



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Sulateliimaproessin säätöpiirien tutkiminen, viritäminen ja ohjeistaminen

Matti Puttonen

Opinnäytetyö
syyskuu 2016
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio

PUTTONEN MATTI:

Sulateliiimaprosessin säätöpiirien tutkiminen, virittäminen ja ohjeistaminen

Opinnäytetyö 32 sivua, joista liitteitä 1 sivu
syyskuu 2016

Työn tavoitteena oli tehostaa Kiillon sulateliimalinjaston PID-säädinten toimintaa tarkastamalla vanhojen parametrien tarkkuus ja tarvittaessa määrittää uudet parametrit. Ongelmana oli ollut linjaston säätimien lämpötila-arvon heittely halutusta asetusarvosta, sekä hidaskäyttö lämpötilassa. Työssä tutkittiin menetelmiä säädinten manuaaliselle virittämiselle ja niistä yksi valittiin käytettäväksi. Tutkimuksen tekeminen alkoi selvittämällä säädinten toimintaa ja prosessin dynamiikka, jotka tietämällä pystyttiin suunnittelemaan mittaukset sekä mittaustulosten hyödyntäminen. Valmistajan tekemään ohjekirjaan tukeuduttiin vahvasti tässä osassa tutkimusta.

Mittaukset suoritettiin kolmelle PID-säätimelle. Suoritettujen askelvastekokeiden kuvaajista saatiin selvitettyä tarvittavat arvot. Kerätyillä arvoilla onnistuttiin laskemaan säätimille uudet parametrit teoriaan pohjaavalla tavalla.

Linjaston kolmitieventtiilien ja niitä ohjaavien toimilaitteiden toimintaa olisi hyödyllistä selvittää. Lämpötilojen ylitykset asetusarvoista voivat johtua vuotavista venttiileistä. Vuotamisen syynä voivat olla kuluneet venttiilit tai väärässä asennossa olevat toimilaitteet.

Asiasanat: PID-säädin, lämpötila, toimilaitte, kolmitie venttiili

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Machine Automation

PUTTONEN MATTI:

Examination, tuning and instructing for hot melt adhesive process control loops

Bachelor's thesis 32 pages, appendices 1 page

October 2016

The objective of this thesis was to enhance the operation of production line's PID controllers by revising the accuracy of the old parameters and, if necessary, by defining new parameters. The temperature values of the production line had been deviating from the set-point, and slow changes in temperature had also been detected. Various methods for tuning the controllers manually were examined, and one was chosen to be used here. The initial phase of work involved examining the controllers' function and the dynamics of the process from which it was possible to plan implementation of measurements and to make use of measurement results. The manual made by the manufacturer was heavily relied on in this part of the thesis.

The measurements were performed for three PID-controllers. The required values were gained successfully by means of step response tests. With the collected values it was possible to calculate new parameters for the controllers in a way that corresponded with the theories.

It would be useful to clarify the performance of the production lines' three-way valves and actuators controlling them. The temperature overstep past the set-point might be caused by leaking valves. The leaking might be caused by worn out valves or wrongly positioned actuators.

Key words: PID-controller, temperature, actuator, three-way valve

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	PID-SÄÄTIMET	7
	2.1 PID-säätimen rakenne.....	7
	2.2 Kaskadisäätöpiiri	8
3	PID-SÄÄDINTEN VIRITTÄMINEN	10
	3.1 Viritysmenetelmiä.....	10
	3.1.1 Askelvastemenetelmä.....	10
	3.1.2 Jatkuvan värähtelyn menetelmä	12
	3.2 Viritysmenetelmän valinta.....	12
4	KIILLOLLA KÄYTÖSSÄ OLEVAT SÄÄTIMET	14
5	SULATELIIMALINJASTO	16
6	MITTAUSTEN TOTEUTTAMINEN	20
	6.1 Mittausmenetelmä.....	20
	6.2 Mittaustulokset.....	21
7	PARAMETRIEN MÄÄRITTÄMINEN	24
8	OHJE KASKADISÄÄTIMEN AJOON	28
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	29
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET	32
	Liite 1. Kaskadisäätimen käyttöohje	32

ERITYISSANASTO

takaisinkytketty säätöpiiri	lähtösignaali ohjataan takasin järjestelmän alkuun
asetusarvo	prosessin tavoite lämpötila
askelmainen muutos	muutos lähtöarvoon
käännepiste	käyrän piste, jossa sen kaarevuussuunta vaihtuu
säätöalueen enimmäisarvo	prosessin mahdollinen maksimi lämpötila

1 JOHDANTO

Kiilto Oy on Tampereella vuonna 1919 perustettu kemianalan perheyritys. 1970-luvun alussa Kiillon tehdas siirtyi Lempäälään.

Suoritin kaikki harjoitteluni Kiillolla vuosina 2015 ja 2016. Vuoden 2016 alussa suoritin kolmatta harjoitteluani kunnossapidossa, kun tekninen päällikkö Vesa Juhannusvuori ehdotti minulle opinnäytetyöksi sulateliiman linjaston PID-säädinten virittämistä.

Työn tavoitteena oli Kiilto Oy:n Lempäälän tehtaalla sijaitsevan sulateliiman valmistukseen käytettävän linjaston PID-säädinten virittäminen ja ohjeistaminen. Säätimet haluttiin virittää uudestaan, koska lämpötila heitteli suuresti halutusta asetusarvosta ja lämpötilan muutos oli hidasta. Säätimet oli viritetty edellisen kerran suunnilleen viisitoista vuotta sitten. Tällöin säätimien muutosta oli tutkittu käsin ja viritysarvot oli laskettu saaduista kuvaajista. Linjaston yksi säädinpari olisi mahdollista muuttaa kaskadisäätimeksi, mutta työntekijöillä ei ollut tiedossa, miten kaskadisäädintä ajettaisiin, joten tehtävänä oli kirjoittaa heille ohje sen käyttämisestä.

2 PID-SÄÄTIMET

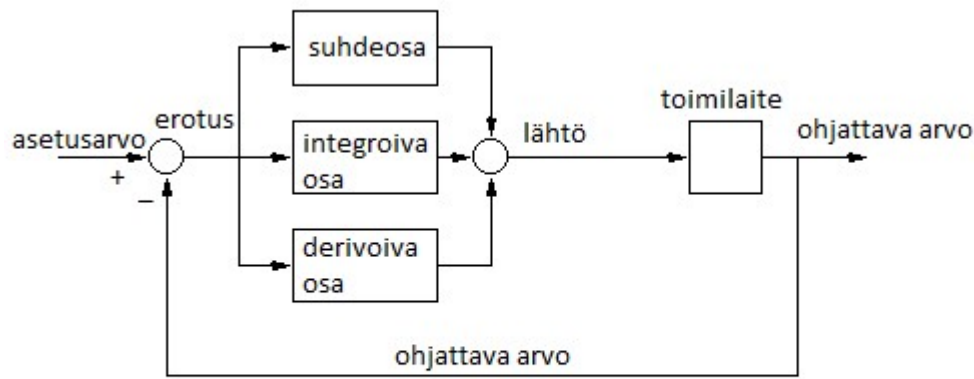
PID-säädin on suljettu takaisinkytketty säätöpiiri, jota käytetään teollisuudessa prosessien ohjauksessa. Suljettu takaisinkytketty säätöpiiri prosessissa mittaa reaaliajassa ohjattavaa arvoa (process variable) esim. lämpötilaa ja syöttää tietoa takaisin säätimelle, joka ohjaa lähtöä (controller output) tavoitteena säätää ohjattava arvo samaksi prosessille asetetun asetusarvon (set point) kanssa. Säädin vertaa asetusarvon ja ohjattavan arvon erotusta ja tekee säätötoimenpiteet sen mukaan (Zhang 2008, 519–520).

Säädettävät järjestelmät luokitellaan yleensä kapasiteettisiksi, 0-kapasiteettista 2-kapasiteettisiin. Ensimmäisen kertaluvun prosessia sanotaan 1-kapasiteettiseksi eli se sisältää yhden varastointipaikan. Toisen kertaluvun prosessia taas sanotaan 2-kapasiteettiseksi eli se sisältää kaksi varastointipaikkaa. Varastointipaikoilla tarkoitetaan seurattavia systeemejä. Ensimmäisen asteen prosessissa tutkitaan esimerkiksi yksittäisen säiliön pinnan korkeuden muuttumista. Toisen asteen prosessissa toimilaite ja prosessi ovat yleensä keskenään sarjassa ja muodostuvat kahdesta erillisestä ensimmäisen asteen prosessista.

Selkeyttävä esimerkki PID-säätimestä on auton vakionopeudensäädin. Vakionopeudensäädin vertaa auton nopeutta kuljettajan asettamaan arvoon ja lisää tai vähentää kaasua sen mukaan. Nopeuteen vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat esimerkiksi mäet ja tieolosuhteet.

2.1 PID-säätimen rakenne

PID-säätöpiiri koostuu toimilaitteesta ja sitä ohjaavasta PID-säätimestä (kuva 1). PID-säätimen lähtö koostuu P, I ja D-osasta, lyhenteet tulevat sanoista proportional control (suhdeosa), integral control (integroiva osa) ja derivative control (derivoiva osa).



KUVA 1. PID-säätöpiirin rakenne

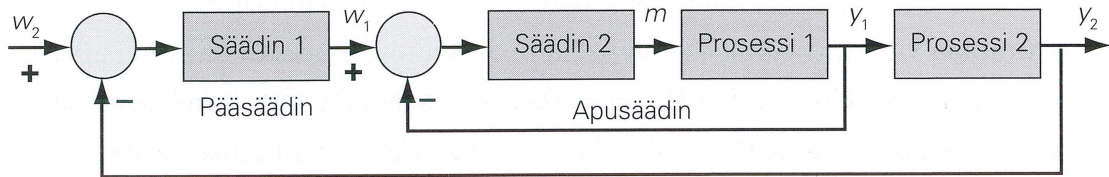
Suhdeosa P on edellä mainituista kolmesta kaikkein tärkein. Se laskee asetuseron ja mittausarvon erotusta ja säätelee tarpeellisen muutoksen ulostuloon poistaakseen erotuksen. Lähtö $u(t)$ on riippuvainen erosuureesta $e(t)$ painotettuna vahvistavalla termillä. Suhdeosan parametri säätimessä on X_p [%] ja se säädetään välillä 0,1-999,9 %. Integraoiva osa tutkii asetuseron ja mittausarvon erotusta ajan suhteen ja säätelee sitä tarvittaessa. Integraoivan osan parametri on T_n [s] ja se säädetään välillä 0,1-9999 s. Derivoiva osa tarkkailee mittausarvon muutoksen tahtia ja säätelee ulostuloa mukautumaan epätavallisiin muutoksiin. Derivoiva osa on ennakoiva ja se pyrkii kompensoimaan virhettä jo sen muodostuessa. Derivoivan osan parametri on T_v [s] ja se säädetään myös välillä 0,1-9999 s.

Parametrit vaihtelevat suuresti eri ohjausjärjestelmissä, ja sen takia ne tarvitsee optimoida jotta järjestelmälle saadaan tarkat ohjausarvot. Tätä prosessia kutsutaan PID-virittämiseksi, joka oli yksi opinnäytetyön tehtävistä (Zhang 2008, 519–520).

2.2 Kaskadisäätöpiiri

Kaskadisäätöpiiri on sovellus, joka sisältää kaksi sisäkkäin olevaa säätöpiiriä (kuva 2). Kaksi- tai useampi-kapasiteettiset prosessit ovat luonnostaan hankalia hallita yhdellä säätöpiirillä suurien ylitysten ja viiveiden takia. Lämmitettävät vaipat, eli systeemi joissa ulkopinnassa on ontto kerros, jossa liikkuu esimerkiksi kuumaa vettä, ovat esimerkiksi 2-

kapasiteettisia prosesseja. Kaskadisäädin säätää kahdella keskenään sarjassa olevalla säätimellä, pääsäätimellä ja apusäätimellä, yhtä lähtöä prosessissa. Pääsäätimen lähtö toimii apusäätimen asetusarvona. Pääsädin reagoi prosessin hitaisiin muutoksiin ja se toimii hitaasti ja rauhallisesti. Apusädin reagoi prosessin nopeisiin muutoksiin ja se toimii nopeammin kuin pääsädin. Molemmat säätöpiirit voidaan virittää erikseen kaskadisäädössä, tällöin ensin viritetään apusädin ja yläsädin viritetään 3-5 kertaa hitaammaksi (Kippo & Tikka 2008, 136).



w_2 = pääsäädön vertailusuure

w_1 = apusäädön vertailusuure

m = toimitus

y_1, y_2 = ohjattava suure

KUVA 2. Kaskadisäätimen rakenne (Kippo & Tikka 2008, 137)

3 PID-SÄÄDINTEN VIRITTÄMINEN

Säätöpiirin virittäminen on säätöparametrien X_p , T_v ja T_n säätämistä optimaalisiin arvoihin, jotta saadaan haluttu erotus mittausarvolle ja asetusarvolle. Virittämisen tavoitteena on säädinten optimointi. Säätöparametrien valinta vaikuttaa säädön hyvyyteen. Tärkeä säädön hyvyyttä kuvaava muuttuja on erosuure, eli asetusarvon ja mittausarvon erotuksen suuruus. Mitä pienempi erosuure on, sitä paremmin säätö on onnistunut. Erosuuretta käytetään eri tavoin painotettuna aikaintegraaleissa. Opinnäytetyön alussa olleilla arvoilla linjaston lämpötila heitteli suuresti halutusta asetusarvosta. Lämpötilat olivat asetusarvoja suurempia ja lämpötilan muutos oli paikoittain hidasta.

Virittäminen on tasapainottelua prosessin ominaisuuksien välillä. Käytännössä virittäminen aina häiritsee tuotantoprosessia ja voi vaikuttaa laadun tasaisuuteen ja jopa aiheuttaa käyntihäiriöitä. Virittämiseen liittyvät tehdaskokeet pitäisi aina pyrkiä tekemään normaalissa ajotilanteessa (Kippo & Tikka 2008, 136–141).

3.1 Viritysmenetelmiä

John G. Ziegler ja Nathaniel B. Nichols esittelivät 1940-luvulla kaksi PID-säätimien viritysmenetelmää, askelvastemenetelmän ja jatkuvan värähtelyn menetelmän. Askelvaste menetelmä on edelleen sellaisenaan käytössä oleva menetelmä. Jatkuvan värähtelyn menetelmää on kehitetty myöhemmin paljon eteenpäin ja ongelmia alkuperäisessä menetelmässä on saatu korjattua.

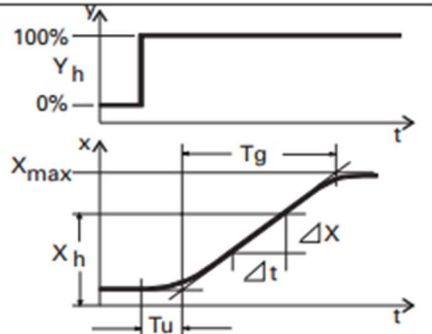
3.1.1 Askelvastemenetelmä

Askelvastemenetelmässä säädin kytketään pois päältä eli asetetaan käsiajolle. Järjestelmän tulee olla tasapainossa ennen mittauksen aloittamista. Askelvastekoe toteutetaan antamalla säätösuurelle askelmainen muutos ja kirjaamalla talteen prosessin muutos saadaan piirrettyä mittauskäyrä, josta halutut arvot saadaan selvitettyä (kuva 3).

Käyrältä etsitään piste, jossa käyrän kaarevuussuunta muuttuu eli käännepiste. Piirretään kuvaajaan käännepisteen kautta kulkeva tangentti. Viive T_u saadaan selville laskemalla

aika, joka kuluu askelvasteen antamisen ja kohdan jossa tangentti leikkaa aloitusarvon akselin x kohdalta välillä. Aikavakio T_g voidaan määrittää piirtämällä apuviiva y-akselille prosessin enimmäisarvon kohtaan, ja laskemalle väli joka apuviivan ja tangentin leikkauspisteelle ja tangentin ja x-akselin leikkaukselle tulee. Tässä työssä tangentin värinä on käytetty oranssia, x-akselin viivat ovat sinisiä ja y-akselin viivat punaisia (Ollila J. 2010, 8–12).

Fig.: 48 Step response of process



y = correcting variable

Y_h = control range

T_u = delay time (s)

T_g = recovery time (s)

$V_{max} = X_{max} / T_g = \Delta x / \Delta t = \text{max. rate of increase of process value}$

X_{max} = maximum process value

X_h = adjustment range of controller $\times 100 - \times 0$

$$K = \frac{V_{max}}{X_h} \cdot T_u \cdot 100\%$$

KUVA 3. Prosessin askelvaste (PMA 2000, 65)

Kun myös tiedetään prosessin enimmäisarvo X_{max} ja säätimen säätöalue X_h saadaan laskettua prosessin arvon enimmäiskasvuvauhti V_{max} ja vahvistuksen arvo K . Viritysparametrien laskentaan löytyy useampia eri kaavoja, alle olevassa kuvassa ovat esimerkkinä KS92 manuaalissa olleet kaavat (kuva 4).

General formulas			
Behavior	$X_p[\%]$	$T_v[s]$	$T_n[s]$
(D)PID	1,7 K	2 T_u	2 T_u
PD	0,5 K	T_u	$\infty = 0000$
PI	2,6 K	0	6 T_u
P	K	0	$\infty = 0000$
3-point stepping controller PID			
	1,7 K	T_u	2 T_u

KUVA 4. Parametrien laskukaavat (PMA 2000, 65)

3.1.2 Jatkuvan värähtelyn menetelmä

Jatkuvan värähtelyn menetelmä sopii paremmin laboratorio-olosuhteisiin kuin teollisuusprosesseihin. Jatkuvan värähtelyn menetelmässä ideana on määrittää stabiiliusraja eli jatkuvan värähtelyn raja asettamalla prosessin säätimen integrointiaika äärettömän suureksi ja derivointiaika nolaksi. Tällöin säädin on pelkällä P-säädöllä. Säädin on aluksi automaatti tilassa, prosessi pidetään stabiilina ja parametri K_p asetettu pieneen arvoon. Asetusarvoa muuttamalla saadaan prosessi värähtelemään ja muutos kirjataan ylös. Asetusarvoa nostetaan riittävän isoissa askelissa ja testiä toistetaan, suurella K_p :n arvolla prosessi muuttuu epästabiiliksi ja alkaa oskiloimaan eli värähtelemään. Testaamalla tulisi saada karkea arvio parametrille K_p jossa prosessi värähtelee harmonisesti. Tämän jälkeen testi tulisi toistaa aloittamalla aikaisemmin määritetystä parametrin K_p arvosta ja muutokset pitää pieninä, jotta saadaan tarkempi arvo. Tällöin saadaan äärimmäinen vahvistus K_u . Mitatulla arvolla saadaan laskettua kaavoja käyttäen parametrien arvot säätimelle (Ollila J. 2010, 8–12).

3.2 Viritysmenetelmän valinta

Työssä käytettävän viritysmenetelmän valitsemiseksi tuli selvittää aluksi oliko kyseessä ensimmäisen vai toiseen asteen prosessi. Linjaston toimintaan ja rakenteeseen perehtymällä tultiin päätökseen, että kyseessä on toisen asteen prosessi. Toimilaite ohjaa kolmitieventtiiliä, joka ohjaa prosessin lämpötilaa. Kipon ja Tikan (2008, 124) mukaan lämpötilan säätöpiirit ovat myös yleensä toisen asteen prosesseja.

Säätimen virittämisessä päädyttiin Ziegler-Nicholsin askelvastemenetelmään, jossa prosessin dynamiikkaa arvioidaan viiveellisen ensimmäisen kertaluvun mallin avulla. Säädinten ohjekirjassa myös opastettiin manuaalista virittämistä varten käyttämään askelvastemenetelmää. Askelvastemenetelmän valitsemista edisti myös maahantuojalta saatu konfigurointiohjelmisto, joka on valmistajan tekemä. Ohjelmistolla säätimiä voi ohjata, säätää parametreja ja ottaa talteen muutosta prosessissa, jotka olivat opinnäytetyön kannalta oleellisia ominaisuuksia.

Säädinten ohjekirjassa käydään läpi vaiheittain manuaalinen virittäminen askelvastemenetelmällä. Työkalulla säätimet voi asettaa manuaalitilaan, jossa muunnetaan ohjaussuuretta prosentuaalisesti ja työkalu mittaa muutoksen prosessissa, jonka saa siirrettyä Exceliin tarkastelua varten. Excel-taulukoista saa piirrettyä kuvaajat ja niitä tulkittua kappaletta 3.1.1. mukaan.

4 KIILLOLLA KÄYTÖSSÄ OLEVAT SÄÄTIMET

Kiillolla on käytössä saksalaisen PMA:n valmistamat KS92 säätimet (kuva 5). Malli on vanha, eikä se ole valmistajalla enää tuotannossa. Kyseessä on myös vanhempi versio KS92 mallista, johon ei ollut käytettävissä valmistajan tekemää BlueControl-säätöohjelmaa. Käytössä olleeseen KS92 malliin oli kuitenkin saatavilla Engineering tool KS92/94 – ohjelma, joka oli ominaisuuksiltaan suppeampi kuin BlueControl-ohjelma.

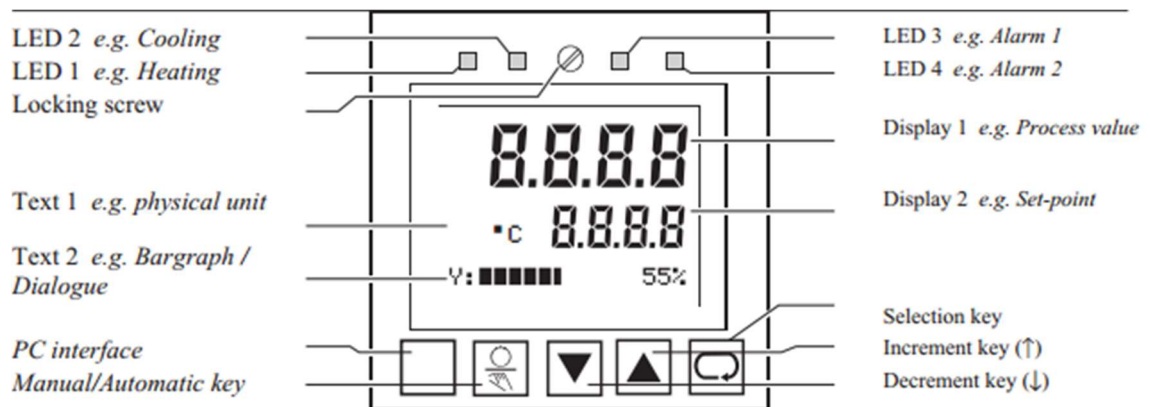


KUVA 5. Kiillon KS92 säätimet

Säätimet ohjaavat kukin omaa toimilaitettaan. Kahden säätimistä olisi mahdollista toimia kaskadisäätimenä. Säädinten ohjaustavaksi oli asetettu kolmipisteohjaus ja kolmipisteoh-

jaus aseman takaisin syötöllä ja jatkuva ohjaus. Kolmipisteohjaus tarkoittaa, että säätimellä on kolme asentoa ohjaukselle. Yksi on paikallaan ja kaksi ovat pyörintäsuuntia. Pyörimissuunnilla ohjataan lämpötilan muutosta, joko kuumemmaksi tai kylmemmäksi ja kolmas pitää toimilaitteen jatkuvasti samassa asennossa, kun lämpötila halutaan pitää jatkuvasti samassa arvossa.

Säätimen etupaneelissa on näyttö ja seuraavat painikkeet, joilla sitä ohjataan (kuva 6).



KUVA 6. Säätimen etupaneeli (PMA 2000, 19)

Vasemman ylänurkan LED 1 kertoo välkkymällä jos prosessi lämpenee. LED 2 kertoo välkkymällä jos prosessi jäähtyy. LED 3 ja 4 kertovat välkkymällä prosessissa olevasta virheestä. Näytössä ylempi teksti Display 1 kertoo linjaston lämpötilan nykyisen arvon ja alempi teksti Display 2 kertoo asetuservon. Linjaston työntekijöille edellä mainitut tiedot, sekä alarivin lisäys, toinen oikealta, ja vähennys, kolmas oikealta, painikkeet ovat päivittäisessä käytössä oleellisia. Opinnäytetyössä tarvittiin ainoastaan vasemman alanurkan PC-porttia, jonka kautta säädin saatiin yhdistettyä tietokoneeseen.

5 SULATELIIMALINJASTO

Linjasto (kuva 7) on otettu Kiillolla käyttöön vuonna 2002. Liiman lämpötilaa linjastossa ohjataan öljyllä. Linjaston vieressä on öljykattila (kuva 8), joka kuumentaa kiertävää öljyä, jota moottorit pumppaavat putkistoihin.



KUVA 7. Sulateliimalinjasto

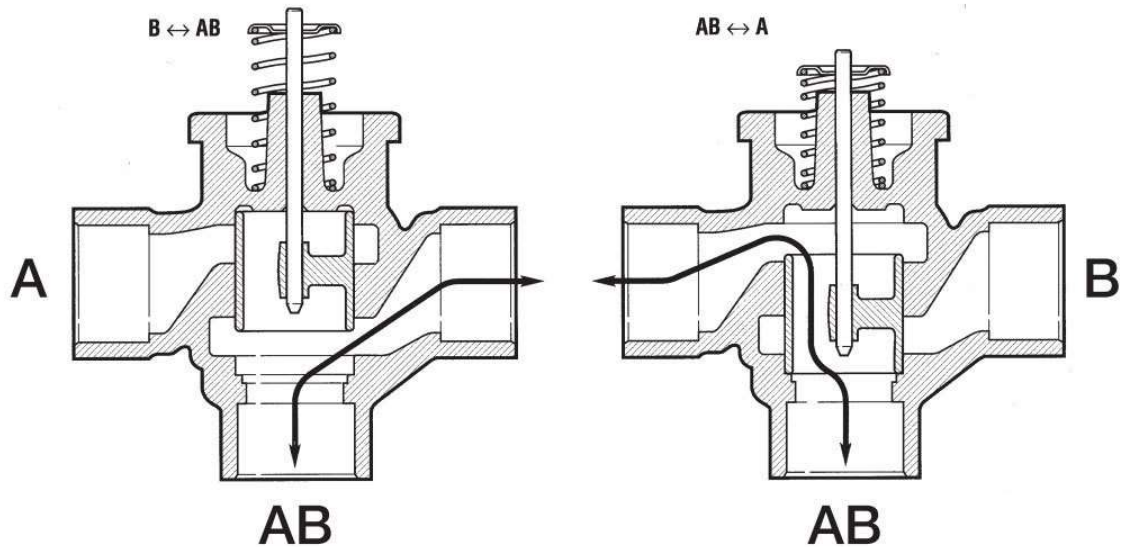


KUVA 8. Linjastoa lämmittävä öljykattila

Putkistoissa on mutkakohdissa kolmitie venttiilit (kuva 9 ja kuva 10), joita säätimet ohjaavat toimilaitteilla. Kiertävän öljyn lämpötila määräytyy uuden kuumennetun öljyn ja jo valmiiksi kiertävän viileämmän öljyn suhteesta. Riippuen säädetyistä lämpötilasta venttiili ohjaa putkistoon uutta kuumaa öljyä ja vanhaa öljyä takaisin kattilalle uudestaan lämmitettäväksi.



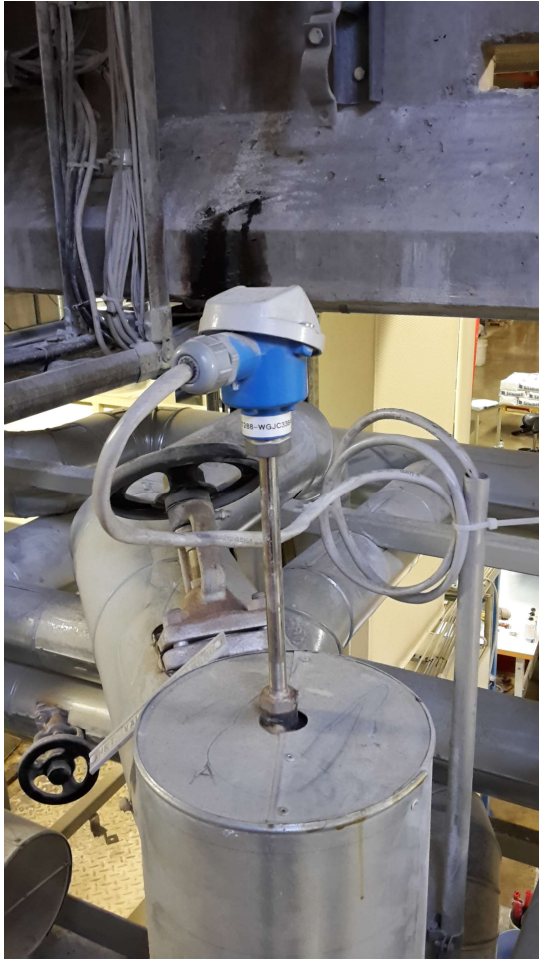
KUVA 9. Käytössä oleva kolmitieventtiili



KUVA 10. Kolmitieventtiilin poikkileikkaus, ei sama malli kuin Kiillolla (Ympäristöenergia 2016)

Jos lämpötilaa halutaan nostaa, kolmitie venttiili ohjaa enemmän uutta kuumempaa öljyä kattilalta putkistoon, jolloin jo kiertänyttä öljyä pääsee putkistoon vähemmän. Öljyjen suhde muuttuu ja lämpötila nousee. Jos lämpötilaa halutaan laskea, venttiili menee kiinni ja estää kuumen öljyn pääsyä kiertoon ja lämpötila laskee ajan myötä.

Virtaavaan öljyn lämpötilaa mitataan putkistoon kiinnitetyillä lämpötila-antureilla (kuva 11), jotka mittaavat suoraan öljyn lämpötilaa. Säätimet ohjaavat sähköisiä toimilaitteita (kuva 12), joilla kolmitie venttiileitä ohjataan.



KUVA 11. Lämpötila-anturi

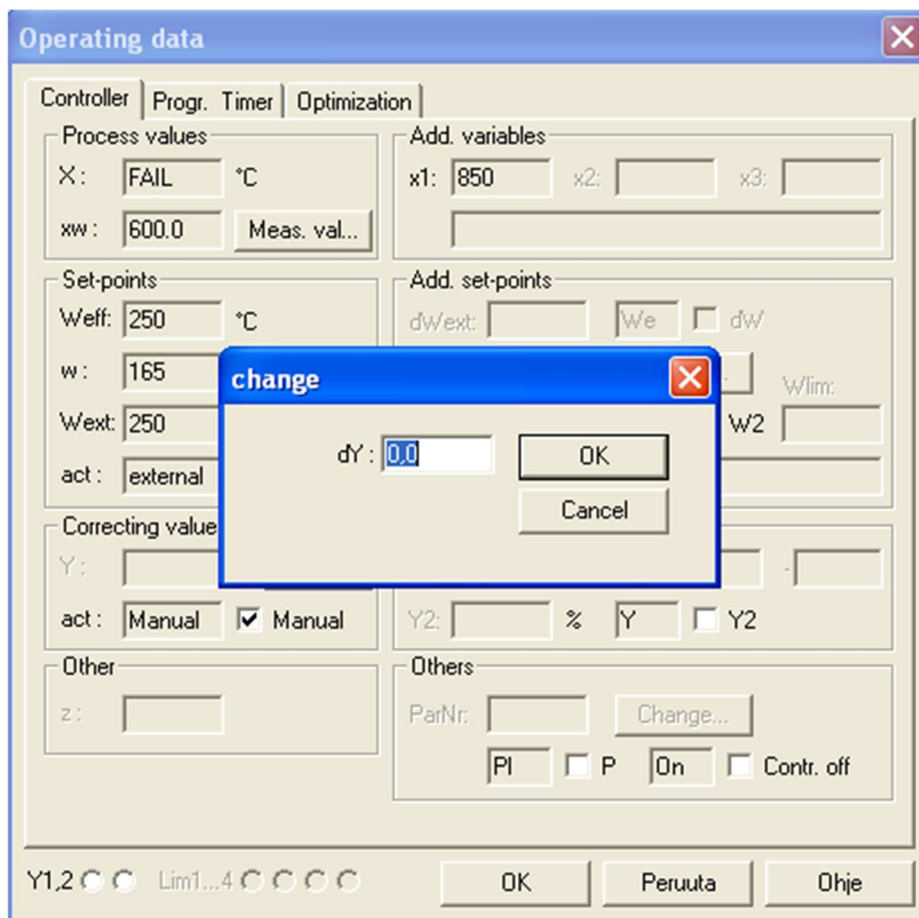


KUVA 12. Toimilaite

6 MITTAUSTEN TOTEUTTAMINEN

6.1 Mittausmenetelmä

Mittausten tekemistä varten Kiillolle hankittiin maahantuojalta muunninkaapeli, jolla saatiin yhdistettyä tietokone säätimeen. Valmistajan sivuilta sai ladattua tietokoneelle konfigurointiohjelman mallin KS92 ja KS94 säätimille. Työkalu yhdistettiin säätimeen muunnoskaapelilla, jonka kautta säädintä sai ohjattua. Konfigurointiohjelmistossa säätimelle annettiin prosentuaalinen muutos dY lämpötilaan väliltä -105 – 105 prosenttia (kuva 13). Työkalusta näki prosessin lämpötilan nykyisen arvon ja eron lämpötilan ja asetuseron välillä. Säätimeen ei tarvinnut koskea käyttäessä konfigurointiohjelmistoa. Työkalu tallensi lämpötilalle tapahtuvat muutokset kahden sekunnin välein ja tulokset sai siirrettyä Exceliin. Excelillä saatiin piirrettyä kuvaaja lämpötilan muutoksesta ajan suhteen ja siitä saatiin laskettua tarvittut arvot.



KUVA 13. Manuaaliohjaus konfigurointiohjelmassa

6.2 Mittaustulokset

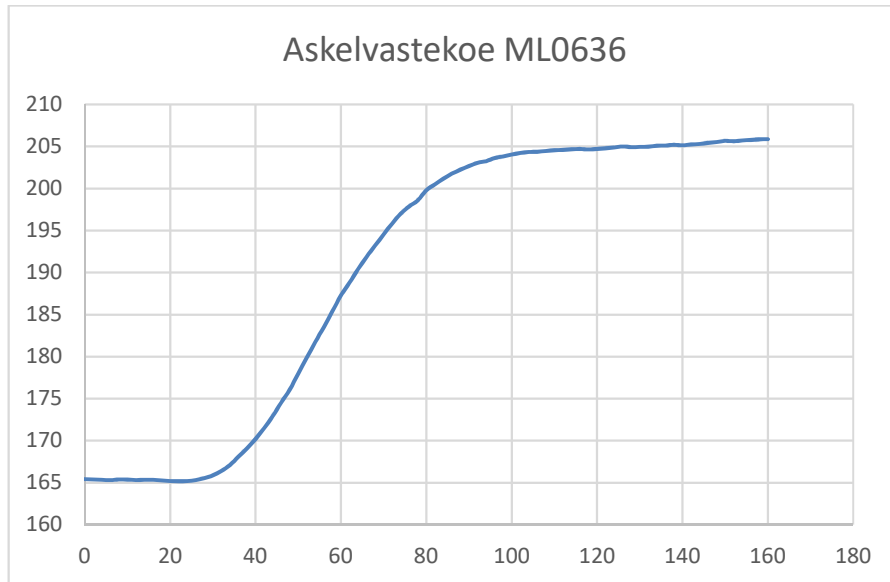
Mittaukset toteutettiin linjaston käydessä sopivina hetkinä. Yksi mittaus päästiin suorittamaan päivällä linjaston pyöriessä normaalisti, toinen mittaus suoritettiin päivällä työntekijöiden ollessa tauolla, loput mittaukset oli helpoin suorittaa aamulla linjastoa käynnistettäessä. Mittauksia päästiin suorittamaan, kun lämpötilan muutoksilla ei ollut merkitystä liiman laatuun. Esimerkiksi liimaerän tekeminen sekoittimissa esti mittausten tekemisen, jottei lämpötilan vaihtelu vaikuttanut valmistettavan liiman laatuun. Aamulla suoritetuissa mittauksissa pientä häiriötä mittaustuloksiin aiheutti kuumen öljyn riittäminen. Säätimien nostaessa lämpöä yhtä aikaa lämpötila nousee hitaammin. Jottei tämä aiheutanut suurta vaikutusta mittaustuloksiin, ennen mittausten suorittamista odotettiin, että muut säätimet olivat saaneet nostettua lämpötilaa ja kattilan lämpötila oli vähintään kahdensadan asteen tuntumissa. Kahteen erilliseen säätimeen viitataan työssä alempana ja ylempänä ML0640 säätimenä. Toiselle säätimelle ei ollut merkitty koodia ja mainituilla kahdella säätimelle olisi mahdollista muodostaa kaskadisäädin.

Alemmalle ML0640 säätimelle jouduttiin askelvastekoe suorittamaan kahdesti. Aamulla suoritettu mittaus ei kelvannut, koska lämpötila nousi hitaasti itseksensä asetusravon yläpuolelle, kun öljykattilan lämpötila nousi. Tämä esti kuvaajasta arvojen laskemisen, koska sen seurauksena vaikutti, ettei viiveaikaa olisi ollut ollenkaan. Ongelmaksi muodostuivat myös neljä säädintä (ML0637, ML0638, ML0639 ja ylempi ML0640), jotka eivät reagoineet konfigurointiohjelmiston komentoihin. Konfigurointiohjelmistolla pääsi ohjaamaan kaikkia säätimiä, mutta ne eivät reagoineet annettuihin muutoksiin tuntemattomasta syystä. Syy saattoi mahdollisesti olla säätimien PC-porteissa, jos ne olivat vaurioituneet.

Mittaustulokset onnistuneista askelvastekokeista siirrettiin Exceliin, jossa saatiin piirrettyä kuvaajat jokaisesta. Alla olevissa kuvioissa (kuviot 1, 2 ja 3) on kuvattu yksittäisten säätimien lämpötilan muutos ajan suhteen askelvasteen antamisen jälkeen. Vaaka-akselilla on aika sekunneissa ja pystyakselilla lämpötila celsiusina. Säätimille annettiin 25–40 prosentin muutoksia, riippuen lämpötilasta mittausta aloittaessa.

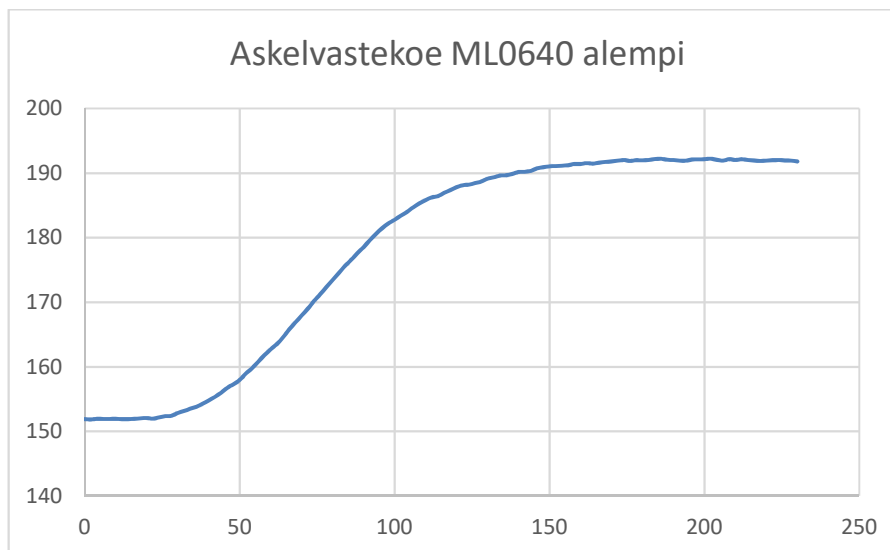
Säätimen ML0636 lämpötila pysyi kokeen alussa vakiona, eikä pyrkinyt kapuamaan hiljaa ylöspäin. Lämpötila alussa oli 165 °C ja pyyntö oli 150 °C, sille annettiin 25 prosentin

muutos tavoitteena saavuttaa 205 °C lämpötila. Kokeen lopussa lämpötilan noustua uuteen asetusarvoonsa, huomattiin pientä heittoa ja lämpötila nousi asetusarvon yli joitain asteita. Heitto ei ollut merkittävää (kuvio 1). Ylärajana laskutoimituksessa käytettiin arvoa 205 °C.



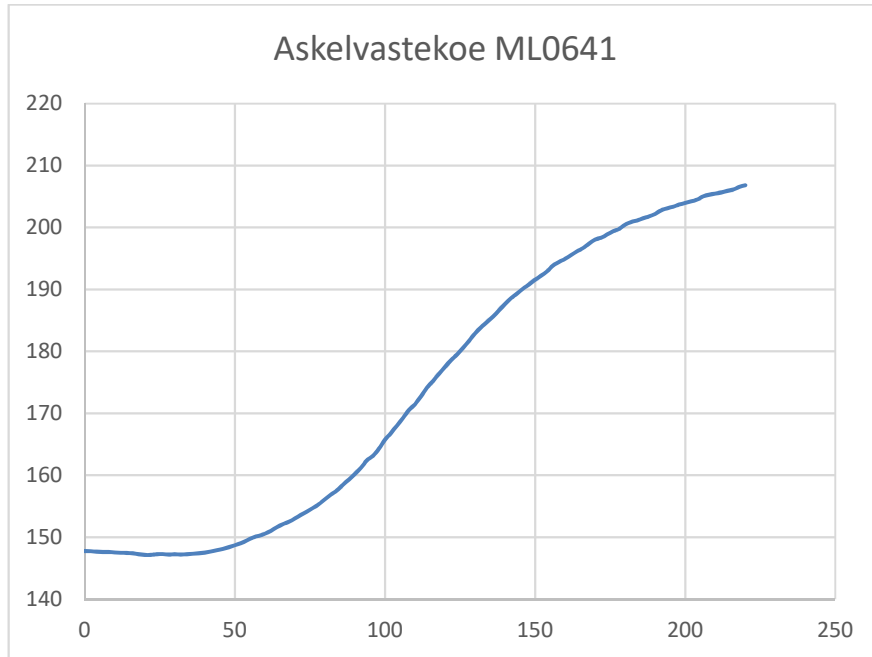
KUVIO 1. Askelvastekoe säätimelle ML0636

Alemman säätimen ML0640 askelvastekokeessa lämpötila pysyi tasaisesti 150 °C tuntumassa, kun pyynti oli 160 °C, kunnes säätimelle annettiin 30 prosentin muutos, tavoitteena 195 °C. Lämpötila nousi 190 °C tuntumaan ja pysyi siellä (kuvio 2). Ylärajana laskutoimituksessa käytettiin arvoa 190 °C.



KUVIO 2. Askelvastekoe alemmalle säätimelle ML0640

Säätimen ML0641 askelvastekokeessa lämpötilassa oli muutamien asteiden heittelyä alussa, heitto ei ollut kokeen kannalta merkittävää, eikä vaikuttanut lopputulokseen. Lämpötila oli aluksi noin 149 °C ja pyyntö oli 150 °C, 35 prosentin muutoksella kokeessa tavoiteltiin 200 °C lämpötilaa. Kokeen lopussa lämpötila kuitenkin jatkoi nousemistaan melkein 210 °C asti, laskutoimituksissa ylärajana käytettiin kuitenkin 205 °C (kuvio 3).

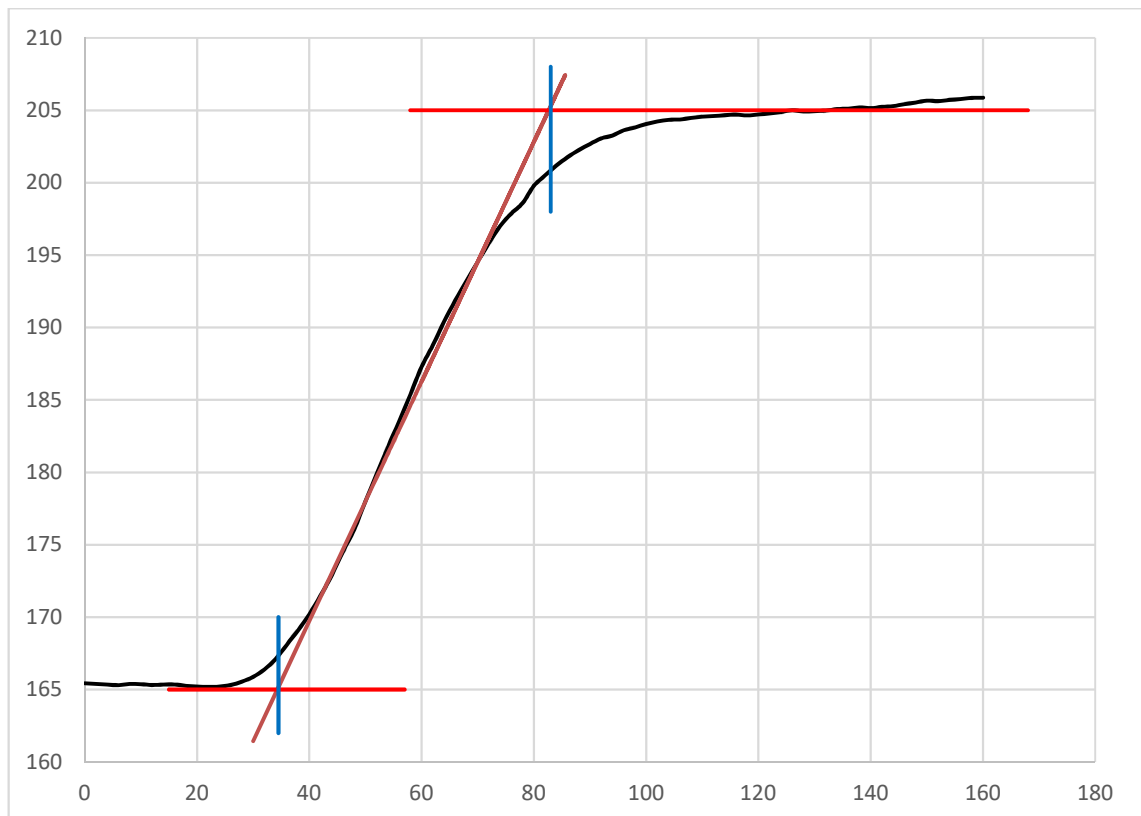


KUVIO 3. Askelvastekoe säätimelle ML0641

7 PARAMETRIEN MÄÄRITTÄMINEN

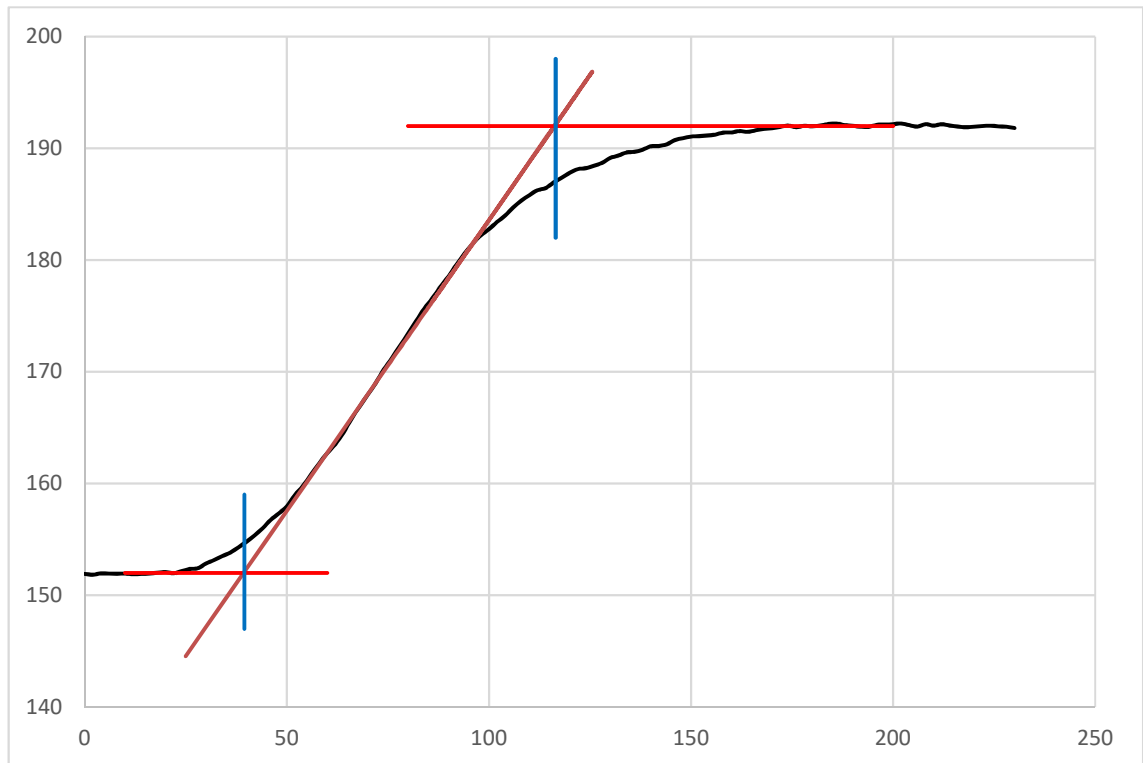
Viritysparametrien laskemiseksi säätimille käytettiin ohjekirjassa olleita kaavoja (taulukko 1) ja käytetyt arvot valittiin säädintien määritetyn ohjaustavan mukaan, jotka nähtiin tietokoneelta konfigurointiohjelmalla. Laskemisessa tarvittu säätöalueen X_h arvo nähtiin myös konfigurointiohjelmasta. Parametrien laskemiseen tarvittu vahvistus K saatiin laskettua mittauksista saadusta Excel-kuvaajista, jotka on esitetty kappaleessa 6.2. Kuvioihin 4, 5 ja 6 lisättiin tangentit (oranssilla) ja apuviivat (punaisella) kappaleen 3.1.1 mukaan. Siniset viivat ovat kuvaajien tulkinnan helpottamista varten.

Säätimelle ML0636 arvojen laskeminen kuvaajasta (kuvio 4) onnistui helposti, koska säätimen askelvastekoe oli onnistunut malliesimerkkien mukaisesti. Käännepiste oli x-akselin kohdalla 60. Tangentti laskettiin valitsemalla pisteet kuvaajasta arvon 60 molemmin puolin ja laskemalla kahden pisteen kautta kulkeva funktio yhtälö. Yhtälön y arvot laskettiin kun arvo x läheni kuuttakymmentä molemmin puolin, x - ja y -arvoista saatiin kuvaajaan tangentin suora. Viive kokeessa oli noin 34,5 sekuntia ja aikavakio oli noin 48,5 sekuntia.



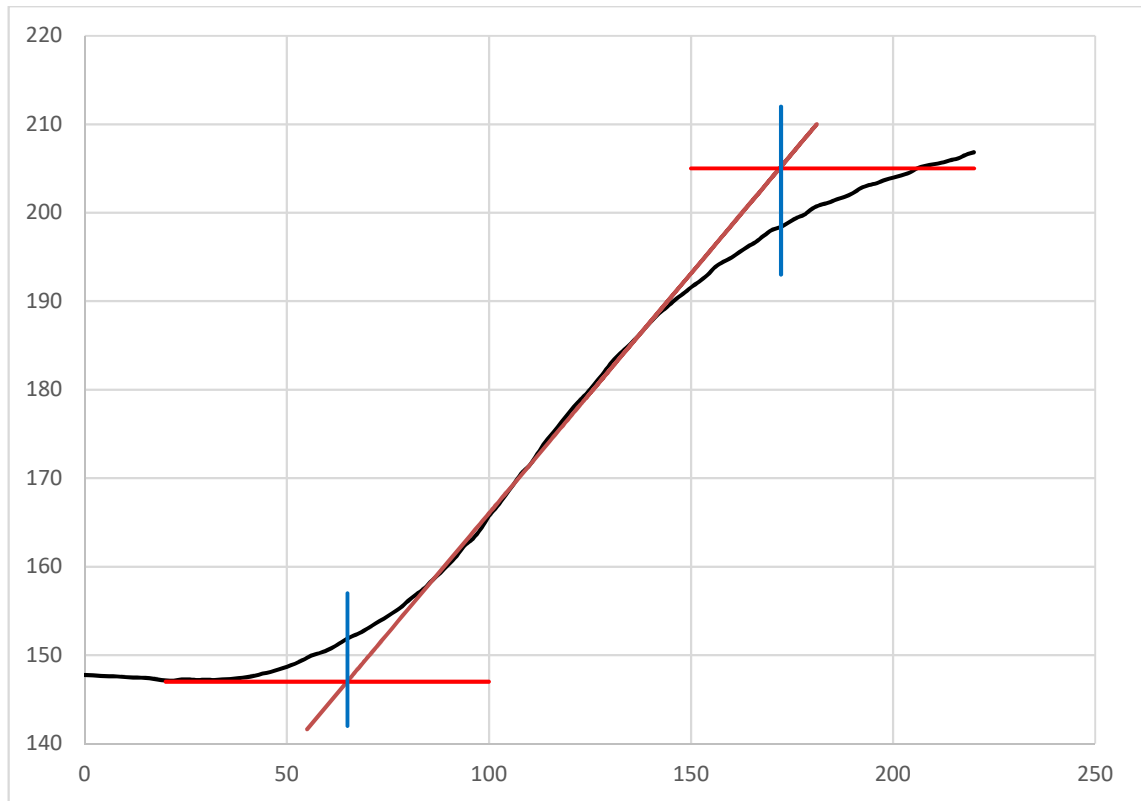
KUVIO 4. Apuviivat ja tangentti säätimen ML0636 askelvastekokeen kuvaajassa

Alemman säätimen ML0640 tangenti laskettiin samaan tapaan kuin edelliselle vastaavalla käänneasteella. Käänneaste oli x arvolla 86. Viive kokeessa oli noin 39,5 sekuntia ja aikavakio 77 sekuntia.



KUVIO 5. Tangenti ja apuviivat alemman ML0640 säätimen askelvastekokeen kuvaajassa

Säätimelle ML0641 laskettiin tangenti samalla tapaa kuin kahdelle edellisellekin säätimelle kuvaajan vastaavalla käänneasteen arvolla. Käänneaste oli x-akselin kohdalla 124. Viive oli 65 sekuntia ja aikavakio noin 107 sekuntia.



KUVIO 6. Tangentti ja apuviivat ML0641 askelvastekokeen kuvaajassa

Kun tiedettiin aikavakio T_g ja prosessin enimmäisarvo X_{max} saatiin laskettua nousun enimmäiskasvuarvo V_{max} kaavalla (1).

$$V_{max} = \frac{X_{max}}{T_g} \quad (1)$$

Kun tiedettiin myös viiveaika T_u ja säätimen säätöalue X_h saatiin laskettua vahvistus K kaavalla (2).

$$K = \frac{V_{max}}{X_h} * T_u * 100 \% \quad (2)$$

Mitatuilla ja lasketuilla arvoilla saatiin laskettua parametrit vahvistukselle X_p , integrointivakiolle T_n ja derivointivakiolle T_v ohjekirjasta löytyvän alla olevan taulukon (taulukko 1) mukaan. Käytettyjä laskutapoja oli kaksi riippuen oliko säätimen ohjaustapa kolmipisteohjaus vai kolmipisteohjaus aseman takaisin syötöllä.

TAULUKKO 1. Parametrien laskukaavat säätimien ohjaustavalle

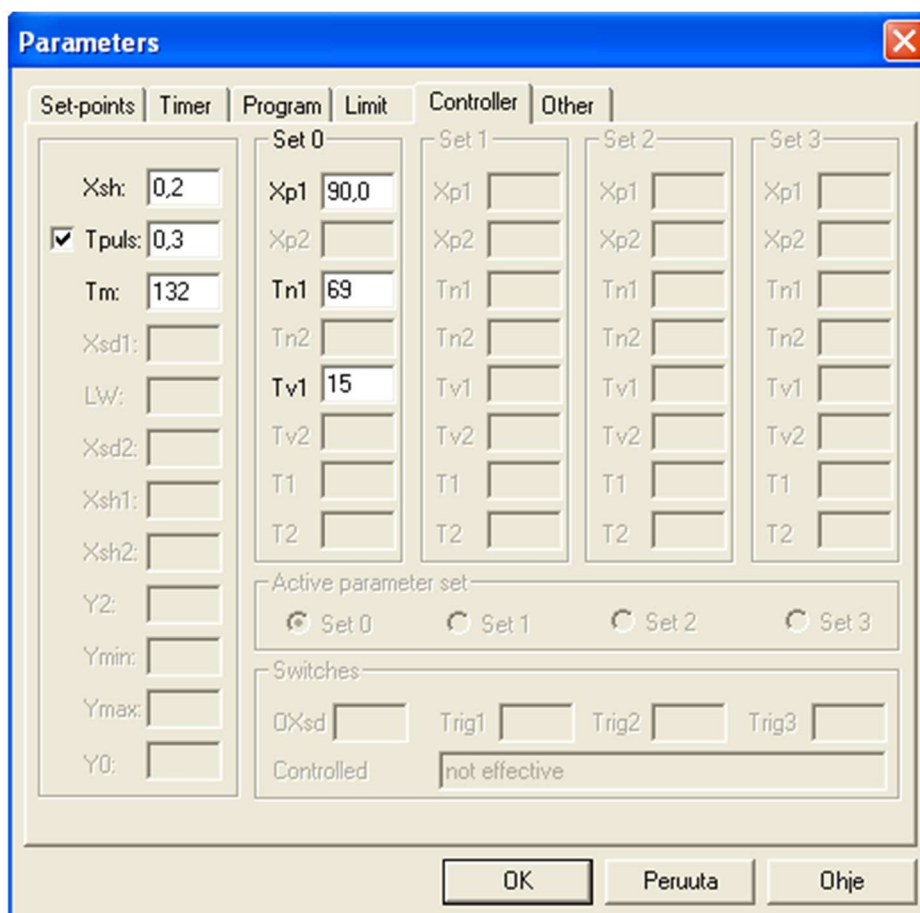
	X_p (%)	T_v (s)	T_n (s)
kolmipis- teohjaus PID	$1,7 * K$	T_u	$2 * T_u$

Alla olevassa taulukoissa ovat säätimille lasketut uudet mittaustuloksiin perustuvat viritystysparametrit.

TAULUKKO 2. Uudet viritystysparametrit säätimille

	X_p (%)	T_v (s)	T_n (s)
ML0636	99	34,5	69
ML0640 alempi	66,3	39,5	79
ML0641	84,5	65	130

Parametrit olisi saanut helposti vaihdettua säätimille konfigurointiohjelmalla omassa ikkunassaan (kuva 14).



KUVA 14. Parametrien säätäminen työkalulla

8 OHJE KASKADISÄÄTIMEN AJOON

Opinnäytetyön yksi tavoitteista oli ohjeen tekeminen kaskadisäätimen käytöstä linjaston työntekijöille. Linjaston kaksi säädintä oli mahdollista muuttaa kaskadisäätimeksi. Ohjeen tekeminen alkoi selvittämällä prosessin dynamiikka, jota kaskadisäädin ohjaisi. Ensimmäisenä selvitettiin, kumpi säätimistä olisi pää- ja kumpi apusäädin. Pää- ja apusäätimen roolit saatiin selvitettyä tutkimalla manuaalissa säätimille määritettyjä ohjaustapoja, sekä linjaston toimintaa. Sulateliimalla käytössä olevilla säätimillä, pääsäädin olisi alempi ML0640 säädin, apusäädin olisi ylempi ML0640. Tällöin pääsäätimen lämpötilanturi, olisi suoraan liimassa, ja apusäätimen anturi öljyssä. Tällöin kaskadisäätimellä saataisiin säädettyä tarkasti valmistettavan liiman lämpötilaa, ja liiman laatu olisi täten parempaa ja tasaisempaa.

Säädinten nykyiset viritysparametrit eivät kelpaisi käytettäväksi jos säädin muunnettaisiin kaskadisäätimeksi. Sitä varten viritysparametrit tulisi määrittää uudestaan. Virittäessä kaskadisäädintä suoritetaan askelvastekoe apusäätimelle, eli sisemmälle säätimelle. Säädin asetetaan manuaalille ja suoritettiin askelvastekoe kappaleen 3.1.1 mukaan. Pääsäätimelle askelvastekoetta ei tarvitse suorittaa, koska pääsäädin viritetään 3-5 kertaa hitaammaksi kuin apusäädin.

Ohjeessa opastetaan säätimen ajaminen, jotta työntekijät käyttäisivät kaskadisäädintä optimaalisesti. Ohjeessa selitettiin myös kaskadisäätimen rakennetta ja toimintaperiaatetta, jotta se tulee tutuksi työntekijöille. Kaskadisäätimen käyttöohje löytyy liitteestä 1.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Parametreille lasketut uudet arvot olivat lähellä vanhoja arvoja, mutta eroavaisuuksia oli havaittavissa. Erot säätimien P-arvoilla olivat säätimellä ML0641 yhdestä prosenttiyksiköstä säätimien ML0636 ja alemman ML0640 viiteentoista prosenttiyksikköön, kun säätöraja P-arvolle oli 0,1-999,9 %. Uudet lasketut arvot olivat suuremmat, kuin säätimien vanhat arvot. Erot integroivan osan parametreilla olivat ML0636 säätimellä sekunti, kun taas säätimillä ML0641 ja alempi ML0640 erot olivat 60 ja 50 sekuntia suuremmat. Derivoivan osan parametreilla arvojen erot olivat ML0636 ja alemmalle ML0640 15 ja 25 sekuntia, molemmilla siis noin kaksikertaa suurempi arvo vanhaan nähden, ML0641 ero oli 50 sekuntia, eli noin neljä kertaa suurempi vanhaan arvoon nähden. Säätöraja integroivalla ja derivoivalla osalle oli 0-9999 sekuntia.

Arvojen samankaltaisuus viittaa onnistuneeseen askelvastekokeeseen ja arvojen laskemiseen. Työssä onnistuneesti suoritettut askelvastekokeet käyttäytyivät pääosin odotetusti teorian mukaan. Lämpötilan odotettiin nousevan asetettuun arvoon ja heiluntaa oli odotettavissa, mutta lämpötilan odotettiin pysyvän asetusarvon tuntumassa. Säätimellä ML0641 lämpötila jatkoi nousua vielä hitaasti, saavutettuaan asetetun arvon ja kun säädin oli asetettu takaisin automaattitilaan manuaalitulasta. Syy jatkuneelle nousulle oli oletettavasti siinä, ettei mikään ollut laskemassa öljyn lämpötilaa linjastossa sen ollessa tyhjänä. Nousu oli niin pientä, noin viisi astetta minuutin aikana, että se ei kuitenkaan häntannut parametrien laskemista. Parametrien määrittäminen askelvastekokeiden kuvaajista onnistui odotetusti. Kuvaajat olivat samankaltaisia, kun teorian pohjalta oli odotettu. Kuvaajiin tangenttien ja apuviivojen lisääminen kävi odotetulla tavalla ja arvot saatiin laskettua manuaalin kaavojen mukaan. Uusien arvojen vaikutus prosessin toimintaan jäi nähtäväksi, kun niiden käyttöä ei ehditty tutkia opinnäytetyön aikana.

Ongelmia työssä aiheuttivat säätimet, jotka eivät toimineet ja kaikkia mittauksia ei päästy suorittamaan. Neljä seitsemästä säätimestä ei reagoanut konfigurointiohjelman komentoihin, kun säätimet oli asetettu manuaalitilaan, ne eivät reagoineet komentoihin muuttamalla lämpötilaa. Mahdollinen syy voi olla, jos säädinten PC-portit olivat vioittuneet. Konfigurointiohjelman käyttöön ei ollut kunnollista ohjetta, eikä opastusta ollut saatavilla, joka vaikeutti ohjelman tehokasta käyttöä. Säätimillä ML0636, ML0637, ML0638 ja ML0639 vanhat parametrien arvot olivat samat. Uusiksi parametrien arvoiksi edellä mainituille

säätimille ehdotettiin säätimelle ML0636 laskettuja arvoja. Säätimen ML0640 P-arvon parametri vastasi alemmalle ML0640 säätimelle laskettua uutta arvoa, integroivan- ja derivoivan-osan vanhat arvot olivat molemmilla säätimillä samat. ML0640 säätimen parametrien säätämistä ilman tarkempaa tietoa ei suositeltu. Jokaiselle säätimelle omien parametrien määrittäminen siis epäonnistui.

Työn tarkkuuteen mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä oli kolme. Linjastosta puuttuu erillinen jäähdytys, jolloin lämpötilan lasku on hidasta jos linjasto on tyhjä ja lämpötila käytäytyy eritavalla kuin linjaston ollessa täynnä liimaa. Käytössä olevat kolmitieventtiilit, jotka saattavat päästää kuumaa öljyä läpi. Vanhat venttiilit ovat voineet kulua käytössä, jonka seurauksesta ne saattavat vuotaa. Toimilaitteiden säädössä saattaa olla myös virhettä, jonka seurauksena venttiilit ovat eri asennossa kuin niiden kuvitellaan olevan. Ongelman syy voi olla venttiileissä tai niitä ohjaavissa toimilaitteissa. Jatkotutkimuksena kattilan öljyn vaihdon yhteydessä tai jos mahdollista linjaston seisokin aikana, voisi tutkia venttiileitä ja toimilaitteita ja varmistua toimivatko ne oletetulla tavalla. Hidas lämpötilan nousu voisi johtua myös huonosta pumpusta, jos se ei jaksaa liikuttaa öljyä putkistossa. Voidaan kuitenkin olettaa, ettei tästä ole kyse pumpun laadun ja kunnon takia.

Kaskadisäätimen ohje (liite 1.) pysyi yksinkertaisena ja selkeänä. Se kattoi työntekijöiden kannalta oleelliset asiat säätimen käyttöön.

LÄHTEET

- Kiilto Oy. Historia. Luettu 16.5.2016. http://www.kiilto.com/fi/tietoa_kiilto/kiilto_oy/historia/
- Kippo, A. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki. Edita Prima Oy.
- Ollila J. 2013. PID-säätimen virityslohkon valinta ja käyttöönotto SIMATIC S7-300 loogikassa. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäyte-työ.
- PMA Prozeß- und Maschinen-Automation GmbH. 2000. KS92/94 User manual. Kassel.
- Ympäristöenergia. Internet-kauppa. Luettu 24.5.2016. <http://www.energia-kauppa.com/moottorikolmentieventtiili-1-ulkokierre-eriste>
- Zhang, P. 2008. Industrial control technology A handbook for engineers and researchers. Norwich. William Andrew Inc.

LIITTEET

Liite 1. Kaskadisäätimen käyttöohje

Säädin ML0640 on sulateliimalla kaskadisäädin. Kaskadisäädin koostuu kahdesta sisäkkäin olevasta säätöpiiristä. Pääsäätimestä (säädin 2 kuvassa) ja apusäätimestä (säädin 1 kuvassa).



Käyttäessä kaskadisäädintä lämpötilan muuttamiseen, tulee muutos antaa pääsäätimelle, joka asettaa apusäätimelle automaattisesti asetusravon. Apusäätimeen ei siis tarvitse, eikä pidä koskea.

Pääsäädin säätää prosessin lämpötilaa ja se reagoi muutoksiin hitaammin kuin apusäädin. Apusäätimen tehtävä on reagoida prosessin nopeisiin muutoksiin.

Pääsäädin ohjaa säätöpiiriä ja lämpötilaa. Apusäädin tasoittaa pieniä lämpötilan heitteilyitä reagoimalla niihin nopeasti.