

AUTOMAATIO SUUNNITELUN TOTEUTTAMINEN  
VIRTUAALIPALVELIMELLA

Ahokas Johannes

Opinnäytetyö  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)  
2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Johannes Ahokas	<b>Vuosi</b>	2022
<b>Ohjaaja(t)</b>	Ins. (YAMK) Heikki Isometsä		
<b>Toimeksiantaja</b>	PCS-Engineering Oy		
DI Jorma Jalkanen Ins. Juha J Pesonen			
<b>Työn nimi</b>	Automaatiosuunnittelun toteuttaminen virtuaalipalvelimella		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	40 + 2		

---

Opinnäytetyö toteutettiin PCS-Engineering Oy:n Oulun toimistolle.

Työn aiheena oli yhtiön Siemens PCS 7-automaatiosuunnittelun siirtäminen perinteiseltä työasemapohjaiselta suunnittelulta virtualisoidulle palvelimelle. Palvelimen tarve ja laitteisto oli jo kartoitettu ennen työn aloittamista, eikä työssä täten oteta kantaa laitevalintoihin.

Työn teoreisisuudessa käsiteltiin virtualisoinnin teoriaa sekä todennäköisiä käyttökohteita, ja toteutusosiossa käsiteltiin valmistajien suosituksia, järjestelmän rakennetta sekä sen virtualisoinnin tarjoamia etuja.

Työn aineistona ja menetelminä käytettiin alan kirjallisuutta, laitevalmistajien laitemateriaalia, sekä IEC-standardeja.

Työn tuloksena saatiin virtualisoitu suunnitteluympäristö, jolla ensisijaisesti voitiin toteuttaa Siemens PCS 7-suunnittelua. Suunnitteluympäristön avulla PCS-Engineering Oy kykenee tarjoamaan monipuolisempia palveluita asiakkailleen.

Electrical and automation engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Johannes Ahokas	Year	2022
<b>Supervisor</b>	Heikki Isometsä, M.Eng.		
<b>Commissioned by</b>	PCS-Engineering Oy		
Jorma Jalkanen, M.Sc. (Tech)			
Juha J Pesonen, B.Eng			
<b>Subject of thesis</b>	Automation Design on a Virtual Server		
<b>Number of pages</b>	40+ 2		

---

This Thesis was made for PCS-Engineering Oy Oulu office.

The goal of the thesis was to move Siemens PCS 7 automation design from a workstation-based workload to a virtualized server. The need and hardware for the server had been decided on before the thesis and hardware selection is not touched upon in the thesis.

Virtualization as a concept is explained in the theory part of the thesis by supporting literature, the commissioning part of the thesis focuses on manufacturer recommendations for commissioning and the benefits offered by a virtual system.

Literature about virtualization and manufacturer documentation and IEC standards were used as the main source of information.

The result of this work was a virtualized design environment, that could primarily be used for Siemens PCS 7 design work. And as a result, the commissioner PCS-Engineering Oy can offer a wider range of services to their customers.

Key words

virtualization, automation design, Siemens.

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
2 PCS-ENGINEERING OY .....	8
3 TOIMINTATAVAT ENNEN PALVELIMEN KÄYTTÖÖNOTTOA .....	9
4 VIRTUALISOINTI.....	10
4.1 Hypervisor.....	11
4.2 Tyyppi 2 hypervisor.....	12
4.3 Tyyppi 1 hypervisor.....	13
4.3.1 Monoliittinen hypervisor.....	14
4.3.2 Mikroydin hypervisor .....	15
4.4 Muistin hallinta .....	15
5 VIRTUALIOHJELMISTOJA.....	21
5.1 VMWare ESXi.....	21
5.2 Microsoft Hyper-V .....	22
6 KÄYTETTÄVÄT AUTOMAATIO-OHJELMISTOT .....	23
7 VIRTUAALIPALVELIMEN SUUNNITTELU.....	28
7.1 Laitteisto .....	28
7.2 Ohjelmistot.....	29
8 KÄYTTÖÖNOTTO .....	30
8.1 Ohjelmistot.....	30
8.2 Laitteistorakenne .....	32
8.3 Tietoturva.....	35
8.4 Virtuaalipalvelimen tuomat edut ja haitat .....	36
9 TYÖSSÄ ESIINTYNEITÄ ONGELMIA.....	37
10POHDINTA.....	38
LÄHTEET.....	39
LIITTEET .....	41

## ALKUSANAT

Kiitokset PCS-Engineering Oy:lle, Oulun Toimiston Päälikölle Jorma Jalkaselle mielenkiintoisen opinnäytetyöaiheen tarjoamisesta, sekä palkkaamisesta työn ajaksi. Kiitokset myös Juha J Pesoselle avustuksesta työn toteuttamisessa, sekä Heikki Isometsälle työn ohjauksesta.

Taifissa 17.11.2022.

Johannes Ahokas

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AS	Ohjelmitava logiikka ns. ”Automaatioasema”
DCUI	Direct Console User Interface
ES	Insinööriasema
ESXi	VMWare käyttämä tyyppi 1 -hypervisor
FBD	Functional block diagram -ohjelmointikieli
Hyper-V	Microsoftin käyttämä tyyppi 1 -hypervisor
iDRAC	Integrated Dell Remote Access Controller
IL	Instruction list -ohjelmointikieli
LAN	Lähiverkko
LD	Ladder -ohjelmointikieli
OS	Operointiasema
PKCS	Public Key Cryptography Standards
RAID	Redundant array of independent disks
RAM	Keskusmuisti
RSA	Rivest–Shamir–Adleman kryptausmenetelmä
SFC	Sequential flow chart -ohjelmointikieli
ST	Structured text -ohjelmointikieli
SHA	Secure hashing algorithm
TIA	Siemens laitteistoarkkitehtuuri
TPM	Trusted platform module
UEFI	Unified Extensible Firmware Interface
VLAN	Virtuaalinen Lähiverkko
VMFS	Virtual machine file system
VMM	Virtualisointiohjelmisto, joka suorittaa virtualisointia (Nykyään kutsutaan nimellä hypervisor)

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii PCS-Engineering Oy. Työ toteutettiin Oulun suunnittelutoimistolla. Työn aiheena on virtuaalipalvelimen käyttöönottamisen automaatiosuunnittelua varten.

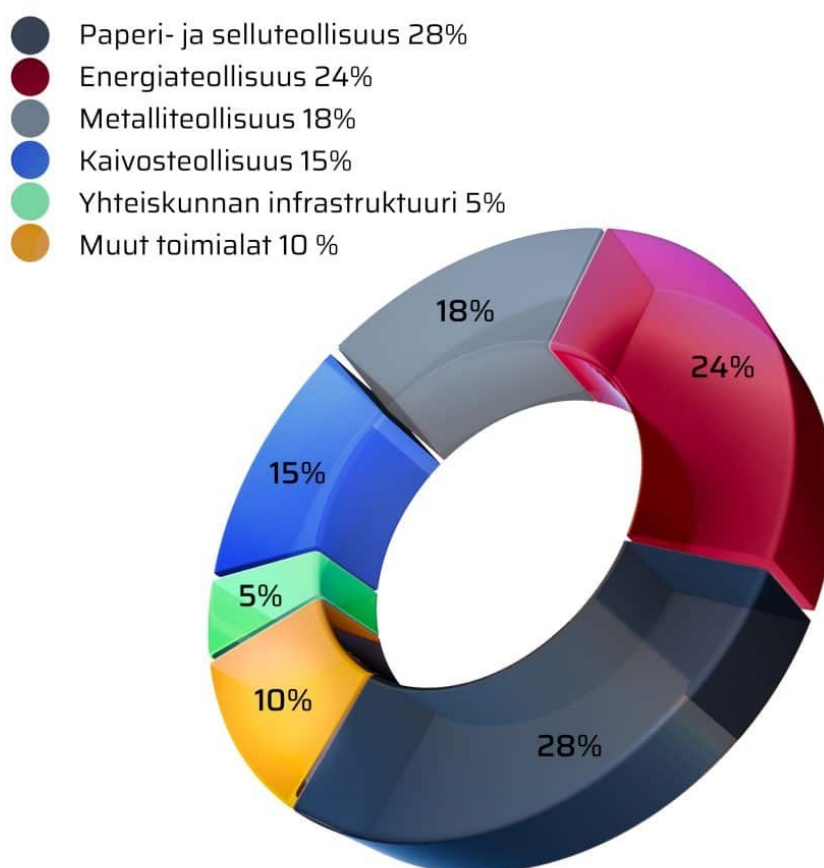
Työn tavoitteena on palvelimelle rakennettu virtuaaliympäristö, johon työntekijät voivat muodostaa etäyhteyden omalta työkoneelta, ja toteuttaa automaatiosuunnittelua palvelimella.

Työ rajataan koskemaan vain Siemens PCS 7 -järjestelmää, sillä PCS-Engineering Oy:lla oli ensisijaisesti tarve PCS 7 -suunnitteluympäristölle. Kuten myös VMWare ESXi- ja Microsoft Windows Hyper-V -virtualisointiratkaisuja, sillä ne ovat ainoat Siemensin tukemat järjestelmäratkaisut.

Työssä käsitellään virtualisointiin liittyvää teoriaa, jonka pohjalta luodaan ymmärrystä virtualisoinnin luomiin etuihin ja mahdollisuuksiin suunnitteluyhtiölle, kuten myös yhtiön asiakkaille.

## 2 PCS-ENGINEERING OY

PCS-Engineering Oy on vuonna 2004 Oulussa perustettu teollisuuden suunnittelu- konsultointipalveluita tarjoava insinööritoimisto. Yritys toimii laajalla sektorilla keskittyen pääosin kaivos-, metalli-, energia-, bioteknologia-, elintarvike- ja puunjalostusteollisuudelle toimitettaviin palveluihin alla olevan Kuva 1 mukaisesti. PCS-Engineering Oy:llä on myös toimipiste Jyväskylässä, Seinäjoella sekä Rovaniemellä. (PCS-Engineering Oy 2022.)



Kuva 1. PCS-Engineering Oy toiminta sektorit. (PCS-Engineering Oy 2022.)

Yhtiön vuotuinen liikevaihto on noin 5 miljoonaa euroa ja työntekijöitä on noin 50. PCS-Engineering Oy on Siemensin valtuuttama Siemens System partner vuodesta 2009 lähtien, Siemens Service partner 2012 sekä Siemens Solution Partner 2020. PCS-Engineering Oy on myös ABB Valtuuttama ABB Value Provider 2016 lähtien. (PCS-Engineering Oy 2022)



### 3 TOIMINTATAVAT ENNEN PALVELIMEN KÄYTTÖÖNOTTOA

PCS-Engineering Oy toteuttaa uusia automaatiototeutuksia pääosin asiakkaalle toimitettavilla laitteistoilla ja lisensseillä, mutta tekee myös töitä ennalta oleviin prosesseihin. Muutostöissä asiakkaan laitteisto on harvemmin käytössä, joten projekteja käsitellään PCS-Engineering Oy:n lisensoimilla automaatio-ohjelmilla, joita työntekijät käyttävät omalle työtietokoneelle paikallisesti asennettuina.

Käytännössä suunnittelua toteutetaan siis ensisijaisesti asiakkaalle toimitettavilla laitteilla. Jos projektissa syntyy muutostarpeita laitteiden toimittamisen aikana tai sen jälkeen, on jouduttu asentamaan suunnitteluohjelmat työntekijöiden tietokoneille tai matkustamaan kohteeseen muutoksien toteuttamiseksi. Työntekijöiden tietokoneille asennetut suunnitteluohjelmat ovat luoneet tarpeen tehokkaammille työtietokoneille, ja ohjelmien asentaminen sekä lisensointi on kuluttanut ylimääräistä aikaa.

## 4 VIRTUALISOINTI

Virtualisointi tietotekniikassa tarkoittaa jonkin tietoteknisen laitteen fyysisen komponentin erottamista loogiseksi objektiksi. Tämä on nykypäivänä hyvin yleistä, esimerkiksi monet reitittimet voivat jakaa LAN-verkon monelle tutuksi VLAN Verkoksi. Ensimmäinen yleistynyt virtualisointitekniikka julkaistiin jo 1960-luvulla IBM:n valmistamissa keskustietokoneissa ja hieman myöhemmin vuonna 1974 Gerald J. Popek ja Robert P Goldberg julkaisivat artikkelin "Formal Requirements for Virtualizable Third Generation Architecture" joka kuvaa laitteistonvaatimuksia virtualisointiratkaisuille, jotka pätevät vielä tänäkin päivänä. (Portnoy 2016, 1–2.)

Virtuaalikoneita hallitsee Gerald J. Popek & Robert P Goldberg kuvailema virtuaalitietokoneen seurantajärjestelmä (VMM), jota nykypäivänä kutsutaan hyvin yleisesti hypervisoriksi. Hypervisor on ohjelmisto, joka mahdollistaa virtuaalisten järjestelmien suorittamisen. Seurantajärjestelmälle on määritetty seuraavat kriteerit, jotka sen tulee täyttää:

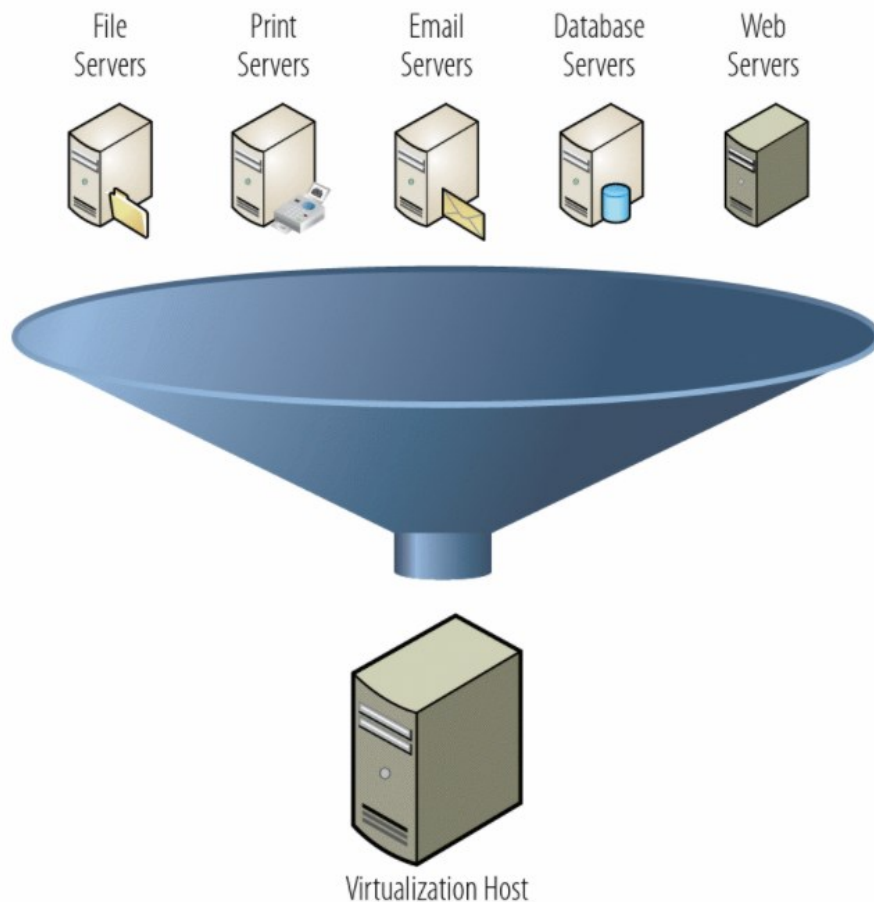
1) Virtuaalilaitteen tulee käyttäytyä "käytännössä identtisesti" sen todellisuutta vastaavan laitteen kanssa paitsi siinä tapauksessa, jos virtuaalilaitteella ei ole tarpeellisia järjestelmäresursseja.

2) Virtuaalikoneen tulee olla tehokas, tarkoittaen sitä, että suurin osa virtuaalikoneella tapahtuvista prosesseista suoritetaan suoraan todellisen fyysisen laitteen prosessorilla eikä prosessien käskyjä käännetä erillisellä ohjelmalla eli siis emuloida.

3) Virtuaalikoneen tulee hallita täysin sille määritetyt järjestelmäresurssit kuten esimerkiksi massamuisti, keskusmuisti ja oheislaitteet eikä se saa poiketa määrityksiensä ulkopuolelle. (Popek & Goldberg 1974, 413.)

Teknologian kasvamisen myötä moni yritys on joutunut perustamaan erilaisia palvelimia kuten hallinta-, tulostus- sekä web-palveluihin liittyviä palvelimia. Näiden perustamisessa on yleensä noudatettu alan käytäntöjä, jolloin jokaista palvelua varten on hankittu erillinen palvelin. Tämän sekä laitteistojen kustannuksien las-

kemisen myötä palvelimien määrä on ollut räjähdysmäisessä kasvussa 1980-luvun jälkeen. Virtualisointi auttaa huomattavasti tällaisten hajanaisten palvelimien hallinnassa, sillä sen sijaan että jokaiselle toiminnolle hankitaan oma palvelin, voidaan monta pientä toimintoa sijoittaa yksittäiselle palvelimelle, jolla jokainen palvelin toimii virtuaalisena versiona Kuva 2 mukaisesti. (Portnoy 2016, 3–12.)

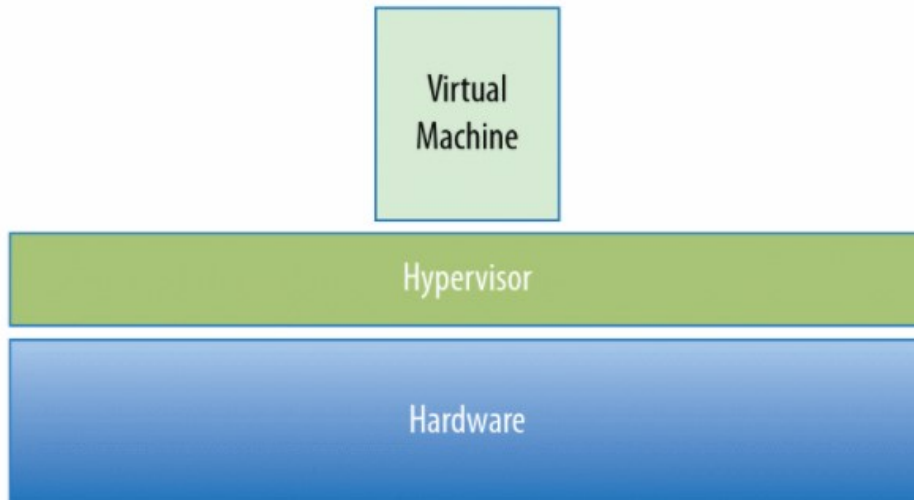


Kuva 2. Fyysisten palvelinten keskittäminen virtualisoimalla. (Portnoy 2016.)

#### 4.1 Hypervisor

Virtuaalikoneen seurantajärjestelmä (VMM) eli hypervisor on saanut nimensä virtualisoinnin alkuperäisestä käyttökohteesta eli tietojärjestelmien muistin hyödyntämisestä. Käyttöjärjestelmiä, jotka virtualisoinnin oli tarkoitus korvata, kutsuttiin nimellä “Supervisor” eli järjestelmänvalvoja, josta syntyi nimi “Hypervisor”. Yksinkertaisuudessaan hypervisor on käyttöjärjestelmän tapainen ohjelmisto, joka sijoittuu fyysisen laitteen ja palvelimella suoritettavien virtuaalikoneiden väliin Kuva

3 mukaisesti, ja täten myös hallitsee sen alla suoritettavien virtuaalikoneiden järjestelmäresursseja. Ilman hypervisoria jokainen virtuaalikone yrittäisi käyttää järjestelmän resursseja saman aikaisesti ja täten johtaisi virheelliseen toimintaan. (Portnoy 2016, 21–23.)

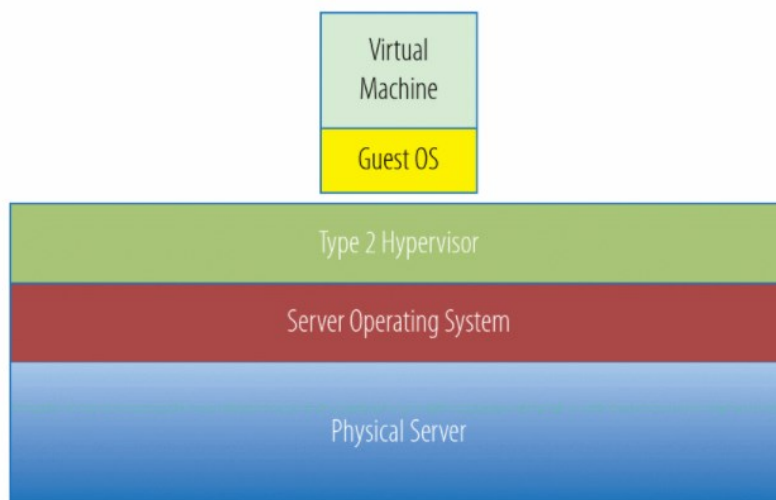


Kuva 3. Hypervisor -periaatekuva. (Portnoy 2016.)

#### 4.2 Tyypin 2 hypervisor

Tyypin 2 hypervisor asennetaan ennalta olevan käyttöjärjestelmän päälle ja täten myös perii käyttöjärjestelmän käytössä olevat laitteet itselleen. Tyypin 2 järjestelmät ovat nopeampia asentaa ja konfiguroida, sillä nämä tiedot saadaan asennetulta käyttöjärjestelmästä. (Portnoy 2016, 25.)

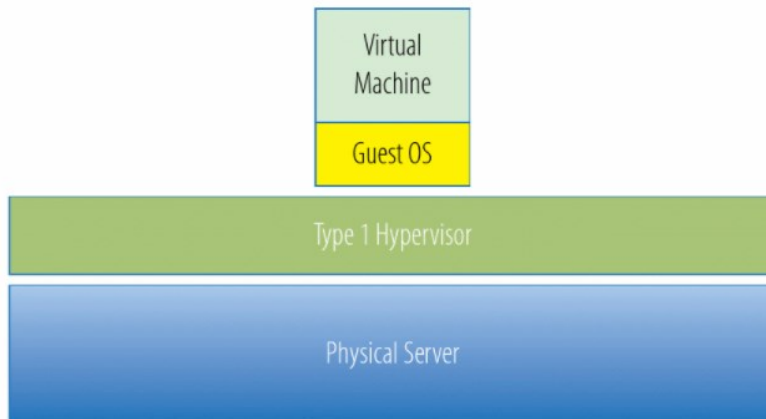
Tyyppi 2 hypervisor ei ole yhtä tehokas kuin tyyppi 1, sillä se ei voi kommunikoida suoraan laitteiston kanssa, vaan kaikki käskyt lähetetään ensin hypervisorille, sitten käyttöjärjestelmälle ja tämän jälkeen vasta laitteistolle. Tyyppi 2 -järjestelmät eivät ole myöskään yhtä turvallisia kuin tyyppi 1 -järjestelmät, sillä hypervisorin ja fyysisen laitteiston välissä on erillinen käyttöjärjestelmä, ja jos tälle käyttöjärjestelmälle tapahtuu jotain, joka vaatii järjestelmän uudelleenkäynnistämisen, käynnistyvät myös tyyppi 2 -hypervisorin alla suoritettavat virtuaalikoneet uudelleen. Tyyppi 2 -hypervisor periaate on esitetty Kuva 4. (Portnoy 2016, 25.)



Kuva 4. Tyyppi 2 hypervisor periaatekuva. (Portnoy 2016.)

#### 4.3 Tyyppi 1 hypervisor

Tyyppi 1 hypervisor on asennettuna suoraan laitteistolle ja voi täten kommunikoida suoraan laitteiston kanssa Kuva 5 mukaisesti. Tyyppi 1 hypervisorit ovat tavallisesti nopeampia kuin tyyppi 2 hypervisorit, ja ne ovat myös tavallisesti turvallisempia ja luotettavimpia, sillä yksittäisellä virtuaalikoneella ei ole mahdollisuutta vaikuttaa toiseen virtuaalikoneeseen, jos yksi virtuaalikone “kaatuu” virheellisen koodin tai ulkoisen vaikutuksen vuoksi, ei se vaikuta muihin virtuaalikoneisiin. Kun taas tyyppi 2 -laitteistossa tämä saattaisi kaataa palvelimen käyttöjärjestelmän ja siten jokaisen virtuaalikoneen. (Portnoy 2016, 23–24.)

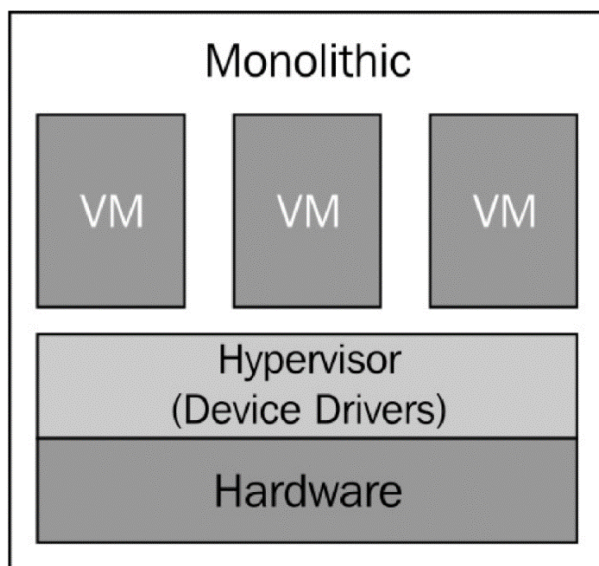


Kuva 5. Tyyppi 1 hypervisor periaatekuva. (Portnoy 2016.)

Tyyppi 1 hypervisorit voidaan karkeasti jakaa 2 eri kategoriaan yleisten käyttöjärjestelmä mallien mukaisesti; Monoliittiset- ja Mikroydin pohjaiset -hypervisorit.

#### 4.3.1 Monoliittinen hypervisor

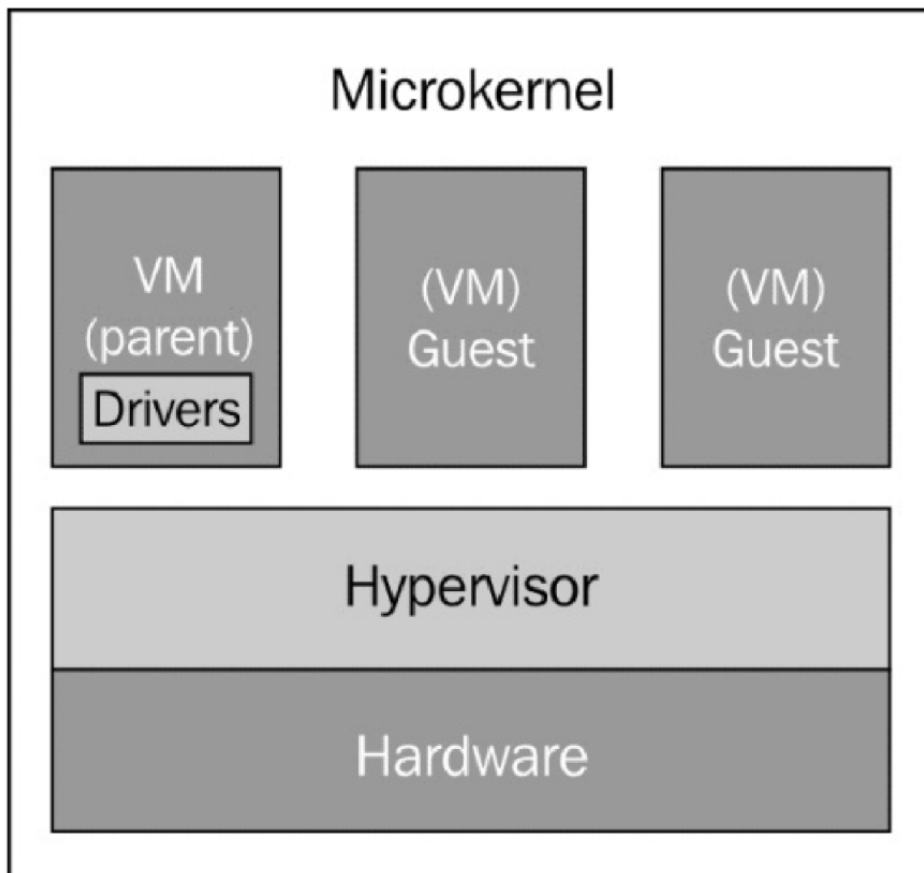
Monoliittisen hypervisorin laitteistoajurit sisältyvät hypervisorin ohjelmistoon Kuva 6 mukaisesti, täten laitteistoajureita ei tarvitse asentaa erikseen. Monoliittiset hypervisorit tulee aina räätälöidä laitevalmistajan kanssa tukemaan laitteistoa, jolle se asennetaan, eikä sitä voi asentaa muulle kuin sille suunnitellulle laitteistoalustalle. (Hussain 2013, 47–49.)



Kuva 6. Monoliittinen hypervisor periaatekuva. (Hussain 2013.)

#### 4.3.2 Mikroydin hypervisor

Mikroydin hypervisorissa, hypervisor suorittaa virtuaalista isäntäpalvelinta muiden virtuaalikoneiden rinnalla Kuva 7 mukaisesti. Kaikki laitteiston ajurit asennetaan isäntäpalvelimelle ja virtuaalikoneet käyttävät täten isäntäpalvelimen ajureita kommunikoidessaan fyysisen laitteiston kanssa. (Hussain 2013, 47–49.)



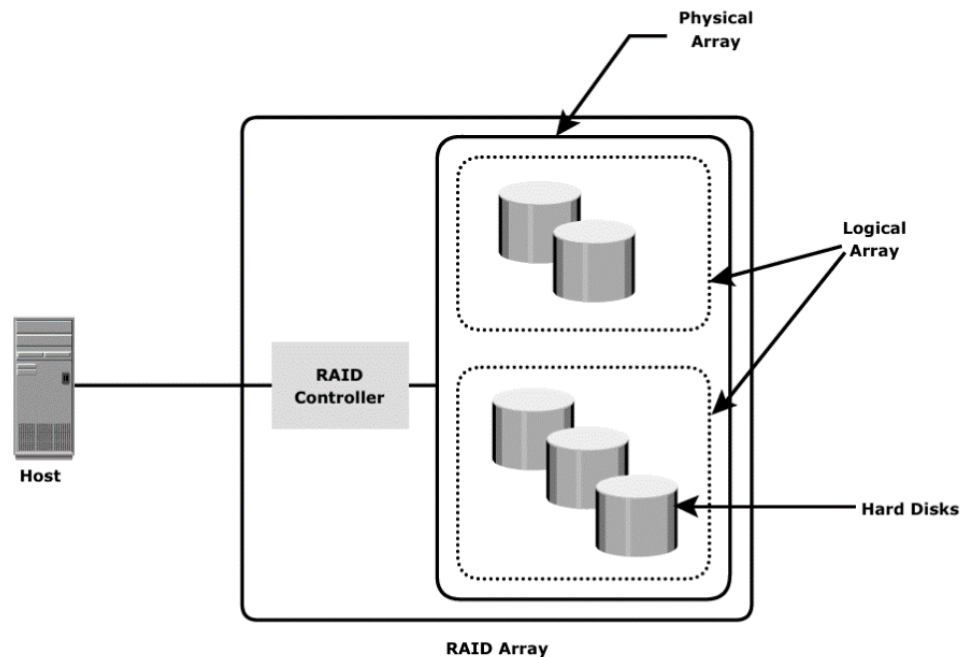
Kuva 7. Mikroydin hypervisor periaatekuva. (Hussain 2013.)

#### 4.4 Muistin hallinta

Tietokoneiden muisti on kehittynyt huomattavasti päivistä, jolloin tietokoneita ohjelmoitiin rei'itetyillä korteilla, tietokoneiden ohjelmat on nykyään tallennettu jonkinlaiselle massamuistilaitteelle kuten kovalevylle. Massamuistilaitteet ovat kumminkin yleensä huomattavasti hitaampia kuin tietokoneiden prosessorit, joten tiedon välittämisessä käytetään keskusmuistia (Portnoy 2016, 143–145). Keskusmuistiin viitataan myöhemmin englanninkielisellä yleisnimityksellä "RAM".

Palvelimien virtualisoinnissa massamuistilaitteista voi helposti syntyä toiminnallinen pullonkaula, sillä käyttöjärjestelmät harvemmin tukevat monen massamuistilaitteen samanaikaista käyttöä. Täten laitteisto tulisi mitoittaa siten että jokaiselle virtuaalikoneelle olisi oma massamuisti laite jolle tiedostot tallennetaan. Massamuistilaitteiden jakamiseksi voidaan käyttää RAID-tekniikkaa, jolla pienet massamuistilaitteet voidaan yhdistää yhdeksi loogiseksi massamuistilaitteeksi, täten mahdollistaen jokaisen massamuistilaitteen käyttämisen yhtäaikaisesti, ja nopeuttaen niiden käyttöä. (Portnoy 2016, 169–176.)

RAID-tekniikalla eli englanniksi ”Redundant Array of Independent Disks” tarkoitetaan massamuistilaitteiden yhdistämistä yhdeksi loogiseksi laitteeksi esimerkiksi Kuva 8 mukaisesti. Tämä tapahtuu yksinkertaisimmin RAID 0 tai lomitustekniikalla, jossa puolet tiedosta tallennetaan yhdelle levyille ja toinen puolisko toiselle, jolloin tallennusnopeus ja kapasiteetti kaksinkertaistuu yksittäiseen alkupe-  
räiseen levyyn verraten. (Jones & Dawkins & Krithivas 2009, 13–93.)



Kuva 8. RAID periaatekuva. (Somasundaram & Shrivastava 2009.)

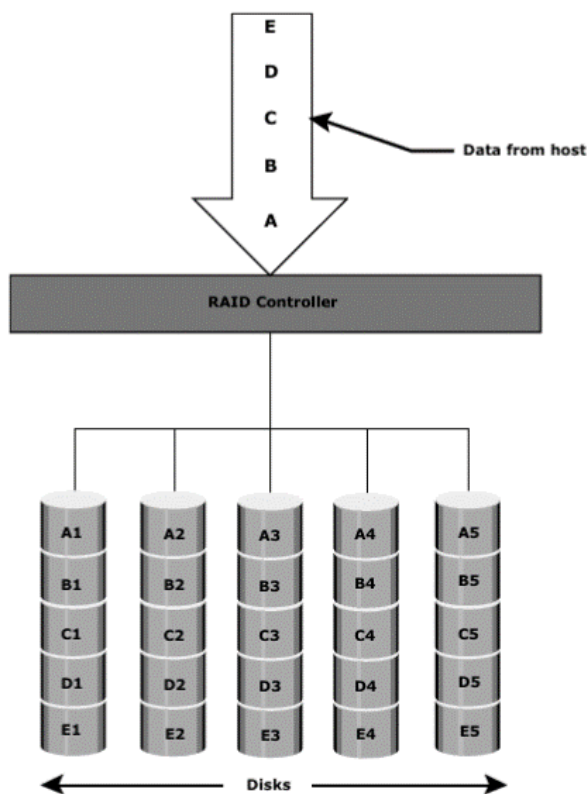
Eri RAID tekniikat jaotellaan numeroittain, ja tähän mennessä kehittyneitä standardisoituja tekniikkoja on 7 kappaletta; RAID 0 – RAID 6. Eri tekniikoita on kehi-



tetty, sillä yksinkertaisessa RAID-0 implementaatioissa yksittäisen levyn rikkoutuminen voi aiheuttaa kaiken tiedon menettämisen. (Jones, Dawkins & Krithivas 2009, 13–93.)

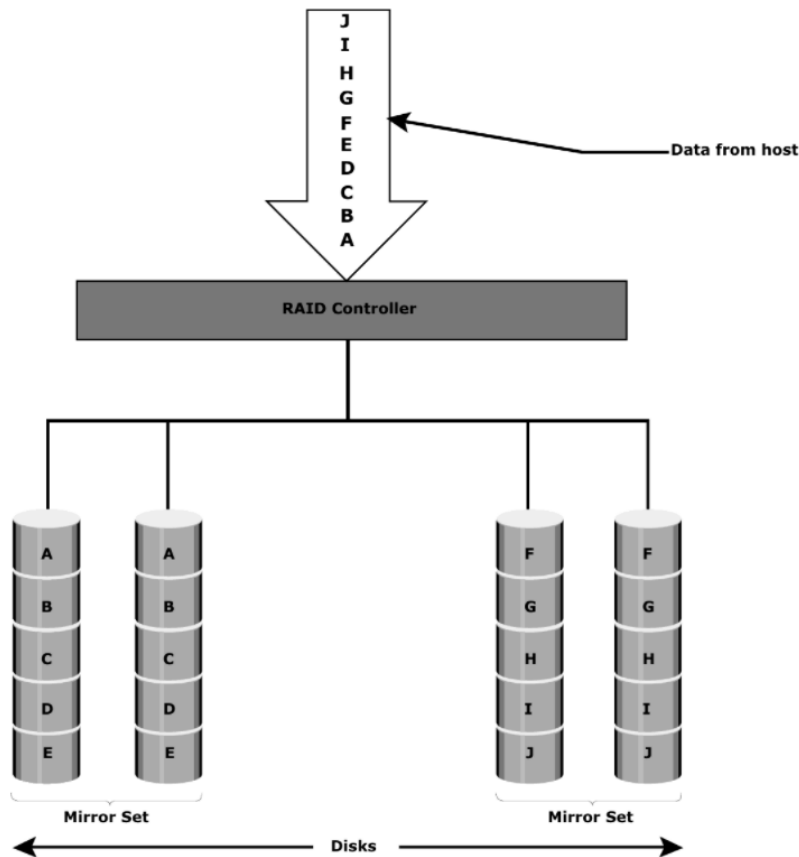
Vadala (2003, 6–8) on kirjassaan todennut Patterson, Gibson & Katz (1988) alkuperäisen RAID-teknologian esitykseen viitaten alkuperäisten RAID-2 ja RAID-3 tasojen olevan vanhentuneita, sillä laitevalmistajat ovat sisällyttäneet näiden implementaatiot pääosin tallennuslaitteiden ohjaimiin. Tässä työssä keskitytään pääosin RAID-0,1,5 sekä 10 toimintaan sillä nämä ovat yleisimpiä ratkaisuja. (Microchip 2022.)

RAID-0 eli aiemmin mainittu ”lomittaminen” tarkoittaa Kuva 9 mukaista datan tallentamista jokaiselle levyille pienissä osissa, tämä on nopein RAID tekniikka, sillä jokainen levy voi kirjoittaa osaa tiedosta samanaikaisesti ja samalla hyväksikäytetään laitteiden täyttä kapasiteettia. RAID-0 on kumminkin hyvin vikaherkä sillä, jos yksikään ryhmitetyistä levyistä rikkoutuu, kaikki ryhmälle tallennettu data menetetään. (Somasundaram & Shrivastava 2009.)



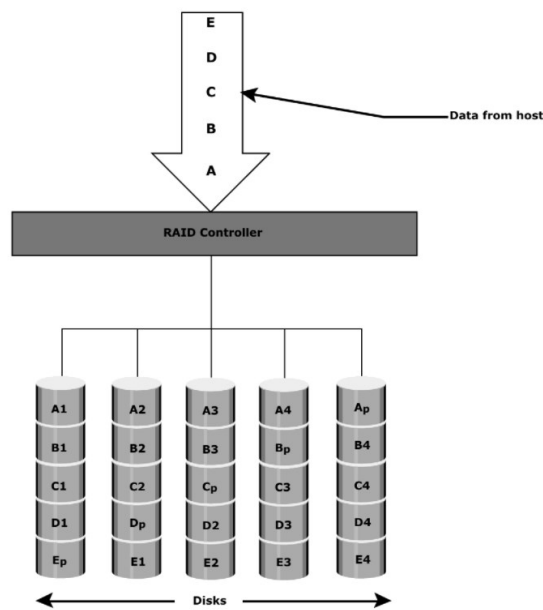
Kuva 9. RAID 0 implementaatio. (Somasundaram & Shrivastava 2009.)

Kuva 10 esitetyllä RAID-1 Implementaatiolla tallennetut tiedot peilataan vähintäänkin yhdelle ryhmässä sijaitsevalle levyille, jolloin laitevian sattuessa on käytössä täysin identtinen peililevy, jota tallennusohjain voi käyttää. RAID-1 implementaatioissa käytettyjen levyjen määrän tulee olla jaollinen peilaustason kanssa. (Somasundaram & Shrivastava 2009.)



Kuva 10. RAID-1 implementaatio. (Somasundaram & Shrivastava 2009.)

RAID-5 implementaatio on vastaavanlainen kuin RAID-0 eli tietoa lomitetaan jokaiselle levyille, eroavaisuutena se, että tallennetusta tiedosta luodaan pariteettibitti, joka talletetaan lomittaen tallennetun datan rinnalle. Täten laitteistovaurion sattuessa, voidaan luoda menetetty data uudestaan pariteettibittejä käyttäen. RAID-5 implementaatioissa tulee käyttää vähintään 3 levyä ja se sallii vain yhden samanaikaisen vikaantumisen ilman datan menettämistä, implementaatio on esitetty Kuva 11. (Somasundaram & Shrivastava 2009.)



**Figure 3-9:** RAID 5

Kuva 11. RAID-5 implementaatio. (Somasundaram & Shrivastava 2009.)

RAID-10 ja 01 implementaatiot ovat yhdistelmä sekä RAID-1 implementaatiota sekä RAID-0 implementaatiota. Esimerkki RAID-01 sekä RAID-10 implementaatioista on esitetty liitteessä 1, Implementaatiot voidaan nimetä myös RAID 0+1 tai RAID 1+0 jossa ensimmäinen numero merkitsee korkeamman tason RAID tyyppin ja jälkimmäinen numero merkitsee alempitasoista RAID-tyyppiä. (Somasundaram & Shrivastava 2009.)

Toiminnallisesti RAID 0+1 ja 1+0 ovat lähes identtisiä mutta eroavat vikatilanteessa. RAID 0+1 tunnistaa lomituksen olevan virheellinen, jos yksi levyistä vikaantuu, ja tällöin kopioi kaikki täydellisillä levyillä olevat tiedostot peililevyille. RAID1+0 taas kykenee tunnistamaan yksittäisen rikkoutuneen levyn ja kopioimaan vain sille peilatus levy. (Somasundaram & Shrivastava 2009.)

Siemens suosittelee käsikirjassaan automaatiokäyttöisen virtuaalikonejärjestelmän massamuistin asettamista RAID10 tilaan ja ettei virtuaalikoneille annettun muistin määrä koskaan ylittäisi 90 % fyysisen laitteiston todellisen muistin määrästä (Siemens 2022a, 19–20.) Tämä eroaa tavallisesta työpöytävirtualisoinnista, jossa työmäärä eri työasemilla vaihtelee. Työpöytävirtualisoinnissa on harvinaista, että jokainen työasema käyttäisi kaikkea RAM -muistia joka niille on varattu, tällaisissa kohteissa muistia voidaan varata laitteille enemmän kuin mitä

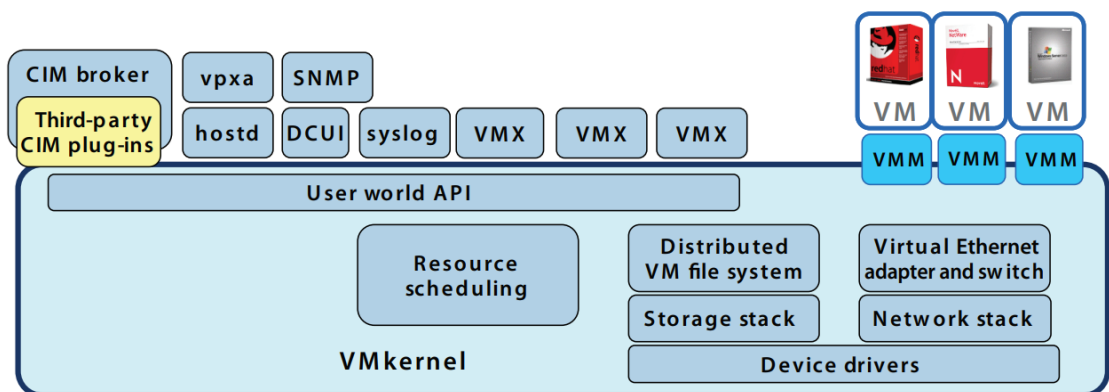
todellista muistia on olemassa, ilman että se todellisuudessa vaikuttaa laitteiston toimintaan. (Portnoy 2016, 143–155.)

## 5 VIRTUALIOHJELMISTOJA

Julkisilla markkinoilla on hyvin laaja kirjo eri virtualisointiratkaisuja, tässä työssä keskitytään VMWare julkaisemaan ESXi- sekä Microsoft Corporationin julkaisemaan Hyper-V -hypervisorien. (Siemens 2022a, 15–20.)

### 5.1 VMWare ESXi

VMWare ESXi on VMWaren julkaisema hypervisor. ESXi on VMWaren kehittämän Elastic Sky X ohjelman “bare metal” palvelinratkaisu (VMWare 2012.) ESXi itsessään on tyyppi 1 monoliittinen hypervisor eli laitteistoajurit on rakennettu suoraan hypervisorin itseensä, täten ESXi ratkaisua etsiessä laitteistotoimittajan tulee tukea ESXi toteutusta. Hypervisoria voidaan hallita DCUI käyttöliittymän kautta, josta laitteistoa voidaan hallita yksinkertaisen komentorivipohjaisen konsolin kautta, tai kolmannen osapuolen CIM hallintaohjelmalla. ESXi rakenne on esitetty alla olevassa Kuva 12. (VMWare 2007.)

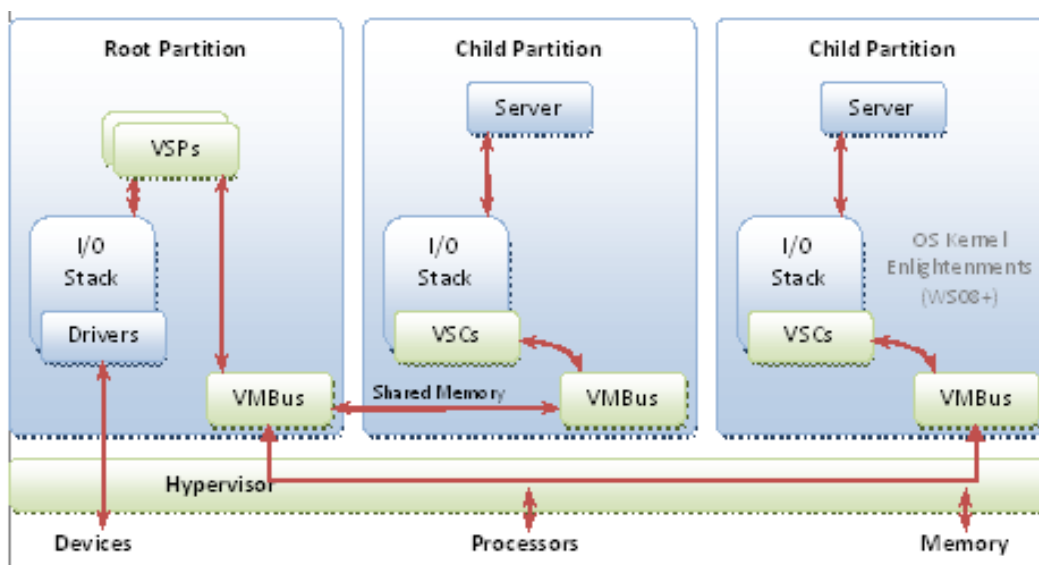


Kuva 12 ESXi rakenne. (VMWare 2007.)

ESXi käyttää myös integroitua web pohjaista hallintaportaalia, johon voidaan yhdistää suoraan selaimella. Web pohjaisen hallintaportaalin kautta pystyy hallitsemaan kaikkia hypervisorin järjestelmäkomponentteja. (VMWare 2022.)

## 5.2 Microsoft Hyper-V

Microsoft Hyper-V on Microsoft Corporation julkaisema hypervisor. Se on saatavilla ilmaiseksi palvelinversiona "Microsoft Hyper-V Server 2016", "Microsoft Hyper-V Server 2019", tai maksullisena versiona Windows Server 2022, Windows Server 2016, Windows Server 2019. Sekä tietyissä Microsoft Windows käyttöjärjestelmissä. Hyper-V tukee käytännössä kaikkia x86 pohjaisia vieraskäyttöjärjestelmiä kuten esimerkiksi "Microsoft Windows", "Linux" tai "MacOS". (Microsoft 2021b.)

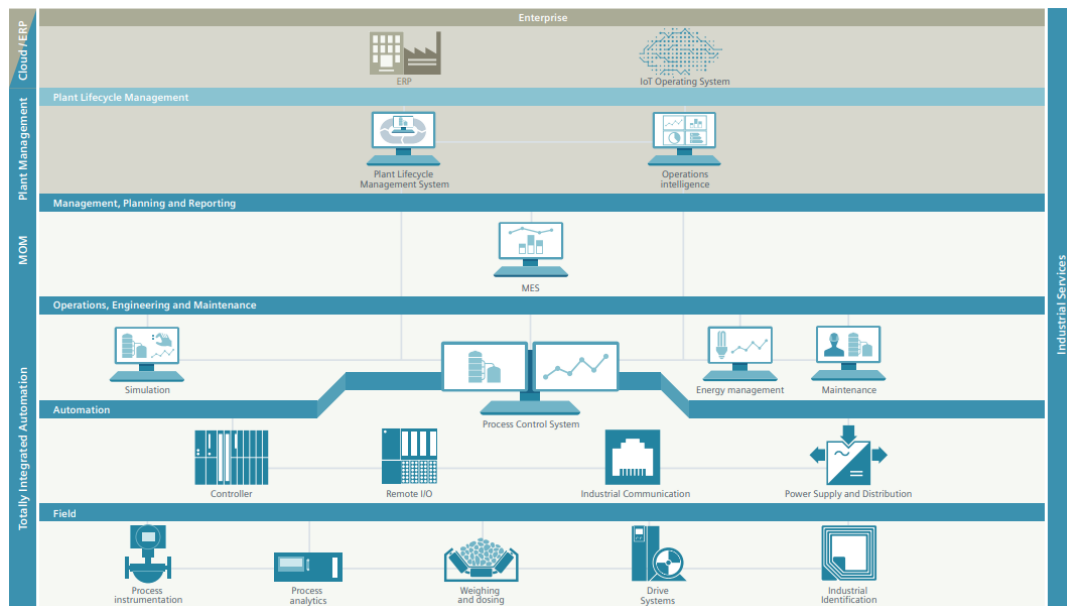


Kuva 13 Hyper-V Rakenne. (Microsoft 2021a.)

Hyper-V on tyyppi 1 mikroydin hypervisor, eli se keskustelee suoraan laitteiston kanssa. Hypervisor luo sen alla suoritettavan osion, joka on esitetty Kuva 13 "Root partition" nimellä, kaikki kommunikointi laitteiston kanssa suoritetaan "Root partition" osion kautta. Virtuaalikoneet keskustelevat "Root partition" osion kanssa hypervisorin rakennetun "VMBus" väylän avulla. (Microsoft 2021a.)

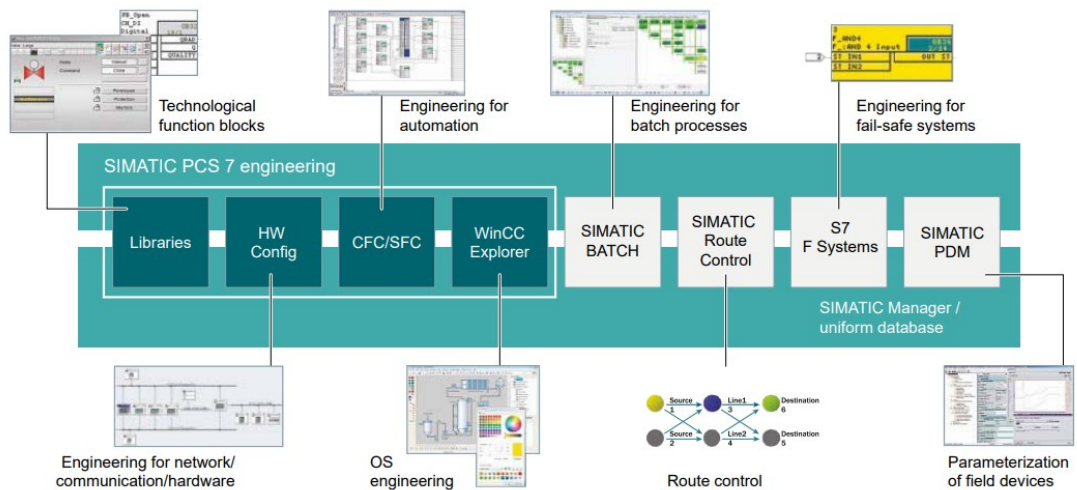
## 6 KÄYTETTÄVÄT AUTOMAATIO-OHJELMISTOT

PCS 7 on Siemens AG kehittänyt ohjausjärjestelmä, jota käytetään kansainvälisesti erilaisissa teollisuusympäristöissä. PCS 7 on osa Siemensin Kuva 14 esitettyä TIA-arkkitehtuuria, jonka tarkoituksena on tarjota jokaisen automaation osa-alueelle Siemensin valmistamia muiden järjestelmien kanssa helposti integroitavia ratkaisuja. (Siemens 2020, 2–4.)



Kuva 14. TIA arkkitehtuuri rakennekuva. (Siemens 2020 a.)

PCS 7 tarjoaa Kuva 15 mukaisia ratkaisuja automaatiototeutuksiin, Kuvaan tummansinisellä värjättyt laatikot esittävät tavanomaisia ominaisuuksia, joita lähes jokaisessa automaatiototeutuksessa käytetään. Kuva 15 valkoisella esitetyt ominaisuudet ovat Siemensiltä erikseen lisensoitavia automaatiojärjestelmätason lisäominaisuuksia esimerkiksi turvalogiikkaratkaisuille ja laitteisto-parametroinnille. (Siemens 2020, 11.)



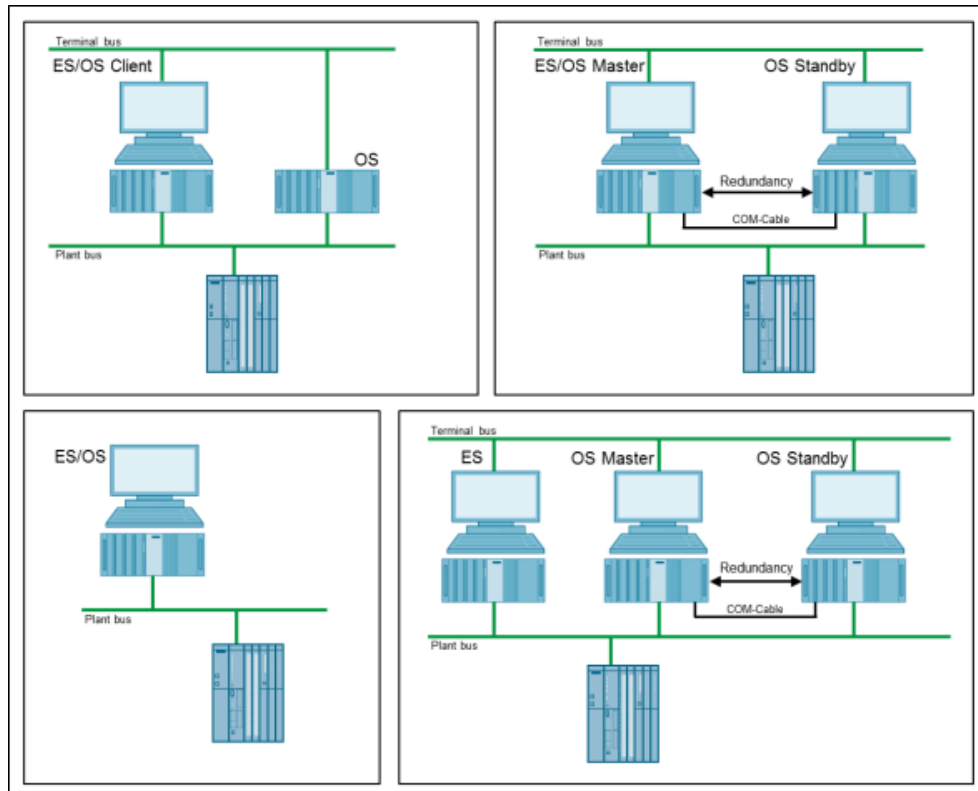
Kuva 15. PCS 7 ohjelman ominaisuudet. (Siemens 2020 a.)

PCS 7 järjestelmät voidaan jakaa rakenteellisesti ES, AS sekä OS asemiin. Jokainen asema eroaa rakenteellisesti toisistaan, mutta kokonaisuudessa ne muodostavat toimivan automaatiojärjestelmän, Kuva 16 on esitetty erilaisia Siemensin tukemia kompakteja järjestelmäratkaisuja. Käytännössä ES ja OS asemat ovat tavanomaisia tietokoneita, jotka suorittavat Siemens toimittamia automaatio-ohjelmistoja kuten Simatic-Manger sekä WinCC ohjelmistoja, kun taas AS asema on Siemens räätälöimä logiikkaohjain, jonka avulla kentälaitteita ohjataan. AS asema on esitetty Kuva 16, plant bus yhteydessä olevana nimettömänä laitteena. ES aseman tarkoitus on mahdollistaa järjestelmään yhdistettyjen AS laitteiden ohjelmoiminen, OS aseman tarkoitus on taas visualisoida AS asemalta kerättyä tietoa näyttöpöydän avulla. (Siemens 2010, 23–683.)

OS asemat voidaan jakaa erikseen suoritettaviin OS Server ja OS Client tai ES/OS single station kokonaisuuksiin. ES/OS single station on esitetty Kuva 16, ala vasemmassa laatikossa. ES/OS single station koostuu yksittäisestä tietoko-



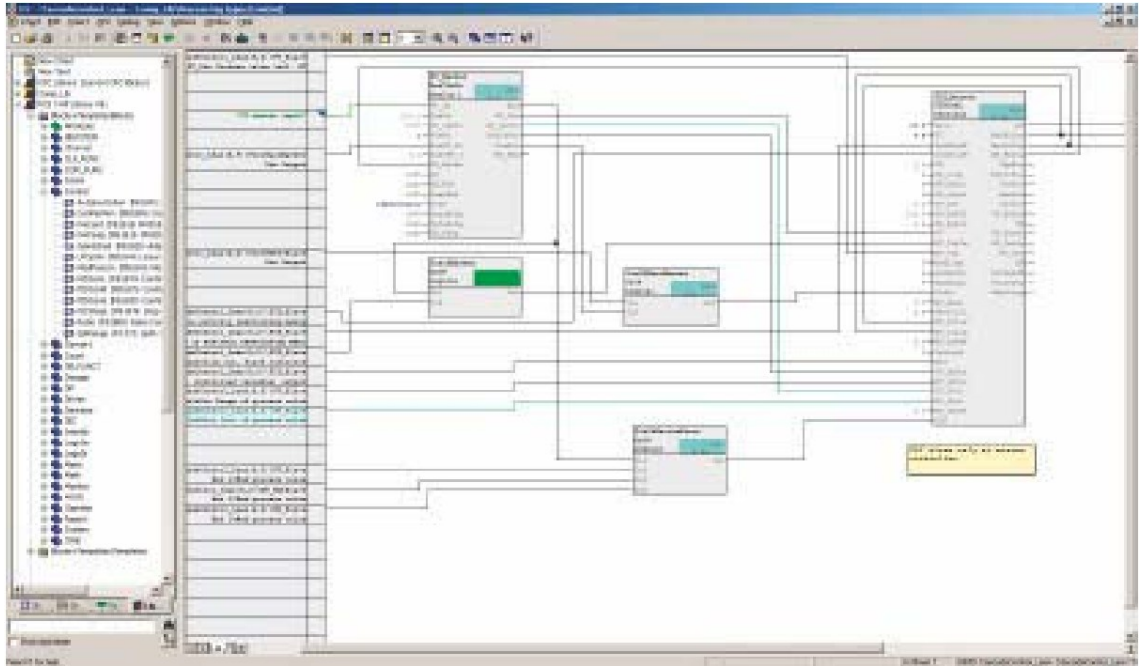
neesta, joka suorittaa sekä insinöörikoneen tarpeita eli sillä voidaan muuttaa visualisointikuvia sekä ohjelmoida AS logiikkoja. Single station toimii myös OS asemana eli sitä voidaan käyttää valvomoratkaisuna. (Siemens 2010, 23–683.)



Kuva 16 kompakteja järjestelmäratkaisuja. (Siemens 2022b.)

Server ja Client ratkaisussa ES ja OS asemat voidaan erottaa erillisille tietojärjestelmille. OS asema voidaan myös jakaa server/client asemiin, täten yksittäinen palvelin voi kerätä visualisointiin vaadittavat tiedot AS-aseimalta ja palvella jopa 16 client asemaa samanaikaisesti vähentäen visualisointiin vaadittavia järjestelmäresursseja. (Siemens 2020, 21–27.)

Siemens logiikoiden ohjelmoiminen on IEC 61131-3 standardin mukaista, eli ohjelmoinnissa voidaan käyttää IEC 61131-3 standardissa esitettyjä IL, ST, LD, FBD sekä SFC ohjelmointikieliä. Käytössä on myös IEC 61131-3 standardiin pohjautuva CFC ohjelmointikieli (Siemens 2010, 23–683). Kuva 17 on esitetty Simatic Manager ohjelmalla luotu CFC ohjelma.



Kuva 17. PCS 7 CFC ohjelmointi. (Siemens 2020.)

Siemens PCS 7 järjestelmien visualisoinnissa käytössä on Siemens WinCC ohjelmisto, jonka avulla projektien visuaalisia elementtejä voidaan luoda ja hallita.

Siemens ohjelmistojen suorittamiseksi on suositeltavaa että Kuva 18 mukaiset minimivaatimukset ES ja OS koneille täyttyvät, korkeampilaatuisten komponenttien käyttö on suositeltavaa. (Siemens 2021, 15–16.)

Parameters	Central engineering station with server operating system, Process Historian, Information Server, PCS 7 OS / SIMATIC BATCH / SIMATIC Route Control on a PC, Engineering station, OS server, OS single station, Maintenance Station, SIMATIC PAM Station, PCS 7 Web server, OS client and BATCH client on a PC, BATCH server, BATCH single station, Route Control server, Route Control single station SIMATIC Management Console	OS client, BATCH client, Route Control client
Basic PC (see catalog)	SIMATIC IPC 547G / 647D / 847D / 647E / 847E	SIMATIC IPC 547G / 647D / 847D / 647E / 847E / 627D / 677D / 627E / 677E
Processor	>= Core i5-4570TE (2C/4T, 2.7 GHz, 4MB Cache, TB, VT-d, AMT)	>= Core i3-4330TE (2C/4T, 2.4 GHz, 4MB Cache)
Work memory (RAM)	>=16 GB (64-bit operating system)	>=4 GB (64-bit operating system)
Hard disk	>=200 GB HDD/SSD	>=160 GB HDD/SSD
Partition size	C:\ 100 - 128 GB	C:\ 100 - 128 GB
Network adapter / Communications interfaces	<ul style="list-style-type: none"> <li>• For terminal bus communication</li> <li>• For plant bus communication</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RJ45 on-board gigabit Ethernet</li> <li>• CP 1623 or BCE network adapter</li> </ul>

Kuva 18. järjestelmän minimivaatimukset. (Siemens 2021.)

On myös huomioitava, että uusin PCS 7 V9.1 tukee vain tiettyjä Windows pohjaisilla käyttöjärjestelmiä, Kuva 19 on esitetty PCS 7 V9.1 tuetut käyttöjärjestelmät, tuetut käyttöjärjestelmät vaihtelevat eri ohjelmistoversioilla. (Siemens 2021, 20.)

### Released operating systems

The following operating systems are supported in PCS 7 V9.1:

- Windows 10 Enterprise LTSC 2019
- Windows Server 2019 Standard Edition
- Windows Server 2019 Datacenter Edition

Kuva 19. PCS 7 V9.1 tuetut käyttöjärjestelmät. (Siemens 2021.)

## 7 VIRTUAALIPALVELIMEN SUUNNITTELU

PCS Engineering Oy oli kartoittanut ennen työn aloittamista tarpeen järjestelmälle, joka mahdollistaisi projektien kanssa työskentelemisen ilman asiakkaalle toimitettavia laitteita. Järjestelmäksi valikoitui virtuaalipalvelin, se oli eniten käytetyn Siemens laitevalmistajan tukema ja virtuaalipalvelimen myös nähtiin vähentävän ohjelmistojen asentamiseen kuluvaan aikaa ja kustannuksia.

### 7.1 Laitteisto

Työn toteuttamiseksi PCS Engineering Oy:lle hankittiin Kuva 20 mukainen DELL EMC PowerEdge R650 palvelin. Palvelimen laitteiston oli valmiiksi asennettu eikä niihin tehty muutoksia, laitteisto koostui 32 ytimisestä Intel prosessorista, 5,5 TB massamuistista ja 255GB RAM muistista. Palvelimen laitteiston kuului myös muita PowerEdge palvelimien oletuslaitteita kuten RAID ohjain, iDRAC etähallintaohjain sekä 2 redundanttista 1200W teholaähdettä.



Kuva 20. Dell Palvelin. (DELL Technologies 2022.)

Käytetty laitteisto valikoitui laitteistotoimittajien suositusten mukaan sekä VMWare käyttämän lisensiointimallin mukaan. VMWare virtualisointilisenssi määräytyy suorittavan palvelimen prosessoriytimien määrän mukaan, eli 32 ydintä / lisenssi. Laitteiston nähtiin myös kykenevän palvelemaan PCS-Engineering Oy:n tarvetta automaattisuunnitteluasemille.

RAID käyttäminen katsottiin myös olevan edullista palvelimeen asennetun RAID-ohjaimen avulla. Vaikkakin VMWare ESXi formatoi massamuistin VMFS formaattiin, jolloin käytännössä monen erillisen kovalevyn käyttäminen samanaikaisesti on mahdollista, ei tämä tuo palvelimelle varsinaisia etuja tiedostojen käsittelyn

nopeuden tai tietoturvan kannalta. RAID tekniikkaa käyttämällä pystyttiin nopeuttamaan palvelimella tapahtuvaa tiedonkäsittelyä sekä suojaamaan tiedostoja mahdollisten laitevaurioiden sattuessa. (VMWare 2022).

## 7.2 Ohjelmistot

Palvelimelle oli tarkoitus asentaa VMWare ESXi hypervisor, jonka avulla virtualisointia pystytään toteuttamaan. Hypervisorille oli tarkoitus käyttöönottaa 2 virtuaalikonetta, joiden käyttöjärjestelmänä toimii Windows Server 2019. Kyseisille virtuaalikoneille oli tarkoitus käyttöönottaa Siemens PCS 7 9.1 ohjelmisto sekä reitittää virtuaalikoneiden liikenne VPN yhteyden avulla julkiseen verkkoon.

## 8 KÄYTTÖÖNOTTO

### 8.1 Ohjelmistot

Järjestelmään luotiin 2 erillistä RAID asemaa, pienempi "System" niminen asema jolle ESXi ja muut virtualisointiohjelmistot asennettiin, sekä "Data" asema jolle virtuaalikoneiden tiedostot voitiin tallentaa. Molemmat RAID asemat formatoitiin RAID-5 tyyppisiksi sillä sen katsottiin olevan suorituskykyisin RAID tyyppi SSD levyjä käyttäessä.

Ohjelmistojen käyttöönotossa noudatettiin VMWare Kuva 21 mukaista dokumentaatiota (VMWare 2022). VMWare toimittaa ohjelmistot digitaalisena, joten tuli ne siirtää muistitikulle ja asentaa sen avulla. Asennuksessa käytettiin apuna Batard, (2022) kehittämää "Rufus" työkalua, jonka avulla .ISO tiedosto voitiin siirtää muistitikulle bootattavaan muotoon ja täten asentaa palvelimelle. (Batard 2022.)

Virtuaalikoneiden rakenteessa noudatettiin (Siemens 2022b) ilmoittamia minimalistisiä konfiguraatiomalleja, täten jokaisella virtuaalikoneella on ohjelmat automaatioprojektin ohjelmistojen käsittelyyn. Projektien testaamisen/simuloimisen ei nähty olevan tällä hetkellä oleellista, mutta virtuaalikoneille lisättiin verkkoportti, jonka avulla automaatiokomponenttien, kuten prosessorien liittäminen virtuaalikoneisiin on mahdollista.

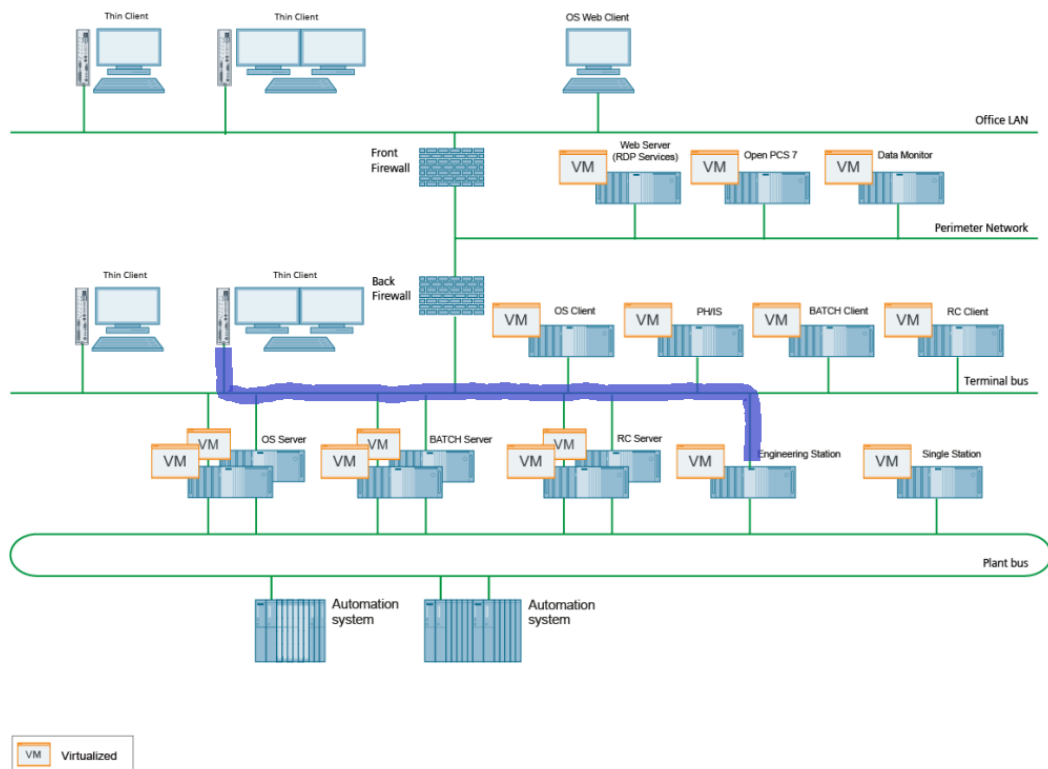
VMWare ESXi ja vCenter server asennettiin Kuva 21 mukaisesti, vCenter asennus oli mahdollista toteuttaa 2 eri tavalla; upotettuna järjestelmänä, tai erillisenä "Platform services controller" nimisenä ohjelmistona erilliselle palvelimelle.



Kuva 21. ESXi/vSphere käyttöönotto. (VMWare 2022.)

Upotettu järjestelmä on itsessään virtuaalikone joka suorittaa vCenter palvelua joka voidaan asentaa mille tahansa ESXi suorittavalle palvelimelle. vCenter voidaan erottaa erilliseen hallintaverkkoon jonka kautta virtuaalikoneita hallinnoidaan, täten virtuaalikoneiden hallinnointiverkko ja itse virtuaalikoneiden sisäiset verkot eivät ole toisiinsa yhteydessä vähentäen virtuaalikoneisiin kohdistuvan hyökkäyksen riskiä. (VMWare 2022.)

Palvelimella suoritettavien virtuaalikoneiden käyttöönotossa noudatettiin (Siemens 2022a) dokumentaatiossa esitetty Kuva 22 mukaista rakennetta. Järjestelmän todellinen laajuus oli huomattavasti pienempi, sillä tarkoituksena oli käyttöönottaa vain insinööriäsuunnittelua varten, tämä on osoitettu Kuva 22 sinisellä.



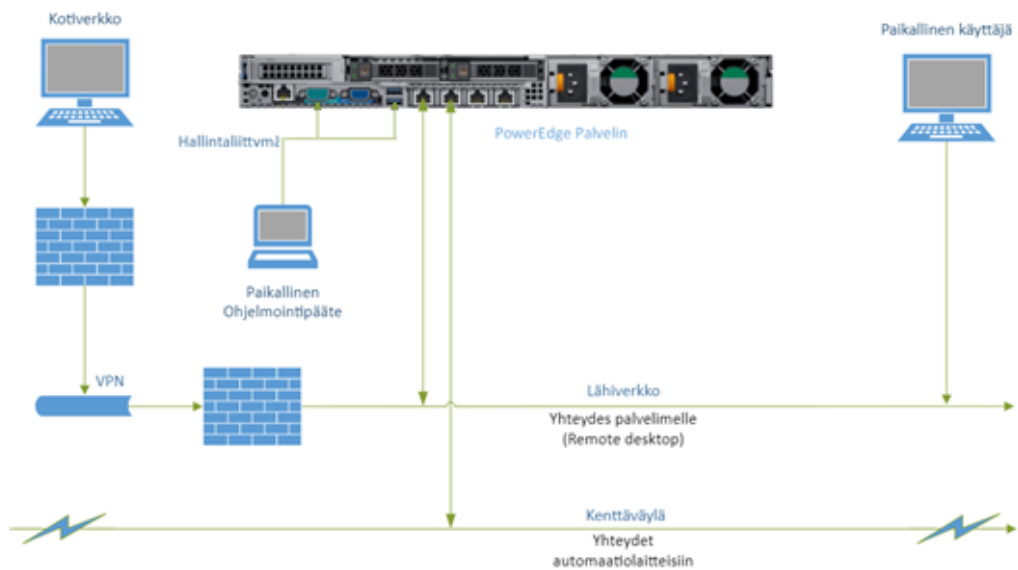
Kuva 22. Virtualisointirakenne. (Siemens 2022a.)

## 8.2 Laitteistorakenne

Virtuaalikoneet ohjelmoitiin siten että niillä oli 2 verkkoadapteria, toinen verkkoadapteri on yhteydessä toimiston lähiverkkoon mahdollistaen etäyhteyden luomisen lähiverkosta, kun taas toista verkkoadapteria käytettiin kenttäväyläyhteytenä. Täten on mahdollista yhdistää ohjelmoitava logiikka palvelimen verkkoporttiin ja ohjelmoida sitä minkä tahansa virtuaalikoneen kautta, lopullinen laitteistorakenne on esitetty alla olevassa Kuva 23.



## Laitteistokaavio

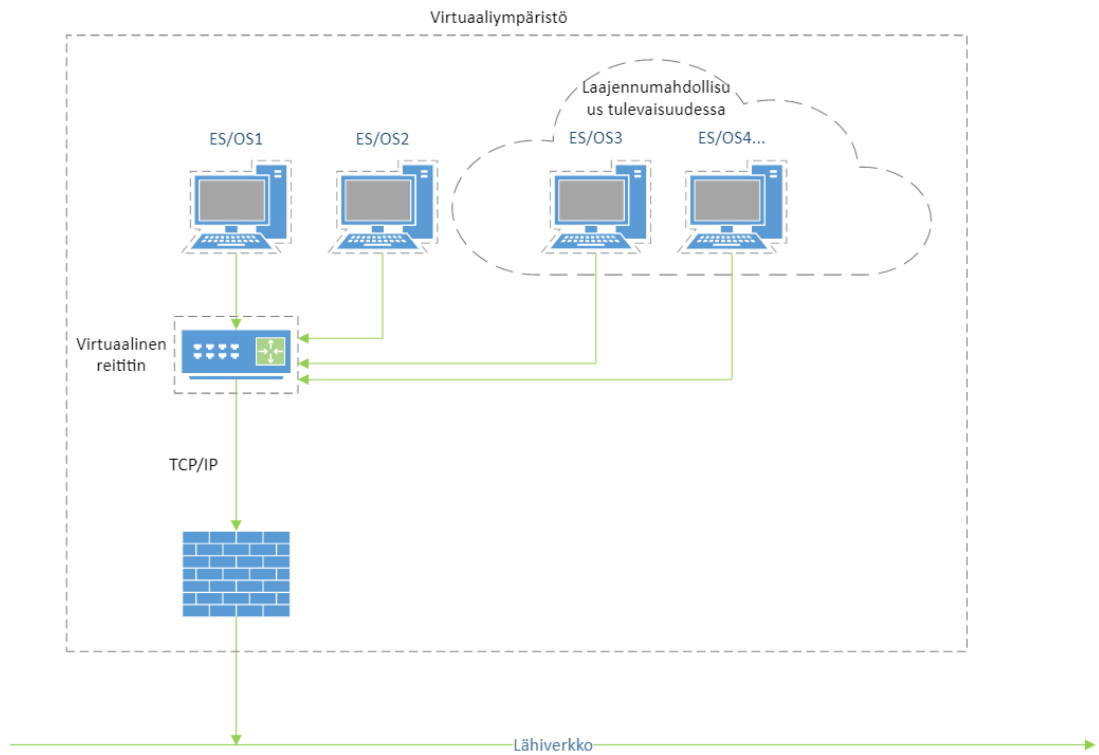


Kuva 23. Järjestelmän laitteistokaavio.

Paikallinen ohjelmointipääte koostui näytöstä sekä näppäimistöä, jotka olivat kytkettyinä palvelimeen, täten ESXi -palvelinta voidaan hallita paikallisesti, jos yhteys palvelimeen jostain syystä katkeaa. On huomioitavaa, ettei paikallis pääte kykene hallitsemaan virtuaalikoneita, vain pelkästään palvelimen omia asetuksia, kuten verkkosovittimen asetuksia tai palvelimen uudelleenkäynnistämisen.

Palvelimen virtuaalikoneet ovat myös tavoitettavissa toimiston ulkoverkosta VPN yhteyden avulla, mahdollistaen työskentelyn mistä tahansa julkisesta verkosta.

Palvelimelle käyttöön otettiin Kuva 24 mukaisia itsenäisiä ES/OS asemia. Ennalta olevia projekteja tai uusia projekteja voidaan tuoda sekä luoda virtuaalikoneille, sekä projektin ohjelma-, että visualisointikokonaisuuksia voidaan toteuttaa yksittäiseltä virtuaalikoneelta.



Kuva 24. Virtuaaliympäristön rakenne.

Käyttöön otettua järjestelmää voidaan laajentaa PCS-Engineering Oy tarpeiden mukaan, esim uusilla PCS 7 ES/OS virtuaalikoneilla, tai muilla automaattoratkaisuilla. Järjestelmän resurssit riittävät 12 PCS 7 virtuaalikoneen samanaikaiseen käyttöön, rajoittavaksi tekijäksi koituu järjestelmän RAM-muisti.

### 8.3 Tietoturva

Tietoturvan ylläpitämiseksi virtuaalipalvelin erotettiin omaan aliverkkoon, jotta toimiston lähiverkkoon kohdistuva hyökkäys ei välttämättä vaikuta virtuaalipalvelimeen.

VMWare ESXi oletusasetukset ovat muuttuneet ajan myötä turvallisemmaksi, uusimmat tietoturvasuhteeseen vaikuttavat oletusasetukset ovat:

- ESXi Shell sekä SSH rajapinnat eivät ole oletuksena aktiivisia.
- Rajallinen määrä palomuurin portteja on auki, käyttäjän tulee aukaista sovelluksiin liittyviä portteja.
- ESXi suorittaa vain palveluita, jotka liittyvät virtualisoinnin suorittamiseen.
- Kaikki paitsi palvelimen isäntäportit ovat pois käytöstä, käyttäjän tulee aktivoida ylimääräisiä portteja tarpeen mukaan.
- Heikot salausmenetelmät eivät ole aktiivisia ja virtuaalikoneiden kommunikointi on salattu SSL protokollalla. Oletusertifikaattina toimii PKCS#1 SHA-256 RSA enkrytoitu sertifikaatti.
- Hallinnointiin käytetty Web-Palvelin on muokattu siten, jotta se suorittaa vain toimintoja, jotka ovat olennaisia palvelimen hallinnointiin. Eikä täten ole haavoittuvainen tavanomaisille web-pohjaisille hyökkäyksille.
- Haavoittuvaisia palveluja kuten FTP ja Telnet ei ole asennettu ja niihin kohdistuvat portit ovat suljettu.
- ESXi tukee "UEFI Secure boot" ominaisuutta, virtuaalikoneisiin asennettaviin käyttöjärjestelmiin asti, mahdollistaen laitteistopohjaisen tietoturvasuhteuden noudattamisen virtuaalikoneella.
- Tukee TPM 2.0 teknologian käyttämistä virtuaalikoneissa. (VMWare 2022.)

#### 8.4 Virtuaalipalvelimen tuomat edut ja haitat

Vaikkakin käytännössä virtuaalipalvelimelle luodut virtuaalikoneet vastaavat samanlaista fyysistä tietokonetta, on virtuaalikoneiden käytössä omanlaisia etuja sekä haittoja.

Uusien virtuaalikoneiden luominen on kustannustehokasta ja nopeaa sillä uusien virtuaalikoneiden laitteistosta ei tarvitse enää maksaa, joten kustannukseksi koi-  
tuu vain virtuaalikoneen ohjelmistojen lisensoiminen. Uusia virtuaalikoneita voi-  
daan luoda asiakkaan tarpeiden mukaan ja siirtää helposti asiakkaan tiloihin esi-  
merkiksi IMAGE tiedostona. Virtuaalikoneiden virtuaalinen laitteisto voidaan  
myös alimitoitaa uuden virtuaalikoneen luomisen yhteydessä ja uusia resursseja  
voidaan varata niille syntyvän tarpeen mukaan. Virtuaalipalvelimen käyttö vähen-  
tää myös laitteistovikojen taajuutta sillä vioittuvaisten laitteiden määrä on pie-  
nempi, mutta virtuaalipalvelin voi helposti luoda järjestelmään yksittäisen vikapis-  
teen. (Siemens 2022a, 14.)

## 9 TYÖSSÄ ESIINTYNEITÄ ONGELMIA

Työssä oli tarkoitus hyväksikäyttää VMWare virtuaalikoneiden kopioimisominaisuutta, kopioiminen mutta ei kuitenkaan ollut käytännöllistä sillä ennalta asennettu Siemens PCS 7 ohjelmisto lakkasi kopioimisen jälkeen toimimasta, eivätkä hankitut Windows lisenssit tukeneet käyttöönottamista kopioidulle tietokoneelle.

Tiedostojen siirtäminen virtuaalikoneille oli myös hankalaa, sillä virtuaalikoneet olivat eristettyjä ulkoverkosta ei niille voinut ladata tiedostoja, tiedostojen ei myöskään voinut siirtää suoraan sillä virtuaalikoneiden tallennustila oli "VMDK" formaatissa eikä niille voinut siirtää tiedostoja suoraan. Käytännössä virtuaalikoneille siirrettävät tiedostot oli muutettava .iso tiedostoiksi, jonka jälkeen ne oli mahdollista siirtää virtuaalikoneelle virtuaalisen levyaseman kautta. Tiedostojen siirtäminen oli myös mahdollista tietokoneiden välisen verkkoyhteyden avulla.

Työn tuloksena olisi haluttu ns. "Virtuaalikone pohja" jonka avulla uusia virtuaalikoneita olisi voinut luoda helposti. Tämä koitui käytännössä lähes mahdottomaksi sillä Siemens PCS 7 ei tue asennettujen ohjelmien kopioimista ja hankitut Windows käyttöjärjestelmän lisenssit olivat osa asennustiedostoja, joten kopioituja virtuaalikoneita ei voitu lisensoida.

## 10 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli Oulun toimistolle toimivan virtuaaliympäristön käyttöönotto, itse palvelimen käyttöönotto oli yllättävän helppoa vaikkakin valmistajan ohjeistuksesta jouduttiin poikkeamaan ajoittain. Työssä myös haluttiin käsitellä virtuaalikoneiden ”kopioimista” mutta tämä koitui hankalaksi sekä Siemens PCS 7 ohjelmiston kannalta kuten myös Microsoft Windows käyttöjärjestelmän kannalta. Itse työn tuottama hyöty PCS-Engineering Oy:lle ei vielä työn aikana selvinnyt, sillä palvelinta ei vielä ehditty hyödyntää missään projekteissa.

Työn teoriaosuudessa käytiin läpi virtualisoinnin teoriaa, virtualisointi oli minulle konseptina tuttu ja olen aikaisemmin käyttänyt esim. Oracle VirtualBox ohjelmistoa, mutta varsinaisesta virtualisoinnin laajuudesta en tiennyt ennen työn aloittamista. Lähteiden löytäminen virtualisointiin oli myös huomattavan hankalaa, eikä suomenkielisiä lähteitä ollut käytännössä ollenkaan. Myös osa käytetyistä lähteistä kohdistuu tiedonkäsittelysektorille ja käsittelevät pääosin virtualisointi ”Klustereiden” hallitsemista, joka ei ollut oleellista teollisuuden käyttökohteissa.

Työ oli myös hyvä oppikokemus yleisesti palvelinratkaisuihin kuten myös palvelimien käyttöön teollisuudenalalla. Vaikka palvelinten ajatellaan yleensä olevan hyvin paljon IT-alalle kuuluvaa osaamista, on niiden osaaminen erittäin suuri etu myös automaatioalalla.

Työn tuottama varsinainen hyöty jäänee nähtäväksi, kun laitteisto otetaan paremmin käyttöön projekteissa. Työ herätti ainakin itselle kysymyksen ”Miksi automaatiolaitteiden virtualisointi ei ole yleisempää” sillä käyttöönotetut automaatiojärjestelmät toimivat ainakin PCS-Engineering Oy:llä moitteettomasti. Tutkimusten puuttuessa voinee vain spekuloida, ettei virtualisoinnin yleisesti nähdä tuottavan tarpeeksi hyötyä sen käyttämiseksi.

## LÄHTEET

Batard, P. 2022. Rufus Create bootable USB drives the easy way. Viitattu 15.11.2022, <https://rufus.ie/en/>

DELL Technologies 2022. Dell tukipalvelut. Viitattu 3.5.2022, <https://www.dell.com/support/home/fi-fi>.

IEC 61131-3. 2013. Programmable controllers - Part 3: Programming languages. Geneva: IEC.

Jones, A., Dawkins. B. & Krithivas. R. 2009. Common RAID Disk Data Format Specification. Storage Networking Industry Association. Technical Position. Version 2.0, Revision 19.

Microchip 2022. Choosing the Right RAID Configurations Viitattu 3.4.2022, <https://www.microsemi.com/product-directory/RAID-controllers/4047-RAID-levels>

Microsoft 2021a. Hyper-V Architecture. Viitattu 30.3.2022, <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/administration/performance-tuning/role/hyper-v-server/architecture>

Microsoft 2021b. Hyper-V Technology Overview. Viitattu 30.3.2022, <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/virtualization/hyper-v/hyper-v-technology-overview>

Patterson, D. A., Gibson, G. & Katz, R. H. 1988. A case for redundant arrays of inexpensive disks (RAID.) SIGMOD '88: Proceedings of the 1988 ACM SIGMOD international conference on Management of data. 109–116.

Popek, G. J. & Goldberg, R. P. 1974. Formal Requirements for Virtualizable Third Generation Architectures. Communications of the ACM Vol. 17 No 7, 412–421.

Portnoy, M. 2016. Virtualization Essentials. Indianapolis, Indiana: Sybex. E-kirja. Viitattu 18.3.2022, <https://luc.finna.fi/>, Ebook central.

Siemens 2010. Programming with STEP 7. Viitattu 6.4.2022, [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/107/45531107/att\\_91661/v1/S7pr\\_\\_\\_b.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/107/45531107/att_91661/v1/S7pr___b.pdf)

Siemens 2020. SIMATIC PCS 7 Process Control System. Viitattu 6.4.2022, <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:86877490-92f0-4aba-90c9-f20045196eb6/br-simatic-PCS 7-en-2017-web.pdf>

Siemens 2021. PCS 7 Process Control System PCS 7 Readme V9.1 (Online.) Viitattu 6.4.2022, [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/270/109780270/att\\_1057737/v1/PCS 7-readme\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/270/109780270/att_1057737/v1/PCS 7-readme_en-US.pdf)

Siemens 2022a. PCS 7 Virtualization - Project Engineering and Configuration. Viitattu 1.4.2022, [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/611/109806611/att\\_1098895/v1/109806611\\_Manual\\_PCS 7V91SP1\\_Virtualization\\_en.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/611/109806611/att_1098895/v1/109806611_Manual_PCS 7V91SP1_Virtualization_en.pdf)

Siemens 2022b. SIMATIC PCS 7 Minimal Configurations <https://support.industry.siemens.com/cs/document/24023824/simatic-pcs-7-minimalkonfigurationen?lc=de-ww>

Somasundaram, G. & Shrivastava, A. 2009 Information Storage and Management: Storing, Managing, and Protecting Digital Information. John Wiley & Sons, Incorporated. Viitattu 22.3.2022, <https://luc.finna.fi/lapinamk/>, Ebook central.

Vadala, D. 2003. Managing RAID on Linux: Fast, Scalable, Reliable Data Storage. Sebastopol: O'Reilly.

VMWare 2007. The Architecture of VMWare ESXi. Viitattu 31.3.2022, [https://www.VMWare.com/content/dam/digitalmarketing/VMWare/en/pdf/techpaper/ESXi\\_architecture.pdf](https://www.VMWare.com/content/dam/digitalmarketing/VMWare/en/pdf/techpaper/ESXi_architecture.pdf)

VMWare 2012. Developer's Guide to Building vApps and Virtual Appliances. Viitattu 31.3.2022, <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.359.5945&rep=rep1&type=pdf>

VMWare 2022. VMWare Docs. Viitattu 31.3.2022, <https://docs.VMWare.com/>.



## LIITTEET

- Liite 1. RAID 10 toteutus (Somasundaram & Shrivastava 2009)
- Liite 2. PCS-Engineering Oy Virtuaaliympäristön käyttöohje (Luottamuksellinen)
- Liite 3. IP-Osoitetaulukko (Luottamuksellinen)

Liite 1. RAID 10 toteutus (Somasundaram & Shrivastava 2009.)

