

Jarmo Kainumaa

AMMATTIOPPILAITOSTEN SÄÄTÖ- TEKNIIKAN OPPIMISYMPÄRISTÖJEN KEHITTÄMINEN PROSESSIEN SIMULOINTI

Opinnäytetyö

INSINÖÖRI YAMK

Sähkövoimatekniikka

21.4.2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Sähkövoimatekniikka, Insinööri YAMK
Tekijä/Tekijät	Jarmo Kainumaa
Työn nimi	Ammattioppilaitosten säätötekniikan opetuksen kehittäminen. Prosessien simulointi.
Toimeksiantaja	Luksia, Länsi-Uudenmaan koulutuskuntayhtymä
Vuosi	2023
Sivut	37 sivua, liitteitä 1 sivua
Työn ohjaaja(t)	Jyrki Liikanen Ilkka Kauppi

TIIVISTELMÄ

Työssä tarkastellaan simulaattorin hyödyntämistä säätötekniikan opetusmenetelmänä. Simulaattorin mallina oleva todellinen fyysinen prosessi sekä itse simulaattori kehitettiin opinnäytteen tekijän omassa yrityksessä. Tavoitteena oli selvittää simulaattorin soveltuvuutta ammattioppilaitoksen säätötekniikan opetuskäyttöön. Tutkimusongelma ilmenee säätötekniikan opiskelun heikkoina oppimistuloksina ja opiskelijoiden vaikeutena motivoitua abstraktin asian opiskeluun.

Säätötekniikan peruskäsitteiden ja lainalaisuuksien prosessointiin opintojen alkuvaiheessa luotiin helppotajuinen ja tuttuun kontekstiin pohjautuva säätötekniikan malli. Simulaatio toteutettiin ABB:n Automation Builderiin luodulla simulaatiosovelluksella, jolla mallinnettiin riittävällä tarkkuudella todellinen SKILLS UP Plant 3 -opetuslaitteiston pinnankorkeuden säätö. Simulaatiossa käytettiin operointikäyttöliittymää ja säätösovellusta, jollaisella voitiin ohjata simulaatiota tai todellista prosessia.

Simulaation käyttö tapahtui oppilaitoksessa kannettavilla tietokoneilla, kotona opiskelijoiden omilla tietokoneilla tai vaihtoehtoisesti omalta tietokoneelta etäkäyttämällä oppilaitoksessa sijaitsevaa pöytätietokonetta, johon luotiin opiskelijan käyttämältä laitteelta VPN-yhteys.

Työn aikana saadussa palautteessa korostui käyttöliittymän merkitys oppilaan motivaation ylläpitäjänä. Testauksen eräänä tuloksena voidaan mainita, että mallinnuksen tarkkuus ei ollut niin tärkeää oppilaille kuin käyttöliittymän selkeys, visuaalisuus ja käytön sujuvuus. Myös ohjauksen painoarvo oli merkittävä.

Asiasanat: simulointi, säätötekniikan opetus, prosessiautomaatio

Degree	Master of Electric Power Engineering
Author (authors)	Jarmo Kainumaa
Thesis title	Development of control technology teaching in vocational schools. Process simulation.
Commissioned by	Luksia, Western Uusimaa Municipal Training and Education Consortium
Time	April 2023
Pages	37 pages, 1 pages of appendices
Supervisor(s)	Jyrki Liikanen Ilkka Kauppi

ABSTRACT

This work examined the utilization of a simulator as a teaching method of control technology. The actual physical process that is the model of the simulator, as well as the simulator itself, were developed in my own company. The goal was to find out the suitability of the simulator for the teaching use of control technology at a vocational school. The research problem manifests itself in the weak learning results of control technology students and the students' difficulty to be motivated to study an abstract subject.

An easy-to-understand control technology model based on a familiar context was created in the early stages of the studies to process the basic concepts and laws of control technology. The simulation was carried out with a simulation application created for ABB's Automation Builder, which modelled with sufficient accuracy the actual level adjustment of the SKILLS UP Plant 3 teaching equipment. The simulation used an operating interface and a control application that could be used to control the simulation or the real process.

The simulation was used on laptops at the educational institution, on the students' own computers at home, or alternatively from their own computer remotely using a desktop computer located at the educational institution, to which a VPN connection was created from the device used by the student.

In the feedback received during the work, the importance of the user interface as a maintainer of the students' motivation was emphasized. As one of the results of the testing, it can be mentioned that the accuracy of the modelling was not as important to the students as the clarity, visuality and smoothness of the user interface. The importance of guidance was also significant.

Keywords: simulation, problem-based learning, process automation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	OPINNÄYTTEEN TEOREETTINEN VIITEKEHYS	7
2.1	Oppimisen teoriaa ja näkökulmia.....	7
2.1.1	Pelioppimisen perusteet: Sisäinen motivaatio ja FLOW.....	7
2.1.2	Oivaltavan oppimisen toteuttamistapoja	9
2.1.3	Käänteinen oppiminen ja osaamisen näyttö	10
2.1.4	Digitaalinen ja dialoginen syväoppiminen	10
2.2	Säätöpiiri ja prosessimalli	12
2.2.1	Säätöpiirin rakenne ja muuttujat	12
2.2.2	Prosessimallin suunnittelu	14
2.2.3	Prosessimallin kuvaus	16
2.3	Sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon perusteet.....	18
2.3.1	Prosessiautomaatioasennukset 45osp tutkinnon osa	18
3	TUTKIMUSMENETTELY JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	19
3.1	Simulaattorin muokkaaminen opetuskäyttöön	20
3.2	Simulaattorin käyttö opetustilanteessa	23
3.2.1	Aloitus	24
3.2.2	Automaattinen säätö ja käsiajo	24
3.2.3	Käsitteiden tutkiminen.....	25
3.2.4	Säätöpiirin yksinkertaistetun (ei häiriötä) lohkokaaavion tutkinta	26
3.2.5	Säätimen parametrien vaikutus	27
3.2.6	Säätöpiirin viritys kokeellisesti ja askelvastekokeen avulla	28
3.2.7	Tulosten ja havaintojen käsittely	30
3.2.8	Säätöpiirien operointi todellisella laitteella	31
4	TUTKIMUKSEN TULOKSET	32
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	34
	LÄHTEET.....	35



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences

KUVALUETTELO37

LIITTEET

1 JOHDANTO

Ammatillisen koulutuksen Prosessiautomaation tutkinnon osan säätötekniikan osaamisvaatimuksina ovat säätöpiirin muodostumisen, säätötapojen ja säätömuotojen tunteminen; muutosten ja lisäyksien teko operointipaneeleihin tai vastaaviin valvomolaitteisiin ja operointinäyttöjen säätöpiirin toimintojen hallinta. Perinteisesti opiskelu on sisältänyt kentälaitteiden asentamisen harjoituksia, teorialuentoja ja ryhmätyönä tehtyjä operointiharjoituksia erilaisten toimivien prosessien avulla. Säätötekniikan opiskelu on ollut osalle opiskelijoista hyvin haastavaa. Esimerkiksi säätöpiirien toimintaan liittyvät käsitteet ja toiminnot on koettu vaikeina ymmärtää.

Alle 30-vuotiaita suomalaisia voitaneen kutsua termillä ”diginatiivit”, sillä he ovat jo hyvin nuoresta iästä alkaen käyttäneet kaikkia mahdollisia digitaalisia välineitä. Keskeinen kommunikointiväline on mobiililaitte, jonka puheominaisuus saattaa olla nuorilla vähiten käytettävä laitteen ominaisuus. Puhe-ominaisuutta käytetään ehkä vain kommunikoidessa isovanhempien, työnantajien tai oppilaitoksen kanssa.

Nuorten viestintä tapahtuu pääasiassa kuvallisten applikaatioiden (”appien”) avulla. Oppilaitosten opetusmateriaalitarjonnassa korostuu edelleen pääasiallisesti tekstipohjainen viestintä. Esikuvana tekstipohjaisuuteen on toiminut työelämän ja teollisuuden dokumentaatio, puhumattakaan julkishallinnosta.

Tulevaisuuden oppimateriaalien oleellinen piirre on niiden kuvallisuus ja tiedon visualisoituminen [1, s.160.]

Oppimateriaalit viedään jo nykyään yleistävästi ja tulevaisuudessa pääosin digitaalisille verkkoalustoille käyttöön. Jotta digitaalinen opetusmateriaali voisi olla aidosti vuorovaikutteinen, se ei voi ensisijaisesti olla tekstikeskeinen. Perinteisen kirjan täydentäminen kuvilla, äänillä, videoilla, leikeillä ja linkeillä ei riitä opetusmetodina ammatillisilla aloilla tulevaisuudessa. Teoreettisen tiedon sisäistämiseen ja käytännön taitojen oppimiseen tarvitaan lisäksi harjoittelua. Digitaalisuus mahdollistaa sekä kuvallisen viestinnän keinovalikoiman että tur-

vallisen oppimisympäristön erilaisten taitojen ja toimintaprosessien harjoitteluun. Digitaalisten oppimisympäristöjen kohdalla voidaan puhua myös virtuaaliympäristöistä [2, s.188-191.]

Nuorten ikäluokkien viestintäkäytäntöjen perusteella voidaankin olettaa, että ilmiön kuvaaminen elävän kuvan ja erilaisten käyttöliittymien avulla madaltaa kynnystä asiasisältöön perehtymisessä. Edelleen haasteena on saada interaktiiviset tietokonepohjaiset ympäristöt niin motivoiviksi, että ne pitävät opiskelijan kiinni harjoituksessa loppuun asti.

Tässä työssä tutkitaan yksilöllistä ja yhteisöllistä oppimista helpottavia ja syventäviä opiskelumenetelmiä simuloidun prosessin avulla. Tarkoituksena on tutkia, onko oppimisympäristö mahdollista rakentaa siten, että uusi säätötekniikan harjoittelun simulaattori motivoi opiskelijaa parempiin oppimistuloksiin. Automaation ammatilliseen opiskeluun suunniteltuja helppokäyttöisiä simulointiympäristöjä on markkinoilla suhteellisen vähän. Työn aihe on siten hyvin ajankohtainen.

2 OPINNÄYTTEEN TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Tässä luvussa tarkastellaan aluksi opetukseen liittyvää tutkimusta ja teoreettisia näkökulmia. Seuraavaksi tuodaan esille säätötekniikan peruskäsitteitä ja mallintamisen lähtökohtia. Lopuksi tarkastellaan säätötekniikan ammatillisen opetuksen tutkinnon perusteita

2.1 Oppimisen teoriaa ja näkökulmia

2.1.1 Pelioppimisen perusteet: Sisäinen motivaatio ja FLOW

Perinteinen ajatus on, että oppimista tapahtuu, kun oppilas altistuu oppiainekselle. Vielä nykyäänkin käytössä on laajalti opetustyyli, jossa opettaja pitää monologiluentoa luokan edessä. Luento on tutkitusti varsin tehoton tapa opettaa.

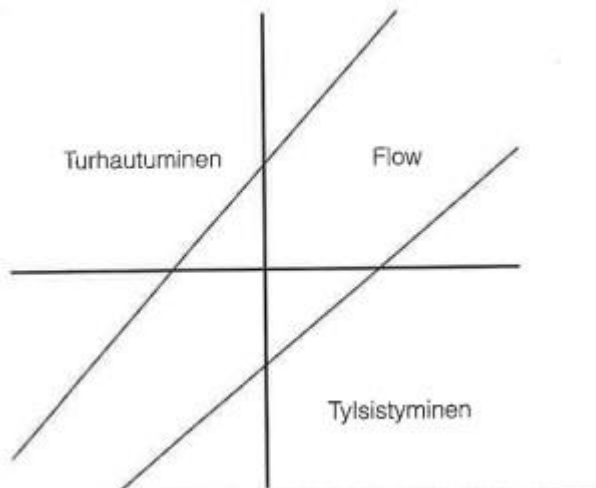
Oppiminen edellyttää, että opiskelija kiinnittää aktiivisesti huomiota opetettavaan asiaan. Tämä on yhtä tärkeää kuin laadukas opetusmateriaali. Tarkkaavaisuuden ylläpitäminen edellyttää sisäisen motivaation sytyttämistä, jolloin opiskelija haluaa tutustua opetettavaan asiaan. Sisäisen motivaation syntymi-

sen voi saada aikaan innostava opettaja tai kiinnostava oppiaines. Jos oppiaines esitetään kiinnostavasti, se voi myös synnyttää sisäisen motivaation. Pelit ovat tutkitusti erittäin tehokkaita sisäisen motivaation sytyttäjiä.

Flow-tila tarkoittaa tilaa, jossa toimija on täysin uppoutunut tehtäväänsä ja tempautunut siihen mukaan niin, että tietoisuus ja toiminta sulautuvat yhteen. Flow-tila edellyttää välitöntä palautetta käsillä olevasta tehtävästä sekä sitä, että tehtävällä on selvä päämäärä. Lisäksi se edellyttää, että tehtävään voi keskittyä häiriöttä ja että tehtävän vaativuustaso ja tekijän taidot ovat tasapainossa.

Tällöin puhutaan kuvassa 1 esitetystä Flow-kanavasta, jossa toisella puolella on turhautuminen ja toisella puolella tylsistyminen. Sisäinen motivaatio pitää yllä toimintaa riippumatta ulkoisista palkinnoista tai rangaistuksista. Toiminta on tällöin itsensä päämäärä ja tällöin puhutaan nk. ”autoteelisestä toiminnasta”, joka on Flow-tilan perusta.

Oppimistehtävän tulee haastaa opiskelijaa riittävästi, jotta opiskelija ei tylsisty. Vastaavasti pitää välttää haastamasta opiskelijaa liikaa, ettei opiskelija turhaudu. Tällöin opiskelija voi saavuttaa Flow-tilan. Tämän työn lähestymisessä on hyödynnetty pelioppimisen teorian ajatuksia oppilaan haastamisessa Flow-tilan saavuttamisen keinona. [3, s.219-221.]



Kuva 1. Flow-kanava

2.1.2 Oivaltavan oppimisen toteuttamistapoja

Opetuksen lähtökohtana voi olla erilaisia pedagogisia lähestymistapoja, joissa hyödynnetään erilaisia soveltuvia teknologisia apuvälineitä.

Opettajalähtöisenä vaihtoehtona on esimerkiksi *aktivoiva oppitunti tai luento*. Silloin aktivoidaan opiskelijan aikaisempia kokemuksia ja tietoja, jolloin uusi tieto tulee oppijalle merkitykselliseksi. Aktivointi voi tapahtua verkossa tai kasvokkain ja tavoitteiden tulee olla läpinäkyviä ja mahdollisesti yhdessä asetettuja.

Tapauspohjaisen tai projektioppimisen lähtökohtana voi olla joku todellinen käytännönläheinen tapaus tai ongelma, johon ruvetaan kehittämään ratkaisua työelämälähtöisesti. Tällöin voi syntyä aitoja taloudellisestikin merkittäviä tuotoksia, jotka hyödyttävät yrityksiä tai yhteisöjä.

Ilmiölähtöisessä oppimisessä lähtökohtana on joku opiskelijan itsensä määrittämä ilmiö, jota tutkitaan oppiainerajat ylittävissä projekteissa, joissa voi olla integroituina taidetta, luonnontieteitä ja tekniikkaa.

Ongelmalähtöinen oppiminen on strukturoitua, paljon suunnittelua vaativaa ja monialaista. Ongelmalähtöistä oppimista käytetään erityisesti lääketieteessä, jossa tiedon määrä on suuri ja päättelyn taidot keskeisiä. Ongelmalähtöinen oppiminen kehittää ajattelun taitoja suurten oppimäärien käsittelyssä ja stimuloi itseopiskelua ja syväoppimista.

Tutkivassa oppimisessä kysymykset eivät ole opettajan etukäteen miettimiä, vaan opiskelijat asettavat kysymykset itse ja lähtevät tutkimaan hyvinkin avoimesti määritettyjä ongelmia. Työskentelyteoria pakottaa kyseenalaistamaan omat arkiuskomukset. Omat ajatukset tehdään avoimiksi keskustelulle ja kyseenalaistetaan ja "sohketaan" omat aiemmat käsitykset. Vähitellen tutkimuksen aikana kysymykset täsmentyvät ja tarkentuvat pienemmiksi. Tutkivan oppimisen yhteydessä luodaan opiskeltavaan aiheeseen liittyvää uutta tietoa, ymmärrystä, kaavioita, kirjoituksia, jne. Tutkivassa oppimisessä tärkeämpää on hyvien kysymysten asettaminen kuin valmiiden vastausten opetteleminen jonkun toisen esittämiin kysymyksiin.

Edellisistä oivaltavan oppimisen lähestymistavoista tässä työssä hyödynnetään ongelmalähtöisen ja tutkivan oppimisen lähestymistapoja menettelyn kehittämisen taustalla. [4]

2.1.3 Käänteinen oppiminen ja osaamisen näyttö

Perinteinen opettajajohtoinen koulutus tuottaa uusia osaajia oppilaitoksissa vastaanotettavien tutkintosuoritusten pohjalta. Tutkinnon saamisen edellytyksenä on ollut oppilaitoksen kirjoille pääsy ja opetuksen seuraaminen. Opettajajohtoisten koulutusprosessien haasteena on opintoalojen monipuolistuminen ja yksilöllisen ohjauksen riittämättömyys suurten ryhmien läsnä ollessa ja opettajien osaamisen vanhentuminen.

Tilanteen tuottamaa haastetta on ryhdytty ratkomaan käänteisellä oppimisella, tietokoneavusteisella opiskelulla ja näyttökokeilla. Käänteisessä oppimisessä ensimmäisessä vaiheessa opiskeltavien asioiden tavoitteet ja perusteet voidaan esittää esim. videoiden, leikkeiden, animaatioiden tai erilaisten verkkomateriaalien avulla. Vasta ensimmäisen vaiheen jälkeen voidaan opettajavetoisesti tehdä harjoituksia, tietokoneella toteutettuja simuloituja ongelmanratkaisutehtäviä tai muita tehtäviä, joiden vastaukset käytetty ohjelma tarkistaa ja antaa palautteen. Opettajalla on tällöin aikaa opiskelijoiden kanssa keskusteluun, auttamiseen, ongelmatilanteisiin ja tukemiseen. [5,s.120]

Käänteinen oppiminen pedagogisena keinona on käytössä laajasti ammattikorkeakouluissa. Ammattiopistotasolla opiskelee ammattikorkeakoulun opiskelijoihin nähden nuorempia oppijoita, joiden valmius itseohjautuvuuteen ja aktiivisuuteen on vielä iän puolesta kehittymättömämpi. Siitä syystä lähestymistapa on ohitettu tämän työn yhteydessä.

2.1.4 Digitaalinen ja dialoginen syväoppiminen

Oppimisteknologioiden vaarana on eräänlainen opiskelijoiden heitteille jättäminen vailla ohjausta, ilman toisten opiskelijoiden tai opettajan tukea. Nuorten opiskelijoiden ei voi olettaa olevan vahvasti itseohjautuvia. Eräänä tutkimuskohteena on ollut autenttisen, dialogisen ja yhteisöllisen tiedonrakentamisen pedagoginen malli DDD (Dialogical, Digital and Deep learning), suomeksi digitaalinen ja dialoginen syväoppiminen. [6, s.87]

Digitaalisen ja dialogisen syväoppimisen lähtökohtana on mainittu seuraavat suunnitteluperiaatteet (Ruhalahti, 2019):

1. Dialogiseen tiedonrakentamiseen valmentaminen erityisiä menetelmiä hyödyntäen
2. Autenttisen oppimisen lähtökohtien huomioiminen

3. Itseopiskeluvaiheiden linkittäminen oppimisprosessin eri vaiheisiin
4. Dialogisen tiedonrakentamisen ohjaaminen
5. Digitaalisten ympäristöjen huolellinen valinta tukemaan yhteisöllistä dialogista tiedonrakentamista
6. Syväoppimisen arvioinnin praktisen viitekehyksen liittäminen opetuksen suunnittelun osaksi.

Edellisillä periaatteilla on vahva liittymäkohta kuvassa 2 esitettyyn eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan 2018 julkaisun sisältöön [7.]

Järjestys	Teknologiakori	Geneerisyysluku
1	Neuroverkot ja syväoppiminen	3820
2	AI:n tekemä globaali työ	3021
3	Robottiauto henkilö- ja tavaraliikenteessä	2010
4	Materiaalitutka – hyperspektrikamera	1854
5	Laskentatehon radikaali kasvu	1760
6	Ubiikki ympäristö ja tavaroiden internet	1666
7	Kasvojen ja emootioiden tunnistus sekä projisointi	1598
8	Puheentunnistus, puhesynteesi ja tulkkaus	1581
9	Assosiatiiviset muistit ja hermoverkkoprosessorit	1455
10	Kaupallisen alustatyön välittäminen	1455
11	Ajatusten luku ja muokkaus suoraan aivoista	1445
12	Verbot/chatbot - keskustelevat ja kirjalliset robotit	1328
13	Älylasit, AR-lasit ja laajennettu todellisuus	1326
14	M2M-kauppa ja muu verkkokauppa	1296
15	Aurinkosähkön nopea kehitys	1260
16	Kuluttajahintaiset kehon analysaattorit	1260
17	Fyysinen etiäistyö ja AI:n johtama työ	1245
18	Kuvantaminen ja paikannus	1209
19	Ympäristön reaaliaikainen 3D-hahmotus	1170
20	Hahmontunnistusalustat ja muut AI-alustat	1095
21	Globaali langaton laajakaista	1080
22	Tavaroiden 3D-tulostus	1072
23	Älylasit, AR-lasit ja laajennettu todellisuus	1050
24	Uudet robotisoidut palvelut	1050

Taulukko 3. TOP 24 teknologiakoria ennakoidun geneerisen vaikuttavuuden mukaan.
Pisteytyksen laskukaava on esitetty liitteessä 1 (kaava III).

Kuva 2. Top 24 Teknologiakorit

Kuvan 2 taulukossa syväoppiminen asettuu 1. sijalle yhdessä neuroverkkojen kanssa ennakoidun geneerisen vaikuttavuuden potentiaalin osalta. Tämä tarkoittaa sitä, että tulevaisuusvaliokunnan arvion mukaan syväoppimisella on suurin mahdollinen potentiaali muuttaa maailmaa nyt ja tulevaisuudessa.

Tässä työssä pyritään hyödyntämään edellä esitettyjä syväoppimisen ajatuksia.

2.2 Säättöpiiri ja prosessimalli

2.2.1 Säättöpiirin rakenne ja muuttujat

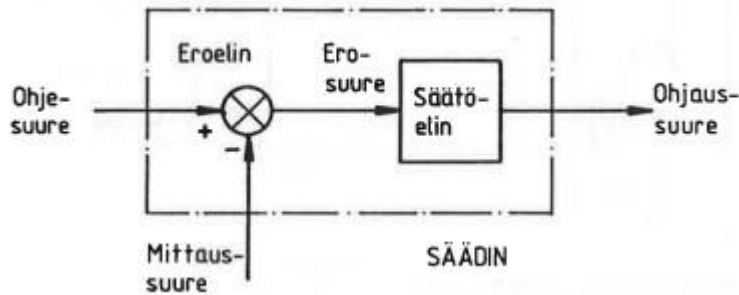
Säättöpiiri muodostuu säädettävän prosessisuureen mittauksesta, prosessisuureeseen vaikuttavasta toimilaitteesta ja itse säätimestä. Säädin voi olla automaatiolaitteen ohjelmallinen toiminto, erillinen yksikkösäädin tai toimilaitteeseen integroitu ominaisuus. Näistä esimerkkinä taajuusmuuttajan PID-makro tai säättöventtiiliin integroitu, parametroinnilla aktivoitava PID-säädin.

Prosessisuureiden mittausta toteutetaan edelleen pääsääntöisesti mA-signaalointiin perustuvilla lähettimillä niiden luotettavuuden vuoksi. Väyläpohjainen signaalointi yleistyy kuitenkin tällä hetkellä vauhdilla teollisuudessa. Käytössä on HART-, Profibus PA-, FF-, Profinet- ja Modbus-väyliä. Toimilaitteiden puolella uusissa sovelluksissa taajuusmuuttajia ja venttiilejä ohjataan väyläpohjaisesti sen mahdollistaessa kattavan kenttälaitteiden diagnostiikan.

Säättömuotoina käytetään yleisimmin PI-säädintä, joka soveltuu useimpiin säätökohteisiin. PID-Säädintä käytetään pääsääntöisesti silloin, kun prosessi sisältää nk. kuollutta aikaa, eli aikaa, joka kuluu toimilaitteen tilamuutoksesta siihen, että mittauksessa tapahtuu muutos. Säättömuodon valinta on nykyisissä automaatiolaitteissa yksinkertaisesti parametroitia. [8, s.98.]

Säätimelle annetaan säädettävän suureen haluttua tilaa vastaava asetusarvo eli Setpoint (SP). Setpoint on yhdistetty nk. summauspisteeseen, johon tuodaan myös prosessisuureen tilaa indikoiva mittaustieto eli Process value (PV). Signaalien erotuksesta ($e=SP-PV$) muodostuu erosuure eli ERROR (e), joka viedään tulosignaalinä säätimen esim. PID-algoritmille. Kuvassa 3 yksinkertaistettu säättöpiirin periaatekuva. [9, s.29.]

PID-Algoritmi käsittelee erosuureen annettujen P-, I- ja D-parametrien mukaisesti ja muokattu signaali viedään PID-algoritmin lähtösignaaliaksi Y ja edelleen ohjaussuureeksi Control Value (CV). [9, s.29,57.]



Kuva 3. Säättöpiiri

Signaalien lukuarvot on skaalattu säätimelle esim. skaalaan 0.0-100.0% tai johonkin muuhun tarkoituksen mukaiseen skaalaan.

Esimerkiksi säätimen min. 0.0% ja max. 100.0%. Parametri $K_p=2$, $T_i=999s$ ja $T_d=0s$. Prosessi on seis. Mittausarvo $PV=0.0$. Hetkellä T_1 asetusarvoksi annetaan 30.0%. Sitten käynnistetään prosessi. Ero-suure on hetkellä T_1 $e=Sp-PV=30.0\%-0.0\%=30.0\%$. Sijoitetaan 30.0% algoritmiin. Lopputuloksena hetkellä T_1 $Y=60.0\%$. PID-Säätimen algoritmi on kuvattu aikatasossa kuvassa 4.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Kuva 4. PID-algoritmi.

Säättöpiirien toimintaa seurataan teollisuudessa valvomoissa isoilta PC-näytöiltä, joissa säättöpiirit sijaitsevat todellista prosessia vastaavien rakenteiden ja virtausreittien mukaisesti. Säättöpiirien asetusarvojenmuuttaminen tapahtuu esim. klikkaamalla hiirellä ko. symbolia, jolloin haluttuun muuttujaan voidaan vaikuttaa. Prosessin tilaa indikoidaan eri väreillä ja esim. numerokentillä, joissa lukuarvon informaationa esim. Asetusarvo $SP=30.0\%$, Mittausarvo $PV=60.0\%$ tai Ohjaussuure $CV=70.7\%$. Usein indikoidaan myös tavalla tai toisella säädettyyn suureeseen kohdentuva kuormitus, jonka muutoksiin säättöpiiriin tulee vastata.

Säättöpiirin toimintaa indikoidaan lisäksi nk. TRENDI-näytöillä, jotka esittävät säättöpiiriin eri suureiden arvoja ajan funktiona. Käytössä on tyypillisesti lyhyt

trendi esim. 7,5min., pitkä trendi esim. 30min. ja historiatrendi, joka tallentaa lukuarvoja esim. vuorokauden, viikon tai jopa vuoden ajalta.

Trendien avulla voidaan siis seurata prosessien tapahtumia pitkältä ajalta taakse päin, mikä helpottaa esim. toimitettujen tuotteiden mahdollisten laatuongelmien selvittelyssä tai kunnossapitotoimenpiteiden määrittelyssä. Trendejä tarvitaan myös säätöpiirin virittämisessä. Säätöpiiri voidaan virittää tekemällä nk. askelvastekoe, jonka avulla saadaan selville prosessin dynamiikkaa kuvaavat tekijät prosessivahvistus, kuollut aika ja nousuaika. Näiden tekijöiden perusteella voidaan laskea säätimelle viritysparametrit (K_p, T_i, T_d) juuri kyseisessä toimintapisteessä, eli kuormitustilanteessa xx , asetusarvolla $SP=yy$, ohjaussuureen ollessa $CV=zz$. [8, s.136.]

Säätöpiirin tehtävänä on pitää säädettävä suure asetusarvossaan. Esimerkkinä kaikkien tuntema auton vakionopeuden säädin. Kun klikataan säädin päälle jossain ajonopeudessa, säädin pitää auton nopeuden kyseisessä asetusarvossa riippumatta tien kulmasta, renkaiden kitkasta tai vastatuulesta. [10, s.134-135.]

Vastaava ilmiö teollisuuden puolella on esimerkiksi säiliön pinnankorkeuden säätö. Säätimelle on annettu asetusarvo esimerkiksi 80%. Pinnankorkeuden mittaustuottoa säätimelle mittaustuotto. Säädin ohjaa esimerkiksi säiliöön nestettä tuovaa pumppua. Jos seuraava prosessivaihe kuluttaa säiliön nestettä hetkellisesti paljon ja pinnankorkeus laskee asetusarvosta, säädin ohjaa pumppua suuremmalle kierrosluvulle, jotta asetusarvon mukainen pinnankorkeus jälleen saavutetaan. [9, s.57.]

2.2.2 Prosessimallin suunnittelu

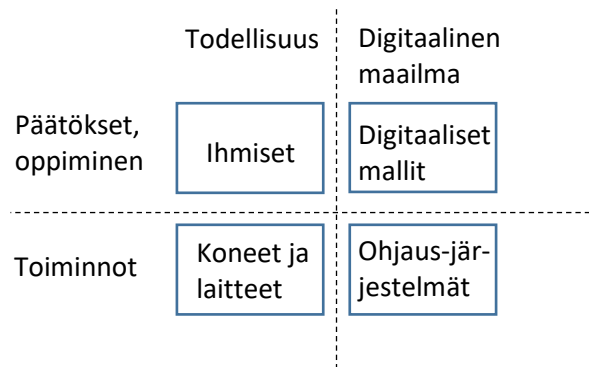
Todellisten prosessien simuloinnissa käytetään nykyisin käsitettä digitaalinen kaksonen (Digital Twin)[9]. Ajatuksen digitaalisesta kaksosesta toi julki David Gelentern ensimmäisen kerran julkaisussa Mirror World vuonna 1991 .

Käsitteen toi julkisuuteen Michiganin Yliopiston Tohtori Michael Grieves vuonna 2002 soveltaessaan ratkaisua teollisuudessa ja käsitellessään aihetta esityksessään tuotteiden elinkaaren hallinnasta. [11; 12; 13]

Nina Twenge ym. kuvaavat julkaisussaan digitaalisen mallin, digitaalisen varjon ja digitaalisen kaksosen eroavaisuuksia. Digitaalinen malli on fyysisen esikuvansa täydellinen malli ilman jatkuvaa yhteyttä esikuvaansa. Digitaalinen

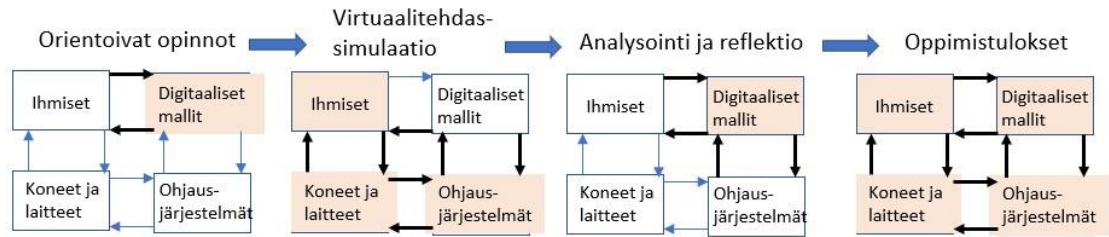
kaksonen taas on esikuvansa täydellinen malli, joka on jatkuvassa kommunikaatioyhteydessä fyysiseen malliin. Digitaalinen varjo asettuu edellisten väliin kommunikaation määrän suhteen. [14, s.36-37.]

Nina Tvenge ym. korostavat voimakkaasti digitaalisten ja virtuaalisten oppimisympäristöjen käytön edellyttävän oppimisprosessin tiukkaa suunnittelua. On rajattava tarkasti mitä ilmiöitä tuodaan opiskelijoiden havainnoitavaksi ja pyrittävä karsimaan ylimääräinen. Teknologiaa tulee käyttää välineenä ja oppimisprosessin tulisi pysyä ytimessä teknologian sijaan. Julkaisu esittelee kuvassa 5 Milgram's reality-virtuality continuum-malliin pohjautuvan virtuaalitehdasmallin, joka on jaettu pystysuunnassa todellisen maailman ja virtuaalisen maailman osioihin sekä vaakasuunnassa päätöksenteon & oppimisen ja toimintojen osioihin. [14, s.39.]



Kuva 5. Milgrams reality – virtuality continuum – mallin pohjalta luotu virtuaalitehdasmalli

Julkaisussa esitellään myös moderni kuvassa 6 esitetty Virtuaalisen tehtaan oppimisprosessi. Vaiheittain etenevän mallin ensimmäisessä vaiheessa käytetään digitaalista mallia orientoiviin ja valmistaviin opintoihin, joissa pohditaan mitä virtuaalitehtaassa tapahtuu ja miten prosessi toimii. Kakkosvaiheen virtuaalitehdassimulaatiossa opiskelijat ovat tehtaan työskenteleviä ihmisiä, joilla on prosessinohitajina ja insinööreinä rooli simulaation käyttäjinä. Kolmannessa, erityisen tärkeässä vaiheessa, opittua analysoidaan ja reflektoidaan käyttäen apuna digitaalisesta mallista saatavaa informaatiota. Neljännessä vaiheessa opiskelijat voivat yhdistää virtuaalisen ja todellisen maailman kokemukset modernissa Teollisuus 4.0 - ympäristössä. [14, s.39.]



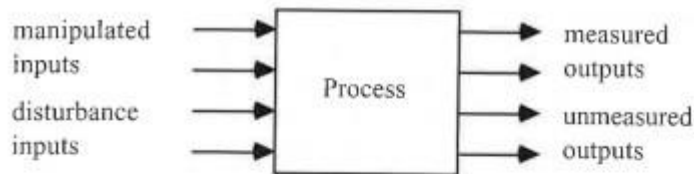
Kuva 6. Virtuaalisen tehtaan ja digitaalisen mallin käyttö oppimisprosessissa.

Simulaatioiden käyttöön liittyy myös riskejä erityisesti korkeakoulumaailmassa. On mahdollista, ettei opiskelija koskaan kohtaa todellisia prosesseja, jolloin niiden fyysiset ja prosessitekniset ominaisuudet eivät hahmotu lainkaan. Esimerkiksi todellisten säätöpiirien hitaudet ja vasteajat eivät tapahdu sekunnin murto-osissa, kuten Simulink- ja Matlab-ympäristöissä tehdyissä ko-keissa. Myös automaatiojärjestelmien signaloinnin ymmärtäminen voi jäädä kokonaan hahmottomatta. Tällöin esimerkiksi todellisen säätöpiirin mittauspiirin kohina ja kentällä esiintyvät häiriöt jäävät hahmottomatta. [15, s.68]

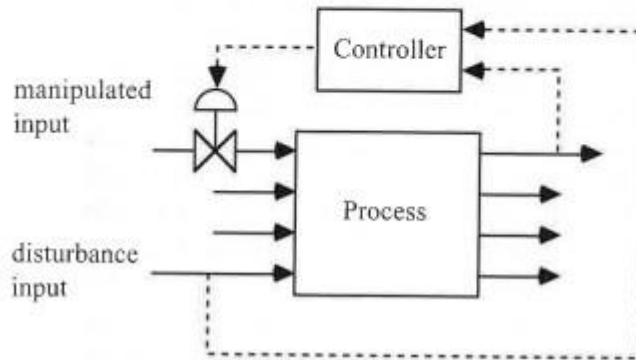
Ammatillisen sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon suorittaneiden opiskelijoiden kohdalla oppilaitosten harjoittelulaitteet ovat pääsääntöisesti myös todellisia fyysisiä laitteita, joiden avulla toteutettujen harjoitusten autenttisuus teollisuusympäristöissä tehtäviin töihin ja tehtaissa esiintyvien ilmiöiden tutkimiseen on varsin hyvä.

2.2.3 Prosessimallin kuvaus

Säiliön prosessimallin muuttujina tuli huomioida säädetyt tulomuuttujat, häiriö- tulomuuttujat, mitatut lähtevät muuttujat ja mittaamattomat lähtömuuttujat.



a. Input/Output representation



Kuva 7. Säiliömallin muuttujat

Säiliömallin matemaattisen mallin perustana on kuvan 7 mukainen massabalanssi, jossa tulovirtauksen ja poistovirtauksen erotuksena saadaan aineen tilavuus säiliössä. [16]

Asia voidaan kuvata myös tulovirtauksen ja lähtövirtauksen erotus on yhtä kuin säiliön pinta-ala kertaa pinnankorkeuden derivaatta. Edelleen yhtälö voidaan esittää muodossa pinnankorkeuden derivaatta on tulovirtauksen ja poistovirtauksen erotus jaettuna pinta-alalla. Kuvassa 7 F_{in} on tulovirtaus, F_{out} poistovirtaus ja A on säiliön pinta-ala. [8, s.126.]

$$\frac{dL}{dt} = \frac{1}{A} (F_{in} - F_{out})$$

Kuva 8. Pinnankorkeuden yhtälö

Prosessimallina simulaattorille oli todellinen opetuslaite, jonka dynamiikkaa simulointimalli noudattaa vasteaikojen osalta. Säädettyään suureena on pinnan korkeus, eli mahdollisen jatko-prosessin tulopaine. Prosessimallissa säiliön tulovirtaus on toteutettu taajuusmuuttajalla ohjatulla pumpulla. Tulovirtausta oli mahdollista kuristaa. Kuormitusvaihtoehtoina on eri suuruisia magneettiventtiileitä ja säätöventtiili, joilla saadaan aikaan halutun suuruisia kuormituksia.

Säätölaskenta tehtiin mahdollisimman yksinkertaisesti PLC-ohjelman matemaattikalohkoilla ja kokeilemalla, tavoitteena massojen balanssi ja todellisuutta vastaavat aikavakiot. Dynamiikassa on huomioitu säiliön pinnankorkeuden vaikutus tulovirtaukseen ja ulosvirtaukseen.

2.3 Sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon perusteet

Tässä alaluvussa käsitellään Sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon perusteita 1.8.2020. Lisäksi tarkastellaan tarkemmin automaation tutkinnon osien ammattitaitovaatimuksia. [17]

Säätötekniikkaan liittyviä osaamisvaatimuksia on lueteltu kaikissa kolmessa automaatioasennuksia määrittävässä tutkinnon osassa: Kappaletavara-automaatioasennukset (45 osp), Prosessiautomaatioasennukset (45 osp) ja Rakennusautomaatioasennukset (45 osp).

Tutkinnon osien määritelmät osaamisvaatimuksista säätötekniikan osalta ovat käytännössä yhteneväisiä. Näin ollen samat säätötekniikan osaamisvaatimukset koskevat käytännössä kaikkia Suomen ammatillisten oppilaitosten sähkö- ja automaatioalan opiskelijoita riippumatta valitusta automaation tutkinnon osasta. Opiskelijoilla on oikeus valita opintonsa yksilöllisesti, jolloin opinnoista voidaan halutessa jättää automaation opiskelu kokonaan pois. Oppilaitoksissa pyritään kuitenkin tarjoamaan opiskelijoille mahdollisimman laaja-alainen ammatillinen pohja, jossa huomioidaan automaation lisääntyminen kaikkialla. Ammattitaitovaatimukset on jaettu tutkinnon perusteissa kolmeen vaiheeseen: valmistautumiseen, työn tekemiseen ja työn viimeistely- ja dokumentointivaiheeseen. [17]

Prosessiautomaatioasennuksen ammattitaitovaatimukset esitetään kokonaisuudessaan liitteessä 1. Säätötekniikan ammattitaitovaatimukset tulevat esille seuraavassa alaluvussa.

2.3.1 Prosessiautomaatioasennukset 45osp tutkinnon osa

Alla on esitetty tummennettuna prosessiautomaation tutkinnon osan osaamisvaatimukset, jotka liittyvät säätötekniikkaan:

Prosessiautomaatioasennukset, 45 osp (106404)

Opiskelija valmistautuu prosessiautomaatioasennuksiin

- tulkitsee prosessiautomaatiojärjestelmän laitteiden ja komponenttien toimintaa dokumenttien, ohjeiden ja suunnitelmien perusteella (1197)

Opiskelija tekee prosessiautomaatioasennukset

- tekee muutoksia prosessien ohjauksiin, huomioiden prosessien säätömuodot ja säätötavat (1188)
- tekee operointipaneeleihin tai vastaaviin valvomolaitteisiin operointinäyttöjen lisäyksiä ja muutoksia (1187)
- tekee työssään tarpeellisia sähköisiä mittauksia, tulkitsee saamiaan mittaustuloksia ja tekee tarvittavia toimenpiteitä mittaustulosten perusteella (1183)
- tuntee säätöpiirin muodostumisen, säätötavat ja säätömuodot (1182)

Opiskelija viimeistelee ja dokumentoi prosessiautomaatioasennukset

- opastaa asiakasta järjestelmän käytössä. (1177)

OPH (OPH-2595-2019)

Luksiassa kaikilla opiskelijoilla vaatimuksena olevat näytöt sisältävät kenttälaitteasennuksia, kaapelointia, kenttälaitteiden konfigurointia, säätöpiirien sovel-lusohjelman ja käyttöliittymän ohjelmoinnin, väyläkaapeloinnin teon ja väylä-ohjatun taajuusmuuttajan käyttöönoton, säätöpiirin mittauksen skaalauksen ja säätöpiirin virityksen. Loppudokumenttina on tulosteet vastekäyristä.

3 TUTKIMUSMENETTELY JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

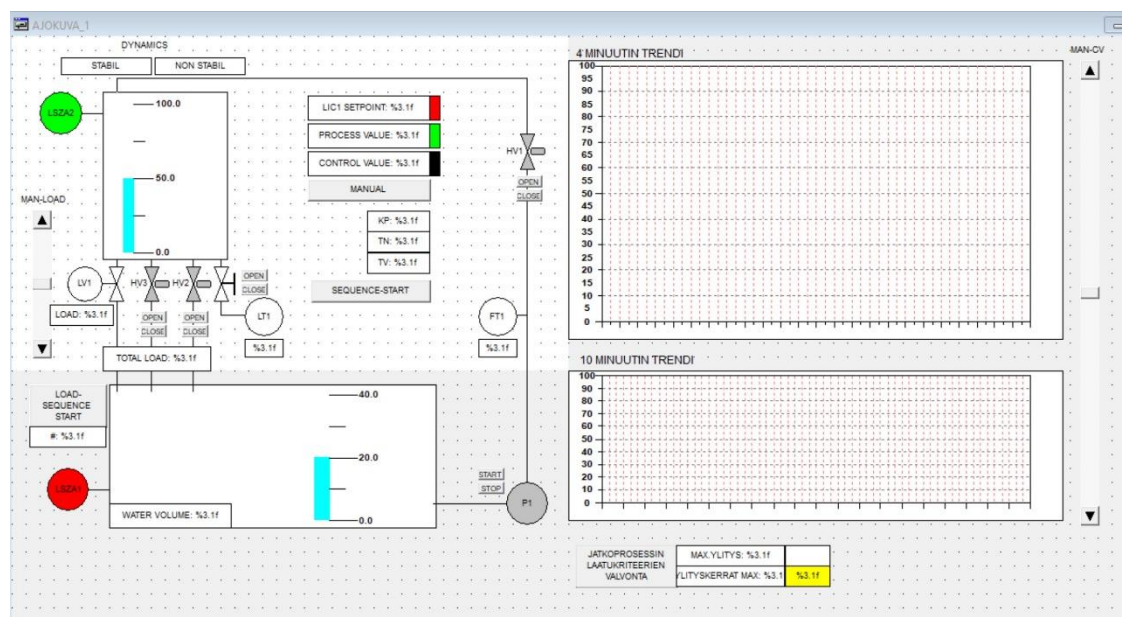
Tutkimusmenettelyksi valittiin produktiivinen tutkimus, jonka aikana suunnitel-tiin ja valmistettiin opiskelijan oman yrityksen SKILLS UP:n toimesta asiak-kaan toiveiden mukainen kuvassa 12 esitetty todellinen fyysinen prosessiauto-maation oppimisympäristö, eli vesiprosessi. Saman aikaisesti tehtiin virtuaali-nen prosessisimulaattori, jota voitiin käyttää tietokoneella. Simulaatiomalli oli todellisen vesiprosessin ominaisuuksien suunnittelun työkalu ja todellisen pro-sessin valmistuttua se oli simulaattorin nykyisen version toimintojen mallina. Simulaattori mallintaa todellisen tuotteen pinnankorkeuden säätöpiirin toimin-nallisuuden riittävällä tarkkuudella ja vasteajat ovat todellisuuden mukaisia. Tutkimus keskittyy mainitun simulointimallin opetuskäytön tutkimiseen ja ope-tuskäytössä saadun palautteen pohjalta tehtyyn jatkokehittämiseen. Tutkimus sisältää konstruktivisia elementtejä simulaattorimallin tuotteistamisen osalta. Simulointi tutkimusmenetelmänä korostuu mallin ollessa valmis ja käytettä-essä sitä opiskelijaryhmän kanssa.

Todellisen fyysisen laitteen valmistus edellytti koko säätötekniikan toiminnan, virtausreittien, fyysisen rakenteen, kaikkien komponenttien, automaatiolaitteiden ja käyttöliittymän osalta uutta suunnittelua. Itse prosessien valmistus tapahtui kesän ja syksyn 2023 aikana. Automaatiosuunnittelu ja ohjelmistosuunnittelu syksyn ja talven aikana.

Simulaattorin valmistelu opetuskäyttöön nousi tärkeään osaan, kun pyrittiin löytämään liittymäkohtia opiskelijoiden arkeen. Suurin osa nuorista on kiinnostunut autoista ja ammatillisten opintojen aikana pääosa opiskelijoista suorittaa ajokorttiopinnot. Tämän havainnon pohjalta keskiöön nousikin käyttöliittymän muokkaaminen mahdollisimman monille tuttuun Auto-kontekstiin.

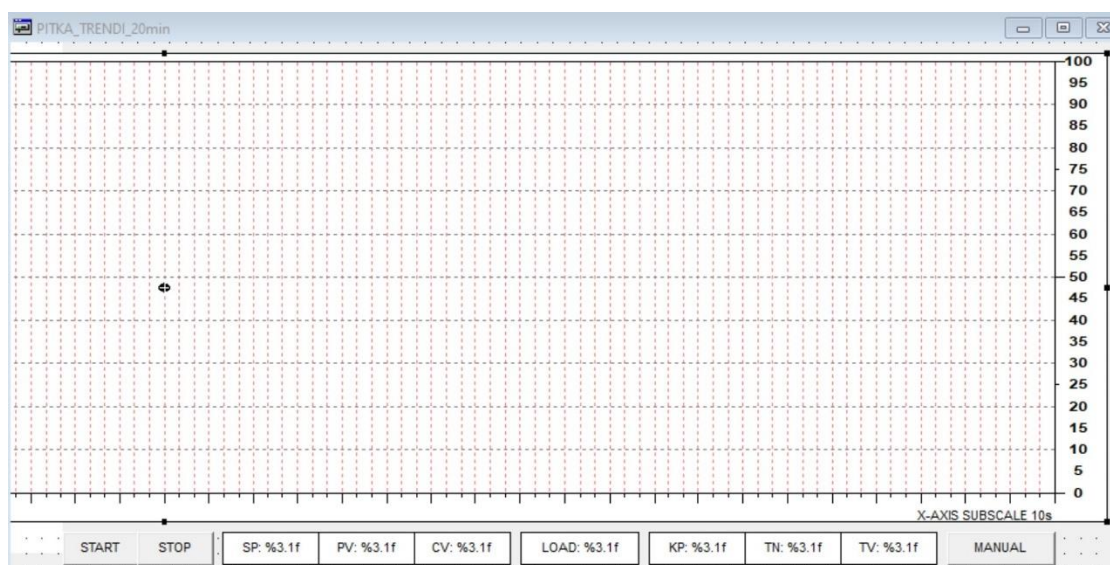
3.1 Simulaattorin muokkaaminen opetuskäyttöön

Opinnäytetyön suunnitteluvaiheessa luotiin ohjelmoitavan logiikan ohjelmointimenetelmällä simulointimalli, joka noudattaa pinnankorkeuden säädön lainalaisuuksia ja hitaudet vastasivat riittävällä tarkkuudella oppilaitoksissa laajasti käytössä olevien SKILLS UP:n (PLANT 1, 2 ja 3) -vesiprosessien hitauksia. Kuvassa 9 pinnankorkeuden säädön käyttöliittymä Ajokuva 1. Ajokuva sisältää todellista fyysistä prosessia vastaavan rakenteen ja virtausreitit muodosti varastosäiliö, pumppu P1, sulkuventtiili HV1, yläsäiliö 1, säiliöstä vettä purkavat venttiilit HV2, HV3 ja LV1-säätöventtiili.



Kuva 9. Pinnankorkeuden säädön käyttöliittymä.

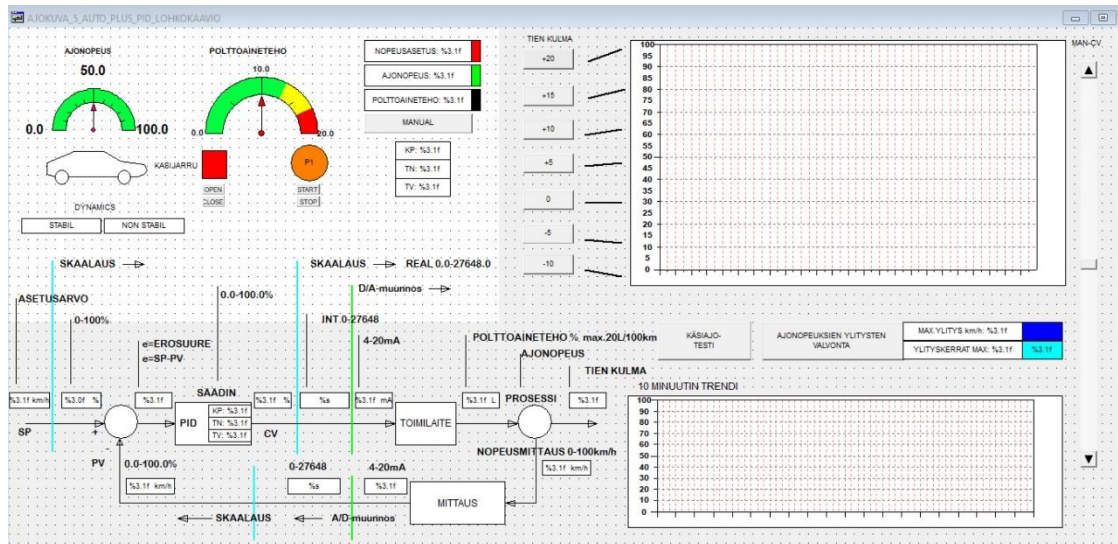
Käyttöliittymään kuului myös kuvan 10 mukaisia trendinäyttöjä, joiden avulla voitiin esittää säätöpiirin muuttujien arvojen vaihtelu erilaisissa ajotilanteissa. Trendikuvaukset oli skaalattu kaikki 0-100% asteikolle. Trendien pituudet vaihtelivat 2 minuutista 30 minuuttiin. Aika-akselin jakovälit vaihtelivat käytetyn trendin pituuden mukaan 2s-10s välillä. Operointinäyttöjen näyttökenttien yhteydessä oli trendien värejä vastaavat väripalkit. Trendien väreinä Asetusarvo LIC1 Setpoint (SP) – punainen, Mittausarvo Process value (PV) – vihreä ja Ohjausarvo Control Value (CV) – musta. Nämä värit ovat samat kaikissa trendeissä. Trendinäytöissä esitettiin myös kaikki tarvittavat ohjaus- ja syöttökentät säätöpiirin operointia ja parametointia varten.



Kuva 10 Trendinäyttö

Säädön tavoitteen hahmottamiseksi käyttöliittymään luotiin kuormitusmuutoksia ja asetusarvomutoksia varten parametroitavat testisekvenssit, joilla voitiin tuottaa häiriöitä ja muutoksia automaattiajo- ja käsiajomoodissa. Eräänä säätöpiirin toiminnan arviointiin liittyvänä toimintona myös yliheilahdusten määrän laskenta parametroitavilla kriteereillä kuului ensimmäiseen käyttöliittymään.

Simulaattorin ensimmäisten pienryhmällä tehtyjen testausten aikana nousi opiskelijoiden palautteen pohjalta esille tarve kehittää sovellusta edelleen lähemmäs opiskelijoiden kokemusmaailmaa, jolloin syntyi auton vakionopeuden säätöpiiriin ohjaukseen pohjautuva operointinäyttö.



Kuva 11. Auto vakionopeuden säädön käyttöliittymä ja yksinkertaistettu PID-lohkokaavio

Kuvan 11 ajokuvassa 5 on auton kuva, käsijarru, käynnistyspainike, nopeusmittari, polttoaineen syöttöä kuvaava mittari, dynamiikan asetus ja tien kulman määrittäminen. Lisäksi säätöparametrien asetus, oloarvojen näyttö ja operointinäytön 1 mukaiset säädön hyvyyteen liittyvät toiminnot sekä trendinäytöt.

Tällä operointinäytöllä toteutetut säätöpiirin toiminnan tutkimiseen tähtäävät opiskelijoiden kanssa tehdyt harjoitukset saivatkin varsin positiivista palautetta ymmärrettävyyteen liittyen. Palautteen rohkaisemana Auto-käyttöliittymää kehitettiin edelleen ja siihen liitettiin säätöpiirin yksinkertaistettuun lohkokaaavioon perustuva signalointiesitys. Signaalit on skaalattu säätimelle skaalaan 0-100% ja muunnokset eri signaali- ja lukujärjestelmien välillä on kuvattu todellisuutta vastaavina lukuarvoina kaaviossa.



Kuva 12. Todellinen uusi prosessiautomaation oppimisympäristö.

3.2 Simulaattorin käyttö opetustilanteessa

Tutkimuksessa luotua simulaatiomallia käytettiin opetuksessa lukuvuoden 2022-2023 aikana tutkivan oppimisen menetelmillä. Alussa verkosta haetun ohjeen avulla PID-säädön perusteisiin ja simulaattorin operointiin tutustuen ja itsenäisesti sekä pienryhmissä harjoituksia tehden. Seuraavaksi opettajajoh-
toisesti verkossa ja luokkahuoneessa opettajan avulla säätöpiirin käsitteellisen ymmärryksen omakohtaiseen luomiseen. Kolmannessa vaiheessa verkossa tuettuun säätöpiirin dynamiikkaa ja peruslainalaisuuksia avaavien harjoitusten tekoon. Syventävänä osuutena opettajatuettuna verkossa ja luokkahuoneessa oli askelvastekokeisiin perustuvien virituskokeiden teko erilaisissa säätöpiirin toimintapisteissä tasaantuvalla (stabil) säätöpiirille.

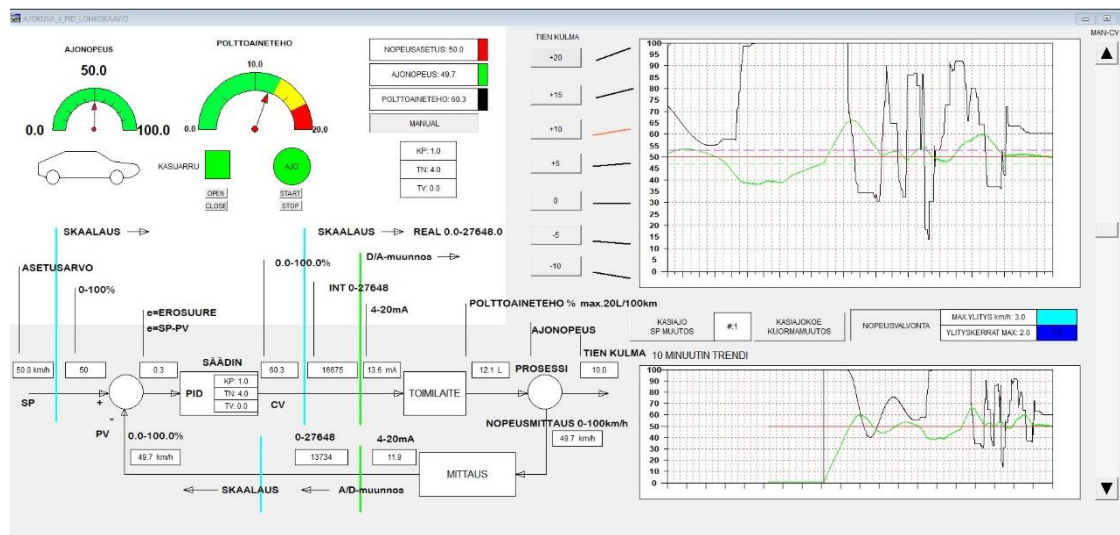
Simulaattorikoulutuksen vaikuttavuutta arvioidaan tekemällä vastaavat säätöpiirin viritystehtävät Prosessiautomaation tutkinnon osan ammattiosaamisen näytön osana todellisen, simulaattorin esikuvana olleen prosessin avulla.

3.2.1 Aloitus

Simulaattorin käytön aloittamista varten opiskelijoille jaettiin orientointivaiheessa verkko-oppimisympäristö MOODLE:ssa käyttöohje, jonka avulla oli mahdollista löytää keskeiset toiminnot ja ominaisuudet. Säättöpiirin perustointi oli kuvattuna aineistossa. Käyttöliittymä tässä pinnankorkeuden ja auton vakionopeuden säätö, sekä yksinkertaistettu säätöpiirin lohkokaavio. Varsinaiset harjoitustehtävät eri käyttöliittymille olivat saatavilla MOODLE:ssa.

3.2.2 Automaattinen säätö ja käsiajo

Ensimmäisenä tehtävänä simulaattorin käytössä opiskelijoiden tuli testata auton vakionopeuden säätimenä toimimista, kun kuormitus tai asetusarvo vaihtelivat satunnaisesti. Kuvan 13 trendikäyrät osoittavat käsiohjauksella tehdyn ajon haastavuuden. (musta trendi kuvaa ohjausarvon ja vihreä käyrä ajonopeuden vaihteluja 0-100% skaalassa). Opiskelijat totesivat pääsääntöisesti mukavammaksi automaattisen säädön kuin käsiajon.

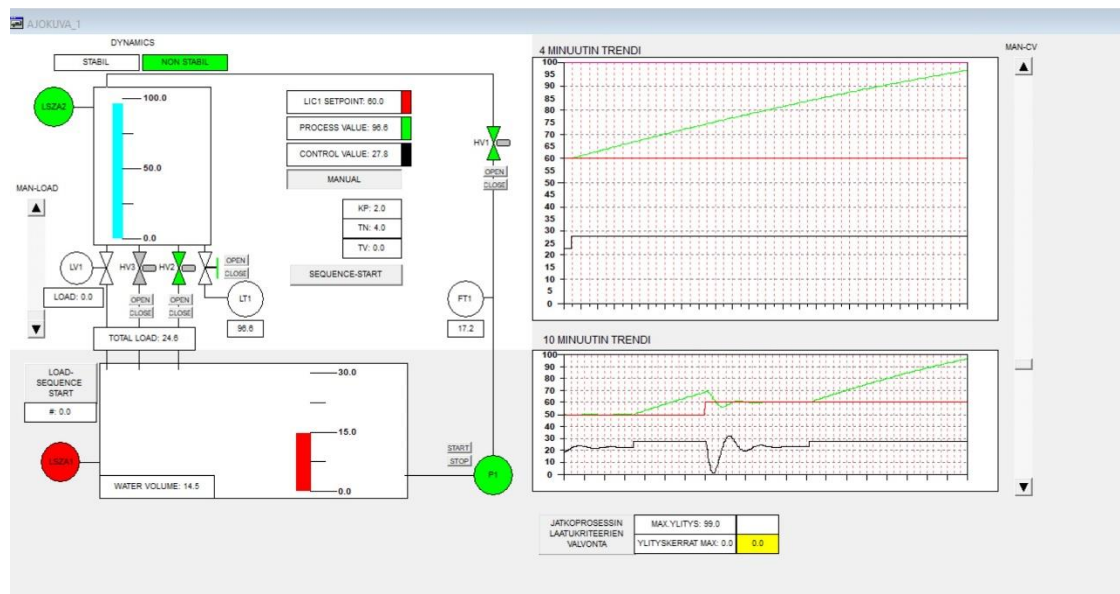


Kuva 13. Käsiohjauksen kokeilu asetus- ja kuormitusarvojen vaihdellessa satunnaisesti.

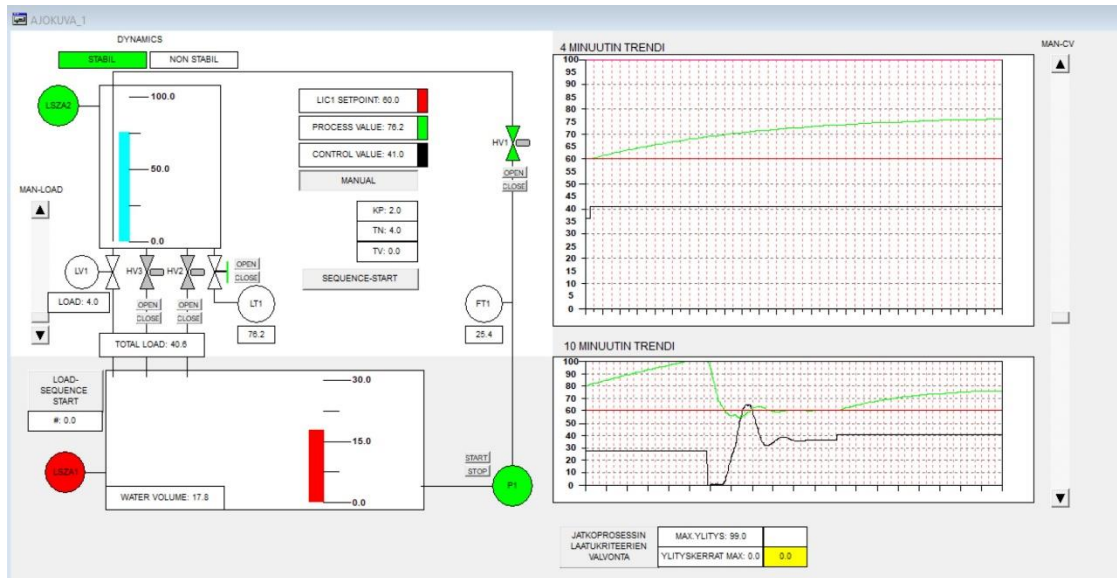
3.2.3 Käsitteiden tutkiminen

Opiskelijat jaettiin jälleen pienryhmiin, joiden tehtäväksi asetettiin tutkia, mitä tarkoittavat termit asetusarvo, mittausarvo ja ohjausarvo. Miten arvojen muuttaminen vaikuttaa prosessiin? Miten kuormitus ja sen vaihtelut vaikuttavat ohjausarvoon? Mitä tapahtuu sekvenssikäynnistyksessä? Miten käsiajon valinta vaikuttaa prosessin ohjaukseen? Miten ja miksi stabiili ja epästabiili (tasaantuva ja integroiva) prosessi eroavat toisistaan operointinäytön ja trendien perusteella?

Kuvassa 14 näkyy ei-stabiilin, eli integroivan prosessin askelvastekokeen mittausarvon (vihreä käyrä) ajautuminen fyysiseen maksimiin, joka on ominaista tälle prosessityypille. Kuvassa 15 taas nähdään tyypillinen stabiilin prosessin askelvastekokeen antama mittausarvon trendikäyrä (vihreä käyrä), joka osoittaa pinnan korkeuden nousun tasaantuvan prosessin dynamiikan mukaiseen arvoon.



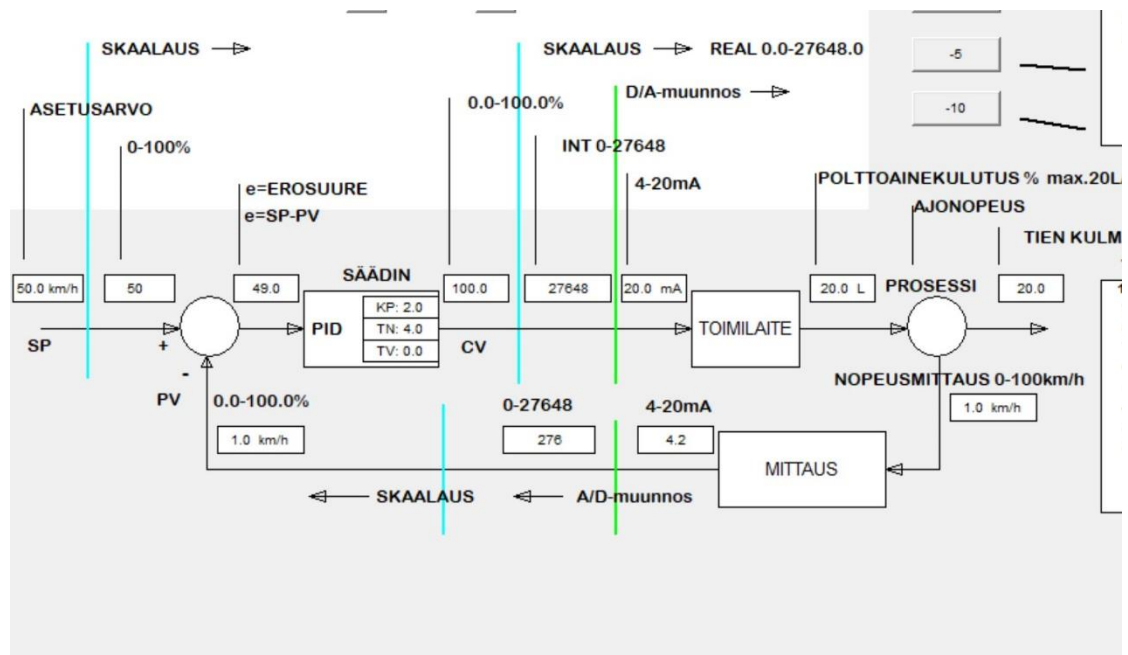
Kuva 14. Askelvastekoe. Simulaattorin asetus ei-stabiili, eli integroiva prosessi.



Kuva 15. Askelvastekoe. Simulaattorin asetus stabiili, eli tasaantuva prosessi.

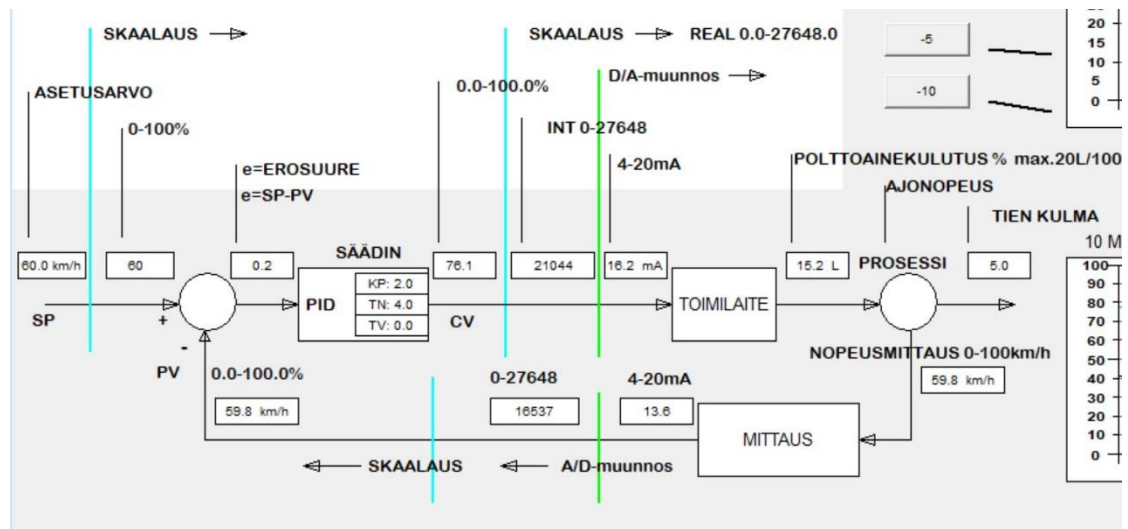
3.2.4 Säättöpiirin yksinkertaistetun (ei häiriötä) lohkokaavion tutkinta

Opiskelijoille annettiin tehtäväksi löytää erilaisia tilanteita vastaavat lähtösignaalien ja toimuksien arvot ajon eri vaiheissa. Esimerkiksi ajon alussa ja kun asetusarvon mukainen nopeus on saavutettu. Kuvassa 16 nähdään asetusarvon ja mittausarvon välisen erotuksen, eli erosuuren olevan hyvin suuri. Suuri erosuure aiheuttaa säätimen algoritmin vaikutuksesta säätimen lähtöön maksimi-suuruisen arvon, joka edelleen viedään toimilaitteelle, jolla vaikutetaan prosessin, eli ajonopeuden tilaan sitä kasvattamalla.



Kuva 16. Lohkokaavio ja signalointi ajon alussa.

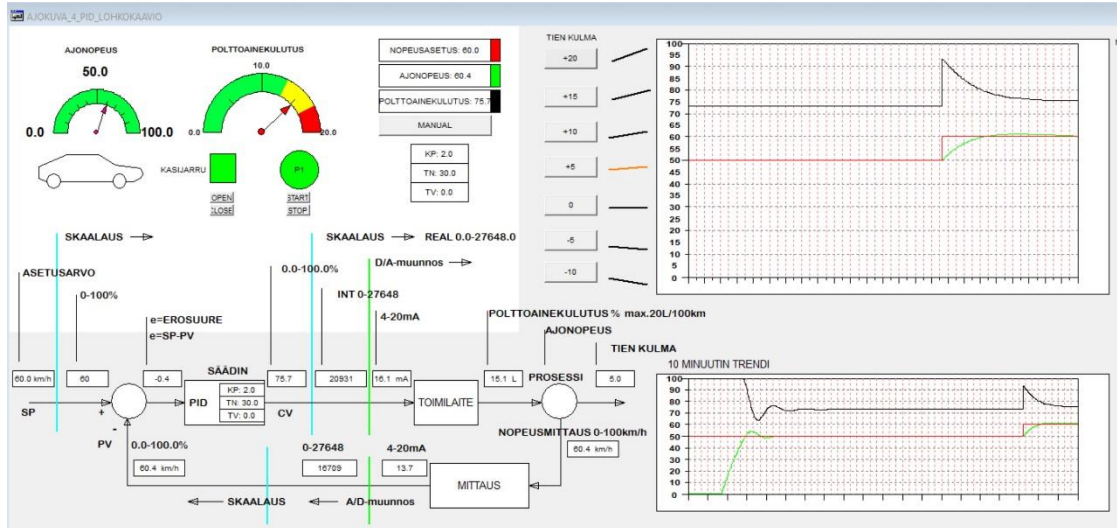
Tilanne asetusrvon mukaisella ajonopeudella näkyy kuvassa 17. Säättöpiirin lähtöarvo vakiintunut kuormitustilannetta vastaavalle tasolle. Kuormitus koostuu tien kulman aiheuttamasta kuormituksesta, ajoviiman ja kitkan vaikutuksesta. Säättöpiirin lähtöarvo on asetusrvon ja mittausarvon hyvin pienenä erona, jolloin myös erosuure on pieni. Kuvassa erosuureen arvo 0,2. Erosuure käsitellään säättöalgoritmissa ja se nostaa kuvan tilanteessa hieman säätimen lähtöarvoa verrattuna tilanteeseen, jossa asetusrvo ja mittausarvo ovat tarkasti yhtä suuret.



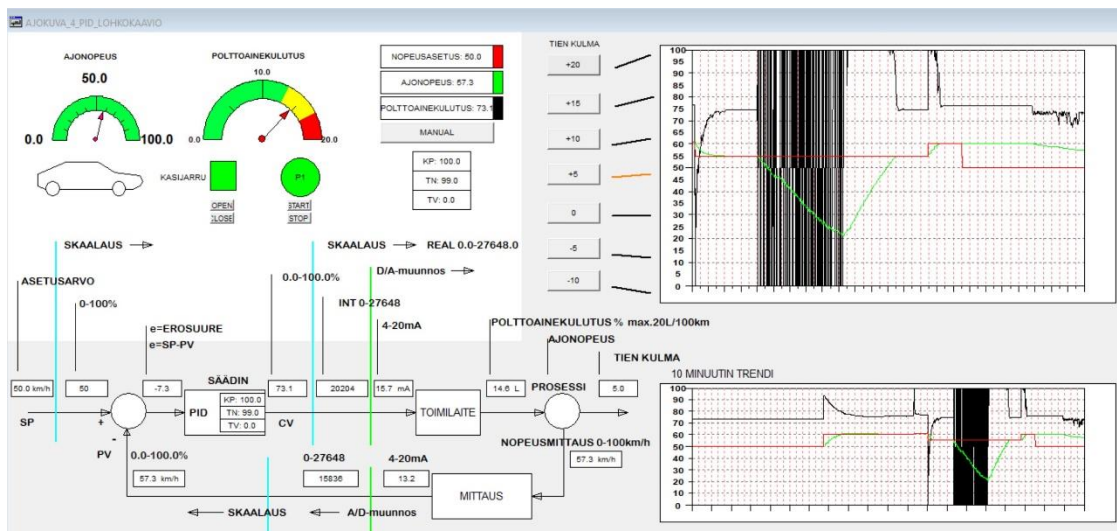
Kuva 17. Lohkokaavio ja signalointi ajon aikana.

3.2.5 Säättimen parametrien vaikutus

Opiskelijoille annettiin tehtäväksi asettaa simulaattori tiettyyn ajotilanteeseen eli toimintapisteeseen ja muuttaa asetusrvoa annettu määrä. Toimintapisteellä tarkoitetaan asetusrvosta ja ohjaussuureeseen vaikuttavasta kuormitustilanteesta muodostuvaa olosuhdetta [8,s.155]. Kuvassa 18 nähdään ajotilanteen alku ensimmäisellä parametrisarjalla. Vastaavasti sama toisessa toimintapisteessä. Opiskelijoiden tuli tämän jälkeen muuttaa säätimen parametreja ja toistaa asetusrvomutokset samoissa toimintapisteissä ja kertoa havainnot. Kuvassa 19 ajo on käynnissä toimintapisteessä 2 parametrisarjalla. Trendien perusteella tehdyistä havainnoista keskusteltiin ja niitä vertailtiin luokkahuoneessa. Opiskelijat raportoivat havainnoista vastauksina Moodleen.



Kuva 18. Säätimen parametriarvojen vaikutuksen tutkiminen. Ajon aloitus.



Kuva 19. Säätimen parametriarvojen vaikutuksen tutkiminen. Ajo käynnissä.

3.2.6 Säättöpiirin viritys kokeellisesti ja askelvastekokeen avulla

Opiskelijoille annettiin tehtäväksi virittää säättöpiiri itsenäisesti PID-parametreja kokeellisesti muuttamalla ja tehdä kokeellisesta virityksestä vastauslomake. Seuraavassa vaiheessa ohjeistettiin tekemään säättöpiirin viritysparametrien laskenta Ziegler-Nicholsin mukaan askelvastekokeen avulla määrättyssä toimintapisteessä. Kuvassa 20 esitetään askelvastekokeen vastekäyrät toimintapisteessä 1. Asetusarvokäyrän (SP) väri on punainen ja asetuservo on 50%. Ohjaussuurekäyrän (CV) väri on musta ja arvo vaihtelee ajon aloittamishetken alusta arvosta 0% arvoon 100%, josta arvo tasaantuu ajonopeuden saavuttaessa 50%, vähäisen huojunnan jälkeen arvoon 47%. X-Akseli on

aika-akseli, jossa yksi jakoväli on 10 sekuntia. Ajon alku toteutettiin automaattijolla, joka tarkoittaa käytännössä vakionopeussäädön käyttöä. Kun sekä ajonopeus oli saavuttanut asetusarvon, että ohjaussuure olivat tasaantuneet, eli tilanteesta jossa ohjaussuure on vakiintunut kuormitusta vastaavalle tasolle, säädin asetettiin Käsiäjo-moodiin. Käsiäjo-moodiin vaihtamisen jälkeen ohjaussuure jää viimeiseen automaattijolla voimassa olleeseen arvoon ja säädin ei enää vaikuta ohjaussuureeseen. Ohjaussuureen kiinteä arvo näkyy kuvassa vaakasuorana mustana käyränä. Tehtäessä askelvastekoetta, käyttäjä tai operaattori tekee tässä vaiheessa ohjaussuureeseen askelmaisen muutoksen, yleensä ohjaussuureta kasvatetaan jollain tasaprosentilla, tässä +10%. Ohjaussuureen muuttuessa tasapainotilan mukaisesta arvosta uuteen suurempaan arvoon, se aiheuttaa mittausarvoon muutoksen, joka ilmenee kuvassa vihreän mittausarvokäyrän nousevana ja uuteen arvoon tasaantuvana käyränä. Käyrä kuvaa säätöpiirin dynamiikkaa tässä toimintapisteessä.

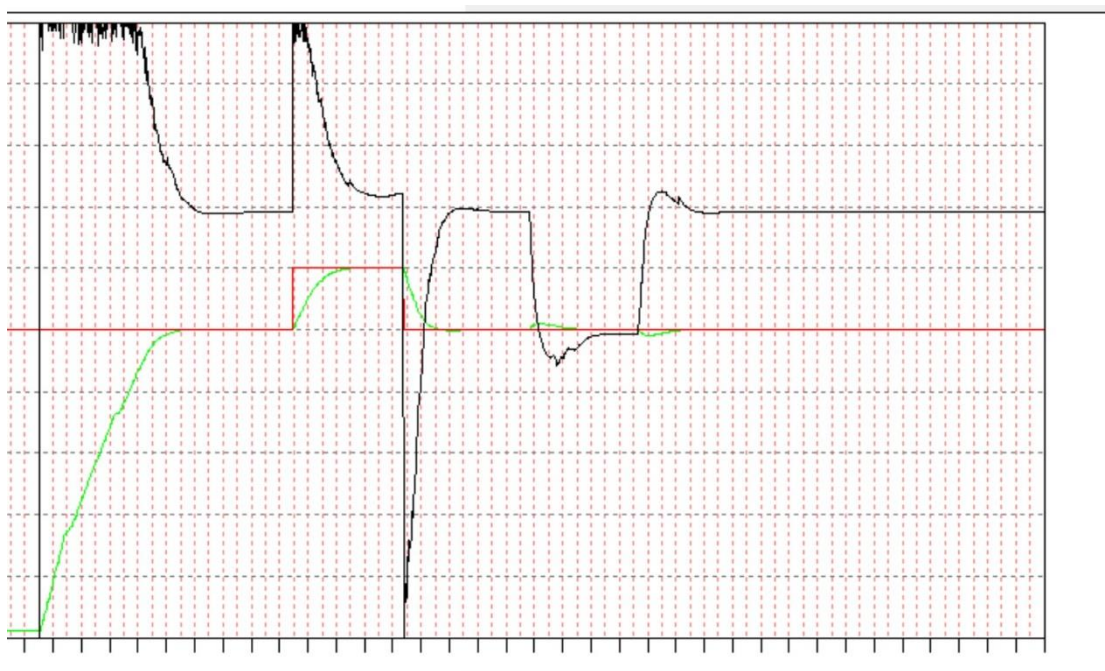
[8, s.136,155.]

Käyrän muodon ja sijainnin perusteella voidaan määrittää dynamiikkaa numeerisesti kuvaavien muuttujien lukuarvot. Muuttujat ovat; ohjaussuureen muutoshetken ja mittauksen muutoshetken välinen aikaviive, eli nk. kuollut aika, mittausarvon nousuaika joka voidaan määrittää myös graafisesti piirtämällä tangentti käyrän jyrkimpään kohtaan ja laskemalla lähtötason ja mittauksen muutoksen lopputasen leikkauskohtien välinen aika sekä mittausuureen prosentuaalisen muutoksen suhde ohjaussuureen muutokseen. Tätä suhdelua kutsutaan prosessivahvistukseksi [8, s.129]. Muuttujien lukuarvot sijoitetaan parametrien laskentakaavoihin ja näin saadaan säätimelle syötettävät viivitysparametrit.



Kuva 20. Tasaantuvan (Stabiili) prosessin askelvaste toimintapisteessä 1.

Saatuja tuloksia testattiin simulaattorissa syöttämällä lasketut parametrit säätimelle ja testaamalla säätöpiirin toimintaa asetusarvomutosten ja kuormitusmuutosten avulla ja vertailtiin opiskelijoiden kesken saatuja tuloksia säätöpiirin asettumisaikojen ja yliheilahdusten määrien suhteen. Kuvassa 21 vihreä käyrä kuvaa aluksi asetusarvon saavuttamista ensin asetusarvomutoksien jälkeen ja puolesta välistä kuvaa alkaen säätöpiirin reagointia kuormitusmuutoksiin, eli tässä tien kulman muutoksiin.



Kuva 21. Laskettujen parametrien testaus asetusarvomutoksilla ja kuormitusmuutoksilla.

3.2.7 Tulosten ja havaintojen käsittely

Simulaattorin käyttöjakson jälkeen analysoitiin ja arvioitiin opettajajohtoisesti tehtävien vastauksia ja saatuja tuloksia. Samalla käsiteltiin kysymyksiä, joita simulaattorin käyttö oli nostanut esille. Palaute toi esille korostetusti ryhmän orientointivaiheen ja tarkan ohjeistuksen merkityksen. Kaikki ryhmät kaipasivat simulaattoriharjoituksiin enemmän pohjatietoa säätöpiirien toiminnasta ja ohjausta.

3.2.8 Säättöpiirien operointi todellisella laitteella

Säättöpiirien operointi ja viritysharjoitukset toteutetaan todellisilla fyysisillä prosesseilla pienryhmissä huhti-toukokuun aikana. Tällöin saadaan konkreettista palautetta simulaattoriharjoitusten vaikuttavuudesta.

4 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Simulaattorin käyttöä testattiin kolmen eri opiskelijaryhmän säätötekniikan harjoitusten yhteydessä. Testauksen perusteella simulaattorin käyttö oppimisympäristönä parantaa oppimista. Uudella oppimisympäristöllä oli mm. säätötekniikan peruskäsitteiden ja lainalaisuuksien ymmärrystä ja hallintaa parantava vaikutus. Erityisesti AUTO-käyttöliittymän vakionopeuden säätö oli lähellä ammattiopiskelijoiden kokemusmaailmaa, jolloin harjoitusten suorittaminen oli pinnankorkeuden säädön käyttöliittymän käyttöön verrattuna sujuvampaa.

Opiskelijapalaute simulaattorin käytöstä on tähän mennessä kokonaisuutena varovaisen positiivista, joskin laidasta laitaan vaihtelevaa. Opiskelijoilta on tullut monia kehitysideoita, jotka ohjaavat jatkokehittelyä käyttöliittymien suhteen. Opiskelijoilla on ollut toivomuksia käyttöliittymän tarjoaman lisätiedon suhteen, jota on lisätty viimeisimpään versioon.

Testaustulosten perusteella simulaattoriopiskelu vaatii varsinkin alussa runsaasti aktiivista opiskelijan ohjausta. Motivoivien harjoitustehtävien laatiminen on todella tärkeää, jotta mielenkiinto oppimiseen pysyy hyvällä tasolla. Opetushenkilöstön on myös tarpeen kouluttautua ohjelman opetuskäyttöön, jotta hyvät oppimistulokset voidaan varmistaa.

Tutkimustulokset toivat esille useita jatkokehitystarpeita. Esimerkiksi itse prosessimallin rakenteen ja dynamiikan sekä säätöohjelman ja käyttöliittymän konfigurointimahdollisuudet osana opiskelua avaavat uusia kehityssuuntia jatkoon. Myös säätöpiirin laskentamallia on tarpeen edelleen kehittää, jotta se paremmin vastaisi todellisia esikuviaan.

Simulaattorin tämän vuoden lisätestauksen myötä voi syntyä vielä uusia käyttökokemukseen pohjautuvia tuloksia. Kehittämisen painopisteet voivat palautteen pohjalta muuttua tässä työssä huomattavasti. Jatkotestaukseen liittyviä tuloksia saadaan vasta kevään 2023 aikana niiden ryhmien osalta, jotka ovat tehneet simulaattorilla harjoituksia. Tällöin opiskellaan todellisilla opetusprosesseilla simulaattoriharjoituksia vastaavia operaattoritoimintoja.

Simulaattorin ja todellisen opetusmallin rinnakkaisen ja vuorottaisen kehitystyön tuloksena syntyi kaksi uutta, oppimista parantavaa tuotetta. Molempien

tuotteiden ominaisuudet ja käytettävyys paranivat toistensa vaikutuksesta. Teollisuus 4.0 tutkimukset liittyen digitaaliseen kaksoseen ja virtuaalitehtaisiin tarjoavat uutta tutkittua tietoa digitaalisten mallien sovelluskentiltä ja konsepteista. Tuotteiden kehittäminen edelleen saattaa avata myös liiketoimintanäkymiä opetussektorissa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tähän työhön liittyvät simulaattorin käytön testaustulokset osoittivat, että simulaattoriharjoitusten avulla voidaan orientoida koko ryhmä säätötekniikan opintoihin tehokkaasti ja yhteisöllisesti. Todellisten fyysisten oppimisympäristöjen käyttökynnys madaltuu ja käyttö toisaalta jäsentää simulaattoriharjoitusten antamaa informaatiota. Molempien oppimisympäristöjen vuorotteleva käyttö tuottanee parhaat tulokset toinen toisensa vaikutusta tehostaen. Simulaattori tulee jäämään vakituiseen opetuskäyttöön jo tämän vähäisen käytön perustella.

Tärkeä havainto simulaattorin käytön testauksessa on ollut se, että laskentamallin tarkkuus ei ole keskeinen kriteeri, kun tavoitteena on peruskäsitteiden ja lainalaisuuksien opiskelu. Tärkeämmäksi nousi käyttöliittymän havainnollisuus, ”helpit” ja toimiva toteutus. Jatkokehitystyötä onkin syytä kohdentaa edellä mainittuihin asioihin. Lisäksi käytön testauksessa korostui vahvan ohjauksen tarve erityisesti simulaattoriharjoitusten aloitusvaiheessa.

Fyysisten oppimisympäristöjen painoarvo on ammattiin opiskelevilla korkeakouluopiskelua suurempi, sillä käytännön osaamisvaatimukset ovat ammattiin opiskelevilla keskiössä. Osaaminen on saavutettavissa vain riittävällä käytännön läheisellä harjoitustöiden suorittamisella ja työssäoppimisella. Valmistumisen jälkeen sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon suorittaneet henkilöt sijoittuvat pääasiassa sähköasennuksia tekeviin yrityksiin.

Jatkokehityksen osalta potentiaalinen kehityssuuntia on erityisesti interaktiivisuuden lisääminen itse mallin rakenteiden ratkaisuihin. Eräänä mahdollisuutena elämyksellisyyden lisääminen esimerkiksi prosessiäänien avulla. Myös muut lisätyn todellisuuden mahdollisuudet voivat tarjota mielenkiintoa ja keskittymistä parantavia ominaisuuksia. Erityisen tärkeä tulevaisuuden kehityssuunta on pelillistäminen, joka oli resurssien puitteissa pakko rajata ulos tästä tutkimuksesta. Teknologian opetus tarjoaakin mielenkiintoisen ja potentiaalisen, joskin haastavan sovelluskentän pelien kehittäjille.

LÄHTEET

1. Koivikko, K., Luku: Muistatko kuvan. Ruuska, H., Löytönen, M., Rutanen, A. Laatus! Oppimateriaalit muuttuvassa ympäristössä, Bookwell Oy. Porvoo, ISBN 978-952-67356-5-8, 2015, s.149-160.
2. Tossavainen Timo. Luku: Tulevaisuuden oppimateriaalit. Ruuska, H., Löytönen, M., Rutanen, A., LAATUS! Oppimateriaalit muuttuvassa tietoympäristössä. ISBN 978-952-67356-5-8, 2015 s.187-197.
3. Järvilehto Lauri. Luku: Opi pelaamalla. Teoksessa: Ruuska Leena et.al. LAATUS! Oppimateriaalit muuttuvassa tietoympäristössä. ISBN 978-952-67356-5-8, 2015, s.219-227.
4. Lonka Kirsti. Oivaltava oppiminen. ISBN 978-951-1-28993-7, 2015.
5. Kullaslahti, J., Timonen, Päivi: Yhteisöllisyyttä käänteisellä työskentelyllä digitaalisissa ympäristöissä. Teoksessa: Timonen Päivi et.al.2019. Kampuksella Digittää. ISBN 978-952-456-338-3, s.118-128.
6. Ruhalahti Sanna: Dialogisella yhteisöllisellä tiedonrakentamisella suunnataan syväoppimiseen. Teoksessa:Timonen Päivi et.al. Kampuksella Digittää. ISBN 978-952-456-338-3, 2019, s.84-91.
7. https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/tuvj_1+2018.pdf . Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037, 2018 [viitattu 9.1.2022].
8. Harju Timo, Marttinen Arto, Sääätötekniikan koulutusmateriaali Suomen sääätöteknillinen seura ry. Verkkojulkaisu. 2000 [viitattu 24.3.2023].
9. Halme Terho. Sääätötekniikka. ISBN 951-860-042-2, 1987.
10. Aalto, H., Automaation sovellukset, Luku 13, Helpompaa autoilua. Kirjassa Heinonkoski, R., Asp, R., Hyppönen, H., toim. Opetushallitus, Suomen Automaatioseura ry. ISBN 978-952-13-3475-7, 2008, s.131-136.
11. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-twin/24465>, 2022 [viitattu 8.5.2022].
12. Grieves, Michael. (2016). Origins of the Digital Twin Concept. 10.13140/RG.2.2.26367.61609. [viitattu 8.1.2022].
13. <https://www.ibm.com/se-en/topics/what-is-a-digital-twin>, Global Forecast to 2027, Digital Twin Market, June 2022 [viitattu 8.1.2022].
14. Tvenge, Nina, Ogorodnyk, Olga, Östbo, Niels Peter, Martinsen, Kristian, Added value of a virtual approach to simulation-based learning in a manufacturing learning factory, Procedia CIRP, Volume 88, 2020, Pages 36-41, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.007>.

15. Sobota, J., Goubej, J., Königsmarkova, J., Cech, M., "Raspberry Pi-based HIL-simulators for control education, IFAC PapersOnLine 52-9, 2019, s.68-73
16. Bequette B. Wayne. Process Control. Modelling, Design, and Simulation. ISBN 1-13-353640-8 2003.
17. OPH-2595-2019. Sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon perusteet. 2019.

KUVALUETTELO

Kuva 1 Flow-kanava (Järvilehto 2015)

Kuva 2 TOP 24 teknologiakoria ennakoidun geneerisen vaikuttavuuden mukaan. (Suomen sata uutta mahdollisuutta 2018-2037)

Kuva 3 Säättöpiiri. (Halme, Säättötekniikka 1978)

Kuva 4. PID-Algoritmi. (Harju, Marttinen 2000, s.90)

Kuva 5 Milgrams reality – virtuality continuum – mallin pohjalta luotu virtuaali-tehdasmalli. (Tvenge et.al. 2020)

Kuva 6 Virtuaalisen tehtaan ja digitaalisen mallin käyttö oppimisprosessissa. (Tvenge et.al. 2020)

Kuva 7 Säiliömallin muuttajat. (B. Wayne Bequette 2018)

Kuva 8 Säiliön pinnankorkeuden yhtälö. (Harju, Marttinen 2000)

Kuva 9 Pinnankorkeuden säädön käyttöliittymä. (Kainumaa 2023)

Kuva 10. Trendinäyttö. (Kainumaa 2023)

Kuva 11 Auton vakionopeuden säädön käyttöliittymä ja yksinkertaistettu PID-lohkokaavio. (Kainumaa 2023)

Kuva 12 Todellinen uusi prosessiautomaatio oppimisympäristö. (Kainumaa 2022)

Kuva 13 Käsiohjauksen kokeilu asetus- ja kuormitusarvojen vaihdellessa satunnaisesti. (Kainumaa 2023)

Kuva 14 Askelvastekoe. Simulaattorin asetus ei-stabiili, eli integroiva prosessi. (Kainumaa 2023)

Kuva 15 Askelvastekoe. Simulaattorin asetus stabiili, eli tasaantuva prosessi. (Kainumaa 2023)

Kuva 16 Lohkokaaviokäyttöliittymä. Signaali ajon alussa. (Kainumaa 2023)

Kuva 17 Lohkokaaviokäyttöliittymä. Signaali ajon aikana. (Kainumaa 2023)

Kuva 18 Asetusarvomuutos. Ajon aloitus. (Kainumaa 2023)

Kuva 19 Asetusarvomuutos. Ajo käynnissä. (Kainumaa 2023)

Kuva 20 Tasaantuvan (Stabiili) prosessin askelvaste toimintapisteessä 1. (Kainumaa 2023)

Kuva 21 Laskettujen parametrien testaus asetusarvomuutoksilla ja kuormitusmuutoksilla. (Kainumaa 2023)

LIITTEET

Liite 1

Prosessiautomaatioasennukset, 45 osp (106404)

Ammattitaitovaatimukset

Opiskelija valmistautuu prosessiautomaatioasennuksiin

- noudattaa prosessiautomaatioasennuksissa tarvittavia dokumentteja, ohjeita ja suunnitelmia (1198)
- **tulkitsee prosessiautomaatiojärjestelmän laitteiden ja komponenttien toimintaa dokumenttien, ohjeiden ja suunnitelmien perusteella (1197)**
- varmistaa prosessiautomaatioasennuksissa tarvittavat työvälineet, suojaimet ja materiaalit sekä varmistaa niiden kunnon (1196)
- arvioi prosessiautomaatioasennuksiin ja asennusympäristöön liittyviä riskejä (1195)
- huomio työssään hydraulisten ja pneumaattisten järjestelmien ominaispiirteet (1194)
- suunnittelee oman työnsä niin, että oma ja muiden turvallisuus sekä ympäristön vahingoittumattomuus varmistetaan (1193)

Opiskelija tekee prosessiautomaatioasennukset

- käyttää turvallisesti ohjeiden mukaisia suojaimia, työvälineitä, materiaaleja ja työmenetelmiä (1192)
- tekee prosessiautomaatioasennukset voimassa olevien säädösten, standardien, valmistajan ohjeiden ja asiakasympäristön vaatimusten mukaan (1191)
- **asentaa ja käyttöönottaa anturit, analysaattorit ja toimilaitteet sekä virittää ne ohjeiden mukaisesti (1190)**
- **asentaa suunnitelman mukaisen logiikan vaaditulla binääri- ja analogi-I/O:lla sekä väyläteknologialla ja ottaa sen käyttöön (1189)**
- **tekee muutoksia prosessien ohjauksiin, huomioiden prosessien säätömuodot ja säätötavat (1188)**
- **tekee operointipaneeleihin tai vastaaviin valvomolaitteisiin operointinäyttöjen lisäyksiä ja muutoksia (1187)**
- **asentaa prosessiautomaatioon liittyvät kenttälaitteet ja toimilaitteet sekä tekee kenttäväyläasennukset (1186)**
- tekee prosessiautomaatioasennuksiin liittyviä huolto- ja kunnossapitotöitä sekä paikantaa ja korjaa järjestelmässä esiintyviä vikoja (1185)
- tekee yhteistyötä muiden työalueella toimivien henkilöiden kanssa (1184)
- **tekee työssään tarpeellisia sähköisiä mittauksia, tulkitsee saamiaan mittaustuloksia ja tekee tarvittavia toimenpiteitä mittaustulosten perusteella (1183)**
- **tuntee säätöpiirin muodostumisen, säätötavat ja säätömuodot (1182)**

Opiskelija viimeistelee ja dokumentoi prosessiautomaatioasennukset

- tekee laite-, johdin- ja kaapelimerkinnot (1181)
- varmistaa, että prosessiautomaatiojärjestelmä toimii turvallisesti ja se on asennettu työlle asetettujen tavoitteiden mukaisesti (1180)
- huolehtii asennusympäristön viimeistelystä ja siisteydestä sekä asennustöissä syntyneiden jätteiden lajittelusta (1179)
- tekee tarvittavat muutokset dokumentteihin (1178)
- **opastaa asiakasta järjestelmän käytössä. (1177)**

OPH 2019