



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

EXPERION PKS ORION CONSOLE PMD VALVOMO KÄYTTÖLIITTYMÄ

TEKIJÄ: Arttu Kaakinen

| | |
|---|-----------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | |
| Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma | |
| Työn tekijä(t) Arttu Kaakinen | |
| Työn nimi Experion PKS Orion Console PMD valvomo käyttöliittymä | |
| Päiväys | 16.9.2020 |
| Sivumäärä/Liitteet | 64 |
| Ohjaaja(t) lehtori Pasi Lepistö, yliopettaja Harri Heikura | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Honeywell Oy | |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Nykyajan monimutkaisella tekniikalla toteutettujen tuotantolaitosten operaattorit ovat kiireisempiä kuin koskaan. Operaattoreilla on lukuisia tehtäviä suoritettavana normaalin vuoron aikana, mikä voi vaikeuttaa oikeiden päätösten tekemistä häiriötilanteissa. Tyypillisellä prosessitehtaalla on useita tietokantoja ja tietokantojen koko kasvaa vuosittain, ja tieto pirstaloituu. Kaiken tämän tiedon tuominen yhteen ja niistä järkevän kokonaisuuden rakentaminen on ollut haasteena automaatiojärjestelmien kanssa jo pitkään. 1980-luvun alussa teollisuuslaitokset muuttivat yksittäiset paneeliohjaukset hajautettuihin ohjausjärjestelmiin saavuttaakseen paremman tuottavuuden. Samanlainen siirtymä on käynnissä tällä hetkellä, kun uusilta HMI-käyttöliittymiltä vaaditaan jatkuvasti parempaa tehokkuutta, jotta operaattorit voisivat tehdä älykkäämpiä päätöksiä ja saavuttaa parhaimman mahdollisen tuotantokapasiteetin.</p> <p>Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimi Honeywell Oy. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Honeywellin automaatiojärjestelmään Experion PKS with PMD controller ja Honeywellin Experion Orion Console -käyttöliittymään sekä testata automaatiojärjestelmän komponentteja Experion Orion Console -valvomo käyttöliittymässä. Komponenttien testaukset rajattiin piirikuvien testaukseen, koska muuten työstä olisi tullut liian laaja. Opinnäytetyön aihe valittiin yhdessä toimeksiantajan kanssa mahdollisimman ajankohtaiseksi.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin Honeywellin käynnissä olevan projektin ohella, minkä takia piirikuvien testausta pidettiin prioriteettina työssä. Työssä käydään läpi hajautetun ohjausjärjestelmän rakennetta, teollisuus automaation kommunikointiprotokollia, käyttöliittymän ja HMI:n suunnittelua ISA-101.01 standardin pohjalta, Honeywellin Experion PKS with PMD Controller automaatiojärjestelmän rakennetta sekä Experion Orion Console käyttöliittymää.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena opiskelija pääsi tutustumaan Honeywellin automaatiojärjestelmään ja käyttöliittymään syvällisesti, ja Experion PKS with PMD Controller automaatiojärjestelmän piirikuvat saatiin testattua ja raportoitua tuotekehitykselle. Tuotekehityksen tekemien muutosten ja ohjeiden avulla piirikuvat saatiin korjattua toimivaan kuntoon, ja Honeywellin projekti saatiin toteutettua onnistuneesti.</p> | |
| Avainsanat Käyttöliittymä, HMI, Experion PKS, PMD, Kenttäväylä, DCS, Kommunikointiprotokolla, teollisuusautomaatio | |

| | | | |
|---|-----------|------------------|----|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering | | | |
| Author(s) Arttu Kaakinen | | | |
| Title of Thesis Experion PKS Orion Console PMD Control Room Interface | | | |
| Date | 23.8.2020 | Pages/Appendices | 64 |
| Supervisor(s) | | | |
| Client Organisation /Partners Honeywell Oy | | | |
| <p>Abstract</p> <p>With today's complex technology, plant operators are busier than ever. Operators have numerous tasks to complete during a normal shift, which can make it difficult to take the right actions at the abnormal situation. A typical process plant has multiple databases and the size of the databases grows every year and the data is shattered. Bringing all this data together and making a practical HMI from it has been a challenge with automation systems for a long time. In the early 1980s, industrial facilities moved from individual panel boards to distributed control systems to improve their operational capabilities. A similar transition is occurring today when new HMIs are constantly required to be more efficient so that operators can make smarter decisions and run plant closer to process limits for longer periods of time.</p> <p>The purpose of the thesis was to get familiarized with Honeywell's automation system Experion PKS with PMD Controller and Honeywell's Experion Orion Console user interface, and to test some components of the automation system at the Orion Console user interface. The testing of the components was limited to the testing of the faceplates because otherwise the topic would have been too wide. The topic of the thesis was chosen together with Honeywell to be as topical as possible. The thesis was commissioned by Honeywell Oy.</p> <p>The thesis was carried out alongside Honeywell's ongoing project, which is why faceplate-testing was considered a priority in the thesis. The thesis reviewed the structure of a distributed control system, communication protocols used in industrial automation, user interface and HMI design based on the ISA-101.01 standard, Honeywell's Experion PKS with PMD Controller automation system structure and Experion Orion Console HMI.</p> <p>As a result of the thesis, the author familiarized himself with the Honeywell's automation system and Orion Console in depth. Faceplates of the Experion PKS with PMD Controller automation system were tested and reported to product development. With the help of the new patch and instructions made by the product development, the faceplates were repaired to a working condition and the Honeywell's project was successfully completed.</p> | | | |
| <p>Keywords</p> <p>User Interface, HMI, Experion PKS, PMD, Fieldbus, DCS, Communication protocol, Industrial automation</p> | | | |
| | | | |

ESIPUHE

Haluaisin kiittää Honeywell Oy:tä opinnäytetyön aiheesta. Opinnäytetyön aikana pääsin tutustumaan syvällisesti Honeywellin automaatiojärjestelmään ja oppimaan erittäin paljon käyttöliittymän toteutuksesta ja toiminnasta automaatiojärjestelmässä. Tahdon kiittää ohjaavaa opettajaani Pasi Lepistöä, joka alun perin kertoi minulle Honeywellin etsivän opinnäytetyön tekijää ja ohjasi minut oikeiden henkilöiden puheille. Tahdon myös kiittää Honeywell Oy:n ohjaajaani Mika Räsästä jatkuvasta tuesta ja ohjauksesta opinnäytetyön aikana. Haluan myös kiittää Honeywell Oy:n Jari Hämäläistä neuvoista ja tuesta opinnäytetyön aikana.

Kuopiossa 23.8.2020

Arttu Kaakinen

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 7 |
| 1.1 | Opinnäytetyössä käytetyt lyhenteet ja niiden määritelmät | 8 |
| 2 | HONEYWELL INTERNATIONAL..... | 9 |
| 2.1 | Honeywell process solutions | 10 |
| 3 | HAJAUTETTU OHJAUSJÄRJESTELMÄ | 12 |
| 3.1 | Rakenne/arkkitehtuuri | 12 |
| 3.2 | Automaatiojärjestelmän tasot | 14 |
| 3.2.1 | Taso 0 (kenttätaso)..... | 14 |
| 3.2.2 | Taso 1 (Ohjaustaso)..... | 15 |
| 3.2.3 | Taso 2 (valvontataso)..... | 15 |
| 3.2.4 | Taso 3 (suunnittelutaso)..... | 16 |
| 3.2.5 | Taso 4 (Yritystaso) | 16 |
| 4 | AUTOMAATIOJÄRJESTELMIEN KOMMUNIKOINTIPROTOKOLLAT | 17 |
| 4.1 | Kenttäväylät | 17 |
| 4.2 | Kenttäväylän kommunikointiprotokolla | 18 |
| 4.2.1 | OSI-mallin kerrokset..... | 19 |
| 4.3 | Profibus..... | 21 |
| 4.4 | Profinet | 22 |
| 4.5 | Teollinen Ethernet..... | 25 |
| 5 | KÄYTTÖLIITTYMÄ | 27 |
| 5.1 | Käyttöliittymät teollisuusautomaatiossa | 27 |
| 5.2 | Hyvän käyttöliittymän suunnittelu | 28 |
| 5.2.1 | Värit..... | 29 |
| 5.2.2 | Asettelu..... | 30 |
| 5.2.3 | Prosessiarvot ja merkinnät..... | 31 |
| 5.2.4 | Johdonmukaisuus ja navigointi..... | 32 |
| 5.3 | ISA 101.01 Standardi | 32 |
| 6 | EXPERION PKS WITH PMD CONTROLLER | 38 |
| 6.1 | Experion PKS with PMD controller automaatiojärjestelmän rakenne..... | 38 |
| 6.2 | PMD-kenttäohjaimet..... | 40 |
| 6.2.1 | FCE-Controller..... | 40 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.2.2 | FC-controller | 41 |
| 7 | EXPERION ORION CONSOLE | 43 |
| 7.1 | Safeview | 45 |
| 8 | EXPERION PMD KOMPONENTTIEN TESTAUS | 47 |
| 8.1 | Kuopion Experion Orion Console käyttöliittymä | 47 |
| 8.2 | Piirikuvat | 48 |
| 8.3 | Piirikuvien testaukset | 49 |
| 8.3.1 | Mittauksen piirikuva | 50 |
| 8.3.2 | Säädön piirikuva | 50 |
| 8.3.3 | Yksisuuntaisen moottorin piirikuva | 51 |
| 8.3.4 | Kaksisuuntaisen moottorin piirikuva | 51 |
| 8.3.5 | Venttiilin piirikuva..... | 52 |
| 8.3.6 | Kytkimen piirikuva..... | 52 |
| 8.3.7 | Yleisen logiikkapiirin piirikuva..... | 53 |
| 8.3.8 | Binääripiirin piirikuva | 53 |
| 8.3.9 | Sekvenssin piirikuva | 54 |
| 8.4 | Työn kulku | 54 |
| 9 | YHTEENVETO..... | 56 |
| 10 | LAINATUT LÄHTEET | 57 |
| 11 | LIITTEET | 60 |

1 JOHDANTO

Teollisuusautomaation tulevaisuus on uuden siirtymän kynnyksellä kulkiessaan nopeiden teknologisten muutosten ja uusien järjestelmien käyttöönoton läpi, tavoitteena laitteiden ja järjestelmien täydellinen yhteistoimivuus. Tekniikan jatkuva kehitys on mahdollistanut automaatiojärjestelmien nopeamman tiedonsiirron, lyhyemmän vasteajan, tiedon kapasiteetin kasvun ja paremman toimintavarmuuden vuosikymmenien aikana. Jatkuva tarve nopeammille ja tarkemmille teollisuusautomaation ohjausjärjestelmille on johtanut tekniikan kehittymiseen uudelle sukupolvelle. IoT, älykkäät kenttälaitteet ja tietokapasiteetin kasvu tulevat muuttamaan teollisuusautomaatiota tulevaisuudessa.

Ohjausjärjestelmien muuttuessa nopeammiksi ja teollisuuden tuotantokapasiteetin kasvun takia automaatiojärjestelmät välittävät enemmän tietoa operaattoreille kuin koskaan. Nykypäivänä valtava määrä tietoa välitetään valmistusprosesseista tehtaiden operaattoreille. Operaattorit joutuvat tulkitsemaan ja analysoimaan näitä valtavia määriä tietoja ja tekemään päätöksiä esitetyn tiedon perusteella nopeasti. Nykyajan operaattorin on päästävä tietoihin käsiksi helposti ja ymmärrettävä tietoa, jotta voi toimia tehokkaasti välttääkseen prosessinhäiriötilat. Huonosti suunnitellut HMI:t (Human machine interface) ovat olleet yhtenä suurena tekijänä teollisuustapaturmissa historian aikana. Tämä keskeinen teollisuusautomaatiojärjestelmän aspektiin on aiemmin kiinnitetty vähemmän huomiota ja kehitystoimia. Vasta viime vuosikymmeninä hyvän HMI:n suunnittelu on saanut suurempaa jalansijaa teollisuusautomaatiossa. Vuonna 2015 ISA (International Society of Automation) julkaisi ensimmäisen HMI standardinsa, jossa käsitellään toimivan HMI:n suunnittelua.

Opinnäytetyössä käydään läpi hajautetun ohjausjärjestelmän rakennetta, automaatiojärjestelmän tasoja, automaatiojärjestelmän kommunikointiprotokollia, automaatiojärjestelmän käyttöliittymän suunnittelua, Honeywellin Experion PKS with PMD Controller automaatiojärjestelmän rakennetta ja Honeywellin Experion Orion Console käyttöliittymäratkaisua. Opinnäytetyön toiminnallinen osio keskittyy Honeywellin automaatiojärjestelmän piirikuvien testaukseen Experion Orion Console käyttöliittymässä.

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimi Honeywell Oy. Työssä käytetyt lähteet on haettu pääasiassa internetistä ja Honeywellin sisäisistä asiakirjoista. Työssä on käytetty pääasiassa ulkomaalaisia lähteitä, mutta myös joitakin suomalaisia lähteitä.

1.1 Opinnäytetyössä käytetyt lyhenteet ja niiden määritelmät

| | |
|--------------|---|
| <i>ANSI</i> | American national standards institute. Amerikan kansallinen standardilaitos. |
| <i>CSMA</i> | Carrier-sense multiple access with collision avoidance. |
| <i>DNS</i> | Domain name system. Internetin nimipalvelu järjestelmä. |
| <i>ERP</i> | Enterprise resource planning. ERP-järjestelmä, eli toiminnanohjausjärjestelmä. |
| <i>FCE</i> | Field Controller Express. Honeywellin automaatiojärjestelmän uudempi kenttäohjain |
| <i>FC</i> | Field Controller. Honeywellin automaatiojärjestelmän vanhempi kenttäohjain. |
| <i>FTE</i> | Fault tolerant ethernet. Honeywellin rakentama Viansietoinen Ethernet protokolla. |
| <i>GSD</i> | General station Description. Profibus ja Profinet kehittämä tiedostotyyppi. |
| <i>HMI</i> | Human machine interface. Ihmisen ja koneen välinen käyttöliittymä. |
| <i>HPS</i> | Honeywell product solutions |
| <i>I/O</i> | Input/Output. Joukko rajapintoja, joita käytetään tiedonsiirtoon. |
| <i>IEC</i> | International Electrotechnical Commission. Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio |
| <i>IEEE</i> | Institute of Electrical and Electronics engineers. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö. |
| <i>Iot</i> | Internet of things. Esineiden internet |
| <i>IP</i> | Internet protocol. Internet protokolla. |
| <i>ISA</i> | International society of automation. Kansainvälinen automaatioseura. |
| <i>LAN</i> | Local area network. Paikallisverkko. |
| <i>MAC</i> | Media access control. Verkkosovittimien Ethernet-verkossa yksilöitävä osoite. |
| <i>MES</i> | Manufacturing execution system. MES-järjestelmä, eli tuotannonohjausjärjestelmä. |
| <i>OIT</i> | Operator interface terminal. Operaattorin käyttöliittymäpääte. |
| <i>OP</i> | Output. Lähtötieto. |
| <i>OSI</i> | Open systems interconnection. Kuvaa tiedonsiirtoprotokollia seitsemässä kerroksessa. |
| <i>OTP</i> | Operator Touchpanel. Operaattorin kosketusnäyttöpääte. |
| <i>PA</i> | Process automation. Prosessiautomaatio. |
| <i>PKS</i> | Process knowledge system. Honeywellin hajautettu ohjausjärjestelmä. |
| <i>PLC</i> | Programmable logic controller |
| <i>PMD</i> | Processes, machinery and drives. Honeywellin automaatiojärjestelmä |
| <i>DP</i> | Decentralized peripherals. Hajautetut oheislaitteet |
| <i>PV</i> | Process variable. Prosessimuuttuja. |
| <i>SCADA</i> | Supervisory control and data acquisition. Valvomo-ohjelmisto. |
| <i>SP</i> | Setpoint. Asetusarvo. |
| <i>TCP</i> | Transmission Control Protocol. Tietoliikenneprotokolla tietokoneiden välillä. |
| <i>UDP</i> | User Datagram Protocol. Tietoliikenneprotokolla laitteiden välillä. |
| <i>UHD</i> | Ultra-high-definition. Teräväpiirto. |
| <i>WDL</i> | Workspace definition language. Safeview ohjelmaan kehitetty Työaseman määrittely kieli |
| <i>XML</i> | Extensible markup language. Merkintäkielinen standardi. |

2 HONEYWELL INTERNATIONAL

Honeywell International inc. on suuri globaali yhtiö, joka toimii yli 70 valtiossa ja työllistää yli 110 000 työntekijää maailmanlaajuisesti. Honeywellillä on 970 toimipistettä maailmanlaajuisesti ja sen pääkonttori sijaitsee Yhdysvalloissa Charlotte kaupungissa Pohjois-Carolinan osavaltiossa. Yhtiön liikevaihto oli vuonna 2019 41,8 miljardia Yhdysvaltain dollaria. Honeywellin toimitusjohtajana on toiminut maaliskuusta 2017 alkaen Darius Adamczyk. Yhtiö on jakautunut neljään liiketoimintaryhmään, joita ovat Ilmailu ja avaruus (Aerospace), Rakennusteknologia (Building Technologies), Materiaalit ja Tekniikat (Performance Materials and Technologies) ja Turvallisuus- ja Tuottavuusratkaisut (Safety and Productivity Solutions). (Honeywell, 2020)

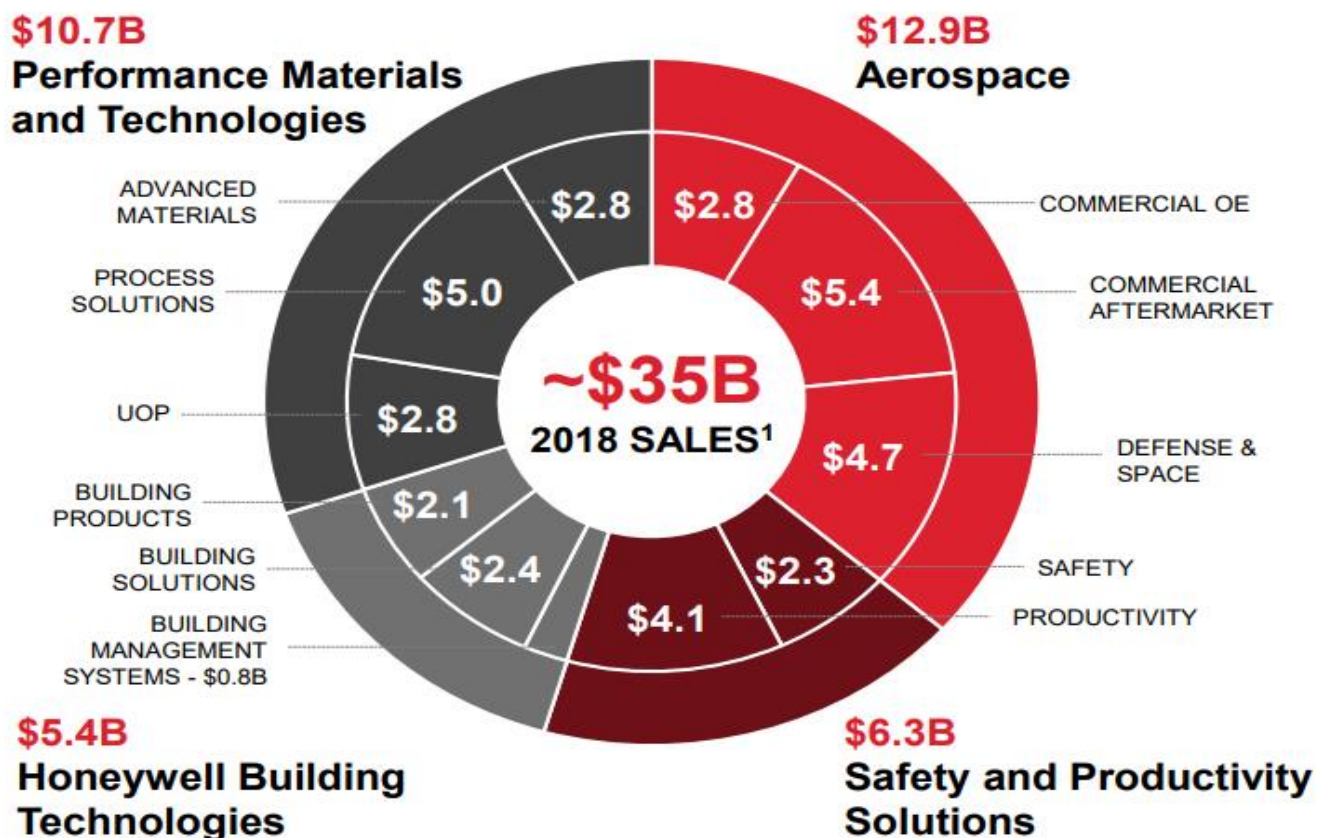
Honeywell Aerospace on yhtiön suurin segmentti, jonka liiketoiminta keskittyy ilmailuun ja avaruuteen. Aerospace segmentin toimialoja ovat elektroniikkaratkaisut, moottorit- ja sähkövoimajärjestelmät, mekaaniset järjestelmät, komponentit ja liitettävyysratkaisut. (Honeywell, 2020)

Honeywell Performance Materials and Technologies segmentin toimialoja ovat kehittyneet materiaalit, prosessiratkaisut ja öljyn jalostus. Performance Materials and Technologies on Honeywellin toiseksi suurin segmentti. (Honeywell, 2020)

Honeywell Building Technologies ja Safety and Productivity Solutions segmentit luotiin, kun aikaisempi segmentti Automation and Control Solutions (automaatio- ja ohjausratkaisut) lakkautettiin vuonna 2016. Honeywell safety and productivity solutions segmentin toimialoja ovat teollisuus turvallisuus, tuottavuus ratkaisut, ohjelmistot, sensorit ja internet of things. Safety and productivity solutions segmentti on Honeywellin kolmanneksi suurin. (Honeywell, 2018) (Neuman, 2016)

Honeywell Building Technologies segmentin toimiala on rakennusautomaatioon liittyvät ratkaisut, kuten palohälytintjärjestelmät, valaistusjärjestelmät, turvallisuusjärjestelmät ja rakennus automaation ohjausjärjestelmät. Honeywell building technologies on neljänneksi suurin segmentti. (Honeywell, 2019). Kuvassa yksi näkyy Honeywellin liikevaihdon jakautuminen ja segmenttien koot, vuonna 2018 eri segmenttien välillä.

HONEYWELL AT A GLANCE



Kuva 1. Honeywellin liikevaihdon jakautuminen 2018 eri segmenteille (Honeywell, 2018)

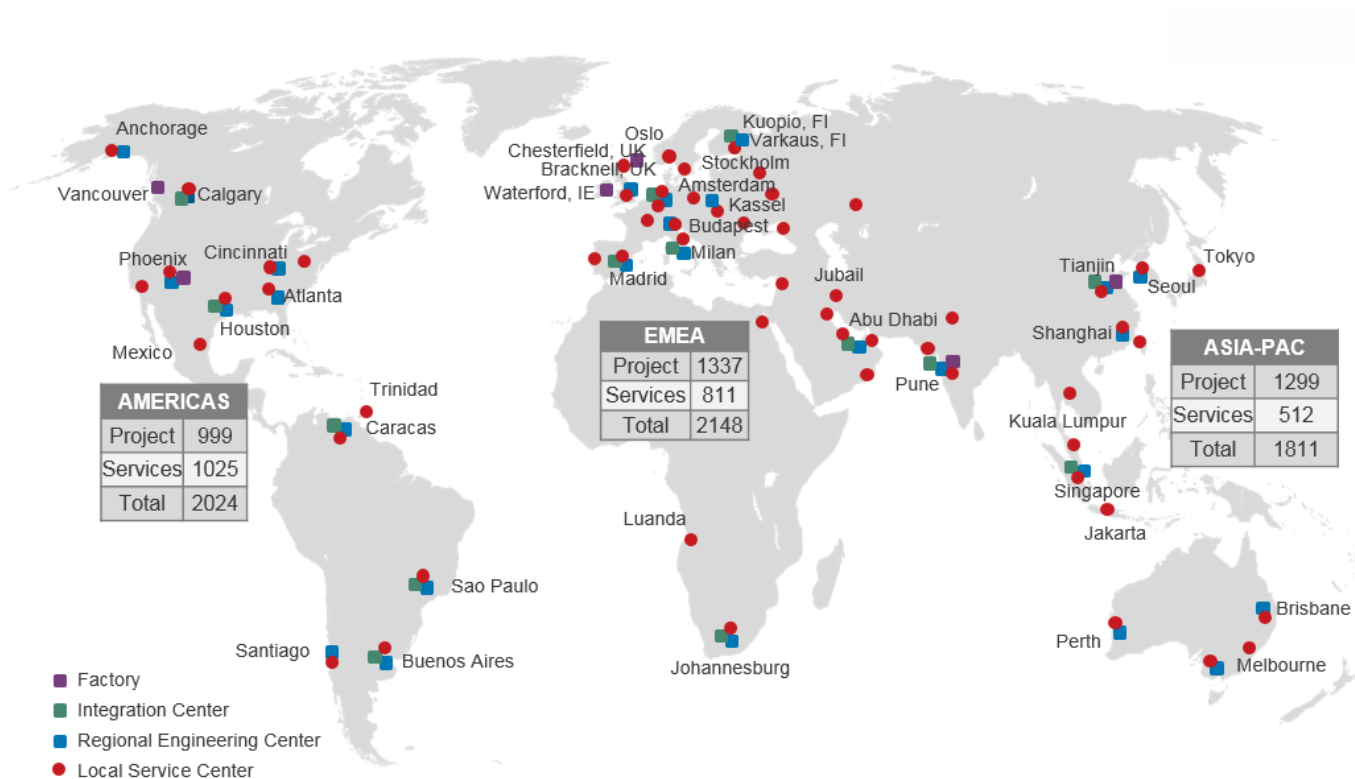
2.1 Honeywell process solutions

Suomessa Honeywellin liiketoiminta kattaa rakennusautomaation, teollisuusautomaation ja rakennusten huoltopalvelut. Honeywell Process Solutions kuuluu Honeywellin Performance and Materials segmentin alle.

Honeywell process solutions auttaa asiakkaita ympäri maailman tarjoamalla turvallisia, luotettavia ja tehokkaita ratkaisuja teollisuuteen. Honeywellin liiketoimintayksikkö HPS on ollut edelläkävijä prosessiautomaation ohjauksessa yli 40 vuoden ajan jatkuvalla kehityksellä. HPS Liiketoimintayksiköllä on yli 12 000 työntekijää ympäri maailman tarjoten asiakkaille laajan asiantuntemuksen ja resurssit toteuttaa suuria hankkeita öljy- ja kaasualalla, öljynjalostuksessa, sellun ja paperin valmistuksessa, teollisuuden sähköntuotannossa, kemikaaleissa ja petrokemian tuotteissa, biopolttoaineissa ja metalli-, mineraali ja kaivosteollisuudessa. (Honeywell, 2020)

Honeywell Process Solutions toimii Suomessa kahdessa eri toimipisteessä, jotka ovat Kuopio ja Varkaus. Kuopion toimipisteellä sijaitsee palveluliiketoiminta, projektiliiketoiminta, tuotemarkkinointi, tuotetuki ja tuotekehitys. Varkauden toimipisteellä sijaitsee tuotemarkkinointi, tuotetuki, koulutustoiminnot ja projektiliiketoiminta. Suomen HPS:n automaatiojärjestelmät kootaan ja testataan Varkauden

toimipisteellä, minkä jälkeen ne lähetetään asiakkaille. Kuvassa kaksi näkyy Honeywell Process Solutions toimipisteet maailmalla.



Kuva 2. Honeywell process solutions toimipisteet maailmalla. (Markus, 2018)

3 HAJAUTETTU OHJAUSJÄRJESTELMÄ

Hajautettu ohjausjärjestelmä on yksi prosessiautomaation käytetyimmistä muodoista. Hajautettu ohjausjärjestelmä on erityisesti suunniteltu suurille, monimutkaisille ja maantieteellisesti hajautetuille teollisuusprosesseille. Tässä ohjausjärjestelmässä ohjainlaitteet ovat hajautettuna teollisuusalueen eri osiin, joissa ne valvovat prosessin eri alueita. Hajautetulla ohjausjärjestelmällä saavutetaan parempi prosessin ohjaus ja luotettavuus erityisesti suunnitelluilla redundanssi- ja diagnostisilla ominaisuuksilla. Luotettavuuden, tuottavuuden ja laadun parantamiseksi prosessinohjausteollisuuden on ohjattava integroituja ohjainlaitteita, joilla on suuri hajautettu ohjauskyky, jotta suuret tuotantokustannukset saataisiin minimoitua. (EL-PRO-CUS, 2015)

3.1 Rakenne/arkkitehtuuri

Hajautettu ohjausjärjestelmä voidaan yksinkertaistaa neljään eri tasoon. Tyypillisen hajautetun ohjausjärjestelmän ensimmäinen taso on keskitetty valvomo, jossa operaattorit ohjaavat prosessin toimintaa ohjausasemilta. Ohjausasemat hajautetussa ohjausjärjestelmässä ovat järjestelmän tärkeimmät komponentit. Ohjausasemilta operaattorit havainnoivat prosessin muutoksia, tekevät tarvittavia muutoksia ohjaukseen, valvovat hälytyksiä ja tutkivat historiatrendejä. (Mondi, 2019)

Hajautetun ohjausjärjestelmän seuraava taso on tyypillisesti palvelimet, arkisto ja suunnitteluasemat. Kommunikointi toteutetaan tyypillisesti ohjausasemien ja palvelimen välillä teollisella Ethernetillä. Palvelimia käytetään datan keräämiseen prosessoritasolla. Palvelimet ovat vastuussa datan liikkumisesta ohjausasemien ja ohjainlaitteiden välillä. Arkistopalvelimia ja arkistotietokoneita käytetään historiadataan keräämiseen erilliseen historiatietokantaan. Historiatietokannasta voidaan myöhemmin tarkastella historiadataa graafisesti. Suunnitteluasemia käytetään projekteissa, joissa prosessin ohjauslaitteistoon tehdään muutoksia. Suunnitteluasemilta voidaan tehdä muutoksia laitteistojen määrittelyyn, kenttäohjainten logiikan toimintaan, graafisten käyttöliittymien muutoksiin, järjestelmän päivityksiin, sekä suorittaa tehtäviä järjestelmänvalvojan oikeuksilla. Suunnitteluasemilta muutokset ladataan ohjainlaitteisiin ja graafisiin käyttöliittymiin. (Mondi, 2019)

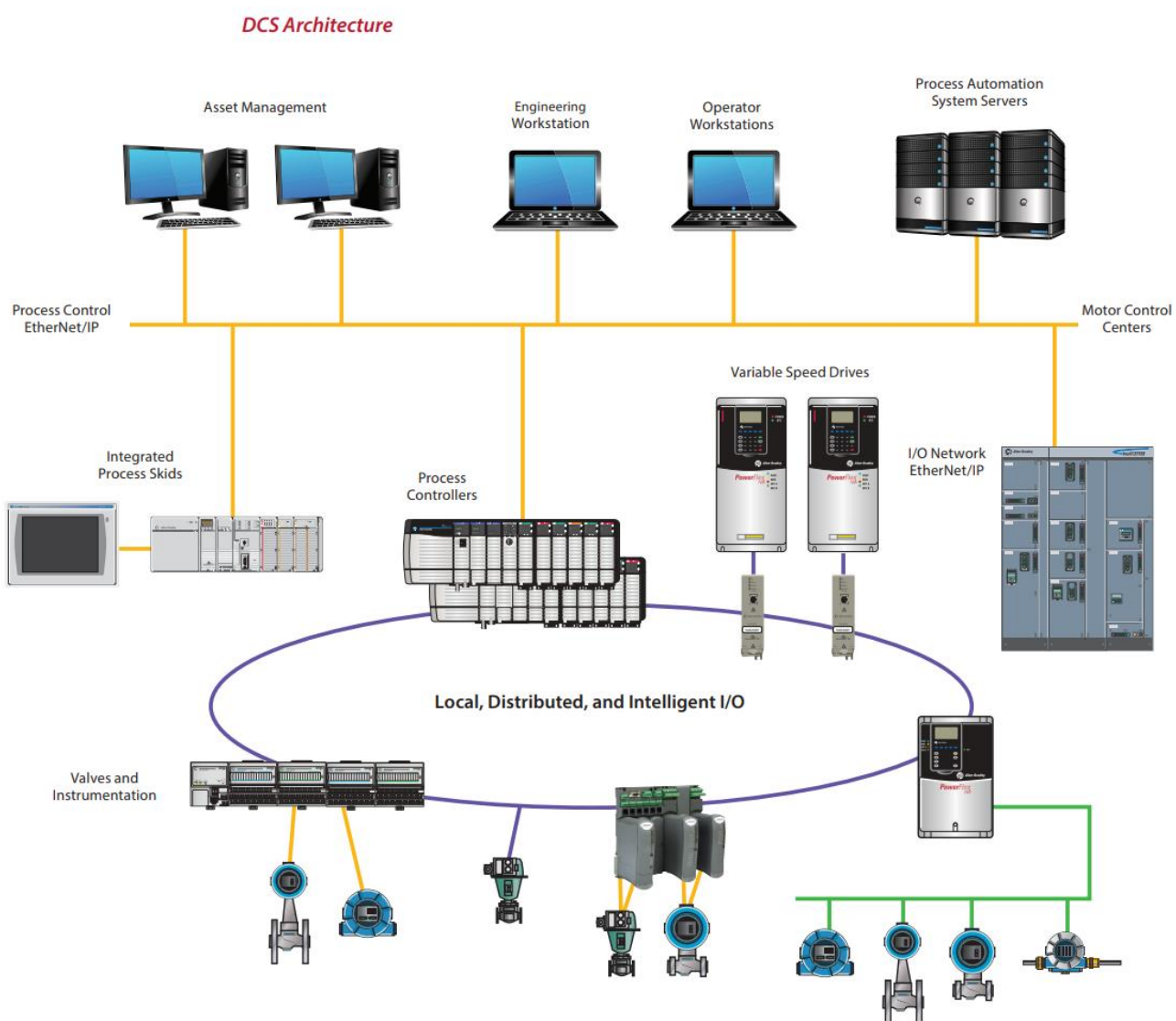
Seuraavalta tasolta löytyvät isäntä-ohjainlaitteet, jotka valvovat kenttälaitteita ja I/O moduuleja. Ohjainlaitteet vastaavat myös datan lähettämisestä palvelimille, jotka puolestaan toimittavat datan graafisille käyttöliittymille. Tällä tasolla logiikkaohjainten prosessori suorittaa ohjaimiin tallennetun logiikan ja ohjaa prosessia, niin että se pysyy hallittavissa. Teollista Ethernetiä käytetään usein kommunikointiin palvelimien ja ohjainlaitteiden välillä. Valokuitu on myös yleinen tapa välittää tietoa, mikäli Ethernet-kaapeloinnin pituus on liian suuri. (Mondi, 2019)

Alimmalta tasolta hajautetussa ohjausjärjestelmässä löytyvät kenttälaitteet. Kenttälaitetason komponentteja ovat lähettimet, kytkimet, venttiilit, moottorit ja erilaiset I/O moduulit. Kommunikointi kenttälaitetason ja ohjainlaitteiston välillä toteutetaan yleisesti standardoitujen kenttäväylien avulla,

mutta kommunikointitapa voi olla melkein mikä vain, joka on yhteensopiva komponenttien välillä. (Mondi, 2019) Tunnetuimpia kenttäväyliä ovat:

- Profibus DP ja PA (decentralized peripherals ja process automation)
- Profinet
- Ethernet
- Modbus
- EtherCAT
- Valokuitu
- HART

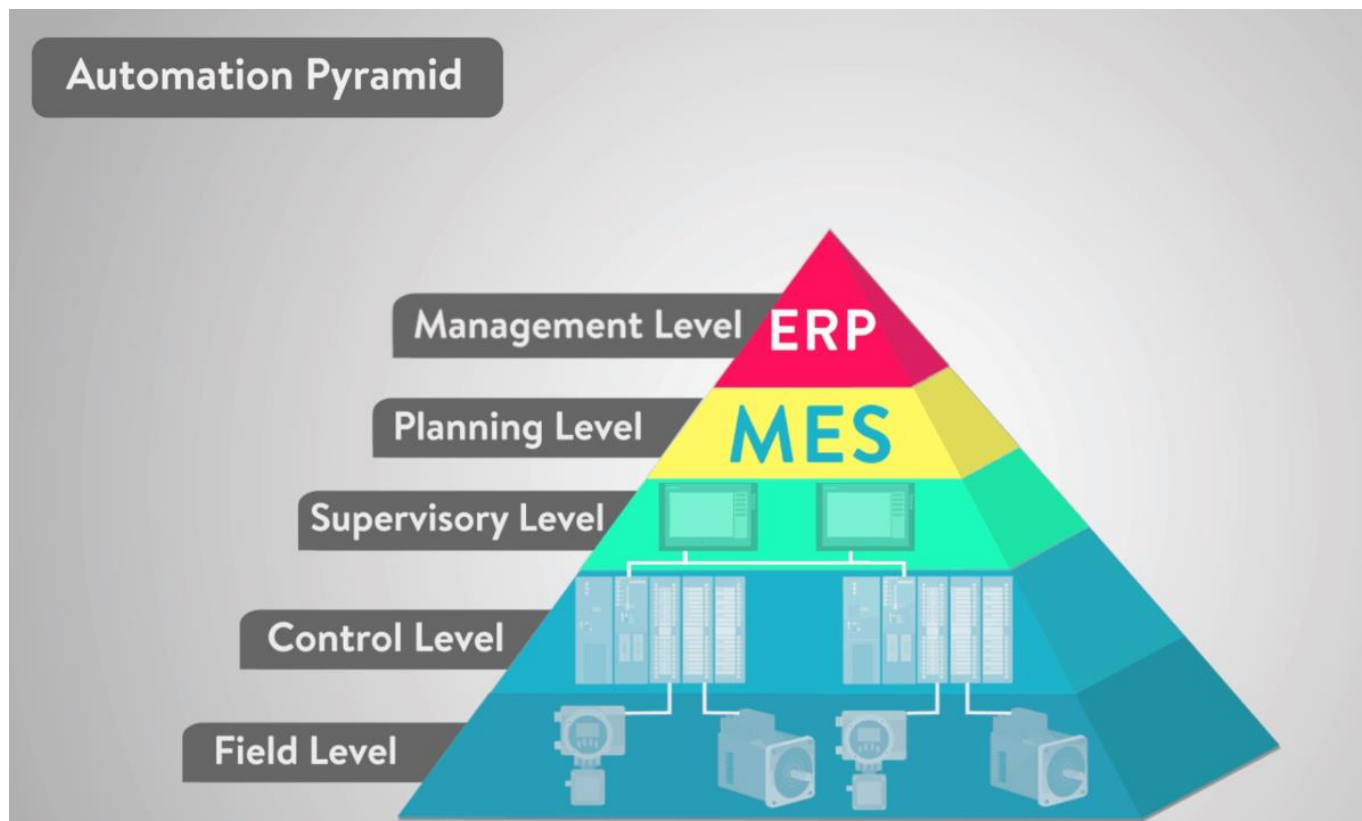
Kuvassa kolme on kuvattuna tyypillinen hajautetun ohjausjärjestelmän rakenne.



Kuva 3. Hajautetun ohjausjärjestelmän tyypillinen rakenne (Rockwell automation, 2018)

3.2 Automaatiojärjestelmän tasot

Prosessiautomaatiojärjestelmät voidaan jakaa viiteen eri tasoon. Näitä tasoja voidaan kuvata automaatiopyramidilla, joka on kuvallinen esitys automaatiojärjestelmän eri tasoista. Kuvassa neljä on esitettyä automaatiopyramidi. (Cope, 2018)



Kuva 4. Automaatiopyramidi (Cope, 2018)

Automaatiopyramidissa kuvataan automaatiojärjestelmän eri tasot yksinkertaistettuna. Automaatiojärjestelmän tasoja on viisi:

1. Taso 0 (kenttätaso)
2. Taso 1 (ohjaustaso)
3. Taso 2 (valvontataso)
4. Taso 3 (suunnittelutaso)
5. Taso 4 (Hallinnollinen taso)

3.2.1 Taso 0 (Kenttätaso)

Tasolla 0 sijaitsevat kaikki automaatiojärjestelmän kenttälaitteet, kuten sensorit, anturit, venttiilit, toimilaitteet ja moottorit. Nämä kenttälaitteet kytkeytyvät suoraan prosessilaitteistoon. Kenttätaso on tuotantotaso, jossa fyysistä työtä tehdään ja mitataan. (Cope, 2018)

Kenttätason laitteet kommunikoivat tason yksi kanssa, vastaanottavat ohjausarvoja ja lähettävät tilatietoja tason 1 ohjainlaitteiston kanssa. Laitteet mittaavat prosessimuuttujia ja ohjaavat prosessin tilaa. Näiden kenttälaitteiden toiminnot vaihtelevat hyvin yksinkertaisista lämpötilamittareista erittäin monimutkaisiin liikkuviin robotteihin. Kenttälaitteiden määrä riippuu tehtaan/tuotantolaitoksen koosta ja voi vaihdella kymmenistä laitteista tuhansiin. Kenttälaitteisto sijaitsee tuotantotiloissa, joissa on

usein hyvin haastavat olosuhteet (lämpötila, pöly, kosteus ja värinä). Suunnittelun ja asennuksen jälkeen kenttälaitteistoa ei vaihdeta kokonaan, ennen kuin tuotantolaitteistoa uudistetaan, mihin kuuluu tyypillisesti yli viisi vuotta. (Cisco, Rockwell automation, 2011)

3.2.2 Taso 1 (Ohjaustaso)

Tasolla 1 sijaitsevat automaatiojärjestelmän ohjaus- ja säätölaitteet, jotka ohjaavat kenttätason laitteita sen hetkisten prosessiparametrien mukaan. Tason 1 tärkein tehtävä on lukea kenttälaitteiden lähettämää dataa ja ohjainlaitteiden ohjelman perusteella ohjata prosessia. Tason yksi ohjainlaitteisto koostuu yleensä ohjelmoitavista logiikoista tai älykkäistä hajautetuista kenttäohjaimista. Nämä ohjainlaitteet tekevät itsenäisiä ratkaisuja niihin ladattujen ohjelmien mukaan ja ohjaavat prosessia. Tyypillisesti näitä ohjainlaitteita voidaan ylläpitää, päivittää ja muokata suunnitteluasemalta erillisellä valmistajakohtaisella ohjelmalla. Tällä ohjelmalla voidaan ladata ohjainlaitteen määrytykset ja ohjelma, päivittää ohjelma ja määrytykset ja sitten ladata ne takaisin ohjainlaitteeseen. Älykkäät ohjainlaitteet ovat modulaarisia tietokoneita, jotka sisältävät yleensä:

- Prosessorin, joka laskee kaiken datan ja suorittaa sille ladatun ohjelman
- I/O- tai verkkomodulin, joka kommunikoi tason 0 kenttälaitteiden, tason 2 HMI-käyttöliittymien ja muiden tason 1 ohjainlaitteiden kanssa
- Integroidun tai erillisen virtalähteen, joka ylläpitää virtaa ohjainlaitteelle ja mahdollisille muille laitteille (Cisco, Rockwell automation, 2011)

3.2.3 Taso 2 (Valvontataso)

Tasolla 2 sijaitsevat sovellukset ja toiminnot, joilla prosessia valvotaan. Tällä tasolla 2 sijaitsevat valvomotoiminnot, operaattoreiden ohjausasemat (HMI:t) ja hälytyslaitteisto, jolla prosessia valvotaan ja ohjataan. Tasolla 2 varmistetaan järjestelmän ohjaus reagoimalla kaikkiin hätätilanteisiin ja optimoimalla prosessi halutun tuotantoaikataulun mukaisesti. Laitoksen koordinointi raportointia varten toteutetaan tällä tasolla. Tämä taso myös kerää ja ylläpitää prosessitietokantaa. Tason 2 laitteisto kommunikoi tason 1 ohjauslaitteiston kanssa ja jakaa tiedon tason 3 tai tason 4 kanssa. Tämä on myös taso, jolla viestintää ylemmän ja alemman tason tietokonejärjestelmien kanssa koordinoidaan. Tason kaksi laitteet kommunikoiivat yleensä Ethernet TCP/IP tekniikan avulla keskenään ja sen toimintaa tyypillisesti ylläpitää valmistajan organisaatio. (Cisco, Rockwell automation, 2011) (IDC-technologies, 2012)

3.2.4 Taso 3 (Suunnittelutaso)

Taso 3 on lyhennettynä MES (manufacturing execution system), joka tarkoittaa tuotannonohjausta. Tasolla 3 sijaitsevat automaatiojärjestelmän toiminnot, jotka keskittyvät työnkulun suunnitteluun, hallintaan ja laadunvarmistukseen. Näitä ovat mm. Historiatietokanta, raportointi, tuotannon aikataulutus, etäyhteystuki, hallinta- ja ohjaussovellukset, varastot ja energiankulutus. Tuotantokustannusten optimointitieto saadaan muuttamalla tuotantoaikataulua, joka perustuu alemmilta tasoilta saatuihin tietoihin. Tällä tasolla toteutetaan laitosten koordinointi ja operatiivisen tiedon raportointityöt. Näihin sisältyvät tuotannon valmistelu, raportointi, viestintä ylemmän ja alemman tason kanssa, toimintaan liittyvä tiedonkeruu ja offline-analyysi tulevaa ennustetta varten sekä operaattorien työasemien toimintojen varmistus. (IDC-technologies, 2012) (Cisco, Rockwell automation, 2011)

Tason 3 verkko voi kommunikoida tason 1 ohjainlaitteiden ja tason 0 kenttälaitteiden kanssa mahdollisista muutoksista tuotannossa ja jakaa datan tason 4 kanssa. Tason 3 laitteet ovat enimmäkseen normaaleja tietokonelaitteistoja käyttöjärjestelmineen (Microsoft Windows, MAC), minkä takia ne kommunikoivat pääasiassa TCP/IP tekniikan avulla. Tason 3 laitteet ovat pääasiassa IT teknologiaa, joten niitä voi ylläpitää ja huoltaa vain IT-taitoja omaava henkilöstö. (Cisco, Rockwell automation, 2011)

3.2.5 Taso 4 (Yritystaso)

Tason 4 lyhenne on ERP (Enterprise Resource Planning), ja se tarkoittaa toiminnanohjausta. Tällä tasolla sijaitsevat keskitetyt IT-järjestelmät ja toiminnot, joilla tapahtuu yrityksen resurssien hallintaa, yritysten välisiä palveluja ja yritysasiakaspalveluja. Tärkeimmät toiminta-alueet tällä tasolla ovat johtamistehtävät, myynti, markkinointi, asiakastilausten hallinta, tilausten varaaminen ja tilaustietojen siirtäminen tasolle 3. Muita toimintoja ovat markkinaennuste, markkinatieto, asiakastietokantojen hallinta ja markkinatutkimukset. Tason 4 toimintoihin kuuluvat ei-kriittiset tehdasjärjestelmät, kuten raportointi, inventaario ja tehokkuusennuste. Tasolla 4 siis sijaitsee tehtaan yritysverkko, josta on pääsy internetpalveluihin, kuten sähköpostiin ja toiminnanohjausjärjestelmään. Tasot 0–3 ovat ns. kriittisiä automaatiojärjestelmälle, mutta taso 4 katsotaan ei-kriittiseksi tasoksi. Tason 4 järjestelmien ja sovelusten avoimuuden vuoksi sitä pidetään häiriöiden ja verkkohyökkäysten lähteenä automaatiojärjestelmässä. (IDC-technologies, 2012) (Cisco, Rockwell automation, 2011)

4 AUTOMAATIOJÄRJESTELMIEN KOMMUNIKOINTIPROTOKOLLAT

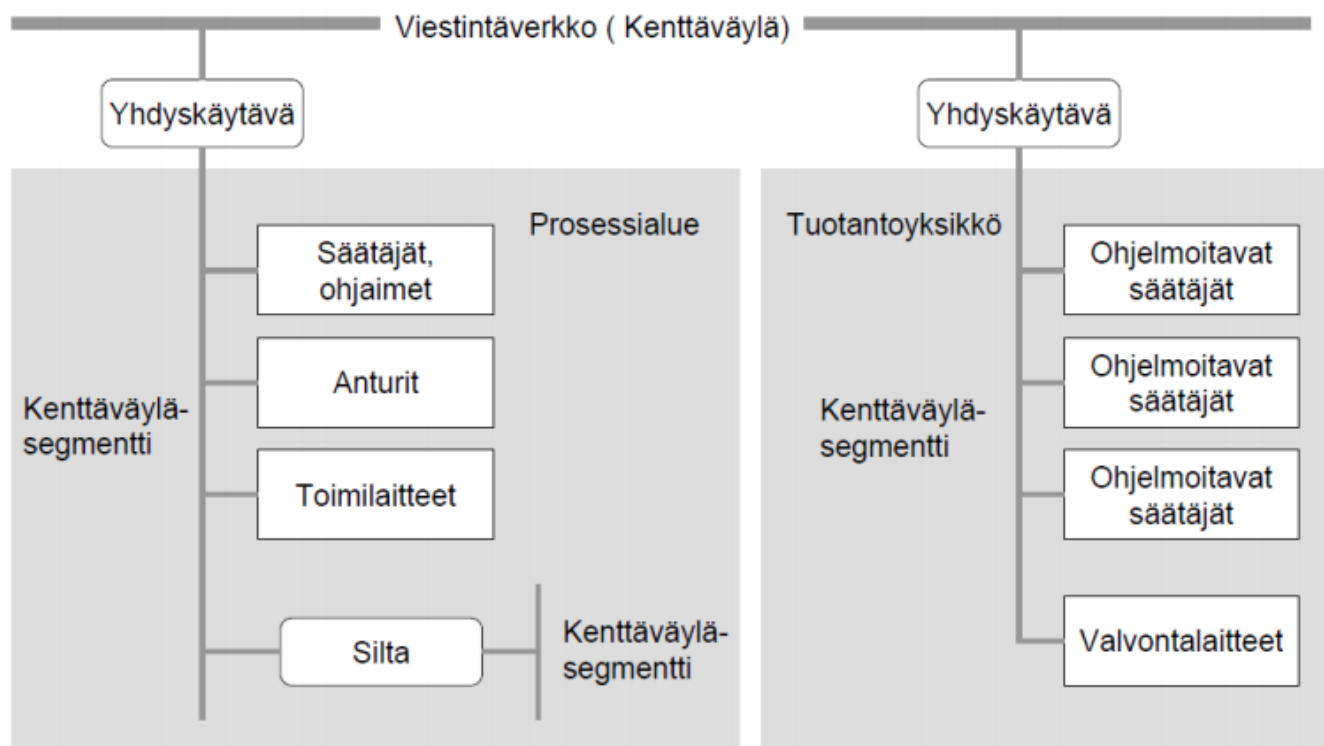
Teollisuuden automaatiojärjestelmien kommunikointiprotokollia on useita ja niiden valinta riippuu paljolti ohjainlaitteiston valmistajasta. Kommunikointiprotokollat ovat sarja tarkkoja sääntöjä ja asetuksia, joita kommunikointilaitteet suorittavat yhteyden luomiseksi ja tiedon kulkemiseksi. Monesta kommunikointistandardista voidaan erottaa kaksi erillistä ryhmää. Ensimmäinen ryhmä perustuu Ethernet-standardiin ja toinen kenttäväyliin. Soveltamalla ja valitsemalla oikeanalaiset ratkaisut, verkon kommunikointi on mahdollista tuotantolinjoilla, koneilla ja yritystason järjestelmissä.

4.1 Kenttäväylät

Prosessiteollisuuden automaatiojärjestelmän tasojen 0–2 välinen kommunikointi on toteutettu tyyppillisesti kenttäväylätekniiikan avulla. Kenttäväylät ovat teollisuuden tietoliikenneverkkoja, jotka on tarkoitettu kommunikointiin ohjainlaitteiden ja kenttälaitteiden välillä. Kenttäväylät on tehty korvaamaan perinteiset kaksipisteyhteydet, jotka liittävät jokaisen sensorin ja toimilaitteen suoraan ohjainlaitteeseen. Kenttäväylätekniiikan avulla saadaan aikaiseksi tarvittava hajauttaminen kenttälaitteiden tulo- ja lähtötiedoille (I/O) yhdellä parikaapelilla. Ohjelmoitavat toimilaitteet ja anturit voidaan liittää ohjainlaitteisiin kenttäväylätekniiikan avulla, jolloin saavutetaan suurempi tietomäärän siirrettävyys, kuin perinteisillä johdotetulla tekniikalla. Kenttäväylätekniiikka mahdollistaa myös tiedon esikäsittelyn älykällä kenttälaitteilla. 90-luvulla oli pyrkimyksenä kehittää teollisuuden ohjausjärjestelmille yksi yhteinen tietoliikennestandardi, mutta sitä ei koskaan saatu aikaiseksi. Osaksi tämän takia nykyään kenttäväyliä valmistajia on useita, minkä takia tietyn kenttäväylän valitseminen voi olla hankalaa. Kenttäväylä on valittava sovelluskohtaisesti ja kenttäväylään liittyvien laitteiden mukaan. Parhaimmassa ratkaisussa on yleisesti useita eri kenttäväylätyyppejä. Kenttäväylää valittaessa tulee pohtia, onko järjestelmässä analogisia I/O-tietoja vai onko I/O-tiedot toteutettu diskreettinä. Kenttäväyliä valinta on aina sovelluskohtainen, prosessiteollisuuden kenttäväylät voivat olla hyvin erilaisia verrattuna tuotantoteollisuuteen.

Nykyaikana Ethernet-pohjaiset tietoliikennejärjestelmät ovat yleistyneet teollisuudessa ja on arveltu, että ne tulevat pitkällä tähtäimellä korvaamaan perinteiset kenttäväyläratkaisut. Vasta vuonna 2007 julkaistiin kenttäväylästandardi, jossa markkinoiden käytetyimmät kenttäväyläprotokollat on kuvattu ominaisuuksiltaan yhdenmukaisella tavalla. Kenttäväylästandardin on julkaissut kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio (IEC). Kenttäväylästandardin nimi on "IEC 61158: Industrial Communication Networks - Fieldbus Specifications", jossa ei määritellä kenttäväyliä ominaisuuksia eikä rakenteita, vaan kuvataan yleinen rakenne ja markkinoiden käytetyimpien kenttäväyläratkaisujen ominaisuuksia. Kuvassa viisi on esitettyä yleinen kenttäväylämalli, niin kuin se on IEC 61158 standardissa kuvattu. (Pyyskänen, 2013) (ABB, 2020)

Yleinen kenttäväylämalli

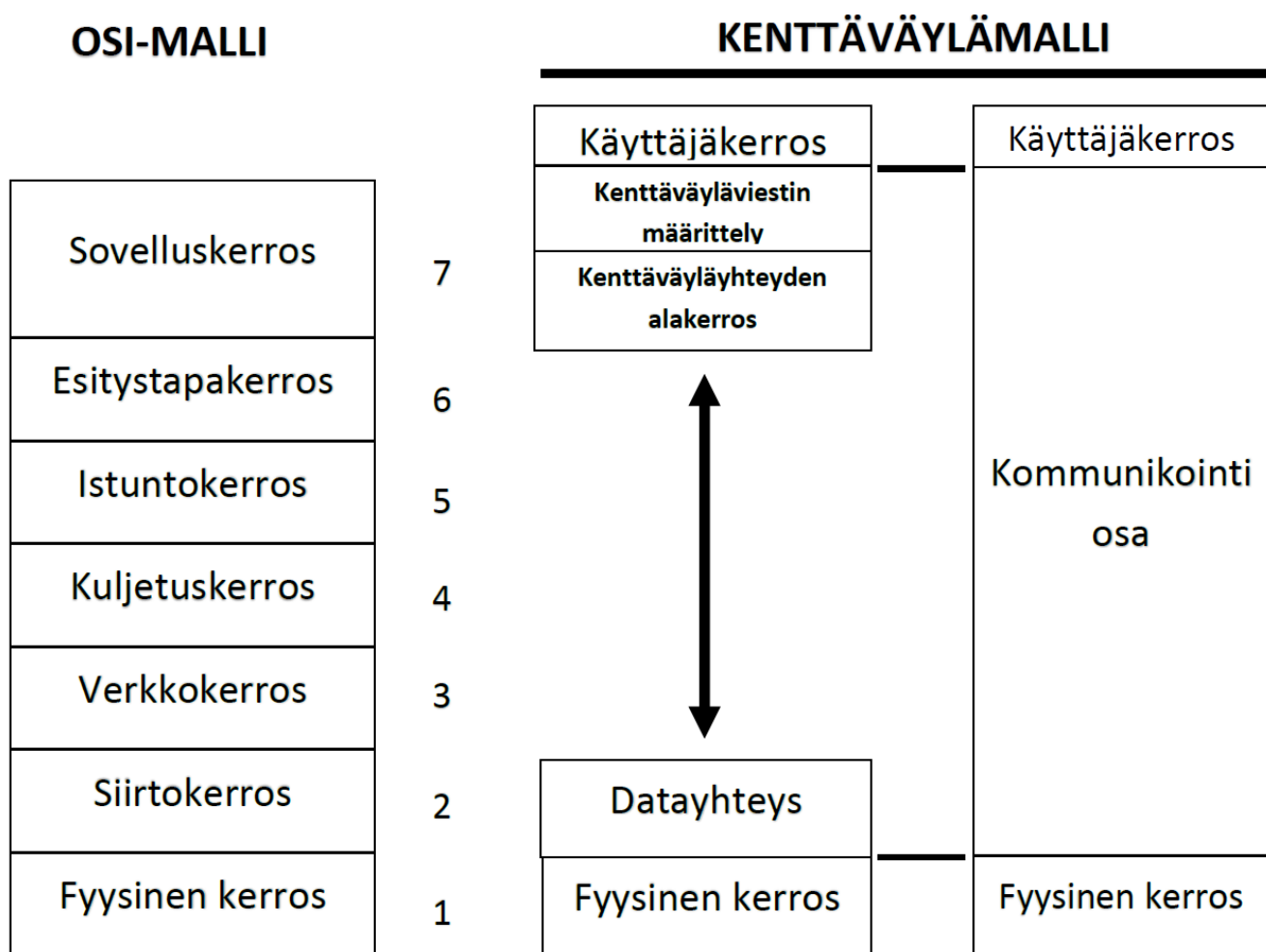


Käännetty ja muokattu lähteestä: IEC 61158-1, figure 1

Kuva 5. Yleinen kenttäväylämalli (Pyyskänen, 2013)

4.2 Kenttäväylän kommunikointiprotokolla

Kenttäväylien kommunikointiprotokolla perustuu OSI-mallin (Open Systems Interconnect) 7-kerroksen suositusmalliin, joka on tietoverkkojen suunnittelua varten kehitetty kansainvälinen viitekehys. Kenttäväylät kuitenkin käyttävät vain kolmea kerrosta OSI-mallista (kerrokset 1, 2 ja 7). Ylimääräinen "käyttäjakerros" on lisätty suositusmallin ylimmälle tasolle seitsemän kenttäväylämallissa. OSI-suositusmalli modulaarisessa tietoverkkojen arkkitehtuurissa perustuu ISO (International Organization for Standardization) malliin tietokoneverkoissa. OSI-mallin seitsemän kerrosta ovat jokainen vastuussa erillisistä ominaisuuksista tietoliikenneprosessissa. OSI-malli kuvaa tiedon kulkua tietoliikenneverkossa alimmasta fyysisestä tasosta ylimmälle käyttäjätasolle. Tieto välitetään jokaisen kerroksen läpi ja jokainen kerros pystyy kommunikoimaan ylemmän ja alemman kerroksen kanssa. OSI-mallin kerrokset voidaan jakaa alempiin kerroksiin (1–4) ja ylempiin kerroksiin (5–7). Alemmat kerrokset keskittyvät tiedonsiirtoon ja ylempät sovellukseen. Kuvassa kuusi on esitettyä OSI-mallin ja kenttäväylämallin kerrokset. (Mahalik, 2003)



*Käännetty ja muokattu lähteestä "Safety of Industrial networks"
P. Vazan, P.Tanuska, M. Kebisek, S. Duchovicova

Kuva 6. OSI-mallin ja kenttäväylämallin kerrokset (Kaakinen, 2020)

4.2.1 OSI-mallin kerrokset

OSI-mallin ensimmäinen kerros on fyysinen kerros, joka lähettää bittejä yhdestä laitteesta toiseen ja säätelee bittivirran siirtoa. Tämä kerros määrittää kuinka kaapeli on liitetty tietoverkkoadapteriin ja lähetyksen suoritusajan, jotta data voidaan lähettää kaapelia pitkin. Fyysinen kerros määrittelee kaapelin tai väliaineen itsensä, jota pitkin tietoa lähetetään (pituus, paksuus, suojaamaton parikaapeli jne.). Lähetetty data on elektronisia bittejä (0 ja 1), jotka liikkuvat kaapelin tai väliaineen läpi käyttäen erityisiä siirtolaitteita ja lähetyksmedioita. Tällä tasolla huolehditaan siitä, kuinka viesti kulkee. (Mahalik, 2003)

OSI-mallin toinen kerros on siirtokerros, jossa raakatieto pakataan fyysisestä kerroksesta datapaketeiksi. Siirtokerros on vastuussa datapakettien siirosta laitteelta toiselle ilman virheitä. Lähetettyään datapaketin, siirtokerros odottaa vahvistusta vastaanottavalta laitteelta. Siirtokerros määrittelee tiedon formaatin verkossa. Tässä kerroksessa huolehditaan siitä, miltä viesti näyttää. (Mahalik, 2003)

Verkkokerros käsittelee viestit ja kääntää loogiset osoitteet ja nimet fyysisiksi osoitteiksi. Tässä kerroksessa määritellään reitti lähteestä määränpään laitteelle ja hoidetaan liikennöintiongelmia, kuten kytkentöjä ja reititystä hallitakseen liikennöintiruuhkia verkossa. Internet protokollaa (IP) käytetään verkkokerroksessa rajapintana. IP tunnistaa jokaisen isännän 32-bittisellä IP-osoitteella. Siirtokerroksen tietokentästä tulee kokonainen paketti verkkokerroksessa. Tämän paketin nimi on datagrammi, ja se sisältää tietokentän ylä- ja alatunnisteen. Ylä- ja alatunnisteen kentät sisältävät loogisia verkko-osoitteita, reititystietoja ja virtauksen hallinnan tietoja. (Mahalik, 2003)

Kuljetuskerros hoitaa virheiden tunnistuksen ja tietojen palauttamisen. Se myös uudelleenpakkaa pitkät viestit pieniin paketteihin kuljetusta varten ja määränpäässä uudelleenrakentaa viestin alkuperäiseen kokoon. Vastaanottava kuljetuskerros myös lähettää vahvistuksen. Siirtoprotokollat TCP (Transmission Control Protocol) ja UDP (User Datagram Protocol) voivat käyttää verkkokerrosta. TCP luo yhteyden kahden isännän välille verkossa käyttäen ”kantoja”, jotka on määritetty IP-osoitteessa ja porttinumerossa. TCP seuraa pakettien toimitusjärjestystä ja paketteja, jotka on lähetettävä uudelleen. Kuljetuskerros organisoii datagrammit segmentteihin ja luotettavasti toimittaa ne ylempien kerroksien palveluille. Tämä kerros myös kompensoi viiveitä, joita on tapahtunut verkkokerroksessa. (Mahalik, 2003)

Istuntokerros sallii kahden sovelluksen eri laitteilla aloittaa, käyttää ja lopettaa istuntoja. Tässä kerroksessa muodostetaan dialogi kahden eri laitteen hallitsemiseksi, jotta voidaan säätää mikä laite lähettää ja kuinka pitkään. Istuntokerros avaa dialogin lähettäjän ja vastaanottajan kanssa varmistaakseen, että kommunikointi jatkuu. Tämä onnistuu kolmella eri vaiheella: yhteyden luominen, tiedonsiirto ja yhteyden vapauttaminen. Heti, kun istunnon dialogi on muodostettu ja tiedonsiirto on alkanut, järjestelmä siirtää painopisteen esitystapakerrokseen. (Mahalik, 2003)

Esitystapakerros muuntaa datan yhteisesti sovittuun muotoon, jonka kukin sovellus voi ymmärtää. Lisäksi se tiivistää suuria tietoja ja kryptaa arkaluontoista informaatiota. Käännös on tämän kerroksen päätehtävä ja se toteutetaan, kun kaksi erikieltä käyttävät laitteet avaavat dialogin. (Mahalik, 2003)

Sovelluskerros edustaa pääsytaoia sovelluksille, jotka pääsevät verkkopalveluihin. Tämä kerros käyttää erityistä verkkosovellusta tiedosto-, tulostus-, viesti- ja sovellustietokantapalvelujen tarjoamiseen. Se valvoo näiden palveluiden lähettämistä ja varmistaa niiden saatavuuden. Tämä kerros edustaa palveluita, jotka tukevat suoraan sovelluksia, kuten ohjelmistoja tiedostojen siirtoon, tietokannan käyttöoikeuksia, telnet protokollaa, DNS (Domain Name System), NIS (Network Information System) ja sähköpostia. Sovelluskerros edusta tavoitetta OSI-mallin tietoverkossa. (Mahalik, 2003)

Kenttäväylien kommunikointi perustuu OSI-malliin, mutta käyttää vain kolmea sen kerrosta (kerrokset 1,2 ja 7). Kenttäväylämallin fyysinen kerros määrittelee kaapelin tyyppin ja sen, kuinka bitit liikkuvat sen kautta. Kenttäväylän tärkein tehtävä on sallia eri laitetoimittajien laitteiden yhteensopivuus, jotta ne toimivat saumattomasti samassa kenttäväylässä. (Mahalik, 2003)

4.3 Profibus

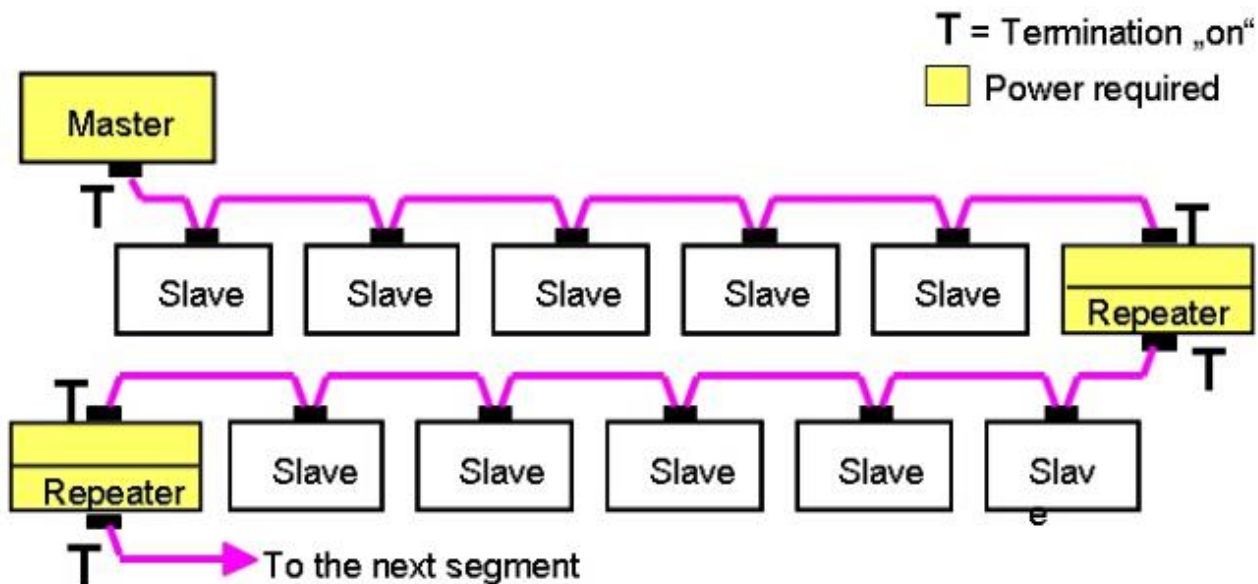
Kaikista kenttäväylistä yleisin on ylivoimaisesti Profibus-kenttäväylä, joita on asennettu jo yli 60 miljoonaa solmua ympäri maailman. Profibus-kenttäväylän on kehittänyt Profibus & Profinet International (PI) alun perin vuonna 1986. Profibus-kenttäväylällä on saatavana ratkaisuja moniin sovelluksiin, mukaan lukien tehdasautomaatio, räjähdysalttiit prosessit, nopea liikkeenohjaus ja korkean eheystason turvajärjestelmät. Profibus-kenttäväyliä (Verwer training and Consultancy Ltd., 2014)

Profibus perustuu yleisiin kansainvälisiin standardeihin ja käyttää kansainvälisen standardin ISO 7498 OSI-mallia tiedonsiirrossa. Kuten aikaisemmin mainittu, OSI-mallin jokainen kerros käsittelee erityisesti määriteltyjä tehtäviä. Profibus DP käyttää OSI-mallin kerroksia yksi, kaksi ja seitsemän. Ensimmäisessä kerroksessa määritellään fyysiset siirto-ominaisuudet. Kerros kaksi on siirtokerros ja määrittelee väyläprotokollan ja kerros seitsemän määrittelee sovellustoiminnot. (Acromag, 2009)

Profibus-kenttäväylästä on nykyaikana kaksi eri variaatiota: Profibus DP (decentralized peripherals) ja Profibus PA (Process automation). Profibus DP on yksinkertainen ja nopea, jonka takia suurin osa Profibus kenttäväyläasennuksista on toteutettu DP:tä käyttäen. Profibus DP:stä on kolme erillistä versiota, joita ovat: DP-V0, DP-V1 ja DP-V2. Profibus PA protokolla on suunniteltu prosessiautomaatioon ja se on käytännössä eräänlainen Profibus DP sovellusprofiili. Profibus PA standardoi mitatun datan lähetyksen ja se on suunniteltu käytettäväksi vaarallisissa ympäristöissä, kuten räjähdysalttiissa ympäristössä. Profibus PA toimii useimmissa ympäristöissä RS485-kierretyn parikaapelin välityksellä. RS485-kierretyn parikaapelin ja PA profiilisolun avulla pystytään virtaa syöttämään väylään ilman erillisiä varavirtalähteitä. Räjähdysalttiissa tiloissa väylässä kulkeva virta voi kuitenkin aiheuttaa vaaratilanteen, minkä vuoksi Profibus PA:ta voidaan käyttää MBP (Manchester Bus Powered) tekniikan kanssa. (Rtautomation, 2020)

Profibus DP ja PA kenttäväylät käyttävät isäntä/orja protokollaa, jossa väyläisäntä aloittaa kommunikoinnin orjalaitteen kanssa, joka on liitettyä RS485-sarjaväylään. Profibus-orjalaite on mikä tahansa oheislaitte (I/O-moduuli, venttiili, verkkoasema tai muu mittauslaitte), joka prosessoi informaatiota ja lähettää lähtötietoa isännälle. Orjalaite muodostaa passiivisen aseman verkkoon, koska sillä ei ole väyläoikeuksia, ja se voi vain kuitata saadut viestit tai lähettää vastausviestin isäntälaitteelle pyynnöstä. Profibus DP kenttäväylä määrittelee kaksi eriluokan isäntälaitetta. Luokan 1 isäntälaitteet käsittelevät normaalin kommunikoinnin tai vaihtavat tietoa sille määriteltyjen orjalaitteiden kanssa. Luokan 2 isäntälaitte on erikoislaitte, jota erityisesti käytetään antamaan toimeksiantoja orjalaitteille ja diagnostisiin tarkoituksiin. Isäntälaitteiden välinen kommunikointi ei ole normaalisti sallittua Profibus kenttäväylässä, paitsi erityistilanteissa. Luokan 1 isäntälaitte on normaalisti ohjainlaitte (PLC tai älykäs kenttäohjain). Luokan 2 isäntälaitte on konfigurointilaitte, kuten tietokone tai ohjelmoitava konsoli, jolla toimeksiannot, ylläpito ja diagnostiset palvelut toteutetaan. Profibus DP toimii käyttämällä syklistä tiedonsiirtoa isäntä- ja orjalaitteen välillä. Kaikki isäntä- ja orjalaitteen välinen tiedonsiirto on peräisin isäntälaitteesta. Jokainen orjalaite on määrätty yhdelle isäntälaitteelle ja vain tämä isäntälaitte voi kirjoittaa lähtötietoja sille määrättylle orjalle. Muut isäntälaitteet voivat lukea tietoja miltä tahansa or-

jalaitteelta, mutta voivat kirjoittaa lähtötietoja vain sille määrätylle orjalaitteelle. Orjalaitteiden isäntä-laitteet määritellään erillisessä GSD (General Station Description) tiedostossa, joka ladataan jokaiselle orjalaitteelle. (Acromag, 2009) Kuvassa seitsemän on esitettyä Profibus -isäntä/orjaprotokollan topologia toistimien avulla.



Kuva 7. Profibus -isäntä/orjaprotokolla (profi-lab, 2020)

Yhdessä Profibus-verkossa voi olla yhteensä 126 isäntä- ja orjalaitetta. Profibus on RS-485 -verkko, joka noudattaa RS-485 sääntöjä. RS-485 käyttää segmentoinnin käsitettä väylässä. Segmenttiä voidaan pitää kaapelin enimmäispituutena, jota voidaan käyttää tietyllä siirtonopeudella, ennen kuin signaali on päivitettävä takaisin vakiojännitetasoon ja muokattava kanttiaalloksi. RS-485 segmentissä saa olla enintään 32 laitetta (kokonaisuutta, jolla on RS-485-ohjain). 126 isäntä- ja orjalaitteen saavuttamiseksi verkkoon pitää asentaa toistimia. Laitteet, joilla on Profibus-osoitteet ovat isäntä- ja orjalaitteet. Näillä laitteilla on myös RS-485 ohjaimet. Laitteille saatavissa olevat Profibus-osoitteet ovat 0–126 välillä. 126 Profibus-osoitteen saavuttamiseksi, tarvitaan verkkoon vähintään neljä RS-485 toistinta. (Swindall, 2015)

4.4 Profinet

Profinet on avoin tiedonsiirto-standardi, joka perustuu täysin Ethernetiin. Profinet-tiedonsiirto-standardin on kehittänyt Profibus & Profinet International (PI). Profinet on täysin Ethernet yhteensopiva tiedonsiirto-standardi, kuten IEEE 802, IEC 61158 ja IEC 61784 standardeissa on määritelty. Profinet tarjoaa ratkaisuja tiedonsiirtoon prosessiautomaatiossa, tuotannossa ja liikkeenohjauksessa. Profinet käyttää Ethernet standardia ja TCP, UDP ja IP protokollia tiedonsiirtoon, määrittelyihin ja diagnosointiin tietoverkossa. Profinet-standardi määrittää kolme eri suorituskykytasoa, jotka käsittävät monet eri vaatimustasot eri sovelluksissa. Näitä suorituskykytasoja ovat Profinet NRT (Non-Real Time), Profibus RT (Real Time) ja Profibus IRT (Isochronous Real Time).

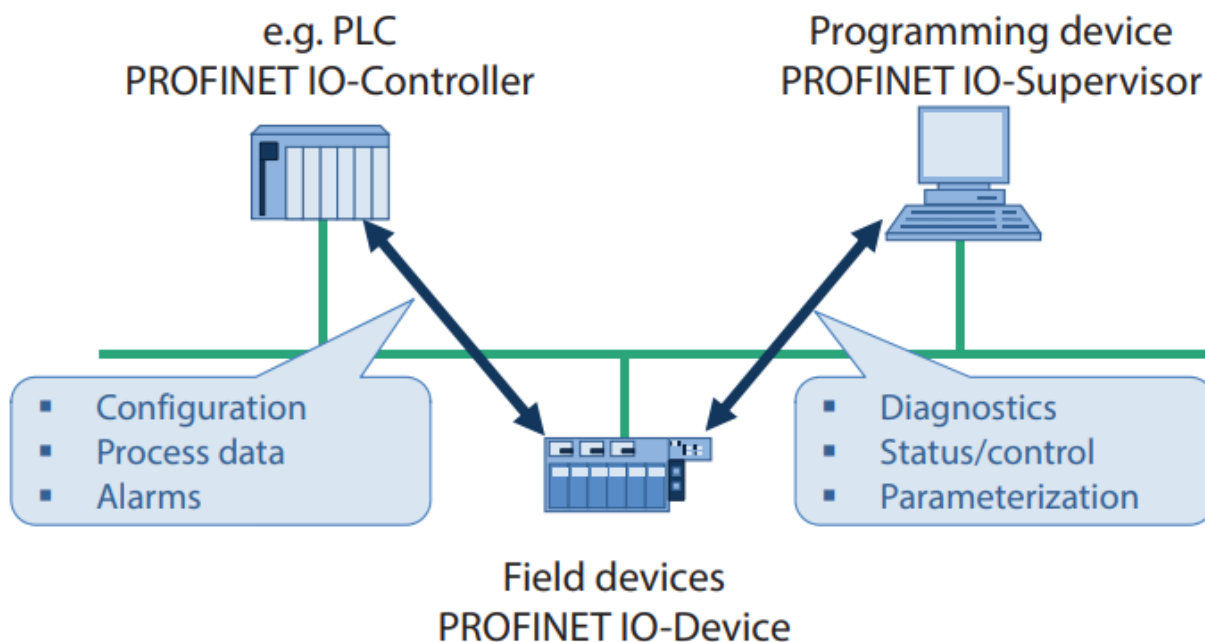
Profinet NRT on kehitetty ei-reaaliaikaisiin sovelluksiin. Profibus NRT käyttää standardiprotokollia UDP (User Datagram Protocol) ja IP (Internet protocol). Vasteajat Profinet NRT:ssä ovat yli 100 ms, joten se soveltuu prosessiautomaation sovelluksiin.

Sovelluksiin, joissa tarvitaan, parempia vasteaikoja on kehitetty Profinet RT. Profinet RT:ssä I/O dataa välitetään ja vaihdetaan suoraan Ethernet protokollaa perustuen. Diagnosoinnissa ja määrittelyissä käytetään standardeja UDP ja IP. Profinet RT mahdollistaa sovellukset, jotka vaativat alle 10 ms vasteajan.

Profinet IRT mahdollistaa kompleksien sähkökäyttöjen ohjauksen, kuten pakkauskoneiden ja robottien. Profinet IRT mahdollistaa erittäin nopean alle 1 ms vasteajan, joka saavutetaan erityisellä laitteistolla Ethernet käyttöliittymässä.

Sovelluspuolella Profinet määrittelee kolme eri laitetyyppiä. Näitä ovat I/O-ohjain, I/O-laite ja I/O-valvoja. I/O-ohjaimet ovat ohjainlaitteita, jotka suorittavat sille ladatun ohjelman. Ohjainlaitteet toimivat samantyyllisesti Profibus-luokan 1 isäntälaitteiden kanssa, eli vastaanottavat dataa I/O-laitteilta. I/O-laitteet ovat hajautettuja antureita ja toimilaitteita, jotka ovat kytkettyinä I/O-ohjaimiin Ethernetillä. I/O-laitteet ovat samantyyllisiä Profibus-järjestelmän orjalaitteisiin. I/O-valvojat ovat HMI:tä (Human Machine Interface), tietokoneita tai muita toimeksianto-, valvonta- ja diagnostiikkalaitteita. Nämä laitteet ovat samantyyllisiä Profibus-luokan 2 isäntälaitteiden kanssa. Kuvassa kahdeksan on esitettyinä Profinet-sovelluspuolen laitteet. I/O-ohjaimien pitää tukea seuraavanlaisia palveluita:

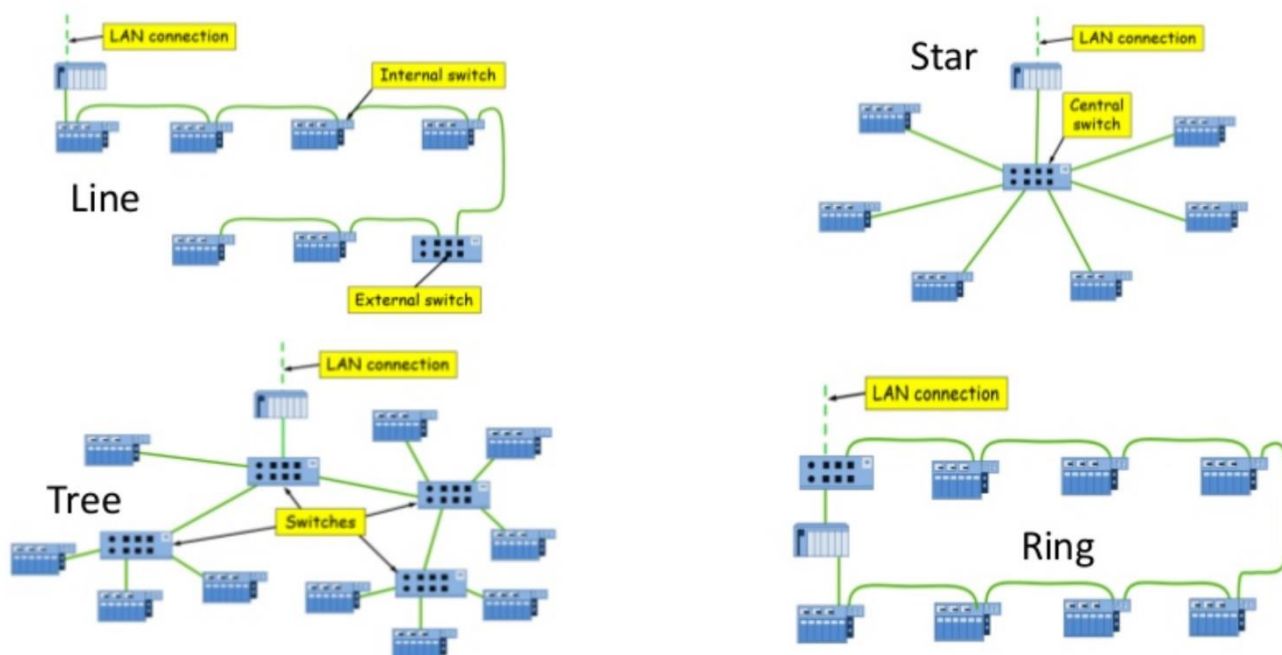
- Syklistä tiedonvaihtoa – Tiedonvaihtoa I/O-ohjaimen ja I/O-laitteen välillä
- Ei-syklistä tiedonvaihtoa – Määrittely- ja diagnoositietojen vaihtoa.
- Hälytyksiä – Hälytystiedon vaihtoa I/O-laitteelta I/O-ohjaimelle
- Yhteyden hallinta – Yhteyden prosessointi



Kuva 8. Profinet-sovelluspuolen laitteet

Profinetin I/O-laitteiden asetukset ja määrytykset toteutetaan I/O-valvoja laitteella. I/O-valvoja käyttää GSD tiedostoja samalla tyylillä, kuin Profibus-kenttäväylässä. Toisinkuin Profibus-kenttäväylän GSD tiedostoissa, Profinet GSD-tiedostot ovat XML (Extensible Markup Language) -pohjaisia ja sisältävät paljon enemmän informaatiota. Koska tiedostot ovat XML-pohjaisia, niitä kutsutaan GSDML-tiedostoiksi. (Rtautomation, 2020)

Profinet-tiedonsiirron ja I/O tiedonvaihdon lisäksi standardi määrittelee myös verkon topologian ja rakenteen. Profinet-standardi kertoo ohjeet kaapelointiin, sopivien liittimien ja topologiakomponenttien valintaan, mikä helpottaa Profinet-verkon suunnittelua ja käyttöönottoa. Profinet-verkon käyttäjällä on mahdollisuus valita tähtirakenne käyttämällä kytkimiä, mikä on yleinen rakenne IT-liiketoiminnassa. Käyttäjä voi myös valita klassisen linjarakenteen, jota käytetään Profibus-kenttäväylässä tai puurakenteen, joka yhdistää tähti- ja linjarakenteen. Kuvassa yhdeksän on esitettyinä erilaisia Profinet-verkon topologioita.



Kuva 9. Profinet verkon topologioita

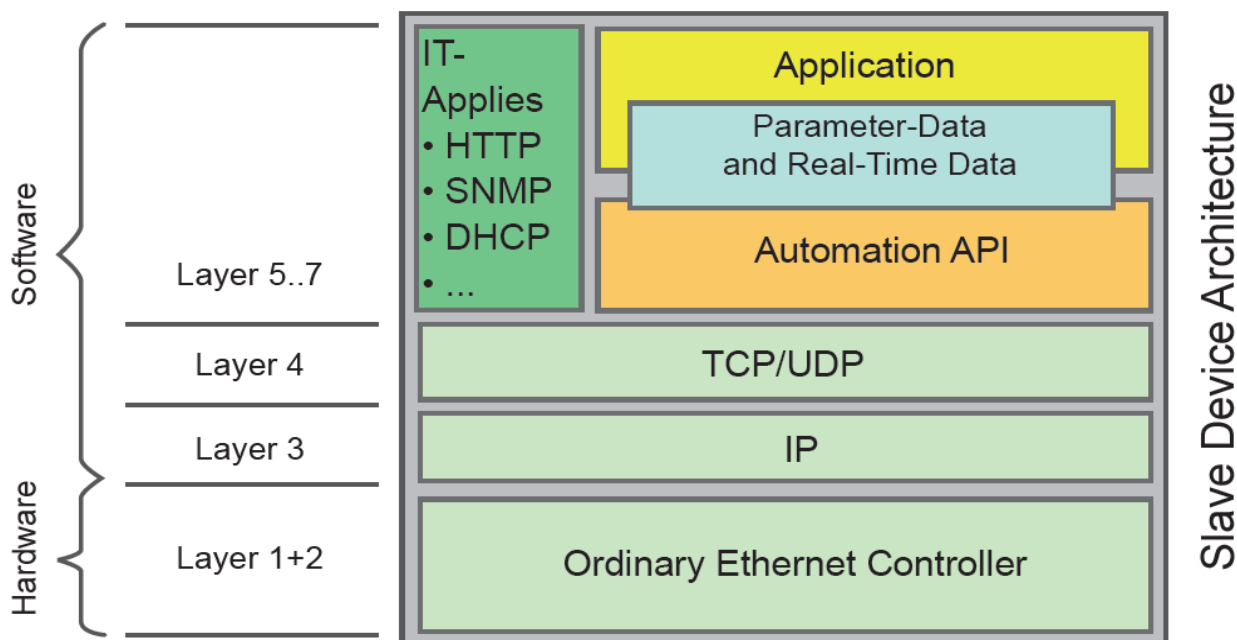
4.5 Teollinen Ethernet

Ethernet on suurin nykyään käytössä oleva lähiverkkotekniikka (LAN), jota käytetään n. 85 % maailman LAN-liitetyistä tietokoneista ja työasemista. Ethernet viittaa LAN-tuotteiden perheeseen, jota tukee standardi IEEE 802.3, ja tekniikka tukee sekä valokuituyhteyttä ja parikaapeleita. Vuosien saatossa Ethernet on tasaisesti kehittynyt tarjoamaan lisäsuorituskykyä ja älyverkkoa. Jatkuva Ethernetin kehitys on tehnyt siitä erinomaisen ratkaisun teollisiin sovelluksiin. Ethernet-tekniikka tukee neljää tiedonsiirtonopeutta:

- 10BASE-T Ethernet tarjoaa 10 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden parikaapelilla
- Fast Ethernet tarjoaa 100 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden
- Gigabit Ethernet tarjoaa 1000 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden
- 10 Gigabit Ethernet tarjoaa 10 Gbit/s tiedonsiirtonopeuden, käyttäen IEEE 802.3 standardin MAC protokollaa. (Cisco Systems, 2003)

Ethernet on todettu vuosien saatossa kustannustehokkaaksi, ja se tarjoaa fyysisiä linkkejä nopeamilla tiedonsiirtonopeudella kuin perinteiset kenttäväyläratkaisut. Tästä syystä monet teollisuuden tietoliikennejärjestelmät siirtyvät Ethernet-pohjaisiin ratkaisuihin. Teollisuusverkkojen sovelluksien ja toimintojen kehittyessä jatkuvasti tehokkaimmiksi, ne vaativat nopeampaa tiedonsiirtonopeutta. Ethernet-pohjainen tietoverkkotekniikka on tarjonnut ratkaisun tiedonsiirto-ongelmaan, sen ollessa kustannustehokas, laajalti käytössä ja ymmärrettävä. Ethernet-pohjainen tiedonsiirto pystyy saavuttamaan paljon suuremman kaistanleveyden suorituskyvyn, kuin perinteiset kenttäväyläratkaisut. Ethernet-pohjainen verkko on myös skaalattavissa käytännössä rajoittamattomaan määrään solmuja. Näiden ominaisuuksien avulla Ethernet-pohjaiset tietoverkot teollisuudessa mahdollistavat paremmat tuotantotulokset ja kyvyn käyttöönottaa uusia, vaativampia sovelluksia.

Ethernet-pohjaisissa verkoissa on kuitenkin ongelma, joka pitää ratkaista, ennen kuin niitä voidaan ottaa käyttöön teollisuusverkoissa. Alkuperäinen Ethernet Protokolla perustui törmäyksen havaitsemiseen (CSMA) verkossa. Se ei voinut tarjota luotettavuutta ja ennustettavuutta, jota teollisuusverkot vaativat. Ethernetin MAC-kerrokseen voidaan kuitenkin tehdä muutoksia reaaliaikaisen ennustettavuuden ja alhaisen latenssivasteen helpottamiseksi. Nykyään monet suosituista reaaliaikaisista teollisen Ethernetin protokollista tukevat tiedonsiirtonopeutta 100 Mbit/s ja 1 Gbit/s ylöspäin. Ethernet-tiedonsiirtostandardit TCP/UDP/IP ovat epäluotettavia, tyyppillisten sykli-aikojen ollessa yli 1000 ms, ja ne ovat alttiita tietopakettien törmäyksille. Jotkin teolliseen Ethernetiin perustuvat protokollat käyttävät muokattua MAC-kerrosta saavuttaakseen alhaisen vasteajan ja luotettavuuden. Lähes kaikki teollisen Ethernetiin perustuvat protokollat, elleivät täysin TCP/UDP/IP perustuvia, käyttävät jotakin mekanismia tiivistääkseen ja kantaakseen standardoituja "Ethernet-kehysiä". Ethernetin tiedonsiirto perustuu OSI-mallin 7 kerrokseen. TCP/UDP/IP -mallissa kerrokset jakautuvat neljään kerrokseen. Kuvassa kymmenen on esitetty täysin TCP/UDP/IP perustuva kommunikointi OSI-malliin verrattaessa. (Encoder procuts company, 2019)



Kuva 10. Teollisen Ethernetin kerrokset verrattuna OSI-malliin (täysin TCP/UDP/IP perustuvat) (Encoder procuts company, 2019).

5 KÄYTTÖLIITTYMÄ

Käyttöliittymä on mikä tahansa laitteen/laitteiston käyttämiseen, säätöön, liikuttamiseen ja ylläpitoon tarkoitettu tekniikka tai mekanismi. Käyttöliittymä voi olla tietokoneen näytöllä näkyvä graafinen kuva, jossa hiiren kursorilla saadaan aikaiseksi erilaisia toimintoja. Käyttöliittymä voi olla myös puhelimen, tabletin tai jonkin muun laitteen kosketusnäyttö. Käyttöliittymä sana on saanut alkunsa graafisten ohjelmistojen alkutaipaleella. Käyttöliittymällä yleensä tarkoitetaan tietokoneen näytössä näkyvää, ohjelmoitua piirrosta, jonka välityksellä ihminen pystyy hallitsemaan laitteen toimintoja. Nykyaikana useasti laitteet ovat ns. sulautettuja järjestelmiä, joissa laitetta tai konetta ohjaa tietokone. Käyttöliittymän termejä ja periaatteita ovat

- Helppokäyttöisyys
 - käyttöliittymä ei saa olla sekava
- Selkeys
 - Vilkkuvat ja liikkuvat kuvat ovat hyviä joissakin paikoissa, mutta liika kuvien välke voi aiheuttaa väsymystä ja levottomuutta
- Ymmärrettävyys
 - Selkeät, helpot ja nopeasti opittavat toimintatavat
- Muistettavuus
 - Kuinka nopeasti käyttöliittymän käytön oppii
- Visuaalisuus
 - Käytettyjen värien soveliaisuus ja muiden graafisten kuvien sijoittelu
- Loogisuus
 - Käyttöliittymän toimintapainikkeiden sijoittelu ja löytäminen
- Vastaanottokyky
 - Käyttöliittymän käyttö eri laitteilla hyvällä tuloksella (Salakari, 2019)

5.1 Käyttöliittymät teollisuusautomaatiossa

Teollisuudessa operaattoreiden käyttöliittymät ovat erittäin tärkeä osa teollisuusautomaatiota, mutta monissa yleisissä ratkaisuissa on puutteita. Teollisuusautomaatiojärjestelmien on pystyttävä valvomaan koneiden ja prosessien olosuhteita, komentolaitteita ja koordinoitava ohjausta. Automaatio-suunnittelijat toteuttavat näitä toimintoja yhdistämällä laajan valikoiman erilaisia automaatiotekniikoita, kuten antureita, lähettämiä, toimilaitteita, I/O-moduuleita ja kenttäohjaimia. Edes kaikista edistyneimmät koneet eivät toimi itsenäisesti, minkä takia automaatiojärjestelmässä on oltava käyttöliittymä.

Elektroniset laitteet, joilla operaattorit voivat olla vuorovaikutuksessa automatisoitujen järjestelmien kanssa tunnetaan nimellä HMI (Human Machine Interface – Ihminen kone käyttöliittymä). HMI on laite, joka näyttää operaattorille automaatiojärjestelmän lukeman prosessoidun datan. Operaattori käyttää HMI:tä prosessin ohjaukseen. Joskus erikoisempia laitteita, jotka on rakennettu muulle, kuin

PC-alustalle kutsutaan OIT (Operator Interface Terminal – Operaattorin käyttöliittymäpääte). HMI-laitteiden operaattoreille esittämä tieto on graafista, ajo-/prosessikaviomuodossa. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjattavan laitteen/laitoksen kaaviomainen esitys on operaattorin saatavilla. Ajo-/prosessikaaviot koostuvat, joko digitaalisista valokuvista prosessilaitteista, joissa on animoituja symboleja, tai kaavamaisista symboleista ja viivagrafiikoista, jotka edustavat erilaisia prosessielementtejä. HMI voi vaihdella fyysisestä ohjauspaneelistä, jossa on erilliset painikkeet ja merkkivalot, teollisuustietokoneeseen, jossa on värigrafiikanäyttö ja jolla on sille tarkoitettu HMI-ohjelmisto. HMI:tä voidaan käyttää itsenäisinä terminaaleina yhden koneen ohjaukseen tai hajautettuna suuremmissa monimutkaisissa sovelluksissa. HMI-laitteet ovat kytkettyinä automaatiojärjestelmän tason kaksi valvontajärjestelmän tietokantaan, toimittakseen sille diagnostista tietoa, hallinnointitietoa ja trenditietoa. Näitä ovat logistiikkatiedot, yksityiskohtaiset kytkentäkaaviot koneista tai antureista, ylläpitotoimintamallit ja viennetsintäoppaat. HMI-laitteiden käyttö automaatiojärjestelmissä on erittäin tärkeää. Ne tarjoavat paljon kehittyneemmän ja tehokkaamman käyttöliittymän, kuin perinteinen pulpettiohjauslaitteisto ja niihin halutut muutokset voidaan useasti määritellä ja uudelleenohjelmoida pienemmillä kustannuksilla. (SCADA Systems, 2020) (Benson, 2018)

Useimpia nykyaikaisia valmistus- ja tuotantoprosesseja ohjataan ja valvotaan tietokonepohjaisilla ohjaus- ja tiedonkeruujärjestelmissä. Tämä tarkoittaa, että yksi ensisijaisista tavoista, joilla operaattori on vuorovaikutuksessa ohjattavan prosessin kanssa, ovat tietokoneen näytöt. Näytöt voivat esittää passiivista tietoa tai ne voivat olla vuorovaikutteisia, jolloin operaattori voi valita näytöltä kohteen ja tehdä muutoksen, joka välittyy suoraan prosessiin.

Suurin osa tietokonepohjaisten ohjausjärjestelmien toimittajista tarjoavat ohjelmiston/ohjelmistoja näyttöjen määrittelyä varten, jotta se toimisi heidän ohjainlaitteistonsa kanssa. On myös toimittajia, jotka eivät toimita ohjauslaitteita, vaan erikoistuvat vain tiedon keräämiseen ja tallennukseen prosessista ja ympärillä olevasta liiketoiminnasta. Nämä prosessidatan visualisointityökalut tarjoavat määrittelypaketteja tietojen näyttämiseksi ainutlaatuisella tavalla jokaiselle laitoksen toimintaan osallistuvalla. (dataPARC, 2020)

5.2 Hyvän käyttöliittymän suunnittelu

Koneen ja operaattorin välinen asianmukainen käyttöliittymä vaikuttaa suuresti tehokkuuteen ja helpokäyttöisyyteen, ja sen tulisi edistää yhdenmukaisuutta yhteyttä näiden välillä. Hyvä ja luotettava käyttöliittymäjärjestelmä, joka tarjoaa turvallisen, kustannustehokkaan, johdonmukaisen ja intuitiivisen suorituskyvyn perustuu nykytekniikan parhaiden käytäntöjen soveltamiseen suunnittelussa, paneelin asettelussa, tuotannossa, testauksessa ja laadunvarmistuksessa. Selkeät määritelmät toiminnallisista vaatimuksista, operaattoreiden asiantuntemustasosta ja kaikesta viestinnästä/vuorovaikutuksesta muiden järjestelmien kanssa on tiedettävä hyvän käyttöliittymän suunnittelemiseksi. Teollisuuden käyttöliittymien suunnittelu on tarkkaa ja vaativaa työtä, jossa täytyy pohtia käyttöliittymän jokaista aspektia. (Pannone, 2015) HMI:n Suunnittelussa täytyy huomioida ainakin seuraavia asioita:

- Toiminnalliset vaatimukset
- Yleinen toiminnallisuus
- Tulotietojen monimutkaisuus
- Käyttäjän palaute
- Liitynnät muihin järjestelmiin
- Ympäristölliset vaikutukset
- Kestävyys
- Lainsäädännöt ja standardit
- Käyttäjien määrittely
- Paneeliasettelu
- Paneelin värit
- Kursorin ohjaus
- Näyttö tekniikka
- Vuorovaikutukselliset näytöt
- Liikkeen ohjaus
- Langattomat yhteydet
- Turvallisuus kysymykset (Pannone, 2015)

Tuotantoon liittyvissä prosesseissa HMI-näytöt voidaan luokitella neljään perusryhmään:

- Taulukko- ja tekstipohjaiset näytöt
 - Luettelo- tai taulukkoryhmä tiedoista ja tila-arvoista
- Ajo-/prosessikaavionäytöt
 - Tiedot näytetään todellisen prosessin kaaviokuvaan perustuen
- Trendinäytöt
 - Reaaliaikaiset ja historialliset arvot näytetään graafisessa muodossa aikaan verrattuna
- Suorituskykyiset näytöt
 - Näytetään reaaliaikaista dataa, jota on paranneltu graafisilla elementeillä lisätietojen saavuttamiseksi

Ajo-/prosessikaavionäytöistä on luontaisesti helpompaa hallita prosessin kokonaisuutta, kuin lukea tila-arvoja luettelosta. HMI-näyttöjen tavoitteena on kehittää käyttäjän tilannetietoisuutta ja kykyä tunnistaa prosessin sen hetkiset kriittiset elementit. Tilannetietoisuuden ja prosessinhallinnan parantamiseksi ajo-/prosessikaavionäyttöjen suunnittelu on erittäin tärkeä tekijä. (dataPARC, 2020)

5.2.1 Värit

Sopivien värien valinta alkaa taustaväriin valinnasta. Ensimmäisiä DCS-järjestelmiä käytettäessä HMI-näyttöjen taustaväreinä pidettiin valkoista tai mustaa. Mustalla taustavärillä on etuna hyvä kontrasti kaikkiin muihin väreihin verrattessa, mutta sen aikaiset kuvaputkinäytöt heijastavat valoa. Tämän

minimoimiseksi valvomohuoneiden valaisusta pienennettiin. Valvomohuoneiden pimennyksen ongelmana on, että se vaikeuttaa muita normaaleja tehtäviä, kuten papereilta lukua ja kirjoittamista. Pimennys myös heikentää operaattoreiden valppautta, erityisesti vuorotyötä tekeville operaattoreilla, jotka joutuvat vaihtamaan unirytmää säännöllisesti. Nykyään valvomoiden halutaan olevan valoisia. Operaattorien silmien rasittumisen välttämiseksi, HMI-näyttöjen luminesenssin tulisi olla sama, kuin valvomohuoneen ympäristön. Harmaa taustaväri täyttää tämän tarpeen ja tarjoaa taustavärin, josta muut värit näkyvät hyvin.

Kun värejä käytetään, niitä tulisi käyttää johdonmukaisesti ja niiden tulisi välittää merkitystä. Kirkkaita päävärejä tulisi suurimmaksi osaksi välttää, paitsi mikäli ne auttavat huomaamaan epätavallisia tilanteita. Paikallaan olevien säiliöiden ja laitteiden värien tulisi olla myös harmaansävyisiä. Tavoitteena on luoda näyttöjä, jotka ovat normaalissa ajotilanteessa ns. yksitoikkoisia. Tällaisista näytöistä on helppoa nähdä vilkkuvat punaiset hälytystilanteet, kuin näytöistä, joissa käytetään korkea kontrastisia ja kirkkaita värejä. Erityisesti punaista ei tulisi käyttää kuvaamaan mitään normaalia ajotilannetta.

Prosessivirtaukset ovat yksiselitteisempiä, jos käytetään värejä, jotka kuvaavat prosessilinjan sisältämää ainetta. Esimerkiksi natriumhydroksidin haihdutustornissa on kolme linjaa, joista yksi on lipeälinja, toinen höyrylinja ja kolmas kondenssilinja. Lipeälinjaa voidaan kuvata violetilla värillä, höyrylinjaa vaalealla värillä ja kondenssilinjaa sinisellä värillä.

Värejä voidaan myös käyttää prosessitilan kuvaamiseen, kuten eri säiliöiden paineen määrittämiseen. Tällaisissa tapauksissa on tärkeää, etenkin vianetsintää varten tietää ovatko säiliöt samassa paineessa. Vaimennettua väriä voidaan käyttää kuvaamaan säiliöt, jotka ovat samassa paineessa.

HMI-näyttöä suunniteltaessa on tärkeää, ettei turvaudu pelkästään värien kertovan epätavallisesta tilanteesta. Jotkut ihmiset ovat värisokeita, eivätkä havaitse tiettyjä värieroja. Pelkästään värin tai arvon taustan vaihtaminen punaiseksi ei riitä. Värimuutoksen lisäksi myös vilkkuvan reunan tai hälytystilaa kuvaavan symbolin tulisi olla näkyvissä. (dataPARC, 2020)

5.2.2 Asettelu

Ensimmäiset ajo-/prosessikaavionäytöt perustuivat usein tehtaan PI-kaavioihin (Piping and Instrumentation). Näitä PI-kaavioita käytettiin vertailumalleina suunnittelu- ja instrumentointiosastolla. Niitä ei ollut suunniteltu edistämään operaattoreiden tilannetietoisuutta. Jokainen PI-kaavioon perustuva näyttö kuvaa yhtä osiota prosessista hyvin yksityiskohtaisesti ja seuraava näyttö järjestyksessä kuvaa prosessin seuraavaa osiota.

Tehokkaampi tapa kuvata prosessia on tasojen käyttö. Yksi ylemmän tason ajo-/prosessikaavionäyttö voi kuvata yksikön tärkeimmät laitteet ja tärkeimmät prosessimuuttujat. Tukilaitteita, kuten lämmönvaihtimia ja pumppuja, ei ehkä edes näytetä. Seuraava taso alaspäin sisältäisi joukon yksityiskohtai-

sempia näkymiä, ehkä analogisempia kuvia PI-kaavioiden kanssa, jotka näyttävät yleiskatsauksen kuvattun prosessin alaosastoista. Prosessin monimutkaisuuden mukaan kolmannen tason näyttöjä voidaan käyttää tukemaan toisen tason näytöissä esitettyjä prosessilaitteita. Tämän lähestymistavan tavoitteena on välttää minkään näytön ylikuormitusta. Sijoittamalla yksityiskohtaiset tiedot vertailunäyttöihin, jotka ovat yhden tason alapuolella tietopuussa, kukin näyttö voidaan pitää siistinä ja nopeasti ymmärrettävänä.

Ajo-/prosessikaavionäytöissä ei tulisi olla liian tiheästi tietoa ja niissä tulisi yrittää esittää laitteiden todellista fyysistä asettelua niin paljon, kuin mahdollista. Laitteiden esittäminen näytöllä voidaan myös viedä liian pitkälle. Graafisten ominaisuuksien kehittyessä tuli mahdolliseksi luoda realistisia, 3D-kuvia käytetyistä laitteista. 3D-kuvat johtivat hienoihin, mutta epäkäytännöllisiin näyttöihin. Parannellut 3D-kuvat laitteista ja prosessista eivät lisää prosessin arvoa, mutta lisäävät visuaalista häiriötä, joka voi haitata näytössä esitetyn tiedon ymmärtämistä. Samanlaisella linjalla, joissakin ohjelmistoissa voidaan luoda animaatioita näyttöihin. Tämä voi vaikuttaa houkuttelevalta, mutta ei tue hyvän HMI-näytön suunnittelua. Ihmisen silmät hakeutuvat luonnostaan liikkuvaan asiaan. Animaatio, jossa pumpun juoksupyörä pyörii tai animoitu liekki leimuaa, voi aiheuttaa häiriötä ja viivästyttää oikean kriittisen vian huomiointia. Yksinkertainen ajo-/prosessikaavionäyttö on helpompi ymmärtää ja vähentää ohjausvirheen mahdollisuutta. (dataPARC, 2020)

5.2.3 Prosessiarvot ja merkinnät

Dynaamisten arvojen ja merkintöjen suhteellinen merkitys on otettava huomioon suunniteltaessa ajo-/prosessikaavionäyttöä. Reaaliaikaisten prosessiarvojen tulisi olla näkyvämpiä (suurempia tai lihavoitulla fontilla), kuin niiden yksikkökuvaukset, jotka ovat arvojen perässä. Prosessiarvot, jotka eivät ole kriittisiä, kuten sähkömoottorin virta, ei tulisi olla näkyvillä ylemmillä näyttötasoilla. Tällainen arvo pitäisi asettaa alemmalle näyttötasolle, jossa on yksityiskohtaisempia tietoja prosessista.

Reaaliaikaiset arvot tulisi esittää asianmukaisella määrällä desimaaleja. Mikäli veden virtaus on 300 m³/h, tähän arvoon ei tarvitse sisällyttää kymmenesosa m³/h vain siksi, että mittari pystyy sen mittaamaan tarkasti. Pieni jatkuvasti muuttuva desimaalinumero ei yleensä paranna tilannetietoisuutta ja lisää visuaalista häiriötä ajo-/prosessikaavionäytössä. Reaaliaikaisiin digitaaliarvoihin voi liittyä graafinen elementti, kuten palkki tai analoginen mittari. Ajo-/prosessikaavionäytön tietojen tiheyden mukaan, näitä analogisia elementtejä voidaan käyttää näyttämään reaaliaikaisen arvon ja ohjearvon välinen ero. Laitenimet voivat olla hyödyllisiä erityisesti vähemmän kokeneille operaattoreille, mutta ne tulisi pitää pienikokoisina. Niiden ei tulisi näkyä liian isoina tai sekoittaa näyttöä.

Reaaliaikaisten prosessiarvojen tulisi sijaita selvästi ja yksiselitteisesti ajo-/prosessikaavionäytössä. Yksi ajo-/prosessikaavionäytön suurimmista eduista on auttaa operaattoria hahmottamaan prosessin tilaa ja tulkitsemaan esitetyt tiedot oikein. Mikäli ajo-/prosessikaavionäytössä näytetään neljä säiliötä ja neljän säiliöiden pinnat. Säiliöiden pintojen tulisi sijaita säiliöiden sisällä tai niiden yläpuolella. Säiliöiden pintoja ei tulisi kerätä yhteen taulukkoon ja asettaa näytön sivuun. Tällainen järjestely vaikeuttaa huomattavasti operointia. (dataPARC, 2020)

5.2.4 Johdonmukaisuus ja navigointi

HMI on enemmän kuin yksi näyttö, se on yleensä näyttökokoelma. Sen lisäksi, että operaattori pystyy tulkitsemaan nopeasti tietoja yhdellä näytöllä, on tärkeää, että operaattori pystyy myös liikkumaan helposti eri näyttöjen välillä. Tämän saavuttamiseksi näytöillä tulee olla johdonmukainen suunnittelu-tapa. Suuressa ohjausjärjestelmässä ei ole epätavallista, että useita ihmisiä työskentelee valvomohuoneessa näyttöruuduilla. Jokaisella operaattorilla on oma tapansa tulkita HMI:n esittämää tietoa prosessista. Ryhmänä heidän tulisi kuitenkin ylläpitää johdonmukaista ulkoasua ja toimivuutta kaikissa näytöissä.

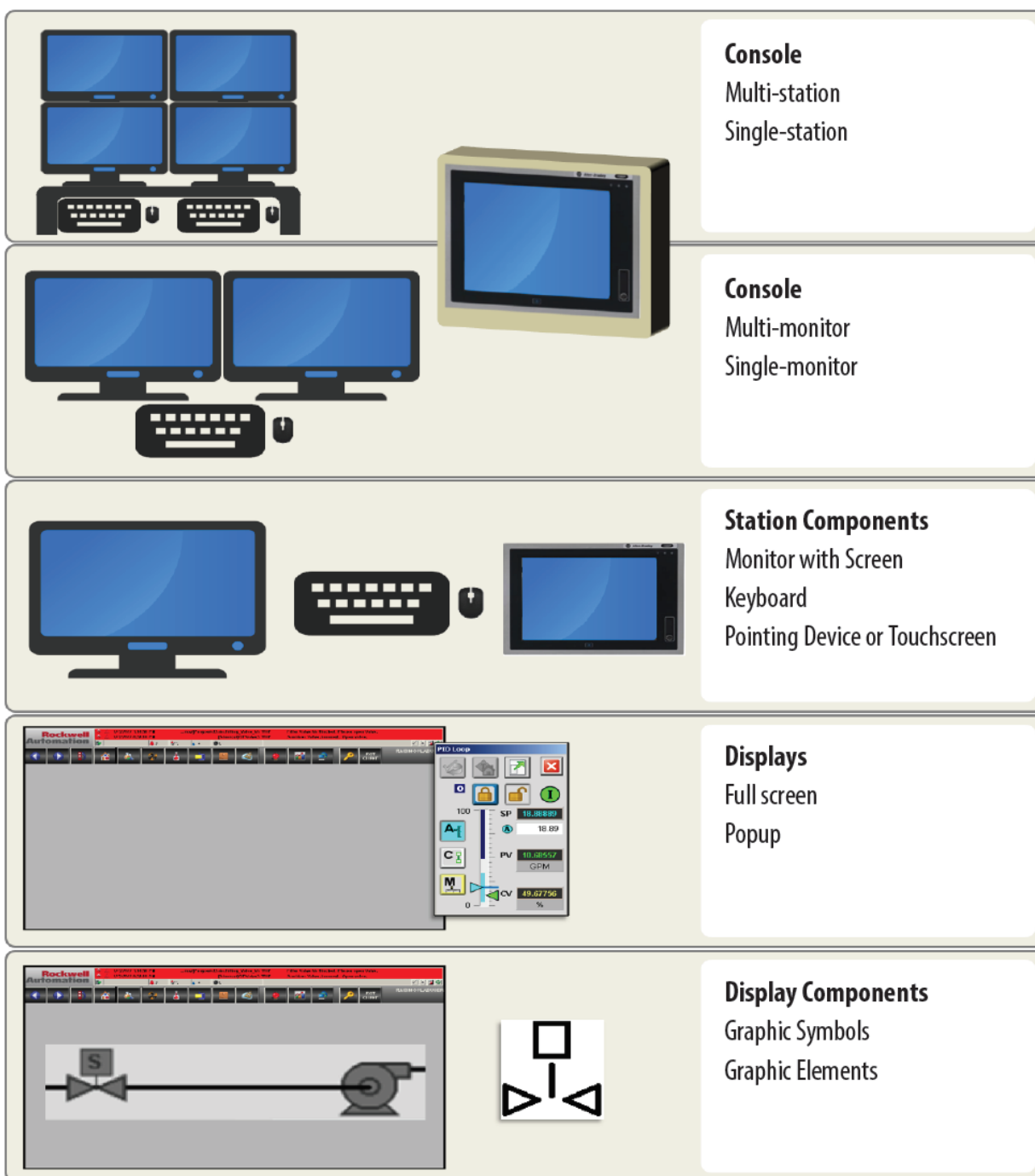
Se, kuinka operaattori navigoi näytöissä, on tärkeää. Jotkut ohjaus- ja näyttöjärjestelmät saattavat asettaa rajoituksia näyttöihin pääsulle. Yleensä suunnittelijan tulisi kuitenkin pitää navigointipainikkeiden lukumäärä, toiminta ja sijainti samoina jokaisessa näytössä. Navigoinnin johdonmukaisuus poistaa yhden kognitiivisen tehtävän kriisissä olevan käyttäjän mielestä. Näytöt tulee ryhmitellä loogiseen hierarkkiseen järjestykseen. Näyttöjen tulisi sisältää navigointipainikkeet tärkeimmille näytöille, kuten yleiskatsaus ja hälytysyhteenvedot. Vaikka jokainen sivu ei voi olla yhden napsautuksen päässä kaikista muista sivuista, suunnittelun tavoitteena on minimoida näyttöjen välillä siirtymiseen vaadittavien painallusten määrä. (dataPARC, 2020)

5.3 ISA 101.01 Standardi

Maaliskuun 23 päivä vuonna 2005 tapahtui yksi Yhdysvaltojen vakavimmista työtapaturmista, kun Texas Cityssa öljynjalostamo räjähti yllättäen. Öljynjalostamon räjähdysten seurauksena 15 työntekijää menehtyi ja yli 170 loukkaantui. Tämän lisäksi öljynjalostamon omistava yritys BP kärsi mittavat taloudelliset menetykset. Syynä räjähdykselle oli isomerointiyksikön käyttöönoton yhteydessä siihen liittyvän raffinaattijakajatornin ylikuormittuminen ja ylikuumentuminen. Suuri määrä hiilivetyneistettä ja höyryä pakotettiin viereiseen ulospuhallustorniin ylittäen nopeasti sen kapasiteetin. Syntyneen höyrypilven syttyminen aiheutti öljynjalostamon räjähdysten. Valvomohuoneessa yksi HMI-näyttö näytti operaattorille raffinaattijakajatorniin menevän materiaalin määrän ja toinen näyttö näytti sieltä lähtevän materiaalin määrän. Operaattori ei ollut tietoinen, että mikään olisi pielessä. Operaattori ei pystynyt näkemään vaadittavia tietoja yhdeltä näytöltä. Puutteellinen HMI:n suunnittelu, joka johtaa heikkeneeseen tilannetietoisuuteen, pidetään yhtenä monista tekijöistä, jotka johtivat Texas City öljynjalostamon räjähdykseen.

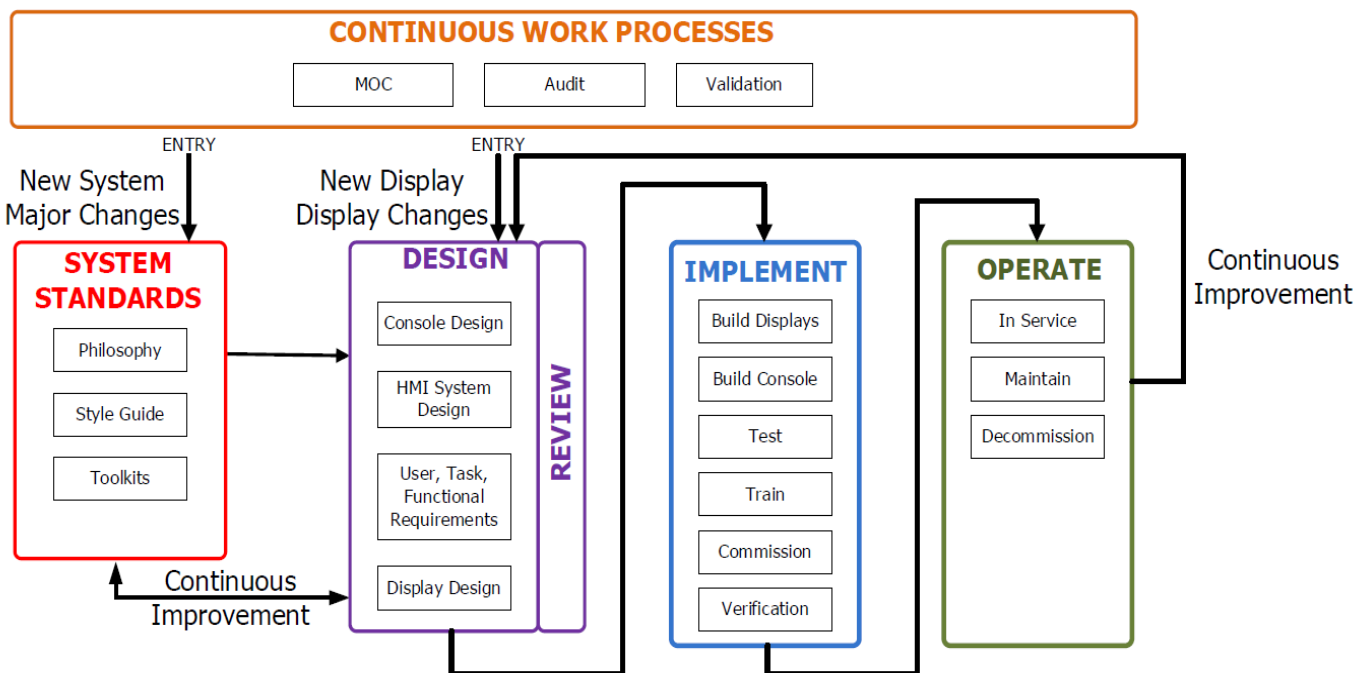
Vuonna 2006 perustettiin komitea, jonka tarkoituksena oli laatia standardeja, suositeltuja käytäntöjä ja teknisiä raportteja HMI:n suunnittelua, toteutusta, käyttöä ja hallintaa varten prosessiautomaatio-sovelluksissa. Komitean työn tuloksena syntyi standardi ANSI/ISA-101.01, joka hyväksyttiin ja julkaistiin yhdeksäs heinäkuuta 2015. Tämä standardi tunnetaan paremmin nimellä ISA-101 (International Society of Automation). ISA-101 -standardin tarkoituksena on käsitellä HMI:n suunnittelua, toteutusta

ja ylläpitoa prosessiautomaatiojärjestelmissä. ISA-101 -standardi ohjeistaa, kuinka suunnitella, rakentaa ja ylläpitää HMI:tä, joka johtaa parempaan tehokkuuteen ja järjestelmän ohjaukseen, sekä normaalissa ja epänormaalissa ajotilanteessa. Standardi sisältää yhdeksän pykälää, joista ensimmäiset kolme käsittelevät soveltamisalaa, viittauksia muihin standardeihin ja standardin yleisiä määritelmiä. Loput pykälät kuvaavat parhaita käytäntöjä, pakollisia vaatimuksia ja suosituksia käyttöölyttymän toteuttamiseksi ja sen elinkaaren tueksi. Kuvassa 11 on esitettyä ISA-101 -standardin perusmääritelmät HMI:lle.



Kuva 11. ISA-101 standardin termejä (Rockwell Automation, 2016)

ISA-101 standardin keskeinen vaatimus on, että HMI:tä kehitetään ja hallitaan elinkaarimallin avulla standardin mukaisesti. Tämä vaatimus sisältää joukon kirjallisia organisaatiokohtaisia järjestelmästandardeja, joihin sisältyy HMI filosofia, HMI-suunnitteluopas ja HMI-työkalukirjasto. Tämän elinkaarimallin lähestymistavan lisäksi ISA-101 standardi vaatii prosessin määrittelemistä, jonka avulla hallitaan HMI:n muutoksia koko sen elinkaarensa ajan, jotta varmistetaan järjestelmästandardien jatkuva noudattaminen. kuvassa 12 näkyy ISA 101 standardin elinkaarimalli



Kuva 12. ISA 101 Standardin elinkaarimalli (International Society of automation, 2015)

Elinkaarimallissa on neljä osiota, joita ovat järjestelmästandardit, suunnittelu, toteutus ja operointi. HMI:n elinkaarimallin standardivaiheessa vaaditaan kolme selkeästi määriteltyä suoritusta

1. HMI filosofia
2. HMI suunnitteluopas
3. HMI työkalukirjasto

HMI filosofia tarjoaa ohjausperiaatteet ja käsitteellisen perustan HMI:n käytölle ja suunnittelulle. HMI suunnitteluopas soveltaa HMI-filosofian ohjausperiaatteita ja konsepteja toteutus esimerkkien ja ohjeiden tarjoamiseksi kohdealustoille, mutta jättää tekniset yksityiskohdat huomioimatta. Yleisesti katsottuna, HMI suunnitteluopas tulisi antaa "säännöt" näyttöjen suunnittelua ja rakennusta varten. Nämä säännöt sisältävät järkevien suunnitteluperiaatteiden käytön, jotka on johdettu inhimillisistä tekijöistä ja käyttöliittymistä. HMI työkalukirjasto on alustakohtainen ja tuottaa kaikki graafiset symbolit ja elementit HMI suunnitteluoppaan toteuttamiseksi.

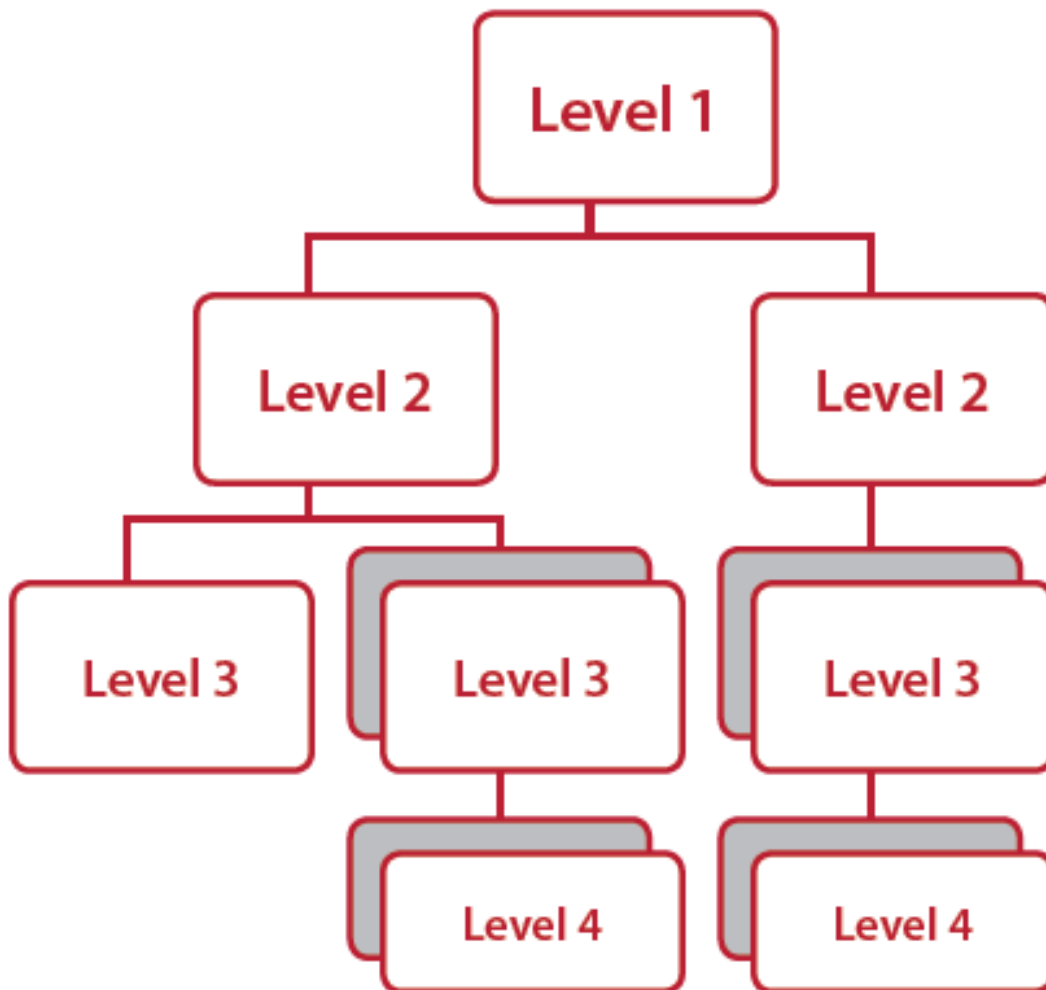
Järjestelmästandardien määrityksen jälkeen ISA-101 standardi tunnistaa neljä noudatettavaa vaihetta elinkaarimallin suunnitteluosiossa. Näiden neljän vaiheen tavoitteena on suunnitella laitteisto ja sovellukset konsolia varten, määrittellä suunnitteluperusta HMI-järjestelmälle, määrittellä ensi- ja toissijaiset käyttäjät ja määrittellä näyttöjen käsitteellinen suunnittelu ja navigointihierarkia.

Toteutusvaiheessa ISA-101 standardi tunnistaa kuusi vaihetta, joita on noudatettava toteutusprosessissa tehokkaan HMI:n elinkaaren saavuttamiseksi. Nämä vaiheet sisältävät näyttöjen ja tukiosien täydellisen rakentamisen, konsolin laitteiston ja ohjelmiston rakentamisen, HMI:n ja konsolin testausten, käyttäjien koulutuksen, lopputestauksen ja todentamisen ennen siirtymistä operointitilaan.

Kun HMI on käyttöön otettu, se siirtyy operointivaiheeseen. Operointivaiheessa ISA-101 standardi tunnistaa kolme tilaa, johon HMI voi siirtyä. Näitä ovat käyttötilassa, kunnossapitotilassa tai käytöstä poistamisen tilassa.

ISA-101 standardi luetteloii myös inhimillisten tekijöiden periaatteita, tarjotakseen puitteita suunnittelua varten. HMI:n on vähintään tuettava käyttäjäanalyysissä tunnistettujen käyttäjien vaatimuksia. Suunnittelijan tulee ottaa huomioon inhimilliset tekijät, kuten käyttäjän kognitiiviset- ja fyysiset käyttäytymismallit. HMI-suunnittelussa täytyy pohtia käyttäjien kognitiivisia ja aistinvaraisia rajoituksia suhteessa aikaan, kontrastiin, väreihin, tiedon tiheyteen, visualisointiin ja äänentunnistukseen, jotta tietoa voidaan välittää selvästi ja vältetään kognitiivinen ylikuormitus.

ISA-101 standardi suosittelee myös käyttämään erityistä näyttöhierarkiamallia, joka tarjoaa rakenteellisen kuvan prosessista. Käyttämällä näyttöhierarkiaa, prosessista pystytään esittämään suuriosa yleiskuvassa menettämättä mahdollisuutta tarkempaan ohjaukseen ja valvontaan alemmilla näyttöhierarkian tasoilla. kuvassa 13 on esitetty ISA-101 standardin suosittama näyttöhierarkia.



Kuva 13. ISA-standardin suosittama näyttöhierarkia (Rockwell Automation, 2016)

Standardin suosittama sisältö kullekin näyttöhierarkian näyttötasolle on seuraava:

- Taso 1
 - Näyttävät yleiskatsauksen tai yhteenvedon tärkeimmistä parametreista, arvoista, hälytyksistä, prosessin olosuhteista ja epänormaaleista tilanteista käyttäjän koko hallinta-alueella.
- Taso 2
 - Ovat ylemmän tason prosessinäyttöjä, joissa on yksityiskohtaisempia tietoja, kuin tason 1 näytöissä. Tason 2 näytöt toimivat operaattorin ensisijaisina näyttöinä normaalissa ajotilanteessa. Tason 2 näyttöjen tulisi olla tehtäväpohjaisia.
- Taso 3
 - Näytöt ovat järjestelmän yksityiskohtaisia näyttöjä, joita operaattori käyttää suorittamaan epätavallisia tehtäviä, kuten kokoonpanomuutoksia, laitteiden vaihtoa tai monimutkaisia rutiinitehtäviä. Tason 3 näytöt ovat myös

tehtäväpohjaisia ja niiden tulisi antaa tarpeeksi tietoa prosessidiagnostiikkaa varten.

- Taso 4
 - Näytöt ovat diagnostisia ja niitä käytetään lukiessa laitteen toimintakuvausta tai, kun halutaan apua ohjaukseen ja diagnosointiin. Tason 4 näytöt voidaan parhaiten esittää pop-up-ikkunoina esitetyn tiedon lyhytaikaisuuden vuoksi. (Rockwell Automation, 2016)

6 EXPERION PKS WITH PMD CONTROLLER

Honeywellin Experion PKS (Process Knowledge system) with PMD (Process, Machinery and Drives) controller on prosessinohjaukseen suunniteltu automaatiojärjestelmä. Järjestelmän PMD-tekniikan ansiosta yhden automaatiojärjestelmän on mahdollista ohjata tuotantolaitoksen jatkuva- ja panosuuntoisia prosesseja, koneita ja sähkökäyttöjä. Automaatiojärjestelmän ohjaus on toteutettu käyttäen suuren kapasiteetin PMD-kenttäohjaimia, jotka voidaan yhdistää käytetyimpiin kenttäväylätyyppeihin tarvittavien ohjaustarpeiden täyttämiseksi. PMD-kenttäohjaimien hyvää suorituskykyä voidaan käyttää tehtaalla jokaisella ohjaustasolla, jotka kattavat kehittyneiden säätimien, nopeiden koneohjausten ja prosessinohjauksen toteuttamisen. PMD tekniikka käyttää avointa Windows-2016 pohjaista palvelin-tekniikkaa ja Windows-10 pohjaista käyttöliittymätekniikkaa, sekä Ethernet-pohjaista verkkorakennetta. Nämä mahdollistavat joustavat standardiliitännät automaatiojärjestelmän komponenttien välillä.

6.1 Experion PKS with PMD controller automaatiojärjestelmän rakenne

Automaatiojärjestelmän rakenne perustuu osastoihin, jotka on rakennettu Ethernet pohjaisen "system net" tietoverkon ympärille. Osasto on tyypillisesti ohjausjärjestelmä, joka on vastuussa yhdestä itsenäisestä prosessista, johon mukaan luetaan erilliset yksiköt käyttöliittymineen ja valvomohuoneen laitteistot. Osasto on täysin itsenäinen toiminnossaan. Osasto sisältää ainakin seuraavat järjestelmän osat:

- PMD-palvelin
- Suunnitteluasema
- PMD-kenttäohjaimet
- HMIWeb-käyttöliittymät

Yksi osasto voi sisältää yhden varmennetun tai varmentamattoman PMD palvelimen, 10 + 10 suunnitteluasemaa, 40 HMIWeb-käyttöliittymää ja 30 varmentamatonta PMD-kenttäohjainta tai 15 varmennettua kenttäohjainta.

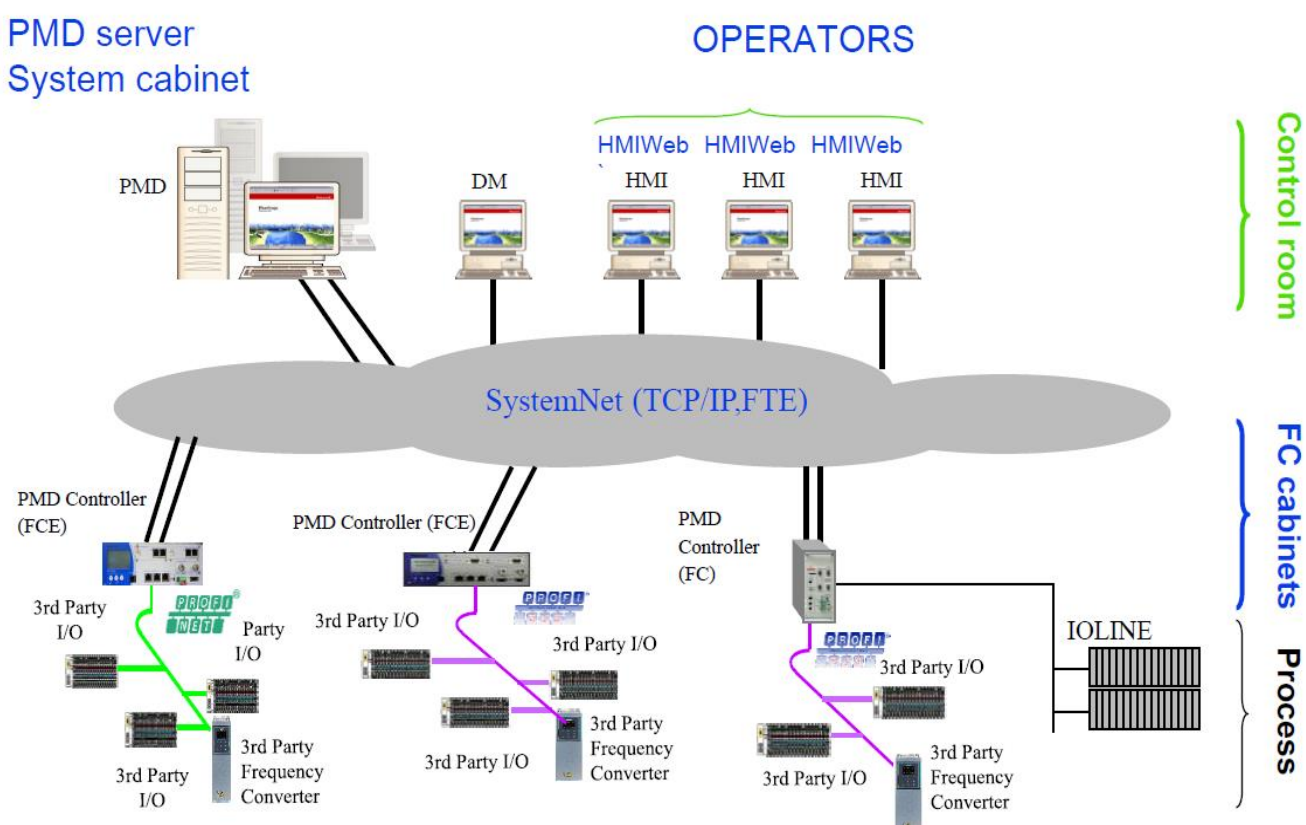
Experion PKS with PMD Controller järjestelmässä PMD-palvelimet, suunnitteluasemat, HMIWeb-käyttöliittymät ja PMD-kenttäohjaimet ovat yhdistettyinä suoraan System Net tietoverkkoon, joka on varmennettu Ethernet pohjainen TCP/IP verkko. Kommunikointi System Net verkossa tapahtuu käyttämällä TCP/IP protokollaperheen protokollia. IP:tä käytetään verkkokerroksessa ja TCP/UDP siirtokerroksessa. Datayhteyskerros toteutetaan käyttämällä Ethernetiä. System net tietoverkon varmennus tapahtuu käyttämällä Honeywellin kehittämää FTE (Fault-Tolerant Ethernet) protokollaa. FTE protokollaa käytetään Ethernet- ja IP-kerrosten välillä.

PMD-palvelin toimii järjestelmän tietokantana ja vastaa kaikesta tiedonsiirron reitityksestä, hälytysten ja tapahtumien käsittelystä, historiadatan keräyksestä ja näyttöjen ja kuvien jakelusta käyttöliittymiin.

PMD-palvelin lataa tietokantaan tallennetut ohjelmistot, järjestelmä- ja sovellusmääritykset PMD-kenttäohjaimiin. Palvelin varmistaa, että prosessinohjauksessa käytetyt tiedot ovat yhdenmukaisia palvelimen tietokantaan tallennettujen tietojen kanssa. Tämä tarkoittaa, että palvelin ilmoittaa kaikki ajon aikana ohjaussovellukselle tehdyt muutokset ja valvoo niiden latauksen kenttäohjaimiin.

Suunnitteluasemilla luodaan ja ylläpidetään järjestelmän tietoyksiköitä, jotka määrittävät järjestelmän (osaston) vaaditun toiminnan sovelluksen sisällä. Suunnitteluasemien data tallennetaan palvelimen tietokantaan, josta se latautuu osaston eri komponenteille. Sovellusmäärittelyt suunnitteluasemilla määrittävät järjestelmän arkkitehtuurin, prosessiohjauksen, loogiset toiminnot, prosessihälytykset ja prosessitietojen keräyksen. Suunnitteluasemien suunnitteluohjelma on PMD-Builder, joka sisältää sovellustyökalut.

HMIWeb-käyttöliittymät tarjoavat yhtenäisen ympäristön prosessitoiminnalle ja prosessitietojen esittämiselle. HMIWeb-käyttöliittymät, jotka perustuvat HMIWeb-tekniikan ominaisuuksiin mahdollistavat joustavan prosessin, tuotannon ja yritysietojen integroinnin. Käyttöliittymät perustuvat verkon rakenteeseen ja käyttävät yleisiä kommunikointistandardeja, kuten Internet, HTML ja Ethernet. HMIWeb-käyttöliittymät rakennetaan erillisessä HMIWeb Display Builder ohjelmassa, joka mahdollistaa verkkopohjaisten mukautettujen näyttöjen luonnin. Esine-pohjaisella HMIWeb Display Builder ohjelmalla luodaan mukautettuja näyttöjä Experion PKS with PMD Controller automaatiojärjestelmään. (Honeywell, 2018) Kuvassa 14 on esitettyä Experion PKS with PMD Controller automaatiojärjestelmän pelkistetty rakenne.



Kuva 14. Experion PKS with PMD Controller järjestelmän rakenne (Honeywell, 2016)

6.2 PMD-kenttäohjaimet

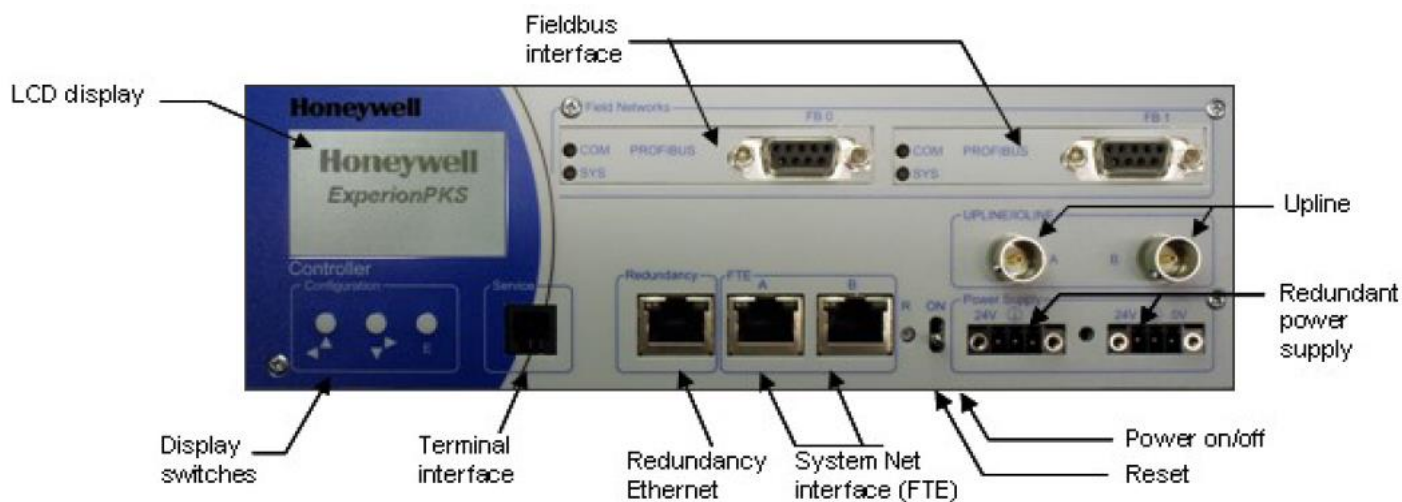
PMD-kenttäohjaimet ovat Honeywellin prosessinohjauslaitteita ja niitä käytetään prosessin ja prosessilaitteiden ohjaukseen. PMD-kenttäohjaimien tehtävänä on yhdistää järjestelmä ohjattavaan prosessiin ja toteuttaa prosessinohjaustoiminnot itsenäisesti. Lisäksi kenttäohjaimet lähettävät prosessidataa järjestelmän muille yksiköille ja käyttäjälle ja vastaavasti vastaanottavat ohjausarvoja ja ohjeita muilta yksiköiltä ja käyttäjältä. Varmentamattomat PMD-kenttäohjaimet hallitsevat syklistä korkean tason kieltä ja tapahtumapohjaista korkean tason kieltä. PMD-kenttäohjaimia käytetään prosessien ja prosessilaitteiden hallintaan, jotka ovat kytkettyinä kenttäväylän kautta järjestelmään. I/O-jatkomodulit ovat yhdistettynä FCE-kenttäohjaimiin UPLINE/IOLINE väylän kautta.

UPLINE/IOLINE on Honeywellin kehittämä sarjaliikenneväylä. UPLINE/IOLINE on keskinopea tiedonsiirtoväylä, jota käytetään laitteidenväliseen kommunikointiin, kun välimatka on pitkä tai jos ympäristön häiriötekijöitä on paljon. UPLINE/IOLINE-väylä mahdollistaa tiedonsiirron PMD-kenttäohjaimen ja I/O-moduulien välillä. Tiedonsiirtonopeus voidaan valita 1, 2 tai 4 Mbit/s väliä ja UPLINE/IOLINE-väylän maksimipituus on 2 km.

PMD-kenttäohjaimia on kahdenlaisia: FC (Field Controller) -kenttäohjain ja FCE (Field Controller Express) -kenttäohjain. (Honeywell, 2018)

6.2.1 FCE-Controller

FCE-Controller on Honeywellin valmistama ohjainyksikkö Experion PKS with PMD Controller automaatiojärjestelmään, joka sisältää integroidun sovellusympäristön, kaksi kenttäväyläliityntää, UPLINE/IOLINE-liitynnän ja Ethernet järjestelmän rajapinnan. Kenttäohjaimen sovellusympäristö perustuu 32-bittiseen COM Express prosessoriin. Ohjaimen ohjaintyökalut käsittävät perinteisen ohjauksen, perinteisen logiikan ja kehittyneen ohjauksen. Kenttäohjaimessa on monipuolinen ajonaikaisen tilan seuranta, muistisuojaus ja järjestelmäohjelmisto. Nämä ominaisuudet varmistavat turvallisen ja tehokkaan käyttöympäristön eri sovelluksille. FCE-kenttäohjaimessa on Profibus-DP liityntä Profibus standardin mukaisesti. FCE-kenttäohjain toimii isäntänä integroidulle kenttäväylälle. FCE-kenttäohjaimen voi valita, joko Profibus tai Profinet liitynnän. Kuvassa 15 on esitettyä FCE-kenttäohjain ja sen liityntäpisteet ja tiedot.



Kuva 15. FCE-kenttäohjain ja sen liittynät (Honeywell, 2018)

6.2.2 FC-controller

FC-kenttäohjain on Honeywellin valmistama ohjainyksikkö Experion PKS with PMD Controller automaatiojärjestelmään, joka sisältää integroidun sovellusympäristön, kaksi kenttäväyläliityntää, UPLINE/IOLINE-liitynnän, kaksi kanavainen RS485 sarjaliityntä ja Ethernet järjestelmän rajapinnan. Sovellusympäristö rakentuu 32-bittisten Pentium III prosessoriin. Ohjaimen ohjaintyökalut käsittävät perinteisen ohjauksen, perinteisen logiikan ja kehittyneen ohjauksen. Kenttäväyläliityntöjen toteutus mahdollistaa kenttäväyliä helpon ja nopean integroinnin kenttäohjaimen eri kenttäväylästandardien mukaisesti. FC-kenttäohjaimella on Profibus-DP liityntä Profibus standardin mukaisesti, Interbus standardin mukainen Interbus-liitännä, CANopen-liityntä, DeviceNET-liitännä, ja LON-liitännä. FC-kenttäohjain toimii isäntänä integroidulle kenttäväylälle. Kuvassa 16 on esitettyä FC-kenttäohjain. (Honeywell, 2018)



Kuva 16. FC-kenttäohjain (Honeywell, 2018)

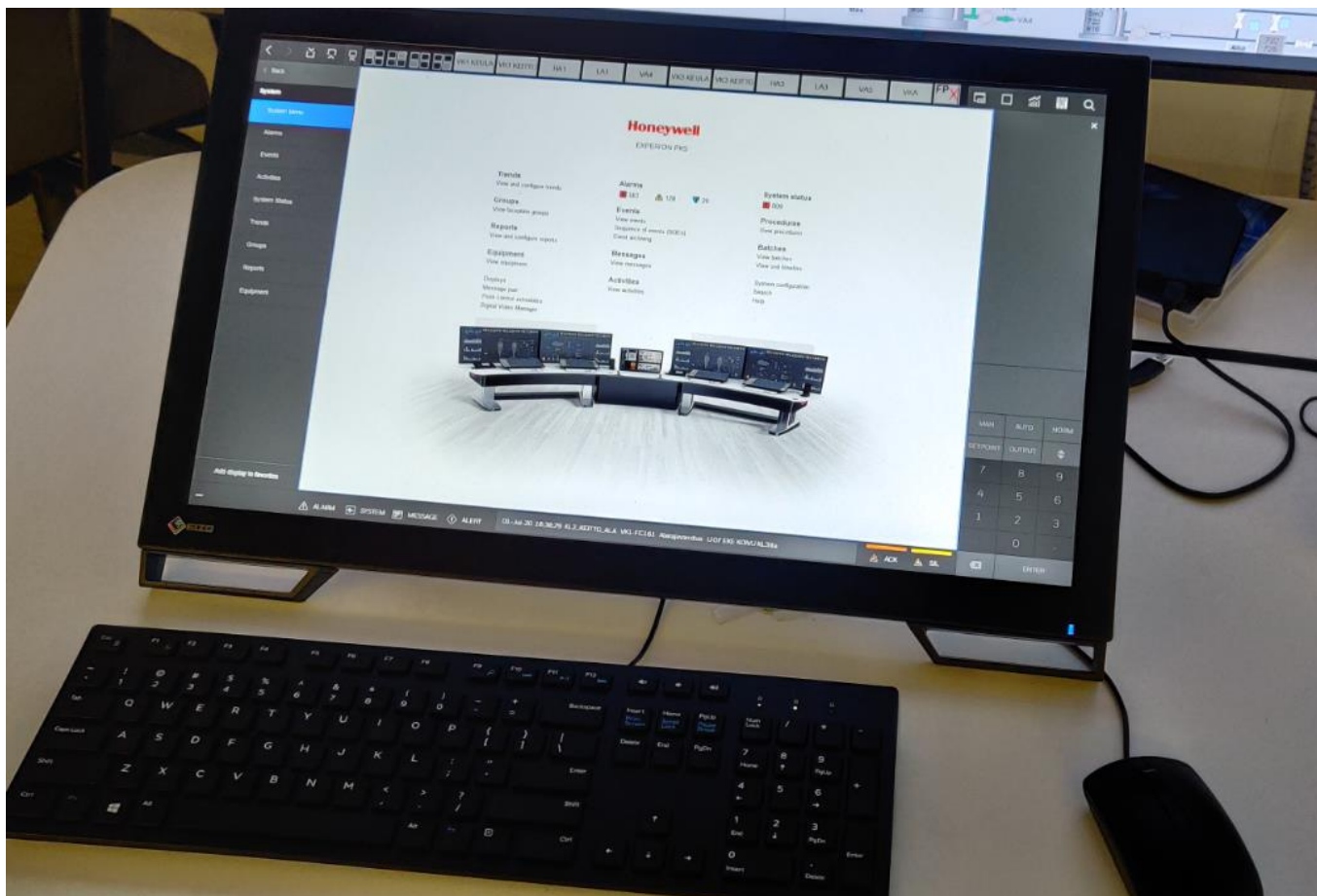
7 EXPERION ORION CONSOLE

Experion Orion Console on yksi osa Honeywellin aloitteesta rakentaa tulevaisuuden valvomohuoneita. Experion Orion Console on Honeywellin edistyksellinen valvomopöytä/käyttöliittymä, joka lisää operaattoreiden tehokkuutta laajemmalla vastuualueella tarjoamalla nopeamman vasteajan, vähentämällä operaattoreiden väsymystä ja lisäämällä tilannetietoisuutta. Experion Orion Console käyttöliittymä saavuttaa nämä ominaisuudet yhdistämällä uusimpia tekniikoita:

- 55 tuumaiset UHD- (Ultra-high-definition) näytöt mahdollistavat joustavan yleiskuva- ja yksityiskohtaisten näyttöjen asettelun
- Kehittynyt näyttötekniikka integroi operointirajat ja käyttökohteet suoraan yleiskuvanäyttöihin, prosessin tilan arvioimiseksi yhdellä silmäyksellä
- Ennalta määritetyt näytöt, edistynyt hälytysten hallinta, suurentaminen ja kosketusnäytön ominaisuudet mahdollistavat epänormaalien tilanteiden estämisen, hallinnan ja analysoinnin.
- Ergonominen muotoilu parantaa käyttäjän mukavuutta ja vähentää väsymystä

Experion Orion Console käyttöliittymä tukee suuria 55” tuumaisia 4K UHD-näyttöjä. Tämä mahdollistaa prosessioperaattoreille suuren häiriöttömän visuaalisen työaseman. Suuri visuaalinen työasema tarjoaa joustavuutta muokata tiedon asettelua ilman rajoituksia, täyttääkseen operaattoreiden vaatimukset ja parantamalla tilannetietoisuutta. Yksi visuaalinen työasema mahdollistaa kaikkien keskeisten tietojen jatkuvan esityksen. Yleiskuvanäyttö, jossa esitetään tärkeitä taloudellisia ja turvallisuuteen liittyviä tietoja, voidaan kiinnittää pysyvästi näyttöön, jotta operaattori ei koskaan menetä tilannetietoisuutta.

Experion Orion Console käyttöliittymän pääasiallinen työkalu on 23” tuumainen teollisuuteen suunniteltu operaattorin kosketusnäyttöpäätte, jolla operaattori navigoi järjestelmässä ja tekee prosessimuutoksia. Kosketusnäyttöpäätettä ja Experion-ohjelmistoa käytetään yhdessä tavallisen hiiren ja näppäimistön kanssa. Kosketusnäyttöpäätteen käyttäminen on suoraa, intuitiivista ja nopeampaa, kuin hiiren ja näppäimistön kanssa. Kosketusnäyttöpäätteen hyödyllisyys tulee esille parhaiten epätavallisissa prosessilaitteiston vikatilanteissa. Experion Orion Console käyttöliittymän liikuteltava tablettitietokone, mahdollistaa operaattoreiden jatkuvan prosessinvalvonnan kaikkialta valvomosta. Kuvassa 17 on esitettyä Experion Orion Consolen kosketusnäyttöpäätte.



Kuva 17. Experion Orion Console käyttöliittymän kosketusnäyttöpäätte.

Käyttöliittymäratkaisuun voidaan myös asentaa erillinen lisälaittepaneeli, johon voidaan asentaa analogisia kytkimiä, mittareita ja muita paneeliasennettuja laitteita. Käyttöliittymää voidaan operoida istualtaan tai seisaaltaan. Hiljaiset toimilaitteet nostavat tai laskevat työtasoa ja näyttöjä esiasetettuun tai käsin valittuun korkeuteen mahdollistaen hyvän ergonomisen asennon käyttäjälle.

Experion Orion Console -käyttöliittymän taakse on asennettu hälytysvalopaneeli, jota käytetään osoittamaan Orion-käyttöliittymän sen hetkistä hälytystä. Hälytysvalopaneelin väri vaihtuu hälytysten mukaan ja se voidaan määrittää eri väreihin. Hälytysvalopaneeli voidaan nähdä kaikkialta valvomosta. Tämä visuaalinen hälytysvalo täydentää kuultavaa hälytysääntä ja helpottaa operaattoreita huomamaan hälytyksiä.

Experion Orion Console -käyttöliittymä on suunniteltu perustuen operaattoreiden kokemuksiin, jotka on saatu lukuisista vierailusta eri toimialojen tuotantolaitosten valvomoihin ympäri maailman. Orion -käyttöliittymä suunniteltiin erityisesti auttamaan tuotantolaitoksia operoimaan optimaalisella tuotantorajalla pidempiä aikoja. Experion Orion Console -tekniikka mahdollistaa jatkuvasti kasvavan tarpeen etäohjauksille, keskittämällä yhden ohjauskeskuksen, joka voi valvoa ja vuorovaikuttaa prosessilaitteisiin satojen ja jopa tuhansien kilometrien päästä. Kuvassa 18 on esitettyä Experion Orion Console -käyttöliittymä kahdella työasemalla ja lisälaittepaneelilla. (Honeywell, 2014)

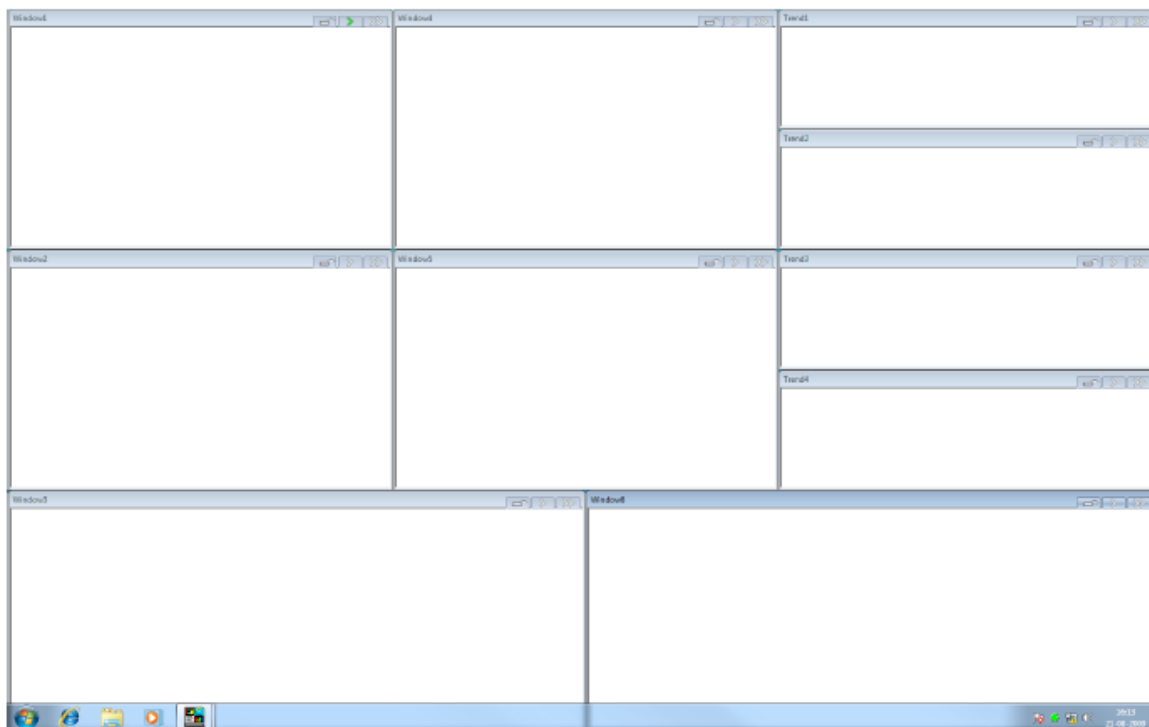


Kuva 18. Experion Orion Console käyttöliittymä kahdella työasemalla ja lisälaittepaneelilla (Honeywell, 2014)

7.1 Safeview

Experion Orion Console käyttöliittymän ikkunoita hallitaan Safeview nimisellä ohjelmalla. Honeywellin Experion PKS with PMD controller automaatiojärjestelmä on Microsoft Windows pohjainen, joten käyttöliittymässä esitetyt tiedot näytetään erillisissä ikkunoissa. Tyypillisessä moni-ikkuna käyttöjärjestelmässä, kuten Windows, sovellukset toimivat itsenäisesti. Käyttäjän on itse hallittava työasemaa. Sovellukset voivat määrittellä joitakin ikkunan piirteitä kuten, alkuperä, koko ja tyyli, mutta yleensä käyttöjärjestelmä määrittelee nämä. Microsoft Windows käyttöjärjestelmässä ei ole erillistä toimintoa, jossa voidaan määrittellä minne ikkunat avautuvat tai kuinka suureksi. Koska Windows ei tarjoa mahdollisuutta määrittellä ikkunoiden avautumispaikkaa, käyttäjä joutuu hallitsemaan työasemaa. Tämä aiheuttaa ongelmia, joita ovat ainakin ajanhukka, näkymän menetys ja tarpeettomat häiriöt.

Safeview-ohjelma mahdollistaa käyttäjän määrittellä itse erilaisia ikkunaparametrejä, jotka määrittelevät sovellusikkunoiden alkuperäisen sijainnin ja koon ja rajoittavat myöhemmin tehtäviä muutoksia. Ohjelmalla voidaan määrittellä alue, jonka ulkopuolelle sovellukset eivät voi kasvaa tai siirtyä. Vaikka ikkuna avattaisiin koko näytön kokoiseksi, se ei peitä tällöin koko näyttöä. Näin voidaan varmistaa, että kriittiset tiedot eivät missään tapauksessa tule peitettyiksi. Safeview-ohjelma mahdollistaa sen, että operaattorin käyttöliittymän työtila on siisti, helposti operoitavissa ja tieto on helposti nähtävää. Kuvassa 19 on hahmotettuna Safeview-ohjelmalla toteutettu ikkunajako.



Kuva 19. SafeView-ohjelmalla toteutettu ikkunajako työpöydällä

Safeview-ohjelmalla rakennettavat ikkunamäärittelyt suunnitellaan asetustiedostoilla, jotka ovat ihmisille luettavissa olevia UNICODE-tekstitiedostoja. Nämä asetustiedostot rakennetaan SafeView-tekstieditorilla, käyttäen tekstipohjaista kieltä, jota kutsutaan WDL- (Workspace Definition Language) kieleksi. Pohjimmiltaan WDL on joukko syntaktiikka- ja semanttisia sääntöjä, jotka ohjaavat työtilan ikkunamäärittelysten oikeaa sarjaamista (lukemista ja kirjoittamista). Kuvassa 20 on esimerkki WDL-kielestä. (Honeywell , 2019)

```

end group
window MainWinUpperLeft

    match = category ("Level2") or category ("Level3") or category ("Level4") or category ("?*HW_PnZ_Display?*");
    position = MainWinUpperLeft_left, MainWinUpperLeft_top;
    size = MainWinUpperLeft_width, MainWinUpperLeft_height;
    draggable = no;
    titlebar = no;
    sizeable = no;
    placeholder = yes;
    minimizable = no;
    maximizable = no;
end window

end group

group UpperRightWindows ("first match");//t poistettu AK

window Sequence_faceplate_4
    match = Title("?*Sequence_faceplate.htm?*"); // TESTI SEKVENSSSI YLÄOIKEA AK
    position = FP_xposition_4_sq, FP_yposition_4_sq;
    size = FP_xsize_sq, FP_ysize_sq;
    sizeable = yes;
    always on top = yes;
    minimizable = no;
    maximizable = no;
    titlebar = FP_titlebar_sq;
    placeholder = FP_placeholder_sq;
    closable = FP_closable_sq;
    globalfocus = FP_globalfocus;//FP_globalfocus_sq

end window

```

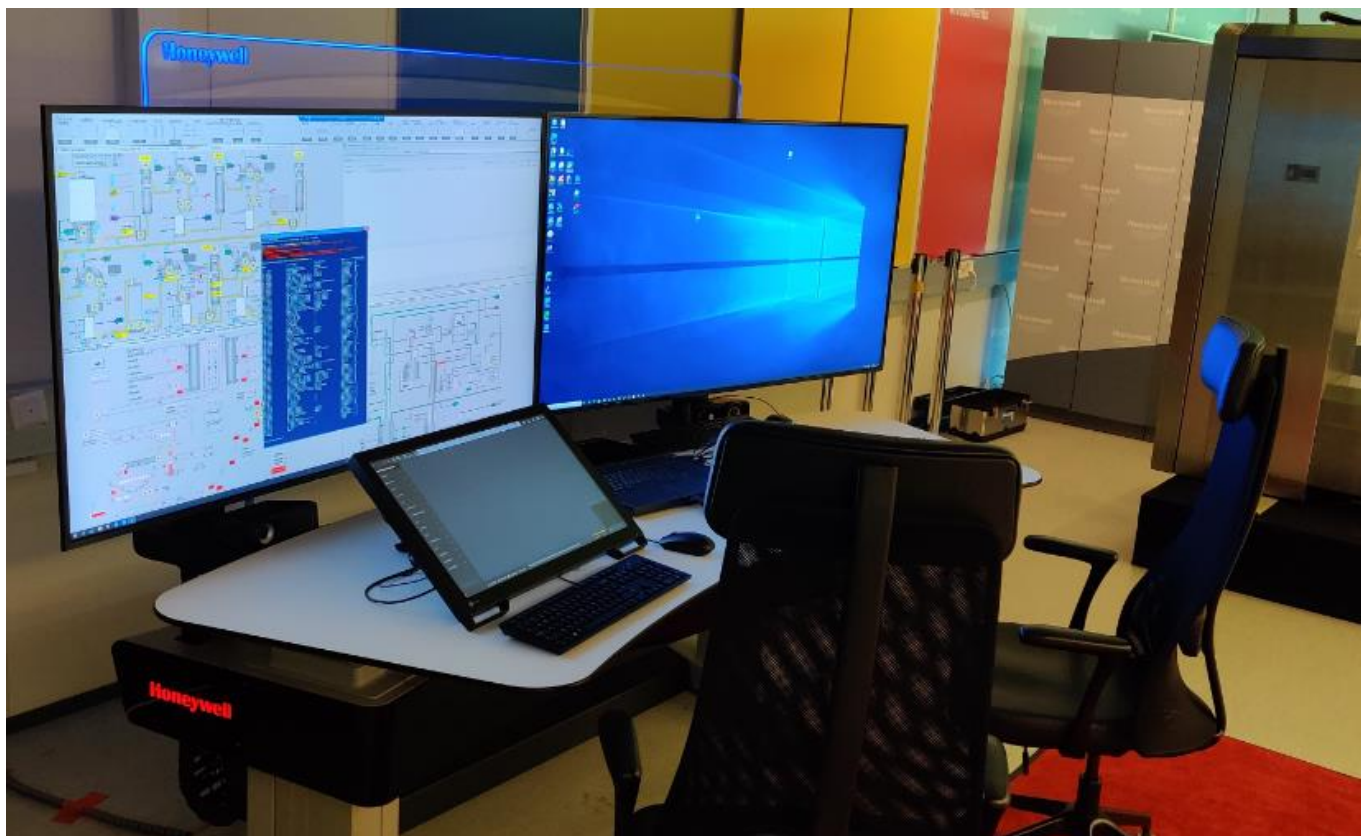
Kuva 20. SafeView ohjelman WDL esimerkki

8 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN KOMPONENTTIEN TESTAUS

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Honeywellin Experion PKS with PMD controller automaatiojärjestelmään ja testata PMD järjestelmän komponentteja Experion Orion Console käyttöliittymässä, sekä tutustua Experion Orion Console käyttöliittymään tarkemmin. Komponenttien testauksen tulokset dokumentoitiin ja raportoitiin tuotekehitykselle, joka teki tarvittavat muutokset ohjelman tiedostoihin. Tämän jälkeen testaus ja raportointi uusittiin, kunnes järjestelmän komponentit olivat hyvässä toiminnallisessa tilassa. Opinnäytetyön tuloksena PMD järjestelmän komponentit saatiin testattua ja tuotekehityksen muutosten avulla komponentit saatiin toimivaan kuntoon. Opinnäytetyön PMD järjestelmän komponenttien testaukset rajattiin piirikuvien testaukseen, koska niiden testausta pidettiin prioriteettina ja niiden toiminta oli ollut puutteellista aikaisemmin. Työ toteutettiin Kuopion toimipisteellä sijaitsevalla Experion Orion Console käyttöliittymässä.

8.1 Kuopion Experion Orion Console -käyttöliittymä

Opinnäytetyössä käytettyä Experion Orion Console -käyttöliittymää käytettiin Honeywellin Kuopion toimipisteellä. Kuopion Experion Orion Console toimii esittelytuotteena ja projektien testialustana. Kuopion Orion -käyttöliittymässä on kaksi 55" tuumaista UHD-näyttöä, kosketusnäyttöpäätte, hälytyspaneeli ja konsolipöytä. Kuvassa 21 on esitettyä Kuopion Experion Orion Console -käyttöliittymä.



Kuva 21. Kuopion toimipisteen Experion Orion Console käyttöliittymä

8.2 Piirikuvat

Piirikuvia ovat prosessikaavionäytöstä avautuvat erilliset pop-up-ikkunat, joissa esitetään valitun komponentin dataa. Piirikuvat ovat erityistyyppisiä tarkennekuvia, joissa esitetään piiriä koskevia kriittisiä tietoja ja näytetään piirin ohjaamista helpottavia tietoja. Prosessin perustoimintojen tarkempaa seurausta, virittämistä ja ohjaamista varten järjestelmään on määritelty piirikuvat näille toiminnoille. Piirikuvia on järjestelmässä yhdeksän erilaista. Näitä ovat:

1. Mittauksen piirikuva
2. Säädön piirikuva
3. Yksisuuntaisen moottorin piirikuva
4. Kaksisuuntaisen moottorin piirikuva
5. Venttiilin piirikuva
6. Kytkimen piirikuva
7. Yleisen logiikkapiirin piirikuva
8. Binääripiirin piirikuva
9. Sekvenssin piirikuva

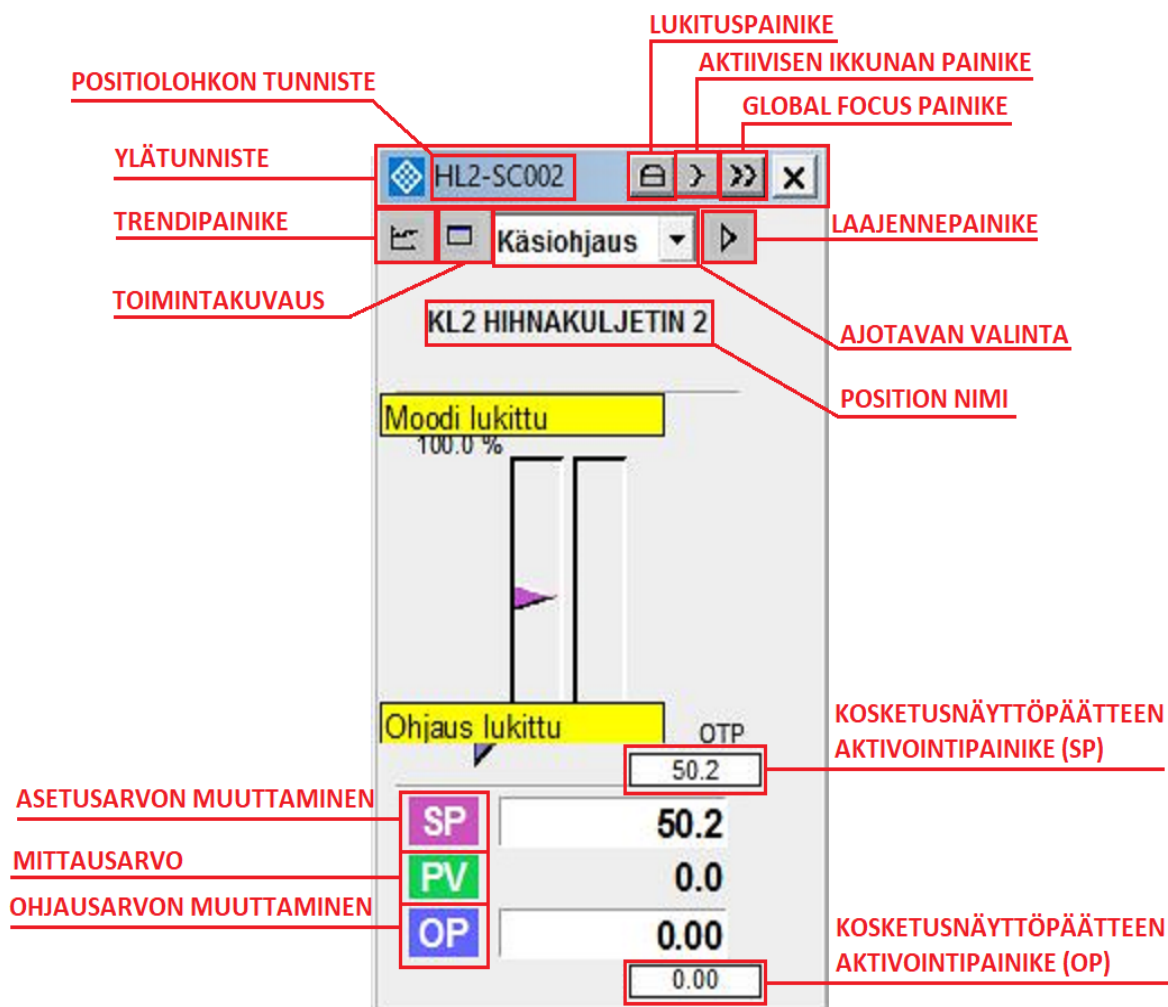
Jokaisella piirikuvalla on piirikuvasta riippumatta ainakin seuraavia painikkeita:

- Kiinnityspainike (lukitsee piirikuvan näyttöön, niin että se ei sulkeudu ilman erillistä komentoa).
- Toimintakuvaus (avaa selaimen erilliseen ikkunaan ja näyttää piirikuvaan määritetyn toimintakuvauksen).
- Laajennepainike (avaa erillisen laajenteen piirikuvan viereen, joka sisältää piirikuvakohtaisia tietoja ja toimintoja)
- Global focus (keskittää seuraavaksi avattavan piirikuvan Global focus painikkeella aktivoituun piirikuvaan).
- Aktiivisen ikkunan painike (indikoi käyttäjälle mikä piirikuva on sillä hetkellä aktiivisena, avaa seuraavaksi avattavan piirikuvan aktiiviseen ikkunaan).

Joillakin piirikuvilla on piirikuvakohtaisia painikkeita, joita ovat:

- Trendipainike (näyttää erillisessä pop-up-ikkunassa graafisessa muodossa yhden tai usean muuttujan arvoissa ajan myötä tapahtuneet muutokset)
- OTP-painike (operator touchpanel painike, jolla piirikuvaan voidaan syöttää arvoja kosketusnäyttöpäätteeltä).

Kuvassa 22 on esitetty säädön piirikuvan painikkeet ja tiedot.



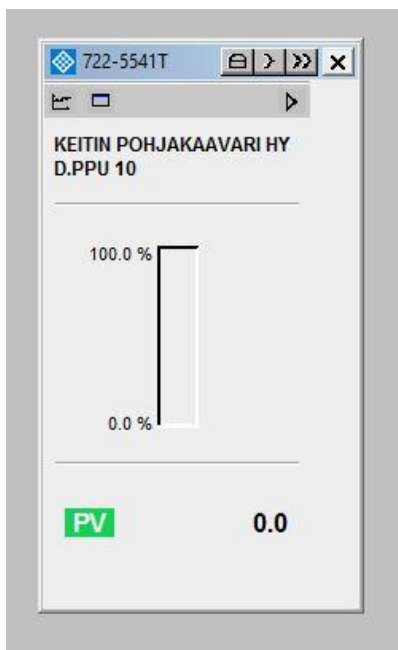
Kuva 22. Sädön piirikuvan painikkeet ja tiedot.

8.3 Piirikuvien testaukset

Jokaisella piirikuvalla on piirikuvakohtaiset määrittelyt, joten testauksessa oli tärkeää, että jokaista piirikuvaa testattiin. Piirikuvat testattiin avaamalla piirikuva prosessikaavio näytöstä ja tarkistamalla piirikuvan oikea koko, avautumispaikka, positiotunnuksen paikka, piirikuvan nimi ja pop-up-ikkunan eheys. Tämän jälkeen testattiin piirikuvien painikkeiden toimivuus. Lisäksi piirikuvien nimien muutokset testattiin maksimimerkkitestillä, jossa piirikuvan nimi muutettiin 30 merkin pituiseksi lohkoedito- rissa.

8.3.1 Mittauksen piirikuva

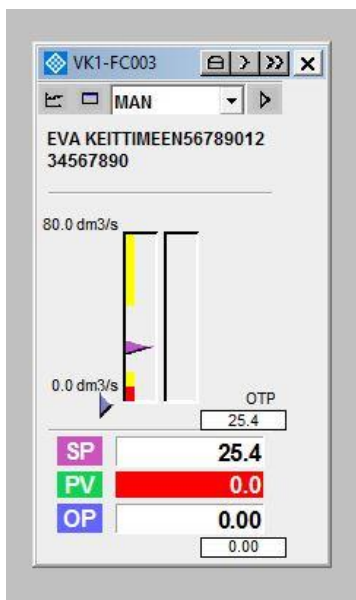
Mittauksen piirikuva on pop-up-ikkuna jostakin yksittäisestä mittauksesta. Piirikuvassa esitetään jonkin mittauksen reaaliaikainen mittausrarvo. Mittauksen piirikuvasta testattiin ylätunnisteen painikkeet, trendipainike, toimintakuvaus ja laajennepainike. Kuvassa 23 on esitetty mittauksen piirikuva



Kuva 23. Mittauksen piirikuvan maksimimerkkitesti.

8.3.2 Sädön piirikuva

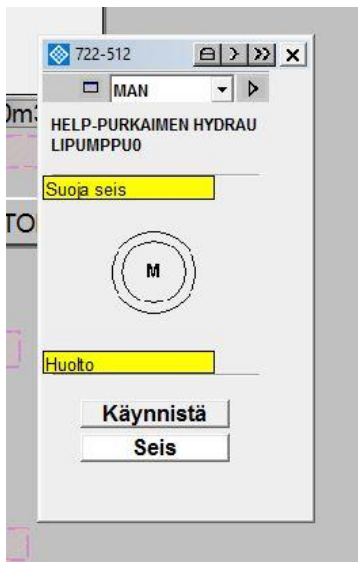
Sädön piirikuva on pop-up-ikkuna jostakin säätöpiiristä. Sädön piirikuvasta voidaan muuttaa jonkin säätimen ohjausarvoja (SP ja OP). Piirikuvassa on myös säätimen ohjattavan suureen mittaustieto esitettyä (PV). Poiketen muista piirikuvista, säädön piirikuvan ohjausarvoja voidaan myös muuttaa kosketusnäyttöpäätteeltä (OTP). Sädön piirikuvasta testattiin ylätunnisteen painikkeet, trendi, ajo-tapa, laajennepainike, ohjausarvot ja OTP painike. Sädön piirikuvasta voidaan ohjata mm. moottorien pyörimisnopeutta ja venttiilien asentoa. Kuvassa 24 on esitetty säädön piirikuva



Kuva 24. Sädön piirikuvan maksimimerkkitesti

8.3.3 Yksisuuntaisen moottorin piirikuva

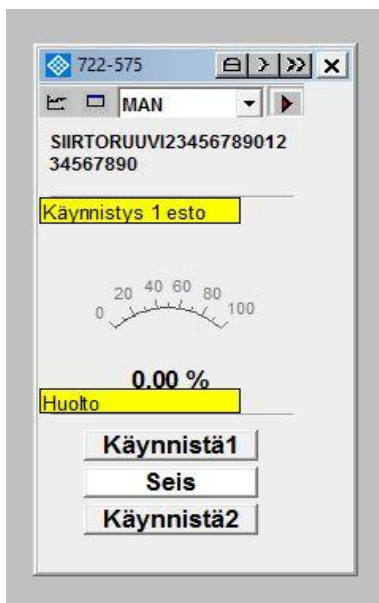
Yksisuuntaisen moottorin piirikuva on pop-up-ikkuna moottorista, jota voidaan ohjata vain yhteen pyörimissuuntaan. Moottorin piirikuvasta voidaan ohjata sähkökäyttöisiä laitteita, kuten pumppuja, hihnoja, kuljettimia ja tuulettimia. Piirikuvasta yksittäistä moottoria voidaan ohjata käyntiin ja seis. Yksisuuntaisen moottorin piirikuvasta testattiin ylätunnisteen painikkeet, toimintakuvaus, ajotapa, laajennepainike ja ohjauspainike. Kuvassa 25 on esitetty yksisuuntaisen moottorin piirikuva



Kuva 25. Yksisuuntaisen moottorin piirikuvan maksimimerkkitesti

8.3.4 Kaksisuuntaisen moottorin piirikuva

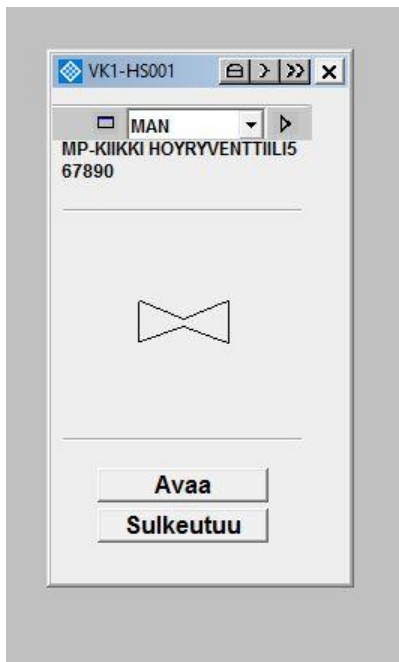
Kaksisuuntaisen moottorin piirikuva on pop-up-ikkuna moottorista, jota voidaan ohjata kahteen eri pyörimissuuntaan. Moottorin piirikuvasta voidaan ohjata sähkökäyttöisiä laitteita, kuten pumppuja, hihnoja, kuljettimia ja tuulettimia. Piirikuvasta moottoria voidaan ohjata käyntiin haluttuun suuntaan ja seis. Kaksisuuntaisen moottorin piirikuvasta testattiin ylätunnisteen painikkeet, trendi, toimintakuvaus, laajennepainike ja ohjauspainikkeet. Kuvassa 26 on esitetty kaksisuuntaisen moottorin piirikuva.



Kuva 26. Kaksisuuntaisen moottorin piirikuvan maksimimerkkitesti.

8.3.5 Venttiilin piirikuva

Venttiilin piirikuva on pop-up-ikkuna auki/kiinni venttiilistä. Venttiilin piirikuvasta venttiiliä voidaan ohjata auki- ja kiinniasentoon. Venttiilin piirikuvasta testattiin ylätunnisteen painikkeet, toimintakuvaus, laajennepainike, positiotunnuksen nimi ja ohjauspainikkeet. Kuvassa 27 on esitetty venttiilin piirikuva



Kuva 27. Venttiilin piirikuvan maksimimerkkitesti

8.3.6 Kytkimen piirikuva

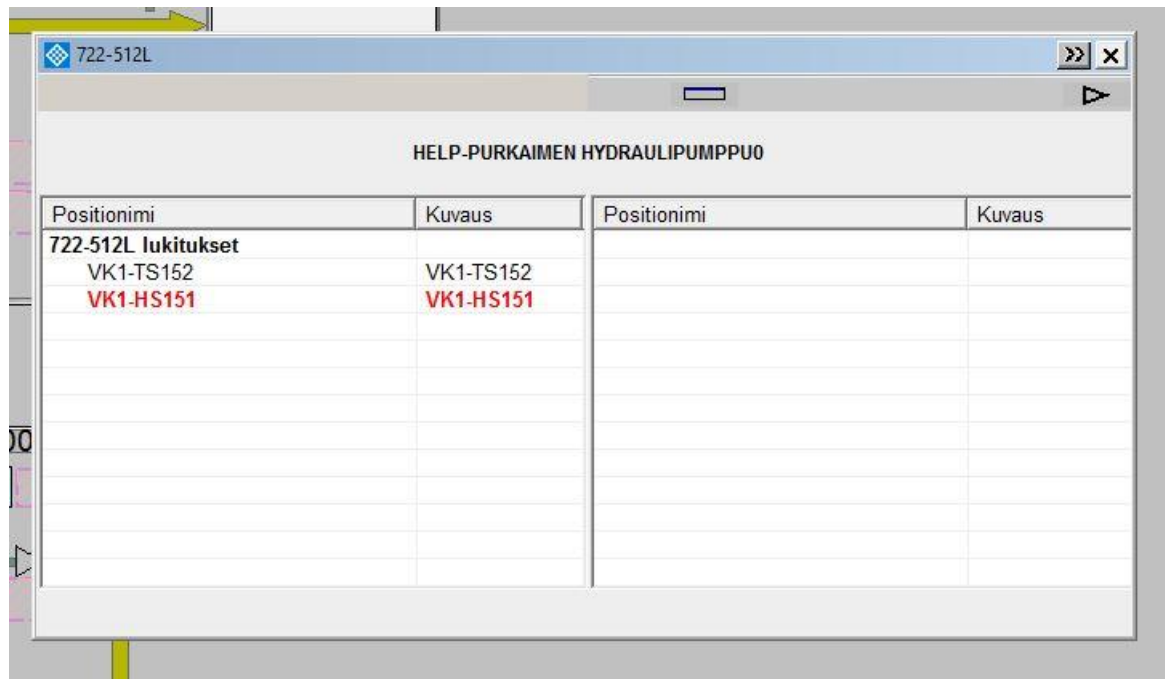
Kytkimen piirikuva on pop-up-ikkuna, jossa esitetään tietoja kytkimestä. Kytkimen piirikuvasta voidaan valita eri ajotapoja, tuotteita, tuotelinjoja ja muita vastaavia kokonaisuuksia, joita ei valita suoraan venttiilien tai moottorien avulla. Kytkimen piirikuvasta testattiin ylätunnisteen painikkeet, toimintakuvaus, ajotapa, laajennepainike ja ohjauspainikkeet. Kuvassa 28 on esitetty kytkimen piirikuva.



Kuva 28. Ohjauskytkimen moottorin piirikuvan maksimimerkkitesti.

8.3.7 Yleisen logiikkapiirin piirikuva

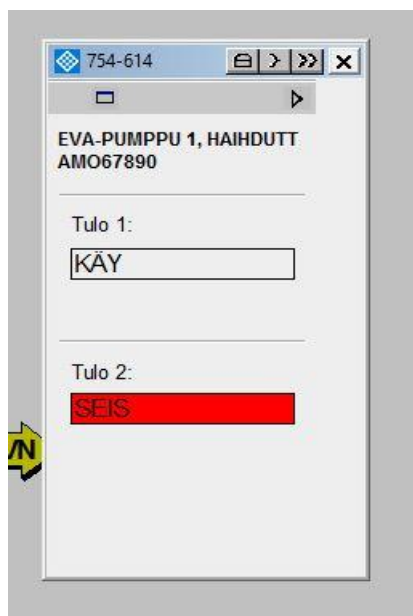
Yleisen logiikkapiirin piirikuva on pop-up-ikkuna, jossa esitetään prosessikohtaisia kokonaisuuksia. Yleisen logiikkapiirin piirikuvaa käytetään, kun halutaan esittää tietyn osaprosessin tilatietoja ja logiikkatulojen ja -lähtöjen tilat. Yleisen logiikkapiirin piirikuvasta testattiin ylätunnisteen global focus painike, toimintakuvaus ja laajennepainike. Kuvassa 29 on esitetty yleisen logiikkapiirin piirikuva.



Kuva 29. Yleisen logiikkapiirin piirikuvan maksimimerkkitesti.

8.3.8 Binääripiirin piirikuva

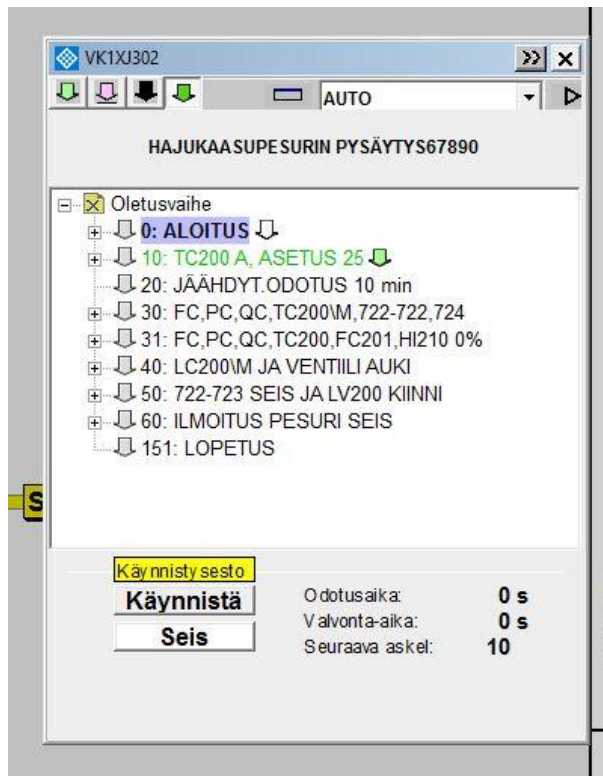
Binääripiiriin piirikuva on pop-up-ikkuna binääripiiristä. Binääripiiriä voidaan käyttää erilaisiin tarkoituksiin. Piirikuvassa voidaan esittää esimerkiksi prosessin erilaisia rajatietoja, asentotietoja tai kokonaisuuksia. Binääripiirin piirikuvasta testattiin ylätunnisteen painikkeet, toimintakuvaus, laajennepainike ja ohjauspainikkeet. Kuvassa 30 on esitetty binääripiirin piirikuva.



Kuva 30. Binääripiirin piirikuvan maksimerkkitesti.

8.3.9 Sekvenssin piirikuva

Sekvenssin piirikuva on pop-up-ikkuna sekvenssistä. Sekvenssejä käytetään joidenkin ryhmien käynnistykseen ja pysäytyksiin, prosessin automaattisiin ylös- ja alasajoihin, sekä erätyyppisten prosessien ohjaukseen. Sekvenssin piirikuvasta testattiin ylätunnisteen global focus painike, ohjauspainikkeet, toimintakuvaus, ajotapa ja laajennepainike. Kuvassa 31 on esitetty sekvenssin piirikuva.



Kuva 31. Sekvenssin piirikuvan maksimimerkkitesti.

8.4 Työn kulku

Piirikuvia testattiin opinnäytetyössä kahden korjauspäivityksen aikana kolme kertaa. Ongelmia piirikuvisa ilmeni ensimmäisellä testauskerralla huomattava määrä. Näitä olivat:

- Piirikuvien ylätunniste ei latautunut, joten ikkunan painikkeita ei voinut operoida
- Piirikuvat avautuivat väärään paikkaan
- Piirikuvat olivat väärän kokoisia
- Global focus toiminto avasi piirikuvat prosessikaavionäyttöihin
- Piirikuvien nimet jäivät osittain piiloon
- Piirikuvat avautuivat liian hitaasti ja toiminnot olivat hitaita

Yllä mainituista ongelmista raportoitiin Honeywellin tuotekehitykselle, jotka tekivät tarvittavat muutokset tiedostoihin. Piirikuvien koko ja paikka saatiin korjattua muokkaamalla Safeview-ohjelman

WDL-tiedostoa. Muut ongelmat tuotekehitys korjasi ja lähetti korjauspäivityksen, joka asennettiin Kuopion testijärjestelmään. Ensimmäisen korjauspäivityksen jälkeen piirikuvat testattiin uudelleen ja havaittiin seuraavia ongelmia:

- Piirikuvat avautuivat vääränlaiseen pop-up-ikkunaan, jossa ylätunnisteen toiminnot olivat piilossa.
- Piirikuvat aukesivat liian isoihin ikkunoihin
- Piirikuvien ikkunat sulkeutuivat 25 sekunnin kuluessa avautumisesta
- Piirikuvat jäivät prosessikaavionäyttöjen alle
- Global focus toiminto avasi piirikuvat prosessikaavionäyttöihin
- Trendit avautuivat vääränlaiseen ikkunaan

Yllä mainitut ongelmat piirikuvista raportoitiin uudelleen tuotekehitykselle. Tuotekehitys teki uuden korjauspäivityksen, joka asennettiin Kuopion testijärjestelmään. Tuotekehitys myös lähetti ohjeet, kuinka Safeview-ohjelman WDL tiedostoa piti vielä muokata, jotta osa piirikuvien ongelmista saatiin poistettua. WDL-tiedoston muokkauksen jälkeen, piirikuvat testattiin uudelleen. Viimeisessä testauksessa yhdessä opinnäytetyön ohjaajan kanssa todettiin, että piirikuvat toimivat hyvin ja ovat toimivassa kunnossa. Piirikuvien toiminnan testauksen jälkeen projekti voitiin viedä seuraavaan vaiheeseen. Testausraportit on esitetty Liitteissä.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua Honeywellin automaatiojärjestelmään Experion PKS with PMD Controller ja testata PMD-järjestelmän komponentteja Experion Orion Console -käyttöliittymässä. PMD-järjestelmän komponenttien testaus rajattiin piirikuvien testaukseksi. Tarkoituksena oli myös tutustua Experion Orion Console -käyttöliittymään mahdollisimman hyvin, koska se on uusi tuote Honeywellillä PMD-järjestelmässä.

Työn tuloksena PMD-järjestelmän piirikuvat testattiin kattavasti ja raportointi tuotekehitykselle mahdollisti järjestelmän päivityksen niin, että piirikuvat saatiin korjattua toimivaan kuntoon. Kuopion testijärjestelmä toimii jatkossa myös hyvänä referenssijärjestelmänä, kun Experion Orion Console -käyttöliittymää käytetään PMD-järjestelmän kanssa tulevaisuudessa. Komponenttien testauksen tulosten avulla myös tuotekehitys sai tärkeitä tietoja siitä, mihin tulevilla projekteilla pitää kiinnittää huomiota. Opiskelija pääsi myös tutustumaan Honeywellin automaatiojärjestelmään ja Orion Console -käyttöliittymään hyvin syvällisesti ja oppi aiheesta paljon.

Opinnäytetyön aikana Experion Orion Consoleen saatiin määritettyä piirikuvat kohdalleen. Päivitettyjen piirikuvien pohjalta on mahdollista lähteä kehittämään piirikuvien sisältämän datan selkeyttä ja visualisointia ISA 101 standardiin perustuen. Piirikuvat sisältävät vielä kirkkaita värejä ja epäselkeitä kokonaisuuksia, jotka tullaan korjaamaan tulevaisuudessa selkeämmiksi ISA 101 standardin mukaisesti. Piirikuvien korjaus ja päivitys yhteensopivaksi Experion Orion Consolen kanssa, on hyvä alku valvomonäyttöjen kehityksessä selkeämmiksi ja tehokkaammiksi tulevaisuudessa. Selkeät valvomonäytöt parantavat tuotantoaikaa teollisuuslaitoksissa ja vähentävät tarpeettomia katkoksia tuotolinjoilla.

Experion Orion Console -tyyppiset käyttöliittymät tulevat tulevaisuudessa yleistymään prosessiteollisuuden valvomoratkaisuina. Jatkuvasti kasvava tuotannon tarve teollisuudessa vaatii sen, että operaattoreille näytettävän datan on oltava selvää ja helppolukuista, ja että operaattorit pystyvät helposti näkemään prosessilaitteiston tilan. Experion Orion Console -käyttöliittymä tyylisessä valvomossa operaattorit pystyvät saavuttamaan paremman työtehokkuuden ja reagoimaan nopeasti yllättäviin prosessin muutostiloihin parantaen työturvallisuutta.

Opinnäytetyön aikana ei kohdattu suurempia ongelmia, koska työn aihe oli rajattu selvästi opettajan ja ohjaajan kanssa. Testaus sujui ongelmitta ja kommunikointi tuotekehityksen kanssa oli sujuvaa. Experion Orion Console -käyttöliittymä PMD-järjestelmässä on varsin uusi tuote Honeywellillä, joten valtavasti tietoa ei aiheesta löytynyt. Opinnäytetyön ohjaaja ja muu Honeywellin henkilöstö kuitenkin avustivat opinnäytetyön tekijää kiitettävästi, minkä ansiosta työ saatiin tehtyä projektin aikataulussa ja suunnitellusti. Opinnäytetyön aikana opin paljon automaatiojärjestelmän laitteistosta, järjestelmän rakenteesta, kenttäväylyistä, käyttöliittymistä ja tiedon kulusta automaatiojärjestelmässä. Opiskelijalle tuli myös tutuksi Experion PKS with PMD controller -automaatiojärjestelmän ohjelmat ja sovellukset, joilla järjestelmään tehdään muutoksia ja määrittäisiä. Samalla tuli myös tutuksi Experion Orion Console -käyttöliittymä ja siihen liittyvät toiminnot.

10 LAINATUT LÄHTEET

- ABB. (2020). *ABB*. Haettu 5. Heinäkuu 2020 osoitteesta Kenttäväyläluotteet-ja-integraatoratkaisut: <https://new.abb.com/control-systems/fi/kenttavaylatuotteet-ja-integraatoratkaisut>
- Acromag. (25. Toukokuu 2009). *Automation*. Noudettu osoitteesta Introduction to profibus DP: <https://www.automation.com/en-us/articles/2009-1/introduction-to-profibus-dp>
- Benson, H. (4. Lokakuu 2018). *Control Engineering*. Haettu 2020 osoitteesta Automation interfaces advance: <https://www.controleng.com/articles/automation-interfaces-advance/#:~:text=Industrial%20automation%20systems%20for%20machines,command%20devices%2C%20and%20coordinate%20control.&text=Electronic%20devices%20allowing%20operators%20to,%20ma chine%20interfaces%>
- Cisco Systems. (2003). *A control engineers guide*. Haettu 2020 osoitteesta Cisco Systems: https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/switches/catalyst-2950-series-switches/prod_white_paper0900aecd8013313e.pdf
- Cisco, Rockwell automation. (9. Syyskuu 2011). *Rockwell automation*. Haettu 17. Kesäkuu 2020 osoitteesta literature rockwell automation: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/enet-td001_-en-p.pdf
- Cope, K. (11. Kesäkuu 2018). *Realpars*. Haettu Kesäkuu 2020 osoitteesta Realpars automation pyramid: <https://realpars.com/automation-pyramid/>
- dataPARC. (18. Helmikuu 2020). *dataPARC blog*. Haettu Heinäkuu 2020 osoitteesta HMI Design Best Practices: <https://www.dataparc.com/blog/hmi-design-best-practices-complete-guide/>
- EL-PRO-CUS*. (2015). Haettu 16. Kesäkuu 2020 osoitteesta Electronics, projects, focus: <https://www.elprocus.com/distributed-control-system-features-and-elements/>
- Encoder procuts company. (21. Marraksuu 2019). *Industrial ethernet communication protocols*. Haettu Heinäkuu 2020 osoitteesta <http://encoder.com/core/files/encoder/uploads/files/WP-2019.pdf>
- Honeywell . (15. Kesäkuu 2019). SafeView users Guide. *Experion PKS*. Haettu 2020
- Honeywell. (Elokuu 2014). *Honeywellprocess*. Haettu Heinäkuu 2020 osoitteesta PIN Experion Orion Console: <https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/notes/PIN-Experion-Orion-Console.pdf>
- Honeywell. (Joulukuu 2016). R900.1. *Experion PKS with PMD controller Field controller users guide*. Haettu Kesäkuu 2020 osoitteesta Honeywellprocess: <https://www.honeywellprocess.com/library/marketing/notes/pin-experion-pmd-release-800.pdf>
- Honeywell. (Syyskuu 2018). Experion PKS with PMD Controller. *Experion PKS with PMD Controller*. Haettu Heinäkuu 2020
- Honeywell. (Toukokuu 2018). *Honeywell investor events and presentations*. Noudettu osoitteesta Honeywell: <https://investor.honeywell.com/Cache/IRCache/89e3af96-9171-0a3d-a7fd-2407a3d8c0fd.PDF?O=PDF&T=&Y=&D=&FID=89e3af96-9171-0a3d-a7fd-2407a3d8c0fd&iid=4121346>
- Honeywell. (Toukokuu 2018). *Honeywell safety and productivity solutions*. Haettu 14. Toukokuu 2020 osoitteesta Honeywell: <https://investor.honeywell.com/Cache/IRCache/d09cb80c-2bed-76d1-e324-dfd380b7a6ff.PDF?O=PDF&T=&Y=&D=&FID=d09cb80c-2bed-76d1-e324-dfd380b7a6ff&iid=4121346>
- Honeywell. (Syyskuu 2018). *Sisäinen asiakirja*. Haettu Heinäkuu 2020 osoitteesta Experion PKS with PMD Controller overview.

- Honeywell. (2019). *Honeywell building technologies*. Haettu 14. Toukokuu 2020 osoitteesta Honeywell: <https://investor.honeywell.com/Cache/IRCache/4343d3be-5f90-ebe9-60ff-ea8fd7f88c81.PDF?O=PDF&T=&Y=&D=&FID=4343d3be-5f90-ebe9-60ff-ea8fd7f88c81&iid=4121346>
- Honeywell. (Tammikuu 2020). *Honeywell aerospace*. Haettu 14. Toukokuu 2020 osoitteesta Honeywell: <https://aerospace.honeywell.com/content/dam/aero/en-us/documents/learn/about-us/about-us/AeroOverview.pdf?download=true>
- Honeywell. (2020). *Honeywell process solutions*. Haettu 14. Toukokuu 2020 osoitteesta Honeywell: <https://www.honeywellprocess.com/en-US/about-us/pages/default.aspx>
- IDC-technologies. (2012). *IDC-technologies*. Haettu 18. Kesäkuu 2020 osoitteesta Practical Distributed Control Systems: https://www.idc-online.com/downloads/DD_IDCBookextract_R6.1.pdf
- International Society of automation. (2015). *International Society of automation*. Haettu Heinäkuu 2020 osoitteesta Human Machine Interfaces for Process Automation Systems: <https://cdn.ymaws.com/oawwa.org/resource/collection/6EE0BF16-E230-4405-8005-29A50CD98EE2/High%20Performance%20Human-Machine%20Interfaces.pdf>
- Kaakinen, A. (14. Heinäkuu 2020). OSI-mallin ja kenttäväylämallin tiedonsiirtokerrokset. Kuopio.
- Mahalik, N. (2003). *Fieldbus Technology*. Die Deutsche Bibliothek.
- Markus, P. (2018). *Automaatiojärjestelmän tasot ja kyberturvallisuus*. Kuopio: Savonia.
- Mondi, A. (13. Toukokuu 2019). *Realpars DCS*. Haettu Kesäkuu 2020 osoitteesta Realpars sivusto: <https://realpars.com/dcs/>
- Neuman, J. N. (2016). *Vice President, Corporate Secretary and deputy General Counsel*. Morris plains: Honeywell International inc. Haettu 14. Toukokuu 2020 osoitteesta https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/773840/000093041316008408/c86220_8k.htm
- Pannone, J. J. (20. Kesäkuu 2015). *Control Engineering*. Haettu Heinäkuu 2020 osoitteesta How to best design an HMI system: <https://www.controleng.com/articles/how-to-best-design-an-hmi-system/>
- profi-lab*. (2020). Noudettu osoitteesta Profibus manual: <https://www.profi-lab.ch/profibus-manual/netzwerktopologie.html>
- Pyyskänen, S. (2. Lokakuu 2013). *Automaatioseura*. Haettu 4. Heinäkuu 2020 osoitteesta Standardikirja: <https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/standardikirja.pdf>
- Rockwell Automation. (Tammikuu 2016). *Rockwell Automation*. Noudettu osoitteesta Human Machine Interfaces For Distributed Control Systems: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/proces-wp016_-en-p.pdf
- Rockwell automation. (Heinäkuu 2018). *Rockwell automation literature*. Haettu Kesäkuu 2020 osoitteesta Rethink What You Should Expect From: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/proces-wp010_-en-e.pdf
- Rtautomation. (2020). *Real time automation*. Noudettu osoitteesta Profinet.
- Rtautomation. (2020). *Rtautomation technologies*. Noudettu osoitteesta Profibus: <https://www.rtautomation.com/technologies/profibus/>
- Salakari, K. (5. Toukokuu 2019). *Salakari*. Haettu 2020 osoitteesta Mikä on käyttöliittymä: <https://www.salakari.net/dwkb/01-mika-on-kayttoliittyma/>
- SCADA Systems. (2020). *SCADA systems*. Noudettu osoitteesta <http://www.scadasystems.net/>
- Swindall, J. (12. Tammikuu 2015). *Profinews*. Haettu 15. Heinäkuu 2020 osoitteesta How many devices on a PROFIBUS Network: <https://profinews.com/2015/01/tech-tip-how-many-devices-on-a-profibus-network/>

Verwer training and Consultancy Ltd. (11. Joulukuu 2014). *Tutorial - Introduction to fieldbus*. Noudettu osoitteesta <http://verwertraining.com/tutorials/tutorial-introduction-to-fieldbus-and-profibus/>

FACEPLATE TESTING 8.5.2020

TESTING

Testing of the Orion HMI faceplates was done with the Kuopio Elvis Orion Console. We have tested every faceplate and the functions of every button inside the faceplate. Testing was carried out at 8.5.2020. Faceplates that were tested included:

- Measure
- Control
- One-way motor
- Two-way motor
- Valve
- Control switch
- Genlog
- Binary
- Sequence

OVERALL PROBLEMS

We found some problems with the Orion HMI during the testing of the faceplates. Major problems were:

- Header of the faceplate is missing
- Faceplates open to the wrong location
- Faceplate sizes are wrong
- Global focus opens faceplates to the main displays
- Long position names do not fit in to the faceplates
- Latency time is long

Location and size of the faceplates can be reconfigured from the Safeview, but the other problems are beyond our knowledge.

HEADER OF THE FACEPLATES IS MISSING

Currently one of the problems is that the header of the faceplate is not loading properly. Most of the times header is missing, but occasionally, it loads header properly. Here are some examples of the missing header:

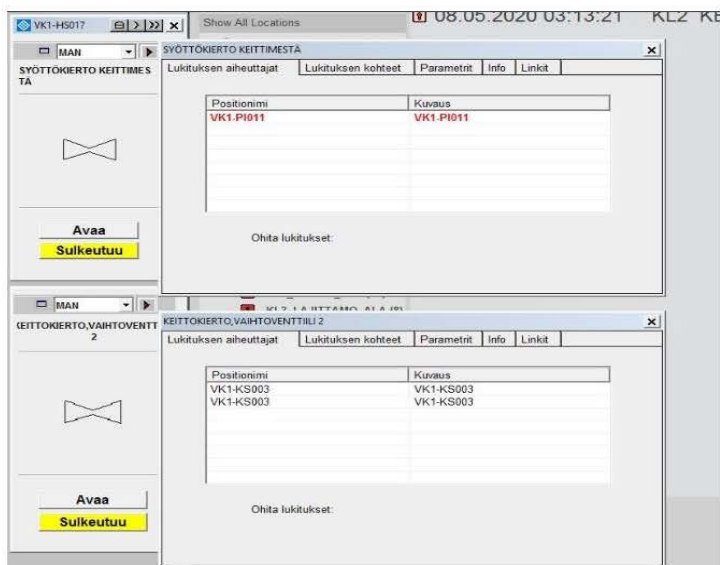


Figure 1. Header is missing from the bottom valve faceplate

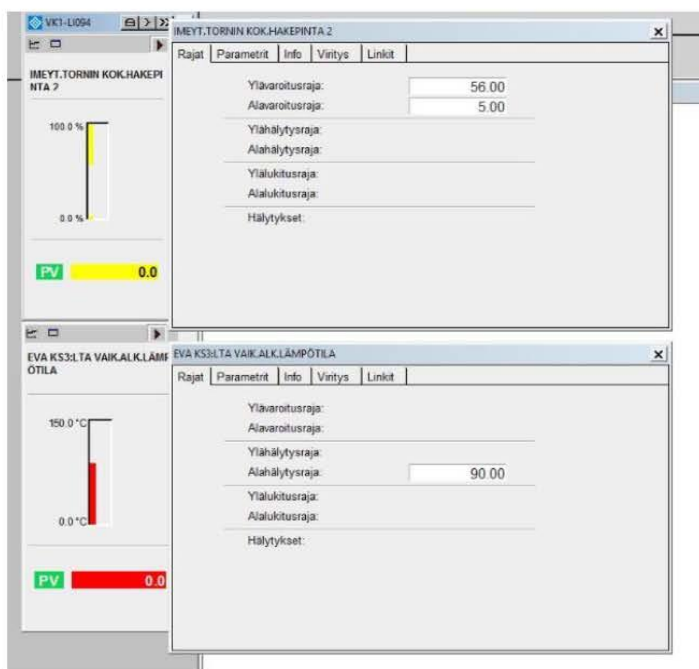


Figure 2. Header is missing from the bottom measure faceplate

GLOBAL FOCUS OPENS FACEPLATES TO THE MAIN DISPLAYS

When global focus is enabled from the main display and faceplate is opened. Faceplate opens up the size of the main display. Here is an example:



Figure 3. Global focus enabled faceplate

LONG POSITION NAMES DO NOT FIT PROPERLY IN TO THE FACEPLATES

When the name of the position is long, part of the letters is underneath the other elements of the faceplates. Here is an example:



Figure 4. Position names do not fit properly

LATENCY TIME OF THE SYSTEM IS POOR

When opening the faceplate, it takes several seconds before the faceplate is opened and ready to perform. Same effect takes place when navigating between levels 1 and 3. It takes several seconds until the display is fully functional.

Overall, from the latency perspective, the condition of the system is quite poor and need to be enhanced before meeting the requirements of the customer.

EXTRA NOTES

Valve faceplates seem to have different configuration than the other faceplates. When valve faceplate opens properly, there is a little gap between the header and the first element of the faceplate. This gap helps to see the "close button" when extension is enabled. Here is an example:



Figure 5. Valve faceplate

This is better configuration than with the other faceplates. Here is an example how the other faceplates behave when extension is enabled:

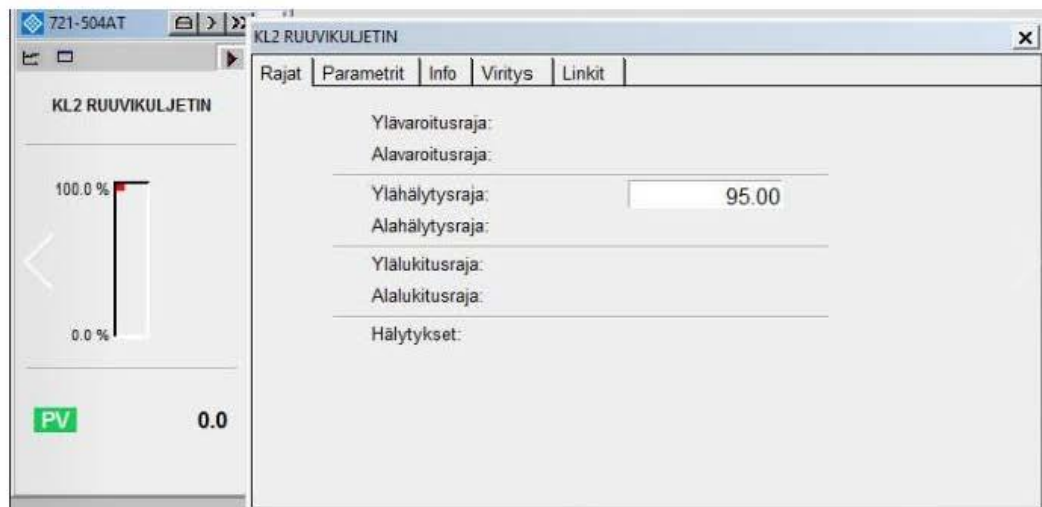


Figure 6. Measure faceplate with extension enabled

You can see from figure 6, that there is no gap between header and the first element of the faceplate. Because of this extension windows need to be closed or moved manually before faceplate can be closed. This is quite unpractical.