



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

PETTERI LAHDENSALO

Avoimen lähdekoodin virtuaalipalvelinympäristö

TIETOTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA
2020

Tekijä Lahdensalo, Petteri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Elokuu 2020
	Sivumäärä 28	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Avoimen lähdekoodin virtuaalipalvelinympäristö		
Tutkinto-ohjelma Tietotekniikka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin avoimen lähdekoodin ratkaisujen toimivuutta PK-yritysten sähköisen liiketoiminnan tarpeisiin. Tavoitteena oli löytää Pk-yrityksen tarpeisiin sopiva sovelluskokonaisuus, joka olisi tarvittaessa helposti skaalattavissa myös suuremman yrityksen tarpeisiin. Sovelluksia valittaessa tärkeä kriteeri oli myös helppo hallittavuus.</p> <p>Työssä rakennettiin toimiva virtuaalipalvelinympäristö. Työ koostui Hypervisorin asentamisesta laitteistoon sekä virtualisoitujen palvelimien asentamisesta, käyttöönotetuista palveluista mm. palomuri, tiedostopalvelin, Active Directory, sähköposti, sekä liiketoimintasovelluksista koostuvasta palvelimesta ja näiden ympärille tarvittavasta sisäverkon rakentamisesta. Lähdeaineisto kerättiin pääosin google-hakutulosten johdantelemana.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena voidaan todeta, että siinä toteutettu järjestelmä soveltuu hyvin yrityksen tarpeisiin. Sivuhuomiona voidaan myös todeta, että kuluttaja käyttöön tarkoitettu mobiili-internetliittymä soveltuu huonosti palvelinympäristöön.</p>		
<p>Asiasanat Hypervisor, Virtuaalipalvelin, Avoin lähdekoodi,</p>		

Author(s) Lahdensalo, Petteri	Type of Publication Bachelor's thesis	Date August 2020
	Number of pages 28	Language of publication: Finnish
Title of publication Open source Virtual Server Environment		
Degree program Information technology		
Abstract <p>The functionality of open source solutions for the e-business needs of SMEs was investigated in this thesis. The aim was to find an application package suitable for the needs of an SME, which could be easily scaled to the needs of a larger company if necessary. Easy manageability was also an important criterion when selecting applications.</p> <p>The target of this study was to build a virtual server environment. The work consisted of installing Hypervisor on the hardware and installing virtualized servers, the implemented services including a firewall, file server, Active Directory, e-mail, as well as a server consisting of business applications and the necessary internal network construction around servers. The source material consisted mainly of google search results.</p> <p>As a final result of the thesis it can be stated that the implemented system fits well to companys needs. As a secondary note, it can also be stated that the Mobile Internet connection for consumer use is ill-suited to the server environment.</p>		
<u>Key words</u> Hypervisor, Virtual server, Open source code		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 HYPERVISOR.....	7
2.1 Hypervisor tyypit	7
2.1.1 Monoliittinen.....	7
2.1.2 Osittain monoliittinen.....	7
2.1.3 Mikroydin.....	8
2.2 Virtualisointitekniikat	8
2.2.1 Täysvirtualisointi	8
2.2.2 Laitteisto avustettu virtualisointi.....	9
2.2.3 Paravirtualisointi	9
3 VIRTUAALIPALVELIN	10
3.1 Xen Project.....	10
3.1.1 Xen server	10
3.2 XCP-ng.....	11
3.2.1 Hallinta.....	11
4 PALVELINYMPÄRISTÖ	14
4.1 Freenas	14
4.2 Owncloud	14
4.3 pfSense	15
4.4 Zentyal.....	15
4.5 Odoos.....	15
5 VIRTUAALIPALVELINYMPÄRISTÖN ASENNUS	17
5.1 Laitteisto.....	17
5.2 XCP-ng asennus	17
5.3 Virtuaalikoneen asennus	18
5.4 Xen Orchestra asennus.....	19
5.5 pfSense asennus	19
5.6 FreeNAS asennus	20
5.7 Zentyal asennus	22
5.8 Owncloud asennus	23
5.9 Odoos asennus	24
5.10 Kaavio	25
6 YHTEENVETO	26
LÄHTEET.....	27

1 JOHDANTO

Avoim lähdekoodi on tietokoneohjelmien tuottamis- ja kehitysmenetelmä, joka tarjoaa käyttäjälle, yritykselle tai yhteisölle mahdollisuuden muokata ohjelmisto koodia omien tarpeidensa mukaisesti. Avoimen lähdekoodin periaatteisiin kuuluu myös vapaus käyttää ohjelmaa mihin tahansa tarkoitukseen ja kopioida ja levittää sekä alkuperäistä että muokattua versiota.

Avoimen lähdekoodin määrittäminen ei ole aivan yksinkertaista, koska avoimen lähdekoodin lisenssejä löytyy lukuisia. Jokaisella isommalla valmistajalla on omat avoimen lähdekoodin lisenssit kuten Intel Open Source License, Nokia Open Source License *Open* tai Apple Public Source License.

Source Initiative (OSI) -järjestö kuitenkin pyrkii luokittelemaan uudet kriteerit täyttävät lisenssit, alla olevien määritelmien mukaan:

1. Ohjelman täytyy olla vapaasti levitettävissä ja välitettävissä.
2. Lähdekoodin täytyy tulla ohjelman mukana tai olla vapaasti saatavissa.
3. Myös johdettujen teosten luominen ja levitys pitää sallia.
4. Lisenssi voi rajoittaa muokatun lähdekoodin levittämistä vain siinä tapauksessa, että lisenssi sallii erillisten korjaustiedostojen ja niiden lähdekoodin levittämisen. Voidaan myös vaatia, ettei johdettua teosta levitetä samalla nimellä tai versionumerolla kuin lähtöteosta.
5. Yksilöitä tai ihmisryhmiä ei saa asettaa eriarvoiseen asemaan.
6. Käyttötarkoituksia ei saa rajoittaa.
7. Kaikilla ohjelman käsiinsä saaneilla on samat oikeudet.
8. Lisenssi ei saa olla riippuvainen laajemmasta ohjelmistokokonaisuudesta, jonka osana ohjelmaa levitetään, vaan ohjelmaan liittyvät oikeudet säilyvät, vaikka se irrotettaisiin kokonaisuudesta.
9. Lisenssi ei voi asettaa ehtoja muille ohjelmille. Ohjelmaa saa levittää myös yhdessä sellaisten ohjelmien kanssa, joiden lähdekoodi ei ole avointa.

10. Lisenssin sisällön pitää olla riippumaton teknisestä toteutuksesta. Oikeuksiin ei saa liittää varauksia jakelutavan tai käyttöliittymän varjolla.

Vaikka avoin lähdekoodi on kaikkien saatavilla ei se välttämättä tarkoita, että ohjelmiston käyttö olisi täysin ilmaista. Koska ohjelmiston kehittäminen vaatii usein paljon aikaa ja laitteistoja, tarvitsevat avoimen lähdekoodin ohjelmistoprojektit myös rahaa. Usein avoimen lähdekoodin yhteisöt toimivat lahjoituksilla, jolloin myös maksu on avointa ja perustuu täysin vapaaehtoisuuteen.

Varsinkin yrityksille suunnatuissa avoimen lähdekoodin ohjelmistoissa, tehdään yleensä kaupallinen versio, joka voi tarjota lisäpalveluita sovelluksesta riippuen esim. sovelluksen teknisen tuen, automaattiset päivitykset, palvelintilaa ohjelmistoa varten, helppokäyttöisen wizard-asennuspaketin, tai lisäominaisuuksia tuovia maksullisia liitännäisiä.

Usein menestyneissä ja suosituissa avoimen lähdekoodin ohjelmistoissa löytyy rajapinta lisäosaominaisuuksille. Näitä kutsutaan myös liitännäisiksi. Liitännäisillä toinen- tai kolmasosapuoli voi tehdä tarvitsemansa lisäominaisuuden sovellukseen ja jakaa tämän lisäominaisuuden isäntäsovelluksen lisäosa-kirjastossa. Kolmasosapuoli, joka ei ole virallinen ohjelmistokehittäjä mutta voi sakin olla isompi yhteisö, voi luoda sovelluskirjaston, jota ei tueta virallisesti ja jakaa siellä omia sovelluksiaan. Näin ollen tämän tyyppistä sovellusta voidaan kehittää monella eri tasolla. Avoimen lähdekoodin ratkaisut on vähentänyt ohjelmistojen päällekkäistä kehitystyötä yritysten välillä. (opensource.org - Verkkosivu, 2020) (Wikipedia - Avoin lähdekoodi, 2020)

2 HYPERVISOR

Virtualisointi mahdollistaa useiden käyttöjärjestelmien ajamisen samalla tietokoneella tai palvelimella. Tämä mahdollistaa laiteresurssien paremman hyödyntämisen. Avoimen lähdekoodin hypervisor-projekteja löytyy useampia, kuten Xen Project, KVM ja Xvisor. Nämä kuitenkin poikkeavat arkkitehtuuriltaan toisistaan. (xhypervisor.org Embedded Hypervisor Xvisor A comparative analysis, 2020) (Foundation, 2020) (XCP-ng-org -Verkkosivu, 2020) (Wikipedia - Comparison of platform virtualization software, 2020)

2.1 Hypervisor tyypit

Hypervisor toimii rajapintana laitteiston ja virtuaalikoneiden välillä. Tapa, jolla nämä hypervisorit toteutetaan määrää, kuinka virtualisointia hallitaan.

Hypervisorit voidaan jaotella käyttöjärjestelmän ytimen tyyppien mukaan. Toteutustavasta riippuen, jokainen hypervisor perustuu johonkin seuraavista malleista. (xhypervisor.org Embedded Hypervisor Xvisor A comparative analysis, 2020)

2.1.1 Monoliittinen

Monoliittisessa hypervisorissa on yksi ohjelmisto kerros, joka vastaa isäntälaitteiston käytöstä, Prosessori-virtualisoinnista ja vieraiden laitteistoajurien emuloinnista. Näin toimivat esimerkiksi: Xvisor ja VMware ESXi (xhypervisor.org Embedded Hypervisor Xvisor A comparative analysis, 2020)

2.1.2 Osittain monoliittinen

Osittain monoliittiset hypervisorit ovat yleensä käyttöjärjestelmän laajennuksia (esim. Linux, Windows jne.). Ne tukevat isäntä laitteiston käyttöä ja prosessorivirtualisointia käyttöjärjestelmän ytimessä, sekä tukevat virtualisoidun käyttöjärjestelmän (guest OS) laitteistoajurien emuloimista käyttäjäavaruudessa sijaitsevalla ohjelmalla Näin

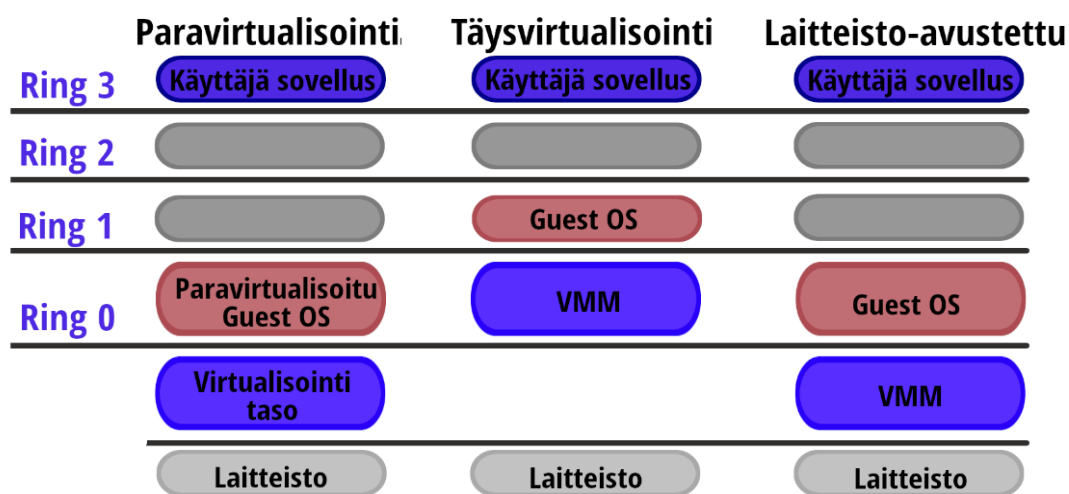
toimivat esimerkiksi: Linux KVM- ja VMware-Workstation (xhypervisor.org Embedded Hypervisor Xvisor A comparative analysis, 2020)

2.1.3 Mikroydin

Mikroydin hypervisorit ovat yleensä kevyitä ja tietoturvallisia. Ne tarjoavat isäntälaitteiston peruskäytön ja prosessorivirtualisoinnin mikroytimessä. Laitteistoajurien hallintaa varten on omat sovellusprosessit. Näin toimivat esimerkiksi: Xen, Microsoft Hyper-V. (xhypervisor.org Embedded Hypervisor Xvisor A comparative analysis, 2020)

2.2 Virtualisointitekniikat

Virtualisointi tekniikka määrittelee miten virtualisoidun käyttöjärjestelmän (guest OS) toimivat hypervisorin päällä.



Kuva 1. Ring kuvaa suojaustasoja, mitä pienempi numero sitä vahvempi käskykanta.

2.2.1 Täysvirtualisointi

Täysvirtualisoinnissa fyysisen laitteiston ja virtualisointitason välissä ei ole ylimääräistä kerrosta. Binary translationin ja suoran suorittamisen yhteiskäyttö eristää virtuaaliympäristöllä virtualisoidun ohjelmiston kokonaan isäntäkoneen fyysisestä

laitteistosta. (fi.wikiversity.org, 2020) (xhypervisor.org Embedded Hypervisor Xvisor A comparative analysis, 2020)

2.2.2 Laitteisto avustettu virtualisointi

”Laitteisto-avustettu virtualisointi mahdollistaa sen, että käytössä oleva fyysinen laitteisto kykenee ymmärtämään virtuaalikoneilta tulevia käskyjä suoraan ilman hallintaohjelman toimimista välittäjänä. Tätä virtualisointitekniikkaa voidaan käyttää yhdessä täys- ja paravirtualisoinnin kanssa, jolloin molemmissa tapauksissa kyetään käyttämään isäntäkoneen prosessoritehoa huomattavasti paremmin. Ensimmäisen generaa- tion Intel Virtualization Technology ja AMD:n AMD-V hyödyntävät virtuaalikäyttöjärjestelmien käskyjen kääntämistä suoraan prosessorille. Täysvirtualisoidun ympäristön binaaritranslaatiota tai paravirtualisaatiota ei siis laitteistoavusteisessa virtualisoinnissa tarvita lainkaan vaan nämä käskyt kääntyvät suoraan hyperviisorille.”

(fi.wikiversity.org, 2020)

2.2.3 Paravirtualisointi

Paravirtualisoinnissa hallintaohjelma ohjaa virtuaalikoneiden laiteresurssien käyttöä eikä emuloi laitekantaa. Tämä onkin yleensä täyttä virtualisaatiota tehokkaampi.

Paravirtualisointi vaatii tuen virtualisoitavalta käyttöjärjestelmältä, Paravirtualisoitu käyttöjärjestelmä on ”itse tietoinen” virtualisoinnistaan toisin kuin täysvirtualisoinnissa. (fi.wikiversity.org, 2020) (xhypervisor.org Embedded Hypervisor Xvisor A comparative analysis, 2020)

3 VIRTUAALIPALVELIN

3.1 Xen Project

Xen on avoimenlähdekoodin (lisenssi GPL2) ohjelmisto, joka keskittyy kehittämään virtualisointia usean erilaisen kaupallisen ja avoimen lähdekoodin toimijan kanssa seuraavilla virtualisoinnin osa-alueilla. palvelin virtualisointi (laitevirtualisointi), ulkoistettuna pilvipalvelu virtualisointina (IaaS), työpöytä virtualisointi, turvallisuus sovellukset, sulautetut järjestelmät, sekä auto- ja lentokoneollisuus. XEN (neXt gENeration virtualication) kehityksen on aloittanut Cambridgen yliopiston tietokonelaboratorio. Ensimmäinen versio julkaistiin 2003. Nykyään Xen Projectia hallinnoi The Linux Foundation. (Foundation, 2020) (Wikipedia - Xen, 2020)

3.1.1 Xen server

Xen Project on asennettavissa APT-ohjelmistopakettina suoraan komentoriviltä Linux käyttöjärjestelmään. Tämä ei ole kuitenkaan käyttäjäystävällinen tapa hallinnoida monimutkaisia sovelluksia. Vuonna 2004 alkuperäiset kehittäjät perustivat yrityksen XenSourcen kehittämään ja kaupallistamaan XenServeriä. Vuonna 2007 Citrix Systems osti Xenin kehittäjän XenSourcen 500 miljoonan dollarin hintaan. Järjestelmä pysyi kuitenkin pääpiirteittäin ilmaisena, aina versio 7.2 asti. Jonka jälkeen versiossa 7.3 Citrix oli muuttanut aiemmin ilmaisia osia ohjelmistosta lisenssi maksullisiksi, tämä sai XEN-yhteisön raivostumaan.

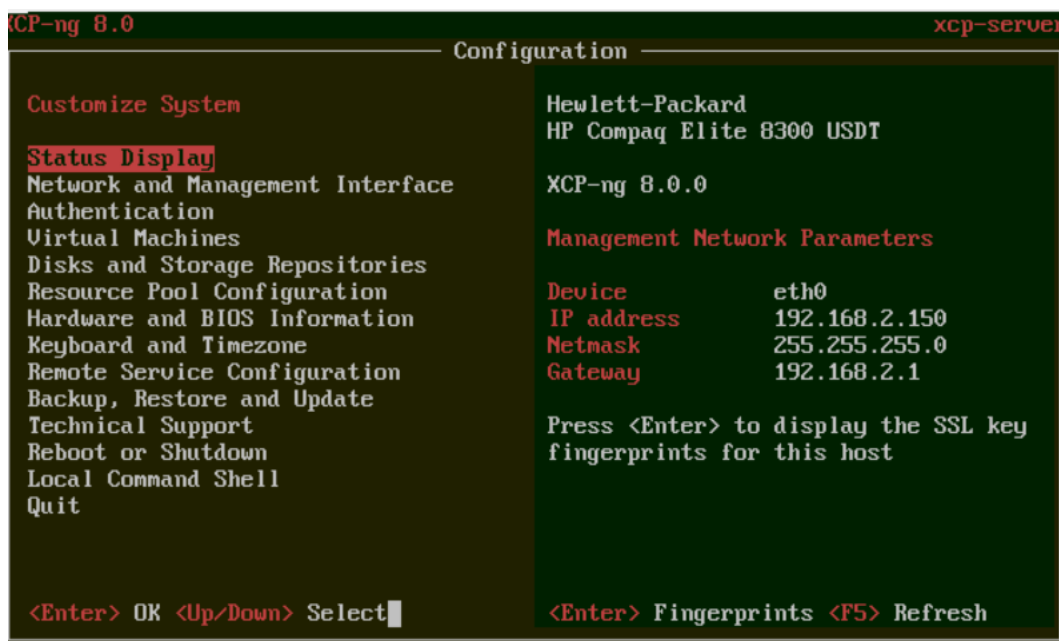
Koska Xen Project on avoimen lähdekoodin sovellus. Perusti Vates SOS -niminen yritys Xen Cloud Project – New Generation XCP-ng. Yritys tarjosi jo entuudestaan Citrixin XenServerille verkkoselainpohjaista käyttöliittymää (XEN Orchestra), joten projekti oli heille jo entuudestaan hyvin tuttu. Tämä vaihtoehtoinen XenServeri tarjoaa lähes kaikki Citrixin XenServerin ominaisuudet ilmaiseksi ja toimii tämän päättötyö perustana. (Foundation, 2020) (Pickup, 2018) (XCP-ng-org -Verkkosivu, 2020) (Wikipedia - Xen, 2020)

3.2 XCP-ng

XCP-ng on avaimet käteen periaatteella toimiva avoimen lähdekoodin Hypervisor, joka tukee paravirtualisointia (PV) ja laitteisto avustettua virtualisointia (HVM) sekä niiden kombinaatiosta (PVHVM), tämä tuki löytyy suoraan suosituimmista Linux julkaisuista. Xen Projectilla on meneillään projekti Windows GPLPV, jossa erillisten ajurien avulla ajetaan Windows-käyttöjärjestelmää paravirtualisoituna.

Järjestelmä tukee korkeaa luotettavuutta (HA), jolloin virtuaalijärjestelmien siirto fyysisestä järjestelmästä toiseen onnistuu ilman katkosta. Tätä ominaisuutta tarvitaan päivitysten aiheuttamien katkosten minimoimiseksi, tai jos halutaan hetkittäistä lisäkapasiteettia, voidaan sitä vuokrata ulkopuoliselta palvelun tarjoajalta. (XCP-ng-org - Verkkosivu, 2020) (Wikipedia - Xen, 2020)

3.2.1 Hallinta

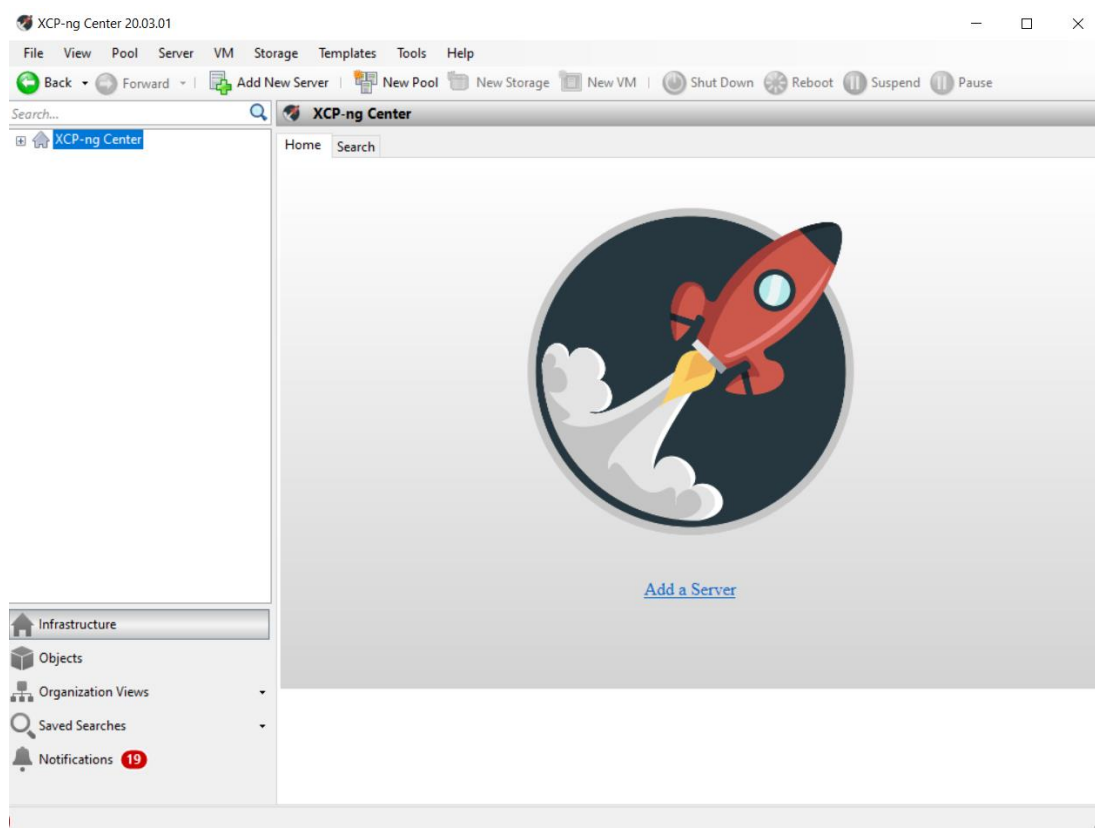


Kuva 2. Komentorivipohjainen hallintapaneeli Xsconsole perusasetusten tekemiseen.

XCP-ng hallinta on mahdollista ssh:n lisäksi erillisellä XCP-ng Center ohjelmalla tai erikseen asennettavalla selainpohjaisella Xen Orchestra ohjelmistolla. (XCP-ng documentation, 2020) (XO documentation, 2020)

3.2.1.1 XCP-ng center

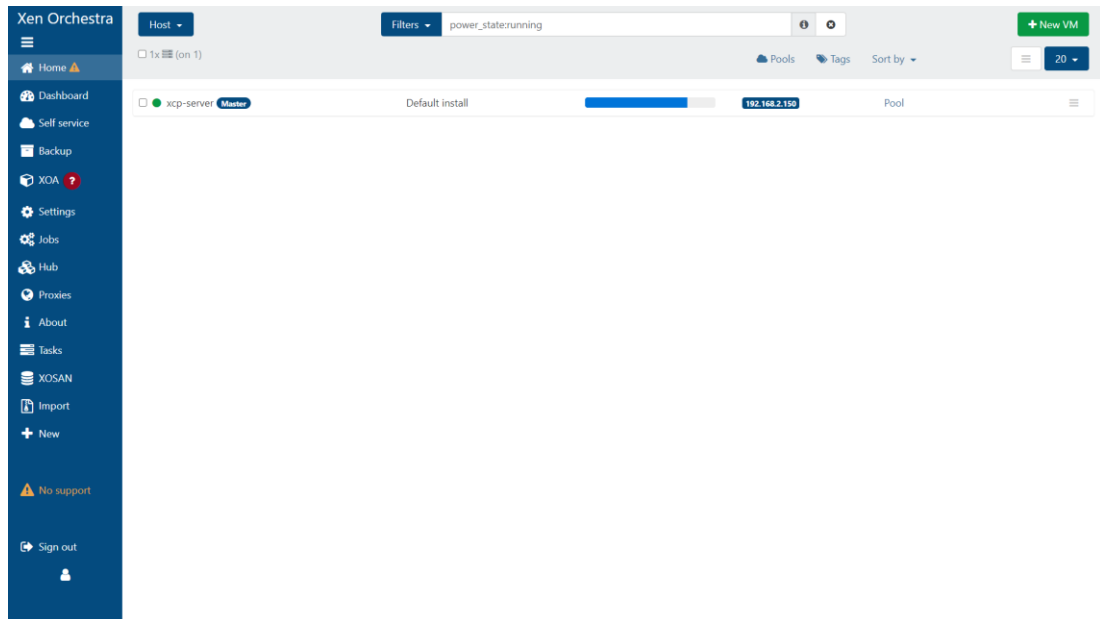
XCP-ng center -ohjelma on asennettavissa vain Windows -käyttöjärjestelmään. Linux ja MacOSX käyttöjärjestelmiin löytyy oma graafinen hallintaohjelma OpenXenManager, tämän kehitys on kuitenkin pysähtynyt Xen Orchestra käyttöliittymän myötä.



Kuva 3. XCP-ng Center perusnäky

3.2.1.2 Xen Orchestra

Xen Orchestra on palvelinohjelmisto, joka toimii verkkoselainpohjaisena käyttöliittymänä XerServereille sekä XCP-ng servereille. Ohjelmisto asennetaan erikseen ja se toimii palvelimena muiden virtuaalipalvelimien tapaan. Ohjelma on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, mutta valmis asennuspaketti on tarjolla vain rajoitetuilla ominaisuuksilla. Github palvelusta löytyy kuitenkin useita skriptejä, joilla ohjelmiston asennus ja päivitys onnistuu suoraan lähdekoodista.



Kuva 4. Xen Orchestra perusnäkö

Selainpohjaisella hallintaohjelmalla XCP-ng palvelimen hallinta on mahdollista myös mobiililaitteilla.

4 PALVELINYMPÄRISTÖ

Vaikka Hypervisorin voi liittää kiintolevyjä suoraan, on järkevää eriyttää datan hallintaa erilleen, jolloin kiintolevyjen fyysinen sijainti ei rajoita järjestelmää. Tämä on myös tärkeä osa korkean luotettavuuden järjestelmää (HA). XCP-ng ohjelmistosta vastaavalla Vates SOS, yrityksellä on tarjolla oma XOSAN-niminen ratkaisu datan hallintaan. Tämä ei kuitenkaan ole täysin avoimen lähdekoodin ohjelmisto.

Parempi avoimen lähdekoodin ohjelmisto datan hallintaan on FreeNAS (TrueNAS). (Wikipedia - FreeNAS, 2020) (xen-orchestra.com - XOSAN, 2020)

4.1 Freenas

FreeNAS on ilmainen ja avoimen lähdekoodin network-attached storage (NAS) palvelinohjelmisto, jonka käyttöjärjestelmä perustuu FreeBSD ja OpenZFS käyttöjärjestelmään. Se on lisensoitu BSD Lisenssin alle ja toimii x86-64 arkkitehtuurin laitteistoissa. FreeNAS tukee Windows, macOS and Unix käyttöjärjestelmiä sekä useita hypervisoreita kuten XenServer ja VMware käyttäen SMB, AFP, NFS, iSCSI, SSH, rsync ja FTP/TFTP protokollia. Lisäksi FreeNAS:n ominaisuuksiin kuuluu mm. koko kiintolevyn salaus, kolmannen osapuolen liitännäisten asennus (jail), sekä Bhyve pohjainen hypervisor käyttöjärjestelmä virtualisointiin. (Wikipedia - FreeNAS, 2020)

4.2 Owncloud

Owncloud-palvelinohjelmisto on avoimen lähdekoodin tiedostopalvelu, jolla voi jakaa ja hallita tiedostoja. Ohjelmistoon on mahdollista ladata ohjelmakirjastosta laajennuksia, jolloin sitä voidaan käyttää moneen muuhunkin tarkoitukseen tarpeen mukaan. Käyttöliittymä ja hallinta tapahtuu pääosin verkkoselaimella. (Wikipedia - Owncloud, 2020)

4.3 pfSense

pfSense on ilmainen ja avoimen lähdekoodin palomuuuri ja reititin ohjelmisto, jonka käyttöjärjestelmä perustuu FreeBSD:hen. Se voidaan asentaa, joko fyysiseen laitteistoon tai virtuaalipalvelimelle hoitamaan palomuuria ja reitittämään verkkoliikennettä. PfSense sisältää OpenVPN palvelun ja mahdollisuuden asentaa lisäosia eri tarpeiden mukaan. (Wikipedia - pfSense, 2020)

4.4 Zentyal

Zentyal on avoimen lähdekoodin järjestelmä, joka toteuttaa Microsoft Exchange serverin protokollia avoimen lähdekoodin komponenteilla (kuten, Dovecot, Postfix, Samba jne.) Zentyal Server on helppokäyttöinen Linux-palvelin pienille ja keskisuurille yrityksille. Zentyalin ominaisuuksia ovat hakemisto- ja verkkotunnuspalvelimet, joilla on alkuperäinen yhteensopivuus Microsoft Active Directoryn kanssa. Sähköpostipalvelin, jossa ActiveSync ja webmail. Verkon hallintaan yhdyskäytävä palomuurilla ja välityspalvelin sekä DNS / DHCP-palvelin, CA-varmenteet ja VPN.

Microsoft Active Directory on yhteensopiva LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) kanssa, joka on alustasta riippumaton protokolla, jolla hoidetaan keskitetty käyttäjähallinta. Yleisimpiin Linux-jakeluihin sisältyy OpenLDAP-ohjelmiston tuki. Ohjelmisto toimii myös BSD-muunnelmilla, samoin kuin AIX, Android, HP-UX, macOS, Solaris, Microsoft Windows -käyttöjärjestelmässä. (Wikipedia OpenLDAP, 2020)

4.5 Odoo

Odoo on monipuolinen avoimen lähdekoodin yritysohjelmisto, joka koostuu erilaisista liiketoimintasovelluksista. Odoo on ihanteellinen ratkaisu Pk-yrityksille, mutta se soveltuu hyvin myös suurille yrityksille. Odoon liiketoimintasovellukset kattavat kaikki liiketoiminnan tarpeet, mukaan lukien CRM, verkkosivut, verkkokaupat, laskutus, kirjanpito, valmistus, varastonhallinta ja projektinhallinta. Kaikki liiketoimintasovellukset on integroitu saumattomasti.

Community-versio on täysin avointa lähdekoodia. Lähdekoodin kehitystä johtaa belgialainen Odoo S. A. Odoo on suosituin avoimen lähdekoodin ERP-järjestelmä. (Wikipedia - Odoo, 2020)

5 VIRTUAALIPALVELINYMPÄRISTÖN ASENNUS

5.1 Laitteisto

Järjestelmä alustana toimii vanha HP elite 8300 USDT, jossa prosessorina Pentium e2200, ja keskusmuistia 12 Gt verran (max. 16Gt).Kiintolevyjä laitteistoon on asennettu 3 kpl. Yksi SSD-muisti PCI-väylään käyttöjärjestelmää varten, sekä kaksi 5tb kiintolevyä SATA-väylään datavarastoa varten. Koska laitteistossa on alun perin vain yksi RJ-45 verkkoliitäntä, on järjestelmään liitetty myös kaksi TP-LINK UE300 USB RJ45 adapteria. Näin WAN, LAN, sekä järjestelmähallinnalle saadaan fyysisesti omat verkkoliitännät.

5.2 XCP-ng asennus

XCP-ng virtuaalipalvelimen voi asentaa lähes mihin tahansa x64 arkkitehtuurin laitteistoon. Laitteiston tulee tukea virtualisointia ja prosessorin tulee olla mielellään moniytiminen, vähintään 2GB keskusmuistia ja 8GB:n kiintolevy. Tämän lisäksi BIOS-asetuksista, tulee sallia virtualisointi. XCP-ng Free/Libre Edition sisältää kaikki samat ominaisuudet, kuin Pro-versio pois lukien tuki ja päivitysavustaja.

Asennus tapahtuu USB-tikulle luodulla asennusmedialla, jonka jälkeen DHCP jakaa asennetulle järjestelmälle IP-osoitteen. Järjestelmälle on hyvä vaihtaa sen jälkeen staattinen IP-osoite omasta IP-avaruudesta. Remote Service Configurationista voi tarkistaa, että ssh-palvelin on päällä, jolloin xsconsole näkymään pääsee myös etäyhteydellä.

Perushallintaa varten tietokoneelle tulee asentaa XCP-ng center ohjelma.

Koska laitteistona toimii vain yksi vanha PC, pitää XCP-ng konsolihallinnan kautta tehdä pieniä muutoksia, joihin ei normaali palvelinympäristössä ole tarvetta.

XCP-ng tukee vain PCI-väylään liitetyjä verkkokortteja, joten lähtökohtaisesti USB-porttiin liitetyt verkkokortit eivät toimi oikein. Ne kyllä näkyvät

järjestelmähallinnassa, mutta järjestelmä nimeää liitännät virheellisesti side-6453-eth1, side-3623-eth1 jne...

Järjestelmään tulee lisätä tiedosto `/etc/udev/rules.d/70-persistent-net.rules`, jonka sisältö on seuraavanlainen, muuttuvina tekijöinä on MAC-osoite ja liitännän nimi. (MAC-osoitteet saa selville **ifconfig -a** komennolla.)

```
SUBSYSTEM=="net", ACTION=="add", DRIVERS=="?*", ATTR{address}=="6a:66:e8:33:0f:1c", ATTR{type}=="1", KERNEL=="eth*", NAME="eth0"
```

```
SUBSYSTEM=="net", ACTION=="add", DRIVERS=="?*", ATTR{address}=="ed:8c:c1:ba:cb:b9", ATTR{type}=="1", KERNEL=="eth*", NAME="eth1"
```

```
SUBSYSTEM=="net", ACTION=="add", DRIVERS=="?*", ATTR{address}=="7c:3f:5f:fa:e4:a3", ATTR{type}=="1", KERNEL=="eth*", NAME="eth2"
```

Jotta muutokset tulevat voimaan, USB-verkkokorttien liitännät tulee vapauttaa komennolla `xe pif-forget uuid=<PIF_UUID>` (uuid:n saa selville **xe pif-list** komennolla) ja jonka jälkeen järjestelmä käynnistetään uudelleen. Nyt järjestelmässä on kolme fyysistä NIC verkkokorttia PIF (physical interface)

5.3 Virtuaalikoneen asennus

Virtuaalikoneen asennus onnistuu helposti XCP-ng Center-ohjelmiston kautta. Järjestelmässä on valmiita sapluunoita, jolloin valitaan valmis käyttöjärjestelmälle sopiva kaava, ja näin wizard osaa ehdottaa sopivia asetuksia kullekin virtuaalikoneelle. Asennuksessa valitaan montaako prosessorin ydintä virtuaalikone voi käyttää ja kuinka suuri määrä keskusmuistia virtuaalikoneelle varataan. Lisäksi varataan tila virtuaalikiintolevyille, joltakin tarjolla olevalta fyysiseltä tallennustilalta.

Lisäksi valitaan käytettävät verkkoliitännät NIC. Liitännät voivat sisältää fyysisen liitännän tai olla kokonaan virtuaalisia, pelkästään Hypervisorin sisäiseen verkkoliikenteeseen tarkoitettuja. Riippumatta verkonrakenteesta virtuaalikoneen verkkokortti on aina perus asennuksessa OpenVSwitch-perustuva virtuaalinen liitäntä VIF (virtual interface).

Järjestelmä tukee myös Passthrough -toimintoa, jolloin USB, PCI tai muuhun vastaavaan väylään liitetty laite voidaan ottaa pelkästään vain yhden virtuaalikoneen käyttöön. Koska Xen ei itsessään tue Wifi-verkkokortteja, voidaan passthrough -toiminnolla tarvittaessa ottaa wifi-verkko käyttöön myös virtuaalipalvelimella. Samalla tavalla myös kiintolevy voidaan ottaa käyttöön vain halutulla virtuaalikoneella. Näin tehdään myös tässä opinnäytetyössä, siitä tarkemmin hieman myöhemmin. Yleisempi tapa käyttää passthrough -toimintoa on esimerkiksi USB TV- tai muun I/O tikun kohdalla, jolloin virtuaalikone keskustelee suoraan laitteiston kanssa. Laitteistoresurssi on tällöin vain kyseisen virtuaalikoneen käytössä.

Virtuaalikoneen ensikäynnistyksen jälkeen, tulee virtuaalikoneen käyttöjärjestelmään asentaa Guest-tools. Guest-tools parantaa järjestelmän hallintaa, suorituskykyä ja monitorointia. Esimerkiksi virtuaalikoneen keskusmuistin käytölle voidaan asettaa raja-arvot, jolloin ylimääräinen keskusmuisti voidaan antaa toisen virtuaalikoneen käyttöön.

5.4 Xen Orchestra asennus

Asennus tehtiin CentOS-käyttöjärjestelmään, joka asennettiin normaalin virtuaalikoneen tapaan. Itse Xen Orchestra asennettiin Github-palvelusta löytyvää scriptiä hyödyntäen. Asennuksessa tulee ottaa huomioon, että palvelin tulee asentaa samaan verkkoon XCP-ng hallinnan kanssa. (Github - Xen OrchestraInstaller Updater, 2020),

5.5 pfSense asennus

PfSensen asennus kannattaa tehdä ensimmäisenä asennettavana virtuaalipalvelimena, koska normaalissa verkkoinfrassa palomuuri asennetaan fyysisesti omaan laitteistoon ja jatkossa asennettavien muiden palvelimien verkkoliikenne ohjataan tämän reitittimen läpi. Järjestelmä asennetaan, niin kuin mikä tahansa virtuaalikone. Valittaessa verkkoliitännät tulee vain valita kaikki tarvittavat verkot.

Koska verkkoliikenne virtuaalikoneilla ei kulje fyysisissä kaapeleissa, ei virtuaalisessa verkkoliikenteessä tarvita tx-tarkastussummia (TX Checksum Offload) vaan

tarkastussummat kulkevat tyhjiä kehyksissä. Virtualisoitu käyttöjärjestelmä tunnistaa tämän normaalisti eikä tästä synny ongelmia. FreeBSD:n pfSense ei kuitenkaan käsittele tyhjiä tarkistussummia oikein, joten ne on otettava pois käytöstä jokaisesta virtuaalisesta verkkoliitännästä.

Tämä tehdään alla olevilla komennoilla XCP-ng:n konsolista. VM_UUID löytyy XCP-ng-hallinnasta pfSense virtuaalikoneen yleisistä tiedoista.

```
xe vif-list vm-uuid=<VM_UUID>
xe vif-param-set uuid=<VIF_UUID> other-config:ethtool-tx="off"
```

Pfsensen asetuksista käyttöön otettiin perus reititin/palomuuripalvelut.

Dynamic DNS-nimipalvelu, jolla ulkoverkossa olevalle nimipalvelimelle ilmoitetaan järjestelmän kulloinkin käytössä oleva ulkoverkon IP-osoite. Tämä on tärkeää, jotta järjestelmään voidaan olla yhteydessä ulkoverkosta. Verkosta löytyy useita ilmaisia dynamic DNS hosteja, tässä järjestelmässä käytössä on DuckDNS, sekä maksullinen Google Domains.

VPN on turvallinen tapa muodostaa yhteys sisäverkkoon. Pfsensessä on mukana eri tunnelointiprotokollia, josta käyttöön otettiin OpenVPN. OpenVPN:ssä on laajalti erilaisia asetuksia, joista voidaan määritellä yhteyden suojauksen tasoa.

5.6 FreeNAS asennus

FreeNAS:in asennus on järkevää tehdä seuraavana, koska freeNAS hoitaa tiedostonhallinnan, jota muut virtuaalipalvelimet jatkossa käyttävät.

Yleensä tiedostonhallinta toimii omana fyysisenä palvelimenaan, jolloin useamman XCP-ng serverin ryhmässä (High Availability Cluster) resurssien jako on helppoa.

FreeNAS kannattaa asentaa samalle fyysiselle kiintolevylle, kuin isäntäjärjestelmänä toimiva XCP-ng, sekä asettaa FreeNAS käynnistymään automaattisesti isäntäjärjestelmän uudelleen käynnistyksen jälkeen.

Kiintolevyt, joita käytetään jatkossa datavarastoina, kannattaa asentaa suoraan FreeNAS käyttöjärjestelmään Passthrough ominaisuutta hyödyntäen.

XCP-ng konsolista komennolla lsblk etsitään käytettävät kiintolevyt.

Luodaan kansio

```
mkdir /srv/pass_drives
```

Luodaan linkki kiintolevylle ja kansiolle, tässä esimerkissä sda ja sdb. Käytettävät kiintolevyt ei saa olla enää isäntäjärjestelmän tai muun järjestelmän käytössä.

```
ln -s /dev/sda /srv/pass_drives/sda
```

```
ln -s /dev/sdb /srv/pass_drives/sdb
```

Luodaan tallennusvarasto

```
xe sr-create name-label=Pass_Drives type=udev content-type=disk  
device-config:location=/srv/pass_drives
```

Nyt kiintolevyt voidaan alustaa FreeNAS-järjestelmässä. Kiintolevyt asennetaan RAID2 järjestelmään, jolla parannetaan vikasietoisuutta. Levyt on mahdollista myös salata, tällöin salauksessa käytetyt salasanat, on tärkeää pitää tallessa. Mikäli järjestelmän vaihto tulee myöhemmin ajankohtaiseksi, levyt voidaan tarvittaessa siirtää helposti fyysisesti uuteen FreeNAS-järjestelmään. (FreeNAS® 11.3-U3.1 User Guide, 2020) (lawrencsystems.com - Whole Disk Passthrough with XCP-NG, 2020)

FreeNAS ohjelmistosta otetaan käyttöön useita eri tiedoston ja tiedon jako järjestelmiä.

Samba on avoimen lähdekoodin toteutus SMB (Server Message Block) -verkkoprotokollan toteuttamiseen, Samba-server ohjelmisto tarjoaa Windows-verkkojen tiedostonjaon. Samba-client taas mahdollista SMB tiedostonjaon käytön Unix-tyylisille käyttöjärjestelmille, kuten linuxille ja macOS:lle. SMB-yhteys toimii siis asiakas-palvelin-periaatteella.

iSCSI (Internet Small Computer System Interface) on protokolla tiedon välittämiseksi tietokoneen ja oheislaitteiden välillä TCP/IP protokollan päällä. kyseinen protokolla on lohkotason tiedonsiirtoa eikä sisällä tiedoston hallintaa, joka jää käyttäjäjärjestelmän hoidettavaksi.

NFS (Network File System) verkkolevyjärjestelmä on Sun Microsystemsin kehittämä hajautettu levyjärjestelmä. Järjestelmää käytetään hakemistojen ja tiedostojen

etäkäyttöön verkotetuilla tietokoneilla. NFS on yksi ensimmäisiä onnistuneita menetelmiä ja se on tuettu useimmissa Unix-kaltaisissa käyttöjärjestelmissä.

WebDAV (engl. Web-based Distributed Authoring and Versioning) on HTTP-protokollan laajennus, jolla voi WWW-sivujen lataamisen lisäksi myös muuttaa niitä.

WebDAV jaettuihin tiedostoihin pääsee käyttämällä todennettua selainta (vain luku) tai WebDAV-clien ohjelmistoa, joka toimii missä tahansa käyttöjärjestelmässä.

(Wikipedia - iSCSI, 2020) (Wikipedia -Samba, 2020) (Wikipedia - NFS, 2020) (FreeNAS documentation - Sharing, 2020) (Wikipedia - WebDAV, 2020)

FreeNAS tukee laajalti eri keskitettyyn käyttäjähallintaan liittyviä protokollia. Liitäntä Zentyaliin voidaan tehdä LDAP-protokollalla tai käyttäen Active Directorya.

5.7 Zentyal asennus

Zentyal palvelimessa on helppo asennus-wizard, josta perusasetusten teko, kuten staattisen IP-soitteen vaihto onnistuu helposti ja jonka loppuvaiheessa valitaan käytettävät lisäominaisuudet. Kun perusasennus on suoritettu loppuun, voidaan palvelinta käyttää selain pohjaisella käyttöliittymällä. Palveluita voi ottaa käyttöön lisää tarvittaessa myöhemmin.

Zentyal ympäristössä käytetään Active Directoria, jolla hallitaan tietokoneiden, tiedostojen ja palvelimien käyttöoikeuksia. Sekä DNS-nimipalvelin, jolla hoidetaan virtuaalipalvelimien HTML5 pohjaisten käyttö- ja hallintapaneelien verkko-osoitteiden nimeäminen.

Sähköpostipalvelinta ei kannata yrittää ottaa käyttöön ilman välityspalvelinta, koska viestintäviraston määräyksellä portti 23 on suljettu kotiliittymistä. Lisäksi dynaaminen Ip4-osoite tekee oman sähköpostipalvelimen asentamisesta haastavaa.

Toimivan sähköpostipalvelimen kuitenkin pystyy rakentamaan edellä mainituista lähtökohdista huolimatta. Operaattorit tarjoavat oman SMTP-palvelimen, jonka kautta viestien lähettäminen onnistuu. Tämä lisätään vain zentyal-järjestelmän smarthost-asetuksiin. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin Microsoft-365 sähköpostiosoitteet, jotka

tulkitsevat tämäntyyppisestä SMTP-palvelimesta tulleet viestit roskapostiksi, muilla suurilla palveluntarjoajilla tätä ongelmaa ei ole.

Viestien vastaanotossa tarvitaan myös välityspalvelin. Välityspalvelimena toimii tavanomainen sähköpostitili, tässä tapauksessa G-mail-tili. Gmail-tilistä pitää vain ottaa käyttöön IMAP-protokolla ja sallia ei luotettavien sovellusten käyttö. Lisäksi Google domain-palvelusta, josta tässä tapauksessa oma domain palvelu on ostettu, suoritetaan sähköpostin uudelleenohjaus tähän haluttuun G-mail-tiliin.

Nyt Zentyal-palvelimelle lisätään halutun käyttäjätilin alle kyseinen G-mail-tili External account IMAP-protokollaa käyttäen. Nyt sähköposti omalla Domainilla on käytössä. Eli viestit lähetetään operaattorin SMTP-palvelimelta ja vastaan otetut viestit noudetaan ulkopuoliselta sähköpostipalvelimelta, johon on tehty uudelleenohjaus.

Mikäli sähköpostia haluaa käyttää ulkoverkosta, tulee palomuriin tehdä NAT-osoitteen muunnos ja lisäämällä dynamic DNS-palvelinasetukset, jotka voi tehdä myös zentyal palvelimeen, asentamalla ddclient-sovellus.

5.8 Owncloud asennus

Owncloud asennuksessa käytin Turnkey Linux -julkaisua, joka on nimensä mukaan avaimet käteen julkaisu, joka on suunniteltu Amazon EC2 pilvipalveluun. Asennusmediat ovat valmiita image -tiedostoja, joihin on lisätty Turnkey Linuxin oma selain pohjainen käyttöliittymä webmin, jolla on helppo hallita linux-järjestelmää.

Webministä virtuaalikoneelle on helppoa antaa staattinen IP-osoite ja tarvittaessa vaihtaa Owncloudin verkko-osoitteen porttia, joka on oletuksena 80/443. Nämä portit ovat perus koti-internetliittymissä suljettu ja jos haluaa saman verkko-osoitteen toimivan sekä sisä- että ulkoverkossa tulee portit vaihtaa esim. portteihin 8888/8889. Lisäksi .../config/config.php -tiedostoon lisätään sallittujen IP-osoitteiden ja verkko-osoitteiden tiedot, tämä tehdään komentotulkilla. Tämä on tärkeää, koska jos tätä tietoa ei muokata ei järjestelmää voi käyttää. Tiedoston tarkan sijainnin löytää komennolla.

```
find / -name config.php
```

Perusasetusten jälkeen järjestelmä tulee vielä liittää FreeNAS palvelimen kiintolevyihin. Tiedostojen jakoa ei kannata tehdä mount-komennolla, koska Owncloud ei

tuolloin tunnista muissa rajapinnoissa tehtyjä tiedostojen muokkauksia. Tiedostojen jako kannattaa tehdä Owncloud-lisäosalla ”ulkoiset tallennustilat” kautta WebDAV rajapintaa käyttäen.

Tiedostojen käyttöoikeuksissa Owncloudissa on mahdollista käyttää LDAP:n kautta keskitettyä hallintaa.

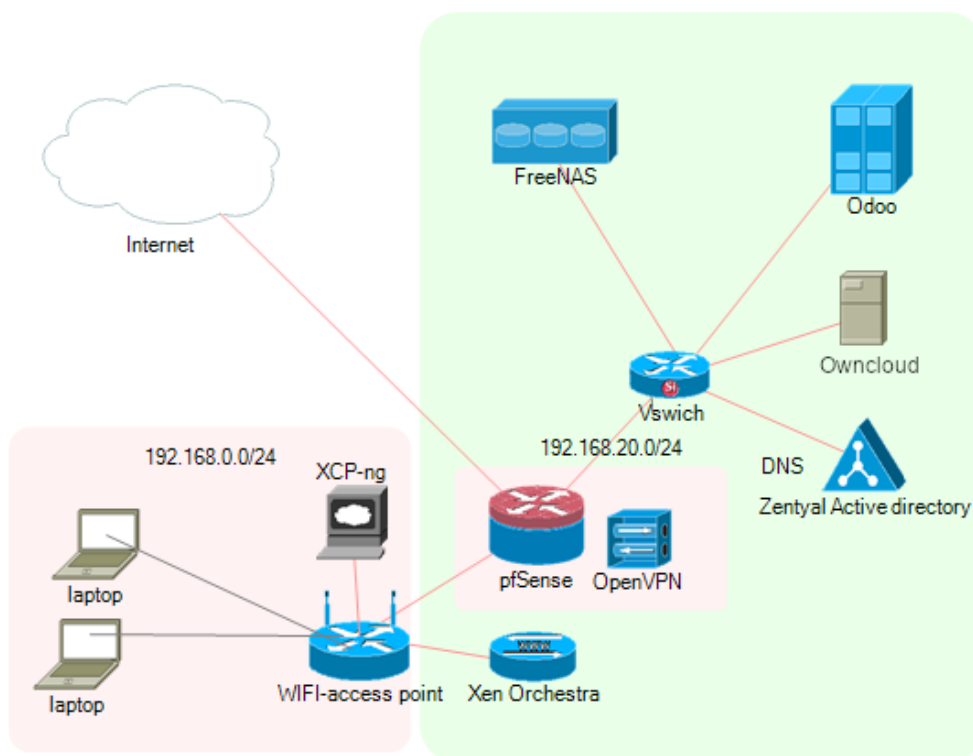
FreeNAS järjestelmä sisältää Nextcloud-liitännäisen, joka perustuu samaan lähdekoodin kuin Owncloud. Liitännäiset eivät kuitenkaan toimi virtuaaliympäristössä, joten sitä ei tässä työssä voida hyödyntää. Mikäli FreeNAS toimisi omana palvelimenaan olisi järkevintä käyttää Nextcloud-liitännäistä.

5.9 Odoo asennus

Myös Odoo asennuksessa käytettiin Turnkey Linux julkaisua, joten asennus noudatti samaa kaavaa kuin Owncloudin asennus. Odoon hallinta tapahtuu verkkoselaimella ja käyttäjätunnusten hallinta onnistuu keskitetysti LDAP- protokollaa hyödyntäen. Odoo sovelluksessa on oma sovelluskauppa, josta voi ottaa käyttöön haluttuja moduuleja. Kuten verkkosivut ja verkkokauppa, joka on synkronoitu suoraan taloushallintoon sekä varastokirjanpitoon.

5.10 Kaavio

Kuvassa vihreässä taustalla olevat palvelimet ovat virtualisoitu, FreeNAS- palvelin on helppo eriyttää omaksi fyysiseksi laitteeksi. Lataamalla konfiguraatio tiedosto järjestelmästä ja siirtämällä kiintolevyt uuteen järjestelmään. Myös pfSense-reititin on mahdollista eriyttää kopioimalla asetukset uuteen laitteeseen. Itse palvelinalustan vaihto onnistuu XCP-ng siirto toiminnolla keskeytyksettä.



Kuva 5. Kaaviopiirros rakennetusta verkosta.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä rakentamani PK-yrityksen lähiverkko palvelinominaisuuksineen täysin virtuaalitekniikkaan perustuen täyttää keskeiset tyypillisen asiakkaan vaatimukset. Suosittelen ratkaisua tilanteessa, missä yritys etsii sähköisen liiketoiminnan kokonaisratkaisua, joka skaalautuu hyvin mahdollisen liiketoiminnan laajentumisen mukaan. Työssä käyttämäni sovellusversiot olivat ns. community-versioita, jolloin yrityksen kustannukset koostuvat vain laitteisto, asennus ja ylläpitokustannuksista. Mikäli yrityksellä on tarvetta sovellusten kaupallisille versioille, voivat lisenssikulut olla vuositasolla tuhansia euroja.

Täysin virtualisoitua palvelinympäristöä, johon myös datavarasto ja palomuuuri on virtualisoitu ei tiettävästi käytetä tuotantoympäristöissä. Tulevaisuudessa virtualisointijärjestelmien ja verkkonopeuksien kehittyessä, voisi pilvipalveluiden kilpailijaksi nousta eräänlainen hajautettu palvelinverkosto, jossa asiakas yrityksillä on oma paikallinen virtuaalipalvelin, ja jonka resursseja voidaan jakaa tarvittaessa muiden verkostoon kuuluvien virtuaalipalvelimien kanssa. Palvelua voitaisiin hyödyntää esimerkiksi mahdollisten vikatilanteiden ja muiden poikkeustilanteiden varalle. Tällä hajautetulla ratkaisulla saavutettaisiin korkea luotettavuus, jota PK-sektorin palvelimissa tällä hetkellä harvoin on.

LÄHTEET

- fi.wikiversity.org. (10. 5 2020). *Wikiversity - Virtuaalikone*. Noudettu osoitteesta <https://fi.wikiversity.org/wiki/Virtuaalikone>
- Foundation, T. L. (15. 5 2020). *xenproject.org -Verkkosivu*. Noudettu osoitteesta <https://xenproject.org/>
- FreeNAS documentation - Sharing*. (10. 7 2020). Noudettu osoitteesta <https://www.ixsystems.com/documentation/freenas/11.3-U3.2/sharing.html?highlight=webdav>
- FreeNAS® 11.3-U3.1 User Guide*. (19. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://www.ixsystems.com/documentation/freenas/11.3-U3.1/freenas.html>
- Github - Xen OrchestraInstaller Updater*. (22. 7 2020). Noudettu osoitteesta <https://github.com/ronivay/XenOrchestraInstallerUpdater>
- lawrencsystems.com - Whole Disk Passthrough with XCP-NG*. (18. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://forums.lawrencsystems.com/t/xenserver-hard-drive-whole-disk-passthrough-with-xcp-ng/3433>
- Nextcloud Documentation*. (25. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://docs.nextcloud.com/>
- opensource.org - Verkkosivu*. (5. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://opensource.org/docs/osd>
- Pickup, L. S. (26. 11 2018). *Youtube - What is Xen Project / XCP NG Server Open Source Projects and How It All Works Together*. Noudettu osoitteesta https://www.youtube.com/watch?v=hh1QADop_IY&t=2307s
- Wikipedia - Avoin lähdekoodi*. (4. 5 2020). Noudettu osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/Avoin_l%C3%A4hdekoodi
- Wikipedia - Comparison of platform virtualization software*. (18. 5 2020). Noudettu osoitteesta https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_platform_virtualization_software
- Wikipedia - FreeNAS*. (15. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://en.wikipedia.org/wiki/FreeNAS>
- Wikipedia - FTP*. (17. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/FTP>

- Wikipedia - iSCSI*. (19. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://en.wikipedia.org/wiki/ISCSI>
- Wikipedia - Nextcloud*. (23. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://en.wikipedia.org/wiki/Nextcloud>
- Wikipedia - NFS*. (10. 7 2020). Noudettu osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/Network_File_System
- Wikipedia - Odo*. (22. 7 2020). Noudettu osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Odo>
- Wikipedia - Owncloud*. (22. 7 2020). Noudettu osoitteesta <https://en.wikipedia.org/wiki/OwnCloud>
- Wikipedia - pfSense*. (29. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://en.wikipedia.org/wiki/PfSense>
- Wikipedia - WebDAV*. (10. 7 2020). Noudettu osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/WebDAV>
- Wikipedia - Xen*. (13. 5 2020). Noudettu osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/Xen#cite_note-zdxenlfp-9
- Wikipedia OpenLDAP*. (30. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenLDAP>
- Wikipedia -Samba*. (10. 5 2020). Noudettu osoitteesta [https://fi.wikipedia.org/wiki/Samba_\(ohjelmisto\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Samba_(ohjelmisto))
- XCP-ng documentation*. (9. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://xcp-ng.org/docs/>
- XCP-ng-org -Verkkosivu*. (2. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://xcp-ng.org/>
- xen-orchestra.com - XOSAN*. (18. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://xen-orchestra.com/blog/tag/xosan/>
- xhypervisor.org Embedded Hypervisor Xvisor A comparative analysis*. (15. 5 2020). Noudettu osoitteesta http://xhypervisor.org/pdf/Embedded_Hypervisor_Xvisor_A_comparative_analysis.pdf
- XO documentation*. (13. 5 2020). Noudettu osoitteesta <https://xen-orchestra.com/docs/>