



Virtuaalikoneissa ajettavien tietoverkko- käyttöjärjestelmien katsaus

Toni Erola

Opinnäytetyö, AMK

Joulukuu 2022

Tietojenkäsittely ja tietoliikenne

Insinööri (AMK), Tieto- ja viestintätekniikka

Erola, Toni

Virtuaalikoneissa ajettavien tietoverkkokäyttöjärjestelmien katsaus

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Joulukuu 2022, 34 sivua.

Tekniikan ala. Tieto- ja viestintätekniiikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö, AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Jyväskylän ammattikorkeakoulun IT-instituutti järjestää opiskelijoille Tietoverkot-opintojakson, jossa on tavoitteena opettaa opiskelijalle perusteita tietoverkoista. Opiskelija suorittaa opintojakson edetessä erinäisiä konfigurointiharjoituksia. Opintojaksolla on opiskelijoille tarjolla ainoastaan kaksi tietoverkkokäyttöjärjestelmää, yksi virtuaalireititin ja yksi virtuaalikytkin. Opinnäytetyön tehtävänä oli tutkia mitä virtuaalisia tietoverkkokäyttöjärjestelmiä on saatavilla, jotka ovat lisenssivapaita tai saatavilla ei-maksullisella lisenssillä ja soveltuisivat esimerkiksi Tietoverkot-opintojaksolle.

Opinnäytetyöhön valittiin kolme tutkittavaa tietoverkkokäyttöjärjestelmää, mutta lisenssisyistä käyttöjärjestelmiä ei työssä esitetä nimellä. Työ toteutettiin tutkimalla tietoverkkokäyttöjärjestelmien ominaisuuksia Tietoverkot-opintojakson harjoitteiden pohjalta. Lisäksi työssä verrattiin valittujen tietoverkkokäyttöjärjestelmien resurssivaatimuksia Tietoverkot-opintojakson lähtökohtiin harjoituskohtaisesti. Työssä tutkittiin myös tietoverkkokäyttöjärjestelmien eroavaisuuksia kuten asennukseen käytettyä aikaa ja harjoitusten suoritusta. Lisäksi tutkittiin valittujen tietoverkkokäyttöjärjestelmien dokumentaatioiden kattavuutta sekä tietoverkkokäyttöjärjestelmän helppokäyttöisyyttä.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin virtuaalisten tietoverkkokäyttöjärjestelmien resurssivaatimukset yleisellä tasolla. Tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi tietoverkko-opintojakson suunnittelussa, jossa tarkoituksena on ottaa käyttöön virtuaalisia tietoverkkokäyttöjärjestelmiä harjoitteiden suorittamiseksi.

Avainsanat (asiasanat)

Tietoverkko, virtualisointi, tietoverkkokäyttöjärjestelmä

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Erola, Toni

Overview of network operating systems running in virtual machines

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2022, 34 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Information and Communications Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The IT Institute of the Jyväskylä University of Applied Sciences provides Data networks-course for students and the aim is to teach students the basics of data networks. The student has various exercises, some of which are configuration exercises. The course offers students only one virtual router and one virtual switch. The thesis task was to research what license-free or a non-paid license virtual network operating systems are available, which would be suitable for virtual laboratory use.

Three data network operating systems were chosen for the thesis. Due to licensing reasons, the operating systems are not presented by name. The exercises of the Data networks-course were completed. Based on the exercises, the characteristics of network operating systems were selected and examined. Requirements for the virtualization environment were compared of the selected network operating systems with the network operating systems that were in use in Data networks-course. Requirements were compared a per-exercise basis. Thesis also researched network operating systems differences, such as the time spent on installation, was the network operating systems documentation comprehensive and the network operating systems ease of use.

As a results, the resource requirements of virtual network operating systems were obtained at a general level. Thesis results can be used in the planning of a data networks-course for example, where the purpose is to introduce virtual network operating systems to carry out exercises.

Keywords/tags (subjects)

Network, virtualization, network operating system

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

Termit ja lyhenteet.....	3
1 Johdanto	5
2 Tutkimusastetelmä	7
2.1 Tutkimuskysymys ja rajaus.....	7
2.2 Tutkimusmenetelmä	8
2.3 Aineistonkeruu	8
2.4 Tutkimusetiikka	9
3 Teoria.....	9
3.1 Tietoverkko.....	9
3.2 Käyttöjärjestelmät.....	12
3.3 Virtualisointi	15
4 Vertailu	17
4.1 Lähtötilanne ja testiympäristö	17
4.2 Tutkimuskriteerit.....	22
5 Tulokset.....	24
6 Pohdinta.....	28
Lähteet	29

Kuviot

Kuvio 1 TCP/IP ja OSI-mallin erot.....	11
Kuvio 2 P2P-malli.....	14
Kuvio 3 Client/Server-malli	14
Kuvio 4 Tyypin 1 virtualisointialusta	15
Kuvio 5 Tyypin 2 virtualisointialusta	16
Kuvio 6 E02 Ensimmäiset kytkimet harjoituksen topologia.....	19
Kuvio 7 E04 Laitteiden osoitteistaminen harjoituksen topologia.....	20
Kuvio 8 E05 DHCP konfigurointi ja staattinen reititys harjoituksen topologia	21

Taulukot

Taulukko 1 Arvosana suoritettuihin tehtäviin nähden	17
Taulukko 2 Tietoverkot kurssin arvosana 1 harjoitukset	18
Taulukko 3 Tutkimuskriteerit	22
Taulukko 4 Tietoverkot-opintojaksolla käytettyjen käyttöjärjestelmien resurssit.....	23
Taulukko 5 VyOS ja EXOS VM harjoituskohtaiset resurssit.....	23
Taulukko 6 Vertailu Tietoverkot-opintojakson kokoonpanosta testattuihin käyttöjärjestelmiin	26

Termit ja lyhenteet

ARPA	Advanced Research Projects Agency
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
CLI	Command Line Interface
DHCP	Dynamic Host Control Protocol
EXOS	Extreme Operating System
FUNET	Finnish University Network tai Finnish University and Research Network
GUI	Graphical User Interface
L2	Layer 2
L3	Layer 3
LAN	Local Area Network
MAC	Media access control
MAN	Metropolitan Area Network
NORSAR	Norwegian Seismic Array
NOS	Network Operating System
OSI	Open Systems Interconnection

OVA	Open Virtualization Appliance
P2P	Peer-to-peer
PAN	Personal Area Network
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Packet
vCPU	Virtual Central Processing Unit
VLAN	Virtual Local Area Network
VM	Virtual Machine
VMM	Virtual Machine Monitor
VyOS	Vyatta Operating System
WAN	Wide Area Network

1 Johdanto

Vuonna 1958 Yhdysvalloissa perustettiin virasto nimeltä ARPA (Advanced Research Projects Agency) valvomaan avaruus- ja sotilasohjelmien kehitystä. Vuosien tutkimusten ja kehitysten jälkeen tuloksena syntyi Yhdysvaltojen sisäinen hajautettu pakettikytkentäinen tietoverkko ARPANET. Ensimmäiset neljä laitetta yhdistettiin ja ensimmäiset viestit ARPANET:ssä lähetettiin tietokoneiden kesken vuonna 1969. Vuonna 1973 ARPANET laajentui globaaliksi, yhdistäen tietoverkkoon Lontoon yliopiston sekä Norjan tutkimuslaitoksen (NORSAR). (Geer 2003.) Vuosien saatossa ARPANET laajeni, yhdistäen useita eri tietoverkkoja globaalisti, josta muodostui nykypäivänä tuttavallisemmalla termillä tunnettu Internet.

Suomessa omaa tietoverkkoa alettiin rakentamaan yliopistoille vuonna 1984 ja hankkeen nimeksi tuli FUNET (Finnish University Network tai Finnish University and Research Network). Tämä yliopistoille rakennettu tietoverkko yhdistettiin globaaliin Internettiin vuonna 1988. (Ahlblad 2008.) Internet yleistyi Suomessa kotitalouksiin 1990 luvun loppupuolella (Ziemann 2016).

Internetin räjähdysmäisen kasvun myötä myös yhdistettyjen laitteiden ja sen seurauksena verkkoliikenteen määrä on kasvanut. Myös tekniikka on tietoverkoissa, että verkkolaitteissa parantunut vuosien saatossa entistä tehokkaammiksi, jotta nykyiset Internetin tietoliikennemäärät ovat mahdollista käsitellä. Kehityksen myötä myös asiantunneville tietoverkko-osaajille on tärkeä tarve. Koldingin ja Kroan (2005, 8) mukaan Euroopassa vuoteen 2008 mennessä olisi ollut arviolta puolen miljoonan tietoverkko-osaajan pula, joista Suomessa arviolta 5300 osaajan pula. Sittemmin tähän päivään mennessä Internet on jatkanut kasvamistaan entistä vauhdikkaammin ja jatkaa kasvamistaan tulevaisuudessakin, joten osaajille on edelleen tarvetta ja tekniikan kehittyessä kouluttautuminen on tärkeää.

Jyväskylän ammattikorkeakoulun IT-instituutti järjestää opiskelijoille tieto- ja viestintätekniikan opinnoissa Tietoverkot-opintojakson, jonka tavoitteena on opettaa opiskelijalle yleisesti tietoverkoista kuten tietoverkoissa käytettävistä protokollista ja tietoverkkolaitteistoista (Tietoverkot n.d.). Opintojaksolla on harjoituksia, joiden avulla opiskelija voi opetella käytännössä tietoverkkojen toimintaa ja verkon konfigurointia. Opintojakson konfigurointiharjoitukset tehdään konfiguroimalla itse fyysisiä laitteita ja/tai virtuaalisilla tietoverkkokäyttöjärjestelmillä. Opiskelijoille on tarjolla

opintojakson konfiguraatioharjoitusten suorittamiseksi tietoverkkokäyttöjärjestelmiä, joita voidaan ajaa virtuaalisesti tietokoneella virtualisointiohjelmistolla. Tällä hetkellä opintojaksolla opiskelijoille on tarjolla harjoitusten suorittamiseksi ainoastaan yksi kytkin (Virtual EXOS) ja yksi reititin (VyOS) tietoverkkokäyttöjärjestelmä. Opinnäytetyön tehtävänä oli tutkia ja vertailla saatavilla olevia lisenssivapaita tai ei-maksullisella lisenssillä saatavia tietoverkkokäyttöjärjestelmiä ja niiden ominaisuuksia, jotka soveltuvat opintojakson harjoitusten suorittamiseen. Tavoitteena oli tarjota toimeksiantajalle tietoa saatavilla olevista lisenssivapaista tietoverkkokäyttöjärjestelmistä. Sen lisäksi mahdollisesti tarjota opiskelijoille nykyisten tietoverkkokäyttöjärjestelmien lisäksi enemmän vaihtoehtoja, jotka voisivat soveltua Tietoverkot opintojakson harjoitteiden suorittamiseksi.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulun IT-instituutti. Jyväskylän ammattikorkeakoulu (Jamk) on vuonna 1994 perustettu monialainen korkeakoulu ja sen omistaa Jyväskylän Ammattikorkeakoulu Oy. Jamkin perustehtäviä ovat korkeakouluopetus, joka perustuu työelämän vaatimukseen, soveltava tutkimus- ja kehitystyö, joka palvelee opetusta ja työelämää sekä tukee aluekehitystä, aikuiskoulutus, joka tukee työelämäosaaminen ylläpitämistä ja vahvistamista. Jamkin strategiaan on määritelty kuusi eri kasvavaa vahvuusala, jotka ovat tunnettuja kansallisella kuin myös osin kansainvälisellä tasolla: biotalous, sovellettu kyberturvallisuus, uudistuva oppiminen, matkailu, automaatio ja robotiikka ja monialainen kuntoutus. Jamkin organisaatio koostuu hallintoyksikön lisäksi 4 koulutusta tuottavasta yksiköstä, jotka ovat: Ammatillinen opettajakorkeakoulu, hyvinvointiyksikkö, liiketoimintayksikkö ja teknologiayksikkö. (Jamk n.d.)

Opiskelijoita Jamkissa on noin 8500 opiskelijaa ja se työllistää noin 900 henkilöä (Töihin Jamkiin n.d.). Jamk tarjoaa AMK- ja ylemmän AMK-tutkintoja niin suomeksi kuin englanniksi ja tutkintoja on tarjolla kahdeksalta eri alalta: ICT, sosiaali- ja terveysala, liiketalous, matkailu- ja ravitsemisala, luonnonvara, kulttuuriala, tekniikan ala sekä ammatillinen opettajankoulutus. Tutkintoja Jamkissa on tarjolla yli 40. (Hae opiskelemaan n.d.)

2 Tutkimusastetelma

2.1 Tutkimuskysymys ja rajaus

Opinnäytetyön tehtävänä oli selvittää, mitä tulee ottaa huomioon virtuaalisesti ajettavasta tietoverkkokäyttöjärjestelmästä, joka otetaan käyttöön osaksi esimerkiksi Tietoverkot-opintojaksoa. Työn tarkoitus on myös tarjota toimeksiantajalle tietoa saatavilla olevista lisenssivapaista tietoverkkokäyttöjärjestelmistä. Ja mahdollisesti tarjota opiskelijoille nykyisten tietoverkkokäyttöjärjestelmien lisäksi enemmän vaihtoehtoja, jotka voisivat soveltua Tietoverkot opintojakson harjoitteiden suorittamiseksi. Päättökysymykseksi muodostui seuraava:

Mitä ottaa huomioon virtuaalisesta tietoverkkokäyttöjärjestelmästä?

Päättökysymystä tarkentamaan muodostui seuraavat kysymykset:

Millainen tietoverkkokäyttöjärjestelmä soveltuu Tietoverkot-kurssin suorittamiseen?

Mitä lisenssivapaita tai ei-maksullisia opetuskäyttöön soveltuvia käyttöjärjestelmiä on saatavilla?

Vastausta päättökysymykseen etsittiin toimeksiantajan kertomista vaatimuksista käyttöjärjestelmälle ja opintojaksolla tällä hetkellä tarjolla olevien käyttöjärjestelmien perusteella, joiden avulla tietoverkkokäyttöjärjestelmät valittiin ja vertailu toteutettiin. Ensimmäiseen tarkentavaan tutkimuskysymykseen vastausta etsittiin suorittamalla Tietoverkot-opintojakson harjoitteet. Jälkimmäiseen tarkentavaan kysymykseen vastausta etsittiin toimeksiantajan määrittelemiltä laitevalmistajilta.

Opinnäytetyön aihe oli hyvin laaja. Aihetta rajattiin niin, että vertailuun valittujen tietoverkkokäyttöjärjestelmien täytyy olla toimeksiantajan vaatimusten mukaisesti joko lisenssivapaita tai saatavilla ei-maksullisella lisenssillä. Käyttöjärjestelmien täytyy myös soveltua ajettavaksi virtuaalisesti tietokoneella virtuaaliohjelmistolla. Lisäksi tarkentamaan tietoverkkokäyttöjärjestelmien vaatimuksia suoritettiin opintojaksolle tehtyjä konfiguraatioharjoituksia ja tutkittiin käyttöjärjestelmien soveltuvuutta näiden harjoitteiden suorittamiseksi. Työssä ei käyty tarkemmin läpi tietoverkko-

käyttöjärjestelmien kaikkia ominaisuuksia vaan lähinnä opintojakson suorittamisen kannalta oleelliset asiat. Opinnäytetyössä ei oteta huomioon tietoverkkokäyttöjärjestelmien versiointia tai päivitettävyyttä. Vertailun tarkemmat rajaukset sekä testiympäristön valitut työkalut ja käyttöjärjestelmät on esitetty työn vertailuosiossa.

2.2 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi valittiin vertaileva tutkimus, johon on otettu mukaan kvalitatiivisia sekä myös kvantitatiivisiä menetelmiä.

Vertailevassa tutkimuksessa voidaan tarkastella kahta tai useampaa eri kohdetta, jotka edustavat samaa lajia, mutta eroavat ominaisuuksiltaan kuitenkin jollain tavalla. Vertailevaan tutkimukseen päätetään ne ominaisuudet, joita halutaan vertailla, mutta ominaisuuksia voidaan lisätä vertailuanalyysin edetessä. (Routio 2007.) Kvalitatiivisessä eli laadullisessa tutkimuksessa pyritään saamaan syvällisempi ymmärrys ilmiöstä kuvaamalla, ymmärtämällä ja tulkitsemalla ilmiötä ilman tilastollisia menetelmiä. Kvantitatiivisessä eli määrällisessä tutkimuksessa tutkimus perustuu lukuihin. (Kananen 2017, 35–37.) Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla valittujen tietoverkkokäyttöjärjestelmiä, niiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta Tietoverkot-opintojakson harjoitteiden suorittamiseen.

2.3 Aineistonkeruu

Laadullisessa tutkimuksessa aineistoa kerätään haastatteluilla, dokumentaatioilla ja havainnoinnilla, kun taas määrällisessä tutkimuksessa aineistoa kerätään tekemällä esimerkiksi kyselylomakkeita tai hyödyntämällä erinäisiä tilastoja. (Kananen 2017, 67.) Opinnäytetyön päätutkimuskysymyksen hyödynnetään laadullista menetelmää hankkimalla tieto haastattelemalla toimeksiantajaa ja tutustumalla sekä toteuttamalla Tietoverkot-opintojakson harjoituksia testiympäristössä. Tarkentavaan kysymyksen tietoa hankittiin ottamalla yhteyttä toimeksiantajan määrittämiin laitevalmistajiin. Määrällistä tutkimusta hyödynnettiin työn vertailussa vertailemalla erinäisiä laitteistovaatimuksia numeraalisessa muodossa. Aineistoa kerättiin korkeakoulun tietokannasta alan eri lähteistä kuten e-kirjoista ja IEEE-julkaisuista. Opinnäytetyössä hyödynnettiin myös erinäisiä yleisiä alan verkkosivustoja sekä laitevalmistajien verkkosivustoja.

2.4 Tutkimusetiikka

Opinnäytetyö toteutettiin Jamkin eettisten ohjeiden sekä HTK-ohjeen (Hyvä tieteellinen käytäntö) mukaisesti. Opinnäytetyöstä rajattiin pois tutkimuskohteiden yksilöinti ja tarkkojen tietojen antaminen tietoverkkokäyttäjärjestelmien lisenssien vaatimusten kunnioittamiseksi. Työssä käytiin läpi tietoverkkokäyttäjärjestelmien vaihtelua yleisellä tasolla. Alkuperäisiin teoksiin viitataan Jamkin raportointiohjeen mukaisesti. Työssä ei tarvittu tutkimuslupaa eikä työssä käsitellä henkilöiden henkilökohtaisia tietoja.

3 Teoria

3.1 Tietoverkko

Tiedon jakaminen ihmisten kesken on ollut tärkeä kaikenkattavan kehityksen kannalta. Tietoa on jaettu esimerkiksi verkostoitumalla erilaisissa tapaamisissa. Gallo ja Hancock (2002) kirjoittaa, että tällaista verkostoitumisilmiötä, jossa ihmiset kokoontuvat esimerkiksi konferenssiin, voitaisiin kutsua ”ihmisten verkoksi” eikä tämä peruseriaate eroaisi paljonkaan tietoverkoista. Myös Ibe (2018) toteaa kirjassaan verkkojen olevan ryhmä toisiinsa yhdistettyjä ihmisiä tai laitteita, jotka kykenevät jakamaan tietoa toistensa kesken. Kuitenkin tietoverkkojen näkökulmasta niin Gallo ja Hancock että Ibe kirjottavat, että tietoverkko on kokoelma toisiinsa yhdistettyjä laitteita, joiden tehtävä on vastata tiedon jakamisen tarpeeseen. (Gallo & Hancock 2002, Luku 1; Ibe 2018, Luku 1.)

Tietoverkot voivat sisältää paljon erityyppisiä yhdistettyjä laitteita, kuten puhelimia, tietokoneita, verkkokortteja, kytkimiä ja reitittimiä sekä paljon muita laitteita. Näitä laitteita tietoverkoissa voidaan kytkeä useilla erilaisilla tavoilla toisiinsa, joita termistöllisesti kutsutaan eri topologioilla. Esimerkkejä topologioista: (Vasudevan, Subashri, Kothari & Thangaraj 2015, luku 1.1–5.)

- Bus – laitteet kytketään yhteen pääkaapeliin
- Ring – laitteet kytketään ns. ympyrään
- Star – laitteet on kytketty yhteen keskitettyyn laitteeseen
- Tree – Star-topologiat on kytketty Bus-tyyppisesti toisiinsa
- Mesh – Mesh topologiassa on kahdentyyppistä menetelmää; toisessa kaikki verkossa olevat laitteet on kytketty toisiinsa (full mesh). Toisessa osa laitteista on kytketty toisiinsa ja osa yhdistettynä vain niihin laitteisiin, johon halutaan yhteys (partial mesh)

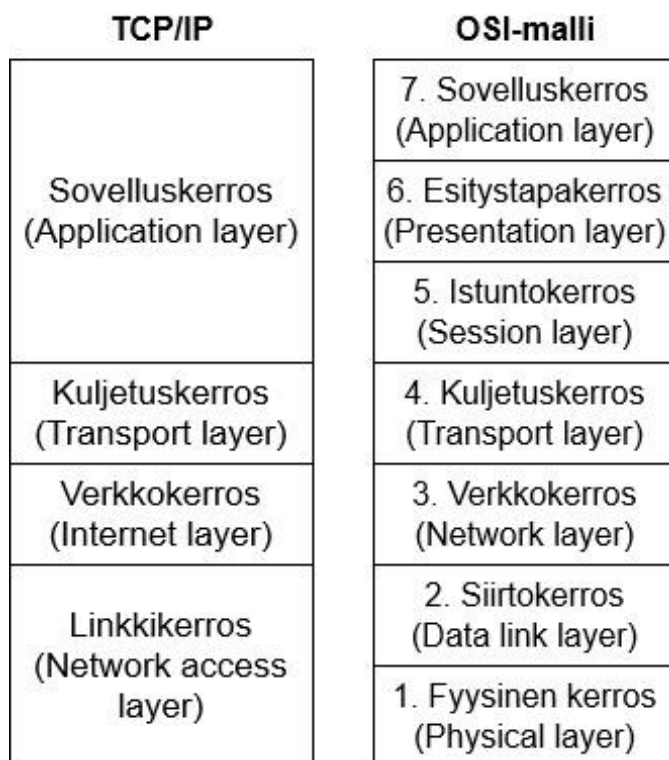
Tietoverkot ja tietoverkkoon voidaan yhdistää niin langallisesti kuin langattomastikin. Verkot voidaan myös jakaa eri kategorioihin. Yksi näistä on LAN-verkko eli Local Area Network, joka tarkoittaa esimerkiksi talon tai huoneistojen sisäisiä verkotuksia, jotka yleensä ovat lyhyitä matkoja. WAN-verkko eli Wide Area Network yhdistää LAN-verkkoja toisiinsa, kuitenkin pidemmällä matkalla. WAN-verkkojen yhteys kattaa jopa maiden välisiä yhteyksiä. Muita kategorioita ovat MAN-verkko eli Metropolitan Area Network, jonka tarkoitus on yhdistää esimerkiksi organisaatioiden verkkoja yhteen pidemmältä matkalta mitä LAN, mutta ei yhtä pitkiltä matkoilta kuin WAN. PAN-verkko eli Personal Area Network on lyhyen matkan verkkokategoria, joista yksi tunnettu on esimerkiksi Bluetooth. Tietoverkon yksiä tärkeimmistä komponenteista itse verkon näkökulmasta on verkkokortti (tai -adapteri), toistin (repeater), verkkosilta (bridge), hub, kytkin (switch), reititin (router) sekä oletusyhdykäytävä. (Vasudevan ym. 2015, luku 1.5–11.) Opinnäytetyössä käsitellään komponenttien osalta kytkintä ja reititintä, joista lisää informaatiota myöhemmin tässä alaluvussa.

Jotta tietoverkossa erilaiset ja erityyppiset laitteet sekä sovellukset voivat keskustella keskenään, tarvitaan näiden yhteistyön helpottamiseksi useita erilaisia protokollia. Näitä protokollia varten on luotu malleja, joihin on kuvattu eri tasoilla tai kerroksilla toimivia protokollia. Mallien avulla voidaan jakaa sovellukset ja fyysiset laitteistot niiden operatiivisella tasolla, yksinkertaistaa verkko-mallia, helpottaa toimintojen toteutusta ja verkon kehitystä jakamalla kerrokset osiin. Yksi näistä malleista on vuonna 1979 käyttöön otettu OSI-malli. (Alani 2014, luku 1–2.) Alani (2014, luku 2) mainitsee kirjassaan joidenkin pitävän mallia vanhana, mutta mallin kyky vastata muuttuviin tarpeisiin on pitänyt sen kuitenkin pitkään relevanttina.

OSI-malli käsittää 7 eri kerrosta. Näillä kerroksilla jokaisella on oma tehtävänsä. Ensimmäinen kerros eli fyysinen kerros (Physical layer) määrittelee miten lähetys ja vastaanottaminen hoidetaan fyysisellä tasolla, kuten esimerkiksi kaapelit ja liitäntämenetelmät, mekaaniset ja elektroniset menetelmät sekä muita määrittelyjä. RJ-45 on yksi fyysisen kerroksen määrittelemä komponentti ja tiedonsiirto tapahtuu bitteinä. Toisella kerroksella eli siirtokerroksella (Data Link layer) käsitellään kehyksiä ja sen tehtävänä on varmistaa kehysten lähetys ja vastaanottaminen. Kehykset sisältävät tavuja, jotka muodostetaan fyysisen kerroksen biteistä. Kerroksella myös lisätään tai poistetaan laitteiden identifioiva tunniste. Verkkokerroksella (Network layer) käsitellään paketteja ja sen tehtävänä on varmistaa pakettien lähetys ja vastaanottaminen. Verkkokerroksella määritellään esimerkiksi erinäisiä reititysominaisuuksia paketeille, kuten paras käytettävä reitti vastaanottajalle,

palvelun laatu (QoS) ja muita määrittäviä. IP protokolla toimii tällä tasolla. Kuljetuskerroksella (Transport layer) määritellään esimerkiksi lähetyksenopeus, varmistetaan datan luotettava lähetyksen ja vastaanottaminen. Tällä kerroksella varmistetaan myös datan järjestys ja monitoroidaan lähetyksen mahdollisista virheistä. TCP ja UDP toimivat tällä kerroksella. Istuntokerroksella (Session layer) hallinnoidaan vastaanottajan ja lähettäjän välistä istuntoa sen pituuden, aloituksen ja lopetuksen osalta. Esitystapakerroksella (Presentation layer) määritellään missä formaatissa data esitetään. OSI-mallin viimeisen kerroksen eli sovelluskerroksen (Application layer) tehtävä on tarjota rajapinta verkkoresurssien käyttöön, kuten ohjelmistoille. (Li, Li, Cui & Zhang 2011.) Opinnäytetyössä työskennellään OSI-mallin kerroksilla 1–3.

Toinen tunnettu malli on TCP/IP malli. TCP/IP- ja OSI-malleissa on paljon yhtäläisyyksiä (ks. Kuvio 1), tosin TCP/IP-malli yhdistää OSI-mallin ensimmäiset kaksi kerrosta (1 Fyysinen kerros ja 2 Siirtokerros) Linkkikerrokseksi (Link Layer tai toisella nimellä Network Access Layer) sekä kerrokset 5–7 (Istunto-, esitystapa- ja sovelluskerros) OSI-mallista esitetään TCP/IP-mallissa yhtenä pakettina Sovelluskerroksena (Application Layer). (TCP/IP Model n.d.).



Kuvio 1 TCP/IP ja OSI-mallin erot (Li, Li, Cui & Zhang 2011, muokattu)

Kytkin

Kytkin on verkkolaite, jonka avulla voidaan yhdistää laitteita toisiinsa verkon sisällä. Kytkimiä on saatavilla niin L2-kerrosta (Siirtokerros) kuin L3-kerrosta (Verkkokerros) tukevana. L2-kerroksen kytkimet välittävät kehyksiä MAC osoitteiden perusteella niin toisille kytkimille, tietokoneille kuin myös reitittimille, jotka ovat samassa verkossa. L2-kytkin ei pysty lähettämään paketteja eri verkkoon. L3-kerroksen kytkimet taas pystyvät lähettämään toiseen verkkoon paketteja, koska sen operaatio ylittää OSI-mallin kolmanteen tasoon, jossa määritellään IP-osoitteet. (What is a network switch? n.d.)

Reititin

Reititin on samantapainen verkkolaite kuten aiemmin mainittu L3-kerrosta tukeva kytkin. Reitittimen avulla, kuten L3-kerroksen kytkimellä, voidaan myös yhdistää verkkoja toisiinsa. Reititin käsittelee paketteja eli sen operatiivinen toiminta sijoittuu OSI-mallin kolmannelle tasolle. Reitittimen avulla voidaan yhdistää niin LAN-verkkoja kuin pidempiä matkoja vaativia WAN-verkkoja. (What is a router? n.d.)

Vaikka L3-kerrosta tukeva kytkin ja reititin operoivat samalla tasolla, on näiden tekniikoissa jonkin verran eroja. Harris (n.db.) kirjoittaa artikkelissaan L3-kerrosta tukevan kytkimen ja reitittimen välisistä eroavaisuuksista, että reititintä käytetään yleisimmin yhdistämään eri verkkotopologioita, kuten WAN-verkkoja, kun taas L3-kerrosta tukeva kytkin yhdistää yleisesti LAN-verkkoja. Reititin myös tukee monipuolisemmin esimerkiksi erilaisia liitäntätekniikoita ja reititysprotokollia sekä sisältää enemmän ja tarkemmin tietoa reititystauluista. (Harris n.db.)

3.2 Käyttöjärjestelmät

Käyttöjärjestelmä on käyttäjän ja tietokoneen laitteiston välissä oleva ohjelmisto, jonka ydintehtävänä on esimerkiksi päättää, kuinka kauan ja kuinka paljon prosessorin resursseja käytetään sekä miten keskusmuistia käytetään. Ydintehtäviin kuuluu myös hallinnoida tallennustilaa, varmistaa prosessien keskustelu keskenään (IPC, Interprocess Communication) ja hallinnoida tiedonsiirtoa

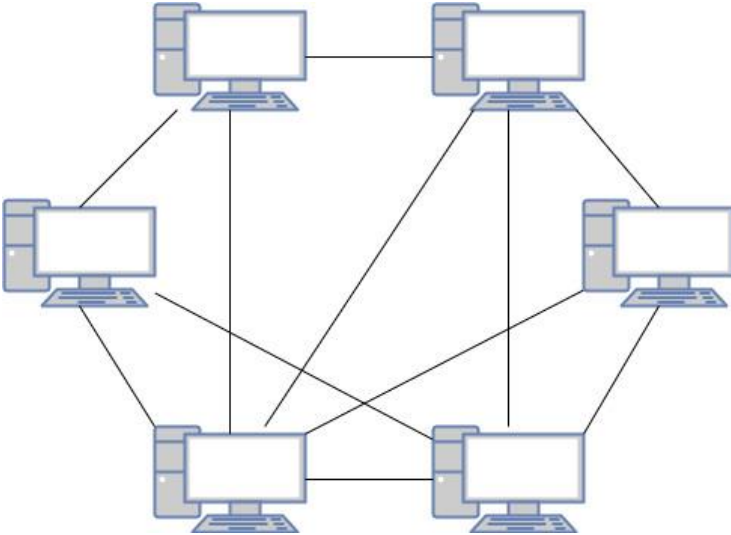
komponenttien osalta eli I/O hallinnointi. Käyttöjärjestelmän tarkoituksena on siis hallinnoida tietokoneen erinäisiä laitteistoja. Käyttöjärjestelmän ydintä kutsutaan nimellä kernel. (Rathee 2019, luku 1.)

General Motors Research Laboratories otti ensimmäisen käyttöjärjestelmän käyttöön 1950-luvun alkupuolella. Käyttöjärjestelmä oli asennettu IBM 701 tietokoneeseen ja se pystyi suorittamaan ainoastaan yhden prosessin kerrallaan. Sittemmin tietokone on vuosien saatossa kehittynyt ja jo 90-luvulla kuluttajätietokone pystyi suorittamaan 100 miljoona käskyä sekunnissa. (Mts. Luku 1.)

Käyttöjärjestelmän hallinnointiin on kaksi erilaista käyttöliittymää, GUI ja CLI. Command Line Interface (CLI) on tekstipohjainen käyttöliittymä, johon käyttäjä kirjaa komentoja komentoriville. Graphical User Interface (GUI) on käyttöliittymä, jonka avulla käyttäjä voi selailta käyttöjärjestelmää esimerkiksi erinäisissä valikoissa ja ikkunoissa. GUI on yleisesti käyttäjäystävällisempi verrattuna CLI:hin, koska GUI:n kanssa käyttäjän ei tarvitse muistaa komentoja. CLI:ssä on kuitenkin paljon muita hyötyjä kuten esimerkiksi suorituskyky ja resurssienkäyttö. CLI on yksinkertaisesta käyttöliittymästään johtuen hyvin kevyt eikä vaadi laitteistolta paljonkaan resursseja toimiakseen. (Difference between CLI and GUI n.d.) Opinnäytetyössä käytettävistä tietoverkkokäyttöjärjestelmistä löytyy CLI käyttöliittymä.

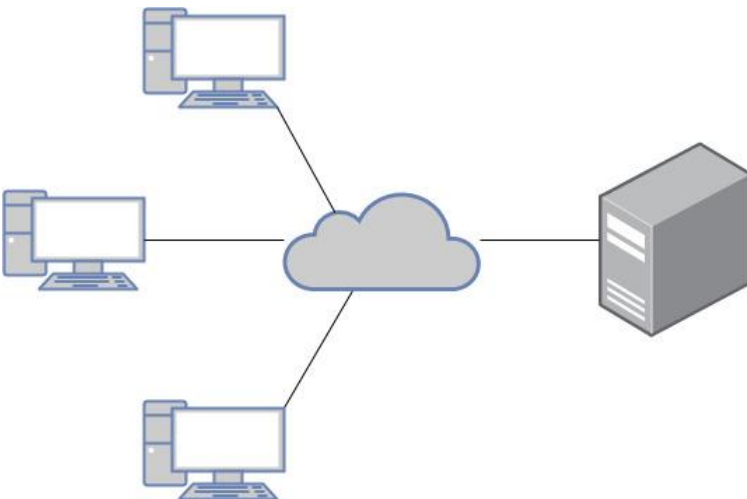
Tietoverkkokäyttöjärjestelmät

Jotta tietoa on voitu jakaa käyttöjärjestelmien (tietokoneiden) kesken, kehitettiin tiedon jakamiseen erikoistunut verkkokäyttöjärjestelmä (Network Operating System). Verkkokäyttöjärjestelmä on kokoelma ohjelmistoja ja protokollia, joka on rakennettu jo olemassa olevan käyttöjärjestelmän päälle (esim. Windows). Verkkokäyttöjärjestelmiä on kahden tyyppisiä: P2P (Peer-to-peer, vertaisverkko) ja Client/Server (asiakas/palvelin). P2P-tyypin (ks. kuvio 2) järjestelmässä yksi tai useampi tietokone on kytketty toisiinsa, joista jokainen tietokone on samanarvoinen ja sisältää samat ominaisuudet. Koska tietokoneet on kytketty toisiinsa, ei P2P-tyypin järjestelmässä kirjaututa keskitetysti yhteen laitteeseen (kuten palvelimeen), vaan kirjautuminen tapahtuu aina yksittäiseen koneeseen. (Network operating system n.d.; Network operating systems n.d.)



Kuvio 2 P2P-malli (Harris n.da., muokattu)

Client/Server-tyyppisessä järjestelmässä tietoa jaetaan keskitetysti esimerkiksi palvelimen avulla. Tämän tyyppisessä järjestelmässä tietokoneet (tai päätelaitteet) sisältävät asiakasohjelman (Client), jonka avulla voidaan tietoa hakea keskitetyltä palvelimelta (Server). Kuviossa 3 esiteltynä Client/Server-malli. (Network operating system n.d.)

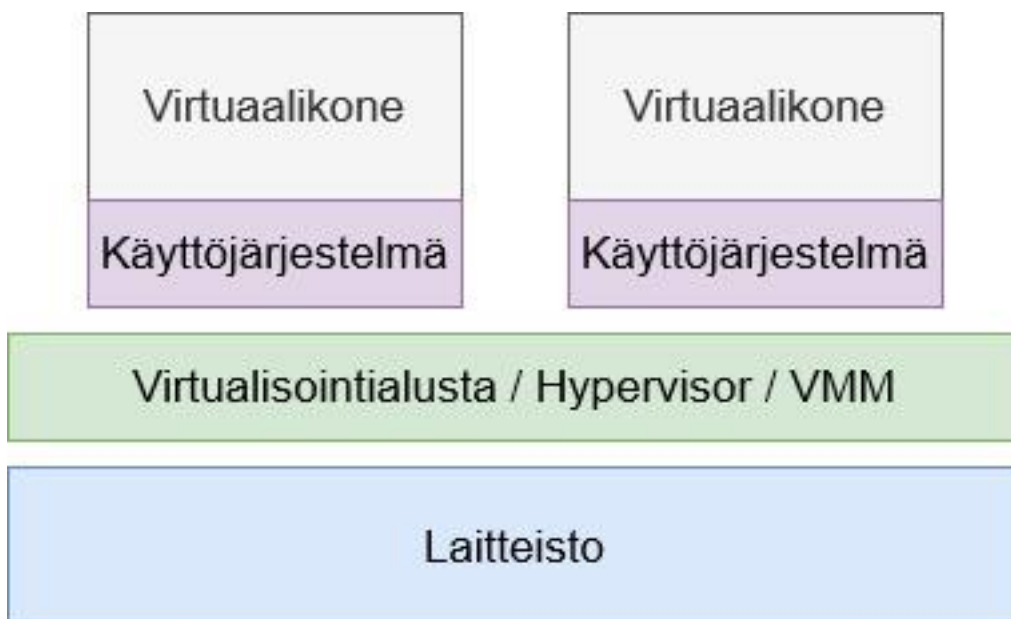


Kuvio 3 Client/Server-malli (Harris n.da., muokattu)

3.3 Virtualisointi

Virtualisoinnilla tarkoitetaan tekniikkaa, jossa ohjelmallisesti luodaan erillinen kerros tietokoneen laitteiston päälle. Tämän erillisen kerroksen avulla voidaan virtualisoida tietokoneen kaikki fyysiset laitteistokomponentit. Virtualisoituja laitteistokomponentteja voidaan hyödyntää esimerkiksi virtuaalikoneissa. Hypervisor eli virtualisointialusta (tai vanhalta nimeltään VMM, Virtual Machine Monitor) mahdollistaa virtuaalikoneiden virtualisoinnin. (Virtualization 2019; Portnoy 2016, 2.)

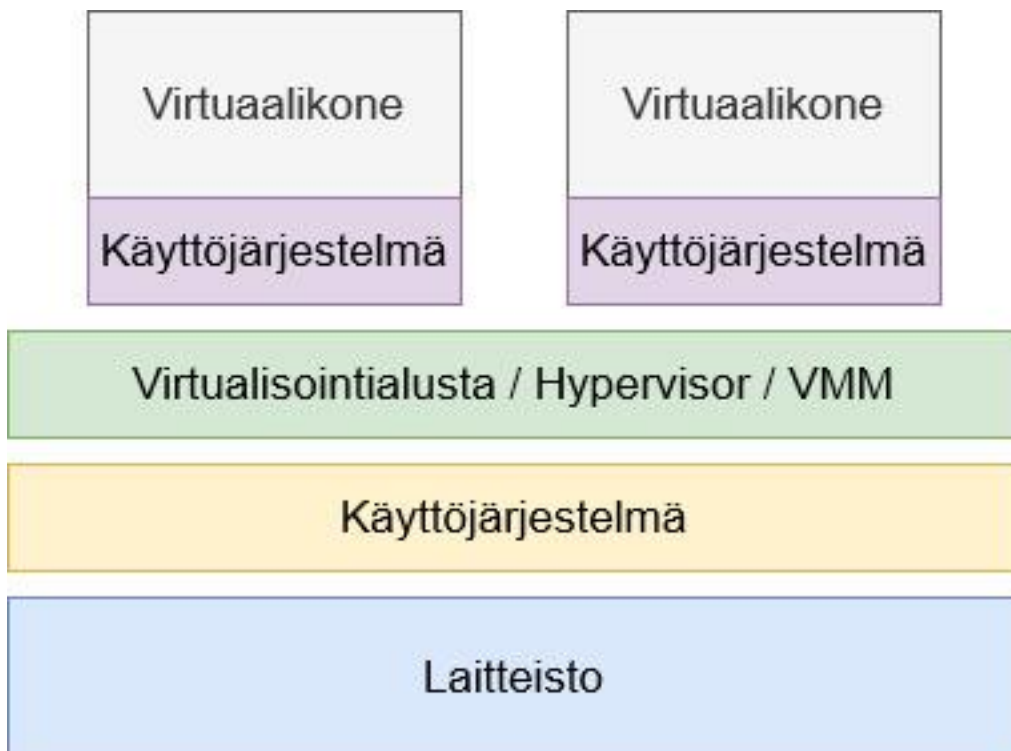
Virtualisointialustan (ks. Kuvio 4) täytyy täyttää kolme ominaisuutta. Nämä ominaisuudet ovat täsmällisyys, eristäminen ja suorituskyky. Täsmällisyydellä tarkoitetaan ympäristöä, jolla virtuaalikoneelle luodaan täysin identtiset laitteistokomponentit kuin fyysisellekin laitteistolle. Eristyksellä tarkoitetaan, että ainoastaan virtualisointialustalla täytyy olla täysi hallinta laitteiston resursseihin. Suorituskyvyllä tarkoitetaan, että virtuaalikoneen ja fyysisen tietokoneen suorituskyvyssä ei voi olla suurta eroa. (Portnoy 2016, 2–3.)



Kuvio 4 Tyypin 1 virtualisointialusta (Portnoy 2016, 2, muokattu)

Virtualisointialusta voidaan yksinkertaisesti kuvailla ohjelmistona, joka on sijoittunut itse fyysisen laitteiston ja virtuaalikoneen väliin. Sen tehtävänä on esimerkiksi hallinnoida laitteiston resursseja virtuaalikoneelle. (Portnoy 2016, 21.)

Virtuaalialustoja eli hypervisoreita on kahden tyyppiä; tyyppi 1 ja tyyppi 2. Tyypin 1 virtualisointialusta (ks. Kuvio 4) on ns. Bare Metal asennus, eli virtualisointialusta on asennettu suoraan fyysisen laitteiston päälle, eikä sillä ole varsinaista käyttöjärjestelmää. Tyypin 1 virtualisointialustalla on suora pääsy hallinnoimaan laitteiston resursseja. Tyypin 2 (ks. Kuvio 5) virtualisointialusta on oma ohjelmistonsa, joka toimii jonkin käyttöjärjestelmän päällä. Tyypin 2 virtualisointialustan hyviä puolia on sen helppokäyttöisyys. Tyypin 2 virtualisointialustalla kaikki resurssit peritään käyttöjärjestelmältä, joka ajaa tyypin 2 virtualisointialustaa. (Mts. 23–25.)



Kuvio 5 Tyypin 2 virtualisointialusta (Portnoy 2016, 25, muokattu)

4 Vertailu

4.1 Lähtötilanne ja testiympäristö

Opiskelijalla on mahdollisuus valita suorittaako Tietoverkot-kurssin Hyväksytty/Hylätty arvioinnilla vai numeraalisella arvioinnilla. Hyväksytty/Hylätty arviointiin opiskelijan täytyy läpäistä vain teoria- koe, mutta jos opiskelija haluaa kurssista numeraalisen arvosanan, täytyy opiskelijan suorittaa teo- riakokeen lisäksi kurssin harjoituksia. Harjoituksia opiskelijalle on 17 kappaletta, jotka ovat jaettu arvosanan mukaan taulukon 1 mukaisesti. (Saharinen n.da.)

Taulukko 1 Arvosana suoritettuihin tehtäviin nähden (Saharinen n.da., muokattu)

Arvosana	Harjoitukset
1	E01 – E05
2	E01 – E08
3	E01 – E12
4	E01 – E15
5	E01 – E17

Opinnäytetyön tietoverkkokäyttöjärjestelmillä suoritettavat harjoitukset rajattiin Tietoverkot- opintojakson arvosanan 1 tähtäävien harjoitteiden mukaiseksi. Listaus arvosanan 1 suoritettavista harjoituksista taulukossa 2. Käyttöjärjestelmät valittiin myös toimeksiantajan vaatimusten perus- teella, mutta lähtökohtiin tutustuttiin suorittamalla opintojakson harjoitteet Tietoverkot- opintojakson tietoverkkokäyttöjärjestelmillä. Tämän avulla saatiin tarkempi kokonaiskuva siitä, millaiset tietoverkkolaitteiden käyttöjärjestelmät työhön valittiin.

Taulukko 2 Tietoverkot kurssin arvosana 1 harjoitukset (Saharinen n.da., muokattu)

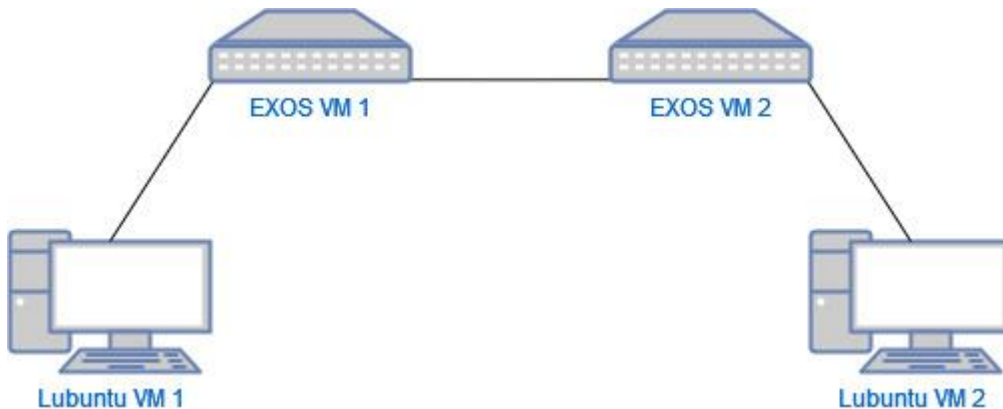
Nro.	Harjoitus
E01	Ensimmäisen virtuaalikoneen tekeminen
E02	Ensimmäiset kytkimet
E03	Aliverkkojen laskenta
E04	Laitteiden osoitteistaminen
E05	DHCP konfigurointi ja staattinen reititys

Yllä olevan taulukon harjoituksista E02, E04 ja E05 ovat harjoituksia, joihin opinnäytetyöhön valittujen tietoverkkokäyttöjärjestelmien tutkimus keskittyi ominaisuuksien osalta. E01 ja E03 olivat tukemassa harjoitusten suorittamista, joten näitä ei oteta opinnäytetyössä tarkempaan tarkasteluun.

E01 harjoituksessa testataan VirtualBox-ohjelmistoa asentamalla kurssilla käytettävä Ubuntu-virtuaalikone ja testaamalla virtualisointiympäristöä tekemällä erinäisiä tehtäviä. E03 harjoituksessa tehtävänä on laskea erinäisiä ip-osoiteavaruuksia hyödyntämällä opiskelijan opiskelijanumeroa. (Saharinen n.db.; Saharinen n.dc.) Harjoituksessa E03 laskettuja ip-osoiteavaruuksia hyödynnetään E04 ja E05 harjoituksissa.

E02 harjoituksessa VirtualBox ympäristöön asennetaan kaksi EXOS kytkintä ja kaksi Ubuntu-virtuaalikonetta. Harjoituksessa on tarkoituksena rakentaa kuvion 6 mukainen topologia ja testata Ubuntu-virtuaalikoneiden yhteydessä. Ensimmäinen tehtävä on nostaa kytkimen portit ylös ja

testata yhteydellisyys. Seuraava tehtävä on luoda ja konfiguroida VLAN (Virtual Local Area Network), jonka jälkeen testata yhteydellisyys ja tutkia EXOS VM 1 ja EXOS VM 2 välillä kulkevaa liikennettä. (Saharinen n.dd.)

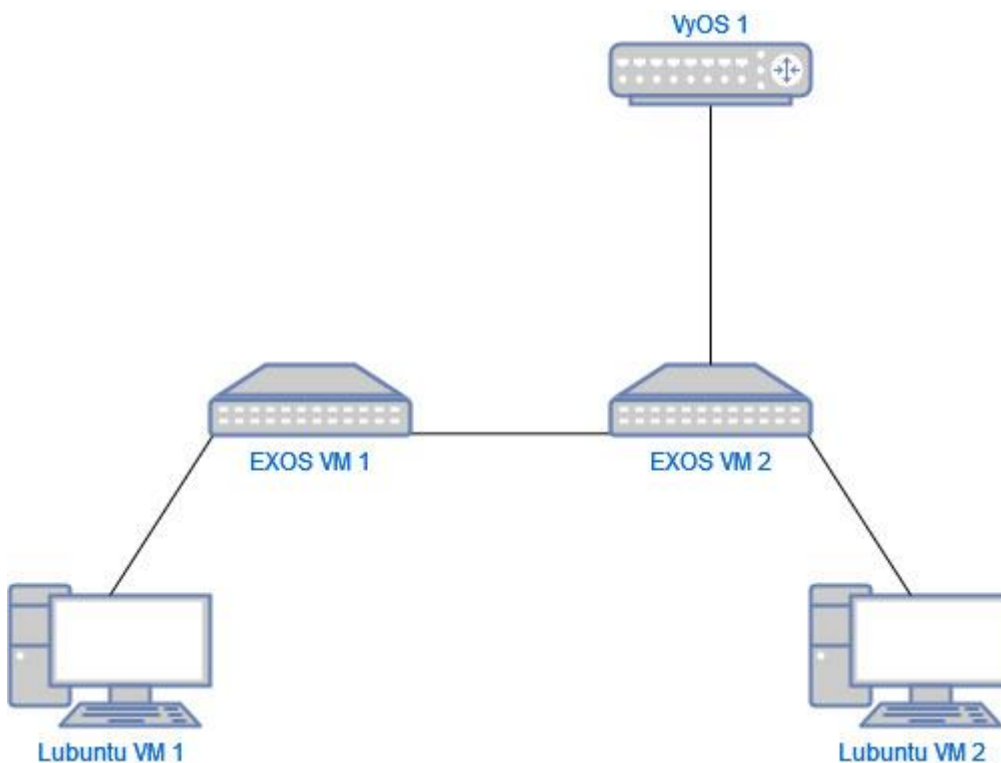


Kuvio 6 E02 Ensimmäiset kytkimet harjoituksen topologia (Saharinen n.dd., muokattu)

EXOS (ExtremeXOS Operating System) on Extreme Networks yrityksen valmistama modulaarinen tietoverkkokäyttöjärjestelmä. EXOS käyttöjärjestelmä tarjoaa niin tason 2 kytkimen ominaisuuksia kuin myös tason 3 kytkimen ominaisuuksia. (ExtremeXOS Operating System n.d.) EXOS VM on käyttöjärjestelmän virtualisoitu versio, joka suunniteltu testauksiin ja on saatavilla alustoille kuten VirtualBox ja VMWare. EXOS VM on ladattavissa Extreme Networksin GitHub sivuilta. (Virtual EXOS Images 2021.)

E04 harjoituksessa tehtävänä oli lisätä virtuaalireititin VyOS ja osoitteistaa laitteet E03 tehtävässä laskettujen IP-osoiteavaruuksien avulla. Tehtävänä on rakentaa seuraavanlainen kuvion 7 mukainen topologia. EXOS-kytkimiin lisätään uusi VLAN, jonka jälkeen VyOS-reitittimelle konfiguroidaan uudet rajapinnat, jotka joihin konfiguroidaan juuri konfiguroitujen VLANien mukaiset ip-osoitteet.

Tämän jälkeen Ubuntu 1 ja 2 asetetaan samasta aliverkosta osoite ja testataan yhteydessä. (Saharinen n.de.)



Kuvio 7 E04 Laitteiden osoitteistaminen harjoituksen topologia (Saharinen n.de., muokattu)

VyOS on ilmainen avoimen lähdekoodin reititin tietoverkkokäyttöjärjestelmä. VyOS kehitettiin vuonna 2013 Vyatta Core projektin loppumisen myötä. VyOS on avoin alusta, joka on yhteisön ylläpitämä tuote ja sitä voi kuka vain kehittää. VyOS on myös mahdollista saada yrityksille maksullisena versiona, jolloin palveluihin kuuluu esimerkiksi erilaisia tukitasoja. (VyOS - The Universal Router n.d.; Subscriptions n.d.) VyOS sisältää useita erilaisia reititysprotokollia, VPN alustan, tilallisen ja aluekohtaisen palomuurin, verkkopalveluita kuten DHCP, DNS edelleenlähetys, VRRP protokollan tuen sekä monia muita ominaisuuksia. VyOS on asennettavissa ns. Bare Metal asennuksena, virtualisoituna ja pilviversiona. (VyOS Router n.d.)

E05 harjoituksen tehtävänä on lisätä ympäristöön yksi uusi VyOS reititin sekä uusi Lubuntu-virtuaalikone. Tehtävänä on rakentaa kuvion 8 mukainen topologia. Tehtävänä on konfiguroida VyOS laitteille DHCP (Dynamic Host Control Protocol) palvelu, joka osoitteistaa verkkoon lisätyt laitteet automaattisesti. (Saharinen n.df.)

4.2 Tutkimuskriteerit

Tietoverkkokäyttöjärjestelmiä tutkittiin taulukon 3 mukaan. Tutkimuksessa tarkastellaan valittujen käyttöjärjestelmien ajankäyttöä, dokumentaatiota ja käyttöjärjestelmän komentojen helppokäyttöisyyttä ja selkeyttä. Käyttöjärjestelmiä tarkastellaan myös tehtävien suoritusten osalta, jos käyttöjärjestelmillä pystytään suorittamaan tehtävä tai jos käyttöjärjestelmällä ei pysty suorittamaan tehtävää. Käyttöjärjestelmien dokumentaatioissa ilmoitettuja resurssivaatimuksia, kuten RAM- eli keskusmuistia ja virtuaalista prosessorimäärää tarkasteltiin. Resurssivaatimuksen perusteella vertailtiin myös laskennallisesti tehtäväkohtaisen topologian mukaista kokonaisresurssien määrää Tietoverkot-opintojaksolla käytettäviin tietoverkkokäyttöjärjestelmiin.

Taulukko 3 Tutkimuskriteerit

Ajankäyttö			Kauanko kului aikaa hankkia ja nostaa käyttöjärjestelmä virtuaaliympäristöön
Resurssivaatimukset			Käyttöjärjestelmän RAM- ja vCPU vaatimukset virtuaaliympäristöön
Harjoitukset	E02	Kyllä/ei?	Onko E02 harjoituksen tehtävien suoritus mahdollista
		RAM (yhteensä)	Ympäristön yhteenlaskettu RAM-vaatimus harjoituksessa
		vCPU (yhteensä)	Ympäristön yhteenlaskettu vCPU-vaatimus harjoituksessa
	E04	Kyllä/ei?	Onko E04 harjoituksen tehtävien suoritus mahdollista
		RAM (yhteensä)	Ympäristön yhteenlaskettu RAM-vaatimus harjoituksessa
		vCPU (yhteensä)	Ympäristön yhteenlaskettu vCPU-vaatimus harjoituksessa
	E05	Kyllä/ei?	Onko E05 harjoituksen tehtävien suoritus mahdollista
		RAM (yhteensä)	Ympäristön yhteenlaskettu RAM-vaatimus harjoituksessa
		vCPU (yhteensä)	Ympäristön yhteenlaskettu vCPU-vaatimus harjoituksessa
Dokumentaatio			Dokumentaation kattavuus ja selkeys
Helppokäyttöisyys			Käyttöjärjestelmän selkeys

Tietoverkkokäyttöjärjestelmiä valittiin tutkittavaksi kolme toimeksiantajan ja suoritettujen harjoitteiden perusteella vaatimuksiin sopivaa yksilöä. Vaatimuksia olivat lisenssivapaat tai ei-maksullisella lisenssillä saatavat tietoverkkokäyttöjärjestelmät ja soveltuvuus virtuaaliympäristöön. Tietoverkot-opintojakson harjoitteiden avulla tarkennettiin tietoverkkokäyttöjärjestelmän vaatimuksia teknisestä näkökulmasta. Harjoitteiden perusteella muodostui vaatimuksiksi seuraavanlaisia ominaisuuksia tietoverkkokäyttöjärjestelmälle: tietoverkkolaitteiden käyttöjärjestelmälle tarkoitettu oma CLI (Command Line Interface), VLAN-tuki, erinäisiä perusreititysominaisuuksia ja tuki DHCP-palvelulle. Valitut tietoverkkokäyttöjärjestelmät olivat kaikki L3-tason kytkinkäyttöjärjestelmiä. Opinnäytetyössä ei kuitenkaan esitellä valittuja käyttöjärjestelmiä lisenssisyistä. Käyttöjärjestelmiä tarkastellaan siis ainoastaan yleisellä tasolla ja tutkitaan mitä vaaditaan tällaiselta tietoverkkolaitteiden käyttöjärjestelmältä virtuaaliympäristöön ja miten ne soveltuvat Tietoverkot-opintojaksolle.

Tietoverkot-opintojaksolla VyOS-virtuaalireitittimelle ja EXOS-virtuaalikytkimelle oli määritetty resursseja käytettäväksi taulukon 4 mukaisesti. Taulukossa 5 on yhteenlaskettu harjoituskohtaisesti resurssivaatimukset harjoituksen lopussa.

Taulukko 4 Tietoverkot-opintojaksolla käytettyjen käyttöjärjestelmien resurssit

	VyOS	EXOS VM
RAM	512 MB	384 MB
vCPU	1 vCPU	1 vCPU

Taulukko 5 VyOS ja EXOS VM harjoituskohtaiset resurssit

Harjoitus	Resurssi	VyOS	EXOS VM	Yhteensä
E02	RAM	-	768 MB	768 MB
	vCPU	-	2 vCPU	2 vCPU
E04	RAM	512 MB	768 MB	1280 MB
	vCPU	1 vCPU	2 vCPU	3 vCPU
E05	RAM	1024 MB	768 MB	1792 MB
	vCPU	2 vCPU	2 vCPU	4 vCPU

5 Tulokset

Tietoverkkokäyttäjärjestelmät testattiin testiympäristössä suorittamalla Tietoverkot-opintojakson harjoituksia. Tarkoituksena oli selvittää, mitä ottaa huomioon tietoverkkokäyttäjärjestelmästä, joka otetaan käyttöön osaksi esimerkiksi Tietoverkot-opintojaksolle.

Ajankäyttö

Jokainen valittu käyttäjärjestelmä oli tuettu VirtualBox-ohjelmistolle. Asennukset olivat hyvinkin vaivattomia ja aikaa ei kulunut suuria määriä. Osa käyttäjärjestelmistä saatiin ladattua rekisteröitymällä valmistajan verkkosivuille. Paketit oli saatavilla joko suoraan Virtualboxille yhteensopivana .ova pakettina tai sitten erillisenä .iso tiedostona, jossa erillisenä levykomponentit, jotka liitettiin Virtualboxiin erikseen.

Harjoitusten suoritukset

Jokaisella valitulla käyttäjärjestelmällä pystyi suorittamaan Tietoverkot-kurssin tehtäviä, joten ominaisuuksissa ei ole ollut suuria eroja. Koska kaikki valitut käyttäjärjestelmät olivat L3-tason kytkinkäyttäjärjestelmiä, kahdella käyttäjärjestelmällä onnistuttiin toteuttamaan E02, E04 ja E05 mukaiset topologiat yksinään. Ainoastaan yhdellä käyttäjärjestelmällä ei saatu toteutettua E02 harjoitusta, mutta E04 ja E05 harjoitusten toteutus onnistui. Tämän käyttäjärjestelmän testauksessa hyödynnettiin toista testattua käyttäjärjestelmää E02 tehtävän osalta, eli käyttäjärjestelmien yhteensopivuutta testattiin myös toisiensa kesken. Jokaiseen valittuun käyttäjärjestelmään pystyi määrittelemään perusasetuksia kuten ip-osoitteen, DHCP-palvelun sekä staattisia reitityksiä, Tietoverkot-opintojakson harjoitteiden mukaisesti. Suoritukset olivat hyvin suoraviivaisia ja eteneminen nojautui tietoverkkokäyttäjärjestelmän valmistajan dokumentaatioon.

Testattavien käyttäjärjestelmien yhteensopivuus testattiin myös Tietoverkot-opintojaksolla käytettävien VyOS-reitittimen ja EXOS VM-kytkimen kesken. Kolmesta testatusta tietoverkkokäyttäjärjestelmästä ainoastaan ei ollut yhteensopiva.

Resurssivaatimukset

Osassa valittujen tietoverkkokäyttöjärjestelmien resurssivaatimukset olivat ilmoitettuna dokumentaatioihin ja osassa resurssivaatimukset oli löydettävissä tietoverkkokäyttöjärjestelmän valmistajan yhteisön sivuilta. Kuitenkin näiden perusteella resurssivaatimukset olivat pitkälti samanlaiset. RAM-muistia käyttöjärjestelmät tarvitsivat 1536 MB – 2048 MB. Testauksessa kuitenkin käyttöjärjestelmät toimivat moitteetta 512 MB pienemmillä RAM-määrittelyillä. Käyttöjärjestelmiä testattiin myös 512 MB sekä 1024 MB RAM-määrällä, joiden perusteella havaittiin, että osassa käyttöjärjestelmistä ilmentyi erilaisia palveluiden sammumisia ja yleistä käyttöjärjestelmän hidastelua.

Käyttöjärjestelmille Tietoverkot-opintojaksolla EXOS-virtuaalikytkimelle ja VyOS-virtuaalireitittimelle on asetettu hyvinkin vaatimattomat RAM-resurssit. VyOS-virtuaalireitittimelle oli asetettu RAM-muistia 512 MB, joka on myös VyOS:n omien sivujen mukainen minimiresurssivaatimus. EXOS VM asennusohjeessa on määritetty RAM-muistin vaatimukseksi vähintään 256 MB, mutta poikkeuksellisesti Tietoverkot-opintojaksolle virtuaalikytkimelle oli asetettu 384 MB RAM-muistia.

Virtuaaliprosessoreiden ydinten määrä vaihteli 1-2 kpl välillä, mutta testauksessa määriteltiin käyttöjärjestelmille 1 kpl virtuaalisia prosessoreita eikä tämä vaikuttanut käyttöjärjestelmän suorituskykyyn. Tämä ei eroa Tietoverkot-opintojakson tietoverkkokäyttöjärjestelmien määrityksistä. Tallennustilan osalta resurssivaatimukset olivat hyvin vaihtelevat. Vaihteluväli oli 4-16 GB välissä.

Taulukossa 6 on esitelty vertailu testatuista käyttöjärjestelmistä ja Tietoverkot-opintojakson kokoonpanosta resurssivaatimuksien osalta. Kuten taulukosta huomataan, Tietoverkot-opintojaksolla käytettävä kokoonpano on hyvinkin vaatimaton verrattuna valittuihin tietoverkkokäyttöjärjestelmiin. Testatut käyttöjärjestelmät olivat Tietoverkot-opintojakson tietoverkkokäyttöjärjestelmiin verrattaen enemmän resursseja vaativampia. Ympäristön laajentumisessa vaatii tietokone enemmän resursseja virtualisointiympäristön ajamiseen, ottaen huomioon myös virtualisointiympäristössä käytettävät virtuaaliset PC:t, joilla testataan rakennetun topologian yhteydessä.

Taulukko 6 Vertailu Tietoverkot-opintojakson kokoonpanosta testattuihin käyttöjärjestelmiin

Harjoitus	Resurssi	EXOS VM & VyOS (yhteenlaskettu)	Testatut käyttöjärjestelmät, 3kpl (yhteenlaskettu)
E02	RAM	768 MB	3072 MB
	vCPU	2 vCPU	2 vCPU
E04	RAM	1280 MB	4096 / 4608 MB
	vCPU	3 vCPU	3 vCPU
E05	RAM	1792 MB	5120 / 6144 MB
	vCPU	4 vCPU	4 vCPU

Dokumentaatio

Käyttöjärjestelmien dokumentaatiot olivat hyvinkin kattavat. Kaikkien tietoverkkokäyttöjärjestelmien kohdalla kuitenkin nojattiin dokumentaatioon käytön osalta. Dokumentaation osalta kaikki tarvittava tieto löytyi varsin vaivattomasti.

Helppokäyttöisyys

Tietoverkkokäyttöjärjestemälle oli määritelty yhtenä vaatimuksena tietoverkkolaitteisiin räätälöity CLI:tä/komentorivi. Testatuissa sekä Tietoverkot-opintojaksolla käytettävissä käyttöjärjestelmissä oli kahden tyyppisiä komentorivejä, jotka ovat alalle tavanomaisia. EXOS VM:ssä kytkimen asetukset konfiguroidaan suoraan komentoriville, kun taas VyOS noudattaa hierarkisempaa mallia, jossa reitittimen asetukset asennetaan erillisessä konfigurointitilassa. Testatuissa käyttöjärjestelmissä, joissa komennot ajettiin suoraan komentoriville ilman erillistä siirtymistä konfigurointitilaan, havaittiin komentojen olevan pidempiä. Erillisessä konfigurointitilassa komennot ajettiin hierarkisemmin siirtymällä itse konfiguroitavaan porttiin tai palveluun ensin ja sen jälkeen asettamalla asetuksia näihin, joten komennot eivät olleet yhtä pitkiä. Asetusten käyttöönottamisessa oli ha-

vaittavissa myös kahdentyyppistä prosessia. Toisessa konfiguroitavat asetukset otettiin tietoverkkokäyttöjärjestelmässä välittömästi käyttöön ilman erillistä komentoa ja toisessa asetukset otettiin käyttöön erillisellä komennolla.

Tietoverkot-opintojaksossa opiskelija rakentaa harjoitusten edetessä fyysistä ja loogista topologiaa, johon kirjataan ympäristöstä erinäisiä arvoja kuten laitetunnus eli MAC-osoite selventämään Virtualbox-ohjelman adapteri ja itse tietoverkkokäyttöjärjestelmän porttikohtaisia yhteyksiä. Yhdessä käyttöjärjestelmässä kyseisen MAC-osoitteen arvoa ei ollut mahdollista dokumentoida. Havaittiin myös, että yhdessä testattavassa tietokäyttöjärjestelmässä porttien MAC-osoite järjestys vaihtui aina uudelleen käynnistyksen jälkeen.

Yhteenveto

Valituissa tietoverkkokäyttöjärjestelmissä ei ollut havaittavissa kovinkaan suuria eroavaisuuksia. Suurimmat erot oli havaittavissa resurssivaatimuksissa. Tietoverkot-opintojaksolla käytettävien tietoverkkokäyttöjärjestelmien resurssivaatimukset olivat huomattavasti pienemmät, mitä opinnäytetyöhön valittujen käyttöjärjestelmien resurssivaatimukset.

Virtuaalisen tietoverkkokäyttöjärjestelmän valinnassa tulee ottaa huomioon käyttöjärjestelmän resurssivaatimukset sekä valitun virtualisointialustan tuki. Lisäksi tulee kiinnittää huomiota tietoverkkokäyttöjärjestelmän ominaisuuksiin. Opinnäytetyössä pohjana käytetyn Tietoverkot-opintojakson harjoitteet voidaan suorittaa valituilla tietoverkkokäyttöjärjestelmillä ainakin arvosanan 1 harjoitteiden mukaan eli E02, E04 ja E05 harjoitukset. Harjoitusten edetessä, täytyy laitteita lisätä virtuaaliympäristöön, joten käytettävän tietokoneen resurssit on otettava huomioon.

6 Pohdinta

Opinnäytetyössä tutkittiin, mitä ottaa huomioon tietoverkkokäyttäjärjestelmästä, joka otetaan käyttöön osaksi tietoverkko-opetusta. Pohjana käytettiin Jamkin järjestämää Tietoverkot-opintojaksoa. Tietoverkkokäyttäjärjestelmien resurssivaatimusten tuloksia verrattiin Tietoverkot-opintojaksolla käytettävien tietoverkkokäyttäjärjestelmien resurssivaatimuksiin harjoituskohtaisesti. Tutkimuksessa käytettiin pohjana Tietoverkot-opintojaksoson arvosanaan 1 tähtääviä harjoitteita, jotka voidaan tutkimukseen valituilla tietoverkkokäyttäjärjestelmillä suorittaa testiympäristön mukaisella kokoonpanolla. Tulokset voivat kuitenkin vaihdella esimerkiksi eri prosessorivalmistajalla. Tietoverkkokäyttäjärjestelmien versio voi myös tuottaa eri tuloksia. Työssä ei otettu huomioon tietoverkkokäyttäjärjestelmien versiointia, vaan tutkimus tehtiin kirjoitushetkellä valittujen tietoverkkokäyttäjärjestelmien uusimmilla versioilla.

Koska ympäristö on virtuaalinen, nojataan vahvasti tietokoneen resursseihin, varsinkin RAM-muistin määrään. Tutkimukseen valitut käyttäjärjestelmät olivat reilusti enemmän resursseja vaativia verrattuina Tietoverkot-opintojaksolla tällä hetkellä käytössä oleviin tietoverkkokäyttäjärjestelmiin.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen, mutta haasteita ilmeni työn edetessä. Alkuperäinen opinnäytetyön aihe oli toteuttaa vertaileva tutkimus virtuaalisesti ajettavien tietoverkkolaitteiden käyttäjärjestelmistä, jotka ovat lisenssivapaita tai saatavilla ei-maksullisella lisenssillä ja soveltuvat Tietoverkot-opintojaksolle. Lisenssisyiden vuoksi opinnäytetyön tutkimuksen luonne muuttui työn edetessä. Tutkimuksessa selvitettiin erinäisiltä tietoverkkolaitteiden valmistajilta lisenssivapaita tai ei-maksullisella lisenssillä saatavia käyttäjärjestelmiä, mutta näitä ei ollut saatavilla. Tietoverkkokäyttäjärjestelmiä kyllä löytyy, mutta toimeksiantajan vaatimukset rajasivat määrän pieneksi.

Opinnäytetyötä voidaan käyttää pohjana esimerkiksi tietoverkko-opetuksen suunnittelussa, jossa tarkoituksena on suorittaa konfigurointiharjoituksia virtuaalisilla tietoverkkokäyttäjärjestelmillä.

Lähteet

Ahlblad, J. 2008. Suomi liittyi internetiin 20 vuotta sitten. Tivi 4.12.2008. Viitattu 20.3.2022. <https://www.tivi.fi/uutiset/suomi-liittyi-internettiin-20-vuotta-sitten/407cd47f-03fc-3d16-b1c3-44dc52da23c3>.

Alani, M. 2014. Guide to OSI and TCP/IP Models. Sveitsi: Springer. Viitattu 25.3.2022. <https://janet.finna.fi>, Skillsoft Books IPro.

Chapter 1. First Steps. N.d. Virtualbox manuaali VirtualBox-verkkosivustolla. Viitattu 3.3.2022. <https://www.virtualbox.org/manual/ch01.html>.

Difference between CLI and GUI. N.d. Javatpoint-verkkosivusto. Viitattu 20.11.2022. <https://www.javatpoint.com/cli-vs-gui>.

ExtremeXOS Operating System. N.d. Datasheet Extreme Networks-sivustolla. Viitattu 5.3.2022. <https://kapost-files-prod.s3.amazonaws.com/kapost/55ba7c9e07003d9aab000394/studio/content/57dbfb2f330db0dec00000b4/published/extremexos-r-data-sheet.pdf>.

Gallo, M. & Hancock, W. 2002. Networking Explained. 2. p. Boston: Digital Press. Viitattu 22.3.2022. <https://janet.finna.fi>, Skillsoft Books IPro.

Geer, S. 2003. Essential internet, liite 1. London: Economist. Viitattu 28.3.2022. <https://janet.finna.fi>, Skillsoft Books IPro.

Hae opiskelemaan. N.d. Jamk-verkkosivusto. Viitattu 2.3.2022. <https://www.jamk.fi/fi/hae-opiskelemaan>.

Harris, A. N.da. Comparison of “peer-to-peer” vs “client-server” Network Models. Networks Training-verkkosivusto. Viitattu 11.4.2022. <https://www.networkstraining.com/peer-to-peer-vs-client-server-network/>.

Harris, A. N.db. Difference Between Routers and Switches in TCP/IP Networks. Artikkelit Networks Training-verkkosivustolla. Viitattu 6.4.2022. <https://www.networkstraining.com/router-vs-switch-in-networks/>.

Ibe, O. 2018. Fundamentals of Data Communication Networks. Hoboken, New Jersey: Wiley. Viitattu 22.3.2022. <https://janet.finna.fi>, Skillsoft Books IPro.

Jamk. N.d. Jamk-verkkosivusto. Viitattu 2.3.2022. <https://www.jamk.fi/fi/jamk>.

Kananen, J. 2017. Laadullinen tutkimus pro graduna ja opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.11.2022. <https://janet.finna.fi>, booky.fi.

Kolding, M., Kroa, V. 2005. Networking Skills in Europe: Will an Increasing Shortage Hamper Competitiveness in the Global Market?. Cisco-verkkosivusto. Viitattu 21.3.2022. https://www.cisco.com/web/IT/training_education/networking_academy/idc_05.pdf.

Li, Y., Li, D., Cui, W. & Zhang, R. 2011. Research based on OSI model. 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks. 554-557, doi: 10.1109/ICCSN.2011.6014631. Viitattu 20.11.2022. <https://janet.finna.fi>, IEEE.

Network operating system. N.d. Javatpoint-verkkosivusto. Viitattu 11.4.2022. <https://www.javatpoint.com/network-operating-system>.

Network Operating Systems. N.d. TechnologyUK-verkkosivusto. Viitattu 11.4.2022. <https://www.technologyuk.net/telecommunications/computer-networks/network-operating-systems.shtml>.

Portnoy, M. 2016. Virtualization Essentials. 2. p. Indianapolis, Indiana: Sybex. Viitattu 5.3.2022. <https://janet.finna.fi>, Ebooks Central.

Rathee, P. 2019. Basic Principles of an Operating System: Learn the Internals and Design Principles. Delhi: BPB Publications. Viitattu 20.11.2022. <https://janet.finna.fi>, Skillsoft Books IT Pro.

Routio, P. 2007. Vertailu. Tuote ja tieto. Tuotteiden tutkimus ja kehittäminen-verkkosivusto. Viitattu 1.11.2022. <http://www2.uiah.fi/projects/metodi/072.htm>.

Saharinen, K. N.da. Opintojaksoinfo – Tietoverkot. Labranet-verkkosivusto. Viitattu 22.11.2022. <https://tietoverkot.pages.labranet.jamk.fi/>.

Saharinen, K. N.db. E01 Ensimmäisen virtuaalikoneen tekeminen. Labranet-verkkosivusto. Viitattu 22.11.2022. <https://tietoverkot.pages.labranet.jamk.fi/Exercises/E01%20Making%20your%20first%20virtual%20machine/>.

Saharinen, K. N.dd. E02 Ensimmäiset kytkimet. Viitattu 22.11.2022. <https://tietoverkot.pages.labranet.jamk.fi/Exercises/E02%20First%20Switches/>.

Saharinen, K. N.dc. E03 Aliverkkojen laskenta. Labranet-verkkosivusto. Viitattu 22.11.2022. <https://tietoverkot.pages.labranet.jamk.fi/Exercises/E03%20Calculating%20Subnets/>.

Saharinen, K. N.de. E04 Laitteiden osoitteistaminen. Labranet-verkkosivusto. Viitattu 22.11.2022. <https://tietoverkot.pages.labranet.jamk.fi/Exercises/E04%20Addressing%20Devices/>.

Saharinen, K. N.df. E05 DHCP konfigurointi ja staattinen reititys. Viitattu 22.11.2022. <https://tietoverkot.pages.labranet.jamk.fi/Exercises/E05%20Configuring%20DHCP%20and%20Static%20Routing/>.

Subscriptions. N.d. Vynos-sivusto. Viitattu 5.3.2022. <https://vyos.io/subscriptions/software/>.

TCP/IP Model. N.d. Javatpoint-verkkosivusto. Viitattu 26.3.2022. <https://www.javatpoint.com/computer-network-tcp-ip-model>.

Tietoverkot. N.d. Opintojaksokuvaus Peppi-sivustolla. Viitattu 16.2.2022. https://opetussuunnitelmat.peppi.jamk.fi/fi/TTV2020SS/course_unit/TTC1030.

Töihin Jamkiin. N.d. Jamk-verkkosivusto. Viitattu 2.3.2022. <https://www.jamk.fi/fi/jamk/toihin-jamkiin>.

Vasudevan, S., Subashri, V., Kothari, D. & Thangaraj, P. 2015. Computer Networking. Oxford, England: Alpha Science International Ltd. Viitattu 24.3.2022. <https://janet.finna.fi>, Ebooks Central.

Virtual EXOS Images. 2021. Extreme Networks-Github sivustolla. Muokattu 7.9.2021. Viitattu 5.3.2022. https://github.com/extremenetworks/Virtual_EXOS/blob/master/README.md.

Virtualization. 2019. IBM Cloud-verkkosivusto. Viitattu 2.12.2022. <https://www.ibm.com/cloud/learn/virtualization-a-complete-guide>.

VyOS - The Universal Router. N.d. Vynosivusto. Viitattu 5.3.2022. <https://vyos.net/>.

VyOS Router. N.d. Vynosivusto. Viitattu 5.3.2022. <https://vyos.io/vyos-router>.

What is a network switch? N.d. Cloudflare-verkkosivusto. Viitattu 26.3.2022. <https://www.cloudflare.com/learning/network-layer/what-is-a-network-switch/>.

What is a router? N.d. Cloudflare-verkkosivusto. Viitattu 6.4.2022. <https://www.cloudflare.com/learning/network-layer/what-is-a-router/>.

Ziemann, M. 2016. 20 vuotta siitä, kun Suomi internetiin hurrahti – ”Marttojen palsta oli mukava”. Yle 28.12.2016. Viitattu 20.3.2022. <https://yle.fi/uutiset/3-9376282>.