

Simulering av flerfasepumpe på Gullfaks C

T.V. Stangeby, T. Jørgensen, T.G. Berland, T. Bakken, NTNU 2.mai 2001

Det er foretatt simuleringer av installasjon av "topside" flerfasepumpe på prosessanlegget på Gullfaks C. Simuleringene er gjort i HYSYS PROCESS 2.10. Flerfasepumpen er i simuleringene plassert nedstrøms lavtrykksmanifolden. Deler av strømmen fra lavtrykksmanifolden ble komprimert og rutet om til høytrykks separator via flerfasepumpen.

Det totale effektbehovet i rekompresjonstøget reduseres ved økt mengde fluid til høytrykks separator. Reduksjonen skjer hovedsaklig i 3. trinns kompressor, der mengde gass reduseres med opptil 35% ved maksimal mengde fluid til høytrykks separator. Imidlertid vil det totale effektbehovet (rekompresjonstog og flerfasepumpe) øke med opptil 21%. Det totale effektbehovet i simuleringene øker med ca 75% av effektbehovet til flerfasepumpa.

Alternativet til flerfasepumping kan være å måtte senke trykket i produksjonsmanifoldene. Dette vil gi økt gassproduksjon og et større effektbehov i rekompresjonstøget. Flerfasepumping vil øke produksjonsratene fra lavtrykksbrønner. I tillegg vil levetiden til lavtrykksbrønner kunne forlenges. Dette vil være en betydelig positiv økonomisk faktor

Installasjon av en "topside" flerfasepumpe på Gullfaks C vil, med bakgrunn i potensiell økt oljeproduksjon og forlenget levetid, være en lønnsom investering. Lønnsomheten kan økes ved å installere en ubenyttet flerfasepumpe fra Gullfaks B. Simuleringene i denne oppgaven er imidlertid preget av stor usikkerhet, og kan ikke benyttes direkte til økonomisk analyse av en slik installasjon.

Introduksjon

Gullfaksfeltet ligger i blokk 34/10 i den nordlige delen av Nordsjøen, og lisensen for å utvinne ressursene i området ble delt ut i 1978. Statoil ble oppnevnt som operatør, og i dag finnes det tre store produksjonsplattformer på hovedfeltet. En av disse er Gullfaks C, som kom i produksjon 4. november 1989. Det er denne plattformen det fokuseres på i denne studien.

Gullfaks C produserer fra brønner med ulike trykkforhold. Prosessanlegget er designet for å håndtere dette ved hjelp av en høytrykks- og en lavtrykksmanifold. Høytrykksmanifolden knytter høytrykksbrønnene til førstetrinns separator, mens lavtrykksmanifolden leverer direkte til andretrinns separator. Flere av dagens høytrykksbrønner forventes i fremtiden å måtte kjøres på lavtrykksmanifolden pga redusert trykk. Dette kan imidlertid føre til kapasitetsproblemer i deler av anlegget, spesielt i andretrinns separator og tredje trinns kompressor. Et

mulig tiltak for å omgå eventuelle kapasitetsproblemer er å installere en flerfasepumpe oppstrøms førstetrinns separator. En slik Pumpe kan øke trykket på noen av brønnene på lavtrykksmanifolden slik at disse kan knyttes direkte til førstetrinns separator. Denne typen flerfasepumpe installasjon, og effekten av den, er simulert i HYSYS Process.

Gullfaks prosessanlegg

Gullfaks C plattformen er tilknyttet 29 operative produksjonsbrønner per februar 2001. I tillegg mottar Gullfaks C olje og gass fra Gullfaks B og Tordis anlegget. Prosessanlegget på plattformen separerer naturgass og vann fra oljen. Plattformen har to oljeseparasjonstog som kjøres i parallell, hver med 50% av total kapasitet. I tillegg har prosessanlegget to rekompresjonstog for gass, hvorav hvert tog utgjør 50% av total kapasitet. Ved høy gassproduksjon kjøres begge rekompresjonstogene i parallell.

Hvert separasjonstog består av tre separasjonstrinn og en vannutskiller. Gassen som separeres i oljeseparasjonstøget er tilknyttet et fire trinns rekompresjonsanlegg. Foran hvert kompressortrinn avkjøles gassen slik at vann og olje kondenseres ut. Kondensatet separeres fra gassen og tilbakeføres til separasjonstøget. Dette gjøres for å øke oljeproduksjonen. Vann, salt og andre urenheter fjernes fra oljen i første og andre trinn, samt i vannutskilleren.

Trykket i separatorene reduseres for hvert trinn oljen går igjennom. 1. trinn separator opererer ved et trykk på ca. 64 barg. Trykket reduseres videre til ca. 1,4 barg gjennom 2. og 3. trinns separatorene. Oljen blir deretter avkjølt før den lagres videre på egne lagerceller. Ferdigprosessert olje pumpes til tankbåt fra lagercellene via en målestasjon og videre til en lastebøye.

På Gullfaks C er det installert en lavtrykksmanifold som gir mulighet for tilkobling av brønner direkte til 2. trinns separator. Dette gjøres for å øke/opprettholde produksjonsraten fra lavtrykksbrønner.

Flerfasepumper

I dagens oljeindustri spiller flerfasepumper en viktig rolle, og fungerer både som en kompletterende installasjon og som et alternativ til andre installasjoner. Utviklingen av disse pumpene har åpnet for nye muligheter og forbedringer innen bransjen, og har vist seg å være meget innbringende økonomisk sett. I diskusjonen som følger vil pumpenes oppbygning og egenskaper bli knyttet til bruksområder i industrien, og til oppgavens konkrete problemstilling.

- Rotodynamisk pumpetype

Helico-aksial pumpe er en av to flerfasepumper som dominerer markedet i dag, og er bygd etter et konsept utviklet av IFP. Denne pumpe er en blanding av en vanlig pumpe og en aksial kompressor, og kalles også en rotodynamisk turbomaskin.

I dette tilfellet er det ikke volumetrisk kompresjon, men kompresjonen oppnås ved energioverføring. Væsken blir ført inn i kompresjonsceller hvor den akselereres gjennom et rotorblad som overfører hastighetsenergien til partiklene. Så blir væskestrømmen sentrifugert gjennom flere fastmonterte likerettere som konverterer den kinetiske energien til trykk.

En Helico-aksial pumpe kan man dele inn i følgende seksjoner:

- Blandeseksjon; her foregår blandingen av brønnfluidene.
- Trykkøkningsseksjon; flertrinns pumpe (helico-aksial) som øker trykket.
- Kraftsseksjon; en elektrisk motor eller en hydraulisk turbin som driver pumpen.

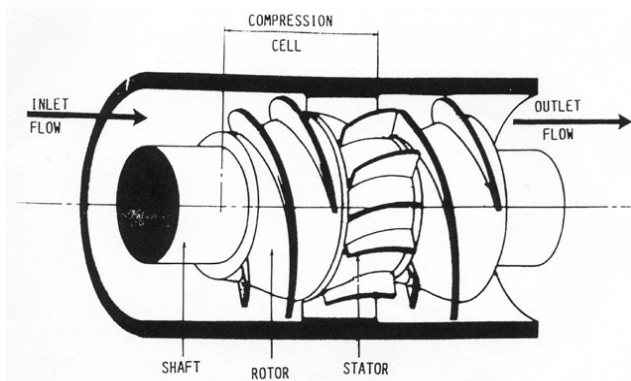


Fig. 1 Helico-aksial kompresjonscelle

Den mekaniske utformingen gjør denne pumpen enkel å vedlikeholde, samtidig som den er lettere og mindre plasskrevende enn andre flerfasepumper. Den er også bygd slik at til en viss grad tåler sandproduksjon. Ved avstengning av pumpe vil det fortsatt strømme fluid gjennom pumpe, slik at driften av prosessanlegget ikke vil være avhengig av dette.

- Fortrengningspumpe

En annen type flerfasepumpe på markedet er "Twin-screw pump". Dette er en fortrengningspumpe hvor væske fanges mellom to parallelle skruer som går inn i hverandre. Væsken blir så presset ut ved hjelp av de registerdrevne skrueene, og resultatet er at væsken forlater pumpen med et høyere trykk enn ved inntaket. Denne pumpetyper er i stand til å produsere trykkforskjeller på over 60 bar, men har da begrensning i strømningsraten.

På grunn av størrelse og kompleksitet egner denne type pumpe seg dårlig for "offshore" installasjoner, men er aktuell innen spesielle anvendelser på land. Fig 2 viser prinsippet til en "twin-screw" pumpe.

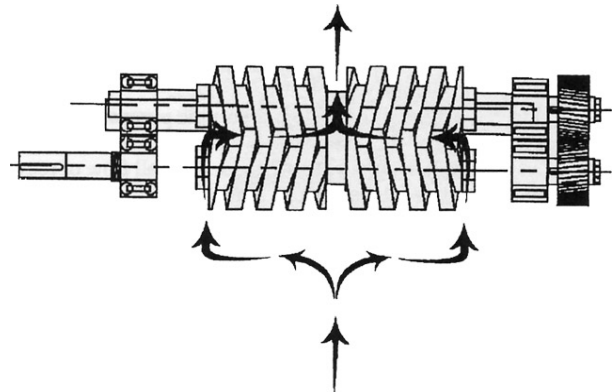
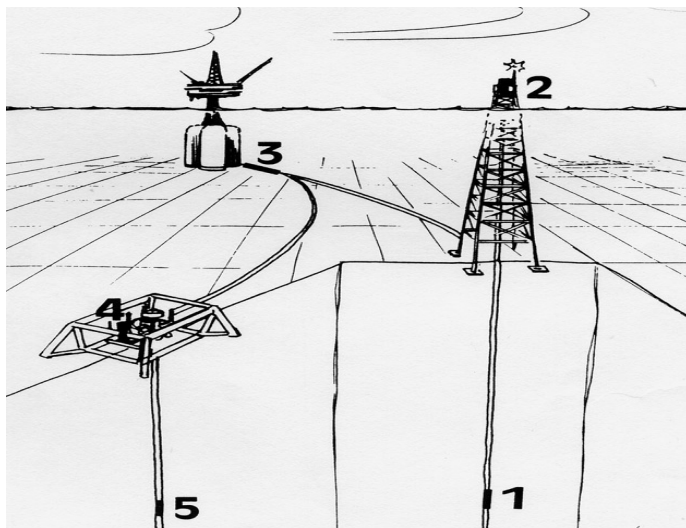


Fig. 2 "Twin-screw" prinsippet

- Dagens situasjon

Figur 3 viser eksempler på installasjonsområder for flerfasepumper. I dag benyttes den helico-aksiale flerfasepumpe hyppigst i industrien. Noen av fordelene med denne er at utstyrskostnadene reduseres på grunn av mindre komplekse løsninger som følge av en enkel oppbygning, noe som gjør den mindre plasskrevende og lettere i vekt. Dette er spesielt aktuelt på offshore installasjoner, hvor plassmangel er et problem. En økonomisk gevinst oppnås ved at man slipper separate rørledninger for gass og olje. Flerfasepumper opprettholder trykkforskjeller som trengs for å få væske til å strømme til prosessanlegg, noe som gjør det mindre kostbart å knytte sammen satelittfelt. Uten flerfasepumpe må man enten bygge nye konstruksjoner eller eventuelt skrinlegge utvinning fra det aktuelle satelittfelt. På samme måte kan man forlenge reservoarets levetid ved å øke trykket i brønner som ellers ville blitt stengt på grunn av trykkfall. En annen fordel er den preventive virkningen mot "back-pressure" og den reduserende virkningen på gasshydrat problemet.



1. Nedihullpumpe, topside installert
2. Overflateinstallasjon ("topside")
3. Flerfasepumpe installert i stigerør
4. Pumpe i undervannsinstallasjon
5. Nedihullpumpe, subsea installert

Fig. 3 Eksempler på installasjonsområder for flerfasepumper

Ved å installere en flerfasepumpe kan man senke brønnhodetrykket (skape en større trykkforskjell) og dermed øke brønnstrømmen. Denne trykkreduksjonen er initiell og det vil etter hvert opprettes en balanse mellom brønnhodetrykk, pumpetrykk og separator trykk (se figur 4). Dette kan gi en betydelig økt produksjon, og er en av flerfasepumpens store fordeler.

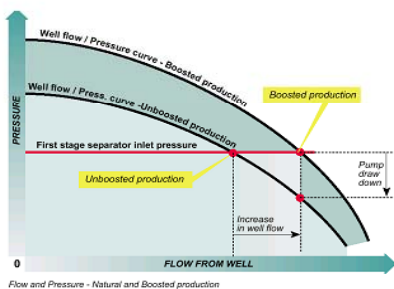


Fig. 4: Økt produksjon som følge av flerfasepumping topside

• Mulig installasjon Gullfaks C

Utfordringen i dette prosjektet var å se på effekten av å installere en flerfasepumpe på Gullfaks C. Problemet til Statoil er at en del brønner som i dag går inn på høytrykkseparatoren via høytrykksmanifolden på grunn av trykkfall, forventes å måtte bli flyttet til lavtrykksmanifolden. Dette vil imidlertid

kunne medføre kapasitetsbegrensninger på 2.trinns separator, og man vurderer derfor installasjon av en flerfasepumpe for å komprimere de aktuelle brønnstrømmene. Denne installasjonen vil i så fall plasseres mellom lavtrykksmanifold og høytrykkseparator slik at man får utnyttet ledig kapasitet i høytrykkseparatoren og samtidig avlastet lavtrykkseparatoren. En prinsippsskisse for mulig installasjon av flerfasepumpe på Gullfaks C er vist i figur 5.

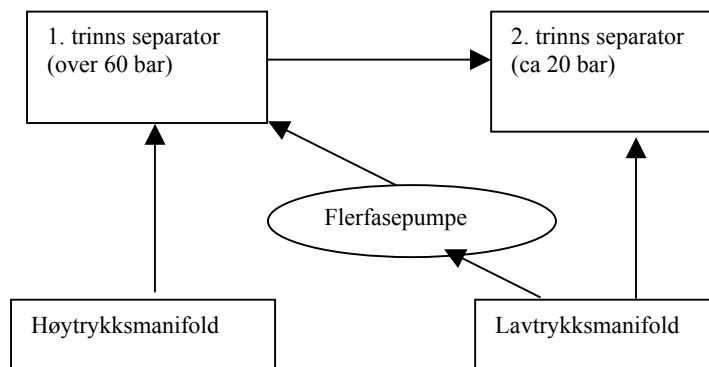


Fig. 5 Prinsippsskisse for installasjon av flerfasepumpe Gullfaks C

HYSYS Process

Prosesplanlegget på Gullfaks C er simulert med en "topside" flerfasepumpe installert nedstrøms lavtrykksmanifolden. Dette gjør det mulig å komprimere fluid fra lavtrykksmanifolden slik at denne strømmen, via en strøm-splitter, helt eller delvis kan rutes om til 1. trinns separator (høytrykks-separator). Fluidet komprimeres fra 18,5 barg til 64 barg i flerfasepumpa, noe som tilsvarer en trykkdifferanse på 45,5 bar. Flerfasepumpa er simulert med adiabatisk virkningsgrad på 45%.

Peng-Robinson er valgt som termodynamisk pakke for alle simuleringer, som for øvrig er foretatt for stasjonære tilstander. Dynamiske effekter er ikke simulert.

Prosesplanlegget på Gullfaks C består av to separasjonstog og to rekompresjonstog som kan kjøres i parallell. Togene er identiske med hensyn på kapasitet. Ved simulering i HYSYS er det antatt at togene kan simuleres som ett separasjonstog tilknyttet ett rekompresjonstog. De to innløpsseparatorene på Tordisanlegget er også simulert som en enhet. Olje fra Gullfaks B er utelatt fra simuleringene.

Glykolkontaktoren er simulert som en komponent splitter, det vil si en enhet som rent matematisk fjerner vannrestene i gassen.

Vannutskilleren nedstrøms 3.trinns separator er utelatt fra simuleringene. Kondensat fra væskeutskiller oppstrøms 1.trinns kompressor er ikke tilbakeført til prosessen. Væskeutskilleren nedstrøms glykolkontaktoren på Gullfaks C er utelatt fra simuleringene. I tillegg er reinjeksjonskompressoren, samt væskeutskilleren og gasskjøleren tilknyttet denne, utelatt fra simuleringene.

Simuleringer

Det ble simulert fire forskjellige caser i HYSYS. Hver case har gitte verdier for massestrømmer og vannkutt for innstrømmene fra høytrykksmanifold, lavtrykksmanifold og Tordisanlegget (se tabell 1 til 4). Vannkuttene i case 2 og 4 er økt med 10% i forhold til henholdsvis case 1 og 3. Case 1 og 2 er simulert med brønnkonfigurasjon tilsvarende den faktiske brønnkonfigurasjonen i februar 2001. Case 3 og 4 er simulert med en brønnkonfigurasjon ulik den for case 1 og 2, derfor forskjellige massestrømmer og vannkutt. Enkelte brønner med relativt lave brønnhodetrykk, som per februar 2001 er rutet til høytrykks separatoren, er for case 3 og 4 omkoblet til lavtrykksmanifolden.

Tabell 1: Massestrømmer og vannkutt for case 1

	Massestrøm [kg/h]	Vannkutt %
Fra lavtrykksmanifold	193000	64,6
Fra høytrykksmanifold	1458000	61,9
Fra Tordisanlegget	681000	20,7

Tabell 2: Massestrømmer og vannkutt for case 2

	Massestrøm [kg/h]	Vannkutt %
Fra lavtrykksmanifold	192400	71,1
Fra høytrykksmanifold	1454000	67,4
Fra Tordisanlegget	683300	22,8

Tabell 3: Massestrømmer og vannkutt for case 3

	Massestrøm [kg/h]	Vannkutt %
Fra lavtrykksmanifold	425600	54,2
Fra høytrykksmanifold	1187000	64,0
Fra Tordisanlegget	681000	20,7

Tabell 4: Massestrømmer og vannkutt for case 4

	Massestrøm [kg/h]	Vannkutt %
Fra lavtrykksmanifold	4271000	59,6
Fra høytrykksmanifold	1184000	70,4
Fra Tordisanlegget	683300	22,8

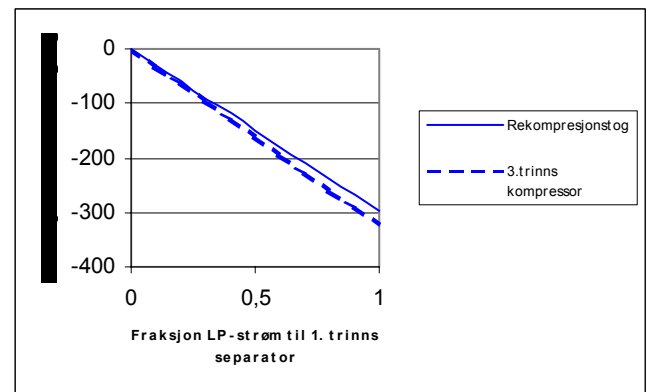
For hver case ble strømmene justert slik at mengde fluid gjennom flerfasepumpe varierte fra 0% til 100% av

totalstrømmen inn på lavtrykksmanifolden. Effektbehovene i rekompresjonstog og i flerfasepumpe, massestrøm for gass nedstrøms 2. trinns separator, samt mengde olje produsert ble notert for ulike fraksjoner av fluid gjennom flerfasepumpe.

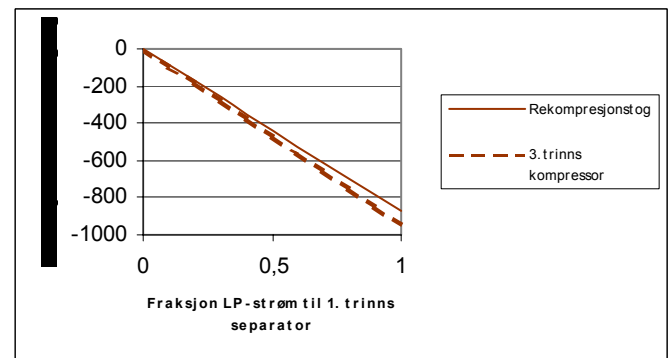
Resultater

- Simulering av effektbehov for rekompresjonstog

Figur 6 og 7 viser endring i effektbehov for 3.trinns kompressor sammenlignet med endring i det totale effektbehovet i rekompresjonstog for økende fraksjon LP-strøm til 1.trinns separator i case 1 og 3. LP-strøm betegner her mengde fluid fra lavtrykksmanifolden.



Figur 6: Endring i effektbehov for rekompresjonstog og 3.trinns kompressor for case 1.



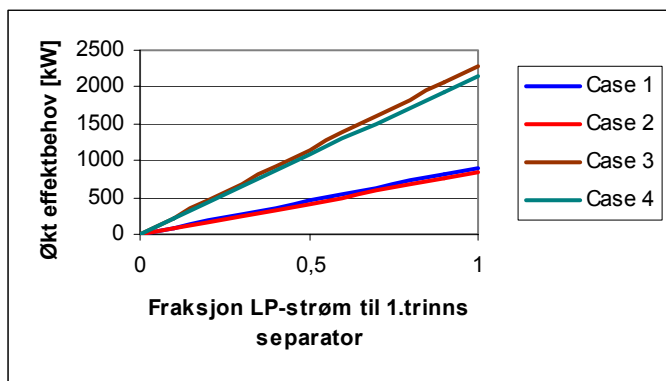
Figur 7: Endring i effektbehov for rekompresjonstog og 3.trinns kompressor for case 3.

Figurene 6 og 7 viser at ved å komprimere deler av strømmen fra lavtrykksmanifolden til 1.trinns separator, ved hjelp av en flerfasepumpe, reduseres det totale effektbehovet i rekompresjonstog. Kurvene viser også at reduksjonen i effektbehovet hovedsaklig skjer i 3. trinns kompressor.

- Endret totalt effektbehov ved installasjon av flerfasepumpe

Figur 8 viser hvordan det totale effektbehovet (rekompresjonstog og flerfasepumpe) varierer med fraksjon

LP-strøm til 1. trinns separator.



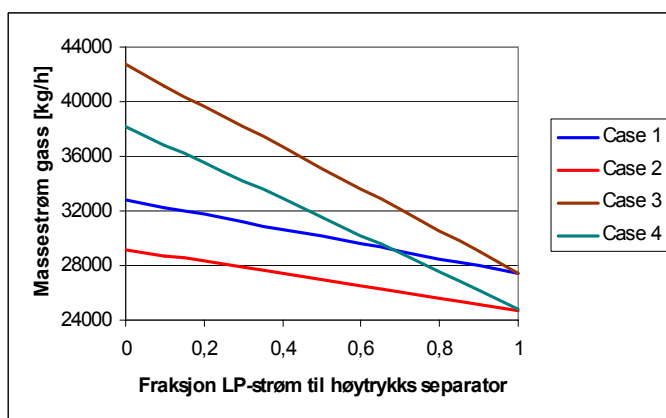
Figur 8: Endret totalt effektbehov som funksjon av fraksjon LP-strøm til 1. trinns separator for case 1 til 4.

Figur 8 viser at installasjon av flerfasepumpe etter modellen i simuleringene vil gi et økt totalt effektbehov. Totalt øker effektbehovet med ca 8,5% for case 1 og 2 og ca 21% for case 3 og 4 ved maksimal mengde fluid til høytrykks separator. For alle casene tilsvarer økningen i totalt effektbehov ca 75% av effektbehovet til flerfasepumpe. En eventuell installasjon vil kunne begrenses av mulighetene for energiproduksjon på plattformen.

Som ventet øker effektbehovet idet flere brønner rutes om fra høytrykksmanifolden til lavtrykksmanifolden i case 3 og 4. I tillegg viser kurvene at effektbehovet reduseres noe når vannkuttet økes i case 2 og 4.

• Simulering av gassmengde over 2. trinns separator

Figur 9 viser hvordan massestrøm gass nedstrøms 2. trinns separator varierer med volumstrøm gjennom flerfasepumpe for case 1 til 4.



Figur 9: Massestrøm nedstrøms 2. trinns separator som funksjon av fraksjon LP-strøm til høytrykks separator

Figur 9 viser som ventet at massestrøm gass nedstrøms 2. trinns separator reduseres ved økende mengde fluid rutet om fra lavtrykksmanifold til 1. trinns separator. Denne reduksjonen er tilnærmet lineær for alle casene. Reduksjonen for case 3 og

4 er ca. 35%, mens reduksjonen i case 1 og 2 er på henholdsvis 15 og 16%. Dette viser at effekten av flerfasepumping som metode for reduksjon av gassmengde ut av 2. trinns separator, er større desto flere brønner som er tilknyttet lavtrykksmanifolden.

• Simulering av oljeproduksjon

Simuleringene gir økt oljeproduksjon i forhold til gassproduksjon for case 1 til 4. Tabell 5 viser potensiell økt fortjeneste ved installasjon av flerfasepumpe for case 1 til 4. Fortjenestene er gitt for maksimal potensiell økning i produksjonsmengde. Pris per fat er satt til 20 USD. Dollarkursen er satt til 9 NOK per USD. Driftsregulariteten er satt til 340 dager per år.

Tabell 5: Maksimal potensiell økning i fortjeneste ved installasjon av flerfasepumpe.

	Økt oljeproduksjon (fat/år)	Økt fortjeneste (NOK)
Case 1	49377	8.9
Case 2	49080	8.8
Case 3	95985	17.3
Case 4	95805	17.2

• Simulering av oljeproduksjon

Tabell 5 viser at installasjon av flerfasepumpe gir økt produksjon av olje i forhold til gass med en gitt massestrøm til prosessanlegget. Den økte oljeproduksjonen skyldes at anlegget optimaliseres på en slik måte at større deler av fluidstrømmen separeres over alle tre trinnene. Den maksimale årlige økningen er for case 1 og 2 ca 50 000 fat olje, mens den for case 3 og 4 er ca 96 000 fat olje. Den økte oljeproduksjonen må imidlertid vurderes i sammenheng med økt effektbehov som følge av flerfasepumping.

Det er ikke mulig å simulere hvilken effekt flerfasepumping har på produksjonsrater fra lavtrykksbrønner, da HYSYS krever at massestrømmene inn på prosessanlegget defineres.

• Økonomiske vurderinger ved installasjon av flerfasepumpe

Installasjon av flerfasepumpe etter modellen simulert i oppgaven optimaliserer prosessanlegget noe med hensyn på oljeproduksjon i forhold til gassproduksjon. Simuleringene gir en maksimal potensiell fortjeneste på ca 17 MNOK pr. år. Dette må vurderes opp imot kostnadene forbundet med installasjon av en flerfasepumpe. For Gullfaks A tilsvarte dette 90 MNOK. Dette er imidlertid for en subsea pumpetype⁷, og kostnadene kan antagelig reduseres noe for en topsidepumpe. Pumpespesifikasjonene er svært forskjellige fra spesifikasjonene gitt av simuleringene. Kostnadene for Gullfaks A kan derfor kun brukes som en veiledende verdi. Flerfasepumping vil også medføre økte kostnader som følge

av økt energibehov.

Flerfasepumping vil øke produksjonsratene fra lavtrykksbrønner. I tillegg vil levetiden til lavtrykksbrønner kunne forlenges. Dette vil være en betydelig positiv økonomisk faktor.

Alternativet til flerfasepumping kan være å måtte senke trykket i produksjonsmanifoldene. Dette vil gi økt gassproduksjon og et større effektbehov i rekompresjonstoget samtidig som det kan medføre kapasitetsproblemer for prosessering av gass.

Konklusjon

Det er foretatt simuleringer av installasjon av "topside" flerfasepumpe på Gullfaks C. Simuleringene er gjort i HYSYS PROCESS 2.10. Flerfasepumpen er i simuleringene plassert nedstrøms lavtrykksmanifolden. Deler av strømmen fra lavtrykksmanifolden ble komprimert og rutet om til høytrykks separator via flerfasepumpen.

På grunn av store usikkerheter ved valg av sammensetning på fluidene i simuleringene, kan ikke resultatene vurderes kvantitativt. Imidlertid vil de kunne angi trender for endringer i effektbehov og oljeproduksjon som en følge av flerfasepumping.

Det totale effektbehovet i rekompresjonstoget reduseres ved økt mengde fluid til høytrykks separator. Reduksjonen skjer hovedsaklig i 3. trinns kompressor, der mengde gass reduseres med opptil 35% ved maksimal mengde fluid til høytrykks separator. Imidlertid vil det totale effektbehovet (rekompresjonstog og flerfasepumpe) øke med opptil 21%. Det totale effektbehovet i simuleringene øker med ca 75% av effektbehovet til flerfasepumpa.

Installasjon av flerfasepumpe gir en marginal økning i produksjon av olje i forhold til gass med en gitt massestrøm til prosessanlegget. Den økte oljeproduksjonen skyldes at anlegget optimaliseres på en slik måte at større deler av fluidstrømmen separeres over alle tre trinnene. Simuleringene gir en maksimal potensiell fortjeneste på ca 17 MNOK per år.

Alternativet til flerfasepumping kan være å måtte senke trykket i produksjonsmanifoldene. Dette vil gi økt gassproduksjon og et større effektbehov i rekompresjonstoget. Flerfasepumping vil øke produksjonsratene fra lavtrykksbrønner. I tillegg vil levetiden til lavtrykksbrønner kunne forlenges. Dette vil være en betydelig positiv økonomisk faktor

Installasjon av en "topside" flerfasepumpe på Gullfaks C vil, med bakgrunn i potensiell økt oljeproduksjon og forlengt levetid, være en lønnsom investering. Lønnsomheten kan økes ved å installere en ubenyttet flerfasepumpe fra Gullfaks B. Simuleringene i denne oppgaven er imidlertid preget av stor

usikkerhet, og kan ikke benyttes direkte til økonomisk analyse av en slik installasjon. Det er nødvendig å forbedre kvaliteten på de data som simuleringene baseres på. Spesielt gjelder dette sammensetningen på innstrømmer til prosessanlegget.

Referanser

Bakken L. (Lars.E.Bakken@maskin.ntnu.no), 29. mars 2001. RE: Flerfasepumpe-Eksperter i Team. E-mail til T.V.Stangeby (stangeby@stud.ntnu.no)

Dal Porto D.F. & Larson L.A., Multiphase-pump field trials demonstrate practical applications for the technology, 1997

Darrigan P.R., Multiohase boosting: Do we need this emerging technology?, Shell Internationale Petroleum Mij.

Elde J., Economics in and practical use of multiphase booster pumps, Offshore Technology Conference, 1998

Fauskanger L.R., (LFAU@Statoil.com), 14. februar 2001. RE: Forespørsel fra gruppe 5 i EiT ved NTNU. E-mail til Torstein Bakken (torsteba@stud.ntnu.no)

Framo Engineering AS: Artikler fra selskapets hjemmeside http://www.framoeng.no/multiphase_booster_pumps.htm

Gie P., Buvat P., Bratu C. & Durando P., Poseidon multiphase pump: Field tests results, Offshore Technology Conference, 1992

Gullfaksdatabasen, Institutt for Petroleumsteknologi, NTNU

Sigmundstad M., Multiphase boosting – Problem areas, NPF conference, 1989

Statoil: Buvik H., overingeniør, Gullfaks RESU HLSC

Statoil: Gullfaks Field Phase 1 Technical Data Report, GF-PETTEK-9800022R, mai 1998

Statoil: Reservoarstyringsplan for Gullfaksfeltet, GF-PETTEK-0000161 (okt. 2000)