



Santeri Kormano

# Embedded-PLC-ratkaisu exOSin toiminta ja käyttömahdollisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

9.12.2022

## Tiivistelmä

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Tekijä:               | Santeri Kormano   |
| Otsikko:              | Embedded-PLC-ratkaisu exOSin toiminta ja käyttömahdollisuudet |
| Sivumäärä:            | 33 sivua  |
| Aika:                 | 9.12.2022   |
| Tutkinto:             | Insinööri (AMK)   |
| Tutkinto-ohjelma:     | Konetekniikka   |
| Ammatillinen pääaine: | Koneautomaatio  |
| Ohjaajat:             | Team Manager Juha Lantta<br>Lehtori Antti Liljaniemi          |

---

Insinöörityön tarkoituksena oli syventyä B&R Automation Studion embedded-PLC-ratkaisu exOS:iin, ja verrata sitä muihin markkinoilla oleviin vastaaviin ratkaisuihin. Insinöörityö tehtiin insinööritoimisto Etteplan Finland Oy:lle, joka käyttää projekteissaan B&R:n Automation Studiota. Insinöörityössä haluttiin selvittää, voiko korkean tason ohjelmointikieliä käyttää embedded-PLC-ratkaisujen avulla automaatioprojekteissa.

ExOS käyttää hybridikomponentteja ja IPC:tä Automation Runtimen ja Linuxin väliin tiedonvälitykseen. ExOSin käyttöönotto vaati Linux-serverin ja Hypervisorin asentamisen APC:lle, jonka jälkeen Automation Studioon asennettiin exOS-paketti. ExOS:n käyttö vaatii myös exOS-lisenssin lisäksi APC:n, Hypervisorin- ja Automation Runtime-lisenssit. ExOS:ia voidaan myös käyttää ilman APC:ta.

ExOS:n lisäksi insinöörityössä esitellään viisi muuta embedded-PLC-tuotteita: Beckhoffin TwinCat3/BSD, Keban FlexCore, Phoenix Contractin PLCnext, Rexrothin CtrlXcore ja Wagon Embedded-Linux. Tuotteiden vertailussa selvisi, että korkean tason ohjelmointikieliä tukevia embedded-PLC-ratkaisuja olivat ctrlX CORE, exOS ja Embedded-Linux. CtrlX CORE:sta selvisi myös muita etuja, kuten se, ettei sen käyttö vaadi valmistajan omaa laitetta, vaan sitä voidaan käyttää laitteesta riippumatta. Tämän vuoksi tulevaisuudessa voitaisiin perehtyä CtrlX COREen vielä paremmin ja tutustua siihen myös käytännössä. Etteplan voisi tulevaisuudessa perehtyä syvemmin myös muihin korkean tason ohjelmointikieliä tukeviin embedded-PLC-ratkaisuihin.

Avainsanat: exOS, B&R, Automation Studio, Embedded-PLC

## Abstract

Author: Santeri Kormano  
Title: Operation and possibilities of using the embedded PLC solution exOS  
Number of Pages: 33 pages  
Date: 9 December 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Mechanical Engineering  
Professional Major: Machine Automation  
Supervisors: Juha Lantta, Team Manager  
Antti Liljaniemi, Senior Lecturer

---

The purpose of this thesis was to learn about B&R Automation Studio's embedded PLC solution exOS, and to compare it with the other similar embedded PLC solutions on the market. The thesis was made for the engineering company Etteplan Finland Oy, which uses B&R's Automation Studio in its projects. The aim of the thesis was to find out whether high-level programming languages can be used with embedded PLC solutions in automation projects.

ExOS uses hybrid components and IPC for communication between the Automation Runtime and Linux. The implementation of exOS required installing a Linux server and Hypervisor on an APC, after which the exOS package was installed in Automation Studio. In addition to the exOS license, the use of ExOS requires an APC, Hypervisorin, and Automation Runtime licenses, too. ExOS can also be used without an APC.

In addition to ExOS, five other embedded PLC products were introduced in the thesis: Beckhoff's TwinCat3/BSD, Keba's FlexCore, Phoenix Contract's PLCnext, Rexroth's CtrlXcore, and Wago's Embedded-Linux. A comparison of the products revealed that embedded-PLC solutions that support high-level programming languages were ctrlX CORE, exOS, and Embedded-Linux. CtrlX CORE has also other advantages, such as not having to be used with the manufacturer's devices instead it can be used regardless the device. Therefore, in the future, it could be useful to familiarize oneself more with CtrlX CORE and to get to know it in practice. Furthermore Etteplan could take a deeper look at other embedded PLC solutions that support high-level programming languages, too.

Keywords: exOS, B&R, Automation Studio, Embedded-PLC

# Sisällys

## Lyhenteet

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 1   | Johdanto               | 1  |
| 2   | B&R                    | 2  |
| 2.1 | B&R Automation         | 2  |
| 2.2 | Automation Studio      | 2  |
| 3   | ExOS lisätoiminto      | 3  |
| 3.1 | Toiminta               | 3  |
| 3.2 | Linux for B&R 10       | 9  |
| 3.3 | Hypervisor             | 10 |
| 3.4 | B&R Automation Runtime | 12 |
| 3.5 | WSL                    | 12 |
| 3.6 | Component Generator    | 13 |
| 4   | ExOS:n käyttöönotto    | 14 |
| 5   | Kilpailevat tuotteet   | 24 |
| 5.1 | Beckhoff               | 24 |
| 5.2 | Keba                   | 24 |
| 5.3 | Phoenix Contact        | 26 |
| 5.4 | Rexroth                | 27 |
| 5.5 | Wago                   | 28 |
| 6   | Vertailu               | 28 |
| 7   | Yhteenveto             | 32 |
|     | Lähteet                | 1  |

## Lyhenteet

- APC: Automation PC, B&R:n logiikka.
- AR: Automation Runtime, Automation Studion käyttöjärjestelmä.
- AS: Automation Studio, automaatio työkalu.
- B&R: Bernecker and Rainer, B&R yrityksen perustajat, joiden nimistä tulee yrityksen nimi.
- CFC: Continuous Function Chart, PLC-ohjelmointikieli.
- HMI: Human-Machine Interface, ihmisen ja laitteen välinen käyttöliittymä.
- IT: Information Technology, informointitekniikka.
- OT: Operational Technology, toimintatekniikka.

# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on syventyä B&R Automation Studion embedded-PLC ratkaisu exOS:iin, ja verrata sitä muihin markkinoilla oleviin embedded-automaatiotyökaluihin. ExOS on automaatiotyökalun Automation Studion lisäosa, joka yhdistää Linux-käyttöjärjestelmän automaatioprojekteihin.

Opinnäytetyö tehdään insinööritoimisto Etteplan Finland Oy:lle. Etteplan Finland Oy on suomalainen insinööritoimisto, joka tarjoaa muun muassa automaatio-suunnittelua. Yksi Etteplanin hyödyntämistä automaatiotyökaluista on B&R Automation Studio, jonka lisäosa exOS on. Etteplan haluaa selvittää, voiko korkean tason ohjelmointikieliä käyttää sen automaatioprojekteissa ja voiko niiden avulla tehostaa resurssien käyttöä eli tiivistää sulautettujen järjestelmien ja automaatiopuolen välistä yhteistyötä. Opinnäytetyöstä saatavat tulokset ja tietotaito voivat vaikuttaa Etteplanin päätökseen kokeilla embedded-PLC-ratkaisuja yrityksen automaatioprojekteissa.

Tässä opinnäytetyössä esittelen ohjelmistotuote exOSia ja vertaan sitä muiden yritysten markkinoilla oleviin embedded-PLC-ratkaisuihin. Aloitan esittelemällä B&R ja exOS:n, jonka jälkeen kerron exOS:n käytöstä. Luvussa 5 esittelen viisi kilpailevaa tuotetta yrityksineen ja seuraavassa luvussa vertailen tuotteita. Yhteenvedossa kertaan exOSin käyttömahdollisuuksia ja pohdin, mikä tai mitkä embedded-työkalut voisivat sopia Etteplanin tarpeisiin.

Opinnäytetyössäni olen käyttänyt julkisia lähteitä, esimerkiksi yritysten verkkosivuja ja tuote-esittely-dokumentteja. ExOSista olen tällaisten lähteiden lisäksi saanut käyttööni B&R:ltä saadun exOS Help -tiedoston. Tutustun exOS:iin myös käytännössä kokeilemalla sen käyttöä B&R:n laitteella esimerkkiprojektia.

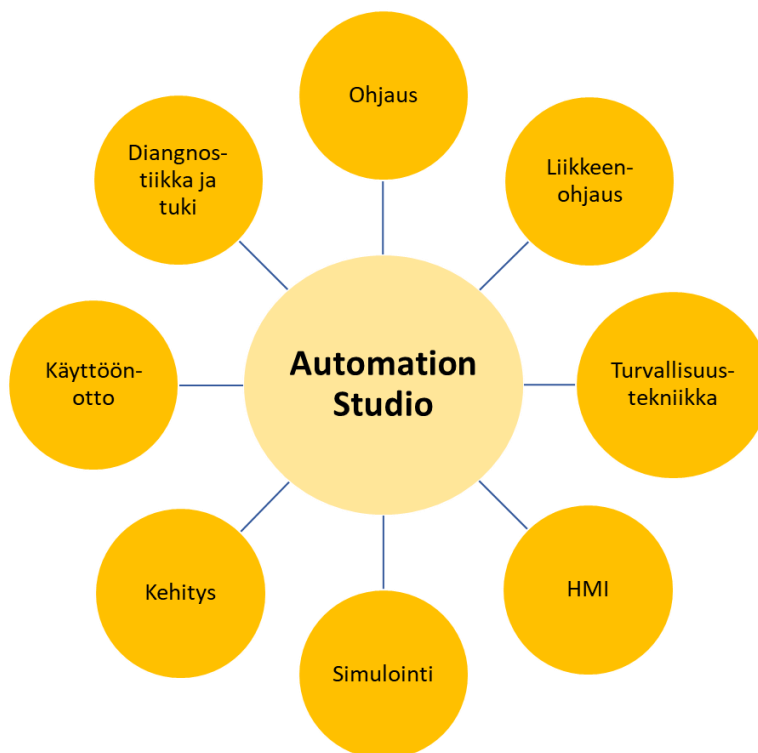
## 2 B&R

### 2.1 B&R Automation

B&R Industrial Automation GmbH on automaatiotekniikan valmistaja ja ABB:n maailmanlaajuinen kone- ja tehdasautomaatiokeskus. B&R:n perustivat vuonna 1979 Erwin Bernecker ja Josef Rainer, ja sen pääkonttori sijaitsee Eggelsbergissä, Itävallassa. Nykyään B&R on maailmanlaajuinen koneiden ja tehtaiden automatisointiratkaisujen tarjoaja, ja yritys vastaa koneautomaatiosta ABB:n Robotics & Discrete Automation -divisioonassa. [1.]

### 2.2 Automation Studio

Automation Studio on B&R:n kehittämä automaatioprojektien ohjelmointiympäristö, jota voidaan käyttää teollisuusautomaatiossa. AS on ohjelmatyökalu, jolla voidaan määritellä erilaisia ohjaimia, liikeohjaimia, turvamoduuleja, HMI-sovelluksia, projektin simulointia, diagnostiikkaa, käyttöönottoa ja kehitystä. [2, s. 4.]



Kuva 1. Automation Studion käyttöympäristöt.

AS tarjoaa ohjelmistoympäristön erilaisten koneiden toiminnan luomiseen ja niiden hallintaan. AS:ssa voidaan käyttää IEC-ohjelmointikieliä sekä CFC:tä (Continuous Function Chart), C++:aa, ANSI C:tä. Ohjelmistoympäristön simulointivaihtoehtojen ansiosta kokonaisuuksia voidaan testata ilman itse fyysistä järjestelmää tai laitetta. [3.]

### 3 ExOS lisätoiminto

#### 3.1 Toiminta

ExOS tulee sanoista ”enhanced cross-over of operating system”, jonka voi suomeksi kääntää ”paranneltu käyttöjärjestelmän yhdistäminen”. Tämä tarkoittaa, että tuote käyttää kahta käyttöjärjestelmää, Automation Runtimea ja Linuxia, jotka ovat yhteydessä toisiinsa ja jotka hyötyvät toisistaan. Tämän mahdollistaa B&R:n Hypervisor-toiminto. ExOS on siis mekanismi, jolla automaatio integroidaan Linux-ympäristöön ja päinvastoin. ExOS-lisätoiminnon käyttö vaatii Hypervisor-, B&R AR- ja exOS-lisenssit. Nämä lisenssit ovat laitekohtaisia eli jokaiselle laitteelle vaaditaan omat lisenssinsä. Tuettu kohdejärjestelmä on B&R Linux 10. Lisäksi käyttöön vaaditaan AS:n versio 4.10, jossa on AR:n versio b4.91. [4, s.1, 5, 7, 32.]

ExOS:in ansiosta AR ja Linux toimivat rinnakkain, jolloin koneohjelmoinnissa on käytössä AR:n puolelta IEC-kielet ja Linuxin puolelta kaikki Linuxin tukemat korkean tason ohjelmointikieliet. Linux-järjestelmän käyttö vaatii käyttöönottokohdeelta, että exOS-server on käynnissä järjestelmässä. ExOS-server on asennettava manuaalisesti. Serverin asennuspaketti päivittyy uusimpaan versioon, kun käytetään exOSin versiota 2.0.0 tai tätä uudempaa. [4, s. 10.]



ExOS-konseptin toimintamalli voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin:

- Projektinhallinta AS:ssa
- Linux-koodin siirto ja asennus
- Konfiguroitava suoritus
- Tehokas tiedonvaihto
- Diagnostiikka
- Sovellusten synkronoitu suorittaminen
- Huolto

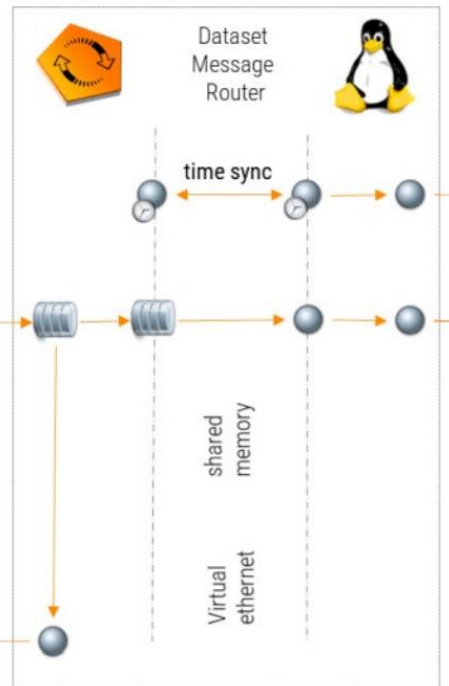
**Projektinhallinta Automation Studioissa keskitettynä:** ExOSin avulla PLC-ohjelmoija voi AS:n projektissa lisätä Linux-ohjelmiston PLC-projektiin samalla tavalla kuin minkä tahansa kirjaston. AS:n projektissa logical view:hin voidaan lisätä valmiiksi pakattu Linux-ohjelmisto eli "exOS-paketti". Linuxiin liittyvät osat on piilotettu AS:n configuration-sivulle. PLC-ohjelmoijan ei tarvitse tietää, kuinka käyttää Linuxia tai Linux-ohjelmistoja. [4, s. 25.]

**Linux-koodin siirto ja asennus:** ExOS hoitaa automaattisesti ohjelmiston hallinnan ja sen siirron Linux-kohdejärjestelmään. Täten on mahdollista käyttää Linux-ohjelmistoja olematta Linux-ohjelmoija tai olla kirjautumatta Linux-järjestelmään. ExOS on vastuussa tarvittavien tiedostojen siirtämisestä Linuxiin ja asentamisesta järjestelmään. Jos exOS-komponentti on päivitetty tai poistettu AS:n projektin määrittämisestä, tarvittavat toimenpiteet tehdään myös kohdejärjestelmässä vastaavien tiedostojen päivittämiseksi tai poistamiseksi. Toisin sanoen kaikki muutokset AS:n projektissa heijastuvat automaattisesti kohteeseen. [4, si. 26.]

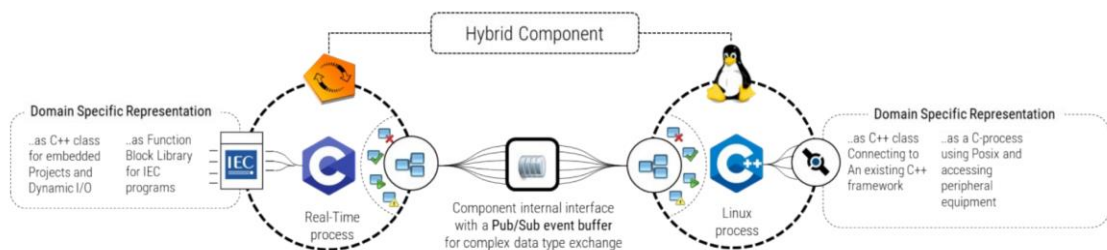
**Konfiguroitava suoritus:** ExOS mahdollistaa myös exOS-komponenttien suorittamisen määrittämisen. Useimmissa tapauksissa exOS-komponentti sisältää yhden tai useamman palvelun, joka suoritetaan automaattisesti Linux-järjestelmässä ja joka muodostaa yhteyden PLC: hen. Mutta myös ohjelman kertaluonteisen suorittamisen määrittäminen sen asennuksen jälkeen on mahdollista. Eri asetukset voidaan määrittää valmiiksi exOS-paketissa tai ne voidaan määrittää erikseen kullekin komponentille. Tämän lisäksi exOS integroituu täysin simulaatioympäristöön koodin kehittämistä ja virheenkorjausta varten. Abstraktiokerroksensa vuoksi samat binäärit, jotka toimivat kohdejärjestelmässä Hypervisorin jaetun muistin tiedonvaihdon avulla, voivat toimia paikallisesti kehitystietokoneella WSL: n (Windows Subsystem for Linux) kautta tai virtuaalikoneessa Automation Runtime Simulationia (ARSim) vastaan. [4, s. 27.]

**Tiedonvaihto:** ExOS:n mukana tulee IPC (Inter Process Communication) -mekanismi, jonka avulla Linux ja AR vaihtavat tietoja. Mekanismissa tukee yksinkertaisia ja monimutkaisia tietotyyppisiä, kuten esimerkiksi rakenteita ja taulukoita. ExOS:n IPC-mekanismilla voidaan luoda exOS-paketteja, joita voidaan käyttää sekä todellisissa laitteistoasetuksissa että simuloituissa ympäristöissä ilman, että lähdekoodia täytyy mukauttaa eri viestintäkanaviin. [4, s. 28.]

IPC-mekanismi koostuu hybridikomponenteista, DMR:stä (Dataset Message Router) (Kuva 2), datamodeleista ja dataseteistä. Dataset sisältää informaatiota, kuten esimerkiksi tiedon AR:n puolelta vaihdetuista muuttujien arvoista. Datamodel kerää datasetit ja välittää ne DMR:lle. DMR kommunikoi hybridikomponenttien välillä datasettien avulla. DMR synkronoi datasettien välitysajan hybridikomponenttien välillä, joka mahdollistaa hyvin lyhyen viiveen datan välityksessä. [4 s. 71.]



Kuva 2. DMR, eli data message router, joka välittää datasettejä ja huolehtii aikasykronoinnista jaetun muistin avulla [4 s. 74].



Kuva 3. IPC-datakommunikointi, jossa hybridikomponenttien välillä toimii DMR, joka välittää datasettejä datamodelin avulla hybridikomponentista toiseen [4 s. 71].

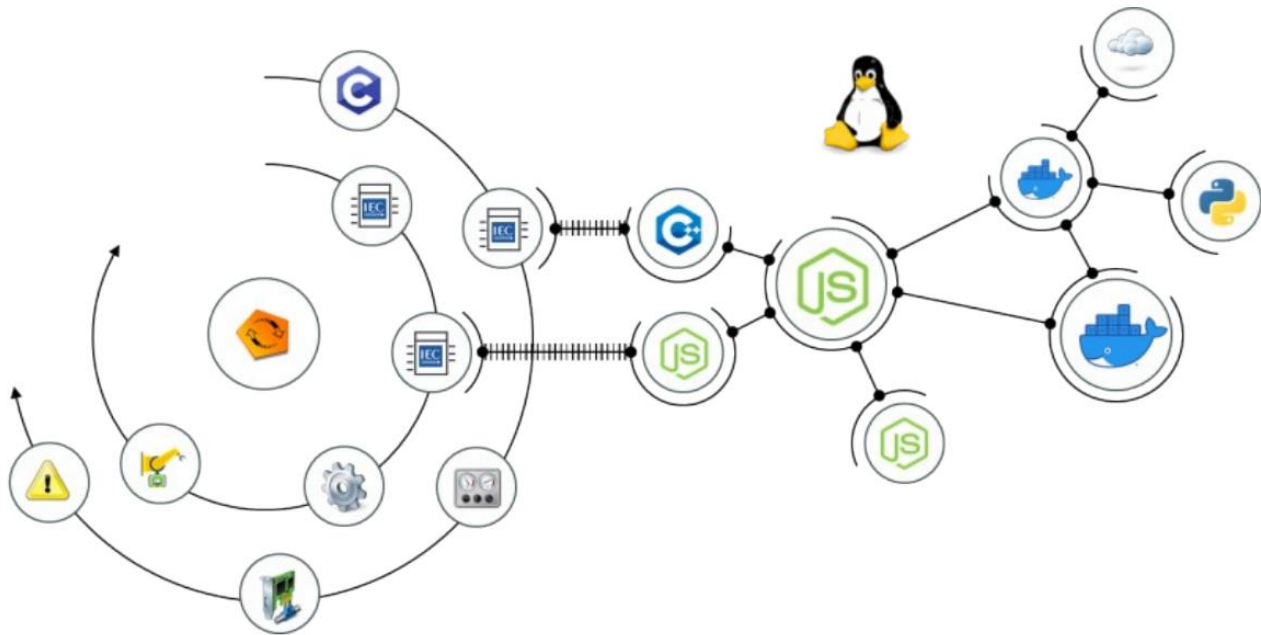
**Diagnostiikka:** ExOS-järjestelmä tarjoaa kattavat diagnostiikkamahdollisuudet sekä exOS-kohteen hallintaan että varsinaisiin exOS-komponentteihin. Jokaista käyttöönoton vaihetta, kuten tiedoston siirtoa, exOS-komponentin asennusta tai asennuksen poistoa tai palveluiden aloittamista tai lopettamista, voidaan valvoa

ja kirjata lokiin. Mikä tahansa exOS-pohjainen sovellus voi myös käyttää tapahtumien kirjauskehystä lisätäkseen omia tila- ja lokiviestejä, jotka lopulta reititetään AR-lokiin. Lokimekanismi on konfiguroitavissa projektin kokoonpanossa, mutta sitä voidaan myös muuttaa dynaamisesti ajon aikana sekä AR- että Linux-puolelta. [4, s. 29.]

**Sovellusten synkronoitu suorittaminen:** exOS käyttää NETTIME-konseptia. Kun aikapohja on yhtäläinen ja synkronoitu, on mahdollista leimata ajallisesti tapahtuma tarkasti AR-puolella ja hyödyntää ajoitustietoja myöhempää analyysiä varten Linuxissa tai laskea tulevat toimet etukäteen Linux-puolella ja ajoittaa niiden suorittaminen jopa mikrosekunnin tarkkuudella Automation Runtime -järjestelmässä. exOS mahdollistaa myös Linux-prosessien synkronoinnin AR-tehtäväluokkien kanssa. Edellyttäen, että valittu AR-tehtäväluokan taajuus ei ylikuormita Linux-järjestelmää, voidaan luoda tiedonvaihto AR:n ja Linuxin välillä. [4, s. 30.]

**Huolto:** ExOS integroituu täysin automaattisiin palautusmekanismeihin MappBackupin avulla, myös kun vaihdetaan rikkiäistä laitteistoa. Tämä tarkoittaa, että jos Linuxia käyttävä laitteisto rikkoutuu ja korvataan uudella laitteella, järjestelmä käynnistää automaattisesti tarvittavien exOS-komponenttien asennuksen ja käynnistyksen. ExOS:n avulla kaikki PLC-puolelle tarjotut ylläpitotoiminnot ovat automaattisesti käytettävissä myös Linux-osassa. MappBackup sisältää PLC:n varmuuskopioinnin lisäksi myös kaikki Linux-komponentit, jotka on otettu käyttöön exOS:n kanssa. [4, s. 31.]

ExOS käyttää IoT-raameja (internet of things tai esineiden internet) ja ne muodostavat yhteyden PLC:hen eri protokollien kautta kerätäkseen, kootakseen ja visualisoidakseen tietoja. IoT-raamit koostuvat pienistä ohjelmistoista, jotka kommunikoivat keskenään IPC:n avulla. (kuva 4) [4, s. 32.]



Kuva 4. Automation Runtime käyttää IEC-toimintalohkoa, jotka kommunikoivat Linuxin puolelle IPC:n avulla [4 s. 32].

Mahdollisia tietoturvariskejä on lueteltu B&R:n osalta seuraavasti:

- ExOS ei tarjoa käyttäjän todennusta tai salasanaa, joten kaikki voivat muodostaa yhteyden OPC UA:n kautta ja olla vuorovaikutuksessa linux-järjestelmän kanssa
- ExOS-server toimii root-oikeuksilla, jotta paketti voidaan asentaa dpkg:n kautta.
- ExOSin Linux ohjelmat ovat käynnissä samalla käyttäjällä kuin exOS-server. Yksittäisten käyttäjien käyttäminen tai hallitseminen ei ole mahdollista.
- ExOSin Linux-ohjelmat ajetaan pääkäyttäjän oikeuksilla. Tämä helpottaa loppupään käyttäjien käyttöä [4, s. 22].

## 3.2 Linux for B&R 10

B&R:n käyttämä Linux for B&R 10 on Linux-järjestelmä Debian 10 jonka koodinimi on Buster, se on optimoitu versio B&R-teollisuustietokoneille (APC). Tämä sisältää kaikki B&R-kohtaiset asetukset ja tarjoaa mahdollisimman laajan perustan erilaisille sovelluksille. Tämä tuo Linux-pakettien valintaa ja Debianin johdannaisten jakelun. [5, s. 6.]

Tällä hetkellä exOS ainut tukialusta on B&R Linux 10. On myös mahdollista, jos haluaa käyttää jotakin muuta tukea kuin B&R:n omaa, pitää asentaa Linux-järjestelmälle systemd-tuki. Laitteelta järjestelmä vaatii 8 gb (gigabyte) kovalevytilaa ja 2 gb ram-muistia (Random Access Memory). [4, s. 7; 5, s. 6.]

ExOS käyttää käyttöönottopalvelinta tiedostojen vastaanottamiseen Linux-kohdeissa ja palveluiden käynnistämiseen, tämä palvelin on exOS-server ja se on asennettava manuaalisesti kohdejärjestelmään. Serverin asennuspaketti löytyy asennetusta teknologiapaketissa, moduulit osiossa *server*-kansiossa. Tämä tiedosto siirretään Linux-kohdejärjestelmään ja asennettava sinne dpkg:n avulla. Alla olevalla asennuskomennolla terminaalista:

```
sudo dpkg -i exos-server-x.y.z-v_ amd64.deb
```

Kun asentaa exOS-serveriä, on valittava virtuaalinen ethernet-liitäntä yhteyden muodostamiseksi AR:ää kohti, koska jos palomuuuri on aktiivinen Linuxissa, exOS määrittää Linux-palomuurin ja avaa tarvittavat viestiportit tässä käyttöliittymässä [4, s. 12].

Serverin päivittäminen onnistuu automaattisesti 2.1.0 versiosta eteenpäin, mutta sen voi myös päivittää manuaalisesti. Serverin poistamisessa täytyy muistaa poistaa ensin jokainen exOS-komponentti ja sen jälkeen Linuxista komennolla:

```
sudo dpkg --purge exos-server
```

Jos AR ja Linux yhteyttä ei ole, Linux-serverin poistaminen toimii komennolla

```
cd /opt/exos
```

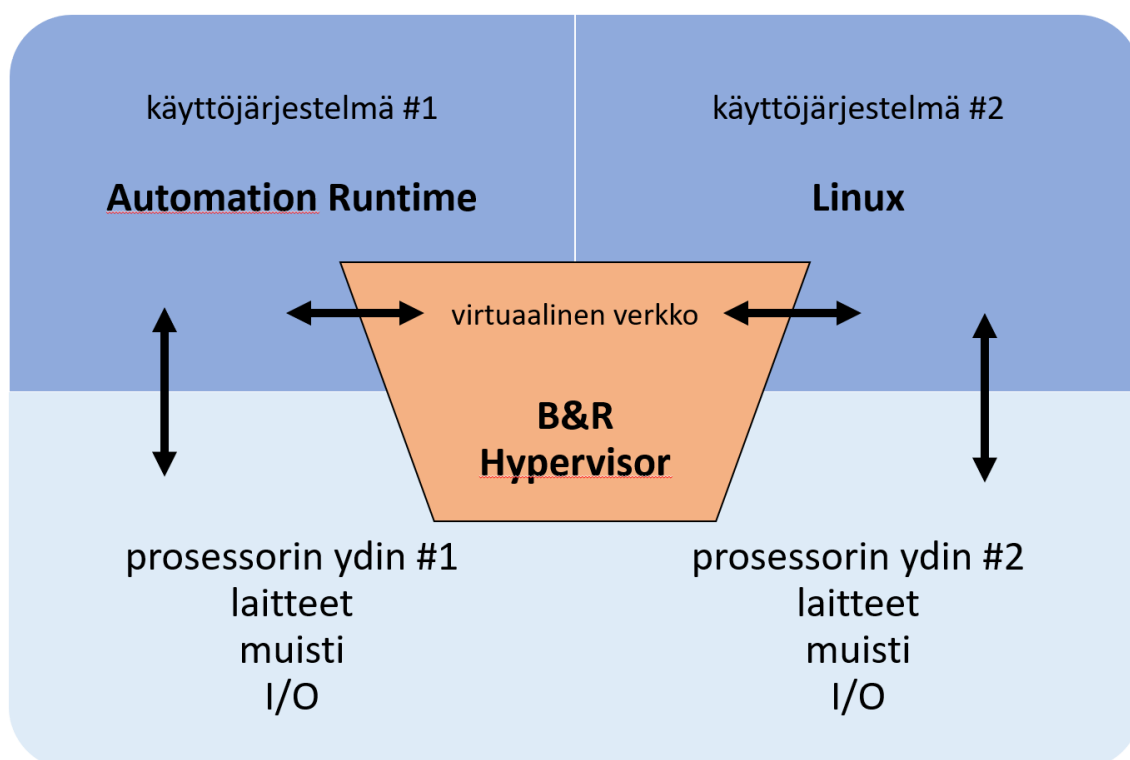
```
sudo ./exos-server-cleanuo.sh
```

Komento kutsuu kaikki uninstall-palvelut, mitkä on lisätty exOS-komponenttiin ja poistaa kokonaan exOS käyttöönottokansion ja käynnistää serverin uudelleen, jonka jälkeen voidaan poistaa Linux-serveri [4, s. 12].

### 3.3 Hypervisor

B&R Hypervisorin virtuaalisen verkkoyhteyden avulla sovellukset voivat vaihtaa dataa määritettyjen käyttöjärjestelmien välillä. Kuten tavallisessa ethernet-liitännässä, tämä tehdään verkkoprotokollien avulla. Ethernet-kaapelin sijaan käytetään kuitenkin laitteen kovalevyn muistialuetta, jota ei ole määritetty kummallekaan käyttöjärjestelmälle. Tämän jaetun muistin avulla B&R Hypervisor mahdollistaa käyttöjärjestelmien välisen tiedonvaihdon jopa mikrosekunneissa. [7.]

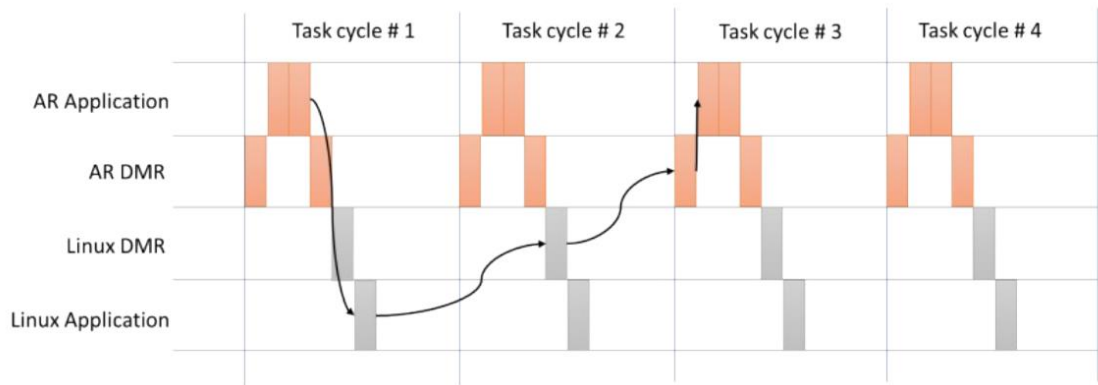
Käyttäjä määrittää B&R Hypervisorin ja jakaa laitteistoresurssit Automation Studioissa. Konfiguraatiot määritellään kullekin järjestelmälle erikseen, mikä tarjoaa joustavuuden resurssien käytössä. Toisin kuin aikaisemmat tiettyyn Windows-versioon räätälöidyt rinnakkaistamisratkaisut, B&R Hypervisoria voidaan käyttää käyttöjärjestelmästä riippumatta. B&R Hypervisorin avulla useat käyttöjärjestelmät voivat toimia yhdellä laitteella rinnakkain. Käyttöjärjestelmät voivat viestiä keskenään virtuaalisen verkon kautta (Kuva 5). [4, s. 9.]



Kuva 5. AR ja Linux toimivat rinnakkain B&R Hypervisorin virtuaalisen verkon avulla. Käyttöjärjestelmät voivat käyttää myös omia prosessorin ytimiään, laitteitaan, muistiaan ja I/O:taan (Input/Output eli tulo/lähtö). Suurimmassa osassa B&R:n APC:issä on Intelin kaksiydinprosessorit. Kuvassa käyttöjärjestelmä #1 käyttää prosessorin ydintä #1 ja käyttöjärjestelmä #2 käyttää prosessorin ydintä #2. [7.]

Hypervisor-kokoonpanossa AR Dataset Message Router suoritetaan määritetyn DMR-tehtäväluokan lopussa, kun taas Linux Dataset Message Router synkronoi suorituksensa estämällä Hypervisor-tapahtuman, joka lähetetään AR Dataset Message Routerista sen suorituksen lopussa. Tällä tavalla (Linux-järjestelmän kokoonpanosta riippuen) Linux Dataset Message Router toimii välittömästi tai pian määritetyn DMR Taskin jälkeen AR:ssä. Kuten kuvassa 6 havainnollistetaan. DMR task cycle voidaan määrittää prosessorin konfiguraatiosta. [4, s. 79.]





Kuva 6. DMR:n task cyclet ja kuinka data liikkuu DMR:n sisällä [4 s. 79].

### 3.4 B&R Automation Runtime

AR on määrittelevä reaaliaikainen käyttöjärjestelmä, joka toimii ohjelmistoalustana B&R:n koko tuotevalikoimalle. Tähän kuuluu muun muassa PLC:t (Programmable logic controller) ja automation PC:t. AR tarjoaa palveluita kohdejärjestelmän vapaaseen konfigurointiin ja vianmääritykseen sekä ohjelmien suorittamiseen. Se on integroitu jokaiseen B&R:n kohdejärjestelmään.

AR:n kaksi päätehtävää on laitteisto- ja ohjelmistoresurssien hallinta ja tarjota yhtenäinen tapa käyttää laitteistoa ilman, että käyttäjän on käsiteltävä kaikkia yksityiskohtia. Tämä myös tarjoaa laitteistoitsenäisen, monikäyttöisen työkalun sovellusten tekemiseen. [8, s. 4, 5, 6.]

### 3.5 WSL

Windows subsystem for Linux eli WSL virtuaalinen kone, joka mahdollistaa exOS-pakettien simuloimisen ja tekemisen ilman APC:tä. Tämä tulee asentaa Windowsiin omista asetuksista. Simuloinnissa exOS tukee ARsim:iä, käytettäessä WSL:ää Hypervisorin nopea tiedonvaihtomekanismi ei ole käytettävissä. B&R tarjoaa WSL:n käyttöönottoon ja asennukseen ohjeita Github-verkkosivulla. Suositeltavaa on, että käytetään samaa versiota Linuxista, eli Debian Buster, joka on B&R Linux 10. [4, s. 9; 9.]

### 3.6 Component Generator

Microsoftin tuottama Visual Studio Code:lla (VsCode) on exOSin komponenttien tekoon oma laajennus, jonka voi ladata VsCoden marketplace:sta. ExOS Component generatorilla voidaan luoda hybridikomponentteja, jotka automaattisesti generoivat rajapintoja korkeamman tason ohjelmointikielille (esimerkiksi C++) Linuxissa. Kun taas Automation Studion ympäristöön IEC-toimintalohkot ja ST-ohjelmat (structure text). Template on koodipohja-malli, jolla voidaan tehdä hybridikomponentteja. Templatet valitaan erikseen AR:lle ja Linuxille.

Template vaihtoehdot:

Automation Runtime

- C API
- C interface
- C++ Class

Linuxin

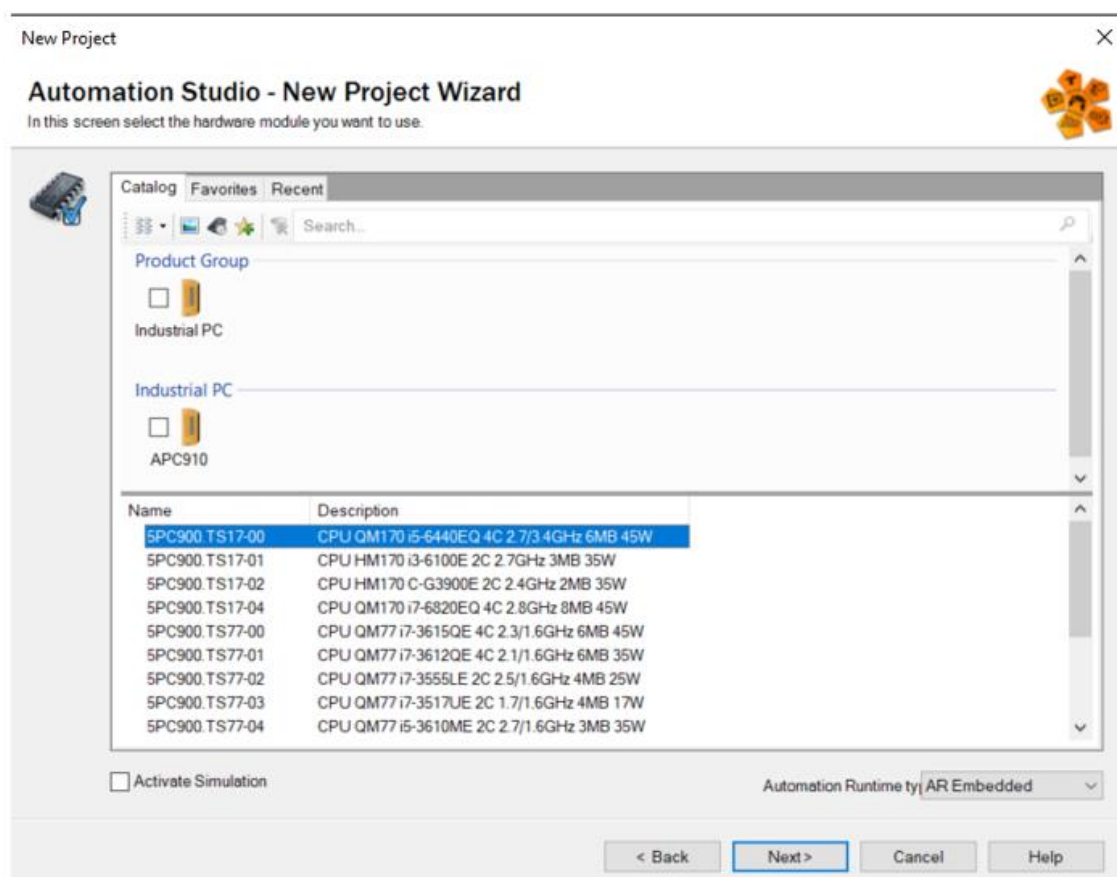
- C API
- C Interface
- C++ Class
- JavaScript Module
- Python Module

[4, s. 157; 10.]

## 4 ExOS:n käyttöönotto

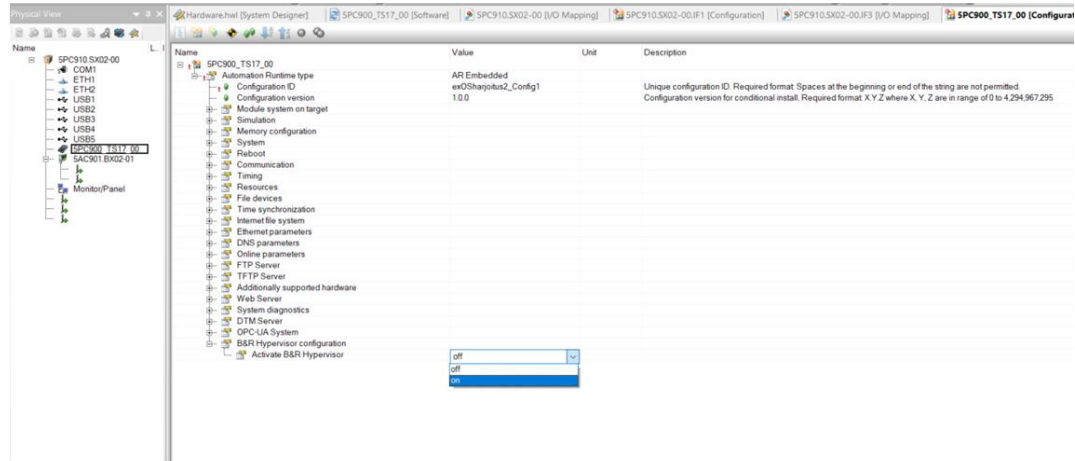
Käyttöönotossa käytettiin Automation PC 910 SX02-00:aa, johon oli esiasennettu B&R Linux 10, sekä USB-tikkua, joka sisälsi Hypervisorin asennustiedoston. Ensin asennustiedostosta asennettiin ajurit ja sen jälkeen itse ohjelma APC:lle. Linux-käyttöjärjestelmästä määritettiin Hypervisorille kovalevytilaa, jota se käyttää jaettuna muistina tiedonsiirtoon. APC:n lisäksi käytettiin tietokonetta, jolle oli asennettu AS:n version 4.10, joka sisälsi AR:n version b4.91.

Automation Studioon luotiin uusi projekti, jossa valittiin oikea APC. APC:n yksityiskohtaiset tiedot löytyvät laitteen takapaneelissa olevasta tarrasta. Käytössä oli versio, jossa on Intelin valmistama i5-6440EQ prosessori ja tietokoneväylänä (Peripheral Component Interconnect) Bus 1PCI 1PCIe.x4 1SI. Nämä valittiin myös AS-projektiin.



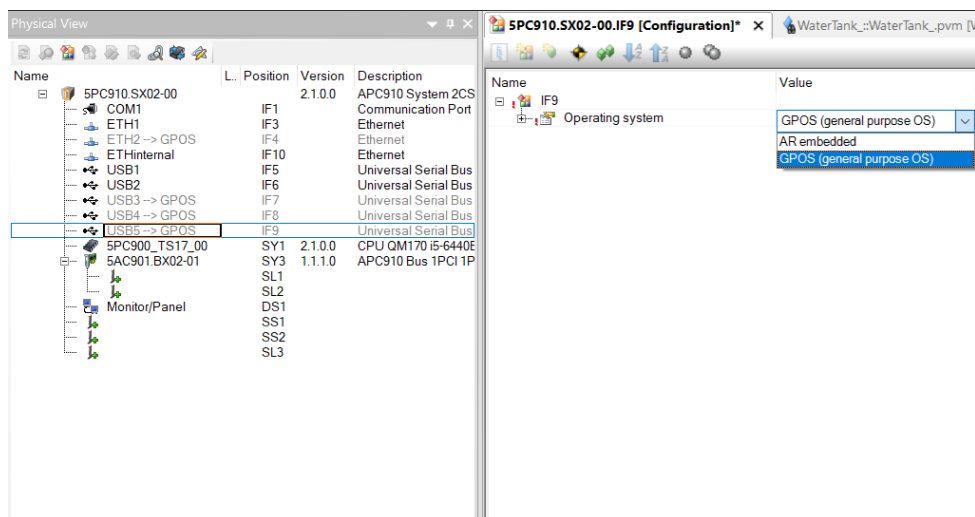
Kuva 7. AS-projektiin valitaan käytössä olevan APC:n versiota vastaava prosessori. Näyttökuva käyttöönotosta.

Kun projekti oli luotu, Hypervisor pystyttiin määrittämään AR:lle käyttöön prosessorin konfiguraatiosta. Sen jälkeen määrittiin AR käyttämään 1 gigabitin DRAM:ia (Dynamic Random Access Memory).



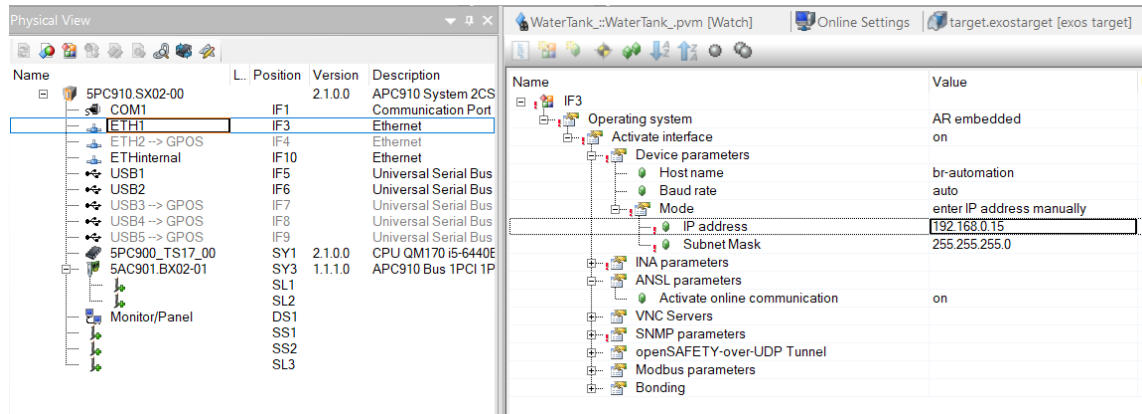
Kuva 8. Hypervisor aktivoidaan prosessorille. Näyttökuva käyttönotosta.

Hypervisorin määrittämisen jälkeen AS-projektissa määritettiin osa APC:n portteista Linuxille. Ethernet 2-, USB 3-, 4- ja 5-portit määritettiin GPOS:lle (General Purpose Operating System) eli Linux-järjestelmän käyttöön (Kuva 9). APC:n USB-portteja voidaan käyttää esimerkiksi hiiren ja näppäimistön liittämiseen.



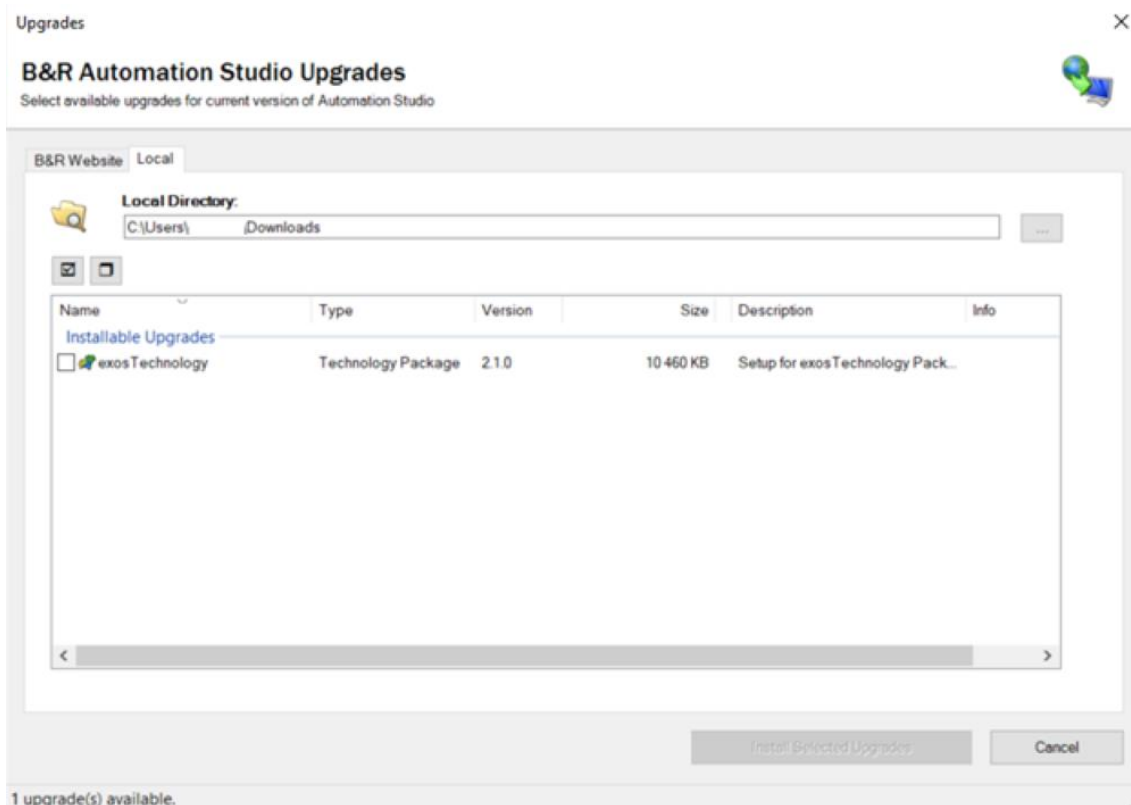
Kuva 9. USB 5 -portti määritetään GPOS:lle. Näyttökuva käyttönotosta.

Seuraavaksi IP-osoite (Internet Protocol) määritettiin ETH1-konfiguraatiosta. IP-osoite löytyi APC:n tarrasta, ja Subnet Mask määritettiin 255.255.255.0. (Kuva 10).



Kuva 10. ETH1-konfiguraatiosta määritettiin laitteen parametrin modeen IP-osoite ja Subnet Mask. Näyttökuva käyttöönotosta.

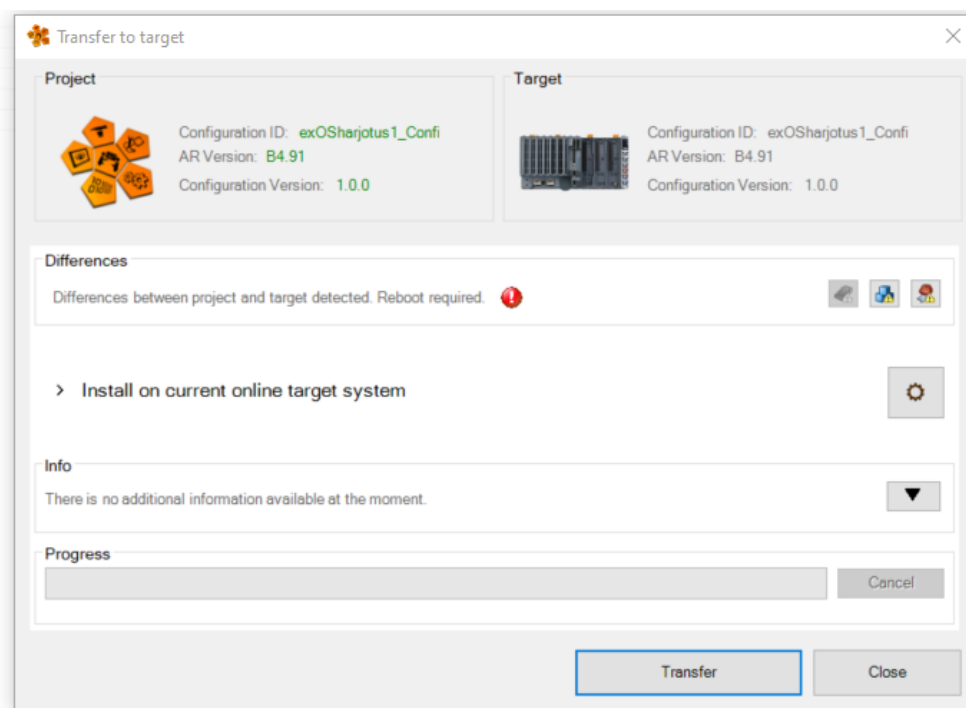
Käyttöönotossa käytettiin exOS-paketin versiota 2.1.0.11 B&R:n sivuilta. ExO-Sin asennus AS:n projektiin tapahtuu tools-valikosta löytyvällä upgrades-toiminnolla.



Kuva 11. ExOS Technology -paketti valitaan asennettavaksi upgrades-toiminnolla. Näyttökuva käyttöönotosta.

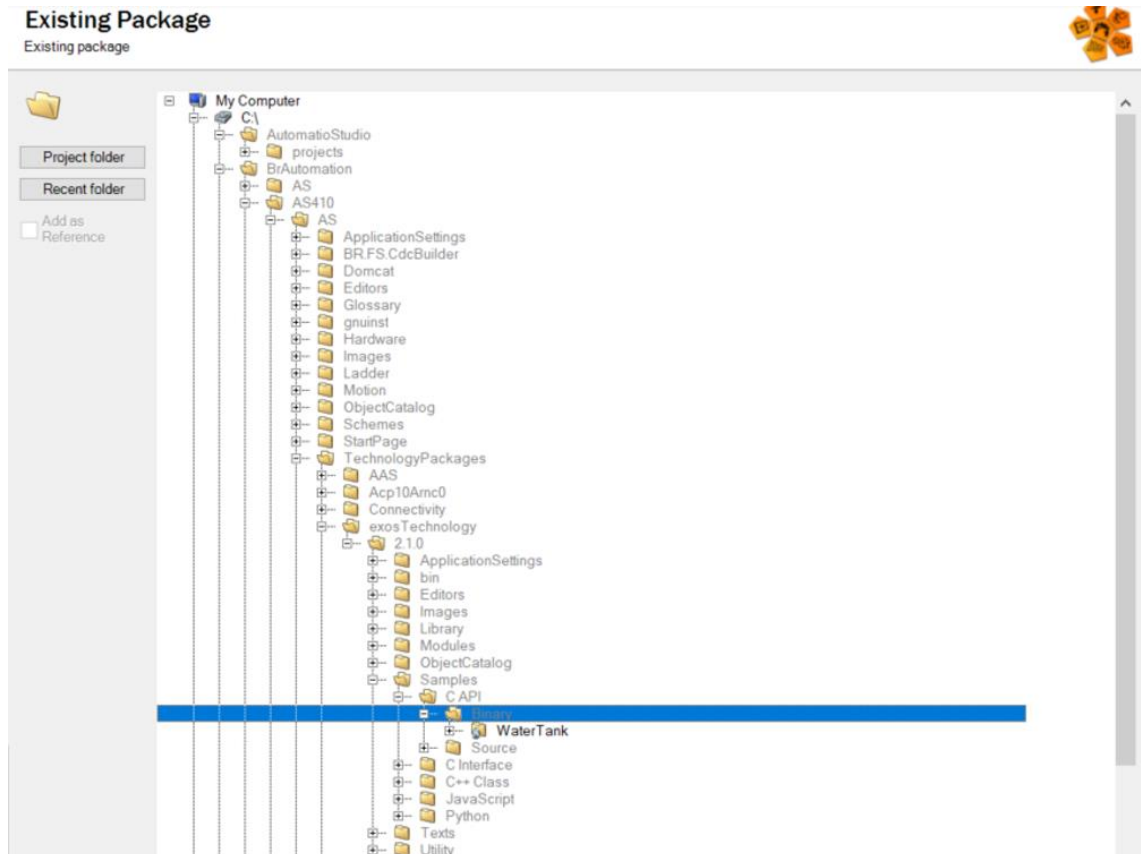
AS:n configuration viewstä valittiin APC. Sen jälkeen object catalogista lisättiin exOS Component Technology ja exOS Target Configuration. ExOS Target mahdollistaa AR:n ja exOS:in kohdejärjestelmän välisen vuorovaikutuksen. [4, s. 52, 46.]

Kun exOS Component ja Target oli asennettu, APC yhdistettiin ethernet-kaapeilla tietokoneeseen ja Online Settingsistä määritettiin TCPIP, joka löytyi Online Settingsistä. Online Settingsistä täytettiin Username ja Password, määritettiin APC:n IP-osoite ja siirrettiin AS-projekti APC:lle transfer to target -toiminnolla. APC buuttasi itsensä muutaman kerran siirron yhteydessä.



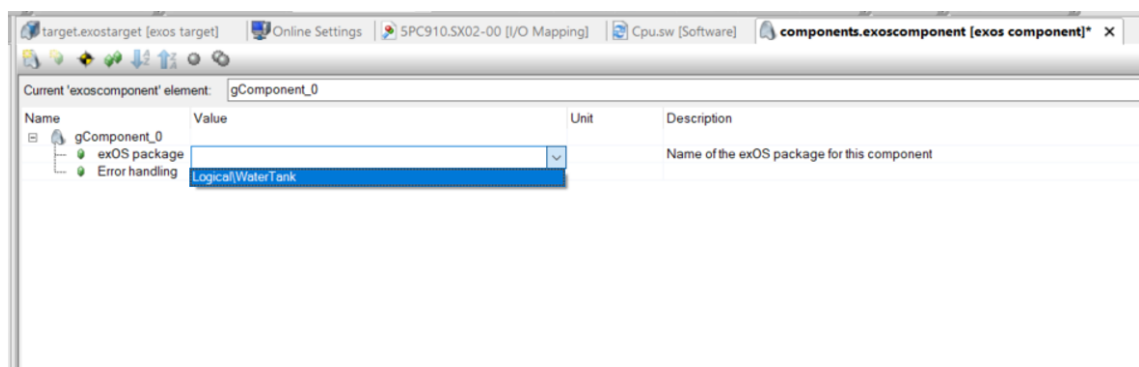
Kuva 12. AS-projekti siirretään APC:lle. Näyttökuva käyttöönotosta.

ExOSin sisältämä esimerkkiprojekti WaterTank lisättiin AS-projektiin. WaterTankin lisääminen tapahtuu Existing Package -toiminnolla AS:n Logical View:ssä.



Kuva 13. Kuvassa näkyy WaterTank-esimerkkiprojektin sijaintipolku. Näyttökuva käyttöön otosta.

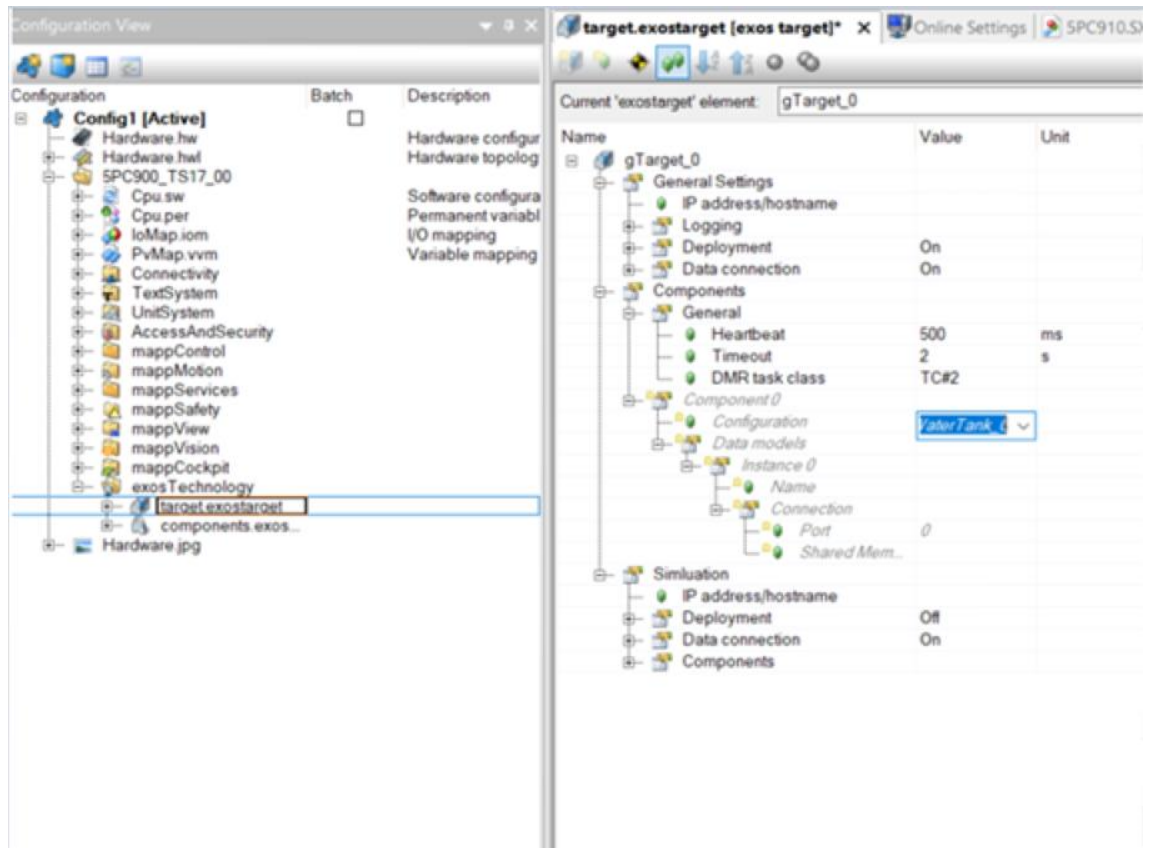
WaterTank ilmestyi prosessorin software-näkymään merkinä onnistuneesta asennuksesta. ExOS Componentin Configuration View:ssä exOS-package määritettiin käyttämään WaterTankia.



Kuva 14. ExOS-komponentille määritetään WaterTank. Näyttökuva käyttöön otosta.



ExOS-targetin komponentti määritettiin käyttämään WaterTank\_0:aa kuvan 15 mukaisesti. Tämän jälkeen projekti siirrettiin APC:lle Transfer to target -toiminnolla.

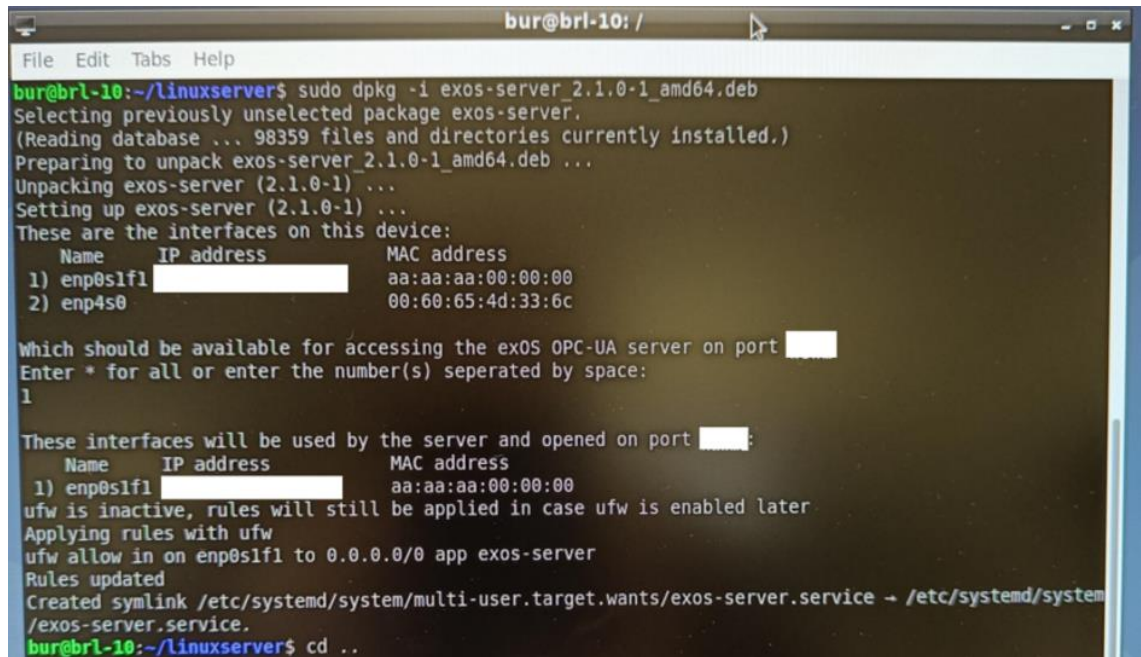


Kuva 15. ExOS-targetin komponentti määritetään WaterTank\_0:lle. Näyttökuva käyttöönotosta.

APC vaati myös Linux-serverin asennuksen, johon löytyi asennustiedosto exOS Technology -kansista AS:n asennuskansiosta. Serveri tuli asentaa Linuxin Debianille. Kun asennuspaketti oli tuotu APC:hen muistitikulla, asennus tehtiin komennolla:

```
sudo dpkg -i exos-server_2.1.0-1_amd64.deb
```

Komennon jälkeen Linux kysyi, kumpi vaihtoehto mahdollistaa yhteyden exOS Target Configurationiin. Valittiin vaihtoehto, jossa oli APC:n IP näkyvillä.



```
bur@brl-10: /
File Edit Tabs Help
bur@brl-10:~/linuxserver$ sudo dpkg -i exos-server_2.1.0-1_amd64.deb
Selecting previously unselected package exos-server.
(Reading database ... 98359 files and directories currently installed.)
Preparing to unpack exos-server_2.1.0-1_amd64.deb ...
Unpacking exos-server (2.1.0-1) ...
Setting up exos-server (2.1.0-1) ...
These are the interfaces on this device:
  Name      IP address      MAC address
 1) enp0s1f1 [redacted] aa:aa:aa:00:00:00
 2) enp4s0      00:60:65:4d:33:6c

Which should be available for accessing the exOS OPC-UA server on port [redacted]
Enter * for all or enter the number(s) separated by space:
1

These interfaces will be used by the server and opened on port [redacted]:
  Name      IP address      MAC address
 1) enp0s1f1 [redacted] aa:aa:aa:00:00:00
ufw is inactive, rules will still be applied in case ufw is enabled later
Applying rules with ufw
ufw allow in on enp0s1f1 to 0.0.0.0/0 app exos-server
Rules updated
Created symlink /etc/systemd/system/multi-user.target.wants/exos-server.service → /etc/systemd/system/exos-server.service.
bur@brl-10:~/linuxserver$ cd ..
```

Kuva 16. ExOS-serveripaketille ajetaan asennuskomento Linuxilla. Näyttökuva käyttöönotosta.

Yhteyden tarkistaminen onnistui Watertank Watch:n kautta, muuttuja ExComponentInfo\_0 lisättiin Watch-ikkunaan. Yhteys oli onnistunut, kun Operational oli True, Kuvan 17 mukaisesti.

| Name                   | Type       | Scope | Force | Value          |
|------------------------|------------|-------|-------|----------------|
| ExDatamodelInfo_0      | ExDatamod  | local |       |                |
| ExDataConnectionInfo_0 | ExDataConr | local |       |                |
| ExComponentInfo_0      | ExCompone  | local |       |                |
| ExTargetLink           | UDINT      |       |       | 225476644      |
| ExComponentLink        | UDINT      |       |       | 225476640      |
| Enable                 | BOOL       |       |       | TRUE           |
| Active                 | BOOL       |       |       | TRUE           |
| Error                  | BOOL       |       |       | FALSE          |
| StatusID               | DINT       |       |       | 0              |
| Name                   | STRING[35] |       |       | 'gWaterTank_0' |
| Deploying              | BOOL       |       |       | FALSE          |
| Operational            | BOOL       |       |       | TRUE           |
| Stopped                | BOOL       |       |       | FALSE          |
| Aborted                | BOOL       |       |       | FALSE          |
| Diag                   | ExCompone  |       |       |                |
| Files                  | ExCompone  |       |       |                |
| Configured             | UDINT      |       |       | 1              |
| Deployed               | UDINT      |       |       | 1              |
| Failed                 | UDINT      |       |       | 0              |
| StartupServices        | ExCompone  |       |       |                |
| Configured             | UDINT      |       |       | 1              |
| Finished               | UDINT      |       |       | 1              |
| Failed                 | UDINT      |       |       | 0              |
| RuntimeServices        | ExCompone  |       |       |                |
| Configured             | UDINT      |       |       | 1              |
| Running                | UDINT      |       |       | 1              |
| Stopped                | UDINT      |       |       | 0              |
| Failed                 | UDINT      |       |       | 0              |
| internal               | UDINT      |       |       | 234013232      |

Kuva 17. WaterTank Watchiin määritetty ExComponentInfo\_0. Näyttökuva käyttöönotosta.

Watchiin lisättiin myös WaterTankCyclic\_0:n ja muuttuja Enable:n arvo muutettiin True:ksi. Error- ja Failed-muuttujat olivat False, ja Operational oli True. Tämän jälkeen Watchiin lisättiin WaterTank\_0, josta MaxTemperature-arvo muutettiin nolasta 90,0:aan, ja Start Trueksi.

Kuvan 18 mukaisesti FillValve:n arvo muutettiin 1:ksi, jolloin status muuttui VALVE\_OPEN. WaterLevel nousi arvoon 1000, jonka jälkeen EnableHeater arvo muutettiin True:ksi. WaterTemperature nousi, kunnes se ylsi arvoon 90, jolloin HeatingActive sai arvon False. FillValve:n ja EnableHeater:n arvot muutettiin 0:ksi, jolloin WaterLevel-arvo alkoi laskea.

ExOSin esimerkkiprojekti WaterTankin ajaminen onnistui, kun muuttujien arvoja muutettiin. Tämän jälkeen WaterTank toimi suunnitellusti.

|                   |            |       |            |
|-------------------|------------|-------|------------|
| WaterTank_0       | WaterTank  | local |            |
| FillValve         | VALVE_ST/  |       | VALVE_OPEN |
| EnableHeater      | BOOL       |       | TRUE       |
| HeaterConfig      | WaterTankt |       |            |
| MaxTemperature    | REAL       |       | 90.0       |
| MaxPower          | REAL       |       | 0.5        |
| Status            | WaterTankS |       |            |
| LevelHigh         | BOOL       |       | TRUE       |
| LevelLow          | BOOL       |       | FALSE      |
| FillValveDelay    | DINT       |       | 20162      |
| WaterLevel        | DINT       |       | 1000       |
| Heater            | WaterTankt |       |            |
| WaterTemperature  | REAL       |       | 88.50084   |
| HeatingActive     | BOOL       |       | FALSE      |
| StatusDelay       | DINT       |       | 39795      |
| StatusUpdates     | UDINT      |       | 11028      |
| ExComponentInfo_0 | ExCompone  | local |            |

Kuva 18. Watch table näkymä AS:sta. Näyttökuva käyttöönotosta.

## 5 Kilpailevat tuotteet

### 5.1 Beckhoff

Beckhoff on globaali automaatiojärjestelmäsektorin yritys. Vuoden 2021 liikevaihto oli 1,182 miljardia euroa. Heidän pääkonttorinsa sijaitsee Saksassa Verlissä. Beckhoff työllistää maailmanlaajuisesti 5 000 työntekijää. Beckhoff tuottaa avoimia automaatiojärjestelmiä, jotka perustuvat PC-pohjaiseen ohjaustekniikkaan. Yrityksen tuotteet ja palvelut tarjoavat muun muassa seuraavia ratkaisuja: teollisuus-PC:t, I/O- ja kenttäväyläkomponentit, liikkeenohjaustuotteet, automaatio-ohjelmistot, ohjauskaapittoman automaation ja teollisen kuvankäsittelyn laitteisto. Yritys myös toimittaa kaikille alueille tuotelinjoja, jotka toimivat yksittäisinä komponentteina tai ryhmäksi yhdistettynä täydellisenä, koordinoituna ohjausjärjestelmänä. [11.]

Beckhoffin tuote on TwinCAT3/BSD ja se pohjautuu avoimen lähdekoodin UNIX-järjestelmään, jolla voidaan ajaa TwinCAT Runtimea. Free BSD tulee sanoista Berkeley Software/System Distribution, ja se on Unix-järjestelmän toinen päähaara. Heidän tuotteensa tukee kaikkia TwinCAT 3 Runtime -toimintoja ja ohjelmointi tehdään Microsoftin Visual Studioon perustuvalla TwinCAT 3 XAE (Extended Automation Engineering) Windows -tietokoneella. TwinCAT/BSD myös tukee joitakin Linuxin kaltaisia ohjelmistoja sekä kaikkia Beckhoffin teollisuusalustoja. Myös HTML5-internetselaimia voidaan käyttää tuoteperheen HMI:nä. Yrityksen Runtime on Twincat 3 XAR (Extended Automation Runtime). [12.]

### 5.2 Keba

KEBA Industrial Automation on yksi kolmesta liiketoiminta-alueesta KEBA-konsernissa, jonka pääkonttori on ollut Linzissä Itävallassa sen perustamisesta lähtien vuodesrta 1968. KEBA:lla on yli 25 tytäryhtiötä, ja se on kansainvälisesti edustettuna 15 maassa. Vuoden 2021 koko liikevaihto oli 537,7. KEBA tarjoaa

räätälöityjä teollisuusautomaation automaattioratkaisuja yleiseen kone- ja laitosuunnitteluun, muovikoneisiin, robotiikkaan, tuulienergiaan, työstökoneisiin ja ohutlevyjen käsittelyyn. KEBA:lla ei ole Suomessa konttoria.

[13.]

Keban FlexCore tarjoaa räätälöidyn automaattioratkaisun, jossa vuorovaikutus koostuu avoimuudesta. FlexCore tarjoaa kolmea erilaista pakettia, jotka voidaan räätälöidä käyttäjän tarpeisiin ja myös myöhemmin laajentaa lisämoduuleilla. Myös kolmannen osapuolen ohjelmat voidaan integroida käyttöön milloin tahansa.

Paketit ovat:

FlexCore Basic

Optimoitu IPC alusta

- Windows tai Linux käyttöjärjestelmä
- Standardoitu API (Application programming interface)
- lisädiagnostiikkatoimintot (diagnostic features)
- Nopea asennus ja helppo backup/restore

FlexCore REALTIME

Reaaliaikainen käyttö KEBA I/O järjestelmien kanssa.

- Standardi linux luotettavilla reaaliaikaisilla laajennuksilla
- erikoiskehitysympäristö, jossa on C-kieli ja etä debuggaus
- Reaaliaikainen ohjelmointi ja I/O järjestelmän käyttöliittymä
- Olemassa olevan ohjelmiston siirtäminen POSIX API:lla

FlexCore PLC

Codesys IEC standardit C/C++ ohjelmointi vaihtoehtona kanssa

- Integroitu käyttäjän Runtime-järjestelmä C-kielellä rinnakkain IEC-kielen kanssa

- Kokonaisvaltainen engineering tool, joka on sopiva field bus:iin, I/O-konfigurointiin ja C-ohjelmointiin
- Yhteensopiva KeView visualization -ohjelman kanssa

[14 s. 11.]

### 5.3 Pheonix Contact

Pheonix Contact on perustettu 1923 Essenissä, Saksassa ja päätoimipaikkana toimii Saksan Blomber. Yrityksellä työskentelee maailmanlaajuisesti 20 300 henkilöä yli sadassa maassa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2021 oli 2,97 miljardia euroa. Suomessa toimii tytäryhtiö, joka tuottaa automaattioratkaisuja ja heidän päätoimistonsa sijaitsee Vantaalla. Pheonix Contact tarjoaa Suomessa myynti-, neuvonta- ja tukipalveluita kuin myös koulutuksia omiin tuotteisiin. [15.]

PLCnext Control on ekosysteemi PLCnext technology -laitteistolle. PLC:tä pyörittää Linux-ydin, joka mahdollistaa IEC 61131-standardin lisäksi myös C/C++, MATLAB, Simulink, Eclipse tai Visual Studion käytön PLCnext:issä. Pheonix Contact tarjoaa maksuttoman sovelluksen PLCnext Engineerin perusversion, joka tukee IEC 61131-3 standardeja. Sillä voidaan tuottaa omia sovelluksia tai hyödyntää erilaisia ohjelmaympäristöjä, kun ostaa PLCnext Storesta lisätoimintoja. Tuotteeseen kuuluu myös pilvi-integrointi, joka tukee avointen lähdekoodien käyttöä. Pheonix Contact myös tarjoaa PLCnextin ympärille oman yhteisön, jolla voi tehdä yhteistyötä muiden kanssa. Automaatiotyökaluna toimii PLCnext Engineer.

Ratkaisusovellukset, kuten ohjelmointimoduulit, toimintolaajennukset ja Runtime-järjestelmät voidaan ladata PLCnext Storesta. Tuote käyttää puhelinmaailmaan rinnastettua ajattelua, jossa tarvittavat ominaisuudet voidaan ladata Storesta. Sieltä voi myös löytää kolmannen osapuolen tekemiä sovelluksia, joita PLCnext yhteisö tuottaa. Tämän takia PLCnextin käyttömahdollisuudet lisääntyvät sitä mukaan, kun uusia sovelluksia luodaan. [16; 17.]

## 5.4 Rexroth

Bosch Rexroth on Robert Bosch GmbH:n tytäryhtiö, joka on saksalainen monialayritys. Maailmanlaajuisesti Bosch Rexroth työllistää 31 100 henkilöä, ja yrityksen liikevaihto oli vuonna 2021 noin 6,2 miljardia euroa.

Bosch Rexroth tarjoaa hydraulikkaa, servokäyttö- ja ohjausteknologiaa, voimansiirtoa ja kokoonpanoteknologiaa, johon sisältyy IoT:ta vaativat ohjelmistot ja rajapinnat. Suomessa Bosch Rexroth:lla on tytäryhtiö, joka kuuluu globaaliin Bosch-ryhmään. Suomessa Bosch Rexroth Oy tarjoaa neuvonta-, kokoonpano-, suunnitelu- ja huoltopalveluja sekä käyttöönottoa ja koulutusta asiakkaille. Suomessa yritys työllistää noin 100 henkilöä. [18.]

Rexrothin tuote on nimeltään ctrlX CORE. Järjestelmä perustuu myös Linuxiin, jossa toiminta toteutetaan puhelinmaailmasta saadusta sovellusideasta eli piensovelluksista. CtrlX CORE:ssa piensovelluksia voidaan asentaa, kehittää ja muuttaa ohjelmalla ctrlX WORKS, joka on Rexrothin omaa ohjelmistoa. Omien sovellusten toteuttamisessa voidaan käyttää Linuxin tukemia ohjelmointikieliä, muun muassa C/C++:aa, Pythonia tai Javaa, IEC 61131-ohjelmointikielien lisäksi. [19, s. 1–2.]

CtrlX CORE hyödyntää myös Rexrothin hyväksymiä kolmansien osapuolten tekemiä piensovelluksia. Sovelluksia voi ladata yrityksen Storesta. Omien sovellusten tekeminen ja niiden käyttö on myös mahdollista; jos haluaa Storeen oman sovelluksen, on tehtävä Rexrothin kanssa sopimus. Rexroth tarkistaa, että sovellus täyttää heidän vaatimuksensa. Rexroth ottaa sovitun välityspalkkion kolmannen osapuolen sovelluksesta storessa. [20; 21.]

CntrX Data Layer on alustan ydin, jonka kautta järjestelmät ja sovellukset voivat käyttää parametrejä ja dataa reaaliajassa. Data Layer yhdistää piensovellukset, jolloin ne voi keskustella ja vaihtaa dataa keskenään, kun taas exOS:ssa kommunikointi tapahtuu IPC:n avulla hybridikomponenttien välityksellä. Myös Data Layerilla voi tarkastella parametrejä ja dataa selaimesta Worksin kautta. [22.]



## 5.5 Wago

Wago Group:n pääkonttori sijaitsee Mindenissä, Saksassa ja se on perustettu 1951. Wago on maailmanlaajuinen yritys ja yrityksen ydinosaamista ovat sähköliitokset, rajapinnan elektroniset tekniikat ja automaatio. Wago Group työllistää maailmanlaajuisesti tällä hetkellä yli 80 eri maassa noin 8000 henkilöä, joista yli 3500 työllistyy Saksassa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2021 oli miljardi euroa.

Suomessa toimii tytäryhtiö Wago Finland Oy, joka on toiminut ensin nimellä WAGO Suomi perustamisvuodesta 2003 vuoteen 2015 asti, jolloin yrityksen nimeksi tuli WAGO Finland Oy yhtiömuodon muutoksen takia. Wago Finland Oy työllistää Suomessa noin 15 henkilöä ja sen päätoimipiste on Vantaalla. [23.]

Wagon laitteena toimii PFC100- ja PFC200-PLC:t, joissa käyttöjärjestelmänä toimii Linux ja automaatiotyökaluna e! COCKPIT. [24.]

## 6 Vertailu

Tässä luvussa vertailen edellisessä luvussa esiteltyjä automaatiojärjestelmiä. Valitsin vertailuun ominaisuudet, jotka kertovat järjestelmien käytettävyydestä ja niiden toiminnasta käytännössä. Vertailen eri automaatiojärjestelmien seuraavia ominaisuuksia:

- asiakastuki Suomessa (taulukossa Asiakastuki)
- laitteisto, jolla järjestelmää käytetään (Laitteisto)
- ohjelmointikielet, joita järjestelmässä voidaan käyttää (Ohjelmointikielet)
- tarvittavat lisenssit (Lisenssit)
- mahdollisuus simuloida ilman laitteistoa (Simulointi ilman laitteistoa)
- Visual Studio Code:n (IDE) käyttömahdollisuus (VS Code)
- yrityksen omia käyttö- tai ohjevideoita saatavilla verkossa (Demovideot)
- järjestelmällä sovelluspohjainen toteutus (Sovelluspohjainen)

Taulukko 1. Eri valmistajien automaatiojärjestelmien ominaisuuksien vertailu.

|                   |  |  |  |   |   |  |
|-------------------|--|--|--|---|---|--|
| Yritys            | B&R                                      | Beckhoff   | Keba   | Pheonix<br>Contract                               | Bosch/Rex-<br>roth  | Wago   |
| Järjestelmä       | <b>exOS</b>                              | <b>Twin-<br/>Cat3/BSD</b>                                  | <b>FlexCore</b>  | <b>PLC-<br/>next</b>                              | <b>ctrlXCORE</b>  | <b>Embed-<br/>ded-li-<br/>nux</b>                |
| Asiakastuki       | √  | √  | -  | √   | √   | √  |
| Laitteisto        | Omat Au-<br>tomation<br>PC:t             | Omat In-<br>dustrial<br>PC:t                               | Omilla lait-<br>teistoilla                                       | Oma<br>PLC<br>tuote-<br>perhe                     | Oma tuote<br>ctrlXCORE<br>ja<br>Laitteis-<br>tosta riip-<br>pumaton<br>ohjelmisto | Oma<br>PFC100<br>ja<br>PFC200<br>tuote-<br>perhe |
| Ohjelmointikielet | IEC<br>61131-3 +<br>Linuxin tu-<br>kemat | IEC<br>61131-3 +<br>C/C++ ja<br>Math-<br>lab/Sim-<br>ulink | Codesys<br>pohjainen<br>vaihto-<br>ehto,<br>IEC61131-<br>3 ja C# | IEC<br>61131-<br>3 +<br>C/C++<br>ja Sim-<br>ulink | IEC 61131-<br>3 + Linuxin<br>tukemat  | IEC<br>61131-3<br>+ li-<br>nuxin<br>tukemat      |

|                              |  |   |     |  |  |     |
|------------------------------|--|---|-----|--|--|-----|
| Lisenssit                    | Hypervisor, Automation runtime ja exOS | TwinCat3 + XAE + XAR BSD ilman lisenssiä(?) | (?) | PLC-next storesta ostetut ominaisuudet | ctrlX CORE storesta ostetut ominaisuudet | (?) |
| Simulointi ilman laitteistoa | √                                      | √   | √   | √                                      | √  | (?) |
| VS Code                      | √                                      | √   | √   | √                                      | √  | (?) |
| Demovideot                   | -                                      | -   | -   | √                                      | √  | -   |

|                   |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
| Sovelluspohjainen | - | - | - | √ | √ | - |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|

FlexCorea lukuun ottamatta kaikilla vertailtavilla järjestelmillä on Suomessa sijaitseva asiakastuki eli Suomessa toimiva toimisto, johon voi ottaa yhteyttä esimerkiksi ongelmatilanteissa. [1; 11; 13; 15; 18; 23.]

CtrlX Core on järjestelmistä ainoa, jolla on laitteistosta riippumaton ohjelmisto, kun muut vaativat käyttöönsä yrityksen oman laitteiston. Tämä lisää CtrlX:n käyttömahdollisuuksia, kun muita rajoittaa tarve käyttää niiden omia laitteita. [25; 26, s. 16; 27; 28, s. 44; 29, s. 2.]

ExOSissa, CtrlX Coressa ja Embedded-Linuxissa voidaan käyttää Linuxin tukemia korkean tason ohjelmointikieliä, kun muut hyödyntävät C/C++-kieliä. Kaikissa vertailun järjestelmissä voidaan käyttää IEC 61131-3-kieliä. [4, s. 1; 30, s. 7; 31; 16; 19, s. 1; 29, s. 2.]

CtrlX Coren ja PLCnext:n toiminta perustuu asiakkaan tarpeisiin sopivien lisenssien hankintaan. Lisenssejä ostetaan järjestelmien omista kaupoista. ExOS vaatii toimiakseen myös Hypervisorin ja AR:n lisenssit. TwinCat3/BSD:n BSD-lisenssi on ilmainen, mutta se vaatii myös useampia lisenssejä. Embedded-Linuxin ja FlexCoren vaatimista lisensseistä ei löytynyt tietoa. [4, s. 8; 32; 33; 28, s. 24.]

Vertailussa mukana olevilla automaatiojärjestelmillä voi simuloida myös ilman laitteistoa, lukuun ottamatta Wagoa, jonka kohdalta tätä tietoa ei löytynyt. ExOSilla simuloinnilla ilman laitteistoa ei päästä muutaman mikrosekunnin vasteaikaan, johon laitteistoa käyttämällä voidaan päästä. [4, s. 9; 30, s. 4; 34; 35.]

PLC-next ja CtrlXcore ovat vertailun ainoat sovelluspohjaiset järjestelmät. Tämä on uusi toteutustapa automaatiassa, eikä siitä ole vielä julkaistuja käyttökokeimuksia isoista projekteista. Heiltä löytyy myös demovideoita käytöstä. [21; 33; 22; 36.]

## 7 Yhteenveto

Korkean tason ohjelmointikielien käyttö mahdollistaa automaatioprojektien helpomman ja nopeamman toteuttamisen IEC-61131-3-kieliin verrattuna. Myös su-lautettujen järjestelmien- ja automaatiotiimin välistä yhteistyötä voidaan tiivistää korkean tason ohjelmointikielten käytön myötä. Näiden korkean tason kieliin liit-tyvien etujen valossa suosittelen Etteplanin perehtyvän lisää korkean tason oh-jelmointikieliä tukeviin embedded-PLC-ratkaisuihin eli exOSiin, ctrlX COREen ja Embedded-Linuxiin. Embedded-Linuxista oli kuitenkin huomattavasti vähem-män tietoa saatavilla, kuin exOSista ja ctrlX COREsta.

Tässä opinnäytetyössä perehdyin ja tutustuin etenkin automaatiotyökalun lisä-osaan exOS:iin. Sen käyttöönotto onnistui opintojen loppusuoralla olevalta opis-kelijalta yllättävän helposti, josta voidaan päätellä, että sen käyttöönotto Ettepla-

nin automaatiopuolellakin olisi vaivatonta. ExOS:n käyttömahdollisuuksiin tutustuminen jäi vajaaksi ajan ja kokemuksen puutteen vuoksi. ExOS:n teoriaan perehtymisen perusteella käyttömahdollisuuksia on kuitenkin rajattomasti, minkä perusteella Etteplan voisi hyödyntää sitä lukuisissa erilaisissa automaatioprojekteissaan.

Vertailussa ctrlX CORE:n piensovelluspohjainen toteutus on mielestäni kiinnostava, koska se on uusi tapa tuottaa automaatioprojekteja. Lisäksi ctrlX CORE:n käyttö ei ole sidottu yrityksen omaan laitteistoon. Ctrl CORE on myös julkaissut demovideoita Rexrothin omalla YouTube-kanavalla. CtrlX CORE Worksia voi myös kokeilla ilman muita lisenssejä ja laitetta kirjautumalla Rexrothin sivustolle. Works mahdollistaa myös ohjelmoinnin ilman ohjelmiston lataamista selaimen välityksellä. (cntrX\_Automation PDF) Näiden vahvuuksien takia olisin perehtynyt ctrlX COREeseen enemmän ja pyrkinyt kokeilemaan sitä käytännössä, jos aikaa olisi ollut enemmän. Olisin perehtynyt myös exOSin käytäntöön enemmän, jotta olisin saanut selville, miten exOSin komponentteja luodaan Component Generatorilla ja miten se toimii alusta asti itse luodussa projektissa.

## Lähteet

- 1 B&R:n kotisivu. Verkkoaineisto. <<https://www.br-automation.com/en/about-us/> <https://www.br-automation.com/en/about-us/>>. Luettu 28.10.2022.
- 2 TM210 Working with Automation Studio. 2021.PDF-aineisto verkosta saatavilla. <<https://www.br-automation.com/en/academy/classroom-learning/training-modules/control-technology/tm210-working-with-automation-studio/>>. Luettu 28.10.2022.
- 3 B&R:n kotisivu. Verkkoaineisto. <<https://www.br-automation.com/en/products/software/additional-information/programming/>>. Luettu 28.10.2022.
- 4 B&R:n exOShelp. PDF-aineisto. Luettu 5.10.2022.
- 5 Linux for B&R 10 User's manual. PDF-aineisto verkosta saatavilla <<https://www.br-automation.com/en/downloads/software/operating-systems/linux-for-br-10/br-linux-10-users-manual/?noredirect=1>>. Luettu 28.10.2022.
- 6 B&R:n kotisivu. Verkkoaineisto. <<https://www.br-automation.com/en/about-us/press-room/two-operating-systems-on-one-device-16-08-2017/?noredirect=1>>. Luettu 30.10.2022.
- 7 B&R:n kotisivu. Verkkoaineisto. <<https://www.br-automation.com/en/technologies/exos/a-solution-for-every-occasion/>> Luettu 30.10.2022.
- 8 TM213 Automation Runtime. PDF-aineisto verkosta saatavilla. <<https://www.br-automation.com/en/technologies/exos/a-solution-for-every-occasion/>>. Luettu 20.10.2022.
- 9 Github. Verkkoaineisto. <<https://github.com/br-automation-com/exOS-WSL>>. Luettu 25.10.2022.
- 10 Visual Studio Marketplace. Verkkoaineisto. <<https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=exOS-ComponentExtension.exos-component-extension&ssr=false#overview>>. Luettu 18.11.2022.
- 11 Beckhoff:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/company/>>. Luettu 2.11.2022.
- 12 Beckhoff:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/ipc/software-and-tools/operating-systems/c9900-s60x-cxxxxx-0185.html>>. Luettu 2.11.2022.

- 13 Keba:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.keba.com/en/corporate/about/overview/overview#section-97806d8c-ccd3-4175-9669-ffb5beaa644c>>. Luettu 2.11.2022.
- 14 KeControl FlexCore. PDF-aineisto verkosta saatavilla. < <https://pdf.directindustry.com/pdf/keba-group-ag/kecontrol-flexcore/13968-830755.html>>. Luettu 2.11.2022.
- 15 Phoenix Contact:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/phoenix-contact-suomessa>>. Luettu 3.11.2022.
- 16 Pheonix Contact:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/teollisuudenalat/plcnext-technology>>. Luettu 3.11.2022.
- 17 Pheonix Contact:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.phoenixcontact.com/fi-fi/tuotteet/programming-plcnext-engineer-1046008>>. Luettu 3.11.2022.
- 18 Rexroth:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.boschrexroth.com/fi-fi/yritys/we-move-you-win/>>. Luettu 22.10.2022.
- 19 cntrlX Automation. PDF-aineisto verkosta saatavilla. <<https://www.boschrexroth.com/fi-fi/tuotteet/tuoteryhmaet/saeh-koekaeytoet-ja-ohjausjaerjestelmaet/aihealueet/ctrlx-automation/ctrlx-core/>>. Luettu 22.10.2022.
- 20 Rexroth:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://developer.community.boschrexroth.com/t5/Store-and-How-to/Activate-an-App-License-for-your-ctrlX-CORE/ba-p/23946>>. Luettu 25.10.2022.
- 21 Rexroth:n kotisivut. Verkkoaineisto. <[https://developer.community.boschrexroth.com/t5/Store-and-How-to/bg-p/dcdev\\_community-dev-blog/label-name/rx\\_c\\_Store](https://developer.community.boschrexroth.com/t5/Store-and-How-to/bg-p/dcdev_community-dev-blog/label-name/rx_c_Store)>. Luettu 22.10.2022.
- 22 Rexroth:n youtubekanava. Verkkovideo. <<https://youtu.be/Gehz4Pf3xNc>>. Katsottu 2.12.2022.
- 23 Wago:n kotisivut. Verkkoaineisto. <[www.wago.com/fi](http://www.wago.com/fi)>. Luettu 10.11.2022.
- 24 Wago:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.wago.com/global/embedded-linux>>. Luettu 10.11.2022.
- 25 B&R:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.br-automation.com/en/technologies/exos/a-solution-for-every-occasion/>>. Luettu 20.11.2022.



- 26 Beckhoff kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/ipc/software-and-tools/operating-systems/c9900-s60x-cxxxxx-0185.html>>. Luettu 20.11.2022.
- 27 PLCnext kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.plcnext-community.net/about-plcnext-technology/plcnext-control/#controller-1>>. Luettu 20.11.2022.
- 28 ctrlX AUTOMATION two steps ahead. PDF-aineisto. Luettu 20.11.2022.
- 29 Wago:n kotisivut. PDF-aineisto verkosta saatavilla. <[https://www.wago.com/global/d/Info\\_60362900](https://www.wago.com/global/d/Info_60362900)>. Luettu 20.11.2022.
- 30 Beckhoff:n kotisivut. PDF-aineisto verkosta saatavilla. <[https://www.beckhoff.com/media/downloads/information-media/brochure\\_twincat\\_bsd\\_final\\_web.pdf](https://www.beckhoff.com/media/downloads/information-media/brochure_twincat_bsd_final_web.pdf)>. Luettu 20.11.2022.
- 31 Keba:n kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.keba.com/en/industrial-automation/products/software/kestudio-engineering>>. Luettu 20.11.2022.
- 32 Beckhoff:n kotisivut. verkkoaineisto. <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/ipc/software-and-tools/twincat-bsd/>>. Luettu 21.11.2022.
- 33 PLCnext store. Verkkoaineisto. <<https://www.plcnextstore.com/eu/>>. Luettu 21.11.2022.
- 34 PLCnext yhteisön verkkosivu. Verkkoaineisto. <[https://www.plcnext.help/te/PLCnext\\_Engineer/PLCnext\\_Engineer\\_Simulation\\_intro.htm](https://www.plcnext.help/te/PLCnext_Engineer/PLCnext_Engineer_Simulation_intro.htm)>. Luettu 21.11.2022.
- 35 Rexroth:n kotisivu. Verkkoaineisto. <<https://apps.boschrexroth.com/microsites/ctrlx-automation/en/portfolio/ctrlx-works/>>. Luettu 21.11.2022.
- 36 Phoenix Contact:n youtubekanava. Verkkovideo. <<https://www.youtube.com/watch?v=luTnMNcey64>>. Katsottu 2.12.2022