

Ari Östman

Tuotantoautomaation standardit ja tiedonsiirto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

17.8.2017

Tekijä(t) Otsikko	Ari Östman Tuotantoautomaation standardit ja tiedonsiirto
Sivumäärä Aika	44 sivua + 1 liite 17.8.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Jukka-Pekka Pirinen
<p>Insinööriyössä selvitettiin tuotantoautomaation ja integraation liittyvien standardien sisältöä ja merkitystä tuotantoympäristölle. Kysymyksiin standardien rajapinnoista ja päällekkäisyydestä pyrittiin löytämään vastaukset. Työssä selvitettiin kommunikaation merkitystä ja protokollia tuotantojärjestelmien välillä. Työ esittelee tuotannon kokonaistehokkuuden takana olevan metodologian sekä laskennan kokonaistehokkuuden osatekijöille.</p> <p>Työn lähdemateriaalina on käytetty ammattikirjallisuutta sekä verkkojulkaisuja aiheista. Lähdemateriaalin hankintaan on käytetty pääasiassa MetCat-verkkopalvelun kansainvälisten e-aineistojen julkaisuja. Myös järjestöjen ja yritysten verkkojulkaisuja on hyödynnetty lähdemateriaaleina.</p> <p>Tutkittavat standardit olivat The International Society of Automation -järjestön julkaisemat ISA-88 ja ISA-95 sekä The Organization for Machine Automation and Control -järjestön julkaisema pakkauskoneiden PackML-standardi. Tiedonsiirron osalta tässä työssä selvitettiin OPC UA -protokollaa sekä IBM:n kehittämää MQ Telemetry Transport -protokollaa. Työssä perehdyttiin OEE-kokonaistehokkuuden laskentaan, koska se on olennainen osa tuotantoympäristöä sekä PackML-standardia.</p> <p>Julkaisut ISA-88 ja ISA-95 ovat toisiaan tukevia, tietyiltä osin samoja alueita käsitteleviä standardeja. ISA-88 on alun perin julkaistu panosprosessien hallintaan ja ISA-95 määrittämään yritysten toiminnanohjausjärjestelmien integraation yleiset mallit ja terminologian. Molemmat kuitenkin määrittävät MES-järjestelmien toiminnallisuutta ja rakennetta. PackML on ISA-88-standardiin pohjautuva pakkauskoneiden ohjaukseen keskittyvä standardi. Kommunikaatioprotokollien kohdalla erona on kommunikaation rakenne ja tarkoitus, johon niitä käytetään. OPC UA mahdollistaa suuren datamäärän lähettämisen, kun MQTT taas on parhaimmillaan lyhyiden viestien välittämisessä.</p> <p>Työn kautta lukijalle syntyy käsitys standardien merkityksestä tuotantoautomaatioympäristölle. Työssä on selvennetty standardien tarkoitusta ja aluetta, jolle ne kohdistuvat. Lukija saa tämän työn avulla kuvan OEE-tuotantotehokkuuden määryksistä ja laskennasta.</p>	
Avainsanat	MQTT, ISA-88, ISA-95, OPC, MQTT, PackML, OEE

Author(s) Title	Ari Östman Production Automation Standards and Integration
Number of Pages Date	44 pages + 1 appendix 17 August 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Jukka-Pekka Pirinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis is to provide an overall understanding about the standards around the production automation systems. The other objective of the study is automation system integration. Providing data for the key performance indicators is an important motivator for the system integration and is for this reason included in this study.</p> <p>The project is theoretical. Professional literature, other studies and the web-based information were used as source material of this study. Parts of the communication protocol functionalities were tested in the laboratory.</p> <p>This study covers three major production automation related standards and two communication standards. Overall equipment efficiency calculation is a seamless part of production environment and integrated in two of the standards.</p> <p>This thesis provides an overall understanding of the covered standards and their relation to the production automation systems. The contents of the standards overlap and can be used together when designing a production automation system. The communication protocols studied are common in the production automation environment and essential to the system integration. The development of publish and subscribe protocols provide many advantages to the communication in large automation systems.</p>	
Keywords	MQTT, ISA-88, ISA-95, OPC, MQTT, PackML, OEE

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tuotantoympäristön järjestelmät ja integraatio	2
3	Standardit tuotantoautomaatiojärjestelmille ja kommunikaatiolle	5
3.1	ISA-88.01	6
3.2	ISA-95	8
3.3	OPC Classic ja OPC Unified Architecture -standardit	10
3.4	MQTT	15
4	Pakkauskoneautomaatio PackML	20
4.1	Yleistä PackML-standardista	20
4.2	PackML:n fyysinen malli	21
4.3	Tilakonemalli	22
4.4	Käyttötavat ja ohjausmoodit	23
4.5	Tilat	25
4.6	Ohjausresepti	27
4.7	Datatunnisteet	28
4.8	Toteutustasot	30
5	Kokonaistehokkuus	31
5.1	TPM-metodologia	32
5.1.1	Käytettävyys	35
5.1.2	Toiminta-aste	35
5.1.3	Laatukerroin	36
5.2	PackML-kokonaistehokkuus	36
5.2.1	Laitteen ohjausjärjestelmä	37
5.2.2	Ylemmät järjestelmät	38
5.2.3	Tuotantolaitteiden häiriötiedot	40
6	Yhteenveto	41
	Lähteet	42

Liitteet

Liite 1. OMAC PackTags

Lyhenteet

AMQP	Advanced Message Queuing Protocol. Kevyt kommunikaatioprotokolla.
DCOM	Distributed Component Object Model. Hajautettu oliomalli.
ERP	Enterprise Resource Planning. Toiminnanohjauksen tietojärjestelmä.
HMI	Human Machine Interface. Ihmisen ja koneen välinen käyttöliittymä.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
IP	Internet Protocol. Internet-kommunikaation protokolla.
ISA	International Society of Automation. Automaatiotekniikkaan keskittynyt kansainvälinen järjestö.
KNL	Käytettävyys, nopeus, laatu. Kokonaistehokkuuden osa-alueet.
MES	Manufacturing Execution System. Yleisnimitys tuotannonohjausjärjestelmille.
MESA	Manufacturing Execution System Association. Tuotannonohjausjärjestelmien standardointiin kansainvälinen keskittynyt järjestö.
MOM	Manufacturing Operation Management. Yleisnimitys tuotannonohjausjärjestelmille.
MQTT	MQ Telemetry Transport. Kevyt kommunikaatioprotokolla.
NAT	Network Address Translation. Internet-yhteyden osoitteenmuunnos.
OEE	Overall Equipment Effectiveness. Nimitys kokonaistehokkuudelle.
OLE	Object Linking and Embedding. Microsoftin kehittämä protokolla erilaisten tietotyyppien yhdistämiseen.

OMAC	The Organization for Machine Automation and Control. Kansainvälinen koneohjaukseen keskittynyt organisaatio.
OPC	OLE for Process Control / Open Platform Communications. Automaatiojärjestelmien kommunikaatioprotokolla.
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture. Automaatiojärjestelmien kommunikaatioprotokolla.
OPW	OMAC Packaging Workgroup. Pakkauskoneiden automaation kehittämiseen keskittynyt OMAC:n työryhmä.
PackML	Packaging Machine Language. Pakkauskoneiden automaation ohjausjärjestelmien standardi.
PM	Productive Maintenance. Teollisen tuotannon ennakoiva kunnossapito-malli ja metodologia. Nykyisin lyhenne viittaa sanoihin Preventive Maintenance.
PubSub	Publish and Subscribe. Kommunikointimalli.
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition. Tuotannon automaatiojärjestelmiin liitetty valvontajärjestelmä.
SCM	Supply Chain Management. Toimitusketjujen hallinta.
SOA	Service Oriented Architecture. Alustariippumaton palvelukeskeinen arkkitehtuuri.
TCP	Transmission Control Protocol. Tietokoneiden välinen tietoliikenneprotokolla.
TPM	Total Productive Maintenance. Teollisen tuotannon ylläpitoon keskittynyt metodologia.
TSN	Time-Sensitive Networking. Tosi-aikasovellukset mahdollistava IEEE 802-standardin laajennus.

1 Johdanto

Integraation tarve teollisuudessa automaatiojärjestelmien ja muiden tuotannon tietojärjestelmien välillä lisääntyy jatkuvasti. IIoT-kehitys on korostanut integraation tarvetta luomalla uusia pilvitietokantoja, palveluita ja sovelluksia, joilla liiketoimintaa voidaan seurata jopa reaaliaikaisesti internetin yli. Myös yrityksissä käytettävien tietojärjestelmien määrä on lisääntynyt ja integraation merkitys tätäkin kautta on kasvanut. Tunnusluvut halutaan tuoda läpinäkyviksi koko organisaatiossa ja niiden avulla halutaan reagoida nopeasti tuotannon kehitykseen. Myös tuotannonohjauksen parametrit tuotannonohjausjärjestelmistä halutaan siirtää automaattisesti tuotantolaitteille. Yritykset tallentavat tuotannosta dataa, jonka pohjalta voidaan arvioida laatua, tehokkuutta ja tuottavuutta.

Lähde tuotannon datalle on usein tuotantolaitteiden automaatiojärjestelmät. Kerätty data analysoidaan, siitä muodostetaan mittareita ja tilannekuvia tai se tallennetaan myöhempiä analysointia varten. Automaatiojärjestelmistä saadaan todenmukainen tieto tuotannosta, joiden perusteella tunnusluvut voidaan prosessoida erilaisiksi raporteiksi tai näytöiksi. Myös tarkka yksittäisen tuotteen tai erän seuranta mahdollistuu tallennetun tiedon avulla. Data voidaan esittää numeroina tai graafisesti ja niiden on tarkoitus olla toimintaa ohjaavaa, käyttäjälle yksilöityä tietoa ja toimia perustana tuotannon jatkuvalla parantamiselle.

Tämän työn näkökulma tuotantoautomaatioon heijastaa elintarviketuotannon pakkauslinjoja, mutta samat tekniset ratkaisut ja metodit ovat rinnastettavissa muiden teollisuudenalojen pakkauslinjoihin. Työssä on tarkoitus tutustua pakkauskoneiden ohjausjärjestelmille julkaistuun OMAC-järjestön PackML-standardiin ja pääkohdin standardeihin ISA-88 ja ISA-95. Nämä standardit on julkaistu tuotantoautomaation järjestelmärakenteen ja integraation edistämiseksi. Työssä käsitellään myös OPC- sekä MQTT-standardia, joiden avulla tuotantoautomaation integraatio voidaan toteuttaa. Näiden tiedonsiirtoprotokollien avulla data on siirrettävissä järjestelmien välillä sekä tietokantoihin internetin yli.

Työn yksi osa-alue on Total Productivity Maintenance-metodologian OEE-kokonaistehokkuus. Työssä käsitellään myös OEE:n toteutusta PackML-standardin tilakonemallin avulla.

2 Tuotantoympäristön järjestelmät ja integraatio

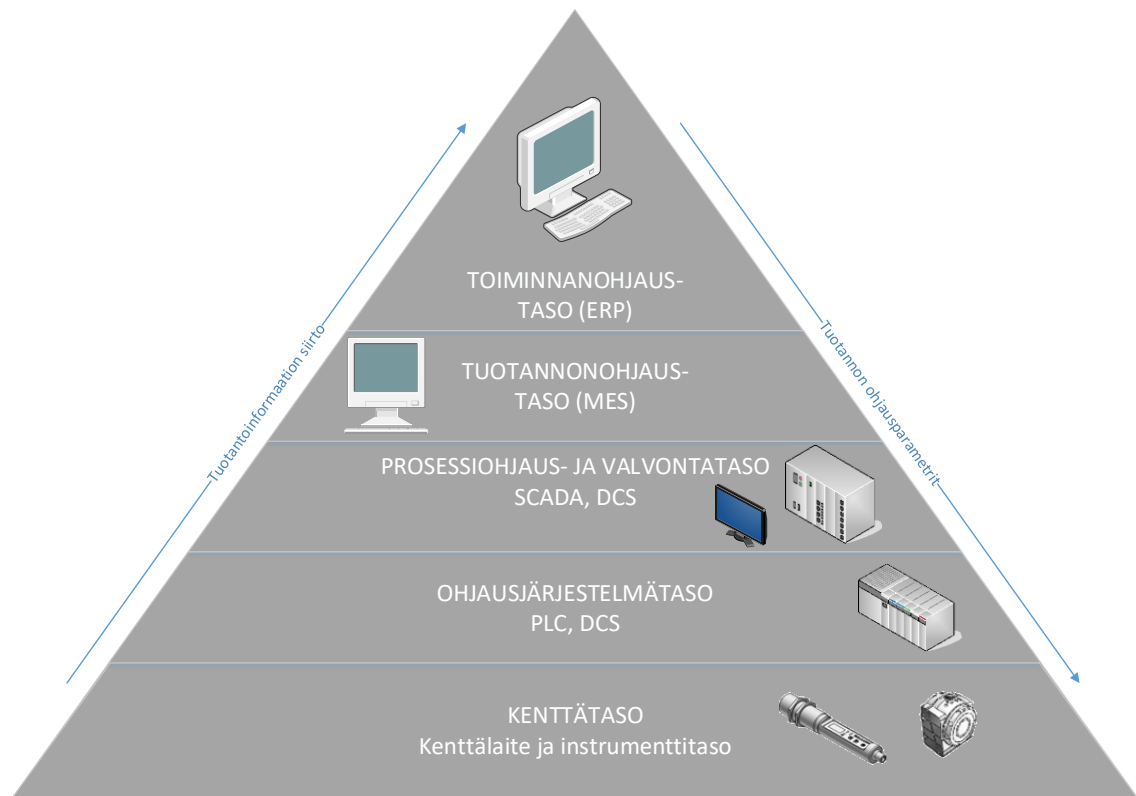
Avoimien ja joustavien tuotantoautomaation ratkaisuiden merkitys yrityksen tuottavuudelle on voimakkaasti kasvanut. Tuotantolaitteita integroidaan järjestelmiksi tarkoittaen, että dataa siirretään toiminnan- ja tuotannonohjausjärjestelmien ja tuotantolaitteiden välillä. Reaaliaikainen tuotannon tila halutaan yhä useammin esittää visuaalisilla työpöydillä. [1.]

Integraatiota tarvitaan esimerkiksi tuotannonohjausjärjestelmässä ylläpidettyjen reseptien ja muiden tuotetietojen siirtoon tuotantolaitteiden ohjausjärjestelmiin. Toisaalta toiminnan tilaa kuvaavat mittarit pohjautuvat mitattuun dataan, jonka siirron tietokantoihin integraatio mahdollistaa. Integraatio on ollut keskeinen osa tuotantoautomaatiojärjestelmiä jo pitkään, mutta integraation aste on kuitenkin kasvanut viime vuosikymmeninä verkkoteknologian kehittymisen myötä. [2.]

Modulaariset järjestelmät tarjoavat tänä päivänä myös pienille ja keskisuurille yrityksille mahdollisuuden tehdastason järjestelmien integraatioon. 1990-luvulla alkanut integraatioon ja ethernet-pohjaiseen kommunikaatioon liittyvä kehitys on saanut tuekseen standardeja, kuten ISA-95 ja OPC UA. Standardeissa mm. kuvataan malleja ja rajapintojen rakenteita järjestelmien integroimiseen. Standardoitujen rajapintojen etuna on mahdollisuus integroida järjestelmät nopeammin. Useat valmistajan tarjoavat standardien mukaisia komponentteja ja ohjelmistoja, joilla järjestelmävalmistajasta riippumaton integraatio on toteutettavissa. Tällaisia järjestelmiä tukevien automaatiokomponenttien valitseminen varmistaa kehittyvän tuotantoympäristön liittämisen järjestelmiin ilman suuria laite- tai ohjelmointikustannuksia. Projekteissa eri osapuolten yhteistyö on sujuvampaa, jos keskustelun pohjana on standardeihin pohjautuva yhtenäinen terminologia. [3, s. 4–5; 4.]

Yrityksen järjestelmien integraation taso vaihtelee tuotantoympäristön asettamien vaatimusten mukaisesti. Yleisesti prosessiteollisuudessa integraatioaste on ollut korkeampi kuin kappaletavarateollisuudessa. Laaja tuotantoautomaation integraatio muihin järjestelmiin jatkuu ohjausjärjestelmätasolta aina toiminnanohjausjärjestelmiin ja pilvipalveluihin saakka. Integraatiossa puhutaan usein vaak- ja pystysuuntaisesta integraatiosta, jolla kuvataan eri järjestelmien merkitystä yritykselle (kuva 1) [5, s. 497]. Uudet standardeihin pohjautuvat älykkäät komponentit ovat myös avanneet mahdollisuuksia järjestelmien kevyemmälle integraatiolle tasojen välillä ja siksi pyramidimallia tulee tulkita viitteellisesti. Aiemmin tasojen sisällä käytettiin eri kommunikaatioprotokollia esimerkiksi

kenttäväyläratkaisuja eri ohjausjärjestelmien välillä, mutta nykyinen integraatio tähtää yhtenäisen kommunikaatioprotokollan käyttöön niin vaaka- ja pystysuuntaisesti. Kehitys pohjautuu TCP/IP-protokollan laajenemiseen ohjausjärjestelmä ja kenttätasolle sekä OPC-standardin yhä laajempaan käyttöön laitteissa. OPC UA -kommunikaatio ei kuitenkaan vielä ole syrjäyttänyt perinteisiä kenttäväyläratkaisuja tosiaikasoventusten alueella. [1; 2.]



Kuva 1. Teollisuuden järjestelmätasot, nk. automaatiopyramidi [5, s. 497]

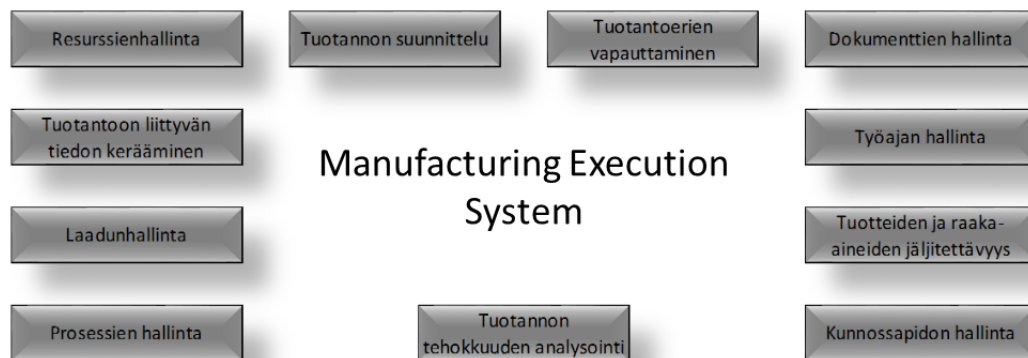
Automaation integraatiossa alimmalla kenttätasolla ovat laitteiden instrumentit ja toimilaitteet. Nämä ovat pääosin yksittäisiä IO- tai kenttäväyläliitäntäisiä laitteita, jotka tuottavat tietoa prosessin tilasta ohjausjärjestelmille. Automaatiokomponenttien tarjonnassa ovat yleistyneet älykkäät kenttälaitteet, jotka voivat kommunikoida suoraan ylemmille tasoille ohjausjärjestelmien ohi esimerkiksi OPC-protokollan avulla. [5, s. 497.]

Pyramidissa toinen taso on ohjausjärjestelmätaso, jolta järjestelmäintegraatio yleisimmin alkaa. Tasolle kuuluvat laitteiden ohjausjärjestelmät, joita yleisimmin ovat PLC- tai DCS-ohjaimet. Myös PC-pohjaiset ratkaisut tai yksittäiset järjestelmäkohtaiset ohjaimet kuu-

luvut ohjausjärjestelmätasolle. Ohjausjärjestelmätasolta kerätään dataa laitteiden käytettävyyteen ja nopeuteen liittyen sekä esimerkiksi häiriötietoa. Yleisimmin dataa siirretään SCADA- ja MES-järjestelmiin sekä tietokantoihin. Tuotannonohjaustasolta välitetään tuotannon parametrit ohjausjärjestelmille. [5, s. 497.]

Prosessiohjaus- ja valvontataso vaihtelee yrityksissä merkittävästi. Osa tämän tason toiminnoista voi olla yhdistetty alempaan ohjausjärjestelmätasoon tai ylempään tuotannonohjaustasoon. SCADA-järjestelmä on tuotannon tai prosessin ohjaus- ja valvontaohjelmisto. SCADA on DCS-järjestelmää rajoittuneempi prosessin ohjauksessa tai vaativissa ohjauksissa. SCADA-järjestelmä kommunikoi eri laitteiden ohjausjärjestelmien kanssa ja esittää tiedot yhden käyttäjärajapinnan kautta. Järjestelmän tarkoitus on siis olla käyttäjälle rajapinta laitteiden käyttöön ja valvontaan. Järjestelmä myös tallentaa tapahtumia ja yksi tärkeä osa-alue on hälytys- ja historianäytöt. DCS on hajautettu prosessiohjausjärjestelmä, jolla ohjataan suurta laitemäärää. Järjestelmän asemat on hajautettu lähelle prosessia ja tyypillisesti asemat hoitavat itsenäisesti yksittäisen prosessin ohjauksen. SCADA ja DCS eivät ole toisiaan poissulkevia järjestelmiä. [5, s. 497.]

Tuotannonohjaustasolla ovat MES-järjestelmät, jotka ovat yleisesti lyhyen aikavälin tuotannonohjaukseen ja -suunnitteluun soveltuvia järjestelmiä. Tuotannonohjaustaso toimii yrityksissä siltana liiketoiminnan ja tuotannon välissä. MES-järjestelmälle on tunnistettu 11 erillistä ja selkeää toiminnallista osaa (kuva 2), joita tarvitaan missä tahansa tuotantoympäristössä. [6, s. 257.]

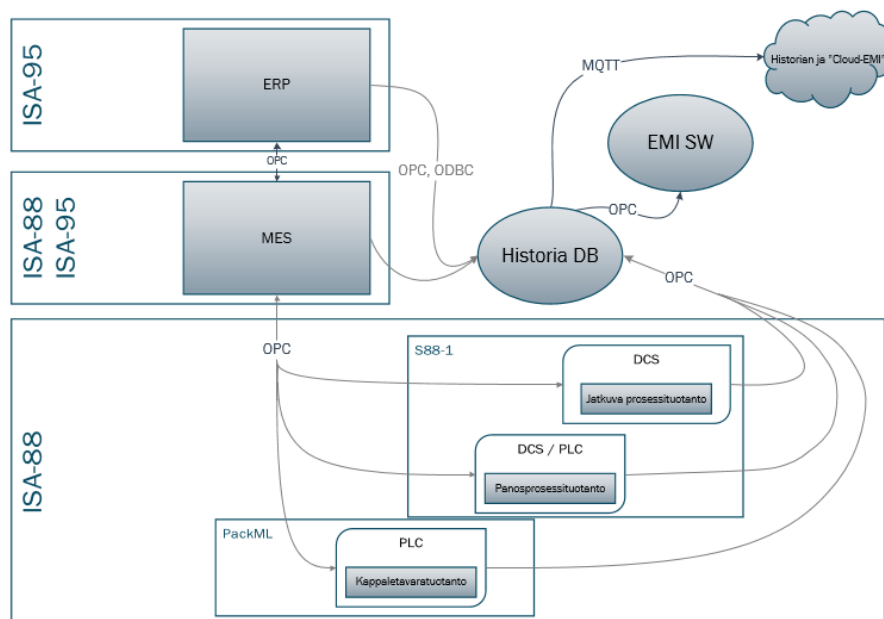


Kuva 2. MESA:n informaatiomalli MES-järjestelmälle [6, s. 257].

Toiminnanohjaustaso (ERP-järjestelmät) on korkein integraation taso automaatiopyramidissa. ERP-tasolla käsitellään yrityksen johtamiseen ja hallintoon liittyvät asiat, esimerkiksi tilaustenhallintaa, tuotannon materiaalitarkkeiden suunnittelua, varastohallintaa, toimittaja- ja asiakastietoja, henkilöstösuunnittelua, laskutusta, varallisuudenhallintaa, laadunhallintaa ja yrityksen strategioita. Tuotannon järjestelmäintegraatio voi laajentua pystysuunnassa ohi ERP-tason esimerkiksi pilvipalveluihin, jotka usein kuvataan ERP-tason yläpuolelle. [6, s. 257.]

3 Standardit tuotantoautomaatiojärjestelmille ja kommunikaatiolle

Tuotantoympäristön eheä integraatio voidaan saavuttaa seuraamalla ISA:n julkaisemia standardeja sekä valitsemalla kommunikointiprotokolla, joka tukee standardien datamalleja. Kuvassa 3 on esitetty järjestelmätasojen yhteyttä standardeihin sekä kommunikointiprotokolliin. Tämä on yksi mahdollinen malli standardien käyttämisestä, mutta se ei sulje pois vaihtoehtoisia malleja. Standardiin pohjautuvien ratkaisuiden etuna ovat edullisempi toteutus sekä virheiden ja riskin väheneminen. Standardimallien mukaisissa järjestelmissä datan ylläpito ja käyttö sekä järjestelmien kunnossapito ja kehittäminen ei ole yhden yksittäisen palveluntarjoajan osaamisen varassa, joka on tärkeä näkökulma toimintavarmuutta tarkasteltaessa. Palveluja on myös helpommin kilpailuttaa, kun yhteinen terminologia on valmiina. [2; 4.]



Kuva 3. Standardit ja kommunikaatio tasojen välillä. [1; 3, s. 19; 6, s. 256–257.]

3.1 ISA-88.01

ISA-88.00.01-2010 (myöh. S88-1) -standardi määrittää terminologian ja reseptimallit erä-tuotantoprosesseille. Sitä on alun perin lähdetty kehittämään erätuotantoprosessin tarpeesta, mutta se on sovellettavissa erilaisiin tuotantoprosesseihin, kuten jatkuviin prosesseihin sekä kappaletavara-tuotantoon. Standardissa ei määritetä käytettävää algoritmia ja sitä voidaan hyödyntää kaikkien ohjausjärjestelmien kanssa. Standardista on sovellettu pakkauslinjojen ja erilliskoneiden ohjausmalli, joka on kuvattu ISA:n julkaisemassa TR88.00.02-dokumentissa (myöh. TR88). TR88 on myös pohjana myöhemmin käsiteltävälle PackML-standardille. [7, s. 9.]

S88-1-standardin avulla voidaan parantaa erätuotannon hallintaa riippumatta automaation tasosta. Se esittelee hyvät käytännöt operatiiviseen tuotantoon ja tuotannon rakenteisiin. S88-1:n tavoite on parantaa kommunikaatiota prosessien eri vaiheissa, vähentää uusien tuotteiden operaattoreilta vaatimaa aikaa ja parantaa operaattorien mahdollisuutta tunnistaa omaan toimintaan liittyvät tarpeet. Standardi ei määritä yhtä tiettyä toimintamallia erätuotannolle tai pakota yritystä muuttamaan nykyisiä tuotantoprosesseja. [8, s. 11.]

Erätuotannon prosesseissa tietty reseptin mukainen määrä raaka-aineita joko sekoitetaan keskenään tai ne reagoivat toisiinsa muodostaen uuden tuotteen. Erätuotannon prosessi koostuu usein laitteistoista, joissa on säiliöitä, kolonneja, sekoittimia ja pumppuja. S88-1:n reseptimallit huomioivat myös laitteet, joita yksittäisten erien valmistukseen tarvitaan. Prosessista saatava tuote-erä voi olla myytäväksi valmis tuote tai puoli-valmis jatkoprosessoitava tuote. Erätuotannossa prosessoitava erä tulee saada valmiiksi ennen kuin seuraava voidaan aloittaa. [3, s. 3–5.]

Yrityksen eri sidosryhmät katsovat tuotantoa hyvin erilaisista näkökulmista. Tuotekehitys, laitteiden kehityksestä vastaavat ja tuotantohenkilökunta toimivat S88-1:n fyysisen mallin eri tasoilla. Yhtenä S88-1:n ajatuksena on erottaa yrityksen hierarkian ja prosessin välinen asetelma. [3, s. 5.]

S88-1:n erottaa erätuotantoprosessien reseptien hallinnan ja ohjausjärjestelmät sekä niiden ohjelmointitarpeen reseptien hallinnasta. Reseptimallit ovat tärkeä osa tuotantoautomaatiota ja niiden integrointi MES-järjestelmästä tuotantolaitteiden ohjausjärjestelmiin

on yleistä. S88-1:n malli mahdollistaa järjestelmien integroinnin modulaarisella ja edullisella tavalla. [3, s. 5.]

S88-1:n fyysinen malli kuvaa tuotantolaitoksen rakennetta ja hierarkiaa seitsemän fyysisen tason kautta (kuva 4).

S88-1 Fyysinen malli	Taso	Tason toiminto
<pre> graph TD Yritys[Yritys (Enterprise)] --- Laitos[Laitos (Site)] Laitos --- Alue[Alue (Area)] Alue --- Tuotantosolu[Tuotantosolu (Process Cell)] Tuotantosolu --- Tuotantolaite[Tuotantolaite (Unit)] Tuotantolaite --- Asema[Asema (Equipment Module)] Asema --- Ohjausmoduuli[Ohjausmoduuli (Control Module)] Asema --> Asema Ohjausmoduuli --> Ohjausmoduuli </pre>	4	ISA-95 Yritystoiminta, ERP-järjestelmät.
	4	ISA-95 Tuotantolaitos, MES-järjestelmät.
	3	ISA-95 Tuotantolaitos, MES-järjestelmät.
	2	S88-1 Pakkauslinja. Yhden tuotteen valmistukseen tarvittavat laitteet. Voi koostua useammasta kuin yhdestä tuotantoyksiköstä.
	1	S88-1 Tuotantolaite. Yhden tuotantovaiheen toteuttamiseen tarvittavat laitemoduulit.
	1/0	S88-1 Tuotantolaitteen asema. Yhden toiminnon muodostava kokonaisuus. Esimerkiksi itsenäinen säätöpiiri, joka koostuu useista ohjausmoduuleista (toimilaitteista).
	1/0	S88-1 Toimilaitteet, sensorit ja ohjausjärjestelmät.

Kuva 4. S88-1-standardin fyysinen malli [3, s. 8.]

3.2 ISA-95

ISA-95-standardi jatkaa ISA-88:n fyysisen mallin tasojen 3 ja 4 määrittämistä. Se käsittelee tuotantoympäristön tietojärjestelmien rakennetta ja integraatiota. Standardi linjaa yhdenmukaisen terminologian ja mallit informaatiolle MOM/MES ja ERP/SCM-järjestelmien väliseen kommunikaatioon. [4; 9, s. 48–50.]

Standardin vahvistamat pääkohdat ovat

- sovellusten hierarkian toiminnallinen ja fyysinen malli
- tuotannonohjausjärjestelmien terminologia
- tiedonsiirron metodologia MES/MOM- ja ERP/SCM-tasojen välillä
- MES/MOM-järjestelmän sisäinen datatietomalli
- MES/MOM-järjestelmän toiminnallinen malli.

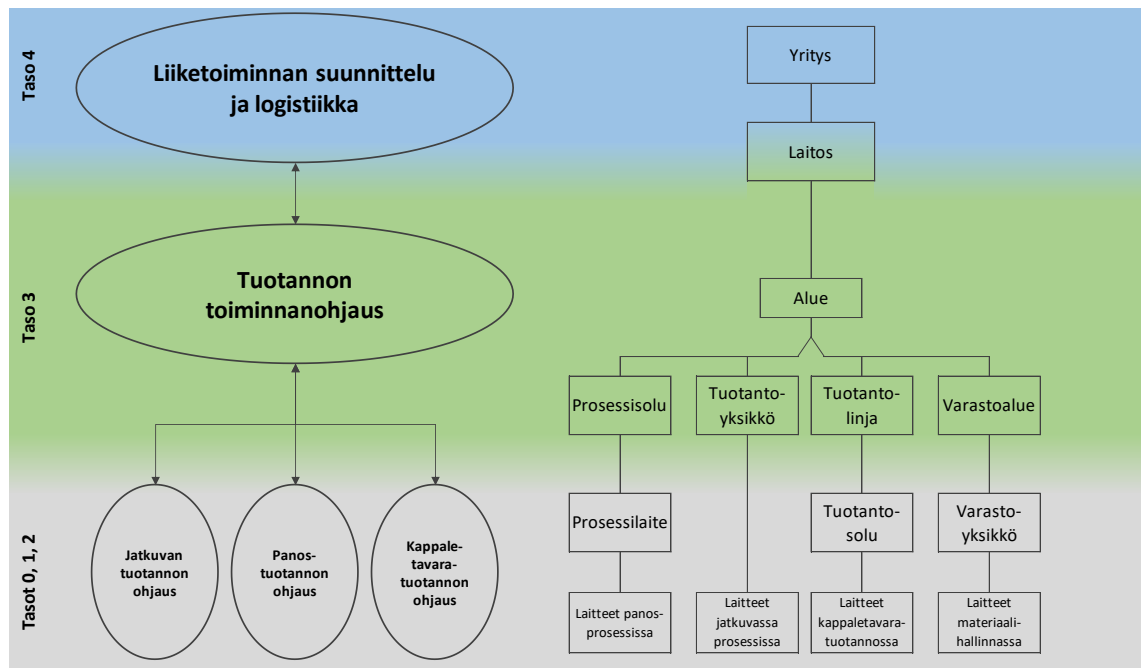
ISA-95:n hierarkkisen mallin (kuva 5) tasolla 4 ohjataan ja valvotaan yrityksen logistiikka. Tasolla muodostetaan ylätasoon määritykset tuotteille ja tuotannosuunnittelun yleiset parametrit. Tällaisia yleisiä parametreja ovat esimerkiksi tuotantomäärät, materiaalien käyttö ja toimitusajat. Aikakäsitteet tasolla 4 vaihtelevat päivistä kuukausiin. [10, s. 11.]

Tasolla 3 tapahtuu tuotantoyksikön määrittäminen ja hallinta. Tällä tasolla määritetään tuotannon työnkulku ja reseptien sisältö yrityksen tuotteille. Tasolla analysoidaan ja tallennetaan tuotantodata ja optimoidaan tuotannon prosessit. Aikakäsitteet tasolla 3 ovat sekunneista vuoroihin ja päiviin. [10, s. 11.]

Tasolla 2 määritetään tuotantolinjan toiminnot. Tämä menee ISA-88-standardin alueelle ja automaatiojärjestelmiin. Aikakäsite tasolla 2 vaihtelee tunneista mikrosekunteihin ja jopa alle mikrosekuntiin.

Tasolla 1 on tuotantolaitteen toimilaitteet ja anturit. Aikakäsite on reaaliaika tai mikrosekunti ja jopa alle mikrosekuntiin.

Tasolla 0 on tuotannon fyysinen prosessi.



Kuva 5. ISA-95 hierarkiamalli [9, s. 51.]

ISA-95-standardilla on haluttu vastata samankaltaiseen ongelmaan toiminnanohjaus- ja tuotannonohjausjärjestelmien välillä kuin standardilla ISA-88 on vastattu tuotantoautomaatiojärjestelmien kanssa. Vastaavasti kuten automaation ohjausjärjestelmät, myös nämä järjestelmät ovat kehittyneet ilman yleistä mallia. Standardia on kehitetty 90-luvun puolivälistä lähtien ratkomaan yritysten tuotanto- ja liiketoimintaympäristön sekä toimitusketjun järjestelmien kommunikaation haasteita. Näiden järjestelmien käyttöikä on usein pitkä ja erillisten järjestelmien uusiutumista on hidastanut yhteen sopimattomat rakenteet tai järjestelmien välisen kommunikaation rakentamisen korkea kustannus. Valmistaja-kohtaiset sovellukset ovat usein suunniteltu jokaisen valmistajan omien datamallien mukaan ja kommunikaation rakentaminen tällaisten järjestelmien välille vaatii huomattavasti työtä. [4; 9, s. 48–50; 10, s. 8.]

Tämän päivän toimitusketjuissa tuotantoympäristön on mukauduttava nopeisiin kysynnän muutoksiin. Yrityksen järjestelmien täytyy pystyä kommunikoimaan tuotantolaitteiden ohjausjärjestelmistä aina ERP-järjestelmiin asti, jotta kysynnän muutoksiin on mahdollista joustavasti vastata. Järjestelmien kautta myyntiorganisaation täytyy pystyä antamaan asiakkaalle riittävän yksityiskohtaiset tiedot tuotanto- ja toimitusajoista, jotta yritys pysyy kilpailussa mukana. Toisaalta tuotantotilausten suunnittelu vaatii reaaliaikaisen tiedon tuotannon tilasta, esimerkiksi raaka-aineiden varastoista tai käytettävissä ole-

vasta tuotantokapasiteetista. Toimitusketjun järjestelmiin on siis välitettävä mahdollisimman reaaliaikainen kuva yrityksen tuotannon tilasta, varastomääristä ja ennusteet tietylle aikajaksolle. ISA-95:llä on haluttu myös tukea LEAN- ja Six Sigma -malleihin soveltuvia järjestelmiä. Esimerkkinä järjestelmien välisestä kommunikaatiosta voisi olla skenaario, jossa tuotantotilauksen järjestelmään syöttämisen jälkeen tuotantosuunnitelma optimoidaan ERP- ja MES-järjestelmien tiedonvaihdon avulla. Käytännössä ERP-järjestelmä lähettää tuotantotilaukseen perustuvan alustavan tuotantosuunnitelman MES-järjestelmään. MES-tuotannonohjausjärjestelmässä vastaanotetun tuotantosuunnitelman mukaan tarkastetaan tuotantotehokkuus ja tuotantokyky tuotantotilaukselle, joka lähetetään takaisin ERP-järjestelmään. ERP-järjestelmä lähettää tämän jälkeen tuotannon parametrien muokatun tuotantosuunnitelman mukaan MES-järjestelmään, joka muodostaa reseptit tuotantolaitteiden ohjausjärjestelmille. Tuotannonohjausjärjestelmä saa tuotannon aikana tuotantolaitteilta reaaliaikaista dataa tuotantotilauksen etenemisestä ja viestii tämän ERP-toiminnanohjausjärjestelmään. Toimitusketju voi seurata tuotteen tai tuoterän valmistumista ERP- tai SCM-järjestelmästä ja vahvistaa asiakkaalle toimitusajan. [9, s. 58; 10, s. 216–220.]

ISA-95 on hyvin laaja, tällä hetkellä viiteen eri osaan jaettu standardi, joka käsittelee yritystoiminnan IT-järjestelmien rakennetta usealla tasolla. Tämän johdosta sen tarkempi käsittely on tämän insinööriyön rajojen ulkopuolella.

3.3 OPC Classic ja OPC Unified Architecture -standardit

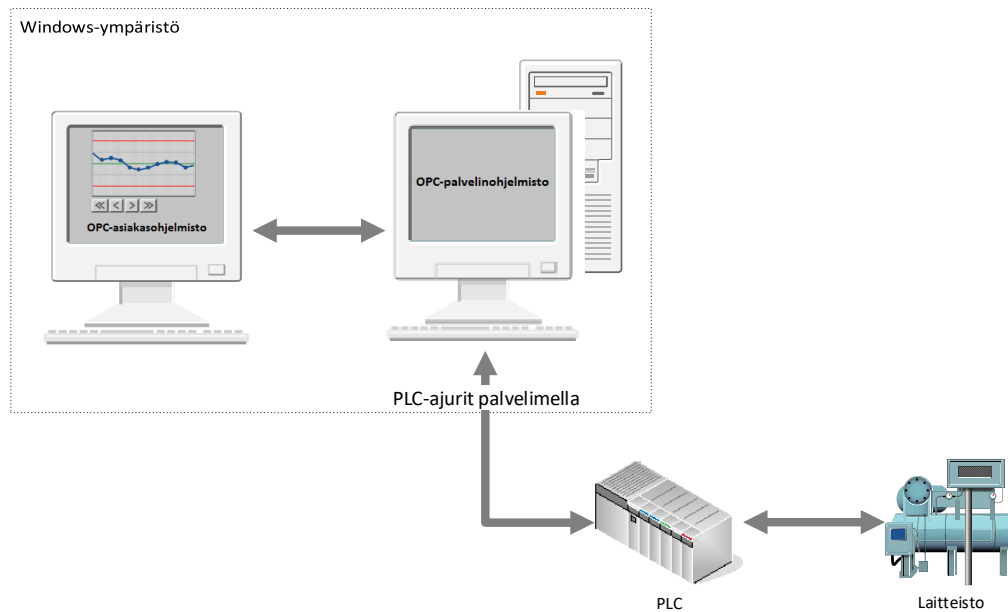
Edellisissä luvuissa on esitetty yleisiä viiterakenteita yrityksen tieto- ja ohjausjärjestelmille ja näiden väliselle tiedonsiirrolle. ISA-88 ja ISA-95 standardien mukaisissa toteutuksissa OPC on vakiinnuttanut asemaansa tiedonsiirtoratkaisuna ohjelmistojen, tietokantojen sekä ohjausjärjestelmien välisessä kommunikaatiossa. [11, s. 8–9.]

OPC on avoimen standardin ohjelmistoliittymä eri järjestelmien kommunikaation välille. OPC:sta on useampia eri versioita, joista vanhemman sukupolven Classic-tuotteita ovat DA, AE, HDA, XML DA ja DX sekä uudempi käyttöjärjestelmäalustasta riippumaton UA. OPC:n yleistymistä on edistänyt sen perustuminen avoimeen standardiin, jolloin palvelinohjelmiston lisääminen ohjausjärjestelmiin on ollut kannattavaa sekä merkityksellinen

tuotteiden kilpailukyvyille. Samalla ohjelmistovalmistajien integroidessa OPC-asiakasohjelmisto osaksi esimerkiksi MES-järjestelmää on se tarjonnut tuotantoyrityksille valmiin ratkaisun tieto- ja ohjausjärjestelmien integraatioon. [12.]

Menneinä vuosikymmeninä tehtaan lattiatasolla oli usein laaja kirjo erilaisia ohjausjärjestelmiä, joiden välinen kommunikointi perustui eri kenttäväyläratkaisuihin tai sarjaliikenteeseen. Tiedonsiirto ylempiin järjestelmiin tällaisten laitteiden ohjausjärjestelmistä täytyi ratkaista jokaisen järjestelmän tai laitteen välillä erikseen. Tätä haastetta isot teollisuuden tuotantoyritykset ja automaatiojärjestelmien valmistajat, kuten Rockwell Automation ja Siemens alkoivat 1990-luvun alussa ratkoa. Työ kohdistui erityisesti teollisuudessa vahvasti yleistyneeseen Windows NT-käyttöjärjestelmäympäristöön ja sen päällä toimiiviin ohjelmistoihin. Keskeinen osa OPC:n kehitystä oli Microsoftin OLE-teknologia, joka NT-käyttöjärjestelmän mukana kehittyi hajautetuksi oliomalliksi nimellä DCOM. OPC:n kehitystyön tuloksena vuonna 1996 esiteltiin OPC-spesifikaation versio 1.0. Tätä seurasi jo vuonna 1998 Data Access -spesifikaatio, joka käyttää hyväkseen DCOM-hajautettua oliomallia. OPC Data Access (OPC DA) on keskeinen osa OPC-standardin kehitystyöstä ja sen avulla tiedonsiirto automaatiojärjestelmistä ylempiin järjestelmiin helpottui merkittävästi. OPC DA on edelleen käytössä oleva standardi. [13, s. 3–5.]

OPC DA:n käyttämä DCOM toimii asiakas- ja palvelinsovelluseriaatteella, jossa sovellukset voivat kommunikoida useiden eri asiakas- tai palvelinsovellusten kesken samaan aikaan. OPC:ssa palvelinsovellus voi olla sisäänrakennettu automaatiojärjestelmään tai se voi olla Windows-ympäristössä pyörivä ohjelmisto, jolla on ajurit automaatiojärjestelmän datan lukemiseen (kuva 6). DA-sovelluksen ominaisuuksiin kuuluu määritetyn osoitevaruuden reaaliaikainen lukeminen ja kirjoittaminen, sisältäen muuttujan nimen, laadun sekä aikakirjauksen. DA toimii kyselypohjaisesti eli arvot päivittyvät asiakasohjelmistoon vain niitä pyytäessä. Myös muut OPC Classic-tuotteet perustuvat samaan asiakas- ja palvelinratkaisuun. Ratkaisut toimivat joko kyselyperusteisena, jossa asiakasohjelmisto pyytää tietoja palvelimelta tai vaihtoehtoisesti tapahtumaperusteisena, jolloin palvelin lähettää muuttuneen arvon asiakasohjelmistolle. [5; 11, s. 3–7; 12.]



Kuva 6. Esimerkki OPC Classic -ympäristöstä

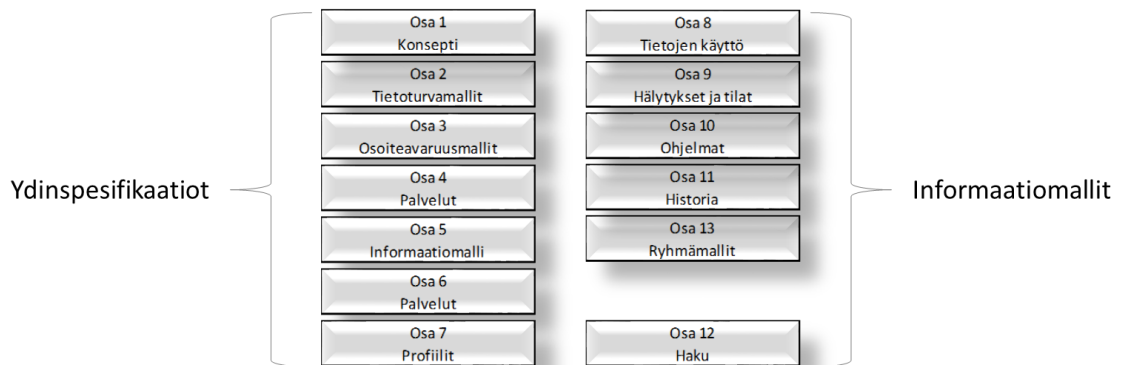
OPC Classic tuotteiden kirjo laajentui 1990-luvun lopulla sen yleistyttyä. OPC julkaisi useita laajennuksia standardiin tukemaan DA:n rajoitteita automaatiojärjestelmien laajalle integraatiolle. Vuonna 1999 julkaistiin Alarms & Events (AE)-sovellus, joka tarjoaa toiminnot tapahtumien ja hälytysten käsittelyyn. Vuonna 2001 julkaistiin Historian Data Access (HDA), jolla voidaan lukea dataa historiassa taaksepäin esimerkiksi historiatietokannoista tai SCADA-järjestelmistä. Kaikilla Classic-tuotteilla oli kuitenkin erilainen datamalli. [5; 11, s.8.]

OPC Classic-tuotteiden rajoite on ollut Windows-käyttöjärjestelmäriippuvuus. Myös kommunikointi DCOM-protokollalla palomuurien läpi ei ole asianmukaisesti toteutettavissa. Yritysten tuotantolaitteiden ohjausjärjestelmät halutaan pitää hyvin suojattuina ja internetin aiheuttama korostunut riski tuotannolle halutaan minimoida. Palomuriin DCOM-kommunikointia varten on avattava suuri määrä portteja, joka vaarantaa sen takana olevan tietoverkon turvallisuuden. OPC julkaisi XML-DA Classic-tuotteen vuonna 2003. XML-DA oli ensimmäinen OPC:n julkaisema alustariippumaton tuote, ja sen avulla pystytään kommunikoimaan myös internetin yli turvallisesti. XML-DA on kuitenkin hidas HTTP/SOAP-protokollan viestien vaatiman suuren informaation takia. XML-DA sisälsi kaikki aiemmat Classic-tuotteet, mutta käytännössä tiedon yhdistäminen tuotteiden erilaisten datamallien takia oli hankalaa. XML-DA:n ongelmien johdosta ja teollisuuden muuttuessa yhä enemmän verkon yli kommunikoivaksi järjestö kehitti Unified Architecture (UA) -standardin, joka yhdistää Classic-tuotteiden spesifikaatiot ja laajentaa OPC:n

ominaisuuksia sekä tuo mukanaan täyden käyttöjärjestelmäriippumattomuuden. [11, s. 7; 12.]

OPC UA, jonka ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2008, on alustariippumaton palvelukeskeinen arkkitehtuuri (SOA), joka toimii kaikissa käyttöjärjestelmissä. OPC UA voidaan myös ottaa osaksi sulautettua käyttöjärjestelmää. UA:n avulla on mahdollista toteuttaa kevyt ja nopea internetin yli tapahtuva kommunikaatio järjestelmien välille. Keskeisiä vaatimuksia tällaiselle verkon yli tapahtuvalle kommunikaatiolle ovat redundanttisuus sekä hyvä vikasietoisuus. OPC UA:ssa käytetty tietomalli eroaa vanhemmista OPC-spesifikaatioista ja luopuminen DA:n käyttämästä DCOM-oliomallista mahdollistaa kommunikoinnin palomuurien läpi ilman tietoturvaongelmia. Lähtökohta kehityksessä on ollut, että DA:n ympärille rakennettu automaatiojärjestelmien kommunikaation on myös siirrettävissä UA:lle. Tällaisessa ratkaisussa on kuitenkin rajoitteita tietoturvan sekä kommunikaationopeuden kanssa. [11, s. 9; 12; 14.]

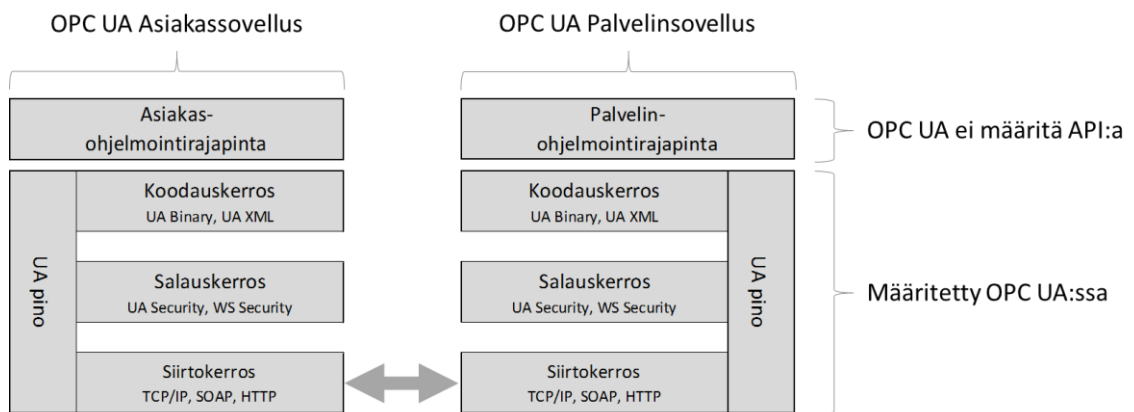
OPC UA:n spesifikaatio on jaettu 12 osaan, joista seitsemän ensimmäistä muodostavat UA:n ydinosa (kuva 7) ja loput osat määrittävät UA:n informaatiomallin. Osat 3 ja 4 ovat tärkeimmät OPC UA -sovelluksien kehittämisessä.



Kuva 7. OPC UA -spesifikaation osat

OPC UA käyttää samankaltaista asiakas- ja palvelinsovelluskommunikaatiota kuin Classic-tuotteetkin. Korostunut tarve järjestelmien väliselle kahdensuuntaiselle kommunikaatiolle on muuttanut OPC UA:n käyttöä ja yhä useammin sekä asiakas- että palvelinsovellus toimivat samassa ohjelmistossa. Kehitystä on edistänyt tarve OPC UA:n integroinnille suoraan laitteisiin, jolloin yhden hierarkiatason sisällä vaakasuuntainen kommuni-

kaatio mahdollistuu. OPC UA:n viestien rakenne on kerroksittainen ja standardi ei määritä kaikkia pinon kerroksia. Standardi määrittää millaisessa formaatissa viestit lähetetään, mutta ei niiden sisällä käytettävää API-ohjelmointirajapintaa. Tällainen ratkaisu jättää mahdollisuuden käyttää ohjelmistorajapinnassa myös uusia sovelluksia. Kaikessa OPC UA:n kommunikaatiossa on käytössä sekä palvelimen että asiakkaan kommunikaatiopinot (kuva 8), joiden avulla viestien siirtoformaatti, salaus ja koodaus määritetään. Näiden päällä on melko vapaa ohjelmointirajapinta, jota standardi ei määritä. [5, s. 498; 11, s. 11–15.]



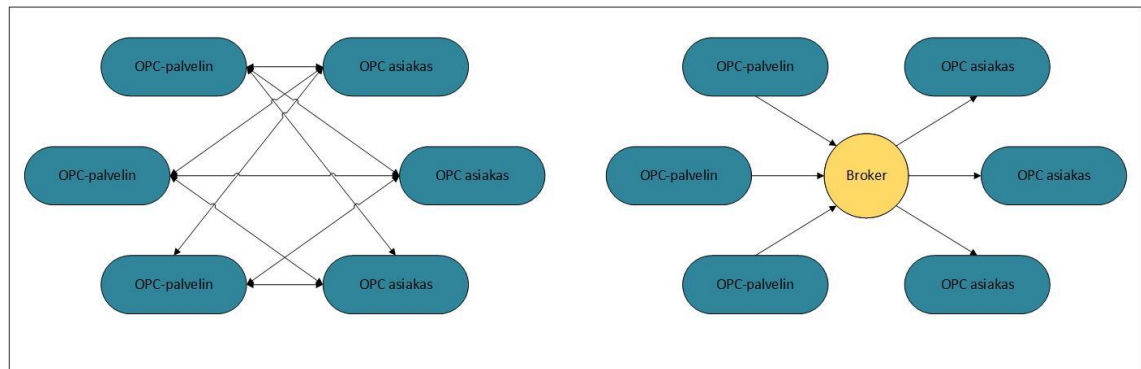
Kuva 8. OPC kommunikaatiopino

OPC Unified Architecture on tuonut mukanaan järjestelmien ja sovellusten välillä yhteentoimivan, luotettavan ja hyvin skaalautuvan kommunikointialustan. Sen määrittämisessä on myös panostettu turvallisuuteen ja se on joustava jättäen käyttäjälle mahdollisuuden valita teknologia ja ohjelmointikieli. Ohjelmistorajapinnan vapaus mahdollistaa ominaisuuksiltaan laajan tai kevyen kommunikaation kulloisenkin tarpeen mukaisesti. UA on integroitavissa niin pieniin sulautettuihin järjestelmiin kuten myös suoraan ERP-järjestelmiin. Yrityksen järjestelmät voivat koostua erilaisilla ohjelmointikielillä toteutetuista ohjelmista, koska UA ei rajoita ohjelmointirajapintaa. [5, s. 499.]

Unified Architecture vastaa Teollisuus 4.0:n asettamiin tiedonsiirron vaatimuksiin ja näin myös UA:ta tukevat automaatiojärjestelmät ovat valmiita tähän kehitykseen. Teollisuuden automaatiojärjestelmien uusiminen yksin laitteiden integroinnin tarpeesta tulisi yrityksille kalliiksi. Myöskään laajojen järjestelmien uudelleen kehittäminen ei usein ole vaihtoehto. Tällaisia tilanteita varten tarvitaan sovelluksia ja sulautettuja järjestelmiä, jotka pystyvät liittämään yksittäisiä komponentteja tai Data Access -tuotteilla toteutetun

järjestelmän UA-spesifikaation mukaan toteutettuun ympäristöön. Markkinoilla on saatavana erilaisia yhdyskäytäväratkaisuja, joilla perinteinen OPC saadaan muutettua UA kanssa toimivaksi. [5, s. 499.]

OPC UA:n rajoitteena ovat olleet laajat asiakas-/palvelinjärjestelmät, joissa jokainen laite kysyy erikseen dataa palvelimelta. Kyselyperustalla toimiva OPC UA soveltuu heikosti laajojen järjestelmien palveluiden kehittämiseen sekä pilvipalveluiden toteuttamiseen. Vastatakseen tähän tarpeeseen OPC julkaisi vuonna 2016 PubSub-laajennuksen UA-standardiin. Laajennus esitteli julkaise/tilaa-mallin kommunikoinnin, jonka kommunikaatio on toteutettu avoimen lähdekoodin AMQP-protokollalla. Tämä tekee UA:sta yhteensopivan Microsoft Azuren kaltaisten IoT- ja IIoT-palveluiden kanssa. Julkaise/tilaa-mallissa UA-palvelin lähettää datan välitysohjelmistolle tietämättä mitkä sovellukset dataa tilaavat. UA-asiakkaat ilmoittavat välitysohjelmistolle viestiaiheet, joita ne haluavat vastaanottaa. Laitteiston suorituskyky voi olla hyvin vaatimaton, kun kommunikaatio ei varaa juurikaan resursseja. Etuna kommunikaatiossa on myös viestien rakenne ja pieni siirrettävän datan määrä. Järjestelmät voivat myös olla toisistaan riippumattomia ja välitysohjelmisto voi toimia esimerkiksi pilvipalveluna. Automaatiojärjestelmien vaatiessa reaaliaikaisen kommunikaation julkaise/tilaa-malli tarvitsee tuekseen Time-Sensitive Networking -laajennuksen. TSN on IEEE 802-standardin laajennus, joka mahdollistaa tiettyjä tosiaika-sovelluksia. [15; 16.]



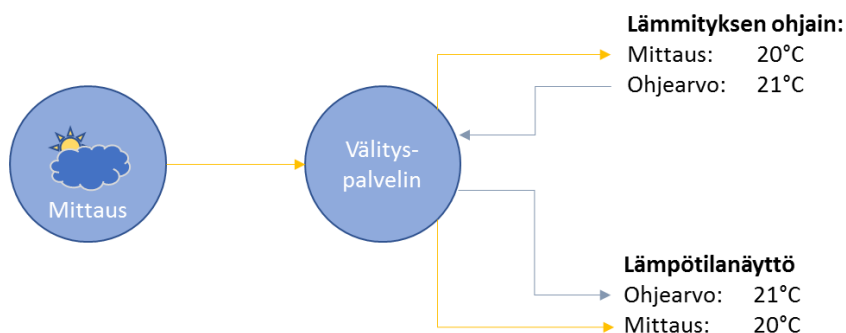
Kuva 9. Perinteisen mallin ja PubSub-mallin tiedonsiirron periaate. [16.]

3.4 MQTT

MQTT on avoin tiedonvälityspanketti, jonka IBM on kehittänyt ja ottanut sisäisesti käyttöön vuonna 1999. MQTT vapautettiin vuonna 2010 avoimeen käyttöön ja on yleistynyt

nopeasti tämän jälkeen. MQTT kehitettiin alun perin öljykenttien putkilinjojen valvontaan liittyvää tiedonsiirtoa varten. Sen kantavana ajatuksena on olla mahdollisimman kevyt ja yksinkertainen sekä samalla vähän tehoa sekä tiedonsiirtokaistaa tarvitseva tiedonvälitystapa. Näiden ominaisuuksien johdosta se soveltuu hyvin langattomaan tiedonsiirtoon ja akkukäyttöisiin laitteisiin. Protokollan ympärille on sen vapauttamisen jälkeen kehitetty palveluita ja sulautettuja järjestelmiä esimerkiksi erilaisten sensorien datan siirtoon. MQTT:n versio 3.1.1 standardoitiin OASIS standardilla vuonna 2014. [17.]

MQTT on rakennettu julkaise/tilaa-mallin mukaan tarkoittaen, että yksittäiset laitteet eivät tiedä toistensa olemassa olosta. Mallissa asiakaslaite julkaisee viestin, joka sisältää aiheen. Toiset asiakaslaitteet tai -järjestelmät ovat voineet ilmoittautua tilaajiksi tälle aiheelle ja saavat viestin välittäjäpalvelimen kautta. Laitteet ovat siis yhteydessä yhteen välittäjään, joka tietää kaikki laitteet ja näiden tilaukset. Useampi laite voi olla tilaajana yhdelle aiheelle, joten viesti välittyy kaikille tilaajille samanaikaisesti. Esimerkkinä tällaisesta on kuvassa 10 esitetty lämpötila-anturi, joka lähettää lämpötilan välityspalvelimelle. Lämmityksen ohjain ja lämpötilanäyttö ovat tilanneet tämän aiheen viestit ja saavat lämpötilan nyt välityspalvelimelta. Lämmityksen ohjain lähettää lämmityksen ohjearvon omalla aiheellaan, jota lämpötilanäyttö tilaa palvelimelta. [17.]



Kuva 10. MQTT-viestien välitys

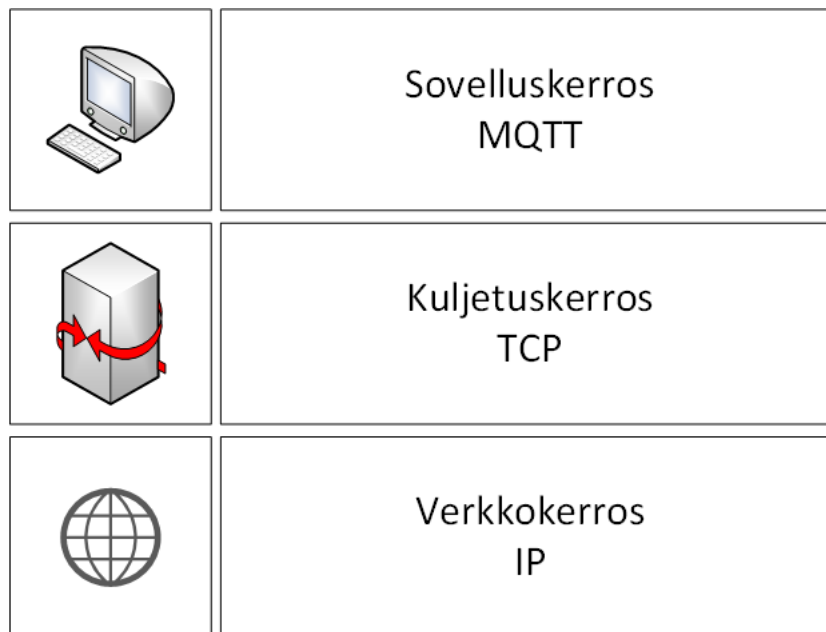
Etuna välityspalvelinrakenteessa on etenkin laajoissa satoja antureita sisältävässä järjestelmissä sen helppo konfigurointi. Jokaisen laitteen ei tarvitse tietää toistensa osoitteita. Laitteen tulee tietää ainoastaan välityspalvelimen osoite, jolta se tilaa viestit. Näin laitteita voidaan helposti lisätä tai korvata. MQTT on lähtökohtaisesti synkroninen tosiasiasovellus, mutta välityspalvelin voi tietyn ehdoin tallentaa viestejä niiden asiakkaiden osalta, jotka eivät ole yhteydessä välittäjään. Tällaisessa tapauksessa asiakkaan tulee olla tilaajana viestille sekä sen tulee ollut kirjautuneena palvelimelle vähintään kerran. [17.]

MQTT käyttää QoS-tasoa (Quality of Service), joilla viestien välitystä pystytään valvomaan. Järjestelmässä on kuitenkin mahdollista lähettää viestejä sellaisilla aiheilla, joille ei ole tilaajia. Tämän johdosta jokaista sovellusta varten on tarpeen luoda puumalli käytettävistä aiheista. Tällaisella rakenteella MQTT on hyvin luotettava tuotantoympäristön laitteiden ja järjestelmien välinen kevyt kommunikaatioprotokolla. [17.]

MQTT saatetaan nimensä johdosta yhdistää viestijonoihin, mutta todellisuudessa MQTT:lla ei ole yhteyttä perinteisiin viestijonopalveluihin. MQTT toimii toisin kuin viestijonopalvelut johtuen julkaise/tilaa-mallista. Viestijonopalveluissa jokainen viesti tallennetaan ja asiakkaan tulee noutaa se ennen sen poistamista jonosta. Viestijonopalveluissa jokaiselle viestille täytyy siis olla asiakas, joka noutaa viestin. Muussa tapauksessa se ei poistu jonosta ja jää kuormittamaan palvelua. MQTT:ssa julkaisijan lähettämä viesti välitetään aiemmin kuvatun mukaisesti tilaajille, mutta viesti, jolle ei ole tilaajaa, ei jää kuormittamaan välityspalvelinta. [17.]

MQTT on keveytensä ja joustavuutensa ansiosta mahdollista sulauttaa laitteisiin, joiden suorituskyky ja muisti ovat hyvin vaatimattomat. Toisaalta MQTT-asiakas voi olla konealissa toimivassa tietokoneessa, esimerkiksi lähettämässä MES-järjestelmän viestejä välittäjälle. Laitteelle tulee olla mahdollista asentaa MQTT-kirjasto ja luoda verkkoyhteys mobiiliin tai LAN/WLAN-verkon kautta. MQTT-kirjastoja on saatavana laajasti, esimerkiksi Arduino, C#, Java ja JavaScript alustoille. MQTT on hyvin helppokäyttöinen asiakaslaitteissa. [17.]

Välityspalvelin, joka keskustelee MQTT-asiakkaiden kanssa, pystyy hallitsemaan tuhansia samanaikaisia yhteyksiä. Välityspalvelin vastaanottaa viestit, suodattaa ne ja lähettää eteenpäin aiheen tilanneelle asiakkaalle. Välityspalvelimen merkitys järjestelmässä on merkittävä, koska sen läpi kulkevat kaikki asiakkaiden viestit. Tästä johtuen välityspalvelinta pyörittävän järjestelmän tulee olla vakaa ja vikasiedoltaan korkeaa tasoa. Välityspalvelimen yksi tärkeä tehtävä on myös asiakkaiden tunnistaminen ja valtuuttaminen, jotta internetin yli toimiva järjestelmä on tietoturvallinen. MQTT-yhteys (kuva 11) nojaa TCP/IP-protokollaan ja muodostuu aina asiakkaan ja välityspalvelimen välille. MQTT-yhteys toimii hyvin myös NAT-verkoissa olevan asiakkaan kanssa. [17.]



Kuva 11. MQTT-kommunikaatiopino

MQTT-yhteys asiakkaan ja välityspalvelimen välille alkaa asiakkaan yhteyspyynnöstä (kuva 12). Yhteyspyynnössä määritetään vähintään asiakastunnus ja onko kyseessä viestien tilausmääritys. Viestin yhteydessä lähetetään myös käyttäjätunnus ja salasana sekä aikakatkaisun raja. Aikakatkaisun määrittäminen on tärkeää, ettei palvelunestohyökkäyksillä pystytä kuormittamaan välityspalvelinta. [17.]

Palvelin vastaa pyyntöön ja pitää yhteyttä auki, kunnes asiakas lähettää katkaisupyynnön. Vastausviestissä myös indikoidaan pyynnön mahdollisen hylkäämisen syy. Yhteyden avauspyynnöllä asiakas kirjautuu myös tietyn viestin tilaajaksi, tähän käytetään "cleansession"-komentoa. [17.]

Avauspyyntö		Viestijulkaisu	
clientId*	"temp_1"	packetId	1234
cleansession*	true	topicName	"topic/temp1"
username	"mqtt"	qos	1
password	"rocks"	retainFlag	false
lastWillTopic	"/mqtt/will"	payload	"temperature:20.0"
lastWillQoS	2	dupFlag	false
lastWillMessage	"unexpected exit"		
lastWillRetain	false		
keepAlive*	60		

Kuva 12. Asiakkaan yhteyden avauspyyntö ja viestijulkaisu

Yhteyden ollessa auki asiakas voi julkaista viestin. Viesti sisältää aiheen, jonka avulla välityspalvelin lähettää julkaisun muille asiakkaille. Viesti (payload) voidaan julkaista eri tiedostomuodoissa, esimerkiksi binääritietona tai tekstinä. Myös XML tai JSON ovat mahdollisia muotoja. Välityspalvelimen tehtäväksi jää välittää viesti tilaajille eikä julkaiseva asiakas saa enää tietoa kenelle viesti on lähetetty. [17.]

Avauspyynnössä määritetään mitä tapahtuu, mikäli yhteys katkeaa odottamatta. Avauspyynnön "lastWill"-kenttä on sisällöltään normaali viesti, jonka välityspalvelin lähettää kaikille alkuperäisen viestiaiheen tilanneille asiakkaille. Tällä tavalla muiden asiakkaiden ohjelmaan on voitu asettaa valmiiksi toiminnot, joita laitteen tulee tehdä toisen laitteen yhteyden keskeytymisen jälkeen. [17.]

MQTT on ottanut vahvasti jalansijaa myös tuotantoautomaatiojärjestelmien tiedonsiirrossa. MQTT on suunniteltu tiedonsiirtoon ympäristöissä, joissa yhteydet ovat epäluotettavia ja kalliita käyttää, kuten satelliitti- ja matkapuhelinverkoissa. MQTT:n etu on sen vähäinen datan siirtomäärä sekä kevyt ja helposti konfiguroitava rakenne. MQTT soveltuu hyvin tiedonsiirtoon tuotantoautomaatiolta pilvitietokantoihin ja usean solmupisteen päässä olevien laitteiden välille. MQTT:llä voidaan vähentää erilaisten yhdyskäytävien sekä väliohjelmistojen tarvetta tuotantoautomaatiojärjestelmissä. MQTT:n avulla voidaan myös edullisesti ratkaista nykyisen laitekannan tai yksittäisten antureiden liittämisen IIoT-ohjelmistoihin ja tietokantoihin. MQTT välittäjäpalveluita (broker services) on kaupallisesti tarjolla reilusti.

4 Pakkauskoneautomaatio PackML

4.1 Yleistä PackML-standardista

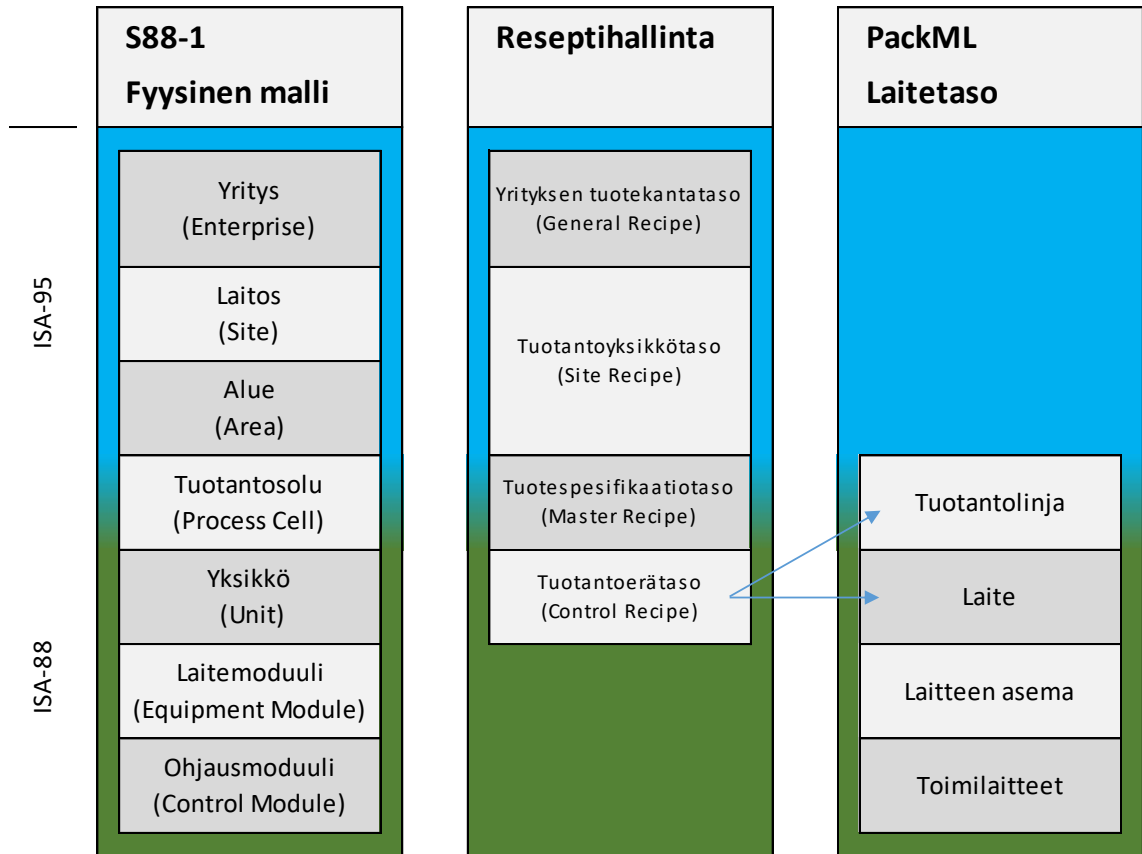
S88-1:n soveltaminen tuotantolaitoksessa yhtenäistää eri prosessityyppien malleja ja käytettävää terminologiaa. Yhdessä tuotantolaitoksessa on mahdollista esiintyä eräprosesseja, jatkuvia prosesseja sekä kappaletavaratuotannon erillisprosesseja, jollaisia esimerkiksi pakkauslinjat ovat. Pakkauslinjojen laitteiden käyttö on tyypillisesti laitevalmistajien, ohjelmistokehittäjien tai loppukäyttäjien määrittämää. PackML on OMAC:n pakkauskoneiden työryhmän (OPW) määrittelemä standardi, joka on yhtenäistetty TR88 kanssa. OMAC:n ja ISA:n yhteisen pakkauskoneiden työryhmän tarkoitus on ollut harmonisoida PackML ja TR88 sekä luoda yhtenäinen lähestyminen ohjausjärjestelmien mallien kehittämiseksi. [7, s. 4; 18, s. 11.]

PackML tarjoaa yhtenäisen käyttöliittymän pakkauslinjojen laitteiden ohjaukseen ja vianhakuun. Usean tuotantolaitteen tai -linjan tuotantoympäristöissä tämä helpottaa laitteiden toimintojen omaksumista ja parantaa henkilöiden mahdollisuutta työskennellä tehokkaasti eri tuotantopisteissä. PackML:n avulla yritys voi määrittää yhtenäiset vaatimukset laitteiden käyttöliittymille. Etuna tällaisessa on, ettei uusien laitteiden käyttöönotto vaadi merkittävää koulutusta tai erikoisosaamista ja toisaalta yritys ei ole sitoutunut yhteen laitevalmistajaan, ohjausjärjestelmätoimittajaan tai -ympäristöön. Laitteiden hankinnassa on helpompi verrata eri valmistajien ratkaisuja, jos ne perustuvat samoihin toiminnallisuuksiin. Yhtenäiset, standardin mukaan toteutetut, ratkaisut mahdollistavat myös edullisemmat laitteiden ja ohjelmistojen kehityskustannukset. [7, s. 4.]

PackML helpottaa pyramidin vaakasuuntaista, yhden tason sisällä tapahtuvaa, kommunikaatiota. Datamallin mukaisten tunnisteiden, PackTagien, avulla laitteiden kulloinenkin tila tuotantolinjalla on helposti kommunikoitavissa toisille laitteille sekä esitettävissä kaikissa linjan ohjauspisteissä. PackTag-tilakoodien avulla tuotantotiedon integrointi tietokantoihin on yksinkertaisempaa ja niiden ollessa yhtenevät linjan kaikissa laitteissa vähenee virheiden mahdollisuus. Standardi tarjoaa myös valmiin mallin tuotantodatan keräämiseen OEE-kokonaistehokkuuden seurantaan varten. [7, s. 4–5; 18, s. 31.]

4.2 PackML:n fyysinen malli

Kuvassa 13 on havainnollistettu PackML:n sovitus S88-1:n fyysiseen malliin.



Kuva 13. S88-1 ja PackML

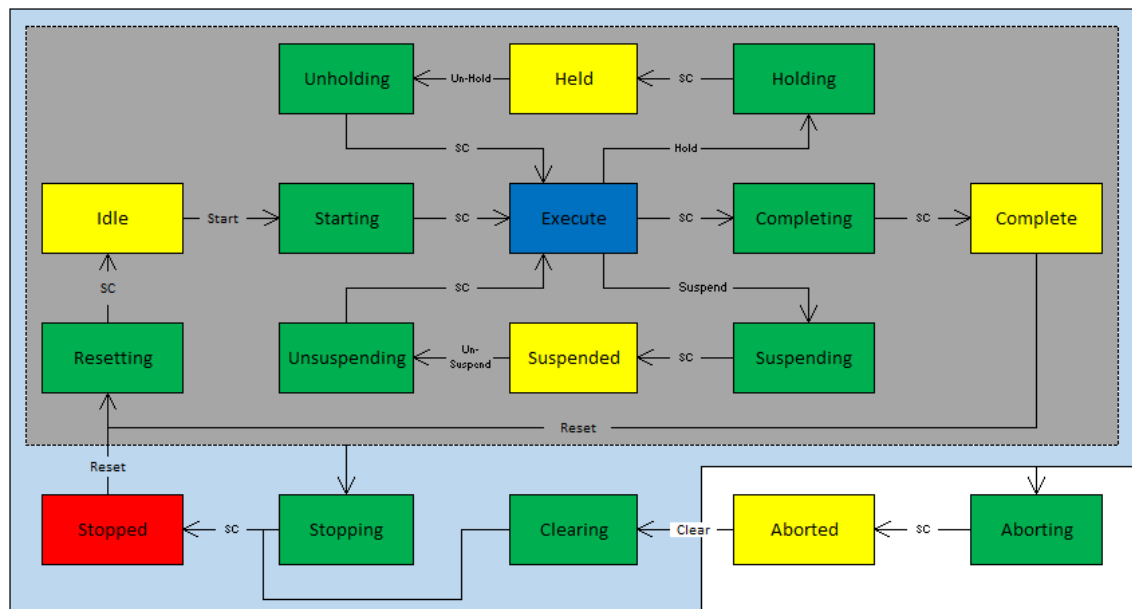
Yksikkö voi PackML:n mallissa olla joko yksittäinen laite tai kokonainen tuotantolinja, mutta yksikkö pystyy käsittelemään vain yhtä tuotantotilausta kerrallaan. Toiminnallisen tai fyysisen yksikön määrittävä tekijä on sen käyttö- ja ohjausliittymä. Yksittäinen laite on erillinen yksikkö, mikäli sillä on oma käyttöliittymä, esimerkiksi operointipaneeli sekä oma ohjausjärjestelmä, esimerkiksi logiikka. Pakkauslinjan on myös mahdollista olla yksi yksikkö, mikäli sitä hallitaan yhden käyttöliittymän kautta. Yksiköllä voi tällaisessa tapauksessa olla useampia ohjausjärjestelmiä, mutta vain yksi käyttöliittymä. Käyttöliittymä tulee suunnitella PackML:n tilakonemallin mukaisesti. [7, s. 13–14.]

Fyysisessä mallissa laitteen asemat ohjausjärjestelmineen tai esimerkiksi yksittäisen prosessin säätöpiiri vastaa S88-1:n laitemoduuleita (equipment module) ja asemien toimilaitteet ohjausmoduuleita (control module). S88-1 panosprosessimalli muuntuu pakkauslinjan kohdalla laitekohtaisiksi vaiheiksi. [18, s. 13.]

4.3 Tilakonemalli

PackML-käyttöliittymä perustuu tilakonemalliin (State Model). Tilakonemalli määrittää laitteen toiminnan yhden käyttötavan sisällä. Standardin mukaisesti laitteilla on 17 esimääritettyä tilaa (State) ja määritetty reititys tilojen välissä siirtymiseen (State Transition). Laitteen toiminta määrittää sille tarvittavat tilat, kaikkia tiloja ei siis ole välttämätöntä ottaa mukaan koneen ohjaukseen. [18, s. 22.]

Tilakoodit ja reititys on esitetty kuvassa 14. PackML-ohjelmistomalli, jossa koneen tilasta toiseen siirtyminen seuraa aina esiasetettua siirtymätapaa, on sovellettavissa kaikkiin tuotantolaitteisiin. Tilojen välillä siirtymistä ohjaa tilakäskyt, joita voivat olla käyttäjän antama käsky tilan vaihtoon, tiettyjen laitespesifisten ehtojen täytyminen, nykyisen tilan valmistuminen tai ulkoisen järjestelmän antama ohjaukaskäsky. Virhelopetus- ja pysäytys-tiloihin voidaan siirtyä esiasetetun reitin ohi. [18, s. 18.]



Kuva 14. PackML-perustilakonemalli, 17 tilaa. [18, s. 22.]

4.4 Käyttötavat ja ohjausmoodit

Laitteille on usein tarve määrittää erilaisia käyttötapoja (Modes). S88-1 määrittelee käyttötavat erätuotannossa menettelytapalähtöisesti, mutta tämä ei useinkaan sovellu pakkauskoneiden automaatioon sovellettavaksi. TR88 ja PackML lähestyvät käyttötapoja pakkauskoneiden ohjauksen näkökulmasta. Ohjausmoodin (Machine Control Modes) avulla voidaan suunnitella laitteen mahdolliset ohjaustoiminnot eri käyttötavoille. TR88 määrittää ohjausmoodit taulukon 1 mukaisesti, jättäen laitevalmistajalle mahdollisuuden luoda laitteen toiminnalle tarpeelliset omat ohjausmoodit. Käytännössä laitteen toiminnot määrittelevät tarvittavien ohjausmoodien määrän, mutta niitä voivat olla esimerkiksi tuotanto, manuaalinen, askellus, asetus tai kunnossapito. [18, s. 25–30.]

Taulukko 1. ISA TR88.00.02:n mukaiset ohjausmoodit.

Ohjausmoodi	Tag-arvo	Kuvaus
Määrittämätön	0	Laite on määrittämättömässä tilassa. Tila voi esiintyä esimerkiksi ohjausjärjestelmän uudelleenkäynnistyksen tai lataamisen yhteydessä.
Tuotannossa	1	Laite on tuotantotilassa ja suorittaa ohjelman mukaista tuotantokykliä.
Kunnossapito	2	Laite on huoltotilassa esimerkiksi vianhaun, testauksen tai koeikäytön johdosta. Se suorittaa samoja toimintoja kuin tuotannossa, mutta rajatuissa tiloissa. Kunnossapitotilassa laitetta voidaan käyttää itsenäisesti, jolloin muiden linjan laitteiden syötteitä ei huomioida.
Manuaalinen	3	Laitteen eri osia voidaan ohjata manuaalisesti. Mahdolliset tilanteet ovat esimerkiksi käyttöönotossa tai yksittäisen osan toiminnan varmistamisessa. Manuaalimoodissa kaikki ohjaukset ylemmistä järjestelmistä ovat estettyjä.
Käyttäjän määrittäminen	4 -n	Laitevalmistajan vapaasti määritettävissä olevat ohjausmoodit.

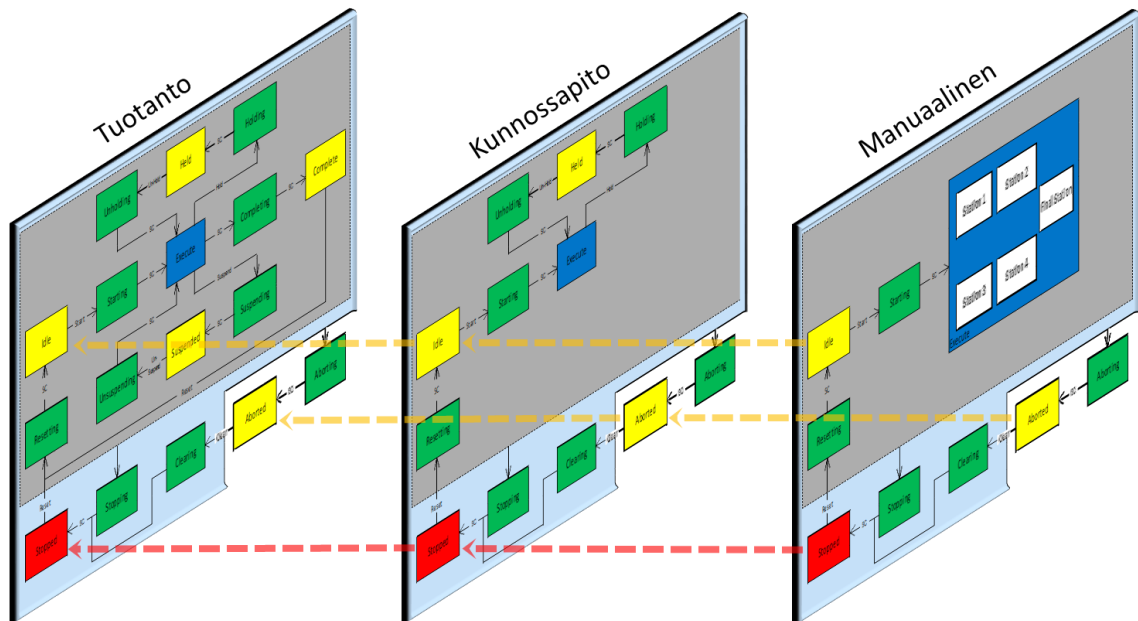
Tuotantomoodi on pakollinen moodi. Sen tiloja käytetään tuotantodatan raportointiin ja eheän datan saavuttamiseksi tätä moodia käytetään vain laitteen ollessa tuotannossa. PackML:n ehdottaa taulukon 2 mukaisia lisämoodeja laitteille. Moodit ovat kuitenkin viitteellisiä eivätkä siten sido laitevalmistajaa ohjelmaa suunniteltaessa. Ohjausmoodeille on PackML:ssä varattu datatunniste (Command.UnitMode), jolla muille järjestelmille kommunikoidaan laitteen käytössä oleva ohjausmoodi. [7, s. 64–65.]

Taulukko 2. PackML lisämääritykset ohjausmoodeille [7, s.65–66].

Ohjausmoodi	Tag-arvo	Kuvaus
Tuotevaihto	4	Tuotekoon tai -reseptin vaihto. Pitää sisällään tuotevaihdon aikana tehtävät puhdistustoimenpiteet.
Puhdistus	5	Tuotantolinjan pesu ja puhdistus.
Asetus	6	Laitteen asetukset ja näiden testaus.
Tuotannon lopetus	7	Tuotannon lopettamisen jälkeinen laitteen tyhjennys esimerkiksi talteen otettavista uudelleen käsiteltävistä raaka-aineista.
Laittevalmistaja-kohtainen	Ei määritetty	Laittevalmistajaa varten. Käytetään laitteen asetuksiin, joita ei muiden osapuolien ole tarvetta asettaa.

Ohjausmoodit voidaan esittää tilakonemallin eri kerroksina (kuva 15). Tuotantotila vastaa perustilakonemallin mukaista toiminnallisuutta, mutta esimerkiksi kunnossapitotilassa osa toiminnoista (tiloista) on poistettu. Kaikille käyttötavoille eri tilat eivät ole mahdollisia tai tarpeellisia. Mahdollisuus ohjausmoodin vaihtoon eli tilat, joissa on mahdollista siirtyä kerrosten välillä, on määritettävä laitteen toimintaa suunniteltaessa. Kerrosten vaihtaminen on muiden tilojen aikana estettävä. Syöte ohjausmoodien välillä siirtymiseen voi tulla ulkoisesta järjestelmästä, koneen ehdon tai useiden määritettyjen ehtojen täyttymisestä tai käyttäjäsyötteenä esimerkiksi ohjauspaneelilta. [18, s. 25.]

Koneen toiminnot eroavat eri ohjausmoodien ja tilojen sisällä. Esimerkiksi tuotanto-ohjausmoodissa koneen täyttöaseman tuoteventtiili on toiminnassa, mutta manuaalisella ohjausmoodissa tuoteventtiilin ohjaus aktivoidaan erikseen. Molemmissa kuitenkin koneen ohjaus tapahtuu suoritustilassa (execute). Kuvassa 15 on esitetty TR88:n määrittämät kolme ohjausmoodia. Nämä ovat kuitenkin viitteelliset, ohjausmoodit suunnitellaan laitekohtaisesti niiden toimintoja vastaamaan. [18, s. 30.]



Kuva 15. Ohjausmodien kerrokset ja sallitut siirtymät. [18, s. 25; esitystavan osalta ks. 19.]

4.5 Tilat

Laitteen tila (state) kertoo käyttäjälle laitteella sillä hetkellä käynnissä olevan tehtävän. Laite voi olla tietyssä tilassa käyttäjän tai prosessin toiminnon ohjaamana. Tila voi jatkua, kunnes sille annetaan ulkoinen siirtymäkehoite tai se päättyy toimintosarjan suorittamisen ja ehtojen täyttymisen jälkeen. Tila päättyy aina siirtymäruutiinin kautta toiseen tilaan. Laitteessa voi olla kerrallaan käynnissä vain yksi pääprosessi ja laite siirtyy seuraavaan tilaan ennakkoon määrättyjen ehtojen mukaisesti. Laite voi olla vain yhdessä tilassa kerrallaan, rinnakkaiset yhtäaikaiset tilat eivät ole sallittuja. [18, s. 15.]

S88-1:n mukaisesti käytössä on kolme eri tilatyyppeä. PackML kuitenkin käsittelee tilatyyppejä S88-1:n mallista poiketen ottaen huomioon pakkauskoneiden erilaisen käytön. TR88:ssa kolme erilaista tilatyyppeä ovat toteuttavat tilat (acting states), toimeenpanevat tilat (dual states) ja odotustilat (wait states). Toteuttavassa tilassa laite on siirtymässä toimeenpanevesta tilasta odotustilaan tai vastaavasti takaisin toimeenpanevaan tilaan. Toimeenpaneavassa tilassa laite toistaa työsykliä, kunnes se keskeytetään esimerkiksi käyttäjän tai virheen johdosta. Toimeenpaneva tila voi olla yksittäinen työkierto, joka päättyy laitteen saavuttaessa tietyt ehdot ja jatkaa siirtymäruutiiniin. PackML:ssä tilatyyppejä on käytännössä vain kaksi ja toimeenpanevat tilat ovat verrattavissa toteuttaviin tiloihin. Tilakonemallin 17 tilasta on lyhyt kuvaus taulukossa 3. [18, s. 15.]

Taulukko 3. PackML-tilat ja tilatyypit

Tila	Tilatyyppi	Kuvaus	Tag-arvo
Idle	Odotustila	Laite on pysäytetty ja odottaa käynnistystä. Laitteen komponentit ovat valmistilassa.	1
Starting	Totetuttava	Laite tekee valmistelut ja tarkastukset, joita tarvitaan ennen kuin laite voidaan käynnistää.	3
Execute	Totetuttava	Laite toteuttaa moodiin ohjelmoitua tehtävää.	6
Completing	Totetuttava	Laite siirtyy valmis-tilaan esimerkiksi tuotantotilauksen määrän saavutettuaan.	16
Complete	Odotustila	Laite on toteuttanut moodiin asetetut tehtävät ja odottaa reset-komentoa.	17
Resetting	Totetuttava	Laite on pysäytetty ja sen asetukset nollataan ja uusi tuotantotilaus otetaan vastaan.	15
Holding	Totetuttava	Laite pysäytetään sisäisen virheen tai vian takia.	10
Held	Odotustila	Laite odottaa, kunnes sen tähän tilaan saattaneet ehdot ovat poistuneet.	11
Unholding	Totetuttava	Laite siirtyy takaisin tuotantotilaan asetettujen tarkastusten ja valmistelujen kautta.	12
Suspending	Totetuttava	Laite valmistellaan suspended-tilaa varten.	13
Suspended	Totetuttava	Laite odottaa ulkoisen tekijän takia tuotantoon siirtymistä. Laite voi olla käynnissä, mutta ei tuota mitään.	5
Unsuspending	Totetuttava	Laite siirtyy takaisin tuotantotilaan asetettujen tarkastusten ja valmistelujen kautta.	14
Stopping	Totetuttava	Laite tekee toimenpiteet, joita kontrolloitu pysäytys edellyttää.	7
Stopped	Odotustila	Laite on pysäytetty ja odottaa ohjausta.	2
Aborting	Totetuttava	Laite tekee välittömän pysäytyksen.	8
Aborted	Odotustila	Laite on pysäytetty.	9
Clearing	Totetuttava	Välittömän pysäytyksen jälkeen tarvittavat nollaukset koneen siirtämiseksi pysäytys-tilaan.	1

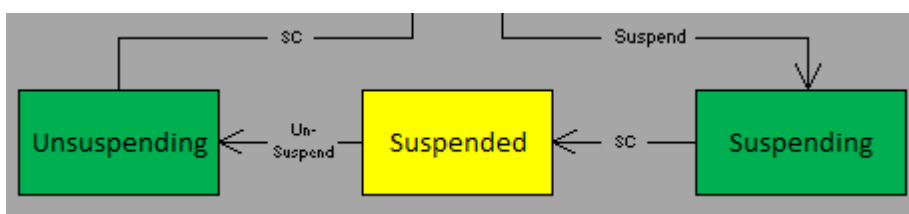
Tilakonemallin pito- ja keskeytystilojen toiminta on koneen ohjauksen näkökulmasta melko vastaava, mutta niillä on raportointiin vaikuttava merkittävä ero. Molempiin tiloihin siirrytään tuotantotilasta ja niistä palataan tuotantotilaan ehtojen poistuttua.

Pito-tilaa (kuva 16) käytetään silloin, kun laitteen sisäisten ehtojen takia siirrytään automaattisesti tai manuaalisesti tuotantotilasta pysäytystilan tapaiseen tilaan. Esimerkki tällaisesta tilanteesta voi olla saumasemasen lämpötilan tasaantumisen odotus. Laite voidaan operaattorin toimesta ohjata pitoon esimerkiksi sellaisen raaka-aineen lisäämisen vuoksi, jota ei voida tehdä laitteen ollessa tuotantotilassa. [7, s. 19.]



Kuva 16. PackML:n pitotilat

Siirtyminen keskeytystilaan (kuva 17) on vastaava tapahtuma, mutta tapahtuu aina ulko-
puolisen syötteen johdosta. Syynä tilaan siirtymiseen voi olla ruuhka linjan seuraavilla
laitteilla tai tuotanto joudutaan automaattisesti keskeyttämään raaka-aineen loppumisen
takia. [7, s. 20.]



Kuva 17. PackML:n keskeytystilat

4.6 Ohjausresepti

S88-1:n reseptien käyttö PackML:n mukaisessa pakkauslinjan ohjauksessa asettuu tuotantotilaustason ohjausresepteihin (control recipe). PackML:n mukaisen laitteen ohjaus tulee suunnitella tukemaan ohjausreseptejä. Ohjausresepteissä tuotantolinjan eri laitteelle annetaan tuotekohtaiset parametrit, jotka muuttavat koneen yksittäisten komponenttien toimintaa. Reseptiparametrit ovat PackTag-muuttujia, joiden lähde on ylempi järjestelmä tai ne asetetaan tuotantotilauksen mukaan laitteelle esimerkiksi ohjauspaneelin käyttöliittymällä. Ohjausreseptiä voidaan käyttää esimerkiksi laatikonsulkijan asetusten tallentamiseen laitteelle tuotevaihdon yhteydessä. Laitteelle annetaan reseptissä uudet parametrit suuremman pakkauskoon vaatimaan ratakorkeuden ja -leveyden säätöön, liimapisteiden ajoitukseen ja radan nopeuden säätöön linjan tuotantonopeuden mukaiseksi. Asetukset voivat siis liittyä laitteen fyysisten liikkeiden säätöön ja nopeuksien säätöön tai prosessikohtaisiin arvoihin. Kaikkia koneen toimintaan liittyviä asetusparametreja ei kuitenkaan lähetetä reseptissä, tuotantotilauksella laitteelle välitetään vain sellaiset muuttujat, joiden ohjaus on tilauskohtaisesti tarpeellista. Näiden tarvittavien

muuttujien määrittäminen on aina tuotantolaitoskohtaista, eikä standardissa esitetä rajoja tarvittaville laiteparametreille. Myös tuotantotilauksen tiedot merkintälaitteille syötetään ohjausreseptien avulla. [7, s. 9–12.]

4.7 Datatunnisteet

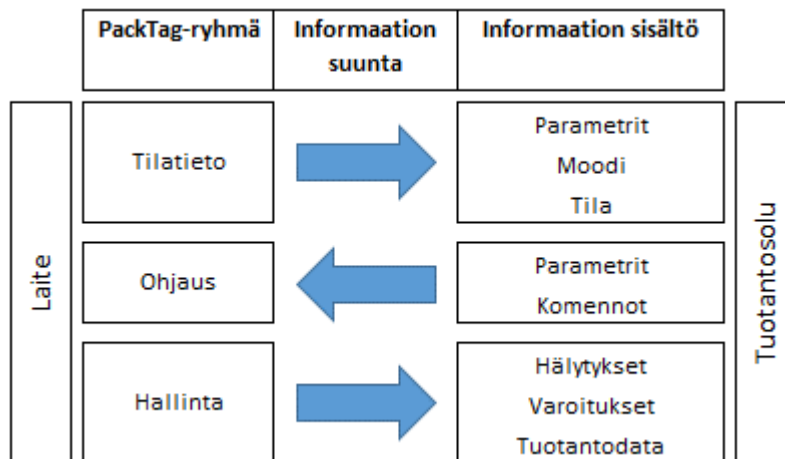
PackTag-tunnisteet muodostavat yhtenäisen nimeämistavan muuttujille, joilla tilakoneen tilat kommunikoidaan pakkauslinjan eri laitteiden välillä. PackTagejä käytetään kommunikoinnissa myös ylempiin järjestelmiin. PackTags-muuttujat ovat standardin IEC 61131 mukaisia, automaatiolaitteiden yhtenevään tiedonvaihtoon tarkoitettuja PascalCase-muotoisia muuttujia. [7, s. 66.]

Muuttujatyypit on jaettu kolmeen ryhmään, ohjaus (Command), tilatieto (Status) ja hallinta (Administration).

- Ohjaus-ryhmän muuttujia käytetään ohjausjärjestelmälle viestittäviin komentoihin ja asetuksiin. Tällaisia ovat siirtymäkomennot eri tilojen välillä ja reseptin mukaiset tuoteparametrit ja muut laitteen toimintaa ohjaavat muuttujat. Ohjauskäskyt ovat lähtöisin ylemmästä järjestelmästä, linjan toiselta laitteelta tai tuotantohenkilön ohjausliittymän kautta antamia manuaalisia komentoja. [18, s. 39.]
- Tilatiedoilla laitteen ohjausjärjestelmä lähettää laitteen nykyisen tilan muille laitteille tai järjestelmille. Tilatieto voi olla esimerkiksi tieto laitteen kulloises-takin nopeudesta, raaka-aineista tai käytössä olevasta moodista ja tilasta. Tilatietoja voidaan käyttää myös laitteen omalla ohjauspaneelilla esitettävien tietojen lähteenä. [18, s. 50.]
- Hallinta-ryhmän muuttujia käytetään tuotantotiedon, esimerkiksi tuotannon määrän ja laadun, viestimiseen ylemmille järjestelmille. Usein hallinta-ryhmän tietoja käytetään myöhemmin analysoitavan tuotantodatan keräämiseen tuotantolinjalta. Hallinta-ryhmään sisältyy myös viestit laitteen tapahtumista, esimerkiksi varoitukset ja pysäytyssyyt. Hallinta-ryhmän tietoja voidaan käyttää myös laitteen ohjauspaneelilla tapahtumien indikointiin. [18, s. 60.]

Ohjaus- ja tilatiedot kommunikoidaan laitteiden välillä käyttäen tuotantolinjan laitteiden yhteistä kenttäväylää tai OPC-protokollaa. Hallinta-ryhmän kommunikointiin eri järjestelmätasojen välillä käytetään usein OPC-protokollaa. [18, s. 31]

Kuvassa 18 on esitetty ryhmien informaation suunta ohjausjärjestelmän kannalta.



Kuva 18. PackTag-ryhmien informaation suunta

PackTag-muuttujien nimeäminen ja rakenne noudattavat IEC 61131 -standardia. Nimeämisessä käytetään PascalCase-rakennetta, jossa toimintoa kuvaavan yhdistelmänimen jokainen sana alkaa isolla kirjaimella. PackTag-nimi alkaa laitteen yksilöllisellä nimellä. Seuraavaksi pisteen erottamana on ryhmän tyyppi, joka erotetaan muuttujasta pisteellä. Niiden järjestelmien kohdalla, jotka eivät tue edellä kuvattua rakennetta voidaan pisteen tilalla käyttää alaviivaa. Esimerkkimallit muuttujille on esitetty kuvassa 19. [18, s. 31–32; 7, s. 66–67.]

Laitte	PackTag-tyyppi	PackTag-muuttuja	PackTag-nimi
UnitName	Status	StateCurrent	UnitName.Status.StateCurrent
UnitName	Status	UnitModeCurrent	UnitName.Status.UnitModeCurrent
UnitName	Admin	StopReason.ID	UnitName.Admin.StopReason.ID
UnitName	Admin	StopReason.Value	UnitName.Admin.StopReason.Value
UnitName	Command	UnitMode	UnitName.Command.UnitMode
UnitName	Command	UnitModeChangeRequest	UnitName.Command.UnitModeChangeRequest

Kuva 19. PackTag-muuttujien esimerkkejä [7, s. 67.]

PackML-tilakonemallille tarvitaan vähimmäismäärä muuttujia. OMAC on julkaissut muuttujille vähimmäistason (liite 1), joka perustuu TR88:ssa julkaistuun laajempaan taulukkoon. Vähimmäistaso tarvitaan PackML-tilakoneen toiminnoille, kuten tilojen siirtymien hallintaan, reseptimallin toteuttamiseen sekä tuotantotiedon raportoinnin toteuttamiseksi. [7, s. 66.]

4.8 Toteutustasot

PackML on mahdollista toteuttaa vaihtoehtoisilla tavoilla, joko uuden pakkauslinjan suunnitteluvaiheessa sisäänrakennettuna mallina tai tilakonetoiminnot voidaan jälkikäteen lisätä olemassa oleviin laitteisiin käyttämällä ulkoista ohjausjärjestelmää koneen oman ohjausjärjestelmän rinnalla. Paras hyöty ja korkein integraatiotaso saadaan aikaiseksi uusissa toteutuksissa, joissa yksittäisten laitteiden ohjaus perustuu Make2Pack-konseptiin. Tällaisessa toteutuksessa kommunikointiin järjestelmien välillä käytetään yksinomaan PackTag-datatunnisteita. [7, s. 14–15.]

Ohjausjärjestelmävalmistajat, kuten Siemens, Rockwell Automation ja Yaskawa, tarjoavat valmiina PackML-tilakoneohjelmaa ohjausjärjestelmien ratkaisukirjastoissaan. Tällaisilla ohjelmistopohjilla voidaan toteuttaa olemassa oleviin laitteisiin ulkoinen PackML-tilakone, jossa laitteen toiminnot kohdistetaan PackML-laitetiloihin. Tieto voidaan siirtää tilakoneen ohjausjärjestelmälle käyttäen esimerkiksi kenttäväylää, digitaalisia tuloja tai OPC-rajapintaa. Hyötyjä ratkaisussa ovat yhtenäinen ohjausliittymä laitteille, vianhaun helpottaminen, reseptimallit tuotantotilauksille sekä tunnuslukujen raportoinnin yhtenäinen rakenne. Myös uusien laitteiden integraatio on vaivatonta valmiin järjestelmärakenteen johdosta. Laittevalmistaja voi myös käyttää kirjastoja uuden laitteen ohjelmasuunnittelun pohjana, joka nopeuttaa ohjelmistokehitystä. [19; 20; 21.]

5 Kokonaistehokkuus

Tuotannon tunnuslukuja seuraamalla voidaan merkittävästi vaikuttaa tuotantolinjan kannattavuuteen. Kokonaistehokkuuden mittaamisella pyritään saamaan ajantasainen tieto tuotannon tapahtumista, jotka vaikuttavat käytettävyyteen, toiminta-asteeseen tai laatuun. Tuotannon arviointi perustuen mitattuun tietoon on faktapohjaista ja siten voidaan luotettavasti erottaa tuotannon osat, jotka tuottavat eniten aika- tai materiaalihävikkiä. Kokonaistehokkuuden mittareiden esittäminen tuotantohenkilöstölle antaa mahdollisuuden seurata asetettujen tavoitteiden toteutumista. Yrityksen johdolle mittausten tuottama informaatio kertoo, kuinka paljon todellisesta tuotantokapasiteetista on käytössä ja mihin pitää keskittyä, jotta tuottavuus saadaan nostettua halutulle tasolle. Kokonaistehokkuus toimii myös mittarina, kun suunnitellaan investointeja. Kun pystytään esittämään investoinnin vaikutus kokonaistehokkuuteen, voidaan laskea yksittäisen investoinnin takaisinmaksuaika, joka usein on edellytys investointirahoituksen saamiselle. [22, s. 39–41.]

Elintarviketeollisuudessa pakkauslinjojen rakenne muodostuu erillisistä laitteista. Kokonaistehokkuuden mittaamisen kannalta tämä tuo mukanaan luonnolliset rajapinnat ja tällaisesta rakenteesta on mittausten perusteella suhteellisen helppoa tunnistaa aika- tai materiaalihävikkiä aiheuttava linjan osa. Kappaletavaratuotanto yleisesti soveltuu hyvin kokonaistehokkuuden mittaamiseen. Tyypillisesti linjalla on syöttölaitteita, täyttökoneita, erilaisia laatikon- tai alustanmuodostajia, uuneja tai jäähdyttimiä, merkintälaitteita, kutistekalvokoneita ja lavaajia. Kokonaistehokkuuden mittaamisen kannalta linjalta täytyy valita pisteet, jotka määrittävät käyntiajan, nopeuden ja materiaalivirran. Linjalta tulee mitata kokonaistehokkuuden laskemiseen tarvittavat komponentit, joita ovat tuotantoaika, tuotanto ja hylätty tuotanto. Muut laskentaa varten tarvittavat komponentit, kuten suunniteltu tuotantoaika ja nimellistuotantokyky saadaan tuotannonohjauksen parametreista [23, s. 5–7; 24, s. 3].

Kokonaistehokkuuden mittaamiseen automaatiolla on yrityksille tarjolla monia valmiita ja räätälöitäviä ratkaisuja. PackML:ssä laitteen omasta ohjausjärjestelmässä on valmiiksi määritetty lähde datalle, joka siirretään valitun protokollan avulla ylemmälle järjestelmälle.

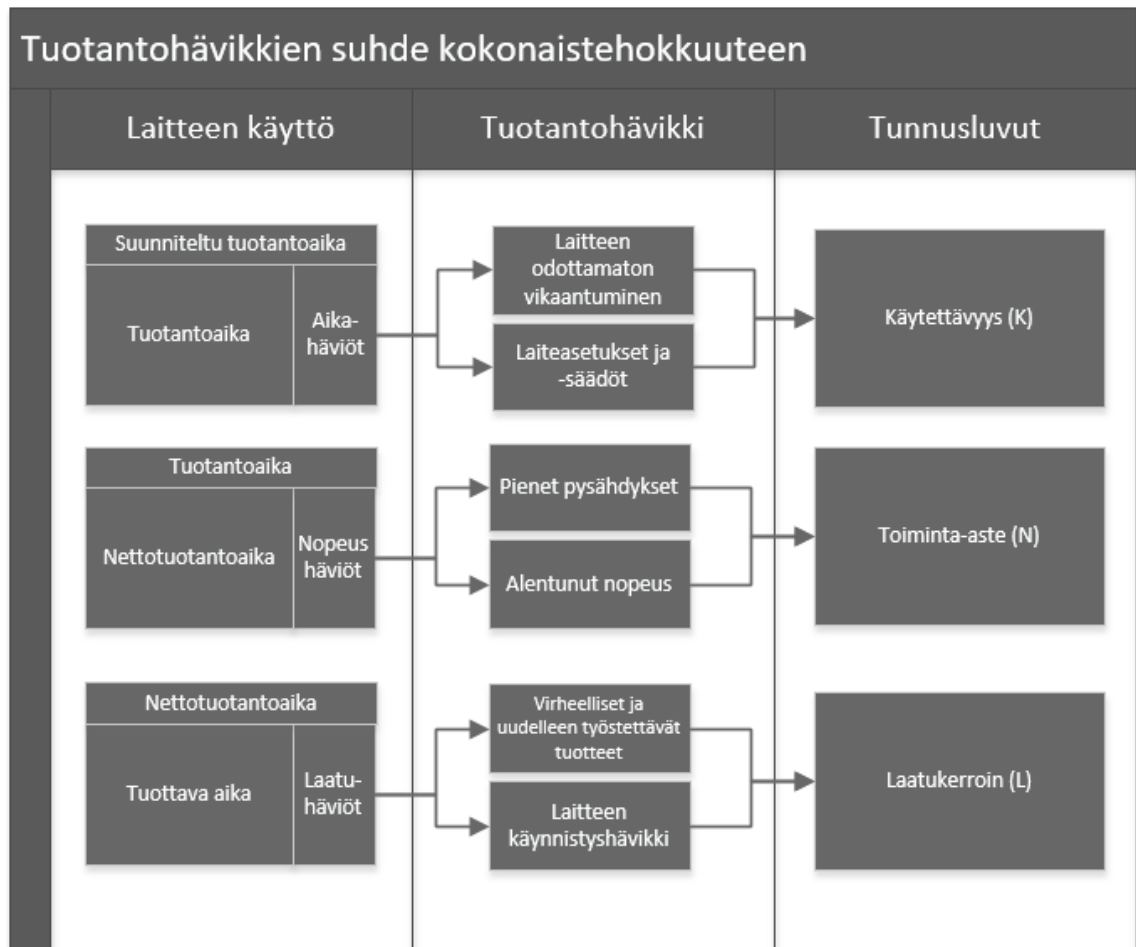
5.1 TPM-metodologia

Tuotantolaitteiden kokonaistehokkuuden OEE-mittarit perustuvat Total Productive Maintenance -metodologiaan (TPM). Metodologian kehittäjä on japanilainen Seiichi Nakajima, joka tutki Yhdysvalloissa ennakoivan kunnossapidon kehittämistä ja esitteli TPM:n edeltäjän Productive Maintenance -metodologian (PM) Japanissa vuonna 1951. TPM on tästä kehittyneempi, amerikkalaisiin ennakoivan ja tuottavan kunnossapidon malleihin pohjautuva, metodologia. Sen esitteli Japan Institute of Plant Engineers vuonna 1971 Seiichi Nakajiman johdolla. [25, s. 4; 26, s. 173–175.]

TPM tähtää tuotantolaitoksen tehokkuuden optimointiin laitteiden oikea-aikaisen kunnossapidon, tehokkaiden kunnan seurantamallien ja henkilöstön osaamisen avulla. TPM-metodologian ydin on toimintamalli, jossa tuotannon ja kunnossapidon roolit ja osaaminen tukevat toisiaan ja laitteiden käytettävyys nostetaan korkealle tasolle ennakoivalla ja analyyttisellä työtavalla. TPM on tarkoitettu koko yrityksen kokoiseksi järjestelmäksi ja sen antaa toimintamallin yrityksen prosessien jatkuvaan parantamiseen. [24, s. 1–8; 26, s. 173–175.]

TPM:ssa tuotantotehokkuuden mittaamisella nostetaan esiin tuotannon hävikkiä aiheuttavat osa-alueet. Seiichi Nakajima esitteli OEE-mittauksen ensimmäisen kerran vuonna 1982 TPM tenkai -kirjassaan. Mittaamisella oli alun perin kaksi päätavoitetta, todentaa prioriteetit tuotannossa tarvittaville parannuksille ja esittää tehtyjen muutosten ja parannusten tulokset [25, s. 365]. Mittaaminen tulee toteuttaa riittävän laajasti tuotannon eri alueilla, jolloin tulokset ohjaavat hävikkiä aiheuttavaan tuotantoprosessin osaan. Mittauksen perusteella pystytään vähentämään vikojen aiheuttamaa aikahävikkiä, parantamaan toiminta-astetta ja vähentämään laatuvirheitä. Pakkauslinjojen kohdalla mittaukset on järkevä toteuttaa siten, että linjan jokaisesta laitteesta saadaan hävikki tarkasti selville. Mittauksissa on tarkoitus verrata häviöitä ideaalista tuotannosta ja priorisoida toimenpiteen aloittaen niistä tuotannon osista, jotka aiheuttavat eniten hävikkiä [26, s. 176]. TPM:n mukainen ideaali kokonaistehokkuus on 100 %.

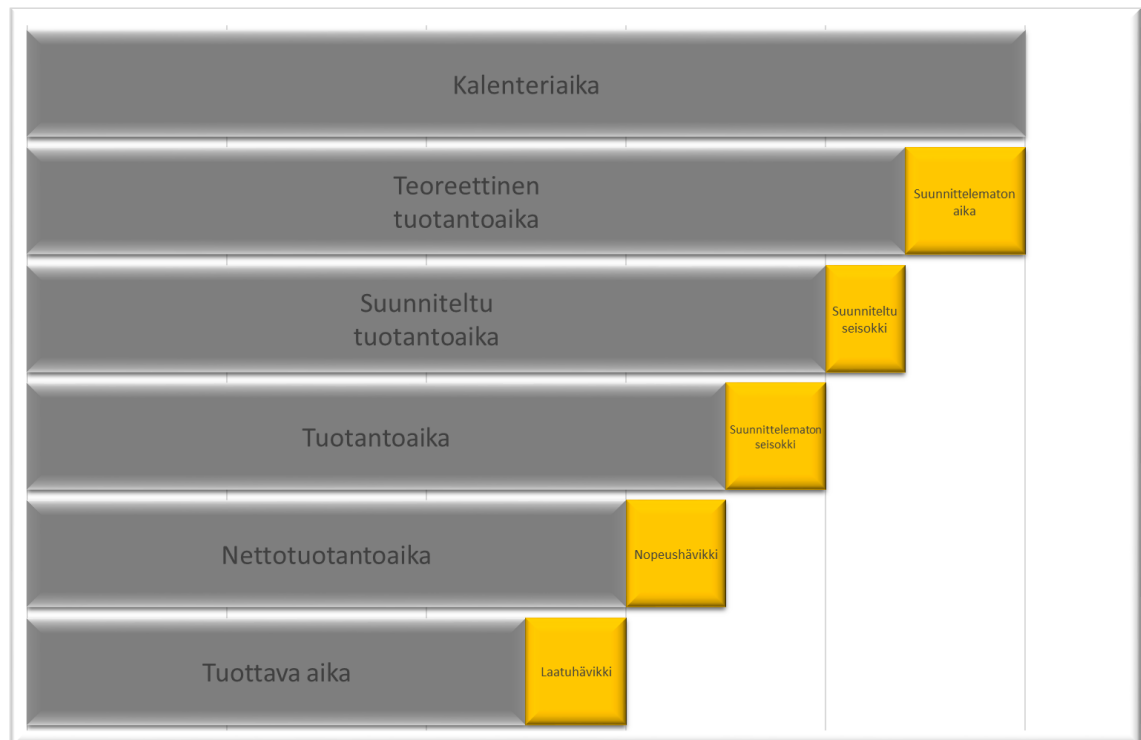
TPM:n mukaan laitteen tehokkuus voidaan maksimoida ja elinkaaren kulut minimoida poistamalla kuusi suurta tuotantohävikkiä. [25, s. 10]. Nämä hävikit jakautuvat kolmelle mitattavalle kokonaistehokkuuden osa-alueelle kuvassa 20 osoitetulla tavalla.



Kuva 20. Tuotantohävikkien suhde kokonaistehokkuuteen [24 s. 3; 25, s. 35.]

OEE-kokonaistehokkuus antaa vertailuarvon tuottavuuden lisäämiselle ja se muodostuu kolmen tunnusluvun tulosta, jolloin näiden painoarvot ovat yhtäläiset. OEE-luku on tuotannon tilan yleinen mittari ja eri tunnuslukujen parantaminen tulee punnitta suhteessa tarvittaviin taloudellisiin panostuksiin [26, s. 177].

Mittauksia suunniteltaessa ja tuloksia punnittaessa on keskeistä ymmärtää aikakäsitteet (kuva 21), joihin mittaus perustuu. Mittauksen vertailuarvona on suunniteltu tuotantoaika ja ideaali hyväksytyjen tuotteiden määrä [26, s. 176]. Suunnitteluparametrit OEE-laskentaa varten saadaan tuotannosuunnittelujärjestelmästä ja niitä ei voi mitata laitteilta. Ideaali hyväksytyjen tuotteiden määrä saadaan suunnitellun tuotantoajan ja ideaalin jaksonajan tulosta.



Kuva 21. OEE-laskennan aikäsitteet [27; 28, s. 636].

Kalenteriaika on 24 tuntia vuorokaudessa, 7 päivää viikossa ja 365 päivää vuodessa.

Teoreettinen tuotantoaika saadaan vähentämällä kalenteriajasta suunnittelematon aika. Aika, jota ei ole aiottu käytettäväksi tuotantoon, on suunnittelematonta aikaa. Teoreettinen tuotantoaika sisältää laitteen tai linjan suunnitellut seisokkiajat, kuten kunnossapidolle tai siivoukselle tuotannon ulkopuolelle suunnitellun ajan sekä ajan jona tuotannolle ei ole tarvetta. [28, s. 636–637.]

Suunniteltu tuotantoaika on aika, jossa ideaalilla tuotantonopeudella ilman aikahäviöitä saavutetaan suunniteltu tuotanto.

Tuotantoaika on aika, jolloin laite tai linja on suunniteltu tuotantoon ja se suorittaa sille määritettyä tehtävää [25, s. 34]. Tuotantoaikaa kutsutaan myös käyntiajaksi [23, s. 7]. Tuotantoaika voidaan mitata tuotantolaitteilta automaation avulla tai se voidaan kirjata manuaalisesti tuotannon raportteihin.

Nettotuotantoaika on aika, jossa toteutunut tuotanto olisi ideaalilla nopeudella saatu valmistettua. Nettotuotantoaikaa heikentää vähentynyt tuotantonopeus tai lyhyet pysähdykset sekä laitteen joutoaika [25, s. 34]. Nettotuotantoaika on laskennallinen eikä sitä mitata erikseen laitteilta.

Tuottavana aikana valmistetaan hyväksytyt tuotteet. Tuottava aika on siis aika, joka ideaalilla jaksoajalla olisi tarvittu saavutettuun hyväksytyyn tuotantoon. Tuottavaa aikaa kutsutaan myös arvoa lisääväksi ajaksi. Tuottava aika lasketaan hyväksytyjen tuotteiden määrän pohjalta. [25, s. 36.]

OEE voidaan laskea yksinkertaistetulla kaavalla 1. Tämä laskentamalli antaa OEE-luvun, mutta siitä ei ole pääteltävissä mitä osa-aluetta tuotannossa tulisi kehittää. Tästä syystä on parempi käyttää kolmen osatekijän tuloa ja seurata jokaisen kehittymistä.

$$OEE = \frac{\text{Hyväksytty tuotanto} \times \text{ideaalinen jaksoaika}}{\text{Suunniteltu tuotantoaika}} \quad (1)$$

5.1.1 Käytettävyys

Käytettävyys (eng. availability) on termi, joka kuvaa kuinka suuren osan suunnitellusta tuotantoajasta laite on ollut tilassa, jossa sitä on käytetty tuotantoon. Tunnuslukutarkastelussa käytettävyys on aikakäsite ja se ei ota huomioon toiminta-asteeseen tai laatueroihin liittyviä häviöitä [23, s. 6]. Käytettävyyteen vaikuttaa esimerkiksi materiaali- ja vaihtoajat [28, s. 637].

Laskuyhtälö käytettävyydelle on

$$\text{Käytettävyys} = \frac{\text{Suunniteltu tuotantoaika} - \text{aikahäviöt}}{\text{Suunniteltu tuotantoaika}} \quad (2)$$

5.1.2 Toiminta-aste

Toiminta-aste (eng. performance rate) kuvaa, kuinka suurella nopeudella tuotanto on toteutunut verrattuna ideaaliin 100 %:n nopeuteen. Toiminta-asteen laskennassa tulee tietää laitteen tai tuotantolinjan nimellistuotantokyky. Nimellistuotantokyky voi olla laitteelle suunniteltu maksimi tai tuotekohtainen maksimi [25, s.36; 27]. Nykyinen yleinen

laskentatapa poikkeaa TPM:n alun perin määrittämästä laskentatavasta, jossa on eroteltu lyhyiden pysäytysten ja alentuneen nopeuden vaikutus toiminta-asteeseen. Laskennasta saatuun lopputulokseen laskutavalla ei ole eroa, mutta hävikin jakaminen lyhyiden pysähdysten tai alentuneen nopeuteen välillä ei yhtälöllä 3 ole mahdollista.

$$\text{Toiminta-aste} = \frac{\text{Tuotanto}}{\text{Nimellistuotantokyky} \times \text{Tuotantoaika}} \quad (3)$$

$$\text{Toiminta-aste} = \frac{\text{Tuotanto} \times \text{todellinen jaksoaika}}{\text{Suunniteltu tuotantoaika} - \text{aikahäviöt}} \times \frac{\text{Ihanteellinen jaksoaika}}{\text{Todellinen jaksoaika}} \quad (4)$$

5.1.3 Laatukerroin

Laatukerroin (eng. quality rate) on yksiselitteinen mittari toteutuneen tuotannon laadusta. Tuotannon kokonaismäärää verrataan hyväksytyihin tuotteisiin. Uudelleen käsiteltävät tai valmistettavat sekä laatupoikkeaman omaavia tuotteita tulee käsitellä tässä yhteydessä aina hävikkinä [23, s. 30].

$$\text{Laatukerroin} = \frac{\text{Hyväksytyt tuotteet}}{\text{Tuotannon kokonaismäärä}} \quad (5)$$

5.2 PackML-kokonaistehokkuus

PackML-standardissa on valmis rakenne OEE-laskennassa tarvittavan tiedon keruulle. TR88:n esittää kaksi vaihtoehtoista toteutusimerkkiä. Suppeammassa vaihtoehdossa OEE voidaan laskea paikallisesti laitteen omassa ohjausjärjestelmässä ja esittää sen ohjauspaneelilla reaaliaikaisesti. Vaihtoehtoisesti ja laajemman tiedon tallentamisen ollessa tarpeellista laskuriarvot ja tapahtumat voidaan välittää Status- ja Admin-ryhmän PackTagien avulla ylempään tietokantaan. Tiedon analysointi voidaan toteuttaa historia-tietokannan raporteilla tai ylemmissä MES- ja ERP-järjestelmissä. Hälytysmuuttujien avulla voidaan pysäytyksen syy kohdentaa tiettyyn laitteen tai linjan osaan aikahävikin syy selvittämiseksi. Kokonaistehokkuuden laskenta varten muuttujien määrää on laajennettava PackTag-minimitasosta. [18, s. 90–92.]

Laitteen ohjausjärjestelmissä OEE-laskenta on rajatumpaa ja se vaatii käyttäjältä enemmän huomioita esimerkiksi tuotevaihtojen yhteydessä tarvittavien laskureiden nollaami-

sessä. Ohjausjärjestelmässä tietojen käsittelyssä ei useinkaan ole mukana historia-ominaisuuksia, jolloin laskenta on mahdollista vain edellisen laskureiden nollauksen ja nykyhetken välillä. Ohjausjärjestelmässä tapahtuvaa laskentaa rajoittaa myös sen vaikutus ohjelman kiertoaikaan, jota ei tule kasvattaa laitteen toimintavarmuuden kustannuksella. Ratkaisut laajempaa tiedon tallennusta ja analysointia varten ovat historiatietokannat tai MES- ja ERP-järjestelmät yrityksen koon ja tarpeiden mukaan. Myös uudet ohjausjärjestelmät tarjoavat laajempia muistiominaisuuksia ja mahdollistavat tiedon laajempaa käsittelyä ja tallennusta laitteen omassa ohjausjärjestelmässä. [18, s. 90–92.]

5.2.1 Laitteen ohjausjärjestelmä

Kokonaistehokkuuden laskennassa tilakonemallin tuottama data tilojen muutoksista ja laitteen sisäiset laskuriarvot muutetaan OEE:n osatekijöiksi. Ohjausjärjestelmässä tapahtuvaa laskentaa varten tarvitaan taulukossa 4 esitetyt PackTagit.

Taulukko 4. OEE-muuttujat ja vastaavat PackTag-muuttujat (ohjausjärjestelmä) [18, s. 92–93].

Muuttuja	PackTag-nimi
Suunniteltu tuotantoaika	UnitName.Admin.AccTimeSinceReset
Tuotantoaika	UnitName.Admin.ModeCumulativeTime[#]
Kokonaismäärä	UnitName.Admin.ProdProcessedCount[#].Count
Hylätyt tuotteet	UnitName.Admin.ProdDefectiveCount[#].Count
Nimellistuotantokyky	UnitName.Admin.MachDesignSpeed

Reaaliaikainen käytettävyys saadaan laitteen tuotantomoodin kumulatiivisen aikalaskurin ja suunnitellun tuotantoajan osamääränä (kaava 6). Osoittajana oleva tuotantoaika-muuttujan tulee kasvaa vain silloin, kun laite on tuotantomoodissa ja suoritustilassa. Suunniteltu tuotantoaika on laitteen ohjauspaneelilla oleva aikalaskuri, jonka nollauksesta huolehtii laitteen käyttäjä todellisen suunnitellun tuotantoajan alkaessa. [18, s. 92.]

Toiminta-asteen laskentaan tarvittavat muuttujat on esitetty kaavassa 7. Laitteen käyttäjän tehtävänä on kokonaismäärän laskurin nollaus tuotannon alkaessa. Laitteen nimellistuotantokyky on joko ohjausjärjestelmään tallennettu vakio tai ohjauspaneelilta muuttavissa oleva arvo. [18, s. 92.]

Laatukerrointa (kaava 8) varten tarvitaan laskuri hyväksytyille tuotteille. Hyväksytyjä tuotteita ovat laitteesta tai pakkauslinjalta ulos lähtevät tuotteet. Hyväksytyt tuotteen lasketaan kokonaismäärän ja hylättyjen tuotteiden erotuksena. Hylättyjen tuotteiden laskenta voi laitekohtaisesti olla haastava ja tällöin voi tulla harkittavaksi käyttää linjalta uloslähteneiden tuotteiden laskuria. [18, s. 92.]

Paikallisen tason laskentakaavat esitettynä PackTag-muuttujilla.

$$Availability = \frac{UnitName.Admin.ModeCumulativeTime[1]}{UnitName.Admin.AccTimeSinceReset} \quad (6)$$

$$Performance = \frac{UnitName.Admin.ProdProcessedCount[1].Count}{UnitName.Admin.ModeCumulativeTime[1] \times (UnitName.Admin.MachDesignSpeed/60)} \quad (7)$$

$$Quality = \frac{UnitName.Admin.ProdProcessedCount[1].Count - UnitName.Admin.ProdDefectiveCount[1].Count}{UnitName.Admin.ProdProcessedCount[1].Count} \quad (8)$$

Laitteen ohjausjärjestelmässä tapahtuvan kokonaistehokkuuden laskennan riskinä ovat käyttäjätoimenpiteiden välttämättömyys ja vaikutus laskentaan. Virheen laskentaan voi aiheuttaa esimerkiksi kesken tuotannon tapahtuva laskurin nollaus, jolloin laskenta ei kuvaa suunnitellun tuotantoajan kokonaistehokkuutta. Kaikkien laskureiden nollaus on suositeltavaa tapahtua samalla kertaa, jolloin muuttujien arvot eivät voi olla ristiriitaisia. Usein laitteen omassa OEE-laskennassa on tarkoitus tuottaa laitteen dataa laitteen toimivuudesta, ei välttämättä varsinaista tuotannonohjaukseen käytettävää tallennettavaa tuotekohtaista OEE-lukua. [18, s. 92.]

5.2.2 Ylemmät järjestelmät

Laskennan toteutus ylemmissä järjestelmissä on tarpeen, kun kokonaistehokkuutta halutaan tarkastella erilaisten määritysten kautta, kuten tuotekohtaisesti tai valitulta ajaväliltä. Tuotantotiedot tallennetaan tietokantaan, joka voi olla osa MES- tai ERP-järjestelmää tai erillinen OEE-laskentaa varten toteutettu historiatietokanta. Laskentaa varten ylempään järjestelmään välitettävät PackTag-muuttujat ovat lueteltu taulukossa 5. Muuttujien arvot päivitetään ylempään järjestelmään tapahtumien mukaan ja laskuriarvot esitetään intervallilla. [18, s. 94.]

Taulukko 5. OEE-muuttujat ja vastaavat PackTag-muuttujat (ylempi järjestelmä) [18, s. 94–95].

Muuttuja	PackTag-nimi
Laitteen moodi	UnitName.Status.UnitModeCurrent
Laitteen tila	UnitName.Status.StateCurrent
Kokonaismäärä	UnitName.Admin.ProdProcessedCount[#].AccCount
Hylätyt tuotteet	UnitName.Admin.ProdDefectiveCount[#].AccCount
Nimellistuotantokyky	UnitName.Admin.MachDesignSpeed
Toteutunut nopeus	UnitName.Admin.CurMachSpeed

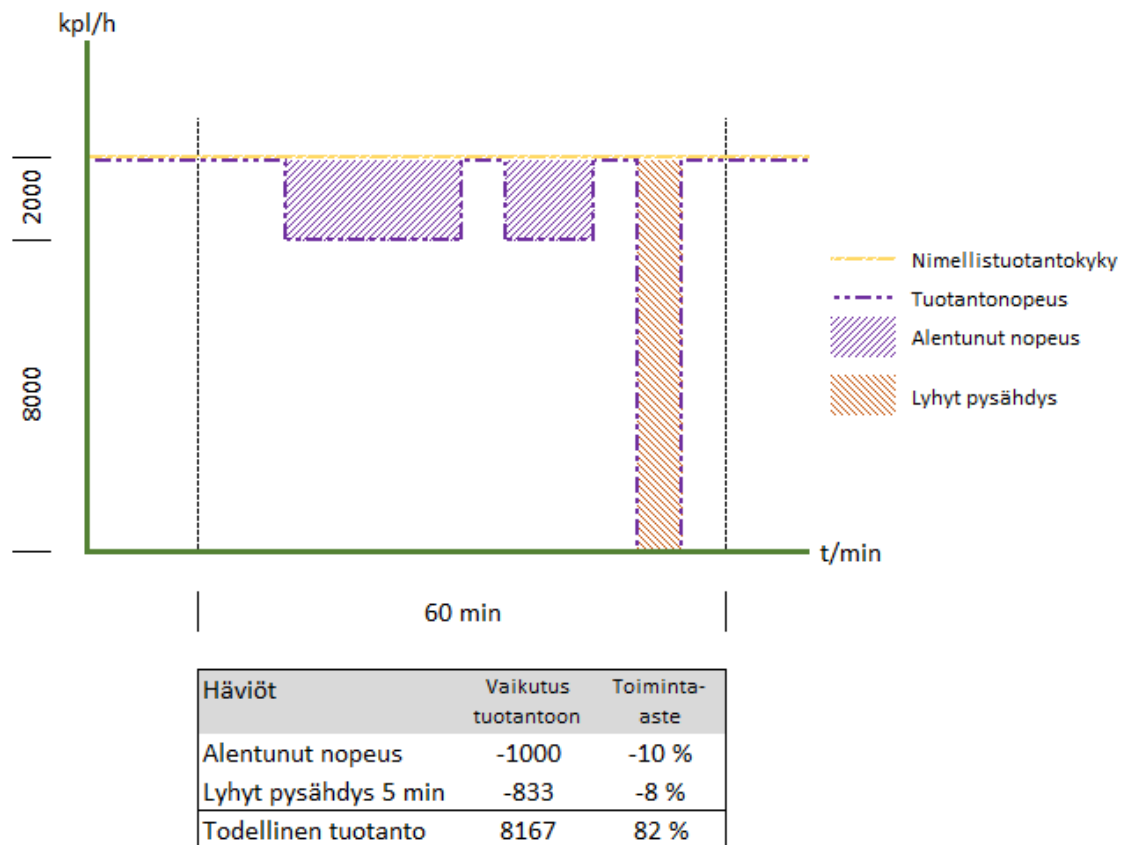
Käytettävyyden laskentaa varten ylempään järjestelmään välitetään laitteen moodin ja tilan muutokset. Järjestelmä tallentaa tapahtumien ajankohdat ja algoritmien avulla laskee tuotanto- ja häiriöajat. Järjestelmä saa suunnitellun tuotantoajan sisäisesti tai toisesta järjestelmästä. [18, s. 94.]

Toiminta-asteen laskennassa käytetään laitteen kokonaismäärän laskuriarvoa, joka ei ole nollattava muuttuja. Laskurin datatyyppi on DINT ja se alottaa uudelleen arvosta 0 saavutettuaan maksimiarvosta. Järjestelmä laskee tuotantotilaukkoittaisen tuotantomäärän arvon muutoksen perusteella. Nimellistuotantokyky voi olla järjestelmän sisäinen tai toisesta järjestelmästä tai laitteen ohjausjärjestelmästä saatava arvo. Tämä arvo on laiteasetus- ja tuotekohtainen kiinteä arvo, eikä se muutu tuotantotilauksen aikana. [18, s. 94.]

Laatukertoimen laskennassa käytetään myös laskureita, joiden arvoa ei ohjausjärjestelmässä nollata. Laskennassa kokonaismäärän ja hylättyjen tuotteiden laskureiden erotus lasketaan ylempään järjestelmään ja se tallennetaan soveltuvalla intervallilla tietokantaan. [18, s. 95.]

PackTagien avulla on mahdollista analysoida toiminta-astetta heikentäneiden häviöiden lähde. Esimerkiksi TPM:n mukaisten alentuneen nopeuden ja lyhyiden pysähdysten vaikutus saadaan selville laitteen tuotantomoodin tilamuutoksista sekä toteutuneesta tuotantonopeudesta tallennetusta datasta (kuva 22). Laitteen alentuneen nopeuden kesto-aika lasketaan historiajärjestelmään tallennetuista toteutuneen nopeuden muuttujan kirjauksista. Tuotantonopeuden kirjauksista tulee huomioida vain se aika, jolloin laite on ollut tuotantotilassa. Tuotannon lyhyt pysähdys saadaan selville laitteen tilan muutoksesta tuotantotilasta (execute) keskeytystilaan (suspend) tai pitotilaan (held). Hälytyslistan muutokset tallennetaan ylempään järjestelmään ja niistä voidaan tarkemmin päätellä

laitteen tilanmuutoksen syy. Tallennettaessa tietokantaan kaikki laitteen tilanmuutokset, laskuriarvot, hälytystiedot ja parametrit tulkittavaa dataa kertyy huomattava määrä. Tällaisen datan tulkitseminen ja esittäminen vaativat monimutkaista laskentaa ylempäässä järjestelmissä. [18, s. 96.]



Kuva 22. Häviöiden vaikutus toiminta-asteeseen.

5.2.3 Tuotantolaitteiden häiriötiedot

Laitteen häiriötiedoilla tarkoitetaan varoitus- ja hälytystapahtumia, jotka ilmaistaan laitteen ohjauspaneelilla käyttäjälle sekä ne voidaan lähettää pakkauslinjan muille laitteille ja ylempiin järjestelmiin. Häiriötapahtumat kertovat laitteen normaalista poikkeavasta toiminnasta ja ne on jaettu kahteen ryhmään varoituksiin ja hälytyksiin. Varoitukset eivät keskeytä laitteen toimintaa, ne ovat informatiivista tietoa laitteen käyttäjälle ja kunnossapidolle. Tällainen viesti voi olla esimerkiksi hetkellinen liian alhainen tai korkea lämpötila, joka ei kuitenkaan estä laitteen normaalia toimintaa. Hälytystapahtumissa laitteen toiminta keskeytetään ja se siirtyy häiriölle ennalta määritettyyn tilaan.

Kokonaistehokkuuden raportoinnissa häiriötiedoilla luokitellaan aikahävikin laatu. Toistuvien yksittäisten hälytysten aiheuttamat linjan lyhyet pysäytykset saattavat aiheuttaa merkittävää aikahävikkiä tuotantolinjalle. Laitteen ohjauspaneelilla voi näkyä useampi hälytys pysäytystapahtuman jälkeen, eräänlaisena ketjuna tapahtumista. Tällaisesta informaatiosta voi käyttäjän olla hankala tulkita, mikä oli pääsyy laitteen pysäytykseen. PackTagien avulla häiriöt saadaan tallennettua tietokantaan aikapohjaisesti ja tästä voidaan tulkita hälytys, joka on pysäyttänyt laitteen. Tallennettua dataa voidaan jälkikäteen ylemmässä järjestelmässä tulkita tapahtumaketjujen selvittämiseksi. Historiatietokantojen kautta tapahtumien kestot voidaan raportoida ja laitteen huoltoon tai parannukseen voidaan kohdentaa tarvittavat resurssit. [18, s. 95–96.]

6 Yhteenveto

Insinööriyöni aiheeksi valikoitui tuotantoautomaatiojärjestelmiin liittyvät standardit ja tiedonsiirto sekä tuotantotehokkuus omasta mielenkiinnosta näitä asioita kohtaan. Selvitin insinööriyössä standardien merkityksen tuotantoautomaatioympäristölle ja sitä miten niitä voidaan hyödyntää teollisuuden järjestelmien kanssa. Standardien laajuus ja useamman toisiinsa liittyvän standardin käsittely rajasi yksittäisten aiheiden käsittelyn laajuutta. Työhön liittyi myös käytännön laboratoriotestejä tiedonsiirtoprotokollien ja PackML:n osalta. Näiden merkitys raportin sisällölle oli kuitenkin melko pieni, joten ne on rajattu käsitelyjen aiheiden ulkopuolelle.

Insinööriyötä tehdessä oppi merkittävästi materiaalin etsimisestä sekä luotettavien tietolähteiden arvioinnista. Työn kannalta kansainvälisten artikkeleiden kannat muodostuivat olennaisiksi osiksi lähdemateriaalien hakuja. Standardien hankala saatavuus sekä korkeat hankintakustannukset rajasivat osaa aiheiden käsittelystä suunniteltua suppeammaksi.

Insinööriyön sisällöstä muodostui omalle työlle tärkeä tietopohja laitteiden hankintaan sekä tuotantojärjestelmien integraatiota varten. Työssä mielenkiintoisimpia osia olivat TR88 ja PackML-standardit ja niiden käytännön sovellukset. Tiedonsiirtoprotokollista MQTT on tulevaisuudessa varmasti yleistyvä tiedonsiirtotapa, jonka ymmärtäminen auttaa omassa työssä erilaisten järjestelmämuutosten suunnittelussa.

Lähteet

- 1 Neugschwandtner, Georg, Reekmans, Maarten, Van der Linden, Dirk. 2013. An open automation architecture for flexible manufacturing. Verkkodokumentti. IEEE. <<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.metropolia.fi/stamp/stamp.jsp?arnumber=6648154>>. Luettu 1.5.2017.
- 2 Labs, Wayne. 2014. Manufacturing Intelligence: Using the Right Tools to Make the Right Decisions. Verkkodokumentti. BNP Media. <<https://search-proquest-com.ezproxy.metropolia.fi/docview/1498040856?accountid=11363>>. Luettu 1.5.2017.
- 3 Van der Linden, Dirk. How to apply ISA 88. Verkkodokumentti. Scientific Researcher. <appau.org.ua/files/320/ISA88_Notes.pdf>. Luettu 8.5.2017.
- 4 Scholten Bianca. 2007. Integrating ISA-88 and ISA-95. Verkkodokumentti. ISA. <<https://www.isa.org/pdfs/integrating-isa-88-and-isa-95>>. Luettu 13.5.2017.
- 5 Hoffmann, Max. 2015. Continuous integration of field level production data into top-level information systems using the OPC interface standard. Verkkodokumentti. Elsevier B.V. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115011385?via%3DihuD>>. Luettu 9.7.2017.
- 6 Sauter, Thilo. 2005. Integration aspects in automation - a technology survey. Verkkodokumentti. IEEE. <<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.metropolia.fi/stamp/stamp.jsp?arnumber=1611612>>. Luettu 13.5.2017.
- 7 PackML Unit/Machine Implementation Guide. Part 1: PackML Interface State Manager. 2016. Verkkodokumentti. OMAC. <<http://omac.org/workgroups/packml-unitmachine-implementation-guide/>>. Luettu 15.5.2017.
- 8 ANSI/ISA–88.01–1995. Batch Control Part 1: Models and Terminology. 1995. Verkkodokumentti. ISA. <<http://www.automatedresults.com/documents/S88-Batch-Standard.pdf>>. Luettu.22.5.2017.
- 9 Gifford, Charlie. 2007. The Hitchhiker's Guide to Manufacturing Operations Management; ISA-95 best practices book 1.0. Durham, North Carolina: ISA.
- 10 Gifford, Charlie. 2011. When Worlds Collide in Manufacturing Operations; ISA-95 best practices book 2.0. Durham, North Carolina: ISA.
- 11 Mahnke, Wolfgang. 2009. OPC Unified Architecture. Berlin: Springer.
- 12 What is OPC?. 2017. Verkkodokumentti. OPC Foundation. <<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>>. Luettu 9.7.2017.

- 13 Iwanitz, Frank. 2006. OPC Fundamentals, Implementation and Application. Heidelberg: Hüthig Verlag.
- 14 Virta, Jouko. 2010. SOA-Based Integration for Batch Process Management with OPC UA and ISA-88/95. Verkkodokumentti. IEEE. <<https://metropolia.finna.fi/PrimoRecord/pci.ieee10.1109%2FETFA.2010.5641286>>. Luettu 9.7.2017.
- 15 OPC Foundation Announces support of Publish / Subscribe for OPC UA. 2016. Verkkodokumentti. OPC Foundation. <<https://opcfoundation.org/news/opc-foundation-news/opc-foundation-announces-support-of-publish-subscribe-for-opc-ua/>>. Luettu 16.8.2017.
- 16 TSN and Pub/Sub. Real-time capability for OPC UA. 2016. Verkkodokumentti. <<https://www.br-automation.com/en/technologies/opc-ua/tsn-and-pubsub/>>. Luettu 16.8.2017.
- 17 MQTT Essentials Wrap-Up. 2016. Verkkodokumentti. HiveMQ. <<http://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-wrap-up>>. Luettu 15.7.2017.
- 18 ISA-TR88.00.02. Machine and Unit States: An Implementation Example of ISA-88. 2008. Verkkodokumentti. ISA. <http://sesam-world.com/_pdf/make2pack/mode/2010-11-29/Materiale/TR_880002.pdf>. Luettu 15.5.2017.
- 19 Understanding PackML; eLearning Video. 2014. Verkkodokumentti. Yaskawa America, Inc. <<https://www.yaskawa.com/delegate/getAttachment?documentId=eLV.Motion.01.PackML&cmd=documents&documentName=eLV.Motion.01.PackML.mp4>>. Luettu 21.5.2017.
- 20 OMAC PackML V3.0 for S7-1200 / S7-1500. 2015. Verkkodokumentti. Siemens. <<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/49970441>>. Luettu 27.5.2017.
- 21 Rockwell Automation and PackML. 2015. Verkkodokumentti. OMAC. <<http://omac.org/wp-content/uploads/2015/12/Rockwell-2015-OMAC-Presentation-PACKEXPO.pdf>>. Luettu 27.5.2017.
- 22 Higgins, Kevin. 2012. Focus on OEE: Increased Plant Floor Visibility Pays Off. Verkkodokumentti. BNP Media. <<http://search.proquest.com.ezproxy.metropolia.fi/docview/1010361535/fulltextPDF/FC3C352A38D14C57PQ/1?accountid=11363>>. Luettu 2.4.2017.
- 23 PSK 6201. Kunnossapito. 2003. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 24 PSK 7501. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2000. PSK Standardisointiyhdistys ry.

- 25 Nakajima, Seiichi. 1989. TPM development program: implementing total productive maintenance. Portland, Oregon: Productivity Press.
- 26 Moore, Ron. 2007. Selecting the right manufacturing tools. Burlington: Elsevier Science.
- 27 OEE Industry Standard. 2011. Verkkodokumentti. OEE Foundation. <<http://www.oeefoundation.org/>>. Luettu 22.4.2017.
- 28 Brennan, James, Grandison, Alistair. 2012. Food Processing Handbook. Weinheim, Saksa: Wiley-VCH.

OMAC PackTags

OMAC:n vähimmäistasolistaus PackTag-datamuuttujille [7, s. 67].

Table 19: Minimum PackTags*

PackTag type	PackTag	Example of End user term	Datatype	TR 88.00.02 Minimum tags	End user Minimum tags
Status	StateCurrent	State	INT(32)	X	X
Status	UnitModeCurrent	Mode	INT(32)	X	X
Status	MachSpeed	Nominal Speed	REAL	X	X
Status	CurMachSpeed	Current Speed	REAL	X	X
Status	EquipmentInterlock.Blocked	Blockage	BIT	X	X
Status	EquipmentInterlock.Starved	Starvation	BIT	X	X
Status	Parameter [#]	Machine data/parameter	Array Structure		X
Status	Parameter[#].ID	Parameter ID	INT(32)		X
Status	Parameter[#].Name	Name of parameter	STRING		X
Status	Parameter[#].Unit	Unit of measure	STRING[5]		X
Status	Parameter[#].Value	Value of parameter	User Defined		X
Status	RemoteInterface.Parameter[#]	Additional production data	Structure		X
Status	RemoteInterface.Parameter[#].ID	Parameter ID	INT(32)		X
Status	RemoteInterface.Parameter[#].Name	Name of parameter	STRING		X
Status	RemoteInterface.Parameter[#].Unit	Unit of measure	STRING[5]		X
Status	RemoteInterface.Parameter[#].Value	Value of parameter	REAL		X
Admin	Warning[#]	Warning	Array Structure		X
Admin	Warning[#].Trigger	Trigger	Bool		X
Admin	Warning[#].ID	ID	Int (32bit)		X
Admin	Warning[#].Value	Value	Int (32bit)		X
Admin	ProdDefectiveCount	OEE.Bad count	INT(32)	X	X
Admin	ProdProcessedCount	OEE.Total count	INT(32)	X	X
Admin	StopReason.ID	Event and stop reason	INT(32)	X	X
Admin	StopReason.Value	Detailed Error Information	INT(32)		X
Command	CntrlCmd	Command	INT(32)	X	X
Command	Parameter [#]	Machine data/parameter	Array Structure		X
Command	Parameter[#].ID	Parameter ID	INT(32)		X
Command	Parameter[#].Name	Name of parameter	STRING		X
Command	Parameter[#].Unit	Unit of measure	STRING[5]		X
Command	Parameter[#].Value	Value of parameter	User Defined		X
Command	RemoteInterface.Parameter [#]	Additional Production data	Array Structure		X
Command	RemoteInterface.Parameter[#].ID	Parameter ID	INT(32)		x
Command	RemoteInterface.Parameter[#].Name	Name of parameter	STRING		x
Command	RemoteInterface.Parameter[#].Unit	Unit of measure	STRING[5]		x
Command	RemoteInterface.Parameter[#].Value	Value of parameter	REAL		x
Command	UnitMode	Mode	INT(32)	X	X
Command	UnitModeChangeRequest	Change mode	BOOL	X	X
Command	MachSpeed ²⁶	Mach Speed	REAL	X	X
Command	CmdChangeRequest	Change command	BOOL	X	X

X = Supported.