

## SAMMENDRAG

I denne oppgaven ble det laget en simulerings modell for regulering av et undervannsprosessanlegg. Simulatoren ble bygd ved å benytte simuleringsverktøyene Matlab<sup>(6)</sup> og Simulink<sup>(7)</sup>. Undervanns prosessanlegget besto av en separatortank som skilte olje, vann og gass. Det var vannivået, totalt væsknivå og trykket i separatoren som ble regulert. Rørene som transporterte oljen og gassen til overflaten ble også modellert.

Undervannssep ble en generell simulator. Den er mulig å benytte ved simulering av ulike oljefelt med prosessering på havbunnen. Ved programmering ble alle parametre lagt inn slik at de er mulige å forandre. Det er mulig å velge separatordimensjoner, regulatorinnstillinger, ventilkarakteristikker, ventilstørrelser, regulering med dø-bånd, osv. Modellen ble også programmert slik at hver simulering starter ved ”stasjonær tilstand”. Det vil si at prosessen ikke starter med stengte ventiler og pumpe, ei heller pådraget fra regulatoren er lik null. Simulatoren må likevel svinge seg inn, da rørene som transporterer olje og gass bruker lang tid på å stabilisere seg.

Det ble tatt utgangspunkt i det reelle oljefeltet Gjøa da dynamikken til et undervanns prosessanlegg ble undersøkt. Det ble kjørt ulike caser hvor forskjellige parametre ble forandret for å se hvordan systemet oppførte seg. Det ble blant annet testet hvordan oppløsningen på nivåmåleren, separatorstørrelsen og hvordan hurtigheten til ventilene innvirket på et undervanns prosessanlegg. Det ble laget en hovedcase som ble benyttet som en referanse.

Det ble funnet at hurtigheten på hvor fort ventilene kan åpne seg fra 0 til 100 prosent ikke innvirket på dynamikken til undervanns prosessanlegget. Men det gjorde oppløsningen på nivåmåleren og separatorstørrelsen.

Oppløsning av nivåmåleren innvirket på hvor hyppig ventilene og pumpa jobbet. I tillegg ble endring av pådragene doblet. Men det var ikke noe problem å holde nivåene innenfor kritiske grenser. Ved å minke separatorstørrelsen økte hyppigheten av hvor ofte ventilene og pumpa jobbet. Men det innvirket ikke på utslaget til pådragene. Det var heller ikke noe problem å holde nivåene innenfor kritiske grenser.

Det viste seg at ventilstørrelsen har stor innvirkning på om prosessanlegget klarer å håndtere forstyrrelser eller små endringer i strømmingen inn til tanken. Med mindre ventiler gikk ventilene i full åpning kun ved små endringer i nivået og trykket i tanken. Dette kommer av mottrykket i rørene som transporterer olje og gass, og tregheten i rørene da de er lange.

Ved regulering med diskontinuerlig nivåmåler viste det seg at hvis ikke setpunkt havnet på et målepunkt på måleren, så vil nivået og pådragsorganet stå og oscillere hele tiden. Da kan man enten justere setpunkt slik at det havner på et målepunkt, eller regulere med dø-bånd.

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>INNLEDNING .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>BESKRIVELSE AV SYSTEMET.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>MODELLERING OG PROGRAMMERING .....</b>	<b>6</b>
3.1	HOVEDSIDEN .....	6
3.2	MODELLERING AV SEPARATORTANKEN .....	7
3.3	PROGRAMMERING AV SEPARATORTANKEN .....	12
3.4	MODELLERING AV STRØMNING I RØR.....	13
3.4.1	<i>Gassrøret</i> .....	14
3.4.2	<i>Oljerøret</i> .....	16
3.5	MODELLERING AV VENTILENE .....	18
3.5.1	<i>Oljeventil</i> .....	18
3.5.2	<i>Gassventil</i> .....	20
3.6	PROGRAMMERING AV VENTILENE OG RØRSYSTEMET .....	20
3.7	VANNPUMPE .....	21
3.8	REGULERING OG BEHANDLING AV MÅLESIGNALER .....	22
3.8.1	<i>Regulator</i> .....	23
3.8.2	<i>Tidsforsinkelse</i> .....	25
3.9	INNSTRØMMENE TIL SEPARATOREN .....	26
3.10	INPUT_VERDIER .....	27
<b>4</b>	<b>DYNAMIKK FOR UNDERVANNS PROSESSANLEGG.....</b>	<b>29</b>
4.1	PRIMÆRCASE .....	30
4.2	TEST AV DISKONTINUERLIG NIVÅMÅLER.....	32
4.3	PÅVIRKNING AV OPPLØSNING, STØRRELSE OG HURTIGHET .....	34
4.4	SIMULERING MED FORSTYRRELSE .....	37
<b>5</b>	<b>DISKUSJON.....</b>	<b>40</b>
5.1	SIMULATOREN UNDERVANNSSSEP.....	40
5.2	DYNAMIKKEN TIL ET UNDERVANNS PROSSANLEGG .....	41
5.2.1	<i>Primærcase</i> .....	41
5.2.2	<i>Test av diskontinuerlig nivåmåler</i> .....	41
5.2.3	<i>Påvirkning av prosessutstyr</i> .....	41
5.2.4	<i>Simulering med forstyrrelse</i> .....	43
5.3	ENDRINGER FRA TIDLIGERE DIPLOMOPPGAVE .....	43
5.4	SIMULERING I SIMULINK .....	44
5.5	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID .....	45
<b>6</b>	<b>KONKLUSJON .....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>SYMBOLLISTE .....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>REFERANSER .....</b>	<b>49</b>
8.1	LITTERATURREFERANSER .....	49
8.2	DATA REFERANSER .....	50

<b>BILAG A</b>	<b>S-FUNKSJONEN TANK</b> .....	<b>51</b>
<b>BILAG B</b>	<b>FUNKSJONEN MASSEBAL</b> .....	<b>52</b>
<b>BILAG C</b>	<b>S-FUNKSJONEN ROER</b> .....	<b>53</b>
<b>BILAG D</b>	<b>FUNKSJONEN MOMENTBAL</b> .....	<b>55</b>
<b>BILAG E</b>	<b>FUNKSJONEN LAGE_GLOBALE</b> .....	<b>57</b>
<b>BILAG F</b>	<b>DIM. AV SEPARATOR, 3 MIN. OPPHOLDSTID</b> .....	<b>58</b>
<b>BILAG G</b>	<b>DIM. AV SEPARATOR, 2 MIN. OPPHOLDSTID</b> .....	<b>59</b>
<b>BILAG H</b>	<b>HYSYS SIMULERING</b> .....	<b>60</b>
<b>BILAG I</b>	<b>VÆSKEPROFIL</b> .....	<b>63</b>
<b>BILAG J</b>	<b>OLGA SIMULERING</b> .....	<b>64</b>
<b>BILAG K</b>	<b>PRIMÆRCASE</b> .....	<b>65</b>
<b>BILAG L</b>	<b>ENDRING AV SEPARATORSTØRRELSE</b> .....	<b>66</b>
<b>BILAG M</b>	<b>ENDRING AV SEPARATORSTØRRELSE OG HURTIGHET</b> .....	<b>69</b>
<b>BILAG N</b>	<b>ENDRING AV SEPARATORSTØRRELSE OG OPPLØSNING PÅ NIVÅMÅLER</b> .....	<b>72</b>
<b>BILAG O</b>	<b>ENDRING AV HURTIGHET</b> .....	<b>75</b>
<b>BILAG P</b>	<b>ENDRING AV OPPLØSNINGEN PÅ NIVÅMÅLER</b> .....	<b>78</b>
<b>BILAG Q</b>	<b>ENDRING AV OPPLØSNING PÅ NIVÅMÅLER OG HURTIGHET</b> .....	<b>81</b>
<b>BILAG R</b>	<b>ENDRING AV SEPARATOR STØRRELSE, HURTIGHET OG OPPLØSNING PÅ NIVÅMÅLER</b> .....	<b>84</b>
<b>BILAG S</b>	<b>BRUKERVEILEDNING FOR UNDERVANNSEP</b> .....	<b>87</b>
S.1	INPUT_VERDIER .....	87
S.2	UNDERVANNSEP.....	89

## 1 INNLEDNING

Feltutvikling med bruk av undervannsprosessering er et nytt område innenfor utvinning av olje og gass. Prosessering på havbunnen nær produksjonsbrønnene vil kunne øke transportkapasitet i rørledningene og redusere nødvendige tiltak mot hydrat dannelse.

På grunn av lange avstander til plattform hvor støttefunksjoner som elektrisk kraft og hydraulikk finnes, er det ønskelig at forbruk av dette minimaliseres. Samtidig er det ønske om å redusere separator størrelse spesielt på store havdyp hvor krav til veggtykkelse blir stor og øker med økende diameter. Undervannsprosessering vil medføre krav til utvikling av ny teknologi. Reguleringsventiler og nivåinstrumentering er blant annet eksempler på slik ny teknologi.

Denne oppgaven vil ta for seg regulering av et slikt undervannsprosessanlegg. Med bakgrunn i realistiske brønndata og brønnstrøm, samt realistiske responstider til undervanns prosessutstyr, vil dynamikken i ett undervanns prosessanlegg bli undersøkt. Oppgaven vil drøfte i hvilken grad forskjellig valg av prosess utstyr og valg av separatorstørrelse, vil være med å påvirke dynamikken og regulerbarheten av et undervanns prosessanlegg. Det vil spesielt være med henblikk på hvilke krav som må settes til reguleringventiler og nivååmalere.

For ventilene vil det være ønskelig å redusere krav til åpning/stenge tid, samt minimalisere forbruk av aktuatorkraft. For nivååmaleren vil det være effekt av nøyaktighet som vil bli diskutert. Parametre som separatoroppholdstid, hurtighet av ventiler og avstand til målepunkter vil varieres.

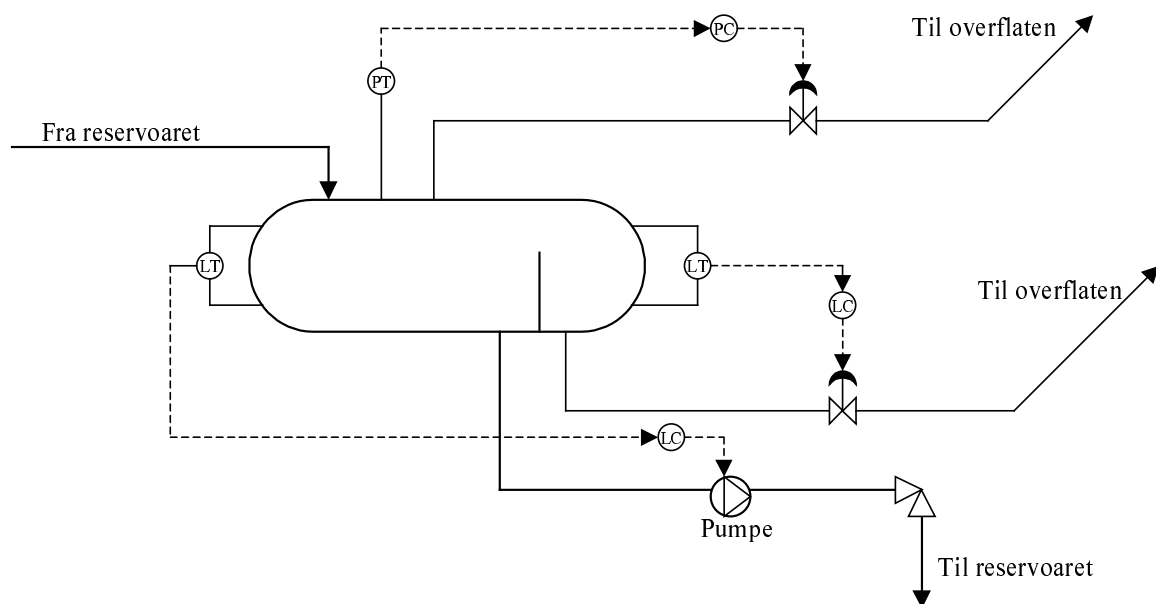
En tidligere diplomoppgave<sup>(1)</sup> har tatt for seg regulering av et undervanns prosesseringsanlegg. Det ble laget en simuleringsmodell i Simulink. Det vil bli tatt utgangspunkt i den tidligere oppgaven og simuleringsmodellen under arbeidet med denne diplomoppgaven. Videre arbeid på modellen vil blant annet være å tilpasse og justere den for valgte prosess. I tillegg vil rørene som skal transportere olje og gass opp til havoverflaten bli modellert.

Matlab<sup>(6)</sup> med Simulink<sup>(7)</sup> er et programvare som vil bli benyttet for dynamisk simulering. Hysys<sup>(9)</sup> vil bli brukt ved stasjonær simulering. Andre interne programmer som FMC Kongsberg Subsea har laget vil også bli benyttet<sup>(8)</sup>.

## 2 BESKRIVELSE AV SYSTEMET

Det har tidligere blitt utført en oppgave<sup>(1)</sup> hvor det ble utviklet en simulator for separering av vann, olje og gass på havbunn. Denne oppgaven benytter deler av den tidligere simulatoren. En del endringer er utført da blant annet prosessen er noe forandret. I tillegg er rørene som skal transportere olje og gass tatt med.

Figur 2.1 viser systemet som er modellert. Det består av et undervannsprosessanlegg hvor olje, vann og gass skal skilles i en separertank. Systemet inneholder også rørene som transporterer olje og gass fra separatoren og opp til havoverflaten.



Figur 2.1 Undervannsprosessanlegget

Det kommer en brønnstrøm fra reservoarene inn i separatoren som består av olje, vann og gass. Vannet, som er tyngst, synker til bunnen av tanken, oljen legger seg oppå vannet, mens gassen stiger til over væsknivået. Vannet blir tatt ut av separatoren i bunnen av tanken. Dette vannet blir injisert tilbake til reservoaret for å opprettholde trykket i brønnen. Separatoren kan være utstyrt med en skillevegg, slik at oljen vil renne over denne og bli tatt ut i bunnen av tanken på andre siden av skilleveggen. Hvis ikke tanken inneholder en skillevegg blir oljen tatt ut høyere opp i tanken. Gassen blir tatt ut i toppen av tanken. Oljen og gassen blir sendt i separate rør til båt, plattform eller land.

Det er nivåene av vann og olje, og trykket i separatoren som vil holdes konstant. Pumpe er pådragsorganet for regulering av vannnivået. Mens ventiler benyttes som pådragsorganer for regulering av det totale væsknivået og trykket i separertanken.

Temperaturen i hele systemet er antatt konstant. Det samme er tettheten til oljen og gassen.

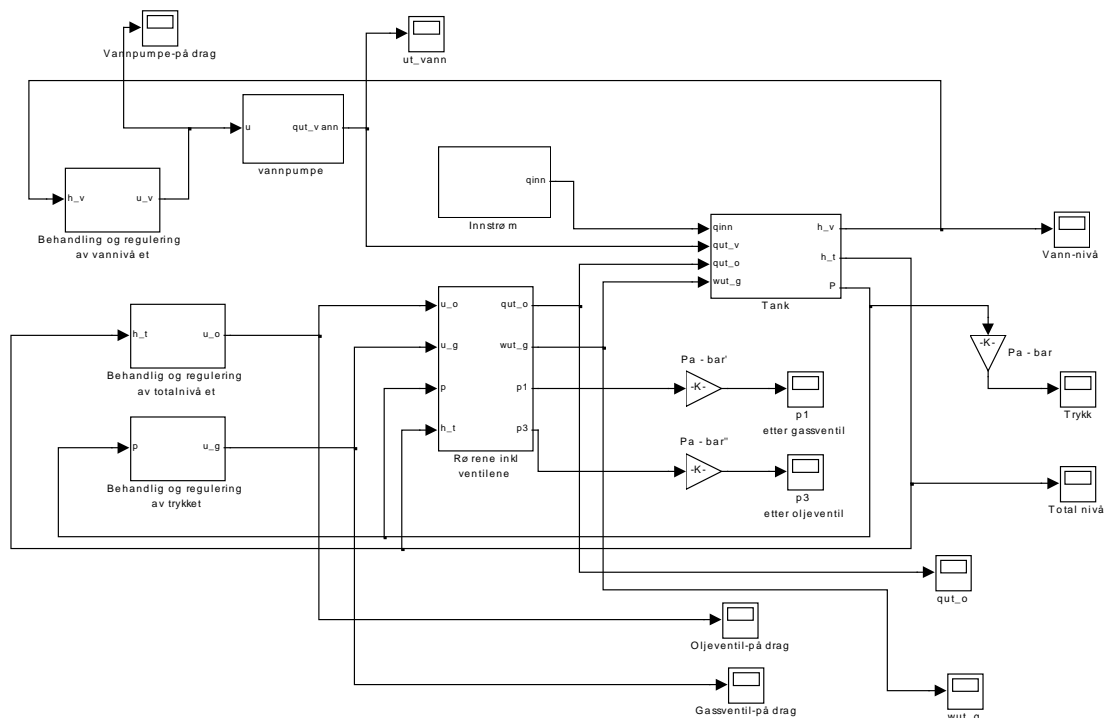
### 3 MODELLERING OG PROGRAMMERING

Programmeringen av simulatoren for undervanns prosessanlegget er gjort i Matlab<sup>(6)</sup> og Simulink<sup>(7)</sup>. Selve simuleringsprogrammet Undervannssep er et Simulink program, men noe av modelleringen er gjort i Matlab. Det er benyttet ODE 23 løser.

Mye av modelleringen og programmeringen av systemet er allerede gjort i diplomoppgaven<sup>(1)</sup> det er tatt utgangspunkt i. Utledningene blir likevel vist her.

#### 3.1 HOVEDSIDEN

Hovedsiden er selve Simulink vinduet man kommer inn når man åpner programmet Undervannssep, se Figur 3.1.



Figur 3.1 Hovedsiden

Her ligger de ulike blokkene som hver enkel tar for seg de ulike delene av modelleringen. Hver blokk er en superblokk, det vil si at de igjen er bygd opp av mange bokser som ligger i undersystemet. I tillegg ligger det bokser som plotter vannivået, trykket og totalnivået av væske i separatoren med tiden. Det ligger også bokser som plotter mengdene av olje, vann og gass som går ut av separatoren, pådragssignalene fra regulatorne som styrer ventilene og pumpa, og trykkene ut av henholdsvis olje- og gassventilen. Foran de tre boksene som plotter trykkene står det bokser som omgjør trykket fra Pascal til bar.

Blokkene "Behandling og regulering av totalnivået", "Behandling og regulering av trykket" og "Behandling og regulering av vannnivået" behandler målingene av trykket, totalnivået av væske og vannnivået i separatoren. Blokken "vannpumpe" inneholder modelleringen av vannpumpa. Blokken "Rørene inkl. ventilene" inneholder modelleringen av olje- og gassventilene, og modellering av rørene som transporterer olje og gass opp til havoverflaten. Blokken "Tank" inneholder modelleringen av separatortanken, mens blokken "Innstrøm" gir brønnstrømmen av olje, vann og gass til separatoren.

### 3.2 MODELLERING AV SEPARATORTANKEN

Det strømmer olje, vann og gass inn og ut av separatortanken. Det er nivåene av vann, olje og vann, og trykket i separatoren som skal reguleres. Det må derfor settes opp ligninger som beskriver hvordan nivåene og trykket endrer seg med strømming i tanken.

Generell ligning for massebalanse i et gitt kontrollvolum hvor ingen masse er generert, Geankoplis<sup>(3)</sup>:

masse akkumulert = masse inn – masse ut

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho \cdot dV = - \iint_A \rho(\underline{v} \cdot \underline{n}) dA \quad (\text{Lign. 3.1})$$

hvor  $t$  = tid [s]  
 $V$  = volum [ $m^3$ ]  
 $\rho$  = tetthet [ $kg/m^3$ ]  
 $\underline{v}$  = hastighetsvektor [m/s]  
 $\underline{n}$  = retningsvektor []  
 $A$  = strømningsareal [ $m^2$ ]

Antar en en-dimensjonell strøm inn og ut av volumet som står normalt til strømningsarealet:

$$\frac{\partial(V \cdot \rho)}{\partial t} = \rho_{inn} \cdot v_{inn} \cdot A_{inn} - \rho_{ut} \cdot v_{ut} \cdot A_{ut} = \rho_{inn} \cdot q_{inn} - \rho_{ut} \cdot q_{ut} \quad (\text{Lign. 3.2})$$

hvor  $q$  = volumstrøm [ $m^3/s$ ]

Dette gir massebalansen:

$$\frac{\partial(V \cdot \rho)}{\partial t} = w_{inn} - w_{ut} \quad da \quad w = \rho \cdot q \quad (\text{Lign. 3.3})$$

hvor  $w$  = massestrøm [kg/s]

For inkompressible fluider med konstant tetthet blir ligning (3.3) lik:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = q_{\text{inn}} - q_{\text{ut}} \quad (\text{Lign. 3.4})$$

Massebalanse for vannet i separatoren:

$$\frac{\partial(V_v \cdot \rho_v)}{\partial t} = w_{v,\text{inn}} - w_{v,\text{ut}} \quad (\text{Lign. 3.5})$$

Antar at vannet er inkompressibelt med konstant tetthet. Massebalansen for vannet blir da lik:

$$\frac{\partial V_v}{\partial t} = q_{v,\text{inn}} - q_{v,\text{ut}} \quad (\text{Lign. 3.6})$$

Det er denne ligningen som blir brukt for å regne ut volumet av vann i separatortanken.

Massebalanse for oljen i separatoren:

$$\frac{\partial(V_o \cdot \rho_o)}{\partial t} = w_{o,\text{inn}} - w_{o,\text{ut}} \quad (\text{Lign. 3.7})$$

Antar at oljen er inkompressibel med konstant tetthet. Massebalansen for oljen blir da lik:

$$\frac{\partial V_o}{\partial t} = q_{o,\text{inn}} - q_{o,\text{ut}} \quad (\text{Lign. 3.8})$$

Det er denne ligningen som blir brukt for å regne ut volumet av olje i separatortanken.

Massebalanse for gassen i separatoren:

$$\frac{\partial(V_g \cdot \rho_g)}{\partial t} = w_{g,\text{inn}} - w_{g,\text{ut}} \quad (\text{Lign. 3.9})$$



Gassen er ikke inkompressibel. Massebalansen for gassen blir da lik:

$$\rho_g \cdot \frac{\partial V_g}{\partial t} + V_g \cdot \frac{\partial \rho_g}{\partial t} = w_{g,inn} - w_{g,ut} \quad (\text{Lign. 3.10})$$

Må finne et uttrykk for den deriverte av tettheten.

Trykket i separatoren blir uttrykt med tilstandsligningen:

$$p = \frac{z \cdot \rho \cdot R \cdot T}{M} \quad (\text{Lign. 3.11})$$

hvor  $p$  = trykk [Pa]  
 $z$  = kompressibilitetsfaktor []  
 $R$  = gasskonstant [8314 J/kmol K]  
 $T$  = temperatur [K]  
 $M$  = molvekt [kg/kmol]

Det er antatt konstant temperatur i separatoren. Forandring av trykket med tiden i separatoren blir da lik:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{z \cdot R \cdot T}{M} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (\text{Lign. 3.12})$$

Ligning (3.12) satt inn i ligning (3.10) gir massebalansen til gassen lik:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{z \cdot R \cdot T}{M \cdot V_g} \cdot (w_{g,inn} - w_{g,ut}) - \frac{p}{V_g} \cdot \frac{\partial V_g}{\partial t} \quad (\text{Lign. 3.13})$$

Gassvolumet,  $V_g$ :

$$V_g = V_T - V_v - V_o \quad (\text{Lign. 3.14})$$

hvor volumet av separatortanken:

$$V_T = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad (\text{Lign. 3.15})$$

hvor  $r$  = radius av sylindertank [m]  
 $L$  = lengde av sylindertank [m]

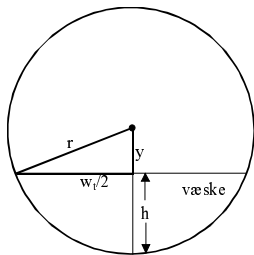
Volumet av tanken er konstant. Forandringen i gassvolumet med tiden blir da lik:

$$\frac{\partial V_g}{\partial t} = \frac{\partial(V_T - V_v - V_o)}{\partial t} = -\frac{\partial V_v}{\partial t} - \frac{\partial V_o}{\partial t} = -(q_{v,inn} - q_{v,ut}) - (q_{o,inn} - q_{o,ut}) \quad (\text{Lign. 3.16})$$

Setter inn ligning (3.16) i ligning (3.13) og får massebalansen til gassen:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{z \cdot R \cdot T}{M \cdot V_g} \cdot (w_{g,inn} - w_{g,ut}) + \frac{p}{V_g} \cdot [(q_{v,inn} - q_{v,ut}) + (q_{o,inn} - q_{o,ut})] \quad (\text{Lign. 3.17})$$

Det er denne ligningen som blir brukt for å regne ut trykket i separatortanken.



Figur 3.2 Vertikalt snitt av separator

Separatortanken er antatt å være en liggende sylindrisk tank. Figur 3.2 viser et vertikalt snitt i tanken, hvor høyden av væsken i tanken er satt inn.

Fra Figur 3.2 blir:

$$\left(\frac{w_t}{2}\right)^2 = r^2 - y^2 \quad \text{og} \quad y = r - h \quad (\text{Lign. 3.18})$$

som gir:

$$w_t = 2\sqrt{r^2 - (r - h)^2} \quad (\text{Lign. 3.19})$$

Må finne et uttrykk for høyden av væske i tanken.

Starter med massebalansen for inkompressibel væske, ligning (3.4):

$$\frac{\partial V}{\partial t} = q_{inn} - q_{ut} \quad (\text{Lign. 3.20})$$

hvor, Geankoplis<sup>(3)</sup>:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = w_t L \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{Lign. 3.21})$$

hvor  $w_t L$  = forandring av overflate arealet av væsken i separatoren

Setter inn ligning (3.19) i ligning (3.21) og får høyden av væske i tanken,  $h$ :

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot L \cdot \sqrt{r^2 - (r-h)^2}} (q_{\text{inn}} - q_{\text{ut}}) \quad (\text{Lign. 3.22})$$

hvor  $h$  = høyde av væske i separator [m]  
 $L$  = lengde av separatortank [m]  
 $r$  = radius av separator [m]

Høyden av vannet i tanken,  $h_v$ :

$$\frac{\partial h_v}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot l \cdot \sqrt{r^2 - (r-h_v)^2}} (q_{v,\text{inn}} - q_{v,\text{ut}}) \quad (\text{Lign. 3.23})$$

hvor  $l$  = lengde av separator frem til eventuell skillevegg [m]

Det er denne ligningen som blir brukt for å regne ut vannivået i separatortanken.

Høyden av totalt væske i tanken, både vann og olje,  $h_t$ :

$$\frac{\partial h_t}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot L \cdot \sqrt{r^2 - (r-h_t)^2}} (q_{v,\text{inn}} + q_{o,\text{inn}} - q_{v,\text{ut}} - q_{o,\text{ut}}) \quad (\text{Lign. 3.24})$$

Det er denne ligningen som blir brukt for å regne ut totalt væskeniå i separatortanken.

For totalt væskeniå er det antatt at det totale væskeniået alltid vil være over en eventuell skillevegg i separatortanken. Det er derfor ikke mulig å simulere en case hvor nivået synker til under en eventuell skillevegg.

Ved utledning av høyden av væske i tanken ble det tatt utgangspunkt i at høyden var lavere enn radien. Hvis væskeniået er høyere vil uttrykket likevel bli det samme, Nordgård<sup>(1)</sup>.

Volumet av vann og olje blir regnet ut initielt fra ligning (5.13) gitt i Nordgård<sup>(1)</sup>.

$$V = A \cdot l = l \left( \frac{\pi \cdot r^2}{2} + (h-r) \sqrt{r^2 - (h-r)^2} + r^2 \cdot \arcsin\left(\frac{h-r}{r}\right) \right) \quad (\text{Lign. 3.25})$$

hvor  $A$  = areal av væske i separatortank [m]

Volumet av vannet i separatortanken,  $V_v$ :

$$V_v = A_1 \cdot l = l \left( \frac{\pi \cdot r^2}{2} + (h_v - r) \sqrt{r^2 - (h_v - r)^2} + r^2 \cdot \arcsin\left(\frac{h_v - r}{r}\right) \right) \quad (\text{Lign. 3.26})$$

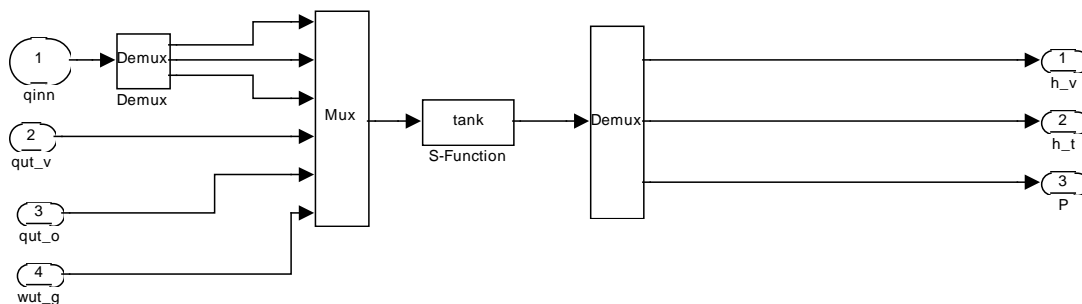
hvor  $A_1$  = areal av vann i separatortank [m]

Volumet av oljen i separatortanken,  $V_o$ :

$$V_o = A \cdot L - V_v = L \left( \frac{\pi \cdot r^2}{2} + (h_t - r) \sqrt{r^2 - (h_t - r)^2} + r^2 \cdot \arcsin\left(\frac{h_t - r}{r}\right) \right) - V_v \quad (\text{Lign. 3.27})$$

### 3.3 PROGRAMMERING AV SEPARATORTANKEN

Blokken "Tank", se Figur 3.3, tar for seg programmeringen av separatortanken. Selve programmeringen av ligningene som beskriver separatortanken er gjort i Matlab, i programmet "massebal", se bilag B.



Figur 3.3 Separatortank

Inngangssignalene til blokken er brønnstrømmen inn i separatoren,  $q_{inn}$ , volumstrømmene av vann og olje ut av separatoren,  $q_{ut\_v}$  og  $q_{ut\_o}$ , og massestrømmen av gass ut av separatoren,  $w_{ut\_g}$ .

Brønnstrømmen inn i separatoren som består av olje, vann og gass, blir splittet i Demux boksen. Videre blir alle signalene samlet i en Mux boks. Vektoren bestående av inngangssignalene til blokken går videre inn i S-funksjon boksen. Denne boksen henter inn signalene, og overfører de til S-funksjonen "tank", se bilag A. "tank" henter inn signalene som kommer fra Simulink programmet, gir de initielle verdiene til ligningene i "massebal", regner ut de deriverte fra "massebal", og sender tilbake til

Simulink programmet tilstandene trykket i separatortanken,  $p$ , vannivået,  $h_v$  og det totale væsknivået,  $h_t$ . Det er under case 3 hvor S-funksjonen bestemmer hvilke verdier som skal sendes tilbake til Simulink programmet at nivåmåleren med avstand mellom målepunktene er programmert.

Tilstandene  $h_t$ ,  $h_v$  og  $p$  blir splittet i en Demux boks og sendt ut blokken.

### 3.4 MODELLERING AV STRØMNING I RØR

Ved modellering av rørene som transporterer olje og gass fra ventilene etter separatortanken og opp til havoverflaten er det antatt at det kun er endringer i z-retningen, strømningsretningen. Det er også antatt konstant helling på rørene opp til overflaten.

Impulsbalansen, Geankoplis<sup>(3)</sup>:

akkumulert impuls = impuls inn – impuls ut + summen av krefter på systemet

$$\frac{\partial(\rho \cdot v_z)}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho \cdot v_z^2)}{\partial z} - \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho \cdot g_z \quad (\text{Lign. 3.28})$$

hvor  $v$  = hastighet [m/s]  
 $\tau$  = skjærkrefter [kg/ms<sup>2</sup>]  
 $g$  = gravitasjon [m<sup>2</sup>/s]

Friksjonsleddet:

$$\frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} = \frac{dp}{dz} = 0.5 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \frac{1}{D} \quad (\text{Lign. 3.29})$$

hvor  $\lambda$  = friksjonsfaktor []  
 $D$  = diameter av rør[m]

Ligning (3.29) satt inn i ligning (3.28) gir impulsbalansen lik:

$$\frac{\partial(\rho \cdot v_z)}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho \cdot v_z^2)}{\partial z} - \frac{\partial p}{\partial z} - 0.5 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{1}{D} - \rho \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Lign. 3.30})$$

hvor

$$\alpha = \sin^{-1}(h_h / l_e) \quad (\text{Lign. 3.31})$$

hvor  $h_h$  = høyden fra separatoren til havoverflaten [m]  
 $l_e$  = lengden av røret fra separatoren til havoverflaten [m]

Det er Moodys friksjonsfaktor som er benyttet i ligning (3.29).  
 Friksjonsfaktoren,  $\lambda$ , er lik, Fuchs<sup>(5)</sup>:

$$\lambda = 0.005 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{2 \cdot 10^4 \cdot \varepsilon}{D_h} + \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right] \quad (\text{Lign. 3.32})$$

hvor  $Re$  = Reynoldstall []  
 $D_h$  = hydraulisk diameter [m], lik indre diameter i rør  
 $\varepsilon$  = rørets ruhet [m]

Reynoldstall er lik, Geankoplis<sup>(3)</sup>:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Lign. 3.33})$$

hvor  $\mu$  = viskositet [Pa s]

Viskositeten er antatt konstant.

Massebalansen ved forflytning av masse i z-retning, Geankoplis<sup>(3)</sup>:

akkumulert masse = masse inn – masse ut

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho \cdot v_z)}{\partial z} \quad (\text{Lign. 3.34})$$

som er lik:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho \cdot v_z)}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial \rho} \quad (\text{Lign. 3.35})$$

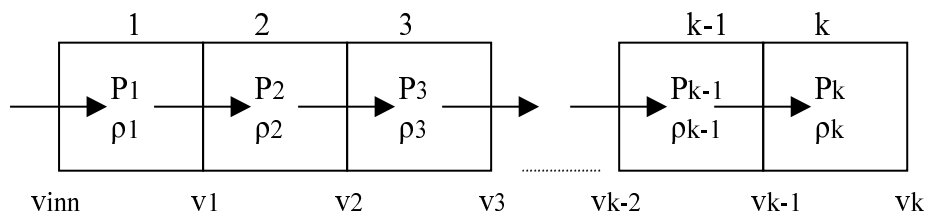
### 3.4.1 Gassrøret

Impulsbalansen for gassen:

$$\frac{\partial(\rho_g \cdot v_1)}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho_g \cdot v_1^2)}{\partial z} - \frac{\partial p_1}{\partial z} - 0.5 \cdot \lambda_g \cdot \rho_g \cdot v_1^2 \cdot \frac{1}{D_1} - \rho_g \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Lign. 3.36})$$

hvor  $v_1$  = hastigheten i gassrøret [m/s]  
 $p_1$  = trykket i gassrøret [Pa]  
 $D_1$  = diameteren av gassrøret [m]

Det er antatt at røret er delt inn i k antall blokker. I hver blokk blir trykket og tettheten regnet ut, mens hastighetene ligger på grensesnittet mellom hver blokk, se Figur 3.4.



Figur 3.4 Diskretisert rør

Ved diskretisering blir den partielle differensial ligningen (3.36) lik:

$$\frac{\partial(\rho_g \cdot v_1)_k}{\partial t} = \frac{(\rho_g \cdot v_1^2)_{k-1} - (\rho_g \cdot v_1^2)_k + (p_1)_k - (p_1)_{k+1}}{dz} - 0.5 \cdot \lambda_g \cdot (\rho_g \cdot v_1^2)_k \cdot \frac{1}{D_1} - (\rho_g)_k \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Lign. 3.37})$$

hvor  $dz$  = lengde av blokk [m]

Det er denne ligningen som blir brukt for å finne hastighetene i gassrøret.

Massebalansen for gassen i strømningsretningen:

$$\frac{\partial p_1}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho_g \cdot v_1)}{\partial z} \cdot \frac{\partial p_1}{\partial \rho_g} \quad (\text{Lign. 3.38})$$

Tilstandsligningen (3.11) ved konstant temperatur gir:

$$\frac{\partial p_1}{\partial \rho_g} = \frac{z \cdot R \cdot T}{M} \quad (\text{Lign. 3.39})$$

Ligning (3.39) satt inn i ligning (3.38) gir massebalansen til gassen:

$$\frac{\partial p_1}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho_g \cdot v_1)}{\partial z} \cdot \frac{z \cdot R \cdot T}{M} \quad (\text{Lign. 3.40})$$

Ved diskretisering blir den partielle differensialligningen (3.40) lik:

$$\frac{\partial(p_1)_k}{\partial t} = \frac{(\rho_g \cdot v_1)_{k-1} - (\rho_g \cdot v_1)_k}{\Delta z} \cdot \frac{z \cdot R \cdot T}{M} \quad (\text{Lign. 3.41})$$

Det er denne ligningen som blir brukt for å finne trykkene i gassrøret.

Trykket ved utløpet av røret er antatt konstant og blir brukt som grensebetingelse ved utløpet av røret.

Det er antatt at trykket i røret er lineært synkende initielt. Ventilligningen (3.56) blir brukt for å regne ut trykket ved inngangen til røret initielt. Det er antatt at mengde gass inn i separatorene er lik mengde gass ut.

For beregning av tettheten til gassen blir tilstandsligningen (3.11) brukt:

$$(\rho_g)_k = \frac{(p_1)_k \cdot M}{z \cdot R \cdot T} \quad (\text{Lign. 3.42})$$

Impulsen ut av gassventilen brukes som grensebetingelse ved innløpet til røret:

$$(v_1 \cdot \rho_g)_{\text{inn}} = \frac{4 \cdot w_{g,\text{ut}}}{\pi \cdot D_1^2} \quad (\text{Lign. 3.43})$$

hvor  $w_{g,\text{ut}}$  = gassmengde ut av separatortanken [kg/s]

Det er antatt at impulsen av gassen,  $v_1 \cdot \rho_g$ , i røret er lik gjennom hele røret initielt.

### 3.4.2 Oljerøret

Impulsbalansen for oljen:

$$\frac{\partial v_2}{\partial t} = - \frac{\partial(v_2^2)}{\partial z} - \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p_3}{\partial z} - 0.5 \cdot \lambda_o \cdot v_2^2 \cdot \frac{1}{D_2} - g \cdot \sin(\alpha) \quad (\text{Lign. 3.44})$$

hvor  $v_2$  = hastigheten i oljerøret [m/s]  
 $p_3$  = trykket i oljerøret [Pa]



$D_2 =$  diameteren av oljerøret [m]

Det er antatt at røret er delt inn i  $k$  antall blokker. I hver blokk blir trykket regnet ut, hastighetene ligger på grensesnittet mellom hver blokk, mens tettheten er konstant gjennom hele røret. Dette vil nesten være det samme som for gassrøret, se Figur 3.4.

Ved diskretisering blir den partielle differensial ligningen (3.44) lik:

$$\frac{\partial(v_2)_k}{\partial t} = \frac{(v_2^2)_{k-1} - (v_2^2)_k}{dz} + \frac{1}{\rho_o} \cdot \frac{(p_3)_k - (p_3)_{k+1}}{dz} - 0.5 \cdot \lambda_o \cdot (v_2)_k^2 \cdot \frac{1}{D_2} - g \cdot \sin(\alpha)$$

*(Lign. 3.45)*

Det er denne ligningen som blir brukt for å finne hastighetene i oljerøret.

Massebalansen for oljen i strømningsretningen:

$$\frac{\partial p_3}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho_o \cdot v_2)}{\partial z} \cdot \frac{\partial p_3}{\partial \rho_o}$$

*(Lign. 3.46)*

Lydhastigheten,  $c$ , White<sup>(4)</sup>:

$$c = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_s} = \sqrt{\left(\frac{c_p}{c_v}\right)\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_T}$$

*(Lign. 3.47)*

hvor  $c_p =$  varmekapasitet ved konstant trykk [kJ/kg K]  
 $c_v =$  varmekapasitet ved konstant volum [J/kg K]

som satt inn i ligning (3.46) gir:

$$\frac{\partial p_3}{\partial t} = -c^2 \frac{\partial(\rho_o \cdot v_2)}{\partial z}$$

*(Lign. 3.48)*

Ved diskretisering blir den partielle differensialligningen (3.48) lik:

$$\frac{\partial(p_3)_k}{\partial t} = c^2 \cdot \rho_o \frac{(v_2)_{k-1} - (v_2)_k}{\partial z}$$

*(Lign. 3.49)*

Lydhastigheten er antatt konstant.

Det er denne ligningen som blir brukt for å finne trykkene i oljerøret.

Trykket ved utløpet av røret er antatt konstant og blir brukt som grensebetingelse ved utløpet av røret.

Det er antatt at trykket i røret er lineært synkende initielt. Initielt blir trykket ved inngangen til røret regnet ut fra ventilligningen (3.52), hvor det er antatt at mengde olje inn i separatoren er lik mengde olje ut.

Hastigheten ut av oljeventilen blir benyttet som grensebetingelse for innløpet til oljerøret:

$$v_2 = \frac{4 \cdot q_{o,ut}}{\pi \cdot D_2^2} \quad (\text{Lign. 3.50})$$

hvor  $q_{o,ut}$  = volumstrøm olje ut av separator [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Initielt er hastigheten i røret antatt lik gjennom hele røret. Det er antatt at mengde olje inn i separatoren er lik mengde olje ut.

### 3.5 MODELLERING AV VENTILENE

Ventiler er brukt som pådragsorganer for regulering av trykket og totalnivået av væske i separatortanken.

#### 3.5.1 Oljeventil

Ventilligning for en inkompressibel væske, Nordgård<sup>(1)</sup>:

$$q = C_v \cdot f(u) \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad (\text{Lign. 3.51})$$

hvor  $C_v$  = ventilkoeffisient [ $\text{m}^2$ ]  
 $f(u)$  = strømningskarakteristikk []  
 $u$  = pådragssignal fra regulator []  
 $\Delta p$  = trykktap over ventil [Pa]

Ventilligning for oljen i systemet:

$$q_o = C_{v,o} \cdot f(u) \cdot \sqrt{\frac{p_3 - p_2}{\rho_o}} \quad (\text{Lign. 3.52})$$

hvor  $p_3$  = trykk ved utgangen av oljeventil [Pa]  
 $p_2$  = trykk ved inngangen til oljeventil [Pa]

Det er antatt at trykket ved inngangen til ventilen,  $p_2$ , kun er avhengig av væskehøyden og trykket i tanken. Det er sett bort fra friksjon i røret før ventilen:

$$p_2 = p + \rho_o \cdot g \cdot h \quad (\text{Lign. 3.53})$$

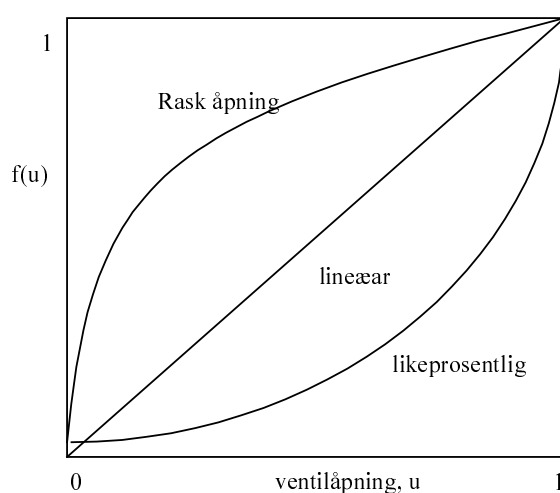
hvor  $p$  = gasstrykket i separatoren [Pa]

Hvis det blir benyttet en separatortank uten skillevegg blir ikke tettheten i ligning (3.53) helt riktig. Dette kommer av at væskehøyden vil da bestå av både olje og vann. Det er antatt at tettheten er lik tettheten til oljen uansett om det blir benyttet en separator med eller uten skillevegg.

Spesifisering av ventilstørrelsen avhenger av strømningskarakteristikken,  $f(u)$ . Tre karakterstikker er vanlig å benytte, Seborg<sup>(2)</sup>:

Lineær:  $f(u) = u$   
 Rask åpning:  $f(u) = \sqrt{u}$   
 Likeprosentlig:  $f(u) = R^{u-1}$

Figur 3.5 viser de tre ventilkarakteristikkene.



Figur 3.5 Ventilkarakteristikk

Det er lagt inn at man kan velge om man ønsker lineær eller likeprosentlig ventilkarakteristikk.

### 3.5.2 Gassventil

Ventilligning for strømning av gass, Nordgård<sup>(1)</sup>:

$$w = C_v \cdot f(u) \cdot Y \cdot \sqrt{\Delta p \cdot \rho} \quad (\text{Lign. 3.54})$$

hvor  $Y$  = ekspansjonsfaktor []  
 $p_1$  = trykket ved utgangen av gassventilen [Pa]

Ekspansjonsfaktor,  $Y$ , Nordgård<sup>(1)</sup>:

$$Y = 1 - \frac{1}{3 \cdot \frac{\kappa_{\text{fluid}}}{\kappa_{\text{luft}}}} \cdot \frac{x}{x_{\text{TP}}} \quad (\text{Lign. 3.55})$$

hvor  $\kappa$  = adiabatekspONENTEN og lik  $c_p/c_v$  []  
 $x = (p-p_1)/p$  = trykkfallsforhold []  
 $x_{\text{TP}}$  = kritiske trykkfallsforhold []

Det er antatt at  $Y$  er lik konstant. AdiabatekspONENTENE vil være konstante, samtidig som  $x/x_{\text{TP}}$  kun vil variere fra null til en.

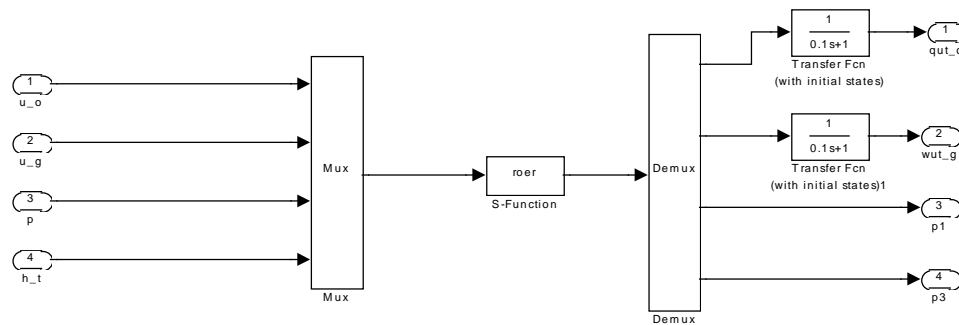
Ventilligning for gassen i systemet:

$$w_g = C_{v,g} \cdot f(u) \cdot Y \cdot \sqrt{(p-p_1) \cdot \rho_g} \quad (\text{Lign. 3.56})$$

Det er også mulig å velge mellom lineær eller likeprosentlig ventil ved regulering av trykket i tanken.

## 3.6 PROGRAMMERING AV VENTILENE OG RØRSYSTEMET

Det er i blokken "Rørene inkl. ventilene", se Figur 3.6, implementeringen av modellering av ventilene og rørene som transporterer olje og gass opp til havoverflaten blir lagt. Selve programmeringen av ligningene er gjort i Matlab, i programmet "momentbal", se bilag D.



Figur 3.6 Rørene inkludert ventilene

Blokken har de fire inngangssignalene pådragene til olje- og gassventilene,  $u_o$  og  $u_g$ , trykket i separatortanken,  $p$ , og totalnivået av væske i tanken,  $h_t$ . Disse signalene blir samlet i en vektor og ført inn i S-funksjonsboksen. S-funksjonen "roer", se bilag C, fungerer på samme måte som S-funksjonen "tank", men henter data fra funksjonen "momentbal".

Ut fra S-funksjonsboksen kommer trykkene etter gassventilen,  $p_1$ , og oljeventilen,  $p_3$ , massestrømmen av gass som går ut av separatortanken,  $wut_g$ , og volumstrømmen av olje som går ut av separatortanken,  $qut_o$ . Disse blir splittet i en Demux boks. Det er satt inn transferfunksjoner med initielle tilstander slik at volumstrømmen av olje og massestrømmen av gass har en tidsforsinkelse på 0,1 sekund. Grunnen til at det er satt inn slike transferfunksjoner er for å unngå at det dannes en algebraisk loop, som er meget uheldig. En tidsforsinkelse på 0,1 sekund vil ikke ha en stor innvirkning på resultatene. Ved å sette inn transferfunksjon med initiell tilstand klarer man å få det til å strømme olje og gass ut av separatoren ved oppstart.

### 3.7 VANNPUMPE

Pumpe er brukt som pådragsorgan for regulering av vannnivået i separatortanken.

I følge Nordgård<sup>(1)</sup> er det en lineær sammenheng mellom innsignalet fra regulatoren og turtallet. Det er også en lineær sammenheng mellom turtallet og volumstrømmen, hvilket betyr at det er en lineær sammenheng mellom innsignalet og volumstrømmen. Denne sammenhengen er benyttet. Men i følge Nordgård<sup>(1)</sup> strømmer det vann ut av pumpa i det pumpa starter. Her er det satt en begrensning slik at turtallet må være 50 prosent før pumpa klarer å pumpe ut væske. Ved maksimal væskestrøm vil turtallet være lik hundre prosent.

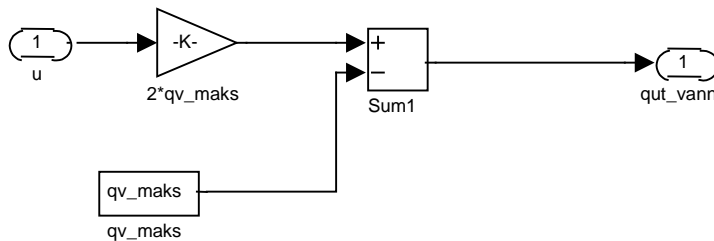
Pumpeligningen for vannet i systemet blir lik:

$$q_{ut,v} = 2 \cdot q_{v,maks} \cdot u_v - q_{v,maks} \quad (\text{Lign. 3.57})$$

hvor  $q_{v,maks}$  = maksimal væskestrøm [ $m^3/s$ ]

Pumpa vil klare å jobbe opp til 110 prosent turtall. Pumpa er skalert slik at pådragssignalet fra regulatoren,  $u$ , ligger mellom 0 og 1,1.

Det er i blokken ”vannpumpe” programmeringen av vannpumpeligningen er gjort, se Figur 3.7.

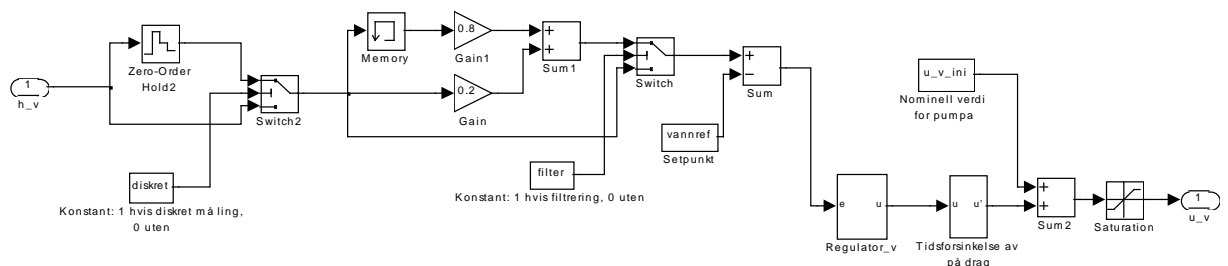


Figur 3.7 Vannpumpe

Inngangssignalet til blokken er pådraget fra regulatoren,  $u$ , mens utgangen er volumstrømmen av vann som forlater separatoren.

### 3.8 REGULERING OG BEHANDLING AV MÅLESIGNALER

Blokkene ”Behandling og regulering av totalnivået”, ”Behandling og regulering av trykket” og ”Behandling og regulering av vannnivået” behandler målingene av totalnivået av væske, trykket og vannnivået i separatortanken. Modelleringen og programmeringen er gjort på samme måte, og blir derfor bli beskrevet under samme kapittel. Figur 3.8 viser blokken ”Behandling og regulering av vannnivået”.



Figur 3.8 Behandling og regulering av vannnivået

Inngangene til blokkene er henholdsvis totalnivået av væske,  $h_t$ , trykket,  $p$ , og vannnivået,  $h_v$  i separatoren. Målingene kommer fra ”Tank” blokken.

Zero-Order Hold elementene simulerer at måleinstrumentene ikke er kontinuerlig i tid. Ved valg av diskret måling sender Switch boksene målingene videre med en samplingstid angitt etter eget ønske. Ved valg av kontinuerlig måling sender Switch boksene målingene ubehandlet videre.

Filtrering av målesignal skal forhindre at støy eller enkeltutslag som har stort avvik fra setpunkt skal ha stor innvirkning. Målesignalet ved filtrering består 20 prosent av ny måling og 80 prosent av forrige måling. Filtrering av målesignalene:

$$\text{Måling} = \text{ny\_måling} \cdot 0,2 + \text{forrige\_måling} \cdot 0,8 \quad (\text{Lign. 3.58})$$

Ved filtrering vil hver måling få en tidsforsinkelse på et steg. Dette vil likevel ikke ha stor innvirkning på reguleringen selv om det viser seg at avvik i måling skyldes en slugg eller endring i brønnstrøm, og foretak bør igangsettes.

Ved valg av ikke å filtrere målingene går totalnivået, trykket og vannivået videre ubehandlet gjennom den andre Switch boksen.

Etter den andre Switch boksen blir målesignalene sammenlignet med setpunktene. Setpunktene blir trukket fra og avvikene funnet. Disse avvikene går videre inn i hver sin regulator, se kapittel 3.8.1, som vil gi pådragssignalene til pådragsorganene.

Ventilene og pumpa har tidsforsinkelse, se kapittel 3.8.2. Disse tidsforsinkelsene er satt inn etter regulatorene, slik at det er pådragene som får en tidsforsinkelse. Dette gir samme effekt. Grunnen til at tidsforsinkelsene er satt inn i disse blokkene, og ikke lagt inn under programmering av ventiler og vannpumpe, er at det ved start av simuleringen vil være en gitt åpning av ventilene og pumpa vil ha et gitt turtall. Hvis tidsforsinkelsene ble satt etter hvordan ventilene og pumpa skal være ved start, ville pådragene fått en tidsforsinkelse, og pumpa og ventilene ville være stengt ved start.

Hver simulering starter i null slik at ventilene er stengt og pumpa har ikke noe turtall. Dette gir utslag i at separatorene ikke vil ha strømming ut før avviket i målingene forekommer og regulatoren starter. Modellen vil svinge seg inn til stasjonær tilstand. For å kompensere for denne effekten er pådragssignalene fra regulatorene kun en endring fra nominell verdi. Den nominelle verdien som antas inntreffer ved stasjonær tilstand blir lagt til endringen av pådragene som regulatorene sender ut.

Ventilene og pumpa er skalert slik at pådragssignalene,  $u$ , ligger mellom 0 og 1. Det er derfor lagt inn metningsbokser som begrenser pådragssignalene. Metningsboksene for ventilene ligger mellom 0 og 1, mens pumpa vil klare et turtall lik 110 prosent, og ligger derfor mellom 0 og 1,1.

Utgangssignalet fra blokkene er pådragssignalene til olje- og gassventilen, henholdsvis  $u_o$  og  $u_g$ , og pådragssignalet til vannpumpe,  $u_v$ .

### 3.8.1 Regulator

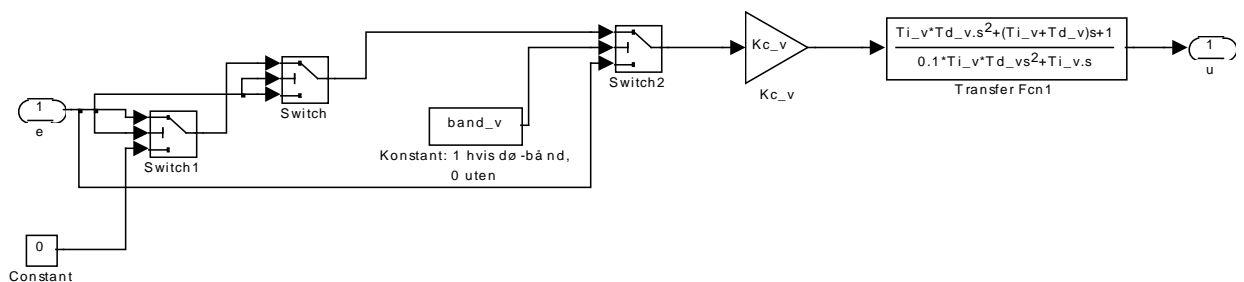
Modellering og programmering av regulatorene for henholdsvis trykket, vannivået, og totalnivået av væske i separatorene er gjort på samme måte. Det er benyttet en kommersiell PID regulator.

For en ideell PID regulator er det fysisk umulig å få ideell derivat virkning. Kommersielle regulatorer approksimerer den ideelle virkningen ved å benytte transferfunksjon på denne formen, Seborg<sup>(2)</sup>:

$$h(s) = K_c \left( \frac{\tau_I s + 1}{\tau_I s} \right) \left( \frac{\tau_D s + 1}{\alpha \tau_D s + 1} \right) = K_c \left( \frac{\tau_I \tau_D s^2 + (\tau_I + \tau_D) s + 1}{\alpha \tau_I \tau_D s + \tau_I s} \right) \quad (\text{Lign. 3.59})$$

hvor  $\alpha$  er et lite tall, typisk mellom 0.05 og 0.2. Den er her satt til 0.1.

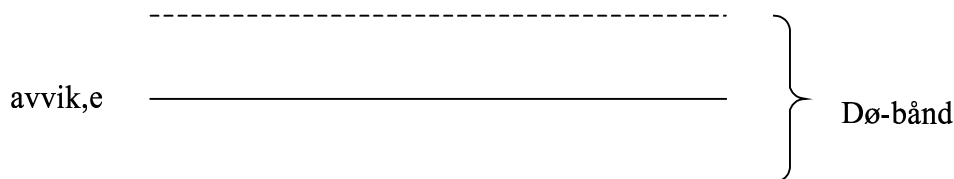
Det er i blokkene "regulator\_v", "regulator\_o" og "regulator\_g" programmeringen av regulatorene er gjort. Figur 3.9 viser blokken "regulator\_v".



Figur 3.9 Regulator for vannivået

Det er lagt inn dø-bånd på regulatorene slik at ikke ventilene og pumpe skal jobbe hvis ikke avviket ligger utenfor dø-båndet. Ventilene og pumpe vil stå på havbunnen slik at tilgang til aktuator vil være begrenset. Det vil derfor være uheldig om pådragsorganene jobber for mye.

Dø-båndet ser slik ut:



Programmeringen av dø-båndet består av to Switch bokser. Den første boksen sammenligner avviket med øvre grense på dø-båndet. Hvis avviket er større enn øvre grense sender Switch boksen avviket videre. Hvis avviket ligger under øvre grense sender Switch boksen null videre. Neste boks sammenligner avviket med nedre grense på dø-båndet. Hvis avviket er mindre enn nedre grense, sender Switch boksen avviket videre. Hvis avviket er større enn nedre grense sender Switch boksen videre signalet som kom fra den første Switch boksen.

Avviket blir så sendt videre inn i regulatoren som finner pådraget,  $u$ . Pådragssignalene,  $u$ , er utgangssignalet fra regulator blokkene.



En ulempe med integral virkningen i en regulator er fenomenet ”reset windup”. Det fremkommer ved at integral delen i regulatoren forandrer pådraget så lenge det er avvik fra setpunkt. Når et avvik forsetter å vedvare blir integral delen enorm stor, og pådraget går i metning. Pådraget forsetter likevel å øke over de fysiske metningsgrensene på grunn av integralvirkningen. Dette kan føre til at pådraget holder seg stor i unødige lang tid, og at resultatet kan bli langvarig oversving i prosessens respons. ”Reset windup” kan forekomme ved oppstart eller ved stor forandring av setpunkt.

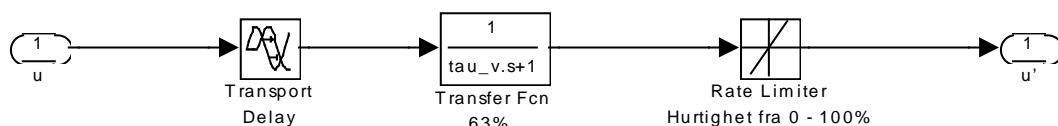
Kommersielle regulatorer er bygd for å forhindre ”reset windup”. De er bygd slik at når pådraget går i metning vil integralvirkningen i regulatoren slås av. Uttestengelsen av integralvirkningen vil vedvare inntil pådraget er ute av metning.

Regulatorene som er modellert inn her har ikke en ”anti reset windup” virkning. Det vil si at det er viktig å tune regulatorene slik at de ikke går i metning. Det skal likevel ikke være et stor problem, da modellen ikke skal simulere enn oppstart, ei heller skal setpunkt endres under en simulering.

### 3.8.2 Tidsforsinkelse

Ventilene og pumpa har tidsforsinkelse. Forsinkelsene er tidsforsinkelse fra pådragsorganene får signalet til det responderer, tidsforsinkelse som gir hvor lang tid pådragsorganene bruker på å nå 63 prosent av endringen den skal utføre, og tidsforsinkelse på hvor hurtig pådragsorganene kan åpne seg fra stengt til åpen stilling.

Det er lagt inn lik tidsforsinkelse for ventilene og pumpa. Grunnen til at tidsforsinkelsene er lagt etter regulatoren og ikke under pådragsorganene kommer av at i det man starter en simulering vil strømming ut av separatorene være lik null. Hvis pådragssignalet, som skal være nominell ved start, må gå gjennom tidsforsinkelsene før den når hvor mye som skal gå ut av separatorene ved start, som vil være like mye som går inn, vil ikke separatorene være i tilnærmet stasjonær tilstand ved start. Pådragssinglet som gir strømming ut av separatorene vil måtte bruke tid på å nå nominell verdi. Figur 3.10 viser blokken ”tidsforsinkelse av pådrag”.



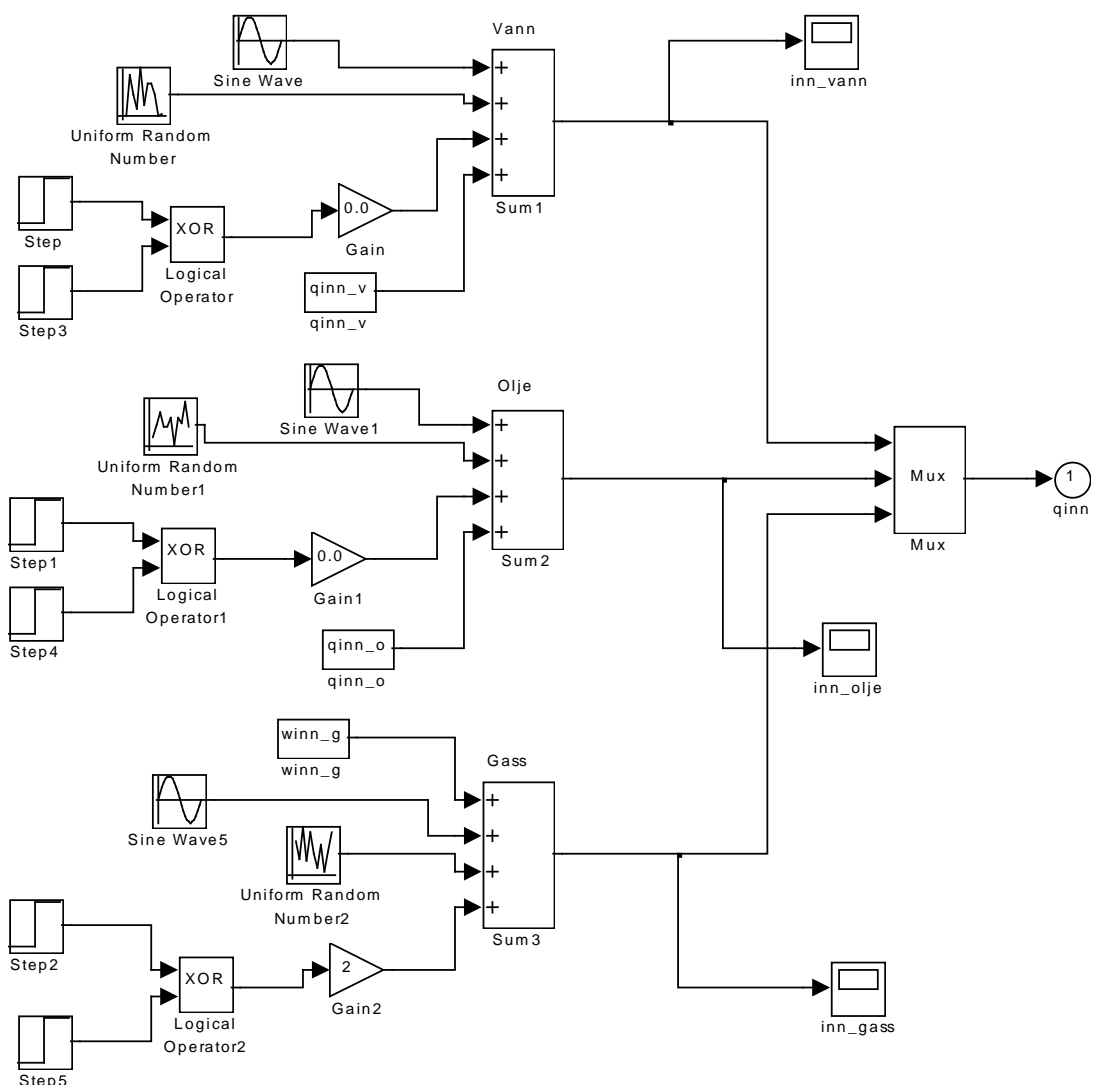
Figur 3.10 Tidsforsinkelse av pådrag

Pådragssignalet,  $u$ , fra regulatoren er inngangssignalet til blokken. Først går pådragssignalet gjennom boksen som gir transport forsinkelse, deretter går  $u$  gjennom

transferfunksjonen som gir tidsforsinkelsen på hvor lang tid pådraget bruker på å nå 63 prosent av forandringen. Til sist går signalet gjennom en boks som gir begrensningen på hvor hurtig ventilen kan åpne/lukke seg.

### 3.9 INNSTRØMMENE TIL SEPARATOREN

Blokken "Innstrøm" gir brønnstrømmen til separatoren, se Figur 3.11. Blokken er maskert slik at de brønnstrømmene som blir lagt inn ved å dobbeltklikke på blokken, er de stabile strømmene av olje, vann og gass. Hvis man ønsker støy på strømmene, ønsker at strømmene skal svinge, eller ønsker å simulere en slugg må man åpne blokken. Det er lagt inn at man kan legge på sinus strømmer, støy på strømmer, og slugg i en strøm. Disse strømmene vil bli lagt på den stabile brønnstrømmen.



Figur 3.11 Innstrømmer

Strømmene til olje, vann og gass blir samlet i en Mux boks som sender alle signalene ut av blokken.

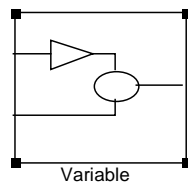
Om ønske er det fullt mulig å endre brønnstrømmen på andre måter. Det er blant annet mulig å lagre reelle, målte data og legge disse inn i en fil og bruke de som innstrømning til separatoren.

### 3.10 INPUT\_VERDIER

Ved maskering av en blokk kan man bare opprette et visst antall variable som man kan benytte i undersystemet. Det er ikke mulig å benytte de definerte variable i andre undersystemer. Programmeringen av separatortanken og rørene med ventiler ble gjort i Matlab. Disse funksjonene trenger mange variable, flere enn det er mulig å lage ved maskering. I tillegg er det flere av variablene som blir benyttet i flere av funksjonene. Derfor ble det laget et eget Simulink program som gjør variablene globale slik at de kan brukes under alle funksjoner i Matlab.

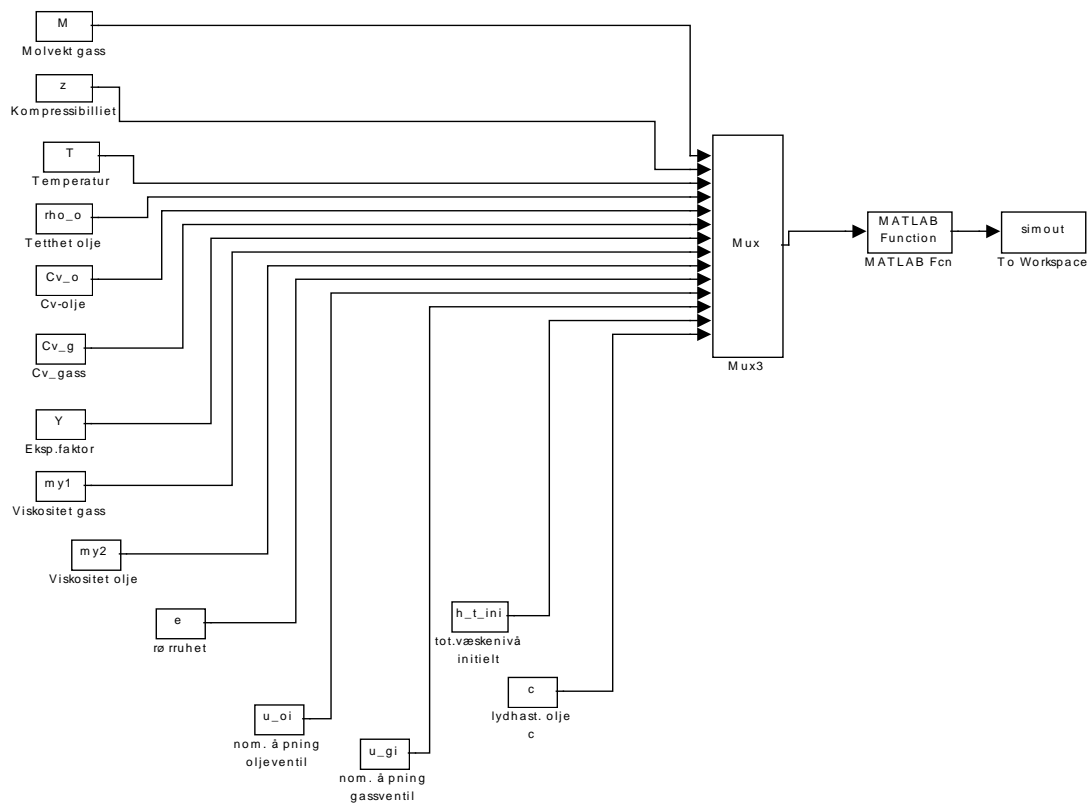
Input\_verdier er et slikt Simulink program. Det hører sammen med selve Simulink programmet Undervannssep. Input\_verdier er kun et program hvor man legger inn ulike variable. Ved å kjøre programmet blir variablene gjort globale.

Input\_verdier består kun av en blokk, se Figur 3.12.



Figur 3.12 Input verdier

I blokken "Variable", se Figur 3.13, blir de definerte variablene til blokka samlet i en vektor i Mux boksen og sendt inn til Matlab programmet "lage\_globale", se bilag E. Funksjonen "lage\_globale" legger alle variablene globale, slik at de kan hentes inn til alle Matlab funksjoner. Til sist blir alle variablene sendt inn i en boks som sender variablene til Matlabs arbeidsområde.



Figur 3.13 Variable

Grunnen til at Input\_verdier ble laget som et eget program og ikke lagt inn under Undervannssep, er at funksjonene i Matlab som benytter variablene trenger variablene initielt. Hvis variablene ble lagt inn i Undervannssep og gjort globale likt med man startet simuleringen, vil dette være for sent for funksjonene som er programmert. Det er derfor viktig at Input\_verdier blir kjørt før en simulering av Undervannssep skal utføres. Det er faktisk umulig å kjøre en simulering uten at Input\_verdier er kjørt i forkant.

## 4 DYNAMIKK FOR UNDERVANNS PROSESSANLEGG

Det ble tatt utgangspunkt i det reelle oljefeltet Gjøa for å se på dynamikken til et undervanns prosessanlegg. Det ble antatt at et prosessanlegg ble installert i forbindelse med feltet. Det ble simulert ulike caser hvor forskjellige parametre ble forandret for å se hvordan systemet oppførte seg.

Brønndata fra Gjøa feltet er gitt i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Brønndata fra Gjøa feltet

Trykk [bar]	74
Temperatur [deg.C]	63
Volumstrøm olje [m <sup>3</sup> /h]	463,6
Volumstrøm vann [m <sup>3</sup> /h]	72,97
Volumstrøm gass [m <sup>3</sup> /h]	793,3
Brønnstrømkomposisjon	se bilag H
Havdybde [m]	350
Rørlengde for transport av olje [km]	15
Rørlengde for transport av gass [km]	30
Trykk ved utgangen av oljerøret, topside. [bar]	36
Trykk ved utgangen av gassrøret, topside. [bar]	32

Undervannsprosessanlegget med brønndata fra Gjøa ble simulert stasjonært i Hysys. Data fra simuleringen er gitt i Tabell 4.2 og bilag H.

Tabell 4.2 Brønnstrømdata

	Olje	Vann	Gass
Brønnstrøm*	0,129 m <sup>3</sup> /s	0,0231 m <sup>3</sup> /s	13,26 kg/s
Tetthet [kg/m <sup>3</sup> ]	791,9	1000	60,1
Viskositet [cP]	0,6639	0,4426	0,01451
Molvekt	117,9	18,02	20,10

\* Ved maksimal oljeproduksjon

Dimensjonering av separatoren ut fra brønndata ble gjort ved å benytte et internt FMC Kongsberg Subsea program<sup>(8)</sup>. Oppholdstiden for olje og vann ble antatt å være tre minutter i separatoren, og maksimal væskehøyde ble satt til 75 prosent av separatordiameteren. Separatoren ble en separator med skillevegg, se Tabell 4.3.

Tabell 4.3 Separatordimensjoner

Separatorlengde oppstrøms skilleplate [mm]	10000
Lengde nedstrøms skilleplate [mm]	1000
Separator diameter [mm]	2800
Normalt vannnivå [mm]	890
Normalt væsknivå [mm]	1700
Plate høyde [mm]	1110

De øvrige væskennivåene er gitt i bilag F.

Vann- og totalnivået av væske ble målt med samme nivåmåler. Nivåmåleren var en diskontinuerlig måler, hvor det var en viss avstand mellom målepunktene. Hvis det er stor avstand mellom målepunktene kan det være en løsning å sette ned flere målere forskjøvet i forhold til hverandre, slik at avstanden blir redusert. Dette ble gjort her. Det ble antatt at minste oppløsning på nivåmåleren var 5.6 cm. Ved å sette ned to målere ble avstanden lik 2.8 cm. Nivåmåleren var også diskontinuerlig i tid. Det samme var trykksensoren.

Andre input verdier til simulering av et undervannsprosessanlegg tilknyttet GjØa feltet er gitt i Tabell 4.4.

Tabell 4.4 Parametere ved simulering av GjØa feltet

Gassventilkarakteristikk	Lineær
Oljeventilkarakteristikk	Lineær
Antall blokker til inndeling av oljerØret	100
Antall blokker til inndeling av gassrØret	100
Lydhastigheten til oljen, c [m/s]	1000
Kompressibilitetsfaktoren til gassen, z	0,8
Ruheten til rØrene for transport av olje og gass [m]	$4,6 \cdot 10^{(-5)}$
Cv verdi for gassventilen	0,0074
Cv verdi for oljeventilen	0,0134
Ekspansjonsfaktoren, Y, i gassventilligningen	1
Nominelt turtall pØ vannpumpa	0,6
Nominell Øpning pØ gassventilen	0,7
Nominell Øpning pØ oljeventilen	0,7
Samplingstid for nivåmØleren [s]	30
Samplingstid for trykkmØleren [s]	30
DØ-bØnd for regulering av trykket [bar]	0,3
DØ-bØnd for regulering av vannnivØet [%]	2
DØ-bØnd for regulering av totalnivØet [%]	2
Hurtigheten til gassventil, fra 0 – 100% [s]	30
Tidskonstanten til gassventil, 63% av Ønsket endring [s]	3
DØ-tiden til gassventilen [s]	3
Hurtigheten til oljeventil, fra 0 – 100% [s]	30
Tidskonstanten til oljeventil, 63% av Ønsket endring [s]	3
DØ-tiden til ventilen [s]	3
Hurtigheten til vannpumpa, fra 0 – 100% [s]	30
Tidskonstanten til vannpumpa, 63% av Ønsket endring [s]	5
DØ-tiden til vannpumpa [s]	3

#### 4.1 PRIMØRCASE

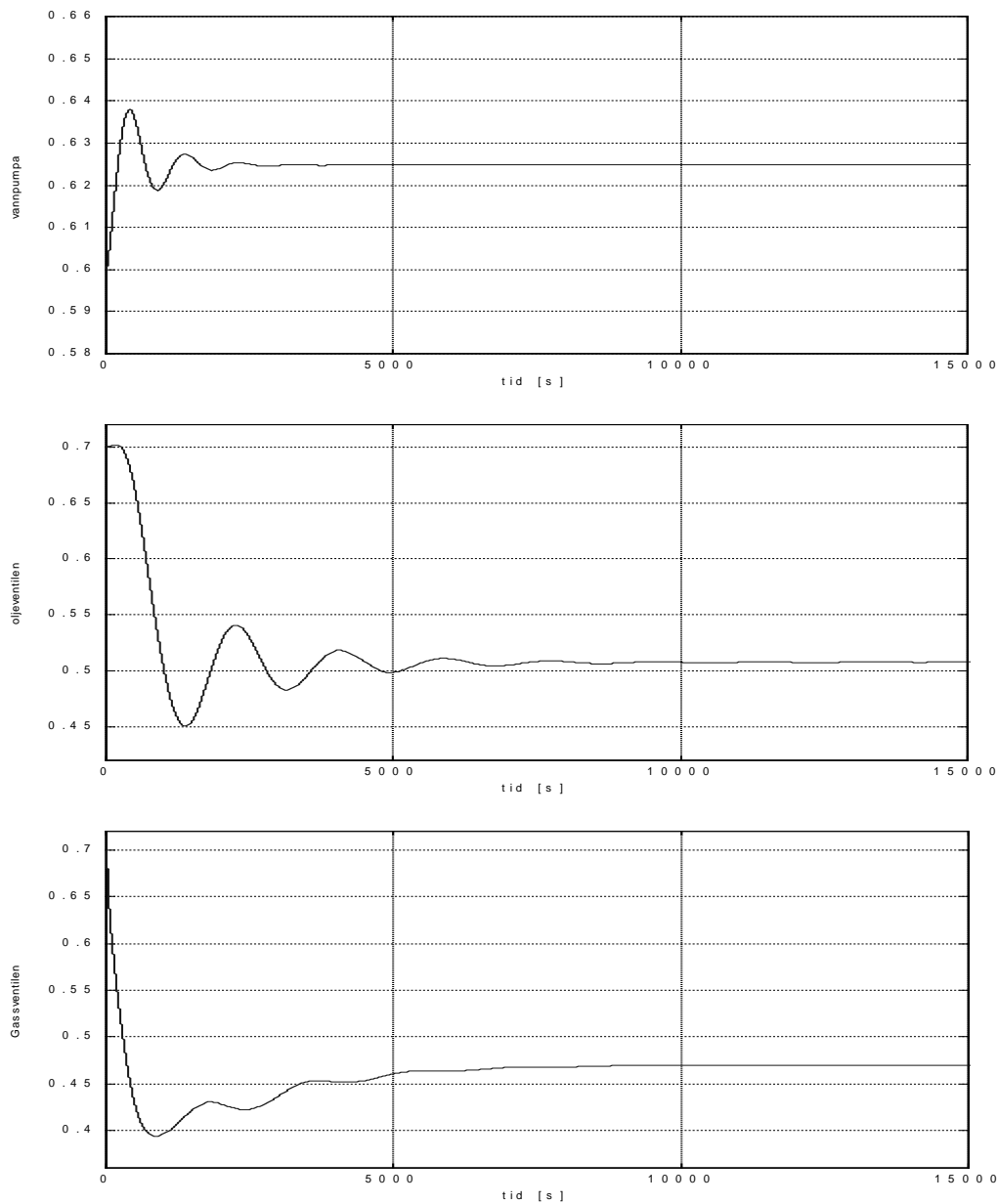
Det ble laget en case, PrimØrcase, hvor det ble antatt at nivåmØleren var kontinuerlig og at mØlingene var kontinuerlige ogsØ i tid. Det ble ikke satt pØ dØ-bØnd, ei heller

filtrering av målesignalene. Ellers ble inputverdiene til simulatoren lik de gitt over. Det ble benyttet en PI regulatoren som ble tunet som vist i Tabell 4.5.

Tabell 4.5 PI regulator

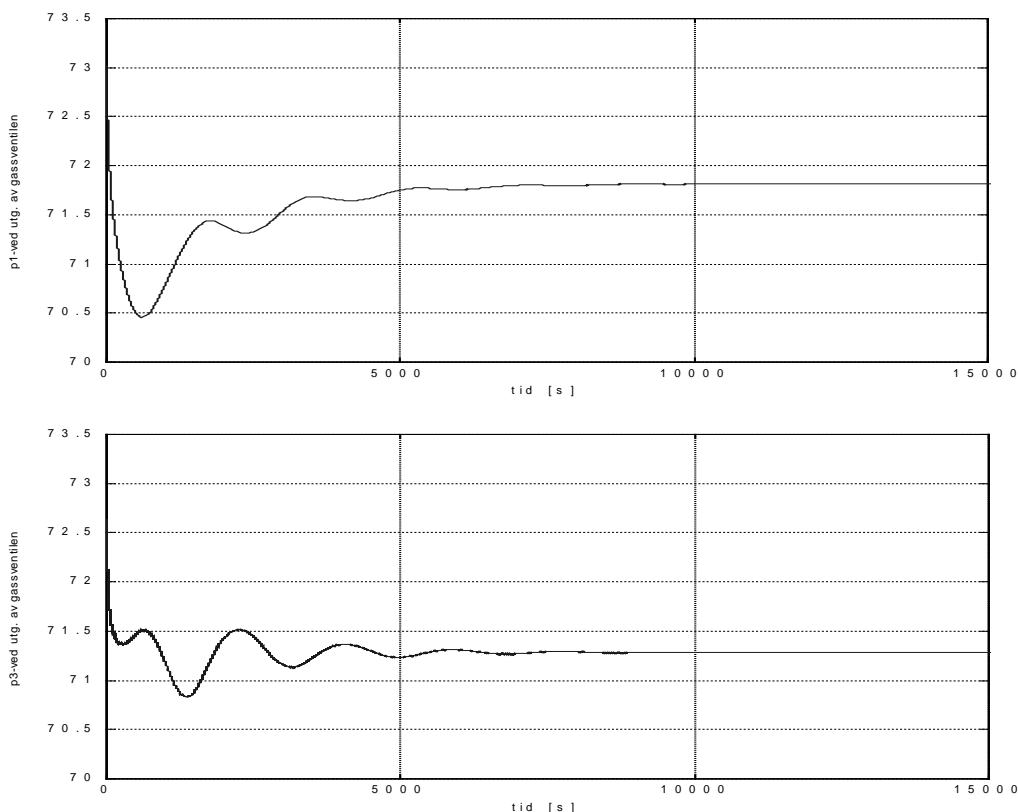
Regulering av:	Vannivået	Totalnivået av væske	Trykk
Forsterkning, $K_c$	0.5	0.7	0.07
Integraltid, $\tau_I$	80	100	180

Figur 4.1 viser hvordan olje- og gassventilen og vannpumpa arbeidet. bilag K viser hvordan totalt væskeniå, vannivået og trykket i tanken endret seg.



Figur 4.1 Pådragene til vannpumpa, oljeventilen og gassventilen

Modellen ble programmert slik at hver simulering starter ved "stasjonær tilstand". Det vil si at prosessen ikke starter med stengte ventiler og pumpe. Separatortanken har lik strøm ut som inn. Men prosessen må likevel svinge seg inn, da rørene som transporterer oljen og gassen bruker lang tid på å stabilisere seg. Det tar rundt 5000 sekunder. I tillegg må prosessen stabilisere seg da de antatte verdiene som skal være ved stasjonær tilstand ikke går å finne helt nøyaktige. Stabilisering av gassrøret ble sammenlignet med en stasjonær simulering av røret i Olga<sup>(10)</sup>, se bilag J. Den stasjonære simuleringen viser også at det tar 5000 sekunder før røret har stabilisert seg. Figur 4.2 viser hvordan trykket ved utgangen av gass- og oljeventilen, eller i starten av gass- og oljerøret, svinger seg inn og stabiliserer seg.



Figur 4.2 Trykket ved utgangen av gass- og oljeventilen

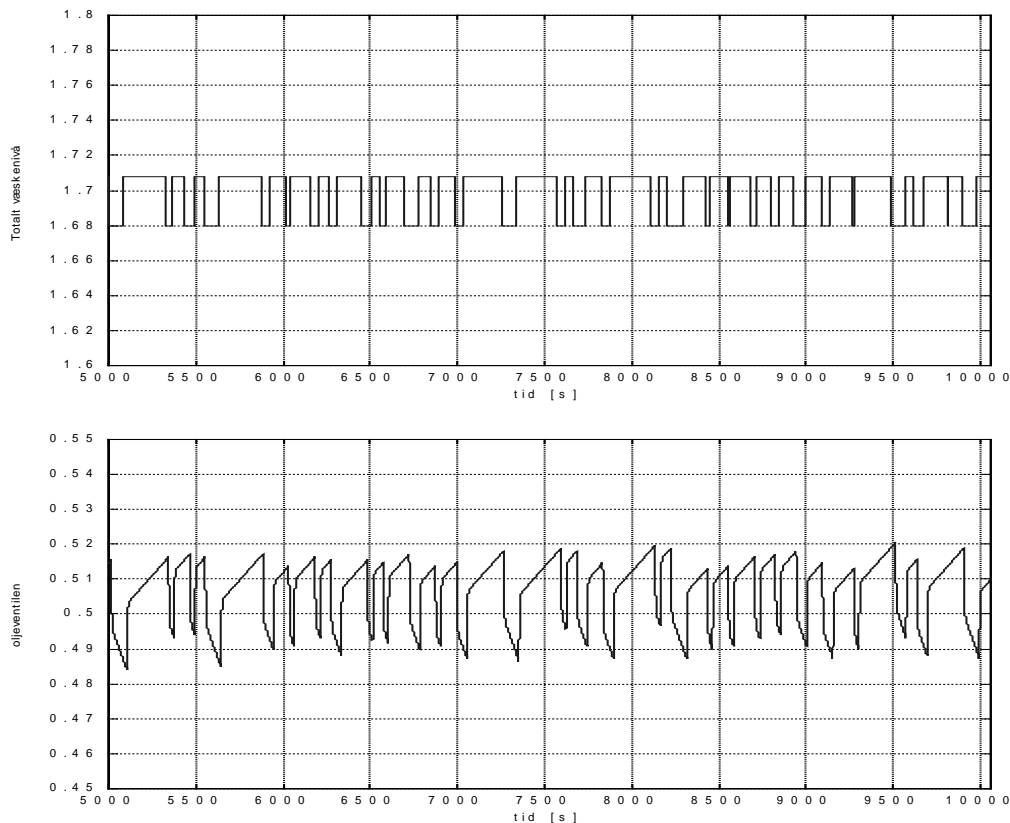
Siden rørene bruker rundt 5000 sekunder på å stabilisere seg, så er alle plott fremover kun tatt med fra 5000 sekunder og ut simuleringen. Alle forandringer som er gjort, er også utført først etter at det har stabilisert seg rundt 5000 sekunder.

## 4.2 TEST AV DISKONTINUERLIG NIVÅMÅLER

Nivåmåleren i tanken har en avstand på 2.8 cm mellom hvert målepunkt, det vil si to nivååmalere. Den skal dekke hele tanken, slik at den begynner å måle fra bunnen av separatoren og opp til toppen. Setpunkt for vannnivået og totalnivået av væske ble satt henholdsvis til 0.89 meter og 1.7 meter. De ønskede nivåene havnet derfor mellom to målepunkter. Dette førte til at det alltid var avvik fra målt til ønsket verdi, slik at



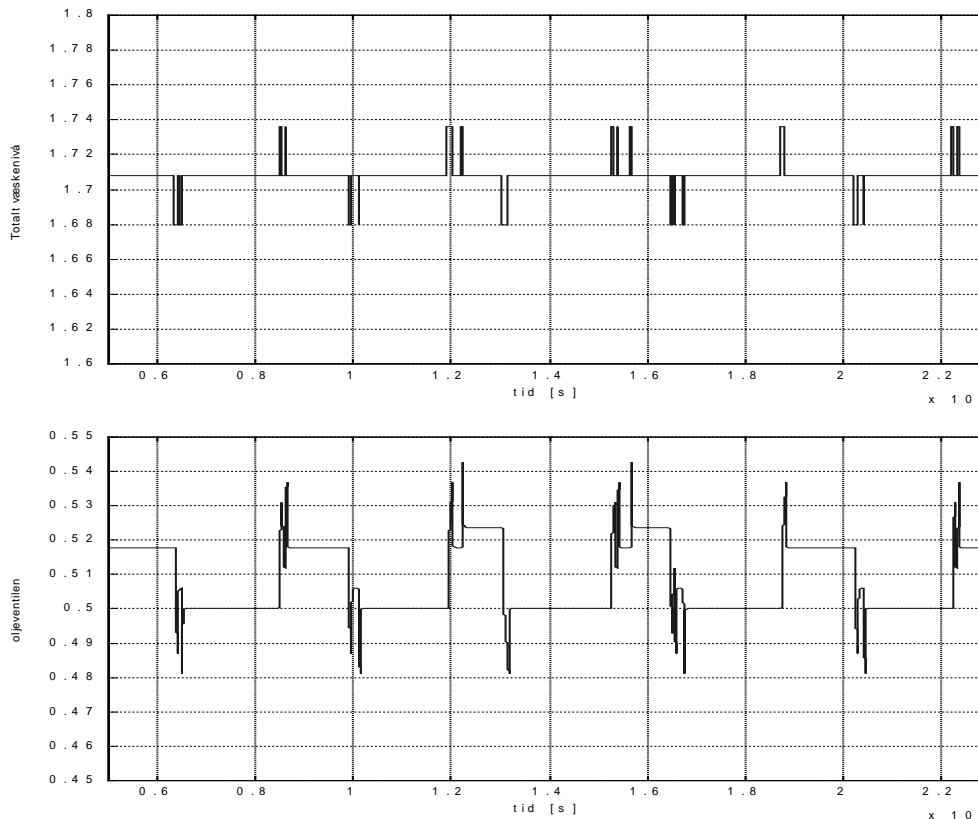
pådragsorganene og da nivåene sto og oscillerte hele tiden. Dette kommer av at, si vannivået, var for høyt i forhold til setpunkt og ventilen åpnet seg. Dette førte til at nivået sank, og da sank det til under setpunkt siden setpunktet lå mellom to målepunkter. Derfor lukket ventilen seg igjen, men da økte nivået til over setpunkt. Slik sto det og oscillerte hele tiden. Figur 4.3 viser hvordan det totale væsknivået i tanken svinger mellom 1.708 og 1.68 meter, og hvordan oljeventilen også jobber mellom 0.52 og 0.49.



Figur 4.3 Totalt væsknivå og pådraget til oljeventilen med diskret nivåmåler og uten dø-bånd

Det er derfor ikke en ønskelig situasjon da det er ønske om liten endring av pådragsorganet. En mulig løsning kan være å sette dø-bånd på reguleringen slik at det ikke reguleres hvis avviket ligger innenfor et bånd. Det vil derfor ikke være avvik selv om nivåene ikke havner på et målepunkt på nivåmåleren. Figur 4.6 viser det totale væsknivået og oljeventilen ved en slik simulering.

Et annen mulighet kan være å justere setpunktene slik at de havner på et målepunkt på nivåmåleren. Da er det ikke nødvendig å regulere med dø-bånd. Figur 4.4 viser det totale væsknivået og oljeventilen ved en simulering hvor setpunktene er endret til 0.896 og 1.708 for henholdsvis vann- og totalnivået. Det er ikke simulert med dø-bånd.



Figur 4.4 Totalt væsknivå og pådraget til oljeventilen med justert setpunkt

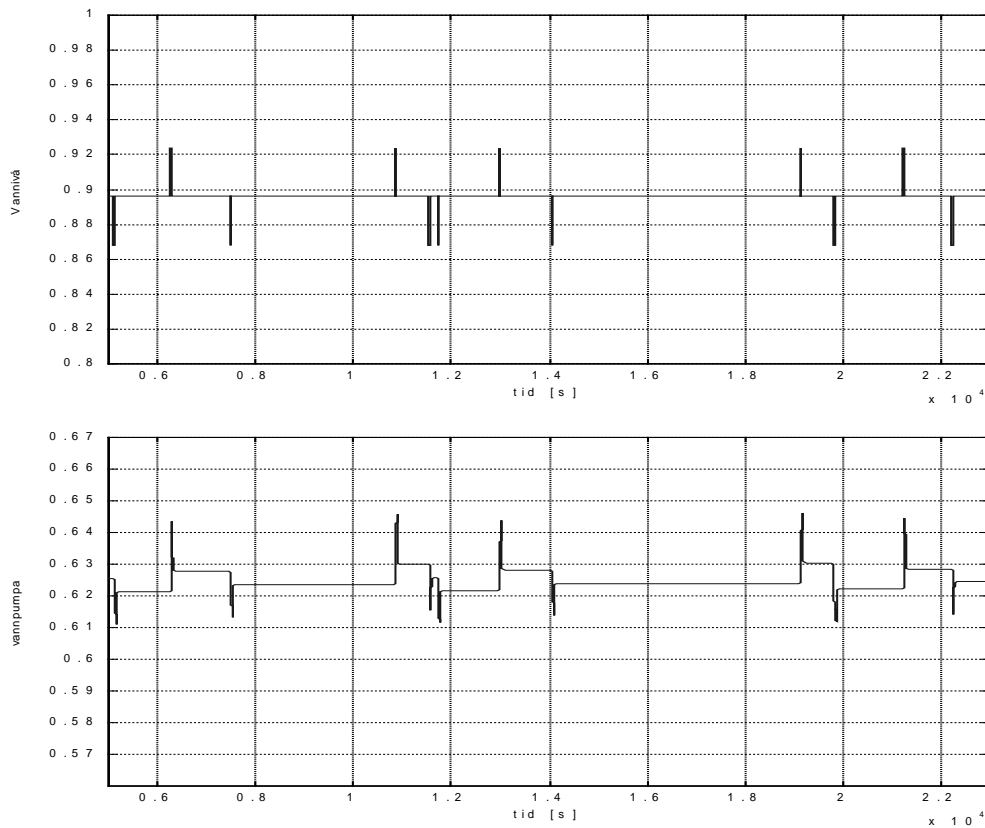
Det ble benyttet en PI regulatoren med de samme verdiene som gitt i Tabell 4.5. De andre input verdiene er også som gitt over.

### 4.3 PÅVIRKNING AV OPPLØSNING, STØRRELSE OG HURTIGHET

Det ble testet hvordan oppløsningen på nivåmåleren, separatorstørrelsen og hvor hurtig ventilen kan åpne seg fra 0 til 100 prosent innvirket på dynamikken til prosessanlegget tilknyttet Gjøa feltet. Det ble laget en hovedcase som ble benyttet som en sammenligning for å se forandringen. Det er ikke mulig å se på absoluttverdier, det blir derfor bare sett på forandring i forhold til en hovedcase.

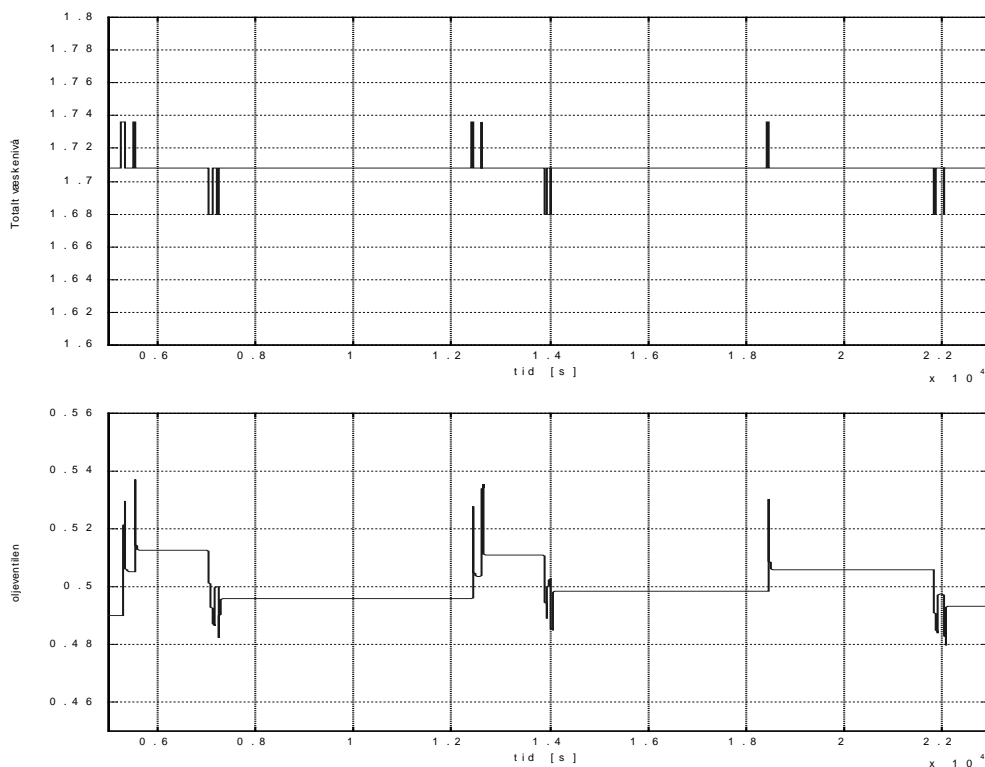
Hovedcasen hadde de samme input verdier som gitt i Tabell 4.1, Tabell 4.2, Tabell 4.4 og Tabell 4.5. Separatoren hadde også de samme dimensjonene som gitt over. Det ble antatt en nivåmåler med 2.8 cm mellom målepunktene, nivåmåleren var diskontinuerlig i tid, det var dø-bånds regulering, men målesignalene ble ikke filtrerte.

Figur 4.5 viser hvordan vannnivået og pådraget til vannpumpa forholder seg.



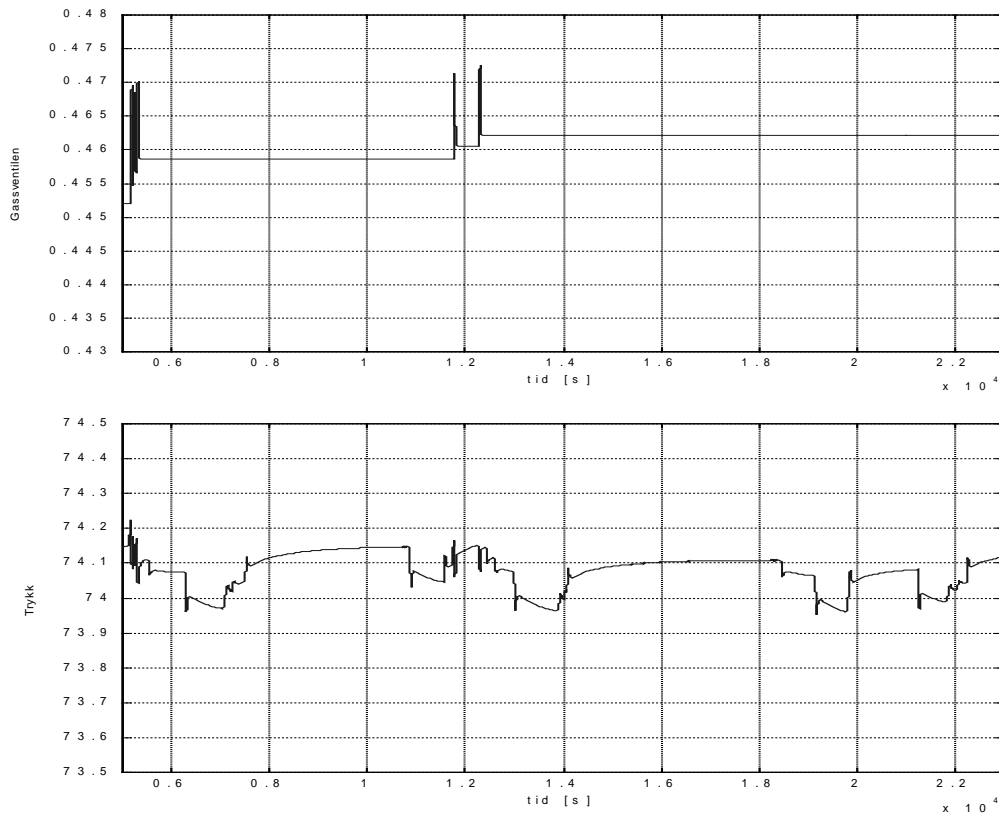
Figur 4.5 Vannivået og pådraget til vannpumpe for hovedcase

Figur 4.6 viser hvordan totalt væsknivå og pådraget til oljeventilen forholder seg.



Figur 4.6 Totalt væsknivå og pådraget til oljeventilen for hovedcase

Figur 4.7 viser hvordan trykket og pådraget til gassventilen forholder seg.



Figur 4.7 Trykket og pådraget til gassventilen for hovedcase

Nivåmåleren er som sagt diskontinuerlig og har en avstand på 2.8 cm mellom hvert målepunkt. Men dette er kun når man bruker to nivåålere. Avstanden mellom hvert målepunkt ligger derfor på 5.6 cm. Men man setter to nivåålere forskjøvet i forhold til hverandre i tanken slik at avstanden mellom målepunktene blir mindre. Men hva skjer om den ene nivååleren er ute av drift, hvilken betydning har dette for separatortanken.

Separatorstørrelsen blir bestemt av blant annet oppholdstiden i separatoren. I hovedcasen er oppholdstiden satt til tre minutter. Ved å endre oppholdstiden til kun to minutter ble separatordimensjonene som gitt i Tabell 4.6.

Tabell 4.6 Separatordimensjoner med oppholdstid lik 2 minutter

Separatorlengde oppstrøms skilleplate [mm]	8400
Lengde nedstrøms skilleplate [mm]	500
Separator diameter [mm]	2500
Normalt vannnivå [mm]	780
Normalt væsknivå [mm]	1460
Plate høyde [mm]	980

De øvrige væsknivåene er gitt i bilag G.

Hvilken betydning har dette for separatoren.

Vannpumpa og ventilene installert i forbindelse med GjØa feltet har en begrensning på hvor hurtig de kan endre seg. I hovedcasen er det satt en begrensning på 30 sekunder på hvor hurtig de kan endre seg 100 prosent. Ved å endre denne tiden til 60 sekunder, hvilken betydning har dette for separatoren.

Det ble simulert åtte caser hvor i fire av casene ble separatordimensjonene endret, oppløsningen på nivåmåleren ble endret og hurtigheten til ventilene og pumpa ble endret. bilag L til bilag R viser plottene til de ulike simuleringene .

Tabell 4.7 viser hvordan oppløsning på nivåmåler, separator dimensjonen, og hurtigheten til ventiler og pumpe innvirket på dynamikken til prosessanlegget installert i forbindelse med GjØa feltet.

Tabell 4.7 Påvirkning av prosessutstyr

Sep. størrelse	Nivå måler	Hurtighet	Hyppighet pr. 5 timer			Utslag pr. gang		
			Gass ventil	Olje ventil	Vann pumpe	Gass ventil	Olje ventil	Vann pumpe
3 min	2,8 cm	30 sek	2	9	11	0,012	0,025	0,02
2 min	2,8 cm	30 sek	5	9	14	0,012	0,025	0,02
2 min	2,8 cm	60 sek	5	7	14	0,012	0,025	0,02
2 min	5,6 cm	30 sek	44	16	13	0,012	0,06	0,04
3 min	2,8 cm	60 sek	2	9	11	0,012	0,025	0,02
3 min	5,6 cm	30 sek	9	osc*	10	0,015	0,05	0,04
3 min	5,6 cm	60 sek	9	osc*	10	0,015	0,05	0,04
2 min	5,6 cm	60 sek	44	16	13	0,012	0,06	0,04

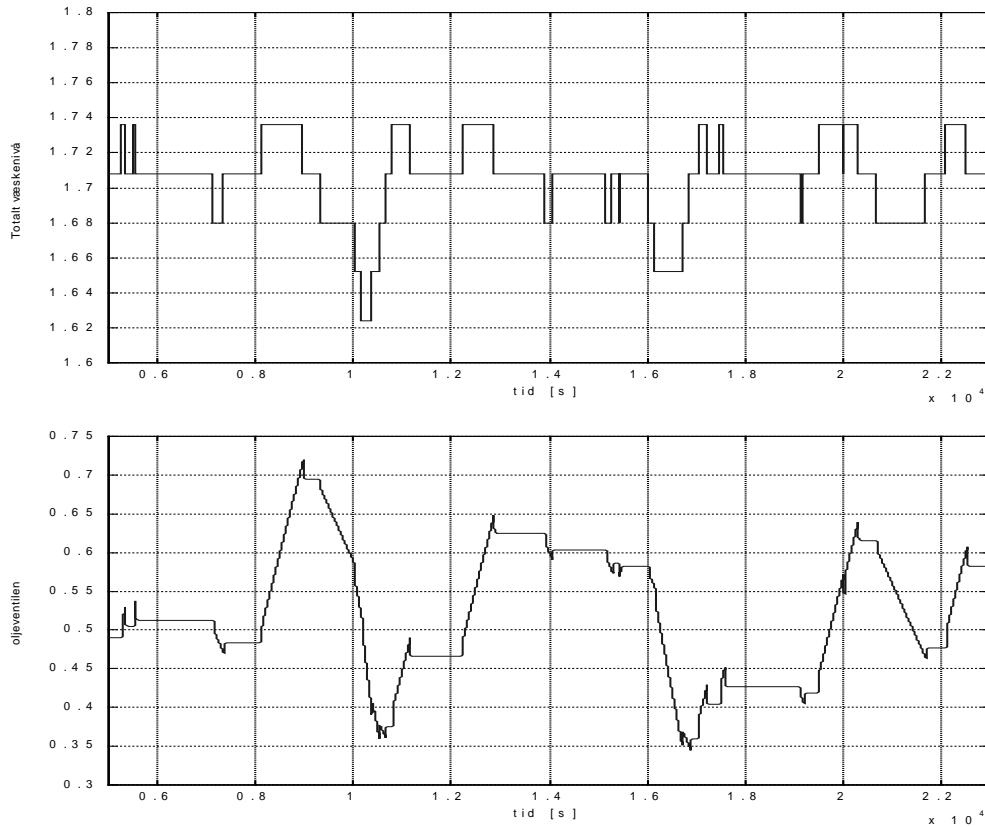
\* Oscillerer i det uendelige endret 22/5-01

Data er hentet fra 6000 sekunder og ut simuleringen. Hver simulering varer i 23000 sekunder. Hyppigheten beskriver hvor ofte gassventilen må jobbe innenfor en tid på 5 timer, mens utlaget gir hvor mye pådraget til ventilene og pumpa endrer seg hver gang ventilene og pumpa må jobbe.

For beskrivelse av separatordimensjoner er det referert til oppholdstiden på 2 og 3 minutter. For nivåmåleren er det referert til oppløsning på 2.8 og 5.6 cm, mens det for hurtigheten av ventilene og pumpa er referert til om de bruker 30 eller 60 sekunder på å gå fra 0 til 100 prosent.

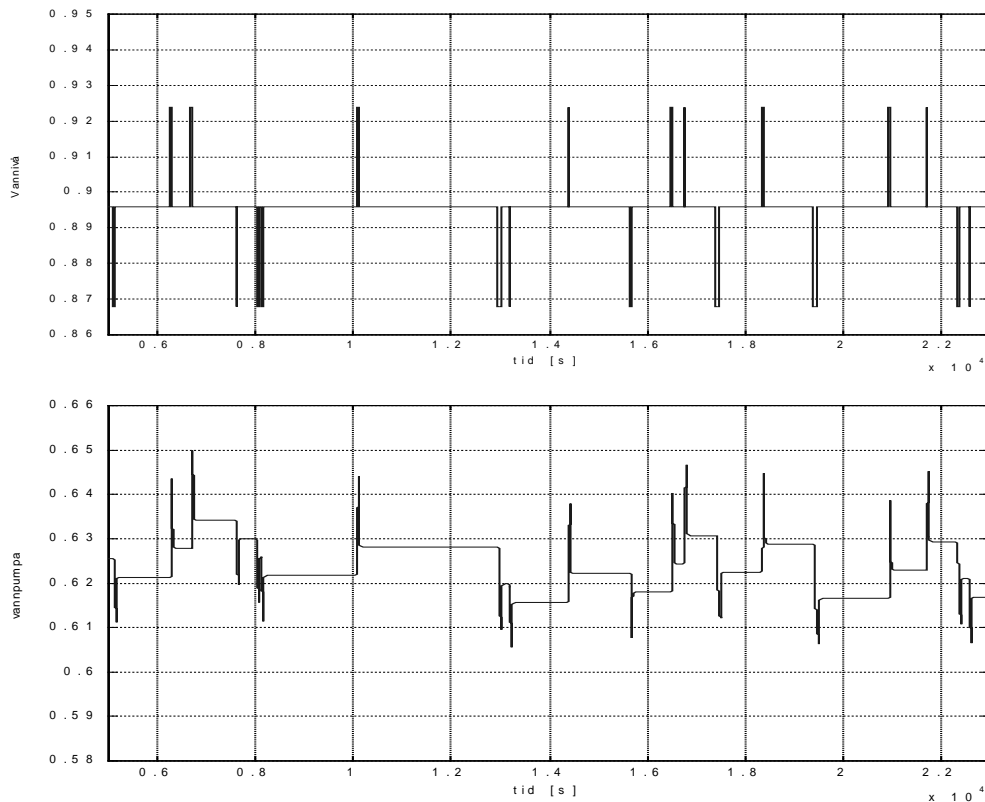
#### 4.4 SIMULERING MED FORSTYRRELSE

Det ble lagt støy på brønnstrømmen slik at ikke innstrømmen til separatoren var helt konstant. Det vil heller ikke være tilfelle i virkeligheten. Det ble lagt tilfeldige svingninger på 10 prosent som støy på hver av strømmene. Støy på strømmene ble lagt på strømmene til hovedcasen, og dette ble simulert. Figur 4.8 viser hvordan totalt væsknivå forandrer seg og oljeventilen jobber.



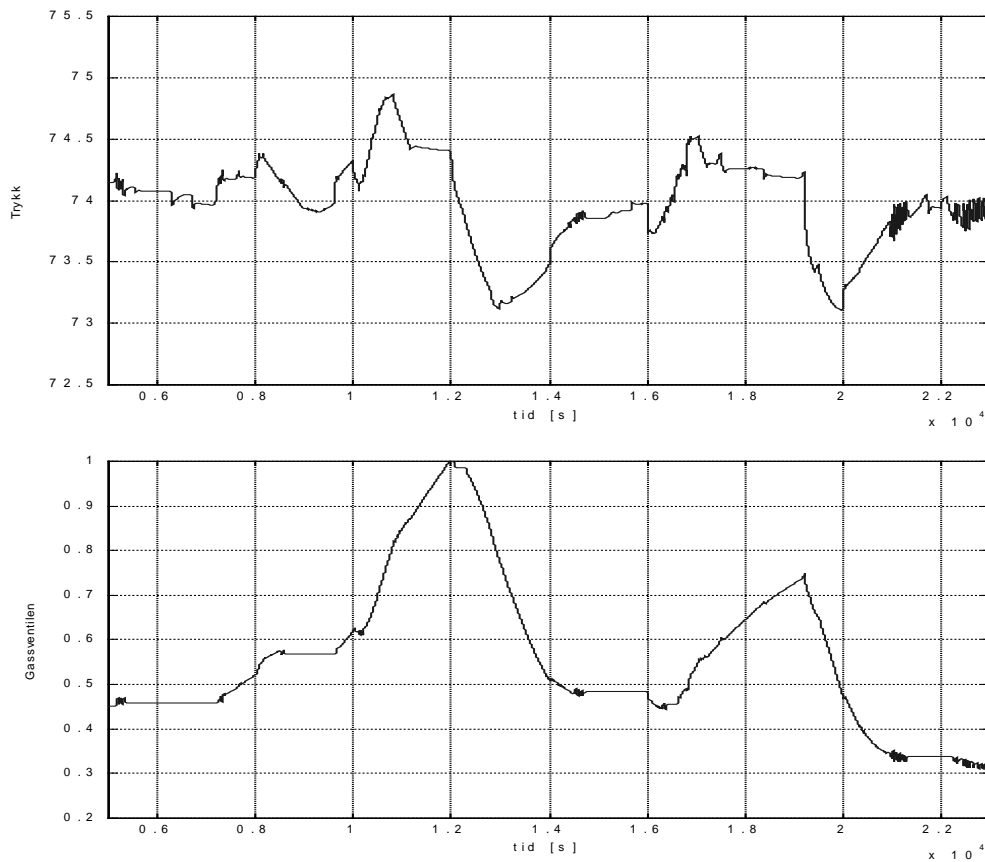
Figur 4.8 Totalt væskeniå og pådrag til oljeventil ved forstyrrelse på innstrøm

Figur 4.9 viser hvordan vannivået forandrer seg og pumpe jobber.



Figur 4.9 Vannivået og pådraget til pumpe ved forstyrrelser på innstrømmen

Figur 4.10 viser hvordan trykket forandrer seg og gassventilen jobber.



Figur 4.10 Trykket og pådraget til gassventilen ved forstyrrelser på innstrømmen

Også her er en PI regulator med de samme parametrene som gitt i Tabell 4.5 benyttet.

## 5 DISKUSJON

### 5.1 SIMULATOREN UNDERVANNSSEP

Prosessering på havbunnen er et nytt område innenfor utvinning av olje og gass. Det er fortsatt tidlig å si eksakt hva slags type utstyr og hvordan prosessanlegget vil se ut. Det er blant annet tidlig å si hvordan nivåsensoren vil være. Aktuelle sensorer som er diskutert er nivåmåler med avstand mellom målepunktene og ultralydmåler. Ved valg av en nivåmåler med oppløsning er det diskutert bruken av flere målere i samme separator slik at avstanden mellom målepunktene minker. Ved bruk av ultralydmåler er det snakk om kontinuerlig måling. Undervannssep er derfor gjort mest mulig generell med tanke på utstyr. Det er lagt inn i modellen valg av kontinuerlig eller diskret nivåmåler. Det er også lagt inn at man kan velge diskret eller kontinuerlig måling i tid. Andre aktuelle forskjeller på utstyr man kan velge er blant annet ventilkarakteristikker, tidsforsinkelsene til ventiler og pumpe, separator uten skillevegg, behandling av målesignaler med filtrering, og regulering med dø-bånd.

I tillegg til at det er vanskelig å si hvordan prosessanlegg på havbunnen vil se ut, kan det også variere fra oljefelt til oljefelt. En forskjell på utstyr ved ulike oljefelt kan være separatordimensjoner, ventilstørrelser, rørlengder, havdybder, osv. Variablene som definerer dette er også lagt inn som valg.

Som sagt er simulatoren Undervannssep gjort generell. Men den er likevel ikke så generell at om prosessanlegget forandres ved at nye komponenter blir lagt til eller trukket fra så kan man ikke bruke modellen uten å gjøre endringer i selve programmet. Det kan også hende at det utvikles nytt utstyr som oppfører seg annerledes enn det som er modellert her. Da må man også gå inn og forandre på programmeringen. Likevel er simulatoren så generell at det er mange muligheter for variasjon av utstyr

Modellen ble programmert slik at hver simulering starter ved "stasjonær tilstand". Det vil si at prosessen ikke starter med stengte ventiler og pumpe. Separatortanken har lik strøm ut som inn. Men prosessen må likevel svinge seg inn, da rørene som transporterer oljen og gassen bruker lang tid på å stabilisere seg. Det tar rundt 5000 sekunder. I tillegg må prosessen stabilisere seg da de antatte verdiene som skal være ved stasjonær tilstand ikke går å finne helt nøyaktige. Stabilisering av gassrøret ble sammenlignet med en stasjonær simulering av røret i Olga<sup>(10)</sup>, se bilag J. Den stasjonære simuleringen viser også at det tar 5000 sekunder før røret har stabilisert seg.



## 5.2 DYNAMIKKEN TIL ET UNDERVANNS PROSSANLEGG

### 5.2.1 Primærcase

Figur 4.1 viste at vannpumpa brukte rundt 2500 sekunder på å stabilisere seg, mens olje- og gassventilen brukte rundt 9000 sekunder på å stabilisere seg helt. De var nesten stabile ved 5000 sekunder. Noe av grunnen til at olje- og gassventilene brukte så lang tid i forhold til vannpumpa, er at olje- og gassrøret må stabilisere seg. Derfor vil ikke totalt væsknivå eller trykket klare å stabilisere seg før rørene har stabilisert seg.

Ved start falt trykket etter gassventilen, dette skjedde også i Olga<sup>(10)</sup>, se bilag J. Samtidig sank også trykket i separatortanken. Begge disse påvirker pådraget slik at pådraget til gassventilen sank. Ved stabilisering av gassrøret økte trykket etter gassventilen, som førte til at pådraget økte. Men samtidig hadde trykket i tanken kommet seg opp og rundt setpunkt. Dette gjorde at pådraget til gassventilen økte samtidig som det svingte for å holde trykket ved setpunkt.

Trykket etter gass- og oljeventilen svingte litt mens det stabiliserte seg. Grunnen til dette er at trykkene avhenger av trykket i separatoren. Trykket etter oljeventilen avhenger også av det totale væsknivået.

### 5.2.2 Test av diskontinuerlig nivåmåler

Ved test av den diskontinuerlige nivåmåleren med oppløsning på 2.8 cm viste det seg at det ikke går å bruke en diskret nivåmåler, hvor setpunkt ikke stemmer med et målepunkt. Enten må setpunktet justeres slik at det stemmer med målepunkt på nivåmåleren, eller så må det reguleres med dø-bånd. Ved å justere setpunktet til et målepunkt viste det seg at ventilen må jobbe mer enn ved å regulere med dø-bånd, se Figur 4.4 og Figur 4.6.

Regulering med dø-bånd gjør at prosessen alltid vil svinge. Prosessen vil alltid være i en retning. Hvis man for eksempel sier at vannivået går litt opp, så kommer det tilslutt over dø-båndet. Da setter regulatoren i gang igjen, så går vannivået nedover og inn i dø-båndet. Deretter ut av dø-båndet på nedsiden, og regulatoren setter i gang slik at det svinger opp igjen. Slik vil det stå og gå hele tiden.

### 5.2.3 Påvirkning av prosessutstyr

Det ble testet hvordan oppløsningen på nivåmåleren, separatorstørrelsen og hvor hurtig ventilen kan åpne seg fra 0 til 100 prosent innvirket dynamikken til undervanns prosessanlegget tilknyttet Gjøa feltet. Det ble laget en hovedcase som ble benyttet som en sammenligning for å se forandringen ved endring av utstyret.

Hurtigheten på hvor fort ventilene og pumpa kan åpne og lukke seg fra 0 til 100 prosent ble endret fra 30 til 60 sekunder. Det viste seg at dette ikke spilte inn på dynamikken til GjØa feltet, verken ved hovedcase, endring av oppløsningen av nivåmåleren, eller endring av separatorstørrelsen. Noe av grunnen til dette er at regulatorene er ganske så trege. Det er nemlig ingen hensikt å holde nivåene eller trykket konstant. Vitsen er å klare å regulere slik at nivåene holder seg innenfor gitte grenser, uten å bruke for mye aktuator til pådragsorganene.

Ved endring av oppløsningen på nivåmåleren fra 2.8 til 5.6 cm innvirket dette på dynamikken til GjØa feltet. Ved endring av oppløsningen uten å endre separatorstørrelsen, så havnet begge målepunktene for det totale væsknivået på hver sin side av setpunktet på 1.7 meter utenfor dø-båndet. Dette førte til det samme problemet som ved regulering med oppløsning på nivåmåleren uten å regulere med dø-bånd. Oljeventilen vil alltid stå og jobbe, oscillere hele tiden, da det alltid vil være avvik fra setpunkt. En mulig løsning kan være å øke dø-båndet på reguleringen slik at et av målepunktene havner innenfor dø-båndet. En annen løsning kan være å endre setpunkt slik at et målepunkt kommer innenfor dø-båndet.

For vannnivået sin del så havnet det ene målepunktet innenfor dø-båndet, slik at pumpa jobbet i sekvenser. Endring av oppløsningen innvirket derfor ikke på hyppigheten av hvor ofte pumpa måtte jobbe. Men det innvirket på endringen av turtallet til pumpa hver gang nivået havnet utenfor dø-båndet. Pådraget økte det dobbelte av hva det gjorde med mindre oppløsning. Grunnen til dette er at avviket fra setpunkt ble mye større.

Endring av oppløsningen på nivåmåleren innvirket også på trykket i tanken. Grunnen til dette er at væsknivået i separatorene innvirker på trykket. Gassventilen måtte jobbe en del mer. Den jobbet ved hovedcase ca 2 ganger per 5 timer, mens det økte til 9 ganger per 5 timer. I tillegg økte også pådragene hver gang gassventilen måtte jobbe.

Ved endring av separator størrelsen uten at oppløsningen på nivåmåleren ble endret, så innvirket dette på hvor hyppig gassventilen og pumpa jobbet. Mens det for oljeventilen ikke spilte inn. Det innvirket ikke på hvor mye pådragene endret seg hver gang ventilene og pumpa måtte jobbe.

Ved endring av separator størrelsen og oppløsningen på nivåmåleren innvirket dette på hvor hyppighet gass- og oljeventilen og pumpa jobbet. Det innvirket også på utslaget til pådraget ved endring av stilling på oljeventilen og pumpa. På utslaget til pådraget ved endring av stilling på gassventilen innvirket det ikke. Grunnen til det er at trykket i tanken ikke har en diskontinuerlig sensor. Likevel var det hyppigheten til gassventilen som økte mest. Mye av grunnen til dette er at ved for eksempel for høyt trykk, så øker pådraget. Men pådraget synker nesten ned til utgangspådraget igjen når trykket er innenfor dø-båndet. Men hvis da ikke ventilen har åpnet seg nok slik at trykket holder innenfor dø-båndet, så vil pådraget øke enda engang, og kanskje enda engang, rett etter hverandre. Slik at tilslutt har endring av pådraget økt så mye at trykket klarer å holde seg innenfor dø-båndet over en lengre periode.

Ved endring av separator størrelsen og oppløsningen på nivåmåleren så havnet ikke begge målepunktene på hver side av setpunktet til totalt væsknivå i tanken utenfor

dø-båndet. Slik det gjorde ved endring av oppløsningen uten at separator dimensjonen ble endret.

I Tabell 4.7 ble utslaget til pådraget hver gang pådragsorganene må endre seg satt inn. Men det er vanskelig å gi eksakt tall. En av grunnene til det er at det er vanskelig å lese av riktig på figurene. En annen ting er at utslaget er forskjellig når pådraget minker og øker i forhold til utgangspådraget. Grunnen til at pådraget øker mer den ene enn den andre veien er at målepunktet ligger nærmere den ene enn den andre grensen på dø-båndet. For vannivået med setpunkt lik 0.89 meter ligger målepunktet nærmest øvre dø-bånd grense, slik at når man kommer over øvre grense, så blir det størst utslag (åpner ventil mer, enn når man går under). For totalt væsknivå med setpunkt lik 1.7 meter er det akkurat det samme. For trykket blir det likt opp som ned, da sensoren er en kontinuerlig måler.

Utslagene ved endring av pådragene har en litt "merkelig" oppførsel da de øker raskt for så å falle nesten tilbake til utgangspådraget før en endring fant sted. Grunnen til denne oppførselen er integralvirkning, oppløsning på nivåmåleren og dø-bånd. Oppløsning på nivåmåleren og dø-båndet gjør at når først målesignalet havner utenfor dø-båndet så blir avviket stort. Integralvirkningen innvirker ved at i det målesignalet skifter målepunkt på måleren, så drar integralvirkningen pådraget nesten tilbake til utgangspådraget.

#### 5.2.4 Simulering med forstyrrelse

Simulering med støy viste at olje- og gassventilene måtte jobbe mye. Det viste seg også at ventilene må være store for å klare å håndtere små endringer i totalt væsknivå og trykk. Ved kun små forstyrrelser som støy på innstrømmene til separatoren gikk ventilene fullt åpne. Grunnen til dette er mottrykket i rørene som transporterer oljen og gassen opp til havoverflaten. Det er også en stor treghet i rørene, da de er lange.

Forstyrrelser ble ikke tatt med ved simulering av testene på hvordan oppløsningen på nivåmåleren, separatorstørrelsen og hvor hurtig ventilen kan åpne seg fra 0 til 100 prosent innvirket på dynamikken til undervanns prosessanlegget. Grunnen til dette var at det bare skulle ses på forandring av dynamikken ved de ulike casene. Og så lenge ventilene og pumpa jobbet, var det ingen grunn til å ha med forstyrrelser. Det ville da være vanskeligere å tyde data.

### 5.3 ENDRINGER FRA TIDLIGERE DIPLOMOPPGAVE

I denne oppgaven ble det tatt utgangspunkt i en tidligere diplomoppgave<sup>(1)</sup> ved utvikling av en simulator for prosessering på havbunnen. Det ble gjort en del endringer da blant annet prosessen er noe forandret, og rørene som transporterer olje og gass til havoverflaten er inkludert i modellen.

Prosessen er forandret ved at en hydrosyklon som sto foran vannpumpa er tatt bort. Denne skulle skille ut oljen som ble tappet ut sammen med vannet, og sende det til røret som skulle transportere oljen og gassen.

Det ble likevel gjort mange endringer i selve programmeringen av prosessen som sto igjen etter at hydrosyklonen ble tatt bort. I grunnen var det bare ventilligningene, modellering av strømmingen inn i separatoren og modellering av diskret nivåmåler i tid som ikke ble endret. Det var ikke alle endringer som var like store, men mange små justeringer ble gjort. Modellering av pumpa ble endret slik at pumpa må opp i ett visst turtall for å klare å pumpe ut noe vann. ODE løser ble endret fra ODE 45 til ODE 23, ventilene ble skalert fra 0 til 1, i stedet for 0 til 10, og flere momenter som spiller inn på tidforsinkelsen til ventilene og pumpa ble lagt til. I tillegg ble parametrene som gir tidsforsinkelsene lagt inn som generell, slik at de settes uten å måtte gå inn i programmeringen.

Det viste seg at modelleringen av tanken i den tidligere oppgaven<sup>(1)</sup> ikke var en god modell. Hele programmeringen av tanken ble derfor tatt bort, og programmering i Matlab med S-funksjon ble benyttet.

Programmering av ventilligningene ble også flyttet til Matlab. De ble lagt inn i programmet "momentbal", se bilag D, som beregner endringer i rørene. Det ble lagt inn valg mellom lineær eller likeprosentlig ventilkarakteristikk og Cv verdiene til ventilene ble satt generelle slik at det er mulig å bestemme ventilstørrelsene.

Mange andre parametre som var lagt inn som satt i oppgaven til Nordgård<sup>(1)</sup>, ble også lagt ut slik at de settes uten å måtte gå inn i programmeringen. I tillegg ble det lagt inn flere valg når det gjaldt prosessutstyr, som dø-bånds regulering, nivåmåler med avstand mellom målepunktene, filtrering av målingene, osv. Ved å gjøre dette er modellen gjort mer generell.

I modellen til Nordgård<sup>(1)</sup> var det programmert slik at hver simulering starter med stengte ventiler og pumpe. Dette førte til at hver simulering måtte svinge seg inn til stasjonær tilstand. I denne oppgaven er det programmert slik at hver simulering starter ved "stasjonær tilstand". Men prosessen må likevel svinge seg inn, da rørene som transporterer oljen og gassen bruker lang tid på å stabilisere seg. Disse rørene er som sagt ikke i modellen til Nordgård.

I begynnelsen av oppgaven gikk mye av tiden til å forstå hvordan den tidligere oppgaven<sup>(1)</sup> var modellert og programmert. Det var antatt at simulatoren var en god modell og at det derfor kun trengtes små endringer. Da det viste seg at det nesten bare var skallet av modellen som ble igjen, hadde det kanskje vært enklere å starte fra nytt.

## 5.4 SIMULERING I SIMULINK

Simulink<sup>(7)</sup> er et bra simuleringsprogram å programmere i. Det er enkelt å få oversikten over simulatoren man lager. Det er i tillegg greit å bruke da det er en del bokser som allerede er programmert, er enkle å implementere i modellen. Men hvis

man ønsker å programmere modeller som det ikke finnes bokser på, er det ofte mer tungvint å programmere her, enn i Matlab<sup>(6)</sup>.

En ulempe med Simulink er begrensningen av variable man kan opprette for hver blokk. Trenger man flere variable enn det er mulig å lage, må man dele blokken i flere blokker, noe som gjør modellen mer uoversiktlig. Dette kan i tillegg være umulig hvis blokken består av en S-funksjon, slik som blokkene "Tank" og "Rørene inkl. ventilene" i Undervannssep. Dette gjør at man må opprette et eget Simulink program, som Input\_verdier, for å klare å få nok variable til Matlab programmene.

En annen ulempe med Simulink er at man ikke kan bruke definerte variable i en blokk, i andre blokker. Dette gjør at man må definere de samme variablene i flere blokker, slik at de må legges inn for de ulike blokkene. Dette kan gjøre den som skal bruke simulatoren forvirret om det er de samme variablene man skal legges inn på de ulike blokkene.

## 5.5 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Rørmodellene av rørene som transporterer olje og gass til havoverflaten er en enkel modell. Det er antatt at temperaturen holder seg konstant, at det er en konstant helling på rørene fra separatoren til havoverflaten, og kun endring i strømningsretningen. Den numeriske metoden for beregning av endringen av trykket, tettheten og hastigheten i røret var også en enkel metode. Det viste seg at det sannsynlig var litt numeriske svingninger i oljerøret. Trykket i røret svinge rundt 0.002 bar, mens hastighetene i røret svingte rundt 0.004 m/s. Videre arbeid kunne være å gjøre rørmodellene bedre, både med tanke på geometri, temperaturendringer og bruk av numerisk metode.

Da det forekom små svingninger i oljerøret ble det laget modell hvor rørene som transporterer oljen og gassen endte i buffertanker. Det ble satt på ventiler ved inngangen til buffertankene, slik at tankene ble regulert henholdsvis for å holde konstant trykk og nivå. I tillegg ble buffertankene lagd store slik at det skulle store endringer til i strømmene før det gjorde utslag. Strømmene av olje og gass som gikk inn i buffertankene ble satt som grensebetingelse, i stedet for trykket i enden av røret. Men dette førte ikke til bedre resultater.

Produksjonsendring slik at strømmen inn til separatoren med olje, vann og gass forandrer seg kan forekomme. Aktuelle endringer kan være slugger slik at røret blir fylt av væske mens gassen forsvinner, for deretter komme masse gass og lite væske. Raten av væske kan minke, mens raten av gass holder seg lik. Gassraten minker mens væskeraten holder seg konstant. Raten av olje og vann kan også forandre seg i forhold til hverandre, det trenger ikke øke eller minke like mye av hver væske. Caser for å simulere disse reelle tilfellene kan være aktuelt for videre arbeid. Oppstart og nedstigning av prosessanlegget kan også være aktuelt, men da må modellen endres noe.

## 6 KONKLUSJON

I denne oppgaven ble det laget en modell for å simulere regulering av et undervanns prosessanlegg. Prosessanlegget besto av en separatortank som skilte olje, vann og gass som kom fra oljereservoar. Det var vannivået, totalt væsknivå og trykket i tanken som ble regulert. Modellen inneholdt også rørene som transporterte olje og gass opp til havoverflaten.

Simulatoren Undervannssep ble en generell simulator. Den kan brukes ved simulering av ulike oljefelt. Ved programmering ble alle parametre lagt inn slik at de enkelt kan forandres uten å måtte gå inn i selve programmeringen. I tillegg er det lagt inn valg av ulike prosesseringsutstyr, som ventiler, sensorer, behandling av målesignaler, osv. Modellen ble også programmert slik at hver simulering starter ved "stasjonær tilstand". Det vil si at prosessen ikke startet med stengte ventiler og pumpe. Men prosessen måtte likevel svinge seg inn, da rørene som transporterte oljen og gassen brukte lang tid på å stabilisere seg. Det ble satt av 5000 sekunder til dette.

Det ble tatt utgangspunkt i det reelle oljefeltet Gjøa for å se av hvordan dynamikken til et undervanns prosessanlegg oppførte seg. Det var spesielt med henblikk på hvordan oppløsningen på nivåmåleren, separatorstørrelsen og hurtigheten til ventilene innvirket på prosessen. Det ble laget en hovedcase som ble benyttet som en referanse.

Det viste seg at hurtigheten til ventilene ikke innvirket på dynamikken til prosessanlegget. Men det gjorde både oppløsningen på nivåmåleren og separatorstørrelsen. Oppløsningen på nivåmåleren innvirket på hvor hyppig ventilene og pumpa måtte jobbe. I tillegg ble endring av pådragene doblet. Endring av oppløsningen på nivåmåleren kunne også ha den uheldige virkningen at begge målepunktene på hver side av et setpunkt havnet utenfor dø-båndet, slik at ventilen måtte stå og jobbe hele tiden. Men det var ikke noe problem å holde nivåene innenfor kritiske grenser.

Ved å minke separatorstørrelsen økte hyppigheten av hvor ofte ventilene og pumpa arbeidet. Men det innvirket ikke på utslaget til pådragene. Det var heller ikke noe problem å holde nivåene innenfor kritiske grenser.

Det viste seg at ventilstørrelsen har stor innvirkning på om prosessanlegget klarer å håndtere forstyrrelser eller små endringer i strømmingen inn til tanken. Med mindre ventiler gikk ventilene i full åpning kun ved små endringer i nivået og trykket i tanken.

Ved regulering med diskontinuerlig nivåmåler viste det seg at hvis ikke setpunkt havnet på et målepunkt på måleren, så vil nivået og pådragsorganet stå og oscillere hele tiden. Da kan man enten justere setpunkt slik at det havner på et målepunkt, eller regulere med dø-bånd.

## 7 SYMBOLLISTE

Symbol	Enhet	Forklaring
A	m <sup>2</sup>	Areal
c <sub>p</sub>	kJ/kg K	Varmekapasitet ved konstant trykk
c <sub>v</sub>	kJ/kg K	Varmekapasitet ved konstant volum
c	m/s	Lydhastighet
C <sub>v</sub>		Ventilkoeffisient
D	m	Diameter
D <sub>h</sub>	m	Hydraulisk diameter
g	m <sup>2</sup> /s	Gravitasjon
h	m	Høyde
h <sub>h</sub>	m	Høyde fra separator til havoverflaten
l	m	Lengde av separator frem til evt skillevegg
l <sub>e</sub>	m	Lengde av røret fra separator til havoverflate
L	m	Lengde av separatortank
M	kg/kmol	Molvekt
p	Pa	Trykk
q	m <sup>3</sup> /s	Volumstrøm
r	m	Radius av separatortank
R	J/Kmol K	Gasskonstant
Re		Reynoldstall
t	s	Tid
T	K	Temperatur
u		Pådragssignal fra regulator
V	m <sup>3</sup>	Volum
v	m/s	Hastighet
w	kg/s	massestrøm
x		Trykkfallsforhold over gassventil
Y		Ekspansjonsfaktor
z		Kompressibilitet
α		Vinkel mellom rør og havbunn
ε	m	Ruhet til rør
κ		AdiabatekspONENTEN
λ		Friksjonsfaktor
μ	Pa s	Viskositet
ρ	kg/m <sup>3</sup>	Tetthet
τ	kg/ms <sup>2</sup>	Skjærkrefter

---

$\tau_D$	s	Derivattid
$\tau_I$	s	Integraltid



## **8 REFERANSER**

### **8.1 LITTERATURREFERANSER**

- (1) Nordgård, T, "Simulerings Algoritme for Havbunns Prosesseringsystemer", Diplomoppgave ved Institutt for Teknisk Kybernetikk, NTNU, Trondheim, 1998.
- (2) Seborg, D.E., Edgar, T.F., Mellichamp, D.A., "Process Dynamics And Control", John Wiley & Sons, Inc, USA, 1989.
- (3) Geankoplis, C.J., "Transport Process and Unit Operations", 3.utg., Prentice-Hall, Inc, USA, 1993.
- (4) White, F.M., "Fluid Mechanics", 3.utg., McGraw-Hill, Inc, USA, 1994.
- (5) Fuchs, P., "Flerfase rørstrømning", 2.utg., Institutt for Klima og Kuldeteknikk, NTH, UNIT, Trondheim, 1997.

**8.2 DATA REFERANSER**

- (6) Matlab v5.2, The MathWorks, 1998.
- (7) Simulink v2.2, The MathWorks, 1997
- (8) Mogseth, G., "Tools for calculation of horisontal separator size and weight", FMC Energy Systems, 2000.
- (9) HYSYS.ProcessNetVers v2.2, Hyprotech Ltd, 1995-2000.
- (10) OLGA 2000 v2.02, Scandpower, 2001.

## BILAG A S-FUNKSJONEN TANK

```
function [sys,x0]=tank(t,x,u,flag,li,L,r,A,ht,hv,p,type_nivaamaaler)

% Dette er S-funksjonen tank som finner tilstandene vannnivå, totalt væsknivå og trykk i separatoren

%Beskrivelse av parametre: li=lengde av største kammer i separatoren      L=total lengde av separatoren
%                          A=avstand mellom målepkt. på nivåmåleren      r=radius av separatoren
%                          ht=totalt væsknivå i tanken                  hv=vannivået i tanken
%                          type_nivaamaaler=type nivåmåler             p=trykket i tanken

switch flag
case 0
    %Beregner først de initielle betingelsene i tanken
    Vv=li*(((pi*r^2)/2)+((hv-r)*sqrt((r^2)-(hv-r)^2))+r^2*asin((hv-r)/r)); %volumet av vann i
separatoren, initielt
    Vo=(L*(((pi*r^2)/2)+((ht-r)*sqrt((r^2)-(ht-r)^2))+r^2*asin((ht-r)/r)))-Vv; %volumet av olje i
separatoren, initielt

    x0=[hv;ht;Vv;Vo;p]; %Dette er initialverdier for vannivået, totalt væsknivå, volum av vann, volum av
olje og trykket

    nx=5;
    nu=6;
    ny=3;
    sys=[nx;0;ny;nu;0;1];
case 1
    %definerer de deriverte dxdt=f(x,u)
    sys=massebal(u,x,li,L,r); %Dette kallet må stemme med første linje i massebal
case 3
    %definerer målinger/outputs y=g(x,u)
    if type_nivaamaaler== 1 % kontinuerlig nivåmåler
        x(1)=x(1); % vannivået i tanken
        x(2)=x(2); % totalt væsknivå i tanken

    elseif type_nivaamaaler== 2 % diskret nivåmåler med A avstand mellom målepunktene
        x(1)=round(x(1)/A)*A; % vannivået i tanken
        x(2)=round(x(2)/A)*A; % totalt væsknivå

    else
        disp('velg riktig nivåmåler!')
        return
    end

    sys(1)=x(1); % vannivået i tanken
    sys(2)=x(2); % totalt væsknivå i tanken
    sys(3)=x(5); % trykket i tanken
otherwise
    sys=[];
end
```

## BILAG B FUNKSJONEN MASSEBAL

```

function sys=massebal(u,x,li,L,r)
%funksjonen massebal finner de deriverte av vannivået og totalnivået og trykket i separatoren

global M z T;

qinn_v=u(1); % volumstrømmen av vann inn i separatoren
qinn_o=u(2); % volumstrømmen av olje inn i separatoren
winn_g=u(3); % massestrømmen av gass inn i separatoren
qut_v=u(4); % volumstrømmen av vann ut av separatoren
qut_o=u(5); % volumstrømmen av olje ut i separatoren
wut_g=u(6); % massestrømmen av gass ut i separatoren

hv=x(1); % vannivået i separatoren
ht=x(2); % totalt væsknivå i separatoren
Vv=x(3); % volumet av vann i separatoren
Vo=x(4); % volumet av olje i separatoren
p=x(5); % trykket i separatoren

dhv=((1/(2*li*sqrt(r^2-(r-hv)^2)))*(qinn_v-qut_v));

dht=((1/(2*L*sqrt(r^2-(r-ht)^2)))*(qinn_v+qinn_o-qut_v-qut_o));

dVv=(qinn_v-qut_v);

dVo=(qinn_o-qut_o);

Vt=pi*r^2*L; % totalvolumet i separatoren. Antar en sylindrisk tank

Vg=Vt-Vv-Vo; % gassvolumet i separatoren

R=8314; % [J/kmol*K]
g=9.81; % [m/s^2]

dP=(((z*R*T)/(Vg*M))*(winn_g-wut_g))-((p/Vg)*(qut_v-qinn_v+qut_o-qinn_o));

sys=[dhv;dht;dVv;dVo;dP];

```

## BILAG C S-FUKSJONEN ROER

```

function
[sys,x0]=roer(t,x,u,flag,D1,D2,h,l_o,l_g,blocks_o,blocks_g,p1_out,p3_out,ventiltype_g,ventiltype_o,p_ini,qinn_o,winn_g)

% Dette er S-funksjonen roer som finner hastigheter og trykk i olje- og gassrøret.
%Beskrivelse av parametre: D1=diameter av gassrøret      blocks_o=ant. inndelinger av oljerøret
%                          D2=diameter av oljerøret      blocks_g=ant. inndelinger av gassrøret
%                          h=havdybde                    p1_out=trykket i enden av gassrøret
%                          l_g=lengde på gassrøret       p3_out=trykket i enden av oljerøret
%                          l_o=lengde på oljerøret       ventiltype_g=ventilkarakteristikk for gassventil
%                          p_ini=initielt trykk i tanken  ventiltype_o=ventilkarakteristikk for oljeventil
%                          qinn_o=volumstrøm olje inn i sep. initielt, design case. Ikke m/ forstyrrelser el.
%                          winn_g=massestrøm av gass inn i sep. initielt, design case. Ikke m/forstyrrelser el.

global M z T rho_o Cv_o Cv_g Y u_oi u_gi c h_t_ini;

R=8314; % Gasskonstanten [J/kmol*K]
g=9.81; % gravitasjon [m/s2]

switch flag
case 0
    %Beregner først de initielle betingelsene i røret
    v1_rho_g(1:blocks_g)=(4*winn_g)/(pi*D1^2); %= impulsen ut av gassventilen -antar konstant gjennom hele røret
    initielt
    v2(1:blocks_o)=(4*qinn_o)/(pi*D2^2); %Hastighet ut av oljeventilen -antar konstant gjennom hele røret initielt
    p2=rho_o*g*h_t_ini+p_ini; %Trykket ved inngangen til oljeventilen, initielt

    if ventiltype_g== 1 %lineær ventilkarakteristikk
        p1(1)=p_ini-((winn_g^2*z*R*T)/(Cv_g^2*u_gi^2*Y^2*p_ini*M)); %trykket ved utløpet gassventilen, initielt

    elseif ventiltype_g== 2 %equal percentage ventilkarakteristikk
        p1(1)=p_ini-((winn_g^2*z*R*T)/(Cv_g^2*(40^(u_gi-1))^2*p_ini*M));

    else
        disp('velg riktig ventiltype!')
    return
end

delta_p1=(p1(1)-p1_out)/blocks_g; %antar lineær trykkforskjell i gassrøret initielt
p1(2:blocks_g)=p1(1)-(1:blocks_g-1)*delta_p1; %trykket i gassrøret, initielt

if ventiltype_o== 1 %lineær ventilkarakteristikk
    p3(1)=p2-((qinn_o^2*rho_o)/(Cv_o^2*u_oi^2)); %trykket ved utløpet til oljeventilen,initielt

elseif ventiltype_o== 2 %equal percentage ventilkarakteristikk
    p3(1)=p2-((qinn_o^2*rho_o)/(Cv_o^2*(40^(u_oi-1))^2));

else
    disp('velg riktig ventiltype!')
    return
end

delta_p3=(p3(1)-p3_out)/blocks_o; %antar lineær trykkforskjell i oljerøret initielt
p3(2:blocks_o)=p3(1)-(1:blocks_o-1)*delta_p3; %trykket i oljerøret, initielt

x0=[v1_rho_g,p1,v2,p3]; %Dette er initialverdier
nx=2*blocks_g+2*blocks_o;

```

```

nu=4;
ny=4;
sys=[nx:0;ny:nu;0:1];
case 1
%definerer de deriverte dxdt=f(x,u)
sys=momentbal(t,u,x,D1,D2,h,l_o,l_g,blocks_o,blocks_g,p1_out,p3_out,ventiltype_g,ventiltype_o); %Dette kallet
må stemme med første linje i momentbal
case 3
%definerer målinger/outputs y=g(x,u)
u_o=u(1); %pådraget fra regulatoren som reg. totalnivået
u_g=u(2); %pådraget fra regulatoren som reg. trykket
p=u(3); %trykket i separatoren
h_t=u(4); %totalt væsknivå

if ventiltype_g== 1 %lineær ventilkarakteristikk
wut_g=Y*Cv_g*u_g*sqrt((p-x(blocks_g+1))*p*M/(z*R*T)); %massestrøm av gass ut av separatoren
elseif ventiltype_g== 2 %equal percentage ventilkarakteristikk
wut_g=Y*Cv_g*(40^(u_g-1))*sqrt((p-x(blocks_g+1))*p*M/(z*R*T));
else
wut_g=0;
end
if ventiltype_g== 1 %lineær ventilkarakteristikk
qut_o=Cv_o*u_o*sqrt((p+rho_o*g*h_t-x(2*blocks_g+blocks_o+1))/rho_o); %volumstrøm av olje ut av separatoren
elseif ventiltype_g== 2 %equal percentage ventilkarakteristikk
qut_o=Cv_o*(40^(u_o-1))*sqrt((p+rho_o*g*h_t-x(2*blocks_g+blocks_o+1))/rho_o);
else
qut_o=0;
end

sys(1)=qut_o; %volumstrøm av olje ut av separator
sys(2)=wut_g; %massestrøm av gass ut av separator
sys(3)=x(blocks_g+1); %trykket ved utløpet til gassventilen
sys(4)=x(2*blocks_g+blocks_o+1); %trykket ved utløpet til oljeventilen
otherwise
sys=[];
end

```

## BILAG D FUNKSJONEN MOMENTBAL

```

function sys=momentbal(t,u,x,D1,D2,h_l_o,l_g,blocks_o,blocks_g,p1_out,p3_out,ventiltype_g,ventiltype_o)
%funksjonen momentbal tar for seg beregningene av trykkforandringen i rørene etter ventilene

%Beskrivelse av parametre: p1=trykket i gassrøret          v1=hastigheten i gassrøret
%                          p3=trykket i oljerøret          v2=hastigheten i oljerøret

global M z T rho_o Cv_o Cv_g Y my1 my2 e c;

u_o=u(1);          %pådraget fra regulatoren som reg. totalnivået
u_g=u(2);          %pådraget fra regulatoren som reg. trykket
p=u(3);           %trykket i separatoren
h_t=u(4);         %totalt væskeniå

R=8314; % [J/kmol*K]
g=9.81; % gravitasjon [m/s2]

rho_g_t=p*M/(z*R*T); %tetthet i separatortanken

p1=x(blocks_g+1:2*blocks_g); %trykket i gassrøret
rho_g=p1*M/(z*R*T); %Tilstandsligning. Finner tettheten i røret
v1=x(1:blocks_g)./rho_g(1:blocks_g); %hastighetene i gassrøret
v2=x(2*blocks_g+1:2*blocks_g+blocks_o); %hastighetene i oljerøret
p3=x(2*blocks_g+blocks_o+1:2*blocks_g+2*blocks_o); %trykket i oljerøret

alfa_g=asin(h/l_g); %vinkel på helling av gassrøret
alfa_o=asin(h/l_o); %vinkel på helling av oljerøret

delta_z_g=l_g/blocks_g; %[m] lengde på hver blokk i gassrøret
delta_z_o=l_o/blocks_o; %[m] lengde på hver blokk i oljerøret

%lamda=0.005*(1+((2*10^4*c/Dh)+(10^6/Re))^(1/3))
%Re=D*v*rho/(my*10^(-3))

%Beregninger i gassrøret

if ventiltype_g== 1 %lineær ventilkarakteristikk
    wut_g=Y*Cv_g*u_g*sqrt((p-p1(1))*p*M/(z*R*T)); %gassmengde ut av separatoren

elseif ventiltype_g== 2 %equal percentage ventilkarakteristikk
    wut_g=Y*Cv_g*(40^(u_g-1))*sqrt((p-p1(1))*p*M/(z*R*T));

else
    wut_g=0;
end

rho_g_v1_inn=4*wut_g/(pi*D1^2); %Grensebetingelse -impuls ut av gassventilen

Dh_g=D1; %Hydraulisk diameter -rørets indre diameter
lamda_g=(0.005*(1+((2*10^4*c/Dh_g)+(10^6*my1*10^(-3))/(D1*rho_g*v1)))^(1/3)); %Friksjonsfaktoren

%d(rho_g*v1)/dt=-d(rho_g*v1^2+p1)/delta_z-lamda*0.5*rho_g*v1^2*(1/D1)+rho_g*g_z Momentbalansen
sys(1)=(((rho_g_v1_inn.^2/rho_g_t)+p1(1))-(rho_g(1).*v1(1).^2+p1(2)))/delta_z_g-
0.5*lamda_g(1).*rho_g(1).*v1(1).^2*(1/D1)-rho_g(1)*g*sin(alfa_g);

sys(2:blocks_g-1)=(rho_g(1:blocks_g-2).*v1(1:blocks_g-2).^2+p1(2:blocks_g-1))-(rho_g(2:blocks_g-
1).*v1(2:blocks_g-1).^2+p1(3:blocks_g))/delta_z_g-0.5*lamda_g(2:blocks_g-1).*rho_g(2:blocks_g-
1).*v1(2:blocks_g-1).^2*(1/D1)-rho_g(2:blocks_g-1)*g*sin(alfa_g);

```

```

sys(blocks_g)=(rho_g(blocks_g-1).*v1(blocks_g-1).^2+p1(blocks_g)-
(rho_g(blocks_g).*v1(blocks_g).^2+p1_out))/delta_z_g-
0.5*lamda_g(blocks_g).*rho_g(blocks_g).*v1(blocks_g).^2*(1/D1)-rho_g(blocks_g)*g*sin(alfa_g);

%dp1/dt=-d(rho_g*v1)/delta_z*(z*R*T/M) Massebalansen
sys(blocks_g+1)=(((rho_g_v1_inn)-(rho_g(1).*v1(1)))/delta_z_g)*(z*R*T/M);

sys(blocks_g+2:2*blocks_g-1)=(((rho_g(1:blocks_g-2).*v1(1:blocks_g-2))-
(rho_g(2:blocks_g-1).*v1(2:blocks_g-1)))/delta_z_g)*(z*R*T/M);

sys(2*blocks_g)=(((rho_g(blocks_g-1).*v1(blocks_g-1))-
(rho_g(blocks_g).*v1(blocks_g)))/delta_z_g)*(z*R*T/M);

%Beregninger i oljerøret

if ventiltipe_g== 1 %lineær ventilkarakteristikk
    qut_o=Cv_o*u_o*sqrt((p+rho_o*g*h_t-p3(1))/rho_o); %mengde olje ut av separatoren

elseif ventiltipe_g== 2 %equal percentage ventilkarakteristikk

    qut_o=Cv_o*(40^(u_o-1))*sqrt((p+rho_o*g*h_t-p3(1))/rho_o);

else
    qut_o=0;

end

v2_inn=4*qut_o/(pi*D2^2); %Grensebetingelse -hastighet ut av oljeventilen

Dh_o=D2; %hydraulisk diameter -rørets indre diameter
lamda_o=(0.005*(1+((2*10^4*c/Dh_o)+(10^6*my2*10^(-3))/(D2*v2*rho_o)).^(1/3)))); %Frisksjonsfaktoren

%dv2/dt=-d(v2^2)/delta_z-(1/rho_o)*(dp3/delta_z)-0.5*lamda*v2^2*(1/D2)+g_z Momentbalansen
sys(2*blocks_g+1)=((v2_inn.^2)-(v2(1).^2))/delta_z_o+(1/rho_o)*((p3(1)-p3(2))/delta_z_o)-
0.5*lamda_o(1).*v2(1).^2*(1/D2)-g*sin(alfa_o);

sys(2*blocks_g+2:2*blocks_g+blocks_o-1)=((v2(1:blocks_o-2).^2)-(v2(2:blocks_o-1).^2))/delta_z_o+(1/rho_o)*((p3(2:blocks_o-1)-p3(3:blocks_o))/delta_z_o)-0.5*lamda_o(2:blocks_o-1).*v2(2:blocks_o-1).^2*(1/D2)-g*sin(alfa_o);

sys(2*blocks_g+blocks_o)=((v2(blocks_o-1).^2)-(v2(blocks_o).^2))/delta_z_o+(1/rho_o)*((p3(blocks_o)-p3_out)/delta_z_o)-0.5*lamda_o(blocks_o).*v2(blocks_o).^2*(1/D2)-g*sin(alfa_o);

%dp3/dt=-c^2*(d(rho_o*v2))/delta_z Massebalansen
sys(2*blocks_g+blocks_o+1)=c^2*rho_o*(v2_inn-v2(1))/delta_z_o;

sys(2*blocks_g+blocks_o+2:2*blocks_g+2*blocks_o-1)=c^2*rho_o*((v2(1:blocks_o-2))-
(v2(2:blocks_o-1)))/delta_z_o;

sys(2*blocks_g+2*blocks_o)=c^2*rho_o*(v2(blocks_o-1)-v2(blocks_o))/delta_z_o;

t;

```



**BILAG E FUNKSJONEN LAGE\_GLOBALE**

```
function y=lage_globale(u);
global M z T rho_o Cv_o Cv_g Y my1 my2 e u_oi u_gi h_t_ini c


M=u(1);           % molvekten til gassen
z=u(2);           % kompressibiliteten til gassen
T=u(3);           % temperaturen i systemet
rho_o=u(4);       % tettheten til oljen
Cv_o=u(5);        % Cv verdien til oljeventilen
Cv_g=u(6);        % Cv verdien til gassventilen
Y=u(7);           % ekspansjonsfaktoren i gassventilligningen
my1=u(8);         % viskositeten til oljen
my2=u(9);         % viskositeten til gassen
e=u(10);          % ruheten til rørene
u_oi=u(11);       % nominell oljeventil stilling
u_gi=u(12);       % nominell gassventil stilling
h_t_ini=u(13);    % totalt væskenivå i tanken, initielt
c=u(14);          % lydshastigheten til oljen

y=u;
```

## BILAG F DIM. AV SEPARATOR, 3 MIN. OPPHOLDSTID

**Tool for calculation of horizontal separator size and weight**

© G.Mo. 2000



**Project:** Gjøa  
**Client:** Siri Nyheim  
**Tagnr.:** 3 min  
**Description:** Maks olje, maks vann  
**Case:** Diplom  
**User:** Siri Nyheim

**Calculations:**

Calculation Type

Size Calculation  
 Size and Weight Calculations

**Size Calculations:**

Separator Type

2-Phase Vapour-Liquid Separator  
 2-Phase Liquid-Liquid Separator  
 3-Phase Separator

**Info:**  
 Red text / numbers: Must be filled in  
 Pink numbers: Default values - can be changed  
 Blue numbers: Calculated values  
 Black text: Comment to calculated values

Oil Volume flow [Am <sup>3</sup> /h]:	464,00	Oil Density [kg/m <sup>3</sup> ]:	719,90
Gas Volume flow [Am <sup>3</sup> /h]:	794,00	Gas Density [kg/m <sup>3</sup> ]:	60,10
Water Volume flow [Am <sup>3</sup> /h]:	333,33	Water Density [kg/m <sup>3</sup> ]:	1000,00
Water in Oil [%]:	0,0		

Separator Diameter [mm]:	2800		
Separator Length Upstream Weir [mm]:	10000		
Separator Length Downstream Weir [mm]:	1000		
Total Separator Length TAN/TAN [mm]	11000		
Length / Diameter:	3,9	OK	
End / Central Inlet [E/C]:	E		

**Separator Requirements:**

Oil Retention Time, NIL - NL [min]:	3,0
Water Retention Time, BOT - NIL [min]:	3,0
Max. height of HHL [% of sep. diam.]:	75
Slug Volume [m <sup>3</sup> ]:	5
Chosen "k" in Stokes law:	0,177

Separator Liquid Levels:	Distance [mm]	Retention time [s]	Calc. Ret. Time [s]		Total Liquid Height [mm]
BOT - LLIL	290	30	36	OK	290
LLIL - LIL	250	45	53	OK	540
LIL - NIL	350	45	92	OK	890
NIL - HIL	110	30	31	OK	1000
HIL - Weir Hight	110	30	32	OK	1110
Weir Hight - LLL	200	45	47	OK	1310
LLL - LL	190	45	45	OK	1500
LL - NL	200	45	47	OK	1700
NL - HL	200	45	46	OK	1900
HL - HHL	210	45	45	OK	2110

**Liquid Calculations:**

Oil Retention Time, NIL - NL [min]:	3,4	OK
Water Retention Time, BOT - NIL [min]:	3,0	OK
Max. height of HHL [% of sep. diam.]:	75	OK
Slug Volume [m <sup>3</sup> ]:	6	OK

**Vapour Calculations:**


Max. gas velocity from Stokes law [m/s]:	0,59	
Actual gas velocity above HL [m/s]:	0,13	OK
Actual gas velocity above HHL [m/s]:	0,19	OK
Height above HHL avail. for foam [mm]:	376	

*Figur F Dimensjonering av separator med oppholdstid lik 3 minutter*

## BILAG G DIM. AV SEPARATOR, 2 MIN. OPPHOLDSTID

**Tool for calculation of horizontal separator size and weight**

© G.Mo. 2000



**Project:** Gjøa  
**Client:** Siri Nyheim  
**Tagnr.:** 2 min  
**Description:** Maks olje, maks vann  
**Case:** Diplom  
**User:** Siri Nyheim

**Calculations:**

Calculation Type

Size Calculation

Size and Weight Calculations

**Size Calculations:**

Separator Type

2-Phase Vapour-Liquid Separator

2-Phase Liquid-Liquid Separator

3-Phase Separator

**Info:**

Red text / numbers: Must be filled in

Pink numbers: Default values - can be changed

Blue numbers: Calculated values

Black text: Comment to calculated values

Oil Volumeflow [Am <sup>3</sup> /h]:	464,00	Oil Density [kg/m <sup>3</sup> ]:	719,90
Gas Volumeflow [Am <sup>3</sup> /h]:	794,00	Gas Density [kg/m <sup>3</sup> ]:	60,10
Water Volumeflow [Am <sup>3</sup> /h]:	333,33	Water Density [kg/m <sup>3</sup> ]:	1000,00
Water in Oil [%]:	0,0		

Separator Diameter [mm]:	2500	
Separator Length Upstream Weir [mm]:	8400	
Separator Length Downstream Weir [mm]:	500	
Total Separator Length TAN/TAN [mm]	8900	
Length / Diameter:	3,6	OK

End / Central Inlet [E/C]: E

**Separator Requirements:**

Oil Retention Time, NIL - NL [min]:	2,0	
Water Retention Time, BOT - NIL [min]:	2,0	
Max. height of HHL [% of sep. diam.]:	75	
Slug Volume [m <sup>3</sup> ]:	5	
Chosen "k" in Stokes law:	0,177	

Separator Liquid Levels:	Distance [mm]	Retention time [s]	Calc. Ret. Time [s]		Total Liquid Height [mm]
BOT - LLIL	250	20	23	OK	250
LLIL - LIL	220	30	35	OK	470
LIL-NIL	310	30	61	OK	780
NIL - HIL	100	20	21	OK	880
HIL - Weir Hight	100	20	22	OK	980
Weir Hight - LLL	120	20	20	OK	1100
LLL - LL	180	30	31	OK	1280
LL - NL	180	30	31	OK	1460
NL - HL	180	30	30	OK	1640
HL - HHL	230	30	36	OK	1870

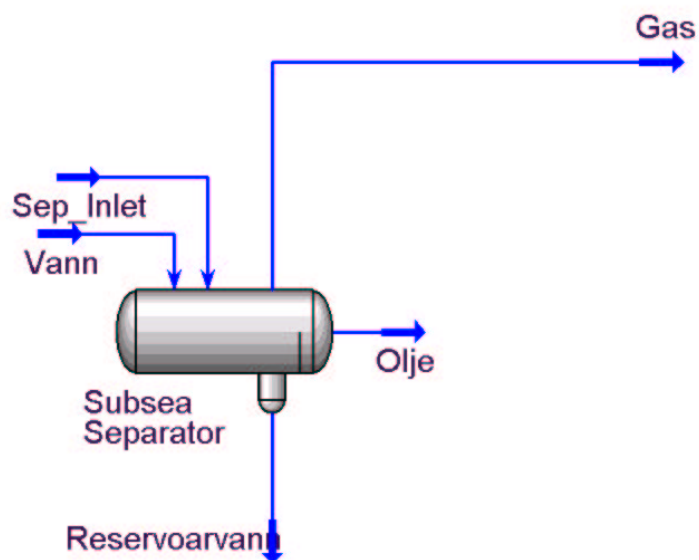
**Liquid Calculations:**

Oil Retention Time, NIL - NL [min]:	2,0	OK
Water Retention Time, BOT - NIL [min]:	2,0	OK
Max. height of HHL [% of sep. diam.]:	75	OK
Slug Volume [m <sup>3</sup> ]:	5	OK

**Vapour Calculations:**

Max. gas velocity from Stokes law [m/s]:	0,59	
Actual gas velocity above HL [m/s]:	0,15	OK
Actual gas velocity above HHL [m/s]:	0,23	OK
Height above HHL avail. for foam [mm]:	293	

Figur G Dimensjonering av separator med oppholdstid lik 2 minutter

**BILAG H HYSYS SIMULERING**

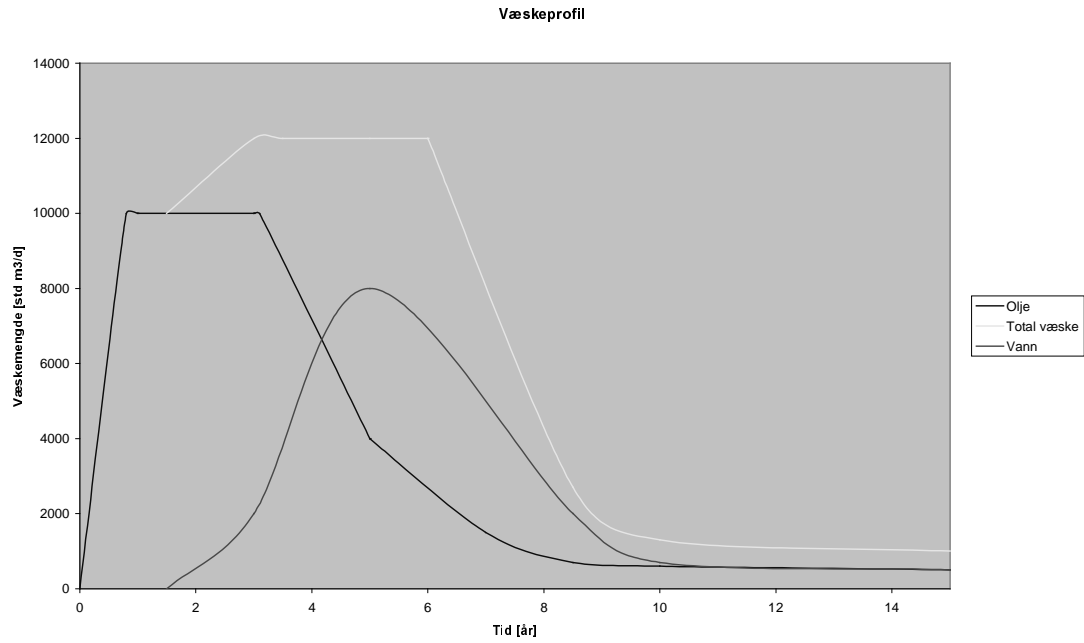
*Figur H Modell av undervanns prosessanlegget simulert stasjonært i Hysys*

plass til hysys ark

**husk å legg inn!!!!**

plass til hysys ark

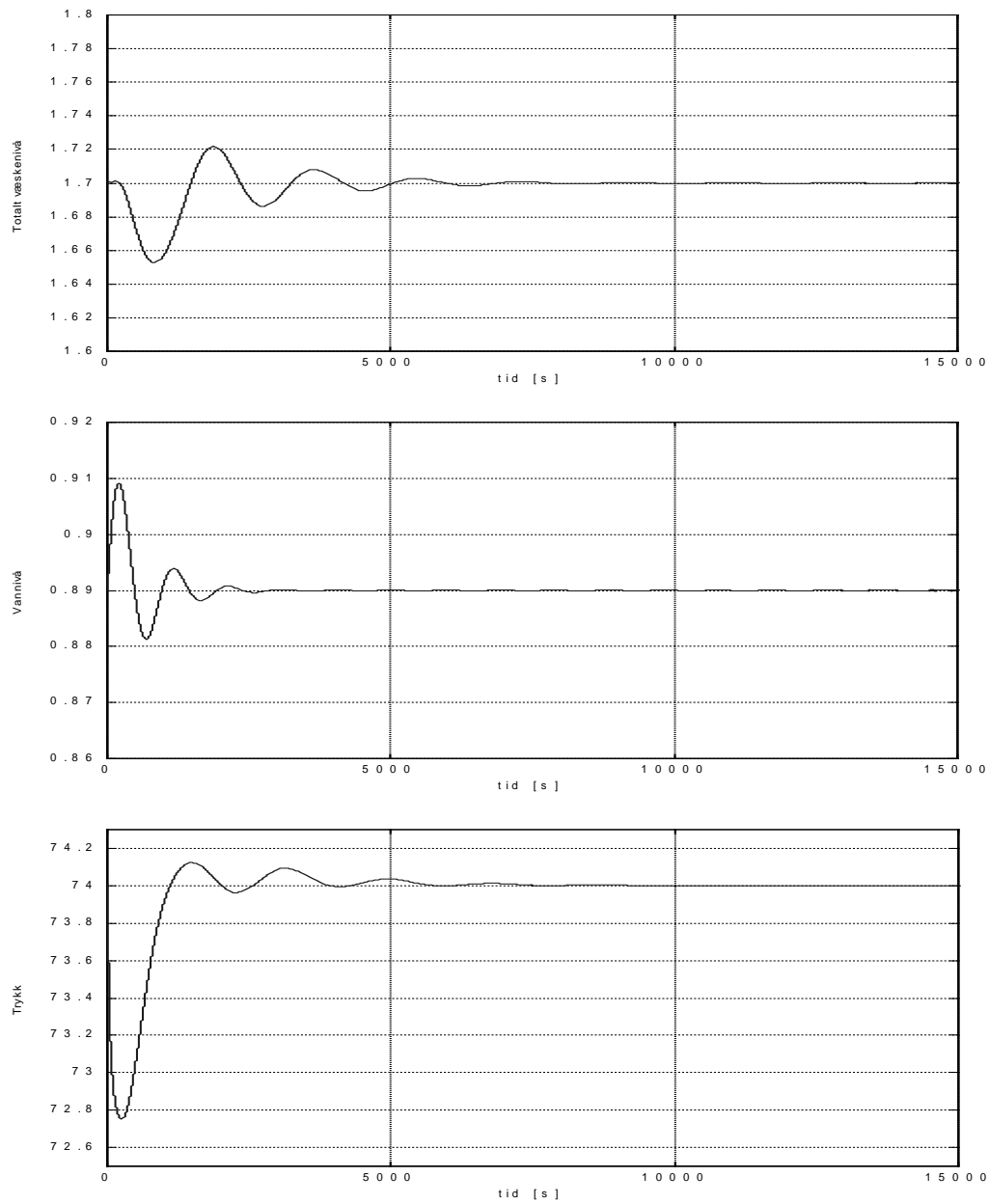
**husk å legg inn!!!!**

**BILAG I VÆSKEPROFIL**

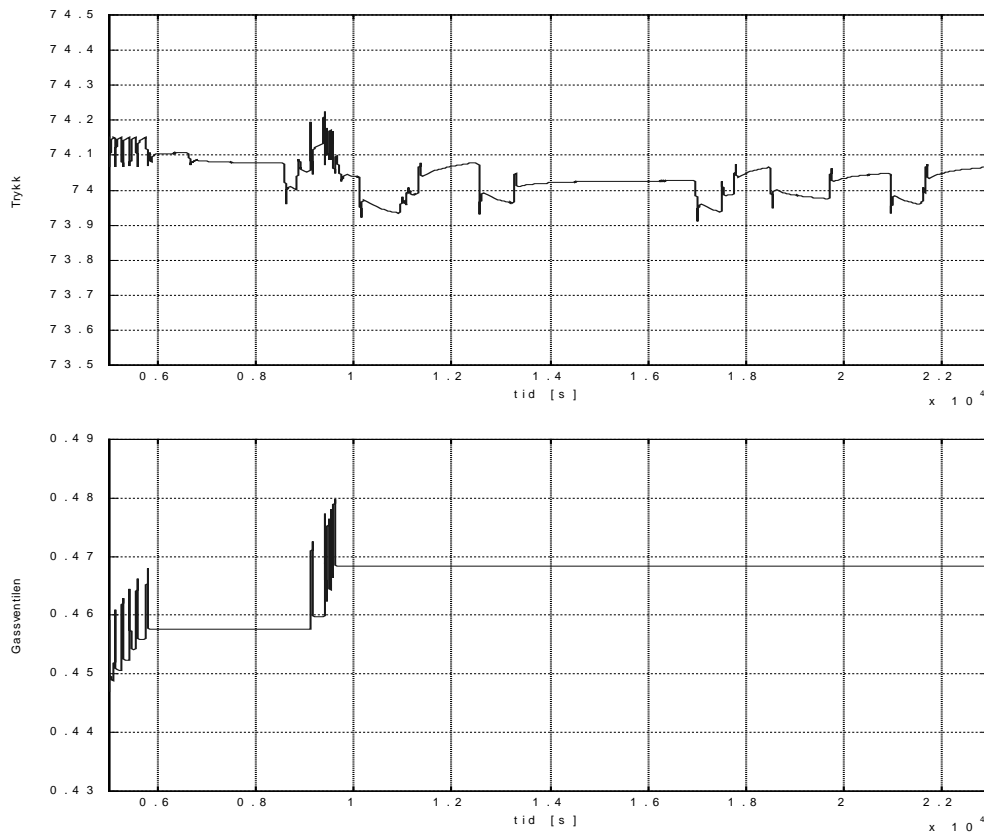
*Figur I Væskeprofil for Gjøa feltet*

## **BILAG J OLGA SIMULERING**

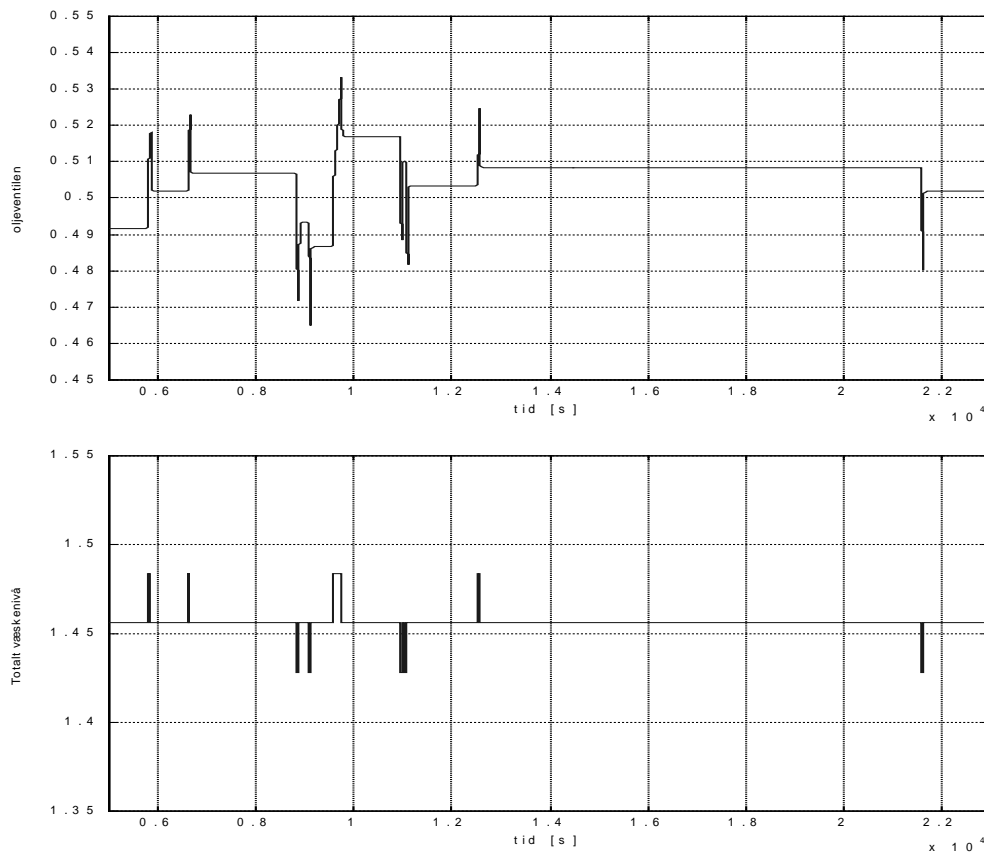


**BILAG K PRIMÆRCASE**

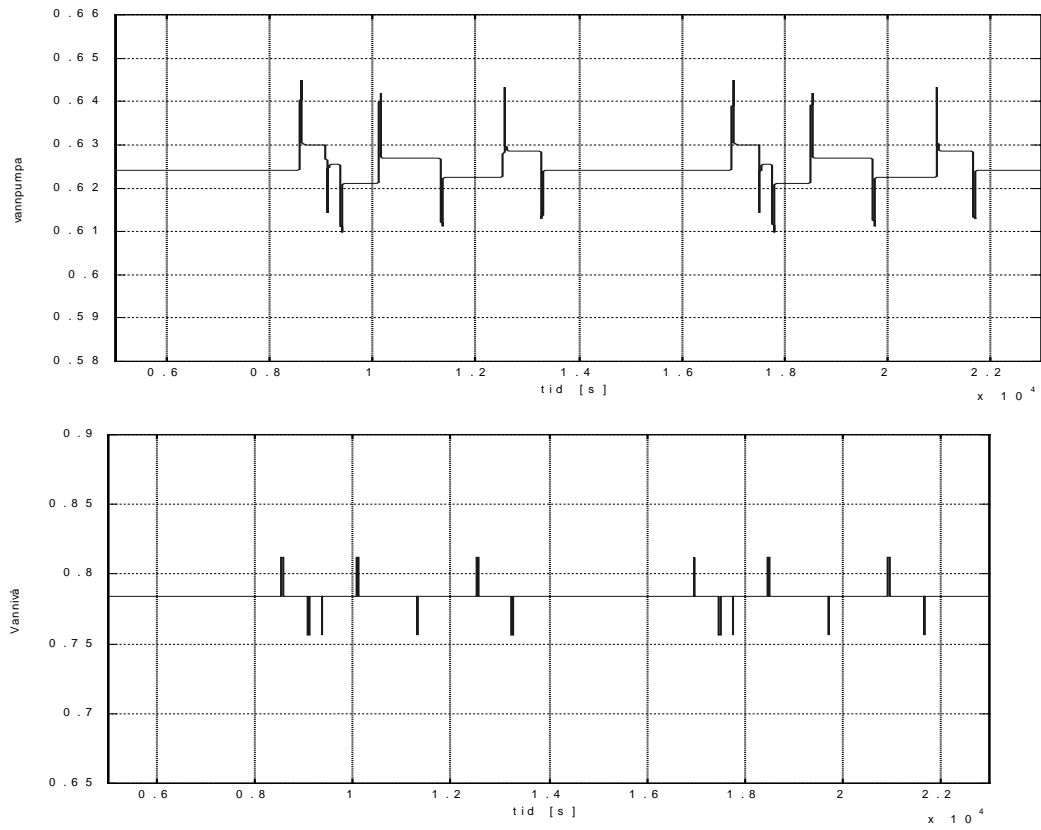
*Figur K Totalt væsknivå, vannivået og trykket i separatoren ved primærcase simulering*

**BILAG L ENDRING AV SEPARATORSTØRRELSE**

Figur L.1 Trykk og pådrag til gassventil ved endring av separatorstørrelse

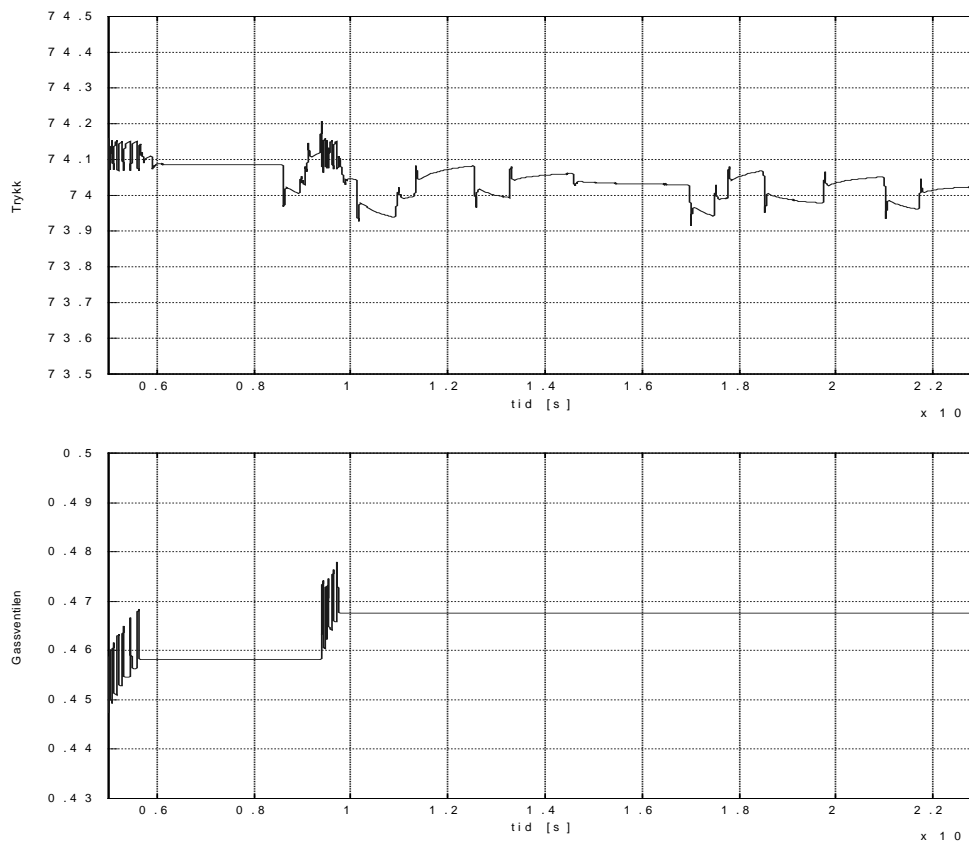


Figur L.2 Totalt væskeniå og pådrag til oljeventil ved endring av separatorstørrelse

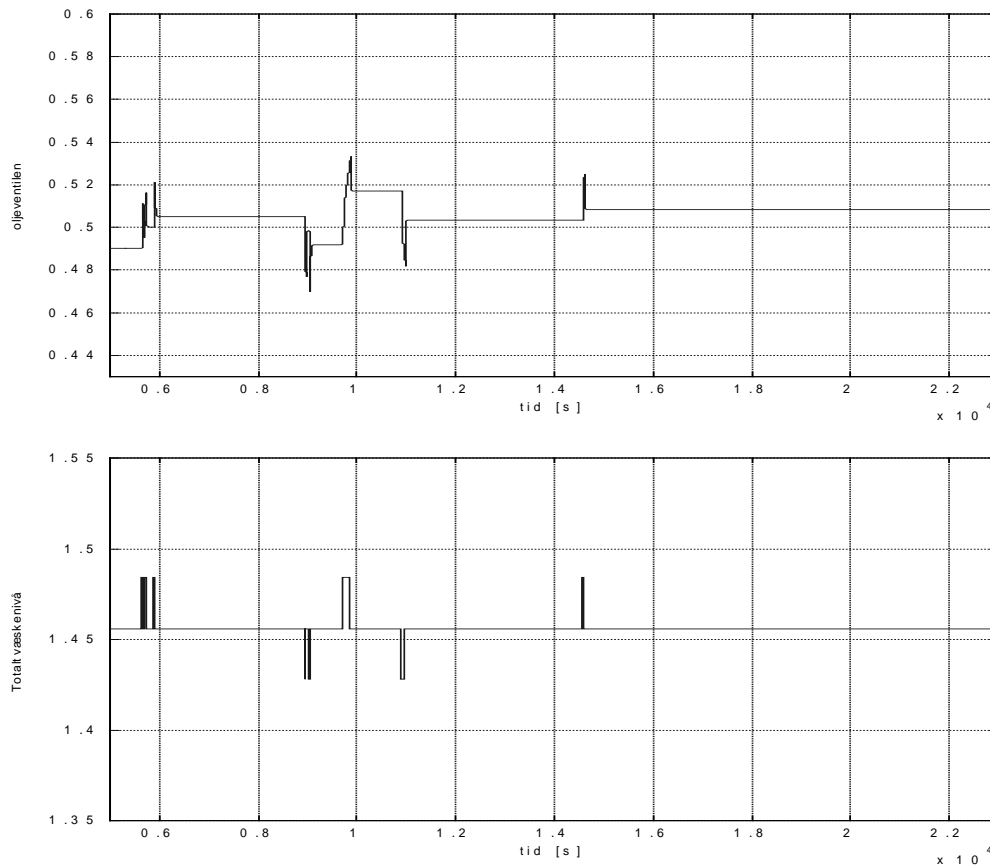


*Figur L.3 Vannivå og pådrag til pumpe ved endring av separatorstørrelse*

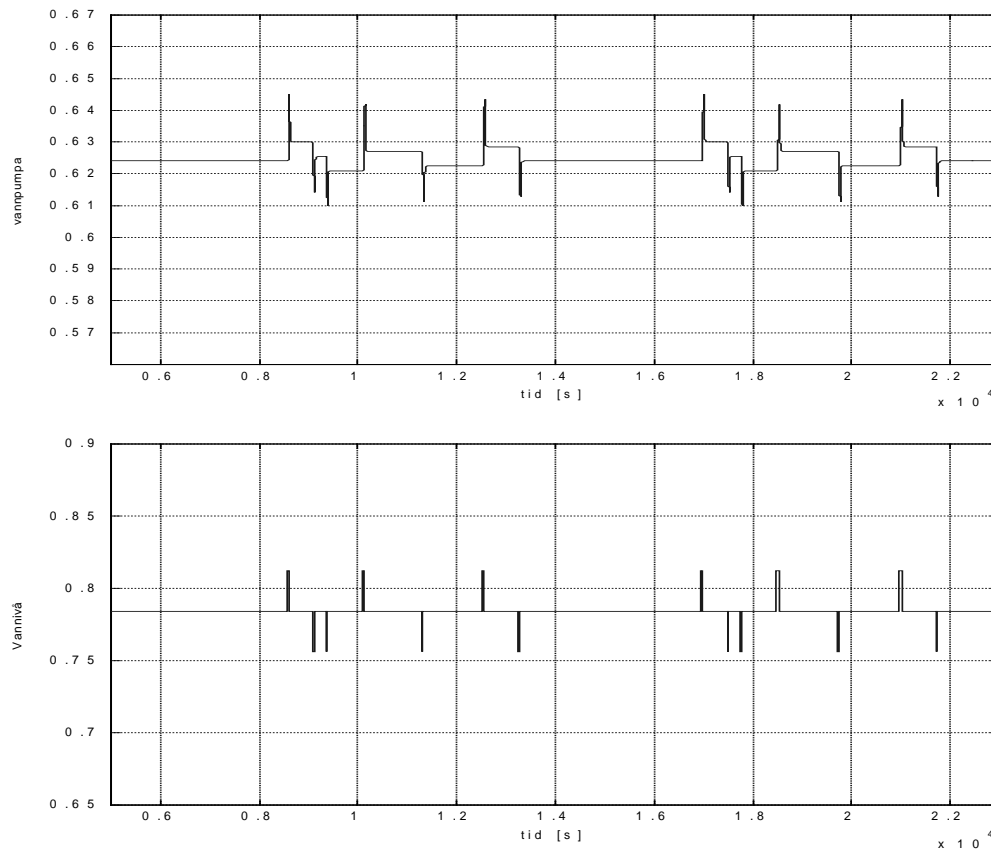
## BILAG M ENDRING AV SEPARATORSTØRRELSE OG HURTIGHET



*Figur M.1 Trykk og pådrag til gassventil ved endring av separatorstørrelse og hurtighet til ventiler og pumpe*

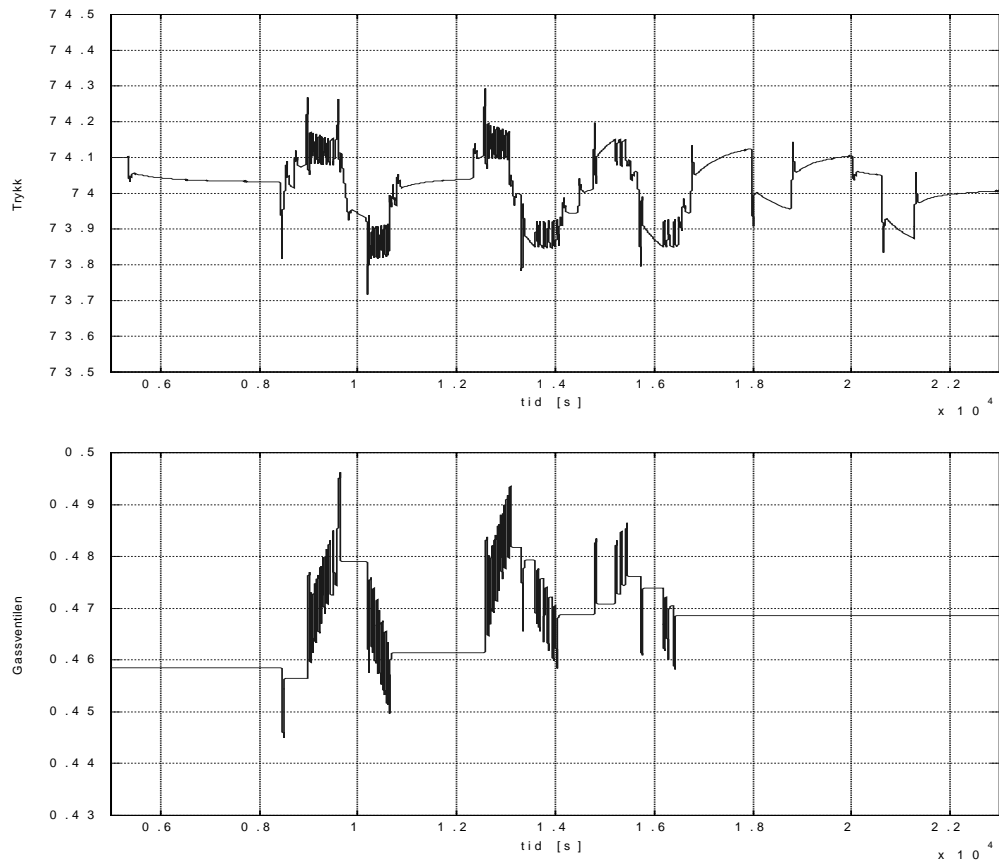


*Figur M.2 Totalt væskeniå og pådrag til oljeventil ved endring av separatorstørrelse og hurtighet til ventiler og pumpe*



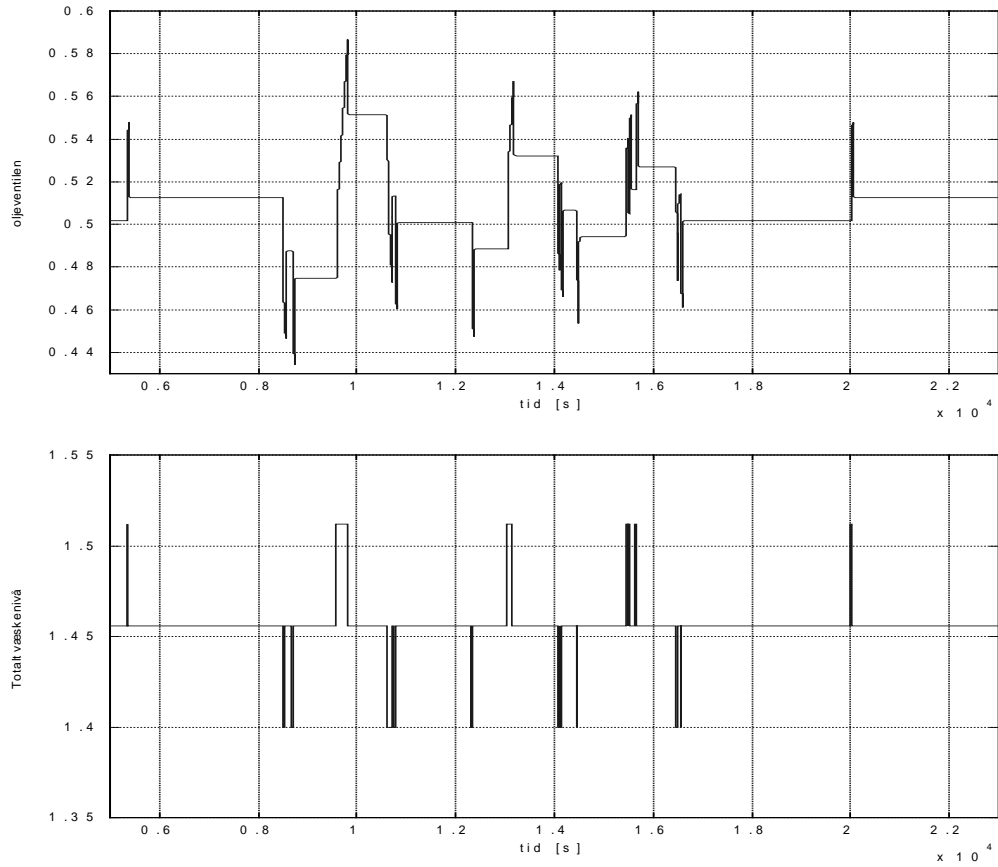
*Figur M.3 Vannivå og pådrag til pumpe ved endring av separatorstørrelse og hurtighet til ventilere og pumpe*

## BILAG N ENDRING AV SEPARATORSTØRRELSE OG OPPLØSNING PÅ NIVÅMÅLER

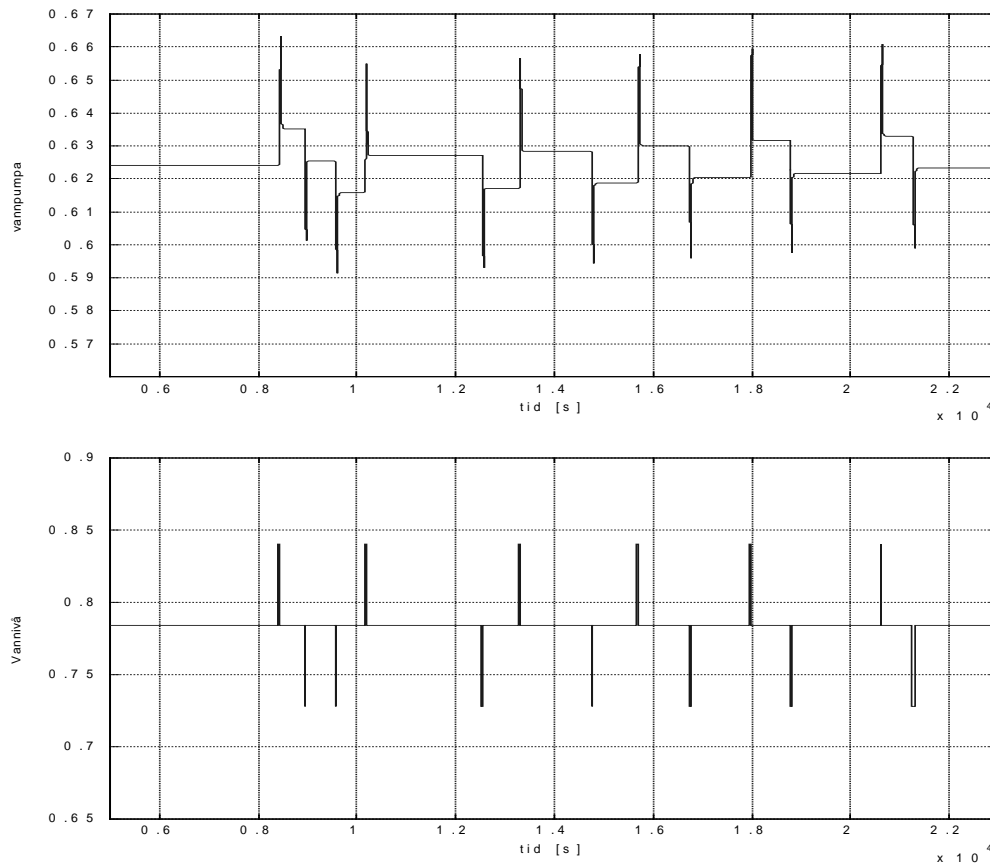


*Figur N.1 Trykk og pådrag til gassventil ved endring av separatorstørrelse og oppløsning på nivåmåler*

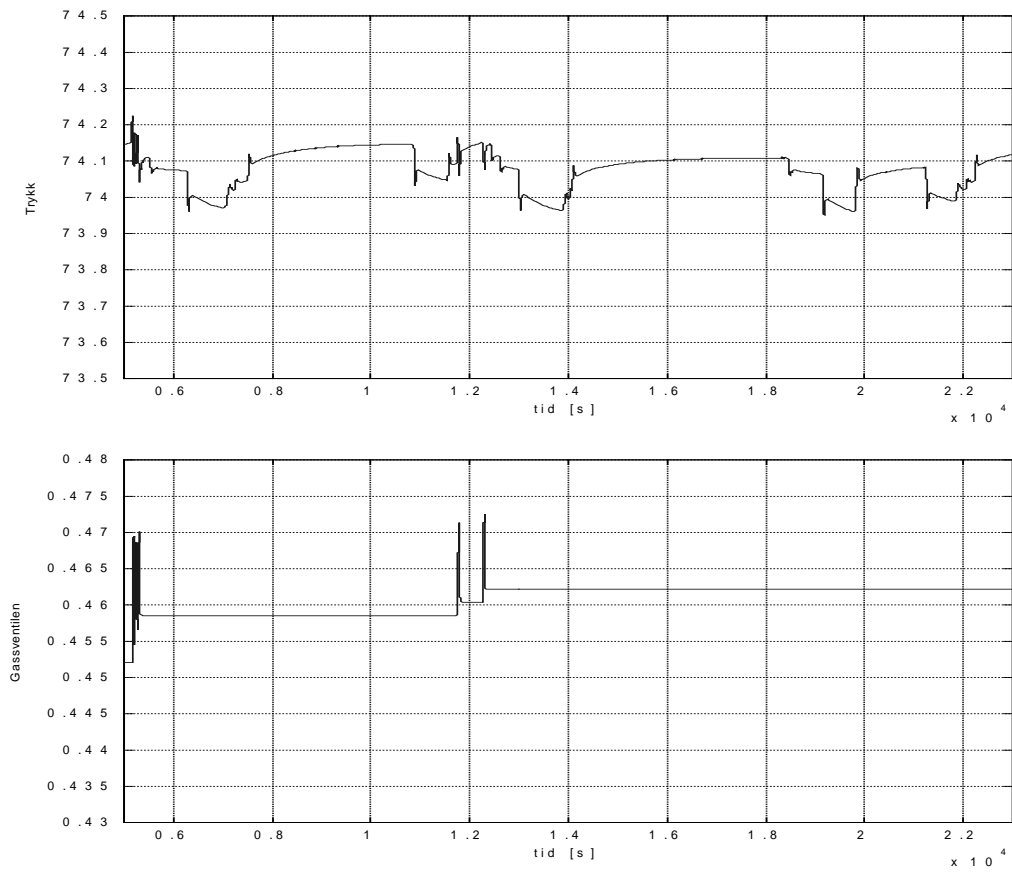




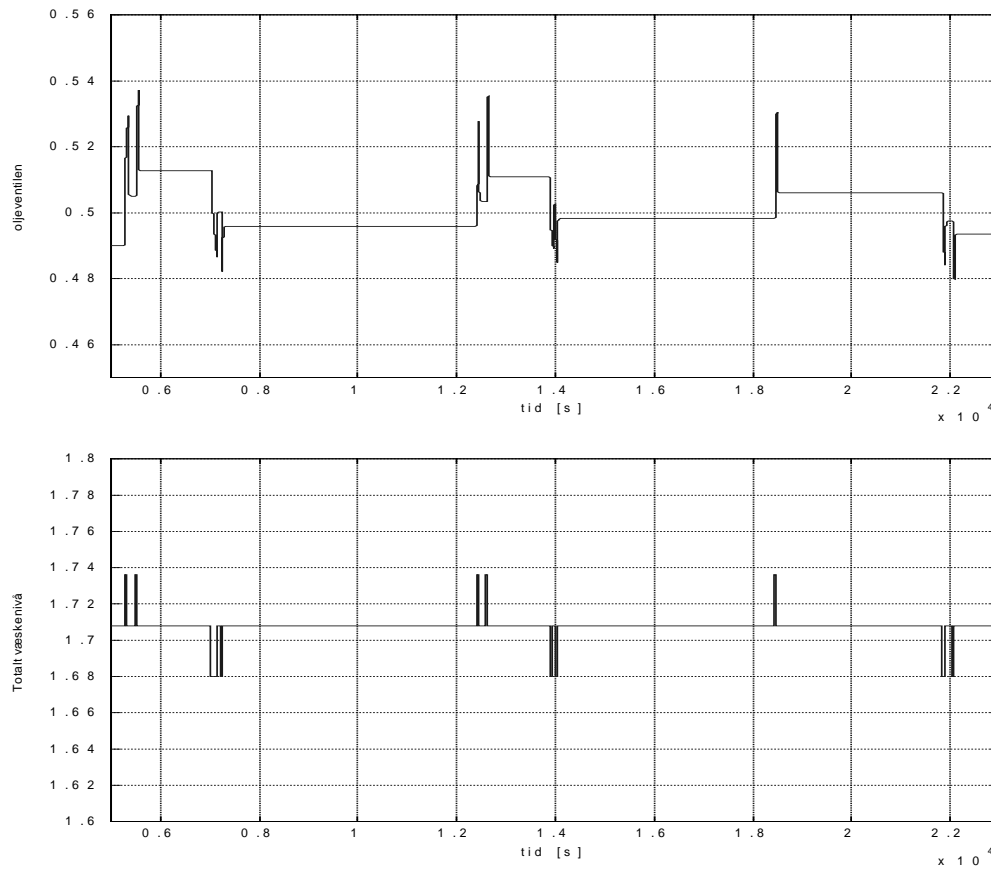
Figur N.2 Totalt væskeniå og pådrag til oljeventil ved endring av separatorstørrelse og oppløsning på nivåmåler



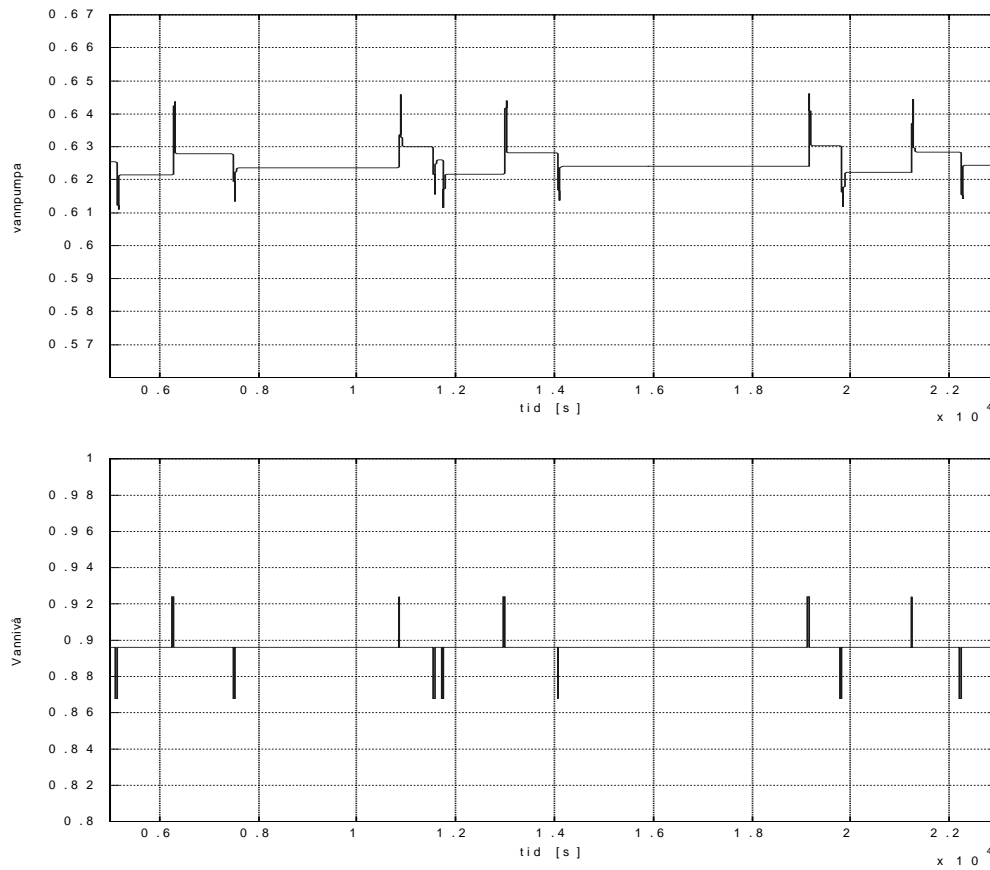
*Figur N.3 Vannivå og pådrag til pumpe ved endring av separatorstørrelse og oppløsning på nivåmåler*

**BILAG O ENDRING AV HURTIGHET**

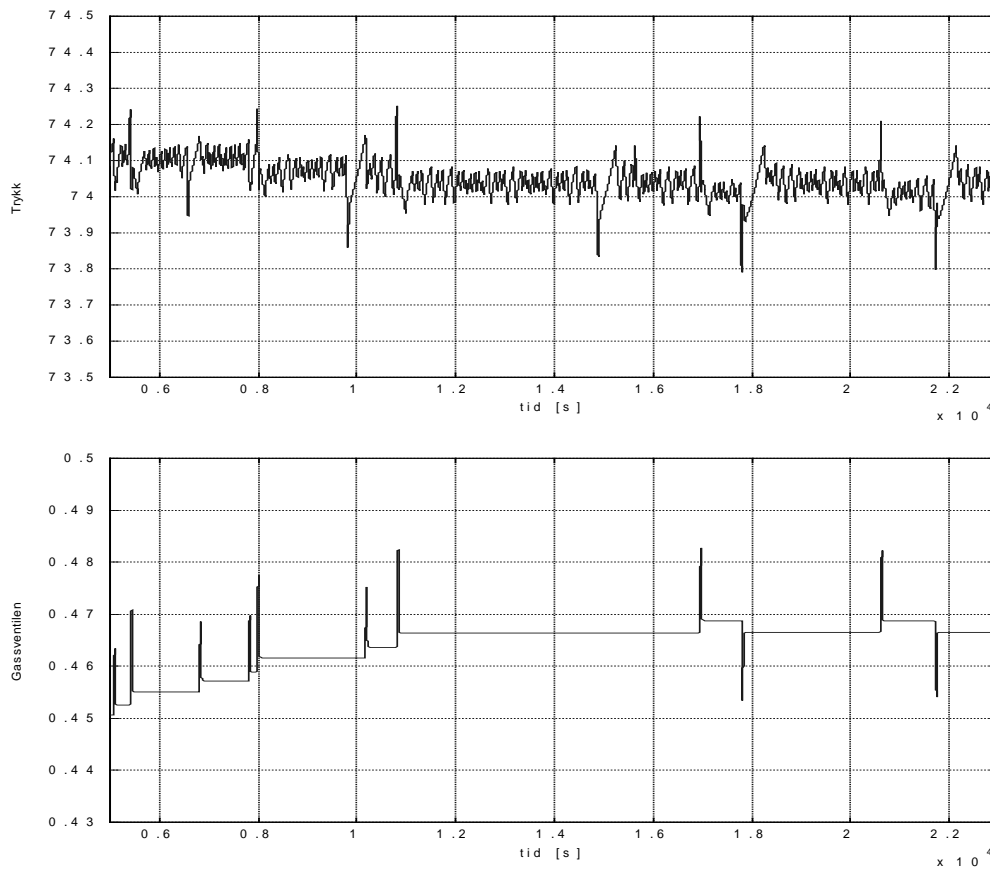
*Figur O.1 Trykk og pådrag til gassventil ved endring av hurtighet til ventiler og pumpe*



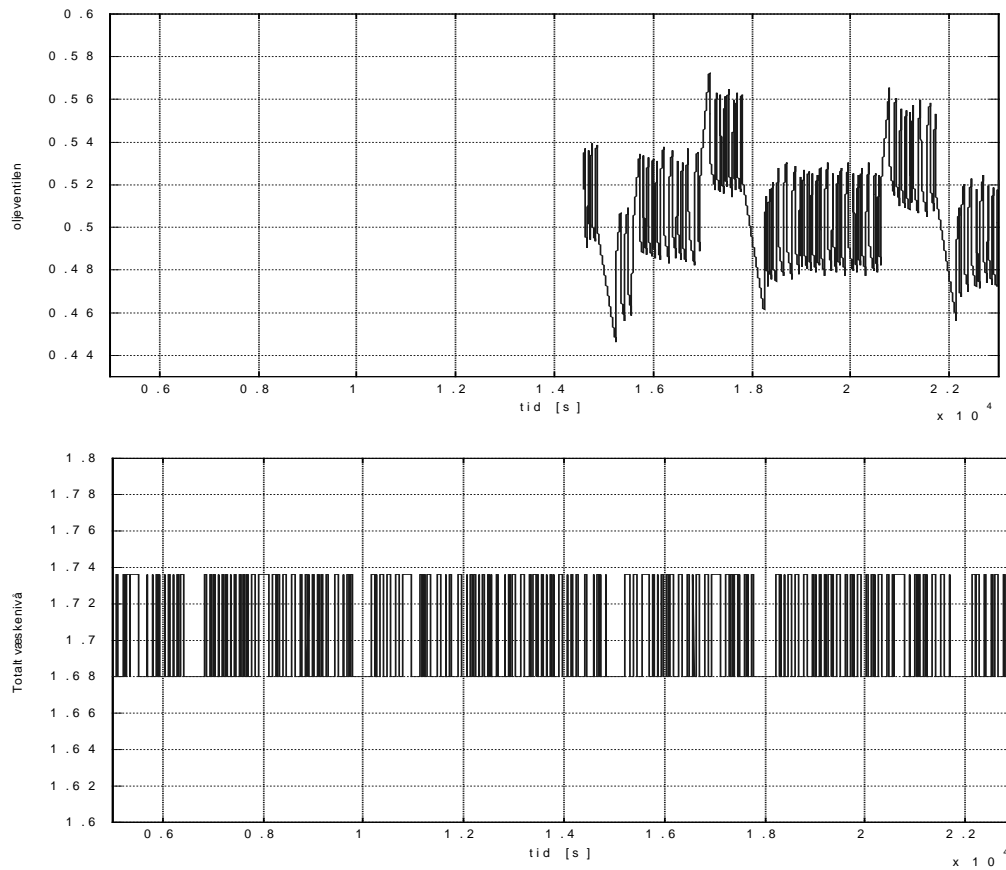
*Figur O.2 Totalt væskeniå og pådrag til oljeventil ved endring av hurtighet til ventiler og pumpe*



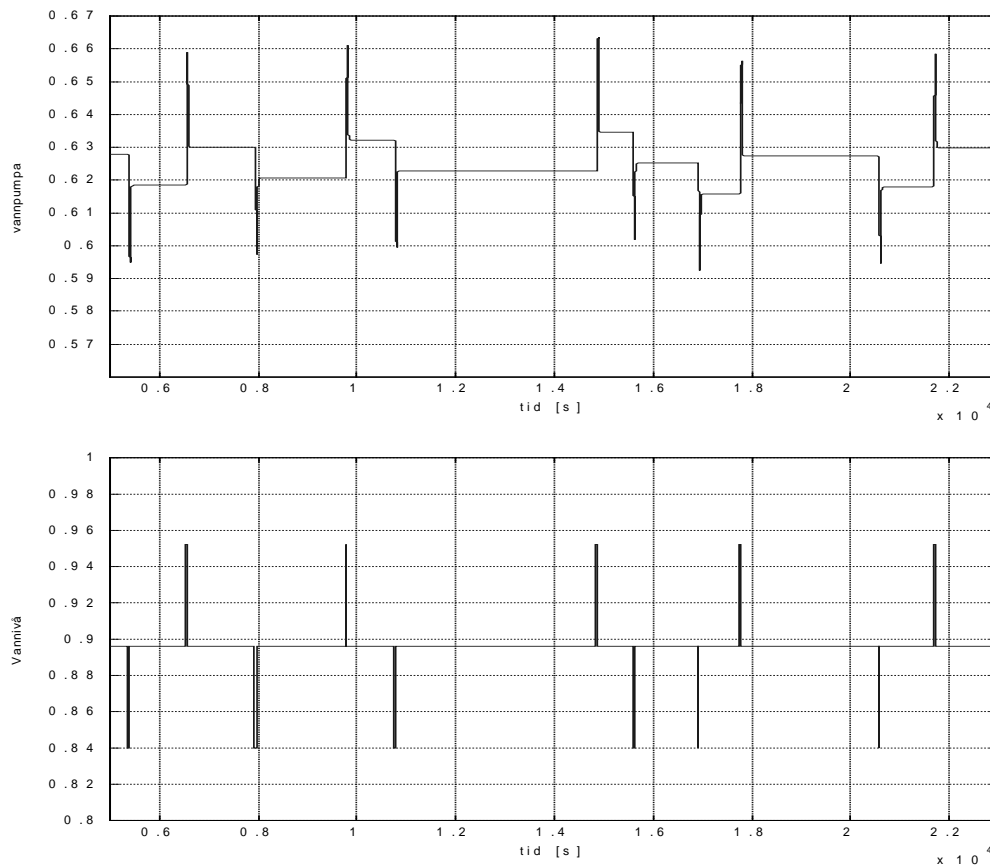
Figur O.3 Vannivå og pådrag til pumpe ved endring av hurtighet til ventiler og pumpe

**BILAG P ENDRING AV OPPLØSNINGEN PÅ NIVÅMÅLER**

*Figur P.1 Trykk og pådrag til gassventil ved endring av oppløsning på nivåmåler*



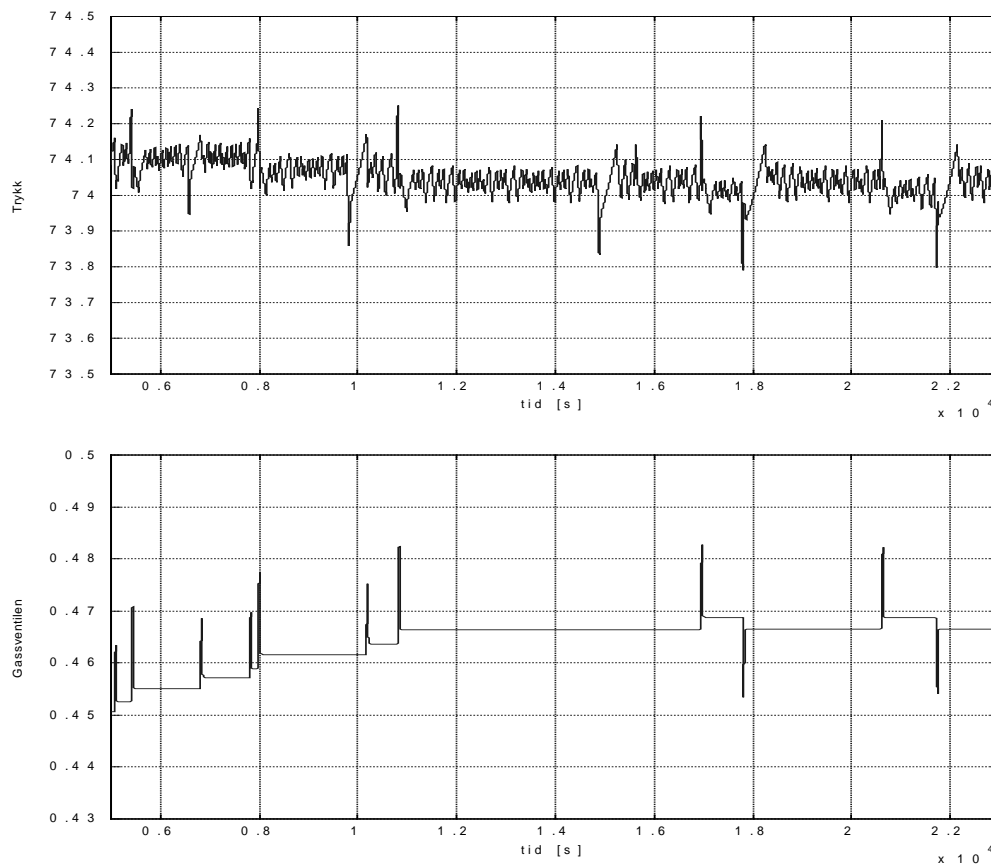
*Figur P.2 Totalt væskeniå og pådrag til oljeventil ved endring av oppløsning på nivåmåler*



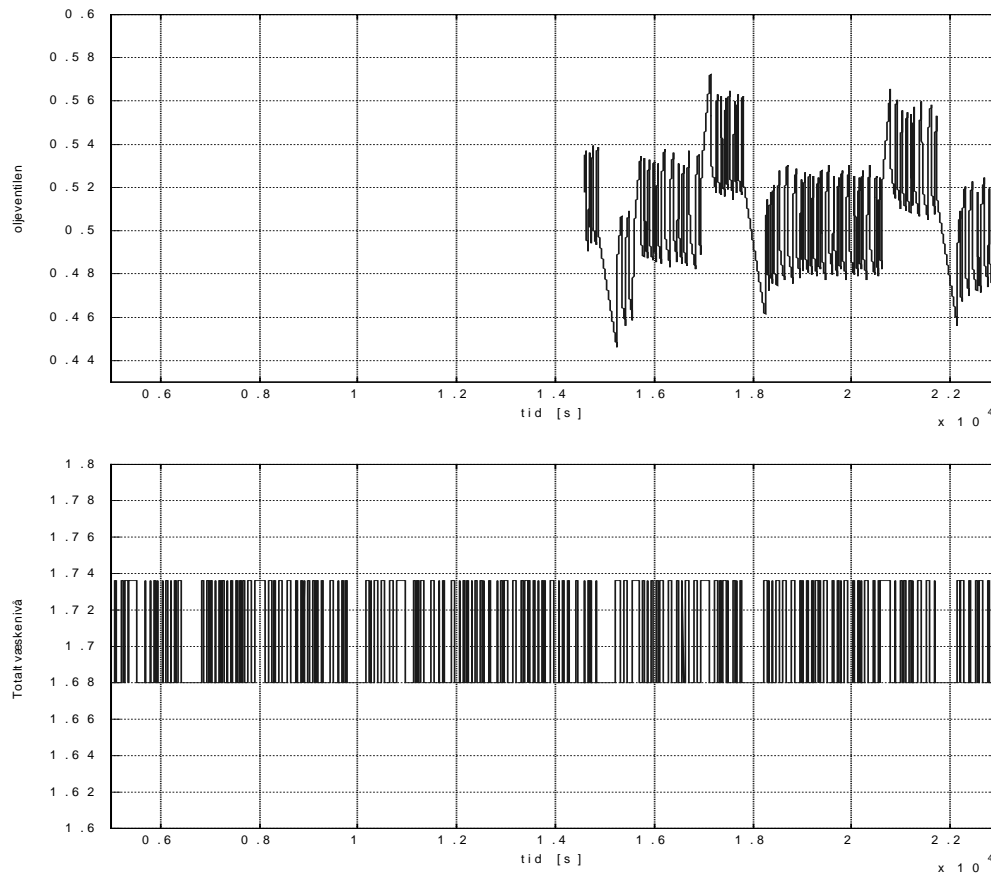
Figur P.3 Vannivå og pådrag til pumpe ved endring av oppløsning på nivåmåler



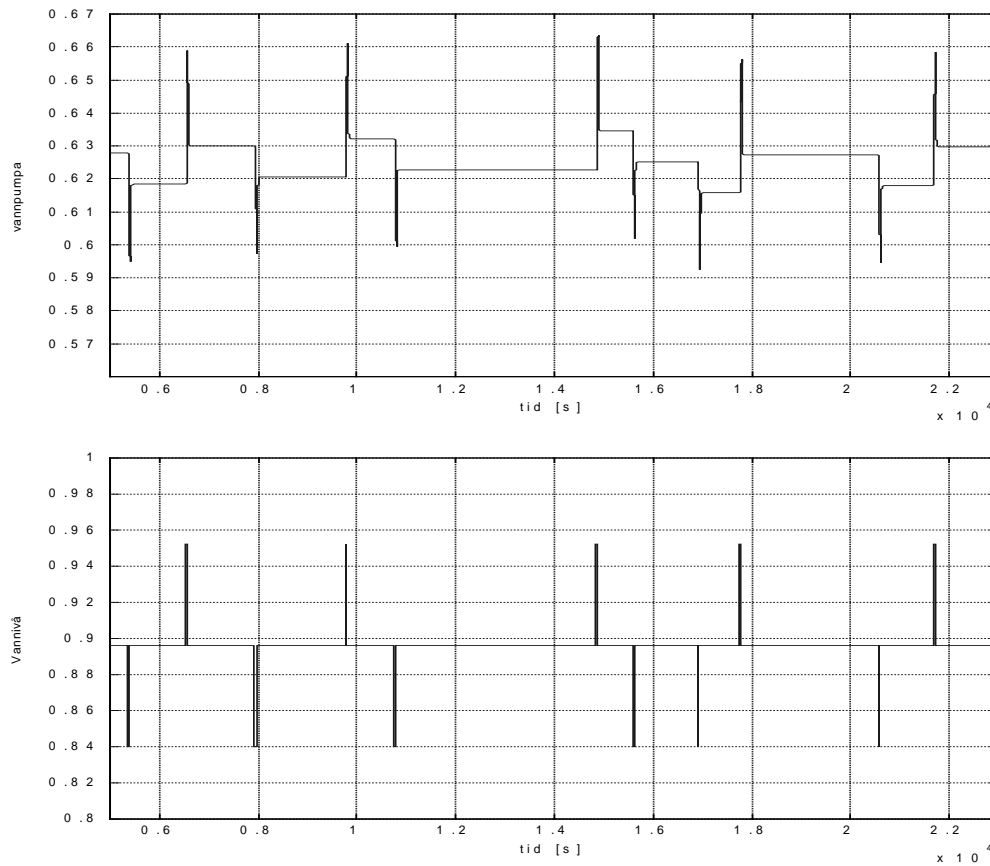
## BILAG Q ENDRING AV OPPLØSNING PÅ NIVÅMÅLER OG HURTIGHET



*Figur Q.1 Trykk og pådrag til gassventil ved endring av oppløsning på nivåmåler og hurtighet til ventiler og pumpe*

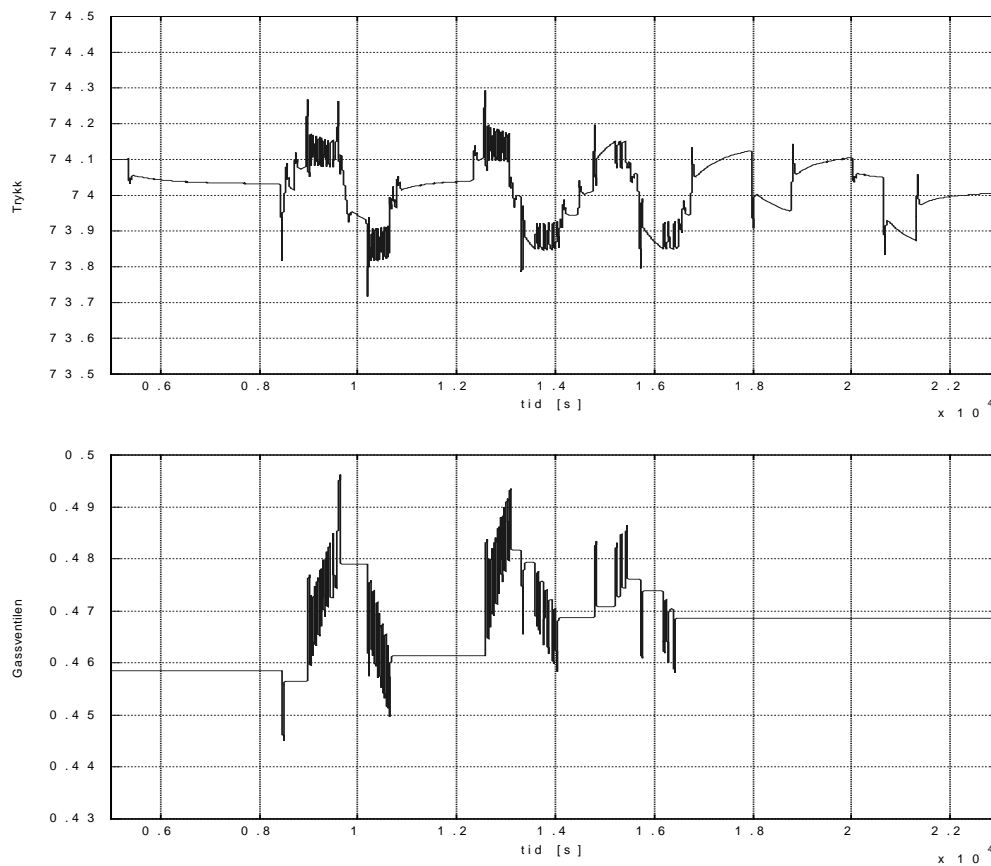


*Figur Q.2 Totalt væskeniå og pådrag til oljeventil ved endring av oppløsning på nivåmåler og hurtighet til ventiler og pumpe*

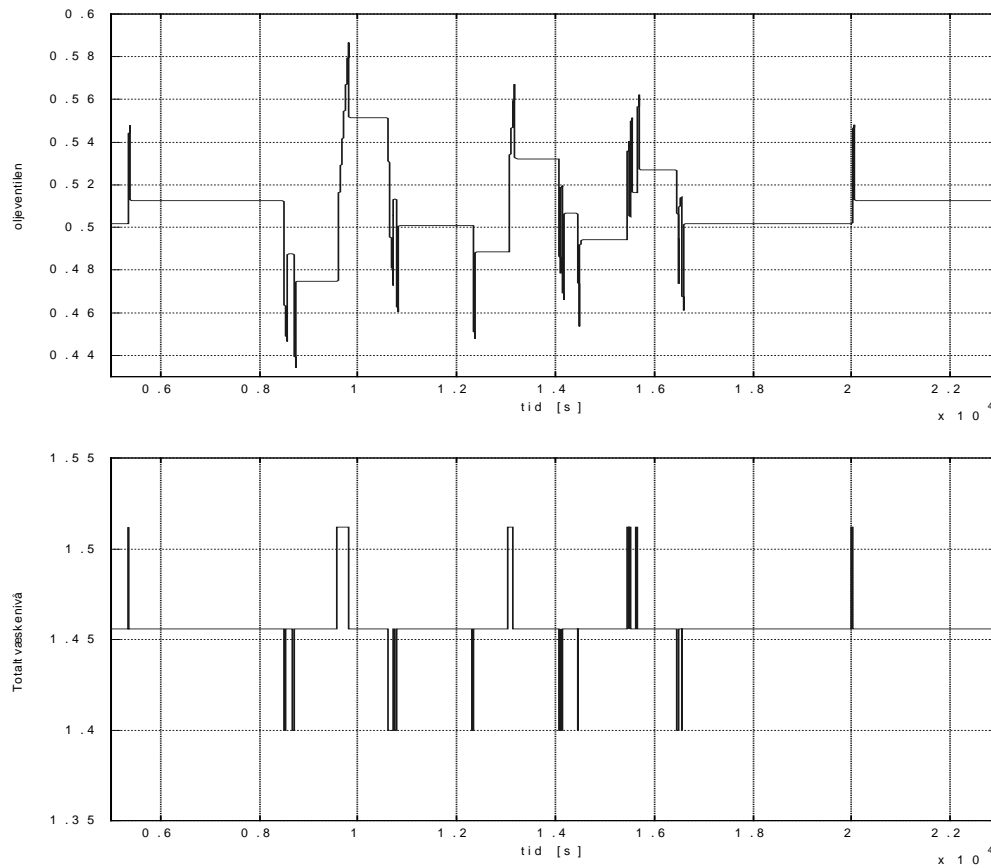


Figur Q.3 Vannivå og pådrag til pumpe ved endring av oppløsning på nivåmåler og hurtighet til ventiler og pumpe

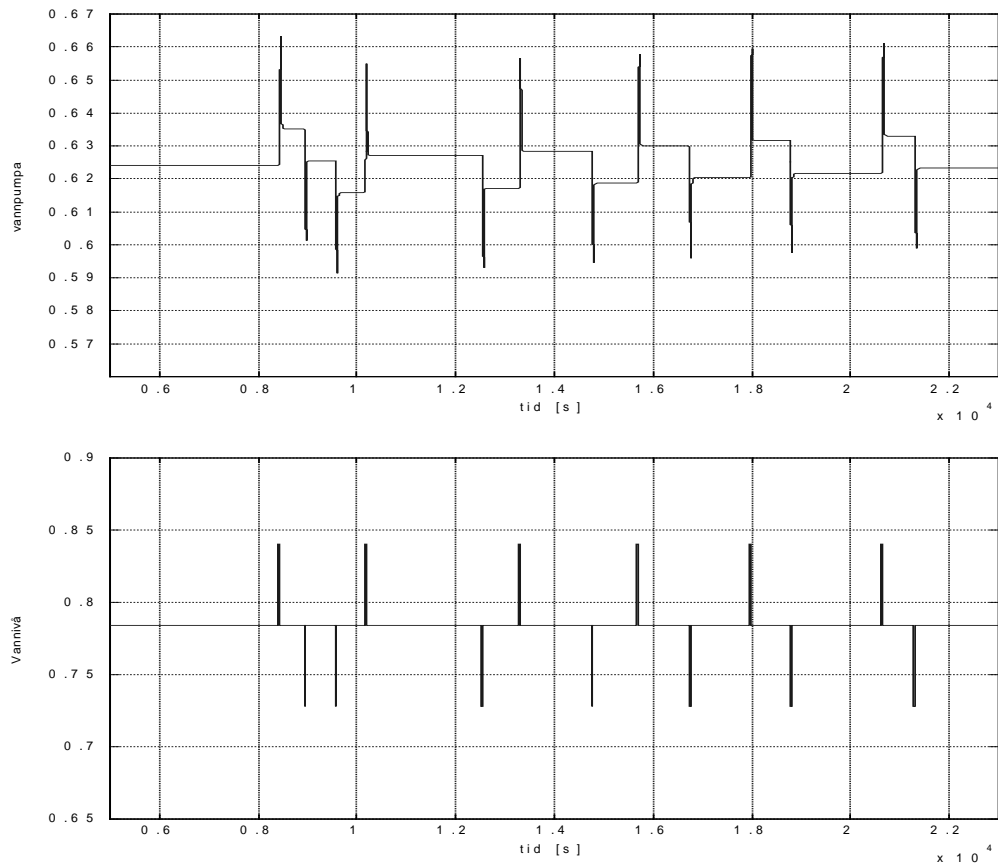
## BILAG R ENDRING AV SEPARATOR STØRRELSE, HURTIGHET OG OPPLØSNING PÅ NIVÅMÅLER



*Figur R.1 Trykk og pådrag til gassventil ved endring av oppløsning på nivåmåler, hurtighet til ventiler og pumpe, og separator størrelse*



*Figur R.2 Totalt væskeniå og pådrag til oljeventil ved endring av oppløsning på nivåmåler, hurtighet til ventiler og pumpe, og separator størrelse*



*Figur R.3 Vannivå og pådrag til pumpe ved endring av oppløsning på nivåmåler, hurtighet til ventiler og pumpe, og separator størrelse*

## BILAG S BRUKERVEILEDNING FOR UNDERVANNSESEP

Dette er brukerveiledning for simuleringprogrammet Undervannssep. Undervannssep er et Simulink program som er modellert til å regulere en separator som står på havbunnen. Separatoren skal skille olje, vann og gass som kommer inn fra et reservoar. Rørene som skal transportere olje og gass fra separatoren og opp til havoverflaten er også modellert.

Brukerveiledningen tar for seg hvordan man gjør en simulering, hvilke parametere man kan forandre, og hva de ulike parameterene står for.

For å starte programmet Undervannssep må man åpne både Simulinkprogrammet Undervannssep og Input\_verdier.

### S.1 INPUT\_VERDIER

Input\_verdier er kun et program hvor man legger inn ulike variable. Når variablene er lagt inn må man kjøre programmet. Dette må gjøres for å legge variable globale slik at Matlab funksjonene som benyttes av Undervannssep kan hente de inn. Det er også viktig at Input\_verdier kjøres før man starter Undervannssep. Det er faktisk umulig å starte Undervannssep uten at Input\_verdier er kjørt gjennom en gang. Man vil da få en feilmelding.

Variablene man legger inn er:

- Gassens molvekt [kg/kmol]

Dette er molvekten,  $M$ , til gassen i systemet, gitt i kg/kmol.

- Gassens kompressibilitetsfaktor

Dette er kompressibilitetsfaktoren,  $z$ , til gassen i systemet.

- Gassens viskositet [cP]

Dette er viskositeten,  $\mu$ , til gassen i systemet, gitt i cP.

- Oljens viskositet [cP]

Dette er viskositeten,  $\mu$ , til oljen i systemet, gitt i cP.

- Tettheten til oljen [kg/m<sup>3</sup>]

Dette er tettheten til oljen,  $\rho$ , i systemet, gitt i kg/m<sup>3</sup>

- Temperatur i separatoren [K]

Dette er temperaturen,  $K$ , i hele systemet, gitt i Kelvin. Det er antatt at systemet bestående av separator og rørene etter separatoren og opp til havoverflaten har lik temperatur. Det er sett bort fra endring i temperatur.

- Cv verdi for oljeventilen

Dette er Cv verdien til ventilen som styrer oljemengden som går ut av separatorene. Det er viktig å huske at ventilen er skalert til å ligge mellom 0 og 1, og at trykket er gitt i Pascal.

- Cv verdi for gassventilen

Dette er Cv verdien til ventilen som styrer gassmengden som går ut av separatorene. Det er viktig å huske at ventilen er skalert til å ligge mellom 0 og 1, og at trykket er gitt i Pascal.

- Y verdien

Dette er ekspansjonsfaktoren i gassventilligningen, Nordgård<sup>(1)</sup>:

$$Y = 1 - \frac{1}{3 \cdot \frac{\kappa_{\text{fluid}}}{\kappa_{\text{luft}}}} \cdot \frac{x}{x_{\text{TP}}}$$

hvor  $\kappa$  = adiabateksponenten og lik  $c_p/c_v$  []

$x = (p-p_1)/p$  = trykkfallsforhold over ventil

$x_{\text{TP}}$  = største tillatte trykkfallforhold over ventil

Det er antatt at Y er konstant.

- Ruheten til rørene [m]

Dette er ruheten for olje- og gassrøret som går fra separatorene og opp til havoverflaten, gitt i meter. Det er antatt at det er benyttet like rør for transport av både olje og gass.

- Initiell åpning på oljeventilen, u [0-1]

Dette er den initielle åpningen som er forventet at oljeventilen vil ha ved stasjonær tilstand. Ventilen er skalert til å ligge mellom 0 og 1.

- Initiell åpning på gassventilen, u [0-1]

Dette er den initielle åpningen som er forventet at gassventilen vil ha ved stasjonær tilstand. Ventilen er skalert til å ligge mellom 0 og 1.

- Initielt totalt væsknivå [m]

Dette er nivået av væske, både vann og olje, i separatortanken ved oppstart av simuleringene, gitt i meter.

- Oljens lydshastighet [m/s]

Dette er lydshastigheten til oljen som er i systemet, gitt i meter per sekund.



## S.2 UNDERVANNSSSEP

Programmet Undervannsssep er et Simulink program som simulerer regulering av en undervannsseparator som står på havbunnen. Rørene som vil føre gassen og oljen opp til havoverflaten er også inkludert i modellen.

Før man kan gjøre en simulering er det mange variable som må være satt slik at systemet er riktig i forhold til hva man ønsker å simulere. Ved å dobbeltklikke på blokkene som ligger i hovedvinduet til Undervannsssep som vises når man åpner programmet, vil det dukke opp vinduer hvor man legger inn variablene man ønsker.

Blokkene som vises i hovedvinduet til Undervannsssep består av superblokker. Det vil si at de selv inneholder mange blokker. Superblokkene kan man åpne slik at man se hvordan de er bygd opp ved å gå på "Edit" på menylinjen og videre på "Look under mask". Det er ikke nødvendig å åpne superblokkene eller skjønne hvordan systemet er bygd opp for å gjøre en enkel simulering. Hvis man ønsker å forandre brønnstrømmen ved å legge inn støy, slugger eller lignende, eller forandre filtreringsparametrene som er satt ved filtrering av målingene er det nødvendig å åpne superblokkene.

Modellen er programmert slik at hver simulering starter ved "stasjonær tilstand". Det vil si at prosessen ikke starter med stengte ventiler og pumpe. Separatortanken har lik strøm ut som inn. Men prosessen må likevel svinge seg inn, da rørene som transporterer oljen og gassen bruker lang tid på å stabilisere seg. Det tar rundt 5000 sekunder. I tillegg må prosessen stabilisere seg da de antatte verdiene som skal være ved stasjonær tilstand ikke går å finne helt nøyaktige.

Variablene man kan forandre for de ulike blokkene er:

### **Behandling og regulering av trykket:**

- Av/på sampling av trykkmåleren (diskret måling i tid)

Ved å huke av her, får man en sensor som vil måle trykket i separatortanken diskret. Det vil si at målingene kun blir gjort med et tids mellomrom. Hvis man ikke huker av får man kontinuerlig måling.

- Filtrere målingen av trykket

Ved å huke av denne boksen blir målesignalet filtrert. Det vil si at målesignalet vil bestå 20 prosent av ny måling og 80 prosent av forrige måling. Filtrering av målesignalet:

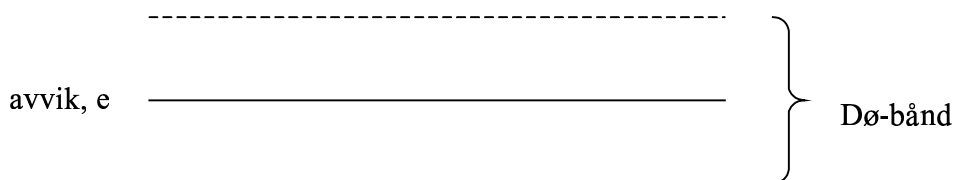
$$\text{Måling} = \text{ny\_måling} \cdot 0,2 + \text{forrige\_måling} \cdot 0,8$$

Filtrering av målesignal skal forhindre at støy eller enkeltutslag som har stort avvik fra setpunkt skal ha stor innvirkning. Ved filtrering vil hver måling få en tidsforsinkelse på et steg. Dette vil likevel ikke ha stor innvirkning på reguleringen selv om det viser seg at avvik i måling skyldes en slugg eller endring i brønnstrøm, og foretak bør igangsettes.

- Regulering av trykket med dø-bånd

Ved å huke av her får man regulering med dø-bånd. Det vil si at man kun ønsker at regulatoren skal virke når avviket av trykket i separatoren er større enn en grense. Hvis avviket ligger innenfor området vil signalet til regulatoren være lik null, som vil føre til at regulatoren ikke endrer pådrag.

Dø-båndet ser slik ut:



- Samplingstid for trykkmåleren [s]

Dette gir hvor ofte man ønsker at sensoren skal måle trykket, gitt i sekunder. Dette er kun aktuelt om man huker av for diskret måling, Av/på sampling.

- Ønsket trykk i separatortanken, setpunkt. [Pa]

Dette er trykket man ønsker å holde i separatoren, gitt i Pascal.

- Dø-bånd for regulering av gstrykket [Pa]

Dette er hvor stort dø-båndet skal være ved ønske om dø-bånd regulering av trykket, gitt i Pascal. Dette er kun aktuelt hvis man huker av for dø-bånd regulering.

- Integraltid for reg. av trykket [s]

Dette er integraltiden for PID regulatoren som skal regulere trykket i separatoren, gitt i sekunder.

- Derivattid for reg. av trykket [s]

Dette er derivattiden for PID regulatoren som skal regulere trykket i separatoren, gitt i sekunder.

- Gain for reg. av trykket

Dette er forsterkningen til PID regulatoren som skal regulere trykket i separatoren.

- Hvor hurtig kan gassventilen gå fra 0 til 100% [s]

Dette gir hvor hurtig gassventilen kan åpne seg fra null til hundre prosent. Dette fører til at en endring i ventilstillingen aldri kan endre seg mer enn gradienten  $1/\text{hurtigheten}$ .

- Tidskonstant, tiden på 63% av endring [s]

Dette er tidskonstanten som gir hvor lang tid ventilen bruker på å nå 63 prosent av endringen den skal utføre.

- Dø-tid på gassventilen [s]

Dette er tiden ventilen bruker fra den får signal om at det må skje en forandring til den begynner å endre seg.

### Behandling og regulering av totalnivået:

Det er de samme variablene som kan forandres i denne blokken som beskrevet over. Men her er det totalnivået av væske i separatoren det er snakk om.

### Behandling og regulering av vannnivået:

Det er de samme variablene som kan forandres i denne blokken som beskrevet over. Men her er det nivået av vann i separatoren det er snakk om.

### Vannpumpe

- Maksimal vannmengde i brønnstrømmen [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Dette er hvor mye vann det maksimalt kan være i brønnstrømmen, gitt i  $\text{m}^3/\text{s}$ .

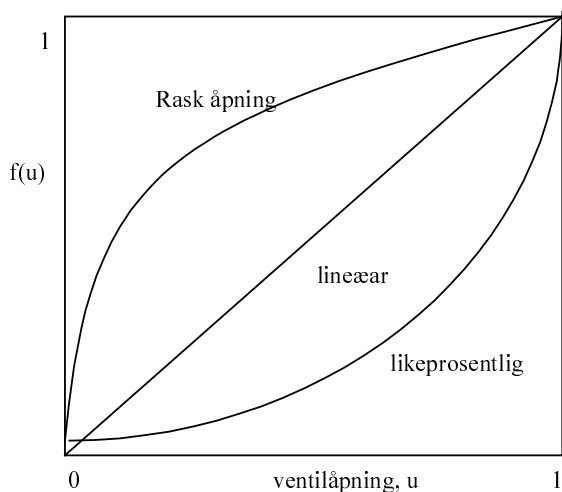
Vannpumpa er dimensjonert etter maksimal mengde vann som kan forekomme i brønnstrømmen. Vannpumpa kan likevel klare et turtall på 110 prosent.

### Rørene inkl. ventilene

- Ventiltype for oljeventilen: Lineær/Equal percentage

Dette gir hvilken type ventil man ønsker å benytte som pådragsorgan for oljen som forlater separatortanken. Man har valget mellom lineær eller likeprosentlig ventilkarakteristikk. De ulike ventilkarakteristikkene ser slike ut:

Lineær:  $f(u) = u$   
 Rask åpning:  $f(u) = \sqrt{u}$   
 Likeprosentlig:  $f(u) = R^{u-1}$



- Ventiltype for gassventilen: Lineær/Equal percentage  
Dette gir hvilken type ventil man ønsker å benytte som pådragsorgan for gassen som forlater separator tanken. Dette er samme som beskrevet over.
- Rørdiameter for gassrøret [m]  
Dette er diameteren på røret som transporterer gass fra separatorens til overflaten, gitt i meter. Det er antatt at rørdimensjonene er de samme hele veien.
- Rørdiameter for oljerøret [m]  
Dette er diameteren på røret som transporterer olje fra separatorens til overflaten, gitt i meter. Det er antatt at rørdimensjonene er de samme hele veien.
- Rørlengde fra separator til overflaten for oljerøret [m]  
Dette er lengden på røret som transporterer olje fra separatorens til overflaten, gitt i meter.
- Rørlengde fra separatorens til overflaten for gassrøret [m]  
Dette er lengden på røret som transporterer gass fra separatorens til overflaten, gitt i meter.
- Havdybde [m]  
Dette er havdybden separatorens står på, gitt i meter.
- Antall oppdelinger av røret for beregning av trykket i oljerøret  
Ved beregning av hvordan trykket forandrer seg i røret fra separatorens og opp til havoverflaten, må man dele røret inn i blokker. I hver blokk vil trykket og tettheten bli regnet ut, mens hastighetene vil være på grensesnittet mellom hver blokk. Det er viktig at:  
$$\Delta x > \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t$$
hvor  $c$  = lydhastigheten [m/s]  
 $\Delta x$  = lengden på hver blokk [m]  
 $\Delta t$  = tidskrittet ved beregningene [m]
- Antall oppdelinger av røret for beregning av trykket i gassrøret  
Samme som over, men her antall oppdelinger av gassrøret.
- Trykket ved enden av rørstrekket for gassen (topside) [Pa]  
Dette er trykket man får oppgitt skal være ved utgangen av røret som transporterer gass, gitt i Pascal. Det er viktig at lengden av røret samsvarer med trykktapet over røret.
- Trykket ved enden av rørstrekket for oljen (topside) [Pa]  
Dette er trykket man får oppgitt skal være ved utgangen av røret som transporterer olje, gitt i Pascal. Det er viktig at lengden av røret samsvarer med trykktapet over røret.

- Initielt trykk i tanken [Pa]

Dette er trykket man har i separatortanken ved oppstart av simuleringene, gitt i Pascal.

- Mengde gass i brønnstrømmen (design case) [kg/s]

Dette er massestrømmen av gass i brønnstrømmen ved design case, gitt i kg/s. Støy, slugger, forfall av brønner eller lignende, slik at brønnstrømmen forandres legges ikke inn her. Massestrømmen man legger inn her skal være lik massestrømmen man legger inn under "Innstrøm".

- Mengde olje i brønnstrømmen (design case) [m<sup>3</sup>/s]

Dette er volumstrømmen av olje i brønnstrømmen ved design case, gitt i m<sup>3</sup>/s. Støy, slugger, forfall av brønner eller lignende, slik at brønnstrømmen forandres legges ikke inn her. Volumstrømmen man legger inn her skal være lik volumstrømmen man legger inn under "Innstrøm".

### **Innstrøm**

- Mengde vann i brønnstrømmen (design case) [m<sup>3</sup>/s]

Dette er volumstrømmen av vann i brønnstrømmen ved design case, gitt i m<sup>3</sup>/s. Støy, slugger, forfall av brønner eller lignende, slik at brønnstrømmen forandres legges ikke inn her.

- Mengde olje i brønnstrømmen (design case) [m<sup>3</sup>/s]

Dette er volumstrømmen av olje i brønnstrømmen ved design case, gitt i m<sup>3</sup>/s. Støy, slugger, forfall av brønner eller lignende, slik at brønnstrømmen forandres legges ikke inn her.

- Mengde gass i brønnstrømmen (design case) [kg/s]

Dette er massestrømmen av gass i brønnstrømmen ved design case, gitt i kg/s. Støy, slugger, forfall av brønner eller lignende, slik at brønnstrømmen forandres legges ikke inn her.

Hvis man ønsker å legge på støy, slugger eller lignende, slik at brønnstrømmen forandres, må man gå under superblokken. Dette gjøres ved å gå på "Edit" på menylinjen og videre på "Look under mask". Foreløpig ligger det inne at man kan gjøre om slik at innstrømmene med vann, olje og /eller gass til separatorene kan komme i som sinus bølger, og/eller med støy. Det er også mulig å lage slugger av vann, olje og/eller gass.

Støy lager man ved å bruke Uniform Random Number boksene, slugger lager man ved å bruke Step boksene, og sinusbølger lager man ved å bruke Sinus boksene.

### **Tank**

- Type nivåmåler (mhp oppløsning): Kontinuerlig/Diskret

Dette gir hvilken type nivåmåler man ønsker å benytte. Man har valget mellom kontinuerlig eller diskret. En kontinuerlig måler vil måle nivået med 100 prosent

opløsning. Det vil si at det ikke er noen avstand mellom målepunktene. En diskret nivåmåler vil måle nivået nivået med en viss avstand mellom målepunktene

- Initielt trykk i separatoren [Pa]

Dette er trykket i separatortanken ved oppstart av simuleringene, gitt i Pascal. Dette er det samme trykket som man legger inn under "Rørene inkl. ventilene".

- Lengde av største kammer i separatoren [m]

Hvis man har en separator med skillevegg er dette lengden av det største kammeret i separatortanken, gitt i meter. Hvis man har en separator uten skillevegg, settes denne lik den totale lengden av separatoren.

- Total lengde av separator [m]

Dette er den totale lengden av separatortanken, gitt i meter. Hvis man har en separator uten skillevegg må man her legge inn samme lengde som for Lengde av største kammer i separatoren.

- Radius av separator [m]

Dette er radiusen i separatortanken, gitt i meter.

- Platehøyde [m]

Dette er høyden på skilleveggen hvis man har en separator med skillevegg, gitt i meter.

- Initielt vannnivå [m]

Dette er nivået av vann i separatortanken ved oppstart av simuleringene, gitt i meter.

- Initielt total væsknivå [m]

Dette er nivået av væske, både vann og olje, i separatortanken ved oppstart av simuleringene, gitt i meter.

- Avstand mellom målepunktene på nivåmåleren [m]

Dette er avstanden mellom målepunktene på nivåmåleren, som måler både vann- og totalt væsknivå, gitt i meter. Hvis det blir benyttet en kontinuerlig nivåmåler er det ikke mulig å sette inn null her. Det må da legges inn et lite tall, som tilnærmet vil gi kontinuerlig måling.