



Pakkaus koneen aseptisen tilan etävalvonta

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Kevät 2025

Janne Heinäsmäki

Tämä opinnäytetyö tehtiin Elecster Oyj:lle, joka on erikoistunut aseptisten pakkauskoneiden, pakkausmateriaalien ja iskukuumennuslaitteistojen valmistukseen. Työn tavoitteena oli kehittää tilaajan käyttämään NouxCloud -etävalvontajärjestelmään ohjelma, joka valvoo aseptisen pakkauskoneen aseptista tilaa ja jättää digitaalisen jäljen tilan rikkoutuessa. Pakkauskoneen aseptinen tila tarkoittaa sitä, että se on pesu- ja sterilointimenetelmillä puhdistettu mikrobeista, eikä uusia mikrobeja pääse kontaktiin pakattavan tuotteen, pakkausmateriaalin tai pakkauskoneen olennaisten komponenttien kanssa. Pakkauskoneen pakkaaman iskukuumennetun tuotteen (esim. maidon) tulee säilyä avaamattomana huoneenlämmössä, joten on tärkeää, että se pidetään vapaana mikro-organismikontaminaatiosta. Tavoitteena oli myös tehdä valvonta aseptista tilaa edeltäville puhtaalle tilalle ja steriilille tilalle. Tieto tiloista esitettäisiin visuaalisesti etävalvontajärjestelmän kojelautanäkymässä, johon sekä tilaajalla että pakkauskonetta käyttävällä meijerillä olisi pääsy.

Ohjelma tehtiin mukaillemalla pakkauskoneen sisäisen aseptisen valvontajärjestelmän toimintaperiaatetta, joka valvoo koneen toimintaa ja pitää huolen siitä, että puhdas, steriili ja aseptinen tila saavutetaan ja ylläpidetään oikein. Pakkauskoneen sisäisessä valvontajärjestelmässä on kuitenkin mahdollista valita, estetäänkö pakkauskoneella ajo aseptisen tilan rikkoutuessa. Näillä valinnoilla ei ole vaikutusta etävalvontajärjestelmään, joka valvoo tiloihin liittyviä toimintoja suoraan pakkauskoneen logiikan tulo- ja lähtöporteista. Ohjelma kehitettiin etävalvontajärjestelmään sisältyvässä dataflow-ohjelmointiympäristössä.

Työn valmistuttua tilaaja sai käyttämänsä etävalvontajärjestelmään tiedon pakkauskoneen puhtaasta, steriilistä ja aseptisestä tilasta. Jos pakattu tuote pilaantuu ennen aikojaan, voidaan etävalvontajärjestelmästä tarkistaa, onko tilat saavutettu oikein ja onko jokin aseptisen tilan rikkova tapahtuma tapahtunut. Tällä tiedolla sekä tilaaja, että meijeri voivat ongelmatilanteessa helpommin poissulkea käyttäjävirheet.

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering Abstract
Author Janne Heinäsmäki Year 2025
Subject Remote Monitoring of a Packaging Machine's Aseptic State
Supervisors Juhani Henttonen (HAMK), Kari Koski (Elecster Oyj)

This thesis was commissioned by Elecster Oyj, which specializes in the manufacturing of aseptic packaging machines, packaging materials and Ultra High Treatment machines. The aim of the thesis was to develop a program that monitors a packaging machine's aseptic state within a remote monitoring system used by the customer called NouxCloud. The program would monitor the packaging machine's aseptic state and would leave a digital trace in case of a breach. When a packaging machine is in an aseptic state, it means that the machine has been cleared of microbes by means of cleaning and sterilization, and that no new microbes come into contact with the product, packaging material or the machine's essential components. The aim was also to develop monitoring programs for the machine's clean state and sterile state, which are preconditions for the aseptic state. Information about these states would be presented visually in the remote monitoring system's dashboard. Both the customer and the dairy using the machine would have access to this dashboard.

The program was made with the same principles as the packaging machine's internal aseptic monitoring system that monitors the machine and makes sure that the states are achieved and maintained properly. However, in the internal monitoring system it is possible to determine whether production will be denied in case of a breach in the aseptic state. This selection has no bearing on the remote monitoring system, which gets its information directly from the packaging machine's programmable logic controller. The program was developed in a dataflow environment included in the remote monitoring system.

As a result of this thesis project, the remote monitoring system displayed information about the packaging machine's clean, sterile and aseptic states. If the packaged product spoils before its best before date, the remote monitoring system can be checked to see, whether the states were achieved and if something breached the aseptic state. With this information, if a problem occurs, both the customer and the dairy can better exclude user errors in the machine's operation.

Keywords Aseptic, remote monitoring, ultra-heat treatment, dairy industry
Pages 26 pages and appendices 22 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	EA-pakkauskone	2
2.1	Yleisrakenne	2
2.2	Toiminta	3
3	Pakkauskoneen saattaminen aseptiseen tilaan	3
3.1	Clean In Place (CIP)	3
3.2	Sterilisaattori	4
3.3	Elecster Sterile Water heating system (ESW)	4
3.4	Elecster Sterile Air (ESA)	6
3.5	Elecster Aseptic Control (EAC)	6
4	NouxCloud	7
4.1	Ohjelmiston kuvaus	7
4.2	Pakkauskoneen kommunikointi NouxCloudin kanssa	9
5	Tilojen valvonta NouxCloudissa	9
5.1	Dataflow	9
5.2	Aseptisen tilan valvonta	11
5.2.1	Valvottavat muuttujat	11
5.2.2	Ohjelman rakenne ja logiikka	12
5.2.3	Sähköposti-ilmoitukset	16
5.2.4	Testaus ja haasteet	17
5.3	Steriilin tilan valvonta	18
5.4	Puhtaan tilan valvonta	19
5.5	Tulokset kojelautanäkymässä	20
6	Pohdinta	23
6.1	Työn tulokset	23
6.2	Haasteet ja opit	24
6.3	Tulevaisuuden kehitysnäkymät	25
	Lähteet	26

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. EA-8000 pakkauskone	2
-----------------------------------	---

Kuva 2. NouxCloud-sovelluksen toimintaperiaate	8
Kuva 3. Dashboard-näkymä.....	9
Kuva 4. Dataflow-ympäristö.	10
Kuva 5. Saumauskaappien ovien aukiolotiedon ohjelma.....	12
Kuva 6. Logical NOT.....	13
Kuva 7. ESA:n puhallinta ja painetta valvovat ohjelmat.....	14
Kuva 8. UV-valojen toimintaa valvova ohjelma.....	15
Kuva 9. Ensimmäisen pakkauspään aseptisen tilan yhteenvedon ohjelma.	16
Kuva 10. Saumauskaappien ovien sähköposti-ilmoitukset.	17
Kuva 11. Ensimmäisen pakkauspään steriiliä tilaa valvova ohjelma.....	19
Kuva 12. Ensimmäisen pakkauspään puhdasta tilaa valvova ohjelma.	20
Kuva 13. Vaihteleva muuttuja.	20
Kuva 14. Yhteenvedo ja sähköposti-ilmoitusten valinta.....	21
Kuva 15. Saumauskaappien ovien kuvaaja.....	22
Kuva 16. Puhtaan tilan kuvaaja.....	23

Liitteet

- Liite 1. Vetyperoksidikaappien ovien aukiolotiedon ohjelma.
- Liite 2. UV-kaappien ovien aukiolotiedon ohjelma.
- Liite 3. V14 venttiilien aukiolotiedon ohjelma.
- Liite 4. Toisen pakkauspään UV-valojen ohjelma.
- Liite 5. Kolmannen pakkauspään UV-valojen ohjelma.

- Liite 6. Neljännen pakkauspään UV-valojen ohjelma.
- Liite 7. Toisen pakkauspään aseptisen tilan ohjelma.
- Liite 8. Kolmannen pakkauspään aseptisen tilan ohjelma.
- Liite 9. Neljännen pakkauspään aseptisen tilan ohjelma.
- Liite 10. Vetyperoksidikaappien sähköposti-ilmoitusten ohjelma.
- Liite 11. UV-kaappien sähköposti-ilmoitusten ohjelma.
- Liite 12. V14 venttiilien sähköposti-ilmoitusten ohjelma.
- Liite 13. Toisen pakkauspään steriilin tilan ohjelma.
- Liite 14. Kolmannen pakkauspään steriilin tilan ohjelma.
- Liite 15. Neljännen pakkauspään steriilin tilan ohjelma.
- Liite 16. Esisteriloinnin minimiajan muuttuja.
- Liite 17. Toisen, kolmannen ja neljännen pakkauspään puhtaan tilan ohjelmat.
- Liite 18. Vetyperoksidikaappien ja UV-kaappien ovien kuvaajat.
- Liite 19. ESA:n käyntitiedon ja paineen sekä V14 venttiileiden kuvaajat.
- Liite 20. UV-valojen kuvaaja.
- Liite 21. Steriilin ja aseptisen tilan kuvaajat.
- Liite 22. Tuoteputkien lämpötilojen kuvaajat ja pakkauskoneen tilatiedon kuvaaja.

1 Johdanto

Työn tilaaja oli Elecster Oyj, joka suunnittelee ja valmistaa iskukuumennettujen tuotteiden käsittely- ja pakkauskoneita, sekä niihin liittyviä pakkausmateriaaleja. Iskukuumennuksessa eli UHT (Ultra High Temperature) -käsittelyssä pakattavan elintarvikkeen lämpötila nostetaan hetkellisesti yli 140 °C:een. Korkea lämpötila tuhoaa pilaantumista aiheuttavat pieneliöt, mikä mahdollistaa tuotteen esim. maidon pitkäaikaisen säilyvyyden ilman kylmäketjua ja lisäaineita. (Elecster Oyj, 2015, s. 42)

Laitteiston suunnittelu, tuotekehitys, kokoonpano sekä koeajot suoritetaan emoyhtiön päätehtaalla, joka sijaitsee Pirkanmaalla Akaassa. Emoyhtiöllä on myös tuotantolaitos Suomessa Reisjärvellä sekä tytäryhtiö Kenian Nairobissa, jotka molemmat keskittyvät pakkauskalvon valmistukseen. Konsernin liikevaihto vuonna 2022 oli 42,68 miljoonaa euroa ja kansainvälisen liiketoiminnan osuus liikevaihdosta oli 92,8 %. Elecster Oyj:n henkilöstön määrä on noin 203, joista ulkomailla on noin 100 henkilöä. (Elecster Oyj, 2022, ss. 46–48, 9)

Työn tilaaja haki ratkaisua ongelmaan, jossa pakkauskoneita valvovassa etävalvontajärjestelmässä ei esitetty dataa pakkauskoneen aseptisesta tilasta, eikä aseptisen tilan rikkoutuminen jättänyt digitaalista jälkeä. Pakkauskoneen aseptinen tila tarkoittaa sitä, että se on puhdistettu mikrobeista, eikä uusia mikrobeja pääse kontaktiin pakattavan tuotteen tai koneen kriittisten komponenttien kanssa. Jotta iskukuumennettu tuote säilyttää siltä vaaditut ominaisuudet pakkaamisen jälkeen, on ensiarvoisen tärkeää, että pakattavan tuotteen kulkuväylä pidetään vapaana mikro-organismikontaminaatiosta. Toimeksiantajan pyynnöstä etävalvontajärjestelmään tehtiin myös puhtaan ja steriilin tilan valvonta. Puhdas ja steriili tila ovat aseptista tilaa edeltäviä tiloja, jotka molemmat täytyy saavuttaa ennen kuin pakkauskone voi mennä aseptiseen tilaan.

Tavoitteena oli, että työn valmistuttua etävalvontajärjestelmässä voitaisiin esittää dataa pakkauskoneen puhtaasta, steriilistä ja aseptisesta tilasta. Datasta tuli ongelmatilanteen tapahtuessa olla luettavissa, milloin aseptinen tila rikkoutui ja mikä tapahtuma aiheutti rikkoutumisen. Tämän datan avulla käyttäjävirheiden poissulkeminen ongelmatilanteessa helpottuisi merkittävästi. Koneen omistava meijeri voisi myös hyödyntää tätä dataa omien sisäisten toimintamalliansa kehittämisessä. Meijerille tarjottaisiin myös mahdollisuus vastaanottaa reaaliaikaisia sähköpostiviestejä aseptisesta tilasta.

2 EA-pakkauskone

2.1 Yleisrakenne

EA-sarjan pakkauskoneen rakenne koostuu pääpiirteiltään pakkauspäästä, tuoteputkistosta ja sähkökeskuksesta. Pienimmässä EA-4000 pakkauskoneessa on yksi pakkauspää. Pakkauspäitä lisätään sen mukaan, onko kone kaksipäinen EA-8000, kolmipäinen EA-12000 vai nelipäinen EA-16000. Jokainen pakkauspää sisältää oman saumauskaapin, vetyperoksidikaapin, UV-kaapin, kalvokaapin ja annostelijan.

Kuvassa 1 on esitetty kaksipäinen EA-8000 sarjan pakkauskone jonka 1. pakkauspään kaappien ovet ovat koneen päällä sijaitsevaa UV-kaappia lukuun ottamatta auki. Saumauskaappi on pään vasemmalla puolella, vetyperoksidikaappi keskellä ja kalvokaappi oikealla.

Kuva 1. EA-8000 pakkauskone (Heinäsmäki, 2024).



2.2 Toiminta

Elecsterin sisäisen EA-sarjan pakkauskoneiden käyttöohjeen mukaan pakkauskone toimii siten, että saumauskaapissa sijaitseva vetolaite vetää pakkauskalvoa kalvokaapista vetyperoksidikaapin ja UV-kaapin kautta saumauskaappiin. Auki vedettävä pakkauskalvorulla pyörii kalvokaapissa olevalla akselilla. Akselissa on jousijarru, joka estää kalvorullan pyörimisen silloin kun vetolaite ei vedä kalvoa. Kalvokaapissa on myös kaksi UV-valoa. Pakkauskalvoa vedetään kalvokaapista vetyperoksidikaappiin. Vetyperoksidikaapissa pakkauskalvo upotetaan kokonaan vetyperoksidikylpyyn, mikä steriloi pakkauskalvon pinnat. Vetyperoksidikylvyn jälkeen pakkauskalvo kuivataan molemmilta puolilta kuivauskumien avulla. Vetyperoksidikaapista pakkauskalvo vedetään ylös pakkauskoneen päällä sijaitsevaan UV-kaappiin, missä tapahtuu viimeinen pakkauskalvon sterilointivaihe. UV-kaappi sisältää lukuisia UV-valoja, joiden välistä kalvo vedetään kaulukselle, joka taittaa pakkauskalvon putkimaiseen muotoon ennen saumauskaappiin siirtymistä. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

Saumauskaapin sisällä kalvo vedetään tuoteputken ympärille, jonka jälkeen kalvo saumataan kiinni pystysuuntaisesti. Putkimaiseen muotoon saumattua kalvoa vedetään vielä enemmän alaspäin tuoteputken päädyn yli, jonka jälkeen kone annostelee putkimaiseen kalvoon halutun määrän pakattavaa tuotetta. Kalvo saumataan kiinni vaakasuunnassa välittömästi tuotteen annostelun jälkeen, luoden näin valmiin pussin. Vaakasaumaus sulattaa pussin irti kalvosta ja luo alemman vaakasauman seuraavalle pussille. Irti sulatettu pussi siirtyy lopuksi hihnakuljetinta pitkin jatkopakkaukseen, selviää Elecsterin sisäisestä EA-sarjan pakkauskoneiden käyttöohjeesta. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

3 Pakkauskoneen saattaminen aseptiseen tilaan

3.1 Clean In Place (CIP)

CIP-pesu eli kiertopesumenetelmä on prosessi, jossa puhdistus- ja huuhteluaineet kiertävät suljetussa järjestelmässä tuoteputkiston sisällä siten, että putkistoa ei tarvitse erikseen purkaa pesua varten. Monivaiheiseen kiertopesumenetelmään kuuluu aina esihuuhtelu, pesu ja huuhtelu. Prosessi alkaa esihuuhtelulla, jonka tarkoituksena on huuhtoa tuotejäämät ja helposti irtoava lika pois tuoteputkiston pinnoilta kylmällä tai kuumalla vedellä. Itse pesuvaiheessa esihuuhtelun jäljiltä jäänyt lika pyritään siirtämään pesuaineliuokseen. Pesua

seuraa huuhtelu, jonka tarkoituksena on puhdistaa järjestelmä pesuainenesteistä. (Perkiömäki ym., 2013, ss. 21–22)

Puhdistusaineen pitoisuus ja virtausnopeus, lämpötila ja pesun aika ovat keskeiset tekijät tehokkaan pesun saavuttamisessa. Pesunesteen virtauksen tulee olla vähintään 1,5 m/s, jotta saadaan aikaan riittävä turbulenttinen virtaus. Turbulenttinen virtaus kohdistuu putkistoon mekaanisena voimana, irrottaen likaa tehokkaammin. (Perkiömäki ym., 2013, s. 22)

3.2 Sterilisaattori

Pakkaus koneella pakattavan tuotteen UHT-käsittely suoritetaan sterilisaattorilla. Pakkaus koneen esisterilointi ja CIP-pesu voidaan suorittaa joko sterilisaattorilla tai ESW-järjestelmällä. CIP-pesun ja esisteriloinnin toimintaperiaatteet ovat molemmilla laitteilla samanlaiset ja ne on kuvailtu tarkemmin ESW-järjestelmän esittelyn yhteydessä kappaleessa 3.3.

Laitteen rakenne on kuvailtu Elecsterin sisäisessä sterilisaattorin käyttöohjeessa. Sterilisaattori koostuu lämmönvaihdinyksiköstä, tuote- ja vesipumpuista, lukuisista venttiileistä, CIP-laitteista, kahdesta sähkökeskuksesta ja säiliöistä. Lämmönvaihdin sisältää viisi lämmönvaihdinta, proteiinien stabilointiputken sekä pitoputken. CIP-laitteistoon kuuluu pesuainesäiliöt, yksi tai useampi pesuaineiden annosteluventtiili sekä CIP-pesuun liittyvät venttiilit. Järjestelmään kuuluu myös erillinen homogenisaattori. Sähkökeskukset ovat eritelty siten, että laitteen runkoon integroitu sähkökeskus sisältää pääosin laitteen ohjaussähköstä vastaavat komponentit ja laitteen rungosta erillään oleva sähkökeskus sisältää sterilisaattorin ja homogenisaattorin pumppujen taajuusmuuntajat. Sterilisaattorin manuaaliset toiminnot suoritetaan runkoon integroidun sähkökeskuksen ovelta olevasta näyttöpäätteestä. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

3.3 Elecster Sterile Water heating system (ESW)

EA-sarjan pakkaus koneiden tuoteputkistojen steriloinnissa ja pesussa voidaan sterilisaattorin sijaan hyödyntää ESW-järjestelmää, jonka rakenne on kuvailtu Elecsterin sisäisessä ESW-järjestelmän käyttöohjeessa. Järjestelmä on erillään pakkaus koneesta, sisältäen oman sähkökeskuksen sekä PLC:n (Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikkaohjain). ESW-järjestelmä liitetään pakkaus koneeseen putkillla ja signaalikaapeleilla laitteiden

käyttöönottojen yhteydessä. Kaksiosainen ESW-järjestelmä koostuu ESW-yksiköstä sekä ESW-CIP-yksiköstä. ESW-yksikkö koostuu pääpiirteittäin lämmönvaihtimesta, sähkökeskuksesta, käyttäjäpaneelistä, pumpusta, lukuisista ohjausventtiileistä sekä aseptisista liitäntäventtiileistä. ESW-CIP-yksikkö koostuu pääpiirteiltään säiliöstä, kahdesta pesuainesäiliöstä, pumpusta sekä lukuisista ohjausventtiileistä. ESW-järjestelmä steriloi ja puhdistaa pakkauskoneen tuoteputkiston esisteriloinnilla ja CIP-pesulla. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

Elecsterin sisäisen ESW-järjestelmän käyttöohjeen mukaan putkiston sterilointi alkaa, kun esisterilointitilassa ESW-järjestelmän vedentuloventtiili aukeaa ja vettä alkaa virtaamaan ESW-järjestelmään ja pakkauskoneeseen. Kun järjestelmässä on riittävästi vettä, vedentuloventtiili sulkeutuu ja järjestelmä paineistetaan. Vesi alkaa kiertämään nyt suljetussa järjestelmässä, kun kiertopumppu sekä lämmitin aktivoidaan käyttäjäpaneelin kytkimistä. Lämmönvaihtimen lämmityspuolella yli 121 °C:n lämmitetty vesi kiertää ESW-järjestelmän kautta pakkauskoneelle ja takaisin lämmönvaihtimelle. Lämmitettyä vettä kierrätetään järjestelmässä vähintään 20 minuuttia siitä hetkestä, kun lämpötila saavutetaan, tuhoten kaikki patogeeniset ja pilaantumista aiheuttavat bakteerit. Käyttäjäpaneelin näyttöpäätteestä on mahdollista muokata pumpun nopeutta sekä lämpötilan arvoa, jos standardeista poikkeaminen on tarpeen. Kun kuuma vesi on kiertänyt järjestelmässä tarvittavan ajan, järjestelmä siirtyy kaksiosaiseen jäähdytysvaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa jäähdytysventtiili aukeaa, ja kuuma vesi alkaa kiertämään lämmönvaihtimen jäähdytyspuolen kautta. Järjestelmä valvoo pakkauskoneelta takaisin virtaavan veden lämpötilaa. Kun virtaavan veden lämpötila saavuttaa tietyn arvon, järjestelmä siirtyy toiseen jäähdytysvaiheeseen, missä pakkauskoneen ja ESW-järjestelmän yhdistävä aseptinen venttiili sulkeutuu ja veden kierto keskeytyy. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

Elecsterin sisäisen ESW-järjestelmän käyttöohjeen mukaan CIP-pesussa käytetään natriumhydroksidia ja typpihappoa. ESW-järjestelmä aloittaa pesun huuhtelemalla putkiston. Ensimmäisen huuhtelun jälkeen putkistoon syötetään automaattisesti ESW-järjestelmän säiliöön muodostettua natriumhydroksidi pesuliuosta. Pesuliuos kiertää putkistossa pakkauskoneen kautta takaisin ESW-järjestelmään halutun ajan, minkä jälkeen se päästetään putkistosta ulos ja hävitetään. Pesulioksen jämät huuhdellaan putkistosta pois, minkä jälkeen putkistoon syötetään typpihappo pesuliuosta. Samoin kuten natriumhydroksidin kanssa, typpihappoliuosta kierrätetään putkistossa haluttu aika, minkä jälkeen se päästetään putkistosta ulos. Putkisto huuhdellaan vielä kerran, minkä jälkeen pesu on suoritettu ja ESW-järjestelmä pysäyttää pesun. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

3.4 Elecster Sterile Air (ESA)

EA-sarjan pakkauskoneiden kalvokaapit, UV-kaapit ja saumauskaapit ovat ylipaineistettu ESA-järjestelmän tuottamalla steriilillä ilmalla. Saumauskaappien ylipaineistuksella pyritään estämään ilmassa olevien mikrobien pääsy saumauskaapin sisälle, missä ne voivat tulla kontaktiin pakattavan tuotteen tai pakkausmateriaalin kanssa.

Elecsterin sisäisen ESA:n käyttöohjeen mukaan järjestelmä koostuu ilmanotto puhaltimesta, lukuisista turva- ja hallintaventtiileistä, esisuodattimista, steriilisuodattimista, ilmalinjasta sekä höyrylinjasta. Puhallin imee ympäröivää sisäilmaa sisääntulokanavan kautta. Sisään tuleva ilma suodatetaan ensin esisuodattimilla, minkä jälkeen ilma paineistetaan. Esisuodatettu ilma johdatetaan steriilisuodattimien läpi pakkauskonetta kohti. Steriilisuodattimet poistavat ilmasta bakteereja, mikro-organismeja ja muita epäpuhtauksia. Steriilisuodattimien sterilointi ennen tuotantoa tapahtuu meijerissä tuotetulla höyryllä. Steriloinnin aikana yksikön puhaltimelta tuleva ilmalinja suljetaan, jotta höyry ei pääse vahingoittamaan puhallinta. Steriloinnin jälkeen suodattimiin kerääntynyt kondenssivesi valutetaan suodattimista pois. Yksikön tuottama steriili ilma puhalletaan saumauskaappeihin. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

Järjestelmä kytketään pakkauskoneen sähkökeskukseen käyttöönoton yhteydessä. Pakkauskoneen PLC ohjaa järjestelmän toimintaa ja manuaaliset toiminnot suoritetaan pakkauskoneen näyttöpäätteeltä. Itse ESA-järjestelmä ei sisällä PLC:tä, näyttöpäätettä tai omaa sähkökeskusta.

3.5 Elecster Aseptic Control (EAC)

Elecsterin sisäisen EAC:n (Elecster Aseptic Control) käyttöohjeen mukaan EAC on järjestelmä, jonka tarkoituksena on varmistaa aseptisen tilan oikeaoppinen saavuttaminen ja ylläpito. EA-sarjan pakkauskoneeseen sisäänrakennettu järjestelmä ohjaa koneen käyttäjiä pesuun ja sterilointiin valmistautumisessa sekä tiedottaa koneen käyttäjiä prosessien eri vaiheista. EAC mahdollistaa myös tuotannon estämisen paikallisesti sellaisessa tilanteessa, jossa haluttua steriiliyden tasoa ei ole saavutettu tai se on vaarantunut. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, 2018)

Elecsterin suunnittelijoiden mukaan pakkauskoneessa ei ole mitään yhtä mikrobien määrää mittaavaa anturia. Pakkauskoneen aseptisen tilan saavuttaminen päätellään useiden

välillisten antureiden tietojen perusteella. Sama periaate pätee aseptisen tilan valvonnassa. Jos esimerkiksi jokin ovi avataan tuotannon aikana, täytyy olettaa, että mikrobeja on päässyt kontaktiin pakattavan tuotteen kanssa. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, 2025)

Elecsterin sisäisen EAC:n käyttöohjeen mukaan EAC:n toiminta perustuu kolmeen eri tilaan, joissa jokaisessa on tietyt vaatimukset steriiliyden suhteen. Pakkauskoneen vieminen lähtötasosta EAC:n tilat täyttävään tuotantovalmiuteen edellyttää, että jokainen EAC:n tila suoritetaan hyväksytysti. Tilat suoritetaan tietyssä järjestyksessä ja seuraavaan tilaan siirtyminen vaatii kaikkien edellisten tilojen vaatimusten täyttymisen. EAC:n kolme eri tilaa ovat seuraavat:

1. **Puhdas tila.** Pakkauskone saavuttaa puhtaan tilan, kun sterilisaattori tai ESW-järjestelmä on suorittanut CIP-pesun hyväksytysti.
2. **Steriili tila.** Pakkauskone saavuttaa steriilin tilan, kun sterilisaattori tai ESW-järjestelmä on CIP-pesun lisäksi suorittanut esisteriloinnin hyväksytysti.
3. **Aseptinen tila.** Aseptisessä tilassa kone on saavuttanut steriilin tilan ja täyttänyt kaikki muut sille asetetut vaatimukset. Tuotanto on mahdollista aloittaa koneen saavutettua aseptisen tilan.

EAC:n asetuksista voidaan määritellä, mitä steriiliyteen liittyviä asioita halutaan valvoa. Valvottavien asioiden tila näytetään paikallisesti pakkauskoneen näyttöpäätteellä. Valvomisen lisäksi asetuksista voidaan määritellä, estetäänkö koneella ajo jonkin tietyn toiminnon tilan muuttuessa. Viimeinen asetus on viiveaika, jonka kone odottaa tilan muutoksen ja ajoneston aktivoinnin välillä. Jos viiveaikaa ei muuteta manuaalisesti, järjestelmä käyttää tehdasetuksissa määriteltyjä aikoja. EAC estää ajon ainoastaan siinä pakkauspäässä, jossa aseptisen tilan vaarantava tilamuutos tapahtui. Jotta pakkauspää voidaan aktivoida uudelleen tuotantoa varten, tulee EAC:n tasot käydä uudelleen läpi. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, 2018)

4 NouxCloud

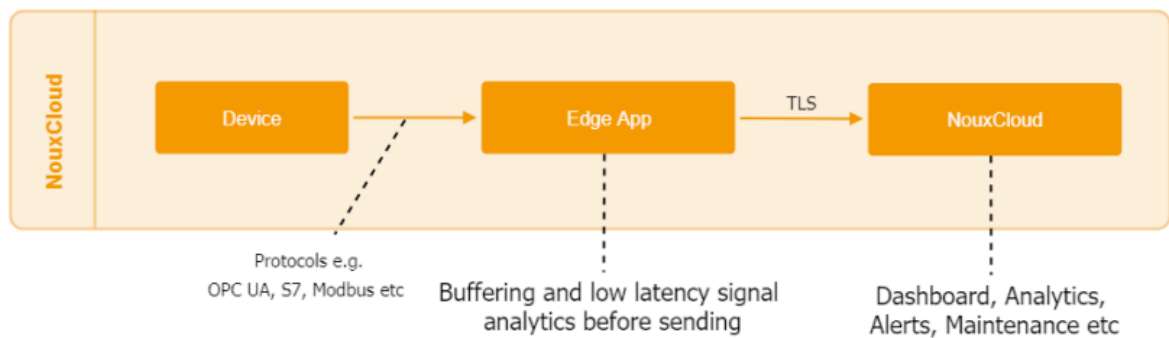
4.1 Ohjelmiston kuvaus

NouxCloud on teollisten esineiden internetin käyttöön tarkoitettu valvonta- ja tiedonkeruusovellus. Reunasovellus voidaan asentaa mihin tahansa Docker-visualisointia tukevaan laitteeseen. Automaatiojärjestelmään tallennettua dataa voidaan lukea

reunasovellukseen kommunikaatioprotokollan välityksellä. Ohjelmiston tukemiin kommunikaatioprotokolliin lukeutuu mm. MQTT, OPC UA, HTTPS, S7, Modbus TCP ja Digital I/O. Muistin ja tiedonsiirron säästämiseksi dataa voidaan suodattaa jo reunalaitteessa ennen palvelimelle lähettämistä. (Noux Node Oy, n.d.)

NouxCloudin toimintaperiaate on nähtävissä kuvassa 2.

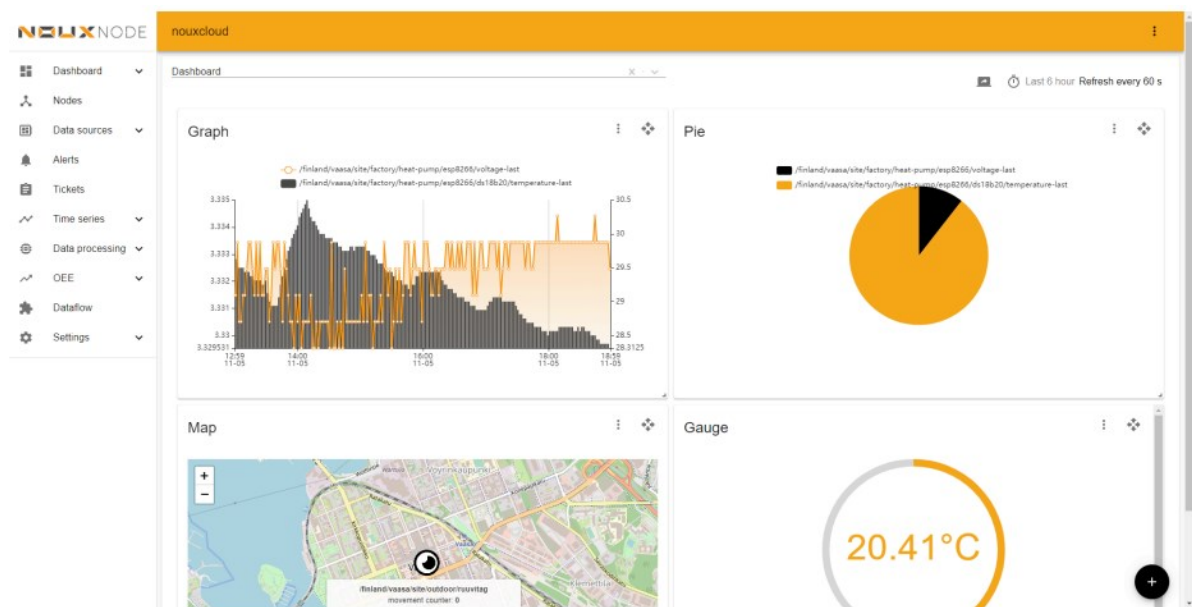
Kuva 2. NouxCloud-sovelluksen toimintaperiaate (Noux Node Oy, 2019a, s. 4).



Ohjelmistoon tuodusta datasta voidaan rakentaa hierarkioita tiedon ja laitteiden hallintaan. Data voidaan esittää joko sellaisenaan tai sitä voidaan prosessoida esimerkiksi muodostamalla uusia muuttujia dataa yhdistelemällä. Kojelautanäkymässä muuttujia voidaan esitellä graafisesti muodostamalla kuvaajia ja taulukoita. Muuttujista on myös mahdollista muodostaa hälytyksiä raportointi- tai kunnossapitotarkoituksiin. Samoista muuttujista voidaan tehdä useita eri kojetaulunäkymiä eri tuotantoryhmille. (Noux Node Oy, n.d.)

Kuvassa 3 on esimerkki kojelautanäkymästä, jota voidaan räätälöidä asiakkaan tarpeisiin sopivaksi.

Kuva 3. Dashboard-näkymä (Noux Node Oy, 2019b, s. 3).



4.2 Pakkauskoneen kommunikointi NouxCloudin kanssa

Elecsterin henkilökunnan mukaan pakkauskoneesta kerätään PLC:n tulo- ja lähtöporttien tiloja Siemens IOT2050 Edge -laitteen avulla. IOT2050 kommunikoi puolestaan Tosibox-etäyhteyslaitteen kanssa. Yhdellä Tosibox-etäyhteyslaitteella voidaan kerätä dataa useammasta meijerissä sijaitsevasta koneesta. Tosibox-etäyhteyslaitteelle kerätty data lähetetään verkkoyhteyttä pitkin suoraan NouxCloud-sovellukseen. Data tuodaan NouxCloudiin käyttäen Melsec-protokollaa. PLC säilyttää pakkauskoneen toiminnalle kriittisen datan muistin optimoimiseksi, kun taas NouxCloud käsittelee etävalvonnan vaatiman datan pilvessä tai Edge-laitteessa. Lisäksi NouxCloud kykenee säilyttämään dataa yli vuoden ajan, mahdollistaen pitkän aikavälin datan analysoinnin. (Elecster Oyj, henkilökohtainen tiedonanto, n.d.)

5 Tilojen valvonta NouxCloudissa

5.1 Dataflow

Ohjelmistoon tuoduista muuttujista muodostetaan ohjelmia Dataflow-sivulla. Dataflow-ohjelmointi on Node-RED tyylinen visuaalinen ohjelmointitapa. Ennen dataflow-ohjelman luomista täytyy päättää, tehdäänkö ohjelma paikallisesti Edge-laitteessa vai NouxCloudin

palvelimella. Paikallisen ohjelmoinnin etu on se, että tiedonsiirron kuormitus on pienempi.

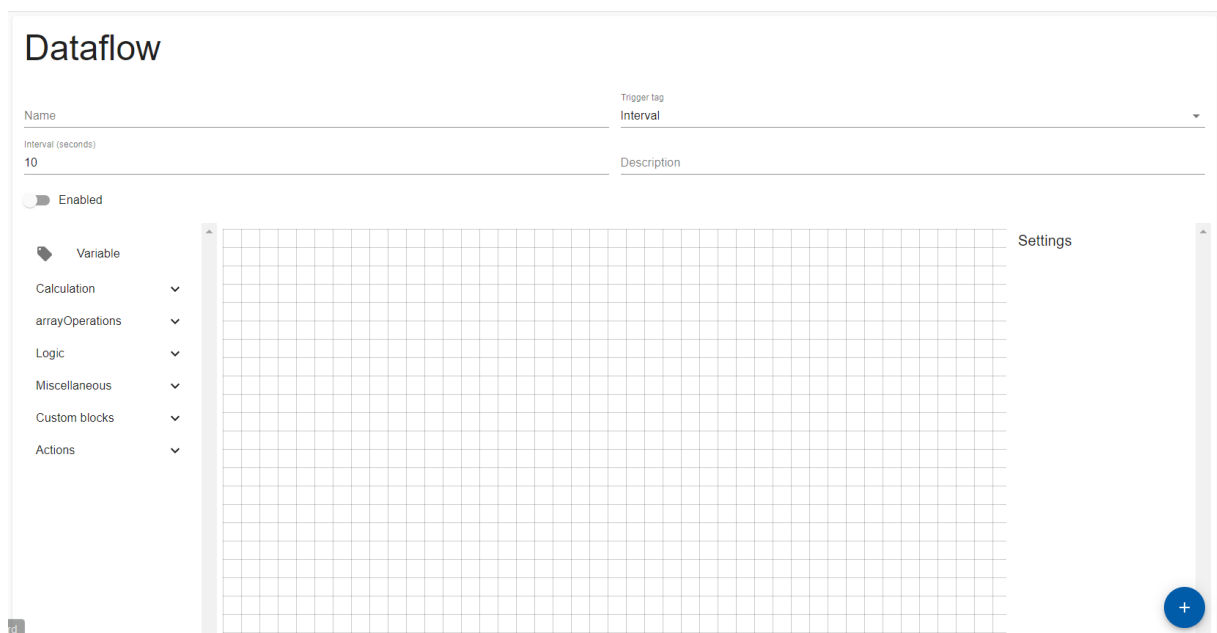
Paikallisessa ohjelmoinnissa voidaan manuaalisesti valita vain se data, jota halutaan siirtää palvelimelle. NouxCloudin palvelimella suoritettavassa ohjelmoinnissa palvelimelle tuodaan käytännössä kaikki koneesta kerätty data, mikä nostaa tiedonsiirron kuormitusta.

Palvelimella suoritettavan ohjelmoinnin etu on se, että toisin kuin paikallisessa käsittelyssä, muuttujia voidaan monitoroida reaaliajassa. Monitorointimahdollisuuden vuoksi tämän opinnäytetyön ohjelmoinnit tehdään NouxCloudin palvelimella. Tulevaisuudessa ohjelmointi on tarkoitus suorittaa paikallisesti Edge-laitteessa tiedonsiirron kuormituksen minimoimiseksi.

Pakkaus koneesta kerättyjen muuttujien päivityssykli on ohjelmassa normaalisti 60 sekuntia. Koska lyhytaikainen oven avaus tuotantotilan aikana johtaa todennäköisesti aseptisen tilan rikkoutumiseen, on ovien aukiolotiedosta kertovien muuttujien päivityssykli oltava lyhyempi, tässä tapauksessa 1 sekunti.

Dataflow-ympäristö on nähtävissä kuvassa 4. Kuvan keskellä näkyvään ruudukkoon raahataan operaattoreita vasemmalta löytyvistä pudotusvalikoista. Muuttujat liitetään ohjelmaan raahaamalla ruudukkoon variable-solmu ja linkittämällä muuttuja kyseiseen solmuun. Järjestelmässä on vakiona rajallinen määrä loogisia operaattoreita ja matemaattisia operaattoreita. Jos jotain tarvittavaa operaattoria ei löydy perusvalikoimasta, se voidaan luoda itse JavaScript-ohjelmointikielellä. Pudotusvalikoista voidaan raahata ohjelmaan myös toimintoja, kuten hälytyksiä ja lipukkeita.

Kuva 4. Dataflow-ympäristö.



5.2 Aseptisen tilan valvonta

5.2.1 Valvottavat muuttujat

Aseptisen tilan osalta valvonta NouxCloudissa tapahtuu valvomalla samoja muuttujia, kuin EAC:ssa. Erona on se, että pelkästään valvontaa suorittavalla NouxCloudilla voidaan valvoa muuttujia riippumatta siitä, onko EAC:n valvonta aktivoitu, sillä NouxCloud hakee tietonsa suoraan PLC:n tulo- ja lähtöporteista. Elecsterin laitteistossa NouxCloud saa ainoastaan lukea muuttujia, ei kirjoittaa niitä. Tällä tavalla NouxCloudin kautta ei voida vahingossa etäohjata meijerin prosessia. Jos pakatun tuotteen laadussa ilmenee jälkikäteen ongelmia, voidaan NouxCloudin avulla poissulkea tuotannon aikana tapahtuneet käyttäjävirheet tai sähkötekniset ongelmat. Pakkauskoneen omistajalle tarjotaan myös mahdollisuus vastaanottaa ilmoitus aseptisen tilan rikkoutumisesta sähköpostiviestin muodossa. Koska EAC:n toiminnan ansiosta pakkauskoneen tulee olla steriili, jotta se voi mennä tuotantotilaan, voidaan tuotantotilaa käyttää ehtona aseptisuuden valvonnassa. Tuotantotilaa käytetään yhtenä ehtona kaikissa aseptiseen valvontaan liittyvissä asioissa.

NouxCloudissa valvotaan seuraavia asioita:

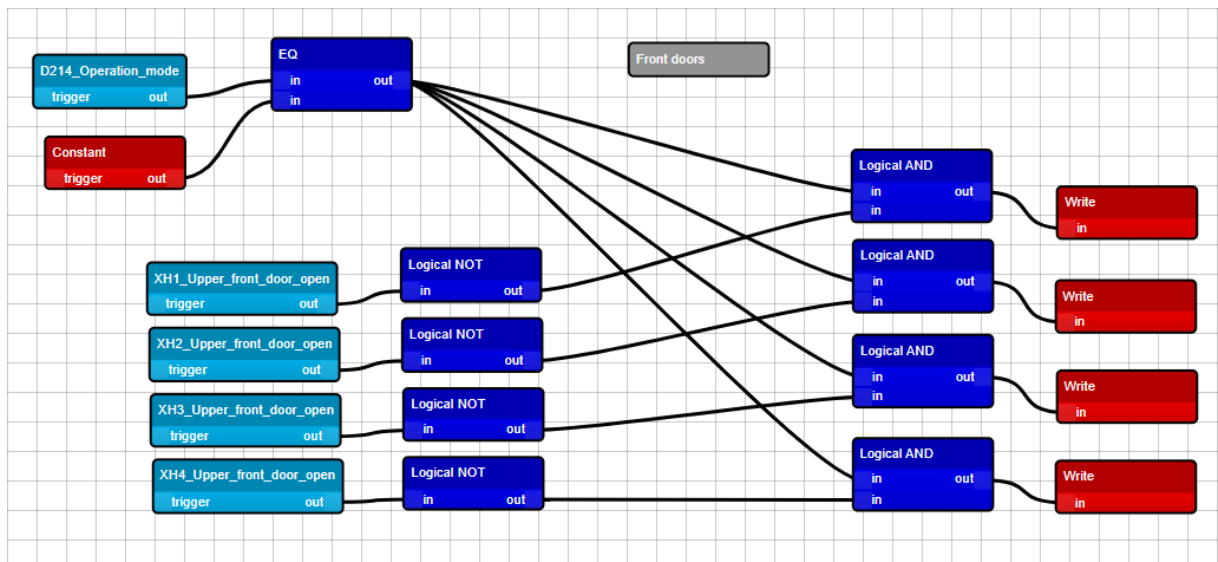
1. Ovien aukiolotieto. Ovien tulee olla tuotannon aikana kiinni, jotta kaapit pysyvät ylipaineistettuna ja UV-valot pysyvät päällä.
2. ESA:n käyntitieto. ESA:n tulee pysyä koko tuotannon ajan käynnissä, jotta kaapit pysyvät ylipaineistettuna.
3. ESA:n ilmanpaine. Ilmanpaineen valvominen on varmistava tekijä siinä vaiheessa, jos ESA:n moottori on käynnissä, mutta ilmanpaine ei ole normaali.
4. V14 aukiolotieto. Venttileiden aukiolotiedosta nähdään, että ESA:n tuottama steriili ilma pääsee kappeihin.
5. UV-valojen tila. UV-valojen täytyy pysyä tuotannon aikana päällä, jotta pakkauskalvossa ja muilla pinnoilla olevat mikrobit tuhoutuvat.

EAC valvoo myös pakkauskoneen vetyperoksidijärjestelmään kuuluvien vetyperoksidikuppien ja vetyperoksidikylvyn pinnankorkeuksia. Vetyperoksidijärjestelmän valvontaan ollaan tekemässä tulevaisuudessa muutoksia, joten niille ei luoda valvontaa NouxCloudissa vielä tässä vaiheessa.

5.2.2 Ohjelman rakenne ja logiikka

Kaikki aseptisen tilan valvontaan tehdyt ohjelmat sijaitsevat samalla dataflow-sivulla, mutta helppolukuisuuden vuoksi ne esitetään raportissa erillään. Ohjelma on suunniteltu yleiskäyttöiseksi kaikille EA-sarjan pakkauskoneille. Ohjelma voidaan kopioida suoraan esimerkiksi pienempään EA-8000 sarjan pakkauskoneeseen ilman, että ohjelmaa täytyy muokata. Sähköposti-ilmoitusten ohjelma voitaisiin yhdistää suoraan aseptista tilaa valvovaan ohjelmaan, mutta dataflow-ohjelmoinnin luonteen vuoksi ohjelmistosta saattaa tulla sekavan näköinen. Tästä syystä ohjelmat sijaitsevat dataflow-ympäristössä pääasiassa vierekkäin toisista erillään. Kuvassa 5 on esitetty saumauskaappien ovien aukiolotietoa valvova ohjelma.

Kuva 5. Saumauskaappien ovien aukiolotiedon ohjelma.



"D214_Operation_mode" -muuttuja tuo pakkauskoneen tilatiedon ohjelmaan kokonaislukuna. Ohjelmassa verrataan, onko pakkauskoneen antama numero sama kuin tuotantotilan numero, joka on vakio. Jokaisen saumauskaapin oven aukiolotieto tuodaan ohjelmaan erillisenä muuttujana. Ovien aukiolotieto on suunniteltu sähköteknisesti siten, että oven ollessa auki signaali on pois päältä, joten signaali tulee kääntää ohjelmassa. Signaalin kääntämiseen tarvittava NOT-operaattori ei ohjelman teon aikaan sisällynyt ohjelmointiympäristön perusvalikoimaan, joten se luotiin itse JavaScript-ohjelmointikielellä kuvassa 6. Tallennetusta JavaScript-ohjelmasta muodostuu uusi operaattori dataflow-ympäristön pudotusvalikkoihin, mistä se voidaan raahata ohjelmaan.

Kuva 6. Logical NOT.

```

Custom Block Creator
Name
Logical NOT
Description
Inputs
1
1 // The inputs to the block is available as an array with as many elements as there are inputs.
2 // I.e. if the block has 2 inputs, the first input value is in inputs[0] and the second one in inputs[1].
3 // The returned value will be passed to the output
4
5 var NOT = !inputs[0];
6 return NOT

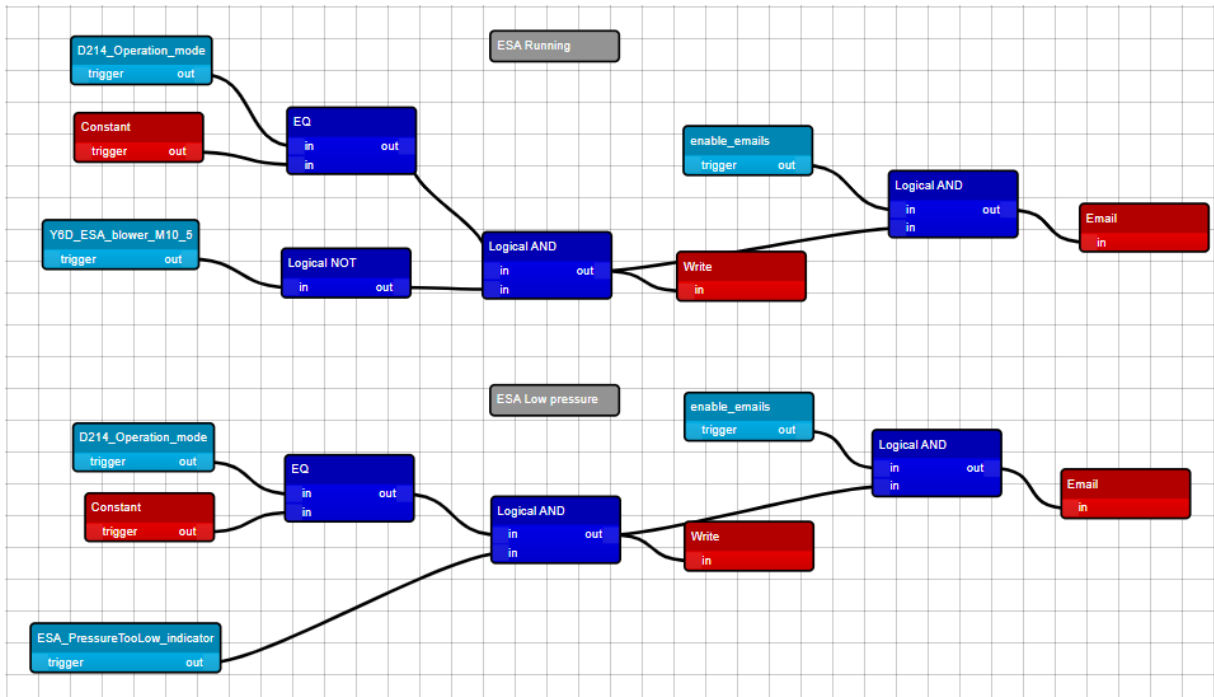
```

Pakkaus koneen tuotantotilaa verrataan siihen, onko jokin ovi auki. Jos ovi aukeaa tuotantotilan aikana, vertailu lähettää signaalin eteenpäin aktivoiden komennon, joka kirjoittaa tiedon uuteen muuttujaan. Tätä uutta muuttujaa käytetään myöhemmin kojelautanäkymässä, mutta sitä voidaan hyödyntää myös dataflow-sivulla. Muuttujien etsimisen helpottamiseksi ja väärin muuttujien käyttämisen estämiseksi uudet muuttujat nimetään siten, että ne alkava tekstillä "sterile_monitor_".

Vetyperoksidikaappien ovia valvova ohjelma (Liite 1), UV-kaappien ovia valvova ohjelma (Liite 2) sekä V14 ilmaventtiileitä valvova ohjelma (Liite 3) ovat tehty samalla periaatteella, ainoastaan ohjelmaan tuotujen ovien ja venttiilien muuttujien osoitteet ovat eri.

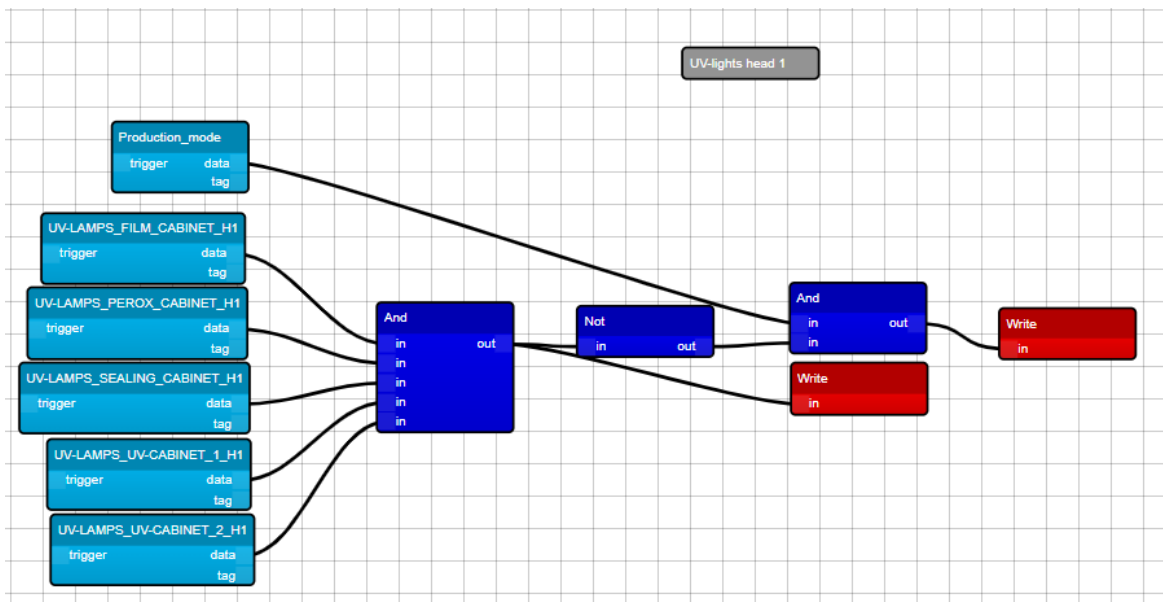
Kuvassa 7 on esitetty ESA:n toimintaa valvovat ohjelmat. Ylemmässä ohjelmassa valvotaan puhaltimen moottorin käyntitietoa tuotannon aikana ja alemmassa valvotaan steriilin ilman painetta tuotannon aikana. Sähköposti-ilmoitusten ohjelma on tässä tapauksessa liitetty suoraan valvontaohjelmaan.

Kuva 7. ESA:n puhallinta ja painetta valvovat ohjelmat.



Kuvassa 8 on esitetty ensimmäisen pakkauspään UV-valojen tilaa valvova ohjelma. Toisin kuin esimerkiksi ovien aukiolotietoa valvovissa ohjelmissa, UV-valoja ei valvota yksitellen, vaan pakkauspää kohtaisesti. Tietoa siitä, että kone on tuotantotilassa, tarvittiin toistuvasti, joten sille tehtiin muuttuja dataflow-ympäristön sisällä. Muuttuja on tosi silloin, kun pakkauskoneen palauttama tilanumero on sama, kuin tuotantotilan vakionumero. Toisen pakkauspään (Liite 4), kolmannen pakkauspään (Liite 5) ja neljännen pakkauspään (Liite 6) UV-valoja valvovat ohjelmat ovat tehty samalla periaatteella.

Kuva 8. UV-valojen toimintaa valvova ohjelma.

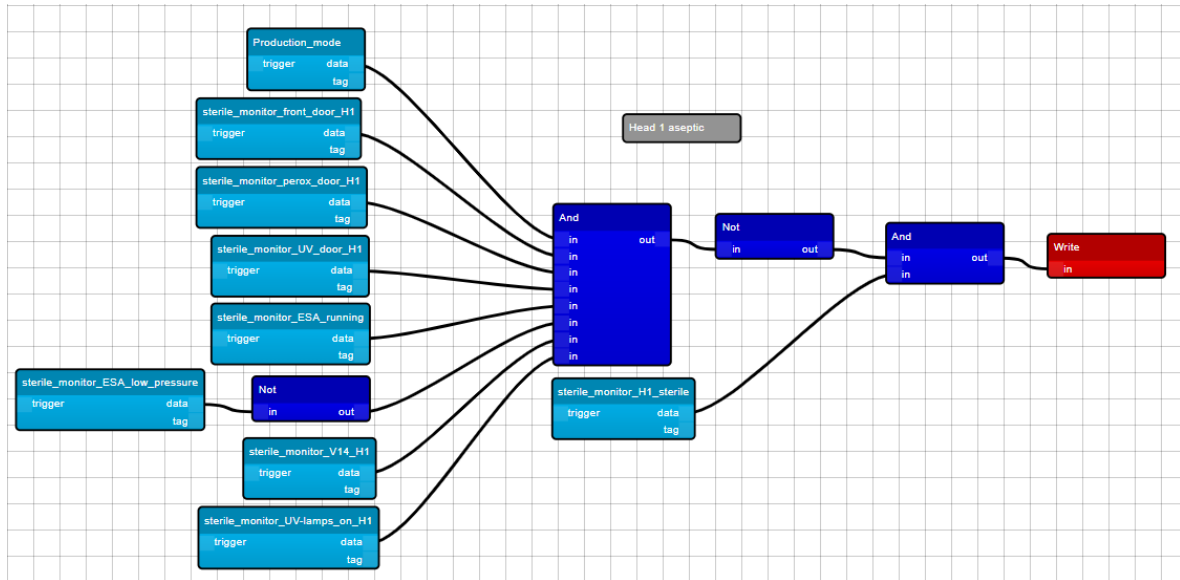


Muuttuja aktivoituu, jos jonkin UV-valon lähtöportti tietyssä pakkauspäässä ei ole aktiivinen. Kun pakkauspään kaikkien UV-valojen lähtöportit ovat aktiivisena, kirjoitetaan myös toinen muuttuja, jota hyödynnetään steriiliä tilaa valvovassa ohjelmassa sekä dashboard-näkymässä.

Viimeinen aseptisen tilan valvontaan liittyvä ohjelma on yhteenveto pakkauspäiden aseptisistä tiloista. Ensimmäisen pakkauspään ohjelma on esitetty kuvassa 9. Ohjelma kirjoittaa muuttujan todeksi silloin, kun pakkauskone on tuotantotilassa ja steriili, eikä aseptisen tilan rikkovaa tapahtumaa ole tapahtunut. Tätä muuttujaa käytetään dashboard-näkymässä sekä steriilin tilan valvontaa suorittavassa ohjelmassa. Samoin kuten pakkauskoneessa, aseptisen tilan rikkoutuminen NouxCloudissa rikkoo myös steriilin tilan. Jos mitään aseptisen tilan rikkovaa tapahtumaa ei tapahdu tuotannon aikana, aseptinen tila nollautuu viimeistään silloin kun kone siirretään pois tuotantotilasta. Toisen pakkauspään

ohjelma (Liite 7), kolmannen pakkauspään ohjelma (Liite 8) sekä neljännen pakkauspään ohjelma (Liite 9), ovat toteutettu samalla periaatteella.

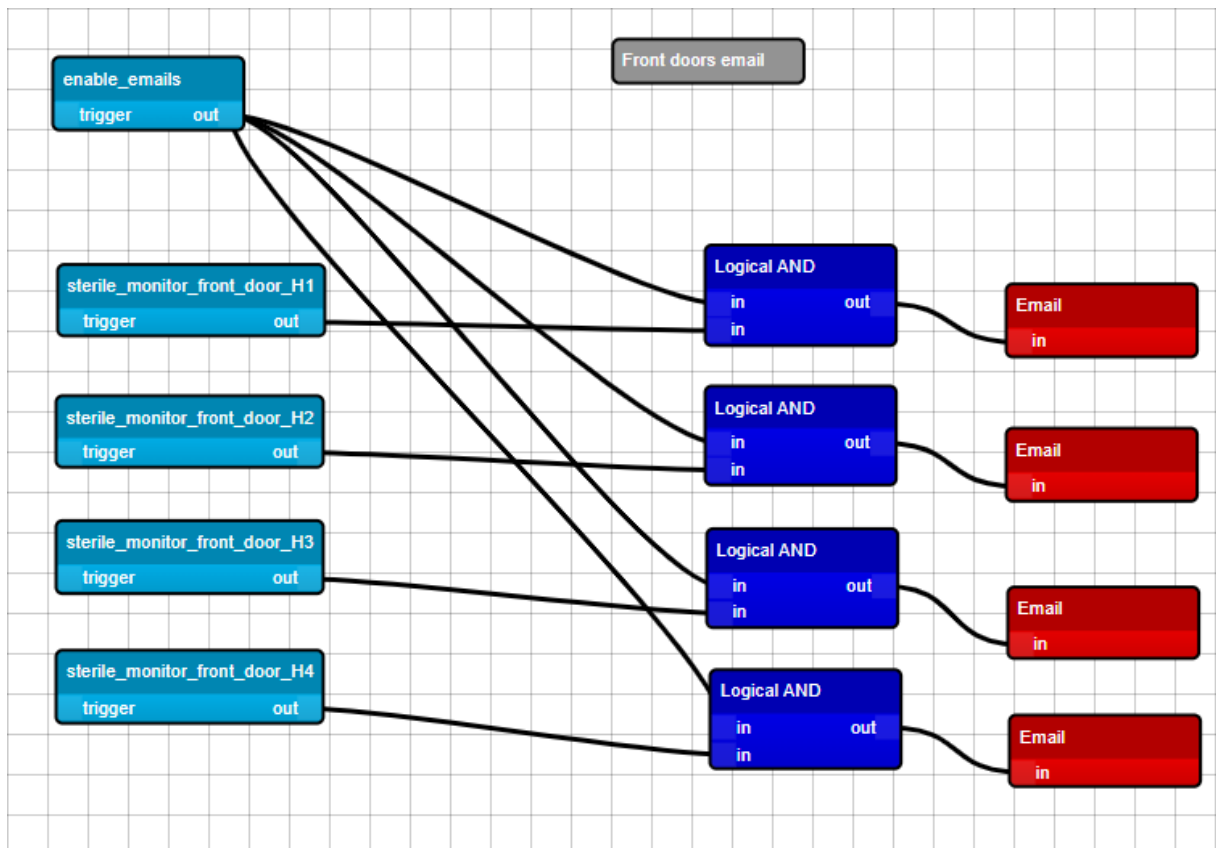
Kuva 9. Ensimmäisen pakkauspään aseptisen tilan yhteenvedon ohjelma.



5.2.3 Sähköposti-ilmoitukset

Saumauskaappien sähköposti-ilmoitusten ohjelma on esitetty kuvassa 10. Jotta sähköpostiin lähetetään ilmoitus oven aukeamisesta tuotannon aikana, tulee sähköposti-ilmoitukset olla aktivoituna kojelautanäkymästä. Jos sähköposti-ilmoitukset on aktivoitu ja jokin aseptista tilaa valvova muuttuja on aktiivinen, sähköposti-ilmoitus lähetetään asiakkaan haluamaan sähköpostiosoitteeseen. Sähköpostin vastaanottaminen vaatii rekisteröitymisen NouxCloudiin kyseisellä sähköpostiosoitteella. Vetyperoksidikaappien sähköposti-ilmoitukset (Liite 10), UV-kaappien sähköposti-ilmoitukset (Liite 11) sekä V14 ilmaventtiileiden sähköposti-ilmoitukset (Liite 12) ovat tehty samalla periaatteella.

Kuva 10. Saumauskaappien ovien sähköposti-ilmoitukset.



5.2.4 Testaus ja haasteet

Ohjelmaa testattiin kehityksen aikana siten, että ohjelmaan tulevat muuttujat haettiin erään meijerin EA-16000 pakkauskoneesta, joka oli päivittäisessä ajossa. Testauksen aikana yhteys meijeriin katkesi odottamatta. Yhteys yritettiin palauttaa yhteistyössä meijerin kanssa, mutta siinä ei aluksi onnistuttu. Tämän seurauksena ohjelman muuttujat päätettiin hakea erään toisen meijerin EA-12000 pakkauskoneesta. Meijerin ja pakkauskoneen muuttaminen tapahtui lataamalla ohjelma NouxCloudista json-muodossa. Ladattu json-dokumentti avattiin tietokoneen tekstinkäsittelyohjelmalla ja meijerin ja koneen tunnukset vaihdettiin etsi ja korvaa -toiminnolla. NouxCloudissa luotiin uusi tyhjä dataflow, johon muokattu ohjelma tuotiin. Tulevaisuudessa ohjelma voidaan tällä tavalla kopioida muihin Elecsterin asiakaskunnan pakkauskoneisiin.

Ohjelma saatiin muilta osin tuotua toimivana, mutta muuttujat eivät toimineet. Ongelmaa selvittäessä kävi ilmi, että tässä ohjelmassa tarvittavia muuttujia ei ollut toisen meijerin koneesta haettu tai ne olivat haettu eri osoitteista. Muuttujien hakeminen tapahtuu meijerin yhteysivulta, missä määritellään, mitä PLC:n lähtö- tai tuloportteja halutaan kuunnella.

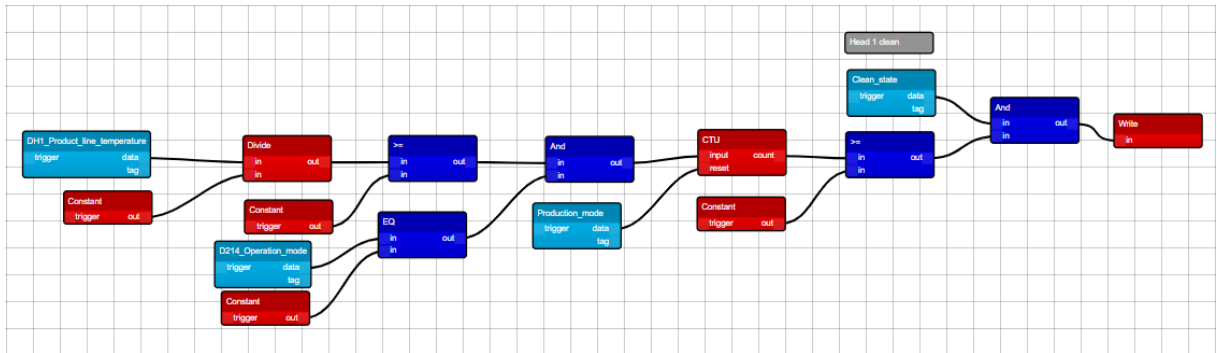
Ennen kuin muuttujia ehdittiin määritellä, yhteys katkesi myös uuteen koneeseen. Tässä tapauksessa yhteys meijerin muihin Elecsterin valmistamiin laitteisiin säilyi, mutta yhteys pakkauskoneeseen menetettiin. Ongelma saatiin myöhemmin korjattua yhteistyössä NouxNoden kanssa ja yhteys molempiin meijereihin palautettiin. Ohjelman kehitystä jatkettiin alkuperäisen meijerin EA-16000 pakkauskoneen muuttujilla.

5.3 Steriilin tilan valvonta

Steriilin tilan saavuttaminen NouxCloudissa tapahtuu valvomalla pakkauspäiden tuoteputkien lämpötiloja. Tuoteputken lämpötilan tulee pakkauskoneen ollessa esisterilointitilassa pysyä 121 °C:n yläpuolella vähintään 20 minuuttia. Ajan täytyminen aktivoi pitopiirin. Steriilin tilan muuttuja kirjoitetaan todeksi silloin, kun pitopiiri on aktiivinen ja pakkauskoneen palauttama tieto sen steriilistä tilasta on tosi. Pakkauskoneen palauttama tieto steriilistä tilasta lisättiin ohjelmaan varmistavana tekijänä.

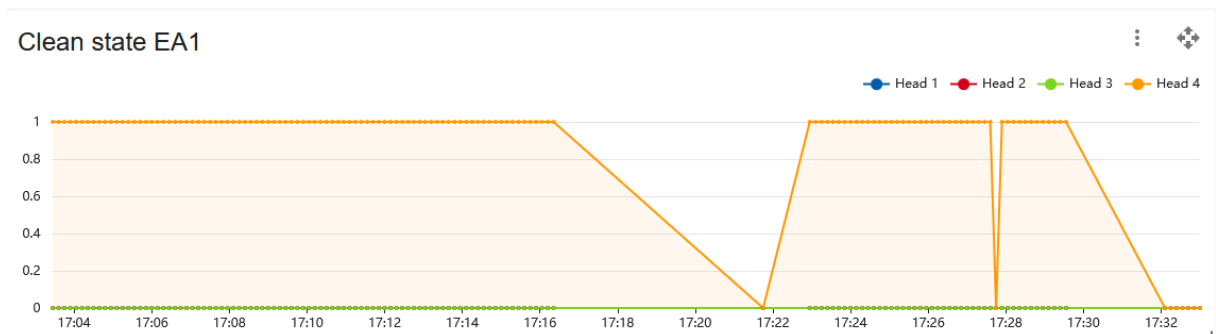
Pitopiiri nollataan, jos jokin ovi avataan, ESA sammuu, V14-ventiili sulkeutuu, UV-valot sammuvat tai aseptinen tila rikkoutuu. Jos mitään edellä mainituista tapahtumista ei tapahdu tuotannon aikana, steriili tila nollautuu viimeistään tuotannon lopussa, kun koneen ovet avataan. Kuvassa 11 on esitetty ensimmäisen pakkauspään steriilin tilan ohjelma. Toisen pakkauspään (Liite 13), kolmannen pakkauspään (Liite 14) ja neljännen pakkauspään (Liite 15) ohjelmat ovat toteutettu samalla periaatteella. Aika, jonka lämpötilan täytyy olla riittävän korkea, on kirjoitettu muuttujaan, jotta sitä voidaan helposti muuttaa esimerkiksi vianhakutilanteessa (Liite 16).

Kuva 12. Ensimmäisen pakkauspään puhdasta tilaa valvova ohjelma.



Puhtaan tilan valvontaa suorittavaa ohjelmaa testatessa havaittiin, että puhtaasta tilasta kertovat muuttujat käyttäytyivät epäloogisesti. Kuvassa 13 on esitetty dashboard-näkymässä oleva kuvaaja pakkauspäiden puhtaista tiloista. Neljännen pakkauspään muuttuja vaihtelee toden ja epätoden välillä, vaikka todellisuudessa sen muodostavat ehdot eivät täyty. Aseptisen tilan valvonnan vuoksi ohjelmaa täytyy kutsua sekunnin välein ja ongelmaa tutkiessa heräsi epäily siitä, että järjestelmä ei ehdi sekunnissa käydä koko ohjelmaa läpi. Ohjelma päätettiin jakaa siten, että aseptista tilaa valvova ohjelma jätettiin sekunnin välein kutsuttavaan dataflow-ympäristöön ja steriiliä ja puhdasta tilaa valvovat ohjelmat siirrettiin toiseen, 10 sekunnin välein kutsuttavaan dataflow-ympäristöön. Ohjelman jakaminen eri ympäristöihin ratkaisi ongelman.

Kuva 13. Vaihteleva muuttuja.



5.5 Tulokset kojelautanäkymässä

Tieto pakkauskoneen puhtaasta, steriilistä ja aseptisesta tilasta on esitetty dashboard-näkymässä eli kojelautanäkymässä. Tieto päätettiin esittää pääasiassa kuvaajilla, koska niissä voidaan helposti verrata kuvaajan sisältämää tietoa kellonaikaan.

Jos pakattu tuote pilaantuu ennenaikaisesti, voidaan pussissa olevasta päiväleimasta tarkistaa päivämäärä ja kellonaika, pakkauskone ja pakkauspää, joka pussin on tehnyt. Näillä tiedoilla voidaan kojelautanäkymän aikaikkunaa säätää ja tarkistaa kuvaajista, onko jokin aseptisen tilan rikkova tapahtuma tapahtunut. Kaikki meijerin pakkauskoneet esitetään samassa kojelautanäkymässä. Kojelautanäkymä voidaan joko integroida meijerin muihin kojelautanäkymiin, tai esittää sellaisenaan. Jos näkymä esitetään sellaisenaan, se asetetaan samaan ryhmään meijerin muiden kojelautanäkymien kanssa, mikä takaa meijerille pääsyn kojelautanäkymään.

Kojelautanäkymän kopioiminen muihin Elecsterin asiakaskunnan pakkauskoneisiin tapahtuu lataamalla kojelautanäkymä json-muodossa ja vaihtamalla meijerin ja pakkauskoneen tai koneiden tunnukset. Kojelautanäkymässä on vakiona yhden EA-16000 pakkauskoneen kuvaajat. Jos asiakkaalla on enemmän kuin yksi pakkauskone, voidaan kuvaajat kopioida ja pakkauskoneen tunnus vaihtaa kojelautanäkymän sisällä ilman kojelautanäkymän lataamista. Jos asiakkaan pakkauskone on pienempi kuin nelipäinen EA-16000, poistetaan ylimääräisten pakkauspäiden tekstit kuvaajista manuaalisesti.

Ensimmäinen asia kojelautanäkymän huipulla on yhteenveto pakkauskoneen pakkauspäiden puhtaasta, steriilistä ja aseptisestä tilasta. Yhteenvedon alla on valinta, josta aseptisen tilan valvontaan liittyvät sähköposti-ilmoitukset voidaan aktivoida (Kuva 14).

Kuva 14. Yhteenveto ja sähköposti-ilmoitusten valinta.

Cleanliness overview

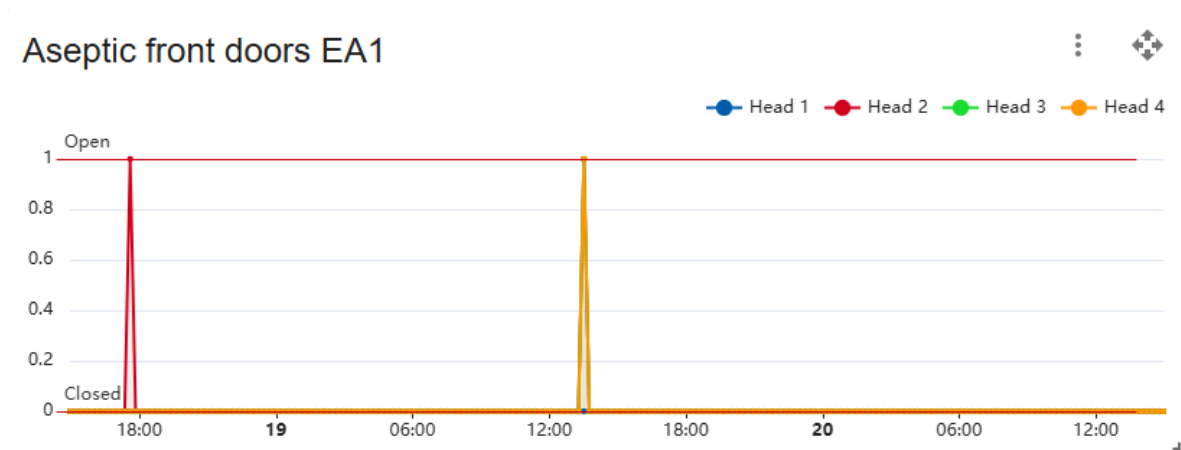
EA 1	Head 1	Head 2	Head 3	Head 4
Clean state	false	false	false	false
Sterile state	false	false	false	false
Aseptic state	false	false	false	false

Enable emails for aseptic monitoring

False CONFIRM

Ovien aukiolotieto on esitetty siten, että esimerkiksi jokaisen pakkauspään saumauskaappien ovet löytyvät samasta kuvaajasta. Kuvassa 15 on esitetty saumauskaappien ovien kuvaaja. Kuvaajat toimivat siten päin, että ongelmatilanteen tapahtuessa kuvaajaan piirtyy käyrä. Kuvaajien y-akseleiden ylä- ja alapäähän on lisätty teksti, joka kertoo, että mitä akselin numerot tarkoittavat käytännössä. Vetyperoksidikaappien ovet sekä UV-kaappien ovet (Liite 18) ovat esitetty samalla tavalla omissa kuvaajissaan. ESA:n käyntitieto ja paine sekä V14-venttiilit ovat esitetty omissa kuvaajissaan (Liite 19).

Kuva 15. Saumauskaappien ovien kuvaaja.

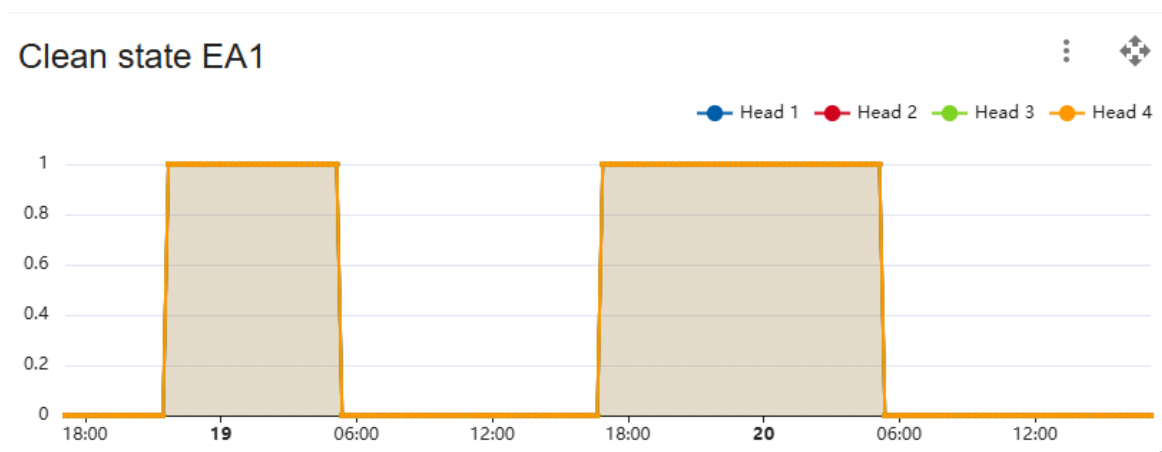


Kaikkien pakkauspäiden UV-valojen tieto on esitetty samassa kuvaajassa (Liite 20).

Kuvaajaan piirtyy viiva silloin, kun kone on tuotantotilassa eikä jotain UV-valoa ohjata päälle tietystä pakkauspästä. Tämä kuvaaja ei kuitenkaan kerro, että mitä UV-valoa tarkalleen ei ohjata päälle.

Puhdas tila, steriili tila ja aseptinen tila ovat esitetty omissa kuvaajissaan. Kuvaajat toimivat siten päin, että kuvaajaan piirtyy käyrä tilan ollessa tosi. Puhtaan tilan kuvaaja on esitetty kuvassa 16. Steriilin ja aseptisen tilan kuvaajat ovat esitetty liitteessä 21.

Kuva 16. Puhtaan tilan kuvaaja.



Kojelautanäkymässä esitetään myös tuoteputkien lämpötilat ja pakkauskoneen tilatieto. Nämä tiedot tulevat suoraan pakkauskoneesta mutta ovat silti relevantteja tässä yhteydessä. Tuoteputkien lämpötilojen kuvaajasta voidaan tarkistaa, että millaisissa lämpötiloissa putket ovat käyneet, jos esimerkiksi puhdasta tai steriiliä tilaa ei ole saavutettu. Jos jostakin kuvaajasta havaitaan aseptisen tilan rikkoutuminen, voidaan tilatiedon kuvaajasta tarkistaa, onko kone siirretty pois tuotantotilasta pian sen jälkeen, vai onko sillä jatkettu tuotantoa. Tämä on tärkeä tieto esimerkiksi sellaisessa tilanteessa, jossa tuotanto on lopetettu ja ovet ovat avattu kaappien puhdistusta varten, mutta pakkauskonetta ei ole vielä siirretty tuotantotilasta pois. Tuoteputkien lämpötilat ja pakkauskoneen tilatieto ovat esitetty liitteessä 22.

6 Pohdinta

6.1 Työn tulokset

Työn valmistuttua tilaaja sai käyttämäänsä etävalvontajärjestelmään ohjelman, joka valvoo pakkauskoneen puhdasta, steriiliä ja aseptista tilaa. Tieto tiloista esitetään järjestelmän sisällä visuaalisesti kuvaajien ja tekstin avulla. Aseptisen tilan rikkoutuessa järjestelmästä näkee, mikä tapahtuma tarkalleen johti tilan rikkoutumiseen. Järjestelmä lähettää aseptisen tilan rikkoutuessa sähköpostiviestin, joka selittää tilan rikkovan tapahtuman, jos meijeri on niin valinnut.

Ohjelman kehittäminen edellytti tutustumista EA-sarjan pakkauskoneisiin, sekä teknologioihin, joilla pakkauskoneet saatetaan aseptiseen tilaan, sekä miten se ylläpidetään

tuotannon aikana. Tieto siitä, että mitä muuttujia pitää valvoa saatiin pääasiassa pakkauskoneen sisäisestä aseptisestä valvontajärjestelmästä.

Ohjelman kehittämistä helpotti merkittävästi se, että aseptisen tilan saavuttamisen suhteen kriittiset muuttujat olivat jo yrityksen tiedossa. Yrityksellä on pitkä kokemus pakkauskoneiden valmistuksessa ja pakkauskoneen sisäisestä aseptisen tilan valvontajärjestelmästä on tässä ajassa kehitetty toimintavarma. Kehitystä helpotti myös se, että PLC:n tulo- ja lähtöporttien tietojen lukemiseen liittyvä infrastruktuuri oli jo olemassa. Etävalvontajärjestelmää on hyödynnetty EA-sarjan pakkauskoneissa jo jonkun aikaa, ja PLC:n tulo- ja lähtöporttien lukemiseen liittyvät komponentit kuuluvat pakkauskoneen vakiovarusteluun.

Ohjelman kehityksen aikana varmistettiin, että kaikki yksittäiset muuttujat toimivat, mutta ohjelmasta ei ole vielä kerrottu meijerille, jonka koneen tietoja testauksessa käytettiin. Ohjelman toimivuudesta saadaan varmistus vasta sitten, kun se on esitelty asiakkaalle ja kohtaa ensimmäisen oikean ongelmatilanteen. Käyttöönottovaiheessa on tärkeää, että meijeriin on keskusteluyhteys ja että he antavat järjestelmän käytöstä ja toimivuudesta palautetta.

Tällä hetkellä sähköposti-ilmoitusten ohjelma lähettää sähköpostin heti aseptisen tilan rikkoutuessa. Jos on kuitenkin sellainen tilanne, että tuotanto on loppunut, mutta pakkauskonetta ei vielä ole siirretty tuotantotilasta pois, lähettää järjestelmä aiheettomia sähköposteja. Ilmoitusten ohjelmaa voisi muokata siten, että sähköpostia ei lähetetä sellaisessa tilanteessa, jossa annostelijat eivät ole päällä, eikä niitä käynnistetä enää uudestaan kyseisen tuotannon aikana. Tämä saattaa kuitenkin ääritapauksissa johtaa hyvinkin pitkään viiveaikaan tilarikon ja sähköpostin lähetyksen välillä. Ohjelma täytyy kehittää siten, että tämä viiveaika voidaan helposti räätälöidä meijerin tarpeisiin sopivaksi.

6.2 Haasteet ja opit

Työn rajoituksena oli testauksen rajausta yhteen meijeriin, joka ei edusta kaikkia käyttöolosuhteita. Lisäksi ohjelman toimivuus riippuu meijerin verkkoyhteyden vakauudesta, mikä voi rajoittaa sen luotettavuutta epävakaisissa ympäristöissä.

Meijerit ovat ilmaisseet huolta siitä, että etävalvonnassa kerätty data voi päätyä kilpailijoiden tietoon, mikä vaarantaisi heidän liikesalaisuutensa. Tämä korostaa tietoturvan ja luottamuksen merkitystä ohjelman käyttöönotossa ja koulutuksessa. Järjestelmän ylläpidossa tulee huomioida muuttuvat tekniikat ja standardit, jotta järjestelmän luotettavuus

säilyy ja asiakkaan luottamus Elecsteriin säilyy. Datan käsittely paikallisesti Edge-laitteessa ja vahvempi salaus voisivat edelleen parantaa luottamusta.

6.3 Tulevaisuuden kehitysnäkymät

Steriilin tilan valvontaa voisi tarkentaa lisäämällä dataflow-ympäristöön ohjelman, joka kirjaa steriilin tilan rikkovat tapahtumat tarkasti, samalla tavalla kuin aseptisen tilan valvonnassa. Tällaisen valvonnan kehittäminen olisi toteutettavissa nykyisillä muuttujilla arviolta noin kahdessa kuukaudessa.

Kun kuvaajia tulee kojelautanäkymään lisää, olisi hyvä kehittää eräänlainen tekstipohjainen hälytyslista, joka selittää käyttäjälle ongelman lyhyesti ja ohjaa hänet oikeaan kuvaajaan. Jos jotain tilaa ei ole järjestelmän mielestä saavutettu esimerkiksi anturirikon seurauksena, voitaisiin sekin ilmaista tekstimuodossa, jos komponentista on mahdollista sähköisesti havaita sen vikaantuminen. Tilojen etävalvonnasta täytyy kehittää ohje, jolla järjestelmä esitellään meijereille ja jonka avulla heidät koulutetaan käyttämään järjestelmää.

Etävalvontajärjestelmän kehittämisessä täytyy myös huomioida EU:n NIS2-direktiivi, joka edellyttää kriittisiltä toimijoilta, kuten meijereiltä, kattavaa tietoturvaa ja poikkeamien raportointia. Jatkossa ohjelmaa voisi laajentaa kattamaan koko tuotantolinjan valvonnan, mikä tukisi paremmin NIS2:n vaatimuksia ja parantaisi prosessin kokonaisturvallisuutta. Valvomalla kaikkia tuotantolinjassa olevia Elecsterin valmistamia laitteita voitaisiin esimerkiksi lämpötilapoikkeamat steriloinnissa tai UHT-prosessissa huomata ennen pakkausvaihetta, mikä parantaisi vianetsinnän tarkkuutta ja tuotteen laatua. Laajentamalla valvonta koko prosessiin tukisi esineiden internetin trendejä ja vahvistaisi Elecsterin asemaa markkinoilla.

Lähteet

Elecster Oyj. (2015). *Vuosikertomus 2015*.

https://www.elecster.fi/docs/Vuosikertomus_2015.pdf

Elecster Oyj. (2022). *Vuosikertomus 2022*.

<https://www.elecster.fi/docs/Vuosikertomus-2022.pdf>

Noux Node Oy. (n.d.). *NouxCloud features*. <https://www.nouxnode.fi/features.html>

Noux Node Oy. (2019a). *NouxCloud-sovelluksen toimintaperiaate* [kuva]. Robocoast Challenge: Measuring with AI Report.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/336701/Mesuring.pdf;jsessionid=F54829D584BCD78291BBA25D62AE5D27?sequence=3>

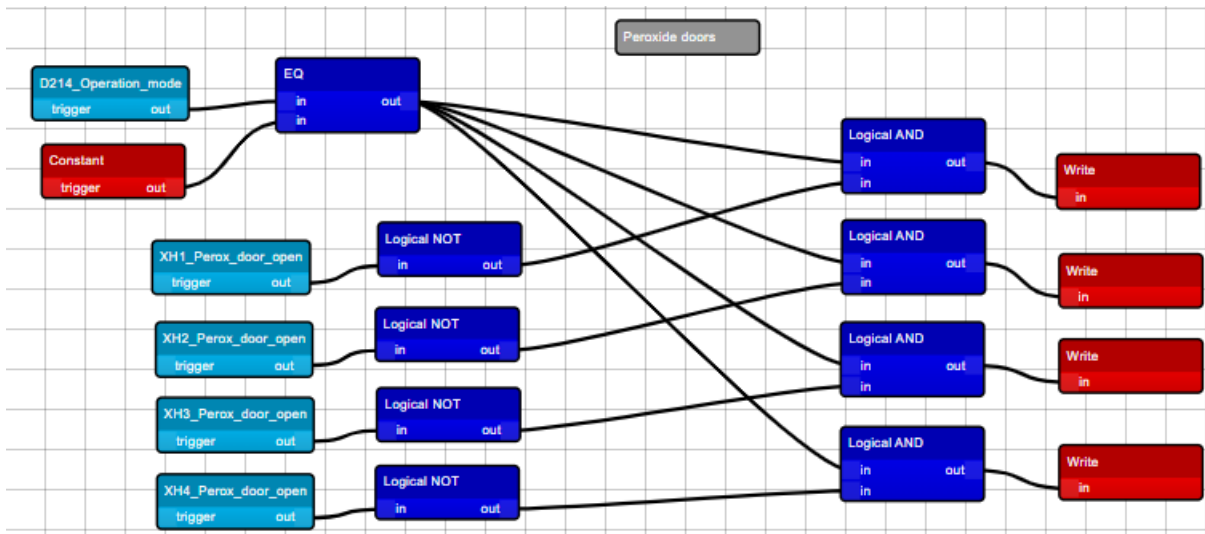
Noux Node Oy. (2019b). *Dashboard-näkymä* [kuva]. Robocoast Challenge: Measuring with Ai report.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/336701/Mesuring.pdf;jsessionid=F54829D584BCD78291BBA25D62AE5D27?sequence=3>

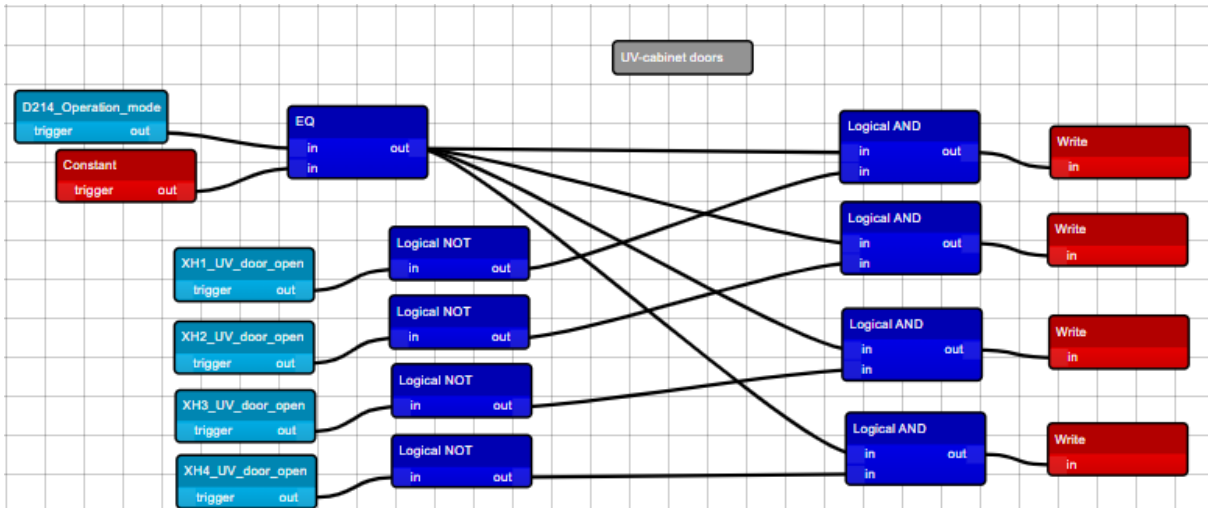
Perkiömäki, J., Koivunen, H. & Tuominen, P. (2013). *VIRUSTEN DETEKTIO JA HALLINTAKEINOT PROSESSIYMPÄRISTÖSSÄ: Kirjallisuuskatsaus virusriskeistä elintarviketeollisuudessa*. Ruokavirasto.

<https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/viruskirjallisuuskatsaus.pdf>

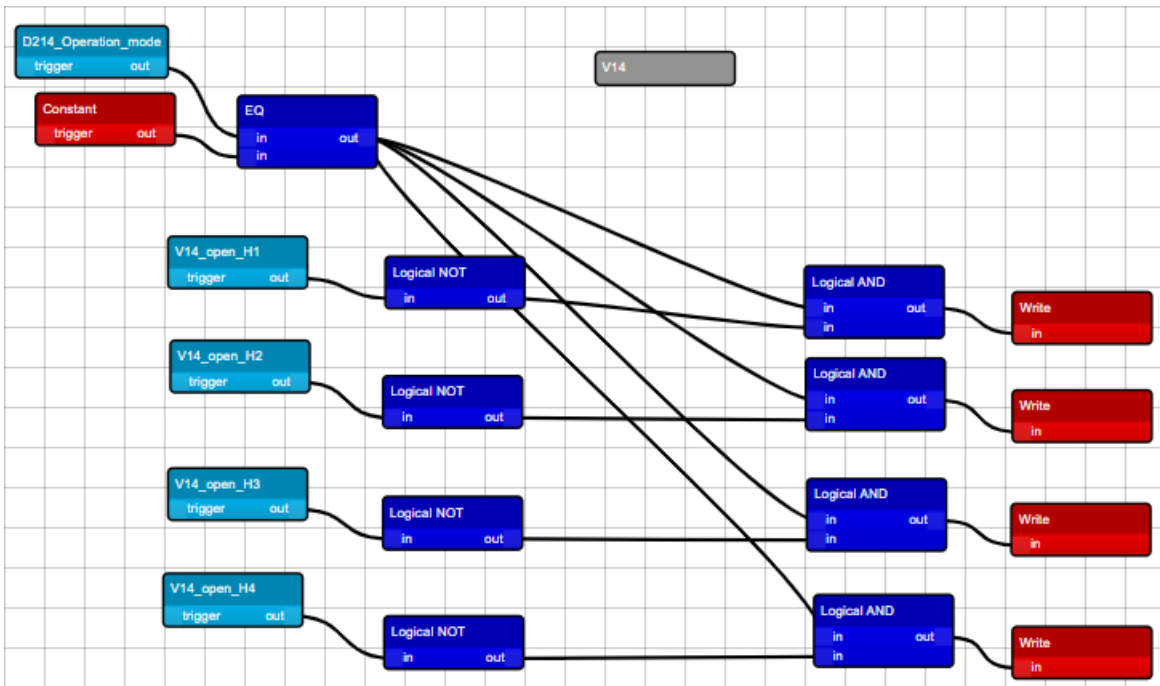
Liite 1. Vetyperoksidikaappien ovien aukiolotiedon ohjelma.



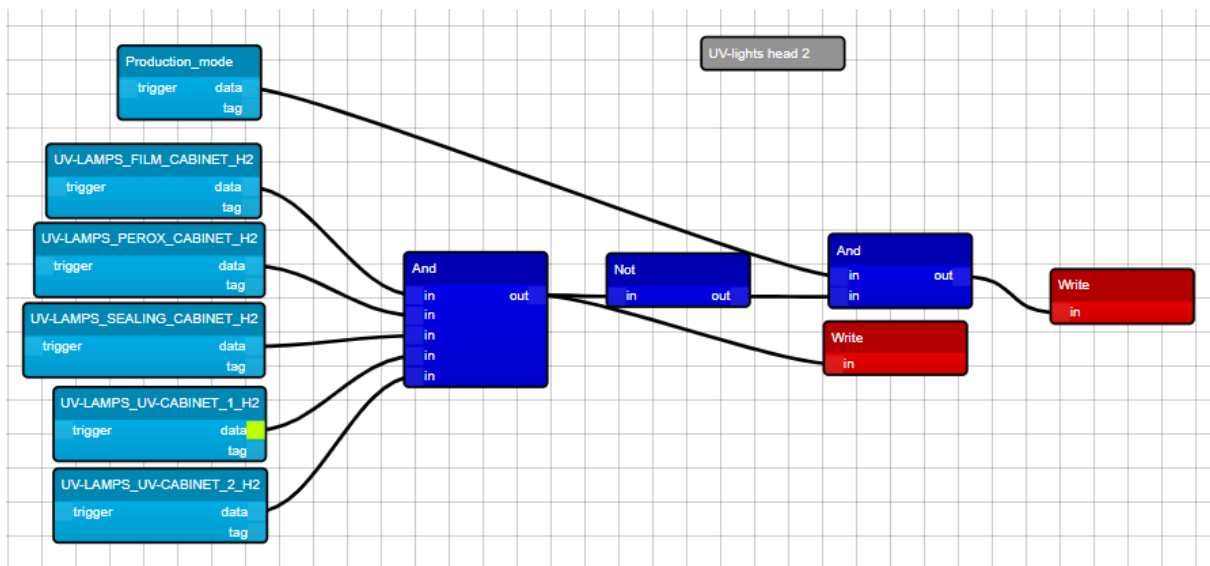
Liite 2. UV-kaappien ovien aukiolotiedon ohjelma.



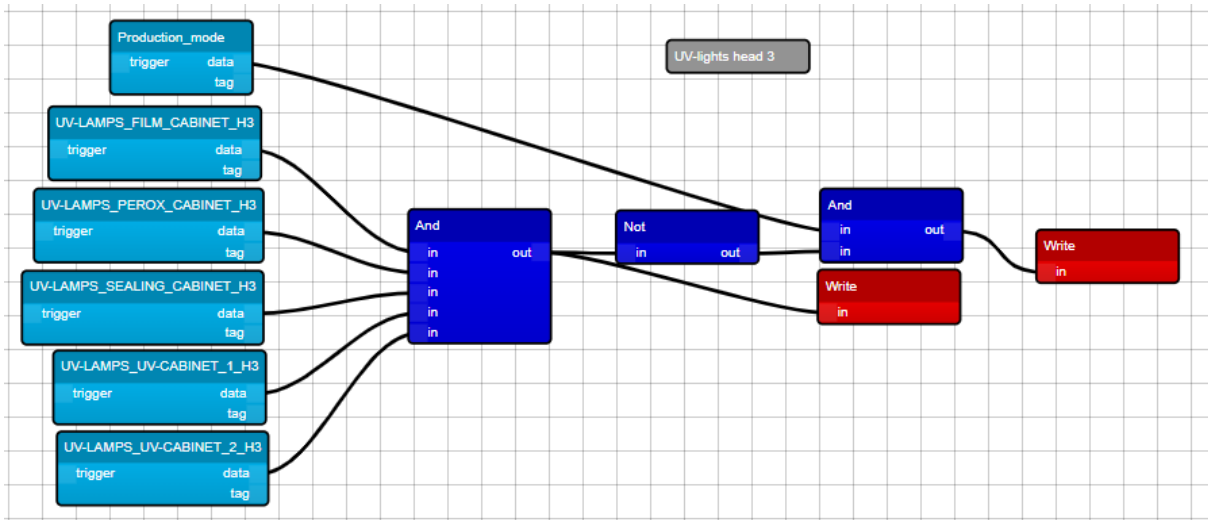
Liite 3. V14 venttiilien aukiolotiedon ohjelma.



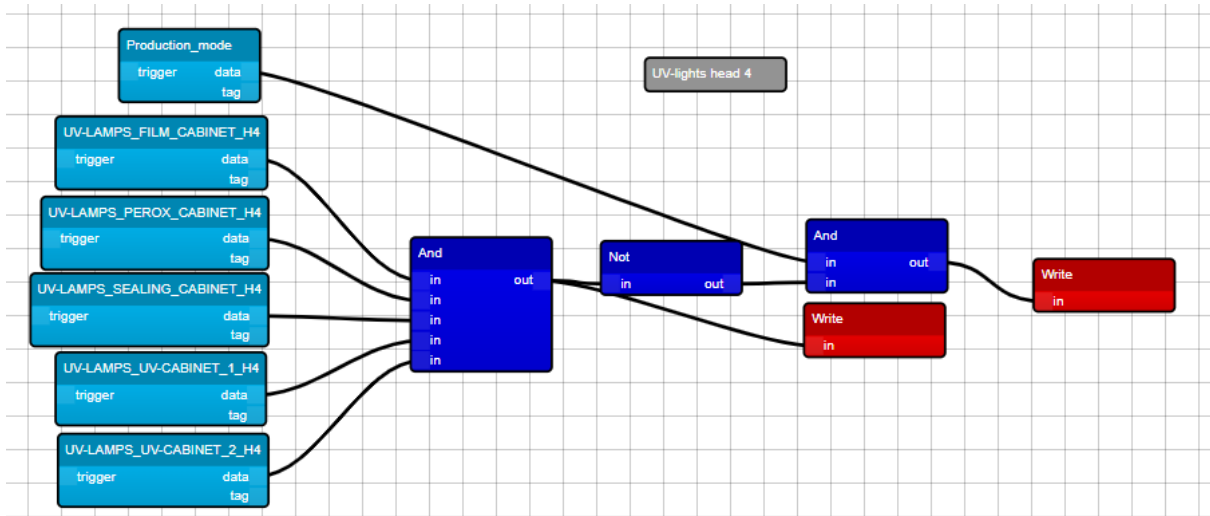
Liite 4. Toisen pakkauspään UV-valojen ohjelma.



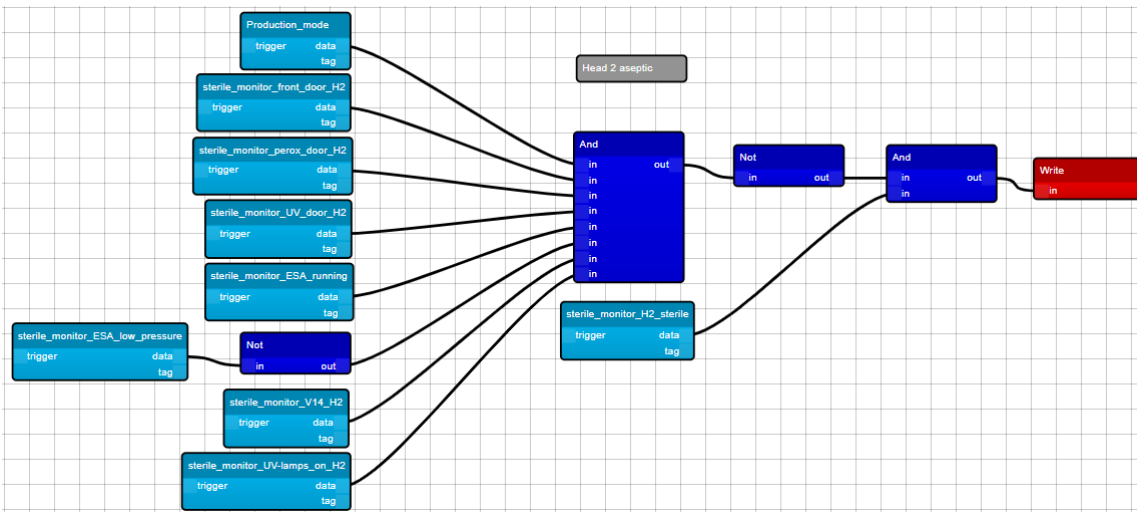
Liite 5. Kolmannen pakkauspään UV-valojen ohjelma.



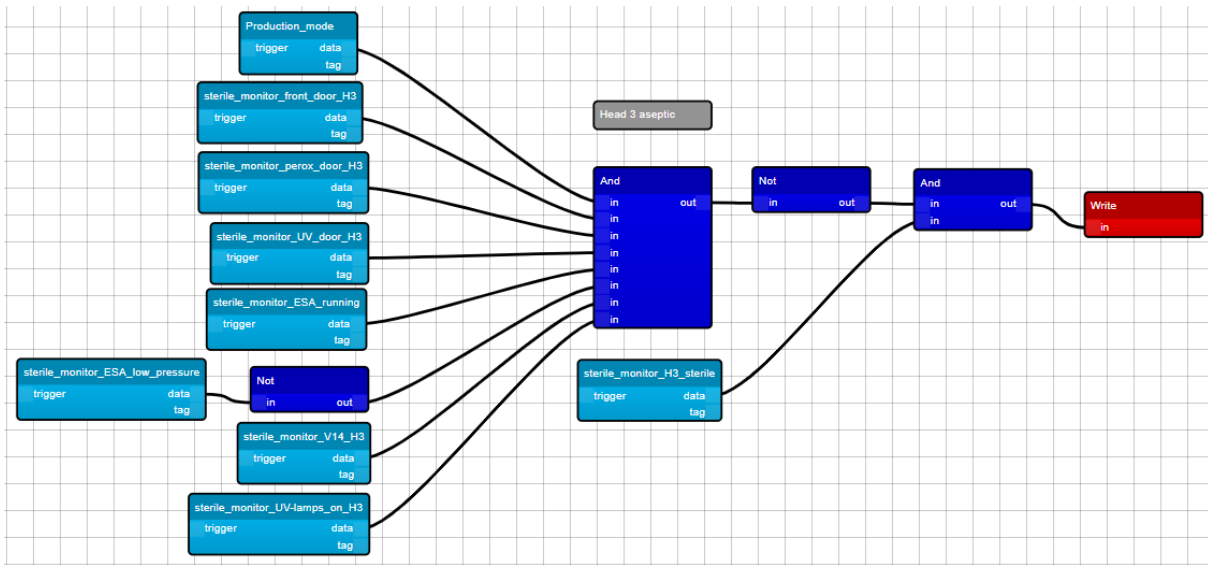
Liite 6. Neljännen pakkauspään UV-valojen ohjelma.



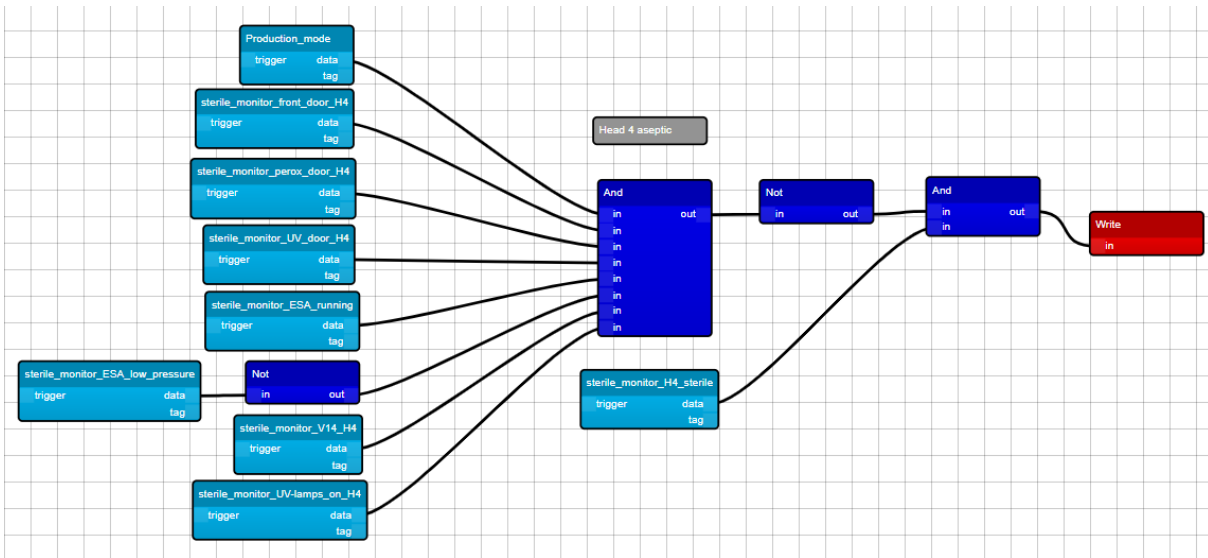
Liite 7. Toisen pakkauspään aseptisen tilan ohjelma.



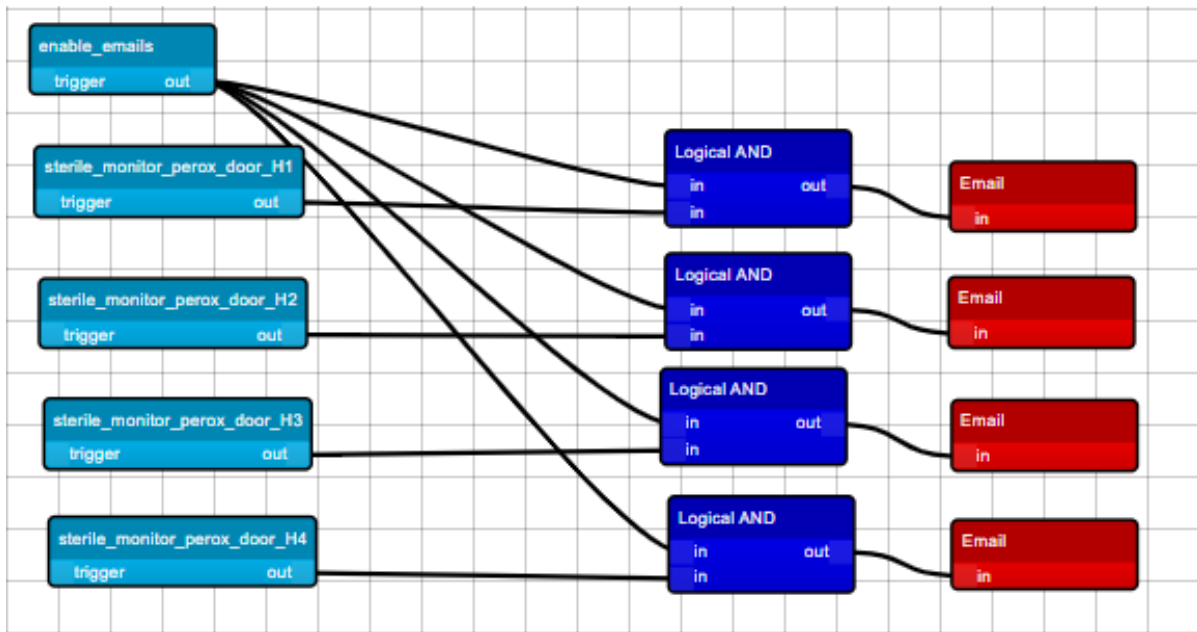
Liite 8. Kolmannen pakkauspään aseptisen tilan ohjelma.



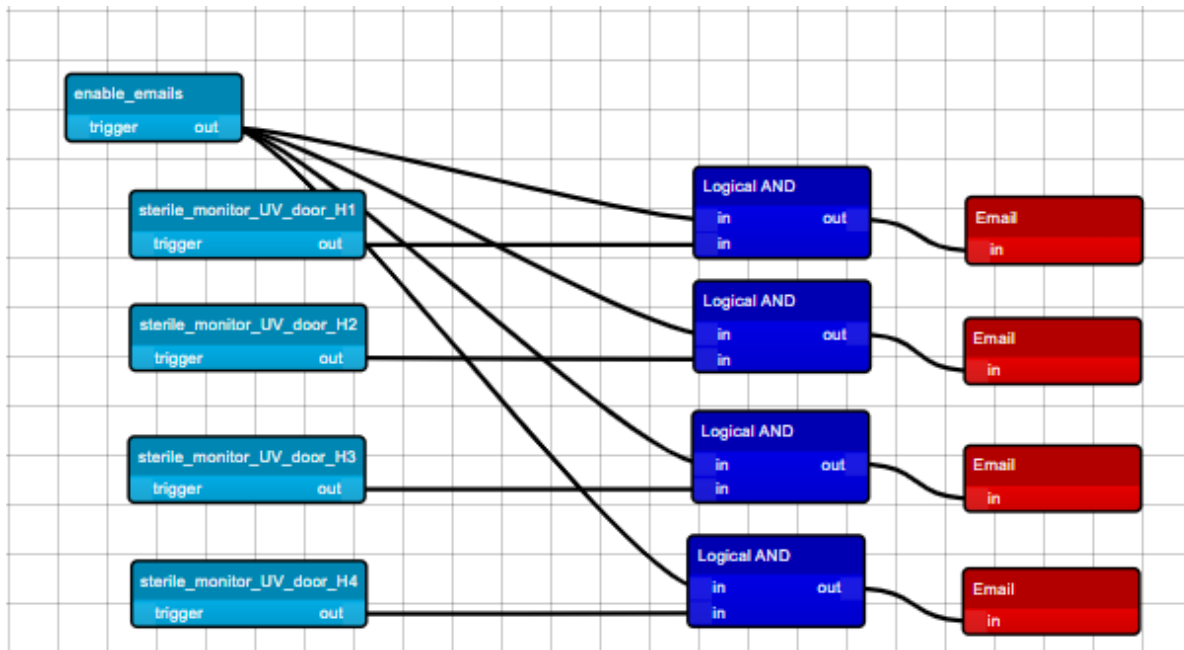
Liite 9. Neljännen pakkauspään aseptisen tilan ohjelma.



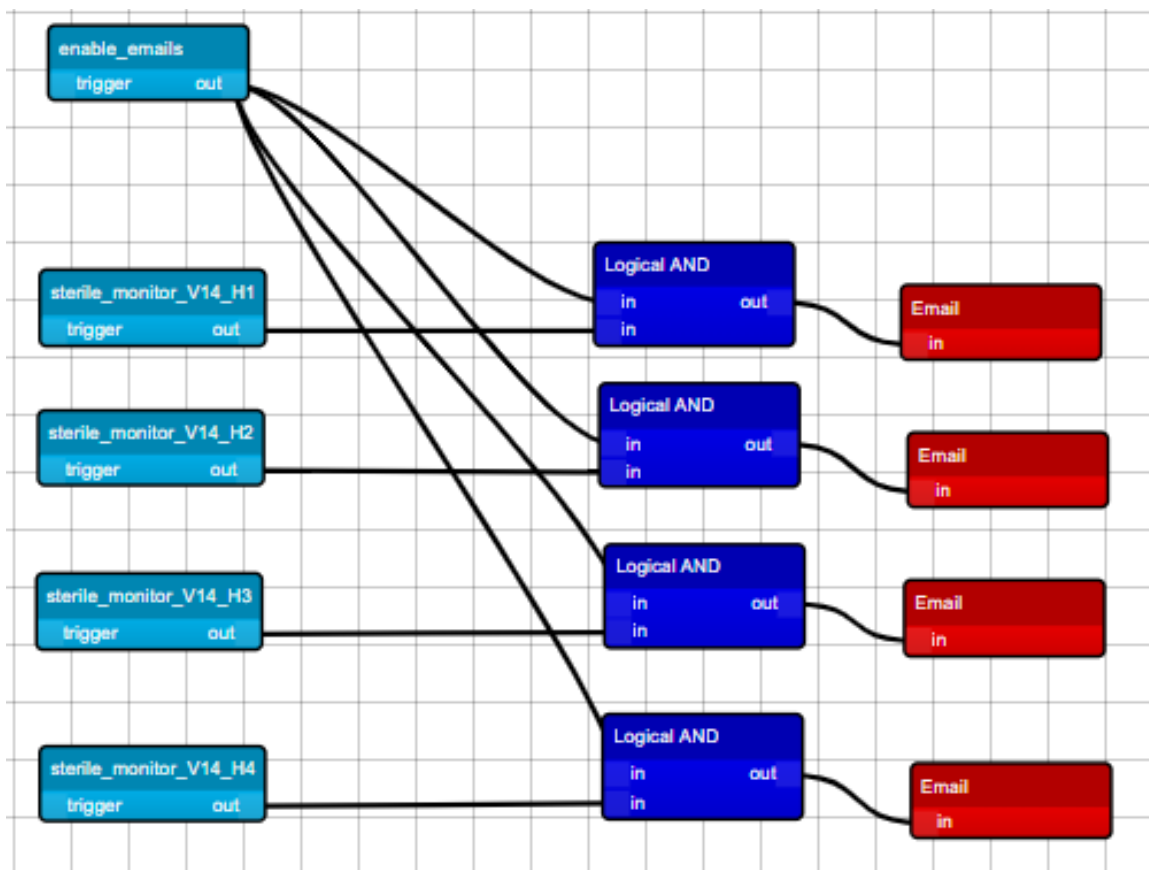
Liite 10. Vetyperoksidikaappien ovien sähköposti-ilmoitusten ohjelma.

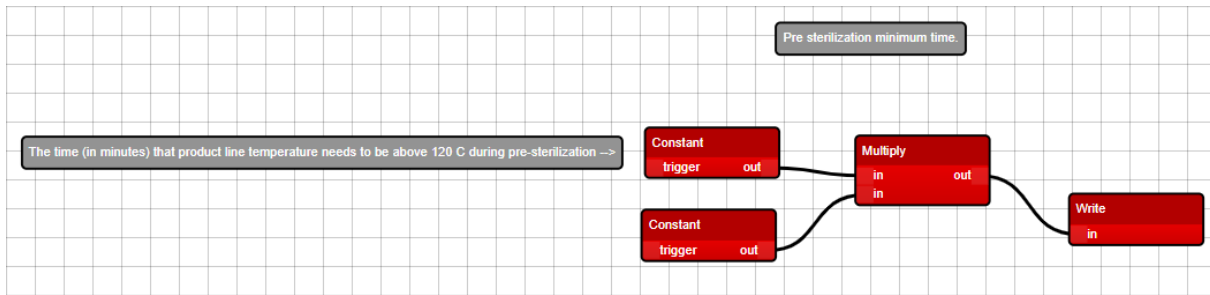


Liite 11. UV-kaappien ovien sähköposti-ilmoitukset.

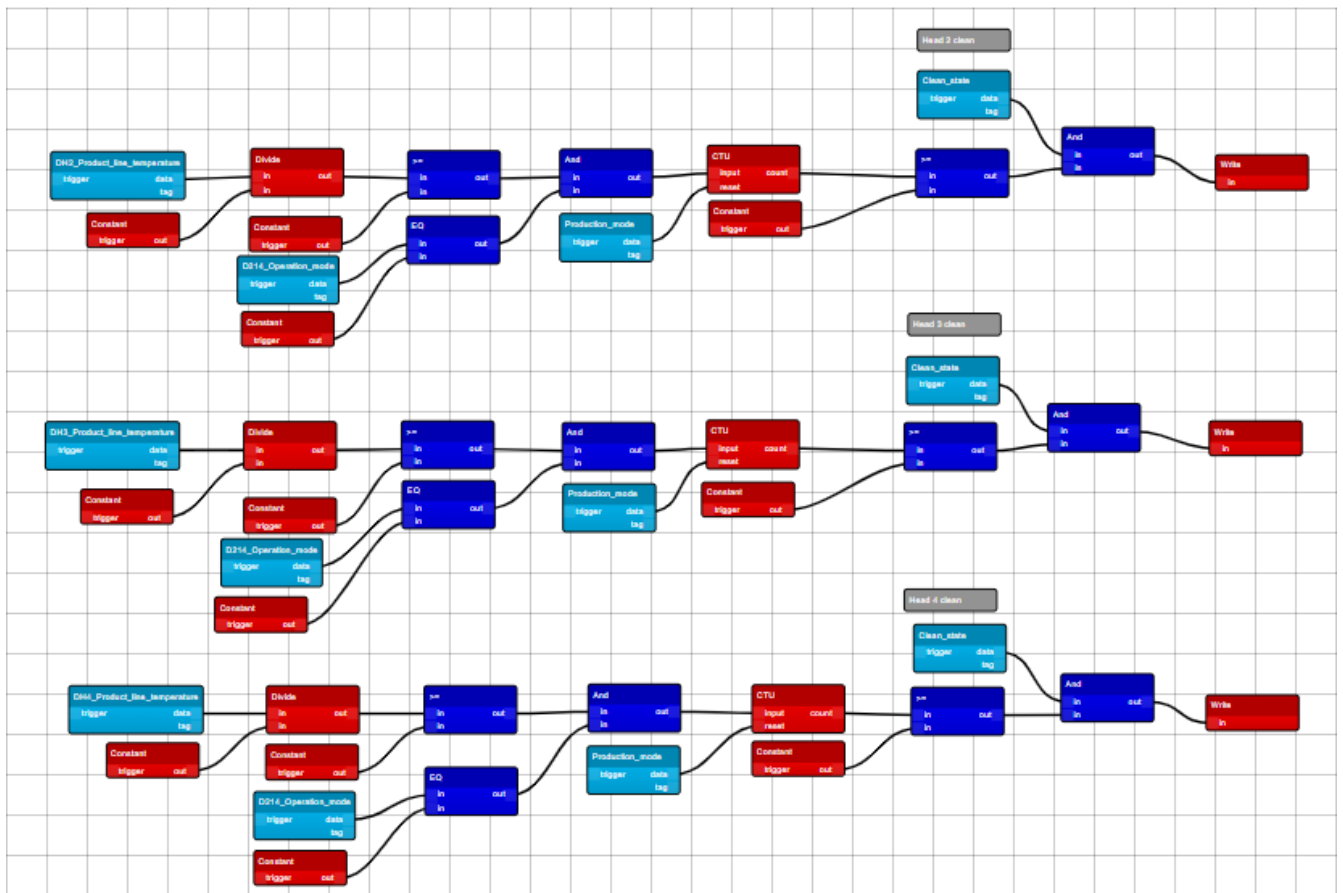


Liite 12. V14 venttiilien sähköposti-ilmoitusten ohjelma.



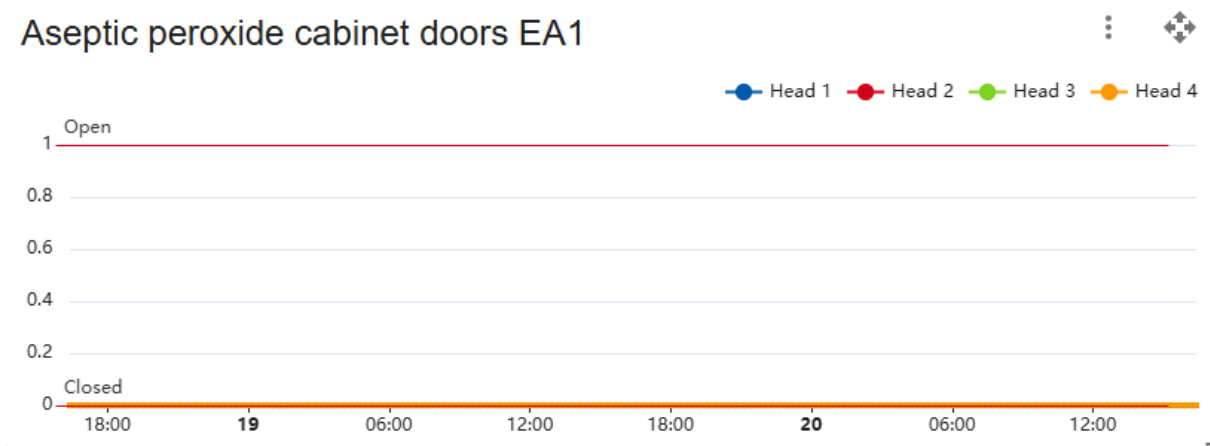
Liite 16. Esisteriloinnin minimiajan muuttuja.

Liite 17. Toisen, kolmannen ja neljännen pakkauspään puhtaan tilan ohjelmat.

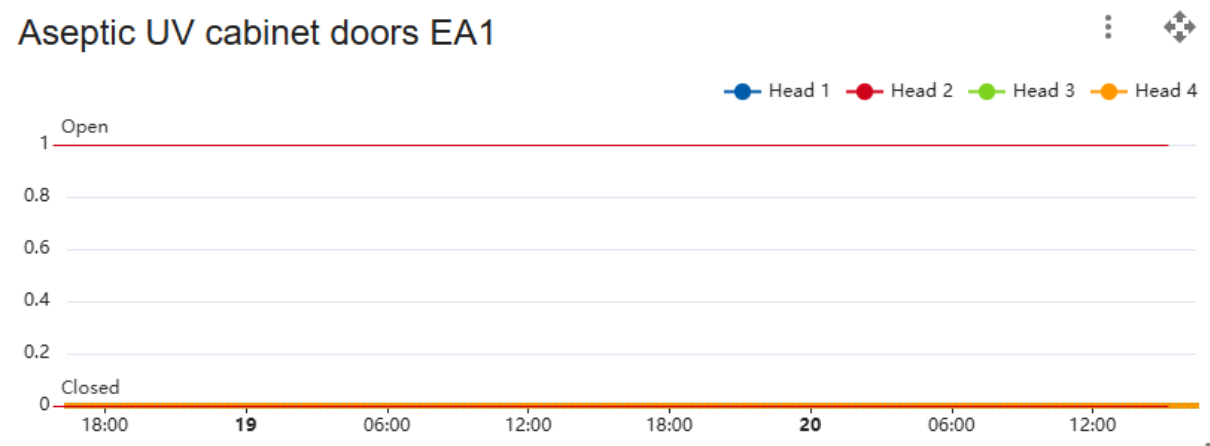


Liite 18. Vetyperoksidikaappien ja UV-kaappien ovien kuvaaja.

Aseptic peroxide cabinet doors EA1

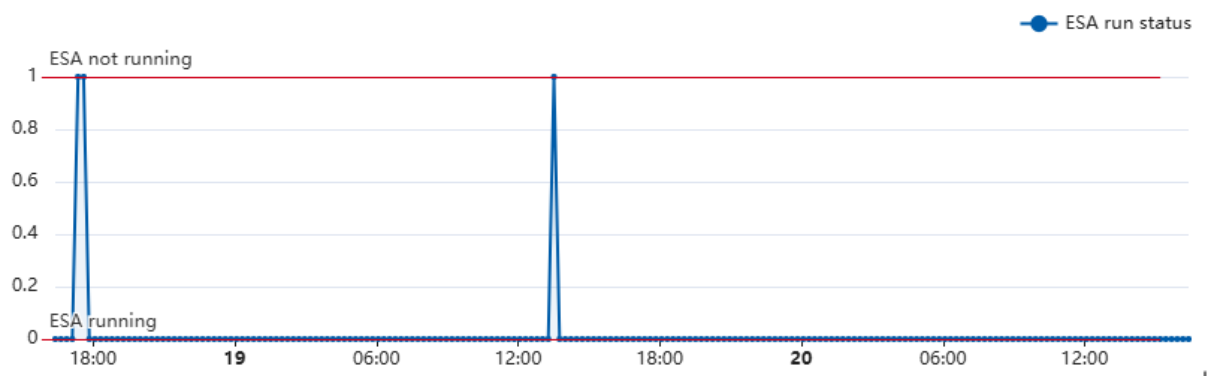


Aseptic UV cabinet doors EA1

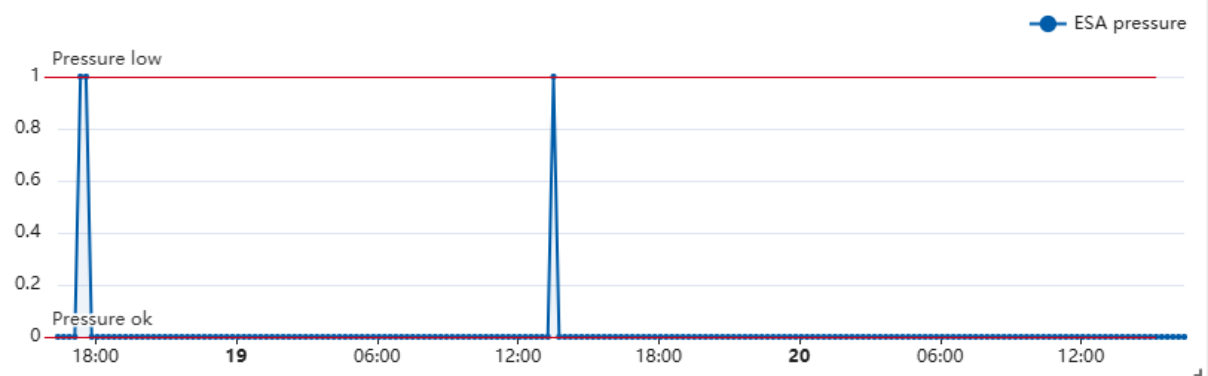


Liite 19. ESA:n käytitiedon ja paineen sekä V14-ventiileiden kuvaajat.

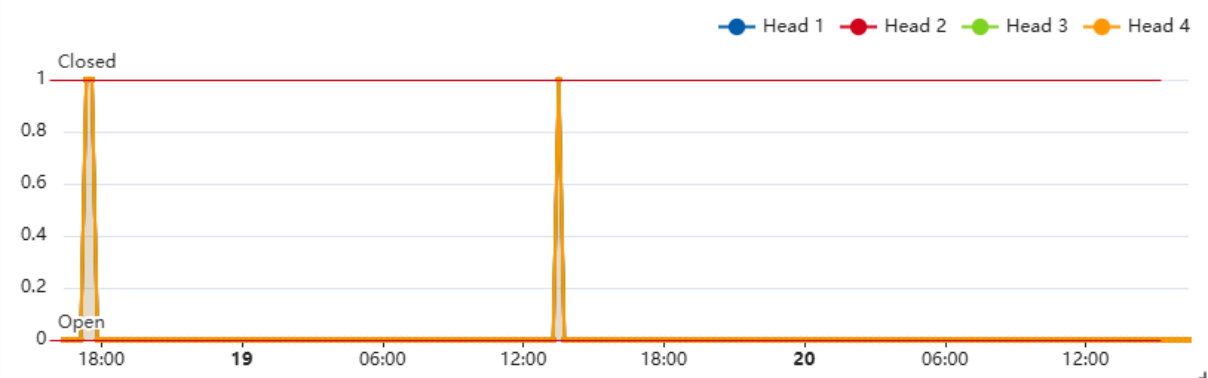
Aseptic ESA EA1



Aseptic ESA pressure EA1

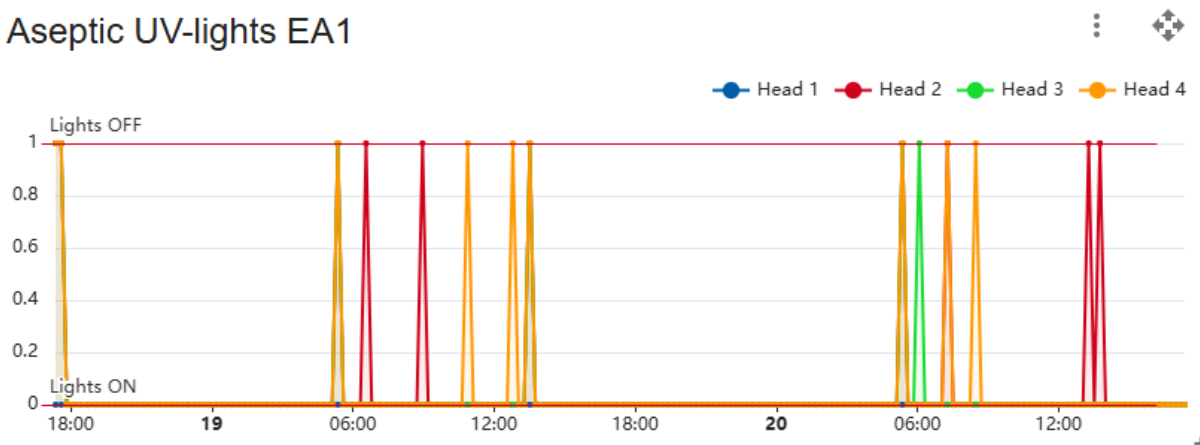


Aseptic V14 Valves EA1

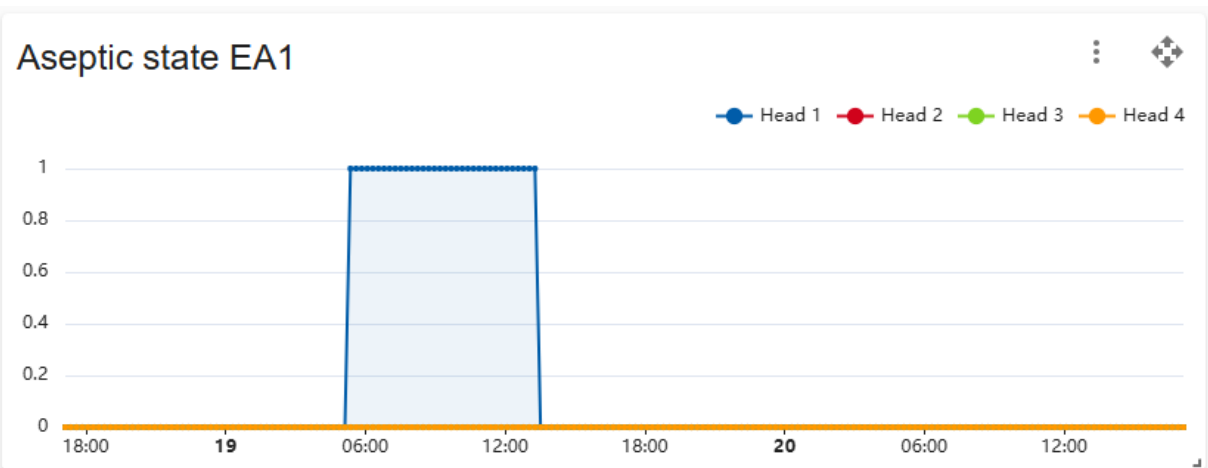
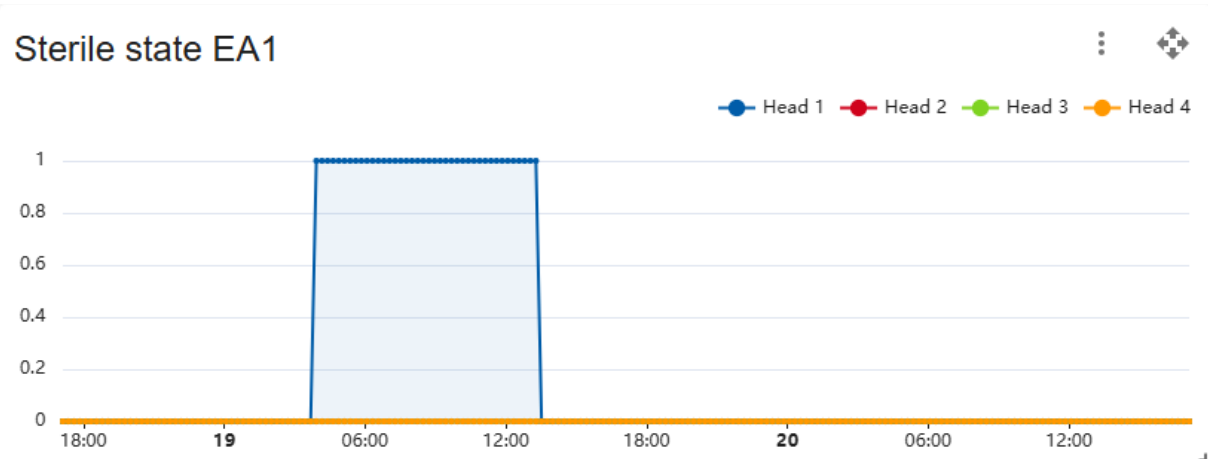


Liite 20. UV-valojen kuvaaja.

Aseptic UV-lights EA1

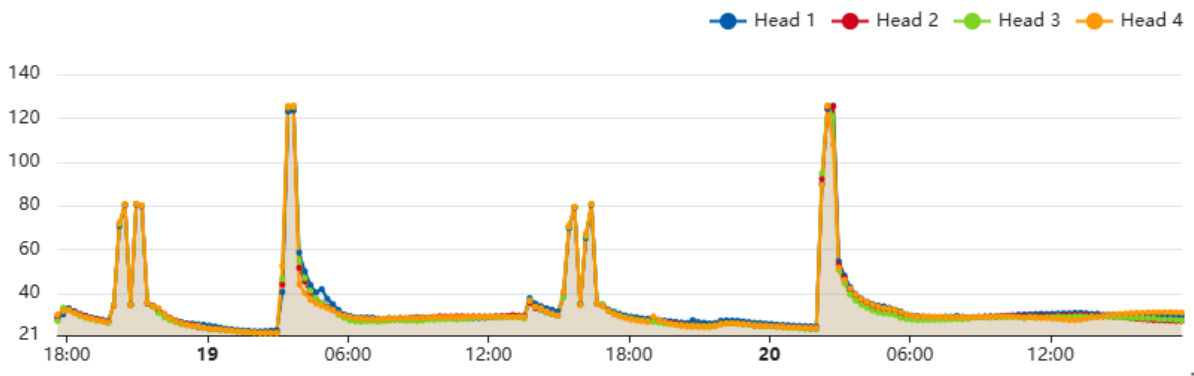


Liite 21. Steriilin ja aseptisen tilan kuvaajat.



Liite 22. Tuoteputkien lämpötilat ja pakkauskoneen tilatieto.

Product line temperatures EA1



Operation mode EA

