



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

OLLI NÄNNIMÄINEN

# Vesiprosessin PID-säätimen virittäminen

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN  
TUTKINTO-OHJELMA  
2022

Tekijä(t) Nännimäinen, Olli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2022
	Sivumäärä 22+2	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Vesiprosessin PID-säätimen virittäminen</b>		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Tiivistelmä  <p>Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena PID-säätimen toimintaan ja sen viritystapoihin tutustuminen. Työn kohteena ollut prosessi oli ammattikoulun opetusympäristöksi rakennettu vesiprosessi. Opetusympäristön oli suunnitellut Kivenvuori Oy.</p> <p>Opinnäytetyössä oli tavoitteena löytää sellainen viritystapa, jonka toteuttaminen ei olisi liian vaikeaa ammattikouluopiskelijan näkökulmasta. Työssä vertailtiin kolmea erilaista PID-säätimen viritystapaa. Nämä viritystavat olivat Ziegler-Nicholsin suljetun silmukan menetelmä, muokattu Ziegler-Nicholsin menetelmä ja Lambda menetelmä. Onnistuneen virituksen ansiosta pääsimme näkemään tehdyn asennuksen oikean toiminnan.</p> <p>Viritystapoja vertailtaessa huomattiin, että monet tekijät vaikuttavat siihen, kuinka hyvin viritys onnistuu. Haasteita aiheutti esimerkiksi vesisäiliön pinnanmittauksessa havaitut häiriöt. Yksi ongelmista oli myös liian tehokas vesipumppu, jonka virtausta jouduttiin rajoittamaan.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena oli onnistunut PID-säätimen viritys. Oli myös helppo valita nopein ja helpoiten toteutettavissa oleva viritystapa. Tämä viritystapa oli Ziegler-Nicholsin suljetun silmukan menetelmä.</p>		
Avainsanat PID-säädin, Prosessi, Ammattikoulu		

Author(s) Nännimäinen, Olli	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2022
	Number of pages 22+2	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Tuning the PID controller of the water process</b>		
Degree programme Electric and automation technology		
<p>The purpose of this thesis was to get to know the operation of the PID controller and its tuning methods. The process that was the subject of the work was a water process which was built as a teaching environment for a vocational school. That teaching environment was designed by Kivenvuori Oy.</p> <p>The goal of the thesis was to find a tuning method, which would not be too difficult to implement from the perspective of a vocational school student. There were three different tuning methods of the PID controller that were compared in the thesis. These tuning methods were Ziegler-Nichols closed loop method, modified Ziegler-Nichols tuning method and Lambda tuning method. Thanks to the successful tuning, we will see the proper operation of the installation.</p> <p>When comparing the tuning methods, it was noticed that many factors affect how good the tuning can be done. Challenges were caused by the disturbances that were observed in the tank level measurement. One of the problems was also too powerful water pump which flow had to be restricted.</p> <p>The result of the thesis was a successful tuning of the PID controller. There was also easy to choose the fastest and the easiest tuning method to be implemented. That method was the Ziegler-Nichols closed loop tuning method.</p>		
Keywords PID controller, Process, Vocational school		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 VESIPROSESSI.....	5
2.1 Laitteisto.....	5
2.2 Codesys-ohjelmointiympäristö .....	8
3 PID-SÄÄDIN.....	8
3.1 Yleisesti.....	8
3.2 P-osa (Suhteellinen) .....	8
3.3 I-osa (Integroiva).....	9
3.4 D-osa (Derivoiva).....	9
3.5 CTRL_PID-toimilohko .....	9
4 KÄYTTÖÖNOTON HAVAINNOT .....	10
4.1 Asennoitin .....	10
4.2 Puutarhapumppu .....	11
4.3 Pinnan mittaus.....	11
5 SÄÄTIMEN VIRITYS .....	11
5.1 Suljetun silmukan menetelmä .....	11
5.2 Lambda menetelmä .....	15
5.3 Muokattu Ziegler-Nichols.....	18
5.4 Manuaalinen säätö.....	21
6 YHTEENVETO JA LOPPUTULOS .....	22
6.1 Yhteenveto .....	22
6.2 Lopputulos.....	22
LÄHTEET	
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää helposti toteutettavissa oleva PID-säätimen viritystapa käytössä olleelle vesiprosessille. Tämä prosessi rakennettiin Kivenvuori Oy:n suunnittelemaan harjoitusympäristöön. Harjoitusympäristö on käytössä sähkö- ja automaatiotekniikan perustutkinnon koulutuksessa Ammatti-instituutti Iisakin Hämeenkyrön toimipisteellä. Opetusympäristön pääasiallinen käyttötarkoitus on erilaisten automaatiotekniikkaan liittyvien komponenttien asentaminen ja niiden toimintaan tutustuminen. PID-säädin haluttiin ottaa mukaan vesiprosessiin, jotta opiskelija pääsisi näkemään asentamansa kokonaisuuden toiminnassa ja samalla opittaisiin myös hieman siitä, miten asennetut laitteet otetaan käyttöön ja mitä siinä on otettava huomioon.

## 2 VESIPROSESSI

### 2.1 Laitteisto

Vesiprosessin perustana käytettiin Kivenvuori Oy:n automaation opiskeluun liittyviä harjoitustöitä varten suunnittelemaa harjoitusympäristöä. Perusrakenteeltaan tämä harjoitusympäristö on alumiiniprofiilista kasattu kehikko, johon on kiinnitetty sähkökeskus. Sähkökeskukseen on olemassa myös peruskytkentä, jonka kaikki opiskelijat tekevät aloittaessaan automaation opintonsa. Työn ensimmäinen vaihe olikin sähkökeskuksen kasaaminen, joka on nähtävissä kuvassa 1. Peruskytkentöihin kuuluneet pääkomponentit olivat Phoenix Contact PLCnext -ohjelmoitava logiikka, logiikkaan liitetyt analogiset sekä digitaaliset I/O-moduulit, 24VDC tasajännitelähde sekä Ethernet verkkokytkin. Näiden lisäksi täytyi vesiprosessia varten asentaa vesipumppua

ohjaava kontaktori sekä välireleet kontaktorin ohjaukseen sekä turvakytkimen asentotietoa varten.

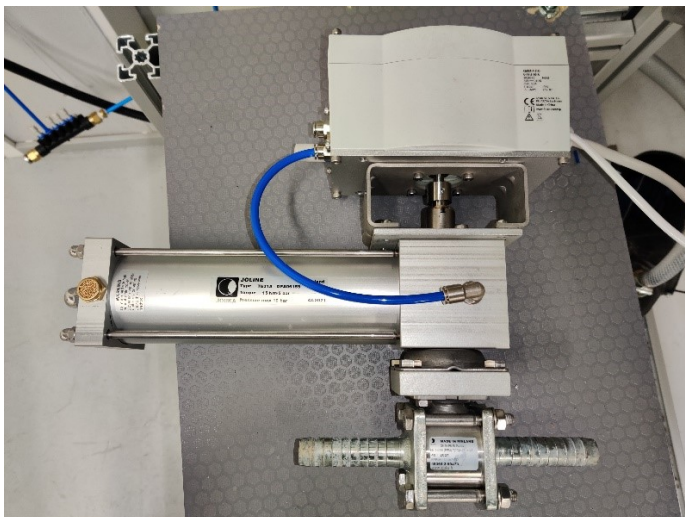


Kuva 1. Vesiprosessin ohjauskeskus.

Työhön asennettiin kaksi samankokoista vesisäiliötä ja puutarhapumppu, jonka käyttötarkoituksena oli pumpata vettä alemmasta säiliöstä ylempään säiliöön. Ylempään säiliöön asennettiin Sick CFP Cubic -tasoanturi säiliön pinnankorkeuden mittausta varten. Anturin mittaama tieto siirrettiin logiikan analogiakortille 4-20mA virtavies-tillä. Kuvassa 2 on nähtävissä yleiskuva vesiprosessista. Ylemmän säiliön pohjan ja alemman vesisäiliön väliin asennettiin vesiletku ja tämän letkun väliin asennettiin kuvassa 3 oleva säätöventtiili, jota ohjattiin paineilmatoimisella Festo CMSX -asennoitimella. Venttiilin avulla saatiin säädettyä alempaan säiliöön palaavan veden virtausta ja tätä kautta myös ylemmän säiliön vedenpintaa.



Kuva 2. Yleiskuva vesiprosessista.



Kuva 3. Työssä käytetty säätöventtiili

## 2.2 Codesys-ohjelmointiympäristö

Harjoitusympäristössä olevan ohjelmoitavan logiikan ohjelmointiin käytettiin Codesys-ohjelmointiympäristöä. Tähän asennettiin myös OSCAT Basic -kirjasto, josta löytyvää PID-säädintä tässä työssä käytettiin. Prosessin ohjaamiseen tehtiin yksinkertainen liitteestä 1 löytyvä ohjelma FBD-kielellä (Function Block Diagram). Pumpun käynnistämistä ja pysäyttämistä sekä PID-säätimen parametrien sujuvaa muuttamista varten tehtiin visuaalinen käyttöliittymä (Liite 2). Säätimen virittämisessä käytettiin hyväksi ohjelmasta löytyvää Trace-toimintoa, jonka avulla saatiin tallennettua historiatietoja siitä mitä prosessissa tapahtuu ja näistä jälkikäteen saatujen tietojen avulla laskettiin säätimelle syötettäviä viritysarvoja.

## 3 PID-SÄÄDIN

### 3.1 Yleisesti

PID-säädin on yleisin teollisuudessa käytetty säädin. Säädin koostuu kolmesta eri osasta, jotka ovat P-osa (Proportional), I-osa (Integral) sekä D-osa (Derivative). Säätimen osista voidaan käyttää erilaisia yhdistelmiä kuten P-, PI- ja PD-säätimiä. Yleisin näistä käytetty säädin on PI-säädin, joka pystyy hallitsemaan tyypillisimpiä teollisuudessa käytössä olevia prosesseja. (Harju & Marttinen, 2000, s. 67.)

### 3.2 P-osa (Suhteellinen)

P-osa toimii säätimen suhteellisena vahvistuksena. Säätimen virhe eli asetusarvon ja mittausarvon poikkeama kerrotaan suhteellisella vahvistuksella ja asetetaan säätimen ulostuloon. P-osa antaa säätimelle oikean suunnan, mutta tarkka asetusarvon seuraminen ei sillä yksinään onnistu, koska se vaatii nolasta poikkeavan virheen, jotta se saa nolasta poikkeavan ulostulon. (Incatools, (n.d).)

### 3.3 I-osa (Integroiva)

I-osa eli säätimen integroiva osa toimii siten, että se integroi ajassa asetusarvon ja mitausarvon erotusta eli erosuuretta. Integroivan osan ulostulo onkin suhteessa erosuureen suuruuteen ja sen kesto aikaan. (Metropolia ammattikorkeakoulu, 2010, PID-säätimen rakenne.) Muutoksen tullessa erosuureeseen, säädin ryhtyy kasvattamaan lähtöään kulmakertoimella, joka riippuu integrointitermin vahvistuksesta. Erosuureen mennessä nollian säätimen ohjaus jää perustasoon. Integrointitermin tarkoituksena onkin hakea ohjaukselle perustaso, jolla erosuureeseen ei jää virhettä ja näin säätöpoikkeamasta päästään eroon. (Harju & Marttinen, 2000, s. 72.)

### 3.4 D-osa (Derivoiva)

D-osa reagoi erosuureen muutosnopeuteen. Muutosnopeuden ollessa nolla on samalla D-osan lähtö myös nolla. D-säätö toimii säätimen ennakoivana osana ja siksi se aiheuttaakin säätimen ulostuloon suuremman muutoksen kuin säätöpoikkeama edellyttäisi. D-säätöä voidaan käyttää P- tai PI-säätimen kanssa. (Harju & Marttinen, 2000, s. 73.)

### 3.5 CTRL\_PID-toimilohko

Tässä työssä PID-säätimenä käytettiin OSCAT-Basic-kirjastosta löytyvää CTRL\_PID-toimilohkoa (Kuva 3). Säätimestä löytyy sellaisia ominaisuuksia, jotka tässä työssä haluttiin jättää pois käytöstä. Yksi näistä ominaisuuksista on SUP eli kohinanvaimennus, jota voidaan käyttää vaimentamaan ohjaimen ulostulon huojuntaa. OFS-parametria muuttamalla saadaan asetettua suurin sallittu säätimen ja asetusarvon poikkeama. Keskeisimpiä säätimen parametreja ovat:

ACT: Ohjattavan järjestelmän mitattu arvo

SET: Säätimen asetusarvo

KP: Säätimen suhteellinen vahvistus

TN: Säätimen integrointiaika

TV: Säätimen derivointiaika

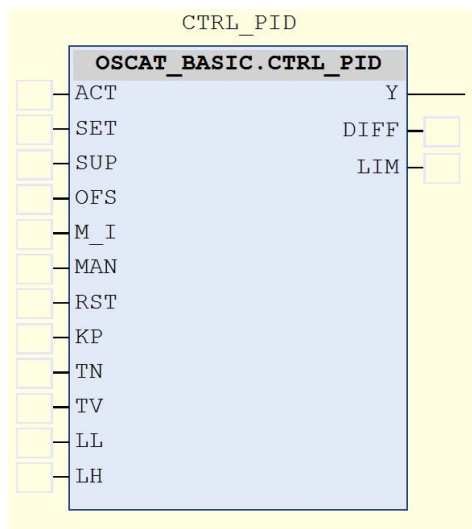
Y: Säätimen ulostulo

Näiden lisäksi LL on säätimen alempi ja LH säätimen ylempi lähtöraja.

Tämän säätimen toiminta perustuu kaavassa 1 esitettyyn yhtälöön.

$$Y = KP * (DIFF + 1/TN * INTEG(DIFF)) + TV * DERIV(DIFF) + OFFSET \quad (1)$$

(OSCAT, 2012, s.382-383.)



Kuva 3. CTRL\_PID-toimilohko

## 4 KÄYTTÖÖNOTON HAVAINNOT

### 4.1 Asennoitin

Prosessia käyttöönotettaessa säätöventtiiliä ohjaavalle asennoittimelle tehtiin aina sen käyttöönotossa suoritettava automaattinen alustaminen A-Init-toimintoa käyttäen. Tämä toiminto asettaa automaattisesti asennoittimelle sen oikeaa toimintaa varten tarvittavat arvot ja asetukset. (Festo, 2020, s.49.) PID-säätimen toimintaa ensimmäistä kertaa testattaessa venttiili ei seurannut logiikalta tulevaa ohjetta tarpeeksi tarkasti. Asennoittimen kytkennässä oli käytyössä takaisinkytkentätieto venttiilin asennosta ja tämän avulla voitiinkin helposti huomata, että venttiili ei liikkunut sille tulevan ohjeen mukaisesti. Jostain syystä asennoittimen alustaminen ei ollut onnistunut kunnolla ja se

suoritettiin tämän vuoksi uudelleen, jonka jälkeen se alkoi toimimaan halutulla tavalla.

#### 4.2 Puutarhapumppu

Yhtenä havaintona tehtiin, että vesiprosessissa käytössä ollut puutarhapumppu oli hieman liian tehokas. Tämä ilmeni siten, että säätöventtiilin virtaus ei riittänyt poistamaan vettä yläsäiliöstä yhtä nopeasti kuin pumppu sitä sinne pumppasi. Tämän havainnon vuoksi asennettiin käsiasäätöinen palloventtiili rajoittamaan pumpulta yläsäiliöön tulevan virtausta. Käsiventtiilin avulla pystyttiin PID-säätimen viritysvaiheessa testaamaan myös sitä, miten säädin reagoi yläsäiliöön tulevan vedenvirtauksessa muuttuessa.

#### 4.3 Pinnan mittaus

Yläsäiliön hieman pieni koko sekä tehokas pumppu aiheuttivat yhdessä sen, että veden pinta väräili huomattavasti vesipumpun ollessa käynnissä. Pinnan väräilemisen aiheutti PID-säätimelle tulevan mittaustiedon edestakaista heiluntaa, joka häiritsi säätimen toimintaa huomattavasti. Säiliössä olleelle anturille asetettiin viiden sekunnin suodatusaika, jotta PID-säätimelle tuleva mittaustieto ei heilahtelisi niin paljoa ja tämän jälkeen säädin alkoi toimimaan halutulla tavalla.

## 5 SÄÄTIMEN VIRITYS

### 5.1 Suljetun silmukan menetelmä

Ensimmäinen PID-säätimen virittämiseen käytetty menetelmä oli Ziegler-Nicholsin suljetun silmukan menetelmä. Suljetulla silmukalla tarkoitetaan sitä, että säätimen ollessa automaattitilassa tieto liikkuu anturilta säätimeen ja säädin ohjaa saadun tiedon

mukaan prosessia, joka taas vaikuttaa anturilta takaisin saatuun tietoon. Tässä menetelmässä käytetään suoritettavan testin aikana vain suhteellista säätöä, joten integroiva sekä derivoiva säätö ovat poissa käytöstä eli niiden arvot asetetaan nolliksi. Näin toimimalla voidaan saatuja tuloksia käyttää hyödyksi PID-säätimen parametrien laskemisessa. (Instrumentation tools, (n.d.).)

Testin alussa myös säätimen suhteellinen vahvistuksen  $K_p$  arvoa kasvattamaan pienin muutoksin ja tarkastellaan samalla prosessin käyttäytymistä. Tavoitteena on löytää pienin mahdollinen arvo, jolla säätimen ulostulo alkaa värähtelemään vakioamplitudilla. Tätä arvoa kutsutaan kriittiseksi vahvistukseksi  $K_u$  ja peräkkäisten värähtelyhuippujen välistä aikaa kutsutaan kriittiseksi jakson ajaksi  $P_u$ . Testin suorituksen aikana on varmistuttava, että prosessin raja-arvoja ei saavuteta pinnanmittauksen eikä säätöventtiilin rajojenkaan osalta. Tällä tavoin voidaan varmistua siitä, että saadaan parhaat mahdolliset testitulokset viritysarvojen laskentaa varten. (Instrumentation tools, (n.d.)) Viritysarvojen laskemiseen käytetyt laskukaavat löytyvät taulukosta 1 ja suoritettu testi on nähtävillä kuvassa 4.

Taulukko 1. Viritysarvojen laskukaavat (Instrumentation tools, (n.d.).)

Säädintyyppi	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5 * K_u$		
PI	$0,45 * K_u$	$P_u / 1,2$	
PID	$0,6 * K_u$	$P_u / 2$	$P_u / 8$

missä

$K_p$  = Suhteellinen vahvistus

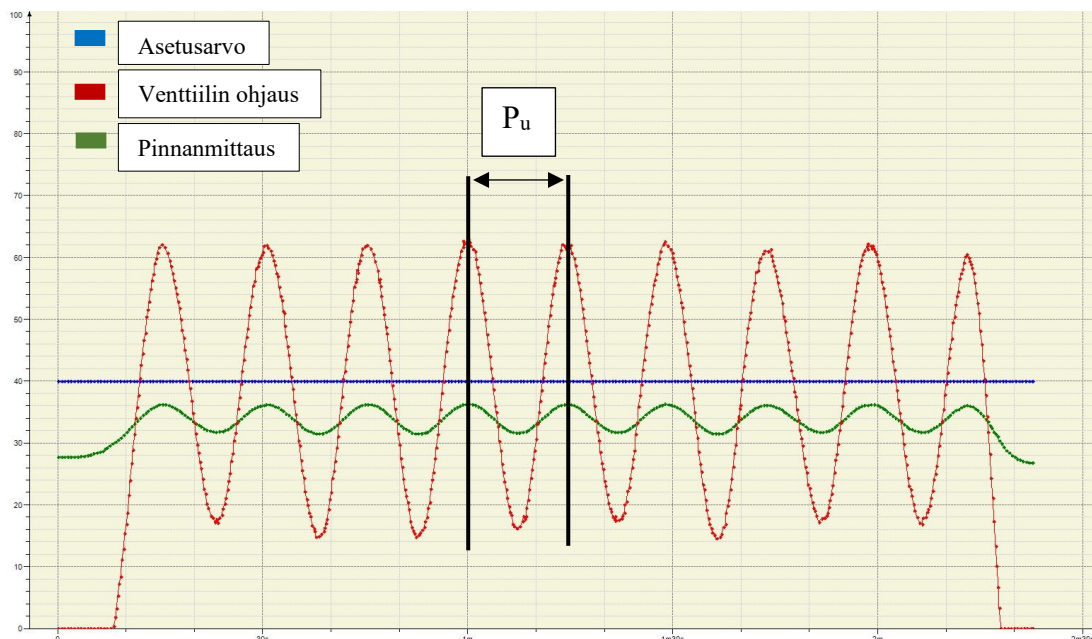
$K_u$  = Kriittinen vahvistus

$T_i$  = Integrointiaika

$T_d$  = Derivointiaika

$P_u$  = Kriittinen jaksonaika

(Instrumentation tools, (n.d.).)



Kuva 4. Prosessin kriittinen värähtely.

Suorittamalla yllä olevassa kuvassa 4 näkyvä testi saatiin selville prosessin kriittinen vahvistus sekä kriittinen jaksonaika. Näitä arvoja käyttämällä saatiin laskettua säätimen syötettävät viritysarvot, jotka näkyvät taulukossa 2.

Kriittinen vahvistus  $K_u = 10$

Kriittinen jaksonaika  $P_u = 14,5$  s

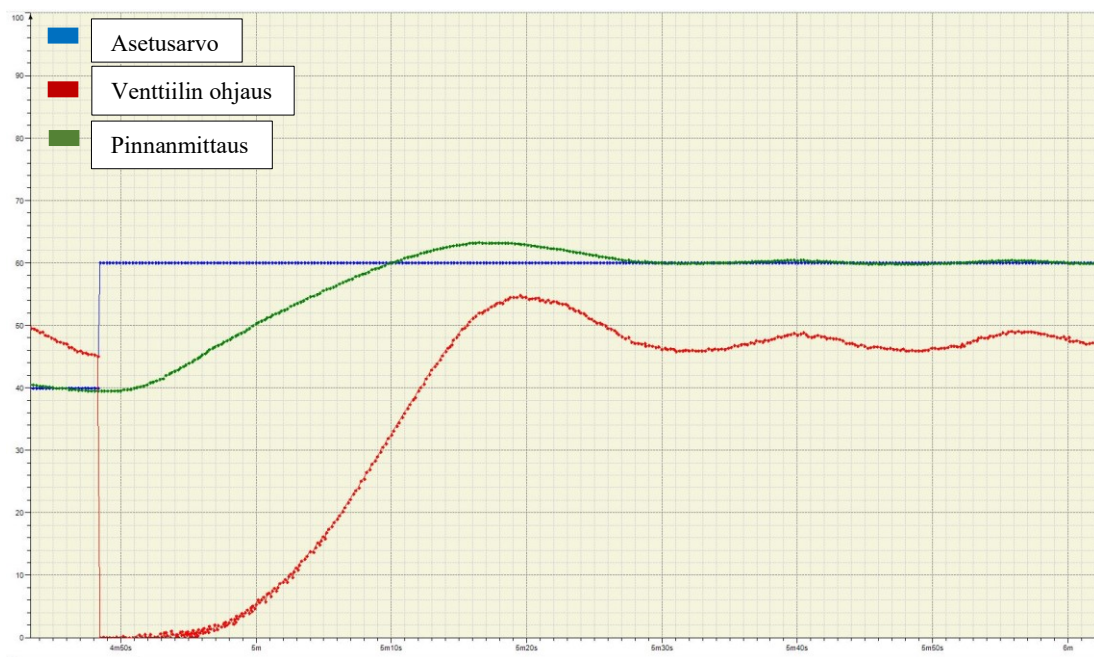
Taulukko 2. Viritysarvot

Säädintyyppi	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5 * 10 = 5$		
PI	$0,45 * 10 = 4,5$	$14,5 / 1,2 = 12,08$	
PID	$0,6 * 10 = 6$	$14,5 / 2 = 7,25$	$14,5 / 8 = 1,81$

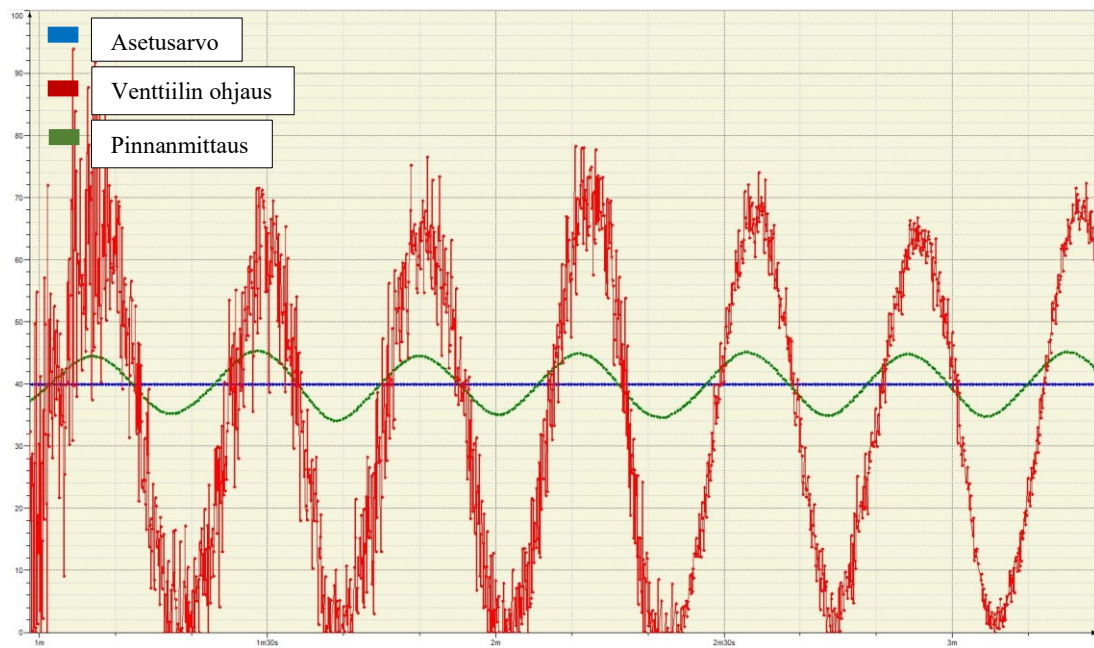
Viritysarvojen laskemisen jälkeen suoritetuissa koeajoissa huomattiin, että PID-säädintyyppi ei sovi käytettäväksi kyseisen vesiprosessin kanssa derivoivan osansa takia. Heti kun D-osa säätimestä otettiin käyttöön vesiprosessi ei toiminut halutulla tavalla, koska säätimen ulostulo alkoi värähtelemään hallitsemattomasti. Tähän syypanä oli vesisäiliön pinnanmittauksen epävakaus, vaikka käytössä olikin jo aiemmin luvussa 4.3 mainittu viiden sekunnin suodatusaika. D-osan säätöarvoa yritettiin myös pienentää laskennallisesti saadusta arvosta, mutta sillä ei ollut toivottua vaikutusta. Säädintä

virittäessä keskityttiinkin jatkossa käyttämään vain PI-säätöä, koska myös P säätö jätettiin pois sen pysyvän virheen vuoksi.

Kuvasta 5 löytyy PI-säätimen koeajo ja kuvasta 6 löytyy PID-säätimen koeajo, jossa myös nähtävissä aiemmin mainittu mittauksen aiheuttama häiriö.



Kuva 5. PI-säätimen koeajo Ziegler-Nichols viritystavalla.



Kuva 6. PID-säätimen koeajo Ziegler-Nichols viritystavalla.

## 5.2 Lambda menetelmä

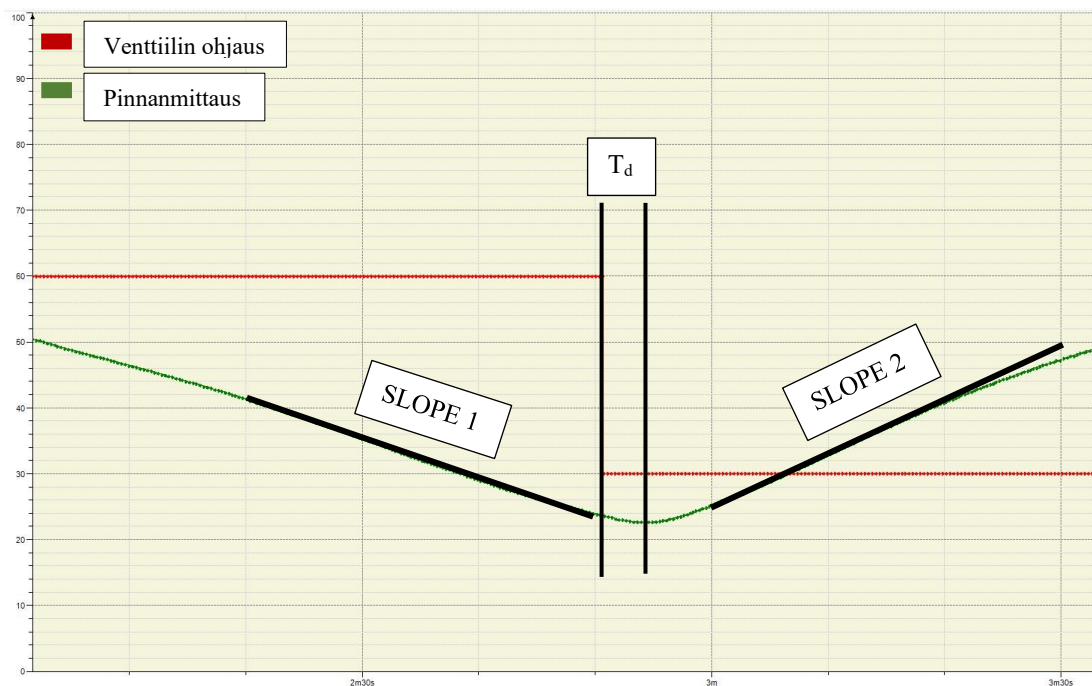
Lambda viritys antaa värähtelemättömän prosessivasteen halutun vasteajan eli Lambdan ( $\lambda$ ) mukaan. Viritys kannattaa aloittaa pohtimalla mikä on säätösilmukan käyttötarkoitus, onko prosessissa muita siihen vaikuttavia silmukoita ja mikä on prosessin kyky vastata säätimen ohjaukseen. Teollisuudessa ei ole esimerkiksi säätösilmukoita, joiden olisi tarkoitus värähdellä. Jotta prosessi pystyisi noudattamaan tuotantotavoitteita ja välttämään vuorovaikutusta muiden silmukoiden kanssa on sen pysyttävä reagoimaan tietyn ajan sisällä. Olisikin tärkeää osata tunnistaa silmukat, joiden halutaan reagoivan joko hitaasti tai nopeasti. (Coughran, 2013.)

Tämä viritystapa on osoittautunut toimivaksi tuhansissa säätöpiireissä. Tällaisia ovat esimerkiksi fyysisten prosessien kuten virtauksen, lämpötilan tai pinnankorkeuden säätöpiirit. Teollisuuden kohteita voivat olla muun muassa jalostamot, massa- ja paperitehtaat sekä kemianteollisuus. (Coughran, 2013.)

Säädintä viritettäessä on valittava sopiva Lambdan arvo sen mukaan, miten prosessin halutaan käyttäytyvän. Taulukossa 2 on nähtävissä Lambdan arvon vaikutus säätimen toimintaan. Ennen kuin tämä valinta voidaan tehdä pitää suorittaa kuvan 7 kaltainen koeajo jolla saadaan selville prosessin vahvistus  $K$  ja prosessin kuollut aika  $T_d$ . (Coughran, 2013.)

Taulukko 2. Kolme yleistä haastetta säätimen virityksessä (Coughran, 2013.)

Prosessin haaste	Vaatus	Lambda ( $\lambda$ ) viritysratkaisu
Tarvitaan pieni prosessimuuttujan vaihtelu	Säätösilmukan nopea vaste prosessissa havaittuihin muutoksiin	$\lambda > 3 * T_d$ (Pienin vakaa Lambda)
Tarvitaan säätimen lähdön minimivaihtelu	Säätösilmukan hidas vaste prosessissa havaittuihin muutoksiin	$\lambda$ mahdollisimman suuri



Kuva 7. Vastekoe Lambda viritystapa.

Slope on kulmakerroin ja tämä saadaan laskettua jakamalla prosessimuuttujan muutos siihen kuluneella ajalla (International society of automation, 2016). Viritysarvoja laskettaessa PI-säätimen arvot laskettiin useammalla eri Lambdan arvoilla ja saadut tulokset ovat nähtävillä taulukossa 3. Viritysarvojen laskemiseen käytettiin seuraavia kaavoja.

$$K = (\text{Slope 2} - \text{Slope 1}) / \Delta \text{ Out} \quad (2)$$

$$K_p = \frac{2\lambda + T_d}{K_p(\lambda + T_d)^2} \quad (3)$$

$$T_i = 2\lambda + T_d \quad (4)$$

missä

$K$  = Prosessin vahvistus

Slope = Kulmakerroin

$\Delta \text{ Out}$  = Säätimen ulostulon muutos

$T_d$  = Prosessin kuollut aika

$K_p$  = Suhteellinen vahvistus

$T_i =$  Integrointiaika

(Coughran, 2013.)

Ennen kuin viritysarvot voitiin laskea, oli suoritettava kulmakertoimien laskeminen, jotta näiden avulla taas voitiin laskea prosessin vahvistus.

$$\text{Slope 1} = (50,0 - 25,1) / 30 \text{ s} = 0,83$$

$$\text{Slope 2} = (41,5 - 24,0) / 30 \text{ s} = 0,583$$

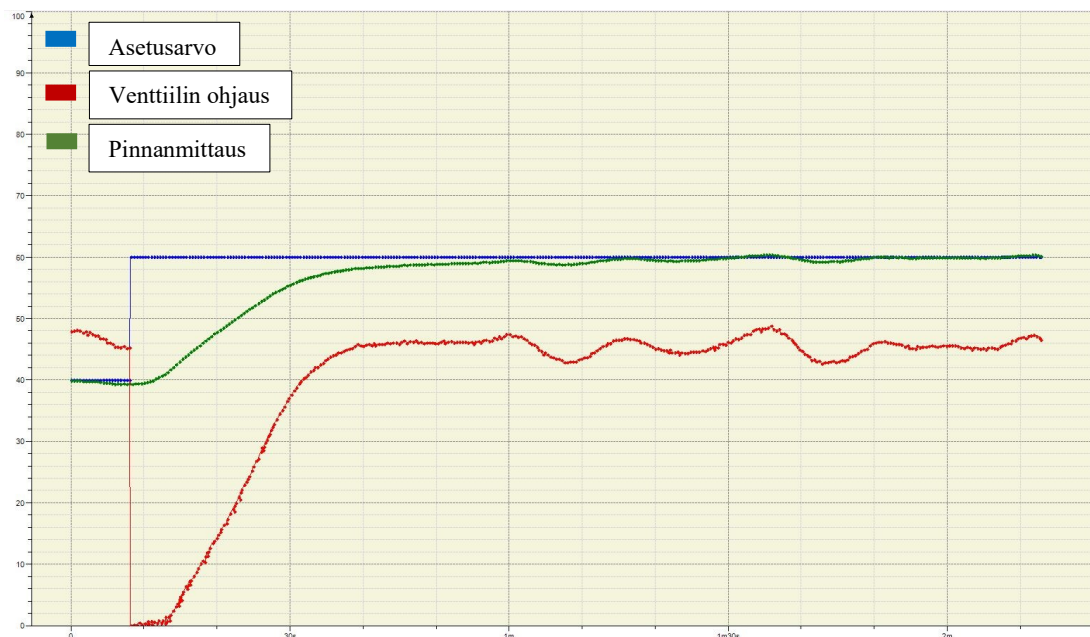
$$T_d = 4 \text{ s}$$

$$K = (0,83 - 0,583) / 30 = 0,0082$$

Taulukko 3. Säätimeen parametrit eri Lambdan arvoilla.

Lambda	$K_p$	$T_i$
10	14,89	24
20	9,29	44
30	6,73	64
40	5,28	84
50	4,34	104

Säätimeen syötettiin eri Lambdan arvoilla saatuja viritysarvoja ja suoritettiin koeajoja. Koeajoissa tehtiin havainto, että Lambdan arvolla 30 saatiin kuvan 8 mukainen säätö, joka oli riittävän nopea reagoimaan saavuttaen samalla myös vakaan ohjauksen.



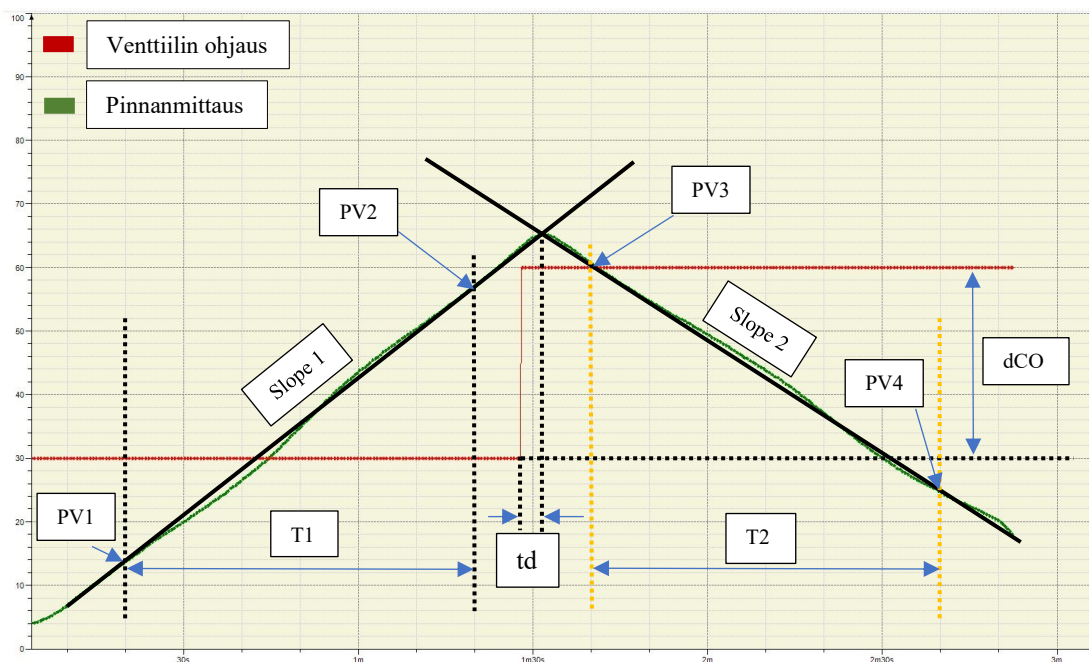
Kuva 8. PI-säätimen koeajo Lambda viritystavalla.

### 5.3 Muokattu Ziegler-Nichols

Ziegler-Nicholsin viritysmenetelmät on julkaistu vuonna 1942 tavoitteenaan nopeasti reagoiva säätö säätöpiirin vakauden kustannuksella. Hieman vityssääntöjä muokkaamalla voidaan saavuttaa vakaa säätöpiiri. Tämä vähentää hieman säätöpiirin reagoitinopeutta häiriöihin tai asetusarvon muutoksiin, mutta useimmiten säätöpiirin vakaus on kuitenkin tärkeämpää kuin sen nopeus. Kyseinen vitystapa on kehitetty käytettäväksi integroivien prosessien ja yksi sellainen prosessi tässä työssä olevan vesisäiliön pinnansäätö. Pinnansäätö voikin stabiloitua vain yhdellä ohjaimen ulostulolla ja jos ulostulon arvoa muutetaan alkaa vesisäiliön pinta nousemaan tai laskemaan tasaisesti, kunnes säätimeltä tulevaan arvoa muutetaan. (Dataforth, (n.d.).)

Vityksessä tarvittavien testien suorittaminen tapahtui seuraavalla tavalla. Säädin asetettiin manuaaliseen ohjaustilaan ja odotettiin, kunnes pinnanmittauksen arvo alkoi muuttumaan tasaisesti siten, että oli mahdollista piirtää suora viiva piirtyneen käyrän suuntaisesti. Sen jälkeen tehtiin askelmainen muutos säätimen ulostuloon siten, että säiliön pinta alkoi muuttumaan eri suuntaan ja odotettiin virtauksen tasoittumista. Testi oli valmis, kun käyrä oli taas sellainen, että voitiin piirtää suora viiva sen suuntaisesti. Täten saatiin kuvan 9 mukainen käyrä, johon voitiin piirtää kuvassa näkyvät suorat viivat Slope 1 ja Slope 2. Tämän jälkeen mitataan aika säätimen ulostulon

muutosajankohdan ja viivojen leikkauspisteiden väliltä. Tätä aikaa kutsutaan kuolleeksi ajaksi  $T_d$ , joka on myös ensimmäinen viritykseen tarvittava arvo. Valitaan viivalta Slope 1 kaksi kaukana toisistaan olevaan pisteitä PV1 ja PV2 sekä viivalta Slope 2 kaksi kaukana toisistaan olevaan pisteitä PV3 ja PV4. Tarkastetaan myös valittujen pisteiden väliset ajat T1 ja T2. (Dataforth, (n.d.)) Kaikki selvittävät arvot näkyvät kuvassa 9.



Kuva 9. Muokattu Ziegler-Nichols koeajo.

Viritysarvot laskettiin seuraavia kaavoja käyttäen.

$$DS = (PV4 - PV3) / T2 - (PV2 - PV1) / T1 \quad (5)$$

$$r_i = |DS| / dCO \quad (6)$$

$$K_c = 0,45 / (r_i * t_d) \quad (7)$$

$$T_i = 6,67 * t_d \quad (8)$$

missä

DS = Piirrettyjen viivojen välinen ero

PV = Prosessimuuttuja

T = aika

dCO = Ohjauksen muutos

$r_i$  = Prosessin integrointinopeus

$K_c$  = Suhteellinen vahvistus

$t_d$  = Prosessin kuollut aika

(Dataforth, (n.d.))

Viritysarvojen laskenta aloitettiin laskemalla viivojen Slope 1 ja Slope 2 erotus. Tämän jälkeen voitiin laskea prosessin integrointinopeus ja sitten päästiinkin viritysarvojen laskemiseen. Kuvasta 9 voitiin myös määrittellä prosessin kuolleen ajan.

$$DS = (24,8 - 60,8) / 60 \text{ s} - (57,0 - 13,7) / 60 \text{ s} = -1,32$$

$$r_i = |-1,32| / 30 = 0,044$$

$$t_d = 4 \text{ s}$$

$$K_c = 0,45 / (0,044 * 4) = 2,56$$

$$T_i = 6,67 * 4 = 26,68$$

Lasketut viritysarvot asetettiin säätimeen ja suoritettiin koeajo, joka on nähtävissä kuvassa 10.



Kuva 10. PI-säätimen koeajo muokatulla Ziegler-Nichols viritysmenetelmällä.

#### 5.4 Manuaalinen säätö

Tässä työssä ei varsinaisesti viritetty PID-säädintä pelkästään manuaalisin keinoin, mutta perusymmärrys säätimen rakenteesta auttaa sopivien viritysarvojen hakemisessa manuaalisesti. Manuaalista säätöä käytettiin säätimen hienosäädössä, kun arvot on ensin haettu jotain olemassa olevaa viritysmenetelmää käyttäen. Manuaalista säätöä voidaan tehdä Taulukosta 4 löytyviä tietoja hyödyntäen.

Taulukko 4. Eri säätöarvojen kasvattamisen vaikutus prosessiin (Cornell university, 2012).

Kasvatettu säätöarvo	Nousuaika	Ylitys	Asettumisaika	Pysyvä virhe
P	Pienenee	Kasvaa	Vähäinen vaikutus	Pienenee
I	Pienenee	Kasvaa	Kasvaa	Vähenee paljon
D	Vähäinen vaikutus	Pienenee	Pienenee	Vähäinen vaikutus

## 6 YHTEENVETO JA LOPPUTULOS

### 6.1 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli ammattikoulun opetuskäyttöön suunnitellun vesiprosessin PID-säätimen viritysmenetelmiin perehtyminen ja niiden vertailu. Työssä huomasin, että ennen kuin säätimen viritysarvoja voidaan lähteä selvittämään erilaisia menetelmiä käyttäen, on prosessin kaikkien komponenttien oikeanlainen toiminta tarkastettava. Tämän lisäksi komponenttien pitää myös olla sellaisia, että ne toimivat yhtenäisenä kokonaisuutena halutulla tavalla.

Viritysmenetelmiä tutkittaessa huomasin, että niitä löytyy paljon erilaisia, mutta kaikki eivät välttämättä olleet yhteensopivia käytössä olleen prosessin kanssa. Työssä vertailtiin kolmea eri viritysmenetelmää, jotka olivat Ziegler-Nicholsin suljetun silmukan menetelmä, Lambda menetelmä sekä muokattu Ziegler-Nicholsin menetelmä. Näistä selkeästi helpoiten suoritettava menetelmä oli ensin mainittu suljetun silmukan menetelmä. Tässä menetelmässä suoritettavat testit olivat helppoja suorittaa ja niiden pohjalta tehdyt laskutoimituksetkin olivat helppoja. Kaikilla käytössä olleilla menetelmillä saatiin kuitenkin aikaan toimiva säätöpiiri. Eri viritysmenetelmillä saatujen säätöjen toiminnassa oli pieniä eroavaisuuksia, mutta niitä oli helppo hienosäätää manuaalisesti.

### 6.2 Lopputulos

Lopputuloksena työssä saatiin toimiva säätöpiiri ja löydettiin helposti ammattikoulup opiskelijan toteutettavissa oleva viritysmenetelmä. Oma suositukseni on käyttää kyseisen vesiprosessin PID-säätimen viritämiseen Ziegler-Nicholsin suljetun silmukan menetelmää.



