

Bullheading- Praksis og modelering

Kjetil Nøkling

Petroleumsfag

Innlevert: januar 2014

Hovedveileder: John-Morten Godhavn, IPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for petroleumsteknologi og anvendt geofysikk

0 Abstract

0.1 Norsk

I denne oppgaven vil bullheading bli vurdert og modellert. Oppgaven vil vise utvalgte bruksområder for metoden og hvilke problemer og utfordringer som ligger i bruken av disse og sette fokus på momentene som genereres under en bullheadingoperasjon. Oppgaven vil også vise til en modellering av metoden i ulike former for å belyse hvorfor det er viktig å ha kunnskap om bullheading som metode for å motvirke en potensiell utblåsning.

0.2 English

In this report the method called bullheading will be evaluated and modelled. The report will also shed light on the different scenarios where bullheading is a viable choice and consider the challenges and difficulties that you might face and sets focus of the momentum of the flows during the bullheading. The report will also show why it is important to have a good knowledge of the forces at work during a bullheading to be able to successfully perform the operation safely.

Innhold

0 Abstract	i
0.1 Norsk	i
0.2 English	ii
1 Innledning.....	1
2 Beskrivelse av tema.....	2
3 Ulike bruksområder for bullheading	3
3.1 Bullheading mot hydrater	3
3.1.1 Ulemper ved hydratbullheading	5
3.2 Syrebehandling	6
3.3 Bullheading som kill-metode.....	8
4 Kick	9
5 Oppdagelse av kick	12
5.1 Pit gain.....	12
5.2 Flow-out.....	13
5.3 Borestrengstrykk.....	13
5.4 Gassandel.....	14
6 Ulemper ved bruk av bullheading	15
6.1 Fluidkontroll	15
6.2 Erosjon.....	17
6.3 Påkjenning på utstyr	18
6.4 Fluidkontroll	18

6.5	Skin-dannelse etter gjennomført kill	19
7	Begrensende faktorer	20
7.1	Overflateutstyr	20
7.2	Kill-mud volum	21
7.3	MAASP	21
7.4	Casingdesign.....	22
7.4.1	Sprengningstrykk	22
7.4.2	Kollapstrykk	24
7.5	Brønnstruktur.....	25
8	Test for en vellykket bullheading.....	26
9	Prosedyre for gjennomføring av bullheading.....	28
9.1	Prosedyrer fra bransjen.....	28
9.1.1	Maersk	28
9.1.1.1	Bruksområder	28
9.1.1.2	Forberedelse	29
9.1.1.3	Gjennomføring	29
9.1.2	Transocean.....	31
9.1.2.1	Bruksområder	31
9.1.2.2	Forberedelse	31
9.1.2.3	Gjennomføring	31
9.2	Sammenlikning.....	32
10	Grunnlag for modell	33

10.1 Slamtetthet	33
10.2 Estimere nødvendig kill rate	36
10.3 Fronthastighet	41
11 Simuleringer	43
11.1 Sim1	44
11.2 Sim2	45
12 Konklusjon	47
13 Fremtidig arbeid	48
14 Kilder	49
15 Vedlegg	53
15. 1Figurer	53
15.1.1 Maersk decisiontree	53
15.2.1Modell - Bullheading	54
15.2.2 Modell – Initiell estimering av killfluid tetthet	60

1 Innledning

I starten av videregående fikk vi presentert ulike yrkesretninger. Ingeniøryrket hadde lenge vært mitt førstevalg, men det var først da jeg virkelig ble fasinert av oljebransjen. Valg av tema til masteroppgaven kunne vært utrolig mange. Jeg bestemte meg for at valget skulle gi meg mest mulig lærdom både jeg og min fremtidige arbeidsgiver kunne ha mest mulig nytte av. Sikkerhet er kanskje et område som kan bli litt forsømt, og det er ikke mange steder det kan få like store konsekvenser som nettopp i denne bransjen.

Det er få saker som får så stor oppmerksomhet i media som når det oppstår menneskeskapte katastrofer. De gangene dette skjer i oljebransjen raser debatten på nytt om dette skal fortsette. Forkjempere for andre energikilder får nye argumenter for sine meninger. Hver gang roer det seg ned igjen. Det er mange nok som mener at oljen bør nyttes. Jeg mener det er oljebransjen som selv på finne de beste løsningene og metodene for å unngå slike katastrofer. Dette er et viktig område som vi aldri må slutte å ta på største alvor.

Jeg har presentert en metode for å drepe en brønn og deretter satt opp hvilke hensyn det er viktig å ta. Denne listen er ikke uttømmende.

2 Beskrivelse av tema

Bullheading er generelt beskrevet slik: «En metode der fluider blir presset inn i borehullet mot trykket». En av anledningene der en slik metode benyttes er ved motvirkning av hydratdannelse i brønner da det presses for eksempel en metanolblanding inn i systemet. En annen og kanskje vanligere årsak til bullheading er for å drepe en brønn. Dette kan være i forbindelse med vedlikehold på en produserende brønn eller ved influks av formasjonsfluider, slik som olje eller gass, inn i borehullet under en boreoperasjon.

Ved influks inn i borehullet under en boreoperasjon kan det være nødvendig å benytte seg av metoden for å unngå skader på personell og utstyr som kan oppstå ved en blowout på overflaten. I dag sees ikke bullheading på som den optimale løsningen for å håndtere influks inn i borehullet fra formasjonen. Teknikker som heller benyttes er som for eksempel *Drillers method* eller *weight and wait*. Disse to metodene baserer seg på å sirkulere ut kicket og er foretrukket da man har god kontroll på hvor fluidene havner under operasjonen. Grunnen til at denne metoden ikke alltid kan brukes er at det kreves at det er mulig å oppnå sirkulasjon i brønnen. Dette kan være problematisk for eksempel når hullet har kollapset, man har sett seg nødt til å klippe strengen, strengen står høyt i hullet eller den rett og slett ikke er i hullet.

3 Ulike bruksområder for bullheading

Denne oppgaven vil i all hovedsak omhandle bullheading som en form for kick-kontroll. Det er likevel ikke slik at dette er den eneste måten å benytte denne formen for operasjon. Andre områder er blant annet hydratbekjempelse og syrebehandling av skin. Disse gis en kort beskrivelse.

3.1 Bullheading mot hydrater

Bullheading kan benyttes for å fjerne hydratdannende fluider (Zabaras et al, 2004). Dette er spesielt dersom en brønn har vært stengt over en lengre periode. Dette er særlig et problem på felt med høy andel vann i produksjon. Det finnes eksempler flere steder, blant annet i Mexicogolfen.

Hydrater er en krystallinsk forbindelse som opptrer som et fast stoff liknende fast snø og med tetthet lavere enn den vi finner i frossent vann. Disse forbindelsene dannes ved at stoffer som for eksempel metan, etan eller hydrogen sulfid opptar plassen mellom vannmolekyler og binder disse sammen og danner krystallformasjoner. Gjennom denne prosessen kan man få solidifisering av vann og naturgass ved høyere temperaturer enn det man ville forvente ved kun at vannet fryser.

Denne typen effekt er meget viktig å unngå fordi det ved hydratdannelse kan skape ekstra utfordringer når et felt skal produseres. Et av problemene som kan oppstå, er at det ved hydratdannelse vil man kunne oppleve at arealet av tverrsnittet reduseres. Dersom pluggen får tilstrekkelig tid til å danne seg, kan det tenkes at hydratene stenger for strømming totalt. Dette vil kunne føre til oppbygning av trykk bak pluggen. En farlig situasjon som da kan oppstå er at det blir en meget stor trykkforskjell mellom de ulike sidene. Dersom dette skjer og dersom pluggen slipper seg fra rørveggen, vil pluggen kunne ha meget høy hastighet. Det kan skape store ødeleggelser, særlig dersom pluggen treffer en albue i røret med høy hastighet. Et annet problem med høyt trykk er oppbygging foran pluggen. Dersom trykket stiger over det røret er dimensjonert for, kan man få en burst og skade røret.

Det er viktig å ta i bruk metoder for å motvirke denne prosessen. Metoder for å unngå dette er blant annet isolering av rørledninger eller bruk av bulkkjemikalier. Når det gjelder innføring av kjemikalier gjøres det for å redusere temperaturen som kreves for at hydrater dannes, og på den måten kunne operere trygt på en lavere temperatur enn dersom disse stoffene ikke hadde blitt tatt i bruk. Eksempler på kjemikalier som gir denne effekten er ulike former for alkohol, slik som metanol eller diesel.

Dersom disse preventive aksjonene ikke fører frem vil det være nødvendig å fjerne pluggen som oppstår. Det er flere måter dette kan gjøres på. En av dem er å varme opp der pluggen er, med for eksempel

eksotiske kjemikalier. En annen metode er innføring av en PIG og gjennomføre en mekanisk fjerning av pluggen. Dette kan skape økt slitasje på røret. En tredje mulighet er å benytte seg av bullheading.

Bullheading kan benyttes som metode for å åpne rør ved blokkeringer eller pluggen. Med denne metoden kan man velge å benytte seg av en blanding av metanol, diesel, andre typer frostvæske eller en blanding av flere av disse. Metoden kan sees på som en skånsom måte å fjerne innsnevninger og pluggen på, sett opp mot bruk av en PIG, som kan skade røret da den skraper røret fritt for hydrater ved hjelp av stålbørster.

3.1.1 Ulemper ved hydratbullheading

Selv om dette er en mye benyttet metode er den ikke fri for problemer. En utfordring er at metoden krever store volum av det valgte anti-hydrat fluidet. Dette kan medføre logistikk-problemer ved når dette skal lagring på plattformer offshore. En annen utfordring er at oljen eller gassen vil bli kontaminert med det valgte stoffet som igjen øker utgiftene ved at det blir nødvendig med rensing, eller at produktet selges med en lavere kvalitet enn om metoden ikke hadde blitt benyttet. Det er også slik at det produserte vannet, på samme måte som petroleumsproduktet, vil kunne bli forurenset og ytterligere rensing vil kunne bli nødvendig før det kan slippes ut i havet.

3.2 Syrebehandling

Igjennom ulike operasjoner i en produserende brønns livsløp kan man av ulike grunner oppleve suboptimal produksjon. Dette kan beskrives som om det har oppstått skin i brønnen. Skin kan oppstå ved at slam fra intervensjoner eller boring trenger inn i de ytterste porene som er åpne mot brønnen, og på den måten skape større motstand mot strømning. En annen måte er dersom brønnen produserer sand. Ved sandproduksjon kan sanden akkumulere seg i porene og skape redusert permeabilitet for reservoarfluidene, og på den måten redusere brønnens produksjon.

Det finnes flere måter å redusere denne effekten på slik at brønnen skal kunne produsere så godt som mulig. En metode kan være å perforere brønnen for å oppnå et høyere innstrømningsareal. Det er også mulig å syrebehandle brønnen (Burrafato,et.al. 1999). Ved en slik behandling er formålet å etse bort det ytterste laget av formasjonen som står åpent mot brønnen, der skade som følge av slam eller akkumulering av produsert sand ofte befinner seg. Når det gjelder syren som benyttes, varieres det med hensyn til hvilken type formasjon brønnen som skal overhales er i. Dersom brønnen er i en karbonat eller sandsteinformasjon vil det ofte benyttes saltsyre (HCl). En annen type kalt HCL-HF også kjent som slam-syre, benyttes når det er skader på grunn av influks i formasjonen av slamfiltrat. Dersom det er registrert dannelse av voks på borehullsveggen har det vært vanlig å benytte organiske syrer, slik som Xylene. Det finnes også flere typer syrer eller fluider som brukes. Det er essensielt å finne den riktige typen for å håndtere skinet i den aktuelle formasjonen og til

den aktuelle årsaken til problemet. Det må også tas med i betraktningen at det ikke er uvanlig at flere typer formasjoner finnes i en brønn. I et slikt tilfelle vil det være nødvendig å benytte seg av en kombinasjon av de ulike typene syre for å oppnå et optimalt resultat.

For å redusere risikoen for frakturer og tap av fluider til formasjonen ved gjennomføringen, har det vært vanlig å benytte et lavere trykk enn det som har vært observert i formasjonen Likevel har det vist seg at bullheading i denne typen operasjoner er fordelaktig. Ved en vanlig syreoperasjon vil man raskt kunne måle bedring i skin på overflaten av brønnen. Dermed vil man kunne oppleve å få en kortvarig løsning fordi skineffekten raskt vender tilbake til slik den var før behandlingen. Det vil derfor kunne være fordelaktig å bruke et trykk som overstiger formasjonstrykket. Et slikt trykk vil kunne gi et bedre resultat, forutsatt at det er tatt høyde for hva utstyre er designet for, og at det ikke oppstår frakturer i formasjonen. Dette baserer seg på at ved å bullheade syrer vil den trenger lenger inn i formasjonen og etse bort skader som ligger lenger inn i formasjonen enn ved en vanlig operasjon. Man kan da oppleve å få en høyere permeabilitet lenger unna sentrum av brønnen enn ved en normal operasjon. Igjen vil behandlingen kunne gi en bedre effekt enn ved trykk lavere enn formasjonstrykket.

3.3 Bullheading som kill-metode

I en situasjon der strengen er borte fra bunnen av hullet vil det være aktuelt å ta bullheadingmetoden i bruk. Ved et kick kan det oppstå en gass- eller oljeboble under slamsøylen og under borestrengen. Det vil ikke være mulig å oppnå sirkulasjon under influksområdet. Dette utelukker metoder der influksen må sirkuleres ut av hullet. Å presse formasjonsfluidene tilbake til den opprinnelige formasjonen igjennom bullheading vil kunne være hensiktsmessig.

En annen situasjon som kan oppstå under en influks er at den har en slik sammensetning at riggen ikke har utstyr for å ta imot gassen på overflaten. En slik sammensetning kan være om gassen inneholder en farlig mengde Hydrogensulfidgass (H_2S). Denne typen gass tas lettere opp i lungene enn oksygen og personell som utsettes for denne gassen vil kunne bli kvalt. Det vil derfor være nødvendig å presse gassen tilbake i formasjonen og stoppe influksen frem til riggen kan oppgraderes med utstyr for å håndtere influksen på en forsvarlig måte.

4 Kick

Et kick kan beskrives som en influks av reservoarfluidier inn i borehullet under en operasjon. Det økte volumet av fluidier i borehullet fører til at slam blir ”sparket” ut av hullet. Denne effekten på overflaten har gitt fenomenets dets navn og oppstår når det hydrostatiske trykket, generert av slamsøylen, faller under poretrykket i det aktuelle reservoaret som operasjonen utføres i.

Når tettheten i slammet ikke er høy nok, kan det oppstå en situasjon hvor det hydrostatisketrykket fra slamsøylen ikke er høyere enn poretrykket i formasjonen.. Det er to hovedgrunner til at man får denne situasjonen. Den første er generert av redusert tetthet i slamsøylen. Dette kan komme av at gassbobler i slammet reduserer tetthet i søylen. Dersom konsentrasjonen av disse boblene blir høy nok, vil tetthet i slammet faller tilstrekkelig og et kick er en realitet. Den andre hovedårsaken til feil slamtetthet er dersom man møter på soner med uventet høyt poretrykk. Dette kan være et lite reservoar i en annen del av formasjonen enn der det var forventet å finne en felle med tilhørende høytrykks formasjonsfluidier. Ved en slik situasjon kan slamtettheten, som ikke er blandet for å ta imot et slikt trykk, potensielt være for lav og man opplever et kick.

En annen årsak til influks av formasjonsfluidier er dersom høyden på slamsøylen reduseres. Dette kan skje dersom man opplever et tap av sirkulasjonsfluidier. Et slikt tap kan oppstå dersom trykket fra slammet går

over fraktureringstrykket. Dette kan igjen skje dersom slamtettheten blir for høy og dermed genereres det et trykk over formasjonens tåleevne. I en slik situasjon vil det dannes sprekker som vil bli fylt opp av slammet som finnes i borehullet. Om disse frakturene er store nok og høyden på slamsøylene reduseres tilstrekkelig til at poretrykket blir større enn det hydrostatiske trykket, vil man kunne oppleve et kick i brønnen. Slamsøylen kan også bli redusert når strengen trekkes ut av hullet. Ved en slik situasjon er det viktig å etterfylle hullet med slam for å gjøre opp for det tapte volumet som utgjøres av borestrengen, slik at det ønskede trykket på bunnen av hullet kan opprettholdes.

En effekt kalt swabbing kan ende i kick når strengen trekkes ut av hullet. Denne effekten har sin årsak i at boreslam vanligvis er et ikke-newtonsk fluid, og det vil derfor oppstå økt friksjon mellom slammet og borestrengen. Med denne økte friksjonen vil slammet kunne trekkes ut av hullet sammen med borestrengen og igjen redusere trykket på bunnen av hullet. Ved trange mudvinduer vil denne effekten kunne være tilstrekkelig til at man opplever et kick i hullet. Det er også mulig å oppleve den motsatte effekten dersom en streng kjøres ned i hullet og trekker med seg fluidet og skaper et økt trykk. Dette økte trykket kan resultere i frakturer som igjen fører til tap av sirkulasjonsfluider som beskrevet over.

En annen situasjon som kan skape en kick-situasjon er dersom det bores inn i en produserende brønn. Dette kan skje i store felt der man for å produsere mest mulig av oljen har et stort antall brønner, både til

produksjon og til injeksjon. Dermed er det kritisk for enhver boreoperasjon å vite nøyaktig hvor borehodet befinner seg til enhver tid, sett i forhold til de andre brønnene som finnes i området. Hvis man likevel er så uheldig å treffe en produserende nabobrønn vil det oppstå et kick igjennom tap av fluider inn i den produserende brønnen. Ved dette tapet av slam, vil slamsøylen reduseres og dermed vil et kick være en potensiell fare.

Disse situasjonene er viktige å håndtere på en forsvarlig måte, eller aller helst unngå, fordi det kan oppstå en reell fare for at situasjonen utvikler seg fra et kick til det som kan ende med en utblåsning. Ved en slik hendelse kan konsekvensene av manglende kontroll over strømmen av formasjonsfluider potensielt bli katastrofale. Ved en utblåsning er det sannsynlig at petroleumsforbindelser slik som metan, etan og andre naturgasser eller oljeprodukter kommer til overflaten og opp på plattformen. Da disse produktene er meget brennbare vil det kunne oppstå en situasjon der en liten gnist kan starte en eksplosjonsartet brann. Dette kan føre til store tap av menneskeliv slik vi har sett blant annet i Mexicogulfen på riggen «Deepwater Horizon» i 2010 da 11 mennesker mistet livet.

En annen konsekvens som kan oppstå dersom et kick ikke blir håndtert riktig er caving. Dette problemet er ikke en like stor trussel som det var tidligere, i stor grad på grunn av utviklingen i industrien. Det er nødvendig å kjenne til caving selv om sannsynligheten for at det oppstår

er liten ettersom konsekvensene er alvorlige. Caving kan oppstå dersom et kick får utvikle seg uhindret og at strømningsraten inn i hullet er på en slik måte at den tar med seg løsmasser. Dette kan i ytterste konsekvens redusere stabiliteten til formasjonen som fluidet kommer fra. Denne reduserte stabiliteten kan også oppstå dersom man pumper inn slam over fraktureringstrykket slik at slammet akkumuleres i formasjonen. Ved et slikt tilfelle kan formasjonen kollapse og man vil dermed kunne oppleve at overflaten synker med flere meter. Ved en slik situasjon kan det oppstå store skader på personell og utstyr.

5 Oppdagelse av kick

Det er flere metoder for å oppdage et kick i en aktiv brønn. Jeg har valgt å trekke frem noen av dem. De er beskrevet nedenfor.

5.1 Pit gain

Denne metoden er en form for volumetrisk sammenlikning. For å oppdage om det er en influks av reservoarfluider i brønnen kan man se på volumet i slamtanken. Metoden fungerer på den måten at volumet i tanken ved stabil brønn sammenliknes opp mot volumet i tanken ved influks. Dette fungerer fordi ved en influks vil reservoarfluidene oppta en del av volumet i brønnen og dermed fortrenge deler av slamvolumet i

brønnen ut av den og inn i slamtanken. Deretter er det mulig å måle volumøkningen i tanken fra det stabile brønntilfellet opp mot volumet i slamtanken under et kick.

5.2 Flow-out

Denne metoden er en type av ratesammenlikning. Ratene som skal sammenliknes er slamraten inn i brønnen beregnet igjennom pumperate og volum-per-slag i pumpen. Verdien beregnet på denne måten kan sees på som meget sikker og med liten feil. Raten det skal sammenliknes med er raten ut av brønnen. Måten dette måles på er igjennom et flow-meter og har variabel sikkerhet, satt opp mot verdien i slamraten inn i brønnen. Ved et stabilt tilfelle vil disse to verdier være like. Dersom personell oppdager en økt rate tilbake fra brønnen sammenliknet med raten inn i brønnen, vil dette kunne være en indikator på at brønnen opplever et kick.

5.3 Borestrengstrykk

Denne verdien er et trykk generert fra fluider i brønnen. Dersom slampumpene ikke er aktive bør trykket som måles ved en stabil brønnsituasjon være konstant. Derimot vil trykket variere på grunn av

flere forskjellige faktorer, blant annet endret tetthet i slammet på utsiden og innsiden av borestrengen, trykk som genereres fra friksjon mellom slammet, borestreng og formasjon og eventuelle utvaskinger. Grunnet alle disse ulike faktorene som påvirker trykket vil denne metoden for å oppdage uønsket influks være en usikker metode, ettersom det er mange faktorer som kan påvirke trykket og ikke bare et kick.

5.4 Gassandel

Det er mulig å oppdage et pågående kick i brønnen om det er økt andel gass i slammet som kommer tilbake fra brønnen. Det er naturlig at det er en del gass løst i slammet ved stabilt tilfelle, men ved et kick vil denne andelen øke fordi tilgangen på gass i brønnen vil øke.

6 Ulemper ved bruk av bullheading

Bullheading blir slik situasjonen er i dag ofte betraktet som en form for nødløsning ved gitte tilfeller som beskrevet tidligere. Dette kommer av at det finnes flere ulemper ved denne formen for håndtering av et kick. Videre vil det i oppgaven redegjøres for noen av disse ulempene.

6.1 Fluidkontroll

Ved bruk av denne teknikken når det presses formasjonsfluider ned i et hull, har man liten kontroll over hvor fluidene beveger seg under operasjonen. Ved et perfekt scenario vil influksen bli presset tilbake i den opprinnelige formasjonen der den var. Man opplever da i liten grad skindannelser gjennom slamkake eller andre former for skader på formasjonen gjennom inntrenging av kill-fluider i formasjonen. Dette er som nevnt et perfekt scenario og reflekterer ikke situasjonen slik den vanligvis utspiller seg.

Et av problemene som kan oppstå ved manglende kontroll over kill-fluidet, er at det går inn i formasjonen der kicket kom ifra. På denne måten vil det ødelegge for produksjon fra det aktuelle området og på den måten skape ekstra kostnader. Det kan skapes et behov for å gjøre forbedringer i form av syrebehandlinger eller større grad av perforeringer enn slik det opprinnelig var planlagt.

Et annet problem som kan oppstå er at formasjonsfluidet blir presset inn i en annen formasjon enn det opprinnelig kom fra, og man kan potensielt oppleve at det dannes frakturer i formasjonen. Dette kan føre til at det i større grad vil bli tilstrømning av kill-fluidet i formasjonen og oppleves som et fluid tap. Dette tapet kan være med på å redusere trykket i brønnen. Trykktapet kan igjen medføre ytterligere influks fra formasjonen kicket kom fra og skape et større problem enn det man opprinnelig hadde, både på grunn av større gassvolum i brønnen, men også tap av kill-fluid som kan være en begrenset ressurs på en offshore-plattform eller en landrigg i kronglete terreng.

Det kan også være en potensiell fare for at det skapes sprekker mellom sementeringen av casingen og borehullsveggen. Dette kan redusere stabiliteten til hullet og kan resultere i cratering. Dette er farlig dersom det ikke oppdages fordi det kan danne seg hulrom bak casingen. Disse hulrommene vil kunne øke i størrelse igjennom erosjon og fraktureringer grunnet høy slamrate og høyt trykk. Gjennom disse effektene vil man etter hvert kunne oppleve at hullene når sin maksimale størrelse og kollapser. Når hulrommene kollapser kan det oppstå krater på overflaten. Dersom dette dannes under en rigg vil det kunne få katastrofale følger, både med hensyn til utstyr og faren for at liv kan gå tapt ved at forankringer av riggen ikke lenger har fast grunn under seg. Denne typen hendelse er ikke lenger like vanlig som det var tidlig på 1900-tallet. Det er likevel et scenario som må tas med i beregningen, selv om sannsynligheten for at det inntreffer er lav fordi kunnskap om sementering har utviklet seg siden oljebransjens begynnelse. Konsekvensene ved en

slik hendelse kan være katastrofale og gir en risiko som ikke kan ignoreres.

6.2 Erosjon

En annen ulempe er at det ofte må benyttes høye pumperater for å redusere tiden fra influksen av formasjonsfluid oppdages, til det opprettes et trykk i brønnen over terskeltrykket for influks. En annen grunn er den økte graden av gass som presses tilbake i reservoaret ved høye pumperater. Gjennom denne økte pumperaten vil man kunne oppleve høyere grad av erosjon både på casing og på den åpne delen av hullet. Denne økte raten vil gi slamm et økt evne til å erodere på hullveggen og på den måte skape ekstra løsmateriale. Det er dermed en reel fare for hullkollaps. Dersom hullet kollapser over borrehodet kan strengen sette seg fast og på den måten mistes strengen og potensielt hullet. Dersom kollapsen skjer under strengen vil den kunne gjøre tilgangen til den aktuelle produserende formasjonen vanskelig eller umulig fordi hullet blir helt eller delvis lukket av løsmasser.

6.3 Påkjenning på utstyr

Under en bullheadoperasjon vil det være viktig at casing er i best mulig forfatning. Dersom den er blitt utsatt for korrosjon eller andre former for degenerering av materialet vil det kunne redusere dens motstandsdyktighet mot burst-kollaps. Denne faktoren er viktig da den kan redusere det akseptable trykket som kan genereres av kill-fluidet og gjøre det vanskelig eller umulig å gjennomføre en vellykket bullheadoperasjon. Det er derfor essensielt at denne faktoren tas med i betraktningen når det besluttes å gjennomføre en bullheadoperasjon.

6.4 Fluidkontroll

Under en bullheadingoperasjon kan det være en utfordring å bestemme hvor reservoarfluidet som tidligere har strømmet inn i hullet ender opp. Det er ikke uvanlig at fluidet presses inn i områder der det opprinnelig ikke var fluider før bullheadingoperasjonen. Det er større risiko for dette hvis hullet har en stor åpen seksjon og dermed har flere områder det potensielt kan bli presset inn i. En sone som tar opp fluider som blir bullheadet kan bli omtalt som en thiefzone. Dette er ofte ikke ideelt da fluidet som blir presset inn i den nye sonen vil kunne lekke ut igjen når tettheten til slammet reduseres når normalsituasjonen skal gjenopprettes etter utført bullheading. Denne influksen kan oppfattes som et kick av flere ulike instrumenter som beskrevet tidligere og føre til stans, som igjen er en økonomisk belastning for den som driver operasjonen. For å

unngå en slik situasjon kan det være nødvendig å gjennomføre brønnlogging for å forsikre seg om at reservoarfluidene har endt opp i det originale reservoaret, og at de ikke er i et annet lag i formasjonen enn opprinnelig.

6.5 Skin-dannelse etter gjennomført kill

Det er naturlig i en vanlig operasjon der det opereres med en metode der slammet skal skape en overbalanse i trykket, at det vil dannes noe skin i hullet. Dette kan komme av flere ulike grunner. En av dem er at filtrat fra slammet trenger inn i reservoaret og på den måte skader porene som kan redusere permeabiliteten. En annen effekt av at filtratet trenger seg inn er at det trekker med seg sandpartikler, eventuelt river løs sand fra reservoaret og på den måten reduserer eller blokkerer strømmingen helt i enkelte poreganger. Slamkake som danner seg på poreveggen etter at filtratet trenger inn i reservoaret kan også være med på å danne skin, dersom det ikke fjernes på en tilfredsstillende måte.

Disse effektene ser vi ved en vanlig operasjon hvor trykket i liten grad holdes over kapillærtrykket i reservoaret. Ved en situasjon der det er behov for å benytte seg av bullheading vil disse effektene kunne øke da det er et vesentlig høyere trykk som genereres for å presse fluidene tilbake i reservoaret. En annen effekt ved å presse et kick er at det ved å presse inn et større volum enn det som var i reservoaret opprinnelig kan det rives løs sand og andre partikler slik at skin effekten øker.

7 Begrensende faktorer

Det er flere begrensninger ved å gjennomføre en bullheadingoperasjon.

Det er essensielt å vurdere alle risikoer for å forebygge og gjennomføre en bullheading på en så sikker måte som mulig da det å ikke ta hensyn til dette kan ende med katastrofe igjennom en blowout eller caving.

Nedenfor vil disse faktorene bli belyst og satt opp mot hverandre.

7.1 Overflateutstyr

Når det gjelder begrensningene i overflateutstyret handler dette i stor grad om pumpeverkets evne til å levere tilstrekkelig høye nok pumperater, slik at det nødvendige volumet av slam blir presset ned i hullet. Med dagens oppsett av pumpeystemer og det faktum at riggene er utstyrt med ekstra pumper som sikkerhet ved tap av funksjon på en eller flere av de aktive modulene, er det ytterst sjeldent at denne faktoren er den begrensende. Det kan likevel tenkes at ved en katastrofal feil slik at flere av pumpene blir satt ut av spill vil man kunne få problemer med å levere nok slam, men dette er en så lite sannsynlig hendelse at risikoen for at denne faktoren blir begrensende er mulig å se bort fra.

7.2 Kill-mud volum

Denne faktoren er særlig begrensende ved offshoreoperasjoner da det i mindre grad er mulig å få inn utstyr på kort varsel. Ved en landoperasjon er det lettere å komme til riggen med lastebiler og det faktum at lagringsplass til utstyr ikke er begrenset på samme måte som man vil oppleve offshore. Siden arealet på en offshore rigg er meget begrenset vil det være liten mulighet for å ha store slamreserver. Grunnen til dette er et potensielt problem er det faktum at tettheten som kreves av et drepe-slam er ofte vesentlig høyere enn ved en vanlig operasjon er man har en stabilt hull situasjon.

7.3 MAASP

Maximum allowable annulus surface pressure (MAASP) er en faktor som baserer seg på den aktuelle formasjonens motstandskraft mot frakturering. MAASP kan testes ved det som kalles en leak-off-test. Formasjonen utsettes for økende trykk helt til det blir observert en lekkasje av slam til formasjonen, som oftest ved bunnen av siste satte casing. Dette trykket vil bli brukt som den øvre grense for slamvinduet i det aktuelle området slik at det ikke oppstår frakturer i formasjonen som kan lede til tap av slam til formasjonen. Denne faktoren er også viktig under en bullheading operasjon da man ikke ønsker å tape slamvolumer til formasjonen, eller presse kick-volumet til en annen formasjon enn den opprinnelige formasjonen som kicket kom fra. Dette er viktig fordi det kan være en

potensiell fare for at man får et nytt kick dersom formasjonsfluidet blir presset inn et annet sted enn det opprinnelige. Det kan igjen skape et høyere poretrykk enn den opprinnelige formasjonen. Dette volumet kan potensielt ende i et nytt kick når slamtettheten blir redusert til vanlig operasjonstetthet etter at kill-slammet er blitt sirkulert ut, fordi det ved bullheading er vanskelig å være helt sikker på hvor fluidene ender opp.

7.4 Casingdesign

For at en bore- og produksjonsoperasjon skal kunne fungere på best mulig måte og uten at det påløper unødvendige kostnader enten i form av unødvendige slitasjeskader på grunn av for dårlig stålqualität, eller gjennom høye kostnader i form av høy stålqualität der det viser seg å ikke være nødvendig. Ved å optimalisere casing design kan man forsikre seg at man får en tryggere operasjon og unngår unødvendige kostnader til dyrt stål. Selv om det bør unngås å kjøpe stål som er mye sterkere enn det som er nødvendig for normal operasjon, er det også viktig at det tas i betraktning muligheten for at brønnen opplever et kick eller andre utfordringer i brønnens levetid. Dette må tas høyde for.

7.4.1 Sprengningstrykk

Dette er en effekt som må bedømmes når man skal velge casing styrke. Sprengningstrykk er det trykket som kan oppstå dersom det blir influks i

brønnen og gass tar opp store deler av brønnen. Dersom dette skjer under boring vil det være naturlig å stenge brønnen. Det vil kunne oppstå et høyt trykk inne i casingen. Dersom gassen ikke får ekspandere vil det være naturlig å anta at trykket som oppleves vil være reservoartrykket på toppen av brønnen, pluss trykket som genereres av det hydrostatiske trykket fra slammet som ligger under gasssøylen. I et slikt tilfelle vil trykkforskjellen mellom innsiden og utsiden av casingen bli stor. Det er derfor viktig at casingen er dimensjonert for dette og at trykkforskjellen ikke blir slik at casingen går i stykker.

$$\Delta\text{Trykk} = \text{Indre trykk} - \text{Ytre trykk}$$

Det ytre trykket kan ofte beregnes ved hjelp av en gradient basert på tetthet til vann. Dette settes opp mot det indre trykket. For å finne trykkforskjellen casingen skal estimeres etter, ser vi på scenario der mesteparten av slammet er byttet ut med gass. Ved et slikt tilfelle kan en tenke seg at trykket i brønnen er utlignet med det i reservoaret slik at vi har tilnærmet reservoartrykket i brønnen. Det er viktig at casingen er dimensjonert riktig og kan stå imot en slik trykkforskjell.

7.4.2 Kollapstrykk

Dette er, på samme måte som sprengningstrykk som er beskrevet tidligere, en faktor som må tas med i betraktning når det gjelder casing design. Dette er motsatt av sprengningstrykk der trykket på innsiden er større enn på utsiden. Ved kollapstrykk er det motsatte tilfellet. Ved et scenario med katastrofalt slamtap danner det seg en situasjon der store deler av hullet blir tomt. I en slik situasjon vil det være mulig at det naturlige trykket som dannes i formasjonen vil kunne være tilstrekkelig stort når trykket inne i casingen blir tilstrekkelig lite, slik at casingen klemmes sammen. Dermed er det ikke lenger mulig å navigere igjennom med en borestreng og eventuelt stanser tilstrømning av fluider helt eller delvis opp.

$$\Delta\text{Trykk} = \text{Ytre trykk} - \text{Indre trykk}$$

Dette tilfellet minner om eksempelet over, men her er det høyeste trykket på utsiden av casingen. Dette kan skje dersom man har et katastrofalt slamtap og kun har det atmosfæriske trykket i brønnen. På samme måte som over vurderes trykkforskjellen og det velges casing som kan tåle denne påkjenningen.

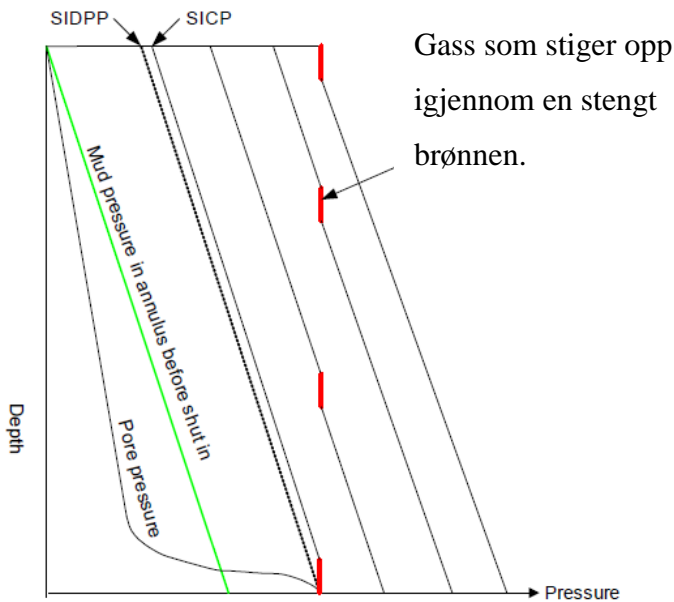
7.5 Brønnstruktur

En avgjørende faktor det må tas høyde for dersom det skal gjennomføres en bullheading er brønnens struktur. Særlig er dette viktig når vi ser på operasjonens effektivitet i henhold til evnene til å fjerne gass fra brønnen. Det er naturlig å tenke seg at den mest optimale strukturen for en bullheadingoperasjon er en vertikal brønn. Dette kommer av at det er en mindre mulighet for at gassbobler skal bryte fluidfronten mellom gass og slam dersom det kan opprettholdes en horisontal fluidfront som dekker et tverrsnitt av hullet. Dersom brønnen er av en mer horisontal art, vil det være sannsynlig at man får en mer vertikal fluidfront og det vil øke sannsynligheten for at gassbobler bryter igjennom. Operasjonen blir da mindre effektiv enn ved en ren vertikal brønnbane. Dette kan igjen føre til at slammet kommer til overflaten og må håndteres forsvarlig. En annen effekt av at gassbobler bryter igjennom fluidfronten kan være at de løses i slammet og reduserer tettheten. Dersom dette skjer i tilstrekkelig høy grad kan det hydrostatiske trykket reduseres slik at det blir lavere enn poretrykket i brønnen. Det vil da kunne oppstå et nytt kick. På grunn av disse effektene som er en større faktor i en horisontal brønn enn en ved en vertikal eller nær vertikal brønn, vil terskelen for å bruke bullheading være større ved en horisontal brønn. Likevel er det slik at det er mulig å bullheade horisontale brønner, men det kreves større grad av oppmerksomhet på grunn av overnevnte effekter.

8 Test for en vellykket bullheading

Etter at en bullheadingoperasjon er gjennomført vil det være nødvendig å sjekke om influksen har blitt presset tilbake i reservoaret. En metode for dette er å måle endringen i bunnhulls- eller overflate-trykk. Dersom det blir oppdaget et kick i en brønn vil det være naturlig å stenge brønnen. På grunn av ulik tetthet i gassen og slammet vil gassboblen stige i brønnen. Dette baserer seg på at gassboblen ikke får lov til å ekspandere og dermed vil gassen ta med seg trykket som finnes i reservoaret.

Ved en bullheadingoperasjon vil man ønske å oppnå den motsatte effekten av en stigende gassboble. Ved at gassboblen presses ned i hullet vil det oppleves en reduksjon i både trykket på bunn og ved overflaten. Dersom gassen er ute av hullet vil man ha et bunnhullstrykk som er basert



Figur: Trykkutvikling i en stengt brønn. (Skalle, 2011)

på slamtettheten.

Denne måten å vurdere om gassen er tilbake i reservoaret er den som benyttes i bransjen i dag. Et problem med denne måten å sjekke etter om gassen er blitt presset unna, er at man får samme trykkeeffekten dersom gassen presses inn i et annet reservoaret enn i det originale. Dette kan være et problem dersom influksen presses inn i en porøs bergart uten en felle eller et reservoar som ikke er stor nok til å ta imot kicket. Ved disse to tilfellene vil man kunne få petroleum til overflaten utenfor brønnen. Et annet problem med å presse slammet inn i et nytt reservoar vil være at influksen kan potensielt komme tilbake i brønnen når slammet reduseres til tettheten ved normaloperasjon.

9 Prosedyre for gjennomføring av bullheading

Dersom det blir besluttet å gjennomføre en bullheading er det viktig at dette gjøres på en forsvarlig måte. Nedenfor er det beskrevet faktorer det er nødvendig å estimere og å ta høyde for slik at operasjonen kan gjennomføres på en så sikker og effektiv måte som mulig.

9.1 Prosedyrer fra bransjen

For å få et bilde av hvordan bullheading blir benyttet og gjennomført i oljebransjen vil oppgaven videre se på prosedyrene som benyttes ved bullheading hos Maersk(Maersk,2012) og Transocean(Transocean,2013). Prosedyrene er hentet fra de respektive manualer i form av tekst og flytskjemaer. Flytskjemaene ligger som vedlegg i oppgaven.

9.1.1Maersk

9.1.1.1Bruksområder

På grunn av de mange ulempene ved å benytte bullheading som kill-metode har Maersk 4 scenarioer som involverer ett kick der metoden skal benyttes.

1. Strengen er ikke på bunnen av hullet eller under området hvor kicket finner sted og det er ikke mulig å strippe strengen ned i hullet
2. Influxen inneholder H₂S
3. Overflate utstyret er ikke dimensjonert for å kunne håndtere volumet til det aktuelle kicket på overflaten
4. Trykket som vil dannes av influxen vil være for stort

9.1.1.2 Forberedelse

Før bullheadingen settes i gang vil det være nødvendig å se på begrensningene for operasjonen. Det er blant annet resultat fra leak-off-test, sprengingstrykk for casingen og begrensinger ved overflateutstyr.

Når dette er gjort er det nødvendig å gjøre seg kjent med volumet og sammensetningen av influxen som befinner seg i brønnen. Deretter stabiliseres både det annulære trykket og trykket i strengen for å bestemme formasjonstrykket. Deretter estimeres svake soner i formasjonen og fraktureringstrykk. Dette trykket benyttes til å beregne det maksimale overflatetrykket under operasjonen.

9.1.1.3 Gjennomføring

1. Sørg for at det er tilstrekkelig med slam for å drepe brønnen

2. Plasser BOP(Blow-out preventer) og choke over kill-line og kjør trykktester over det som antas å være det maksimale nødvendige trykket.
3. Start med en lav pumperate slik at raten kan plottes opp mot forskjøvet volum i brønnen. Deretter sjekkes det at det oppnås en trykkforandring. Dersom dette er tilfelle vil bullheadingen fortsette. Dersom dette ikke er tilfelle vil de øke injeksjonstrykket til trykkforandring oppnås eller til maksimum injeksjonstrykk nås uten trykkforandring.
4. Under videre gjennomføring av bullheadingen vil det antas at overflatetrykket vil reduseres ved at influksen forskyves av slam. Dersom dette ikke skjer kan det antas at slammet presses inn i en formasjon over punktet hvor influksen kommer fra.
5. Når det kalkulerede volumet er presset tilbake i formasjonen stenges brønnen og borestreng- og casingtrykket vurderes og se at det har blitt redusert. Dersom dette er tilfelle vil det kunne antas at operasjonen var delvis eller helt som ønsket.
6. Dersom operasjonen blir antatt å ha vært suksessfull vil det nå være mulig å strippe inn strengen dersom kicket kom når strengen var høyt i hullet. Dersom kicket kom under boring vil det være nødvendig å sirkulere ut slam som har blitt blandet med influks fra formasjonen.
5. Dersom det ikke kan antas at bullheadingen har vært suksessfull vil det være nødvendig og se om det vil være mulig å senke strengen, hvis ikke må prosedyrer for å stenge brønnen tas i bruk.

9.1.2 Transocean

9.1.2.1 Bruksområder

Bruksområdene hos Transocean sammenfaller med Maersk sine fire som er nevnt tidligere. I tillegg nevnes det tilfeller hvor strengen har mistet evnen til å sirkulere igjennom å være tett, at strengen har skrudd seg løs eller at den er blitt klippet. Det legges også til at bullheading kun bør ses på som siste utvei for å håndtere et kick på grunn av ulempene ved denne typen operasjon.

9.1.2.2 Forberedelse

Forberedelsene til Transocean har også likheter med det som beskrives i Maersk sin manual. Dermed er det slik at mange av de samme prosessene foregår igjennom at det innhentes grenseverdier for systemet slik at man unngår at det oppstår fraktureringer, grenseverdier for pumpetrykk, andre begrensninger for overflateutstyr og informasjon om volum og type influks. I tillegg til dette vurderer Transocean fronthastigheten til gassen i røret og på denne måten setter de et minimumsnivå for pumpetrykket.

9.1.2.3 Gjennomføring

Når det kommer til selve gjennomføringen av operasjonen skjer det på samme måte som hos Maersk. Pumpene blir startet med lav rate og økes til det oppleves en trykkendring slik at det kan verifiseres at influksen er blitt forskjøvet. Hvis dette ikke skjer vil de se seg nødt til å stenge brønnen for så å angripe problemet med en annen metode.

9.2 Sammenlikning

Ved å se på de to ulike prosedyrene for henholdsvis transocean og Maersk så kan vi se at de er veldig like. Selv om det bare foreligger et lite utvalg av de bedriftene som driver med olje og gass virksomhet er det faktum at de er så like som de er et tegn på at bransjen som helhet benytter seg av en nærmest standardisert plan for gjennomføring av bullheading.

Likevel er det små forskjeller slik som at Transocean imotsetning til Maersk benytter seg av strømningshastigheten til gassen for å bestemme raten som slammet skal pumpes med. Selv om dette direkte ikke er å vurdere momentet til strømmene er det likevel et steg mot det å vurdere momentene opp mot hverandre. Det kan da være at ved å sette dette minimum for slamrate så kan Transocean unngå yttligere influks ved at slammet pumpes inn med en høyere initiell rate enn det som benyttes av Maersk og dermed redusere påkjenningen på utstyret.

10 Grunnlag for modell

10.1 Slamtetthet

Når det kommer til det å bestemme tettheten til slammet som skal benyttes for å bullheade, vil man først se på hvilket minimum av tetthet som kreves for at det hydrostatiske trykket som genereres av slamsøylen vil overgå reservoartrykket.

$$\text{Hydrostatisk trykk}[P_{hyd}] = \text{Tetthet killslam}[\rho_{kill}] * \text{Dyp}[h] * \text{Gravitasjon}[g] \quad (1)$$

En annen faktor som må tas med i beregningen er eventuelt residuelt slam i brønnen som var der da influksen begynte. Dette slamvolumet må også tas med i beregningen siden det er ønskelig å avslutte bullheadingen så tidlig som mulig for å få minimalt med skin-skade på formasjonen.

Dermed vil man måtte ta hensyn til at det vil være en andel av hullet som er fylt med slam med for lav tetthet. Derfor vil det være sannsynlig at tettheten som benyttes vil være over det som skal til for å opprettholde det hydrostatisketrykket med kun killslam i brønnen.

$$\text{Tetthet killslam}[\rho_{kill}] = \frac{\text{Reservoartrykk}[P_{res}] - \text{Trykk fra initielt slam}[P_{slam}]}{\text{Gravitasjon}[g] * (\text{Total dybde}[TVD] - \text{Høyde initielt slam}[h])} \quad (2)$$

Etter at dette minimumet er satt vil det være nødvendig å gå inn å betrakte momentene til strømmingene. Etersom momentet har to faktorer som kan varieres vil det kunne være nødvendig, etter at slamraten er satt, å justere slamtettheten. Dette gjøres slik at vi får en situasjon der slammomentet er størst og får en resultant hastighet i samme retning som slammet pumpes, og influksen blir forskjøvet tilbake i reservoaret.

En annen faktor er dersom ikke tilstrekkelig høy slamrate kan velges i fare for utvasking, slik at fjerningsgraden av slammet går under 100 %, vil det tenkes at det vil bryte bobler igjennom fluidfronten og løse seg i slammet. Dersom fjerningsgraden faller mye vil det potensielt være nødvendig å se på den løste gassens effekt i henhold til å redusere tettheten i slammet. Det vil da potensielt være nødvendig å øke tettheten for å kunne opprettholde både minimumstrykket, men også for at momentet til slamstrømmen skal opprettholdes på et nivå slik at det er influksen som forskyves og ikke slammet.

Ved en slik økning av tetthet i slammet for å få tilstrekkelig moment vil det også være nødvendig å være klar over formasjonens fraktureringstrykk. Dersom tettheten økes for mye vil denne faktoren kunne spille en rolle ved at man kan oppleve at formasjonene rundt hullet sprekker opp. Dersom dette skjer vil det som beskrevet tidligere kunne oppstå slamtap og potensielt en større influks enn det som var situasjonen før fraktureringen. For at operasjonen skal kunne gjennomføres på en sikker måte er det derfor viktig at heller ikke denne barrieren brytes.

Ved benyttelse av denne metoden vil slamtettheten settes tilstrekkelig høy for så å begynne pumpingen av slam på en lav rate, for deretter å øke til man opplever en trykkendring (Maersk, 2012). Denne måten å gjøre det på tar ikke i betraktning momentet til fluidene og er mer en metode som nærmer seg prøving og feiling der slamraten økes til man får ønsket resultat.

En annen metode er å se på gasshastigheten og sette slamraten over denne (Lapeyouse, 2002). Hvis vi ser på momentene som genereres av dette vil man se at ettersom tettheten til gass er mindre enn tettheten til et killfluid vil man med god margin oppleve at gassen blir presset tilbake. Denne metoden vil derimot benytte seg av en høyere slamrate enn det som er nødvendig dersom man tar momentene i betraktning, og vil utsette både utstyr og formasjonen for påkjenninger som er høyere enn nødvendig. Dette kan for eksempel manifestere seg som høyere sandproduksjon, slitasje på casing eller økt skin i reservoarseksjonen av hullet.

10.2 Estimere nødvendig kill rate

Ved gjennomføringen av en kill med bullheading som metode vil det å velge en passende rate for slamstrømmen være viktig. Dette kommer av evnen strømmen har til å fjerne gass fra borehullet. Hvor høy rate som kreves er også avhengig av hvilken type fluid som bullheades. I all hovedsak er det to typer bullheadingsfluider som benyttes, disse to typene er vann eller slam. Igjennom eksperimenter (Bourgoyne, et. al., 2001) er det vist at ved over 0.11 m/s (0.35 ft/s) for slam eller ved 0.21 m/s (0.7 ft/s) for vann er det snakk om en fjerningskoeffisient på opp mot 100%. Likevel må det tas med i beregningen at dersom slamraten blir tilstrekkelig høy vil man kunne oppleve at strømmingen går fra et laminært strømningsmønster over til et turbulent. Dersom dette skjer er det trolig at det i større grad vil bryte bobler igjennom fronten mellom slammet og influksen, og man vil komme til å måtte håndtere et større influksvolum enn om man begrenser seg til en strømningsrate som beholder laminær strømming. Da målet med denne typen operasjon er å fjerne influksen fra hullet uten å ta det til overflaten, vil det være naturlig at disse to faktorene tas opp til betraktning. Man holder seg mellom disse to grenseverdiene for å få best mulig fjerningsgrad.

$$\text{Hastighet } [v] = \frac{\text{Slamrate } \left[\frac{m^3}{s}\right]}{\text{Areal tversnitt av rør} [m^2]} \quad (3)$$

Det er nødvendig å velge en tilstrekkelig høy slamrate for å opprettholde strømmingens evne til å fjerne gass. Det vil også være essensielt å vurdere dette opp mot faren for utvasking fordi friksjonen mellom fluidet i brønnen og borehullsveggen vil øke ved høyere rate. Risikoen for utvasking vil stige. Når denne risikoen er vurdert og sett i forhold til strømmingens evne til å forskyve gassen, vil det foreligge en analyse. Den viser riggens evne til å ta imot gass til overflaten, og i hvor stor grad borehullet kan motstå utvasking for faren for å miste brønnen eller skape stor grad av ekstra kostnader er reel.

En annen viktig faktor for valg av slamrate begrunnes momentet som genereres av slamstrømmen og strømmen fra reservoaret. En måte å se på bullheading kan være en metode som et moment-kill (Vallejo-Arrieta,2002). Med dette begrepet menes å presse inn slam i brønnen ved å skape et større moment generert fra slamstrømmen enn fra reservoarstrømmen.

$$\text{Moment} \left[\frac{kg \ m}{s} \right] = \text{Hastighet} \left[\frac{m}{s} \right] * \text{masse} [kg] \quad (4)$$

$$\text{Moment} \left[\frac{kg \ m}{s} \right] = \text{Hastighet}^2 \left[\left(\frac{m}{s} \right)^2 \right] * \text{Areal} [m^2] * \text{Tetthet} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (5)$$

Ved å benytte seg av Newtons andre lov og det lineære momentet kan man se på momentet på følgende måte:

$$Moment = \int_{t_0}^{t_1} Hastighet^2 * Tetthet dA \quad (6)$$

Ved å analysere over et lite intervall og på et konstant området vil formelen falle ut som følgende:

$$Moment \left[\frac{kg \cdot m}{s} \right] = Hatighet^2 \left[\left(\frac{m}{s} \right)^2 \right] * Tetthet \left[\frac{kg}{m^3} \right] * Areal [m^2] \quad (7)$$

Formelen faller da ut med ulike dimensjoner på de ulike sidene. For at det skal bli homogent igjen legger Vallejo til en konstant som han kaller g_c .

$$Moment [lbf] = \frac{Hatighet^2 \left[\left(\frac{ft}{s} \right)^2 \right] * Areal [ft^2] * Tetthet \left[\frac{lbm}{ft^3} \right]}{g_c} \quad (8)$$

Siden denne oppgaven opererer med SI enheter omformes konstanten til enheter som passer inn i SI systemet.

$$g_c = 32.2 \frac{lbm * ft}{lbf * s^2} = 1 \frac{kg * m}{N * s^2} = s^{-1} \quad 9$$

$$\text{Moment} \left[\frac{\text{kg m}}{\text{s}} \right] = \frac{\text{Slamrate}^2 \left[\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2 \right] * \text{Tetthet} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}{\text{Areal tversnitt} [\text{m}^2] * g_c} \quad (10)$$

På samme måte kan man bestemme momentet til gasstrømmen i hullet. Ved å beregne influksraten med formel 11 (Whitson et.al 2000) vil man få en rate som kan benyttes til å beregne hastigheten for gassfronten i røret.

$$Q_{\text{gass.std}} = \frac{7.73 * k * h * (P_r^2 - P_{wf}^2)}{T_{res} * \mu_{gass} * Z * \left(\log \left(\frac{r_e}{r_w} \right) - \left(\frac{3}{4} \right) + S \right)} \quad (11)$$

Videre vil det være viktig å finne tettheten til gassen som strømmer i hullet da den er viktig når momentet skal beregnes. Gass er kompressibelt, det vil derfor være nødvendig å se på trykket i brønnen for å estimere tettheten i gassstrømmen. Dette kan gjøres ved hjelp av gasslikningen.

$$P * V = n * R * T * Z \quad (12)$$

$$\rho_{\text{gass}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{P [\text{Pa}] * M \left[\frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]}{T [\text{K}] * R} \quad (13)$$

Igjennom disse beregningene er det mulig å finne momentet til både slammet og gassfronten. Ved å sammenlikne de to momentene vil man

kunne finne resultant momentet. Det vil da være mulig å bestemme hvilken retning fronten går ved et spesifikt tilfelle. Derfor vil det være essensielt for at bullheadingen skal bli gjennomført på en tilfredsstillende måte at momentet fra slammet overgår det fra influksen og vi får et resultant moment som virker i samme retning som slammet.

10.3 Fronthastighet

Når nødvendig slamtetthet og pumperate er satt slik at det tilfredsstiller kravene for en vellykket bullheadingsoperasjon vil det være interessant å vite hvor lang tid det tar før gassen er tilbake i reservoaret. Dette kan være interessant fordi den tiden man pumper etter at gassen er forskjøvet tilbake i reservoaret vil påvirke i hvilken grad slammet presses inn i reservoaret etter gassen. Når slammet presses inn kan det være med på å øke fremtidig sandproduksjon og øke skindannelse ved å plugge igjen poreganger. En parameter å se på for å estimere tiden det tar for gassen å være tilbake i reservoaret vil være resultant hastigheten som oppstår når momentet til slammet og gassen møtes.

$$Moment_{resultant} = Moment_{slam} - Moment_{gass} \quad (14)$$

$$\frac{Resultantrate^2 * Tetthet_{resu}}{Areal \ rørtversnitt * g_c} = \frac{Slamrate^2 * Tetthet_{slam}}{Areal \ rørtversnitt * g_c} - \frac{Gassrate^2 * Tetthet_{gass}}{Areal \ rørtversnitt * g_c} \quad (15)$$

$$v_{front} = \sqrt{\frac{(v_{slam}^2 * \rho_{slam}) - (v_{gass}^2 * \rho_{gass})}{Tetthet_{resu}}} \quad (16)$$

Ved å beregne hastigheten til fronten ved hjelp av det resulterende momentet vil det være mulig å sette dette opp mot høyden på gassøylen.

Ved å se på disse to parameterne vil det være mulig å beregne hvor lang tid det vil ta for gassen å bli presset inn i reservoaret. Siden denne hastigheten bestemmes av momentene som bestemmes av gassrate og gasstetthet, vil fronthastigheten varierer igjennom operasjonen. Dette må det tas høyde for ved beregning av kill-tid.

$$Q_{gass} = \frac{7.73 * k * h * (P_c^2 - P_{wf}^2)}{T * Z * \mu * (\log\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{3}{4} + S)} \quad (17)$$

$$\rho_{gass} = \frac{P * \text{Molartetthet}}{T_{res} * R} \quad (18)$$

Sammensetningen av kicket i brønnen er også en faktor som spiller inn når vi ser på momentet. Et kick som i stor grad er sammensatt av metan vil kreve et lavere moment enn dersom sammensetningen er en tyngre forbindelse, slik som etan eller propan. Dette avhenger igjen av tilnærmet lik hastighet for influksen ved de tre tilfellene.

11 Simuleringer

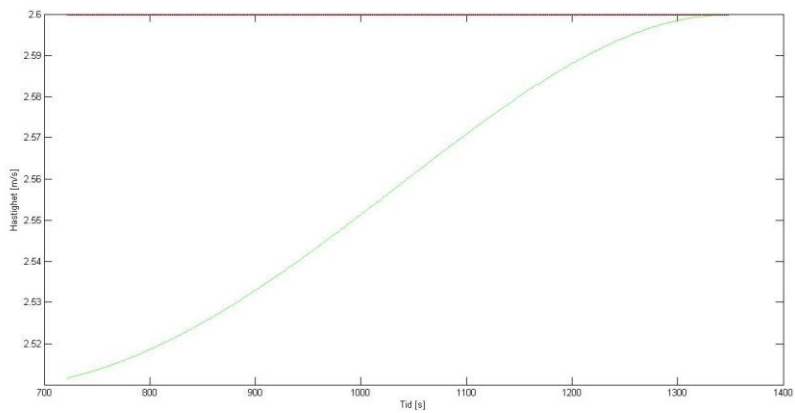
Videre vil noen resultater fra modellen bli presentert. Planen er å se på to ulike simuleringer med ulike typer influks. Tanken er å se på to identiske vertikale brønner med ulike poretrykk i reservoaret. Eksemplene som skal sees på har følgende egenskaper.

	Dybde	Poretrykk	$P_{\text{Initial mud}}$	Q_{kill}	V_{Kick} (Andel)	ID
Sim 1	4000 m	500 bar	1000 kg/m ³	0.09 m ³ /s	40%	0,203 m
Sim 2	4000 m	700 bar	1500 kg/m ³	0.09 m ³ /s	40%	0,203 m

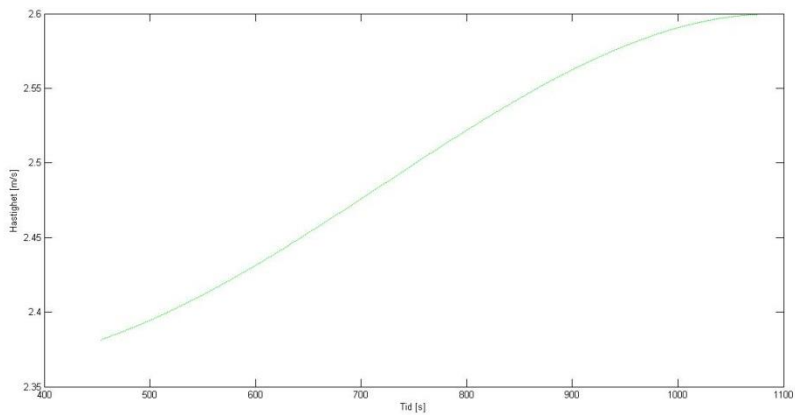
Tettheten til det initiale slammet settes slik at poretrykket ved startpunktet er under det trykket som oppleves i formasjonen slik at det kan oppstå en situasjon hvor det strømmer formasjonsfluider inn i brønnen. Videre følger figurer som viser utviklingen til fronthastigheten for de to ulike situasjonene og de to ulike influkstypene.

11.1 Sim1

Influkstyp	Slamtetthet
Metan	1686 kg/m ³
Etan	1686 kg/m ³



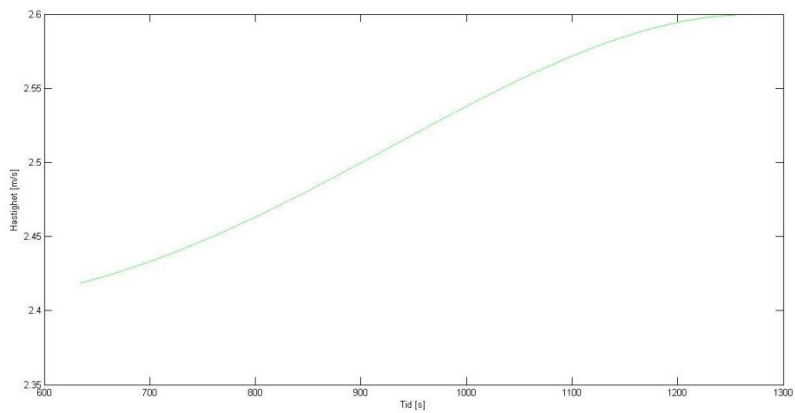
Figur 1: Sim1 – Metan influks



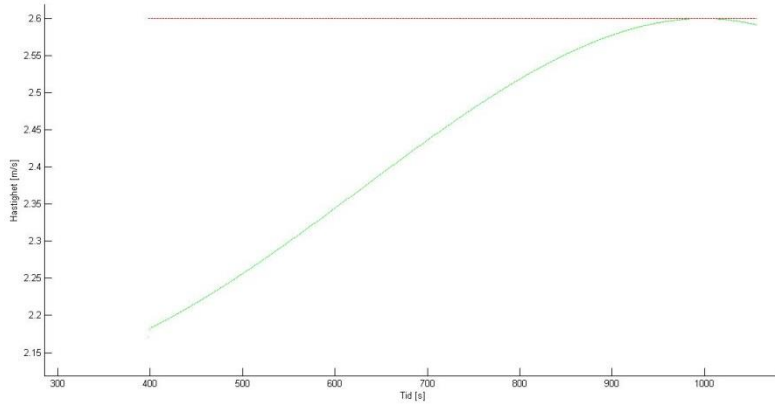
Figur 2: Sim1 – Etan influks

11.2 Sim2

Influkstype	Slamtetthet
Metan	2209 kg/m ³
Etan	2363 kg/m ³



Figur 3: Sim1 – Metan influks



Figur 4: Sim1 – Etan influks

Ved å studere den første simuleringen kan vi se at begge de to typene av influks benytter den samme tettheten i slammet. Det vil si at minimumskravet til slammet, altså at det hydrostatiske, trykket overgår poretrykket, vil være nok til at vi skal oppnå det momentet som kreves. Likevel kan vi se ved å sammenlikne de to grafene at effekten av at etaninfluks har høyere tetthet er tydelig ved at den initielle hastigheten til fronten ligger under den som estimeres i metaninfluks. Vi kan også se den samme tendensen dersom vi observerer forskjellene mellom metan- og etaninfluks i den andre simuleringen.

I eksemplene i figurene ser vi at endringen i fronthastighet hele tiden ligger tett opp imot slamhastigheten, som i disse eksemplene er satt til 2.6 m/s med brønnoppsettet som er valgt i simuleringen. Dette viser at fronthastigheten i stor grad blir styrt av slamhastigheten som settes. Dette kan forklare hvorfor det tidligere har vært mulig å bruke en metode der slamhastigheten gradvis blir økt frem til det oppleves trykkendringer i stedet for å kalkulere en optimal slamhastighet på forhånd. Det er, selv om metoden har fungert, verdt å merke seg at man kan oppleve trykkforandringen som benyttes som indikator for om operasjonen har vært vellykket selv om det benyttes en slamhastighet som ligger under punktet for 100 % forskyving. Å dermed måtte håndtere det faktum at det er blitt løst gass i slammet noe som kan være med på å redusere tettheten. Det er derfor hastigheten i slammet er satt slik den er i simuleringen for at 100 % forskyvning skulle oppnås. At det opereres med denne høye hastigheten kan også være en årsak til med på å gjøre at det ikke er stor variasjon i fronthastigheten.

12 Konklusjon

Bullheading blir, slik situasjonen er i dag, sett på som en nødløsning. Dette kommer av de mange ulempene som er beskrevet tidligere. Det er likevel en metode som, i enkelte tilfeller er den beste metoden. Derfor bør det være en prioritet å redusere ulempene og på den måten gjøre metoden mer ettertraktet. Metoden kan bli mer attraktivt ved et økt fokus på fronthastighet slik at den økte skineffekten som blir registrert ved denne metoden kan unngås ved at man med høy sikkerhet bestemmer når gassen er tilbake i reservoaret og dermed stanse bullheadingen før skineffekten blir unødvendig høy.

I tillegg til skineffekt er fluidkontrollen en viktig faktor som gjør at flere vegrer seg for å ta metoden i bruk. Det er spesielt muligheten for at fluidet blir presset inn i et nytt område i stedet for det originale reservoaret.

Det er på tross av disse utfordringene viktig at bullheading blir tatt på alvor. Siden metoden er meget effektiv for å unngå innfluks til overflaten vil den fortsette å være et viktig forebyggende verktøy for fremtiden.

13 Fremtidig arbeid

Slik jeg ser på fremtiden vil det være nødvendig å gjøre eksperimentelt arbeid for å bestemme resultant fronthastighet. Dersom det kan oppnås gode resultater vil det kunne gjøre bullheading til en bedre metode.

Kanskje vil det også være mulig å implementere en moment analyse under et kick i stedet for ”prøve og feile metoden” som benyttes for å bestemme slamtetthet og slamhastighet i dag.

14 Kilder

Anklam, E.G., Wiggins, M.L., *A review of horizontal wellbore pressure equations*, 2005

Bourgoyne. A.T., Koederitz, W.L., *Gas kick behaviour during bullheading operations*, 1995

A,Bourgoyne;W,Koederitz;H,Bacca *An experimental study of bullheading operations for control of underground blowouts*, Jan 2001

Bourgoyne, Milheim, Chenevert & Young: *Applied Drilling Engineering*, SPE Textbook Series, 1986

Burgess, T., Starkey, A. A., White, D., *Improvements for kick detection*,

Burrafato, G. Pitoni.E., Vietina. G., Mauri, L., *Rigless WSO treatments in gas fields. Bullheading gesl and polymers in shaly sands: Italian case histories*, 1999

Dykhno, L.A., Hatton, G.J., Nisbet W.J, *Bullheading optimization for hydrate management in deepwater wells*, 2005

Eni petroleum, *Well test procedures manual*, 1999

Expro well services, *Well integrity capability*, 2011

Gragam. B., Reilly. W.K., Beinecke. F.G., Boesch, D. Garcia, T.D., Murray, C.A., Frances, U. *National commission on the BP horizon oil spill and offshore drilling: Chapter 4.7: Kick detection*, 2011

Lapeyouse, N.J. *Formulas and calculations for drilling, production and workover*, 2002

Maersk, *Deepwater well control manual volume 1*, 2012

Oudemans. P., Avest. D., Grodal, E.O., Asheim, H.A., Meissner, R.J.H., *Bullheading to kill live gas wells*, 1994

Petroleumstilsynet, *Gransking av gassutblåsning på Snorre A, Brønn 34/7-P31A*, 2004

Schlumberger glossary, *Bullhead*,

<http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms.aspx?LookIn=term%20name&filter=bullhead>, okt 2013

Sereneenergy, *Special kicks problems & well control equipment*,

<http://www.tqdel.com/special-kicks-problems-well-control-equipment/>,
Okt 2013

Skalle, P., *Pressure control during oil well drilling*, 2011

Subero,D., Holder, G. , *Design, execution and evaluation of matrix acid stimulation jobs using chemicals diversion and bullheading*, 1996

Transocean, *Wellcontroll handbook*, 2013

Vallejo-Arrieta, V. G., *Analytical model to control off-bottom blowouts utilizing the concept of simultaneous dynamic seal and bullheading*, 2002

Wellcontroltraining.com, *Shallow gas and bullheading*,
<http://www.wellcontroltraining.org/well-control-training-shallow-gas-and-bullheading>, Okt 2013

White. F.M., *Fluid mechanics*, McGraw hill, 2003

Whitson, C.H., Brulé, M.R., *Phase behavior*, SPE Textbook Series, 2000

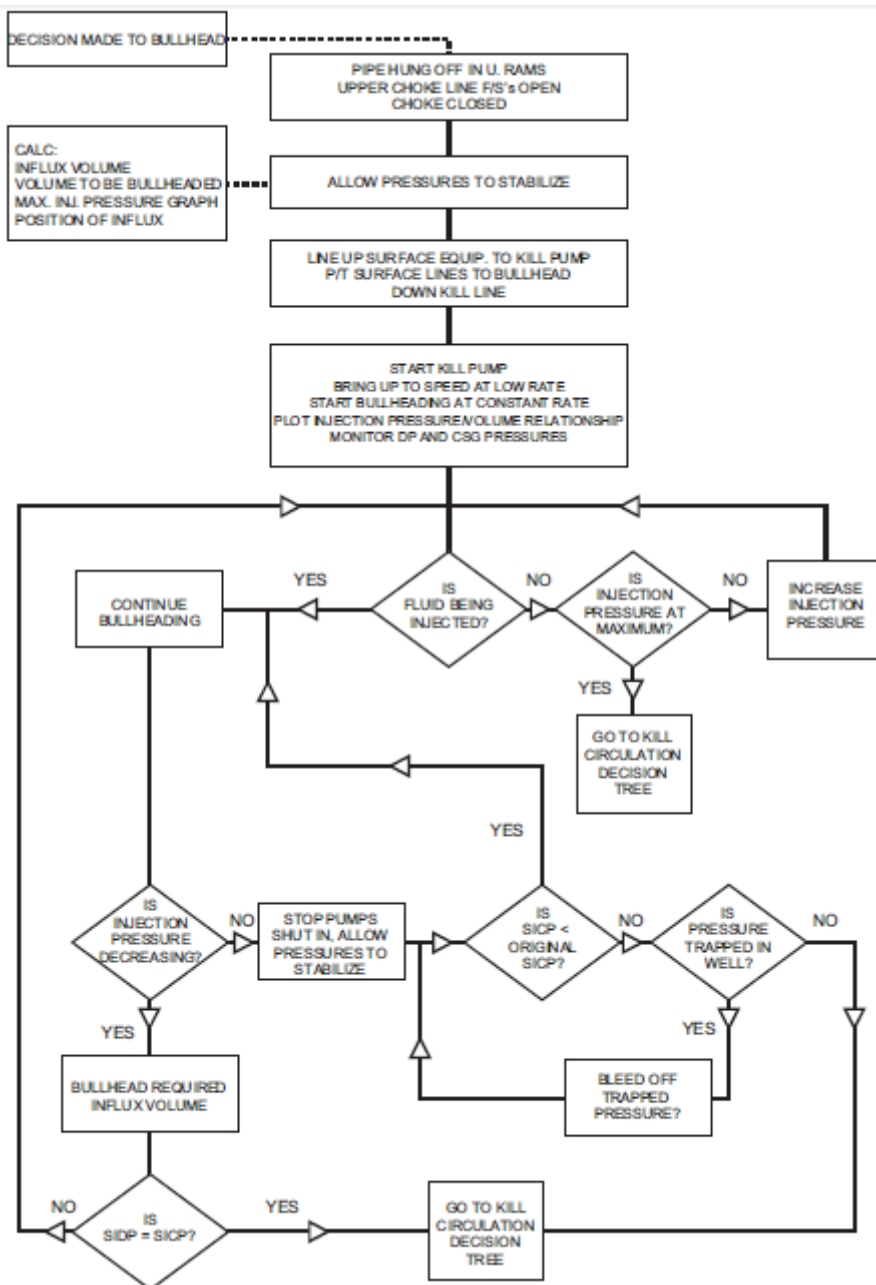
Wipertrip.com, *Bullheading*, <http://www.wipertrip.com/well-control/secondary-control/488-bullheading.html>, sept 2013

Zabaras G. J., Mehta, A.P., *Effectivness of bullheading operations of hydrate management in DVA and subsea wells*, 2004

15 Vedlegg

15.1 Figurer

15.1.1 Maersk decisiontree



15.2.1 Modell - Bullheading

```
%
%           Modell for Bullheading
%
%
%
%
% vgass/vslam = Hastighet av slamfront/gassfront
% g           = Gravity constant
% pGM       = Trykk ved rett over gassen (Generert av tetthet
til killmud)
% depthGC    = Depth of gascoloum
% Tres       = Temperatur ved reservoar
% Zgass     = Gass konstant
% re         =
% rw       = Hull radius
% Skin       =
% Pres       = Reservoar trykk [Bara]
% Pwf      =
% Area       = Drainage area
% NrWells    = Antall brønner i området
% ViscGass   = Viskositet til gassen [Centipoise]
% k          = Permeability [md]
% h          = Produksjonsområde
%
function[rhoKMud]=Bullheading(QSlam,QSlamMax,Pres,Area,NrWells,TVD,
IDcasing,BitDia,tDetect,Skin,initialmuddensity,Loss,
,Metan1Etan2Propan3)
%
% Composition of kick
%
if Metan1Etan2Propan3==2
Molardensity=0.03007; % [kg/mol] Antar Etan som kick
fluid. Dersom
viscGass=0.095; %Antatt at gassen er Etan
Zgass=0.955; %Antatt at gassen er Etan
elseif Metan1Etan2Propan3==1
Molardensity=0.016; % [kg/mol] Antar Metan som kick
fluid. Dersom
viscGass=0.11; % Antatt at gassen er Metan
Zgass=0.998; % Antatt at gassen er Metan
```

```

else
Molardensity=0.04410;    % [kg/mol] Antar Propan som kick
fluid. Dersom
viscGass=0.080;         % Antatt at gassen er Propan
Zgass=0.9819;          % Antatt at gassen er Propan
end

%
% Constants
%

re=sqrt(Area/NrWells);

rw=BitDia/2;
g=9.81;
Tres=(4+273+(3/100)*TVD); % Antar at brønnen ligger på
havet(4 grader celcius ved havbunnen).[Kelvin] : eventuelt
om ikke bør overflate temperaturen tas med.
Tst=273+15;             % Standard temperatur (15
grader Celsius)
Pc=Pres;                % Poretrykk i reservoar[bar]
h=10;                   % Estimert område hvor det
produseres fra [m]
k=100;                  % Estimer permeabilitet i
reservoaret [cp]
HeightGC=0;            % HeightGC = Height GassColoum
[m]
t=0;

R=8.3144621*10^(-5);

Apipe=(3.14*(IDcasing/2)^2);
vslam=QSlam/Apipe;

%
% Forming Kick
%

HMudafterLoss=TVD*(1-Loss);

while t<=tDetect

```

```

t=t+1;

KickPwf=initialmuddensity*g*HMudafterLoss*(10^(-5)); %
Trykk på bunn av brønnen[Bar] (Hydrostatisk)

KickQGassST=((7.73*k*h*(Pc^2-
KickPwf^2))/(Tres*viscGass*Zgass*(log(re/rw)-
(3/4)+Skin)))/(60*60*24);

KickQGassPwf=(KickQGassST*Tres*Zgass)/(KickPwf*Tst);

vgass=KickQGassPwf/Apipe;

RhoGass=((KickPwf*Molardensity)/(Tres*R));

dv=-sqrt(((vgass^2)*RhoGass)-
((vslam^2)*initialmuddensity))/(initialmuddensity);

HeightTest=HMudafterLoss+HeightGC;

if HeightGC>TVD

elseif HeightTest>=TVD

    HMudafterLoss=HMudafterLoss+dv;
    HeightGC=HeightGC-dv;
else
    HeightGC=HeightGC-dv;

end

%
% plot(t,dv);
% hold on;

end

if HeightGC>TVD %Disse linjene tar høyde for at
gasssøylen ikke kan være høyere enn selve hullet,
    HeightGC=TVD; %og at slamsøylen ikke kan ha
negativ høyde.
end
if HMudafterLoss<0
    HMudafterLoss=0;
end

```

```

%
% Bullheading
%
%

vslam=QSlamMax/Apipe;
rhoKMud=killmuddensity(TVD,Pc,HMudafterLoss,initialmuddensiti
ty); %Minimum tetthett som skaper BHP>Pc (Hydrostatisk)

v=dv;

Mgass=(RhoGass*(v)^2)/Apipe;
Mslam=(rhoKMud*(vslam)^2)/Apipe;

l=0;
while Mgass>Mslam && l<40000 %Sørger for at
momentet til slammet overstiger det som genereres av
gassen(Her med 2,5%).

    l=l+1;
    Mgass=RhoGass*(v^2)/Apipe;
    Mslam=rhoKMud*(vslam^2)/Apipe;

    if Mgass>=Mslam
        rhoKMud=rhoKMud+0.1; % Kan være
aktuelt å justere faktoren her for å redusere
beregningstiden.
    end

    dM=Mgass/Mslam;
    % plot(l,dM);
    hold on;

end

while 0<HeightGC && t<100000

```



```

t=t+1; %Teller antall loops/sekunder [s]

AnnularPloss=((1.4327*10^(-
7)*0.00834540445*rhoKMud*TVD*(1/0.3048)*(dv*(1/0.00508))^2
/(IDcasing*(1/0.0254)))*0.0689475729;

Phyd=((TVD-HMudafterLoss-
HeightGC)*rhoKMud)+(HeightGC*RhoGass)+(initialmuddensity*HM
udafterLoss))*g*(10^(-5))+1.013;

ECD=(AnnularPloss/(TVD*g));
Pwf=Phyd+ECD;

QGassST=((7.73*k*h*((Pc^2)-
(Pwf^2)))/(Tres*viscGass*Zgass*(log(re/rw)-
(3/4)+Skin)))/(60*60*24);

QGassRes=(QGassST*Tst*Zgass)/(Pc*(Tres));

RhoGass=((Molardensity*Pwf)/(Tres*R));
vgass=QGassRes/Apipe;

dv=sqrt(((vslam)^2*rhoKMud)-
(vgass^2*RhoGass))/(rhoKMud);%Total hastighet når Pwf<BHP

HeightGC=HeightGC-dv;

if HeightGC<0
    HeightGC=0;
end

plot(t,dv,'g');
plot(t,vslam,'r');
xlabel('Tid [s]'); % NB! Juster label
ettersom hva som plottes.
ylabel('Hastighet [m/s]');
hold on;

end
end

```


15.2.2 Modell – Initiell estimering av killfluid tetthet

```
%  
%      Estimating Kill_mud density  
%  
%      rhokillmudmin    = Minimum muddensity to kill kick  
%      rhokillmudmax    = Maximum mudensity to avoid  
fracturing  
%      h                = Depth to casing shoe  
%      rho              = density of mud before kick  
%      x                = Output variable  
%  
%  
function[rho]=killmuddensity(TVD,Ppore,InitialslamH,rhoInitialslam)  
  
g=9.81;  
  
Pc=Ppore*(10^5);  
  
POldslam=g*rhoInitialslam*InitialslamH;  
  
PKill=Pc-POldslam;  
  
%Antar en 5% sikkerhetsfaktor på tettheten for å sørge for  
%at trykket som  
%genereres er over poretrykket  
  
rho=(PKill/(g*(TVD-InitialslamH)));  
  
end
```