikoneet ominaisuuksineen ovat myös nähtävillä, ja näitä ominaisuuksia voidaan muuttaa käyttäjäkohtaisesti (Ks. kuvio 22). Käyttäjäryhmiä voidaan myös luoda uusia ja samalla tavoin antaa niille haluttuja ominaisuuksia. Systemin alta löytyy mahdollisuus virtuaalisten datacenterien hallinnoimiseen (VDCs). Lisäksi siellä on Access Control List (ACLs), joka listaa käyttäjäryhmät ja niiden oikeudet.

ID	Name	Group	Auth driver	VMs	Memory	CPU
5	Anna	oneadmin	core	1 / 15	1GB / 2.9GB	1 / 2
4	TestiTestaaaja	Testi	core	1 / 10	768MB / 2.4GB	1 / 5
2	CloudAdmin	oneadmin	core	0 / -	0KB / -	0 / -
1	serveradmin	oneadmin	server_cipher	0 / -	0KB / -	0 / -
0	oneadmin	oneadmin	core	-	-	-


Kuvio 22. Käyttäjät-näkymä OpenNebulassa

Virtual Resources näyttää käytössä olevat virtuaalikoneet ja niiden omistajat. Täältä voidaan myös luoda uusia koneita, poistaa niitä sekä hallita niiden ominaisuuksia. Täällä on myös kohta Templates, joka sisältää templatet uusien virtuaalikoneiden luomiseen. Templatet voidaan luoda käsin tai tuoda vCenteristä, jossa valmis virtuaalikone on helposti muutettavissa uudeksi templateksi. Templateja voidaan myös ostaa VMwaren Online Storesta. Template-näkymä on esitetty kuviossa 23.

General Network Input/Output Context Scheduling Hybrid Other

Hypervisor
 KVM VMware Xen vCenter

Description

Logo 

vCenter Template UUID Keep VM disks

Memory 2048 MB

CPU 1

VCPU 1

Do not allow to change capacity
 Do not allow to modify network configuration

Cost

Memory

CPU

Disk

Kuvio 23. OpenNebula Template

Infrastructure-painikkeen alla ovat hostit, ja niitä voidaan myös lisätä ja päivittää täältä. Täältä ovat nähtävissä myös mm. hostin virtuaalikoneet sekä ESXi. Infrastructure-painikkeen alta voidaan myös luoda klustereita vOneCloudiin sekä luoda ja päivittää nettiyhteyksiä (Virtual networks).

Virtuaalikoneen luonti

vOneCloudiin voidaan luoda virtuaalikoneita monella eri tapaa, joista tässä on esitetty yksi. Tämä tapa valittiin käytettäväksi, koska opinnäytetyössä halutaan varmistua virtuaalikoneen näkyvyydestä pilvipalveluympäristön kaikissa järjestelmissä. Lisäksi muita tapoja ovat edellä mainitut templatet

sekä niiden kloonaus. Virtuaalikone asennettiin manuaalisesti ilman provisointia konfiguraationhallintaohjelmistolla.

Virtuaalikoneeksi tässä tapauksessa tehdään LAMP-palvelin. LAMP koostuu sanoista Linux, Apache, MySQL sekä PHP. Linux-käyttöjärjestelmäksi tässä työssä asennettiin Debian, joka luotiin ISO-kuvakkeesta. Kuvakkeen voi hakea omalle työasemalle esim. Debianin lataussivustolta.

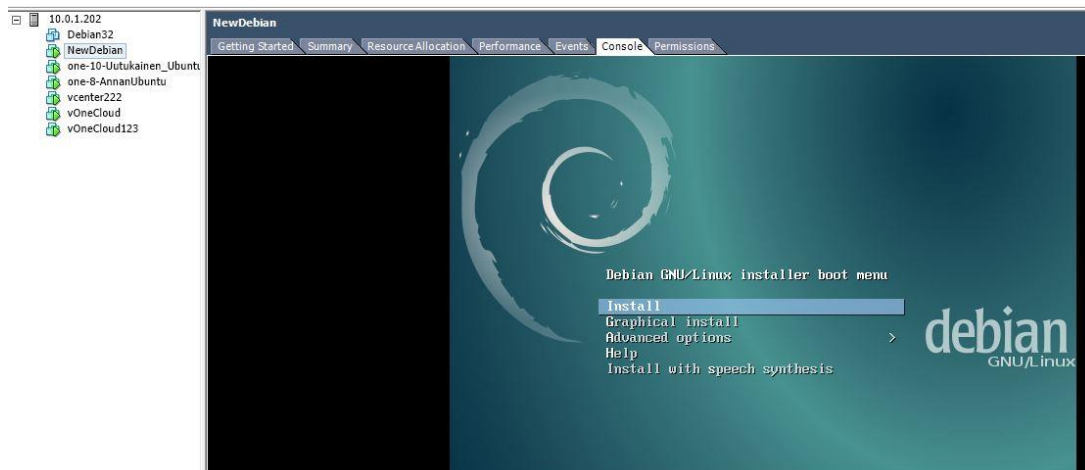
Virtuaalikoneen luonti aloitetaan kirjautumalla ESXin graafiseen käyttöjärjestelmään eli vSphere Clientiin.

Koska Debian luotiin ISO-kuvakkeesta, tämä kuvake täytyy viedä ensin ESXin datastoreen, josta se sitten myöhemmin otetaan käyttöön. ISO-kuvakkeen vienti aloitetaan valitsemalla ESXi aktiiviseksi ja valitsemalla sen välilehdistä Configuration (ESXin etusivun näkymä on esitetty kuviossa 9.). Tämä välilehti aukaisee vasemmalle oman valikon, josta valitaan Storage. Storageen alla ovat näkyvissä kaikki käytössä olevat datastoret. Näistä valitaan oikea, ja sen päällä klikataan oikealla valiten "Browse Datastore". Tämän jälkeen omalta koneelta voidaan tuoda tähän datastoreen oikea tiedosto. Kun ISO-kuvake on viety datastoreen, voidaan aloittaa varsinaisen virtuaalikoneen luonti, josta kerrotaan seuraavaksi.

Virtuaalikoneen luonti aloitetaan napsauttamalla ESXi jälleen aktiiviseksi, ja oikealla näppäimellä valitaan "New Virtual Machine". Uudelle koneelle annetaan nimi sekä muut tarvittavat tiedot, kuten käytettävä järjestelmä, joka tässä opinnäytetyössä oli Linux Debian (32-bit).

Kun virtuaalikone on luotu, se on näkyvillä ESXin alapuolella valikossa (Kuviossa 9 on näkyvissä joitain virtuaalikoneita.). Virtuaalikone valitaan aktiiviseksi, ja oikealla näppäimellä valitaan "Edit Settings". Tämä aukaisee virtuaalikoneen Properties-ikkunan. Ikkunasta valitaan CD/DVD drive, ja haetaan datastoresta oikea levykuva. Properties-ikkunassa laitetaan vielä rasti ruutuun kohdassa Device Status: Connect at power on. Tämän jälkeen ikkunan voi sulkea.

Seuraavaksi virtuaalikone valitaan jälleen aktiiviseksi, ja sen välilehdistä valitaan Console-näkymä. Virtuaalikoneeseen laitetaan virta päälle, ja lataus alkaa, kuten kuviossa 24 on nähtävillä.



Kuvio 24. Debian asennuksen alussa

Kun lataus on suoritettu loppuun, kirjaudutaan sisään root-tunnuksilla ja aloitetaan LAMP-palvelimen luonti. Linux on jo käyttöjärjestelmänä, joten aloitetaan Apachesta, mutta ihan ensimmäiseksi päivitetään Debian:

```
apt-get update
```

Apachen asennus:

```
apt-get install apache2
```

MySQL:n asennus:

```
apt-get install mysql-server
```

MySQL:n asennuksen viimeistely sekä salasanan antaminen MySQL:lle:

```
mysql_secure_installation
```

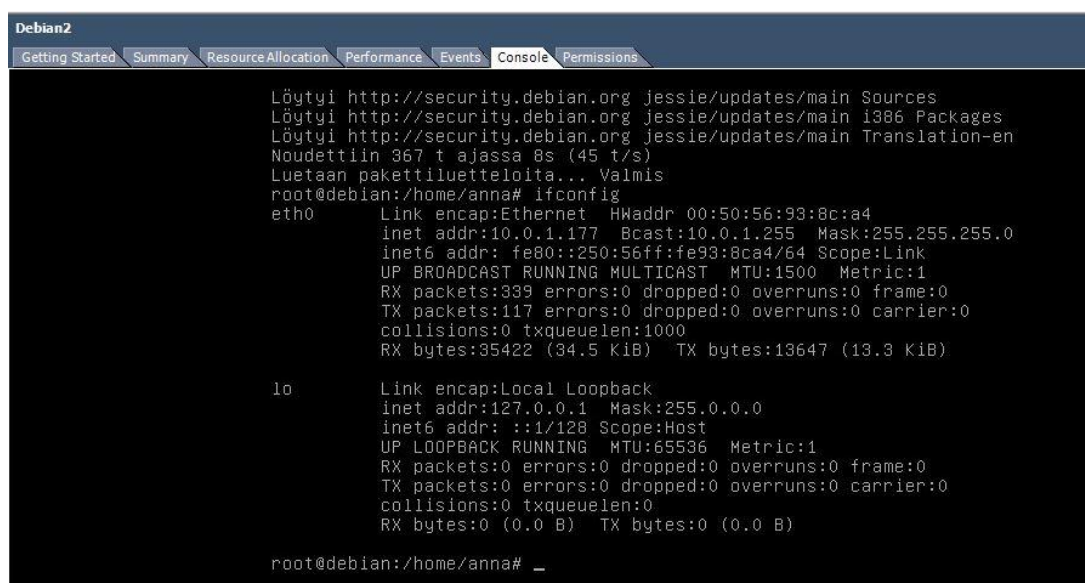
PHP:n asennus:

```
apt-get install php5 php-pear php5-mysql
```

Viimeistellään asennus käynnistämällä Apache uudelleen:

```
service apache2 restart
```

Uuden virtuaalikoneen ip-osoitteen saa selville ifconfig-komennolla (ks. kuvio 25).



```

Debian2
Getting Started Summary Resource Allocation Performance Events Console Permissions
Löytyi http://security.debian.org jessie/updates/main Sources
Löytyi http://security.debian.org jessie/updates/main i386 Packages
Löytyi http://security.debian.org jessie/updates/main Translation-en
Noudettiin 367 t ajassa 8s (45 t/s)
Luetaan pakettiluetteloita... Valmis
root@debian:/home/anna# ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr 00:50:56:93:8c:a4
          inet addr:10.0.1.177  Bcast:10.0.1.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::250:56ff:fe93:8ca4/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:339 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:117 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:35422 (34.5 KiB)  TX bytes:13647 (13.3 KiB)

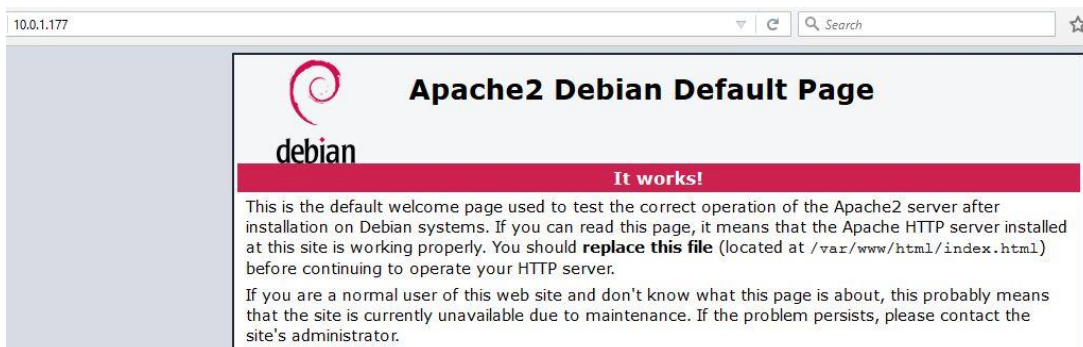
lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:0
          RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:0 (0.0 B)

root@debian:/home/anna# _

```

Kuvio 25. Debianin ip-osoite

Ip-osoitteen selvittämisen myötä voidaan tarkistaa virtuaalikoneen toimivuus kirjoittamalla työaseman osoiteriville saatu ip-osoite. Apachen toimiessa se antaa kuviossa 26 nähtävän ilmoituksen.



Kuvio 26. Apache toimii

Kun asennus on onnistunut, Debian on nähtävissä ESXin lisäksi vCenterissä sekä Opennebulaassa, kuten kuvioissa 27 ja 28 on havainnollistettu.

Valmistuneen palvelimen päälle voidaan nyt asentaa SaaS-kerroksen sovelluksia, kuten esim. Wordpress.



Kuvio 27. Debian vCenterissä

Virtual Machines

ID	Owner	Group	Name	Status	Host	IPs
17	oneadmin	oneadmin	Debian2	RUNNING	Anna	--
10	Anna	oneadmin	Uutukainen_Ubuntu	RUNNING	Anna	10.0.1.234
8	oneadmin	oneadmin	AnnanUbuntu	RUNNING	Anna	10.0.1.235
6	oneadmin	oneadmin	vOneCloud - Anna	RUNNING	Anna	10.0.1.156 fe80::250:56ff:fe93:6243

Showing 1 to 4 of 4 entries

4 TOTAL 4 ACTIVE 0 OFF 0 PENDING 0 FAILED

Kuvio 28. Debian OpenNebulassa

4.5 Tulokset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli verrata kahta erilaista pilvipalvelua keskenään sekä asentaa ja testata toinen niistä. Lisäksi tarkoituksena oli tuottaa konfigurointi-ohjeet valitusta palvelusta. Koska aihe oli opinnäytetyön tekijälle uusi, tärkeäksi osaksi muodostui myös selvittää, mitä pilvipalveluilla yleisesti tarkoitetaan sekä mitä ne ylipäätään ovat.

Opinnäytetyön alussa on selvitetty, mitä pilvipalveluilla tarkoitetaan sekä tutustuttu aiheen kannalta tärkeisiin käsitteisiin, kuten virtualisointi ja pilvipalvelumalleihin. Tähän teoriaan pohjaten tutkimusta on viety eteenpäin, ja palveluiden vertaaminen on ollut helpompaa.

Vertailu suoritettiin kriteeristön avulla pohjaten toimeksiantajan vaatimuksiin. Vertailun avulla valittiin palvelu, joka asennettiin.

Tutkimuksessa olennaisena osana oli pilvipalveluympäristön rakentaminen, koska sitä ei ollut valmiina saatavissa. Ympäristön rakentaminen onnistui VMwaren kokeilulisenssien avulla. Kokeiluun saatiin kaikki ne järjestelmät, joita vOneCloud vaati asentuakseen. Näitä olivat vSphere sekä vCenter graafisine käyttöliittymineen.

Kun ympäristö oli tehty, asennettiin vOneCloud. vOneCloudia käytettiin OpenNebulan käyttöjärjestelmän eli Sunstonen avulla. vCenterin tiedot saatiin tuotua OpenNebulaan sekä testattua yksinkertaista virtuaalikonetta.

Kaiken kaikkiaan kaikki se saatiin tehtyä, mitä tutkimuksen tarkoituksena olikin, ja työtä voidaan pitää onnistuneena näiden mittareiden valossa.

4.6 Haasteet asennuksessa

Asennuksessa kohdattiin monia haasteita, joista on kerrottu tässä luvussa. Suurin osa haasteista liittyi siihen, että asia oli opinnäytetyön tekijälle täysin uusi. Tietoa oli saatavilla valtavasti, ja asioista puhuttiin eri paikoissa eri nimillä. Lisäksi VMwaren omat www-sivut ovat erittäin laajat. Suuremmalla kokemuksella haasteet olisivat varmasti olleet voitettavissa helpommin. Haasteista riippuen palveluita jouduttiin asentamaan useasti uudelleen, ja tästä syystä niillä on myös useita eri ip-osoitteita, jotka näkyvät tässäkin opinnäytetyössä esim. vCenterin kohdalla.

Ensimmäiset haasteet kohdattiin heti ESXin asennuksessa. Palvelimelle oli otettu RAID käyttöön. RAID eli Redundant Array of Independent Disks tarkoittaa tekniikkaa, jolla vikasietoisuutta parannetaan käyttämällä erillisiä kiintolevyjä yhdistämällä ne yhdeksi loogiseksi levyksi. (Jacobi n.d.) Tämä ominaisuus ei saa olla käytössä VMwaren ESXiä asennettaessa, eli se jouduttiin poistamaan. Palvelimelta poistettiin käytöstä smart array, RAID-kontrolleri sekä palautettiin tehdasasetukset.

Kun palvelin oli valmisteltu, aloitettiin ESXin lataus USB-tikulta. Lataus lähtikin käyntiin, mutta ei kysynyt missään vaiheessa pääkäyttäjän salasanaa eikä myöskään antanut latauksen loputtua ip-osoitetta palvelimelle. Kun ip-osoitetta olisi haluttu muuttaa System Customization-ikkunassa, se kävi mahdottomaksi ilman salasanaa. Asia ratkesi alustamalla USB-tikku UNetbootilla. Tikku oli siis tehty väärin, ja siitä johtui tämä haaste.

Lisää haasteita aiheutui vCenterin asennuksessa. Käsityksen mukaan vCenter pitäisi voida viedä vSphere Clientiin (ESXin graafinen käyttöliittymä) levykuvana FTP-serverin avulla. FileZilla ei kuitenkaan avannut yhteyttä ESXille. Tutkimuksen jälkeen löytyi tieto, että ESXin SSH-tuki täytyy käydä itse laittamassa päälle vSphere Clientista. Tämän jälkeen yhteys avautui sekä FileZillalla että PuTTYlla.

vCenteriä ei kuitenkaan lähtenyt toimimaan levykuvasta ja siksi päädyttiin asentamaan vCenter Server Appliance (VCSA) työasemalle omaksi ohjelmistokseen, jolloin vCenter saatiin toimimaan.

vOneCloud tuotiin vCenteriin .ova-tiedostona. Jotta tällaisten tiedostojen avaaminen onnistuisi vCenterissä, tarvitsi käytettävälle työasemalle asentaa Client Integration Plug-in. Kuitenkin vOneCloudin latauksen yhteydessä oleva Plug-in kyllä latautui työasemalle, mutta ei toiminut. Asiaa tutkittaessa selvisi, että kyseinen Plug-in ei toimi oikein, ja vihdoin löydettiin toimiva versio tästä.

vOneCloudin asentamisen yhteydessä oli ongelmia ip-osoitteen kanssa. Palvelu kyllä antoi ip-osoitteen, mutta se ei toiminut työasemalla. Virheenä oli se, että yritettiin antaa staattista ip:tä virtuaalikoneelle. DHCP:tä käyttämällä asia korjaantui.

Myös Sunstonessa hostin saaminen tuotti tuskaa. Lopulta syyksi paljastui se, että vCenteristä ja ESXistä täytyi tehdä yhteinen klusteri, tai muuten integraatio OpenNebulan kanssa ei ole mahdollista. Kun tämä saatiin ratkaistua, testaus voitiin aloittaa.

5 Johtopäätökset

Tässä luvussa pyritään selvittämään, kuinka toimeksiantaja voisi hyödyntää halutessaan vOneCloudia omassa toiminnassaan. Tuotteenhan täytyy olla sovitettavissa toimeksiantajan infrastruktuuriin ja sen pitää skaalautua toimeksiantajan erilaisten asiakkaiden tarpeisiin.

Testauksen ja asennuksen pohjalta vOneCloud soveltuu toimeksiantajan tarpeisiin hyvin. Kun ensin on selvitetty, kuinka vOneCloud toimii ja mitä se vaatii toimiakseen, on sen asentaminen suhteellisen helppoa ja nopeaa edellyttäen, että sopiva ympäristö on jo valmiina.

vOneCloud sisältää OpenNebulan graafisen käyttöjärjestelmän nimeltään Sunstone. Sunstone avulla vOneCloudia voidaan hallita monipuolisesti ja hyvin. Täältä voidaan luoda uusia käyttäjiä sekä käyttäjäryhmiä ja määritellä näiden oikeudet ja ominaisuudet yksityiskohtaisesti. Myös uusia virtuaalikoneita saadaan luotua ja niiden luomiseen on käytettävissä useita eri tapoja, kuten ESXissä luonti, templatesta tekeminen tai vCenteristä tuominen. Helppokäyttöisestä käyttöliittymästä on ensisilmäyksellä nähtävissä käyttäjien, virtuaalikoneiden sekä hostien määrä ja tila. Etusivulta voidaan myös suoraan luoda mm. uusia virtuaalikoneita, käyttäjiä, käyttäjäryhmiä sekä hosteja. Samat asiat voidaan tehdä suoraan etusivulta tai vasemmalla sijaitsevasta valikosta. Kaikkia ominaisuuksia, mm. virtuaalikoneiden kapasiteettiä, kuten cpu:ta ja muistia, voidaan hallita hyvinkin yksityiskohtaisesti. Käyttäjäryhmiin voidaan määritellä käyttöoikeudet, ja käyttöliittymä muuttuu aina sen mukaan.

Palvelu skaalautuu hyvin. vOneCloudin voi antaa toimeksiantajan asiakkaan omaan käyttöön PaaS-ratkaisuna, jolloin tämä voi itse luoda sinne omat käyttäjät sekä haluamansa määrän virtuaalikoneita. vOneCloud toimii myös hyvin siten, että toimeksiantaja asentaa sinne virtuaalikoneen (esim. testauksessa tehty Debian) ja antaa sen asiakkaalle käyttöön. Toimeksiantaja voi siis luoda samaan vOneCloudiin useampia virtuaalikoneita ja lohkoa ne vaikka kone kerrallaan asiakkaiden käyttöön.

Yhtä vOneCloudia ei siis tarvitse antaa asiakkaalle kokonaisuudessaan, ellei niin halua.

vOneCloud on siis sovellettavissa moneen eri tarkoitukseen. Kun yhden vOneCloudin on luonut, on seuraavien luominen helppoa, ja palvelua on täten helppo monistaa.

vOneCloud onkin valmis PaaS-palvelu yrityskäyttöön ja vaihtoehto vCloudille. vOneCloud myös pystyy hyväksikäyttämään VMwaren resursseja ja ominaisuuksia, kuten HA (High Availability)-käytäntöä. (Lorente 2014.)

Asennuksen ja testauksen pohjalta voin suositella vOneCloudia toimeksiantajalle. Tässä yhteydessä täytyy kuitenkin muistaa, että palvelut olivat minulle uusia, joten oma käyttökokemukseni ei välttämättä vastaa muiden ajatuksia. Lisäksi lopullinen toimintaympäristö vaikuttaa palvelun soveltuvuuteen. Testausta myös olisi voinut suorittaa loputtomiin, mutta tässä se tehtiin yhden virtuaalikoneen voimin. Mm. template-ominaisuuksiin syvällisesti perehtyminen olisi vaatinut oman aikansa. Toisaalta, mikäli osaamattomampikin osasi asentaa ja testata vOneCloudin ja sen vaatiman ympäristön, se onnistunee ammattilaiseltakin. Kaiken kaikkiaan palvelusta jäi miellyttävä kuva.

Lähteet

Hancock, A. 2015. HOW TO: Install and Configure VMware vSphere Hypervisor 6.0 (ESXi 6.0). Viitattu 13.11.2015. <http://www.experts-exchange.com/articles/17527/HOW-TO-Install-and-Configure-VMware-vSphere-Hypervisor-6-0-ESXi-6-0.html>.

Heino, P. 2010. Pilvipalvelut. Hämeenlinna: Talentum Media.

Hypervisors. 2015. Viitattu 13.10.2015. http://docs.openstack.org/juno/config-reference/content/section_compute-hypervisors.html.

Ihalainen, P. 2014. Smoother Internet. Pilvipalvelujen hyödyntäminen Suomessa. Viitattu 29.10.2015. <https://www.ubisecure.com/blog/pilvipalvelujen-hyodyntaminen-suomessa>.

Jacobi, J. N.d. PCWorld: RAID Made Easy. Viitattu 26.11.2015. <http://www.pcworld.com/article/194360/raid-made-easy.html>.

Järvinen, T. 2011. Pilviteknologia ja tietoturva: Aalto-yliopiston tietoturvapäivä 24.5.2011. Viitattu 29.10.2015. https://wiki.aalto.fi/download/attachments/58941866/pilvipalvelut_ja_tietoturva_tj_2011_public.pdf?version=1&modificationDate=1320931339000.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Laaksonen, A. 2015. Pilvipalvelut pähkinänkuoressa. Viitattu 3.12.2015. <http://www.pilveen.net/2015/09/pilvipalvelut-pahkinankuoressa.html>.

Licence & Download. 2015. Viitattu 12.11.2015. <https://my.vmware.com/group/vmware/evalcenter?p=vsphere6>.

Llorente, M. 2014. OpenStack Journal: vOneCloud: The Simplest Alternative to vCloud. Viitattu 24.11.2015. <http://openstack.sys-con.com/node/3221182>.

Mauro, A. 2015. Platform9 provide VMware vSphere SaaS management. Viitattu 30.10.2015. <http://vinfrastructure.it/2015/08/platform9-provide-vmware-vsphere-saas-management/>.

Methods for installing ESXi 6.0. 2015. Viitattu 13.11.2015. http://kb.vmware.com/selfservice/microsites/search.do?language=en_US&cmd=displayKC&externalId=2109708.

- Ming Goh, C. 2014. OlinData: Oneflow. Viitattu 21.12.2015.
<http://www.olindata.com/blog/2014/11/opennebula-yet-another-iaas>.
- Mikä on OpenStack? N.d. Viitattu 13.10.2015. <http://www.nebulacloud.fi/it-asiiantuntijoille/mika-openstack>.
- Mitä tarkoittaa provisiointi? N.d. Viitattu 15.10.2015.
<http://vastaukset.fi/q/Mit%C3%A4+tarkoittaa+provisiointi>.
- Mitä virtualisointi on? N.d. Viitattu 5.10.2015.
<http://www.citius.net/fi/ratkaisut/virtualisointi>.
- OpenNebula Configuration. 2015. Viitattu 16.12.2015.
<http://docs.opennebula.org/4.12/administration/virtualization/vcenterg.html>.
- OpenNebula Sunstone: The Cloud Operations Center. 2015. Viitattu 20.11.2015.
http://docs.opennebula.org/4.12/administration/sunstone_gui/sunstone.html.
- OpenNebula.systems. 2016. Who we are. Viitattu 22.1.2016.
<http://opennebula.systems/company/>.
- Orkestrointi. N.d. Viitattu 15.10.2015.
<https://www.nebula.fi/fi/asiakkaille/ohje/infrastruktuuri/pilvi-90/orkestrointi>.
- Platform9. 2015. Viitattu 3.12.2015. <http://www.marketwired.com/press-release/platform9-makes-self-service-private-clouds-easy-vmware-customers-releases-managed-2048411.htm>.
- Pilvipalvelut yrityskäytössä. 2014. Viitattu 28.9.2015.
http://images.encyclopedia.visma.com/Web/Visma/%7Bd12e09bd-ce2e-4b4d-9604-5871671bb061%7D_Pilvipalvelut-yrityskaytossa.pdf.
- Portnoy, M. 2012. Essentials: Virtualization Essentials. Sybex.
- Pricing. 2015. Viitattu 30.10.2015. <http://platform9.com/product/pricing.html>.
- Ratilainen, T. 2015. Tuntiopettaja. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Keskustelu 27.10.2015.
- Renski, B. 2013. InformationWeek: VMware Vs. KVM: OpenStack Hypervisor Race Heats Up. Viitattu 24.11.2015. <http://www.networkcomputing.com/cloud-infrastructure/vmware-vs-kvm-openstack-hypervisor-race-heats-up/a/d-id/1113152>.
- Salo, I. 2010. Cloud computing -palvelut verkossa. Helsinki: WSOYpro.

Salo, I. 2012. Hyötyä pilvipalveluista. Jyväskylä: Docendo.

Salo, I. 2014. BIG DATA & PILVIPALVELUT. Jyväskylä: Docendo.

Software Overview 2014. Viitattu 23.10.2015. <http://www.amax.com/advisor/04-14.html>.

The Open Replacement for vCloud. 2015. Viitattu 12.11.2015. <http://vonecloud.today/>.

Tuominen, M. 2015. Kyberturva: Voiko pilvipalveluihin luottaa?. Viitattu 29.10.2015. <http://www.ecraft.fi/blog/2015/9/9/kyberturva-voiko-pilvipalveluihin-luottaa>.

Ubuntu manuals. 2015. Viitattu 16.12.2015. <http://manpages.ubuntu.com/manpages/hardy/man1/puttygen.1.html#contenttoc0>.

Virtualization. 2015. Viitattu 13.10.2015. <http://www.vmware.com/virtualization/overview.html>.

Vishwas, L. 2014. Platform as a Service: When it Comes to the Cloud, PaaS Is the Point. Viitattu 26.10.2015. <http://blog.appliedis.com/2014/01/17/platform-as-a-service-when-it-comes-to-the-cloud-paas-is-the-point/>.

vOneCloud Documentation. 2015. Release 1.8.0. Viitattu 30.10.2015. <http://docs.vonecloud.com/pdf/vOneCloud-1.8.0.pdf>.

vSphere. 2015. Features. Viitattu 13.10.2015. <http://www.vmware.com/products/vsphere/features/compute.html>.

vSphere Hypervisor. 2015. Viitattu 30.10.2015. <https://www.vmware.com/products/vsphere-hypervisor/gettingstarted.html>.

What is OpenStack? N.d. Viitattu 14.10.2015. <http://opensource.com/resources/what-is-openstack>.

VMware vCenter Server. 2014. Viitattu 13.10.2015. https://ecs-fi.arrow.com/edustukset/vmware/VMware_vCenter_Server/Sivut/default.aspx.

VMware vCloud Suite 6.0 Documentation. 2015. Viitattu 13.10.2015. <http://pubs.vmware.com/vcloudsuite-60/index.jsp#com.vmware.vcloudsuite.doc/GUID-1125DB35-FED4-44B5-B5E4-A732E4705D44.html>.

VMware vCloud Suite. 2012. Viitattu 26.11.2015.

<http://letusgovirtual.com/?p=591>.

Younis, E. 2015. Reasons to Consider Private Cloud with Platform9. Viitattu

3.12.2015. <http://emadyounis.com/tech-field-day/reasons-to-consider-private-cloud-with-platform9/>.

Yrityksestä. N.d. Viitattu 16.9.2015. <http://www.pard.co/fi/yritys>.