

Tommi Korkeamäki

Automaatiojärjestelmien ylläpito virtuaaliympäristössä

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2024



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Tommi Korkeamäki
Työn nimi	Automaatiojärjestelmien ylläpito virtuaaliympäristössä
Toimeksiantaja	Jartek AI Oy
Vuosi	2024
Sivut	17 sivua, liitteitä 0 sivua
Työn ohjaaja(t)	Harri Kosonen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa toimeksiantajalle automaatiojärjestelmien ylläpitoon virtuaaliympäristö käyttäen Oracle VirtualBoxia. Työn toimeksiantaja oli Jartek AI Oy, jonka omasta tarpeesta ja kenen käyttöön opinnäytetyössä kehitetty ympäristö tuli. Työn tavoitteena on luoda toimeksiantajalle virtuaalikoneympäristö, joka helpottaa tulevaisuudessa vanhojen projektien ohjelmistojen ylläpitoa vika- tai päivitystilanteissa. Työn tavoitteena on myös helpottaa uusien TwinCAT-ohjelmistoversioiden testaamista ennen kuin ne otetaan vakituiseen käyttöön.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa esitellään nykytilaan liittyviä haasteita tulevaisuuden vikatilanteiden näkökulmasta katsottuna. Samassa pohditaan, kuinka uusien ohjelmistoversioiden testaaminen nykyisillä järjestelmillä toimii ja millainen on virtuaalikoneiden historia ja nykytilanne ja miten niitä hyödynnetään ohjelmistokehityksessä.

Työssä syvennytään virtuaalikoneen ja fyysisen isäntäkoneen asennuksessa määritettäviin asetuksiin sekä järjestelmän testaamiseen ja käyttöönottoon.

Asiasanat: virtuaalikone, Beckhoff TwinCAT, VirtualBox,

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Tommi Korkeamäki
Thesis title	Maintenance of automation systems in virtual environment
Commissioned by	Jartek AI Oy
Time	2024
Pages	17 sivua, liitteitä 0 sivua
Supervisor	Harri Kosonen

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to implement a virtual environment for the maintenance of automation systems for the client using Oracle VirtualBox. This thesis was assigned by Jartek AI Oy, for whom the environment was developed based on their own needs. The goal of the work was to create a virtual machine environment for the client facilitating the maintenance of old projects' software in case of faults or updates in the future. Another aim was also to facilitate the testing of new TwinCAT software versions before they are permanently deployed.

At the beginning of the thesis, challenges related to the current state are presented from the perspective of future fault situations. How the testing of new software versions works with the existing systems and what the history and status of virtual machines are and how they are utilized in software development are also discussed in this part.

The work delves into the settings to be configured in the installation of the virtual machine and the physical host machine, as well as the testing and deployment of the system.

Keywords: virtual machine, TwinCAT, VirtualBox

SISÄLLYS

KÄSITTEET	5
1 JOHDANTO	6
2 TYÖN TAUSTA.....	7
2.1 Virtuaalikone	7
2.1.1 Historia.....	7
2.2 Automaatiojärjestelmä	8
3 NYKYTILA	8
3.1 Laitteisto	8
3.2 Ylläpitomalli	8
3.3 Haasteet	9
4 TAVOITETILA.....	9
4.1 Tavoitteet.....	9
5 MATERIAALIT	10
5.1 Laitteisto	10
5.2 Ohjelmistot.....	10
6 TESTAUS JA KÄYTTÖÖNOTTO	11
6.1 Käyttöönotto	11
6.1.1 Virtuaalikoneen asennus.....	11
6.1.2 Etätyöpöydän asetusten määrittäminen.....	15
6.2 Testaus.....	16
7 POHDINTA	16
7.1 Suurimmat haasteet.....	16
8 LÄHTEET	17

KÄSITTEET

TwinCAT	Beckhoffin kehittämä avoin PC-pohjainen ohjausteknologia
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
VM	Virtual Machine, virtuaalikone
HMI	Human Machine Interface, käyttöliittymä
VirtualBox	Oraclen valmistama virtuaalikoneohjelmisto
Isäntäkone	Fyysinen oikea tietokone, jolla virtuaalikoneita käytetään
Virtuaalikone	Ohjelmisto, joka simuloi todellista tietokonetta
VPN	Virtual Private Network, virtuaalinen erillisverkko

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe on tullut toimeksiantajan tarpeesta. Työ suoritettiin toimeksiantajan tiloissa ja välineistöllä. Työn toimeksiantaja oli Jartek AI Oy, Jartek Groupin tytäryhtiö, joka on saha-automaatioon erikoistunut yritys. Sen toimialaan kuuluu rimoitus-, lajittelu- ja paketointilaitosten sähköinen ja ohjelmallinen suunnittelu ja toteutus. (Jartek, 2022)

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mitä haasteita automaatioprojektien ylläpitoon liittyy, mitä hyötyjä virtuaalinen ympäristö tuo automaatiojärjestelmien ylläpitoon sekä tutkia haasteita, jotka liittyvät ylläpitoon virtuaalisessa ympäristössä ja analysoida tarvittavia taitoja ja tekniikoita virtuaalisen ympäristön kanssa toimimisessa. Lopputavoitteena oli luoda toimeksiantajalle toimiva ja helppokäyttöinen virtuaalikoneympäristö projektien ylläpitoa ja uusien ohjelmistoversioiden testaamista varten.

Toimeksiantajan asiakasorganisaatioille tehtyjen automaatiojärjestelmien on osoittautunut hankalaksi ohjelmisto- ja kirjastoversioiden jatkuvasti kehittyessä. Vikatilanteissa ohjelmoijalla pitää olla valmiina vanhat versiot asennettuina, jotta laitoksen ohjelmaan päästään kiinni. Tätä ongelmaa lähdettiin ratkaisemaan kehittämällä valmiit virtuaaliympäristöt organisaatioiden automaatiojärjestelmille.

Työn päätavoitteina oli selvittää, mikä virtuaaliympäristö olisi toimeksiantajalle kaikista toimivin ratkaisu ja miten se helpottaa projektien ylläpitoa. Siihen liittyy ohjelmistojen yhteensopivuus, virtuaalikoneita pyörittävän isäntäkoneelta vaadittu suorituskyky, mahdollisuus monelle samanaikaiselle virtuaaliympäristön käyttäjälle ja mahdollisuus sujuvaan etäyhteyteen valmiilla ohjelmistoympäristöllä, joka on virtuaalikoneelle rakennettu.

Virtuaaliympäristön valintaan automaatiojärjestelmien ylläpidossa vaikuttaa eniten ympäristön helppokäyttöisyys, skaalautuvuus ja yhteensopivuus.

Työn lähdeaineistona on käytetty aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja web-artikkeleita.

2 TYÖN TAUSTA

2.1 Virtuaalikone

Virtuaalikone on ohjelmistoemulaatio fyysisestä tietokoneesta, joka käyttäytyy kuin erillinen tietokone. Se mahdollistaa monien käyttöjärjestelmien samanaikaisen käytön samalla fyysisellä koneella, joten käyttäjä voi käyttää ohjelmistoja, jotka eivät muuten ole isäntäkoneella saatavilla. Virtuaalikoneilla on myös mahdollista luoda eristettyjä testausympäristöjä, joka tekee niistä hyvin käytännöllisiä ohjelmointityökaluja. Virtuaalikoneita käytetään normaalisti aloilla, kuten ohjelmistokehitys, -testaus ja -käyttöönotto. (Oracle, 2023.)

Virtuaalikoneet ovat myös erityisen käytännöllisiä esimerkiksi teknisen asiakaspalvelun käytössä. Asiakkailta on esimerkiksi TwinCAT:sta eri versioita, joilla he ovat tehneet PLC- tai HMI-ohjelmaa. Virtuaalikoneilla voi olla TwinCAT:n eri versiot asennettuna, joten asiakkaan ongelmaa päästään ratkomaan heti.

2.1.1 Historia

Virtuaalikoneiden konsepti on kehitetty jo tietotekniikan alkuaikoina. Vuonna 1964 IBM esitteli käyttöjärjestelmän nimeltä CP-40, mikä oli suunniteltu pyörimään heidän System/360-keskustietokoneilla. CP-40:n mukana esiteltiin uusi konsepti nimeltään ”virtuaalikone”, joka salli monta samanaikaista instanssia käyttöjärjestelmästä käytettäväksi yhdellä keskustietokoneella. (Goldberg & Goldberg, 1974)

Tulevina vuosina virtualisointiteknologia jatkoi kehittymistään, kun yritykset, kuten IBM, DEC ja HP, kehittivät omia virtualisointiratkaisujaan. Kuitenkin virtuaalikoneet tulivat suosioon vasta 1990-luvulla x86-arkkitehtuurin mukana. Vuonna 1998 VMware julkaisi ensimmäisen kaupallisesti menestyneen virtualisointialustan, VMware Workstation. (Fowler, 2016.)

2.2 Automaatiojärjestelmä

Automaatiojärjestelmää käytetään prosessiohjauksissa. Järjestelmän tehtävänä on toteuttaa ohjelman mukaisia mittauksia, säätöjä sekä sekvenssi- ja sähkömoottoriohjauksia. Automaatiojärjestelmä kerää prosessista tietoja, joiden perusteella käyttäjä tekee mahdollisia korjaavia säätö- ja asetustoimenpiteitä. Normaalitilanteessa järjestelmä ohjaa toimilaitteita automaattisesti saatujen mittaustietojen perusteella. Automaatiojärjestelmän muita tehtäviä ovat esimerkiksi raportointi ja historiadatan keruu. (Mäkinen, Kallio, & Tantarimäki, 2009.)

Työssä tutustuttiin lähemmin Beckhoffin valmistamaan TwinCAT-automaatiojärjestelmään, koska se on toimeksiantajalla käytössä. TwinCAT on avoin PC-pohjaiseen ohjaustekniikkaan perustuva automaatiojärjestelmä. Heidän tuotevalikoimaansa kuuluvat esimerkiksi teollisuus-PC:t, I/O- ja kenttäväyläkomponentit ja automaatio-ohjelmistot. (Company 2023.)

3 NYKYTILA

3.1 Laitteisto

Kaikki yrityksen työt tehdään käytännössä omilla kannettavilla tietokoneilla. Niillä voi olla PLC-ohjelman tapauksessa monta eri TwinCAT:n versiota asennettuna. Keskitettyä projektien ylläpitoon olevaa laitteistoa ei ole, vaan ylläpito tapahtuu ohjelmoijien omilta laitteilta.

Yrityksessä tullaan tulevaisuudessa päivittämään uuteen ohjelmistoversioon, jonka tarkka testaaminen ennen varsinaisen siirtymän tekemistä on tärkeää. Myös vanhoihin projekteihin on virtuaalikoneen avulla tarkoitus helpottaa ylläpito- tai korjaustöitä tekemällä jokaiselle projektille oma virtuaalikone, joissa on projektissa käytetyt ohjelma- ja kirjastoversiot asennettu.

3.2 Ylläpitomalli

Laitoksen mennessä vikatilaan tulee siitä ohjelmoijalle ilmoitus laitoksen kunossapidolta tai työnjohdolta. Sen jälkeen ohjelmoijan tietokoneella pitää olla oikeat ohjelmisto- ja kirjastoversiot asennettuina, jotta hän pääsee ohjelmaan

sisään. Muuten projektia ei voi mennä seuraamaan tai muuttamaan VPN-yhteyden kautta online-tilaan suoraan sahalle. Tämä voi pahimmillaan luoda tunnin pituisen viiveen, ennen kuin vikaa päästään ohjelmallisesti selvittämään. Vanhojen projektien ohjelmisto- ja kirjastoversiot alkavat olla niin vanhoja, että niiden löytäminen asennusta varten voi viedä aikaa, ennen kuin löytää oikeat versiot.

3.3 Haasteet

Nykytilan haasteisiin ovat kuuluneet muutaman vuoden vanhojen projektien automaatiojärjestelmien ylläpito ja uusien ohjelmistoversioiden testaamisen epäkäytännöllisyys.

Ohjelmistoihin tehdään koko ajan parannuksia, jotka sitä myötä muuttavat TwinCAT:ssä PLC-ohjelmien kirjastoversioita. Kun ohjelmoija haluaa ottaa yhteyden laitokseen esimerkiksi nähdäkseen ohjelmasta ongelmatilanteen, pitää hänen omalla tietokoneellaan olla oikeat ohjelmisto- ja kirjastoversiot asennettuina, jotta hän pääsee ohjelmaan käsiksi. Tämä voi tuottaa pahimmillaan 1–2 tunnin viivästyksen ennen kuin ongelmaa päästään selvittämään.

Uusien ohjelmistoversioiden testaaminen on nykytilassa vaikeaa PLC- sekä HMI-ohjelmoinnin saralla. Beckhoff:lla on HMI-ohjelmistoversioiden kanssa sellainen politiikka, että he eivät kerro, mitä uusissa versioissa on muuttunut. Tämä vaikeuttaa käytössä olevan ohjelmiston päivittämistä uudempaan versioon, kun ohjelmoija ei voi mistään tietää, mikä ohjelmassa tulee hajoamaan tai mitä pitäisi muuttaa. Tämän lisäksi HMI-ohjelmaversioita ei voi olla asennettuna samaan aikaan kuin yksi, mikä tekee uuden version testaamisesta hidasta ja hankalaa.

4 TAVOITETILA

4.1 Tavoitteet

Tavoitteena on luoda projektien ylläpitoa helpottava virtuaalikoneympäristö, mihin on luotu jokaiselle projektille oma virtuaalikone, jolle on asennettu siinä

projektissa käytetyt PLC-, HMI- ja kirjastoversiot. Tämä nopeuttaa vikatilanteissa laitokseen yhteyden saamista huomattavasti. Ohjelmoijan ei tarvitse tehdä muuta kuin laittaa VPN-yhteys päälle ja käynnistää halutun projektin virtuaalikone. Sitten hän pääsee selvittämään vikaa suoraan laitoksella käynnissä olevaan ohjelmaan.

Suurin haaste on virtuaalikoneiden käytön yleistyessä isäntäkoneen keskusmuistin loppuminen. Jokaiselle virtuaalikoneelle on määritetty noin 13 gigatavua keskusmuistia riittävän suorituskyvyn saavuttamiseksi. Isäntäkoneessa on 64 gigatavua muistia, joten samaan aikaan voi käyttää kolmea virtuaalikonetta, loput pitää säästää isäntäkoneen käyttöjärjestelmälle. Tämänhetkiseen tarpeeseen se on riittävä määrä. Tietokoneeseen on kuitenkin mahdollista lisätä keskusmuistia tilanteen niin vaatiessa.

5 MATERIAALIT

5.1 Laitteisto

Virtuaalikoneita pyörittävälle tietokoneelle olin asettanut vaatimukseksi, että sillä voi käyttää kolmea virtuaalikonetta samaan aikaan. Se on tosielämässä melko harvinainen tilanne, mutta tehojen kannalta siihen oli hyvä varautua.

Isäntäkoneeksi valikoitui Lenono ThinkStation P360, josta löytyy 24-ytiminen Intel Core i7 12700K-prosessori, 64 GB keskusmuistia ja 1 TB kokoinen nopea SSD. Se on osoittautunut hyvin sopivaksi käytettäväksi virtuaalikoneserverinä reilun suorituskyvyn ja kapasiteetin ansiosta.

Isäntäkoneeseen ja sahalaitoksille otetaan yhteys turvallisen VPN-yhteyden kautta. Sahalaitoksilla on käytössä monia eri VPN-ohjelmia, joten ne kaikki pitää asentaa isäntäkoneelle.

5.2 Ohjelmistot

Ohjelmointiympäristönä toimii Beckhoffin valmistama TwinCAT 3.1 -ohjelmisto integroituna Microsoftin Visual Studioon. PLC- ja HMI-ohjelmointi onnistuvat

samoilla ohjelmistoilla. Virtuaalikoneohjelmistoksi valittiin Oracle VirtualBox. Isäntäkoneen käyttöjärjestelmä on Windows 11 Pro.

VirtualBox valittiin, koska se täytti tutkimuksessa määritetyt kriteerit. VMware olisi myös täyttänyt nämä kriteerit, mutta VirtualBox:sta oli toimeksiantajalla valmiiksi hyviä kokemuksia automaatiojärjestelmien ylläpitoa ajatellen.

6 TESTAUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

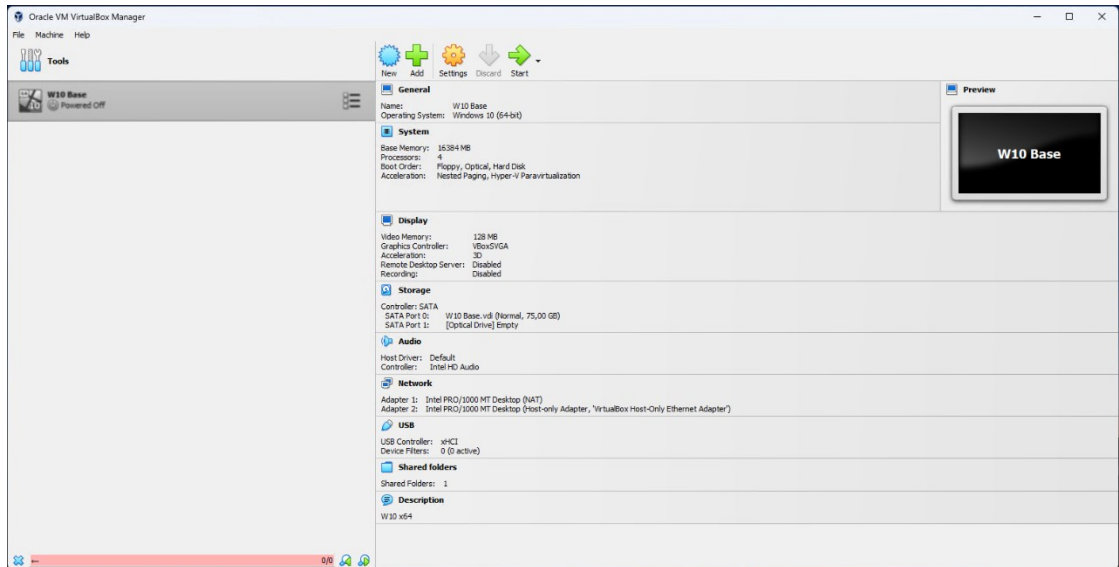
Käyttöönottovaihe kesti noin yhden työpäivän verran. Ensimmäinen aktiivisempi testaus kesti kolme työpäivää, minkä jälkeen käytettävyydestit kestivät vuoden epäaktiivisesti. Virtuaaliympäristöä testattiin siihen tarkoitetuissa työtehtävissä uusien ohjelmistoversioiden testaamisessa ja automaatioprojektien ylläpidossa.

6.1 Käyttöönotto

Käyttöönotto alkoi isäntäkoneen asetusten määrittämisellä. Tähän kuului esimerkiksi paikallisen tilin luonti, virrankäyttöasetusten vaihto ”paras suorituskyky”-tilaan ja toimeksiantajan työntekijöille tehtiin omat käyttäjätunnukset isäntäkoneelle.

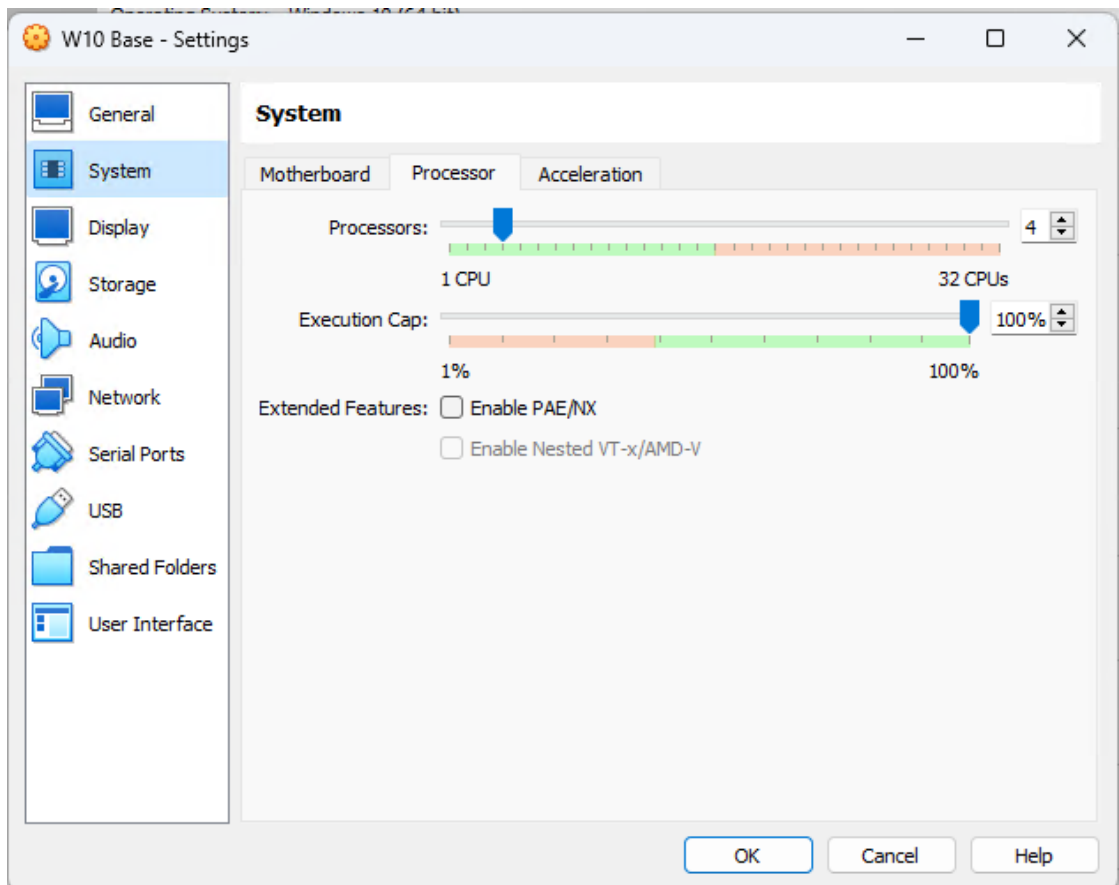
6.1.1 Virtuaalikoneen asennus

Virtuaalikoneen asennus alkaa VirtualBox:ssa antamalla koneelle nimi. Ensimmäisen virtuaalikoneen nimeksi annoin W10 Base. W10 tarkoittaa Windows 10-käyttöjärjestelmää ja Base virtuaalikoneen perusversiota. (Kuva 1.)



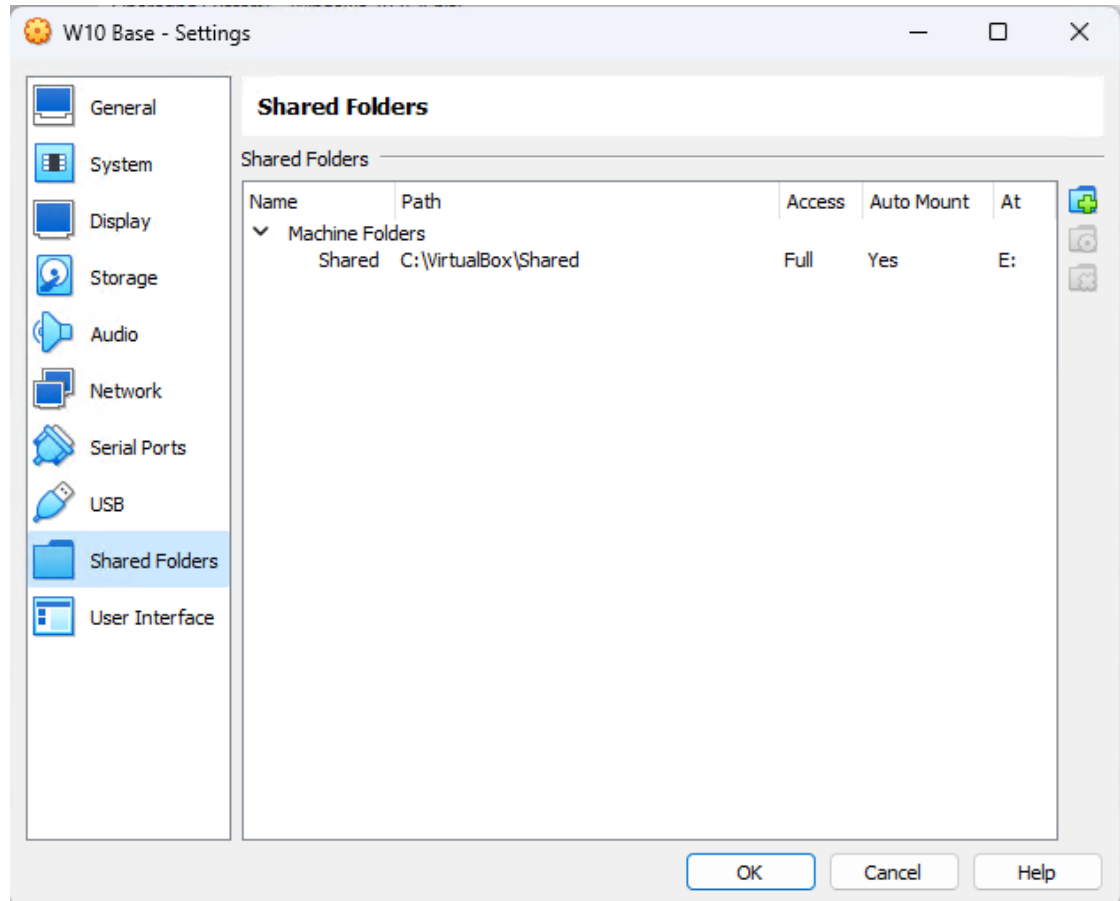
Kuva 1. VirtualBox:n aloitusnäky

Virtuaalikoneelle määritetään isäntäkoneelta luovutettavat resurssit, kuten ytimien ja RAM-muistin määrä sekä kiintolevyn koko. Suositeltu minimimäärä prosessorin ytimille on 4 ja keskusmuistille 8 GB. Pienemmällä määrällä virtuaalikoneen suorituskyky on niin heikko, ettei ohjelmointiympäristön käyttö ole mieluista.



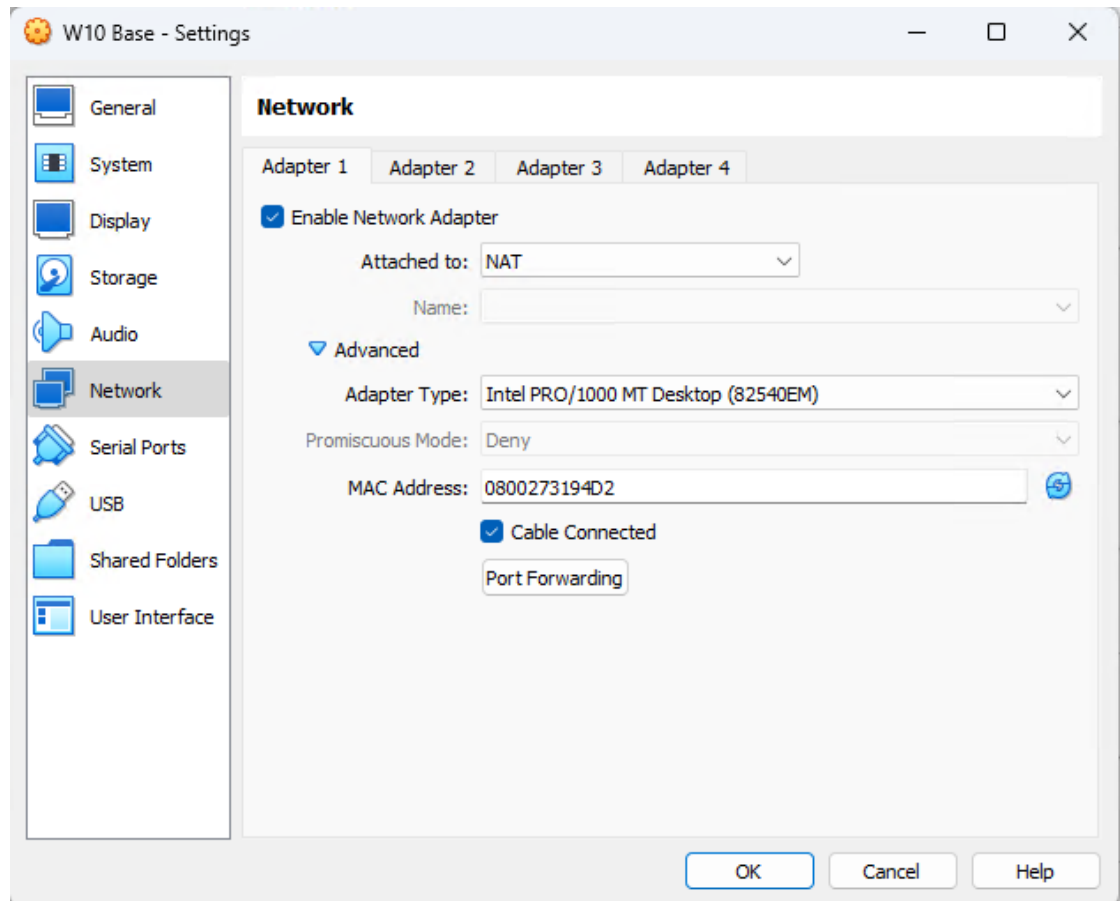
Kuva 2. Prosessorin määrittely

Virtuaalikoneelle määritettiin käytettäväksi n. 13 GB keskusmuistia, 4 prosessorin ydintä ja 75 GB tallennustilaa. (Kuva 2.)



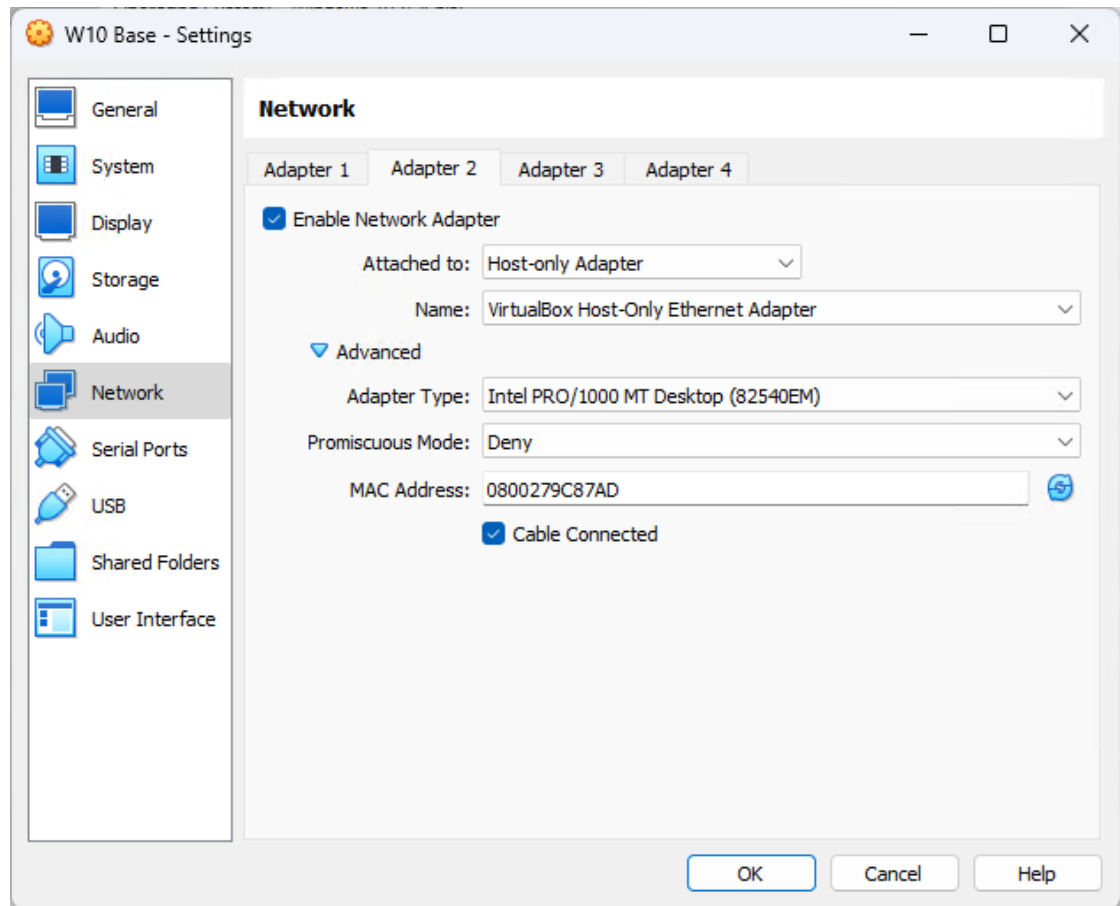
Kuva 3. Jaetun kansion määrittäminen

Isäntä- ja virtuaalikoneen väliseksi tiedostojensiirtokanavaksi määritetään "Shared"-kansio, joka on näkyvissä molemmille koneille. Se on kätevä tapa siirtää esimerkiksi asennustiedostoja koneiden välillä. Myös versionhallinta toimii jaetun kansion kautta. Se on myöhemmin näkyvissä kaikille muille virtuaalikoneille, jotka kloonataan "Base"-koneesta. (Kuva 3.)



Kuva 4. Verkkoadapteri 1:n määrittäminen

Seuravaksi virtuaalikoneelle määritetään verkkoadapterit, joilla se ottaa yhteyden internetiin ja ohjelmointiympäristöön. Ensimmäinen adapteri on niin sanottu "internet"-adapteri, jolla virtuaalikone saa yhteyden internetiin. (Kuva 4.)



Kuva 5. Adapteri 2:n määrittäminen

Adapteri 2 on virtuaalikoneen itse luoma verkkoadapteri, joka ei ole ollenkaan yhteydessä internetiin. Se toimii isäntäkoneen ja virtuaalikoneen välisenä väylänä, jonka kautta voi esimerkiksi tehdä isäntäkoneella PLC-ohjelmaa ja suorittaa samaan aikaan HMI-projektia paikallisesti virtuaalikoneella. Adapteri 2 voidaan myös määrittää DHCP-serveriksi. (Kuva 5.)

6.1.2 Etätyöpöydän asetusten määrittäminen

Yksi tämän opinnäytetyön tärkeimmistä tavoitteista oli virtuaalikoneiden samanaikainen käyttäminen monen käyttäjän toimesta. Etätyöpöytää voi Windowsin vakioratkaisulla käyttää vain yksi käyttäjä kerrallaan. Jos käyttäjä 1 on etätyöpöytäyhteydessä isäntäkoneeseen ja käyttäjä 2 haluaa myös käyttää sitä, käyttäjälle 2 tulee ilmoitus, jossa kerrotaan, että käyttäjän 1 yhteys täytyy katkaista, jotta käyttäjän 2 etätyöpöytäyhteys voidaan muodostaa.

Monen käyttäjän etätyöpöytäyhteyteen löytyy valmis ohjelmisto nimeltään ”RDP Wrapper”. Se on kuitenkin luokiteltu monen virustorjuntaohjelmiston

puolesta haittaohjelmaksi, joten sen käyttäminen ei ollut mahdollista. Ratkaisu tähän ongelmaan löytyi muokkaamalla Windowsin "terms.dll"-tiedostoa, jonka jälkeen oli mahdollista muodostaa monta etätyöpöytäyhteys-instanssia samaan aikaan. Tämä testattiin toimeksiantajan työntekijän avulla.

6.2 Testaus

Ensimmäinen testausvaiheen agendana oli kokeilla, kuinka hyvin isäntäkoneen suorituskyky riittää pyörittämään kolmea virtuaalikonetta samaan aikaan. Isäntäkoneen suorituskyky oli riittävä ja miellyttävällä tasolla, virtuaalikoneen käyttäminen oli yhtä sujuvaa kuin normaalin tietokoneen käyttäminen.

Seuraavaksi oli vuorossa etätyöpöytäyhteyden testaus VPN-yhteyden kautta. Yhdeltä tietokoneelta pystyy aloittamaan monta etätyöpöytäinstanssia isäntäkoneeseen, mikä helpotti testausta. Toimeksiantajan työntekijä oli myös apuna testaamisessa.

Sen jälkeen kokeiltiin suoraa VPN-yhteyttä sahalaitoksella virtuaalikoneen kautta. Sahalla suoritettavaan logiikkaohjelmaan päästiin hyvin kiinni, eikä ongelmia ilmennyt.

7 POHDINTA

7.1 Suurimmat haasteet

Opinnäytetyön suurimmaksi haasteeksi osoittautui VPN-yhteydet ja niiden kaksivaiheinen tunnistautuminen. Sahalaitoksilla on toimijan mukaan käytössä erilaisia VPN-ohjelmistoja, joista osa vaatii kirjautuessa käyttäjän kaksivaiheisen tunnistautumisen. Yleensä käyttäjälle tulee omaan puhelimeensa koodi, jonka avulla hän voi tunnistautua. Tässä tapauksessa se ei ole mahdollista. Ongelmaa ei ilmene VPN-ohjelmistoissa, jotka eivät vaadi kaksivaiheista tunnistautumista. Tähän ratkaisu oli lisätä jokaisen käyttäjän VPN-tunnukset isäntäkoneelle, jotta he saavat omaan puhelimeensa tunnistautumiskoodin.

Toiseksi suurin haaste oli isäntäkoneen automaattiset Windows-päivitykset. Päivitys kirjoitti etätyöpöytäyhteyden konfiguroinnissa muokatun "Terms.dll"-

tiedoston päälle, jonka jälkeen käyttäjien ei ollut mahdollista muodostaa useata etätyöpöytäyhteyttä samaan aikaan. Tämä ratkaistiin ottamalla Windows-päivitykset pois käytöstä. Virtuaalikonelaitteiston ylläpitäjä päivittää isäntäkoneen hallitusti ja käy sen jälkeen muokkaamassa "Terms.dll"-tiedoston ennalleen.

8 LÄHTEET

Fowler, M., 2016. Virtual machines and containers. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://martinfowler.com/articles/vm-containers.html> [viitattu 3.4.2023].

Jartek. 2022. Automaatio. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.jartek.fi/ratkaisut/automaatio> [viitattu 3.4.2023].

Oracle, 2023. VirtualBox User Manual. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.virtualbox.org/manual/> [viitattu 3.4.2023].

Goldberg, R. P., & Goldberg, A. L., 1974. Virtual machines: The concept and its implementation. ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), 1(1), 3–10.

Company. 2023. Beckhoff Automation. WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.beckhoff.com/fi-fi/company/> [viitattu 11.4.2024].

Mäkinen, M., Kallio, R. & Tantarimäki, R. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö ja automaatioasennukset. Helsinki: Otava