



Universitetet i Stavanger

Teknisk Naturvitenskapelig Fakultet

**MPD og automatisk
brønnsparikhåndtering anvendt
på boreriggmodell**

Skrevet av:
Alexander Wang

Veileder:
Tormod Drengstig

Faglig veileder:
Tormod Drengstig

31. januar 2012

Forord

Denne rapporten dokumenterer arbeidet i forbindelse med min masteroppgave ved institutt for data- og elektroteknikk ved Universitetet i Stavanger. Masteroppgaven har gått ut på å designe en algoritme for automatisk trykbalansert boring ved hjelp av en boreriggmodell med påmonterte sensorer for trykk og væskestrøm. Boreriggmodellen ble bygget med utgangspunkt i et standard stillas, hvor selve byggingen ble gjort som en del av et forprosjekt i samarbeid med en medstudent. Et kortfattet sammendrag om boreriggmodellen er tatt med i denne masteroppgaven for at leseren lettere skal kunne sette seg inn i problemstillingen. Ytterligere detaljer rundt oppbygning og utførsel av boreriggmodellen finnes i [1]. Masteroppgaven ble gjennomført høsten 2011 ved Universitetet i Stavanger, og er et samarbeid mellom Institutt for Data- og Elektroteknikk (IDE), Institutt for Petroleumsteknologi (IPT), samt IRIS avd. Stavanger.

Oppgaven har vært lærerik og morsom, men samtidig har den til tider også bydd på frustrasjon og utfordringer. At oppgaven bærer et så eksperimentelt preg, har både positive og negative bivirkninger. Mye av arbeidet som har blitt gjort under konstruksjon og design, bærer preg av kreativitet og frie tøyler. Dette har vært en stor befrielse i form av at undertegnede selv har kunnet fatte avgjørelser og velge løsninger etter eget forgodtbefinnende, ettersom det ikke alltid finnes noen "fasit". Samtidig er nettopp mangelen på "fasit" noe av utfordringen ved arbeid med en eksperimentell oppgave slik som denne. Oppsummert vil jeg tro at det å bli tildelt en masteroppgave med en slik karakter som denne, gjør en bedre rustet til framtidige oppgaver i arbeidslivet, hvor man i større grad ofte møter utfordringer som kan slekte på utfordringene i denne oppgaven. Denne ballasten er jeg svært takknemlig for å kunne ta med meg videre.

Jeg ønsker å takke Liv Almås Carlsen ved IRIS for god introduksjon til terminologi og ulike metoder som brukes i oljeindustrien. En stor takk rettes også til Hermonja Andrianifaliana Rabenjafimanantsoa ved Institutt for Petroleumsteknologi for konstruktive og løsningsorienterte innspill, samt moralsk støtte og uformelle diskusjoner. Til slutt vil jeg takke min veileder Tormod Drengstig for konstruktiv og jevn oppfølging, samt tydelig engasjement for mitt arbeide.

Sammendrag

Denne masteroppgaven tar for seg trykkstyrt boring (Eng. :“Managed Pressure Drilling”), ulike konfigurasjoner av trykkstyrt boring, samt resultater fra gjennomførte forsøk på en boreriggmodell ved Universitetet i Stavanger. Masteroppgaven beskriver i korthet de ulike konfigurasjonene, og hvilke bruksområder de egner seg for i de tilfeller hvor de har blitt implementert ved en virkelig oljeinstallasjon. En av de største utfordringene under boring, er å sørge for å holde trykket i brønnen stabilt. Boring ved hjelp av automatisk trykkstyrt boring kan forenkle og effektivisere boreprosessen betraktelig, samtidig som at sikkerhet for både personell og utstyr bedres.

Sammenligning av simulert prosessdynamikk og faktisk prosessdynamikk viser små avvik, noe som indikerer gode modeller for prosessen. Allikevel oppnås ikke helt stabil regulering av prosessen, og dette kan skyldes flere årsaker. Alt fra feil i modellen som danner grunnlag for tuningsparametere i den benyttede regulatoren, til faktorer som vanskelig kan gjøres noe med (nøyaktighet på instrumenter, støy osv.).

En prosedyre for automatisk trykkstyrt boring ble implementert på en boreriggmodell ved Universitetet i Stavanger. Resultatene fra implementasjonen viser en rask kompensering for trykkendringene som oppstår som følge av gassinjeksjon. Implementasjonen danner grunnlaget for videreutvikling og perfektionering, slik at boreriggmodellen på sikt blir et godt verktøy for implementasjonen av prosedyren ved en virkelig installasjon.

Innhold

Forord	I
Sammendrag	II
Innhold	III
1 Innledning	1
1.1 Boreriggmodell og problemstilling	1
1.2 Boreteori og terminologi	7
1.2.1 Plattformer	7
1.2.2 Utblåsning	11
1.2.3 Utblåsningssikring	11
1.2.4 Slamsystem	12
1.3 MPD-varianter	15
1.3.1 MPD på Kvitebjørn-feltet	17
1.3.2 Multiservice reguleringsystem	19
1.3.3 Mikro-fluks regulering	20

1.3.4	Dobbelgradient boresystem	22
1.3.5	Brønnsarkdeteksjon ved hjelp av estimatorer	25
1.3.6	Trykkstyring på UiS-riggen	27
2	Utvikling av prosessmodell	30
2.1	Prosessparametere	31
2.1.1	Pumpepådrag, $H_p(s) = \frac{y_{PT202}}{u_{pumpe}}$	31
2.1.2	MPD ventilåpning, $H_p(s) = \frac{\Delta y_{PT202}}{\Delta u_{MPD}}$	35
2.2	Modellverifikasjon	38
2.2.1	Verifikasjon av pumpemodell	39
2.2.2	Verifikasjon av ventilmodell	43
2.3	Frekvensrespons	47
2.3.1	Frekvensrespons fra pumpepådrag til PT202	48
2.3.2	Frekvensrespons fra ventilpådrag til PT202	52
2.4	Oppsummering	58
3	Reguleringsparametre	59
3.1	Bestemmelse av tuningsparametere	59
4	Automatisk brønnskroll	64
4.1	Forberedelser	64
4.2	Prosedyre for aktivering av gassinjeksjon	65

4.3	Prosedyre for manuell brønnkontroll	65
4.4	Prosedyre for automatisk brønnkontroll	66
4.5	Resultater	67
	Konklusjon	71
	Forkortelser	73
	Bibliografi	74
	A Implementasjon av automatisk brønnkontrollprosedyre	76
	B Motivasjon for valgt design	79
B.1	Pumpekarakteristikk	79
B.2	Reguleringsventiler	83
B.3	Coriolis flytmåler	86
B.4	Jording	88
B.5	Design av kretskort for kontroll av utstyr	89
B.6	Implementasjon av tilbakeslagsventil	92

Kapittel 1

Innledning

Det finnes i dag flere ulike konfigurasjoner av trykkstyrt boring som benyttes i dagens boreoperasjoner, eller som er under utvikling [2]. Noen eksempler på ulike konfigurasjoner er nevnt i egne kapitler i denne rapporten. Konfigurasjonene nevnt i kapittel 1.3.4 og 1.3.5 er forskningsartikler som til nå kun er testet på boresimulatorer, mens de øvrige konfigurasjonene har blitt implementert offshore. Felles for de alle er at de er designet for å oppnå bedre kontroll over boreprosessen sammenlignet med konvensjonelle boreteknikker, slik at en unngår farlige situasjoner. Økt kontroll gjør at en får hentet opp en større andel av ressursene under bakken, sammenlignet med konvensjonelle boreteknikker med mindre fokus på trykkstyring [2]. I tillegg vil økt kontroll over boreprosessen sørge for en raskere og mer kostnadseffektiv boreprosess.

En implementasjon av en bestemt prosedyre som benyttes i spesielle tilfeller ved trykkstyrt boring, blir presentert i et senere kapittel. I tillegg presenteres boreriggmodellen hvor implementasjonen ble gjennomført, samt noe teori om en boreprosess og tilhørende utstyr.

1.1 Boreriggmodell og problemstilling

En boreriggmodell ble designet og utviklet høsten 2010 som en del av et forprosjektarbeid i samarbeid med en medstudent. Boreriggmodellens utgangspunkt var en forenklet implementasjon av en trykkstyrt boreprosess

hvor bunnhullstrykket kontrolleres ved hjelp av en pumpe og en ventil. Utstyrmessig var boreriggmodellens utgangspunkt et stillas, noen ventiler og 50m med PVC rør på 32mm. I tillegg ble boreriggmodellen utstyrt med to identiske reguleringsventiler, noen elektriske åpne/lukke ventiler samt en PC med MATLAB installert. Den endelige boreriggmodellen er vist i figur 1.1, og det tilhørende P&ID skjemaet er vist i figur 1.3. På toppen av stillaset er flere ventiler og en flytmåler installert. Ettersom utstyret på toppen av stillaset blir hyppig omtalt i denne rapporten, er et bilde av stillastoppen med implementert utstyr tatt med. Dette bildet er vist i figur 1.2.

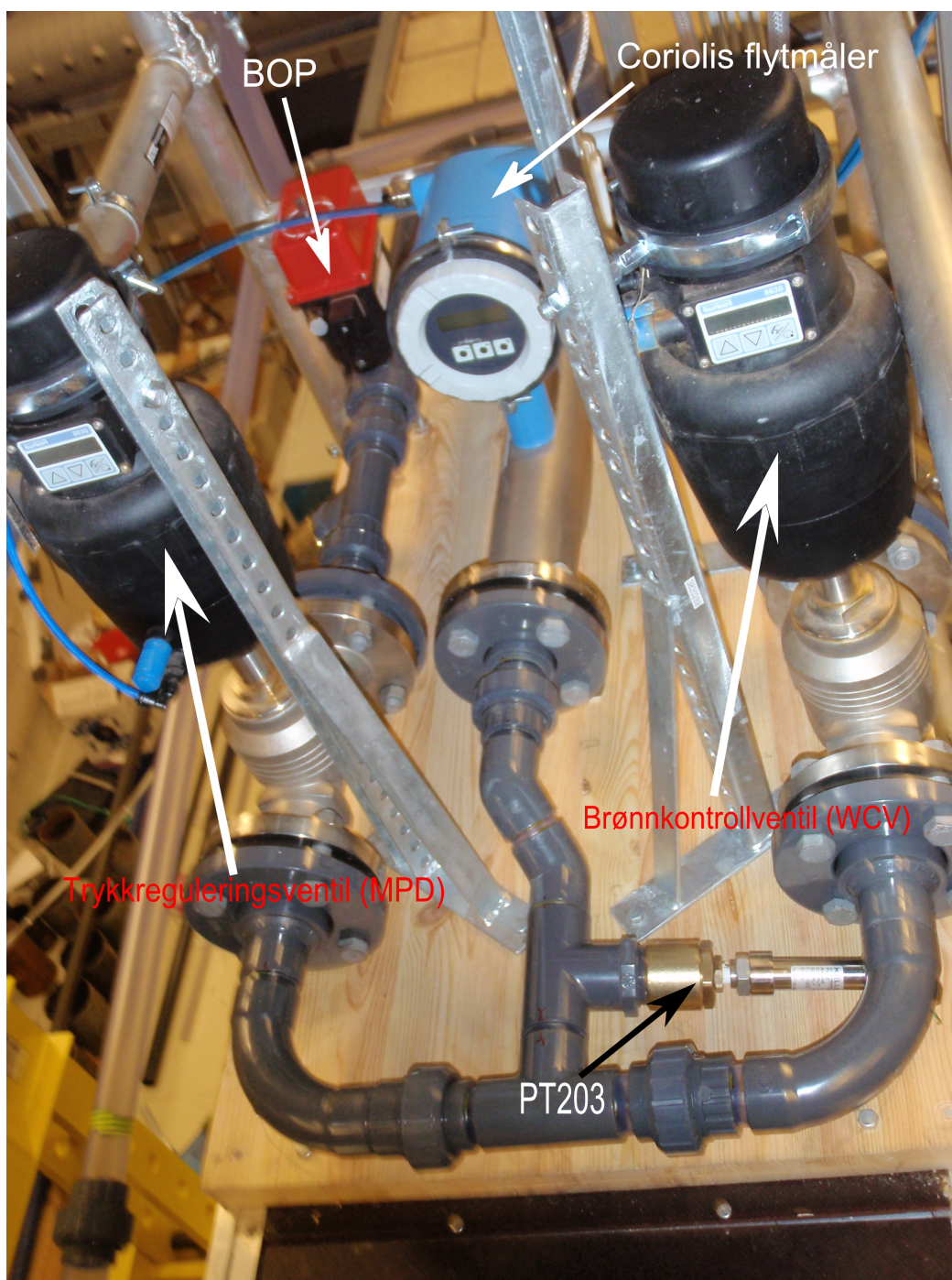
Boreriggmodellen ble bygget fordi man ønsket å teste en videreutvikling av en prosedyre som brukes i oljeindustrien pr. i dag. Prosedyren iverksettes dersom man opplever store trykkforandringer, ofte som følge av gasslekkasjer, under boring etter olje. Videreutviklingen av prosedyren innebærer automatisering av prosedyren på de punkter hvor det pr. i dag kreves manuell styring. På boreriggmodellen er prosedyren som benyttes for automatisk brønnskontroll ved gasslekkasje implementert. I korthet omfatter denne prosedyren lukking av utblåsningssikring (Eng.: "Blowout preventer, BOP") og kontrollert stopping av pumpe. Dette gjøres for at gassen skal isoleres i brønnen. Når så trykket stabiliseres i den lukkede brønnen, utsirkuleres dette ved kontrollert åpning av en brønnskontrollventil (Eng.: "Well control valve, WCV") i parallell med kontrollert start av pumpe. En detaljert versjon av prosedyren er gjengitt i kapittel 4.1. Måleresultatene fra en kjøring med prosedyren implementert, er vist i kapittel 4.5.

Gassinjeksjonen gjøres ved hjelp av trykkluft fra universitetets trykkluftsanlegg og en elektrisk ventil for trykkluft tilkoblet en reduksjonsventil. I tillegg er en enkel håndventil implementert for lettere åpning og stenging av trykkluft fra trykkluftsanlegget. Reduksjonsventilen er plassert mellom lufttilførselen og ventilen, slik at lufttrykket kan justeres av operatøren. Den elektriske ventilen stenger for luft så lenge det påtrykkes 24V likespenning, og slipper gjennom luft ved 0V over ventilen. Et bilde av den implementerte løsningen for gassinjeksjon er vist i figur 1.4.

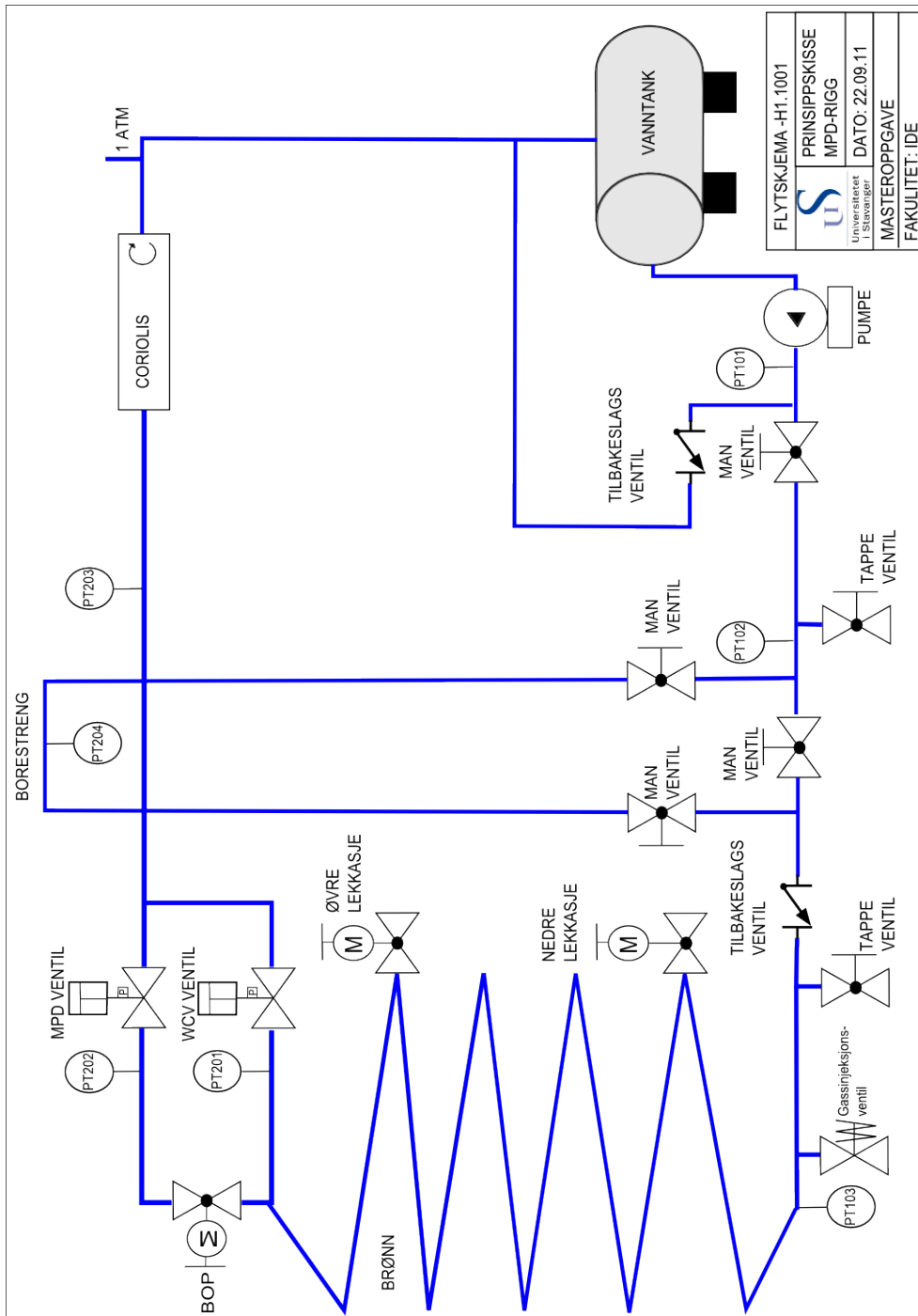
Masteroppgavens problemstilling er å implementere den automatiserte versjonen av prosedyren i boreriggmodellen, slik at man lettere kan gjøre forsøk og målinger med den nye prosedyren implementert.



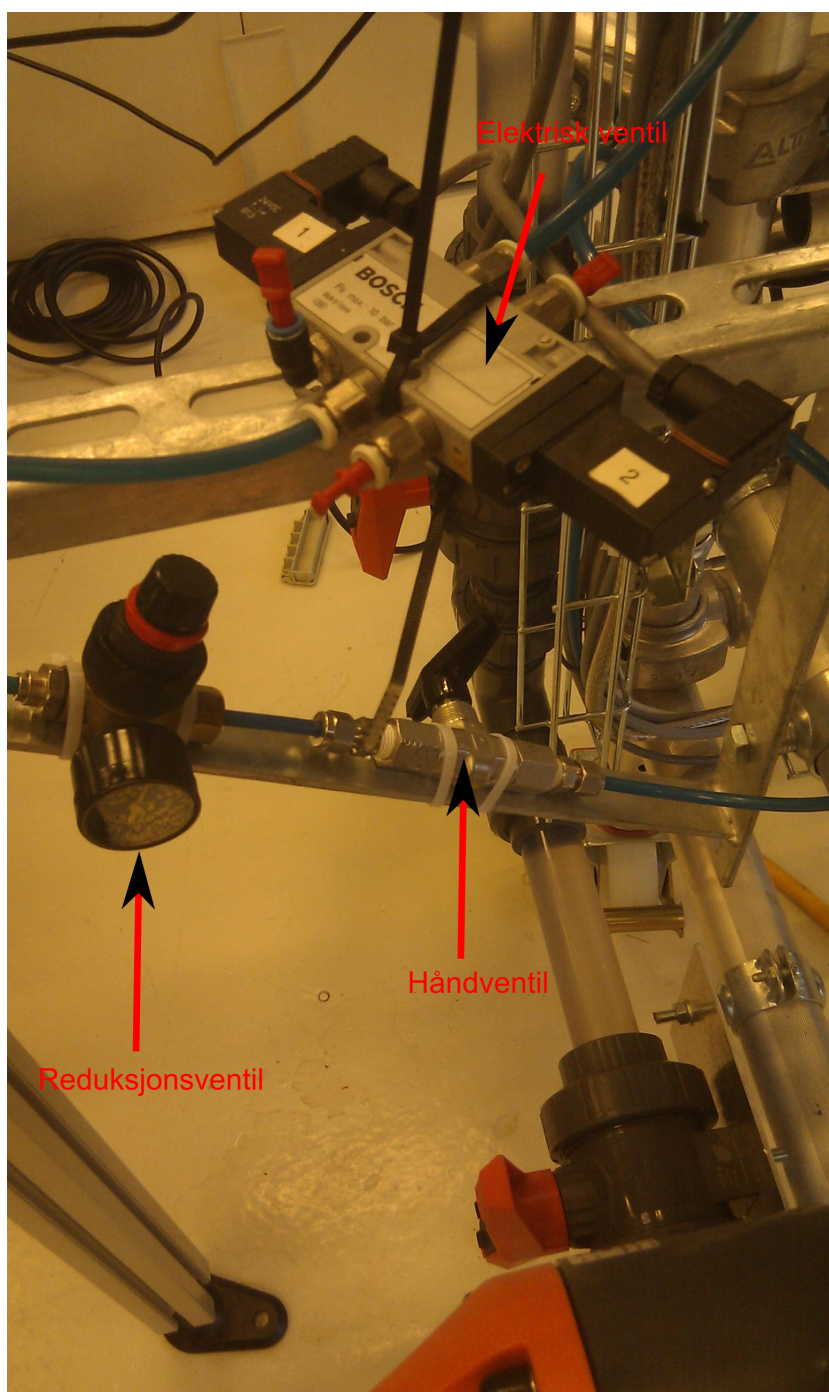
Figur 1.1: Bilde av boreriggmodellen utviklet ved UiS.



Figur 1.2: Bilde av stillastoppen på boreriggmodellen utviklet ved UiS.



Figur 1.3: P&ID skjema for boreriggmodellen utviklet ved UiS.



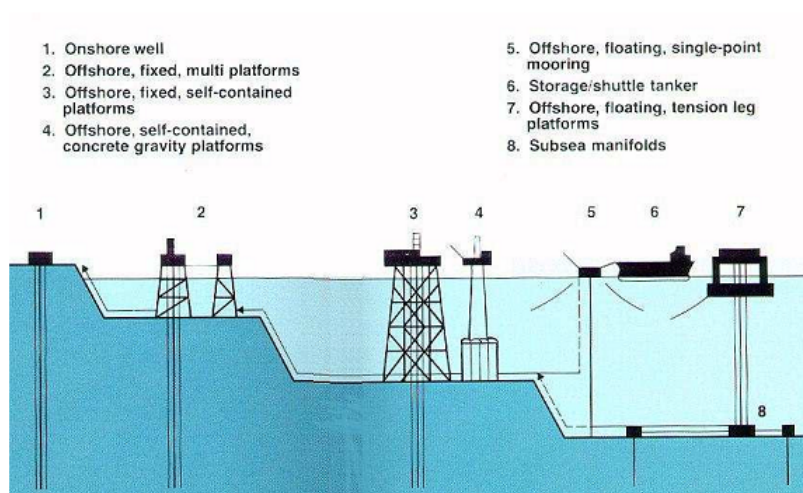
Figur 1.4: Bilde som viser implementasjonen av gassinjeksjonen på boreriggmodellen.

1.2 Boreteori og terminologi

Dette underkapittelet tar for seg en kort presentasjon av ulike begreper som går igjen i rapporten, slik at leser lettere skal kunne forstå sammenhengen begrepene er skrevet i. Stoffet og figurer er i all hovedsak hentet fra [3] og [4].

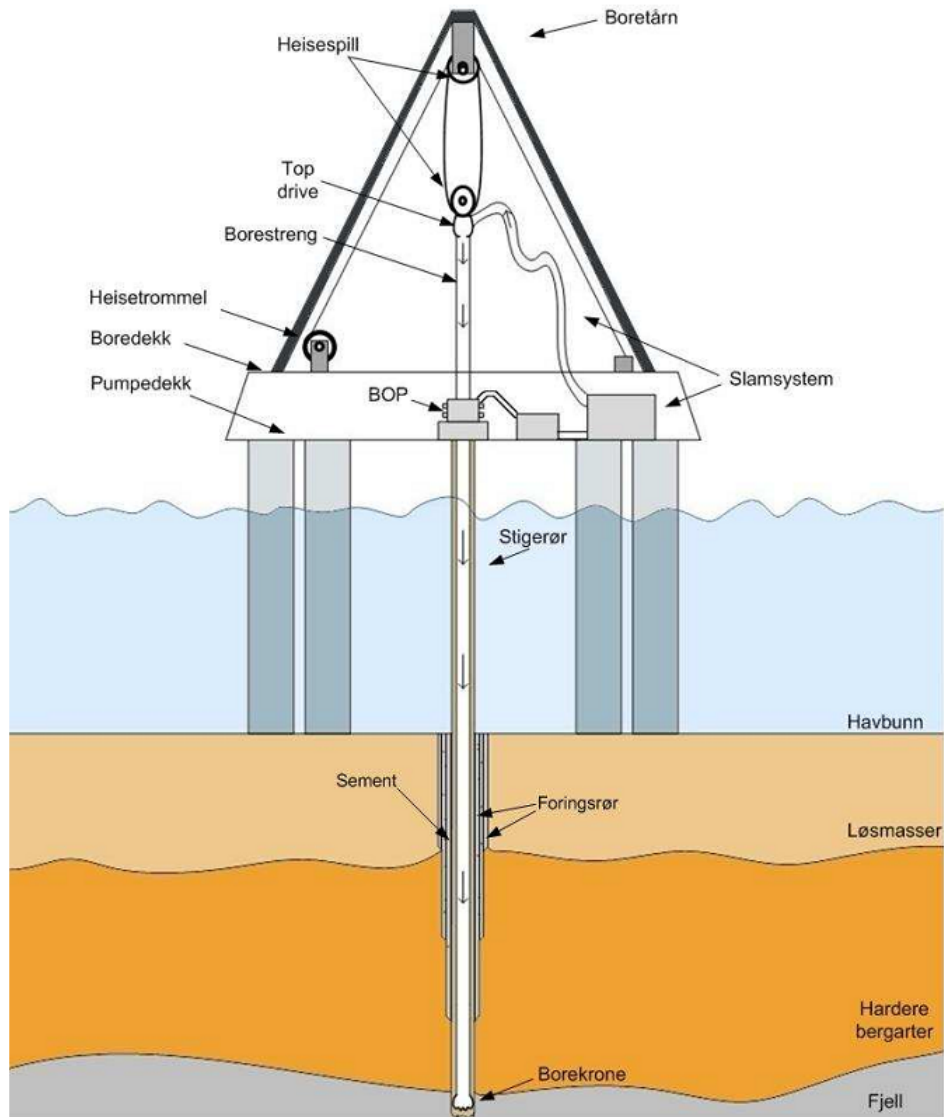
1.2.1 Plattformer

For boring etter olje og gass brukes det to hovedtyper av plattformer, flyttbare og faste. De faste plattformene brukes bare når en skal produsere olje eller gass. Dette er plattformer med stål- eller betongunderstell som bygges spesielt for en eller flere funksjoner på et produksjonsfelt, utplasseres for produksjonsperioden og demonteres eller fjernes når feltet er ferdig produsert. Eksempler på felt som er nedstengt og der oppryddingsarbeidet er utført, er Odinfeltet, Frøyfeltet og Friggfeltet. I tillegg til å bore produksjonsbrønner, borer plattformene også injeksjonsbrønner som brukes til å injisere vann og/eller gass for å øke oljeproduksjonen. Flyttbare plattformer er som regel bygget i stål, og brukes både til leteboring og til boring av produksjonsbrønner for produksjonsplattformene. Dette er nesten alltid plattformer som ofte eies og driftes av redere, som stiller plattformen og maritimt personell til disposisjon. Leietakerne er som regel oljeselskaper som tar over ansvaret for deler av virksomheten når plattformen er på arbeidsstedet og klar til bruk. Under boring er det vanlig å senke plattformen noe, ved å fylle ballasttanker (nedsenkbar plattform). Dette blir gjort for å gjøre plattformen mer stabil under boring. En annen type har nedsenkbare bein som kan presses mot havbunnen (oppjekkbar plattform, kan bare brukes på grunt vann). En oversikt over ulike typer plattformer er vist i figur 1.5.



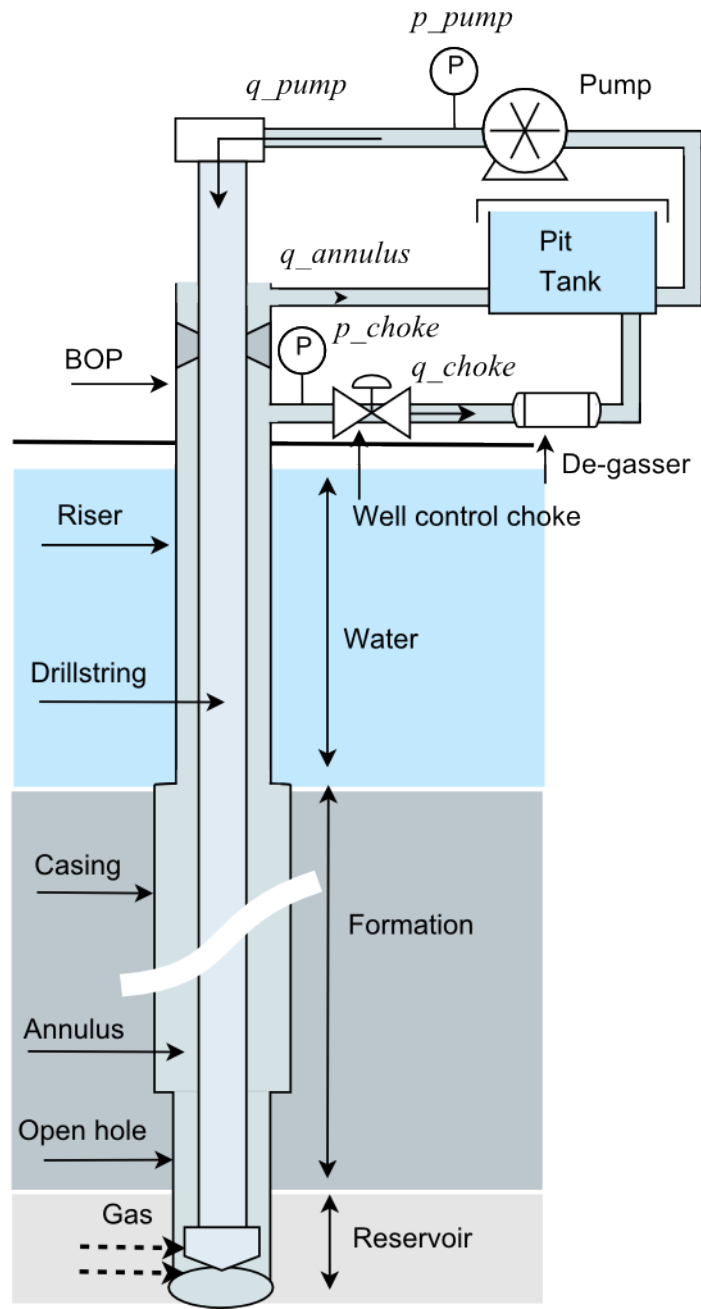
Figur 1.5: Figur på ulike typer plattformer

Figur 1.6 viser et tverrsnitt av en oljeplattform til sjøs:



Figur 1.6: Prinsippskisse for en plattform

En prinsippskisse for en konvensjonell brønn er vist i figur 1.7.



Figur 1.7: Prinsippskisse for væskestrømmen

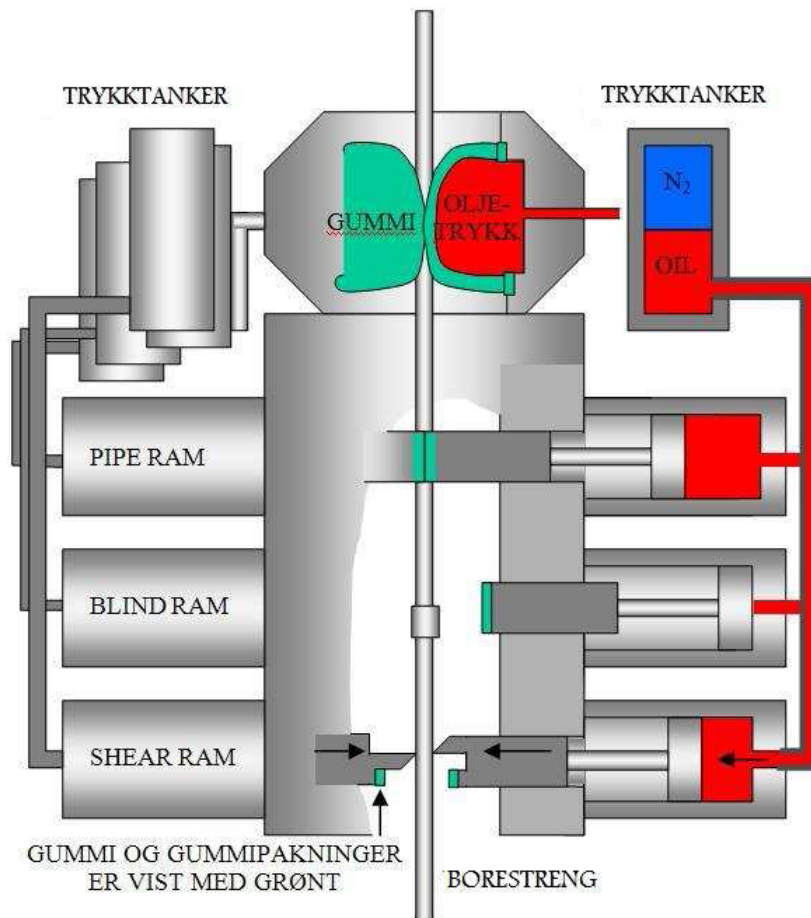
1.2.2 Utblåsning

Under boring eller brønnintervensjoner kan man oppleve overtrykk fra et sedimentlag, som danner formasjonsvæsker (ofte olje og gass). Disse væskene skytes opp av trykket og truer installasjonen. Denne utskytningen kalles ofte for en utblåsning (Eng.: “Blowout”). For å unngå skadevirkninger fra en slik situasjon, er det alltid installert en sikring mot dette. Denne sikringen kalles for en utblåsningssikring, eller blowout preventer.

1.2.3 Utblåsningssikring

En blowout preventer, eller BOP, er en essensiell sikkerhetskomponent på en oljeinstallasjon. Jobben til en BOP er å hindre utblåsninger ved å stenge ringrommet (Eng.: “annulus”) mellom foringsrøret (Eng.: “casing”) og borestrengen (Eng.: “drill string”). En prinsippskisse av en slik utblåsningssikring er vist i figur 1.8. Som figur 1.8 viser, har en BOP tre ulike stengemekanismer for oljen. Ved et for høyt trykk i borestrengen, vil man i første omgang isolere brønnen ved å aktivere en oljetrykkstyrt gummikappe, som klemmer sammen borestrengen. Hvis dette ikke er tilstrekkelig, blir borestrengen klemt sammen ved hjelp av spesielle skiver (Eng.: “rams”). Den kraftigste mekanismen er “pipe rams”, som fungerer slik at hydrauliske stempel med gummipakninger klemmer mot hverandre. De glir i spor med pakninger slik at det blir tett rundt hele skiva. Hvis det ikke blir helt tett ved bruk av “pipe rams” må man bruke et sett med skjærekniver (Eng.: “shear rams”), som kapper borestrengen og klemmer igjen enden. Hvis det ikke er noen borestreng i brønnen, brukes det to skiver med rett front som bare tetter mot hverandre (på 1.8 er disse kalt “blind rams”).

For å unngå utblåsningssituasjoner er det alltid installert en BOP på brønnehodet. På faste plattformer står BOP på pumpedekket, mens på flyteplattformer står den på havbunnen. Ved bruk av flyteplattformer vil det alltid være en fleksibel kobling mellom BOP og stigerør, slik at plattformen kan drive uten at stigerøret blir bøyd/knekt. Hvis uvær gjør det umulig å holde plattformen over brønnen, trekkes først borestrengen ut av brønnen. Deretter stenger BOP brønnen, før stigerøret kobles fra BOP og blir med plattformen.



Figur 1.8: Prinsippskisse for en BOP. Gummikappen øverst klemmes sammen om borestrengen. “Pipe ram” tetter rundt borestrengen. “Blind ram” tetter hele brønnen når det ikke er borestreng i brønnen. “Shear ram” kapper borestrengen [3].

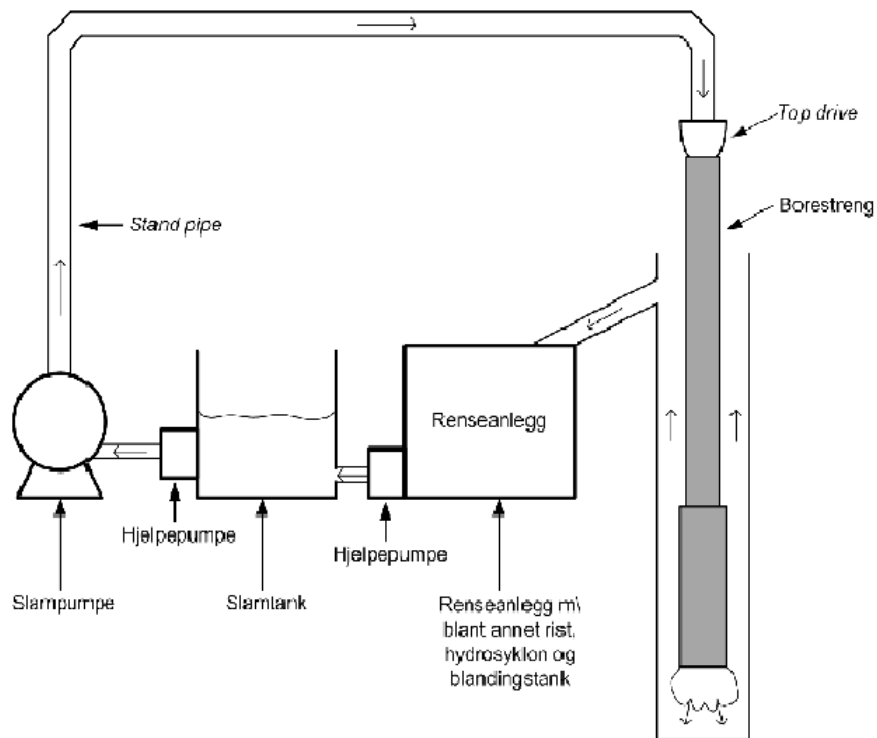
1.2.4 Slamsystem

Boreslam har en sammensetning av olje, vann og kjemikalier, alt etter hvilke egenskaper slammet skal ha under boreprosessen. Sammensetningen av boreslam er avansert og krevende med hensyn på helse, miljø og sikkerhet [5].

Boreslammets viktigste egenskaper er å:

- Stabilisere trykket i borebrønnen
- Spyle bort borekaks fra bunnen av brønnen
- Transportere borekaks til overflaten
- Rense, avkjøle og smøre borekronen
- Beskytte borestreng og koblinger mot korrosjon
- Gi smøring til borestrengen
- Leverer hydraulisk energi til slammotorer nedover i brønnen

Boreslam (Eng.: “mud”) pumpes med et sirkulasjonstrykk ned gjennom borestrengen og ut gjennom små dyser i borehodet. Returen av slam skjer i ringrommet (Eng.: “annulus”), mellom borestreng (Eng.: “drill string”) og foringsrør (Eng.: “casing”), se figur 1.7. Slammet med borekaks går tilbake til overflaten. Det er dette ringrommet rørene i riggmodellen skal tilsvare, vannet i rørene tilsvarer da slammet som stiger tilbake mot overflaten. På overflaten blir boreslammet behandlet og resirkulert for videre bruk. En skisse over boreslammets flyt er vist i figur 1.9.



Figur 1.9: Skisse for boreslam-flyt ved en typisk oljeinstallasjon

1.3 MPD-varianter

Dette kapitlet redegjør for motivasjonen i bruken av automatisk MPD-regulering på en boreprosess, kontra tradisjonell regulering under boring etter olje. MPD står for “Managed Pressure Drilling”, som oversatt til norsk kan betegnes som trykkstyrt boring. I praksis handler dette om å regulere trykket på bunnen av brønnen, bunnhullstrykket. Målet med automatisk trykkstyrt boring er å holde dette bunnhullstrykket mest mulig stabilt under boring. Et stabilt bunnhullstrykk er essensielt for å kunne bore effektivt og trygt. Et automatisk MPD reguleringsystem ble implementert på Kvitebjørnfeltet i Nordsjøen i 2007, og resultatene fra implementasjonen viser økt effektivitet og større uthenting av råvare [2].

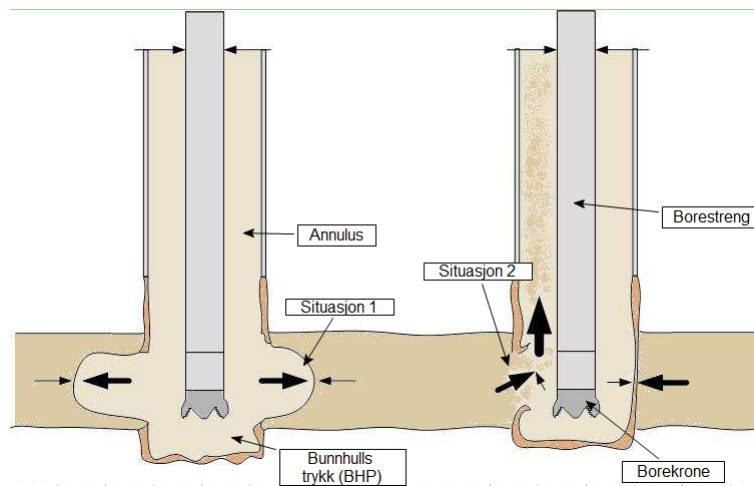
Hovedmotivasjonen for implementering av et automatisk MPD reguleringsystem er:

- Et stort potensial for økonomisk besparelse
- Redusert boretid
- Færre skader og ulykker
- Økt regularitet og ytelse, særlig for brønner med små trykkmarginer

I flere deler av olje- og gassindustrien (bl.a. ved raffinerier) er prosessene automatisert, slik at overvåkning og justering av regulatorer, ventiler, pumper og annet utstyr tilknyttet den aktuelle prosessen skjer uten menneskelig innblanding. Dette forenkler jobben betraktelig for prosessoperatørene, da det ofte er svært mange ulike instrumenter som trenger kontinuerlig overvåkning og kontroll for å gi en trygg og effektiv kjøring av anlegget. En konvensjonell boreprosess foregår imidlertid manuelt, hvor målet er å bore brønnen så kjapt og trygt som mulig ned i reservoaret. En av de største utfordringene under boring, er å sørge for å holde bunnhullstrykket stabilt. Hvis bunnhullstrykket passerer grensen for pore- eller fraktureringstrykk, kan det skape farlige situasjoner for både utstyr og personell. Dersom poretrykket er større enn fraktureringstrykket i brønnen, kan man risikere at borevæsken renner ut i formasjonen og skaper overtrykk. Dette kan videreutvikle seg til et brønnsplask (Eng.: “kick”), hvis man støter på gasslommer under høyt trykk. I motsatt fall kan et fraktureringstrykk som er større enn poretrykket føre

til at gass eller væske siver inn i ringrommet (Eng.: “annulus”), noe som kan skape en brønnsparke-situasjon [3]. De to situasjonene er illustrert i figur 1.10, som er hentet fra [3].

Ettersom boreprosessen foregår manuelt, vil en vellykket operasjon i stor grad være avhengig av menneskelige egenskaper som bl.a. erfaring, årvåkenhet og konsentrasjonsevne [2]. Boring ved hjelp av automatisk MPD regulering kan forenkle og effektivisere boreprosessen betraktelig, samtidig som at sikkerhet for både personell og utstyr bedres. En slik boremetode krever imidlertid mange og nøyaktige instrumenter som kan levere måledata fortløpende. I det lange løp vil dette være en liten investeringskostnad målt opp mot kostnader knyttet til en evt. ulykke.



Figur 1.10: Illustrasjon over farlige trykksituasjoner. Konsekvensen av et for stort poretrykk er vist i situasjon 1, mens konsekvensen av et for stort formasjonstrykk vist i situasjon 2.

Ulemper knyttet til en manuell boreprosess kan oppsummeres med følgende punkter [2]:

Varierende suksessfaktor

Suksessfaktoren ved boring av en brønn er under manuell boring avhengig av erfaringen boreoperatøren besitter. Her er det en enkelt person som kontrollerer boret, og som dermed avgjør kvaliteten på borearbeidet. I tillegg er en boreoperasjon ofte fordelt på flere boreoperatører, noe som kan gi kvalitetsavvik på ulike seksjoner av brønnen.

Høy tidsrespons

Ved boring i formasjoner med høyt trykk, har man mindre feilmarginer å jobbe med. Dette fører til at rask korreksjon ved evt. feil under boring er påkrevd. Denne tidsresponsen er imidlertid begrenset og variabel, fordi man ofte under en boreoperasjon benytter flere ulike boreoperatører med ulik reaksjonsevne og erfaring.

Lavere repeterbarhet

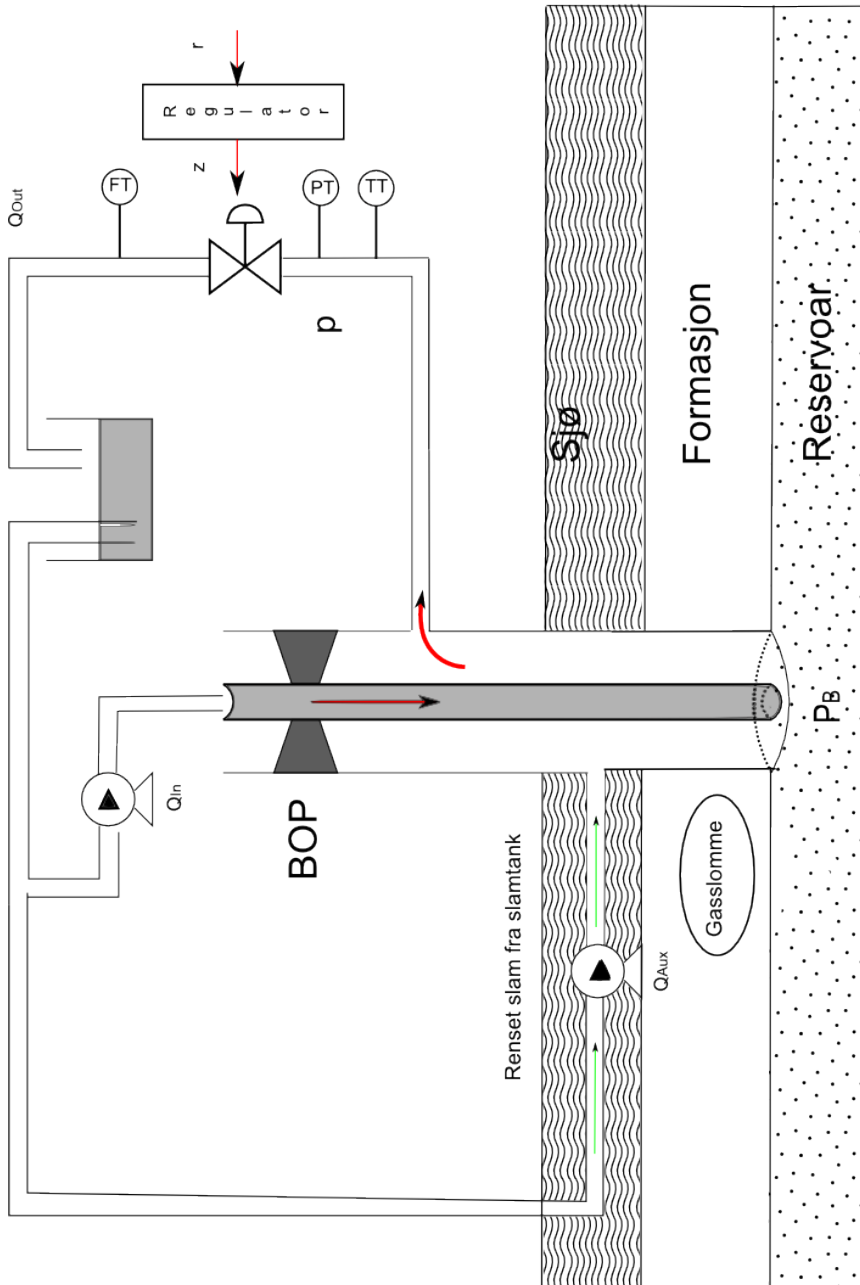
For di prosessen er kontrollert av mennesker, kan man ikke forvente lik borekvalitet for hver brønn som skal bores. I en boresituasjon er ofte flere brønnoperatører med ulik erfaring og nøyaktighet involvert, hvilket gir ulik kvalitet på boreresultatet.

Begrenset mengde formasjonsdata

Den manuelle reguleringsprosessen er ved en konvensjonell boreprosess basert på overflatedata om formasjonen. Ved en automatisk boreprosess kan man plassere sensorer lengre ned i formasjonen, som fortløpende kan gi informasjon om hvordan formasjonen man borer i ser ut. Denne informasjonen kan bidra til å oppnå et bedre boreresultat, men ettersom suksessavhengigheten til nå har vært avhengig av menneskelige kvaliteter, har ikke økt sensorbruk vært en prioritering.

1.3.1 MPD på Kvitebjørn-feltet

Dette underkapittelet tar for seg hvordan trykkstyrt boring med hell ble benyttet på et gass- og kondensatfelt i Nordsjøen kalt Kvitebjørn. Før trykkstyrt boring ble implementert på Kvitebjørn-feltet, opplevde man store tap av boreslam under konvensjonell boring. Den nye metoden førte til at man fikk hentet ut en større andel råmateriale fra de resterende brønnene på feltet [2]. Tuning av regulatorparametere baserer seg på en hydraulisk modell som beregner settpunktverdier for ventilen tilknyttet borehodetrykket (Eng.: “choke-valve”) hvert 2. sekund. Den hydrauliske modellen er basert på informasjon om boreslamtetthet, reologi, brønngeometri, egenskaper til pumper, borestreng og annet utstyr. Pumpehastigheten justeres manuelt av operatøren, og pumpehastigheten i kombinasjon med borehodetrykket sørger for å gi et stabilt bunntrykk. En enkel PID-regulator ble benyttet for å regulere ventilåpningen, da denne hadde lav kompleksitet og god ytelse. Detaljer rundt dette finnes i [2]. En prinsippskisse for hvordan væskestrømmen arter seg i en brønn med automatisk trykkstyring er vist i figur 1.11.



Figur 1.11: Prinsippskisse for et trykkregulert boresystem.

Variabel	Forklaring
Q_{in}	Væskestrøm inn gjennom borestreng [lpm]
Q_{out}	Væskestrøm ut gjennom reguleringsventil [lpm]
Q_{aux}	Væskestrøm ut fra tilbaketrykkspumpe [lpm]
p	Væsketrykk i ringrom mot borehodeventil [bar]
p_B	Bunnhullstrykk [bar]
r	Settpunktverdi for regulator(ønsket trykk ved borehode) [bar]
z	Ventilåpning for trykkreguleringsventil [%]

Tabell 1.1: Variabelforklaring for skissen i figur 1.11.

Av figur 1.11 ser vi hvordan boreslammet pumpes ned i brønnen av pumpen med væskestrøm Q_{in} . Når denne pumpen stopper, enten som følge av borestrengsforlengelse, borestrengsforkortelse eller motorhavari, vil tilbaketrykkspumpen starte automatisk, og sørge for stabilt bunnhullstrykk p_B . Væskestrømmen gjennom denne pumpen er gitt av Q_{aux} . Informasjonen om væsketrykket p i ringrommet brukes av regulatoren for å regulere ventilåpningen z .

1.3.2 Multiservice reguleringsssystem

I forbindelse med gassutvinning utenfor kysten av Myanmar, ble en ny type utvinningsmetode utviklet og testet på feltet [6]. Feltet hadde store utfordringer med bl.a. små boremarginer, vanskeligheter med kontroll av bunntrykk under utsirkulering av gass, samt krav om kort responstid. Dette førte til at konvensjonelle boreteknikker ikke kunne brukes direkte. Matematiske modeller basert på omgivelsesfaktorer gav et estimat på 3 minutter fra deteksjon av gassinnstrømning i formasjonen, til innstengning og sikker utsirkulering av gassen for å unngå fare [6]. Ingeniørene trengte derfor en løsning hvor trykkregulering under boring, automatisk deteksjon og håndtering av mikro-spark (Eng.: "kick"), samt sanntidsavlesninger av bunnhullstrykk var inkludert.

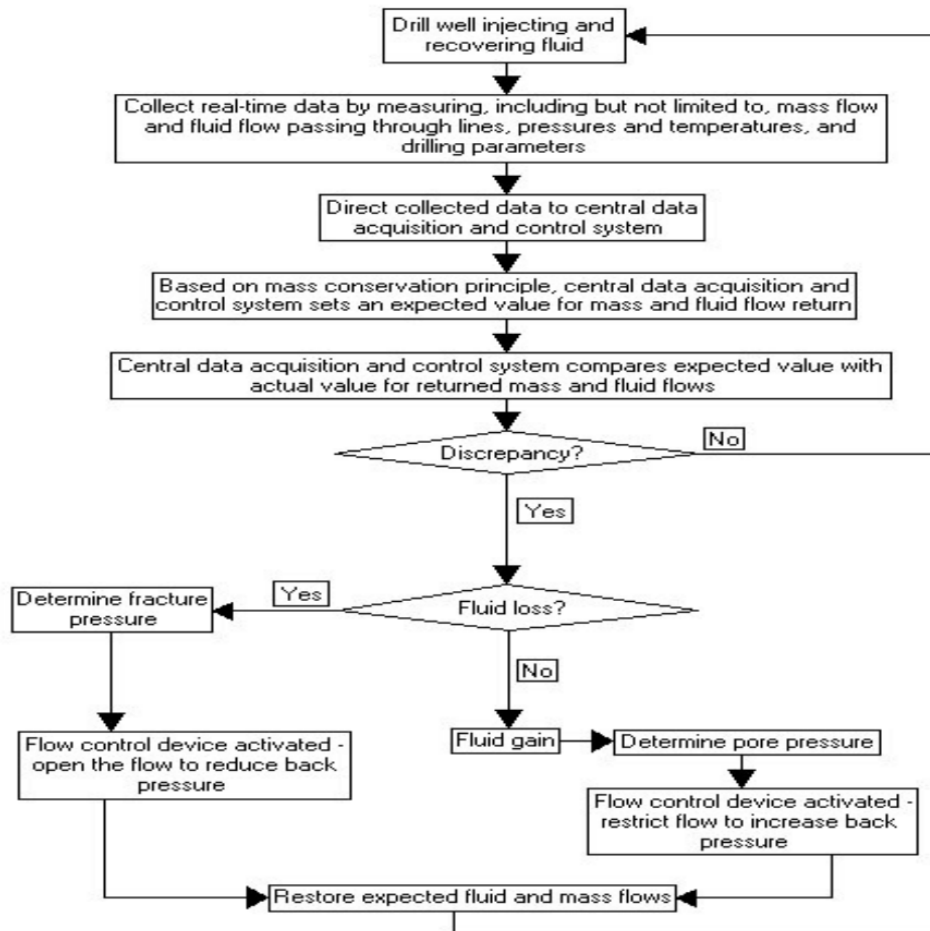
Løsningen her ble å kombinere ulike teknologier innen trykkregulering og borestrengtelemetri for å oppnå et mer stabilt bunntrykk under boring. De ulike teknologiene som ble benyttet, var bl.a. trykkstyrt boring, Coriolis strømningsmåling, sanntidsdata fra den hydrauliske modellen

og kontinuerlige trykkavlesninger av bunnhullstrykk [6]. Dette oppsettet ble først testet under simulerte gass-spark (Eng.: “kick”) ved injisering av nitrogen. Vellykkede testresultater førte til at løsningen senere ble benyttet i en virkelig boreoperasjon, hvor man oppnådde tilnærmet konstant bunnhullstrykk i tillegg til høy borehastighet og -presisjon.

Trykkreguleringen fungerer som forklart i 1.3.1, med unntak av regulatorens settpunktverdi, som her bestemmes av informasjonen fra strømningsmålingen.

1.3.3 Mikro-fluks regulering

En ny og eksperimentell boremetode har blitt utviklet på bakgrunn av boring i stadig vanskeligere omgivelser, med mindre operasjonsmarginer og med påfølgende større risikofaktor. Metoden kalles “mikro-fluks regulering” [7], og skal sørge for reduserte borekostnader og dypere brønner ved boring i krevende omgivelser. I tillegg sørger metoden for økt sikkerhet for både utstyr og personell. Metoden er en kombinasjon av ulike eksisterende boreteknikker, med det mål å velge ut og kombinere styrkene til de ulike teknikkene. På den måten er tanken at man oppnår en kraftig reduksjon av ulempene og risikofaktorene ved boring i krevende omgivelser [7]. Mikro-fluks regulering går i korthet ut på å analysere sanntidsdata fra borevæsken, typisk massestrøm, trykk og temperatur, for så å sammenligne dataene med forventede verdier for væsken ved aktuell dybde. De forventede verdiene er beregnet bl.a. ut fra prinsippet om massebevaring i lukkede systemer. Ved å benytte de innsamlede væskedataene, kan man ved hjelp av en reguleringsløyfe for returstrømmen av borevæske enklere sørge for å holde et konstant bunnhullstrykk [7]. Her vil et datasystem bearbeide de ulike måledataene, for så å justere trykkreguleringsventilens (“choke valve”) åpning. Et flytskjema som viser reguleringen av væskestrøm er vist i figur 1.12, og er en kopi av figuren i [7].



Figur 1.12: Prinsippskisse for et trykkregulert boresystem.

Før metoden kunne testes ut på en rigg, måtte en håndtere en rekke utfordringer knyttet til eksisterende boreteknikker. Krav som her måtte møtes var knyttet til fleksibilitet, lave kostnader ved omlegging fra en konvensjonell boremetode, økt sikkerhet under boring og enkle prosedyrer [7]. Metoden møter langt på vei de fleste utfordringene knyttet til boring under krevende forhold, hvilket gjør metoden godt egnet for boring av brønner med små trykkmarginer.

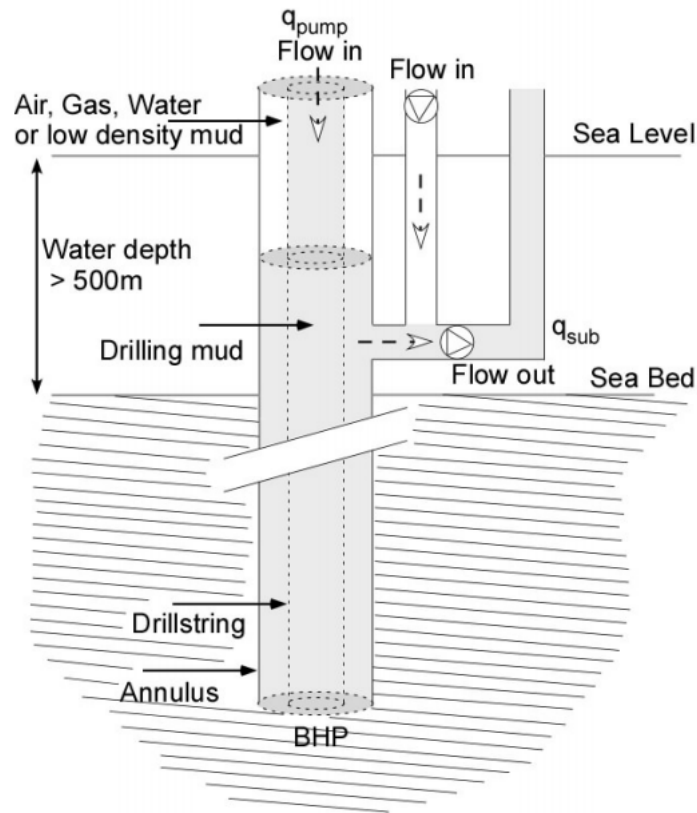
1.3.4 Dobbelgradient boresystem

Det har blitt forsket på bruk av dobbelgradient boring som en alternativ metode ved boring på større dyp. Et dobbelgradient boresystem er en form for trykkstyrt boring, hvor bunnhullstrykket i brønnen reguleres ved bruk av boreslam med ulik tetthet i boreoperasjonen. Metodikken med tilpasning av boreslammets tetthet underveis, skyldes at man i størst mulig grad tilstreber å treffe den ulineære trykkprofilen for slammet i ringrommet [8]. Redusering av boreslamtetthet kan gjøres på mange ulike måter, bl.a. ved injisering av spesielle væsker, tilsetning av egne typer pulver eller dumping av boreslam på havbunnen. I dette tilfellet ble boreslamtettheten redusert ved å sende slammet i et eget rør til havoverflaten. Boreslammet som ble benyttet her, hadde høyere tetthet enn normalt, noe som er typisk for et dobbelgradient boresystem [8]. Reguleringsløyfen i dette forskningsarbeidet er basert på en multivariabel reguleringsmodell, da dette gir bedre koordinasjon av flere prosessvariabler. Inngangsvariablene for reguleringsmodellen er vist i ligning 1.1 og utgangsvariablene i ligning 1.2, som er hentet fra [8]. En kontroll over disse variablene vil gi økt ytelse, større pålitelighet og bedre sikkerhet sammenlignet med konvensjonelle boreoperasjoner.

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{pump} \\ q_{sub} \\ \nu_{ds} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Boreslam gjennom pumpe} \\ \text{Boreslam gjennom subseapumpe} \\ \text{Borestrengshastighet} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Bunnhullstrykk} \\ \text{Krokposisjon} \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Studier av et dobbelgradient boresystem viser hvordan en modellprediktiv regulering (MPC) kan regulere både bunnhullstrykk og krokposisjon under borestrengsbevegelse [8]. Reguleringen skjer ved manipulering av pumper for væskestrømning og hastighet på borestreng. Simuleringer av modellen viser et mye lavere avvik for bunntrykk når borestrengen er i bevegelse, sammenlignet med manuell kontroll av borestrengkroken. Ulempen med denne metoden, er at den på grunn av sin unge alder ikke har blitt sertifisert for bruk i industrien enda fordi man avventer grundig testing. I tillegg innbefatter en installasjon av ny og uprøvd teknologi en betydelig kostnad og risiko. Skissen i figur 1.13 viser væskestrømmen av boreslam under boring med denne metoden, og er en kopi av skissen i [8].



Figur 1.13: Skisse for væskestrøm i et dobbelgradient boresystem

Den øvre delen av stigerøret viser et lavere nivå enn normalt for boreslammet, og hvordan slammene her kommer i kontakt med luft. Årsaken til at man opererer med et lavt væsknivå, er for å kompensere for borevæskens høye tetthet. Hadde man fylt hele ringrommet (Eng.: “annulus”) med tung borevæske, kan dette skape for stort trykk i bunnen av brønnen. Da risikerer man at poretrykket blir for stort, og konsekvensene av dette er nevnt i kapittel 1.3. Alternativt kunne man fylt luftrommet med en borevæske av lavere tetthet for å oppnå trykkreduksjon. Trykkøkningen i brønnen forklares ut fra sammenhengen mellom hydrostatisk trykk og boreslamtetthet:

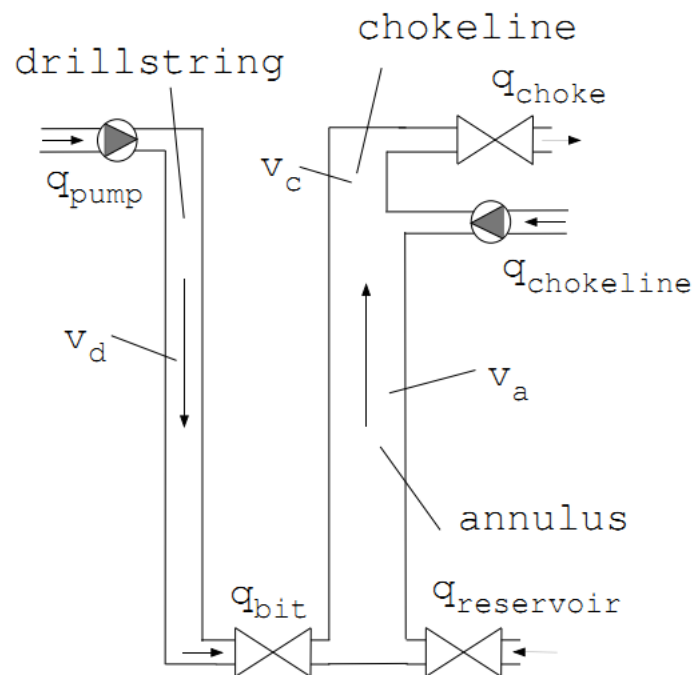
$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (1.3)$$

Variabel	Forklaring
p	Hydrostatisk trykk [Pa]
ρ	Massetettheten til borevæsken [kg/m^3]
g	Gravitasjonskonstanten, typisk $9,81 m/s^2$
h	Høyden under havoverflaten [m]

Som man ser av formelen, vil trykket øke med økende dybde. For å bevare væskehøyde ved et gitt nivå i stigerøret, kan man installere en ekstra injiseringspumpe for boreslam (plassert ved “flow in” lengst til høyre i figur 1.13) i tillegg til subsea-pumpen som er plassert på havbunnen.

1.3.5 Brønnsparkeleksjon ved hjelp av estimatorer

Som et ledd i å forbedre tidlig brønnsparkeleksjon eller trykkfallsdeleksjon under boring, har man forsøkt å estimere væskestrømmen i brønnen ved hjelp av en ny type adaptive estimatorer. Typiske indikasjoner på at en brønnsparkeleksjon er i ferd med å oppstå, er bl.a. plutselig økning i volum av returnert boreslam, plutselig hastighetsøkning på boring og endringer i inn- og utstrøm av boreslam [9]. En egen reguleringsalgoritme for regulering av brønnehodetrykk og tilbaketrykkspumpe (markert med hhv. “ q_{bit} ” og “ $q_{chokeline}$ ” i figur 1.14), ble utviklet som metode for trykkregulering og demping av evt. spark (Eng.: “kick”) i brønnen [9]. Utvikling av en egen estimator for estimering av poretrykk i reservoaret, brukes for å finne nytt referansepunkt for bunnhullstrykket, og dette sørger for forbedret håndtering av brønnsparkeleksjoner. Simuleringer viser at estimatorene er effektive for tidlig deleksjon av spark- og trykktapssituasjoner. I tillegg ser man av resultatene at en automatisk regulering av brønnen forbedrer sparkhåndtering.



Figur 1.14: Skisse for væskestrøm

Skjemategningen i figur 1.14 viser hvordan de to volumene som reguleres er knyttet sammen. Væskestrømmen gjennom borestrengen er koblet til ringrommet i stigrøret via borekronen. Tilbaketrykkspumpen (markert med $q_{chokeline}$) er plassert under trykkreguleringsventilen i figur 1.14 (markert med q_{choke}), og pumpens hensikt er forklart i kapittel 1.3. Innstrømningen av væske fra reservoaret ansees som en prosessforstyrrelse, og er markert med $q_{reservoir}$ i tegningen. Størrelsen på denne forstyrrelsen er gitt av differansen mellom væskestrøm i ringrommet og væskestrøm gjennom borekronen [9]:

$$q_{reservoir} = q_a - q_{bit} \quad (1.4)$$

En negativ verdi for $q_{reservoir}$ indikerer væskestrøm ut av formasjonen (høyt trykk i ringrom), mens positiv verdi indikerer innsig fra formasjonen til brønnen. Altså har man en ideell situasjon når $q_{reservoir} = 0$, ettersom dette indikerer en brønn uten innsig eller tap av væskestrøm.

Dynamikken i dette systemet kan beskrives med følgende sammenhenger [9]:

$$\frac{V_d}{\beta_d} \cdot \frac{d}{dt} p_p = q_{pump} - q_{bit} \quad (1.5)$$

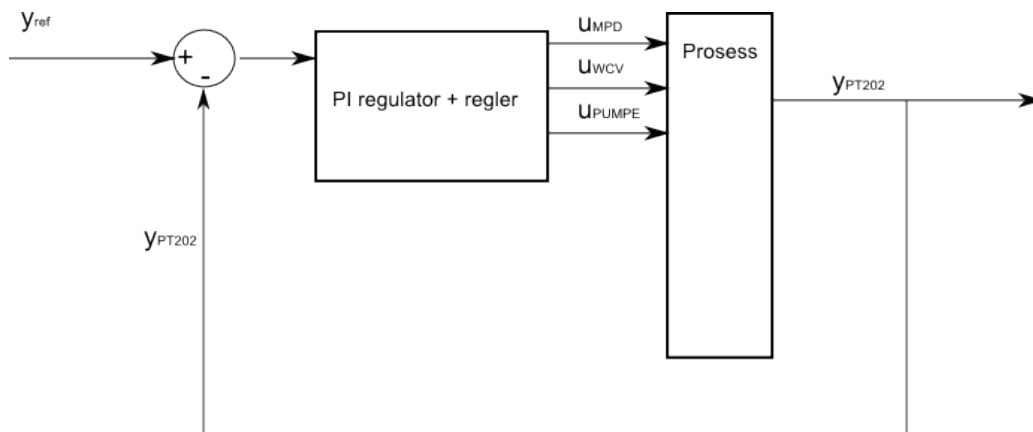
$$\frac{V_a}{\beta_a} \cdot \frac{d}{dt} p_c = q_a + q_{back} - q_{choke} \quad (1.6)$$

Variabel	Forklaring
V_d	Volum i borestreng [m^3]
V_a	Volum i ringrom [m^3]
β_d	Kompressibilitet for væske i borestreng [Pa^{-1}]
β_a	Kompressibilitet for væske i ringrom [Pa^{-1}]
p_p	Trykk ved boreslampumpe [bar]
p_c	Trykk ved brønnkontrollventil [bar]
q_{bit}	Væskestrømråde gjennom borekrone [m^3/s]
q_a	Væskestrømråde gjennom ringrom [m^3/s]
q_{pump}	Væskestrømråde gjennom boreslampumpe [m^3/s]
q_{back}	Væskestrømråde gjennom tilbaketrykkpumpe [m^3/s]
q_{choke}	Væskestrømråde gjennom brønnkontrollventil [m^3/s]
$q_{reservoir}$	Væskestrømråde gjennom ventil for reservoarvæske [m^3/s]

1.3.6 Trykkstyring på UiS-riggen

På boreriggmodellen ved Universitetet i Stavanger benytter man seg av trykkstyrt boring ved hjelp av ulike trykksensorer. Her er det ventilåpningene på trykkreguleringsventilen og brønnkontrollventilen som skal reguleres i henhold til hvor mye gass som har lekket inn i formasjonen, for å oppnå konstant bunnhullstrykk. Overført til boreriggmodellen vil det her dreie seg om ventilene kalt MPD-ventil og WCV-ventil. I en situasjon hvor trykket blir svært høyt, kan stor trykkøkning være en indikasjon på et påbegynnende brønnsparke.

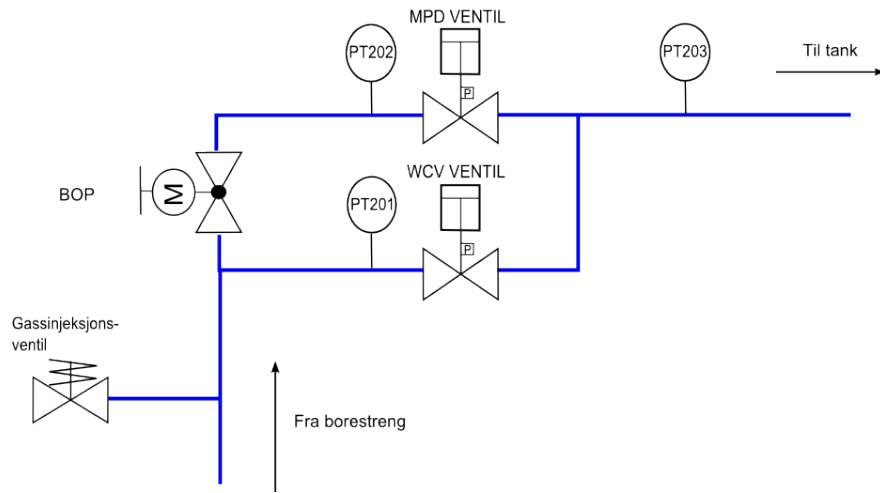
Ei prinsippskisse for reguleringsløyfen er vist i figur 1.15. Prosessutgangen er markert med y_{PT202} , som henspeler på trykkmåler PT202. Denne trykkmåleren er plassert rett foran MPD-ventilen (se 1.16), og trykkmålerens lokasjon på boreriggmodellen gjør at man oppnår gode og tilnærmet uforsinkede trykkmålinger for ventilen som skal reguleres under normal operasjon; MPD-ventilen. På samme skisse er regulatoren merket med “PI-regulator + regler”, som henspeler på at pådragsverdiene ut av regulatoren og inn på prosessinngangen bestemmes av regulatorparametrene og et sett med regler som er basert på prosedyren for automatisk brønnkontroll. Detaljene rundt disse reglene er beskrevet i kapittel 4.1.



Figur 1.15: Skisse som viser prinsippet for reguleringsløyfen benyttet på boreriggmodellen.

Standard innstengningsprosedyre for å håndtere brønnsparke, går ut på å stoppe alle væsepumper og se an væskens strømningshastighet ut av brønnen. Deretter vil sikkerhetsventiler stenges for å isolere brønnen. Ved såkalt hard innstengning, stoppes pumpene, og man observerer væskestrømsutviklingen i ringrommet i maksimum 15 minutter. Hvis man fortsatt registrerer væskestrøm etter denne tidsperioden, stenger man brønnen ved å lukke utblåsningssikringen (“BOP”) og trykkreguleringsventilen (“MPD-ventil”). Ulempen med denne metoden, er at den hurtige stengningen genererer trykkbølger som forplanter seg nedover i brønnen. Dette er en uønsket effekt som gir en betraktelig risikoøkning ved boring i brønner med små trykkmarginer. En alternativ innstengningsmetode er såkalt myk innstenging. I dette tilfellet isoleres ikke brønnen ved samtidig stengning av både utblåsningssikring og trykkreguleringsventil. Når utblåsningssikringen stenges, vil først brønnskrollventilen (“WCV-ventil”) åpnes helt. Etter at utblåsningssikringen er stengt, vil brønnskrollventilen lukkes gradvis over tid. Dette reduserer effekten av trykkbølgen man kan oppleve ved hard innstengning, men åpner for at større mengder gass eller væske siver inn i brønnen fra formasjonen [10].

Gassen injiseres i form av trykkluft med et gitt trykk i den delen av rørsløyfen som tilsvarer bunnen av brønnen (rett under PT103 på figur 1.3). Økt gassmengde resulterer i økt trykk, noe som detekteres ved hjelp av trykkmåleren kalt PT103 på boreriggmodellen. Ventilene som reguleres er plassert rett før returløpet til boreslamtank, og vil dermed tilsvare plasseringen slikt utstyr har i en virkelig boreprosess. Den forenklete skissen i figur 1.16 viser de ulike komponentene plassert øverst i boreriggmodellen, mens væskestrømmen er vist i figur 1.3.



Figur 1.16: Skisse for væskestrøm gjennom ventilene på toppen av boreriggmodellen.

Kapittel 2

Utvikling av prosessmodell

For å bestemme prosessparameterne for en prosess, er det viktig å ha gode prosessdata. Det finnes flere metoder man kan benytte seg av for å bestemme prosessparameterne for en prosess, blant annet ved hjelp av matematiske modeller, eller ved hjelp av måleinstrumenter fra prosessinstallasjonen. En matematisk modell vil imidlertid kreve en god del beregninger som omhandler prosessomgivelsene, samt eksakte mål og spesifikasjoner på komponenter i prosessinstallasjonen. Når disse dataene er samlet inn og beregnet, kan modellutviklingen av prosessdynamikken begynne. Ettersom det her var tilgang til måleinstrumenter på boreriggmodellen, falt valget på å bestemme prosessparametere ut fra måledata fra boreriggmodellens påmonterte trykksensorer.

Et typisk scenarie for bestemmelse av prosessparametre er å foreta et sprang i prosessens referanseverdi, for deretter å studere responsen på prosessutgangen som følge av spranget. En forutsetning for at dette kan gjennomføres, er at prosessen er stabil før den utsettes for påvirkning. For boreriggmodellen ble det bestemt å benytte sprangresponsen for beregning av prosessparametre, ettersom denne metoden er lettfattelig og enkel.

2.1 Prosessparametere

2.1.1 Pumpepådrag, $H_p(s) = \frac{y_{PT202}}{u_{pumpe}}$

Sprang for pumpepådraget ble gjennomført for å beregne prosessparametre med pumpen som prosessinnang. Prosessparameterne ble tilpasset en 1.ordens prosess med dødtid. Kun to sprang for pumpepådraget ble gjennomført. Den øvre begrensningen i pumpehastighet er gitt av trykket som oppstår i boreriggmodellen ved høye hastigheter. For høyt trykk i rørene, vil føre til at tilbakeslagsventilen på boreriggmodellen aktiveres, og det oppstår væsketap. Nedre begrensning på hastighet er gitt av det store strømtrekket pumpen genererer ved lave hastigheter. Ved kjøring på lave hastigheter (under 20% av maks) over tid, vil pumpens motorvern slå ut, og pumpen stopper. De beregnede parametrene med måleinstrument PT202 som utgang, er vist i tabell 2.1.

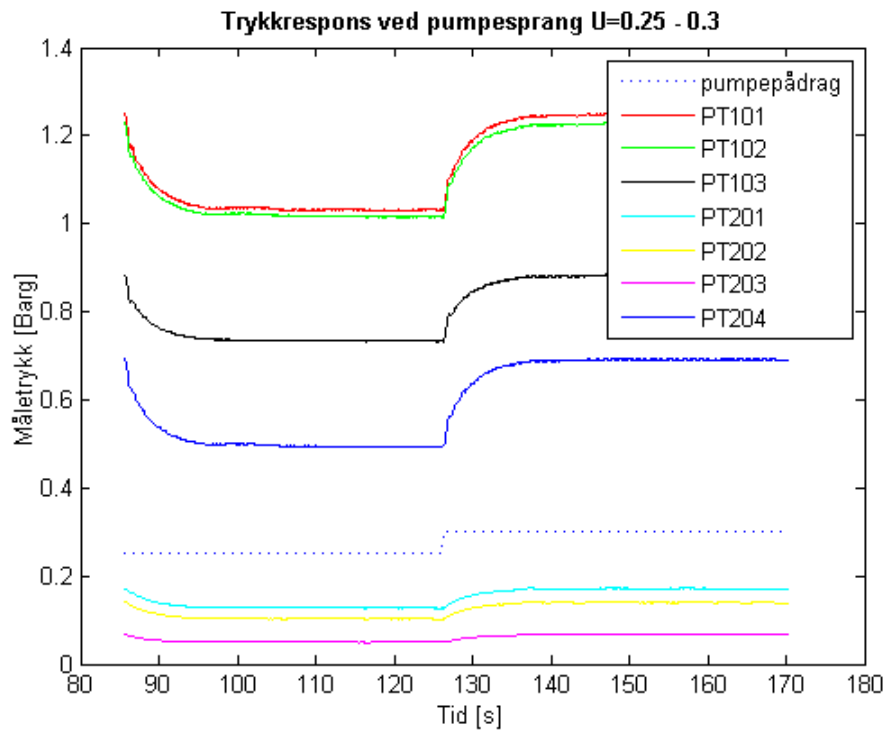
Arbeidspunkt pumpe	0.25	0.3
K	0.72	0.89
T	3.2	3
Dødtid τ	0.3	0.3

Tabell 2.1: Prosessvariabler for pumpe, PT202 som utgang

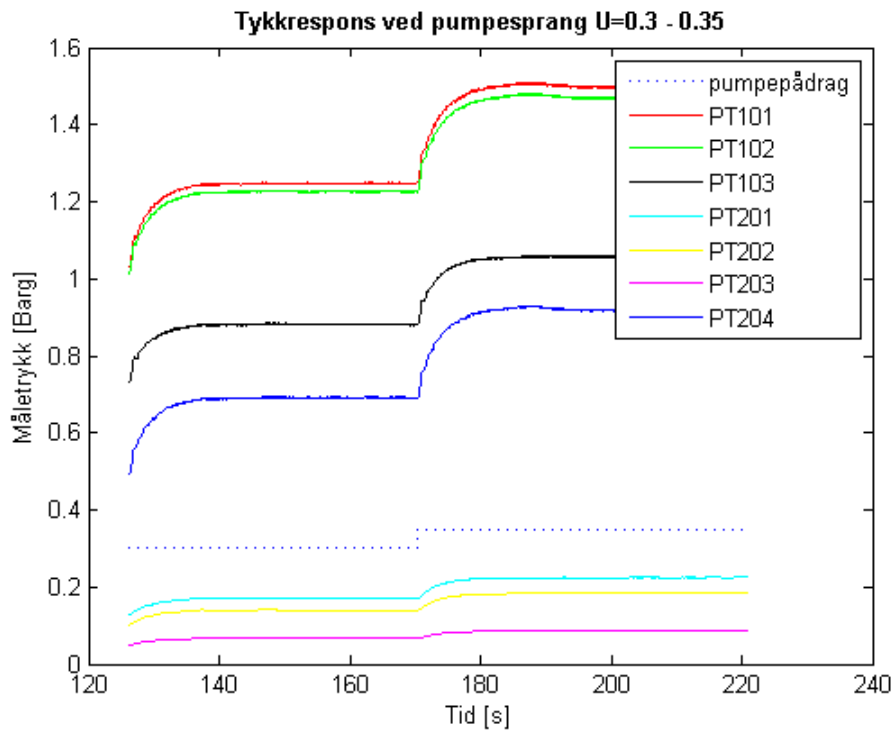
En tabell som viser prosessparametrene for samtlige trykksensorer er vist i tabell 2.2. En figur som viser trykkendringer fra alle trykksensorene som funksjon av pumpepådrag er vist i figur 2.1 og 2.2.

Måleinstrument/ prosessparameter	PT101	PT102	PT103	PT201	PT202	PT203	PT204
Arbeidspunkt $u_{pumpe} = 0.25$							
K	4.26	4.14	2.934	0.868	0.718	0.338	3.92
T	2.6	2.6	2.3	3.4	3.2	3.4	2.5
τ	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2
Arbeidspunkt $u_{pumpe} = 0.3$							
K	5.02	4.86	3.49	1.068	0.892	0.386	4.534
T	2.8	2.8	2.4	2.9	3	3	2.8
τ	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1

Tabell 2.2: Prosessparametre for alle måleinstrumenter på boreliggmodellen



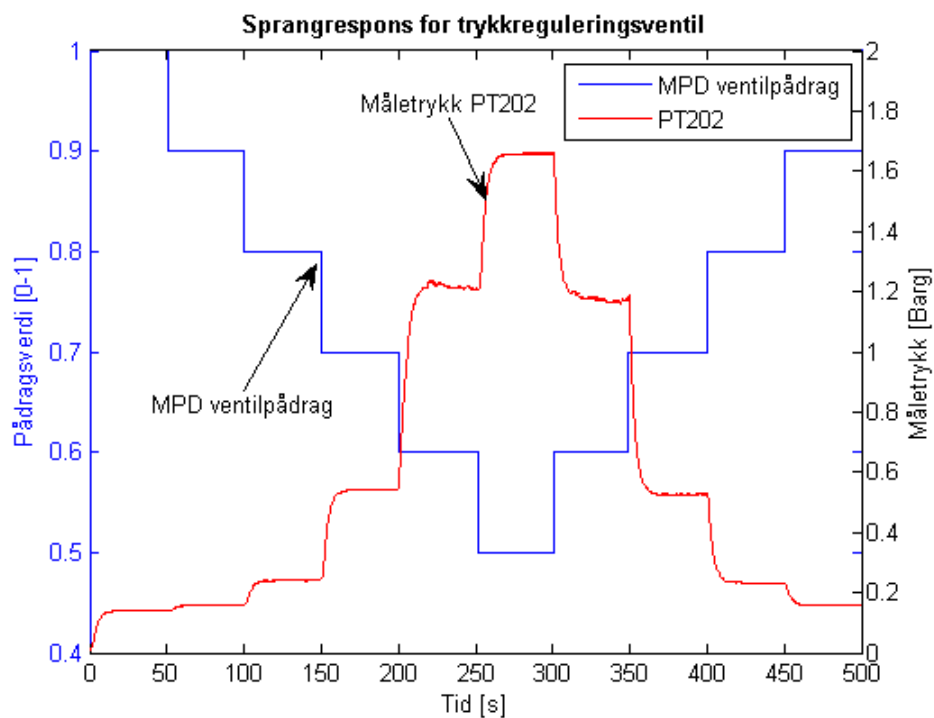
Figur 2.1: Prosessrespons for PT101-204 ved et sprang på 0.25-0.3 i pumpepådrag



Figur 2.2: Prosessrespons for PT101-204 ved et sprang på 0.3-0.35 i pumpepådrag

2.1.2 MPD ventilåpning, $H_p(s) = \frac{\Delta y_{PT202}}{\Delta u_{MPD}}$

Som nevnt innledningsvis, ble prosessparametrene funnet ved å foreta sprang i prosessreferansen. Sprangene ble gjort ved å redusere åpningen på MPD-ventilen med 10%, mens pumpepådrag ble holdt konstant på 30% av full hastighet. Prosessutgangen er PT202, dette er trykksensoren som er plassert rett foran MPD-ventilen. Sprangresponsen for prosessen er vist figur 2.3. Brønnkontrollventilen (“WCV-ventil”) var stengt under denne kjøringen.



Figur 2.3: Sprangrespons som ble benyttet under beregning av transferfunksjonene for prosessen.

Prosessparametrene for prosessmodellen ble tilpasset en 1.ordens prosess med dødtid:

$$H_p(s) = \frac{\Delta y_{PT202}}{\Delta u_{MPD}} = \frac{K}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau s} \quad (2.1)$$

En tabell som viser de ulike arbeidspunktene for MPD ventilen med tilhørende prosessparametre, er vist i tabell 2.3. Prosessutgangen er trykksensor PT202.

Arbeidspunkt ventilåpning	100%	90%	80%	70%	60%
K	-0.18	-0.82	-2.99	-6.73	-4.49
T	2.9	3.9	3.9	5.3	4.2
Dødtid τ	1.67	0.4	0.5	0.3	0.5

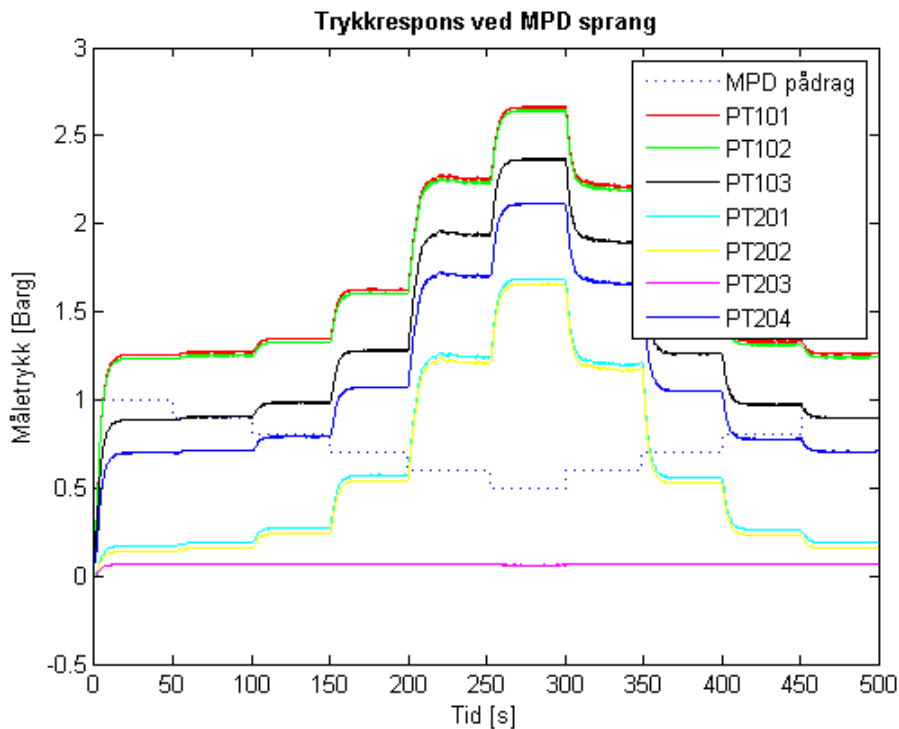
Tabell 2.3: Prosessvariabler for MPD ventil, beregnet ut fra sprangresponsen i figur 2.3.

En oversikt over alle prosessparametrene til alle trykksensorene som er installert på boreriggmodellen er vist i tabell 2.4. I kolonnen for måleinstrument PT203, er forsterkningsparameteret K likt for alle arbeidspunkt. Dette skyldes at endringene i forsterkning er så små at de er tilnærmet umulig å lese av. Verdien til K for dette måleinstrumentet er derfor satt lik den lille endringen det var mulig å detektere ved et av sprangene. Den minimale trykkendringen for denne trykksensoren skyldes mest sannsynlig trykksensorens lokasjon på boreriggmodellen, hvor den er plassert rett foran flytmåleren (se P&ID diagram i figur 1.3). Lokasjonen til dette måleinstrumentet gjør at det i praksis måler trykkdifferansen mellom MPD-ventilen og atmosfærisk trykk, hvilket er en liten verdi når det kun er ventilåpningen på MPD-ventilen som endres.

En figur som viser sprangresponsen for alle trykksensorene ved de ulike sprangene i ventilen, er vist i figur 2.4. Legg her spesielt merke til grafen for PT203, som er tilnærmet flat gjennom hele kjøringen.

Måleinstrument/prosesserparameter	PT101	PT102	PT103	PT201	PT202	PT203	PT204
Arbeidspunkt $u_{MPD} = 100\%$							
K	-0.17	-0.15	-0.13	-0.19	-0.18	-0.01	-0.16
T	2.47	2.28	2.48	2.27	2.87	2.88	2.38
τ	2.75	2.75	2.75	1.67	1.67	1.67	1.67
Arbeidspunkt $u_{MPD} = 90\%$							
K	-0.79	-0.8	-0.83	-0.82	-0.82	-0.01	-0.76
T	3.1	3.1	3.8	4	3.9	3.9	3.7
τ	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6
Arbeidspunkt $u_{MPD} = 80\%$							
K	-2.82	-2.78	-2.96	-2.99	-2.99	-0.01	-2.80
T	3.8	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.8
τ	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6
Arbeidspunkt $u_{MPD} = 70\%$							
K	-6.32	-6.31	-6.61	-6.75	-6.73	-0.01	-6.3
T	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.2
τ	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.5
Arbeidspunkt $u_{MPD} = 60\%$							
K	-4.16	-4.14	-4.35	-4.49	-4.49	-0.01	-4.11
T	4.2	4.2	4.3	4.2	4.2	4.2	4.8
τ	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8

Tabell 2.4: Prosessparametre for alle måleinstrumenter på boreriggmodellen som funksjon av MPD ventilpådrag.



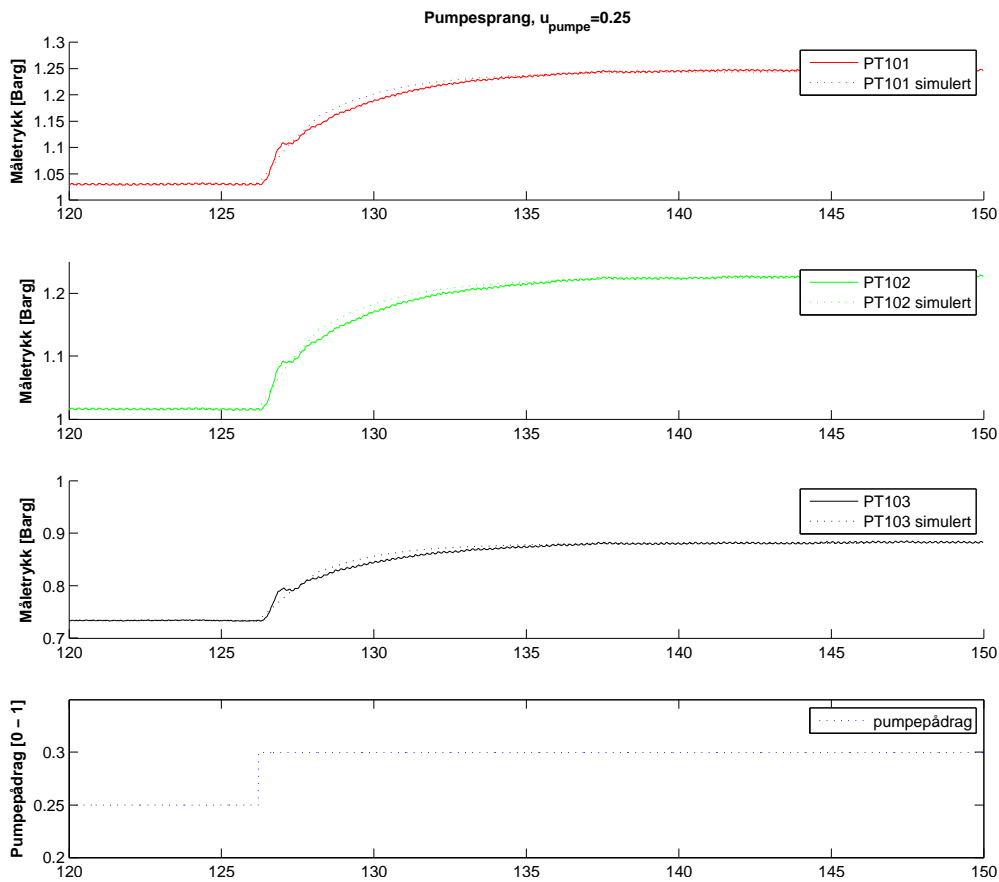
Figur 2.4: Prosessrespons for PT101-204 ved sprang på 10% i området [100-50] for MPD ventil.

2.2 Modellverifikasjon

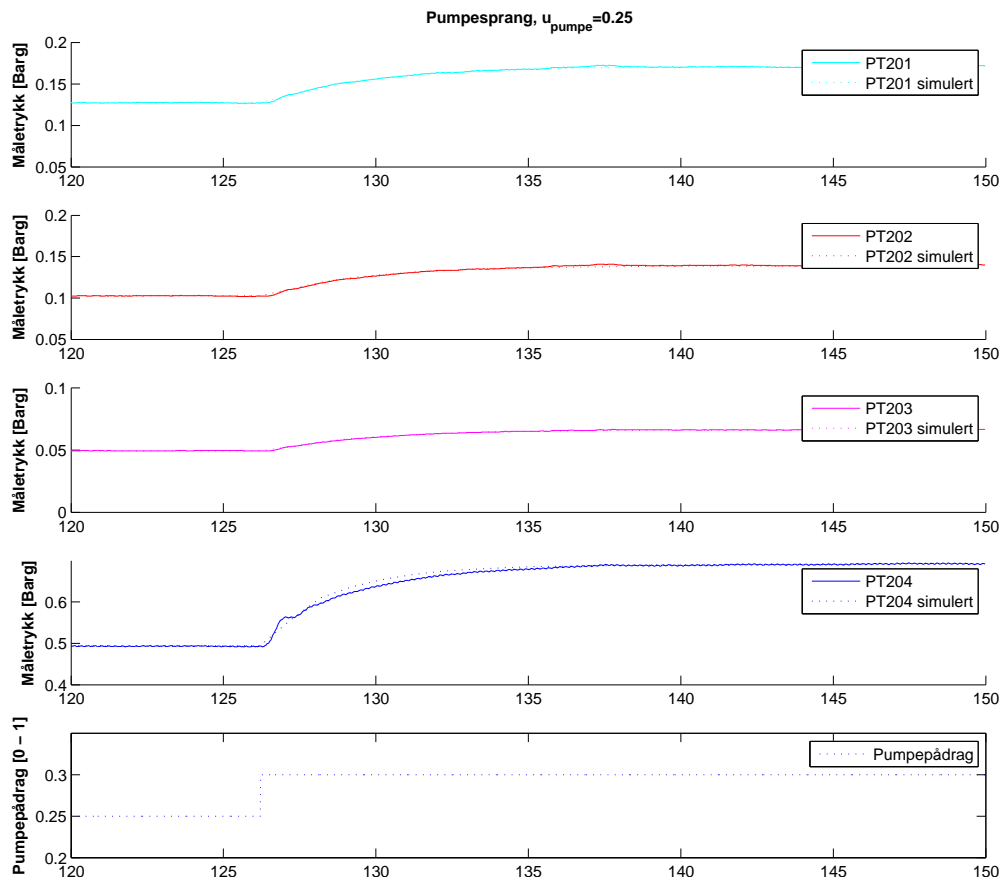
For å kunne avgjøre om prosessparametrene i prosessmodellen samsvarer med den virkelige prosessen, og dermed finne prosessens orden, er det nyttig å samkjøre sprangresponsen fra prosessanlegget med sprangresponsen fra modellen. De lagrede dataene for prosessresponsen ble derfor sammenlignet med responsen fra modellen ved tilsvarende sprang i referansen. Figurene i dette kapittelet hvor ulike kurver sammenlignes, har i enkelte tilfeller ulik oppløsning, da dette er med på å tydeliggjøre detaljer der det er nødvendig.

2.2.1 Verifikasjon av pumpemodell

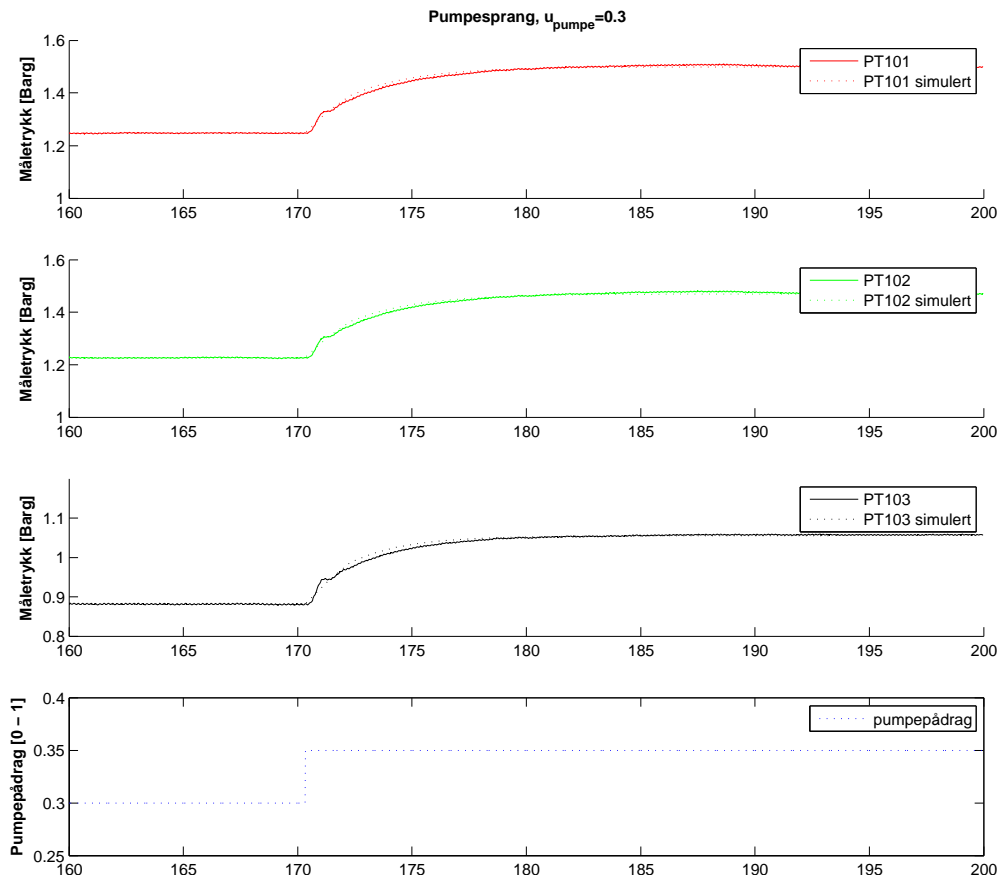
Figur 2.5 og 2.6 viser hvordan modellens respons blir, sammenlignet med prosessresponsen ved sprang fra 0.2 - 0.25 i pumpepådrag. Tilsvarende figurer for sprang fra 0.3 - 0.35 er vist i figur 2.7 og 2.8.



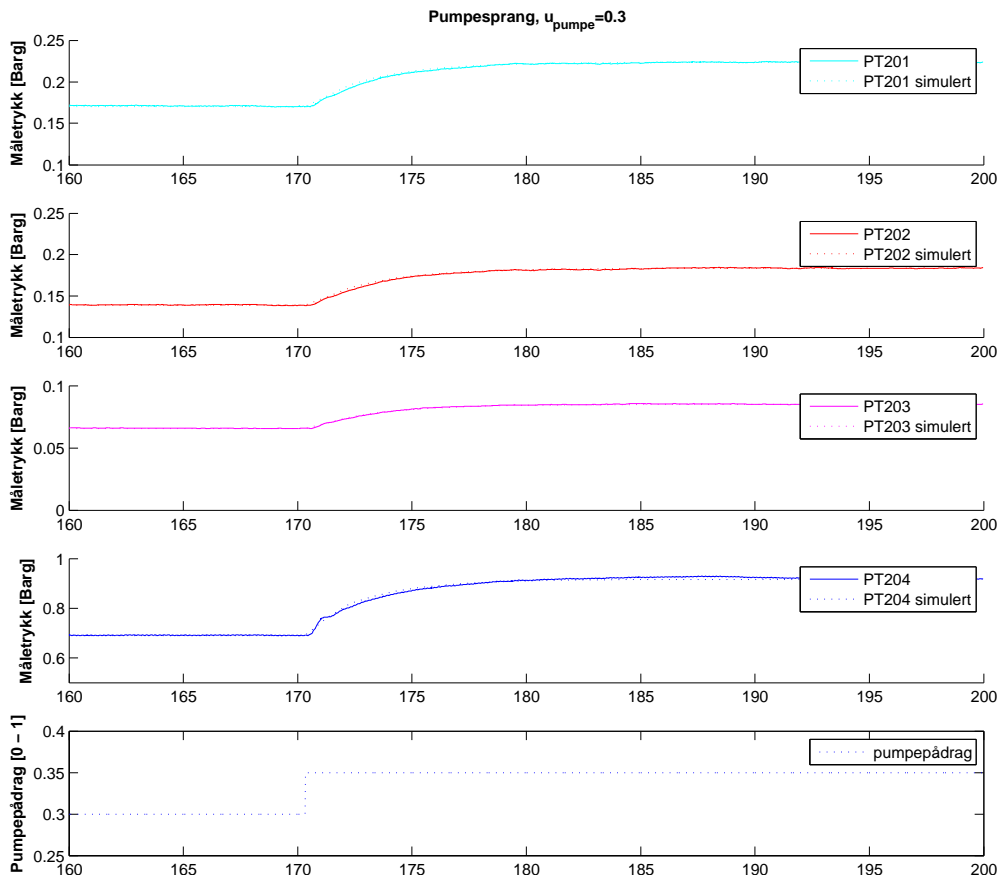
Figur 2.5: Simulert og reell prosessrespons for PT101-103 ved et sprang på 0.25-0.3 i referansen



Figur 2.6: Simulert og reell prosessrespons for PT201-204 ved et sprang på 0.25-0.3 i referansen



Figur 2.7: Simulert og reell prosessrespons for PT101-103 ved et sprang på 0.3-0.35 i referansen

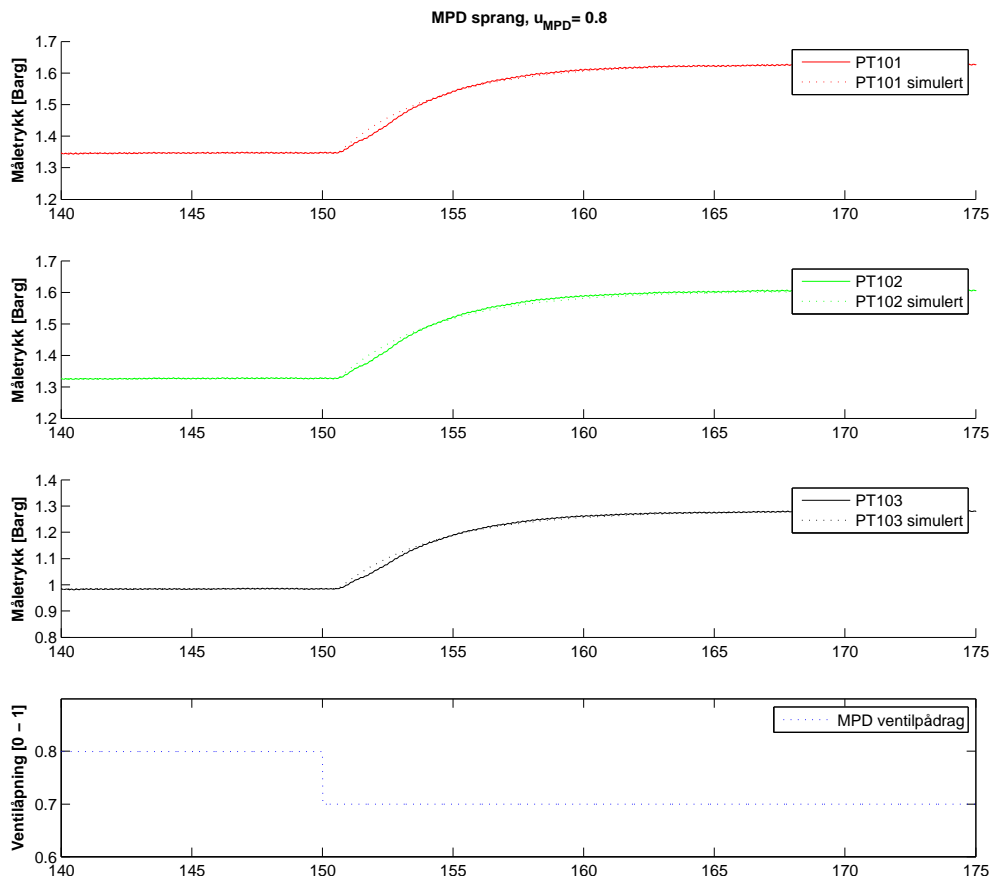


Figur 2.8: Simulert og reell prosessrespons for PT201-204 ved et sprang på 0.3-0.35 i referansen

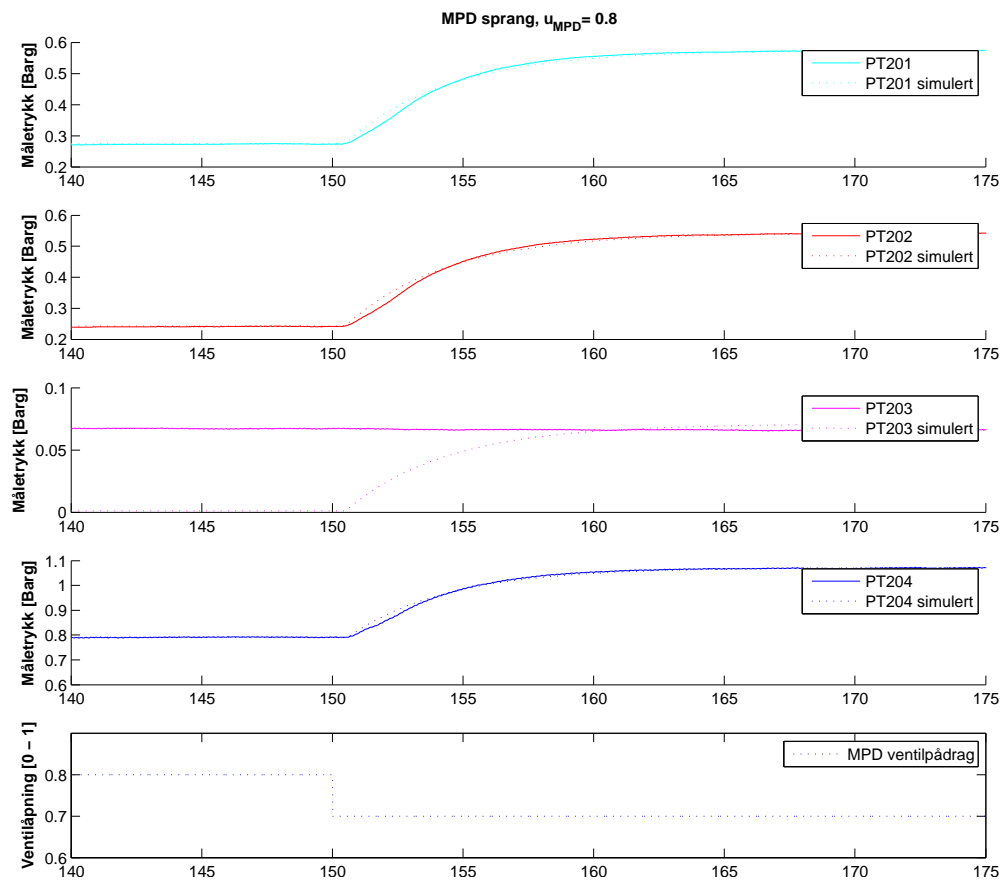
Vi ser av figurene at responsen fra prosessmodellen er en god tilnærming til den faktiske prosessresponsen ved sprang i referansen. Dette indikerer at de beregnede modellparametrene som tar utgangspunkt i en 1.ordens prosess med dødtid stemmer godt overens med virkelig prosessorden.

2.2.2 Verifikasjon av ventilmodell

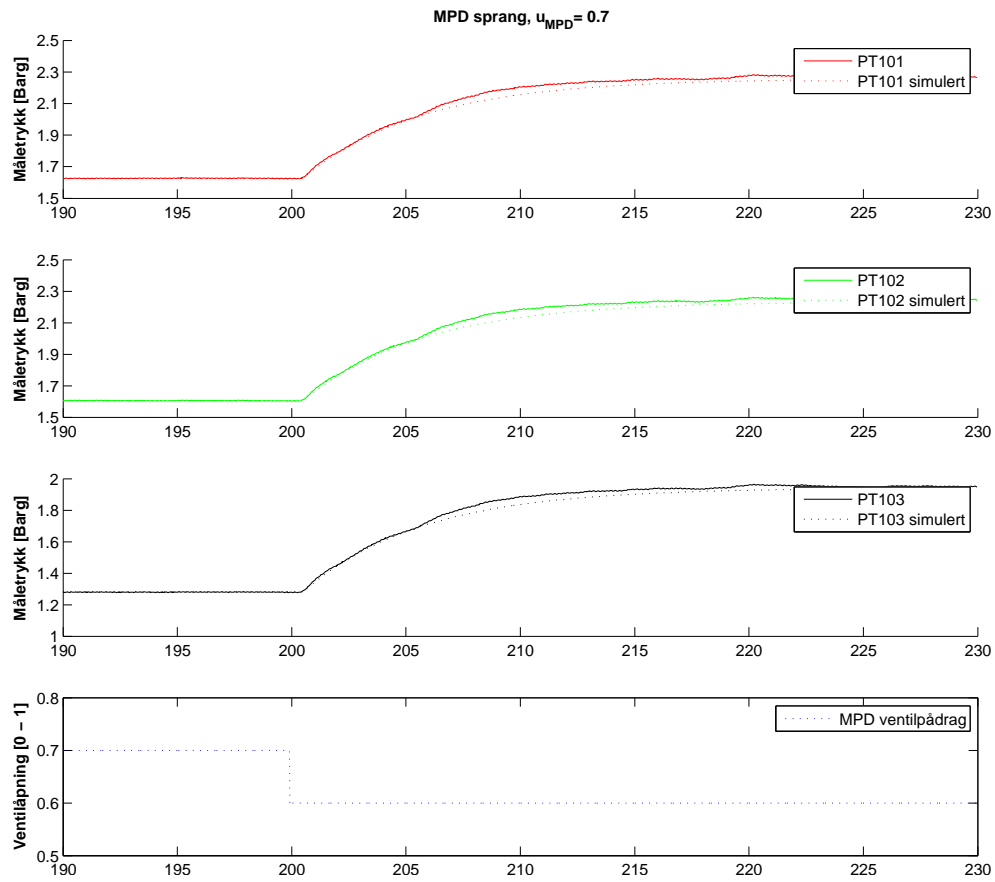
Som for pumpen, ble tilsvarende sprang gjort med ventilåpningen for MPD-ventilen, og her var sprangene på 10% i området [0.5-1]. Her tilsvarer 0.5 en ventilåpning på 50%, mens 1 tilsvarer 100% åpning. Et sprang i ventilåpningen fra 0.8 - 0.7 er vist i figur 2.9 og 2.10. Tilsvarende figur for et sprang fra 0.7 - 0.6 er vist i figur 2.11 og 2.12.



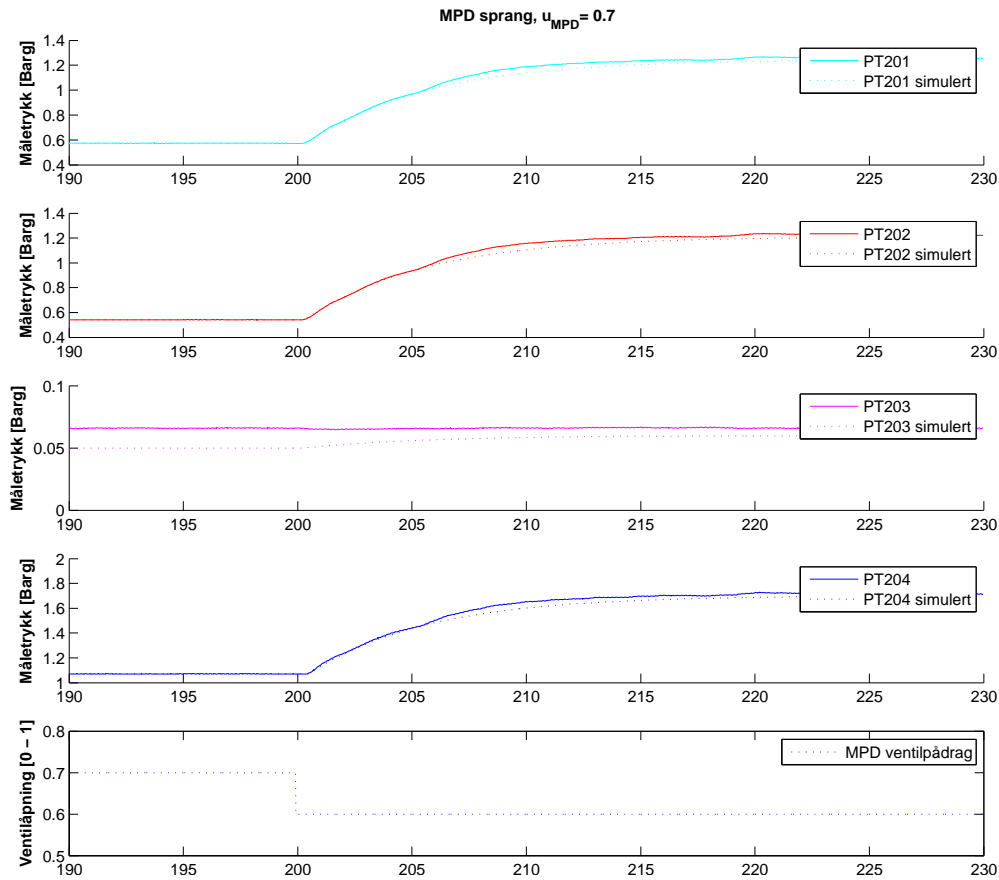
Figur 2.9: Simulert og reell prosessrespons for PT101-103 ved et sprang på 0.8-0.7 i ventilåpning



Figur 2.10: Simulert og reell prosessrespons for PT201-204 ved et sprang på 0.8-0.7 i ventilåpning



Figur 2.11: Simulert og reell prosessrespons for PT101-103 ved et sprang på 0.7-0.6 i ventilåpning



Figur 2.12: Simulert og reell prosessrespons for PT201-204 ved et sprang på 0.7-0.6 i ventilåpning

Også disse figurene viser godt samsvar mellom modellert prosessrespons og virkelig prosessrespons for sprang i ventilåpning. Likheten mellom responsene indikerer at prosessen er en 1.ordens prosess med dødtid når ventilåpningen påvirkes.

2.3 Frekvensrespons

En annen mye brukt metode for å fastslå et systems orden er å studere systemets frekvensrespons. Ved å sende signaler av ulik frekvens inn på systeminngangen, kan man ved å lese av amplitudeforsterkning og faseforskyvning på responsen bestemme systemets orden. Denne metoden ble benyttet på boreriggmodellen, for å fastslå hvilken orden prosessen har.

Det er kjent fra teorien om Butterworth filtre at et filter med orden N vil ha en amplitudeforsterkning som endres med $N * 6dB/oktav$ og $N * 20dB/dekade$ [11]. Denne teorien vil også gjelde for vår systemrespons. Teorien tilsier altså at mellom $\omega = 1$ og $\omega = 2$ vil man få en reduksjon i amplitudeforsterkning på 6dB for et 1.ordens filter. En frekvensendring på en oktav, tilsvarer en dobling i frekvens. Hvis frekvensendringen er på en dekada, tilsvarer dette en tidobling i frekvens. For å benytte seg av teorien om Butterworth filtre, ble frekvensene $\omega = 0.1, \omega = \omega_b, \omega = 0.5, \omega = 1, \omega = 2, \omega = 5$ valgt for å finne amplitudeforsterkning og faseforskyvning på prosessens respons. Ved frekvenser større enn $\omega = 5$, klarte ikke utgangen å henge med, i form av at trykkendringene ble for raske for trykksensor PT202. De valgte frekvensene gjør at det er mulig å se på endringen i amplitudeforsterkning for en frekvensendring på en oktav, og en dekada.

Frekvensresponsberegninger ble utført ved å sende et tidskontinuerlig sinus-formet signal til prosessinngangene. Et bestemt tidskontinuerlig sinus-formet signal ble påsatt pumpen, og responsen ble avlest. Deretter ble et annet tidskontinuerlig sinus-formet signal påsatt MPD-ventilen, før responsen av dette også ble avlest. Resultatene for hver av prosessens innganger er tildelt egne underkapitler. Hensikten med å studere frekvensrespons for begge prosessinngangene, er for å kunne avgjøre om prosessen oppfører seg som en 1.ordens prosess med dødtid for begge inngangene, eller om det er ulik respons og dermed ulik orden.

I en ideell boreoperasjon benytter man en trykksensor i bunnen av brønnen som kan detektere bunnhullstrykket direkte. Ved MPD boreoperasjoner har man vanligvis ikke tilgang til måleinstrumenter som kan måle bunnhullstrykket direkte. En måling fra et måleinstrument i bunnen av brønnen vil i tillegg ofte være tidsforsinket, og dermed er andre løsninger for måling av trykk å foretrekke. Derfor regulerer man trykket foran trykkreguleringsventilen, som på boreriggmodellen er trykksensor PT202.

2.3.1 Frekvensrespons fra pumpepådrag til PT202

Tabell 2.5 viser de valgte frekvensene, prosessens forsterkning og prosessens faseforskyvning når hastigheten på pumpen endres i henhold til et bestemt tidskontinuerlig signal. Prosessens båndbredde er betegnet i tabellen med ω_b . Under denne kjøringen ble ventilåpningen for MPD ventilen satt til 1 (100% åpen) for alle frekvenser, og WCV-ventilen ble satt til 0 (stengt).

Følgende signal ble valgt for pumpen ved alle frekvenser:

$$u_{pumpe}(t) = 0.05 \sin(\omega t) + 0.25 \quad (2.2)$$

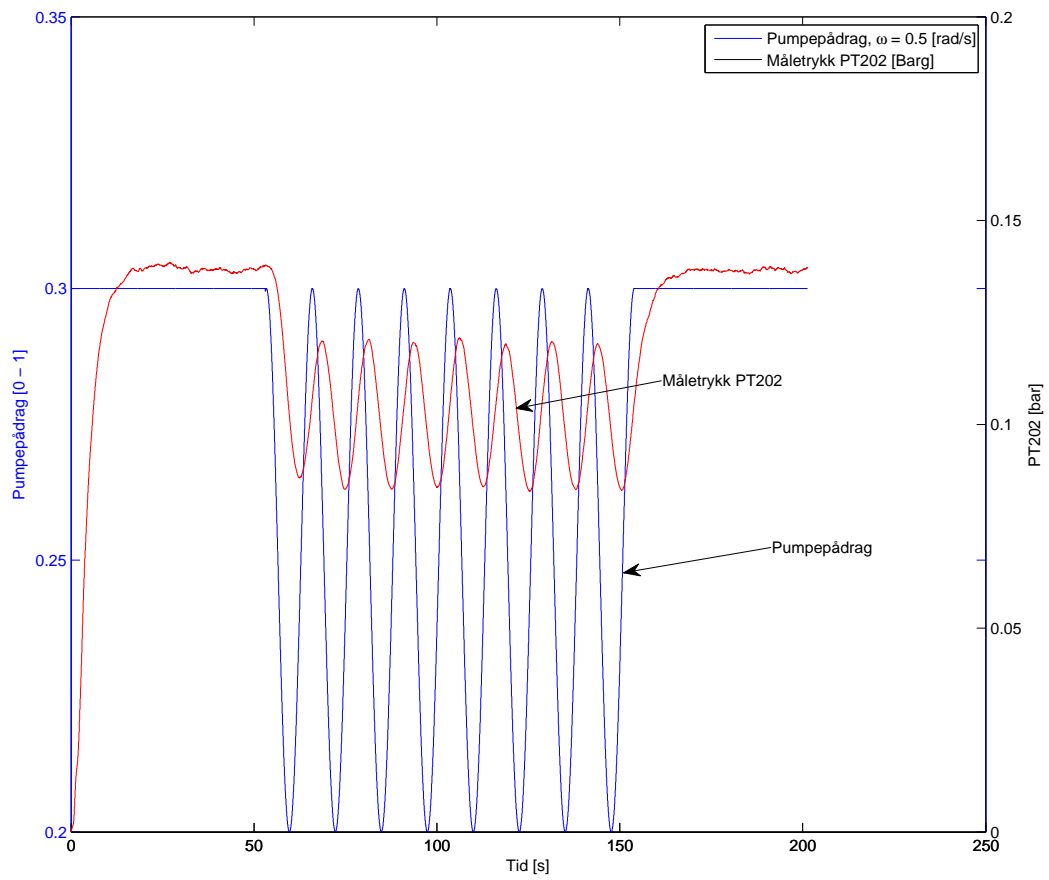
Frekvens [rad/s]	Amplitudeforsterkning [dB]		Faseforsyvning [$^\circ$]	
	Beregnet	Avlest	Beregnet	Avlest
$\omega = 0.1$	-29	-29.7	-7.7	-28.6
$\omega_b = 0.290$	-31.6	-32.21	-48.0	-54.8
$\omega = 0.5$	-34.5	-35.1	-64.9	-83.0
$\omega = 1$	-39.6	-39.6	-84.1	-106.5
$\omega = 2$	-45.4	-44.5	-102.3	-130.6
$\omega = 5$	-53.3	-48.4	-138.2	-257.8

Tabell 2.5: Amplitudedeforsterkning og faseforsyvning ved ulike frekvenser for pumpe.

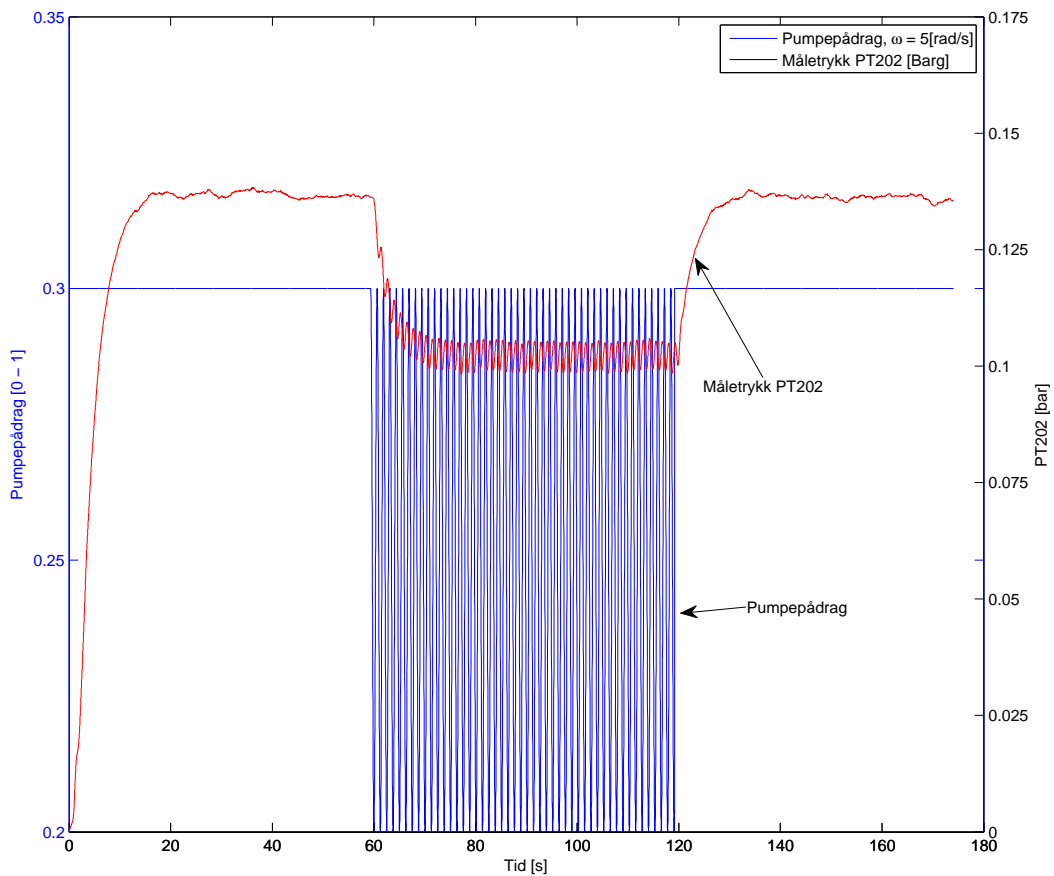
Verdiene i tabell 2.5 ble beregnet med utgangspunkt i prosessparametrene for pumpen med arbeidspunkt på 25% i tabell 2.1.

Frekvensresponsen ved frekvensene $\omega = 0.5$ og $\omega = 5$ er vist i hhv. figur 2.13 og 2.14. Med en dekades avstand mellom frekvenser som er større enn båndbredden, burde man for 1.ordens systemer se en endring i amplitude på $20dB$ og en faseforskyvning på 90° . Dødtiden i prosessen vil imidlertid påvirke faseforskyvningen en del.

Faseforskyvningen mellom $\omega = 0.5$ og $\omega = 5$ er av figurene beregnet til rundt 175° , mens amplitudedeforsterkningen har en beregnet endring på omtrent $13dB$.



Figur 2.13: Frekvensrespons for PT202 ved pådragsfrekvens for pumpe på $\omega = 0.5(\text{rad/s})$.

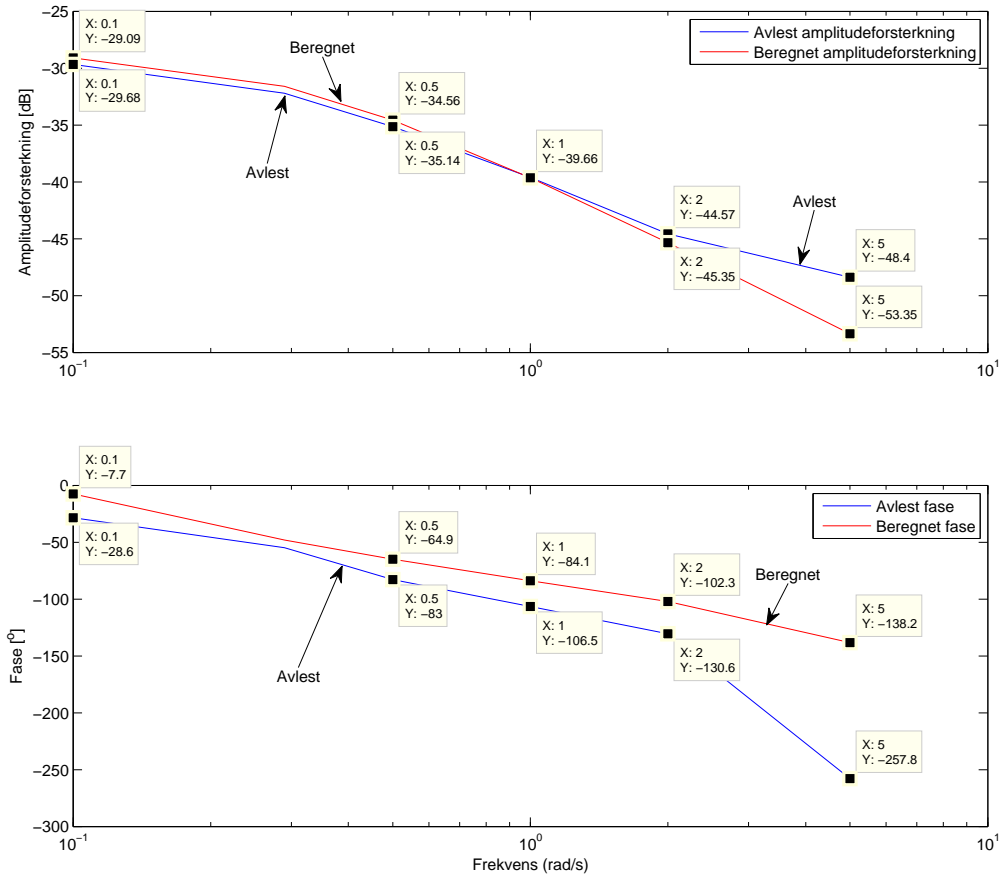


Figur 2.14: Frekvensrespons for PT202 ved pådragsfrekvens for pumpe på $\omega = 5(\text{rad/s})$.

En figur som viser amplitude- og faseresponsen for de avleste og beregnede verdiene i tabell 2.5 er vist i figur 2.15. Her ser vi at amplituden endres med omtrent 5dB fra $\omega = 1$ til $\omega = 2$, noe som er nært nok definisjonen hentet fra [11]. Derimot blir avviket noe større når man ser på forskjellen i amplitudeforsterkning og faseforskyvning ved en frekvensendring på en dekade. Amplitudeendringen fra $\omega = 0.5$ til $\omega = 5$ er på 13dB, altså 7dB fra definisjonen. Faseforskyvningen ved samme dekade er på rundt 175° .

Av tabell 2.1 ved arbeidspunkt på 25%, ser man at prosessens dødtid er på 0.3 sekunder. Denne tidsforsinkelsen vil alene utgjøre en faseforskyvning ved $\omega = 5 \text{ rad/s}$ på $0.3s \cdot 5 \text{ rad/s} = 1.5 \text{ rad} = 86^\circ$. Vi kan med dette konkludere med at det ut fra disse verdiene tyder på at systemet er av 1. orden med

dødtid, ettersom systemets amplitude og fase ved lave frekvenser følger en 1.ordens prosess, men at dødtiden gjør at avvikene øker med økende frekvens.



Figur 2.15: Amplitude- og faserespons plottet ut fra data i tabell 2.5 for pumpen.

2.3.2 Frekvensrespons fra ventilpådrag til PT202

Dette underkapittelet tar for seg frekvensresponsen når åpningen på MPD ventilen endres i henhold til en bestemt tidskontinuerlig signal. Pumpens hastighet var ved alle frekvenser satt til 30% av maksimal hastighet. Brønnkontrollventilen (WCV-ventil) var stengt under kjøring. Tabell 2.6 viser de valgte frekvensene, og prosessens fase- og amplituderrespons på utgangen PT202. Prosessens båndbredde er betegnet i tabellen med ω_b .

Følgende signal ble valgt for ventilen ved alle frekvenser:

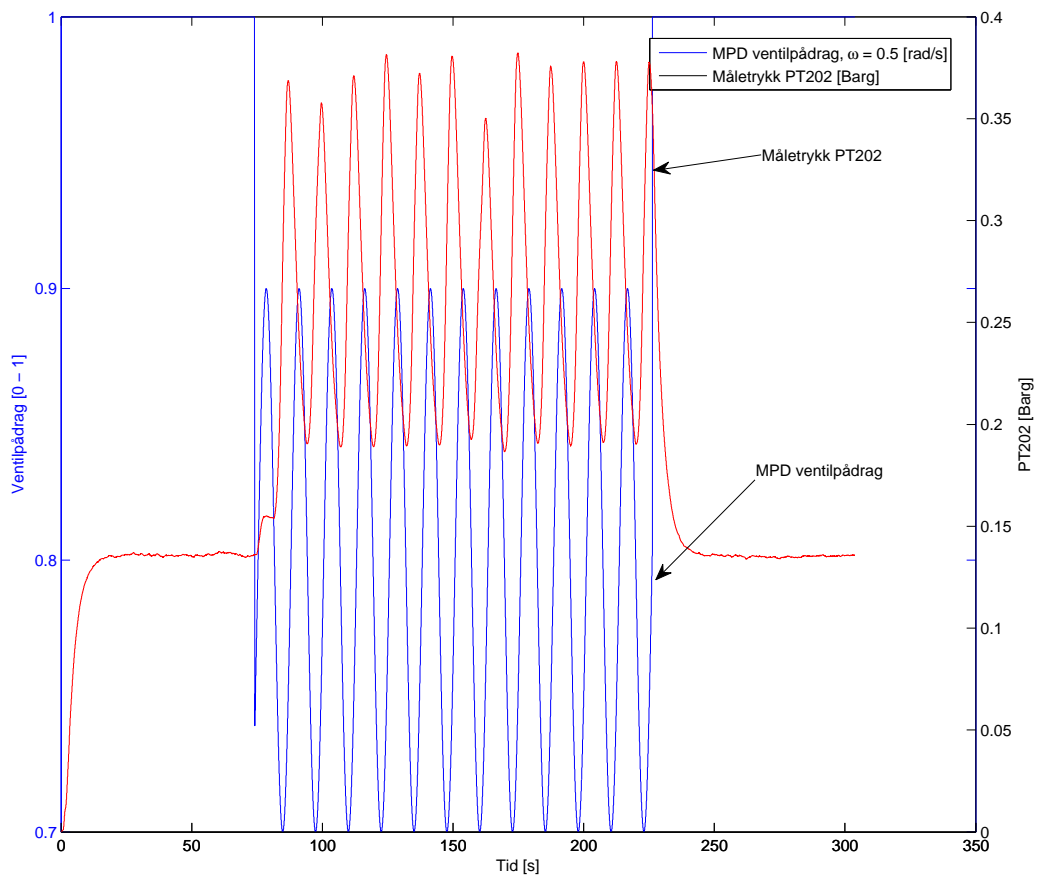
$$u_{ventil}(t) = 0.1 \sin(\omega t) + 0.8 \quad (2.3)$$

Frekvens [rad/s]	Amplitudeforsterkning [dB]		Faseforsyvning [$^\circ$]	
	Beregnet	Avlest	Beregnet	Avlest
$\omega = 0.1$	-10	-15.1	-27.2	-17.2
$\omega_b = 0.208$	-12.2	-16.4	-47.8	-34.4
$\omega = 0.5$	-17.6	-20.9	-73.4	-91.7
$\omega = 1$	-23.1	-29.5	-89.8	-100.2
$\omega = 2$	-29	-40.0	-107	-170.7
$\omega = 5$	-36.9	-53.6	-144.9	-229.2

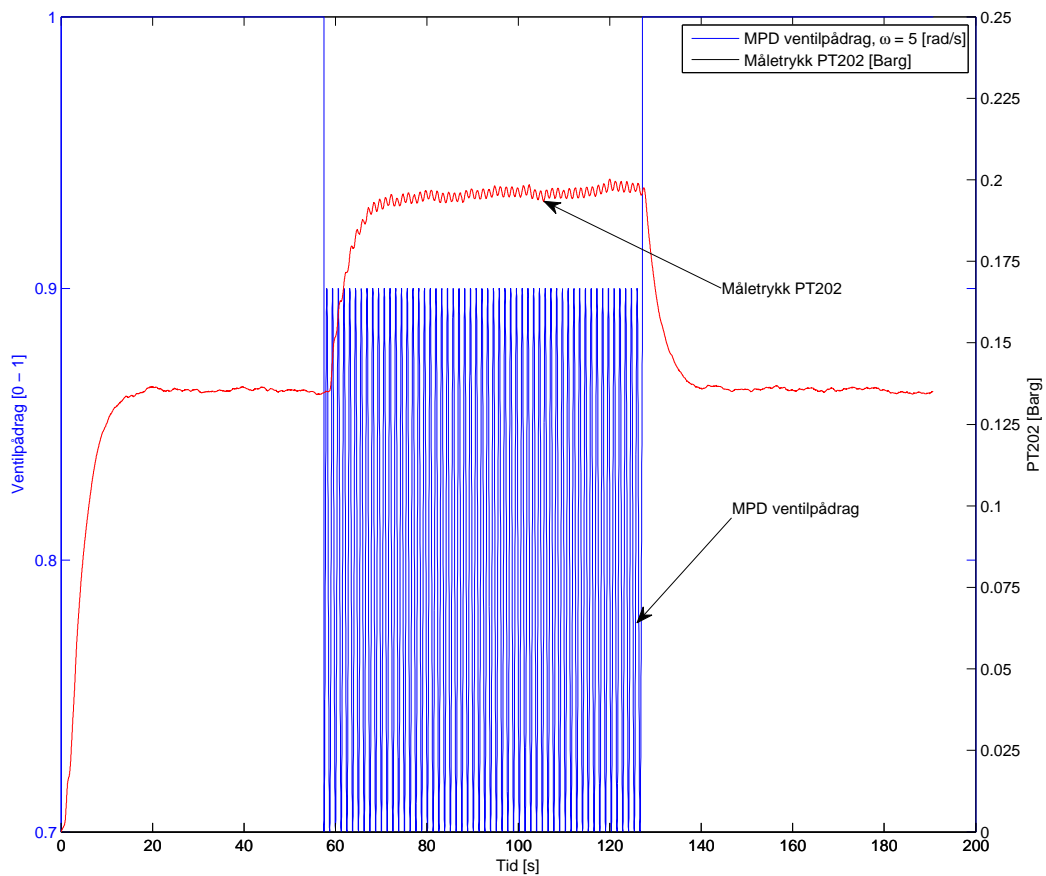
Tabell 2.6: Amplitudeforsterkning og faseforsyvning ved ulike frekvenser for MPD ventil.

Verdiene i tabell 2.6 ble beregnet med utgangspunkt i prosessparametrene for ventilen ved arbeidspunkt på 80%, gitt i tabell 2.3.

Frekvensresponser ved frekvensene $\omega = 0.5$ og $\omega = 5$ er vist i figur 2.16 og 2.17.



Figur 2.16: Frekvensrespons for PT202 ved pådragsfrekvens $\omega = 0.5(\text{rad/s})$.



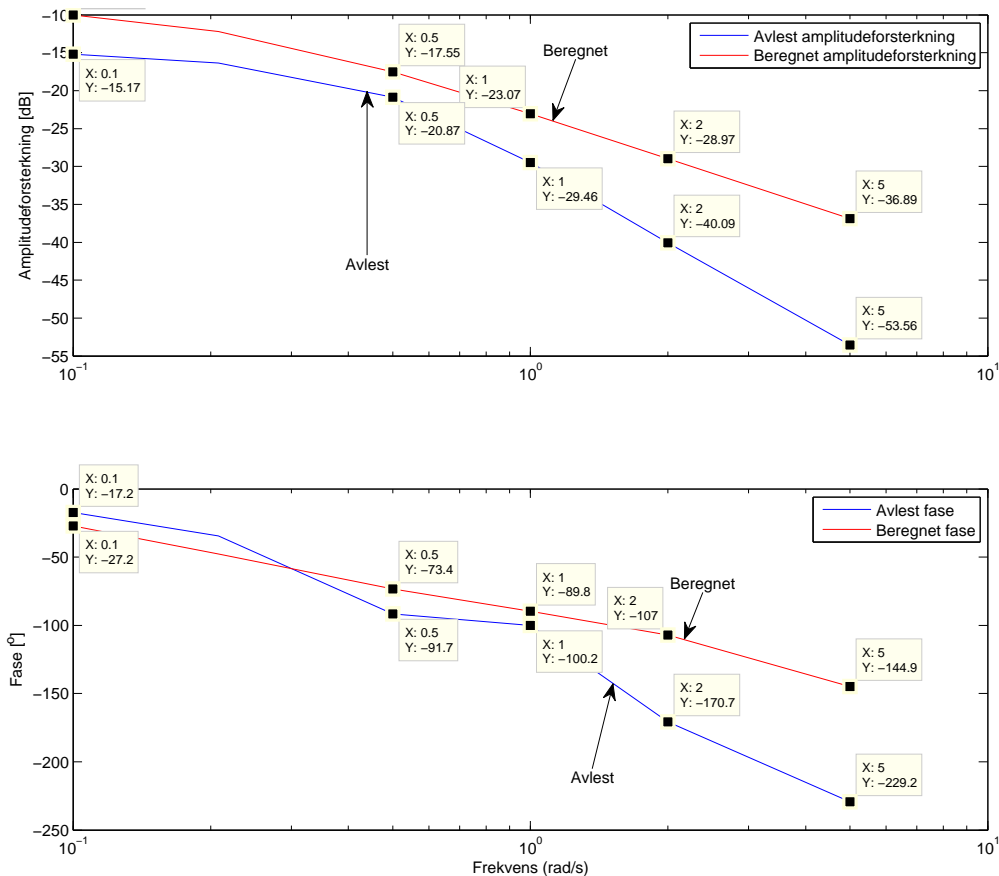
Figur 2.17: Frekvensrespons for PT202 ved pådragsfrekvens $\omega = 5(\text{rad/s})$.

Faseforskyvningen mellom $\omega = 0.5$ og $\omega = 5$ er av figurene rundt 198° , mens amplitudeforsterkningen endres med rundt 36dB . Også i dette tilfellet viser figur 2.16 og 2.17 at prosessen ikke har en amplitudeforsterkning og faseforskyvning som er i tråd med teorien for 1.ordens systemer uten dødtid.

En figur som viser amplitude- og faseresponsen for de avleste og beregnede verdiene i tabell 2.6 er vist i figur 2.18. Her ser man en endring i amplitude fra $\omega = 1$ til $\omega = 2$ på ca. 10dB , som er noe høyere enn hva man kan forvente i et 1.ordens system uten dødtid [11]. Videre ser man at en frekvensendring på en dekode, fra $\omega = 0.5$ til $\omega = 5$, er på ca. 36dB . Også denne verdien er noe høyere enn forventet. I tillegg vises et større avvik mellom avlest og beregnet amplitudeforsterkning, sammenlignet med avviket for prosessen med pumpen som prosessinnngang, vist i figur 2.15.

Av tabell 2.3 ser man at prosessen har en dødtid på 0.5 sekunder. Denne tidsforsinkelsen vil alene utgjøre en faseforskyvning ved $\omega = 5 \text{ rad/s}$ på $0.5s \cdot 5 \text{ rad/s} = 2.5 \text{ rad} = 143^\circ$. Den store faseforskyvningen mellom $\omega = 0.5$ og $\omega = 5$ kan altså forklares ut fra prosessens dødtid, hvor faseforskyvningen øker i takt med økende frekvens.

Som for prosessorden med pumpen som pådragsorgan, gir disse beregningene en indikasjon på et 1.ordens system med dødtid. Avviket mellom beregnede og avleste verdier for amplitude kan imidlertid ikke forklares direkte med større dødtid i prosessen enn hva som er tilfelle med pumpen som prosessinnngang.



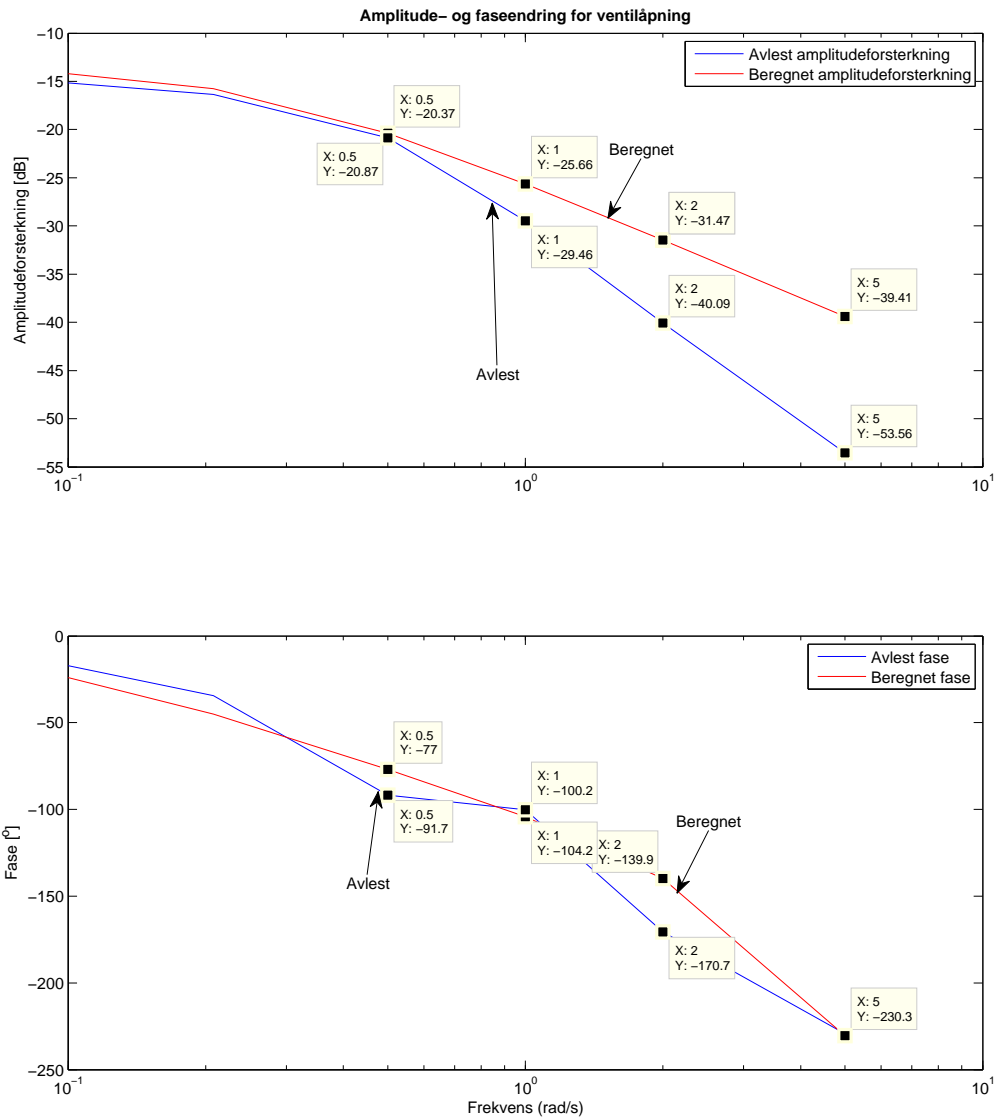
Figur 2.18: Frekvensrespons for varierende ventilåpning

Det var ønskelig å gjøre et forsøk på å redusere avvikene mellom beregnede og avleste verdier for amplitude og fase, vist i figur 2.18. Som denne figuren viser, er de beregnede verdiene for amplitude omlag 5dB høyere enn de avleste verdiene. Med utgangspunkt i prosessparametrene når PT202 benyttes som prosessutgang, vist i tabell 2.3, ble nye verdier for amplitude og fase beregnet. Ved å øke forsterkningsparameteret K fra -2.99 til -2.0, ble avviket mellom beregnet og avlest amplitude betraktelig redusert. Under beregningen av nye prosessparametre, ble det også oppdaget en beregningsfeil i de opprinnelige verdiene for faseforskyvning. De nye verdiene for beregnet amplitude og fase er vist i tabell 2.7.

	Amplitudeforsterkning [dB]	Faseforskyvning[°]
Frekvens [rad/s]		
$\omega = 0.1$	-14.2	-24.1
$\omega_b = 0.208$	-15.7	-45
$\omega = 0.5$	-20.4	-77
$\omega = 1$	-26.7	-104.2
$\omega = 2$	-31.4	-139.9
$\omega = 5$	-39.4	-230.3

Tabell 2.7: Beregnede verdier for amplitude og faseforskyvning etter endring av prosessparametere

Den forbedrede amplitude- og faseresponsen for de avleste og beregnede verdiene etter endringen i prosessparameteret K , er vist i figur 2.19. Avviket er som figuren viser betraktelig redusert, men øker noe med økende frekvens.



Figur 2.19: Frekvensrespons for varierende ventilåpning etter endring av prosessparametere

2.4 Oppsummering

Sammenligning av simulert prosessrespons og faktisk prosessdynamikk ble gjort i kapittel 2.2. Her ser man små avvik mellom modellen og faktisk dynamikk når det gjøres sprang i pumpehastigheten og i ventilåpningen. Allikevel er disse avvikene såpass små at resultatene entydig indikerer at de beregnede modellene er gode modell for prosessdynamikken.

Frekvensresponsen for de to prosessinnngangene indikerer en 1.ordens prosess med dødtid. Avvikene fra teorien om 1.ordens systemer uten dødtid er større når ventilen benyttes som pådragsorgan, og dette skyldes nok en dødtid som er noe større enn hva som er tilfelle når pumpen benyttes som pådragsorgan.

Avvikene mellom beregnede og avleste verdier som vises i 2.18 og 2.15, indikerer at de beregnede parametrene vil gi begrensede følgeegenskaper for regulatoren.

Kapittel 3

Reguleringsparametre

3.1 Bestemmelse av tuningsparametere

Metoden som ble benyttet for å bestemme tuningsparametere for regulatoren når MPD ventilen brukes som prosessinngang, kalles Skogestads metode. Følgefórhóldet for regulerings-systemet med denne metoden spesifiseres i dette tilfellet som en 1.ordens transferfunksjon med tidsforsinkelse:

$H_p(s)$	Kp	Ti
$\frac{K}{Ts+1} \cdot e^{-\tau s}$	$\frac{T}{K(T_C+\tau)}$	$\min[T, 2k_1\tau]$

Tabell 3.1: Skogestads metode for PID-instilling med $T_c \neq \tau$, hentet fra [12].

Av prosessparametrene for MPD ventilen, funnet i kapittel 2.1, ser man at prosessen er ulineær. For å oppná stabil regulering av prosessen, ble det derfor nødvendig å benytte tabelloppslag (“Gain Scheduling”) for tuningsparametrene, slik at regulatoren kan benytte passende parameterverdier for et gitt arbeidspunkt.

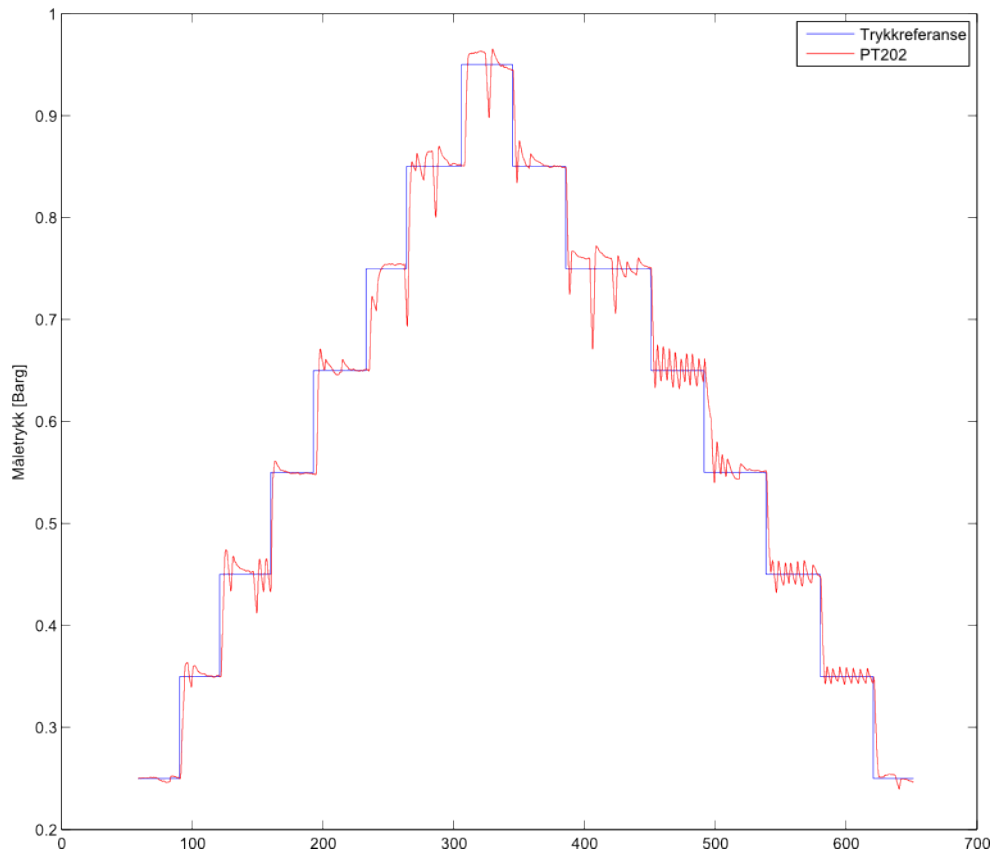
Parametrene T_c, τ og k_1 ble bestemt på bakgrunn av prosessens sprangrespons. Som utgangspunkt ble tuningsparametrene satt opp med $k_1 = 1.44$. Dette gav en litt for hissig regulering, slik at denne ble økt til $k_1 = 4$. Derivat-leddet (Td -parameteret) for regulatoren ble sløyfet, på bakgrunn av

prosessens transferfunksjon. T_c ble en snittverdi av de ulike responstidene.

Tabellen som viser tuningsparametrene for PI-regulatoren er vist i tabell 3.2. Grafen som viser regulatorens følgeegenskaper er vist i figur 3.1, hvor trykkreferansen endres med 10% i området $[0.25 - 0.95]$. Dette området er vilkårlig valgt, og antas å gi en like god representasjon av følgeegenskapene for regulatoren som hvis området for trykkreferansen var $[0 - 1]$. Prosessparametrene som ligger til grunn for tuningsparametrene er de som er oppgitt for trykksensor PT202 i kapittel 2.1.

$H_p(s)$	Kp	Ti
1	-3.2	2.87
2	-1.1	3.9
3	-0.28	3.9
4	-0.20	4
5	-0.14	4

Tabell 3.2: Nye tuningsparametre beregnet på bakgrunn av nye prosessparametre ved hjelp av Skogestads metode.



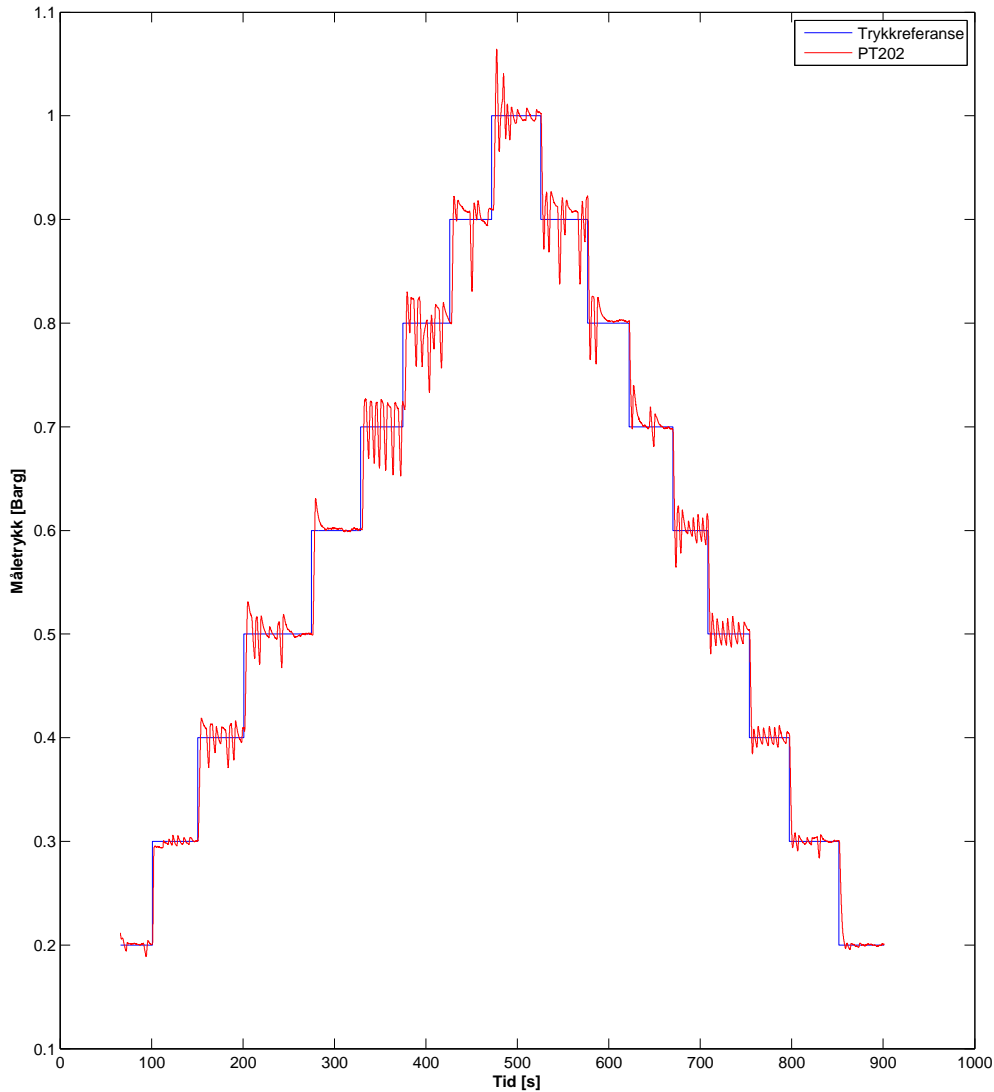
Figur 3.1: Graf som viser trykkreferanse og målt trykk over tid. Parametrene i tabell 3.2 gir brukbare følgeegenskaper, men fortsatt ser man noe oversving og ustabilitet.

På bakgrunn av nye beregninger som ble gjort for prosessens parametere i kapittel 2.3.2, var det ønskelig å se på i hvilken grad disse funnene påvirket regulatorens følgeegenskaper. Regulatoren har så langt gitt en noe hissig regulering av prosessen, i form av oversving og stående svingninger ved gitte trykknivåer. Nye tuningsparametere ble derfor beregnet, også denne gang med Skogestads metode. Tuningsparameterene er gjengitt i tabell 3.3.

$H_p(s)$	Kp	Ti
1	-3.4	3.5
2	-1.1	3.9
3	-0.48	4.3
4	-0.24	4.6
5	-0.2	4.6

Tabell 3.3: Nye tuningsparametre beregnet på bakgrunn av nye prosessparametre ved hjelp av Skogestads metode.

De nye tuningsparameterene i tabell 3.3 viser litt lavere verdier for Kp og noe høyere verdier for Ti , sammenlignet med verdiene i tabell 3.2. Intuitivt sett burde dette gi en tregere regulering av prosessen, men med mindre oversving enn tidligere. En regulering av prosessen med ventilen som prosessinnang, er vist i figur 3.2. Sprangene i ventilåpning er på 10% i trykkområdet $[0.2 - 1]$, der 0.2 Barg tilsvarer 100% ventilåpning. Ved enkelte trykknivåer oppnås bedre følgeegenskaper enn tidligere, men som for figur 3.1 ser man mangel på symmetri ved sammenligning av positive og negative sprang i trykkreferansen. Dette skyldes antagelig ventilens mekanikk, som fremstår som mer presis ved positive sprang (lukking av ventil) enn ved negative sprang (åpning av ventil).



Figur 3.2: Graf som viser trykkreferanse og målt trykk over tid. Parametrene i tabell 3.3 gir større oversving enn forventet, men gir ved enkelte trykknivåer bedre følgeegenskaper enn grafen i figur 3.1.

Ut fra dette konkluderes det med at tilpasningen av tuningsparameterene har hatt begrenset effekt på regulatorens følgeegenskaper. En ytterligere tilpasning av tuningsparameterene kan slå uheldig ut på regulatorens følgeegenskaper, i form av for treg regulering, konstant reguleringsavvik osv.

Kapittel 4

Automatisk brønnkontroll

Dette kapitlet omhandler hva man ønsker å automatisere som pr. i dag foregår manuelt under selve boreprosessen. I korte trekk omhandler kapitlet hvilke prosedyrer som må følges ved deteksjon av gass i systemet, og hva som har blitt gjort på boreriggmodellen for å forsøke å oppnå en automatisering av denne prosedyren. Selve implementasjonen av prosedyren og instruksjoner for hvordan prosedyren gjennomføres på boreriggmodellen er beskrevet i vedlegg A.

4.1 Forberedelser

Før anlegget benyttes for automatisk brønnkontroll, bør følgende forberedende punktliste gjennomføres:

- Kontroller at rørsløyfen på riggen er vannfylt
- Sjekk at følgende manuelle ventiler er i korrekt posisjon: håndventil under tilbakeslagsventil, håndventiler ved u-rør, dreneringsventil før PT102 og dreneringsventil før PT103. For lokasjon av disse ventilene på boreriggmodell, se P&ID skjema i figur 1.3.
- Sjekk at alle nødvendige sikringer er aktive og at nødstoppbryter for pumpe er inaktiv, slik at utstyret er strømsatt

4.2 Prosedyre for aktivering av gassinjeksjon

For å fremprovosere en situasjon på boreriggmodellen som simulerer hva man opplever når gass siver inn fra formasjonen, kan følgende punktliste følges:

- Sett BOP i åpen posisjon
- Sett MPD ventil i åpen posisjon (100% åpen)
- Sett WCV ventil i lukket posisjon
- Start pumpe på 30% av maks væskestrømråde
- Les av PT103, dette vil være trykkreferansen for styring av gassinjeksjonsventil
- Når trykk ved PT103 er over forhåndsbestemt terskelverdi for gassinjeksjon, aktiver bryter for automatisk gassinjeksjon.
- Reduser pumpen til 20%. Dette vil medføre at PT103 går under den forhåndsbestemte terskelverdien, og gassventil vil åpnes.

4.3 Prosedyre for manuell brønnkontroll

Prosedyren for automatisk brønnkontroll tar utgangspunkt i prosedyren som benyttes pr. i dag, hvor deler av denne prosedyren gjøres manuelt. Punktlisten nedenfor oppsummerer hva som pr. i dag gjøres manuelt ved en brønnsparksituasjon:

- Stopp pumpe
- Steng BOP ventil
- Når trykket i borestrengen har stabilisert seg, sirkuler ut gassen ved kontrollert åpning av WCV ventilen
- Sirkuler inn tungt boreslam for å oppnå økning i hydrostatisk trykk etter trykktap som følge av gassutsirkulering

- Åpne BOP
- Start pumpe

4.4 Prosedyre for automatisk brønnkontroll

Den fullstendige prosedyren for automatisk brønnkontroll tilpasset til boreriggmodellen er som følger:

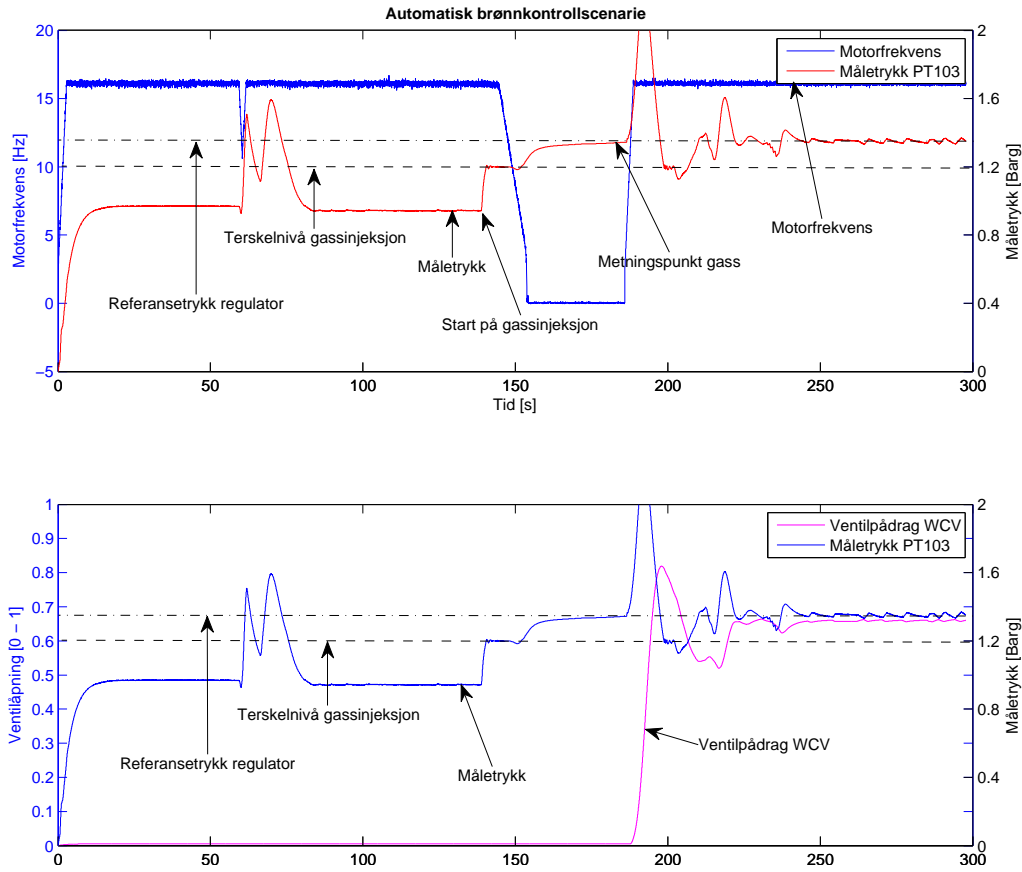
- Reduser hastigheten til pumpen gradvis mot fullstendig stopp, i henhold til egnet rampefunksjon
- Steng BOP
- Vent til gassinnstrømning stopper, man har da et konstant trykk i rørene
- Start oppramping av pumpehastighet og hold bunnhullstrykket konstant. Dette gjøres ved kontrollert åpning av WCV ventil, slik at trykket ved PT103 holdes konstant. Som utgangspunkt kan følgende tuningsparametere for PI-regulatoren som styrer WCV ventil benyttes: $K_p = -0.5$, $T_i = 3$.
- Åpne BOP, og bytt om til trykkregulering ved hjelp av MPD ventilen. Dette må gjøres under konstant trykk, noe man oppnår ved å samtidig stenge WCV ventilen.

Tanken bak nedramping av pumpens hastighet, er at dette gradvis vil redusere trykket i borestrengen. Samtidig som pumpens hastighet reduseres, vil BOP stenges, noe som er med på å øke trykket i borestrengen. Ideelt sett vil hastighetsreduksjonen i parallell med ventilstengingen føre til en nettoendring av trykk i borestrengen lik null, slik at man unngår trykktransienter som kan forårsake skade på utstyr og personell.

4.5 Resultater

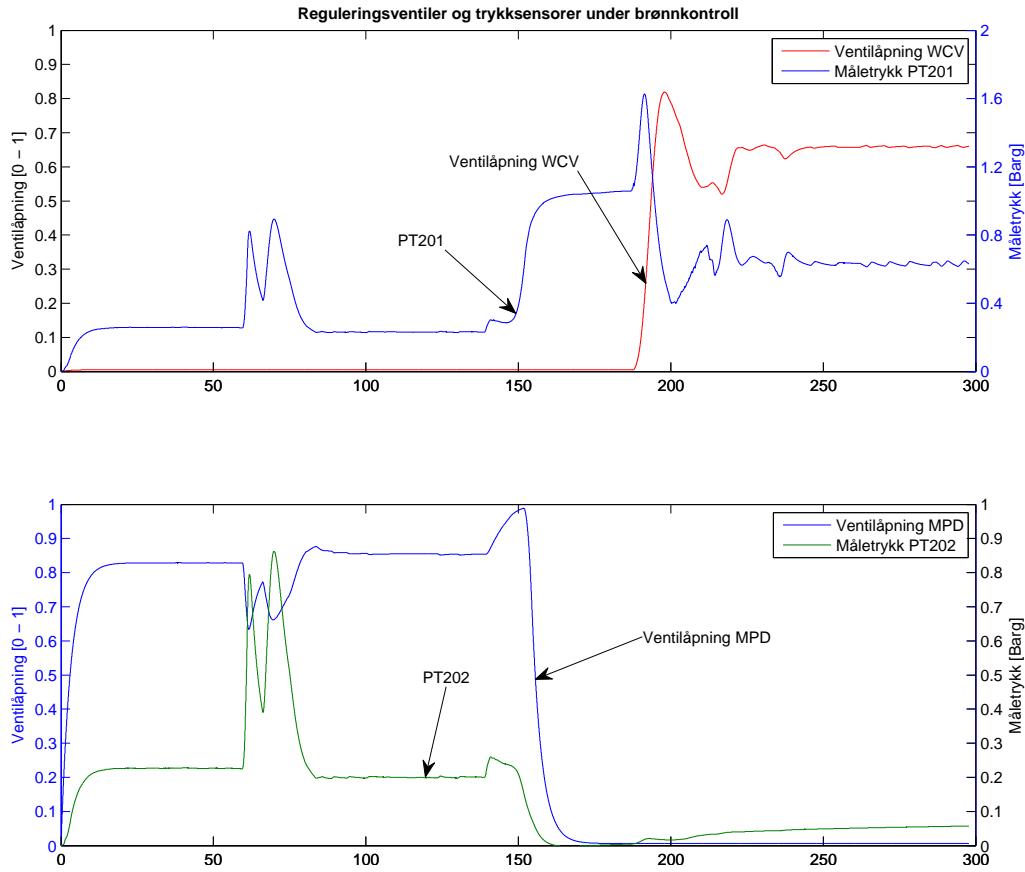
Figur 4.1 viser hvordan trykket ved PT103 varierer under kjøring av styringsalgoritmen for automatisk brønnkontroll implementert i Simulink. Trykksensor PT103 er her valgt som måleinstrument, ettersom denne tilsvarer bunnhullstrykket ved en virkelig oljeinstallasjon. I figur 4.1 henspeler aksetittelen “Motorfrekvens [Hz]” på hastigheten til motoren tilkoblet pumpen. Motoren har et arbeidsområde mellom $0 - 50\text{Hz}$, hvor 50Hz svarer til maksimal motorhastighet. Årsaken til at hastigheten oppgis i antall Hz, kommer av at motoren styres av en frekvensomformer, som rapporterer hastighet i frekvens tilbake til styresystemet. Trykkøkningen ved ca. 60 sekunder skyldes transisjonen fra manuell til automatisk kontroll av trykkreguleringsventilen, og er ikke videre interessant her.

Første trykkøkning skyldes aktivering av automatisk gassinjeksjon, avmerket ved punktet “Start på gassinjeksjon” i figur 4.1. Styringsalgoritmen er programmert til å injisere gass så lenge trykket ved PT103 er under en gitt verdi, her valgt til 1.2 bar. For lettere å følge terskelen for gassinjeksjon, er en stiplet linje tegnet inn ved 1.2 bar, merket med “Terskelnivå gassinjeksjon”. Etter at pumpen har stoppet og BOP er stengt (dette skjer ved ca. 150 sekunder), er brønnen isolert, og trykket stabiliseres. Det stabile trykknivået er markert i 4.1 med “Metningspunkt gass”. I henhold til prosedyren skal da gassen utsirkuleres ved hjelp av brønnkontrollventilen (“WCV”) og pumpen. Brønnkontrollventilen styres av en enkel PI-regulator med trykkreferanse på 1.35 bar. Grafen som viser måletrykket ved PT103 viser en innsvingningstid før trykket stabiliseres på regulatorens trykkreferanse, markert med en egen hjelpelinje kalt “Referansetrykk regulator” i 4.1.



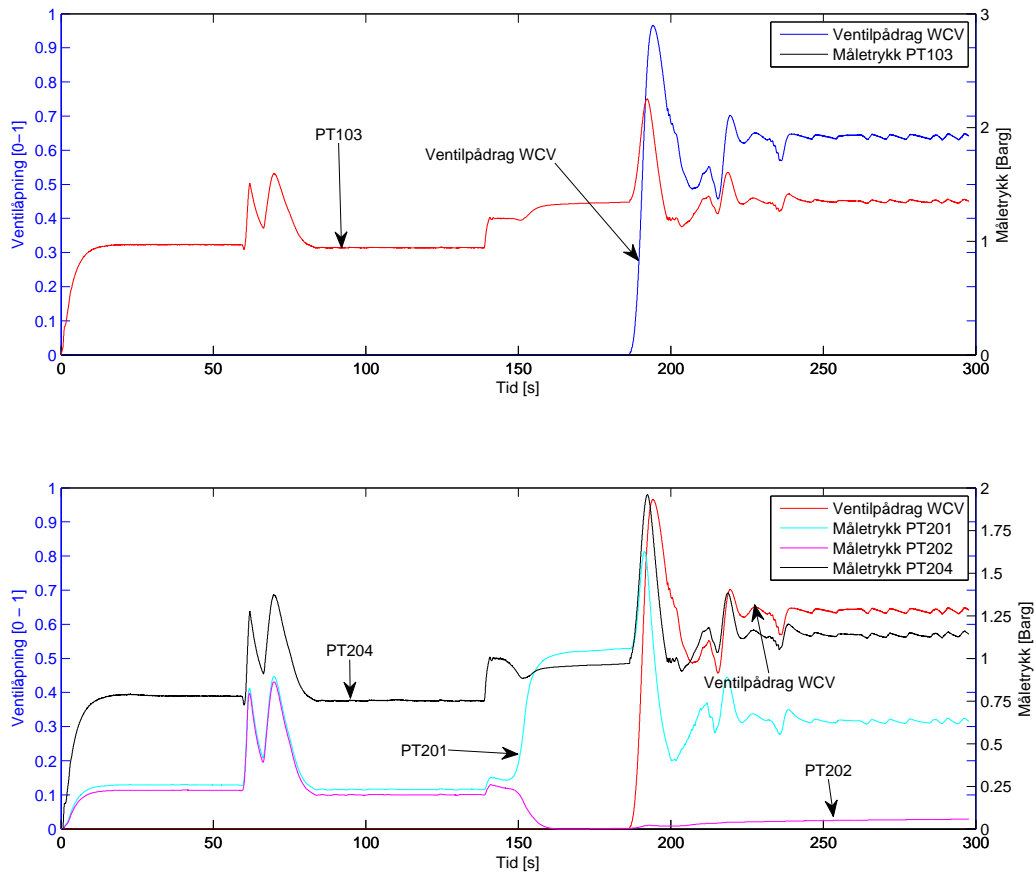
Figur 4.1: Trykkrespons under et automatisk brønnkontrollscenario.

Øverst i figur 4.2 vises reguleringen av brønnkontrollventilen (“WCV” i figuren) og trykket ved trykksensor PT201 under automatisk brønnkontroll. Nedre del av samme figur viser reguleringen av trykkreguleringsventilen (“MPD” i figuren) og trykket ved trykksensor PT202. Effekten av pumpens nedramping vises tydelig ved 150 sekunder, hvor trykket øker betydelig ved PT201 og reduseres ned mot 0 Barg ved PT202.



Figur 4.2: Trykkendringer foran boreriggmodellens to reguleringsventiler.

Figur 4.3 viser sammenhengen mellom trykkendring ved PT103 og ventilpådrag for brønnkontrollventilen ("WCV" i figuren). Nedre del av figuren viser hvordan trykket ved trykksensorene PT201 og PT202, plassert foran hhv. brønnkontrollventilen og trykkreguleringsventilen, endres som følge av ventilpådraget for brønnkontrollventilen. I tillegg vises trykket ved PT204, som tilsvarer trykket i borestrengen. Som figuren viser, endres trykket tilnærmet momentant i takt med justering av ventilåpningen. Den raske endringen i trykket gjør at regulatoren får så ferske måledata at man ikke trenger å vurdere bruk av Smith-prediktor eller foroverkobling i reguleringsløyfen.



Figur 4.3: Trykkrespons fra trykksensorene foran reguleringsventilene og trykksensoren i borestrengen som følge av automatisk brønnkontroll.

Resultatene viser at den implementerte prosedyren klarer å isolere trykket i brønnen, men at man ved utsirkulering av gassen opplever en trykkøkning som følge av pumpestarten. Etersom denne trykkøkningen foregår over et begrenset tidsrom, og i tillegg begrenses størrelsesmessig ved åpning av brønnkontrollventilen, er dette til å leve med. Samtidig viser dette at implementasjonen har et lite forbedringspotensiale i forhold til reduksjon av trykkøkningen.

Konklusjon

Prosessmodellene som ble beregnet for boreriggmodellen, viser en god tilnærming til faktisk prosessdynamikk når et sprang i prosessinnngangene (pumpen og MPD ventilen) gjennomføres. Modellverifikasjonen som gjøres ved studier av frekvensrespons for prosessen viser en litt dårligere tilnærming til faktisk prosessdynamikk. Frekvensresponsen viser at beregnede verdier for amplitude og fase gir en god tilnærming til faktisk prosess opp til en gitt frekvens. Den dårlige tilnærmingen skyldes prosessens dødtid, og at avviket mellom beregnede og avleste verdier for fase og amplitude er størst når MPD ventilen benyttes som prosessinngang.

Ved beregning av tuningsparametrene for den benyttede PI-regulatoren, ble Skogestads metode for 1.ordens prosesser med dødtid benyttet. De benyttede tuningsparametrene gir en litt ustabil regulering av prosessen, noe som antageligvis skyldes prosessens dødtid når MPD ventilen benyttes som prosessinngang. I tillegg kan forstyrrelser man i liten grad kan kompensere for (bl.a. elektrisk støy fra pumpens motor, unøyaktighet på måleinstrumenter) påvirke regulatorens følgeegenskaper.

Det har blitt gjennomført noen tiltak for å bedre støynivået på måleinstrumentene tilknyttet boreriggmodellen, disse er beskrevet i tillegg B.4.

Resultatene fra implementasjonen av prosedyren for automatisk brønnkontroll på boreriggmodellen, viser at man etter forholdsvis kort tid får stabilisert trykket i brønnen etter en gasslekkasje som kan oppstå under boring. Trykksvingningene som oppstår i det gassen utsirkuleres gjennom brønnkontrollventilen (kalt "WCV ventil") viser rom for forbedring, i form av enda raskere ventilåpning for brønnkontrollventilen og en noe tregere oppramping av pumpehastighet. Disse forbedringene kan føre til mindre trykksvingninger ved utsirkulering av gass, men vil muligens gi en regulator med dårligere

følgeegenskaper. Raskere ventilåpning for brønnkontrollventilen impliserer hissigere tuningsparametre, som igjen kan gjøre regulatoren overfølsom for mindre trykksvingninger.

Forkortelser

BOP	“Blow Out Preventer” - Utblåsningsventil
MPD	“Managed Pressure Drilling” - Trykk kontrollert boring
WCV	“Well Control Valve” - Brønnkontrollventil
MPC	“Model Predictive Control” - Modellprediktiv regulering
BHP	“Bottom Hole Pressure” - Bunnhullstrykk
PID	“Proporsjonal-Integrasjon-Derivasjon”
P&ID	“Piping and Instrumentation Diagram” - Flytskjema for rørledninger og instrumentering

Bibliografi

- [1] M. T. Torsvik, "Laboratoriemodell av boreprosess," Master's thesis, Universitetet i Stavanger, 2011.
- [2] J.-M. G. et. al., "Control requirements for high-end automatic mpd operations," *Society of Petroleum Engineers*, Mars 2009.
- [3] D. Wergeland, "Modellering av dynamisk dreiemoment i forbindelse med oljeboring," Master's thesis, Universitetet i Stavanger, Stavanger, 2010.
- [4] Wikipedia, "Oljeplattform," <http://no.wikipedia.org/wiki/Oljeplattform>.
- [5] "Brønnvæsker," <http://www.utog.no/visartikkel.asp?id=660>, 2011.
- [6] D. R. et.al., "Successful implementation of first closed loop, multiservice control system for automated pressure management in a shallow gas well offshore myanmar," *IADC/SPE Drilling Conference*, Mars 2008.
- [7] H. S. et.al., "Micro-flux control: The next generation in drilling process," *Society of Petroleum Engineers*, April 2003.
- [8] Øyvind Breyholtz and G. N. et.al., "Advanced automatic control for dual-gradient drilling," *SPE/IADC Drilling conference and Exhibition*, Oktober 2009.
- [9] J. Z. et.al., "Adaptive observer for kick detection and switched control for bottomhole pressure regulation and kick attenuation during managed pressure drilling," *American Control Conference*, Juni 2010.
- [10] T. Birkeland, "Automatisert brønnkontroll ved bruk av mpd metode." Master's thesis, Universitetet i Stavanger, 2009.

-
- [11] Wikipedia, “Butterworth filter,” http://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter, 2011.
- [12] F. Haugen, *Praktisk reguleringsteknikk*, 2nd ed. Tapir akademisk forlag, 2003, ch. 8.
- [13] Wikipedia, “Regresjon,” http://en.wikipedia.org/wiki/Regression_analysis, 2011.

Tillegg A

Implementasjon av automatisk brønnkontrollprosedyre

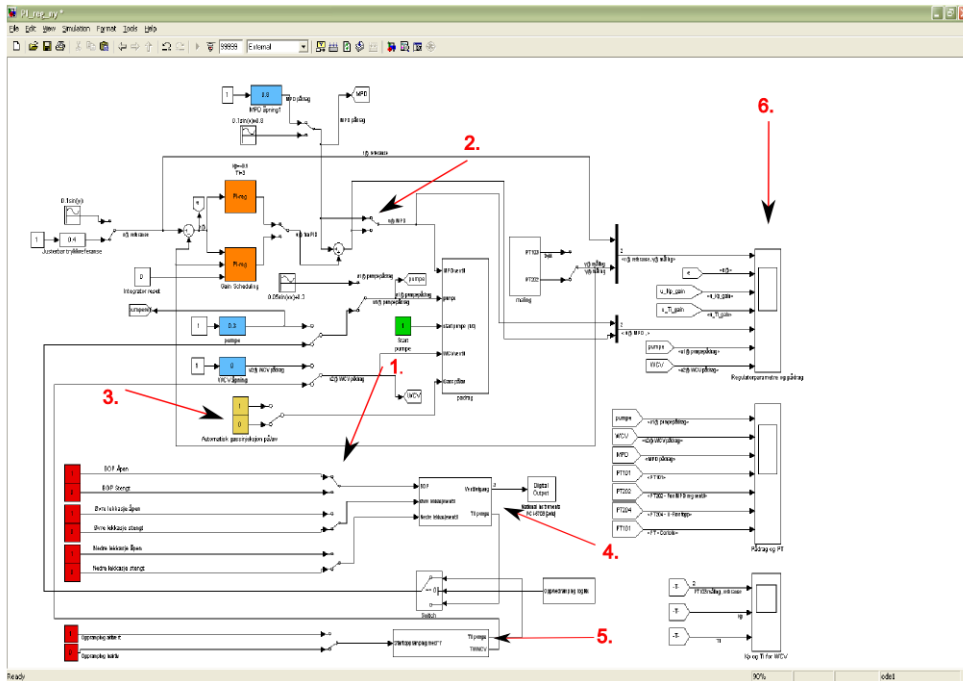
Figur A.1 viser hvordan implementeringen av prosedyren for automatisk brønnkontroll ble gjort i Simulink. Noen utvalgte deler av kontrollpanelet er fremhevet med piler og tilhørende nummer for å forenkle forklaringen av kontrollpanelets virkemåte. Nummereringen er forklart i tabell A.1. I tillegg er utvalgte blokker fargekodet etter kategori, slik at brukeren raskere blir kjent med kontrollpanelet og hvilke komponenter som hører til i samme kategori. Rød farge er valgt til å representere kontroll av manuelle ventiler, samt startsignal for opprampingsalgoritme. Startsignalet for pumpen er indikert med grønn farge, og en '0' i denne blokken gjør at simuleringen starter uten pumpen i gang. Det kan være nyttig i feilsøkingssammenhenger å starte simulering uten pumpedrift, men under normal drift må denne verdien være satt til '1' for at pumpen skal starte. Lyseblå farge indikerer justerbare pådragsverdier, her gjelder dette for de to reguleringsventilene og for pumpen. Regulatorene har fått oransje fargekoding, og kontrollpanelet har to ulike regulatorer implementert. Den ene regulatoren er en enkel PI-regulator med faste parametere, mens den andre regulatoren er en PI-regulator som benytter tabelloppslag for bestemmelse av regulatorparametre. Under normal kjøring er det regulatoren med tabelloppslag som gir best resultat, ettersom prosessen er ulineær.

For å initiere den automatiske brønnkontrollprosedyren beskrevet over, må følgende gjøres i kontrollpanelet:

A Implementasjon av automatisk brønnkontrollprosedyre

- Påse at bryter for oppramping er satt til “inaktiv”, og at begge lekkasjeventiler er stengt (pil nr. 5 i figur A.1).
- Start anlegget med BOP ventil åpen (pil nr. 1 i figur A.1) og MPD ventilen i manuell posisjon (pil nr. 2 i figur A.1).
- Observer trykk ved hjelp av egnet skop (pil nr. 6 i figur A.1).
- Start automatisk gassinjeksjon ved hjelp av bryter (pil nr. 3 i figur A.1).
- Steng BOP ventil med bryter (pil nr. 1 i figur A.1), dette vil også rampe ned pumpen.
- Vent til trykket har stabilisert seg.
- Start oppramping med bryter (pil nr. 5 i figur A.1), dette vil også initiere regulator for WCV ventilåpning.
- Velg regulatorstyrt ventilåpning for MPD ventil med bryter (pil nr. 2 i figur A.1).
- Åpne BOP.
- Steng VCW ventil med egnet bryter.

A Implementasjon av automatisk brønnkontrollprosedyre



Figur A.1: Skjermskudd av kontrollpanelet implementert i Simulink som styres av prosessoperatøren. Viktige deler av kontrollpanelet er markert med piler.

Fokusområde	Forklaring
1	Brytere for åpning og stenging av manuelle ventiler.
2	Bryter for valg av styremetode for ventilåpning, regulatorstyrt eller mauelt.
3	Bryter for automatisk gassinjeksjon.
4	Subsystem for ventilstyring, nedrampingsalgoritme og tilhørende logikk.
5	Subsystem for opprampingsalgoritme og regulator for WCV ventil.
6	Ulike skop for studering av signalutvikling i sanntid, typisk trykk- og ulike pådragsverdier.

Tabell A.1: Forklaring på utvalgte deler av kontrollpanelet markert med nummer på figur A.1.

Tillegg B

Motivasjon for valgt design

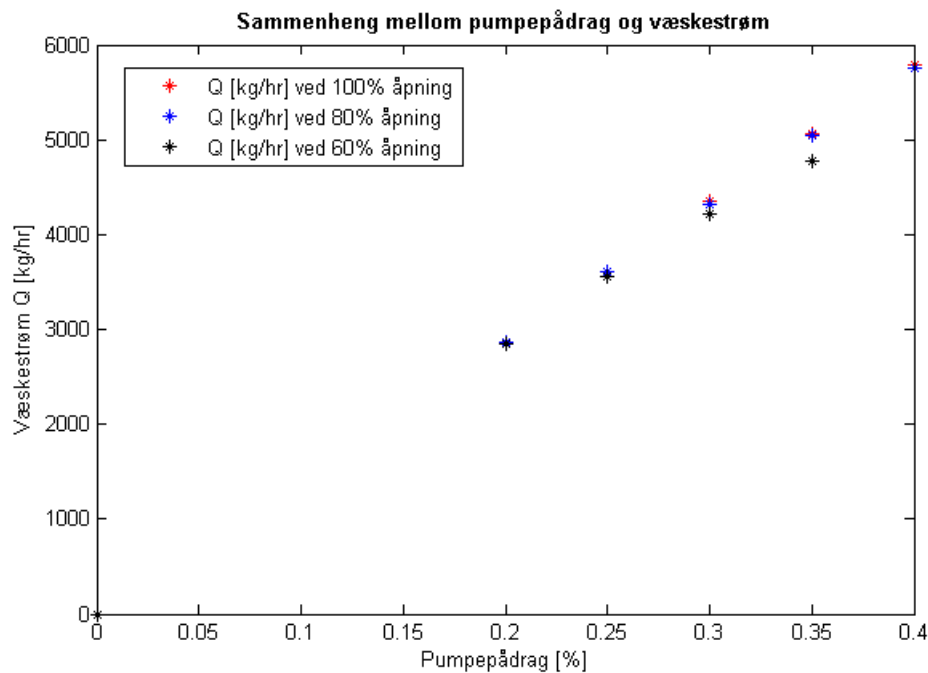
Dette kapitlet omhandler hvilke valg som er gjort underveis i utviklingen av boreriggmodellen. Noen løsninger er knyttet til fysiske begrensninger, mens i andre tilfeller kan løsningen være valgt av praktiske årsaker. Løsningene som i størst grad har vært av betydning for bruken av modellen og måleresultatene, er dokumentert i egne underkapitler.

B.1 Pumpekarakteristikk

Pumpen som ble benyttet i tilknytning til boreriggmodellen har bydd på noen utfordringer underveis i prosjektet. Av uforståelige grunner klarte ikke pumpen å operere på lave turtall over tid, da dette førte til for høyt strømtrekk og plutselig stans av pumpen. Dette gjorde at arbeidsområdet for pumpen ble noe redusert, ettersom den kun klarte å operere over tid ved gitte turtall. Det høye strømtrekket skyldtes for stor belastning i form av for høyt dreiemoment. I tillegg var koblingen i pumpens pakkboks blitt for stram over tid, forårsaket av et for dårlig fundament for pumpens festeanordninger. Innstramningen i pakkboksen førte til at pumpen mistet smørefett, noe som var med på å øke dreiemomentet på pumpen. Grunnet disse problemene, ble pumpen levert inn til service. Da den ble installert på ny etter 1 mnd. på verksted, var problematikken med hyppig stans ved lavt turtall noe redusert. Ettersom problemet ikke var løst helt fullstendig, ble testingeniøren som hadde hatt ansvaret for servicen kontaktet. Etter nærmere

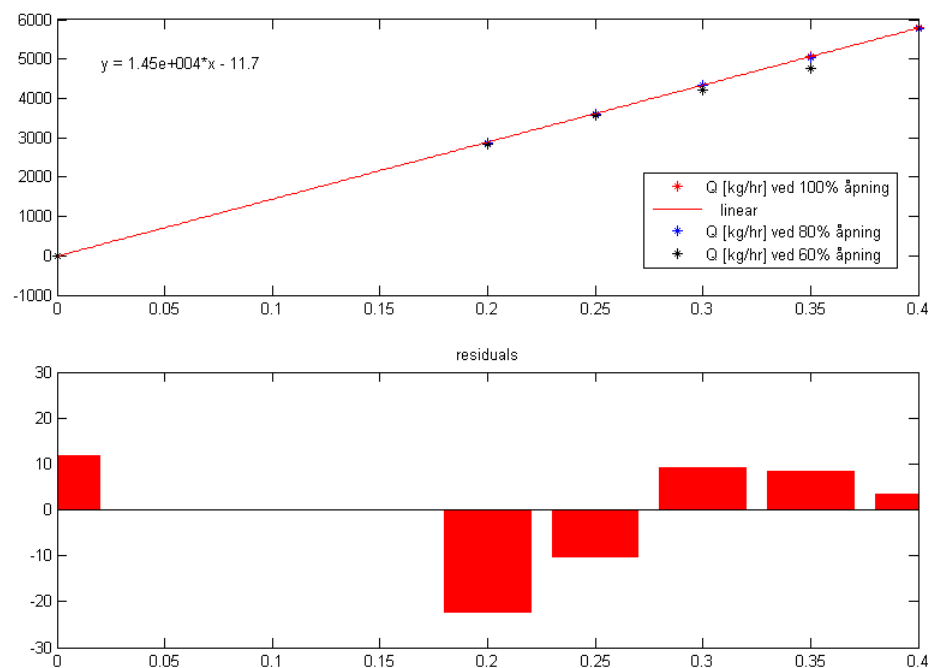
forklaring av problematikken som oppleves under kjøring av pumpen, ble det konkludert med at pumpen er noe for kraftig for bruksområdet. Estimerer viser at et pumpepådrag på 20% tilsvarer en væskestrøm på omtrent $2800\text{kg/hr} = 46.67\text{kg/min}$, slik at om væskestrømmer på dette nivået ansees som nødvendig for fremtidige simuleringer, må pumpen gires om. Sammenhengen mellom væskestrøm og pumperate ble funnet ved hjelp av Coriolis flytmåleren, og er vist i figur B.1. En utskiftning av giret på pumpen til et større gir, gjør at pumpen kan levere lavere væskerater på høyere turtall. Da vil man unngå høye strømtrekk, som forårsaker stans.

Punktene i figur B.1 viser en tilnærmet lineær sammenheng mellom væskestrømning og pumpepådrag. Den prosentvise åpningen som nevnes i figurforklaringen, henspeiler på åpningen for trykkguleringsventilen. Det var ønskelig å se i hvilken grad lineariteten gjaldt under ulike tenkte operasjonstilfeller, og figuren viser som antatt en noe lavere væskestrøm ved redusert ventilåpning. Punktet for væskestrøm med et pumpepådrag på 0,4 og en ventilåpning på 60% er fjernet, ettersom denne kombinasjonen av ventilåpning og pumpepådrag førte til et trykk som gav tilbakeslag. Dermed får man redusert væskestrøm pr. tidsenhet, som igjen gir en ulinearitet mellom væskestrøm og pumperate som i realiteten ikke eksisterer.



Figur B.1: Væskestrøm i riggen som funksjon av pumpepådrag.

For å etterprøve lineariteten i de innsamlede datapunktene, ble noen statistiske beregninger foretatt for å fastslå sammenhengen mellom væskestrømning og pumpepådrag. I dette tilfellet vil væskestrømmen være den avhengige variabelen som varierer i henhold til den uavhengige variabelen gitt av pumpepådraget. En lineær modell ble beregnet for punktene, for å se hvor godt denne modellen samsvarer med punktsammenhengen. Regresjonsanalyse vil kunne gi en indikasjon på hvor lineær sammenhengen mellom pumpepådrag og væskerate er. Tabell B.1 viser de statistiske beregningene for datapunktene. Regresjonskonstanten $R^2 \in [0 - 1]$ viser hvor godt den modellerte responsen treffer den faktiske responsen. Hvis $R^2 = 1$, indikerer dette at den lineære modellen dekker 100% av variansen til den avhengige variabelen, som i dette tilfellet er væskestrømningen [13]. Med andre ord vil det si at vi da har en avhengig variabel som følger en lineær sammenheng. Den lineære modellen for en ventilåpning på 100% er vist sammen med datapunktene i figur B.2, hvor den nedre grafen viser differansen mellom den faktiske verdien i det aktuelle punktet og modellens verdi ("Residuals"). Matematisk er dette gitt av $e = y - \hat{y}$, hvor y svarer til faktisk verdi og \hat{y} svarer til verdien i den lineære modellen.



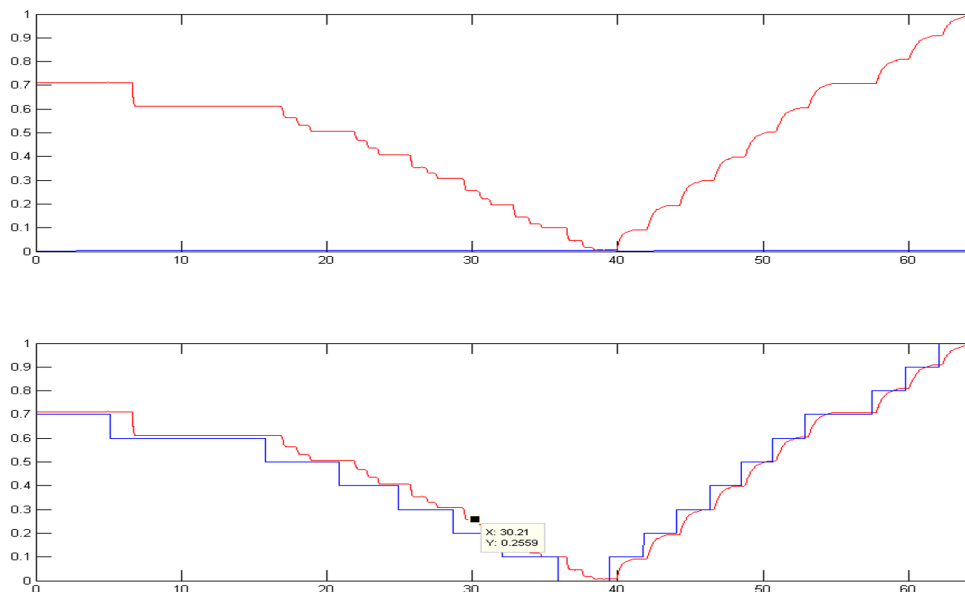
Figur B.2: Sammenheng mellom datapunkter for væskestrøm og lineær modell for punktene ved 100% ventilåpning.

Pumpe-rate [0 – 1]	Væske-strømning [kg/hr]	Ventilåpning [%]	Lineær modell	Regresjons-konstant R^2
0.20 - 0.40	2865 - 5790	100	$\hat{y} = 1.4495 \cdot 10^4 x - 0.0012$	1
0.20 - 0.40	2868 - 5763	80	$\hat{y} = 1.4418 \cdot 10^4 x - 0.0002$	1
0.20 - 0.35	2842 - 4776	60	$\hat{y} = 1.3812 \cdot 10^4 x + 0.0040$	0.9987

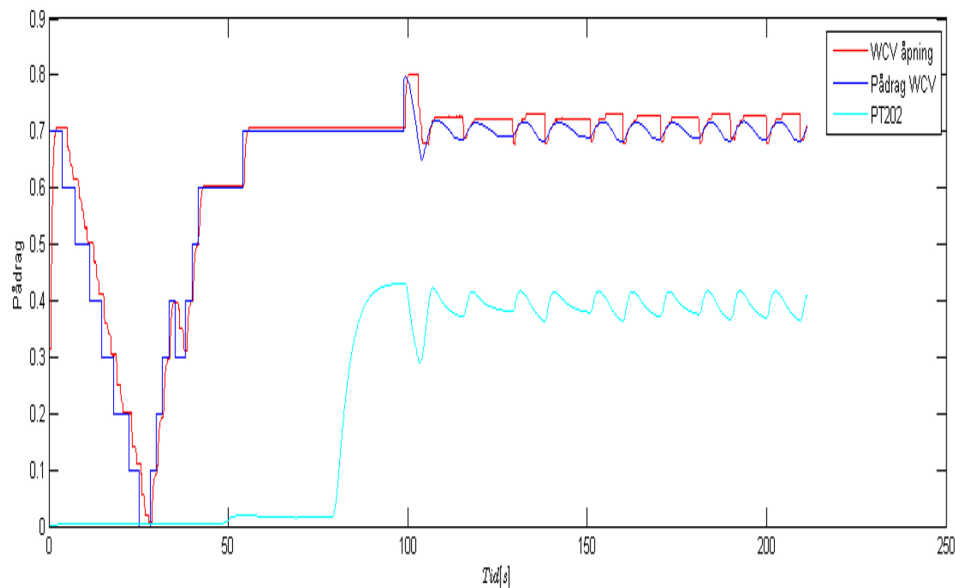
Tabell B.1: Regresjonskonstant og tilhørende lineære modell ved ulike pumpepådrag og ventilåpninger

B.2 Reguleringsventiler

Reguleringsventilene som har blitt benyttet ved riggen, er to identiske ventiler av typen Bürkert 8630. De to ventilene tilsvarer henholdsvis trykkreguleringsventilen (kalt “MPD Choke Valve”), og brønnkontrollventilen (kalt “Well Control Valve”). Underveis i arbeidet med å bestemme prosessens orden, opplevdes ventilene som noe problematiske. Ved gjentatte simuleringsscenarioer på riggen, oppførte ventilene seg ulikt mellom hver kjøring, på tross av at scenariet var likt hver gang (dvs. faste regulatorparametre, og sprang av lik størrelse og varighet). En hysteresetest på ventilene avslørte ustabiliteten man tidligere hadde registrert i reguleringsløyfen. Hysteresetesten er vist i figur B.3, og ble gjort uten væskestrøm i anlegget. Problemet blir tydeligere når man ser på grafen som viser ventilrespons under kjøring med væskestrøm i anlegget, vist i figur B.4. Her ser man en klar forsinkelse i responsen, noe som fører til at systemet aldri blir stabilt. I tillegg til ustabiliteten, viste det seg at en av ventilene ikke gav noen tilbakemelding fra ventilens positioner. Dermed var det vanskelig å fastslå hvilken posisjon ventilen faktisk hadde, etter at en settpunktverdi var sendt til ventilen.

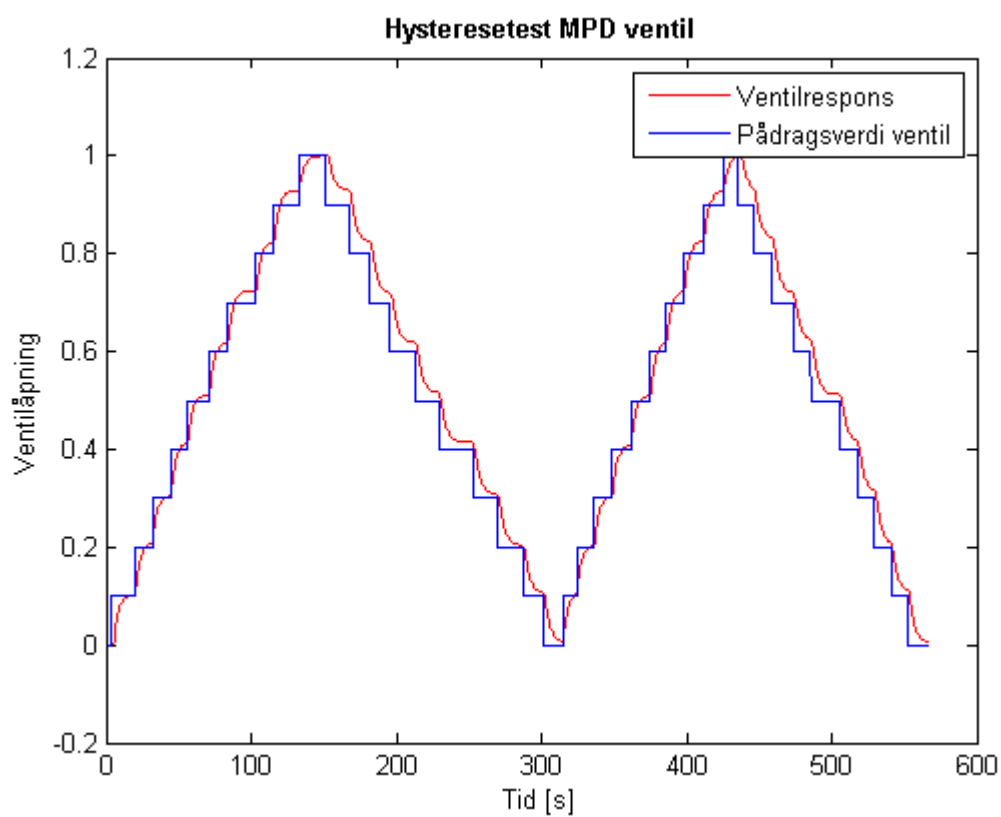


Figur B.3: Hysteresetest på trykkreguleringsventil uten væskestrøm. Man ser tydelig hvordan en “trappetrinnseffekt” oppstår ved sprang i referansen, i tillegg til varierende avvik fra den nye settpunktverdien.



Figur B.4: Ventiloppførsel med væskestrøm. Grafen viser tydelig hvordan ventilen henger etter referansen, som automatisk tilpasser seg trykkvariasjonene i systemet. Trykkvariasjonene er vedvarende grunnet den trege ventilen, slik at man har et konstant ustabil system.

Ettersom det var stabilitetsproblemer og positionerproblemer tilknyttet ventilene, ble det besluttet å tilkalle servicetekniker for å bistå i feilsøkningsprosessen på ventilene. Her ble det konkludert med at elektronikken på ventilene ikke lenger holdt mål. Ettersom disse ventilene ble arvet fra et tidligere prosjekt, var det vanskelig å fastslå hvilken behandling ventilene tidligere har vært utsatt for. Etter utskiftning av elektronikk på begge ventiler, ble en ny hysteresetest gjennomført. Utfallet av hysteresetesten vises i figur B.5. Hysteresetest for WCV ventilen viser lik respons, og er derfor ikke tatt med her. Etter utskiftning av elektronikk, ble ventilene satt opp med et dødband på 0,5%. Lavere dødbandsverdi er ikke å anbefale, da bl.a. støymarginene blir for små for presis regulering av ventilene. Eventuelt kan dødbandet økes ved behov.



Figur B.5: Hysteresetesten viser en klar forbedring fra situasjonen i figur B.3. Forklaringen på den forbedrede responsen ligger i bytte av ventilens elektronikk.

B.3 Coriolis flytmåler

Flytmåleren skulle vise seg å gi uriktig informasjon om den reelle væskeflyten i anlegget. Dette ble oppdaget etter at pumpen var tilbake fra reparasjon, da strømningsraten skulle bestemmes som funksjon av pumperate. Denne sammenhengen er svært viktig, da en pumperate i form av et bestemt pådrag ikke gir reell informasjon om faktisk væskestrøm i anlegget til en hver tid. Det ble oppdaget at flytmåleren gikk i metning lenge før faktisk maksimalverdi for væskestrøm ble nådd. I tillegg opplevde man målinger på 0 mA når anlegget stod stille. Denne målingen burde vist 4 mA , da måleinstrumentet opererer med en skala på $4 - 20\text{ mA}$. Serviceteknikere fra leverandøren ble tilkalt, og det ble fastslått at utgangskortet på måleinstrumentet gav feil informasjon. Etter en del feilsøking klarte man å reprogrammere flytmåleren, slik at nullpunktet for væskestrøm ble flyttet til riktig verdi. Leverandøren av flytmåleren oppgir at instrumentet skal ha en lineær sammenheng mellom minimal og maksimal væskeflyt. Ettersom instrumentet hadde gjennomgått service, var det viktig å etterprøve dette. Resultatet av testing mot en lineær sammenheng er omtalt i kapitlet som omhandler pumpekaraktistikk. Sammenhengen mellom væskeflyt og pumpepådrag etter reprogrammeringen er vist i figur B.1.

Ettersom flytmåleren gir ut et signal på $4 - 20\text{ mA}$ som senere konverteres til $0 - 10\text{ V}$, måtte en skalering til for at informasjonen fra instrumentet kunne vises som væskestrøm framfor spenning i MATLAB. Resonnementet bak skaleringsfaktoren var som følger:

- Flytmåleren opererer med en skala på $4 - 20\text{ mA}$, hvor 4 mA tilsvarer 0 kg/hr og 20 mA tilsvarer 9000 kg/hr .
- Styrekortet fra National Instruments opererer med en skala på $0 - 10\text{ V}$, som svarer til hhv. minimums- og maksimumsverdi.

Forholdstallet mellom strøm og spenning blir da

$$\frac{(20 - 4)\text{mA}}{(10 - 0)\text{V}} = 1.6\text{ mA/V} \quad (\text{B.1})$$

Tilsvarende forhold mellom væskestrøm og strømsignal blir

$$\frac{(9000 - 0)\text{kg/hr}}{(20 - 4)\text{mA}} = 562.5 \text{ kg/mA} \cdot \text{hr} \quad (\text{B.2})$$

Skaleringsfaktoren mellom spenningssignalet inn til datamaskinen og væskestrøm gjennom flytmåleren blir dermed:

$$1.6 \text{ mA/V} \cdot 562.5 \text{ kg/mA} \cdot \text{hr} = 900 \text{ kg/hr} \cdot \text{V} \quad (\text{B.3})$$

Denne faktoren ble dobbeltsjekket ved å sammenligne med reelle avlesninger fra måleinstrumentet før implementasjon i MATLAB.

B.4 Jording

Boreriggmodellen opererer med tre ulike spenninger til ulike deler av anlegget; 400VAC, 230VAC og 24VDC. De elektriske motorene i nedre og øvre lekkasjeventil, samt BOP-ventilen opererer i likhet med datamaskinen på 230V vekselspenning. Motoren forsynes av en frekvensomformer som benytter 400VAC. Det øvrige utstyret opererer på 24V likespenning, forsynt av en egen strømforsyning montert i styreskapet.

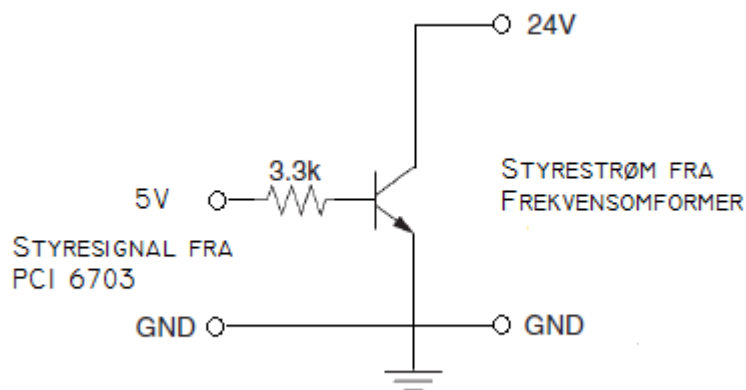
Ettersom det finnes ulike spenningskilder i dette anlegget, er viktigheten av skikkelig jording essensiell. Det finnes flere ulike typer jording som er beregnet for ulike spenninger, og om man unnlater å skille jordingstypene fra hverandre, risikerer man induserte magnetfelt, krypspenninger og -strømmer som dukker opp som støy på andre deler av anlegget. Denne støyen kan forårsake bl.a. irrasjonell oppførsel av ventiler og instrumenter, i tillegg til unøyaktige og støybefengte målinger.

I dette anlegget bør man skille mellom to typer jord, nemlig IE-jord og PE-jord. IE står for “Instrumental Earth”, og skal benyttes mot måleinstrumenter som benytter lave driftsspenninger. PE står for “Protective Earth”, og er ment for jording mot utstyr som benytter 230VAC. Boreriggmodellen var i lengre tid kun utstyrt med en type jording, nemlig PE-jord. Ettersom denne jorden kun var tilknyttet utstyr som opererte på 230VAC, hadde alle instrumenter med driftsspenning på 24VDC ingen jording. Jorden her var flytende, noe som gir en slags antenne-effekt for måleinstrumentets referanse. Årsaken til at jorden ikke var tilknyttet egnet referansepunkt, var at det manglet klargjøring for denne typen jord i området hvor boreriggmodellen var plassert. I påvente av elektriker og godkjenning fra eier av bygget, har jordingen for instrumentene kun blitt klargjort for tilkobling til egnet referansepunkt. Jordingspunktet for et instrument er instrumentets referanse, slik at om denne verdien er flytende, risikerer man ulike måleresultater mellom hver gang et bestemt operasjonsscenarie kjøres. Dette har skapt en del forvirring underveis, men problemet har blitt noe redusert etter implementasjon av IE-jord. Alle instrumenter tilknyttet 24VDC har nå felles IE-jord, slik at alle målinger nå skal være mer støyimmune enn tidligere. I tillegg har forbindelsen til og fra frekvensomformeren fått en ny type kabel med bedre skjerming, ettersom frekvensomformeren nærmest fungerte som en støygenerator under operering av boreriggmodellen.

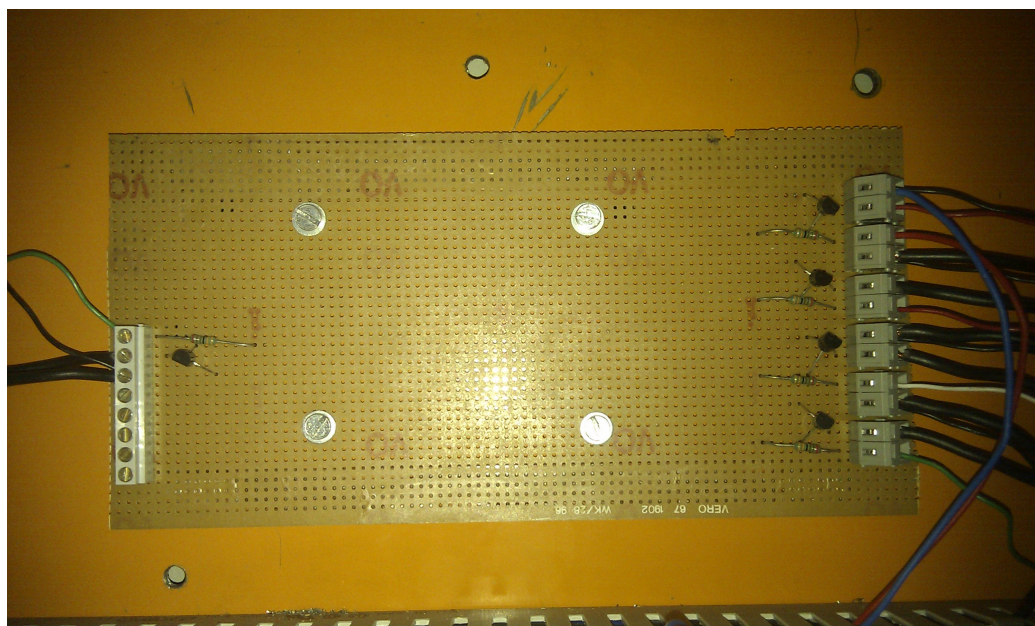
B.5 Design av kretskort for kontroll av utstyr

Datamaskinen som brukes som kontrollsentral mot boreriggmodellen, kommuniserer med deler av utstyret ved sending av digitale signaler. Typisk vil en '1' på utgangen, åpne en ventil, mens en '0' vil stenge ventilen. Fordelen med digital kommunikasjon framfor analog, er at man i større grad er sikret entydighet i form av en bestemt tilstand. Dette er særlig nyttig i de tilfeller hvor man kun har to tilstander, typisk av/på. Da unngår man udefinerte signalverdier, som kan føre til irrasjonell oppførsel. I tillegg er ofte dette alternativet mer støyimmunt. Grunnet en begrensning i strømstyrke ut fra datamaskinen, kunne ikke utstyret kobles rett på datamaskinens utgangskort. I tillegg er spenningsbegrensningen ved bruk av en digital utgang på utgangskortet 5V, noe som ikke var tilstrekkelig. Løsningen ble en transistorkobling mellom datamaskin og utstyr, som sørger for økt effekttilførsel til utstyret som skal kontrolleres. Selve kretsen fungerer slik at når en digital høy verdi sendes ut fra datamaskinen, vil transistoren åpne for strøm til det aktuelle utstyret. De elektriske lekkasjeventilene krever i likhet med BOP ventilen 230V styrestrøm, slik at her er transistorkretsen tilkoblet et egnet relé.

Et egetdesignet kretskort ble implementert i boreriggens elektriske system. Et bilde av kretsen er vist i figur B.7. Dette kortet har som oppgave å videreformidle signalene fra datamaskinen til det utstyret som ikke lot seg styre ved direkte tilkobling til datamaskinen. Selve kretsen er en enkel transistorkrets, og tar utgangspunkt i kretsen beskrevet i [1]. Kretsskjemaet er av praktiske årsaker gjengitt i figur B.6. Grunnet tidsmangel da kretsen skulle implementeres av [1], ble aldri elektronikken mellom datamaskin og utstyr ferdigstilt. Dette ble dermed et nødvendig forarbeide før studier av automatisk brønnkontroll kunne gjennomføres.



Figur B.6: Krettskjema for transistorkretsen, designet av [1]



Figur B.7: Kretskort for styring av eksternt utstyr, utviklet av undertegnede.

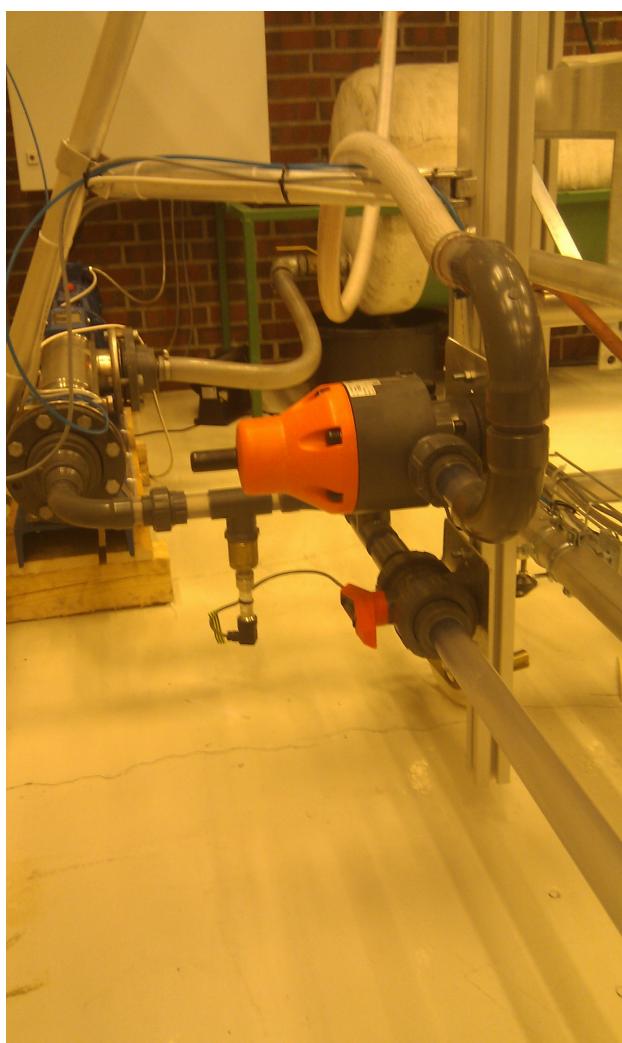
Utstyret tilkoblet kretskortet er BOP-ventilen, øvre og nedre lekkasjeventil, gassinjeksjonsventil samt styresignal for å starte/stoppe pumpe. Kortet er klargjort for evt. utvidelser ved behov. Det tilkoblede utstyrets lokasjon på kretskortet er vist i tabell B.2.

Styresignal	Lokasjon på kort
Pumpe av/på	Tilkobling 1-3 fra topp til høyre
BOP ventil	Tilkobling 4-6 fra topp til høyre
Øvre lekkasjeventil	Tilkobling 7-9 fra topp til høyre
Nedre lekkasjeventil	Tilkobling 10-12 fra topp til høyre
Gassinjeksjon	Tilkobling 1-3 fra topp til venstre

Tabell B.2: Styresignalenes tilkobling på det egendesignede kretskortet.

B.6 Implementasjon av tilbakeslagsventil

Som et sikkerhetstiltak mot for høye trykk i rørene som benyttes i boreriggmodellen, ble en tilbakeslagsventil kjøpt inn og implementert i nærheten av pumpen. Denne ventilen er stilt inn til å slippe gjennom væske hvis trykket i rørene overstiger 4 bar. Væsken som passerer ventilens utløp går tilbake til vanntanken via en egnet slange. Et bilde av implementasjonen er vist i figur B.8.



Figur B.8: Tilbakeslagsventil installert i begynnelsen av rørsløyfen på boreriggmodellen.