



HÁSKÓLINN Í REYKJAVÍK

T-501-REGL
REGLUNARFRÆÐI

Reglun á vatnshæð

Andri Ólafsson
andri10@ru.is

Hátækniverkfræði
Tækni- og verkfræðideild

8. október 2014

Inngangur

Einfalt stærðfræðilegt líkan útbúið fyrir reglun á vatnstanka kerfi frá Festo. Líkanið lýsir hegðun kerfisins m.t.t. leka, dælu og vatnshæð í efri tanki.

Kerfið inniheldur tvo vatnstanka sjá mynd, neðri vatnstankur virkar sem safnþró, hraðastýrðri dælu er ætlað að dæla vatni upp í efri tank.

Gerð grein fyrir hönnun á reglunarkerfi sem ákveður stýrispennu inn á dælu til þess að viðhalda vatnshæð í 2l. Vatn flæðir í gegn um dæluna (þ.e. til baka) á öllum stundum.

Fastar og stuðlar líkans eru fundnir með mælingu á hegðun kerfisins í keyrslu með og án bakrásar.

Hermun á kerfinu er sett upp í Simulink til þess að gera samanburð á reiknuðum og raunverulegum gildum. Loks er PID reglunarkerfi sett upp til að ná sem bestri svörun við breytingu á vökvahæð.

Búnaður

Vatnstankakerfi frá Festo-Didatic.

Það inniheldur :

- 2x 3l vatnstankar.
- Vatnsdæla - tekur við stýrispennu
- Segulloki - notaður til að tæma efri tank

Í kerfinu eru eftirtaldir skynjarar :

- Flæðisskynjari
- Vatnshæðarnemi
- 2x náðarnemar

Flæðisskynjarinn virkar aðeins í eina stefnu, hann nemur flæðið frá dælunni. Hann sýnir ekkert flæði þegar slökkt er á dælu og vatn flæðir til baka um hann.

Vatnshæðarskynjarinn í efri tank notast við hljóðbylgjur.

Náðarnemarnir nema vatnshæð í efri tank, öryggisráðstöfun þannig ekki sé dælt of mikið í tank.



Mynd : Festo

Búnaðnum er stjórnað af Labview grafísku umhverfi sem tengst er í gegn um slóðina :

<http://www.ru.is/kennarar/ind/Reglun.htm>

Sjá mynd 10 í viðauka.

Fyrri hluti

a) *Stærðfræðilegt líkan af kerfinu (vatnshæð, dælu, áhrif leka)*

Þegar gera á stærðfræðilegt líkan sem lýsir kerfi er best að einfalda líkanið sem mest með því að hunsa ákveðna þætti sem hafa óveruleg áhrif á kerfið sjálft. Svo sem líta á leakagildið sem fasta, en það er í raun háð vatnshæð, breyting á magni leka er smávægileg m.t.t. vatnshæðar.

$$Q_1 = f[(H_1 - H_2), V_d]$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = Q_d - Q_1$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = K_d \cdot V_d - K_p \cdot \sqrt{g(H_1 - H_2)}$$

Q_d og Q_1 er rennsli inn og út.

K_p er mögnunargildi.

K_d er dælustuðull.

H_1 & H_2 er vatnshæð tanks 1 og 2.

Í sýnidæmi 2.13 í kafla 2.8 er sýnt fram á að útstreymi sé í hlutfalli við kvaðratrót af hæð vökvans í tanki.

$$\frac{dy}{dt} = -K_1 \cdot y(t) + K_d \cdot V_d$$

$$K_1 \approx \frac{1}{\sqrt{g(H_1 - H_2)}}$$

Í æstæðu ástandi er $Q_d - Q_1 = 0$

Inn og útstreymi er í jafnvægi, vatnshæð er fasti.

$$T(s) = \frac{K_p \cdot K_d}{1 + \frac{K_p \cdot K_d}{s}}$$

$$T(s) = \frac{K_p \cdot K_d}{s + K_p \cdot K_d}$$

Bæti svo lekatruflun við kerfið, þá verður yfirfærslufallið :

$$T(s) = \frac{K_p \cdot K_d}{s + K_p \cdot K_d} + \frac{1}{s + K_p \cdot K_d}$$

Tímakonstant kerfisins með lokaðri rás er í öfugu hlutfalli við mögnun í framrás ($K_p \cdot K_d$)

$$\tau = \frac{1}{K_p \cdot K_d}$$

$$\Rightarrow K_d = \frac{1}{\tau \cdot K_p}$$

Með því að breyta óskgildi í þrepum má fá svörun sem er notuð til þess að ákvarða τ . Tími sem það tekur kerfið að ná $1 - \frac{1}{e} \approx 63.2\%$ af breytingu sem verður á svörun kerfis við þrepbreytingu á óskgildi.

- b) *Mælingar á svörun kerfisins og einstakra eininga þess, með og án virkrar bakverkunar. (nota einfalda mögnun, P regli, skoða svörun kerfisins þegar innmerki er hæfilega stort)*

P Reglun

P reglir (magnari) sem magnar skekkjumerkið og gefur stýrimarkið $K_p \cdot e$.

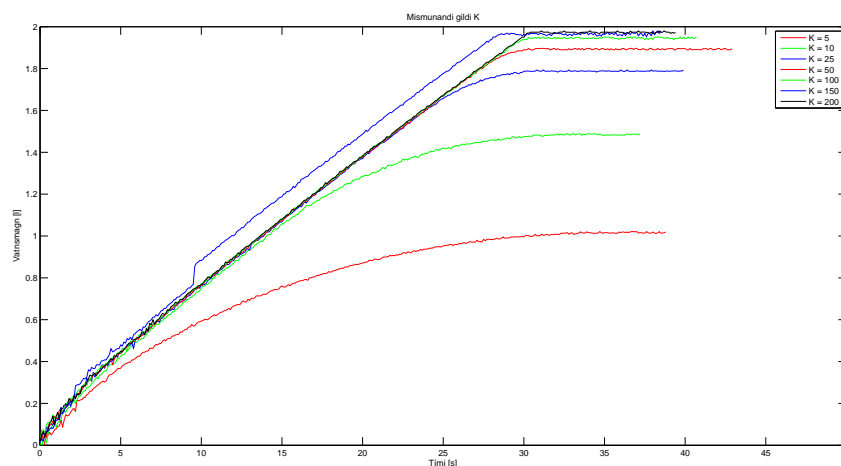
K_p er mögnunarstuðull. Viðbragðstími er styttri eftir því sem mögnunin verður meiri, sést á mynd 1 hvenær föll með mismunandi gildi á K ná jafnvægi. Reglunin nær ekki að halda vatnshæð í 2l óskgildinu þar sem það verður að vera æstæð skekkja í kerfinu.

$$u(t) = K_p \cdot e_{ss}(t)$$

Of mikil mögnun veldur miklum sveiflum og yfirskoti í annarar gráðu kerfum. P reglirinn gefur ekkert útmerki ef það er engin skekkja, þ.e. þegar gildið næst þá er stýrispenna = 0 og vatnshæðin fellur aftur niður. Þá kemur skekkjumerki inn og dælan fer aftur í gang. Þetta gerist siendurtekið.

K gildi sett inn, vatnshæð nær ákveðnu marki en ekki óskgildi. Látið ganga þar til það nær jafnvægi. Hér fyrir neðan er tafla með stýrispennu, óskgildi og raungildi.

K	Óskgildi [l]	Raungildi [l]	Jafnvægisástandi náð [s]
5	2.000	1.013	32.4
10	2.000	1.487	29.7
25	2.000	1.787	29.4
50	2.000	1.895	29.4
100	2.000	1.950	29.1
150	2.000	1.968	28.4
200	2.000	1.981	28.5



Mynd 1: Mismunandi gildi K

Lekagildi

Í líkaninu geri ég ráð fyrir að lekinn sé fasti og má setja fram sem utanaðkomandi truflun í kerfið. Lekinn er línulegt fall sem er háð þrýstingi, þ.e. vatnshæð.

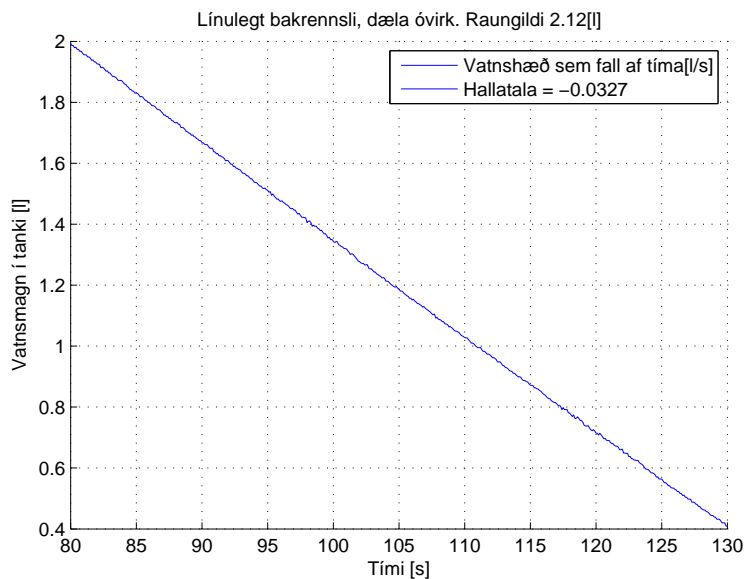
Fastinn er fenginn með því að fylla efri vatnstank í fyrirframákveðið magn og slökkva á dælu. Vatnið flæðir þá til baka og hallatalan (l/s) er fundin. Sjá mynd 2.

Þrjár tilraunir voru framkvæmdar og meðaltal tekið.

Vatnshæð [l]	Hallatala [l/s]
1.02	0.03096
1.51	0.03102
2,12	0.03271
Meðaltal	0.0316

Þetta tel ég vera góða nálgun á lekagildi, það er óvíst hvort lekinn er sá sami þegar dælan dælir vatni upp (flókið iðustreymis-líkan sem erfitt er að setja fram).

Meðaltal lekagildisins er notað í Simulink hermun.



Mynd 2: Vatnsmagn sem fall af tíma

Ákveðna spennu þarf að setja inn á dælu til að halda í við lekann. Spennan er háð bakþrýstingi. Í 2l virðist hún vera 5.4V. Á mynd 11 í viðauka má sjá að flæði við 5.4V er 1.5l/s

Dælufasti fundinn aftengingu bakverkunar

Til samanburðar er dælufastinn K_d ákvarðaður með því að aftengja bakverkun. Óskgildi valið sem $1l$ til að fá beint samband milli mögnunar og spennu kerfis. Spennan $5V$ valin og kerfið náði jafnvægi í $1.325l$. Spennan var hækkuð upp í $7V$ sem step function. Vatnsaukningin var þá línuleg og hallatalan af því falli tekin.

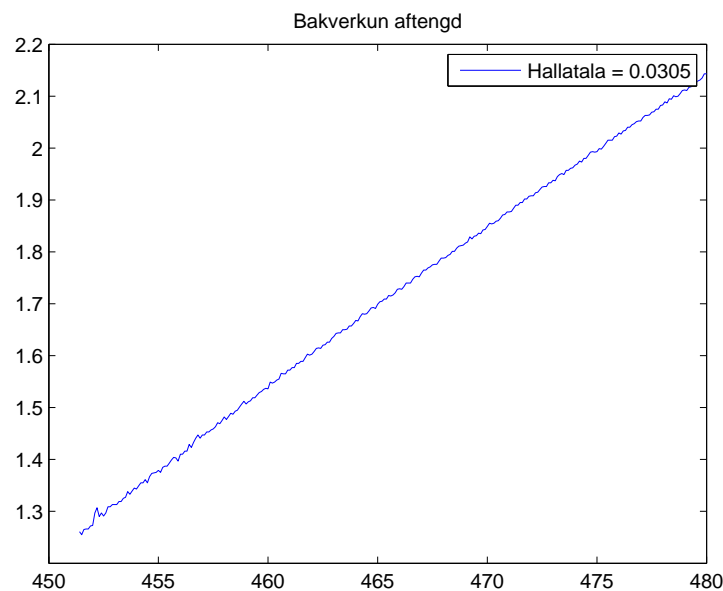
Þegar kerfið náði jafnvægi var mögnun aukin um 2 þannig að spenna inn á dælu varð þrepfall milli $5V$ og $7V$. Sjá mynd 3.

Því næst voru niðurstöður teiknaðar upp í matlab og skoðað hvernig útmerkið jókst línulega. Með því að skoða hallatölu bestu línu gegn um mælipunkta á mynd og deila henni með spennunum var hægt að meta dælufastann, niðurstöður má sjá í töflu hér f. neðan. Sé bakverkun aftengd þá yfirfyllist tankurinn.

$$K_d = \frac{0.0305 \frac{l}{s}}{2V} = 0.01525 \frac{l/s}{V}$$

Dælufasti K_d [$\frac{L}{V}$]	Hallatala [l/s]
0.01525	= 0.0305

$5V$ sett á dæluna þangað til jafnvægi er náð í $1.3l$ og spenna svo hækkuð upp í $7V$. Sjá mynd 12 í viðauka.



Mynd 3: Bakverkun aftengd

Dælufasti fundinn með tímastuðlinum

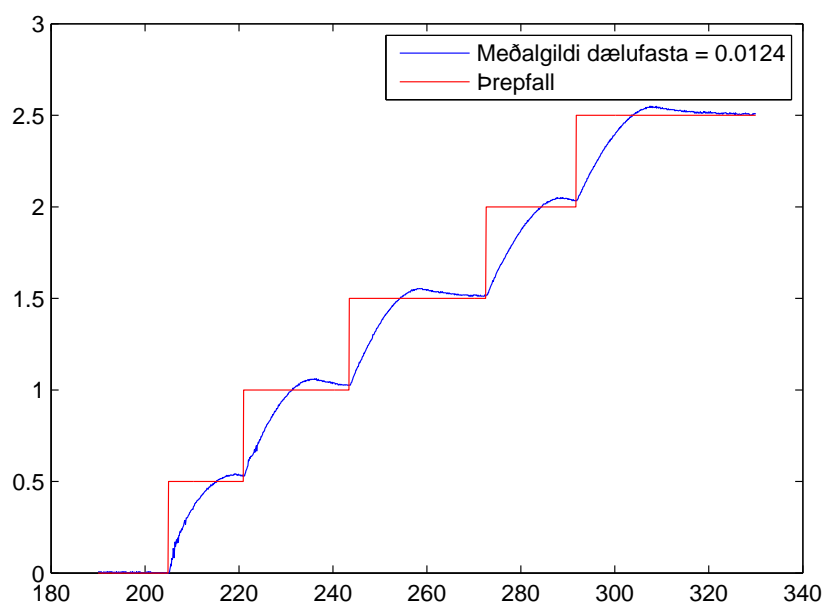
Dælufastinn er fundinn með því að setja innmerki sem þrepfall og athuga hversu langann tíma tekur að ná 63.2% af innmerkinu.

Tímafastinn er fundinn með formúlunni

$$K_d = \frac{1}{\tau \cdot K_p}$$

Þar sem mögnunargildið $K_p = 15$

Þrepfall með 0.5 skrefstærð var sett sem innmerki, sjá mynd 4



Mynd 4: Innmerki sem þrepfall

Óskgildi	τ [s]	Dælufasti K_d [V/L]
0.5	4.4	0.0152
1.0	5.2	0.0128
1.5	5.5	0.0121
2.0	6.2	0.0108
2.5	6	0.0111
Meðaltal		0.0124

Þessi tilraun var framkvæmd með tegrara til að ná settu lokagildi. Þetta er ekki endanlegt gildi á tegrararfasta, enda veldur hann nokkru yfirskoti.

c) Líkanið sett upp í Simulink

Blokkrit er sett upp í Simulink grafíska forritunar-umhverfinu frá Mathworks. Sjá mynd 5
Step fallið er einnig sett í scope til að sjá óskgildið.

K_p er mögnun stýringarinnar, K_d er afkastastuðull dælu. (Q_D)

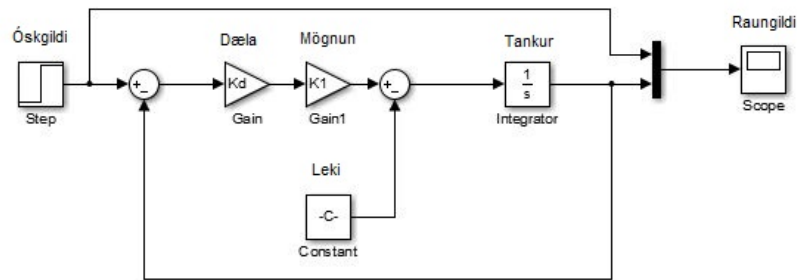
Truflunin kerfisins er leki í gegn um dælu sem fundinn var á bls 5. Hann kemur inn sem fasti.

PI stýring er sett fram með mögnunargildið $P = 15$.

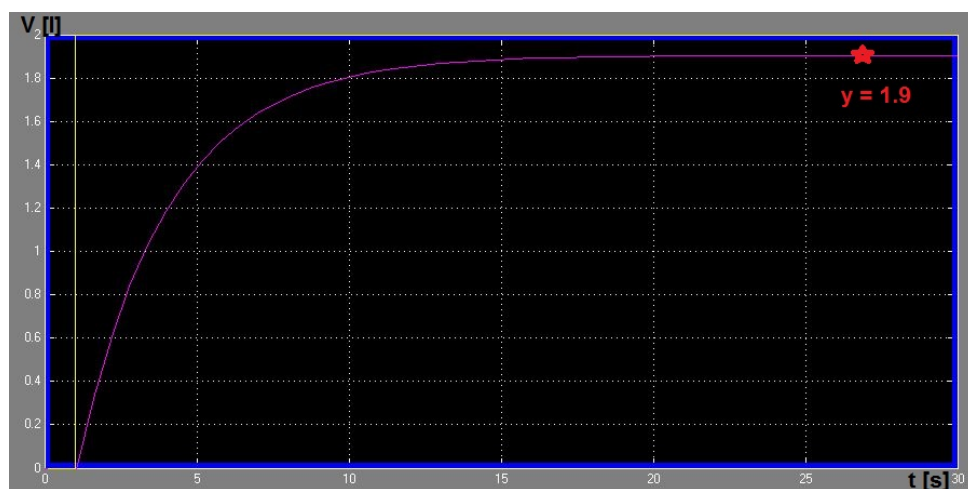
Óskgildið 2 er sett inn í step fallið og útgildið er 1.9. Þetta er nokkuð nálægt lagi en ég hefði haldið að tegrarinn ætti að taka æstæðu skekkjuna út, þ.e. lokagildi yrði jafnt óskgildi.

Dælufastinn var ákveðinn sem meðaltal fyrri tilrauna. Útgildið náði æstæðu ástandi í 1.9.

Breyta	Gildi [s]
K_d	0.013825
K_p	15



Mynd 5: Simulink hermun



Mynd 6: Scope úr Simulink æfingu

Síðari hluti

a) *Nota viðurkennda/rökrétta aðferð til að velja K_p og K_I gildin þannig að yfirskot sé minna en 5%, ris & settími eins skammur og kostur er. Jafnframt skal æstæða skekkja í innstilltri vökvahæð vera núll.*

- P - Proportional - Hversu hratt merkið nær lokagildi. Hátt gildi er viðkvæmt fyrir tíma-seinkun í kerfinu.
- I - Integral - „Étur“ upp æstæðu skekkjuna
- D - Derivative - Minnkar overshoot og settling tíma, viðkvæmt fyrir suði frá skynjurum þátturinn virkar dempanði og dregur úr yfirskoti.

Það er töluvert suð í vatnshæðarmælinum, hár stuðull á afleiðunni veldur mjög miklu suði í innmerki á dælu. Sjá mynd 15

Ég mun notast við Ziegler-Nichols' aðferðina (Ultimate cycle method) við PID tuning sem byggist á því að hægt er að nálgast kerfið sem fyrstu gráðu kerfi með tímaseinkun.

1. Byrjað er á að setja reglinn á handvirka stýringu og stýrða kerfið látið vera nálægt eðlilegu ástandi.
2. Mögnun einungis tengd, lágt gildi valið.
3. 5-10% breyting á gildi framkvæmd í þrepum og svörun könnuð.
4. K_p sett á hærri gildi
5. Lítil breyting sett á stilligildi og svörun könnuð.
6. Skref 4 og 5 endurtekið þar til svörunin verður sveifla sem hvorki vex né minnkar. Gildi á K_p skráð niður og gefið gildið $K_p u$. Sveiflutíminn T_u er einnig nóteraður niður.

Tafla hér fyrir neðan er notuð til þess að ákvarða gildi reglunarkerfisins

Tegund reglis	K_p	T_I	T_d
P	$0.5 \cdot K_p u$		
PI	$0.45 \cdot K_p u$	$\frac{T_u}{1.2}$	
PID	$0.6 \cdot K_p u$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{8}$

Endanlegu gildin mín eru :

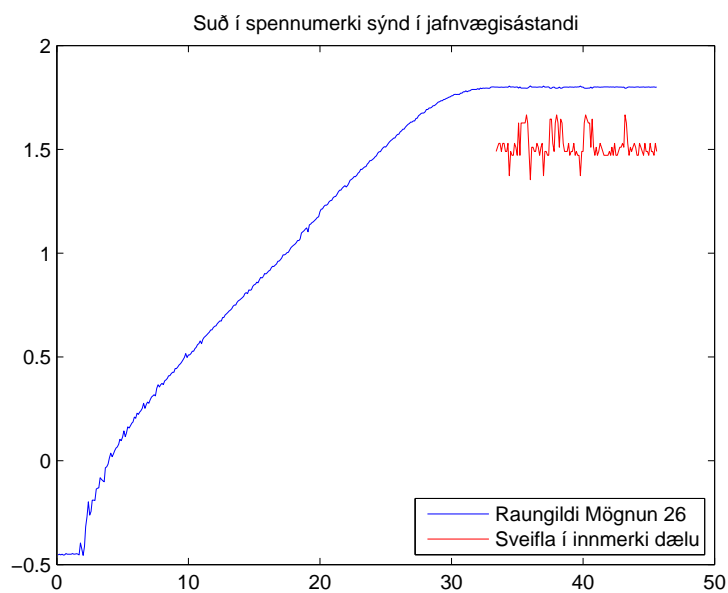
$$P = 15$$

$$I = 10$$

$$D = 0.001$$

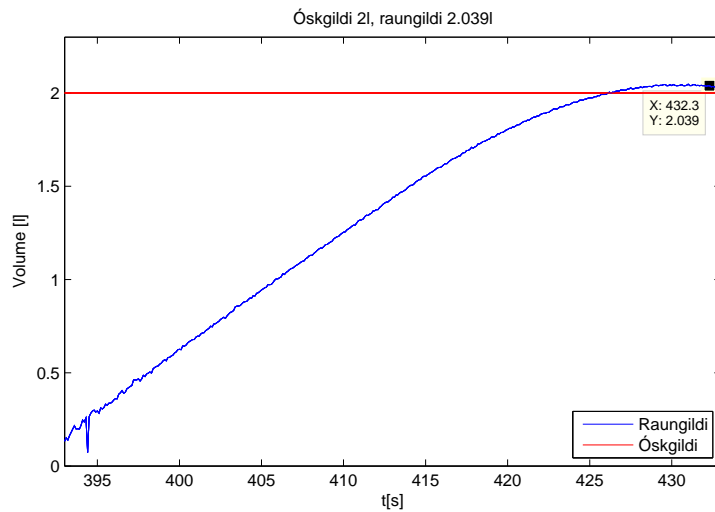
Diffurtíminn hér skv. þessari aðferð ætti að vera 2.5. Hinsvegar er það of hátt gildi vegna suðs frá hæðarskynjara. Það olli mjög miklu suði í innmerki dælu. Sjá suð í jafnvægisástandi mynd 7.

Spennumerkinu er downshiftað um -3.7V til að fá fram á myndinni. Spennan er þ.a.l. í kring um 5.2V.



Mynd 7: Suð í spennugildi sem veldur ójafnvægi sé diffurfasti mikill

Hér á mynd 8 má sjá svörun kerfisins við 2l óskgildi. Það er örlítið overshoot sem fer í 2.045, en það er 2.25% skekkja sem jafnast út á 10 sek í 2.00 ± 0.01 .

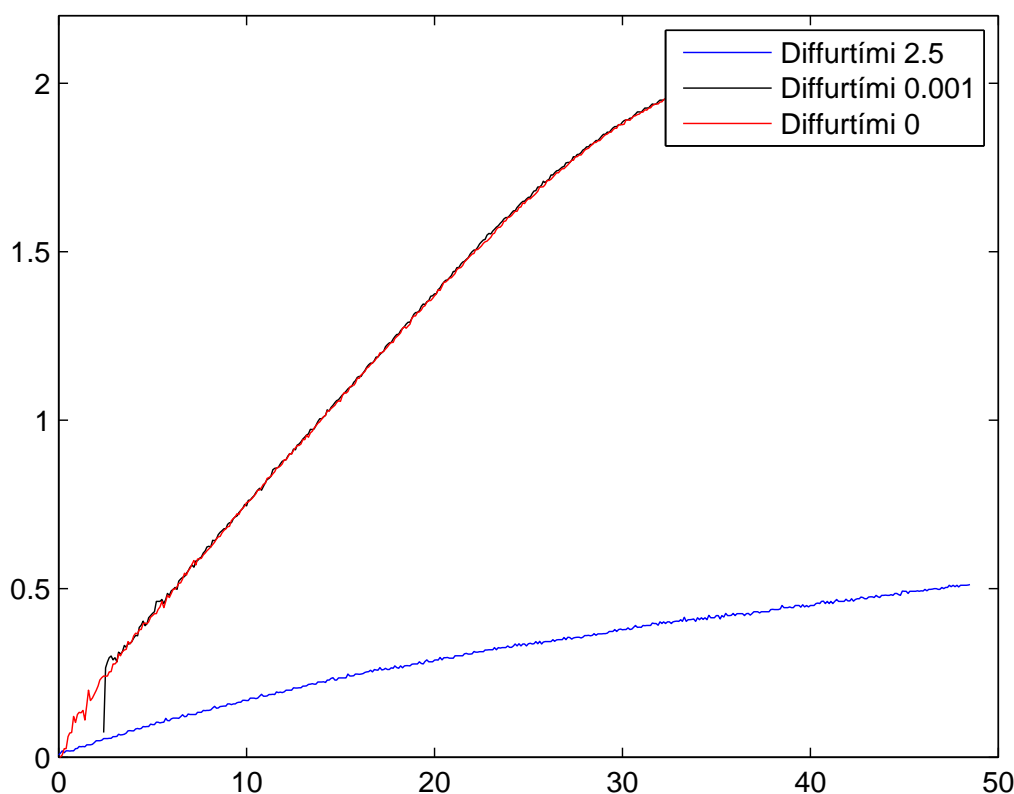


Mynd 8: 2l Óskgildi sett inn

- b) Prófa hvort auka má viðbragðshraða með því að nota afleiðustýringu K_D ásamt hlutfalls- og tegrunaráhrifum (þ.e. PID stýring)

PD reglun gefur mesta stýrimerki þegar breyting á skekkjumerki er mikið. Þegar innmerki er þrepfall þá fæst hraðari svörun en fæst með P regli.

PID sameinar eiginleika ID þáttana.



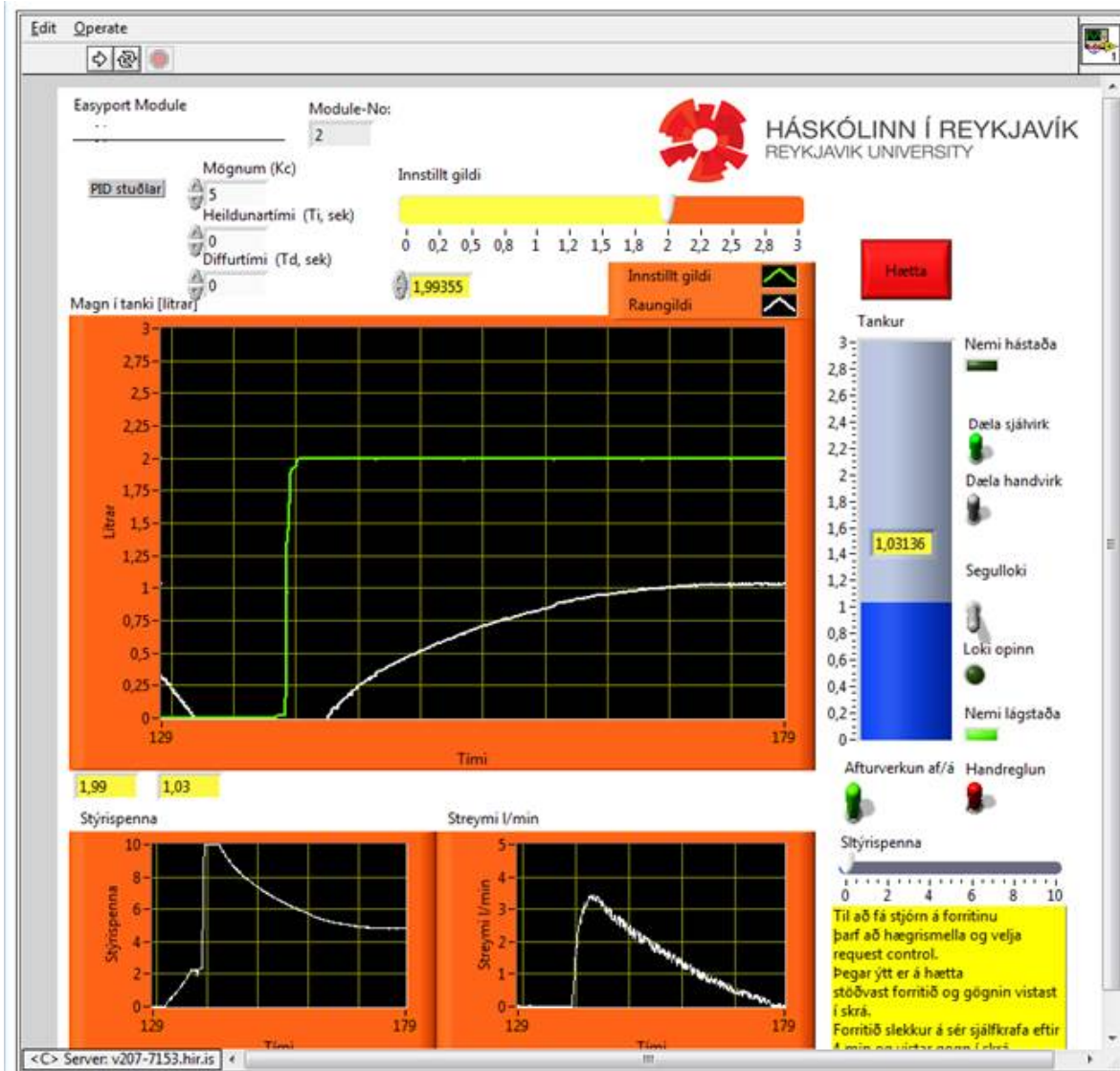
Mynd 9: Mismunandi diffurtími

Á mynd 9 eru 3 merki plottuð upp. Neðsta merkið er með háann diffurfasta, innmerkið á dæluna er 10V en flóktir mjög mikið þannig að reglunin nær ekki snöggri svörun.

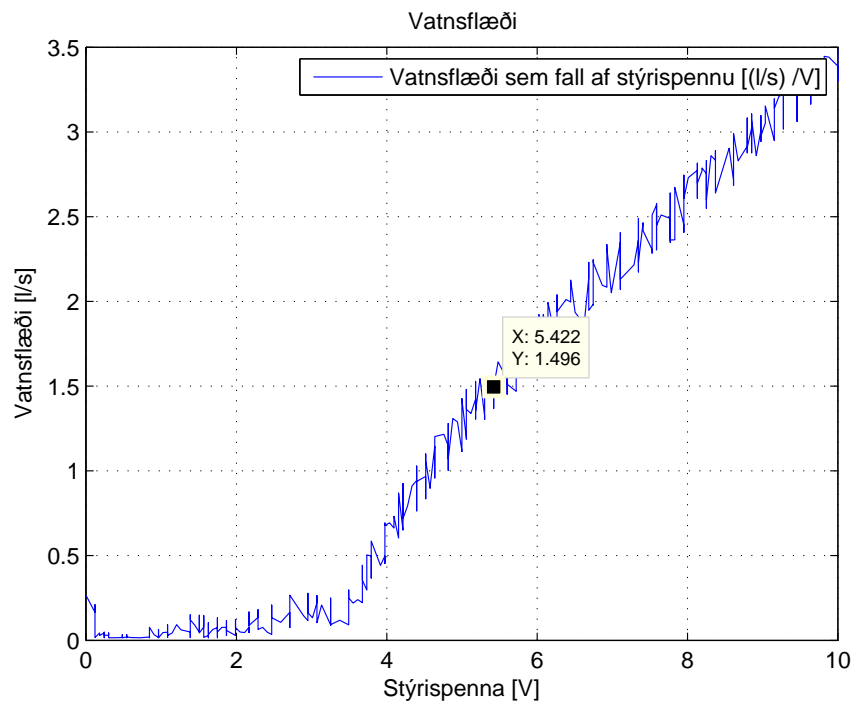
Hin tvö merkin með lágann diffurfasta og engann diffurfasta eru keimlík, svörunin er sú sama. Því þarf ekki þarf að notast við diffrara í þessari reglun.

Á mynd 16 sést að hátt gildi á diffurstuðli magnar upp suðið ótrúlega mikið. Hægt væri að notast við diffrara en filtera þarf innmerkið með lowpass filter, t.d. moving average filter sem tekur n síðustu stök og tekur meðalgildi af þeim. Sá filter er einfaldur í uppsetningu og ekki frekur á reiknigetu tölvu.

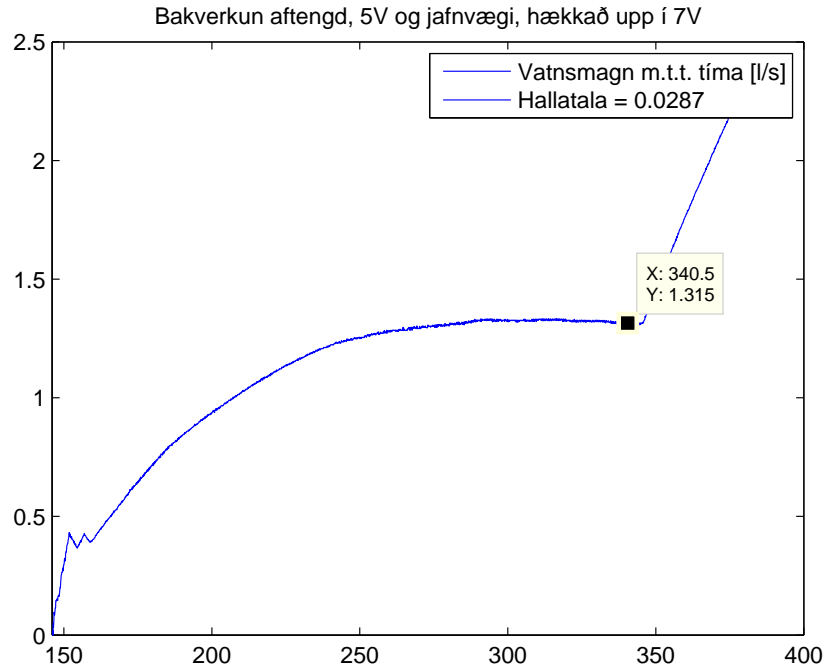
Appendix



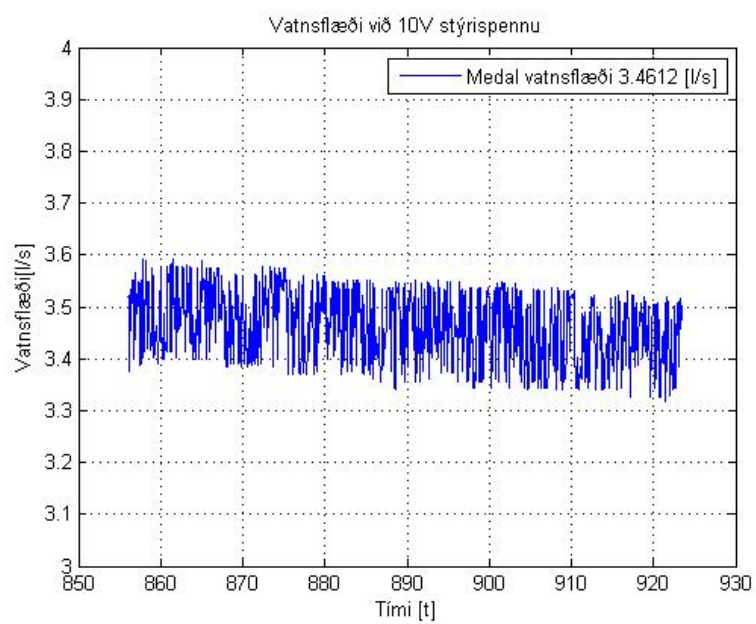
Mynd 10: Labview, fengið frá vef HR



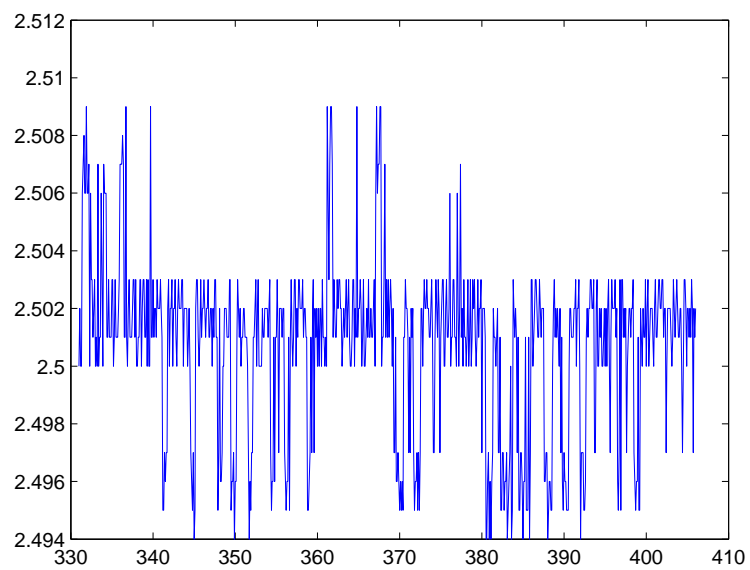
Mynd 11: Vatnsflæði dælu sem fall af stýrispennu



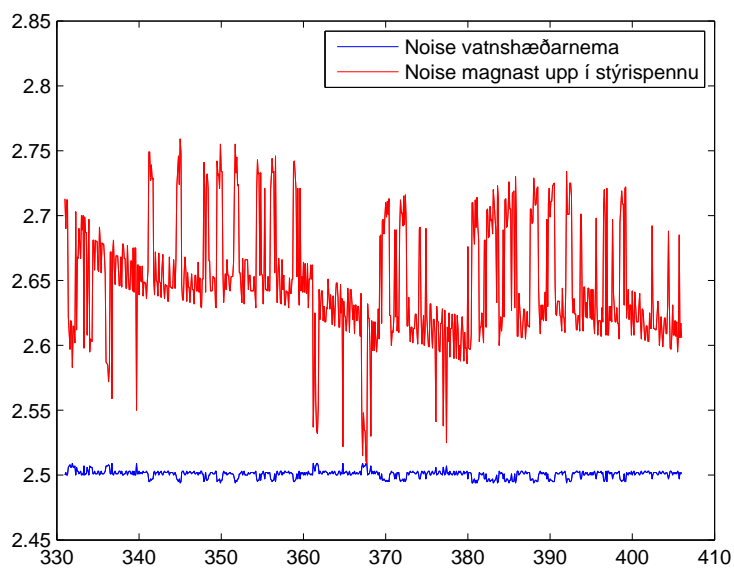
Mynd 12: Vatnshæð, breytileg spenna



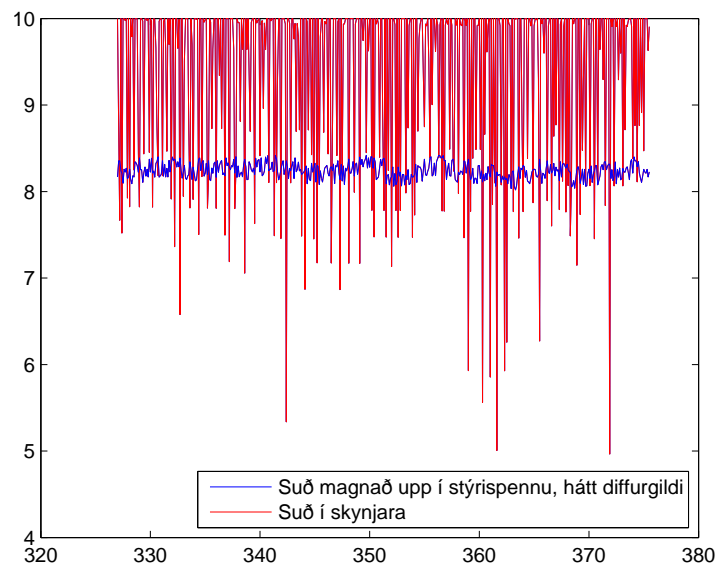
Mynd 13: Vatnsflæði við 10V



Mynd 14: Gildi nema rokkar frá 2.494l upp í 2.510.



Mynd 15: Suðið magnast upp í útmerki með litla diffrun



Mynd 16: Suðið magnast upp í útmerki með mikla diffrun