

PC-pohjaisen ohjelmoitavan logiikan ominaisuusanalyysi

Anssi Kolehmainen

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Älykkäät koneet

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Älykkäät koneet

Kolehmainen, Anssi:
PC-pohjaisen ohjelmoitavan logiikan ominaisuusanalyysi

Opinnäytetyö 48 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Joulukuu 2022

Opinnäytetyön tarkoituksena oli testata Siemensin tuottaman S7-1500 sarjan PC-pohjaisen ohjelmoitavan logiikan ominaisuuksia ja vertailla niitä perinteisiin S7-1500 sarjan ohjelmoitaviin logiikoihin. Testejä suoritettiin laitteiden suorituskyvylle ja OPC UA -tiedonsiirrolle. Ominaisuustestien lisäksi vertailua laitteiden välillä suoritettiin valmistajan julkaisemien ohjeiden ja tietojen avulla.

Ominaisuustestien ja vertailujen perusteella voitiin todeta, että Siemensin PC-pohjainen ohjelmoitava logiikka on hyvä vaihtoehto perinteiselle ohjelmoitavalle logiikalle suorituskykynsä ja OPC UA -tiedonsiirron osalta. Kytettävien väylälaitteiden määrä PC-pohjaisella ohjelmoitavalla logiikalla oli kuitenkin pienempi kuin toisella vertailussa käytetyllä perinteisellä ohjelmoitavalla logiikalla. Testattu PC-pohjainen ohjelmoitava logiikka ei myöskään muista vertailluista laitteista poiketen mahdollistanut teollisuustietokoneen kytkemistä rengasverkkoon.

Opinnäytetyö tehtiin Insta Automation Oy:lle, joka on osa Insta Group Oy konsernia. Insta Group Oy on vuonna 1960 perustettu suomalainen perheyrittys, joka toimii teollisuusautomaation, teollisen digitalisaation, kyberturvan ja puolustus-tekniikan asiantuntijaorganisaationa.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Intelligent Machines

Kolehmainen, Anssi:
Feature Analysis of Software PLC

Bachelor's thesis 48 pages, appendices 2 pages
December 2022

The purpose of this thesis was to test the properties of a PC-based S7-1500 software controller released by Siemens and to compare them with the other S7-1500 programmable logic controllers. The tests were performed on the performance capacity of the machines and the OPC UA communications on different logic controllers. In addition to the tests, other properties and features of the programmable logic controllers were compared using the datasheets and manuals released by the manufacturer.

The results of the tests and feature comparisons lead to the conclusion that the software controller released by Siemens is a good alternative to traditional programmable logic controllers when it comes to performance and OPC UA communications. However, the number of connectable field devices with software controller was smaller than with one of the compared programmable logic controllers. Unlike the other compared programmable logic controllers, the software controller did not allow the use of ring topology.

This thesis was commissioned by Insta Automation Oy, which is part of Insta Group Oy. Insta Group Oy is a Finnish family business founded in 1960 that works in the fields of industrial automation, industrial digitalization, cyber security and defense technologies.

Key words: programmable logic controller, software controller, OPC UA

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TESTILAITTEET JA SUORITETTAVAT TESTIT	8
2.1	Software controller ja perinteinen ohjelmitava logiikka	8
2.1.1	Teollisuustietokone ja software controller -ohjelmitava logiikka	9
2.1.2	Vertailtavat perinteiset logiikat	10
2.1.3	Soft-PLC:n ja perinteisten ohjelmitavien logiikoiden vertailu	11
2.2	Mitä on suorituskyky	13
2.3	Tiedonsiirto ja OPC UA	15
3	TESTIEN TOTEUTUS	18
3.1	Suorituskykytestit	18
3.2	Tiedonsiirtotesti	23
3.3	Windows-käyttöjärjestelmän kaatumistesti	26
4	TULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	28
4.1	Suorituskykytestien tulokset	28
4.1.1	Lineaaristen testien tulokset	28
4.1.2	Eksponentiaalisten testien tulokset	31
4.2	Tiedonsiirtotestin tulokset	33
4.2.1	Tulosten käsittely	33
4.3	Käyttöjärjestelmän vikatilanne	40
5	POHDINTA	41
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	47

ERITYISSANASTO

PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka-ohjain
IPC	teollisuustietokone
Profinet	teollisuus-Ethernet
software controller	Siemensin valmistama PC-pohjainen ohjelmoitava logiikka
Soft-PLC	termi PC-pohjaiselle ohjelmoitavalle logiikalle
OPC	Open Platform Communications, avoin liitettävyys avoimilla standardeilla
OPC UA	OPC Unified Architecture
CPU	Central Processing Unit, keskusyksikkö
TIA Portal	Siemensin tuottama kehitysympäristö Siemensin logikoille ja valvomoille
tagi	ohjelmoitavan logiikan muuttuja
TCP/IP	yhdistelmä useita tiedonsiirtoprotokollia
NVRAM	Non-volatile random-access memory, haihtumaton hajasaantimuisti
UPS	Uninterruptible Power Supply, keskeytymätön virransyöttö
IO-moduuli	tulo/lähtömoduuli

1 JOHDANTO

Ohjelmoitavia logiikoita käytetään paljon erilaisissa automaatioprosesseissa. Reaaliaikainen tiedonsiirto tietokoneohjelmien ja logiikan välillä on tärkeää esimerkiksi tilanteessa, jossa tietokoneohjelmaa käytetään käyttöliittymänä järjestelmän ohjaukseen. Tässä tilanteessa tavallista tietokonetta joudutaan käyttämään perinteisen ohjelmoitavan logiikan rinnalla käyttöliittymäsovelluksen suorittamiseen. PC-pohjainen ohjelmoitava logiikka voisi logiikkaohjelman lisäksi suorittaa myös kevyttä käyttöliittymää tietokoneen käyttöjärjestelmän puolella.

Teollisuusjärjestelmistä kerättävän tiedon määrä on kasvanut vuosien aikana, jolloin tarvitaan lisää suorituskykyä logiikkaohjelman suorittamisen lisäksi. Suuren tietomäärän käsittely vaatii paljon suorituskykyä, mutta perinteisillä ohjelmoitavilla logiikoilla suorituskyky ei pärjää enää nykyisin tietokoneiden laskentatehokkuudelle. Suorituskyky- ja tiedonsiirtotestejä suoritettiin, jotta teollisuustietokoneen ja perinteisen ohjelmoitavan logiikan välisiä eroja voitaisiin tulkita selkeästi.

Lisäksi vuoden 2019 loppupuolella alkaneen koronaviruspandemian aiheuttamat pitkittyneet tuotanto- ja toimitusajat hankaloittivat muiden elektronisten laitteiden lisäksi myös ohjelmoitavien logiikoiden saatavuutta. Ennen vaihtoehdoisen ratkaisun sisällyttämistä uusiin projekteihin, niiden toimivuudesta ja ominaisuuksista haluttiin kuitenkin tehdä tarkka kartoitus.

Ratkaisua lähdettiin hakemaan Siemensin tuottamasta teollisuustietokoneella toimivasta S7-1500 sarjan software controller -PC-pohjaisesta ohjelmoitavasta logiikasta. Software controller -ohjelmoitavan logiikan ominaisuuksia vertailtiin perinteisiin S7-1500 sarjan ohjelmoitaviin logiikoihin. Vertailua tehtiin datalehtien ja suorituskykytestien perusteella.

PC-pohjainen ohjelmoitava logiikka on tietokoneelle asennettava sovellus, jota voidaan käyttää perinteisen ohjelmoitavan logiikan tavoin. Perinteiset ohjelmoitavat logiikat ovat suunniteltu teolliseen ympäristöön, jossa tavallista tietokonetta ei voida käyttää esimerkiksi pölyn, lian ja värinän vuoksi. Teollisuustietokoneelle

asennetun PC-pohjaisen ohjelmoitavan logiikan on arveltu kuitenkin olevan yhtä luotettava, kuin perinteisen ohjelmoitavan logiikan.

2 TESTILAITTEET JA SUORITETTAVAT TESTIT

2.1 Software controller ja perinteinen ohjelmoitava logiikka

Tutkimuksessa vertaillaan kolmen erilaisen ohjelmoitavan logiikan suorituskykyä ja tiedonsiirtonopeutta. Kaikki testissä käytettävät logiikat ovat Siemensin S7-1500 -sarjan ohjelmoitavia logiikoita (kuva 1). Perinteiset ohjelmoitavat logiikat ovat varustettu mikroprosessorilla ja niihin tehty ohjelma yhdessä anturitietojen kanssa ohjaa toimilaitteita (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas, Sumujärvi 2010, 10). Perinteiset ohjelmoitavat logiikkaohjaimet on suunniteltu toteuttamaan logiikkaohjelmia mahdollisimman tehokkaasti ja varmasti, mutta ne eivät voi suorittaa tietokoneen tapaan muita tehtäviä tai ohjelmia.



KUVA 1. Perinteisiä SIMATIC S7-1500 sarjan logiikkaohjaimia (Siemens n.d. -a).

”Soft-PLC on tietokoneessa suoritettava ohjelmallinen logiikka, joka suorittaa reaaliaikaista logiikkaohjelmaa ns. suojatussa tilassa” (Keinänen ym. 2010, 213). PC-pohjainen logiikka, eli Soft-PLC on ollut olemassa jo yli 25 vuotta ja yksi ensimmäisistä Windowsin kanssa toimivista kaupallisista PC-pohjaisista logiikkaohjaimista oli Beckhoffin TwinCAT -ohjelma (Control Automation 2021).

Soft-PLC on ollut myös Siemensin tuotteena jo useita vuosia. Siemensin tuotteisiin kuuluva Windows Logic Controller (WinLC RTX) on tietokonepohjainen ohjelmoitava logiikka ja valmistajan verkkosivuilla oleva tuotteen datalehti on vuodelta 2000 (Siemens, 2000). Siemensin uusin Soft-PLC malli, jota käytetään myös ominaisuustesteissä, on S7-1500 sarjan software controller -ohjelmoitava logiikka. Software controller -ohjelmoitavan logiikan uusin versio V21.9 julkaistiin

vuonna 2021 (Siemens 2021a) ja yksi varhaisimmista versioista V2.0 on julkaistu jo vuonna 2016 (Siemens 2016).

Keinänen ym. (2010) asettavat teoksessaan PC-pohjaisen Soft-PLC järjestelmän käytölle vaatimuksia, jotka ovat edelleen kymmenen vuotta kirjan julkaisun jälkeen tärkeitä kriteerejä valittaessa PC-pohjaista ohjelmoitavaa logiikan ja perinteisen ohjelmoitavan logiikan välillä. Keinänen ym. (2010) on listannut seuraavat kriteerit: Suorituskyvyn tulee olla riittävän suuri ja vakaa, logiikan tulee toimia keskeytyksettä tietokoneen käyttöjärjestelmän tai kiintolevyn vikatilanteissa ja Windows-käyttöjärjestelmän ohjelmat eivät saa vaikuttaa suoritettavaan logiikkaohjelmaan.

2.1.1 Teollisuustietokone ja software controller -ohjelmoitava logiikka

Teollisuustietokone, eli IPC, on teolliseen ympäristöön suunniteltu tietokone. Tavalliset tietokoneet ovat suunniteltu toimimaan puhtaissa sisätiloissa, kuten toimistoissa, mutta teollisuustietokoneita voidaan käyttää myös ympäristöissä, jotka saattavat altistaa laitteen lialle, pölylle, värinälle, lämmölle ja kosteudelle (WIN-SYSTEMS 2018). Ominaisuustestissä käytettävä teollisuustietokone on Siemensin Simatic IPC427E (kuva 2), joka käyttää Windows 10 -käyttöjärjestelmää.



KUVA 2. Teollisuustietokone IPC427E (Siemens Industry Mall 2022a).

Testattava ohjelmoitava logiikka Siemensin Simatic S7-1507S F Software Controller (kuva 3) asennetaan IPC427E-teollisuustietokoneelle. Testattava software controller -ohjelma sisältää turvaominaisuuksia, kuten PROFIsafe-yhteyden, jota varten käytössä tulee olla Siemensin oma teollisuustietokone. Software controller

ja teollisuustietokone muodostavat yhdessä PC-pohjaisen ohjelmoitavan logiikan, josta käytetään myös termiä Soft-PLC.



KUVA 3. Siemensin software controller (Siemens 2022a).

2.1.2 Vertailtavat perinteiset logiikat

Testattavan Soft-PLC:n suorituskykyä verrataan kahteen perinteiseen ohjelmoitavaan logiikkaan. Perinteiset ohjelmoitavat logiikat ovat Siemensin S7-1500 sarjan laitteita, joissa on mukana turvaominaisuudet. Vertailtavana olevat perinteiset logiikat ovat Siemensin 1515F-2 PN CPU (kuva 4) ja 1517F-3 PN/DP CPU (kuva 5).



KUVA 4. CPU 1515F-2 PN (Siemens industry mall 2022b).



KUVA 5. CPU 1517F-3 PN/DP (Siemens industry mall 2022c).

2.1.3 Soft-PLC:n ja perinteisten ohjelmoitavien logiikoiden vertailu

Vertailun kohteena on useita eri ominaisuuksia ja toimintoja. Tärkeimpiä näistä ovat Profinet-laitemäärä, muistin määrä, suorituskyky ja tiedonsiirto. Vertailuihin poimittiin muitakin ominaisuuksia, jotka saattavat vaikuttaa vertailutuloksiin. Vertailussa hyödynnetään valmistajan julkaisemia manuaaleja ja datalehtiä.

Taulukko 1. Datalehdistä koostetut vertailtavien ominaisuuksien tiedot (Siemens 2022b, 2022c, 2022d).

Vertailtava ominaisuus	Software controller	1515F-2 PN	1517F-3 PN/DP
Maksimi Profinet-laitemäärä	256	256	512
Maksimi PROFIsafe-laitemäärä	128	192	320
IO-moduulien maksimimäärä	8192	8192	16384
maksimi OPC UA yhteysmäärä	40	10	40
Suosittelun maksimi OPC UA asiakkaiden tietosolumäärä	5000	2000	5000
Saatavien OPC UA muuttujien maksimimäärä	200000	100000	200000
OPC UA minimi julkaisuväli (ms)	10	200	10

Taulukosta 1 on nähtävissä, että software controller ja CPU 1515F-2 PN -ohjelmoitavien logiikoiden maksimi Profinet-laitemäärä ja IO-moduulien maksimimäärä ovat samat, mutta software controller -ohjelmoitavan logiikan maksimi PROFIsafe-laitemäärä on pienempi, kuin CPU 1515F-2 PN -ohjelmoitavalla logiikalla. CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitavan logiikan vastaavat määrät ovat kahta muuta vertailtavaa logiikkaa kaksi kertaa suuremmat, maksimi PROFIsafe-laitemäärää lukuun ottamatta.

Vertailtaessa OPC UA:n ominaisuuksia datalehdistä koostetun taulukon (TAULUKKO 1) avulla on huomattavissa, että software controller- ja CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitavan logiikan välillä ei ole eroja. CPU 1515F-2 PN -ohjelmoitavan logiikan OPC UA -ominaisuuksissa on huomattavissa, että käytössä olevien muuttujien määrä on vähäisempi ja minimijulkaisuväli on muita vertailtavia logiikoita suurempi. Julkaisuväli määrittelee taajuuden, jolla OPC UA palvelin lähettää tietopaketteja asiakkaille (Schneider Electric 2019).

Software controller mahdollistaa muiden vertailtavien logiikoiden tapaan tietojen säilyttämisen Retentive data -valinnalla (kuva 6), laitteen mennessä STOP-tilaan tai sähkökatkon sattuessa. Software controller -ohjelmoitavan logiikan tapauksessa tietojen säilyttämiseen käytettäväksi muistialueeksi on kaksi vaihtoehtoa; NVRAM-muistialue ja tietokoneen massamuisti. NVRAM, eli haihtumaton hajasaantimuisti (eng. Non-volatile random-access memory), säilyttää muistinsa, vaikka laitteen virta katkaistaisiin (Technopedia 2022).



	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Vis
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Synthetic_load	Array[0..9] ...		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

KUVA 6. Säilyvän tiedon valinta.

Perinteisten ohjelmoitavien logiikoiden kanssa käytetään usein UPS-laitetta. UPS, eli keskeytymätön virransyöttö (eng. Uninterruptible Power Supply) mahdollistaa sähkönsyötön jatkuvuuden järjestelmiin ja samalla se tasoittaa mahdollisia jännitepiikkejä (TechTarget 2022). UPS-järjestelmän kanssa perinteinen ohjelmoitava logiikka voi sähkökatkoksen sattuessa siirtyä STOP-tilaan hallitusti suorittaen tietojen säilyttämisen.

Software controller voi vikatilanteissa säilöä tietonsa teollisuustietokoneen massamuistille vain UPS-laitteen ollessa virransyöttöjärjestelmässä. NVRAM-muistin ollessa valittuna tietojen säilyttämiseen, tiedot säilyvät sähkökatkotilanteessa, vaikka UPS-laitetta ei olisi käytössä. Tietoja säilytettäessä tietokoneen massamuistilla voidaan vikatilanteissa säilöä enemmän tietoa, kuin säilyttäessä tietoa NVRAM-muistilla.

Taulukossa 2 on listattu vertailtavien laitteiden säilyvän muistin tallennustila. Taulukosta voidaan tulkita, että teollisuustietokoneella on käytössä enemmän säilyvää muistia kuin vertailtavilla perinteisillä logiikoilla, jos software controller käyttää säilyvän muistin tallennusalueena IPC427E -teollisuustietokoneen kiintolevyä. NVRAM-muistialueella oleva säilyvä muisti on huomattavasti vertailtavia perinteisiä logiikoita vähäisempi, etenkin tilanteissa, joissa perinteisten logiikoiden kanssa käytetään Siemensin PS 60W 24/48/60 V DC HF -virtalähdettä. Koska ohjelmoitavia logiikoita käytetään usein UPS-laitteen kanssa, voi software controller käyttää tietokoneen kovalevyä säilyvän muistin tallennusalueena.

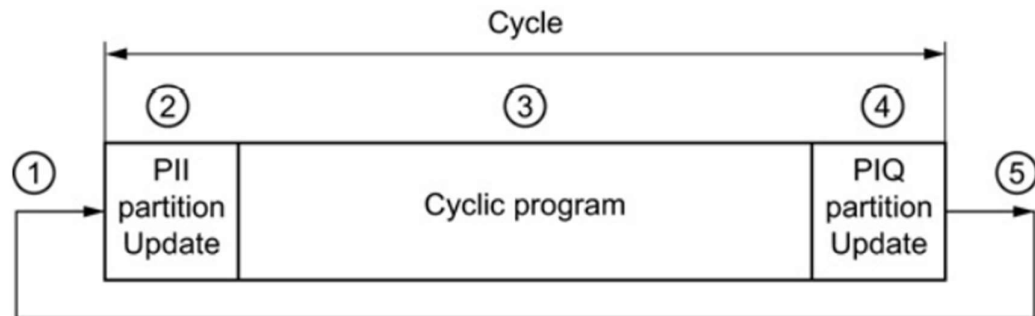
TAULUKKO 2. Säilyvän muistin määrä eri ohjelmoitavilla logiikoilla. (Siemens 2022b, 2022c, 2022d).

Vertailtava laite/muistialue	Säilyvän muistin määrä
Software controller, Tietokoneen kiintolevy	20 MB
Software controller, NVRAM	135 kB (IPC427E)
CPU 1515F-2 PN	512kB, 3MB*
CPU 1517F-3 PN/DP	768kB, 8MB*
*Kun käytössä on Siemensin PS 60W 24/48/60 V DC HF -mallin virtalähde	

2.2 Mitä on suorituskyky

Ohjelmoitavilla logiikoilla suorituskyky ilmoitetaan usein suoritettavien operaatioiden vaatiman ajan perusteella. Näitä operaatioita ovat mm. laskentatoiminnot liukuluvuille tai bittioperaatiot.

Ohjelmoitava logiikan kiertoaika kertoo prosessorin käyttämän ajan ohjelmakierron suorittamiseksi (kuva 7). Kiertoaika on aika, jonka prosessori vaatii suorittaakseen syklisen ohjelman, päivittääkseen tulojen ja lähtöjen process image -tiedot, sekä suorittaakseen käyttäjäohjelman osat ja sen aikana tapahtuvat järjestelmän tuottamat keskeytykset (Siemens 2014).



KUVA 7. Ohjelmakierron rakenne (Siemens 2014).

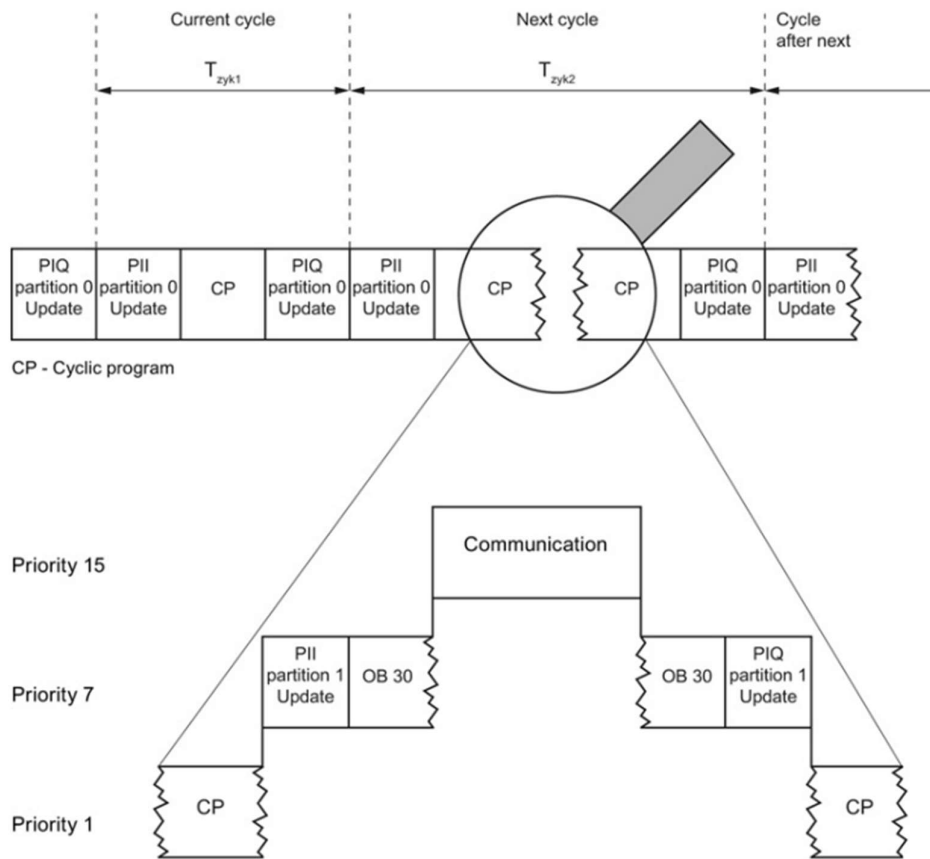
Kuvassa 7 ohjelmakierron rakenne on purettu viiteen eri osaan:

1. Järjestelmä aloittaa kiertoaajan laskemisen.
2. Prosessori lukee Input-moduulien sisääntulotietojen tilat ja kirjoittaa ne sisääntulojen process image partition -tietoihin.
3. Prosessori suorittaa käyttäjäohjelman ja sen sisältämät käskyt.
4. Prosessori kirjoittaa lähtöjen tiedot process image partition -tiedoista Output-moduuleihin.
5. Järjestelmä laskee määritellyn kiertoaajan ja aloittaa laskemisen uudelleen.

Kiertoaika ei aina ole sama joka kerralla, vaan siinä voi ilmetä poikkeamia. Kiertoaikaan voivat vaikuttaa mm. ohjelman ehdolliset komennot ja kutsut, ajastetut keskeytykset sekä kommunikaatio. Logiikan käynnistymisen aikana kiertoaajat ovat myös hetkellisesti pidempiä.

Kuvassa 8 on esitetty saman syklisen ohjelman (CP) kiertoaajat T_{zyk1} ja T_{zyk2} . Ensimmäinen ohjelmakierron aika T_{zyk1} on lyhyempi, kuin toisen ohjelmakierron aika T_{zyk2} . Toisen ohjelmakierron aikana tapahtuu OB30 lohkon aiheuttama syklinen keskeytys, jonka suorittaminen vuorostaan keskeytyy kommunikaatiolohkon takia, sillä sen tärkeysaste (priority) on suurempi. Korkeamman tärkeysasteen oh-

jelmakierron suorittaminen keskeyttää alemman tärkeysasteen ohjelman suorittamisen ja korkeamman tärkeysasteen ohjelmakierto suoritetaan loppuun, jonka jälkeen alemman tärkeysasteen ohjelman suorittaminen jatkuu. Alkuperäisen syklisen ohjelman kiertoaikaan T_{zyk2} tulee siis lisäksi OB30 lohkon syklisen keskeytyksen kiertoaika, sekä kommunikaation aiheuttaman keskeytyksen aika.



KUVA 8. Syitä kiertoaajan eri pituuksille (Siemens 2014).

2.3 Tiedonsiirto ja OPC UA

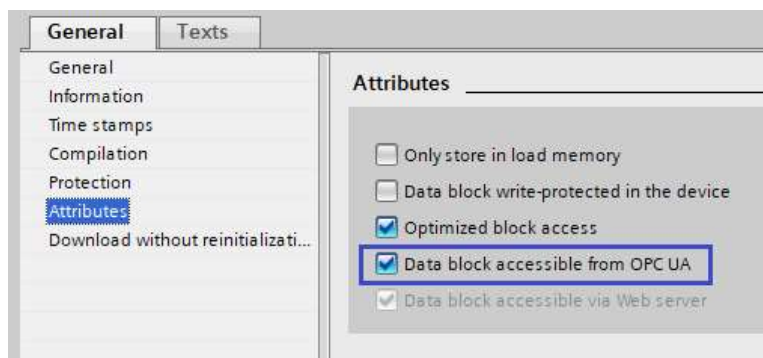
Tiedonsiirtoa voidaan käyttää lähettäessä tietoa esimerkiksi tietokonesovelluspohjaisen käyttöpaneelin ja ohjelmoitavan logiikan välillä. Tiedonsiirrossa liikkuu paljon dataa, jolloin nopeus ja luotettavuus ovat tärkeitä tekijöitä. OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) on vuonna 2008 julkaistu alustariippumaton tiedonsiirtojärjestelmä (OPC Foundation n.d.). OPC UA on mahdollistaa myös turvallisen tiedonsiirron palvelimen ja asiakkaan välillä, ja se on otettu

käyttöön yhä useammassa eri järjestelmässä. OPC Foundationin tavoitteena on luoda OPC UA:sta reaaliaikainen kenttäväylästandardi (Elkome 2019).

OPC UA voidaan aktivoida ohjelmitavalle logiikalle palvelinkäyttöön. Ohjelmitavalla logiikalla voidaan valita, mitkä ohjelmitavan logiikan tagit näkyvät OPC UA -asiakkaalle ja voiko asiakas kirjoittaa näkyvää tagia (kuva 9). Näkyvyyden voi estää myös kokonaisen tietuelohkon osalta (kuva 10).

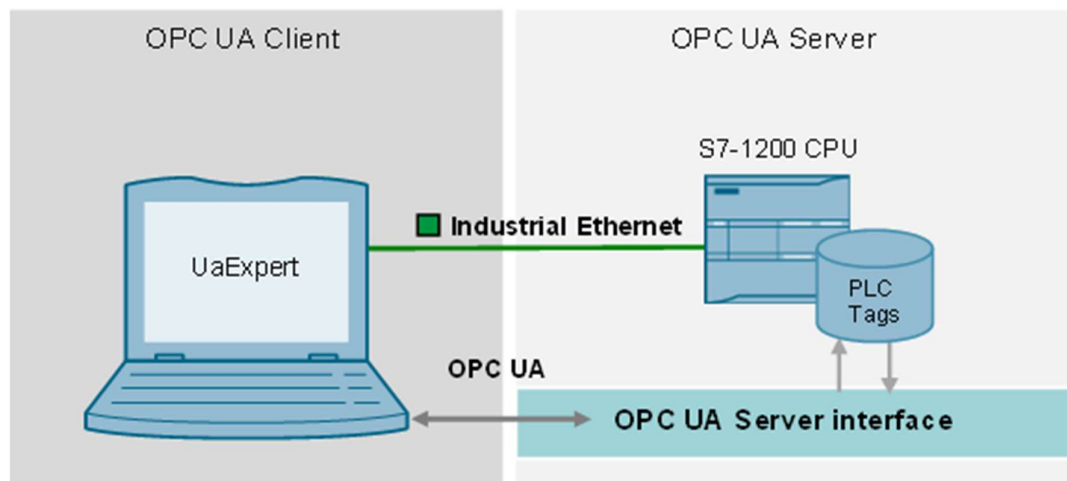
	Name	Data type	Start..	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Syntethic_load	Array[0..9] of ...		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Syntethic_load[0]	"Load_Data"		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Syntethic_load[1]	"Load_Data"		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Syntethic_load[2]	"Load_Data"		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

KUVA 9. PLC-tagin näkyvyyden ja kirjoitettavuuden valinta OPC UA -asiakkaalle.



KUVA 10. Tietuelohkon näkyvyyden valinta OPC UA järjestelmälle.

Esimerkkinä kuvassa 11 on esitetty tietokoneella olevan asiakkaan (OPC UA Client) ja ohjelmitavalla logiikalla olevan palvelimen (OPC UA Server) välinen kommunikaatio. Asiakas ja palvelin on kytketty toisiinsa Ethernet-yhteydellä ja kommunikaatio tapahtuu TCP/IP protokollapinon avulla. Ohjelmitava logiikka S7-1200 CPU kommunikoi OPC UA palvelimen kanssa. Palvelin vuorostaan kommunikoi UaExpert-asiakassovelluksen kanssa, toimien rajapintana ohjelmitavan logiikan ja tietokoneen välillä. (Siemens 2020a)



KUVA 11. UaExpert-asiakasohjelman ja PLC:llä olevan palvelimen välinen kommunikaatio (Siemens 2020a).

3 TESTIEN TOTEUTUS

Testit suoritettiin kaikille ohjelmoitaville logiikoille samanlaisilla logiikkaohjelmilla. Taulukossa 3 on esitetty testatuiden laitteiden laiteohjelmistoversio testien aikana.

Taulukko 3. Testatuiden ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmistoversiot.

Ohjelmoitava logiikka	laiteohjelmistoversio
Software controller	V21.9
CPU 1515F-2 PN	V2.8
CPU 1517F-3 PN/DP	V2.9

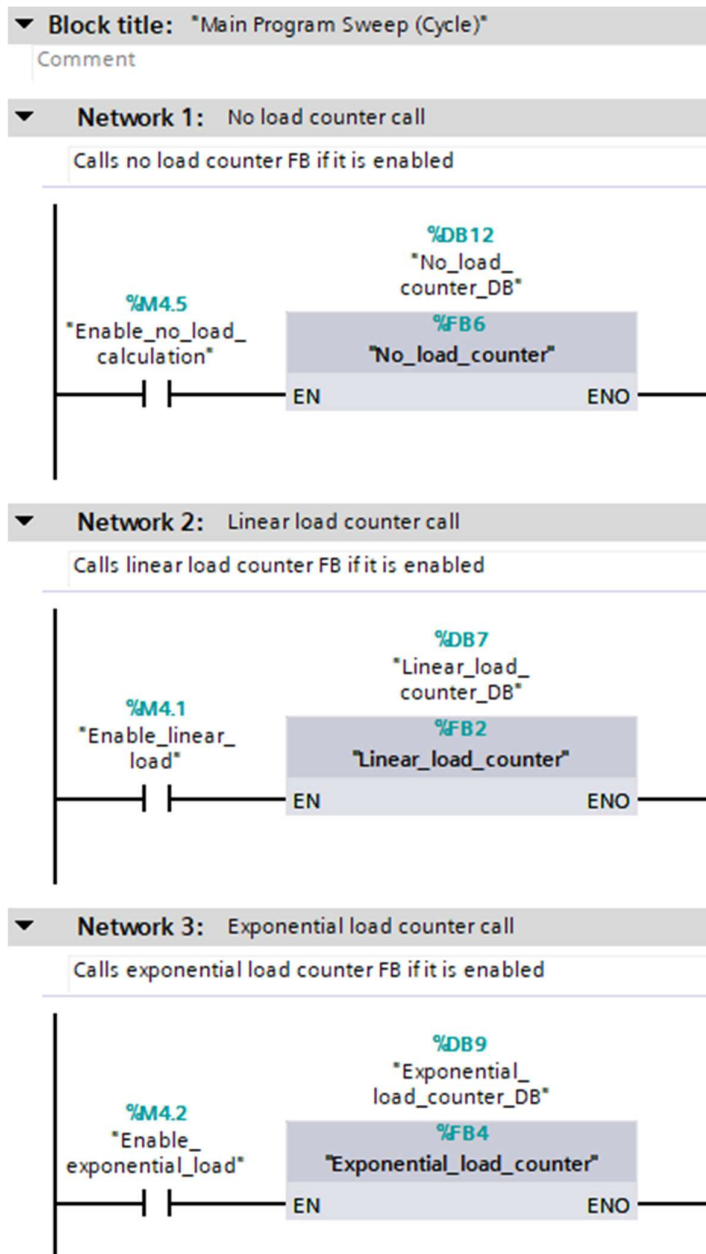
3.1 Suorituskykytestit

Testin tarkoituksena oli nähdä, kuinka ohjelmoitavan logiikan kuormittaminen vaikuttaa ohjelmoidun kuormitusfunktion kiertoaikaan. Tutkittavaksi valittiin kuormitusfunktioiden käyttämä aika, joista voitiin vertailla tuloksia myöhemmin keskenään ja laitekohtaisesti datalehden ilmoittamiin arvoihin.

Tarkastelun kohteena oli tarkemmin määritelty alue ohjelmassa, jossa kuormitusfunktio toteutettiin. Mittapisteitä otettiin jokaisessa testissä 10 000 kappaletta ja mitatuista arvoista muodostettiin keskiarvo. Keskiarvo otettiin ilman kuormitusta, lineaarisen kuormituksen kanssa ja eksponentiaalisen kuormituksen kanssa.

Suorituskykytesteissä käytettiin kahta funktiolohkoa, joiden aiheuttama kuormitus voitiin ilmaista lineaarisena funktiona ja eksponentiaalisena funktiona. Testien avulla haluttiin nähdä, vastaako kuormitusfunktion oletettu vaikutus ohjelman suoritus aikaan todellisuutta.

Ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmointiin käytettiin Siemensin TIA Portal -ohjelmaa. Pääohjelma sisälsi kolme osiota, joissa kuormitusfunktioiden kutsut voitiin asettaa päälle tai pois jokaista eri testiä varten (kuva 12). Testien ajaksi vain yksi funktiolohko asetettiin käyttöön.

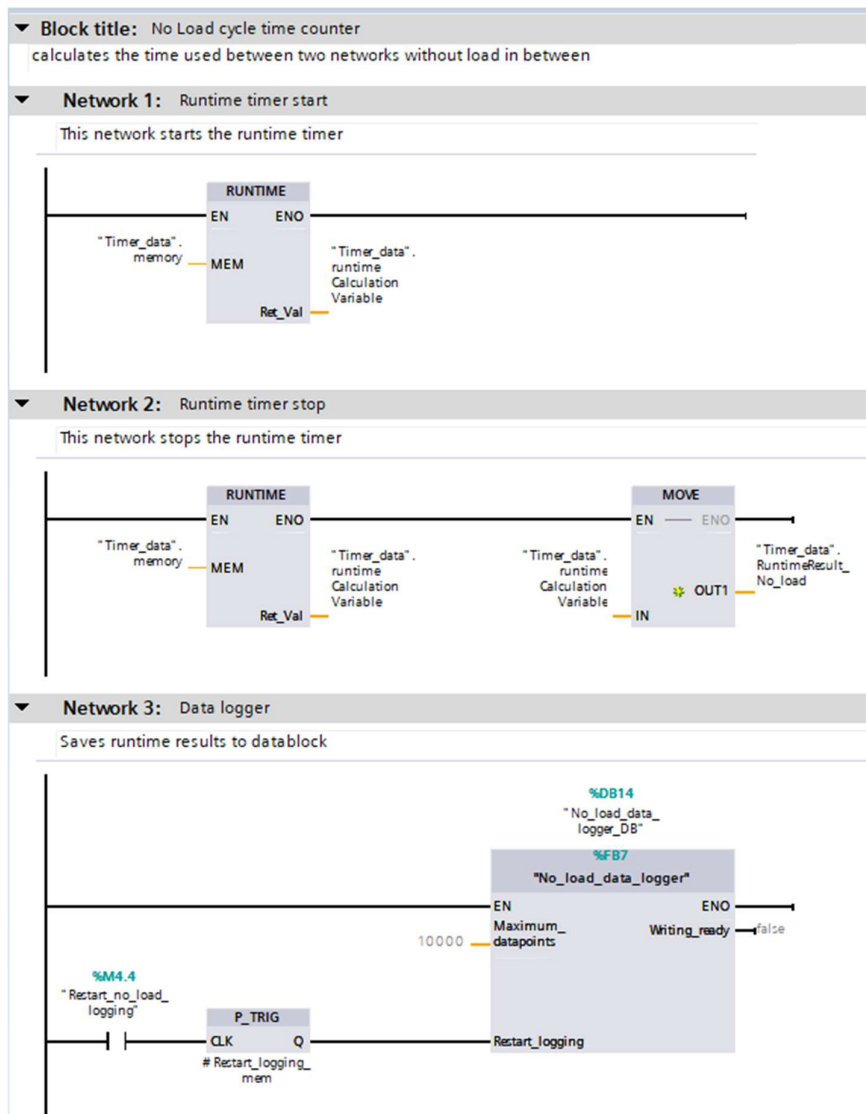


KUVA 12. Pääohjelma (Main OB1).

Pääohjelman (kuva 12) ensimmäisessä osiossa (Network 1) oli testi, jossa ei käytetty kuormitusfunktiota. Näin saatiin tietoa laitteen normaalista suorituskyvystä ilman kuormaa.

Kuvassa 13 on esitetty funktiolohkon "No_load_counter" sisältö, jossa ensimmäisessä osiossa (Network 1) aloitettiin ajastus Siemensin omalla ajastuslohkolla, jolla voitiin mitata koko ohjelman, yksittäisen lohkon tai komennon suoritus aika.

Runtime -ohjelmaloikko palautti kahden muistissa olevan ajan sekunteina ulostuloon "Ret_Val". Toisessa osiossa (Network 2) ajastinta kutsuttiin toisen kerran, jolloin palautettava arvo oli ensimmäisen osion RUNTIME -ohjelmaloikon ja toisen osion RUNTIME -ohjelmaloikon kutsujen välinen aika.



KUVA 13. Kuormattoman suorituskykytestin ajastus ja tulosten tallennus.

Tulos siirrettiin toisen osion lopussa MOVE -käskyllä toiseen muuttujaan (kuva 13), joka tallennettiin kolmannen osion (Network 3) toimintolohkossa "No_load_data_logger" tietolohkoon (kuva 14). Kolmannessa osiossa (Network 3) oleva tulosten tallennus voitiin käynnistää uudestaan muuttamalla tagia "Restart_no_load_logging". Lohkon ulostulo "Writing_ready" ilmoitti, kun testi oli suoritettu loppuun kaikilla kiertomäärillä.

No_load_data (snapshot created: 11/1/2022 3:48:43 PM)				
	Name	Data type	Start value	Snapshot
1	▼ Static			
2	▼ No_load_dataset	Array[0..9999] of L...		
3	■ No_load_dataset[0]	LReal	0.0	0.0
4	■ No_load_dataset[1]	LReal	0.0	0.0
5	■ No_load_dataset[2]	LReal	0.0	0.0
6	■ No_load_dataset[3]	LReal	0.0	0.0
7	■ No_load_dataset[4]	LReal	0.0	0.0
8	■ No_load_dataset[5]	LReal	0.0	0.0
9	■ No_load_dataset[6]	LReal	0.0	0.0
10	■ No_load_dataset[7]	LReal	0.0	0.0
11	■ No_load_dataset[8]	LReal	0.0	0.0
12	■ No_load_dataset[9]	LReal	0.0	0.0
13	■ No_load_dataset[1..	LReal	0.0	0.0
14	■ No_load_dataset[1..	LReal	0.0	0.0
15	■ No_load_dataset[1..	LReal	0.0	0.0

KUVA 14. Kuormattoman testin tuloksien tallentamiseen käytettävä tietolohko.

Kuormattomassa testissä käytetty toimintolohko "No_load_data_logger" kirjoitti tulokset tietolohkoon ja lisäsi kirjoitettavan datapisteen indeksiä aina yhdellä (kuva 15). Näin tulokset saatiin tallennettua eri muuttujiin, joita käytettiin datapisteinä.

```

1 //This function writes down values of selected data to selected datablock.
2
3 //restarts datalogging
4 IF #Restart_logging THEN
5
6     #Running_index := 0;
7     #Writing_ready := FALSE;
8 END_IF;
9
10 //saves test results to an array and increases running_index until it reaches maximum datapoints (10000)
11 IF #Running_index < #Maximum_datapoints THEN
12
13     "No_load_data".No_load_dataset[#Running_index] := "Timer_data".RuntimeResult_No_load;
14
15     #Running_index := #Running_index + 1;
16 ELSE
17     #Writing_ready := TRUE;
18 END_IF;

```

KUVA 15. Datalohko tulosten tallentamiseen.

Lineaarisen ja eksponentiaalisen kuormitusfunktion kuormitustestejä suoritettiin yhteensä 10 000 kappaletta kymmenellä eri kuorman määrällä taulukon 4 mukaisesti. Testeistä kerättiin raakadata omiin tietolohkoihin, joista datapisteet taulukoitiin Excel-ohjelmaan.

TAULUKKO 4. Kuormitustestien kuormien määrät.

Testinumero	Lineaarisen testin kuorman määrä	Eksponentiaalisen testin kuorman määrä
1	10000	100
2	20000	200
3	30000	300
4	40000	400
5	50000	500
6	60000	600
7	70000	700
8	80000	800
9	90000	900
10	100000	1000

Kuvassa 16 esitetyssä lineaarisen kuorman funktiolohkon ohjelmassa M-alueen muuttuun kirjoitettiin arvoja muuttujan "Loop_amount" verran. For-silmukka suoritettiin yhtä monta kertaa kuin lineaarisen testin kuorman määrä on taulukon 4 mukaisesti. Koska M-muuttujaa kirjoitettiin yhtä monta kertaa, kuin kuorman määrä oli, voitiin kuorman määrän olettaa vaikuttavan lineaarisesti ohjelman suoritusaikaan.

```

1 //In this program the chosen task is performed "Loop_amount" times.
2
3 FOR #Current_loop := 0 TO #Loop_amount DO
4     //Writing the current loop into a M-variable
5     "Linear_load_variables".Current_linear_loop_value := #Current_loop;
6 END_FOR;
7

```

KUVA 16. Lineaarisen kuormituksen funktiolohkon ohjelma.

Eksponentiaalisessa kuormitustestissä for-silmukoita oli kaksi sisäkkäin. Kuvassa 17 esitetyssä funktiolohkon ohjelmassa molempia for-silmukoita suoritettiin

kuorman määrän verran ja sisemmässä for-silmukassa M-muuttujaan kirjoitettiin tietoa. Koska suoritettavat for-silmukat olivat sisäkkäin, oli kuorman määrän vaikutus ohjelman suoritus aikaan oletettavasti eksponentiaalinen.

```

1 //In this program the chosen task is performed "Loop_amount" times.
2
3 FOR #current_loop1 := 0 TO #Loop_amount DO
4   FOR #current_loop2 := 0 TO #Loop_amount DO
5     //Writing the current loop into a M-variable
6     "Exponential_load_variables".current_log_loop_value := #current_loop1;
7   END_FOR;
8 END_FOR;
9

```

KUVA 17. Eksponentiaalisen kuormituksen funktiolohkon ohjelma.

3.2 Tiedonsiirtotesti

Tiedonsiirtotestissä testattiin OPC UA -kommunikaation toimintaa ohjelmoitavalla logiikalla toimineen palvelimen ja ulkoisella tietokoneella olleen asiakkaan välillä. Software controller –ohjelmoitavan logiikan kommunikaatiota testattiin ulkoisen asiakkaan lisäksi IPC427E teollisuustietokoneen kanssa, johon software controller oli asennettu. Testin tarkoituksena oli kerätä tietoa ja vertailla keskenään ohjelmoitavien logiikoiden tagien tiedonsiirtonopeuksia.

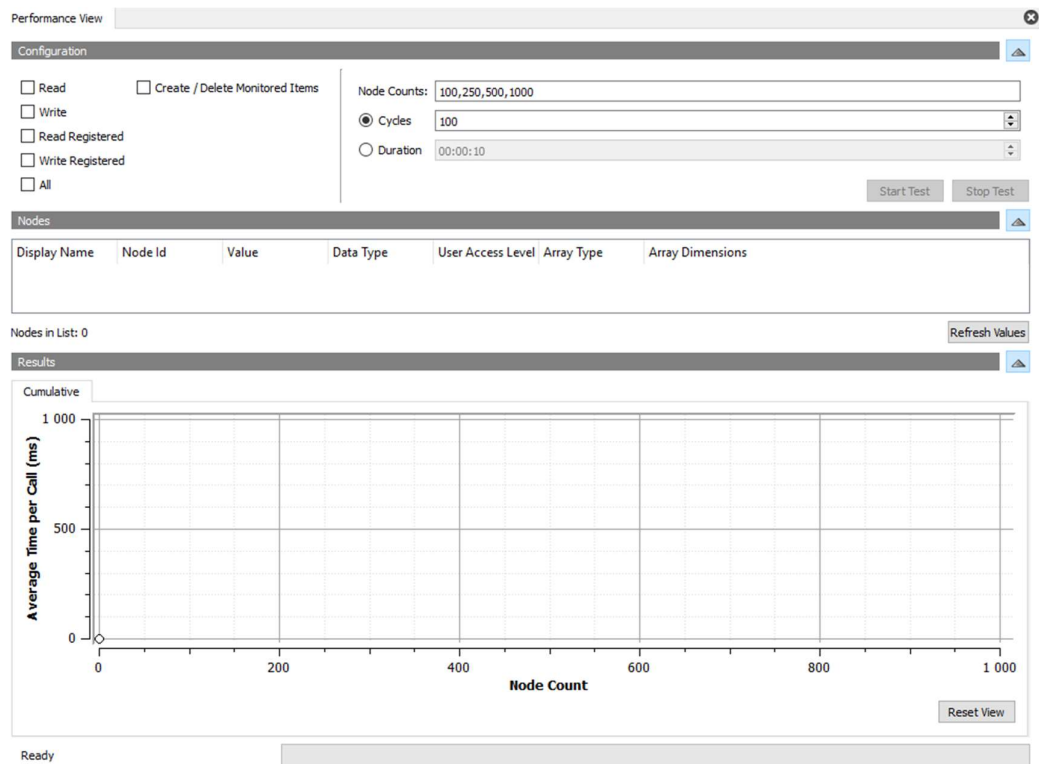
Asiakaskone luki muuttujia ohjelmoitavalla logiikalla olevalta OPC UA -palvelimelta. Ohjelmoitavalla logiikalla oli tietuelohko, joka sisälsi 10 taulukkomuuttujaa, jotka sisälsivät 1000 Dint –tyyppistä muuttujaa, joiden koko oli 32 bittiä. Yhteensä tietuelohkossa oli 10 000 muuttujaa, joita voitiin lukea OPC UA -asiakasohjelmalla 1000 muuttujaa kerrallaan, kun luettiin kerralla kokonaista taulukkomuuttujaa (kuva 18).

UA_SERVER_COMMUNICATION_LOAD		
	Name	Data type
1	Static	
2	Syntethic_load	Array[0..9] of "Load_Data"
3	Syntethic_load[0]	"Load_Data"
4	Load_data	Array[0..999] of DInt
5	Load_data[0]	DInt
6	Load_data[1]	DInt
7	Load_data[2]	DInt
8	Load_data[3]	DInt
9	Load_data[4]	DInt
10	Load_data[5]	DInt
11	Load_data[6]	DInt
12	Load_data[7]	DInt

KUVA 18. Tietuelohkon sisältämiä muuttujia.

UaExpert on OPC UA -asiakasohjelma, joka on suunniteltu yleiskäyttöiseksi testiasiakkaaksi (Unified Automation GmbH n.d. -a). Ohjelman tarjoamaa Performance View -testityökalua voitiin käyttää mittaamaan OPC UA -palvelukutsujen suorituskykyä palvelimelle (Unified automation GmbH n.d. -b). OPC UA mahdollistaa suojaamattoman ja suojatun yhteyden asiakkaan ja palvelimen välillä. Testeissä käytettiin suojaamatonta yhteyttä.

Kuvassa 19 on esitetty Performance View -testityökalun toiminnot. Performance View -testityökalun avulla voitiin tarkastella ohjelmoitavan logiikan tagin lukemisen ja kirjoituksen kestoa, lukemisen ja kirjoituksen rekisteröinnin kestoa, sekä kommunikaatioyhteyden avaamisen ja sulkemisen kestoa. Testattavat tietosolut (node) valittiin UaExpert-asiakasohjelman Nodes-listaan. Tietosolut olivat tässä tapauksessa ohjelmoitavan logiikan tageja. Node Counts -kenttään asetettiin testattavien tietosolujen määrä. Ohjelma testasi valitun määrään tietosoluja aloittaen nodes-listan ylimmästä tietosolusta. Testikertojen määrä voitiin valita Cycles-ruudussa. Testiohjelma piirsi testien tuloksista kuvaajat, joista voitiin lukea millisekunteina testien keskiarvot, sekä pisimmät kestot ja lyhimmat kestot.



KUVA 19. UaExpert-asiakasohjelman Performance View -testityökalunäkymä.

Tietosoluja oli testissä 10 kappaletta, joissa jokaisessa oli sisällä 1000 Dint -tyyppistä muuttujaa, jotka näkyivät UaExpert-asiakasohjelman näkymässä INT32 -muuttujina. Tietosoluja luettiin testissä taulukon 5 mukaisesti. Testejä suoritettiin 1000 kappaletta, jotta keskiarvosta saataisiin tarkempi.

TAULUKKO 5. Testattavien tietosolujen ja muuttujien määrä.

Testi	Testattavien tietosolujen määrä	Testattavien muuttujien määrä
1	2	2000
2	4	4000
3	6	6000
4	8	8000
5	10	10000

Testissä tarkasteltiin vain ohjelmoitavan logiikan tagien lukemisen ja kirjoittamisen nopeutta, sekä kommunikaatioyhteyden luomisen ja tuhoamisen kestoa. Kuvassa 20 on esitetty testityökalunäkymä, jossa muuttujat oltiin asetettu testisovellukseen.

The screenshot shows a configuration window with two tabs: 'Configuration' and 'Nodes'. In the 'Configuration' tab, there are checkboxes for 'Read', 'Write', 'Read Registered', 'Write Registered', and 'All'. The 'Create / Delete Monitored Items' checkbox is checked. The 'Node Counts' field is set to '2,4,6,8,10'. The 'Cycles' radio button is selected and set to '1000'. The 'Duration' radio button is unselected and set to '00:00:10'. There are 'Start Test' and 'Stop Test' buttons. The 'Nodes' tab shows a table with 10 rows of data.

Display Name	Node Id	Value	Data Type	User Access Level	Array Type	Array Dimensions
Load_data1	NS4 Numeric 2	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]
Load_data2	NS4 Numeric 1003	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]
Load_data3	NS4 Numeric 2004	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]
Load_data4	NS4 Numeric 3005	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]
Load_data5	NS4 Numeric 4006	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]
Load_data6	NS4 Numeric 5007	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]
Load_data7	NS4 Numeric 6008	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]
Load_data8	NS4 Numeric 7009	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]
Load_data9	NS4 Numeric 8010	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]
Load_data10	NS4 Numeric 9011	{0,0,0,0,0,0,0,0...}	OpcUaType_Int32	Readable, Writeable	Array	[1000]

KUVA 20. testityökalunäkymä ennen testin suorittamista.

Käytössä ollut OPC UA -palvelin käytti yhteensä 10 011 tagia, joista 10 000 oli käytössä testissä. CPU 1515F 2-PN -ohjelmoitava logiikka salli OPC UA -palvelimen käyttäjä muista logiikoista poiketen maksimissaan vain 5000 tagia. Tästä syystä CPU 1515F 2-PN -ohjelmoitavan logiikan testit suoritettiin vain kahdella ja neljällä tietosolulla, jolloin testattavia tageja oli käytössä 2000 ja 4000.

3.3 Windows-käyttöjärjestelmän kaatumistesti

Keinänen ym. (2010) mainitsevat teoksessaan, että PC-pohjaisen ohjelmoitavan logiikan tulisi toimia erillään käyttöjärjestelmästä. Siemensin verkkosivuilla on mainittu (Siemens n.d. -b), että software controller jatkaisi toimintaansa, vaikka käyttöjärjestelmä pysähtyisi vikatilanteen vuoksi. Käyttöjärjestelmän vikatilanteita on erilaisia ja niiden vaikutukset tietokoneen toimintaan vaihtelevat. Tietokoneen oma suorituskyky voi myös hidastua suoritettaessa paljon muistia vaativia tietokoneohjelmia.

Windows-käyttöjärjestelmä voi kaatua sovelluksissa tapahtuvien virheiden, muistivuodon tai tietokoneen osien vikatilanteissa. Esimerkiksi tietokoneen virtalähde muuttaa vaihtosähköä tasasähköksi, mutta jos virtalähde vioittuu, se saattaa lähettää kohinaista signaalia, joka aiheuttaa tietokoneen kaatumisen. Vaikka käyttöjärjestelmiä testataan tarkasti, uudet ajurit voivat aiheuttaa tietokoneen kaatumisen. (Scientific American 2004)

Tietokoneen kaatuminen tapahtuu pääsääntöisesti vain vikatilanteissa, mutta se voidaan toteuttaa myös tarkoituksenmukaisesti. Microsoft tarjoaa ohjeen tietokoneen käyttöjärjestelmän kaatumisen pakottamiseen, jota voidaan käyttää mm. ohjelmatestauksessa (Microsoft 2022). Ohjeen avulla tietokoneen rekistereihin luodaan painikeyhdistelmä, joka aiheuttaa käyttöjärjestelmän kaatumisen.

Testissä software controller toimi OPC UA -palvelimena, joka lähetti tietoa ulkoiselle tietokoneelle. Software controller ja ulkoinen tietokone olivat yhdistetty toisiinsa Ethernet-kaapelilla. Toiselta tietokoneelta luettiin software controller -ohjelmoitavan logiikan sisäistä 1Hz binääristä kellomuuttujaa (kuva 21). Tätä tietoa tarkastelemalla teollisuustietokoneen kaatumisen aikana voitiin tarkastaa, jatkaako software controller toimintaansa, vaikka tietokoneen oma käyttöjärjestelmä lakkaisi toimimasta.

#	Server	Node Id	Display Name	Value	Datatype	Source Timestamp	Server Timestamp	Statuscode
1	SIMATIC.S7-1500.OPC-UA.Application:Software PLC_1	NS3 String "Clock_1Hz"	Clock_1Hz	true	Boolean	13.39.10	13.39.10	Good

KUVA 21. UaExpert -tietokoneohjelman näkymä muuttujasta.

Teollisuustietokoneen käyttöjärjestelmän vikatilanne toteutettiin Microsoftin ohjeiden mukaisesti (Microsoft 2022). Teollisuustietokoneella ei ollut software controller -ohjelmoitavan logiikan lisäksi käynnissä muita ylimääräisiä prosesseja.

4 TULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Suorituskykytestien tulokset

Tulokset kerättiin molemmista suorituskykytestien tietolohkoista Excel-taulukoihin. Tietolohkoissa olleiden arvojen yksikkö oli sekunti. Jokaisen testin tuloksista muodostettiin keskiarvo ja keskiarvoista piirrettiin kuvaajat. Kuormattoman testin keskiarvoja vertailtiin keskenään keskiarvojen perusteella. Lineaaristen ja eksponentiaalisten testien keskiarvoista muodostettiin jokaiselta ohjelmoitavalta logiikalta yhteinen kuvaaja, josta testin tuloksia pystyttiin arvioimaan.

Kuormattoman testin tuloksien suorituskykyjen keskiarvoissa (taulukko 6) oli huomattavissa, että software controller suoriutui muita logiikoita paremmin. Toiseksi paras suorituskyky oli CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitavalla logiikalla, jonka kuormaton suorituskyky oli noin 10 kertaa huonompi kuin software controller -ohjelmoitavalla logiikalla. CPU 1515F-2 PN -ohjelmoitavan logiikan kuormaton suorituskyky oli testilaitteista huonoin ja se oli noin 100 kertaa hitaampi kuin software controller -ohjelmoitavan logiikan kuormaton suorituskyky.

TAULUKKO 6. Kuormattoman testin keskiarvot.

Testattava ohjelmoitava logiikka	Software controller	CPU 1515F-2 PN	CPU 1517F-3 PN/DP
Suoritus aika keskiarvo (μ s)	0,02	2,68	0,20

4.1.1 Lineaaristen testien tulokset

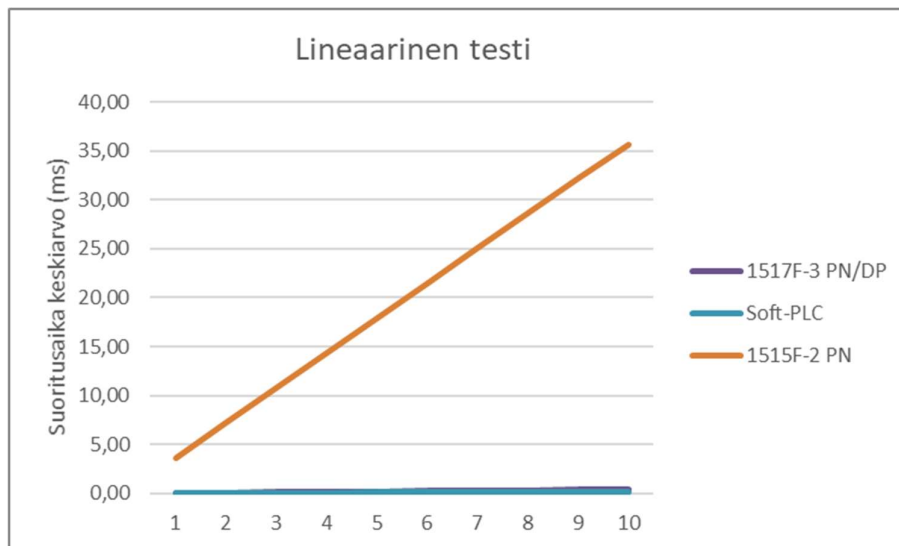
Taulukon 7 tuloksien mukaan software controller suoriutui ohjelmakierrosta nopeammin kuin muut ohjelmoitavat logiikat. Software controller ja CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitavan logiikan välinen keskiarvojen ero oli noin kaksinkertainen, mutta CPU 1515F-2 PN -ohjelmoitavan logiikan tulokset olivat melkein kymme-

nen kertaa suuremmat kuin CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitavan logiikan ja kaksikymmentä kertaa suuremmat kuin software controller -ohjelmoitavan logiikan tulokset.

TAULUKKO 7. Lineaaristen suorituskykytestien keskiarvot.

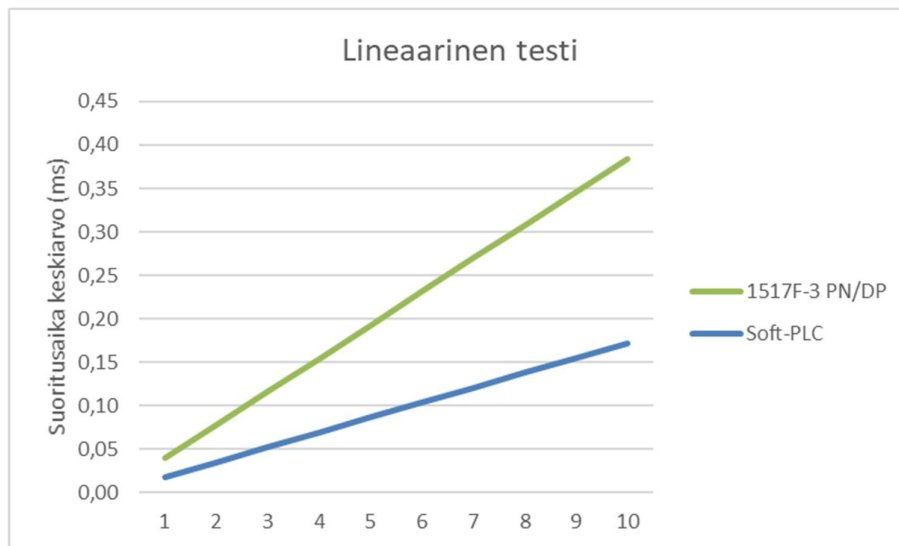
Testinumero ja kuorman määrä	Suoritus aika keskiarvo software controller (ms)	Suoritus aika keskiarvo CPU 1515F-2 PN (ms)	Suoritus aika keskiarvo CPU 1517F-3 PN/DP (ms)
1, 10000	0,02	3,65	0,04
2, 20000	0,03	7,21	0,08
3, 30000	0,05	10,79	0,12
4, 40000	0,07	14,33	0,15
5, 50000	0,09	17,90	0,19
6, 60000	0,10	21,46	0,23
7, 70000	0,12	25,02	0,27
8, 80000	0,14	28,57	0,31
9, 90000	0,16	32,15	0,35
10, 100000	0,17	35,71	0,38

Suorituskykytestien tuloksista, sekä niistä piirretystä kuvaajasta (kuva 22) on huomattavissa, että CPU 1515F-2 PN -ohjelmoitavan logiikan testitulokset ovat muita logiikoita huomattavasti huonommat. CPU 1515F-2 PN -ohjelmoitavan logiikan tulokset olivat kuvaajan perusteella lineaariset. Muiden logiikoiden tulokset näkyvät kuvaajassa päällekkäin ja niiden tuloksia oli lähes mahdotonta arvioida johdonmukaisesti kuvaajasta 22.



KUVA 22. Kaikkien ohjelmitavien logiikoiden lineaarisen suorituskykytestin tulokset.

Kuvassa 23 on esitetty lineaarisen testin tulokset software controller ja CPU 1517F-3 -PN/DP -ohjelmitaville logiikoille. Kuvaajasta on nähtävissä, että molempien ohjelmitavien logiikoiden suorituskyvyt käyttäytyivät lineaarisesti.



KUVA 23. Lineaarisen suorituskykytestin tulokset software controller ja CPU 1517-3 PN/DP -ohjelmitaville logiikoille.

4.1.2 Eksponentiaalisten testien tulokset

Eksponentiaalisen suorituskyvyn testien tuloksien keskiarvoista (taulukko 8) oli huomattavissa, että software controller suoriutui yli kolme kertaa tehokkaammin, kuin CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitava logiikka. Huonoin suoritusajan keskiarvo oli CPU 1515F-2 PN -ohjelmoitavalla logiikalla, joka suoriutui yli 40 kertaa huonommin kuin CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitava logiikka ja yli 100 kertaa huonommin kuin software controller.

TAULUKKO 8. Eksponentiaalisten suorituskykytestien keskiarvot.

Testinumero ja kuorman määrä	Suoritus aika keskiarvo software controller (ms)	Suoritus aika keskiarvo CPU 1515F-2 PN (ms)	Suoritus aika keskiarvo CPU 1517F-3 PN/DP (ms)
1, 100	0,02	3,92	0,08
2, 200	0,09	14,40	0,32
3, 300	0,20	31,83	0,71
4, 400	0,36	56,35	1,24
5, 500	0,55	88,09	1,93
6, 600	0,79	126,56	2,78
7, 700	1,07	172,35	3,77
8, 800	1,40	224,91	4,91
9, 900	1,77	286,66	6,21
10, 1000	2,18	350,17	7,65

Ohjelmoinnissa käytettäville algoritmeille on mahdollista määrittää vaativuusluokka aikavaativuuden tai tilavaativuuden osalta. Neliöllinen algoritmi voidaan ilmoittaa funktion

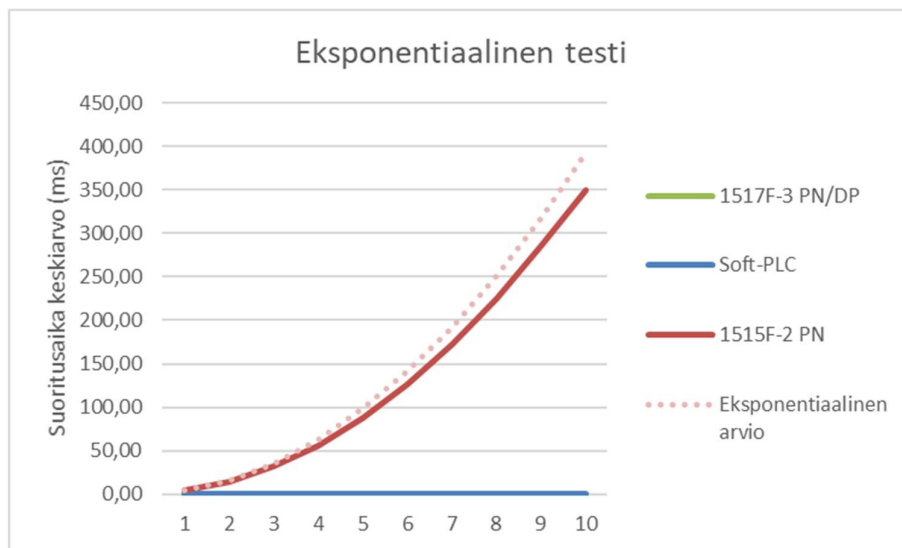
$$O(n^2) \quad (1)$$

mukaisesti, jossa n on suoritettavien tehtävien määrä. Useimmissa tapauksissa neliölliset algoritmit sisältävät kaksi for-silmukkaa. (Ohjelmointiputka 2009).

Kuvasta 24 on huomattavissa, että CPU 1515F-2 PN -ohjelmoitavan logiikan suoritus-aika oli muita vertailtavia logiikoita huomattavasti suurempi. Kyseisen logiikan kuvaaja on eksponentiaalinen. Kuvaan merkitty pistemäinen viiva kuvaa eksponentiaalisen suorituskytuloksen arviota ensimmäisen suorituskytuloksen perusteella. Eksponentiaalisen arvion kuvaajat ovat piirretty kaavan

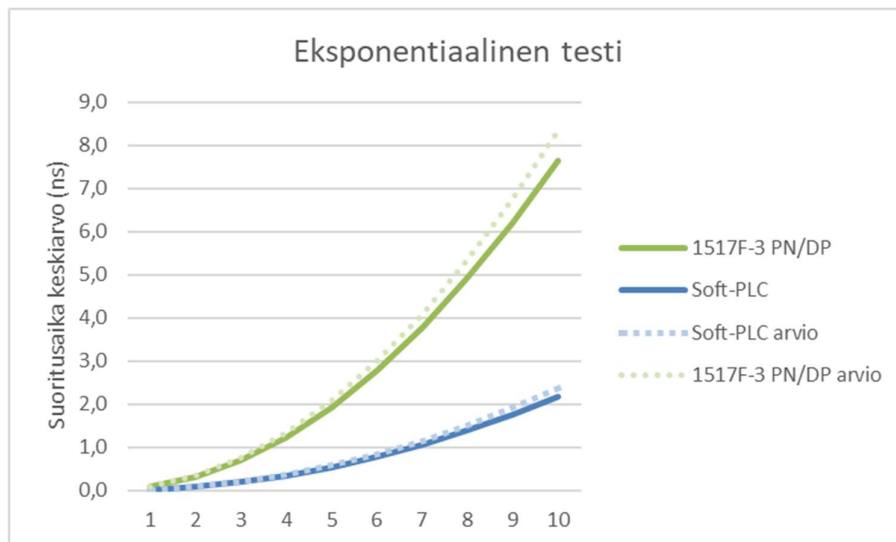
$$f(n) = x_1 * n^2 \quad (2)$$

mukaisesti, jossa x_1 on suorituskyttestin ensimmäisen tuloksen keskiarvo ja n on testinumero.



KUVA 24. Eksponentiaalisten testien kuvaajat.

Kuvan 25 kuvaajasta on huomattavissa, että sekä software controller -ohjelmoitavan logiikan, että CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitavan logiikan suoritusajat seurasivat myös hyvin lähellä kaavan 2 mukaan piirrettyjä arvioita. Nähtävissä on myös, että software controller oli tehokkaampi, kuin CPU 1517F-3 PN/DP.

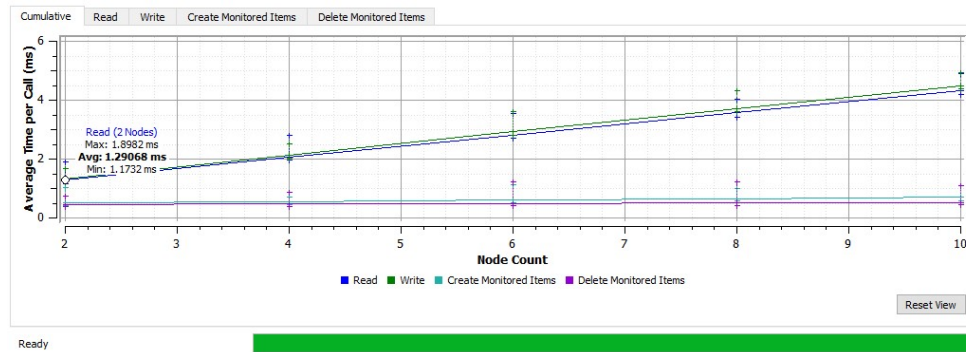


KUVA 25. Eksponentiaalisen testin tulokset Soft-PLC ja CPU 1517F-3 PN/DP.

4.2 Tiedonsiirtotestin tulokset

4.2.1 Tulosten käsittely

Tiedonsiirtotestin tulokset kerättiin Excel-taulukkoihin (liite 1) UaExpert -asiakas-sovelluksesta. Sovellus näytti testeistä korkeimman ja matalimman arvon, sekä keskiarvon, kun hiiren asetti kuvaajan päälle (kuva 26). Kuvassa on myös näkyvillä välilehdet, joissa oli kuvaajat eri testien tuloksille. Ohjelma ei mahdollistanut datapisteiden suoraa siirtoa Excel-taulukkoon, joten tuloksien tarkastelussa tyydyttiin ohjelman ilmoittamiin keskiarvoihin. Tarkempia tietoja antavilta välilehdiltä tarkasteltiin kuitenkin muutamia erikoistilanteita, kuten suurimman arvon heittelyä ja mittaustulosten kohinaa, joiden vaikutusta datan luotettavuuteen pohdittiin.



KUVA 26. UaExpert -asiakassovelluksen tulokuvaajasta saatavat tiedot.

Testitulokset käsiteltiin Excelissä ja raakadatasta etsittiin eri ohjelmoitavien logiikoiden mittaustulosten pienimmät ja suurimmat arvot. Taulukossa 9 on esitetty raakadatan taulukoista haetut pienimmät arvot. Kun pienimmät arvot oli löydetty, tarkasteltiin Excelissä, mille ohjelmoitavalle logiikalle kyseinen arvo kuuluu ja tuloksista tehtiin taulukko. Taulukoissa software controller on esitetty nimityksellä Soft-PLC. Myös perinteisten ohjelmoitavien logiikoiden nimet on lyhennetty taulukointia varten.

TAULUKKO 9. Kommunikaatiotestin pienimmät arvot.

Pisin kesto				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	1,53	1,99	0,80	0,55
4	1,71	2,27	1,54	1,85
6	3,85	3,85	1,53	2,03
8	4,69	4,09	1,48	1,14
10	5,60	5,32	1,40	1,65

Keskiarvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	0,90	1,20	0,44	0,41
4	1,46	1,97	0,48	0,44
6	2,03	2,78	0,53	0,47
8	2,71	3,64	0,57	0,48
10	3,39	4,51	0,56	0,47

Pienin kesto				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	0,69	0,93	0,36	0,33
4	1,24	1,72	0,39	0,34
6	1,62	2,26	0,42	0,36
8	2,18	3,03	0,47	0,37
10	2,66	3,74	0,48	0,38

Taulukossa 10 Excelin funktiolla on etsitty pienimmän tuloksen saanut ohjelmoitava logiikka. Taulukossa jokaisella vertailtavalla logiikalla on oma taustaväri tulosten tarkastelun helpottamiseksi.

TAULUKKO 10. Pienimmät arvot saaneet ohjelmoitavat logiikat.

Pisin kesto				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikation avaus (ms)	Kommunikation sulkeminen (ms)
2	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
4	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	CPU 1517
6	Soft-PLC ulkoinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC ulkoinen	CPU 1517
8	Soft-PLC ulkoinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC ulkoinen	Soft-PLC ulkoinen
10	Soft-PLC ulkoinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	CPU 1517

Keskiarvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikation avaus (ms)	Kommunikation sulkeminen (ms)
2	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
4	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
6	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
8	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
10	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC ulkoinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen

Pienin kesto				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikation avaus (ms)	Kommunikation sulkeminen (ms)
2	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
4	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
6	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
8	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
10	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen

Taulukosta 10 voidaan tulkitä, että software controller oli suoriutunut kommunikatiotestissä muita vertailtavia logiikoita paremmin. Tämän lisäksi on huomattavissa, että software controller -ohjelmoitavan logiikan sisäinen kommunikatio

OPC UA -palvelimen ja asiakkaan välillä oli muita vertailtavia ohjelmitavia logiikoita nopeampaa. Keskiarvoissa ilmeni vain yksi tapaus, jossa software controller -ohjelmitavan logiikan OPC UA -kommunikaatiossa ulkoinen asiakas oli nopeampi kuin teollisuustietokoneella oleva sisäinen asiakas.

Vaikka software controller esiintyi myös pisin kesto -arvojen listassa useasti (taulukko 10), tarkoitti tämä, että sen huonoimmatkin ajat olivat muita vertailukohtia nopeampia. Koska software controller esiintyi useimmissa tapauksissa, jossa käsitellään pisintä kestoä, oli se tässä tapauksessa vertailtavista logiikoista nopein kommunikaatiossa.

TAULUKKO 11. Kommunikaatiotestin suurimmat arvot.

Pisin kesto				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaati- on avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	14,00	18,54	80,01	7,66
4	19,97	22,89	17,35	11,27
6	11,93	5,74	10,00	9,50
8	24,31	7,43	17,30	13,98
10	19,04	8,26	2,49	3,34

Keskiarvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommu- nikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	10,07	10,36	4,84	4,18
4	16,79	18,09	5,37	4,35
6	10,08	4,66	1,33	0,97
8	14,15	5,88	1,47	1,20
10	18,04	7,09	1,60	1,02

Pienin kesto				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommu- nikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	9,64	9,29	4,18	3,52
4	15,90	16,40	4,65	3,65
6	9,76	4,31	1,17	0,82
8	13,81	5,47	1,28	0,82
10	17,15	6,69	1,41	0,86

Taulukon 11 avulla muodostettiin taulukko logiikoista (taulukko 12), jotka ovat suorituneet kommunikaatiotesteistä kaikkein hitaimmin. Solujen taustavärillä helpotettiin eri testilaitteiden tunnistamista taulukosta.

TAULUKKO 12. Suurimmat arvot saaneet ohjelmoitavat logiikat.

Pisin kesto				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikation avaus (ms)	Kommunikation sulkeminen (ms)
2	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515
4	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515
6	CPU 1517	CPU 1517	Soft-PLC sisäinen	Soft-PLC sisäinen
8	CPU 1517	CPU 1517	Soft-PLC sisäinen	CPU 1517
10	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517	Soft-PLC sisäinen

Keskiarvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikation avaus (ms)	Kommunikation sulkeminen (ms)
2	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515
4	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515
6	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517
8	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517
10	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517

Pienin kesto				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikation avaus (ms)	Kommunikation sulkeminen (ms)
2	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515
4	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515	CPU 1515
6	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517
8	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517
10	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517	CPU 1517

Taulukosta 12 on huomattavissa, että tietosolujen määrillä 2 ja 4 CPU 1515F 2-PN -ohjelmoitava logiikka sai kaikissa testeissä huonoimman tuloksen. Tämän

jälkeen kyseistä ohjelmoitavaa logiikkaa ei esiintynyt listassa, mutta tämä oli selitettävissä sillä, että kommunikaation nopeustestit suoritettiin CPU 1515F 2-PN -ohjelmoitavalle logiikalle vain 2 ja 4 tietosolulla. Taulukon 12 tietosolujen 2 ja 4 tuloksista voitiin päätellä, että CPU 1515F 2-PN -ohjelmoitava logiikka oli kommunikaatiotestien perusteella kaikista vertailtavista ohjelmoitavista logiikoista hitain. Tietosolumäärillä 6, 8 ja 10 sekä Software controller, että CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitava logiikka olivat kommunikaation avaus- ja sulkemistestin hitaimpien laitteiden joukossa.

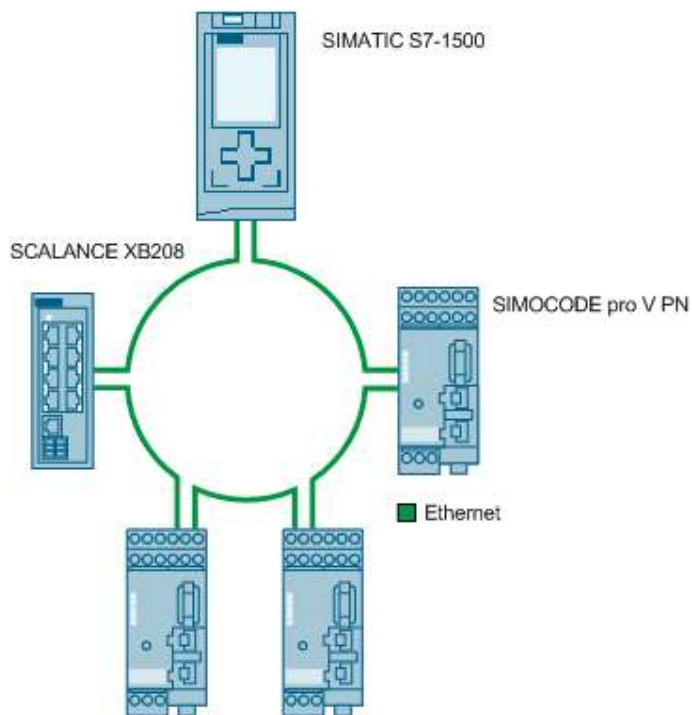
4.3 Käyttöjärjestelmän vikatilanne

Käyttöjärjestelmän vikatilannetestissä OPC UA kommunikaatio software controller -ohjelmoitavan logiikan ja ulkoisen tietokoneen välillä jatkui, vaikka teollisuustietokoneen Windows 10 -käyttöjärjestelmä meni vikatilaan. Tietokoneen käyttöjärjestelmä käynnistyi uudestaan ja kirjautumisen jälkeen software controller -ohjelmoitavan logiikan graafinen käyttöpaneeli aukesi normaalisti. Software controller pysyi myös RUN-tilassa koko testin ajan, eli se jatkoi sisäisen ohjelman suorittamista käyttöjärjestelmän vikatilanteesta huolimatta.

5 POHDINTA

Testeissä käytetty software controller vaikutti suoriutuvan vertailun kohteina olevia perinteisiä ohjelmoitavia logiikoita paremmin sekä suorituskykytestistä, että OPC UA -kommunikaatiotestistä. Software controller -ohjelmoitavan logiikan ominaisuuksista löytyy kuitenkin muutamia osioita, jotka voivat vaikuttaa laitteen soveltuvuuteen eri käyttökohteisiin.

Kuvassa 27 on esitetty Ethernet-rengasverkossa oleva S7-1500 -sarjan ohjelmoitava logiikka ja neljä muuta väylälaitetta. Jos esimerkiksi Simatic S7-1500 ja Scalance XB208 -laitteen välinen kaapeli katkeaisi, säilyttäisi Scalance XB208 yhteyden ohjelmoitavaan logiikkaan rengasverkon takia.



KUVA 27. Rengasverkko (Siemens 2020b).

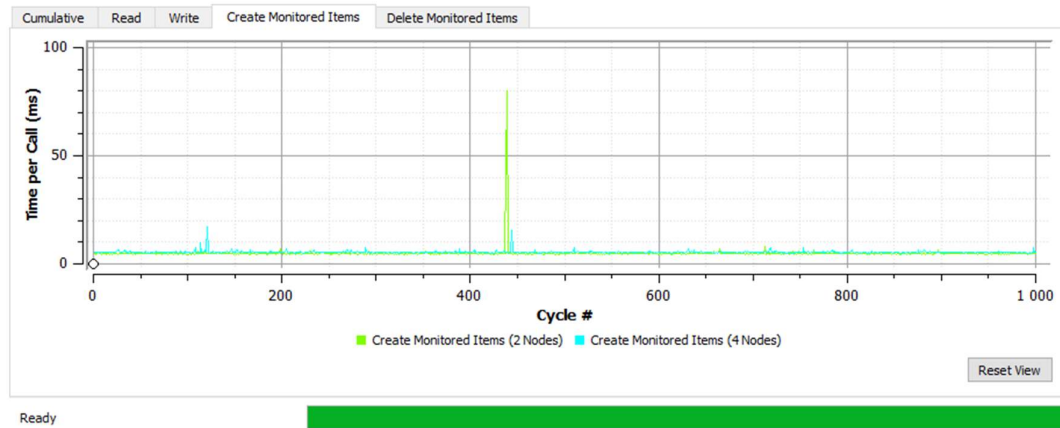
Software controller ei mahdollista kahden muun vertailtavan perinteisen ohjelmoitavan logiikan tapaan kahden liittimen yhdistämistä samalle aliverkolle, jolloin software controller -ohjelmoitavaa logiikkaa ei ole mahdollista kytkeä rengasverk-

koon. Myöskään muut Siemensin valmistamat teollisuustietokoneet eivät mahdollista software controller -ohjelmoitavan logiikan kanssa rengasverkon muodostamista. (Siemens 2021b)

Järjestelmää suunnitellessa tulee ottaa huomioon UPS-varmennetun sähkönsyötön olemassaolo. Teollisuustietokoneella oleva NVRAM-muistialue mahdollistaa tietojen tallentamisen sähkökatkotilanteissa myös ilman UPS-järjestelmää, mutta sen muistin tila on pienempi, kuin perinteisillä ohjelmoitavilla logiikoilla. Jos teollisuustietokoneen sähkönsyöttö on varmennettu UPS-laitteella, voidaan NVRAM-muistialueen asemesta käyttää teollisuustietokoneen omaa kovalevyä tietojen tallentamiseen. Parhaan turvan tietojen säilyttämiseen vikatilanteessa tuo järjestelmä, jossa on käytössä UPS-laite ja teollisuustietokone käyttää NVRAM-muistialuetta. Tämän käyttäminen on mahdollista vain, jos ohjelmoitavan logiikan ohjelman vaatima säilyvän muistin määrä ei ylitä NVRAM-muistialueen kapasiteettia.

Software controller on kokonaisuutena IPC427E teollisuustietokoneen kanssa edullisempi vaihtoehto, kuin sen teholuokkaa lähinnä oleva perinteinen ohjelmoitava logiikka CPU 1517F-3 PN/DP. Vuonna 2022 software controller -kokonaisuus teollisuustietokoneen kanssa oli noin 30 % edullisempi, kuin CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitava logiikka. Ominaisuustesteistä heikoiten selviytynyt perinteinen ohjelmoitava logiikka CPU 1515F-2 PN oli samana vuonna noin 50 % edullisempi kuin testeissä käytetty toinen perinteinen ohjelmoitava logiikka CPU 1517F-3 PN/DP ja noin 30 % edullisempi kuin teollisuustietokoneella toimiva software controller kokonaisuus.

Kommunikaatio oli testeissä yleisesti tasaista, mutta välillä testeissä saattoi ilmetä piikki kommunikaation kestossa. Kuvassa 28 on huomattavissa muutama piikki kommunikaatiotestin aikana. Kyseiset piikit selittävät joidenkin testitulosten pisimmän keston suurta arvoa. Näiden virheiden keskimääräinen vaikutus tuloksiin on vähäinen ja eivät vaikuta kriittisesti testin tuloksiin. Yksittäisiä suuria arvoja esiintyi kaikkien ohjelmoitavien logiikoiden testeissä.



KUVA 28. Esimerkkikuva 1515F 2-PN yhteyden avaustestissä ilmenevistä piikeistä.

Siemensin software controller mahdollistaa myös teollisuustietokoneen ja sen sisällä toimivan ohjelmoitavan logiikan keskinäisen kommunikaation ja korkeamman tason ohjelmoinnin. Tätä ominaisuutta ei kuitenkaan testattu.

Software controller kokonaisuutena teollisuustietokoneen kanssa on hyvä vaihtoehto CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitavalle logiikalle suorituskyvyn, tiedonsiirron ja hintansa perusteella. Huomioitavaa kuitenkin on, että CPU 1517F-3 PN/DP -ohjelmoitavan logiikkaan voidaan mm. yhdistää enemmän Profinet- ja Profisafelaitteita ja I/O-moduuleita. Siemensin software controller ei sovellu järjestelmiin, jossa verkkorakenne on rengasverkon mallinen. Software controller soveltuu muita testattuja ohjelmoitavia logiikoita paremmin käyttökohteisiin, joissa Profinet-laitemäärä on vähäinen ja sen suorittaman logiikkaohjelman tehtävä on suorittaa pääsääntöisesti esimerkiksi raskaampaa tiedonkeruuta ja -käsittelyä.

LÄHTEET

Control Automation, 2021. Beckhoff's TwinCAT Automation Software Turns 25. Verkkosivu. Julkaistu 30.12.2021. Luettu 3.11.2022.

<https://control.com/news/beckhoffs-twincat-automation-software-turns-25/>

Elkome, 2019. OPC UA — Uusi reaaliaikainen kenttäväylästandardi. Verkkosivu. Julkaistu tammikuussa 2019. Luettu 4.11.2022)

<https://elkome.com/opc-ua-uusi-reaaliaikainen-kenttavaylastandardi/>

Keinänen, T. Kärkkäinen, P. Lähetkangas, M. Sumujärvi, M. 2010. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. 1.-2. painos Helsinki: WSOYpro Oy.

Microsoft, 2022. Forcing a System Crash from the Keyboard. Verkkosivu. Julkaistu 4.11.2022. Luettu 10.11.2022. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/debugger/forcing-a-system-crash-from-the-keyboard>

Ohjelmointiputka, 2009. Oppaat: Algoritmien aakkoset: Osa 2 - Vaativuusluokkia. Verkkosivu. Julkaistu 24.4.2009. Luettu 28.11.2022. https://www.ohjelmointiputka.net/oppaat/opas.php?tunnus=alg_2

OPC Foundation, n.d. Unified Architecture. Verkkosivu. Luettu 4.11.2022.

<https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>

Schneider Electric, 2019. OPC UA Server Configuration. Verkkosivu. Luettu 14.11.2022. https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/en/m241prg/m241prg/OPCUA_Server_Configuration/OPCUA_Server_Configuration-3.htm

Scientific American, 2004. Why do computers crash. Verkkosivu. Päivitetty 31.5.2004. Luettu 1.11.2022. <https://www.scientificamerican.com/article/why-do-computers-crash/>

Siemens, n.d. -a. Simatic S7-1500. Verkkosivu. Luettu 27.11.2022.

<https://new.siemens.com/us/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>

Siemens, n.d. -b. SIMATIC S7-1500 Software Controller. Verkkosivu. Luettu 3.11.2022.

<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-software-controller.html>

Siemens, 2014. S7-1500 Cycle and response times. Verkkosivu. Julkaistu helmikuussa 2014. Luettu 10.11.2022.

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/558/59193558/att_112303/v1/s71500_cycle_and_reaction_times_function_manual_en-US_en-US.pdf

Siemens, 2016. Delivery Release for SIMATIC S7-1500 Software Controller V2.0. Verkkosivu. Julkaistu 30.9.2016. Luettu 3.11.2022
[Delivery Release for SIMATIC S7-1500 Software Controller V2.0 - ID: 109740652 - Industry Support Siemens](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109740652-delivery-release-for-simatic-s7-1500-software-controller-v2-0-id-109740652-industry-support-siemens)

Siemens, 2000. Windows Logic Controller WinLC RTX Overview. Verkkolähde. Julkaistu marraskuussa 2000. Luettu 31.10.2022. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/7216121/att_80224/v1/WinLC_rtx_e.pdf

Siemens, 2020a. Modeling the S7-1200 OPC UA Server interface in TIA Portal. Verkkosivu. Julkaistu 20.11.2022. Luettu 4.11.2022. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109781701/modeling-the-s7-1200-opc-ua-server-interface-in-tia-portal?dti=0&pnid=13718&lc=en-FI>

Siemens, 2020b. Configuration of an MRP ring with SIMOCODE and SIMATIC S7-1500. Verkkosivu. Julkaistu 7.10.2022. Luettu 28.11.2022. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109742280/configuration-of-an-mrp-ring-with-simocode-and-simatic-s7-1500?dti=0&lc=en-HN>

Siemens, 2021a. Delivery Release: SIMATIC Software Controller V21.9 now available. Verkkosivu. Julkaistu 9.8.2021. Luettu 3.11.2022
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109800425/delivery-release-simatic-software-controller-v21-9-now-available?dti=0&lc=en-EE>

Siemens, 2021b. S7-1500 Software Controller Operation instructions. Verkkosivu. Julkaistu heinäkuussa 2021. Luettu 15.11.2022. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/686/109799686/att_1076517/v1/s71500_cpu150xs_manual_en-US_en-US.pdf

Siemens, 2022a. SIMATIC S7-1500 Software Controllers. Verkkosivu. Päivitetty 1.11.2022. Luettu 28.11.2022.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10268311>

Siemens, 2022b. SIMATIC Failsafe SW Ctrl CPU 1507S F DL. Verkkosivu. Päivitetty 1.4.2022. Luettu 10.11.2022.
<https://support.industry.siemens.com/cs/pd/727310?ptdi=td&dl=en&lc=en-FI>

Siemens, 2022c. CPU 1515F-2 PN, 750KB Prog., 3MB Data. Verkkosivu. Päivitetty 1.4.2022. Luettu 10.11.2022
<https://support.industry.siemens.com/cs/pd/1413651?ptdi=td&dl=en&lc=en-FI>

Siemens, 2022d. CPU 1517F-3 PN/DP, 3MB Prog., 8MB Data. Verkkosivu. Päivitetty 1.4.2022. Luettu 10.11.2022 <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/526106?ptdi=td&dl=en&lc=en-FI>

Siemens Industry Mall, 2022a. Simatic IPC427E. Verkkosivu. Päivitetty 1.11.2022. Luettu 1.11.2022. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10290372?activeTab=productinformation®ionUrl=WW>

Siemens Industry Mall, 2022b. 6ES7515-2FM02-0AB0. Verkkosivu. Päivitetty 1.11.2022. Luettu 4.11.2022. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7515-2FM02-0AB0>

Siemens Industry Mall, 2022c. 6ES7517-3FP00-0AB0. Verkkosivu. Päivitetty 1.11.2022. Luettu 3.11.2022. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7517-3FP00-0AB0>

Technopedia, 2022. Non-Volatile Random Access Memory (NVRAM). Verkkosivu. Päivitetty 5.11.2022. Luettu 8.11.2022. <https://www.techopedia.com/definition/2794/non-volatile-random-access-memory-nvram>

TechTarget, 2022. Uninterruptible power supply (UPS). Verkkosivu. Julkaistu toukokuussa 2022. Luettu 8.11.2022
<https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/uninterruptible-power-supply>

Unified Automation GmbH, n.d. -a. UaExpert — A Full-Featured OPC UA Client. Verkkosivu. Luettu 3.11.2022
https://www.unified-automation.com/products/development-tools/uaexpert.html?qclid=EA1aIQobChMI4pmezlyS-wlVEQSiAx3GpQzLE-AAYASAAEgKCAfD_BwE

Unified Automation GmbH, n.d. -b. Performance View. Verkkosivu. Luettu 4.11.2022. <https://documentation.unified-automation.com/uaexpert/1.4.2/html/performance.html>

WINSYSTEMS, 2018. Industrial versus Commercial Computers. Verkkosivu. Julkaistu 23.5.2018. Luettu 31.10.2022
<https://www.winsystems.com/industrial-versus-commercial-computers/>

LIITTEET

Liite 1. Tiedonsiirtotestien raakadata

1 (2)

Soft-PLC -sisäinen kommunikaatio:

Suurin arvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	1,53	1,99	0,80	0,55
4	1,71	2,27	1,54	3,18
6	8,69	3,85	10,00	9,45
8	13,60	4,09	17,30	4,95
10	16,80	5,32	1,40	3,34
Keskiarvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	0,90	1,20	0,44	0,41
4	1,46	1,92	0,48	0,44
6	2,03	2,78	0,53	0,47
8	2,71	3,64	0,57	0,48
10	3,39	4,52	0,56	0,47
Pienin arvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	0,69	0,93	0,36	0,33
4	1,24	1,72	0,39	0,34
6	1,62	2,26	0,42	0,36
8	2,18	3,03	0,47	0,37
10	2,66	3,74	0,48	0,38

Soft-PLC -ulkoinen kommunikaatio:

Suurin arvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	2,29	2,34	1,47	1,34
4	2,90	3,03	5,47	1,90
6	3,85	4,35	1,53	2,74
8	4,69	4,86	1,48	1,14
10	5,59	5,55	1,47	1,66
Keskiarvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	1,28	1,33	0,50	0,45
4	2,09	2,14	0,56	0,46
6	2,82	2,95	0,61	0,48
8	3,56	3,73	0,66	0,50
10	4,33	4,51	0,71	0,52
Pienin arvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	1,18	1,22	0,40	0,36
4	1,90	2,01	0,44	0,37
6	2,69	2,77	0,49	0,38
8	3,41	3,57	0,54	0,39
10	4,17	4,35	0,60	0,41

2 (2)

CPU 1515F-2 PN -logiikan kommunikaatio:

Suurin arvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	14,00	18,54	80,01	7,66
4	19,97	22,89	17,35	11,27
6	-	-	-	-
8	-	-	-	-
10	-	-	-	-

Keskiarvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	10,07	10,36	4,84	4,18
4	16,79	18,09	5,37	4,35
6	-	-	-	-
8	-	-	-	-
10	-	-	-	-

Pienin arvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	9,64	9,29	4,18	3,52
4	15,90	16,40	4,65	3,65
6	-	-	-	-
8	-	-	-	-
10	-	-	-	-

CPU 1517F-3 PN/DP -logiikan kommunikaatio:

Suurin arvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	4,82	3,08	1,68	2,88
4	7,96	4,27	2,33	1,85
6	11,93	5,74	5,90	2,03
8	24,31	7,43	3,00	13,97
10	19,04	8,26	2,49	1,65

Keskiarvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	4,00	2,21	1,33	0,91
4	7,03	3,43	1,17	0,93
6	10,08	4,66	1,33	0,97
8	14,15	5,88	1,47	1,20
10	18,04	4,09	1,60	1,02

Pienin arvo				
Nodemäärä	Lukunopeus (ms)	Kirjoitusnopeus (ms)	Kommunikaation avaus (ms)	Kommunikaation sulkeminen (ms)
2	3,50	1,96	0,89	0,77
4	6,61	3,15	1,04	0,79
6	9,76	4,31	1,17	0,82
8	13,81	5,47	1,28	0,82
10	17,15	6,69	1,41	0,86