



RAPORTTI

**Eemil Tamminen
Markus Virtanen
Pasi Vähämartti**

**Säätötekniikan harjoitustyö
Joulukuu 2007**

Automaatiotekniikka



**JYVÄSKYLÄN
AMMATTIKORKEAKOULU**

Lähtöarvot:

Säiliö T1: A = 500 x 600 mm, h = 500 mm

Säiliö T2: Ø = 240 mm, h = 1000 mm

Säiliö T3: Ø = 290 mm, h = 1000 mm

Putkien sisähalkaisija: Ø = 29,7 mm

Pumppu P-1, CR 5-2 Grundfors

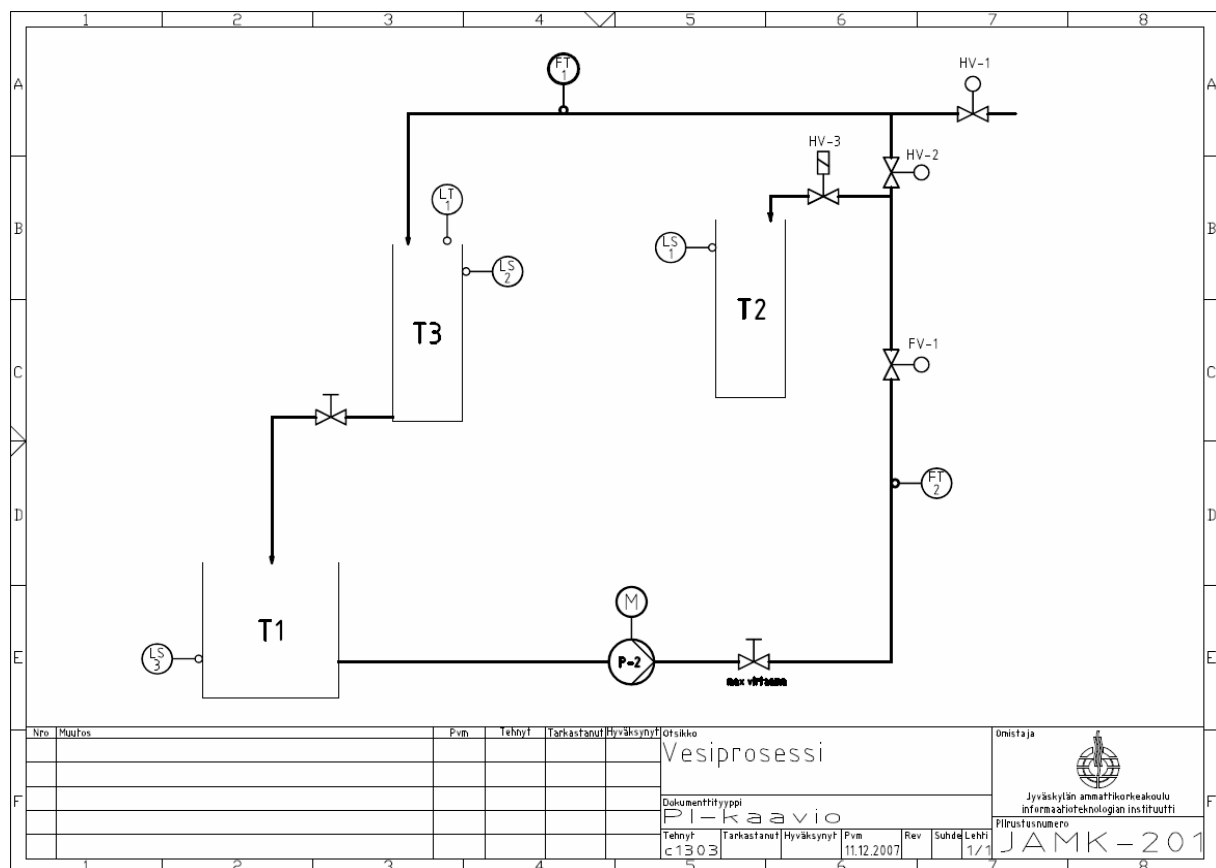
Pumppu P-2, CR 3-2 Grundfors

Säätöventtiili LV-1, Neles RAA025AS

Tehtävän kuvaus:

Tarkoituksena oli tutustua vesiprosessin pinnankorkeuden ja virtausnopeuden säätöjärjestelmiin, simuloida edellisten säätöjen toiminta Matlabilla, virittää systeemi stabiiliksi sekä verrata askelvastekokeiden tuloksia keskenään.

Vettä pumpattiin säiliöstä T1 säiliöön T3 kuvion 1 mukaisesti. Pinnankorkeutta mitattiin LT-1 lähettimellä, säätö tapahtui pumpun P-2 kierrosnopeutta muuttaen. Virtausnopeus mitattiin FT-1 virtausmittauksella, säätö tapahtui pumpun P-2 kierrosnopeutta muuttaen.



Kuvio 1 - PI-kaavio

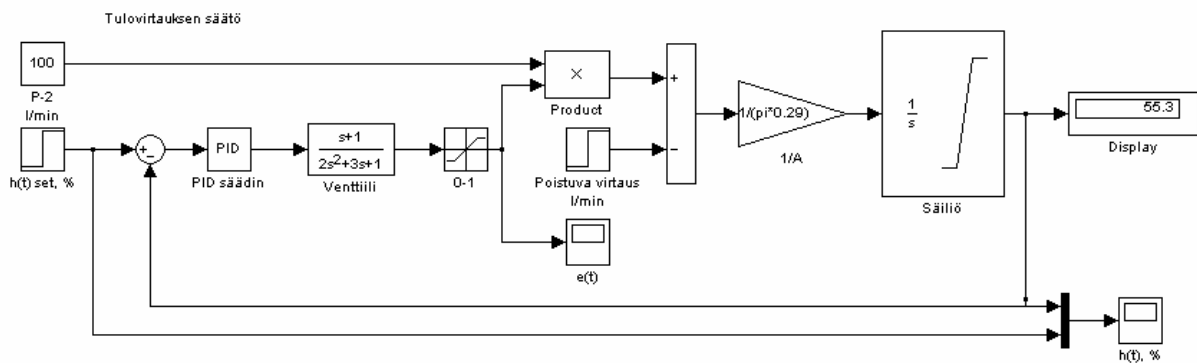
Tehtävä 1:

Mitkä ovat pinnankorkeuden säätimen nykyiset säätöparametrit:

$$P = 0.75 \quad I = 1/15 \quad D = 0$$

Pinnankorkeuden säädön simulointimalli:

Kuviossa 2, siirtofunktio (Venttiili) kuvaa nimestään huolimatta koko prosessia, johon kuuluvat putkisto, pumppu, säätöventtiili ja vesisäiliö. Kyseisellä mallilla saavutimme lähes 100% vastaavuuden askelvasteessa. Hyvistä tuloksista huolimatta mallissa on yksi vakava ongelma. Se on nimittäin se, että pinnankorkeutta kuvaava kuvaaja näyttää oikealta, mutta lopputulos on syntynyt PID-säätimen ja siirtofunktion yhteistyöllä, kun askelvaste olisi pitänyt saada oikeannäköiseksi pelkän siirtofunktion avulla. Tästä syystä mikäli todellisen ja mallinnetun säätimen arvoja verrataan keskenään, huomataan että ne ovat aivan eri planeetalta. Ongelmana oli se, että sopivan siirtofunktion keksiminen on hyvin hankalaa ilman että koko systeemin mallintaisi osa kerrallaan alusta loppuun.



Kuvio 2 - Säiliön pinnankorkeuden säädön simulointimalli

Mikäli askelvastekokeen tekisi ilman säädintä, antaisi pelkkä siirtofunktio hyvin jyrkän vasteen. Esitellyyn malliin pitäisi siis lisätä vielä toinen säädin, johon laitettaisiin halutut todelliset säätimen arvot. Tästä tosin seuraa vielä vakavampia ongelmia, sillä malli ei toimi enää järkevästi kahdella perättäisellä säätimellä. Yhtenä syynä tähän umpikujaan saattoi olla se, että olemme valinneet pinnansäädön asetusarvoksi säiliön pinnankorkeuden (%), emmekä pumpun kierrosnopeutta (%) jolla todellisuudessa aikaansaimme pinnankorkeuden vaihtelun poistoventtiilin ollessa kokoajan vakioasennossa.

Laske uudet säätöparametrit askelvastekokeen perusteella

Askelvastekoe tehtiin siten, että veden pinnankorkeus asetettiin ja annettiin vakaantua 350mm korkeudelle. Tämän jälkeen säädölle annettiin uudeksi arvoksi 550mm ja annettiin vakaantua. Pumpun ohjauksen arvo luettiin aina pinnan vakaantumisen jälkeen (350mm => 42 %, 550mm => 48 %). Askelvastekokeen ensimmäinen vaihe tehtiin siis pumpun säätimen alkuperäisten säätinparametrien avustuksella, jolloin saimme selville pumpun ohjauksen suuruuden jolla haluttu pinnankorkeus saatiin aikaiseksi. Tämän jälkeen askelvastekoe tehtiin manuaalisesti muuttamalla pumpun kierrosnopeuden ohjausta arvosta 42 % arvoon 48 %. Pinnankorkeuden

muutosta seurasimme ja tallensimme InTouch -ohjelmalla. Kuvion 3 punainen käyrä esittää askelvastekokeen mittaustulosta.

Edellisen askelvastekokeen perusteella saimme lasketuksi jonkinlaiset säätöparametrit. Lasketut arvot kuitenkin poikkeavat vahvistuksen osalta huomattavasti todellisen prosessin arvoihin verrattuna. Tämä johtunee ongelmista tulkitä kuvaajaa oikein, jonka seurauksena saimme hieman virheellisiä arvoja (skaalaus-kerroin, kulmakerroin, viive, asetusarvon viive kulmakertoimella) lopullisten säätöparametrien laskemiseksi.

Seuraavat laskelmat perustuvat kolmeen eri säädin tyyppiin, joille kullekin on laskettu omat arvonsa. PI tai PID olisi todennäköisimmät vaihtoehdot joita todellisessa prosessissa käytettäisiin. Vesiprosessissa ainoastaan PI-arvot olivat mahdollista asettaa.

$L = 6s$ (viive), $T = 119s$ (asettumis aika kulmakertoimella laskettuna)

$$P = \frac{T}{L} * skaalaus = \frac{119}{6} * \frac{7}{20} = 6.9$$

$$P = 0.9 * 6.9 = 6.25$$

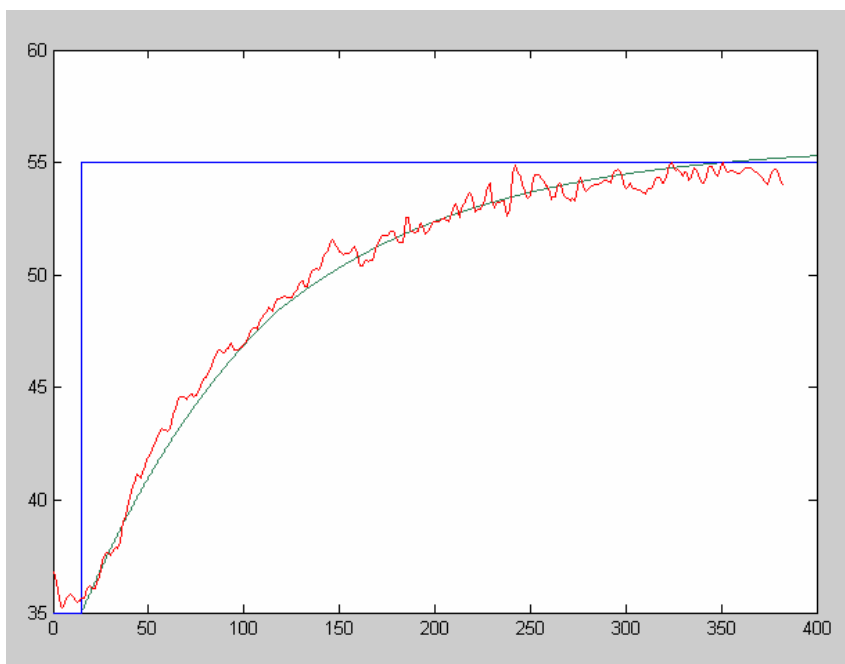
$$I = 6 : 0.3 = 20 \quad (\text{Matlab} \Rightarrow 1/20)$$

$$P = 1.2 * 6.9 = 8.33$$

$$I = 2 * 6 = 12 \quad (\text{Matlab} \Rightarrow 1/12)$$

$$D = 0.5 * 6 = 3$$

Säädön käyttäytymisen simulointi Matlabissa



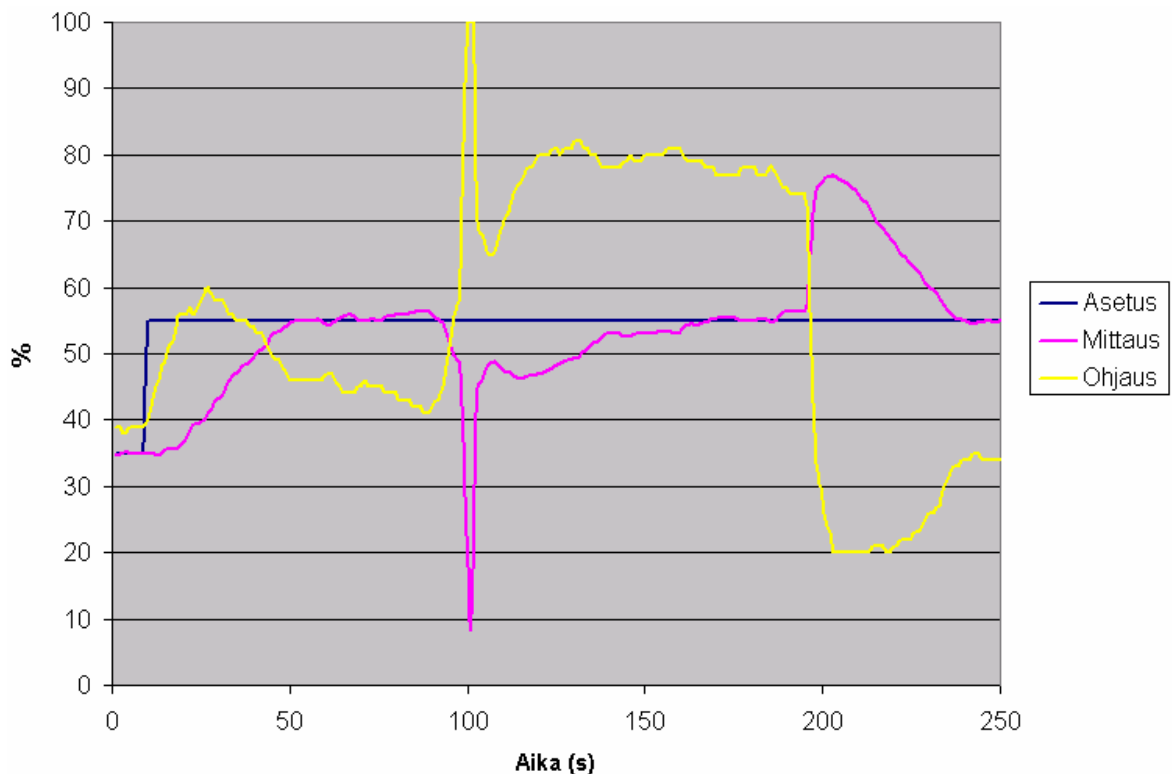
Kuvio 3 – Simuloitu ja mitattu pinnankorkeuden säätö (askelvaste)

Kuvion 3 vihreä käyrä esittää simuloitua askelvastetta, joka vastaa todella hyvin todellisen prosessi askelvastetta (punainen). Simulaatiossa käytetyt säätimen arvot olivat $P=0.1$, $I=1/10000$, $D=10$. Kuten jo raportin alussa totesimmekin, näitä simulaation säätimen parametreja ei voida verrata todelliseen prosessiin, koska siirtofunktio ei sellaisenaan toimi oikein. Ja jos näitä arvoja kuitenkin verrataan todellisessa vesiprosessissa käytettyihin arvoihin, voi vain todeta etteivät ne ole lähelläkään toisiaan.

Valitse mielestäsi sopivat säätöparametrit ja kokeile niitä käytännössä. Säädä säiliön pinnankorkeus arvoon 550mm, aiheuta häiriöitä pinnankorkeuteen tyhjennysventtiilillä H.

Valitsimme laskelmien perusteella säätimen arvoiksi $P=6.25$ ja $I=20$. Ensimmäisellä testikerralla säätö toimi todella hyvin (jopa Teppo ihmetteli tätä), mutta sitten kun tallensimme InTouch:lla trendejä, ei systeemi enää pelannutkaan vaan värähteli ikävästi. Päätimme vaihtaa säätimen arvoiksi $P=2.5$ ja $I=20$. Näillä arvoilla saimme kuvion 4 mukaisen pinnankorkeuden säädön. Voimme todeta että uusilla arvoilla säätö toimii kohtuullisen nopeasti tai toimii ainakin nopeammin kuin alkuperäisillä arvoilla.

Kuviossa 4 sininen kuvaa pinnankorkeuden asetusarvoa, violetti mittausta ja keltainen pumpun ohjausta. Ajanhetkellä 100s avattiin poistoventtiiliä reilusti, jolloin ohjauksessa näkyy selvä piikki. Pinta saavutti asetusarvon noin 60s kuluttua muutoksesta. Ajanhetkellä 200s pienennettiin poistoventtiilin avaumaa, jolloin pinta lähti laskemaan omalla painollaan ja pumppu lopetti veden pumppaamisen noin 10s ajaksi kokonaan (vaikka ohjausta olikin 20% verran). Pinta asettui ilman värähtelyjä noin 40 sekunnissa.



Kuvio 4 – Säätimen käyttäytyminen häiriötilanteessa

Kuinka hyvin simuloitu ja mitattu pinnankorkeuden säätö vastaavat toisiaan.

Kohtuullisen hyvin, tulee kuitenkin muistaa että simulointimalli ei vastaa kunnolla todellisuutta, jonka takia myös viritysparametrit ovat täysin erilaiset todellisen ja virtuaalisen systeemin välillä. Olisi ollut mukavaa saada kunnan malli aikaiseksi jolloin olisimme nähneet miten kunnollinen malli simuloi todellista systeemiä. Niin tai näin, saimme pahan pyörittellä Matlabia kunnolla että sai aikaiseksi edes jonkinlaisen mallin.

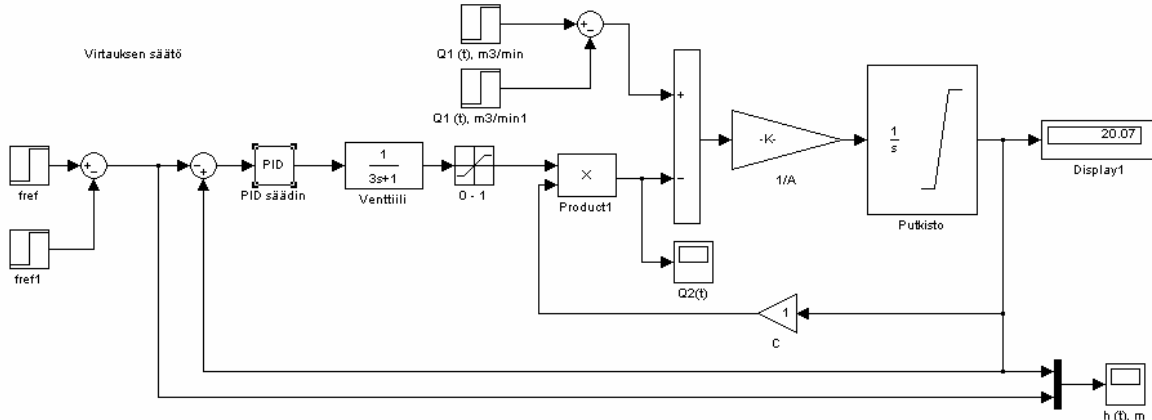
Tehtävä 2:

Mitkä ovat virtauksen säätimen nykyiset säätöparametrit:

$$P = 0.75 \quad I = 1/10 \quad D = 0$$

Virtauksen säädön simulointimalli:

Kuviossa 5, siirtofunktio (Venttiili) kuvaa nimestään huolimatta koko prosessia, johon kuuluvat putkisto, pumppu ja käsiventtiili. Kyseisellä mallilla saavutimme käytännössä 100% vastaavuuden askelvasteessa. Tämän mallin osalta onnistuimme pinnamittausta paremmin, sillä PID-säätimeen voi laittaa lähes todellisessa prosessissa käytettyjä säätimen arvoja. Tämä tarkoittaa sitä, että aivan identtisillä todellisen prosessin parametreilla systeemi värähtelee hieman. Arvoja hieman muuttelemalla systeemi stabiloituu ja toimii kuin unelma.



Kuvio 5 - Virtauksen säädön simulointimalli

Simulointimallista tuli hieman monimutkaisen näköinen ensin kasvavan ja sitten laskevan virtausnopeuden takia. Jostain syystä kuvaajaan syntyi piikkejä virtausnopeuden muutoksen hetkellä. Piikit saimme kuitenkin kompensoitua pois muuttamalla pumpun virtauksen suuruutta hivenen samalla ajanhetkellä (tästä syystä kaksi Q1 -lohkoa). Fref-lohkoilla on toteutettu virtausnopeuden nostaminen ja laskeminen eri ajanhetkillä. Muuten mallissa ei ole käytetty mitään erikoisempaa tekniikkaa tai kikkailuja oikeiden tulosten saamiseksi.

Laske uudet säätöparametrit askelvastekokeen perusteella

Askelvastekoe tehtiin siten, että veden virtausnopeus asetettiin ja annettiin vakaantua 30 l/min. Tämän jälkeen säädölle annettiin uudeksi arvoksi 45 l/min ja annettiin vakaantua. Pumpun ohjauksen arvo luettiin aina virtauksen vakaantumisen jälkeen (30 l/min => 62%, 45 l/min 70%). Askelvastekoe tehtiin siis prosessin olemassa olevien säädinparametrien avustuksella, jotta saimme selvitettyä pumpun ohjausarvon jolla haluttu virtausnopeus saatiin aikaiseksi. Tämän jälkeen askelvastekoe tehtiin manuaalisesti muuttamalla pumpun kierrosnopeutta arvosta 62% arvoon 70%. Virtausnopeuden muutosta seurassimme ja tallensimme InTouch -ohjelmalla. Kuvion 3 punainen käyrä esittää askelvastekokeen mittaustulosta.

Edellisen askelvastekokeen perusteella saimme lasketuksi jonkinlaiset säätöparametrit. Lasketut arvot eivät kuitenkaan ole kovin järjellisiä lähinnä suuren vahvistuksen vuoksi. Suuri vahvistus johtuu arvioidusta 0.1s viiveestä (pumppu kuitenkin kiihtyy suhteellisen nopeasti pyydettyyn nopeuteen, toisaalta putkiston aiheuttamaa viivettä tässä ei ole otettu huomioon joka voisi olla ehkä sekunnin luokkaa). Tosin kuten kuvioista 6 huomaa, virtausnopeus muuttuu käytännössä saman tien kun ohjausta on muutettu.

Koska käytännössä viivettä emme juuri huomanneet, päätimme antaa viiveelle arvon 0.1 sekuntia. Jouduimme menettelemään näin, sillä muutoin säätimen parametreja ei olisi pystynyt laskemaan. Tämä johtuu siitä, että asettumisaika jaetaan viiveellä, josta taas seuraisi nolllalla jakaminen joka ei ole matemaattisesti mahdollista. Mitä pienempi viive, sitä suurempi vahvistus siitä seuraa.

Jälkiviisaana voisi todeta, että ehkä noin sekunnin viive olisi ollut järkevämpi valinta, jolloin lasketuista arvoista olisi tullut todenmukaisempia. Todennäköisesti säädinparametrit olisi voitu laskea myös jollakin toisella tavalla, jolloin meidän kohtaamilta ongelmilta olisi voitu välttyä. Emme kuitenkaan löytäneet opettajan materiaaleista tai Internetistä toisenlaista laskutapaa joka olisi soveltunut paremmin tarpeisiimme. Esitämme arvot sellaisina kuten ne laskimme opettajan materiaalin ohjeiden mukaisesti. Hakasulkuihin olemme laskeneet lisäksi toiset arvot, jossa viiveenä on käytetty yhtä sekuntia. Kuten voimme huomata, arvot ovat nyt vähän järkevämpiä.

Seuraavat laskelmat perustuvat kolmeen eri säädin tyyppiin, joille kullekin on laskettu omat arvonsa. PI tai PID olisi todennäköisimmät vaihtoehdot joita todellisessa prosessissa käytettäisiin. Vesiprosessissa ainoastaan PI-arvot olivat mahdollista asettaa.

$L = 0.1s$ [1s] (viive), $T = 1.4s$ (asettumisaika kulmakertoimella laskettuna)

$$P = \frac{T}{L} * skaalaus = \frac{1.4}{0.1} * \frac{8}{15} = 7.46 \text{ [0.75]}$$

$$P = 0.9 * 7.46 = 6.72 \text{ [0.67]}$$

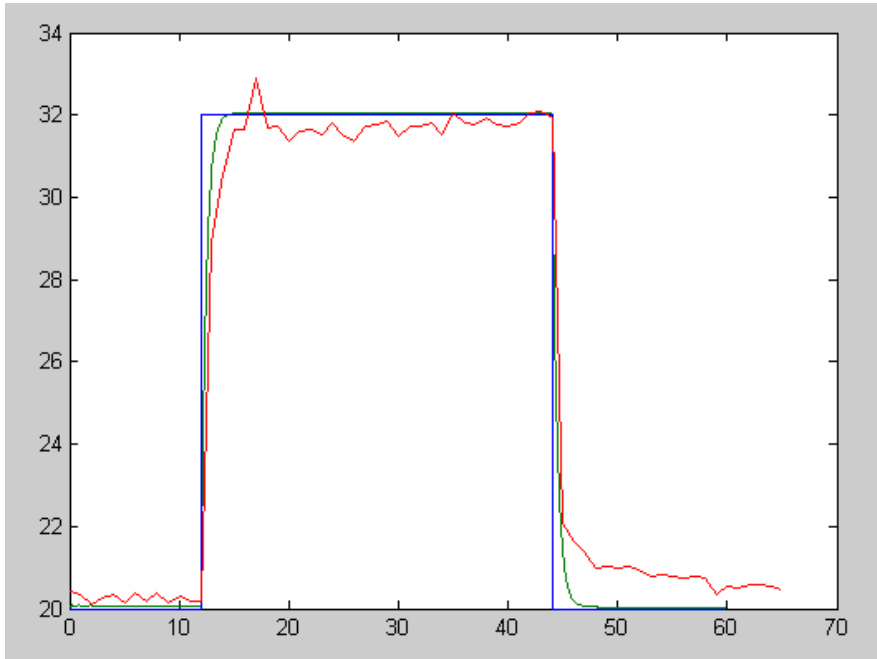
$$I = 0.1 : 0.3 = 0.33 \text{ [3.3]} \quad (\text{Matlab} \Rightarrow 3 \text{ [}\Rightarrow 1/3.3\text{)})$$

$$P = 1.2 * 7.46 = 8.96 \text{ [0.9]}$$

$$I = 2 * 0.1 = 0.2 \text{ [2]} \quad (\text{Matlab} \Rightarrow 5 \text{ [}\Rightarrow 1/2\text{)})$$

$$D = 0.5 * 0.1 = 0.05 \text{ [0.5]}$$

Säädön käyttäytymisen simulointi Matlabissa



Kuvio 6 – Simuloitu ja mitattu virtauksen säätö (askelvastekoe)

Kuvion 6 vihreän käyrä esittää simuloitua askelvastetta, joka vastaa todella hyvin todellisen prosessi askelvastetta (punainen). Simulaatiossa käytetyt säätimen arvot olivat $P=2$, $I=0.01$, $D=0.9$. Verrattaessa prosessin pumpun säätimen arvoja, simulaatiomallin säätimen arvoja ja laskettuja säätimen arvoja, voimme todeta että alamme olla samalla hehtaarilla, vaikka prosentuaaliset erot ovatkin suuria.

Valitse mielestäsi sopivat säätöparametrit ja kokeile niitä käytännössä. Säädä virtaus arvoon 30 l/min, aiheuta häiriötä virtaukseen käsiventtiilillä

Tämän testin kanssa oli pieniä ongelmia trendin kaappauksen suhteen. Vaikka virtausnopeuden trendi tulikin näkyviin, ei pumpun ohjausta vastaavaa käyrää saatu näkymään mitenkään. Toisaalta eipä pumpun kierrosnopeuden säätö suhteessa venttiilillä aiheutettuun virtauksen kuristukseenkaan meinannut toimia kunnolla. Kun virtaamaa kuristi, pumppu ei juuri korviaan lotkauttanut vaan piti käytännössä kierrosnopeuden vakiona. Tästä seurasi pieni virtausnopeuden notkahdus. Koska trendiä emme saaneet systeemistä ulos, emme sitä myöskään tässä tehtävän kohdassa pysty esittelemään. Edelliset ongelmat olisivat todennäköisesti väistyneet, mikäli olisimme ladanneet systeemin prosessiasemalle uudelleen. Ongelmat saattoivat siis johtua siitä että prosessia oli niin moni oppilas ehtinyt ropamaan ennen meitä.

Kuinka hyvin simuloitu ja mitattu virtaussäätö vastaavat toisiaan?

Suorastaan loistavan hyvin. Edelleenkin tulee kuitenkin muistaa, että simulointimalli ei ole täydellinen malli todellisesta prosessista. Olimme kuitenkin lähellä todellisuutta, tästä puhuvat puoleensa viritysparametrit jotka olivat samalla tontilla keskenään. Olemme tuloksiin tyytyväisiä.