

UNIVERSITET I OSLO
Det matematisk-
naturvitenskapelige fakultet

Optimalisering av oljeproduksjon under usikkerhet

Masteroppgave for graden
Master i Modellering og
dataanalyse med studieretning
Finans, forsikring og risiko

Kjell Andreas Solberg

Desember 2010



Innhold

1	Introduksjon	13
1.1	Bakgrunn og motivasjon	13
1.2	Problemdefinisjon	13
1.3	Oppbygning	14
2	Teori	15
2.1	Introduksjon	15
2.2	PPR-funksjoner	16
2.2.1	Arps PPR-funksjoner	16
2.2.2	Differensiallikningutvidelse av Arps-funksjonene	19
2.2.3	Modellering av eksterne faktorer i produksjon	21
2.3	Flere samtidige produksjonsprofiler	22
2.4	Optimalisering av produksjon ved konkave og konvekse PPR-funksjoner	24
2.5	Produksjonstrategier	27
2.5.1	Prioritetstrategier	27
2.5.2	Parametrisk produksjonstrategi	28
2.5.3	Høyere orden fastvektstrategier	29
2.6	Oppsummering	31

3	Simulering	32
3.1	Introduksjon	32
3.2	Simuleringsoppsett	32
3.3	Usikkerhet i simuleringene	34
3.3.1	Reservoar omprioriteringer	34
3.4	Parametrisk produksjonstrategisimuleringer	35
3.4.1	Søk i prioritetklassen \mathcal{B}_2^w	38
3.4.2	Automatisering av søk i alle \mathcal{B}_k^w -klasser	39
3.5	Oppsummering	40
4	Usikkerhet i produksjon med lineære PPR-funksjoner	41
4.1	Introduksjon	41
4.2	Usikkerhet i startratene	42
4.3	Usikkerhet i produksjon	44
4.4	Økt usikkerhet i produksjonen	47
4.5	Alternative adaptive prioritetstrategier	49
4.5.1	Adaptiv strategi i kontekst av identiske startratefordelinger	49
4.5.2	Startrateadaptiv streng prioritetsregel	51
4.5.3	Gjennomsnittadaptiv streng prioritetsregel	52
4.5.4	Gjennomsnittadaptiv streng prioritetsregel 2	53
4.5.5	Maxadaptiv prioritetstrategi	55
4.5.6	Maxadaptiv prioritetstrategi 2	57
4.6	Oppsummering	59

5	Usikkerhet i produksjon med konkave PPR-funksjoner	60
5.1	Introduksjon	60
5.2	Like reservoarer ved konkave PPR-funksjoner	62
5.2.1	Deterministisk produksjon	63
5.2.2	Usikkerhet i startratene	63
5.2.3	Usikkerhet i produksjonen	66
5.2.4	Sammenligning av de tre produksjonsimuleringene	67
5.3	Ulike reservoarer med konkave PPR-funksjoner	68
5.3.1	Deterministisk produksjon	68
5.3.2	Usikkerhet i startratene	69
5.3.3	Usikkerhet i produksjonen	70
5.3.4	Sammenligning av de tre produksjonsimuleringene	70
5.4	Oppsummering	72
6	Usikkerhet i produksjon med konvekse, harmoniske PPR-funksjoner	73
6.1	Introduksjon	73
6.2	Like reservoarer med konvekse PPR-funksjoner	74
6.2.1	Deterministisk produksjon	75
6.2.2	Usikkerhet i startratene	76
6.2.3	Usikkerhet i produksjonen	77
6.2.4	Sammenligning av de tre produksjonsimuleringene	79
6.3	Ulike reservoarer med konvekse PPR-funksjoner	80
6.3.1	Deterministisk produksjon	80
6.3.2	Usikkerhet i startratene	81

6.3.3	Usikkerhet i produksjonen	81
6.3.4	Sammenligning av de tre produksjonsimuleringene	83
6.4	Oppsummering	84
7	Utvidet usikkerhetsmodellering med konvekse, hyperbolske PPR-funksjoner	85
7.1	Introduksjon	85
7.2	Like reservoarer med konvekse, hyperbolske PPR-funksjoner	86
7.2.1	Deterministisk produksjon	86
7.2.2	Stokastisk produksjon	87
7.2.3	Sammenligning av produksjonsimuleringene	88
7.3	Ulike reservoarer med konvekse, hyperbolske PPR-funksjoner	89
7.3.1	Deterministisk produksjon	89
7.3.2	Stokastisk produksjon	90
7.3.3	Sammenligning av produksjonsimuleringene	90
7.4	Komplett stokastisk modell 1	92
7.4.1	Deterministisk produksjon	92
7.4.2	Stokastisk produksjon	93
7.4.3	Sammenligning av produksjonsimuleringene	94
7.5	Komplett stokastisk modell 2	96
7.5.1	Deterministisk produksjon	96
7.5.2	Stokastisk produksjon	97
7.5.3	Sammenligning av produksjonsimuleringene	98
7.6	Oppsummering	99

Figurer

3.1	Gjennomsnittligplataålgde plottet mot antall simuleringer.	33
4.1	Distribusjonene til plataålgdene for de to prioritetstrategiene. Venstre plot er distribusjonen til den strenge prioritetstrategien	43
4.2	Distribusjonene til plataålgdene for de to produksjonstrategiene. Rød kurve er fordelingen til den strenge prioritetstrategien.	43
4.3	Produksjonsratefunksjon uten irregularet til venstre, mens til høyre er det lagt på irregularet i produksjonen.	44
4.4	Plataålgdefordelinger for de ulike prioriteringsstrategiene med irregularet i produksjonen.	45
4.5	Omprioriteringsanssynligheten for den adaptive prioritetstrategien.	46
4.6	Plataålgdefordelinger med irregularet i intervallet [0.8,1] i produksjonen. . .	48
4.7	Omprioriteringsanssynligheten for den adaptive prioritetstrategien.	48
4.8	Sanssynlighet for at vi må omprioritere når vi har reservoarer med like startratefordelinger.	50
4.9	Omprioriteringsanssynlighet for den gjennomsnittligadaptive prioritetstrategien.	52
4.10	Sanssynligheten for at vi velger feil prioritet.	53
4.11	Plataålgde for de forskjellige observasjonsvinduene for irregularet i intervallet [0.8, 1.0] og [0.9, 1.0].	54
4.12	Omprioriteringsanssynlighet for den maxadaptive prioritetstrategien.	56
4.13	Sanssynligheten for å gjøre feil prioritering med hensyn på de egentlige startratene..	56

4.14	Omprioriterings sannsynlighet for den maxadaptive prioritetstrategien ved like startatefordelinger.	57
4.15	De oppnådde platalengdene for ulike lengder på observasjonsvinduet.	58
5.1	Produksjonsprofil med konkaveproduksjonsprofilfunksjoner.	62
5.2	Sannsynlighet for omprioritering for de adaptive prioritetstrategiene.	65
6.1	74
6.2	Sannsynligheten for at vi må omprioritere hvor hvert tidssteg for den maxadaptive og den adaptive prioritetstrategien.	78
7.1	Sannsynligheten for at vi må omprioritere hvor hvert tidssteg for den maxadaptive prioritetstrategien ved like reservoarer.	88
7.2	Sannsynligheten for at vi må omprioritere hvor hvert tidssteg for den maxadaptive prioritetstrategien ved ulike reservoarer.	91
7.3	Sannsynligheten for at vi må omprioritere hvor hvert tidssteg for den maxadaptive prioritetstrategien ved komplett stokastisk modell.	94

Tabeller

3.1	Tilgjengelig produksjonskapasitet for partisjonene i \mathcal{B}_2^w	38
4.1	Persentilene for de lognormale startratefordelingene.	42
4.2	Resultater ved usikkerhet i startratene og ikke noe usikkerhet i produksjon. . . .	42
4.3	Resultater for de to produksjonstrategiene når vi har lagt på irregularitet i produksjonen.	45
4.4	Resultater når vi har økt usikkerheten i produksjon til $[0.8, 1]$	47
4.5	Persentiler for de 5 lognormale startratefordelingene.	49
4.6	Resultat fra produksjonsimulering med reservoarer som har identiske startratefordelinger.	50
4.7	Startrateadaptiv prioritet resultater sammen med dens teoretiske øvre grense. . .	51
4.8	Resultat for den gjennomsnittadaptive prioritetstrategien.	52
4.9	Resultat for maxadaptiv prioritetstrategi.	55
5.1	Persentiler for de 5 lognormale startratefordelingene.	63
5.2	Result for deterministisk produksjon med konkave PPR-funksjoner og identiske reservoarer.	63
5.3	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for like reservoarer med konkave PPR-funksjoner. Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.	63
5.4	Resultater av produksjonsimulering med lognormale startratefordelinger. . . .	64

5.5	Resultat at produksjonsmodellering med lognormale startratefordelinger og irregulærhet i produksjon.	66
5.6	Resultat når vi har økt irregulærheten til å ligge i intervallet [0.8, 1.0].	66
5.7	Persentiler for de 5 ulike lognormale startratefordelingene.	68
5.8	Resultat for deterministisk produksjon.	68
5.9	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for ulike reservoarer med konkave PPR-funksjoner. Tallene i klammeparentes er reservoarets vekt.	69
5.10	Resultater av produksjonsmodellering med lognormale startratefordelinger.	69
5.11	Ulike reservoarer med irregulærhet i produksjonen.	70
6.1	Persentiler for de 5 lognormale startratefordelingene.	75
6.2	Resultat av deterministisk produksjonsmodellering med konvekse PPR-funksjoner og identiske reservoarer	75
6.3	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_4^w for like reservoarer med konvekse PPR-funksjoner. Tallene i klammeparentes er reservoarets vekt.	75
6.4	Resultat av produksjonsmodellering med lognormale startratefordelinger og konvekse PPR-funksjoner.	76
6.5	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i prioritetklasse \mathcal{B}_2^w . Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.	76
6.6	Resultat av produksjonsmodellering med lognormale startratefordelinger, irregulærheter i produksjonen i intervallet [0.9, 1.0] og konvekse PPR-funksjoner.	77
6.7	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i \mathcal{B}_2^w . Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.	77
6.8	Resultat av produksjonsmodellering med den teoretiske startrateadaptive prioritetstrategien. Det er lognormale startratefordelinger, irregulærheter i produksjonen i intervallet [0.9, 1.0] og konvekse PPR-funksjoner.	78
6.9	Persentilene for de lognormale startratefordelingene ved konvekse PPR-funksjoner.	80

6.10	Resultat av deterministisk produksjonsmodellering med konvekse PPR-funksjoner og ulike reservoarer	80
6.11	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for ulike reservoarer og konvekse PPR-funksjoner. Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.	81
6.12	Resultat for lognormale startratefordelinger med konvekse PPR-funksjoner på ulike reservoarer.	81
6.13	Resultat av produksjonsmodellering med lognormale startratefordelinger, irregulariteter i produksjonen i intervallet [0.9, 1.0] og konvekse PPR-funksjoner. . .	82
6.14	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i prioritetklasse \mathcal{B}_3^w . Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.	82
7.1	Persentiler for de 5 lognormale startratefordelingene.	86
7.2	Resultat av deterministisk produksjon med like reservoarer og hyperbolske PPR-funksjoner med $b = 0.7$	86
7.3	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_3^w for like reservoarer i en deterministisk modell.	87
7.4	Resultat fra stokastisk produksjonsmodellering med like reservoarer og hyperbolske PPR-funksjoner med $b = 0.7$	87
7.5	Persentilene for de lognormale startratefordelingene ved hyperbolske PPR-funksjoner.	89
7.6	Resultat fra deterministisk produksjonsmodellering med ulike reservoarer	89
7.7	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for ulike reservoarer i en deterministisk modell.	89
7.8	Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for ulike reservoarer i en stokastisk modell.	90
7.9	Persentiler for lognormalfordelte startrater, reservoarvolum og formparameter. .	92
7.10	Resultat fra deterministisk produksjonsmodellering for eksempel 1.	92
7.11	Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_4^w for den deterministiske produksjonsmodelleringen.	93

7.12	Resultat fra stokastisk produksjonsimulering for eksempel 1.	93
7.13	Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for den stokastiske produksjonsimuleringen.	93
7.14	Persentiler for lognormalfordelte startrater, reservoarvolum og formparameter.	96
7.15	Resultat fra deterministisk produksjonsimulering for eksempel 2.	96
7.16	Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_4^w for den deterministiske produksjonsimuleringen.	96
7.17	Resultat fra stokastisk produksjonsimulering for eksempel 2.	97
7.18	Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_3^w for den stokastiske produksjonsimuleringen.	97
7.19	Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_3^w for den stokastiske produksjonsimuleringen ved økning av simuleringer.	97

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Bakgrunn og motivasjon

Når olje fra flere reservoarer skal prosesseres ved samme prosessfasilitet, må den samlede prosesskapasiteten fordeles mellom de ulike reservoarene. Hvor mye av kapasiteten hvert av reservoarene får disponere, vil imidlertid påvirke lønnsomheten av produksjonen. I [1] ble dette problemet studert i en deterministisk ramme. I et slikt tilfelle vil hele produksjonsløpet være kjent før man i hele tatt starter opp produksjon, noe som er veldig urealistisk i en situasjon hvor man ofte støter på ikke-planlagte hendelser som komponentfeil og menneskelig svikt, og hvor man også ikke kan være helt sikker på at innsamlede reservoardataene er helt nøykatige. Det vil alltid ligge usikkerhet knyttet til reservoarmodellene man får fra geologiske undersøkelser som bør inkluderes i produksjonsmodellene. I [2] ble dette tatt hensyn til ved at det ble knyttet usikkerhet til reservoarenes initielle startrate. Svakheten med dette er derimot at når vi først har observert den initielle startraten vil resten av produksjonen være gitt av den modellen vi bruker, siden det antas at selve produksjonen påløper uten noen form for svikt eller uforutsette hendelser. For å få en mer realistisk modell bør det derfor også legges på usikkerhet knyttet til selve produksjonen, og da mer spesifikt selve produksjonsraten til reservoarene, for deretter å bruke dette som grunnlag for

1.2 Problemdefinisjon

I [1] ble det vist at ved en spesiell type produksjonsprofilfunksjon, den lineære produksjonsprofilfunksjonen, vil det være optimalt å bruke en såkalt prioritetstrategi. Vi skal undersøke om dette fortsatt er tilfelle når vi legger på usikkerhet i både reservoarets startrate og produksjonsrate, eller om det da vil være slik at det nå er optimalt å bruke en mer dynamisk og adaptiv strategi som hele tiden tilpasser seg forholdene.

Vi vil videre se på forskjellen mellom deterministisk og stokastisk produksjonsmodellering ved bruk av andre produksjonsprofilfunksjoner og se hvor mye, om noe, det er å hente ved å gjøre simuleringene i en stokastisk modell. Spesielt vil vi undersøke en produksjonstrategi som ble utledet i [3] og en tilhørende algoritme for å finne optimal slik produksjonstrategi, og forholdet mellom det deterministiske resultatet og det stokastiske resultatet.

1.3 Oppbygning

Denne oppgaven har følgende oppbygning. I kapittel 2 vil teori som omhandler produksjonsprofilfunksjoner, produksjonstrategier og optimering av disse bli gjennomgått. kapittel 3 vil ta for seg det praktiske aspektet som omhandler hvordan simuleringne har blitt gjennomført og hvilke utvidelser som har blitt gjort. I kapittel 4 vil vi undersøke lineære produksjonsprofilfunksjoner, kapittel 5 vil ta for seg konkave og kapittel 6 konvekse produksjonsprofilfunksjoner. Vi vil øke usikkerheten i modellen i kapittel 7 og se på en annen type konveks produksjonsprofilfunksjon, før vi avslutter med en oppsummering av våre funn i denne oppgaven i kapittel 8.

Kapittel 2

Teori

2.1 Introduksjon

På store olje og gassfelt er det som regel flere reservoarer som det produseres olje fra. Disse reservoarene deler ofte et prosesseringsanlegg som gjør at vi ikke kan trekke opp mer olje enn det anlegget til enhver tid kan prosessere. Hvis vi har reservoarer hvor den totale summen av olje som kan produseres overstiger prosesseringsanleggets kapasitet må vi strupe en eller flere av reservoarene slik at kapasiteten overholdes. Ved å definere strudefaktorer for hvert reservoar mellom 0 og 1 vil vi kunne regulere den totale produksjonen fra reservoarene samt bestemme hvilke reservoarer som skal strupes mest/minst for å kunne optimalisere produksjonen. Samlingen av alle disse strudefaktorene blir betegnet som en *produksjonsstrategi*, og det er denne produksjonsstrategien som vi er interessert i å maksimere med hensyn på noe målbart.

Vi skal i dette kapitlet se på teori som omhandler modelleringen av produksjonsprofiler for reservoarer fra [4] og [5], samt teorien rundt det å finne en optimal produksjonsstrategi når vi har flere reservoarer i et felt som er hentet fra [1]. Vi begynner dette kapitlet med å se på de potensielle produksjonsprofilratefunksjonene (PPR-funksjonene) og teori som omhandler dette hentet fra [4] og [5].

2.2 PPR-funksjoner

2.2.1 Arps PPR-funksjoner

I 1944 tok J. J. Arps for seg den tilgjengelige litteraturen av produksjonskurver fram til og med 1944. Her tok han for seg utviklingen til produksjonskurvene, karakteristikene til kurvene og den matematiske tilnærmingen som ble brukt for å kunne predikere fremtidig produksjon. Den enkleste tilnærmingen for produksjonskurvetilpassning er å anta at produksjonsraten til enhver tid er konstant i forhold til produksjonsrate på et tidligere tidspunkt. Denne var populær da ved plotting på en log-skala vil føre til at kurven blir en rett linje, og dermed lett å ekstrapolere videre slik at man kunne få approksimerte verdier for produksjonsrate frem i tid. I de fleste tilfeller viser det seg derimot at denne tilnærmingen er for optimistisk. Trykket i brønnen er som regel ikke proporsjonal med gjenværende olje, men faller etter jo mer olje som er tatt opp. Empiriske studier viser også at produktiviteten til reservoarene heller ikke er konstante, men faller jo større gass/olje-ratioen blir.

Isteden for å få en lineær kurve på en logskala, som da altså er en eksponentiell funksjon, så er det mer normalt å ha en konveks kurve som da får frem at produksjonsraten blir mindre når det gjenværende volumet synker. I det mest ekstreme tilfellet hvor det er et bratt fall i produksjonsraten for deretter å flate ut og få en lang hale ble betegnet som en harmonisk kurve. Mer vanlig var derimot en mellomting mellom den lineære og den harmoniske kurven betegnet som den hyperbolske kurven. Den eksponentielle var derimot en populær tilnærming da den var veldig lett analytisk i forhold til de to andre, samtidig som at svært mange produksjonsratekurver viser seg å ha en avtagning i produksjonsraten som er konstant i en begrenset tidsperiode.

Ut i fra dette konkluderte Arps med at det finnes tre typer PPR-funksjoner: eksponentiell, harmonisk og hyperbolsk. Den eksponentielle og harmoniske er grensetilfeller av den hyperbolske. Vi skal i de følgende tre subseksjoner presentere disse tre Arps funksjonene slik de er gitt i [5]. Alle tre har en startrateparameter r_0 og en skalaparameter D . Startraten er den produksjonsraten ved tid 0 som et reservoar gir. Dette kan for eksempel måles i antall Km^3 olje per dag et reservoar har mulighet til å pumpe ut. For at PPR-funksjonen skal gi noe mening må startraten tilfredsstillende $r_0 > 0$. Dette gjelder også for skalaparameteren slik at vi får $D > 0$. Vi vil anta at produksjonen starter ved t_0 . Produksjonsraten til et reservoar blir betegnet som $q(t)$ hvor $t \geq t_0$, og dens kumulative PPR-funksjon er gitt ved $Q(t)$, $t \geq t_0$.

Hyperbolsk PPR-funksjon

Den hyperbolske PPR-funksjonen har en formparameter b som ligger i det åpne intervallet $(0, 1)$ hvor grensetilfellet der $b \rightarrow 0$ og $b \rightarrow 1$ tilsvarer henholdsvis den eksponentielle og harmoniske Arps-kurven. Den hyperbolske PPR-funksjonen har følgende form:

$$q(t) = r_0[1 - bD(t - t_0)]^{-1/b}. \quad (2.1)$$

Den kumulative produksjonsfunksjonen fåes ved å integrere fra t_0 til t :

$$Q(t) = \int_{t_0}^t q(u)du = \frac{r_0}{D(1-b)} [1 - (1 + bD(t - t_0))^{1-1/b}]. \quad (2.2)$$

Siden eksponenten i den kumulative produksjonsratefunksjonen (2.2) er negativ vil den konvergere når $t \rightarrow \infty$. Verdien for denne grensen er gitt ved:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Q(t) = \frac{r_0}{D(1-b)}. \quad (2.3)$$

Det er derimot ikke vanlig at et reservoar blir produsert til det er helt tomt. Dette er ikke økonomisk lønnsomt ettersom reservoarenes produksjonsrater vil etter hvert være så lave at det koster mer å hente ut oljen enn det man får igjen for den. Det defineres derfor en kuttrate $r_c < r_0$ som er slik at hvis produksjonsraten faller under denne verdien så avsluttes produksjonen. Tiden t dette inntreffer kan vi finne ved å sette $q(t) = r_c$ og løse med hensyn på t . Løsningen er gitt ved følgende formel:

$$t_c = t_0 + \frac{1}{Db} \left[\left(\frac{r_0}{r_c} \right)^b - 1 \right]. \quad (2.4)$$

Setter vi t_c inn i (2.2), får vi ut et uttrykk for det teknisk mulige opptaksvolumet gitt kuttraten r_c :

$$V_r = Q(t_c) = \frac{r_0}{D(b-1)} \left[\left(\frac{r_0}{r_c} \right)^{b-1} - 1 \right]. \quad (2.5)$$

Ekspontiell PPR-funksjon

Den eksponentielle Arps-funksjonen får vi ved å la $b \rightarrow 0$ i den hyperbolske funksjonen (2.2). Dette resulterer i følgende produksjonsratefunksjon:

$$q(t) = r_0 \exp(-D(t - t_0)). \quad (2.6)$$

Dette får vi fra definisjonen av $\exp(-x)$ som er gitt ved:

$$\exp(-x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{-x}{n} \right)^n. \quad (2.7)$$

Å la $n \rightarrow \infty$ er ekvivalent med å la $b \rightarrow 0$ i funksjon (2.1).

Den kumulative produksjonsratefunksjonen til den eksponentielle Arps-funksjonen er gitt ved:

$$Q(t) = \int_{t_0}^t q(u)du = \frac{r_0}{D} [1 - \exp(-D(t - t_0))]. \quad (2.8)$$

Dette integralet konvergerer og det absolutt mulige opptaksvolumet finner vi ved å la t gå mot uendelig:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Q(t) = \frac{r_0}{D}. \quad (2.9)$$

Som med den hyperbolske PPR-funksjonen vil det også ved eksponentielle PPR-funksjoner være slik at en må kutte produksjonen på et eller annet tidspunkt t_c .

$$t_c = t_0 + \frac{1}{D} \ln\left(\frac{r_0}{r_c}\right). \quad (2.10)$$

Settes t_c inn i (2.8), får vi ut et uttrykk for det teknisk mulige opptaksvolumet gitt kuttraten r_c :

$$V_r = \frac{r_0 - r_c}{D}. \quad (2.11)$$

Harmonisk PPR-funksjon

Den siste Arps-produksjonprofilfunksjonen er den harmoniske, og fåes ved å sette $b = 1$ i den hyperbolske PPR-funksjonen (2.1). Produksjonsratefunksjonen til denne er gitt ved

$$q(t) = r_0[1 + D(t - t_0)]^{-1}. \quad (2.12)$$

Den kumulative produksjonsratefunksjonen er:

$$Q(t) = \int_{t_0}^t q(u) du = \frac{r_0}{D} \ln(1 + D(t - t_0)). \quad (2.13)$$

Dette er den eneste kumulative PPR-funksjonen, av de tre Arps-funksjonene, som ikke konvergerer når $t \rightarrow \infty$. Ved slike produksjonsprofiler er det helt nødvendig å kutte produksjonen på et tidspunkt t_c . Denne tiden blir

$$t_c = t_0 + \frac{1}{D} \ln\left(\frac{r_0}{r_c}\right), \quad (2.14)$$

og ved å sette dette uttrykket inn i (2.13) får man da det volumet som blir hentet opp av reservoaret

$$V_r = \frac{r_0 - r_c}{D}. \quad (2.15)$$

2.2.2 Differensiallikningutvidelse av Arps-funksjonene

Å modellere produksjonen med Arps PPR-funksjonene som ble presentert i forrige seksjon kan fort bli statisk. Det blir vanskelig å få med ulike former for beskrankninger, som for eksempel reparasjoner eller sub-optimalt produksjonsutstyr. Slike beskrankninger og uforutsette hendelser vil påvirke den kortsiktige produksjonsraten, men det volum olje som det er mulig å trekke opp fra reservoaret forblir det samme. Det som påvirkes er sluttiden av produksjonen siden beskrankningene fører til at det vil bli produsert mindre olje for hver tidsenhet enn det ville ha blitt gjort hvis det hadde blitt operert under optimale forutsetninger.

For å kunne modellere disse produksjonspåvirkningene, både den kortsiktige som gjør at produksjonsratene synker over et lite tidsintervall og den langsiktige som fører til at produksjonen vil måtte holde på lenger for å trekke opp samme antall liter olje som en måtte ha gjort hvis det ikke var noe som påvirket produksjonen, vil en differensiallikning være et godt valg. Med en slik modell vil beskrankninger lett kunne legges til produksjonsratefunksjonen som igjen automatisk vil bli reflektert i den kumulative produksjonsraten. Vi vil sette opp den generelle formen for en slik differensiallikning under, samt vise hvordan Arps-funksjonene kan skrives om til å være på denne formen.

La t_0 være tiden ved produksjonsstart. Relasjonen mellom produksjonsratefunksjonen, $q(t)$, og den kumulative produksjonsfunksjonen, $Q(t)$ for $t \geq t_0$, kan uttrykkes slik:

$$q(t) = f(Q(t)), \quad \forall t \geq t_0 \quad (2.16)$$

med $Q(t_0) = 0$ som endepunktbetingelse. Hvis f tilfredsstillers *Lipschitz-betingelsen* vil det finnes en unik løsning for (2.16).

Hyperbolsk Arps-differensiallikning

Ved å stokke litt om på uttrykkene i (2.2), kan $Q(t)$ uttrykkes slik:

$$\left[1 - \frac{D(1-b)}{r_0} Q(t)\right] = [1 + bD(t - t_0)]^{1-1/b}. \quad (2.17)$$

Hvis vi multipliserer begge sider med r_0 og opphøyer med $1/(b-1)$ vil høyre side i (2.17) bli lik $q(t)$ i funksjon (2.1), og den hyperbolske differensiallikningen blir da som følger:

$$q(t) = r_0 \left[1 - \frac{D(1-b)}{r_0} Q(t)\right]^{1/(1-b)}. \quad (2.18)$$

Ved å trekke ut $\frac{D(1-b)}{r_0}$ kan (2.18) skrives:

$$q(t) = r_0 \left(\frac{D(1-b)}{r_0}\right)^{1/(1-b)} \left[\frac{r_0}{D(1-b)} - Q(t)\right]^{1/(1-b)}. \quad (2.19)$$

Uttrykket i klammeparentesen er da hvor mye olje det er igjen i reservoaret ved tid t siden vi fra (2.3) har at det teoretisk mulige opptaksvolumet, estimert ved bruk av den hyperbolske Arps-funksjonen, er gitt ved $\frac{r_0}{D(1-b)}$.

Fra likning (2.18) ser vi at dette er en konveks funksjon, slik det ble gitt i J.J. Arps sin artikkel. Krumningen på kurven bestemmes ut fra b . Jo nærmere b er 1, jo mindre krumning blir det.

Ekspontiell Arps-differensiallikning

Den eksponentielle Arps-differensiallikningen kan lett utledes på samme måte som det ble gjort for den hyperbolske i forrige seksjon. Ved å stokke om på den kumulative produksjonsratefunksjonen i (2.8) får vi:

$$r_0 - DQ(t) = r_0 \exp(-D(t - t_0)) \quad (2.20)$$

Høyre side i likning (2.20) er den eksponentielle Arps-produksjonsratefunksjonen i likning (2.6). Den eksponentielle differensiallikningen blir da:

$$q(t) = r_0 - DQ(t). \quad (2.21)$$

Som for den hyperbolske differensiallikningen kan vi skrive om likning (2.21) slik at det blir uttrykk ved gjenværende volum:

$$q(t) = D\left[\frac{r_0}{D} - Q(t)\right]. \quad (2.22)$$

Ved å sammenligne (2.22) og (2.19) er (2.22) gitt ved å sette $b = 1$ i likning (2.19).

Det lineære forholdet mellom produksjonsraten og den kumulative produksjonsraten for den eksponentielle Arps-funksjonen kommer godt fram i funksjon (2.22). Det er tydelig at produksjonsraten er proporsjonal med gjenværende olje i reservoaret.

Harmonisk Arps-differensiallikning

I samme ånd som i de to foregående seksjonene skal vi her utlede differensiallikningen for den harmoniske Arps-funksjonen. Funksjonen (2.13) kan skrives om til følgende form:

$$\frac{DQ(t)}{r_0} = \ln(1 + D(t - t_0)). \quad (2.23)$$

Ved å opphøye begge sider i exp, invertere og multiplisere med r_0 blir (2.23) som følger:

$$r_0 \exp\left(-\frac{DQ(t)}{r_0}\right) = r_0 [1 + D(t - t_0)]^{-1}. \quad (2.24)$$

Høyre side i 2.24 gjenkjenner vi som (2.12) som er den harmoniske Arps-produksjonsratefunksjonen. Differensiallikningen blir da:

$$q(t) = r_0 \exp\left(-\frac{DQ(t)}{r_0}\right). \quad (2.25)$$

2.2.3 Modellering av eksterne faktorer i produksjon

Ved bruk av de utledede differensiallikningene er det lett å legge på eksterne faktorer som påvirker produksjonen, og som samtidig opprettholder koblingen mellom produksjonsrate og den kumulative produksjonsraten. Vi skal se på 2 slike eksterne faktorer som påvirker produksjonen. Den ene faktoren er en kapasitetsbegrensning på produksjonsutstyret. Dette kan for eksempel være tykkelsen på rørene som brukes. Jo tykkere rør man har, jo flere liter olje per sekund er det mulig å trekke opp. I det generelle tilfelle så kan dette være en funksjon av tiden da det for eksempel kan hende at rørene blir byttet ut på et fremtidig tidspunkt i produksjon. I denne oppgaven skal vi derimot anta at dette ikke vil skje, og bare ta for oss konstant kapasitetsbegrensning. PPR-funksjonen ved en slik kapasitetsbegrensning vil ha følgende form:

$$q(t) = \min\{c(t), f(Q(t))\}, \quad \forall t \geq t_0, \quad (2.26)$$

hvor vi må ha at $c(t)$ alltid er ikke-negativ. Så lenge f er Lipschitz-kontinuerlig vil også q være det, og dermed vil det fortsatt være en unik løsning for den kombinerte PPR-funksjonen. Når $c(t)$ er mindre enn produksjonsraten til reservoaret, og $f(Q(t))$ er gitt som i (2.22) vil dette bli en konkav funksjon. Denne typen PPR-funksjon vil vi undersøke i kapittel 5.

Den andre typen eksterne faktor er irregulareteter i produksjonen. Dette vil vil være ujevnheter i produksjonen som følge av for eksempel komponent feil, menneskelig svikt, produksjonsstop etc. Alle disse faktorene fører til at produksjonsraten fra et reservoar faller, og det blir dermed forsinkelser i produksjonen. Irregulareteten vil bli modellert ved at den teoretiske produksjonsraten fra hvert reservoar, som vil være den produksjonsraten man får ved bruk av en deterministisk produksjonsmodellering, vil bli multiplisert med et tall i et intervall $[a, b]$ der $a < b, a > 0, b \leq 1.0$. I de eksemplene som vil bli undersøkt i denne oppgaven vil $b = 1.0$ og a vil enten være 0.9 eller 0.8. Fordelingen til tallene som blir trukket fra dette intervallet vil være normalfordelte og tidsavhengige. Dette gjøres ved å generere en normalfordelt prosess $\{U(t)\}$ med følgende forventning og kovarians:

$$E[U(t)] = 0 \quad \text{for alle } t \geq 0$$

$$\text{Cov}[U(s), U(t)] = \rho^{|t-s|} \quad \text{for alle } t, s \geq 0,$$

hvor vi har satt $\rho = 0.8$ i denne oppgaven. Grunnen til at irregularetetene har en kovarians ulik 0 er fordi det er naturlig at hendelser som påvirker produksjon vil ha noe med hverandre å gjøre. Denne avhengigheten vil avta jo større tid det er mellom hendelsene.

For at den trukket normalfordelte variabelen skal ligge i intervallet $[a, b]$ brukes følgende formel

$$r(t) = a + (b - a) \cdot \Phi(U(t)), \quad (2.27)$$

hvor da $r(t)$ da er den andelen av den egentlige produksjonsraten som faktisk blir produsert.

2.3 Flere samtidige produksjonsprofiler

I de fleste tilfeller vil det være interessant å modellere flere produksjonsprofiler samtidig. I så tilfelle vil det dukke opp kapasitetsbegrensninger. Det vil som oftest være et felles produksjonsanlegg og total produksjon fra reservoarene må holde seg under den kapasiteten anlegget har mulighet til å prosessere til enhver tid. Vi skal i denne seksjonen ta for oss teori, hentet fra [1], som omhandler optimalisering av produksjon ved flere reservoarer når det er en kapasitetsbegrensning som må overholdes. Vi begynner med definisjoner og noen grunnleggende resultater.

Vi skal betrakte et oljefelt bestående av n reservoarer som deler et prosesseringsanlegg med en konstant kapasitet på $K > 0$ kSm³ olje per dag. $\mathbf{Q}(t) = (Q_1(t), \dots, Q_n(t))$ er vektoren med de kumulative produksjonsfunksjonene for de n reservoarene, og $\mathbf{f}(t) = (f_1(t), \dots, f_n(t))$ er PPR-funksjonene som de ble definert i seksjon 2.2.2. Det vil antas at f_i ikke er negativ og ikke-økende som en funksjon av $Q_i(t)$ for $i = 1, \dots, n$ og for alle t , samt at $\lim_{t \rightarrow \infty} Q_i(t) = V_i < \infty$ hvor V_i er mulige opptaksvolumet fra reservoar i . Det vil også antas at f_i er Lipschitz-kontinuerlige i $Q_i, i = 1, \dots, n$ for å sikre unikhet for PPR-funksjonene.

En produksjonstrategi er en vektor $\mathbf{b} = \mathbf{b}(t) = (b_1(t), \dots, b_n(t))$ definert for alle t . $b_i(t)$ er strupningsfaktoren for reservoar i , og blir brukt for å senke produksjonsratene slik at den totale produksjonen for alle reservoarene, gitt ved $q(t) = \sum_{i=1}^n q_i(t)$, ikke vil overstige K . Den reelle produksjonsraten etter at produksjonen har blitt strupet er gitt ved:

$$\mathbf{q}(t) = (q_1(t), \dots, q_n(t)),$$

hvor

$$q_i(t) = \frac{dQ_i(t)}{dt} = b_i(t) f_i(Q_i(t)), \quad i = 1, \dots, n, t \geq 0$$

For at strupefaktorene skal gi mening vil en implisitt begrensning på disse være at de reelle produksjonsratene overholder følgende ulikhet:

$$0 \leq q_i(t) \leq f_i(Q_i(t)), \quad i = 1, \dots, n, t \geq 0, \quad (2.28)$$

og

$$q(t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) \leq K, \quad t \geq 0. \quad (2.29)$$

Vi kan se at dette impliserer da at strupefaktorene må ligge i intervallet $[0, 1]$, noe som virker logisk da vi ikke kan oppnå negative produksjonsrater eller at produksjonsratene øker over det som er teoretisk mulig. Produksjonstrategiene som oppfyller (2.29) og (2.28) kalles gyldige produksjonstrategier og vil bli betegnet med \mathcal{B} .

Når strupefaktorene må ligge i intervallet $[0, 1]$ vil det være logisk at ved lavere strupefaktorer så vil produksjonen gå saktere enn ved bruk av større strupefaktorer. Følgende fundamentale proposisjon formaliserer denne påstanden.

Proposisjon 2.3.1 *Betrakt et reservoar med PPR-funksjon $f(t) = f(Q(t))$, og la b^1 og b^2 være to strudefaktorer slik at $0 \leq b^1(t) \leq b^2(t) \leq 1$ for alle $t \geq 0$. La nå Q^1 og Q^2 være de resulterende kumulative produksjonsratefunksjonene, og la $q^1(t) = b^1(t)f(Q^1(t))$ og $q^2(t) = b^2(t)f(Q^2(t))$ være de korresponderende reelle produksjonsratene. Vi antar at $Q^1(0) = Q^2(0) = 0$. Da vil $Q^1(t) \leq Q^2(t)$ for alle $t \geq 0$.*

2.4 Optimalisering av produksjon ved konkave og konvekse PPR-funksjoner

For å kunne evaluere og sammenligne ulike produksjonstrategier er det hensiktsmessig å definere en objektivfunksjon $\phi : \mathcal{B} \rightarrow \mathbb{R}$ som vil måle hvordan en produksjonstrategi presterer. Den produksjonstrategien som gir den høyeste verdien av objektivfunksjonen vil være å foretrekke. Mer formelt så vil, gitt $\mathbf{b}^1, \mathbf{b}^2 \in \mathcal{B}$, \mathbf{b}^2 være å foretrekke isteden for \mathbf{b}^1 hvis $\phi(\mathbf{b}^2) \geq \phi(\mathbf{b}^1)$. Den optimale produksjonstrategien $\mathbf{b}^{opt} \in \mathcal{B}$ vil, med hensyn på ϕ , være slik at $\phi(\mathbf{b}^{opt}) \geq \phi(\mathbf{b})$ for alle $\mathbf{b} \in \mathcal{B}$. I denne oppgaven skal vi bruke platå lengden som objektivfunksjon. I det stokastiske tilfellet der vi må bruke flere simuleringer for å en tilnærming til forventet platå lengde, blir objektivfunksjonen gjennomsnittet av alle observerte platå lengder. En mer detaljert innføring i objektivfunksjoner er å finne i [1].

For å kunne presentere de to teoremene som tar for seg henholdsvis det konvekse og konkave tilfellet, og hvor en kan forvente å finne den optimale produksjonstrategien vil vi først måtte definere noen sett og proposisjoner som gir grunnlag for teoremene. Dette stoffet er hentet fra [1].

Vi begynner med det totale settet av alle mulige volum fra alle reservoarene:

$$\mathcal{Q} = [0, V_1] \times \cdots \times [0, V_n], \quad (2.30)$$

hvor V_1, \dots, V_n er det volum olje som det er mulig å hente opp fra de n reservoarene. Dette settet kan brukes til å definere de to følgende sett:

$$\mathcal{M} = \{\mathbf{Q} \in \mathcal{Q} : \sum_{i=1}^n f_i(Q_i) \geq K\}, \quad (2.31)$$

$$\bar{\mathcal{M}} = \{\mathbf{Q} \in \mathcal{Q} : \sum_{i=1}^n f_i(Q_i) < K\}. \quad (2.32)$$

\mathcal{M} er der produksjonen ligger på platået mens i $\bar{\mathcal{M}}$ ligger den totale produksjonen under platået. Grensesettet mellom disse to settene betegnes med $\partial(\mathcal{M})$. Mer presist har vi at $\mathbf{Q} \in \partial(\mathcal{M})$ hvis og bare hvis et hvert nabolag til \mathbf{Q} er en del av både \mathcal{M} og $\bar{\mathcal{M}}$.

Siden vi har antatt at $\sum_{i=1}^n f_i(0) > K > 0$ og $\sum_{i=1}^n f_i(V_i) = 0$ vil ikke \mathcal{M} og $\bar{\mathcal{M}}$ være tomme sett, og siden PPR-funksjonene er antatt å være kontinuerlige så har vi følgende faktum:

$$\partial(\mathcal{M}) = \{\mathbf{Q} \in \mathcal{Q} : \sum_{i=1}^n f_i(Q_i) = K\}, \quad (2.33)$$

hvor likhet bare inntreffer når PPR-funksjonene er strengt avtagende.

Følgende proposisjon viser hvordan formen på settene \mathcal{M} og $\bar{\mathcal{M}}$ er gitt av formen på PPR-funksjonene.

Proposisjon 2.4.1 *Gitt et felt med n reservoarer med PPR-funksjoner f_1, \dots, f_n .*

(i) *Hvis f_1, \dots, f_n er konvekse så er $\bar{\mathcal{M}}$ konveks.*

(ii) *Hvis f_1, \dots, f_n er konkave så er \mathcal{M} konveks.*

Som sagt ved definisjonen av \mathcal{M} er det mulig å produsere på plataet så lenge $\mathbf{Q} \in \mathcal{M}$. Dette impliserer, sammen med $\mathbf{Q}(0) = \mathbf{0}$ og kontinuerlige PPR-funksjoner, at med hvilken som helst produksjonstrategi \mathbf{b} så vil $\mathbf{Q}(t)$ bevege seg langs en sti i \mathcal{B} helt til grensen $\partial(\mathcal{M})$ blir truffet. Hvis $\mathbf{b} \in \mathcal{B}$ kalles dette en gyldig sti, mens ved $\mathbf{b} \in \mathcal{B}'$ er dette en admisibel sti. Antall admisibel stier er som regel mindre enn gyldige stier, og kan betegnes som sub-settet $\mathcal{M}' \subseteq \mathcal{M}$ med et grensesett gitt ved $\partial(\mathcal{M}') = \partial(\mathcal{M}) \cap \mathcal{M}'$. Grensesettet til dette settet er gitt ved $\partial(\partial(\mathcal{M}'))$, og hvor alle punktene kan bli nådd ved bruk av en admisibel sti.

Det som gjenstår er utvide definisjonen av ϕ til å kunne ta alle $\mathbf{Q} \in \mathcal{Q}$ som argument, samt å anta at den utvidede objektivfunksjonen ϕ ikke er avtagende. At ϕ skal være ikke-avtagende betyr at for $\mathbf{Q}^1, \mathbf{Q}^2 \in \mathcal{Q}$ hvor $\mathbf{Q}^1 \leq \mathbf{Q}^2$, så har vi at $\phi(\mathbf{Q}^1) \leq \phi(\mathbf{Q}^2)$.

Det punktet i $\partial(\mathcal{M}')$ som en optimal produksjonstrategi \mathbf{b}^{opt} bør komme til ved konvekse PPR-funksjoner kan nå gis i følgende teorem:

Teorem 2.4.2 *Betrakt et felt med n reservoarer med konvekse PPR-funksjoner f_1, \dots, f_n . La ϕ være en symmetrisk og monoton objektivfunksjon. Anta at ϕ , som en funksjon av \mathbf{Q} , kan bli utvidet til en ikke-avtagende, kvasi-konveks funksjon¹ definert på settet \mathcal{Q} . Da vil en optimal vektor \mathbf{Q}^{opt} , som er en vektor som maksimiserer $\phi(\mathbf{Q})$ med hensyn på $\mathbf{Q} \in \partial(\mathcal{M}')$, alltid kunne bli funnet i settet $\partial(\partial(\mathcal{M}'))$.*

Fra [1] har vi at en produksjonstrategi $\mathbf{b} \in \mathcal{B}'$ er unikt bestemt ved $\mathbf{Q}(T_K(\mathbf{b}))$ gir derfor dette teoremet oss hvordan vi kan finne en optimal produksjonstrategi når PPR-funksjonene er konvekse.

Siden det er antatt at PPR-funksjonene er ikke-økende som en funksjon av \mathbf{Q} , vil vi for en vilkårlig $\mathbf{Q} \in \mathcal{M}$ alltid kunne finne en $\mathbf{Q}' \in \partial(\mathcal{M})$ slik at $\mathbf{Q} \leq \mathbf{Q}'$. Da den utvidede objektivfunksjonen ϕ er ikke-avtagende får vi da at $\phi(\mathbf{Q}) \leq \phi(\mathbf{Q}')$. Nærmere bestemt har vi også hvis $\mathbf{Q}^* \in \partial(\mathcal{M})$ maksimerer ϕ over settet $\partial(\mathcal{M})$ vil $\phi(\mathbf{Q}^*) \geq \phi(\mathbf{Q})$ for alle $\mathbf{Q} \in \mathcal{M}$. Hvis vi nå definerer settet \mathcal{N} :

$$\mathcal{N} = \{\mathbf{Q} \in \mathcal{Q} : \phi(\mathbf{Q}) > \phi(\mathbf{Q}^*)\}, \quad (2.34)$$

ser vi at dette er disjunkt sett til \mathcal{M} siden $\phi(\mathbf{Q}^*) \geq \phi(\mathbf{Q})$ for alle $\mathbf{Q} \in \mathcal{M}$. Dette settet er essensielt for følgende teorem som gir oss det punktet som gir en optimal platå lengde ved konkave PPR-funksjoner.

Teorem 2.4.3 *Betrakt et felt med n reservoarer med konkave PPR-funksjoner f_1, \dots, f_n . La ϕ være en symmetrisk og monoton objektivfunksjon. Anta at ϕ , som en funksjon av \mathbf{Q} , kan bli*

¹en.wikipedia.org/wiki/Quasiconvex_function

utvidet til en ikke-avtagende, kvasi-konkav funksjon definert på settet \mathcal{Q} . Anta videre at vektoren \mathbf{Q}^* maksimerer $\phi(\mathbf{Q})$ med hensyn på $\mathbf{Q} \in \partial(\mathcal{M})$, og at settet \mathcal{N} definert relativt til \mathbf{Q}^* som i (2.34) ikke er tomt. Da eksiterer det et hyperplan $H = \{\mathbf{Q} : \ell(\mathbf{Q}) = c\}$ som separerer \mathcal{M} og \mathcal{N} . Hvis dessuten ϕ er strengt stigende i \mathbf{Q}^* vil H støtte \mathcal{M} i \mathbf{Q}^* . Hvis i tillegg $\mathbf{Q}^* \in \partial(\mathcal{M}')$ så er $\mathbf{Q}^{opt} = \mathbf{Q}^*$.

2.5 Produksjonstrategier

Vi skal i denne seksjonen se nærmere på de to hovedgruppene av produksjonstrategier som skal brukes i denne oppgaven. Variasjoner av disse vil også bli brukt i denne oppgaven, men disse vil bli definert i de respektive kapitelen de blir brukt.

2.5.1 Prioritetstrategier

En prioritetstrategi er en type produksjonstrategi som rangerer reservoarene i et felt etter et valgt kriterium. Dette kriteriet kan for eksempel være startraten til reservoarene, volum, eller andre faktorer som det gir mening å rangere reservoarene etter. Den følgende definisjonen gir en mer formell beskrivelse av prioritetstrategien.

Definisjon 1 Betrakt et felt med n reservoarer med PPR-funksjoner f_1, \dots, f_n , og la $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_n)$ være en permutasjonvektor som representerer prioritetrekkfølgen på reservoarene. Da er en prioritetstrategi med hensyn på π definert ved å la produksjonratene ved tid t , $q_1(t), \dots, q_n(t)$, være gitt ved:

$$q_{\pi_i}(t) = \min[f_{\pi_i}(Q_{\pi_i}(t)), K - \sum_{j < i} q_{\pi_j}(t)], \quad i = 1, \dots, n. \quad (2.35)$$

Reservoar π_i får altså produsert uten å bli strupet hvis produksjonsraten $q_{\pi_i}(t)$ er mindre enn den gjenværende kapasiteten $K - \sum_{j < i} q_{\pi_j}(t)$ etter at de j første reservoarene har tatt sitt. Hvis reservoar π_i får produsert uten å bli strupet vil neste felt i prioritetrekkfølgen få mulighet til å produsere med den gjenværende kapasiteten som begrensning. Hvis derimot reservoar π_i blir strupet vil all gjenværende kapasitet bli brukt på dette reservoaret. Alle reservoar som kommer etter reservoar π_i vil bli strupet helt, slik at vi får $b_{\pi_j} = 0$ for $j = i + 1, \dots, n$. Dette kan sees ved å uttrykke prioritetstrategien ved bruk av strupefaktorene $b_1(t), \dots, b_n(t)$ ved tid t .

$$b_{\pi_i}(t) = \min\left[1, \frac{K - \sum_{j < i} q_{\pi_j}(t)}{f_i(Q_i(t))}\right], \quad i = 1, \dots, n. \quad (2.36)$$

Dette uttrykket får vi ved å bruke at $q_i(t) = b_i(t)f_i(Q_i(t))$, og dele begge sider i (2.35) på $f_{\pi_i}(Q_{\pi_i}(t))$. Hvis $f_{\pi_i}(Q_{\pi_i}(t)) = 0$ kan b_{π_i} settes til et vilkårlig tall. For å være konsistente er det greit å sette $b_{\pi_i} = 1$.

Optimalisering av produksjon ved lineære PPR-funksjoner

I motsetning til i de konkave og konveksetilfellene, er det ved lineære PPR-funksjoner en fast oppskrift for hvordan man finner optimal produksjonstrategi.

Vi antar at vi har et felt med n reservoarer med PPR-funksjoner på følgende form:

$$f_i(Q_i(t)) = D_i(V_i - Q_i(t)), \quad i = 1, \dots, n, \quad (2.37)$$

hvor V_1, \dots, V_n er mulig opptaksvolum for de n reservoarene. Vi antar også at reservoarene har blitt ordnet slik at $0 < D_1 \leq D_2 \leq \dots \leq D_n$. Da har vi følgende resultat:

Teorem 2.5.1 *Betrakt et felt med n reservoarer med lineære PPR-funksjoner f_1, \dots, f_n gitt ved (2.37). La så \mathbf{b}^1 være prioritetstrategien som hører til permutasjonen $\pi = (1, 2, \dots, n)$, og la \mathbf{b}^2 være en hvilken som helst annen gyldig produksjonstrategi. Da vil $Q(t, \mathbf{b}^1) \geq Q(t, \mathbf{b}^2)$ for alle $t \geq 0$. Dermed er \mathbf{b}^1 optimal med hensyn på enhver symmetrisk, monoton objektivfunksjon.*

Teoremet sier altså at det er optimalt å prioritere det reservoaret med den laveste D -parameteren først, så den med nest lavest D -parameter, etc.

2.5.2 Parametrisk produksjonstrategi

Den parametriske produksjonstrategien er utledet i [3] og tar utgangspunkt i følgende korollar for å finne en optimal produksjonstrategi:

Korollar 2.5.2 *La ϕ være en symmetrisk monoton objektivfunksjon og la $\mathcal{C} \subseteq \mathcal{B}'$ være en klasse av admissible produksjonstrategier slik at for alle $\mathbf{Q}^* \in \partial(\mathcal{M}')$ eksisterer det en $\mathbf{b}^* \in \mathcal{C}$ slik at $\mathbf{Q}(T_K(\mathbf{b}^*)) = \mathbf{Q}^*$. Da vil en optimal produksjonstrategi med hensyn på ϕ alltid kunne bli funnet i klassen \mathcal{C} .*

Den parametriske produksjonstrategien tar utgangspunkt i en symmetrisk produksjonstrategi der alle reservoarene har samme strupefaktor, $b_i(t) = c(t)$, $i = 1, \dots, n$, og bygger videre på denne slik at strupefaktorene kan variere mellom $[0, 1]$ og fortsatt være i klassen \mathcal{B}' . For at den symmetriske produksjonstrategien skal være admisibel må $c(t)$ være definert slik at følgende likhet holder:

$$\sum_{i=1}^n c(t) f_i(Q_i(t)) = \min\{K, \sum_{i=1}^n f_i(Q_i(t))\}, \quad (2.38)$$

som da fører til, ved $0 \leq t \leq T_K$, at $c(t)$ må være lik:

$$c(t) = \frac{K}{\sum_{i=1}^n f_i(Q_i(t))}, \quad (2.39)$$

der $c(t) = 1$ for $t > T_K$.

For å kunne la strupefaktorene være forskjellige slik at produksjonskapasiteten kan bli fordelt asymmetrisk utvides de nå til:

$$b_i(t) = \min\{1, w_i c(t)\} = \min\left\{1, \frac{w_i K}{\sum_{j=1}^n w_j f_j(Q_j(t))}\right\}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2.40)$$

hvor w_1, \dots, w_n er positive reelle tall. For å opprettholde at \mathbf{b} er en admisibel produksjonstrategi må $c(t)$ tilfredsstillte:

$$\sum_{i=1}^n \min\{1, w_i c(t)\} f_i(Q_i(t)) = \min\{K, \sum_{i=1}^n f_i(Q_i(t))\}, \quad (2.41)$$

Det er vist i [5] at det alltid kan finnes en slik $c(t)$, samt formen på denne som vi vil bruke i simuleringne i denne oppgaven.

Ved å la vektene w_1, \dots, w_n variere i \mathbb{R}_+^n får vi en klasse av admisible produksjonstrategier. Denne blir kalt første orden fastvektstrategier, og betegnes med \mathcal{B}_1^w . Siden denne klassen bare inneholder admisible produksjonstrategier har vi også at $\mathcal{B}_1^w \subseteq \mathcal{B}'$, og dermed vil det alltid kunne bli funnet en optimal produksjonstrategi i \mathcal{B}_1^w i følge korollar 2.5.2.

Søket etter en optimal vektor innen klassen \mathcal{B}_1^w kan forenkles ved å bruke det at \mathbf{b} , slik den er definert i (2.40), er invariant til skalatransformasjoner og dermed kan dimensjonen på vektvektoren (w_1, \dots, w_n) reduseres til \mathbb{R}_+^{n-1} . Grunnen til at strupefaktorene i (2.40) er invariante til skalatransformasjoner ser vi ved å bytte ut \mathbf{w} med $\tilde{\mathbf{w}} = \lambda \mathbf{w}$, $\lambda > 0$ som fører til at $c(t)$ blir byttet ut med $\tilde{c}(t) = \lambda^{-1} c(t)$, og dermed er strupefaktorene definert i (2.40) uforandret.

2.5.3 Høyere orden fastvektstrategier

Ved å kombinere prioritetstrategi og første orden fastvektstrategier er det mulig å konstruere høyere orden fastvektstrategier, kalt k . orden fastvektstrategier og er betegnet med \mathcal{B}_w^k . En slik produksjonstrategi konstrueres ved å dele opp reservoarene i partisjoner $\{A_j\}_{j=1}^k$. Innad i hver partisjon kan reservoarene prioriteres etter en første orden fastvektstrategi, mens overordnet så vil det bli brukt en prioritetstrategi mellom partisjonene. Dette betyr da at partisjon A_1 vil få tildelt kapasitet K som vil bli fordelt på reservoarene i denne partisjonen i henhold til en produksjonstrategi $\mathbf{b} \in \mathcal{B}_1^w$. Hvis det er produksjonkapasitet igjen etter at reservoarene i partisjon A_1 har tatt sitt, blir dette fordelt på reservoarene i partisjon A_2 . Dette fortsetter til det ikke er noe produksjonkapasitet igjen, som da vil føre til at reservoarene i de resterende partisjonene vil bli strupet helt. Hvis vi betegner tilgjengelig produksjonkapasitet ved tid t til partisjon A_j med $K_j(t)$, får vi følgende:

$$\begin{aligned} K_1(t) &= K, \\ K_2(t) &= \max\{0, K_1(t) - \sum_{i \in A_1} f_i(Q_i(t))\} \\ K_3(t) &= \max\{0, K_2(t) - \sum_{i \in A_2} f_i(Q_i(t))\} \\ &\dots \\ K_k(t) &= \max\{0, K_{k-1}(t) - \sum_{i \in A_{k-1}} f_i(Q_i(t))\} \end{aligned}$$

Da hver partisjon $\{A_j\}_{j=1}^k$ innad vil bruke en produksjonstrategi $\mathbf{b} \in \mathcal{B}_1^w$ vet vi at de tilfredsstiller følgende:

$$\sum_{i \in A_j} b_i(t) f_i(Q_i(t)) = \min\{K_j(t), \sum_{i \in A_j} f_i(Q_i(t))\}, \quad j = 1, \dots, k. \quad (2.42)$$

Summerer vi opp alle disse likhetene får vi:

$$\sum_{i=1}^n b_i(t) f_i(Q_i(t)) = \min\{K, \sum_{i=1}^n f_i(Q_i(t))\}, \quad (2.43)$$

som viser at den kombinerte produksjonstrategien er admisibel, og dermed er $\mathcal{B}_k^w \subseteq \mathcal{B}'$.

Siden hver partisjon får en dimensjonsreduksjon på 1, vil dette føre til at den totale dimensjonen på den overordnede vektvektoren \mathbf{w} blir $(n - k)$.

2.6 Oppsummering

Vi har i denne seksjonen sett på den teorien som vil bli brukt for å finne optimale produksjonstrategier i denne oppgaven. Vi begynte med å se på de klassiske Arps PPR-funksjonene, utvidet disse til å bli differensiallikninger og avsluttet seksjon 2.2 med se på hvordan usikkerhet lett kunne bli lagt på som en ekstern faktor ved bruk av differensiallikninger. Derfra gikk vi videre med å se på teori og resultater knyttet til det å produsere fra et felt med flere reservoarer i seksjon 2.3, samt en objektivfunksjon vi kan bruke for å måle prestasjon av ulike produksjonstrategier.

I seksjon 2.4 ble det gitt to teoremer som ga hvor vi kan finne de optimale kumulative produksjonsvektorene Q^{opt} for det konvekse og det konkave tilfellet. Ved konvekse PPR-funksjoner vil vi alltid kunne finne en optimal vektor Q^{opt} i $\partial(\partial(\mathcal{M}'))$. Har vi konkave PPR-funksjoner ville den optimale vektoren Q^{opt} være å finne i $\partial(\mathcal{M}')$ der hyperplanet H , som skiller settene \mathcal{M} og \mathcal{N} , støtter Q^{opt} .

I seksjon 2.5 ble de to produksjonstrategiene som vil bli brukt mest i denne oppgaven gjennomgått. Dette var prioritetstrategien og den parametriske produksjonstrategien, hvor prioritetstrategien gir ut all kapasitet til de høyeste prioriterte reservoarene mens den parametriske gir mulighet for å prioritere mer finkornet ved å gi vektor $w_i \in \mathbb{R}_+$ til hvert reservoar. Vi presenterte også et resultat knyttet til optimalisering av produksjon ved lineære PPR-funksjoner. I motsetning til i det konvekse og konkave tilfellet var det der en gitt produksjonstrategi som alltid gir best resultat. Dette var prioritetstrategien ved å gi prioritet etter stigende D -parameter, og da høyest prioritet til det reservoaret med lavest D -parameter.

I neste kapittel skal vi ta for oss hvordan vi har gjort simuleringene i denne oppgaven. Spesielt skal vi se hvordan vi har gjort produksjonsimuleringene ved bruk av den parametriske produksjonstrategien.

Kapittel 3

Simulering

3.1 Introduksjon

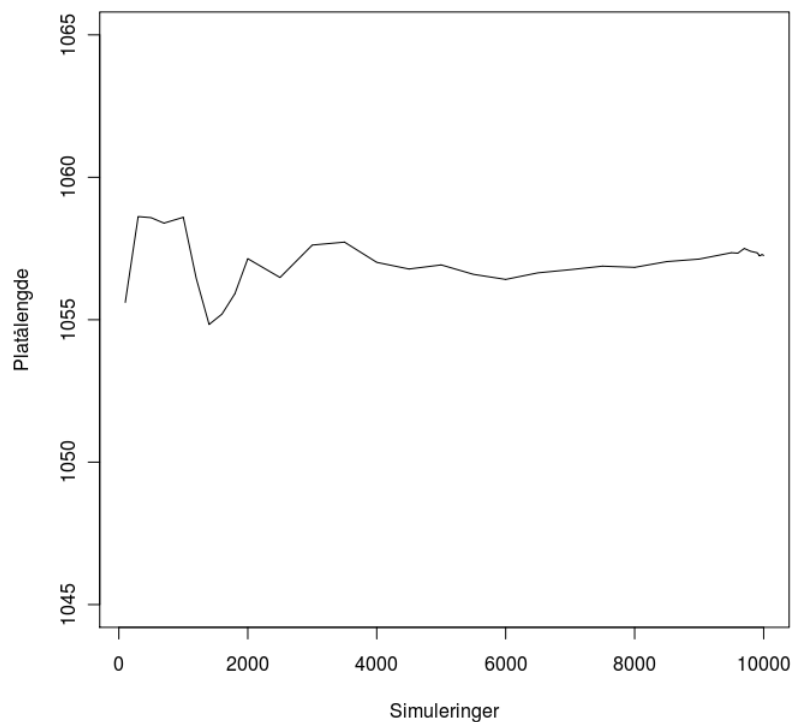
Simuleringene som er utført i denne oppgaven er gjort med Java og anvender biblioteker skrevet av Arne Bang Huseby i samme språk. Disse bibliotekene blir brukt for å modellere differensiallikningene utledet fra de eksponentielle, harmoniske og hyperbolske ARP-funksjonene vi så på i kapittel 2, løse disse ved å bruke Eulers metode, legge på beskrankninger i produksjonen samt alt som har med stokastiske elementer i produksjonsmodelleringen. Beskrankningene legges på som i en plugin-modell og gjør at disse er uavhengig av koden som gjør selve produksjonsmodelleringen. De fleste beskrankningsklassene er skrevet fra bunn av eller er utvidet slik at ønskelig statistikk kan hentes ut fra produksjonsmodelleringen.

Vi vil i dette kapittelet se litt nærmere på simuleringsoppsettet, hvordan usikkerhet i produksjonen modelleres samt hvordan vi har gått fram for å finne de optimale vektene for den parametriske produksjonstrategien som ble introdusert i kapittel 2.

3.2 Simuleringsoppsett

Hvis ikke annet blir oppgitt vil eksemplene vi skal se på bestå av 5 reservoarer. Samtlige volum er satt til 5000 kSm^3 og kapasiteten til prosesseringsanlegget er satt til $K = 12.0 \text{ kSm}^3$ per dag. Vi kjører 10000 simuleringer slik at vi får en god distribusjonstilnærming for alle platalengdene samt en god fremstilling av frekvensen av prioritetsbytter for en adaptiv versjon av prioritetstrategien. Figur 3.1 viser et gjennomsnittlig platalengde som en funksjon av antall simuleringer. Disse gjennomsnittlige platalengdene er hentet fra en simulering med lineære PPR-funksjoner med en prioritetstrategi hvor vi har ulike startrater for reservoarene. Startratene er lognormalt fordelt som i tabell 4.1, kapittel 4, og det er en irregularitet i produksjonen i intervallet $[0.9, 1]$. Ved få simuleringer varierer gjennomsnittet ganske mye.

Når antall simuleringer nærmer seg 10000 blir variasjonene mindre og mindre. Vi er derfor trygge på at med dette antallet simuleringer vil vi få et stabilt sammenligningsgrunnlag. Antall



Figur 3.1: Gjennomsnittligplatå lengde plottet mot antall simuleringer.

simuleringsdager er satt til 5000 og produksjonsraten blir regnet ut 1 gang per dag.

3.3 Usikkerhet i simuleringene

I [2] ble det gjort forsøk på å modellere usikkerhet i startraten til hvert felt mens resten ble holdt deterministisk. Da det ofte forekommer ujevnheter i produksjonen, vil det ved første øyekast ikke være optimalt å bare basere produksjonstrategien ut i fra hva som skjer ved tid 0, men man burde også ta høyde for usikkerhet i selve produksjonen når tiden løper. Dette skal vi undersøke nærmere.

Det er to usikkerhetselementer som vil bli lagt på produksjonsimuleringene i kapittel 4, 5 og 6 for å få en mer realistisk modell. Det ene er usikkerhet i startratene til reservoarene slik det også ble gjort i [2]. Denne usikkerheten vil bli modellert med en lognormal fordeling. Persentilene for disse fordelingene vil bli gitt for hvert eksempel som skal undersøkes. Det andre usikkerhetselementet som vil bli lagt til er usikkerhet i selve produksjonen. I kapittel 7 vil vi i tillegg også legge på usikkerhet i volum og formparameter b for den hyperbolske PPR-funksjonen.

For å kunne få et mest mulig rettferdig sammenligningsgrunnlag for de ulike produksjonstrategiene som skal bli undersøkt, vil alle simuleringene bli utført under like forutsetninger. Dette betyr at de tilfeldige trukne variablene vil være de samme for hver produksjonsimulering, og gjøres ved at vi bruker samme *seed* for hver simulering. Antall simuleringer kan som en følge av dette reduseres uten at sammenligningsgrunnlaget blir dårligere. Dette er også helt nødvendig å gjøre for at vi skal kunne klare å søke etter en optimal parametrisk produksjonstrategi. Hvis vi ikke hadde brukt samme *seed* for hver simulering, ville en gitt vekt-vektor for den parametriske produksjonstrategien produsert forskjellige gjennomsnittlige plåtå lengder for hver simulering. Det hadde dermed vært umulig å gjøre en god optimalisering for denne produksjonstrategien.

3.3.1 Reservoar omprioriteringer

Når det er usikkerhet i produksjon så vil det for noen av de produksjonstrategiene som baserer seg på prioritetstrategien bli gjort omprioriteringer underveis i produksjonen. Små justeringer av reservoarprioriteringene som ikke påvirker om et reservoar er i produksjon eller ikke er vanlig i den daglige oljeproduksjonen. Hvis det derimot er omprioriteringer som fører til at et reservoar går fra å være i produksjon til å bli strupet helt, eller omvendt er derimot vanskeligere å gjennomføre. Produksjonstrategier som fører til at reservoarer går av og på produksjon i plåtåfasen vil derfor være vanskelig å implementere og bør forkastes til fordel for andre mer restriktive produksjonstrategier. Dette har, spesielt i kapittel 4, ført til at vi har lett etter produksjonstrategier som gir minst mulig omprioriteringer.

3.4 Parametrisk produksjonstrategisimuleringer

For å finne fram til en optimal vektor ω for den parametriske produksjonstrategien implementerte vi algoritme 4.1 som er beskrevet i [3]. Denne algoritmen prøver å finne en vektor som optimaliserer objektifunksjonen ved bruk av Java Tools for Experimental Mathematics (JTEM)¹.

Undersøkelser viser at objektifunksjonen kan ha flere lokale maksimumspunkter som en funksjon av ω [3]. For å prøve å luke ut disse lokale maksimumspunktene slik at vi kan begynne å lete etter en optimalisert vektor ω^* i nærheten av det globale maksimumspunktet er det viktig å finne en bra initialiseringsvektor. For å finne en initialiseringsvektor trekker vi N n -dimensjonale tilfeldige vektorer slik det er anbefalt å gjøre i [3]. Den vektoren som optimaliserer objektifunksjonen velges som initialiseringsvektor og brukes da til å starte søket etter ω^* . Algoritme 4.1 fra [3] formaliserer prosedyren med å finne en optimal vektor og er gjengitt under.

Algoritme 1 *La ϕ være monoton og symmetrisk objektifunksjon. Anta så at $\{A_j\}_{j=1}^k$ er en ordnet partisjon. Det høyeste elementet i hver partisjon A_j betegnes med i_{A_j} , $j = 1, \dots, k$. Da vil vi numerisk kunne finne en produksjonstrategi $\mathbf{b}^* \in \mathcal{B}_k^w$ som maksimerer ϕ som følger:*

STEG 1.

Trekk N tilfeldige sampler av ω_k som beskrevet over. Vi setter $\omega_{i_{A_j}} = 1.0$ for å unngå overparametrisering, som beksrevet over. Vi betegner de trukne vektorene ved $\omega_k^1, \dots, \omega_k^N$. Blant disse så velger vi en vektor ω_k^j som er slik at

$$\phi(\mathbf{b}(\omega_k^j)) \geq \phi(\mathbf{b}(\omega_k^i)), \forall i \in \{1, \dots, N\}.$$

STEG 2.

Maksimer ϕ numerisk med respekt på ω ved å bruke ω_k^j som initialiseringsvektoren. Ved maksimering holder vi alltid $\omega_{i_{A_j}} = 1.0$ for $j = 1, \dots, k$. Den vektoren som maksimerer ϕ betegnes ω_k^ .*

I en stokastisk modell kjøres det K produksjonsimuleringer for hver vektor som undersøkes siden vi bruker gjennomsnittlig platalengde som objektifunksjon. For å redusere tiden det tar for å kjøre et optimaliseringsøk settes K til ett mindre tall ved søk etter en initialiseringsvektor enn hva den er i steg 2 i algoritme 1.

Denne algoritmen ble kjørt for alle simuleringene i kapittel 5, 6 og 7 for $k = 1$. Hvis ratioen mellom det største og minste elemntet i ω_k^* er stor, så er dette en indikasjon på at den optimale vektoren ligger i en annen \mathcal{B}_k^w -klasse. Når dette inntreffer øker vi k med 1 og kjører algoritme 1 igjen.

Det viste seg derimot at det er vanskelig for de numeriske bibliotekene vi bruker fra JTEM, som er "Conjugate Gradient"metoden, å finne dette maksimumspunktet når det er usikkerhet

¹Se <http://www.jtem.de/> for dokumentasjon.

i produksjonsmodellene. Grunnen til dette er at det blir vanskelig for Conjugate Gradient metoden å finne retningen som den skal bevege seg mot når det hele tiden blir små variasjoner i hvilken retning det lønner seg å gå mot. Dermed endte vi opp med sub-optimale vektorer ω .

For å prøve å komme rundt denne svakheten ved at optimaliseringen blir sittende fast på lokale maksimumspunkter lagde vi en utvidelse til algoritmen 1. Det er flere utfordringer ved å prøve å finne den optimale vektoren til den parametriske produksjonstrategien. Ved økning av antall reservoarer øker dimensjonen på vektoren som må optimaliseres. Når dimensjonen på denne vektoren, n , øker minker sannsynligheten for at vi skal finne en initialiseringsvektor som vil ligge i nærheten av det globale maksimumspunktet hvis vi ikke øker antall trukne tilfeldige vektorer N betraktelig. Ved hver økning av n med 1 øker antallet vektorer vi må trekke med $N^n - N^{n-1}$ for $n = 2, \dots$, noe som er et veldig stort tall ved høye dimensjoner og moderate N .

I tillegg til denne dimensjonsforbannelsen må det også kjøres flere simuleringer for å få et stabilt resultat når det er usikkerhet i produksjonen. For hver trukne vekt-vektor må det kjøres K simuleringer for å få et platå lengderesultat som ligger i nærheten av forventet platå lengde. Ved vanlige produksjonsmodelleringer er $K = 10000$. Ved søk etter en initialiseringsvektor vil kombinasjon av stor K , høy dimensjon på vekt-vektoren og stor N ta fryktelig lang tid å kjøre igjennom, og det må derfor kuttes ned på antall simuleringer som skal bli kjørt. Isteden for bare å minke antall simuleringer, og øke antall trukne vekt-vektorer å søke igjennom prøvde vi å finne alternative metoder å søke etter en initialiseringsvektoren. Ved å ta utgangspunkt i det deterministiske tilfellet hvor det verken er irregulariteter i produksjonen eller stokastiske startfordelinger kan man sette $K = 1$. Tanken er nå at den optimaliserte vektoren fra algoritme 1, ω_{det}^* , kan brukes som en initialiseringsvektor for det stokastiske søket. Det viste seg derimot at denne vektoren er for langt unna det globale maksimumspunktet i den stokastiske modellen, og søk med ω_{det}^* som initialiseringsvektor klarer ikke å finne et global maksimumspunkt. Dessuten var det ikke noen indikasjon på at den optimale produksjonstrategien lå i en høyere ordens fastvektklasse \mathcal{B}_k^w , når det ved bruk av en stokastisk modell viste seg at det var tilfellet.

Vi valgte derfor å bruke en stokastisk modell etter søket på en initialiseringsvektor. Antall simuleringer K blir satt til 100 og antall trukne vekt-vektor til 10000. Hvis det viser seg at vekt-vektoren som gir best resultat indikerer at den optimale produksjonstrategien ligger i en høyere ordens fastvektklasse begynner vi på nytt med prøve å finne en optimal initialiseringsvektor i denne klassen. Denne gangen minker vi antall trukne vekt-vektorer. Når den riktige fastvekt klassen, \mathcal{B}_k^w , er funnet prøver vi å komme nærmere det globale maksimumspunktet ved å søke i nabolaget til initialiseringsvektoren ω_{init}^* ved å permutere hvert element i vekt-vektoren. For at det ikke skal ta veldig lang tid settes $K = 100$. For hver permutasjon av ω_k^{init*} kjører vi optimaliseringssteget fra algoritme 1. Av alle permutasjoner velger vi den som gir den høyeste optimaliserte platå lengden og bruker denne som initialiseringsvektor. En formell beskrivelse av denne prosedyren er beskrevet i algoritme 2.

Algoritme 2 STEG 1

Kjør steg 1 i algoritme 1 for å finne ω_k^{init} med antall simuleringer satt til 100. Hvis ω_k^{init*} gir indikasjon på at en optimal produksjonstrategi ligger i en høyere orden fastvektstrategi gjøres følgende: øk k med 1, mink antall vekt-vektorer som trengs å bli trukket og start søk etter ω_{k+1}^{init*} .*

Gjenta til riktig \mathcal{B}_k^w -klasse har blitt funnet.

STEG 2

Permuter hvert element i vektoren ω_k^{init*} i begge retninger (+/-), og kjør alle kombinasjoner av disse permutasjonene gjennom steg 2 i algoritme 1 i en stokastisk modell. Antall simuleringer settes til 100. Den permuterte vektoren som optimerer objektivfunksjonen velges som initialiseringsvektor. Fortsett med steg 2 i algoritme 1.

Det viser seg i kapittel 5 og 6 at algoritme 2 klarer å gi bedre optimaliserte verdier av objektivfunksjonen, noe som er ventet da den søker i et større utfallsrom en algoritme 1.

3.4.1 Søk i prioritetklassen \mathcal{B}_2^w

Som forklart i forrige seksjon er det et tegn på at den optimale vekt-vektoren ikke ligger i den klassen \mathcal{B}_k^w som det søkes i når ratioen mellom den største og minste vekten i ω_k^* er stor. Alle søk etter en optimal vektor begynner i klassen \mathcal{B}_1^w . Hvis det er en indikasjon på at dette ikke er en optimal klasse så bør k økes med 1, og søket gjentas.

Søket i \mathcal{B}_k^w -klasser hvor $k > 1$ skiller seg fra tilfellet hvor $k = 1$ først og fremst fordi det blir en mer kompleks kodeimplementasjon i java. Regnekraften som trengs for å utføre selve søket etter en optimal vekt-vektor vil derimot bli mindre da det vil bli en dimensjonsreduksjon på vekt-vektoren som øker i takt med k . Generelt trengs det bare å søke etter vekt-vektorer ω_k som har dimensjon $n - k$, og hvor de resterende vektene for de gjenværende beste feltene settes til 1, slik det er beskrevet i algoritme 1. Det som øker kompleksiteten på javaimplementasjonen er at reservoarene må bli organisert inn i $n - k$ -partisjoner. Hvilke reservoarer som skal inn i hvilke partisjoner bestemmes ut i fra rekkefølgen på vektene i ω_k^* med hensyn på størrelse. Elementene i ω_k^* sorteres slik at vi får

$$\omega_{k,i_1}^* \geq \dots \geq \omega_{k,i_n}^*.$$

i er da en mapping-vektor hvor elementet i_1 peker til det reservoaret som har den største vekten og i_n peker på det reservoaret som har den minste vekten. Denne mapping-vektoren brukes til å lage partisjonene som brukes i \mathcal{B}_{k+1}^w . Det vil bare bli konstruert partisjoner slik at rekkefølgen på elementene i \mathcal{B}_k^w ivaretas. Dette betyr at vi i tilfellet $k = 2$ ender opp med følgende $n - 1$ partisjoner:

$$\begin{aligned} A_1 &= i_1, & A_2 &= i_2, \dots, i_n \\ A_1 &= i_1, i_2, & A_2 &= i_3, \dots, i_n \\ \dots & & & \\ A_1 &= i_1, \dots, i_n, & A_2 &= i_n \end{aligned}$$

For hver av disse $n - 1$ partisjonene kjøres steg 1 i algoritme 2. Når riktig fastvektklasse \mathcal{B}_k^w har blitt funnet kjøres så kjøres steg 2 som da skal prøve å finne den optimale vektoren ω_k^*

For å ta hensyn til at reservoarene i A_1 nå har kapasitet gitt ved $K_1(t)$ og reservoarene i A_2 har den resterende kapasiteten gitt ved $K_2(t)$ måtte det lages en ny beskrankningsklasse som støttet dette for klassen \mathcal{B}_2^w . Fra kapittel 2 har vi at $K_1(t)$ og $K_2(t)$ var definert som

$$\begin{aligned} K_1(t) &= K, \\ K_2(t) &= \max\{0, K_1(t) - \sum_{i \in A_1} f_i(Q_i(t))\} \end{aligned}$$

Tabell 3.1: Tilgjengelig produksjonskapasitet for partisjonene i \mathcal{B}_2^w .

Implementasjonsmessig er logikken som håndterer grupperingen av reservoarene til de forskjellige partisjonene, tildelelse av vekt for hvert reservoar og beskranking av produksjonsratene for reservoarene i partisjonen trukket ut og lagt i en egen klasse. Dette gjøres fordi det da blir veldig lett å generalisere søket etter en optimal vektor i prioritetklasser \mathcal{B}_k^w , hvor $k > 2$. Det som må

gjøres i beskrankningsklassen for \mathcal{B}_2^w er å angi hvilke reservoarer som tilhører A_1 og A_2 samt å angi produksjonskapasitet for hver partisjon som gitt i tabell 3.1.

3.4.2 Automatisering av søk i alle \mathcal{B}_k^w -klasser

Som det ble beskrevet i forrige seksjon er generaliseringen til høyere orden fastvektstrategier \mathcal{B}_k^w for $k > 2$ enkel med den implementasjonen som har blitt valgt. Output fra søk i \mathcal{B}_{k-1}^w gir hvilken partisjon som gir det beste resultatet og hvilke reservoarer som hadde de største vektene. Partisjonene fra \mathcal{B}_{k-1}^w vil bli delt opp i sub-partisjoner, og hvilke reservoarer som skal i hvilke partisjoner bestemmes ut i fra mapping vektorene i_{A_j} for de ulike partisjonene fra \mathcal{B}_{k-1}^w .

For å kunne gjøre prosessen etter å søke etter en optimal parametrisk produksjonstrategi ble det implementert et automatisk søk som generaliserer java-implementasjonen av prosedyren i forrige seksjon til alle \mathcal{B}_k^w . Dette gjør det veldig enkelt å søke etter en optimal parametrisk produksjonstrategi uten å måtte lage egne klasser for hver \mathcal{B}_k^w , samt holde styr på hvilke reservoarer som skal inn i hvilke partisjoner. Det viste seg også i forhold til å måtte gjøre alt dette manuelt at det er veldig tidsbesparende.

3.5 Oppsummering

I dette kapitlet har vi sett på hvilke antagelser som blir brukt i simuleringene, simuleringsoppsett, hvordan usikkerhet i produksjonen modelleres samt gått nærmere inn på hvordan søk etter optimale vekt-vektorer gjøres for den parametriske produksjonstrageien, og gitt en alternativ algoritme for å finne optimal vekt-vektor ved usikkerhet i produksjonen.

I de neste kapitlene skal forskjellige produksjonstrategier bli undersøkt under lineære, konkave og konvekse PPR-funksjoner.

Kapittel 4

Usikkerhet i produksjon med lineære PPR-funksjoner

4.1 Introduksjon

I dette kapittelet skal vi se på valg av produksjonstrategi når PPR-funksjonene er lineære. Siden vi i kapittel 2 så at det var optimalt å bruke en prioritetstrategi når PPR-funksjonene var lineære, vil det i dette kapittelet bare fokuseres på denne produksjonstrategien og modifikasjoner av den. Vi skal først se på og sammenligne prioritetstrategien, og en modifikasjon av denne som vi har valgt å kalle adaptiv prioritetstrategi. Den adaptive prioritetstrategien defineres som følger:

Definisjon 2 *Den adaptive prioritetstrategien vil til enhver tid overvåke produksjonsratene, regne ut D -parameterne for hvert reservoar og prioritere etter en stigende rekkefølge av disse.*

For å lettere kunne skille disse to produksjonstrategiene vil vi referere til den originale prioritetstrategien som streng prioritetstrategi.

Det vil bygges videre på eksempler som ble presentert i [2]. Der ble det sett på usikkerhet knyttet til initsiell produksjonsrate for de forskjellige reservoarene. I tillegg til denne usikkerheten vil det bli lagt på irregulariteter i produksjonen. Som en følge av dette vil det ikke være mulig å kunne forutse hvordan den videre produksjonsfunksjonen vil se ut, noe det er når man bare har usikkerhet i den initiale produksjonsraten fordi man da ved tid 0 har observert startratene til alle reservoarene og dermed er resten av produksjonen gitt ved produksjonsratefunksjonene.

Etter å ha undersøkt disse 2 produksjonstrategiene i ulike scenarioer vil variasjoner av den adaptive prioritetstrategien bli sett nærmere på. Dette gjøres for å se om den adaptive prioritetstrategien virkelig er optimal, eller om det er produksjonstrategier som kan konkurrere med denne når det kommer til hvor realistisk det er å implementere en slik strategi og hvor gode resultater den gir.

4.2 Usikkerhet i startratene

Vi starter med første eksempel fra [2] for å se hvordan de ulike prioriteringsstrategiene oppfører seg når det bare er usikkerhet i startraten. Som i [2] er startratene lognormal fordelte med 10%, 50% og 90% persentiler gitt i tabell 4.1 Resultatene fra dette eksempelet kan sees i

Reservoar	P10	P50	P90
1	2.40	3.00	3.75
2	3.20	4.00	5.00
3	4.00	5.00	6.25
4	4.80	6.00	7.50
5	5.60	7.00	8.75

Tabell 4.1: Persentilene for de lognormale startratefordelingene.

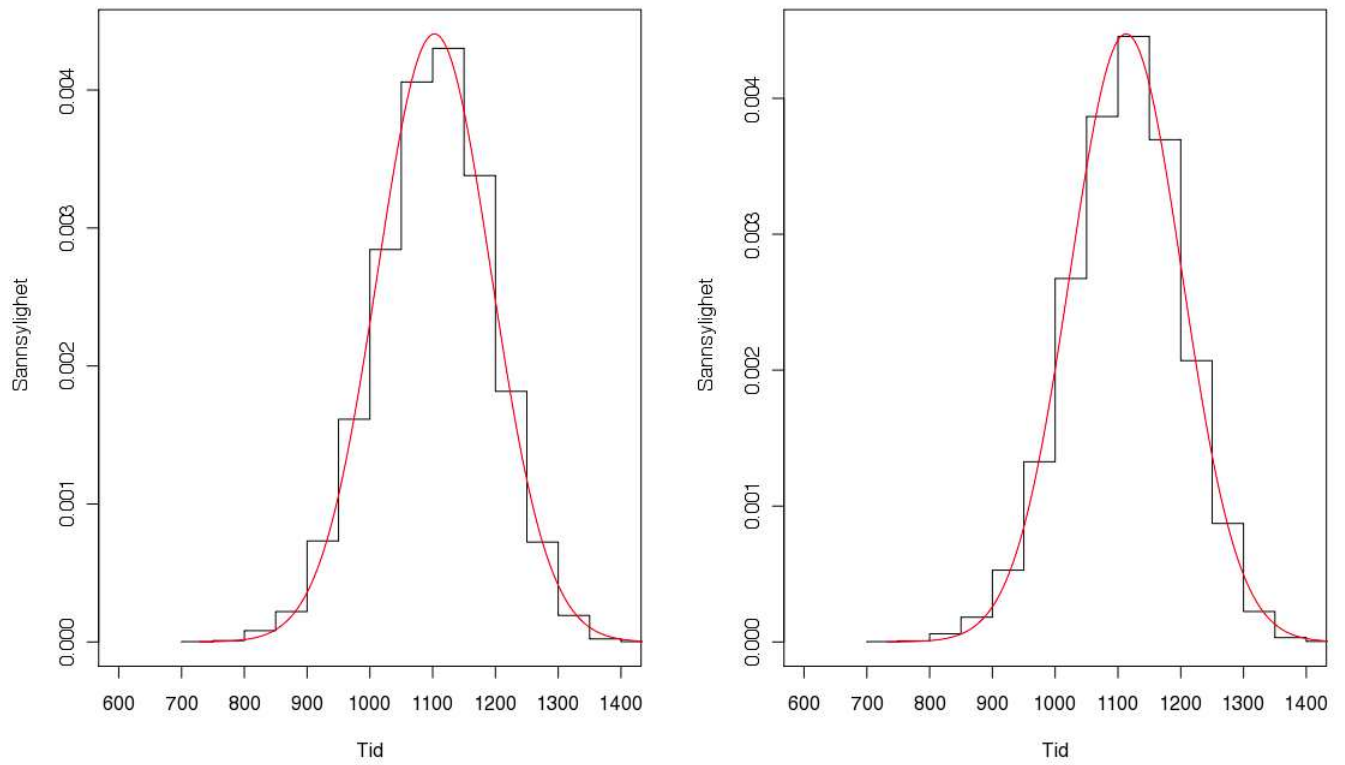
tabell 4.2. Det er den adaptive prioritetstrategien som oppnår det beste resultatet. Grunnen til dette er at den kan velge prioritet etter hva de observerte startratene er, mens den strenge prioritetstrategien baserer seg på p50 verdiene til startratefordelingene. Dette fører til at den strenge prioritetstrategien noen ganger velger feil, og dermed ikke en optimal strategi.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Streng prioritet	1043	1102.77	1165	90.55
Adaptiv prioritet	1054	1112.87	1174	89.18

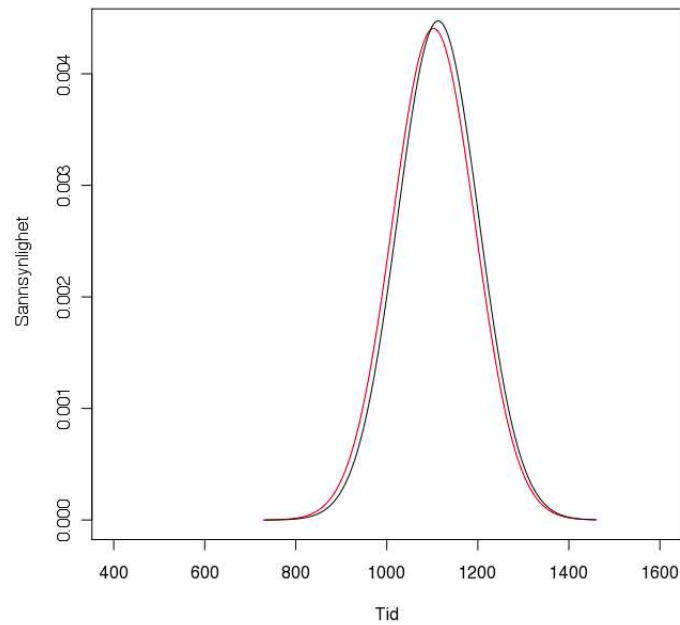
Tabell 4.2: Resultater ved usikkerhet i startratene og ikke noe usikkerhet i produksjon.

Platåleddistribusjonene for de to produksjonstrategiene er plottet i figur 4.1. Den trappete kurven er histogrammet for de registrerte platåleddene og den røde kurven er en gausskurve med dataenes gjennomsnitt og standardavvik som henholdsvis forventning og standardavvik. Vi ser at fordelingene til platåleddene er tilnærmet normalfordelte når vi bruker lognormale startratefordelinger med de persentilene vi har i tabell 4.1. Vi kan bruke dette til å gjøre en lettere sammenligning mellom de to prioritetstrategiene. I stedet for å sammenligne histogrammene, kan vi bruke fordelingskurvene til deres respektive tilnærmede normalfordelingskurver. Figur 4.2 viser de to platåleddistribusjonene. Vi ser at den strenge og adaptive prioritetstrategien ikke er så forskjellig. Grunnen til dette er at startratefordelingene og deres persentiler som er gitt i tabell 4.1. Ved bruk av disse fordelingene vil sannsynligheten for at $D_1 < D_2 < D_3 < D_4 < D_5$ være ganske stor. Simuleringene viser at det vil være 34% sannsynlighet for at den strenge prioritetstrategien vil velge riktig prioritet. Den adaptive prioritetstrategien vil alltid prioritere optimalt med hensyn på startrate, men det vil også den strenge prioritetstrategien ofte gjøre, og får derfor bra gjennomsnittlig platåledd. Vi vil se i seksjon 4.5.1 at dette endrer seg når vi har reservoarer som alle har like startratefordelinger. Da vil det være større sannsynlighet for at den strenge prioritetstrategien har valgt feil prioritet.

I neste seksjon skal vi innføre usikkerhet i produksjonen for å se hvordan dette påvirker platåleddene, og om det har noe å si for hvilken strategi det er mest optimalt å velge.



Figur 4.1: Distribusjonene til platå lengdene for de to prioritetstrategiene. Venstre plot er distribusjonen til den strenge prioritetstrategien

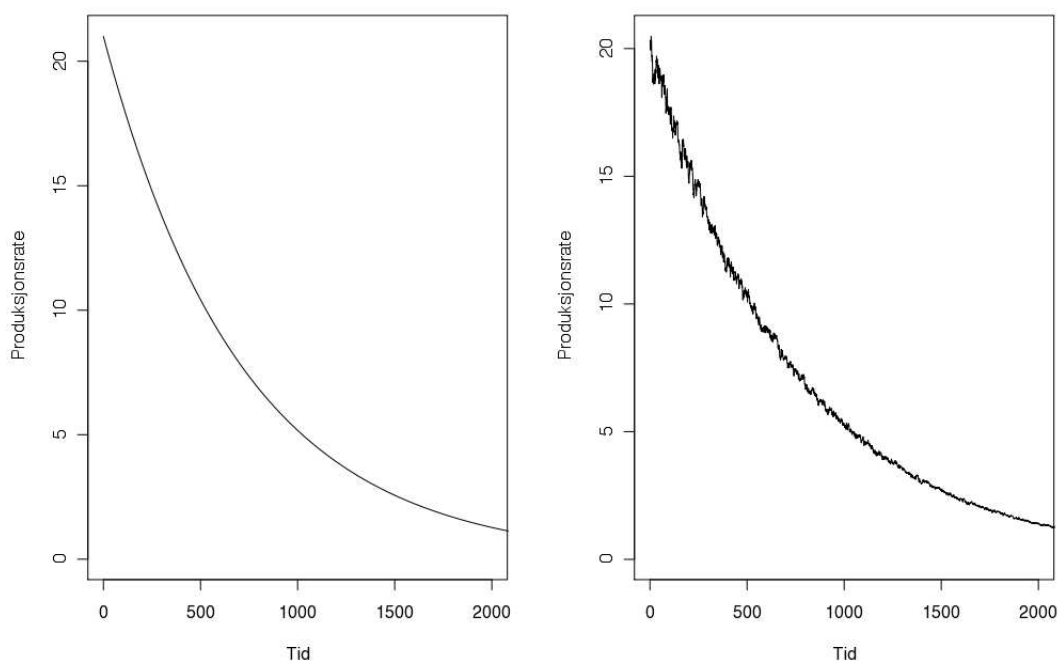


Figur 4.2: Distribusjonene til platå lengdene for de to produksjonstrategiene. Rød kurve er fordelingen til den strenge prioritetstrategien.

4.3 Usikkerhet i produksjon

I dette eksempelet vil det bli lagt på en irregulærhet i produksjonen som vil variere i intervallet $[0.9, 1]$. Vi vil senere øke dette intervallet for å se hvilke konsekvenser dette får. Startratene er lognormalfordelte med persentiler gitt i tabell 4.1, seksjon 4.2.

Effekten av irregulærheten på produksjonsratene kan sees i figur 4.3. Produksjonsratene går fra å være en glatt kurve til å bli en uforutsigbar kurve med store svingninger i begynnelsen av produksjonen.

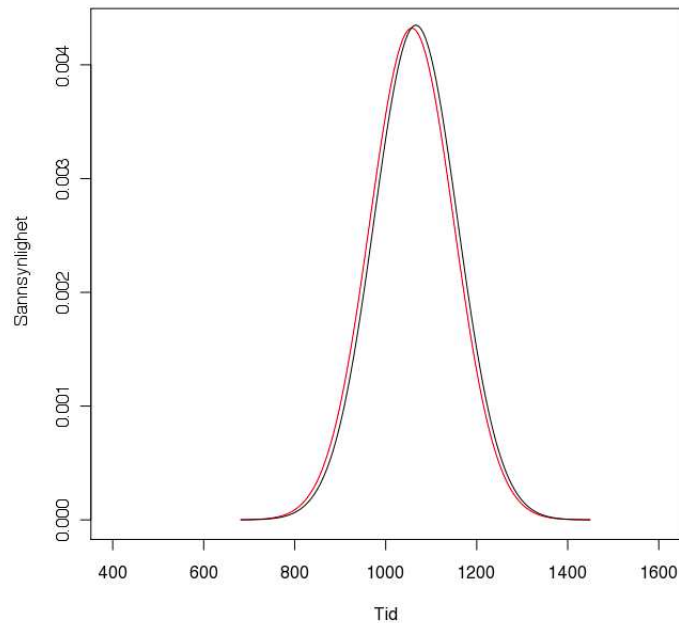


Figur 4.3: Produksjonsratefunksjon uten irregulærhet til venstre, mens til høyre er det lagt på irregulærhet i produksjonen.

Resultatene fra simuleringene kan vi se i tabell 4.3. Sammenligner vi med forrige eksempel der det ikke var noe irregulærhet i produksjonen, så er den fremtredende forskjellen at vi har fått et fall i gjennomsnittlig platå lengde for begge produksjonstrategiene. Det har ikke blitt noen forskjell på hvilken strategi som det lønner seg å velge for å oppnå et best mulig platå lengde. Som en følge av usikkerhet i produksjonen ser vi også at standardavvikene har økt for begge produksjonstrategiene. Sammenligner vi med tabell 4.2 i seksjon 4.2 er det den adaptive prioritetstrategien som har fått en størst økning i standardavviket. Grunnen til dette er nok fordi det nå er det større avstand mellom de dårligste og beste platå lengdene i simuleringene grunnet irregulærheten. Dette kan vi se ved å sammenligne differansen mellom 1. kvartil og 3. kvartil i tabell 4.3 og tabell 4.2, hvor det nå er større differanse for den adaptive prioritetstrategien når det har blitt lagt på irregulærhet. De tilnærmede normalfordelingskurvene til platå lengdene kan sees i figur 4.4. Sammenligner vi med simuleringene kjørt uten irregulærhet i produksjonen er det ikke mange forskjeller. Fordelingene har blitt litt bredere grunnet større varians, og vi kan

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Streng prioritet	995	1057.26	1121	92.30
Adaptiv prioritet	1006	1066.14	1129	91.75

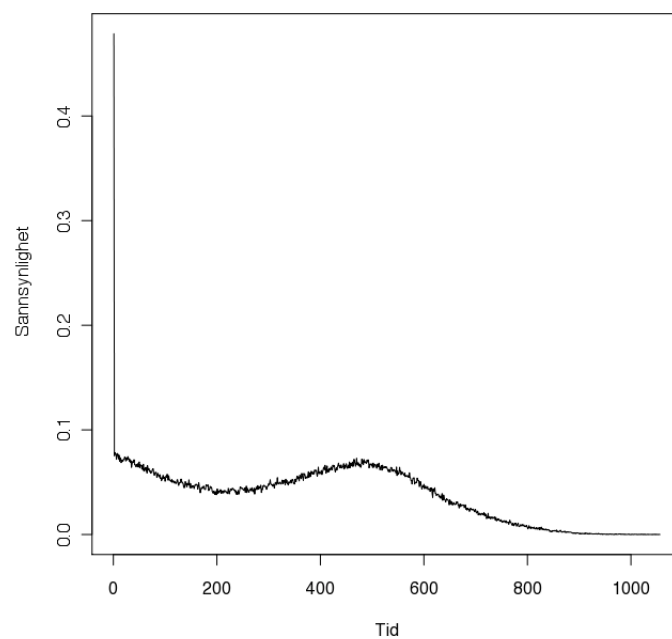
Tabell 4.3: Resultater for de to produksjonstrategiene når vi har lagt på irregulart i produksjonen.



Figur 4.4: Platå lengdefordelinger for de ulike prioriteringsstrategiene med irregulart i produksjonen.

også se at kurvene er flyttet litt mer til venstre da forventningen til fordelingene har falt. Sett bort i fra dette så er det ikke mye som har endret ved å legge på en 10 % usikkerhet i produksjon. Sammenligner vi med de gjennomsnittlige platå lengdene fra seksjon 4.2, er platå lengdene fra denne simuleringen cirka 4% mindre for begge prioriteringsstrategiene. I gjennomsnitt klarer altså den adaptive prioritetstrategien ikke å dra noe nytte av at den hele tiden kan omprioritere, men ligger på samme avstand i forhold til den strenge prioritetstrategien. I dette eksempelet ser det ut som den bare drar nytte av å omprioritere i starten av produksjon.

Et plot av omprioriterings sannsynligheten til den adaptive prioritetstrategien kan sees i figur 4.5. Grunnet irregulart i produksjonen vil det være en ganske stor sannsynlighet, 48%, for at den initiale prioriteten vi har ved tid 0 må endres. Etter dette vil sannsynligheten gå ned til litt over 7% og falle sakte ned mot litt under 4%. Ved rundt 200 dager vil den begynne å stige igjen fram til cirka 500 dager. Dette ser ut til være fordi i starten av produksjonen så er det reservoaret med størst D -parameter som blir strupet mest. Etter hvert vil produksjonsratene til de dårligste reservoarene bli såpass lave at det er større sannsynlighet for at de beste reservoarene får produsere oftere. Denne sannsynligheten vil øke jo lengre ut i produksjonen en kommer, og derfor vil sannsynligheten for at et reservoar blir strupet helt falle mot 0 jo lenger ut i produksjon vi kommer.



Figur 4.5: Omprioriteringsansynligheten for den adaptive prioritetstrategien.

For å se nærmere på hvordan den adaptive prioritetstrategien klarer seg ved irregulariteter i produksjonen, skal vi i neste seksjon se på et eksempel med økt irregularitet og se om dette gjør at den adaptive prioritetstrategien oppnår bedre resultater enn den strenge prioritetstrategien sett i forhold til resultatene i seksjon 4.2.

4.4 Økt usikkerhet i produksjonen

For å undersøke om den adaptive kan dra noe nytte av at den kan omprioritere fortløpende, noe den ikke klarte i forrige eksempel, øker vi i dette eksempelet irregulariteten i produksjonen slik at produksjonsratene nå skal multipliseres med en faktor i intervallet $[0.8, 1]$. Startratene er fortsatt lognormalfordelt med persentiler som i tabell 4.1, seksjon 4.2.

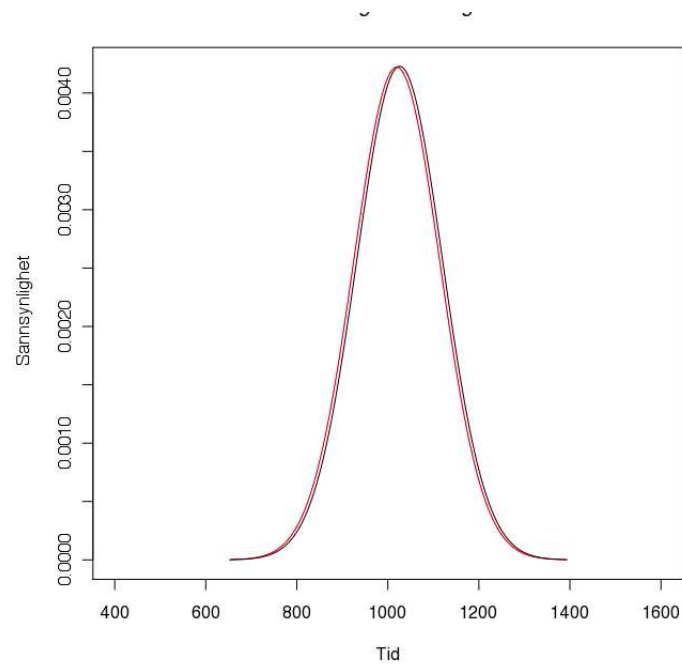
Intuitivt skal nå forholdet mellom de gjennomsnittlige platå lengdene i seksjon 4.2 og i dette eksempelet være mindre for den adaptive prioritetstrategien i forhold til den strenge prioritetstrategien. Grunnen til dette er fordi det nå vil være større fall i produksjonen for hvert reservoar for hver tidsenhet, som vil føre til at det blir flere anledninger der rekkefølgen på reservoarene, med hensyn på størst produksjonsratene, vil endre seg og dermed mer å vinne på å omprioritere. Vi skal se om dette stemmer.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Streng prioritet	957	1019.50	1084	94.50
Adaptiv prioritet	964	1025.98	1091	94.34

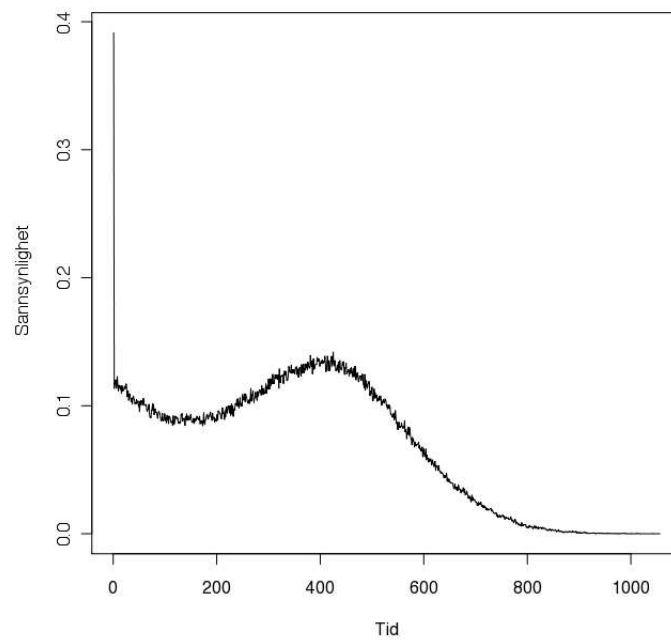
Tabell 4.4: Resultater når vi har økt usikkerheten i produksjon til $[0.8, 1]$.

Resultatene fra simuleringene kan sees i tabell 4.4. I siste kolonne i ser vi en økning i standardavviket til platå lengdene for begge produksjonstrategiene. Dette er naturlig da vi har doblet irregulariteten for produksjonsratene. De gjennomsnittlige platå lengdene har minket i forhold til simuleringene i 4.3 grunnet større svikt i produksjonsratene for alle reservoarer. For å finne ut om den adaptive prioritetstrategien har en fordel når det er større usikkerhet i produksjonsratene, sammenligner vi med tallene vi fikk i simuleringene gjort i seksjon 4.2. Den adaptive prioritetstrategien ligger nå på en gjennomsnittlig platå lengde som er 92.1% av hva den gjennomsnittlige platå lengden i simuleringene fra seksjon 4.2, og streng prioritetstrategi på 92.6%. Motsatt av det man skulle tro om den adaptive prioritetstrategien, så klarer den altså ikke å nå lengre platå lengder i forhold til den strenge prioritetstrategien når vi sammenligner med eksempelet uten irregularitet i produksjonen. Dette kan vi også se på platåfordelingsplottet i figur 4.6, hvor den strenge prioritetstrategien nå nesten er sammenfallende med den adaptive prioritetstrategien. Det kan altså se ut til at det allikevel ikke lønner seg å gjøre kontinuerlige omprioriteringer. Omprioriteringsansynlighetene for den adaptive prioritetstrategien er plottet i figur 4.7. Sammenligner vi med omprioriteringsansynligheten fra forrige seksjon har den i gjennomsnitt cirka doblet seg fra 7% til 14%, da grafen er på sitt høyeste. Formen på grafen er lik den fra forrige seksjon, men har nå fått krappere stigninger og fall som kommer av at gjennomsnittlig platå lengde har falt og dermed vil denne grafen trekke seg sammen.

En økende omprioriteringsansynlighet og tegn på at det ikke lønner seg å gjøre kontinuerlige omprioriteringer fører til at vi må se på alternativer til den adaptive prioritetstrategien. Vi skal undersøke dette nærmere i neste seksjon.



Figur 4.6: Platå lengdefordelinger med irregularitet i intervallet $[0.8, 1]$ i produksjonen.



Figur 4.7: Omprioriteringsanssynligheten for den adaptive prioritetstrategien.

4.5 Alternative adaptive prioritetstrategier

Vi skal i denne seksjonen se på alternative adaptive prioritetstrategier som vil prøve å minimere antall omprioriteringer. I tillegg til å kunne la være å gjøre stadige omprioriteringer, vil det også være nyttig å se på om det er slik at det ikke lønner så gjøre kontinuerlige omprioriteringer, noe resultatene fra forrige seksjon tyder på. De alternative adaptive prioritetstrategiene vil fram til endelig prioritet blir satt bruke en prioritet basert på de forventede startratene til reservoarene.

Før vi går videre med disse nye adaptive prioritetstrategiene skal vi først se på et eksempel med like startratefordelinger for reservoarene.

4.5.1 Adaptiv strategi i kontekst av identiske startratefordelinger

Den adaptive prioritetstrategien har vist seg å gjøre det veldig bra med hensyn på å optimalisere objektivfunksjonen. Så lenge vi ikke har store svingninger i produksjon, og det er forskjeller mellom startratene slik at det sjelden er tvil om hvilken rekkefølge reservoarene bør prioriteres er den adaptive prioritetstrategien realistisk å gjennomføre. Dessuten har den så langt oppnådd de beste resultatene. Har vi derimot felt hvor flere av reservoarene har like startratefordelinger begynner det å oppstå problemer for bruken av denne produksjonstrategien i form av for hyppige omprioriteringer.

I denne seksjonen skal vi se på et eksempel hvor alle reservoarene har lik startratefordeling. Dette fører til at sannsynligheten for omprioritering vil øke siden det blir større sannsynlighet for at rekkefølgen på D -parametrene oftere vil endre seg. Vi vil også se at de gode resultatene som den strenge prioritetstrategien har gitt oss i de foregående seksjonene nå kommer til å avta. Grunnen til dette er at det nå er mindre sannsynlighet for at prioriteten som den strenge prioritetstrategien bruker vil stemme overens med det som er optimalt å velge.

Vi bruker lognormale startratefordelinger med persentiler gitt for de 5 reservoarene i tabell 4.5. Reservoarene har samme fordeling for å kunne undersøke hva som skjer med omprioriterings sannsynligheten og brukbarheten til den adaptive prioritetstrategien i slike tilfeller. Irregulariteten har vi lagt i intervallet $[0.8, 1]$.

Reservoar	P10	P50	P90
1	5.60	7.00	8.75
2	5.60	7.00	8.75
3	5.60	7.00	8.75
4	5.60	7.00	8.75
5	5.60	7.00	8.75

Tabell 4.5: Persentiler for de 5 lognormale startratefordelingene.

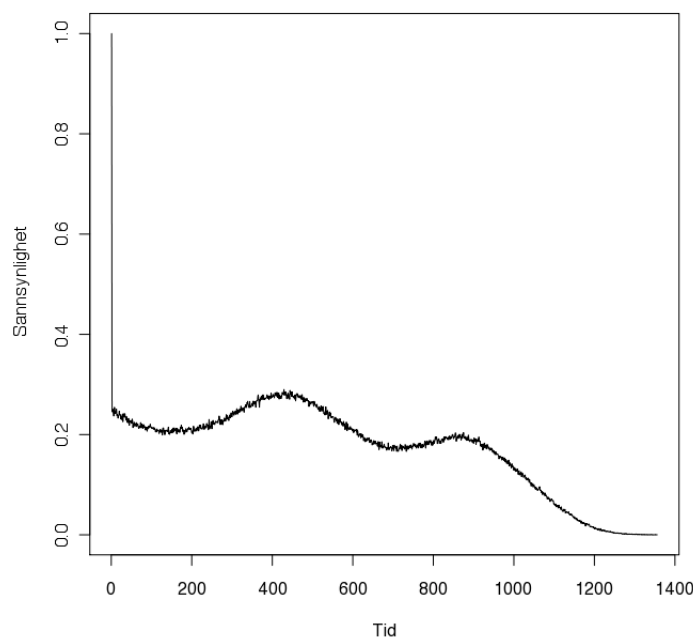
Resultatene fra denne simuleringen finner vi i tabell 4.6. Vi ser klart at den strenge prioritetstrategien sin gjennomsnittlige plata lengde nå ligger et godt stykke bak den adaptive

prioritetstrategien. Forholdet mellom de to gjennomsnittlige platå lengdene er nå 3.7% mens den i seksjon 4.4 lå på 0.6%. Dette viser at den strenge prioritetstrategien ikke bør brukes når vi har like reservoarer.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Streng prioritet	1263	1309.58	1358	70.06
Adaptiv prioritet	1316	1359.99	1406	66.81

Tabell 4.6: Resultat fra produksjons simulering med reservoarer som har identiske startratefordelinger.

I figur 4.8 kan vi se omprioriterings sannsynligheten. Da det nå er helt vilkårlig hvordan det bør prioriteres ved tid 0 vil sannsynligheten for omprioritering nesten være lik 100% ved dette tidspunktet. Etter dette synker den ned mot 20% for så å stige opp til 28%. Det som skiller dette sannsynlighetsplottet fra de i de foregående seksjonene er at grafen har to topppunkter. Grunnen til dette er at det nå er to faser som er slik det ble beskrevet i seksjon 5.3.2 siden alle feltene er like. Sannsynlighetsplottet viser at det er stor sannsynlighet for omprioriteringer som vil koste både tid og penger å utføre, og dermed urealistisk å gjennomføre. I de neste seksjonene vil vi derfor se på adaptive prioritetstrategier som trenger få omprioriteringer for å oppnå optimale platå lengder.



Figur 4.8: Sannsynlighet for at vi må omprioritere når vi har reservoarer med like startratefordelinger.

4.5.2 Startrateadaptiv streng prioritetsregel

Da resultatene fra seksjon 4.3 og 4.4 ser ut til å tyde på at den adaptive prioritetstrategien bare drar fordel av å kunne omprioritere i forhold til hva startratene er, vil vi i denne seksjonen se på en strategi som etter å ha observert startratene prioriterer deretter og bruker denne prioritetstrategien resten av produksjonstiden. For å kunne sammenligne denne med hva som er teoretisk mulig, samt kunne undersøke om den adaptive prioritetstrategien taper på den kontinuerlige omprioriteringen, vil vi også se på et eksempel hvor vi prioriterer med hensyn på de egentlige startratene.

Vi vil bruke samme oppsett som ble brukt i seksjon 4.4, altså lognormale startrater med persentiler fra tabell 4.1, og med irregulariteter i intervallet $[0.8, 1]$. Resultatet fra å kjøre 10000 simuleringer ser vi i tabell 4.7. Som vi ser fra gjennomsnittlig platå lengde klarer den

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Startrateadaptiv prioritet	964	1026.31	1091	94.27
Teoretisk startrateadaptiv prioritet	966	1027.74	1093	94.17

Tabell 4.7: Startrateadaptiv prioritet resultater sammen med dens teoretiske øvre grense.

startrateadaptive prioritetstrategien å gi veldig gode resultater. I forhold til hva den adaptive prioritetstrategien presterte i seksjon 4.4 gir den startrateadaptive prioritetstrategien et bedre resultat. Hvis vi ser på hvor mange ganger det feilprioriteres, ved å sammenligne med hva som hadde vært optimal prioritering, kommer vi fram til at det 37% av tilfellene blir det feilprioritert. For å undersøke hvor mye en taper, med hensyn på platå lengde, på disse feilprioriteringene kjørte vi en ny simulering der vi prioriterte med hensyn på de korrekte startratene. Dette er startratene som blir trukket fra startratefordelingene før de blir utsatt for en irregularitet i produksjonen. Resultatet av simuleringene kan vi se i tabell 4.7. Sammenlignet med den startrateadaptive prioritetstrategien ser vi at det finnes muligheter til forbedring hvis vi klarer å senke antall feilprioriteringer som blir gjort. Tabell 4.7 bekrefter også det vi så i seksjon 4.4, nemlig at det faktisk ikke lønner seg å ha en kontinuerlig omprioritering. Den adaptive prioritetstrategien i tabell 4.4, seksjon 4.4, har faktisk en platå lengde som nesten er 2 dager mindre enn det den optimale prioritetstrategien gir, som er basert på de korrekte startratene.

Grunnen til at vi får så stor sannsynlighet for å gjøre en feilprioritering er fordi startratene har blitt utsatt for irregularitet før den når oss. Startratene som vi ser er lavere enn hva de egentlig er, og noen kan være så mye som 20% dårligere i dette scenarioet. Da irregulariteten ligger i intervallet $[0.8, 1]$ kan det være tilfeller hvor det dårligste reservoaret med hensyn på startrate ser ut til å være bedre enn et reservoar som har blitt utsatt for en stor irregularitet i produksjonen. Dette kan føre til at vi prioriterer feil hvis vi baserer oss på de observerte verdiene ved tid 0. Hvis vi kan klare å øke sjansen for å velge riktig prioritering basert på startratene viser resultatene i tabell 4.7 at vi kan oppnå en god del bedre resultater enn den adaptive prioriteringsstrategien fra uten å måtte ty til kontinuerlig omprioritering. I neste seksjon skal vi prøve å gjøre noe med dette, og skal se på en strategi som prøver å velge en prioritering ut i fra et gjennomsnitt av observerte produksjonsrater.

4.5.3 Gjennomsnittadaptiv streng prioritetsregel

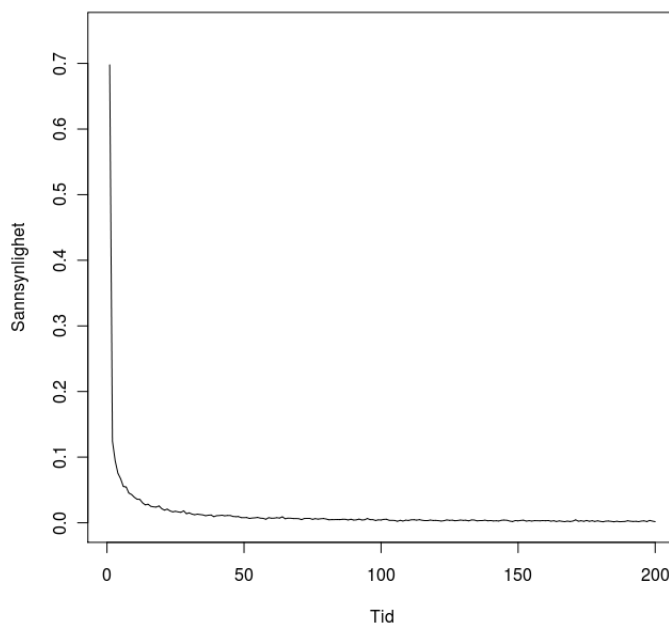
For å prøve å få ned feilprioriteringsraten skal vi i denne seksjonen prøve å bruke gjennomsnittet til D -parameterne fra likning (2.37). Disse parametrene er konstante så deres gjennomsnitt vil etter hvert stabilisere seg ved mange nok observerte produksjonsrater. Forhåpentligvis vil det ikke ta lang tid før gode estimater av D -parametrene blir funnet slik at vi unngår hyppige omprioriteringer.

Vi bruker samme oppsett som i seksjon 4.4 hvor vi har irregularitet i intervallet $[0.8, 1.0]$ og lognormale startratefordelinger med persentiler gitt i tabell 4.1. Resultatet er å finne i tabell 4.8. Resultatmessig så klarer denne produksjonstrategien å levere veldig gode platå lengder. I forhold

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Gjennomsnittadaptiv prioritet	966	1027.68	1093	94.19

Tabell 4.8: Resultat for den gjennomsnittadaptive prioritetstrategien.

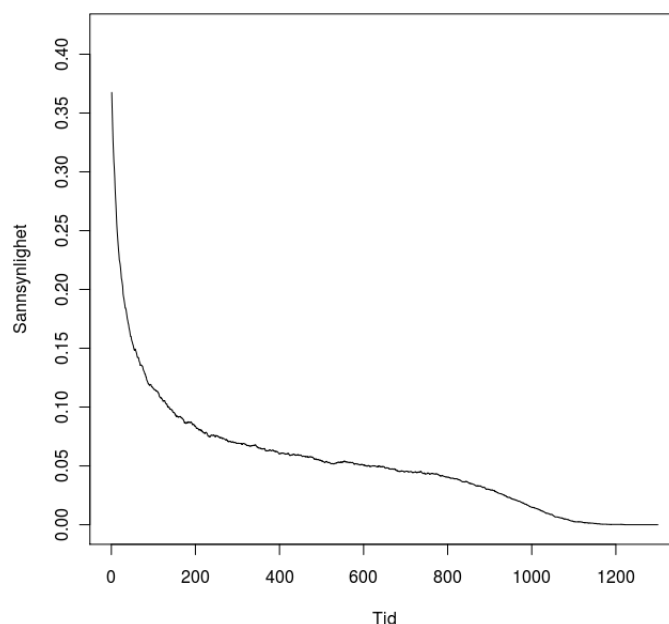
til den teoretisk mulige grensen vi fant i forrige seksjon er den gjennomsnittlige platå lengden bare 0.6 dager dårligere, og standardavviket er bare 0.02 dager høyere. Det er altså helt tydelig at vi har klart å senke feilprioriteringsraten i forhold til det vi hadde på den startrateadaptive prioritetstrategien i seksjon 4.5.2. Vi kan i figur 4.9 se at sannsynligheten for å omprioritere faller raskt mot 0. Den blir ikke eksakt 0 før etter 1200 dager, men sannsynligheten for at det vil skje en omprioritering etter dag 50 er forsvinnende liten. Gjennomsnittlig sannsynlighet fra dag 50 til dag 1200 er på 0.1%, mens fra dag 0 til 50 så ligger den på 3.9%. Figur 4.10 viser



Figur 4.9: Omprioriterings sannsynlighet for den gjennomsnittligadaptive prioritetstrategien.

sannsynligheten for at vi gjør en feilprioritering. Sannsynligheten starter på den verdien den

startrateadaptive prioritetstrategien oppnådde i seksjon 4.5.2 og faller deretter mot 0 ettersom vi får et mer stabilt estimat for D -parameterne.



Figur 4.10: Sannsynligheten for at vi velger feil prioritet.

Selv om det er en veldig liten sannsynlighet for at vi ty til omprioritering ved bruk av denne produksjonstrategien, så vil det alltid finnes en sjanse. Spesielt gjelder dette de første dagene i produksjon. I neste seksjon skal vi derfor se på en variant av denne gjennomsnittadaptive prioritetstrategien som vil kun bruke 1 omprioritering basert på et gjennomsnitt i et gitt tidsintervall.

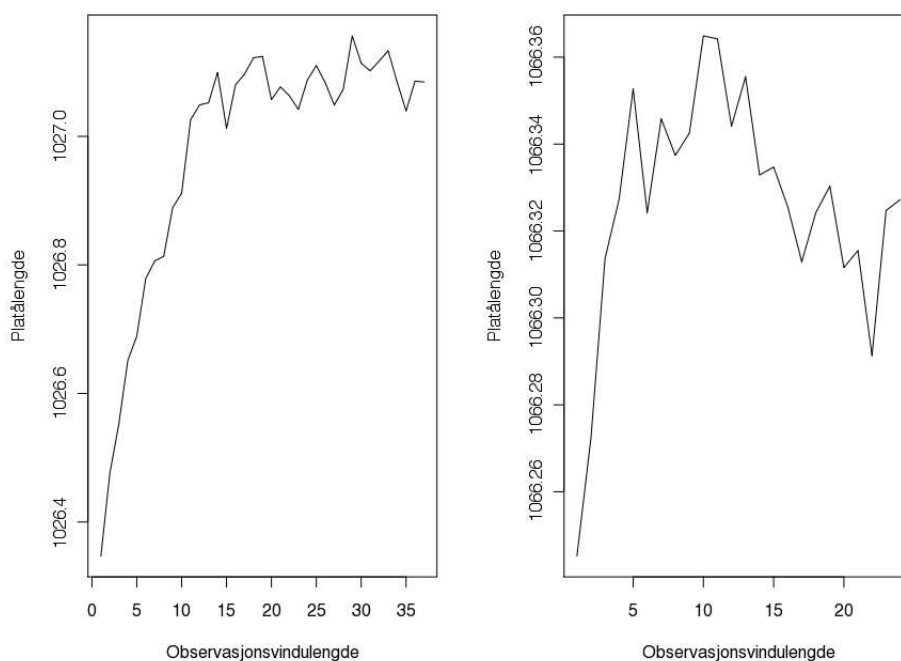
4.5.4 Gjennomsnittadaptiv streng prioritetsregel 2

Når en skal basere sin produksjonstrategi på gjennomsnittet av observerte produksjonsrater over en periode blir den viktigste parameteren lengden på observasjonsvinduet man skal bruke på å bestemme seg. En må finne en riktig balanse mellom å det å kunne observere lenge nok for å kunne få et bra estimat for D -parametrene, og det å prøve å finne en best mulig strategi raskest mulig. Ved flere observasjoner av produksjonsratene jo mer stabilt blir det kalkulerte gjennomsnittet til produksjonsratene. Har vi derimot et for stort observasjonsvindu bruker vi for lang tid på en eventuell feil produksjonstrategi og dermed blir sannsynligheten for å oppnå en optimal platalengde mindre. Vi må finne en gylden middelvei, og denne avhenger av hvor stor irregulareteten i produksjonen vil være. Ved små irregulareteter vil vi ikke trenge så mange observasjoner, som vi gjør ved store irregulareteter, for å kunne få estimater som er forholdsmessig like som de korrekte startratene.

Vi velger å prøve oss fram for å finne et observasjonsvindu som gir det optimale resultatet. Ved

å øke observasjonsvinduet med en tidsenhet for hver simuleringrunde på 10000 simuleringer, vil vi kunne tegne opp en kurve og finne det punktet der kurven har sitt toppunkt. Vi vil kjøre igjennom to scenarioer. Et med samme oppsett som i seksjon 4.3 hvor vi har irregularitet i intervallet $[0.9, 1.0]$ og et med samme oppsett som i seksjon 4.4, hvor irregulariteten ligger i intervallet $[0.8, 1.0]$. Dette gjør vi for å se hvor mye større observasjonsvinduet må være når irregulariteten dobbles.

Resultatene fra de to simuleringene kan vi se i figur 4.11, hvor plottet til venstre er det scenarioet med mest irregularitet. Vi ser klart at ved mindre irregularitet er det mulig å bruke et kortere observasjonsvindu. Hvis vi sammenligner resultatet for scenarioet med irregularitet i intervallet $[0.8, 1.0]$ med den startrateadaptive prioritetstrategien fra seksjon 4.5.2, presterer den gjennomsnittadaptive prioritetstrategien bedre fra starten av. Vi slipper også i dette tilfellet unna med bare en omprioritering, og denne går det an å planlegge for siden det er gitt hvor mange dager etter produksjonstart man bør ta denne omprioriteringen. Ved mye irregularitet har vi et maks punkt med et observasjonsvindu på 32 dager og en platå lengde på 1027.16 dager. Til sammenligning fikk den startrateadaptive prioritetstrategien i seksjon 4.5.2 en platå lengde på 1026.31. Ved å bruke observasjonsvindu på 32 dager vil det ved omprioritering velges feil



Figur 4.11: Platå lengder for de forskjellige observasjonsvinduene for irregularitet i intervallet $[0.8, 1.0]$ og $[0.9, 1.0]$.

prioritet i 18.7% av gangene. Frem til dette brukes feil prioritet i 70% av tilfelle siden vi baserer oss på p50 verdiene til startratefordelingene. Det er altså mulig å gjøre forbedringer ved å senke tiden det tar før vi omprioriterer. Svakheten med å ta gjennomsnittet til de observerte produksjonsratene er at ekstremverdier drar ned gjennomsnittet når vi ikke får et stort nok observasjonssett. Dette gjelder spesielt når det er stor irregularitet i produksjon. Vi kan også se dette i figur 4.11 hvor eksempelet med stor irregularitet bruker lengre tid på å nå et maks punkt. Vi vil derfor i neste seksjon prøve å gjøre noe med dette ved å bruke ekstremverdiene til

en fordel: vi skal bruke maksimum av de observerte produksjonsratene som estimater for de egentlige verdiene.

4.5.5 Maxadaptiv prioritetstrategi

Den gjennomsnittadaptive prioritetstrategien i seksjon 4.5.3 ga meget gode resultater, men det er fortsatt forbedringer som kan gjøre for å minke sannsynligheten for at vi må omprioritere. Svakheten er at det blir for mye svingninger i starten av produksjonen i produksjonsratene grunnet irregulariteten, og dermed blir gjennomsnittet til D -parameterne ikke stødige. Vi vil prøve å rette på dette ved å konstruere en maxadaptiv prioritetstrategi som til enhver tid prioriterer etter maksimum av de observerte produksjonsratene vi får fra likning (2.37). Omprioritering skjer bare hvis rekkefølgen på de observerte maksimumverdiene endrer seg. Denne strategien vil føre til at vi får noen omprioriteringer i oppstarten, men disse vil avta raskt da produksjonsratene er strengt monotont synkende.

For å undersøke denne produksjonstrategien nærmere kjører vi gjennom en simulering med likt oppsett som i seksjon 4.3. I tabell 4.9 ser vi resultat og nøkkeltall for den maxadaptive

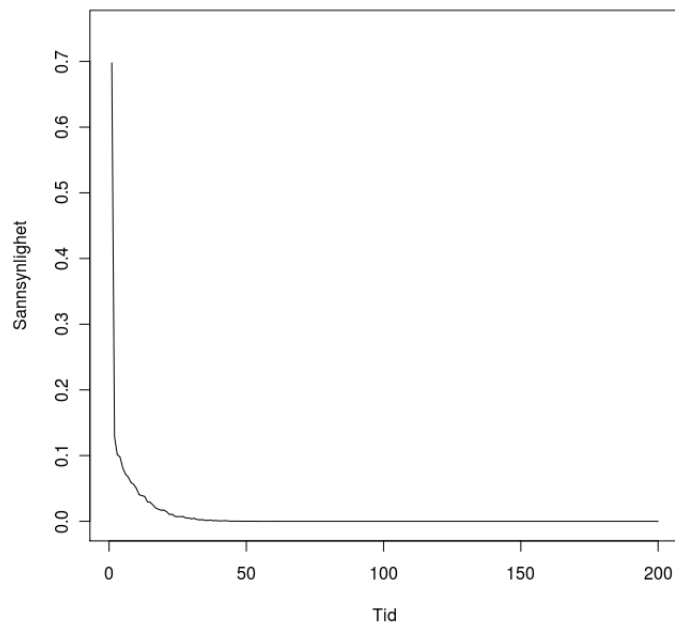
Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Maxadaptiv prioritet	966	1027.70	1093	94.19

Tabell 4.9: Resultat for maxadaptiv prioritetstrategi.

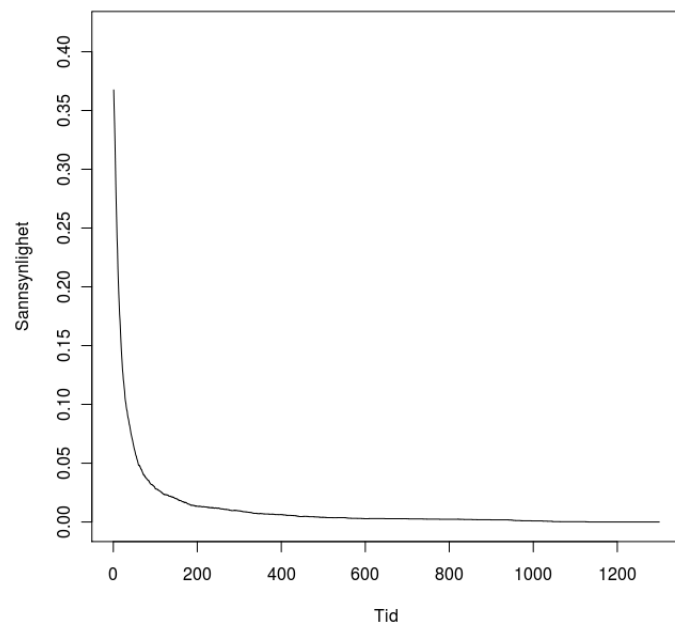
prioritetstrategien. Gjennomsnittlig platå lengde er bare 0.04 dager mindre enn den teoretisk øvre grense som vi fant i seksjon 4.5.2, samt at 1. og 3. kvartil er identiske. Resultatmessig så er det ingen av de undersøkte produksjonstrategiene som slår den maxadaptive. I motsetning til den gjennomsnittadaptive prioritetstrategien i seksjon 4.5.3 vil denne produksjonstrategien ha sannsynlighet lik 0 for at vi må omprioritere etter dag 50. Figur 4.12 viser denne sannsynligheten og at den faller veldig raskt mot 0. Gjennomsnittlig så ligger sannsynligheten for at vi må omprioritere på 3.5% de første 50 dagene. Dette er lavere enn hva den gjennomsnittligadaptive prioritetstrategien i seksjon 4.5.3 fikk som var på 3.9%. Grunnen til at sannsynligheten er 0 etter 50 produksjonsdager for den maxadaptive prioritetstrategien er på grunn av de strengt monotont avtagende produksjonsprofilene. Etter 50 dager vil vi ikke kunne observere noen høyere produksjonsrater enn det vi allerede har observert.

Sannsynligheten for å gjøre en feilprioritering, med hensyn på de egentlige startratene, vil begynne på det nivået som den startrateadaptive prioritetstrategien hadde og synke jo flere produksjonsrater vi observerer. Dette kan vi se i figur 4.12. Etter cirka 60 dager ligger sannsynligheten for at vi har gjort feil prioritering på rundt 8,4%, og vil videre flate ut på 8,2% når vi nærmer oss 100 dager. Det er dette som er grunnen til at denne produksjonstrategien gjør det så bra.

For å vise robustheten til denne produksjonstrategien i forhold til den rene adaptive prioritetstrategien, med hensyn på økning i omprioriterings sannsynlighetn, gjentok vi simuleringen

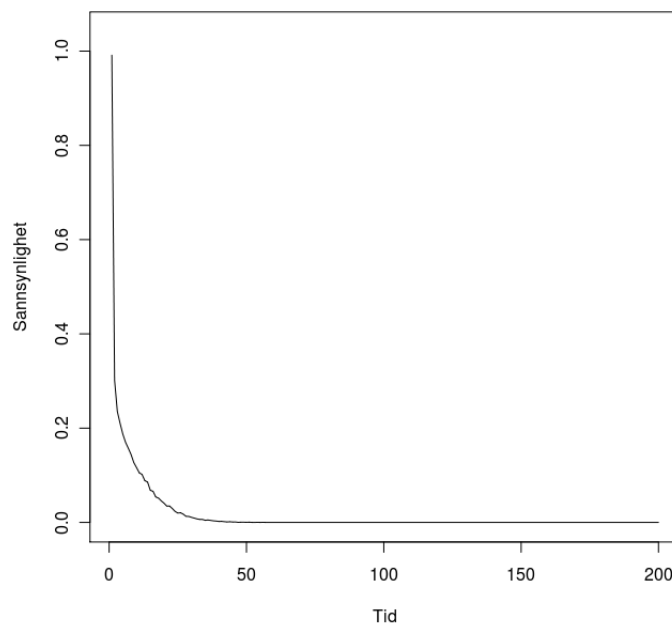


Figur 4.12: Omprioriterings sannsynlighet for den maxadaptive prioritetstrategien.



Figur 4.13: Sannsynligheten for å gjøre feil prioritering med hensyn på de egentlige starttratene..

med 5 reservoarer med like startfordelinger som i seksjon 4.5.1. Figur 4.14 viser omprioriteringsresultatet av denne simuleringen. Sammenligner vi med figur 4.12 er det litt høyere sannsynlighet for at vi må omprioritere de første dagene, og det er cirka 2 dager ekstra hvor det er en viss sannsynlighet for at vi må omprioritere. Dette er veldig lite i forhold til hvor stor økning i omprioriteringsansynligheten den adaptive prioriteringsstrategien hadde i seksjon 4.5.1, og den maxadaptive prioritetstrategien kan derfor sies å være robust når det kommer til omprioriteringsansynlighet.



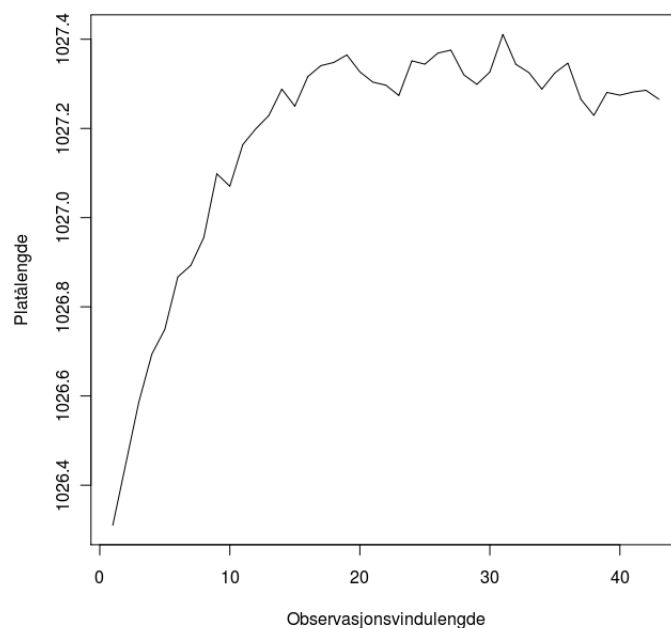
Figur 4.14: Omprioriteringsansynlighet for den maxadaptive prioritetstrategien ved like startfordelinger.

Ved å bruke samme teknikk som vi brukte i seksjon 4.5.4 kan vi komme unna med bare en omprioritering. Dette gjøres ved å vente x antall dager før man gjør en endelig prioritering, og hvor man fram til omprioritering observerer produksjonsratene. Antall dager avhenger av hvor fort omprioriteringsansynligheten går mot 0. Vi skal se på dette i neste seksjon.

4.5.6 Maxadaptiv prioritetstrategi 2

Ved å bruke samme strategi som den gjennomsnittadaptive prioritetstrategien i seksjon 4.5.4 brukte, vil i denne seksjonen konstruere en adaptiv prioritetstrategi som gjør en prioritering basert på maksimum av de observerte produksjonsratene innenfor et observasjonsvindu.

Vi bruker samme taktikk som i seksjon 4.5.4 for finne den optimale lengden på observasjonsvinduet, samt likt oppsett som i seksjon 4.5.4. I figur 4.15 ser vi resultatet etter å ha lett igjennom 43 ulike lengder på observasjonsvinduet. Den optimale lengden viser seg å være så mye som 31 dager, 1 dag mindre enn den gjennomsnittadaptive prioritetstrategien. Dette gir en



Figur 4.15: De oppnådde platå lengdene for ulike lengder på observasjonsvinduet.

gjennomsnittlig platå lengde på 1027.41 dager, bare 0.33 dager mindre enn hva som ble oppnådd av den startrateadaptive prioritetstrategien basert på de originale startratene i seksjon 4.5.2. Sammenlignet med den gjennomsnittadaptive prioritetstrategien i seksjon 4.5.4, har denne produksjonstrategien en gjennomsnittlig platå lengde som er 0.29 dager bedre. Sannsynligheten for at vi prioriterer feil da vi først gjør en omprioritering ligger på 9.5% som er 12.9% bedre enn den gjennomsnittadaptive prioritetstrategien.

Med tanke på at det tar så lang tid før det blir gjort en omprioritering kan det lønne seg å bruke 2 omprioriteringer i dette tilfellet. Første omprioritering bør en da gjøre ved tid 0, og benytte seg av en startrateadaptiv prioritetstrategi. Deretter vente til det har gått 31 dager for så og omprioritere basert på maksimum av de observerte produksjonsratene.

4.6 Oppsummering

Vi har i dette kapitlet sett på ulike produksjonstrategier når det er irregularet i produksjonen, og produksjonsprofilene modelleres med en eksponensiell ARP-kurve. De første seksjonene brukte vi til å undersøke den adaptive og den strenge prioritetstrategien for å se hvordan den presterte med hensyn på objektivfunksjonen. Den adaptive kunne gjøre kontinuerlige omprioriteringer basert på D -parametrene fra likning (2.37), mens den strenge prioritetstrategien måtte bruke en fast prioritet som ble satt før produksjonstart og var basert på forventet startrate. Vi begynte å se på et eksempel hentent fra [2] for å få en benchmark for de ulike produksjonstrategiene. Deretter innførte vi gradvis irregularet i produksjonen og sammenlignet resultatene. Undersøkelsene viste at den adaptive prioritetstrategien ikke klarte å dra nytte av den kontinuerlige omprioriteringsevnen sin når det var irregularet i produksjonen, men at det meste av avstanden ned til de den strenge prioritetstrategien kom fra at den kunne prioritere etter riktig startrate. Denne observasjonen førte oss inn på sporet av alternative adaptive strategier for å se om vi kunne tilnærme oss de gode resultatene til den adaptive prioritetstrategien, komme unna den høye omprioriteringsfrekvensen og kanskje til og med oppnå bedre resultater. Ved å bare basere oss på observert startrate og gjøre en prioritering ved tid 0 klarte vi å oppnå bedre resultater enn den adaptive prioritetstrategien. Sannsynligheten for å gjøre feil prioritering ved å bruke denne produksjonstrategien var derimot ganske høy, og dermed gikk vi videre med å undersøke måter å få ned denne feilprioriteringsansynligheten.

Vi gikk videre ved å se på to gjennomsnittsbasert prioritetsstrategier. Den første hadde mulighet til å gjøre kontinuerlige omprioriteringer ved å basere prioriteten sin på gjennomsnittet av D -parametrene som vi får fra de observerte produksjonsratene. Som et alternativ til denne, for å prøve å holde oss til en omprioritering, konstruerte vi en prioritetstrategi som regnet ut et estimat for D -parametrene basert på observerte produksjonsrater over en periode. Til slutt så vi på to versjoner av en maksimumbasert prioritetstrategi som brukte observerte maksimumverdier av D -parametrene for å bestemme prioritet. Den første versjonen hadde mulighet til å gjøre kontinuerlige omprioriteringer helt til det ikke ble registrert noen høyere verdier. Andre versjon observerte D -parametrene x antall dager før den gjorde en endelig prioritering basert på maksimum av de observerte verdiene.

Den prioritetstrategien som klarte å oppnå størst verdier med hensyn på objektivfunksjonen var den første versjonen av de maksimumbaserte prioritetstrategiene. Blant produksjonstrategiene som bare trengte å gjøre en omprioritering i løpet av produksjonen var det versjon nummer 2 av de maksimumbaserte prioritetstrategiene som kom best ut. Konklusjonen ut i fra undersøkelsene vi har gjort i dette kapitlet viser altså at det lønner seg å basere seg på startratene når man skal velge prioritet, og ikke omprioritere etter hva D -parametrene er til enhver tid.

I neste kapittel skal vi se på konkave PPR-funksjoner når det er irregularet i produksjonen. I motsetning til lineære PPR-funksjoner er det ikke gitt hvilken prioritet som er den optimale ved slike produksjonsprofiler.

Kapittel 5

Usikkerhet i produksjon med konkave PPR-funksjoner

5.1 Introduksjon

I dette kapitlet skal vi ta for oss eksempler med konkave PPR-funksjoner. I motsetning til de lineære PPR-funksjonene som ble undersøkt i kapittel 4 vil det ikke i dette tilfellet være klart hva slags produksjonstrategi vi må velge for å oppnå de optimale platåleddene. I det lineære tilfellet vet vi at det er best å bruke en streng prioritetsregel som baseres på D-parametrene. I det konkave tilfellet vil det nå derfor være mer interessant å se på flere produksjonstrategier og sammenligne de mot hverandre.

Den konkave PPR-funksjonen får vi ved å kombinere en kapasitetbegrensning på selve opptaket for reservoaret med en lineær PPR-funksjon. Fra kapittel 2 har vi at PPR-funksjonene for det konkave tilfellet er gitt ved

$$q(t) = \min\{c(t), f(Q(t))\}, \forall t \geq t_0,$$

hvor vi skal sette $c(t) = c = 3$ og $f(Q(t)) = D_i(V_i - Q_i(t))$, $i = 1, \dots, n$. Vi skal altså se på en konstant kapasitetbegrensning, og dermed en konstant produksjonsrate, sett bort fra irregularitet i produksjonen, frem til produksjonsraten blir mindre enn c . Etter dette går vi over til å bruke en PPR-funksjon som er lineær. Denne typen konkavitet i produksjonsprofilene vil ofte forekomme da selve produksjonsutstyret setter en øvre grense på hvor mye olje som kan trekkes opp til en hver tid. Dette kan for eksempel være tykkelsen på rørene som brukes. Jo tykkere rør man har, jo mer liter olje per sekund klarer man å trekke opp.

I tillegg til noen av de produksjonstrategiene vi så på i forrige kapittel skal vi i dette kapitlet også se på 3 nye. Dette er den uniforme, symmetriske og den parametriske produksjonstrategien. Den parametriske og den symmetriske, som er et spesialtilfelle av den parametriske produksjonstrategien, gikk vi igjennom i kapittel 2. Den uniforme er definert som følger:

Definisjon 3 En uniform produksjonstrategi vil dele tilgjengelig produksjonskapasitet likt mellom alle reservoarene ved å sette den strupede produksjonsraten lik

$$\min \left\{ f_i(Q_i(t)), \frac{K - \sum_{j=1}^{j<i} q_j(t)}{n - i} \right\}, i = 1, \dots, n \quad (5.1)$$

hvor $f_1(Q_1(t))$ er det reservoaret med lavest produksjonsrate ved tid t og $f_n(Q_n(t))$ er det reservoaret med høyest produksjonsrate.

En observasjon ved den symmetriske produksjonstrategien er at denne vil fordele produksjonskapasiteten proporsjonalt mellom de ulike reservoarene. Dette betyr at det reservoaret med minst produksjonsrate, $f(Q(t))$, vil bli tildelt minst produksjonskapasitet, mens det med størst produksjonsrate vil bli tildelt størst produksjonskapasitet. Dette vil ikke skje med den uniforme produksjonstrategien da denne vil fordele produksjonskapasiteten likt utover alle reservoarene.

Vi vil begynne det kapitlet med å se på et eksempel med like reservoarer, og deretter se på ulike reservoarer. For hvert av eksemplene i disse seksjonene skal vi se på resultat fra:

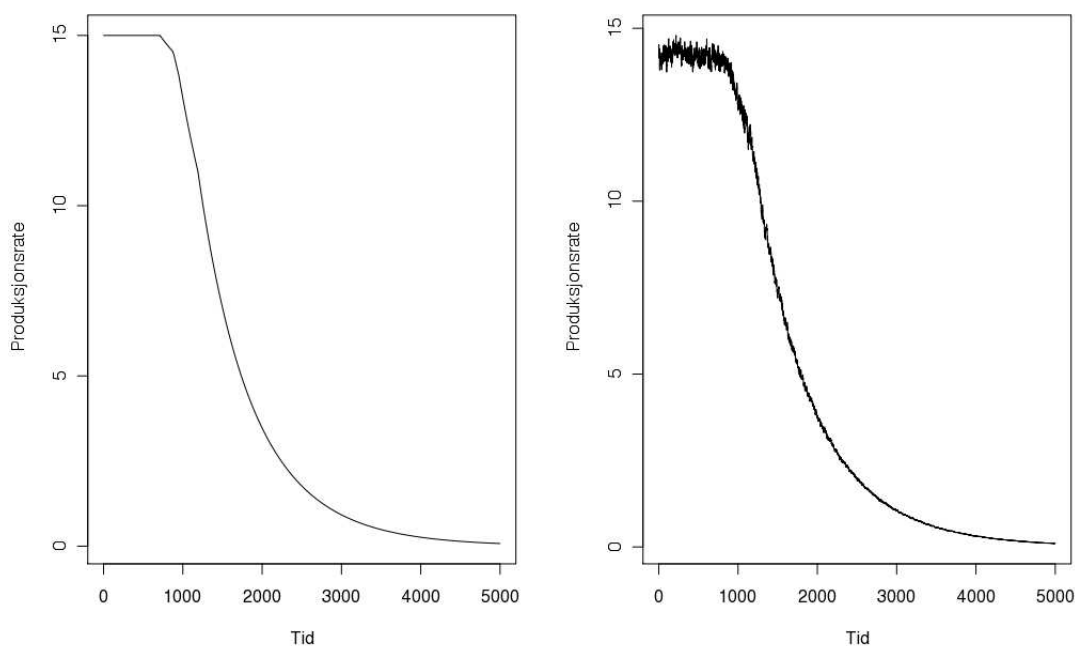
- Deterministisk produksjon.
- Produksjon med lognormale startratefordelinger.
- Produksjon med lognormale startratefordelinger og irregulærhet i produksjonen.

Grunnen til dette er å kunne se hvilken effekt det å legge på usikkerhet i produksjonen har på valg av produksjonstrategi, og spesielt se på hvilken effekt det har på de optimale vektene for den parametriske produksjonstrategien. Hvis det er slik at det ikke gir noen gevinst å se legge på usikkerhet når en skal lete etter optimal produksjonstrategi, kan det spares mye tid å bruke resultater fra det deterministiske tilfellet. Vi vil også se om det å legge på irregulærhet i produksjonen har noe å si i forhold til bare å ha usikkerhet i startratene spesielt med hensyn på den optimale vekt-vektoren til den parametriske produksjonstrategien.

5.2 Like reservoarer ved konkave PPR-funksjoner

Vi skal først ta for oss tilfellet der alle reservoarene har lik startratefordeling, eller identiske startrater som i det deterministiske tilfellet. I tillegg til de definerte produksjonstrategiene i seksjon 5.1 skal vi også se på den adaptive og maxadaptive prioritetstrategien som ble definert i kapittel 4. Den adaptive og maxadaptive prioritetstrategien vil slik de er konstruert prioritere etter “produksjonsrate / resterende volum”-ratio, herved bare kalt pr-ratio, for reservoarene. Reservoarene som har minst pr-ratio vil få høyest prioritet. Dette vil de gjøre helt til produksjonsratene faller under de begrensningene som er gitt ved produksjonskomponentene. Etter dette vil produksjonsprofilene være modellert med en lineær differensiallikning, og dermed vil de prioritere etter observert D-parameter. Vi vil ikke ta med den strenge prioritetstrategien da denne, slik den er definert, vil gå mot $\partial(\partial(\mathcal{M}'))$, mens det er i $\partial(\mathcal{M}')$ som den optimale produksjonstrategien vil ligge i det konkave tilfellet.

En produksjonsprofil med bare konkave produksjonsprofilfunksjoner kan se ut som grafen i figur 5.1, med og uten irregularitet i produksjon. Begrensningen som er gitt ved komponentene i produksjonssystemet er tydelig tilstede ved at vi får en tilnærmet flat produksjonsrate i starten. Når trykket fra reservoarene faller under den begrensningen som er gitt av produksjonsutstyret, ser vi at produksjonsratene begynner å falle.



Figur 5.1: Produksjonsprofil med konkaveproduksjonsprofilfunksjoner.

Persentilene til de lognormale startratefordelingene som blir brukt i denne seksjonen er gitt i tabell 5.1.

For det deterministiske tilfellet vil p50-persentilen bli brukt som startrate.

Reservoar	P10	P50	P90
1	5.60	7.00	8.75
2	5.60	7.00	8.75
3	5.60	7.00	8.75
4	5.60	7.00	8.75
5	5.60	7.00	8.75

Tabell 5.1: Persentiler for de 5 lognormale startratefordelingene.

5.2.1 Deterministisk produksjon

Resultatet for deterministisk produksjon er gitt i tabell 5.2.

Produksjonstrategi	Plateå lengde
Parametrisk	1369
Symmetrisk	1369
Uniform	1369
Adaptiv prioritet	1369
Maxadaptiv prioritet	1369

Tabell 5.2: Result for deterministisk produksjon med konkave PPR-funksjoner og identiske reservoarer.

Den optimale parametriske produksjonstrategien ble funnet til å ligge i klassen \mathcal{B}_2^w . Partisjon og vekt-konfigurasjonen er gitt i tabell 5.3.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{3_{[1.0]}\}$
A_2	$\{1_{[2.73]}, 2_{[0.93]}, 4_{[0.93]}, 5_{[1.0]}\}$

Tabell 5.3: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for like reservoarer med konkave PPR-funksjoner. Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.

Den symmetriske produksjonstrategien bruker en vekt-vektor hvor alle vektene er like, men vi ser at denne oppnår den samme plateå lengden som den parametriske produksjonstrategien med ulike vekter. Ved identiske reservoarer er det faktisk ingen forskjell på produksjonstrategiene, og gir oss ikke noe svar på hva som er det helt optimale ved identiske reservoarer i en realistisk setting.

5.2.2 Usikkerhet i startratene

Nå legges det på usikkerhet i startratene i form av lognormale fordelinger med persentiler gitt i tabell 5.1. Resultatet er gitt i tabell 5.4.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Parametrisk	1322	1367.86	1399	56.67
Symmetrisk	1331	1367.59	1407	56.23
Uniform	1332	1368.79	1409	56.35
Adaptiv prioritet	1331	1367.98	1408	56.84
Maxadaptiv prioritet	1331	1367.98	1408	56.84

Tabell 5.4: Resultater av produksjonsmodellering med lognormale startstratfordelinger.

I motsetning til resultat fra det deterministiske tilfellet i seksjon 5.2.1 har det nå blitt litt forskjellige resultater. Det kommer tydeligere frem at ved identiske reservoarer er det best å gi lik prioritet til alle feltene. Den uniforme produksjonstrategien gir best resultat da den vil fordele produksjonskapasiteten likt utover de 5 reservoarene. Den adaptive og maxadaptive prioritetstrategien gir nesten like gode resultater. Grunnen til dette kommer av at disse strategiene er ganske like den uniforme i det oppsettet som er brukt her. For de to adaptive prioritetstrategiene vil det hele tiden være et reservoar som må strupes helt, men siden dette er det reservoaret som har produsert mest til enhver tid, vil det være en kø-struktur på hvilket reservoar som blir strupet. Det vil hele tiden veksles på hvilket reservoar som skal strupes. Den uniforme vil derimot gi de dårligste feltene mulighet til å produsere uten strupning hvis det er slik at produksjonsraten til reservoaret er mindre enn gjenværende produksjonskapasitet delt på gjenværende reservoarer. Hvis ikke så struper den slik at den gjenværende kapasiteten blir likt fordelt mellom de resterende feltene. Vi ser altså at de adaptive prioritetstrategiene taper litt på å hele tiden struper et reservoar, samt struping av et reservoar når produksjonsratene har falt under raten c . Vi observerer også at den adaptive er identisk med den maxadaptive prioritetstrategien. Dette skjer fordi vi ikke har noen irregulareteter i produksjonen, og da vil omprioriteringslogikken til de to strategiene være like.

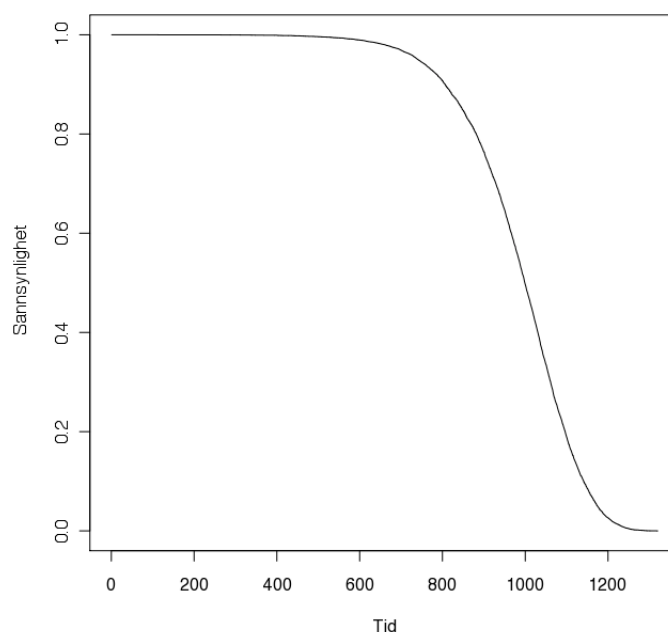
Den symmetriske ligger i gjennomsnitt litt over en dag under den uniforme produksjonstrategien. I motsetning til de uniforme, adaptive og maxadaptive produksjonstrategiene vil den symmetriske implisitt gi størst produksjonskapasitet til det beste reservoaret, men det skjer først når produksjonsratene kommer under produksjonsbegrensningen gitt i likning (2.26). Inntil det så vil alle produksjonsratene være like og dermed vil alle reservoarene få produsert like mye. Når reservoarene kommer seg under denne produksjonsbegrensningen, vil de feltene med høyest produksjonsrate få implisitt høyere prioritet, noe som kommer tydelig frem ved at den denne produksjonstrategien gjør det dårligere enn den uniforme.

Den parametriske prioritetstrategien har klart å finne vektorer slik at den gjør det bedre enn den symmetriske produksjonstrategien som er et spesialtilfelle av denne. Grunnen til dette er nok fordi startstratene ikke er helt identiske, og det vil derfor lønne seg å ha litt andre vektorer enn helt symmetriske. Fastvektklassen ble B_1^w og vektene ble som følger:

$$A_1 = \{1_{[0.98]}, 2_{[1.01]}, 3_{[0.99]}, 4_{[1.0]}, 5_{[1.0]}\}$$

Hvis vi skal se på hvor realistisk det er å gjennomføre de ulike produksjonstrategiene må vi se på hvor ofte det blir gjort omprioriteringer, og om dette fører til at et felt blir slått

av og på med høy frekvens. Både den uniforme, symmetriske og parametriske trenger ingen omprioriteringer. Grunnen til dette er at det er ingen reservoar som blir strupet helt. Dette skjer derimot med den adaptive og maxadaptive prioritetstrategien, slik som i kapittel 4. De to sistnevnte produksjonstrategiene ser ut til å kreve en omprioritering ved hvert steg. Dette kan vi se på plottet for sannsynligheten for omprioritering for den adaptive prioritetstrategien i figur 5.2.2. Så lenge produksjonsratene holder seg over produksjonsbegrensningen som er gitt i likning (2.26) må det en omprioritering til i hvert steg. Når produksjonsratene begynner å falle under denne begrensningen så vil sannsynligheten for omprioritering falle.



Figur 5.2: Sannsynlighet for omprioritering for de adaptive prioritetstrategiene.

Det er klart fra resultatene presentert i denne seksjonen at en form for lik fordeling av produksjonskapasiteten lønner seg, som da er i henhold til hva teorem 2.4.3 tilsier. Den varianten som viste seg å gi de optimale resultatene var den uniforme produksjonstrategien. Den adaptive og maxadaptive prioritetstrategien ga nesten like gode resultater, men grunnet stadige omprioriteringer og at reservoarer blir strupet helt så er disse mindre optimale og ikke realistisk å gjennomføre. Den parametriske og symmetriske gjør det også veldig bra, men taper på at de implisitt gir høyere prioritet til de beste reservoarene etter at produksjonsratene har falt under produksjonsbegrensningen. Den parametriske hadde vekter som gjorde at den klarte å oppnå litt bedre platalengder enn den symmetriske som kommer av reservoarene ikke er identiske, men har identiske fordelinger. Dette fører da til at det er mulig å finne vekter som i presterer bedre en helt symmetriske vekter.

Vi skal i neste seksjon ta med usikkerhet i produksjonen for å se om dette har noen innvirkninger på valg av produksjonstrategi.

5.2.3 Usikkerhet i produksjonen

Kombinert med usikkerhet i startratene som vi så på i seksjon 5.2.2, skal vi i denne seksjonen også ta med irregulareteter i produksjonen i intervallet $[0.9, 1.0]$. Resten av oppsettet vil være som i seksjon 5.2.2. Vi vil bare konsentrere oss om den uniforme, symmetriske og den parametriske produksjonstrategien i denne seksjonen. Grunnen til dette er at det var disse som viste seg å gi de beste resultatene samtidig som de også er realistisk å gjennomføre.

I tabell 5.5 kan vi se resultatene av simuleringene fra dette eksempelet. Vi ser at det ikke har blitt noen endring på hvilken produksjonstrategi som gir det beste resultatet. Den optimale fastvektklassen for den parametriske produksjonstrategien ligger fortsatt i \mathcal{B}_1^w med reservoarvekter gitt ved:

$$A_1 = \{1_{[2.16]}, 2_{[2.19]}, 3_{[2.07]}, 4_{[2.94]}, 5_{[1.0]}\}$$

I forhold til forrige seksjon har vektene økt og er ikke lenger så symmetriske. Sammenligner vi med resultatet til den symmetriske produksjonstrategien ser vi at søket etter en optimal parametrisk produksjonstrategi ikke har vært vellykket grunnet for mye usikkerhet i simuleringene.

Det er fortsatt den uniforme produksjonstrategien som det er optimalt å bruke, men vi kan se at den symmetriske har nærmet seg med 0.1 dager på gjennomsnittlig platå lengde. For å undersøke om dette bare er en fluktuasjon i simuleringene eller om det kan være en trend som gjør at den symmetriske produksjonstrategien gjør det bedre når det blir mer irregularetet, kjørte vi ny en simulering.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Parametriske	1294	1333.44	1375	58.85
Symmetrisk	1296	1334.49	1375	58.69
Uniform	1297	1335.59	1377	58.73

Tabell 5.5: Resultat at produksjonsimulering med lognormale startratefordelinger og irregularetet i produksjon.

I den nye simuleringen økte vi irregulareteten til å ligge i intervallet $[0.8, 1.0]$. Tabell 5.6 viser resultatet av denne simuleringen, og som vi ser så er det ingen trend at den symmetriske produksjonstrategien gjør det bedre ved mer irregularetet i produksjonen, da den nå har falt lenger bak.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Symmetrisk	1266	1306.21	1350	62.38
Uniform	1268	1308.13	1352	62.16

Tabell 5.6: Resultat når vi har økt irregulareteten til å ligge i intervallet $[0.8, 1.0]$.

I neste subseksjon skal de resultatene fra de tre produksjonsimuleringene som har blitt undersøkt i seksjon 5.2 sammenlignes.

5.2.4 Sammenligning av de tre produksjonsimuleringene

For å se hvilken innvirkning det har å legge på usikkerhet i produksjon i form av lognormale startratefordelinger og irregulariteter i produksjonsratene, skal vi her undersøke hvor mye en taper på å bruke resultater fra det deterministiske tilfellet i det stokastiske tilfellet.

I dette scenarioet hvor vi har felt med like startratefordelinger er det ikke så mye man taper hvis man for eksempel velger å bruke en symmetrisk produksjonstrategi isteden for den uniforme. Dette er de to mest logiske strategiene å velge når vi vet at feltene har like startratefordelinger, og når resultatene blir som de blir i det deterministiske tilfellet. Det eneste som kan påvirke denne bestemmelsen er den resulterende vekt-vektoren for den parametriske produksjonstrategien i seksjon 5.2.1. Den vektoren gir ikke noe tegn til at det er en symmetrisk vektor som er det optimale å bruke.

Hvis den parametriske vekt-vektoren fra den deterministiske produksjonsimuleringen brukes i den stokastiske modellen med lognormale startratefordelinger og irregulariteter i produksjonen vil det i forhold til resultatet fra seksjon 5.2.3 resultere i at den gjennomsnittlige platå lengden faller med cirka 16 dager, som er som er et fall på 1.2%. Det er altså en god del å vinne på å gjøre simuleringene med en stokastisk modell for å få et mer detaljert bilde av hvilke produksjonstrategier det lønner seg å bruke.

5.3 Ulike reservoarer med konkave PPR-funksjoner

I denne seksjonen skal vi se på eksempler hvor reservoarene har ulike startratefordelinger for å se om dette fører til at det er en annen type vektning på feltene som er mer optimal enn det den uniforme gir. Som i 5.2 tar vi først for oss det deterministiske tilfellet før de stokastiske modellene undersøkes. Til slutt analyseres det om det er noe å hente i å gjøre simuleringene i en stokastisk modell, og eventuelle utfordringer knyttet til søket etter en optimal parametrisk produksjonstrategi.

Persentilene til de lognormale startratefordelingene som blir brukt i denne seksjonen er gitt i tabell 5.7. Vi har valgt å sette ganske høye verdier for persentilene slik at sannsynligheten for at alle feltene blir berørt av produksjonsbegrensningen, gitt i likning (2.26), er stor. For det deterministiske tilfellet brukes p50 verdiene som startrater.

Reservoar	P10	P50	P90
1	4.40	5.00	5.75
2	5.20	6.00	7.00
3	6.00	7.00	8.25
4	6.80	8.00	9.50
5	7.60	9.00	10.75

Tabell 5.7: Persentiler for de 5 ulike lognormale startratefordelingene.

5.3.1 Deterministisk produksjon

Resultatet fra deterministisk produksjon er gitt i tabell 5.8.

Produksjonstrategi	Platå lengde
Parametrisk	1380
Symmetrisk	1361
Uniform	1363
Adaptiv prioritet	1360
Maxadaptiv prioritet	1360

Tabell 5.8: Resultat for deterministisk produksjon.

Den optimale parametriske produksjonstrategien ble funnet til å ligge i \mathcal{B}_2^w . Partisjonene og de tilhørende vektene er gitt i tabell 5.9.

Den parametriske produksjonstrategien er en god del bedre enn de andre med 17 dager bedre platå lengde enn den uniforme produksjonstrategien. Ut i fra partisjon og vekt-konfigurasjonen til den parametriske produksjonstrategien lønner det seg å prioritere de dårligste reservoarene mest i begge partisjonene.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[1.58]}, 2_{[1.0]}\}$
A_2	$\{3_{[1.18]}, 4_{[1.09]}, 5_{[1.0]}\}$

Tabell 5.9: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for ulike reservoarer med konkave PPR-funksjoner. Tallene i klammeparentes er reservoarets vekt.

Vi legger først på usikkerhet i startratene i neste seksjon og ser om dette gjør at det blir endringer på den optimale vekt-vektoren for den parametriske produksjonstrategien.

5.3.2 Usikkerhet i startratene

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Parametrisk	1335	1363.04	1391	41.50
Symmetrisk	1327	1354.01	1383	41.26
Uniform	1327	1354.19	1383	41.89
Adaptiv prioritet	1106	1352.22	1382	42.81
Maxadaptiv prioritet	1324	1352.22	1382	42.81
	1324			

Tabell 5.10: Resultater av produksjonsimulering med lognormale startratefordelinger.

Tabell 5.10 viser resultatet av simuleringene. Vi ser at den symmetriske produksjonstrategien nå nesten gir like gode resultater som den uniforme. Grunnen til at den symmetriske nå har nærmet seg er nok fordi det ikke lønner seg å ha en uniform prioritet over feltene ved dette oppsettet. Den symmetriske produksjonstrategien gir implisitt høyere vekt til de bedre reservoarene, og disse resultatene kan tyde på at dette gir et bedre resultat. Ser vi på den optimale parametriske produksjonstrategien så er dette delvis riktig da det er en stigende rekkefølge fra reservoar 3 til 5. Denne ligger i \mathcal{B}_1^w og har følgende vekter til reservoarene:

$$A_1 = \{1_{[13.21]}, 2_{[0.92]}, 3_{[0.90]}, 4_{[0.95]}, 5_{[1.0]}\}$$

Det er de adaptive prioritetstrategiene som presterer dårligst. Sammenlignet med den parametriske produksjonstrategien taper de nok mest på at de prioriterer de dårligste reservoarene først når produksjonsratene til reservoarene har falt under produksjonsbegrensningen c . Grunnen til at de ikke er så veldig mye dårligere, bare litt under 2 dager bak den symmetriske, er fordi så lenge produksjonsratene er større en c vil det reservoaret som blir helt strupet hele tiden bli vekslet på. Når det dårligste reservoarets sin produksjonsrate faller under c , vil dette bli prioritert høyest, mens de resterende feltene vil veksle på å bli strupet helt, og dette samsvarer jo bra med den vektoren som er optimal for den parametriske produksjonstrategien.

5.3.3 Usikkerhet i produksjonen

Vi går videre med å legge på en irregulærhet i produksjonen i intervallet $[0.9, 1.0]$. Startratefordelingene holder vi som i seksjon 5.3.2 og tabell 5.7. Resultatet av simuleringene kan vi se i tabell 5.11.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Parametrisk	1293	1325.58	1352	43.66
Symmetrisk	1286	1315.59	1347	44.33
Uniform	1286	1315.48	1347	44.94
Adaptiv prioritet	1285	1315.23	1347	45.4
Maxadaptiv prioritet	1285	1314.84	1346	45.5

Tabell 5.11: Ulike reservoarer med irregulærhet i produksjonen.

Den optimale parametriske produksjonstrategien ligger fortsatt i \mathcal{B}_1^w , men har nå fått følgende optimale vekter:

$$A_1 = \{1_{[2.87]}, 2_{[0.70]}, 3_{[0.87]}, 4_{[0.94]}, 5_{[1.0]}\}.$$

I forhold til da det ikke var noe irregulærhet i produksjonen i seksjon 5.3.2, har det nå blitt et annet mønster på vektene. Det er fortsatt optimalt å prioritere det dårligste reservoaret mest, men deretter bør de beste reservoarene prioriteres mer.

Resultatmessig med hensyn på gjennomsnittlig platå lengde har den symmetriske nå blitt litt bedre enn den uniforme prioritetstrategien. Bortsett fra dette så er rangeringen lik den vi hadde i seksjon 5.3.2. Grunnen til at den symmetriske nå har litt bedre gjennomsnittlige platå lengde enn den uniforme produksjonstrategien er som det ble sagt i forrige seksjon at det lønner seg heller å ha en høyere implisitt prioritering på de beste reservoarene, som vi får fra den symmetriske produksjonstrategien, enn å gi alle helt lik vekt slik den uniforme gjør. Dette bekreftes da også av de optimale vektene til den parametriske produksjonstrategien. Ved å legge på irregulærhet i produksjonen har denne trenden kommet tydeligere frem i forhold til hva den var i seksjon 5.3.2.

Den parametriske produksjonstrategien har i forhold til da det ikke var irregulærhet i produksjonen, nå blitt bedre sett i forhold til den symmetriske og uniforme produksjonstrategien. Irregulærheter i produksjonen gjøre altså at det er mer å hente på å prioritere slik den parametriske vekt-vektoren gjør i dette tilfellet, og viser at optimaliseringsprosedyren har klart å finne en tilnærmet optimal vektor som har tilpasset seg irregulærhetene i produksjonen.

5.3.4 Sammenligning av de tre produksjonsimuleringene

Det som gikk igjen i de tre produksjonsimuleringene vi nå har sett på er at det var den parametriske produksjonstrategien som ga det beste resultatet, med da en optimal partisjon og

vekt-konfigurasjon. Bruker vi vektene som blir funnet å være optimale i den deterministiske produksjonsmodellen, den minst realistiske modellen, i den mer virkelighetsnære modellen som inkluderer både usikkerhet i startrater og produksjon får vi en gjennomsnittlig platå lengde på 1292.97 dager. Dette er et fall på 2.5% i forhold til hva resultatet blir ved bruk av vektene som ble funnet ved bruk av den stokastiske modellen.

Vektene som ble funnet for den parametriske produksjonstrategien i seksjon 5.3.2 er optimale når det ikke er irregulareteter i produksjonen, men bare usikkerhet knyttet til startratene. Bruker vi disse vektene på den mest realistiske modellen med irregulareteter i produksjonen får vi en gjennomsnittlig platå lengde på 1317.23 dager. Dette er 8.34 dager og 0.6% mindre enn hva de optimale vektene for den fulle stokastiske modellen gir. Sammenlignet med hva vektene fra den deterministiske modellen gir ser vi at det er ved å legge på usikkerhet i startratene som gjør at vektene blir mer tilpasset en realistisk setting, men også at optimaliseringsprosedyren har klart å finne en optimal vekt-vektor tilpasset de irregularetetene som har blitt lagt på i produksjonen.

5.4 Oppsummering

I dette kapitlet har vi sett på ulike produksjonstrategier ved bruk av konkave PPR-funksjoner.

I seksjon 5.2 ble det sett på like reservoarer når PPR-funksjonene er konkave. Det ble vist at resultatene som kommer fra å bruke en deterministisk modell er langt fra optimale når de brukes i en stokastisk modell hvor det er usikkerhet i både startrater og produksjon. Dette gjaldt spesielt den optimale vekt-vektoren som ble funnet i det deterministiske tilfellet. Med hensyn på produksjonstrategi var det en uniform, der produksjonskapasiteten fordeles helt likt utover alle feltene, som var optimal.

Seksjon 5.3 tok for seg ulike reservoarer med konkave PPR-funksjoner. I dette scenarioet var det den parametriske produksjonstrategien som ga de beste resultatene. Den optimale vekt-vektoren som ble funnet av optimaliseringsalgoritmen for den fulle stokastiske modellen ga høyest prioritet til det dårligste reservoaret, for deretter å ha en omvendt prioritering på de gjenværende feltene der de beste reservoarene fikk høyest prioritet. Produksjonsimulering ved bruk av den deterministiske modellen, samt ved bare usikkerhet i startratene ga ikke et slikt mønster på vekt-vektoren. Partisjon og vekt-konfigurasjonen fra den deterministiske produksjonsimuleringen, ved bruk i den stokastiske modellen med usikkerhet både i startrate og produksjon, ga 2.5% dårligere resultat enn hva vi fikk ved bruk av vekt-vektoren som ble funnet ved bruk av den stokastiske modellen, mens ved bruk av den partisjon og vekt-konfigurasjonen fra modellen med bare usikkerhet i startratene ga et resultat som var 0.6% dårligere. Dette var en bekreftelse på at en tilnærmet optimal produksjonstrategi hadde blitt funnet i den fulle stokastiske modellen.

I neste kapittel skal vi ta for oss konvekse, harmoniske PPR-funksjoner.

Kapittel 6

Usikkerhet i produksjon med konvekse, harmoniske PPR-funksjoner

6.1 Introduksjon

I dette kapitlet skal vi ta for oss eksempler med konvekse PPR-funksjoner. Som i kapittel 5 vil det også i det konvekse tilfellet ikke være klart hva slags produksjonstrategi vi må velge for å oppnå de optimale platå lengdene. Vi fortsetter derfor å se på de produksjonstrategiene som vi gjorde i kapittel 5.

Den konvekse PPR-funksjonene vi skal se på i dette kapitlet er fra kapittel 2 gitt ved den harmoniske Arps-differensiallikningen:

$$q(t) = r_0 \exp\left(-\frac{DQ(t)}{r_0}\right), \quad (6.1)$$

Vi vil følge samme oppbygging som i kapittel 5, og begynner med å se på like reservoarer.

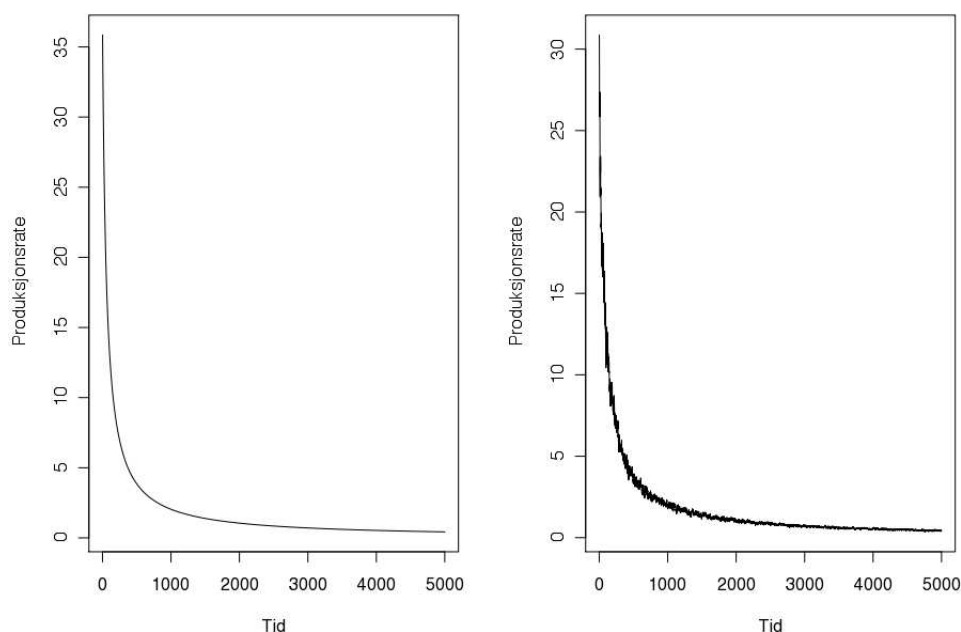
6.2 Like reservoarer med konvekse PPR-funksjoner

I denne og neste seksjonen skal den konvekse PPR-funksjonen bli nærmere undersøkt. Vi kan se ut i fra funksjon (6.1) at den konvekse produksjonsprofilen har et bratt fall i produksjonsraten de første dagene og vil flate ut etter hvert som $Q(t)$ øker mindre og mindre. Produksjonsraten blir aldri helt 0, men går mot 0 som et grensetilfelle når $t \rightarrow \infty$. Det er derfor viktig å finne en god produksjonstrategi som klarer å dra opp så mye olje som mulig på kortest mulig tid. Produksjonsprofilen til et felt med 5 reservoarer og ikke noe begrensning på produksjonen vil se ut som grafen i figur 6.1, hvor grafen til høyre er med irregularitet i produksjon. I forhold til det konkave tilfellet i kapittel 5 faller produksjonsraten raskt og får en lang hale.

Den adaptive og maxadaptive prioritetstrategien vil som ved konkave PPR-funksjoner prioritere med hensyn på pr-ratio. Siden den maxadaptive baserer seg på maksimumverdiene av disse ratioene, vil det ikke gå mange dager før denne prioritetstrategien vil slutte å omprioritere. Den adaptive prioritetstrategien vil derimot omprioritere så lenge disse ratioene forandrer seg.

I de neste seksjonene vil vi også ta med den strenge prioritetstrategien siden denne strategien vil ligge i ytterpunktene av settet $\partial(\mathcal{B}')$, som er der den optimale produksjonstrategien bør ligge i henhold til teorem 2.4.2 i kapittel 2.

Strukturen i seksjonen vil være som i de foregående. Den deterministiske settingen vil først bli undersøkt før det blir lagt på usikkerhet i modellen ved lognormale startratefordelinger og irregulariteter i produksjonen. Det er like reservoarer som skal bli undersøkt først.



Figur 6.1:

Som i seksjon 5.2.2 har vi lognormale startratefordelinger med persentiler gitt i tabell 6.1.

Reservoar	P10	P50	P90
1	5.60	7.00	8.75
2	5.60	7.00	8.75
3	5.60	7.00	8.75
4	5.60	7.00	8.75
5	5.60	7.00	8.75

Tabell 6.1: Persentiler for de 5 lognormale startratefordelingene.

6.2.1 Deterministisk produksjon

Resultatet av den deterministiske produksjons simuleringen er gitt i tabell 6.2. P50 persentilen i tabell 6.1 er brukt som startrater for de respektive feltene.

Produksjonstrategi	Platå lengde
Parametrisk	208
Symmetrisk	193
Uniform	193
Streng prioritet	208
Adaptiv prioritet	208
Maxadaptiv prioritet	208

Tabell 6.2: Resultat av deterministisk produksjons simulering med konvekse PPR-funksjoner og identiske reservoarer

Den optimale parametriske produksjonstrategien ligger i dette tilfellet i \mathcal{B}_4^w . Partisjonene og vektene for reservoarene er gitt i tabell 6.3.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[0.65]}, 2_{[1.0]}\}$
A_2	$\{3_{[1.0]}\}$
A_3	$\{4_{[1.0]}\}$
A_4	$\{5_{[1.0]}\}$

Tabell 6.3: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_4^w for like reservoarer med konvekse PPR-funksjoner. Tallene i klammeparentes er reservoarets vekt.

I motsetning til resultat fra konkave PPR-funksjoner i kapittel 5 er det nå ikke lenger optimalt å prioritere alle feltene likt. Både den symmetriske og uniforme produksjonstrategien gir 15 dager dårligere platå lengde enn de andre produksjonstrategiene, som kan forklares av teorem 2.4.2 i kapittel 2, siden den optimale produksjonstrategien nå skal befinne seg i $\partial(\partial(\mathcal{M}'))$. De adaptive og den strenge prioritetstrategien oppnår likt resultat som den parametriske prioritetstrategien. Da den strenge prioritetstrategien er den enkleste å implementere vil den være den tryggeste produksjonstrategien å velge hvis man bare tar utgangspunkt i

den deterministiske produksjonsimuleringen. Om dette lønner vil vise seg når vi legger på usikkerhet i de to neste seksjonene.

6.2.2 Usikkerhet i startratene

Det legges nå på lognormale startrater med persentiler fra tabell 6.1. Resultatene for denne simuleringen er gitt i tabell 6.4.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Parametrisk	198	209.20	220	16.52
Symmetrisk	183	192.77	202	14.13
Uniform	185	194.68	204	14.18
Streng prioritet	197	207.98	219	16.52
Adaptiv prioritet	201	212.14	223	16.5
Maxadaptiv prioritet	201	212.14	223	16.5

Tabell 6.4: Resultat av produksjonsimulering med lognormale startratefordelinger og konvekse PPR-funksjoner.

Optimaliseringsprosedyren finner her den optimale parametriske produksjonstrategien i \mathcal{B}_2^w . Vektene og partisjonene ble som følger:

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{2_{[1.9]}, 3_{[1.0]}\}$
A_2	$\{1_{[125.50]}, 4_{[69637.65]}, 5_{[1.0]}\}$

Tabell 6.5: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i prioritetklasse \mathcal{B}_2^w . Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.

Ratioen mellom minste og største vekt i partisjon A_2 er veldig høy, men optimaliseringsprosedyren fant ingen vekter i en høyere fastvektklasse som ga bedre platå lengder enn denne konfigurasjonen. Derimot er det ganske tydelig med disse vektene at optimaliseringen av den parametriske produksjonstrategien ikke er vellykket, og at det er behov for flere simuleringer for å jevne ut usikkerheten i startratene. Den gjennomsnittlige platå lengden for den optimale parametriske produksjonstrategien er 2.96 dager dårligere enn de adaptive prioritetstrategiene.

Det at det er de adaptive prioritetstrategiene som oppnår de beste platå lengdene viser at det er i ytterpunktene vi finner den optimale produksjonstrategien, noe vi også da vet fra teorem 2.4.2 i kapittel 2. Altså at man prioriterer de dårligste først eller de beste først. Hvilken rekkefølge som lønner seg vil vi se tydeligere når vi får undersøker ulike reservoarer i seksjon 6.3. Den adaptive og maxadaptive prioritetstrategien er helt identiske i dette tilfellet. Når det ikke er noe irregularitet i produksjonen vil det bare være første observasjon som gir opphav til hvordan det

bør prioriteres. Da den maxadaptive bruker samme kriterium for hvordan den skal prioritere, vil disse to da bli like.

I neste seksjon legger vi på irregularitet i produksjonen for å se hvordan det påvirker resultatene.

6.2.3 Usikkerhet i produksjonen

Vi legger nå på irregularitet i produksjonen i intervallet $[0.9, 1.0]$. Resultatet av dette er gitt i tabell 6.6.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Parametrisk	185	198.41	207	16.46
Symmetrisk	174	183.75	193	14.23
Uniform	176	185.68	195	14.3
Streng prioritet	186	197.55	209	16.43
Adaptiv prioritet	190	201.60	213	16.53
Maxadaptiv prioritet	190	201.70	213	16.53

Tabell 6.6: Resultat av produksjons simulering med lognormale start-ratefordelinger, irregulariteter i produksjonen i intervallet $[0.9, 1.0]$ og konvekse PPR-funksjoner.

Partisjonene og de tilhørende reservoarvektene til den parametriske produksjonstrategien er gitt i tabell 6.7

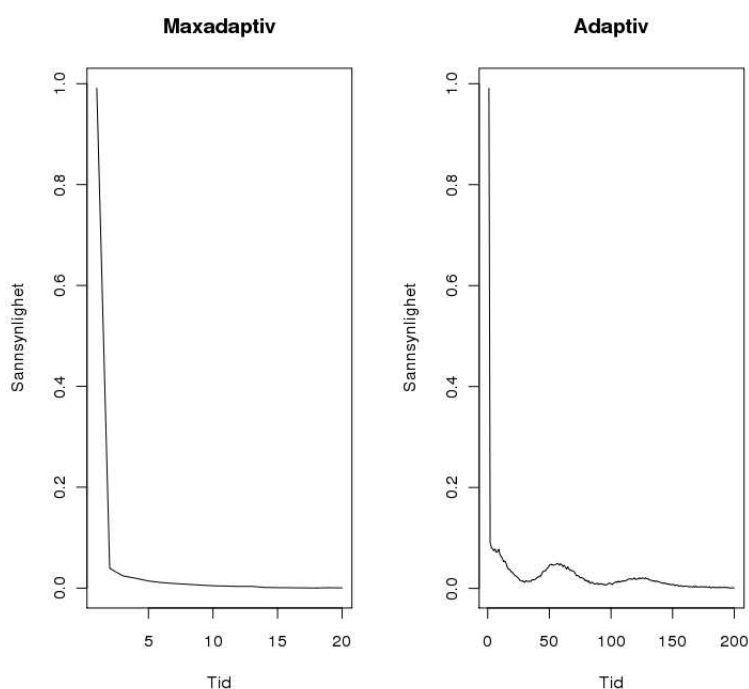
Partisjon	Reservoar
A_1	$\{2_{[5.00]}, 4_{[1.0]}\}$
A_2	$\{1_{[83.38]}, 3_{[3362.83]}, 5_{[1.0]}\}$

Tabell 6.7: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i \mathcal{B}_2^w . Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.

Når det har blitt lagt på irregularitet i produksjonen har de optimale vektene i partisjon A_2 sunket en god del, men de er fortsatt veldig høye. Den optimale klassen er fortsatt \mathcal{B}_2^w som i forrige seksjon.

Det er fortsatt de to adaptive prioritetstrategiene som presterer best. Den maxadaptive prioritetstrategien gjør det nå bedre enn den adaptive prioritetstrategien. Den adaptive prioritetstrategien ser ut til å lide under av at den hele tiden gjør omprioriteringer, slik vi så den gjorde i kapittel 4. Dette gjør da at den maxadaptive prioritetstrategien er det beste valget hvis man tolerer noen omprioriteringer de første dagene. Figur 6.2 viser sannsynligheten for at den maxadaptive og den adaptive prioritetstrategien gjør omprioriteringer i produksjonen. Den maxadaptive finner rakst fram til den prioriteringen som den bruker ut hele produksjonen, mens

den adaptive vil med ganske stor sannsynlighet gjøre endringer hele tiden produksjonen holder seg på plataet.



Figur 6.2: Sannsynligheten for at vi må omprioritere hvor hvert tidssteg for den maxadaptive og den adaptive prioritetstrategien.

Siden dette resultatet tyder på at det også i dette tilfellet er slik at det er optimalt å prioritere de feltene som har minst startrate ble det kjørt en ny simulering med den teoretiske startrateadaptive prioritetstrategien definert i kapittel 4. Resultatet av dette er gitt i tabell 6.8.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Teoretisk startrateadaptiv prioritet	190	201.72	213	16.52

Tabell 6.8: Resultat av produksjonsmodellering med den teoretiske startrateadaptive prioritetstrategien. Det er lognormale startratefordelinger, irregulariteter i produksjonen i intervallet [0.9, 1.0] og konvekse PPR-funksjoner.

Den teoretiske startrateadaptive prioritetstrategien ga en gjennomsnittlig plataelengde på 201.72 dager, 0.02 dager bedre enn den maxadaptive prioritetstrategien. Dette viser at det faktisk er optimalt å prioritere det reservoaret med de laveste startratene først når reservoarvolumene er like, men også at den maxadaptive prioritetstrategien finner riktig prioritet veldig raskt.

6.2.4 Sammenligning av de tre produksjonsimuleringene

Resultatene fra den deterministiske produksjonsimuleringen ga ikke så mye informasjon angående hvilken produksjonstrategi som var den mest optimale. Bortsett fra den uniforme og symmetriske produksjonstrategien ga de fire andre produksjonstrategiene helt like resultater. Det var først da det ble lagt til usikkerhet i modellen at resultatene ble mer differensiert.

Bruker vi partisjon og vekt-konfigurasjonen for den parametriske produksjonstrategien fra den deterministiske produksjonsimuleringen i den stokastiske modellen blir platå lengden på 197.40 dager, som er 4.30 dager dårligere enn den maxadaptive. Sammenligner vi med hva som ble funnet å være optimalt for den parametriske produksjonstrategien i den stokastiske modellen er forskjellen bare på 1.01 dager. Dette kan tyde på at det blir vanskelig for den parametriske produksjonstrategien å finne en optimal produksjonstrategi når det blir mye usikkerhet i produksjonen, noe da også reservoarvektene viser. Ved å bruke partisjon og vekt-konfigurasjonen fra seksjon 6.2.2 i modellen med irregularitet i produksjonen bekreftes dette. Denne oppnår nemlig en gjennomsnittlig platå lengde på 198.43 dager, 0.02 dager bedre enn hva som ble funnet å være optimalt i seksjon 6.2.3. For å prøve å rette på dette er det mulig å øke antall simuleringer i steg 1 i algoritme 2. Vi vil undersøke dette videre i kapittel 7.

Velger man en streng prioritetstrategi basert på resultatene fra den deterministiske simuleringen gir dette et tap på 4.15 dager i forhold til den maxadaptive prioritetstrategien. Selv om dette ikke er en altfor stor gevinst så har det å undersøke produksjonstrategiene i en stokastisk modell gitt ett et klarere bilde på hvilke produksjonstrategier som er best egnet ved konvekse PPR-funksjoner og like reservoarer, i forhold til det å studere det i en deterministisk modell.

6.3 Ulike reservoarer med konvekse PPR-funksjoner

Vi vil i denne seksjonen gå videre med den konvekse PPR-funksjonen og se på hva som skjer når reservoarene har ulike startrate fordelinger.

Eksempelene i denne seksjonen vil bruke persentiler for de lognormale startratefordelingene gitt ved tabell 6.9.

Reservoar	P10	P50	P90
1	2.40	3.00	3.75
2	3.20	4.00	5.00
3	4.00	5.00	6.25
4	4.80	6.00	7.50
5	5.60	7.00	8.75

Tabell 6.9: Persentilene for de lognormale startratefordelingene ved konvekse PPR-funksjoner.

6.3.1 Deterministisk produksjon

Vi starter som i de foregående seksjonene ved å begynne i det deterministiske tilfellet. Startratene er gitt som p50-persentilene i tabell 6.9. Resultatet for de ulike produksjonstrategiene er gitt i tabell 6.10.

Produksjonstrategi	Platå lengde
Parametrisk	138
Symmetrisk	127
Uniform	130
Streng prioritet	138
Adaptiv prioritet	138
Maxadaptiv prioritet	138

Tabell 6.10: Resultat av deterministisk produksjonsimulering med konvekse PPR-funksjoner og ulike reservoarer

Den optimale parametriske produksjonstrategien blir funnet til å ligge i klassen \mathcal{B}_2^w . Partisjonene og vektene for reservoarene er gitt i tabell 6.11.

Som i seksjon 6.2.1 presterer de fleste produksjonstrategiene likt. Det er bare den uniforme og symmetriske produksjonstrategien som ikke oppnår en platå lengde på 138 dager. Det er heller ikke mye informasjon å hente fra resultat for den parametriske produksjonstrategien, bortsett fra at det kan lønne seg å gi lavest prioritet til det beste reservoaret. Ved å legge på usikkerhet i startratene vil det nok komme mer tydelig frem hvilke produksjonstrategier som er best egnet.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[0.78]}, 2_{[1.26]}, 3_{[0.26]}, 4_{[1.0]}\}$
A_2	$\{5_{[1.0]}\}$

Tabell 6.11: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for ulike reservoarer og konvekse PPR-funksjoner. Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.

6.3.2 Usikkerhet i startratene

Vi legger nå på usikkerhet i startratene til reservoarene. Resultatet er gitt i tabell 6.12.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Parametrisk	128	138.90	150	16.21
Symmetrisk	117	126.52	136	13.82
Uniform	121	130.90	141	14.35
Streng prioritet	128	138.90	150	16.21
Adaptiv prioritet	129	139.53	150	16.19
Maxadaptiv prioritet	129	139.53	150	16.19

Tabell 6.12: Resultat for lognormale startratefordelinger med konvekse PPR-funksjoner på ulike reservoarer.

Det automatiserte søket etter den optimale parametriske produksjonstrategien endte opp i klassen \mathcal{B}_5^w , altså en streng prioritetstrategi, som er grunnen til at resultat for den parametriske produksjonstrategien og prioritetstrategien er identiske.

I seksjon 6.2.3 ble det vist at det er optimalt å prioritere de feltene med minste startrate først. Resultatene i tabell 6.12 bekrefter dette. Det som er interessant er hvor liten forskjell det er på den gjennomsnittlige platå lengden til de adaptive og den strenge prioritetstrategien. I kapittel 4 var det over 10 dager forskjell på de gjennomsnittlige platå lengdene på den adaptive og strenge prioritetstrategien med samme oppsett som brukt i denne seksjonen. Her er det bare 0.6 dager forskjell. Grunnen til dette er fordi konvekse PPR-funksjoner har brattere fall i produksjonsratene og har lengre haler. Dermed vil det ikke være så mye den strenge prioritetstrategien taper når det ved noen tilfeller er slik at de trukne startratene ikke stemmer overens med den strenge prioritetstrategien. Hvis det derfor er vanskelig eller dyrt å måtte omprioritere slik den maxadaptive prioritetstrategien vil måtte gjøre, er derfor den strenge prioritetstrategien et bra alternativ når PPR-funksjonene er konvekse.

6.3.3 Usikkerhet i produksjonen

Tabell 6.13 gir resultatet av produksjonsimuleringene når det er lagt på irregularitet i produksjonen.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Parametrisk	118	128.64	140	16.17
Symmetrisk	108	117.73	127	13.93
Uniform	112	121.84	132	14.51
Streng prioritet	118	128.72	140	16.14
Adaptiv prioritet	118	129.28	140	16.17
Maxadaptiv prioritet	118	129.31	140	16.17

Tabell 6.13: Resultat av produksjonsimulering med lognormale startratefordelinger, irregularteter i produksjonen i intervallet $[0.9, 1.0]$ og konvekse PPR-funksjoner.

De optimale vektene og partisjonene for den parametriske produksjonstrategien er gitt i tabell 6.3.3

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[2.34]}, 2_{[1.0]}\}$
A_2	$\{3_{[71.39]}, 4_{[1.0]}\}$
A_3	$\{5_{[1.0]}\}$

Tabell 6.14: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i prioritetklasse \mathcal{B}_3^w . Tallene i klammeparentes er reservoarets optimale vekt.

Irregulariteten i produksjonen ser ut til å gi utslag på valg av prioritetklasse for den parametriske produksjonstrategien, og den klarer ikke få finne det helt optimale. Den strenge prioritetstrategien gjør det bedre med 0.08 dager, og en optimal parametrisk produksjonstrategi ligger dermed også i dette tilfellet i \mathcal{B}_5^w .

Den maxadaptive prioritetstrategien gir det beste resultatet. Som i seksjon 6.2.3 taper den adaptive prioritetstrategien på at den omprioriterer vekk fra den optimale prioriteringen hvis det blir endringer på hvilken pr-ratio som er minst, noe som da helt klart ikke er optimalt. Forskjellen på den strenge og den maxadaptive prioritetstrategien har derimot sunket i forhold til da det ikke var noe irregularitet i produksjonen. I seksjon 6.3.2 var differansen på 0.63 dager. I denne seksjonen har den sunket til 0.59 dager. For å undersøke om dette øker i takt med størrelsen på irregulariteten ble det kjørt en ny produksjonsimulering for den maxadaptive og strenge prioritetstrategien med irregularitet i intervallet $[0.8, 1.0]$. Resultatet av dette er at differansen da synker til 0.43 dager. Det er klart at ved høyere produksjonsirregularitet vil det ta litt lenger tid før maximum av pr-ratioen blir observert for hvert reservoar, og dermed litt lenger tid før den maxadaptive prioritetstrategien begynner å ta i bruk den optimale prioriteten. Den strenge prioritetstrategien er dermed et godt alternativ hvis omprioriteringer i starten av produksjonen er uønskelig.

6.3.4 Sammenligning av de tre produksjonsimuleringene

Sammenligning av de tilfellene som har blitt sett på i seksjon 6.3 er veldig sammenfallende med de resultatene fra seksjon 6.2. Hvis man bruker partisjon og vekt-konfigurasjonen for den parametriske produksjonstrategien fra deterministisk produksjonsimulering, i den stokastiske modellen fra seksjon 6.3.3 vil gjennomsnittlig platå lengde bli 127.83 dager. Det er bare 1.31 dager mindre enn den maxadaptive prioritetstrategien gir.

I motsetning til reservoarer med konkave PPR-funksjoner i kapittel 5 er det ved konvekse PPR-funksjoner mindre å hente ved gjøre simuleringene i en stokastisk modell. Grunnen til dette kommer nok fra at den konvekse PPR-funksjonen brukt i dette kapitlet har et veldig bratt fall i produksjonsraten. Dette fører til at det blir korte platå lengder som igjen fører til at det blir mindre forskjell på den optimale produksjonstrategien og andres produksjonstrategier.

Ved å legge på irregularitet i produksjonen ble den optimale prioritetklassen funnet til å være \mathcal{B}_3^w . Dette er to klasser lavere enn da det bare var usikkerhet i startratene i seksjon 6.3.2. Grunnen til dette er nok fordi det er veldig små forskjeller mellom prioritetklassene, og dermed blir det vanskeligere for optimaliserings algoritmen for den parametriske prioritetstrategien å finne den korrekte klassen.

6.4 Oppsummering

I dette kapitlet har vi sett på ulike produksjonstrategier ved bruk av konvekse, harmoniske PPR-funksjoner, og da ved like og ulike reservoarer. Dette var henholdsvis i seksjon 6.2 og 6.3. Resultatene her viste at det var vanskelig for optimaliseringsprosedyren å finne et globalt maksimumspunkt når det var mye usikkerhet i modellen. Dette gjaldt spesielt når det både var usikkerhet i startrate og produksjon ved ulike reservoarer i seksjon 6.3. I motsetning til konkave PPR-funksjoner som vi så på i kapittel 5 var det ved konvekse PPR-funksjoner, når alle reservoarvolumene er like, optimalt å velge en streng prioritetsregel basert på startrate. Dette kom ikke fram ved bruk av den deterministiske modellen, med ble tydelig når det ble lagt på usikkerhet i startratene. Ved å legge på irregulærhet i produksjonen viste det seg at den adaptive prioritetstrategien tapte på å omprioritere med hensyn på den laveste produksjonsrate/gjenværende volum-ratio. Dermed var den maxadaptive prioritetstrategien som ga det beste resultatet hvis vi ser bort fra den teoretiske startrateadaptive prioritetstrategien. Et godt alternativ til den maxadaptive prioritetstrategien var den strenge prioritetstrategien som vi i seksjon 6.3 nærmet seg den maxadaptive med hensyn på platalengde ved økning av irregulærheten. Den prioritetstrategien viste seg dermed som et bra valg i dette tilfellet.

Ved irregulærhet i produksjonen viste deg seg i seksjon 6.3.3 at optimaliseringen av den parametriske produksjonstrategien ikke klarte å finne riktig klasse \mathcal{B}_k^w . Dette bør kunne løses ved å øke antall simuleringer som gjøres ved søk etter en initialiseringsvektor. I neste kapittel skal vi blant annet øke usikkerheten i modellen og doble antall simuleringer som blir kjørt i søket etter en initialiseringsvektor for å se hvilken effekt dette har. Dette vil vi gjøre i kontekst av konvekse, hyperbolske PPR-funksjoner.

Kapittel 7

Utvidet usikkerhetsmodellering med konvekse, hyperbolske PPR-funksjoner

7.1 Introduksjon

Vi skal avslutte denne oppgaven med å se nærmere på forskjellen mellom resultater fra deterministisk og stokastisk produksjonsmodellering for hyperbolske PPR-funksjoner, som fra kapittel 2 er gitt ved:

$$q(t) = r_0[1 - bD(t - t_0)]^{-1/b}. \quad (7.1)$$

Vi skal ta for oss to eksempler hentet fra kapittel 6 der det ble sett på like og ulike reservoarer ved harmoniske PPR-funksjoner, samt to eksempler hvor usikkerhet er tilstede i alle reservoarets nøkkelkomponenter. Sistnevnte betyr at det vil bli lagt inn usikkerhet på reservoarvolum, formparameteren b , startrate og produksjonsrate i form av irregularitet.

Vi vil se på hvilke feilvalg som kan gjøres ved å ta utgangspunkt i deterministisk produksjonsmodellering. For den parametriske produksjonsstrategien vil, som i forrige kapittel, partisjon og vekt-konfigurering fra en deterministisk produksjonsmodellering bli brukt i den stokastiske modellen. Resultatet fra dette vil da bli sammenlignet med det som ble funnet fra et søk etter en optimal partisjon og vekt-konfigurering i en stokastisk modell. I tillegg til å gi en indikasjon på hva det er vinne på ved å bruke stokastisk produksjonsmodellering, vil resultatene fra denne seksjonen også si noe om hvordan optimaliseringsalgoritmen fra kapittel 3 presterer når det blir veldig mye usikkerhet i modellen. Hvis det er slik at partisjon og vekt-konfigureringen fra et søk i en deterministisk produksjonsmodellering presterer opp i mot eller bedre enn det en konfigurering fra et søk i en stokastisk produksjonsmodellering gjør, har ikke algoritme 2 i kapittel 3 funnet et globalt maksimum, og eneste muligheten å forbedre dette på er da å øke antall simuleringer.

Produksjonsstrategiene som skal brukes er de samme som ble brukt i kapittel 6. Vi begynner dette kapitlet med å se på like og ulike reservoarer med samme oppsett som ble brukt i kapittel 6.

7.2 Like reservoarer med konvekse, hyperbolske PPR-funksjoner

For å kunne se om det er noe forskjell mellom den harmoniske og den hyperbolske PPR-funksjonen med hensyn på hvilken produksjonstrategi en bør velge kjører vi i denne seksjonen gjennom et eksempel som er likt det i seksjon 6.2 i kapittel 6. Alle reservoarene er modellert med en hyperbolsk PPR-funksjon med $b = 0.7$. Persentilene til de lognormale startratefordelingene er gjengitt i tabell 7.1.

Reservoar	P10	P50	P90
1	5.60	7.00	8.75
2	5.60	7.00	8.75
3	5.60	7.00	8.75
4	5.60	7.00	8.75
5	5.60	7.00	8.75

Tabell 7.1: Persentiler for de 5 lognormale startratefordelingene.

7.2.1 Deterministisk produksjon

For den deterministisk produksjonsmodellering blir som vanlig p50-persentilene brukt som verdi. Resultatet av en slik simulering er gitt i tabell 7.2, og den optimale partisjon og vekt-konfigurasjonen til den parametriske produksjonstrategien er gitt i tabell 7.3.

Produksjonstrategi	Gjennomsnitt
Parametrisk	625
Symmetrisk	590
Uniform	590
Streng prioritet	625
Adaptiv prioritet	625
Maxadaptiv prioritet	625

Tabell 7.2: Resultat av deterministisk produksjon med like reservoarer og hyperbolske PPR-funksjoner med $b = 0.7$.

Som i seksjon 6.3 er det ikke mulig å skille mellom de produksjonstrategiene som presterer best. Det må også i dette tilfellet legges på usikkerhet for å få skilt produksjonstrategiene fra hverandre.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[1.53]}, 2_{[4.30]}, 4_{[1.0]}\}$
A_2	$\{3_{[1.0]}\}$
A_3	$\{5_{[1.0]}\}$

Tabell 7.3: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_3^w for like reservoarer i en deterministisk modell.

7.2.2 Stokastisk produksjon

Vi legger da på usikkerhet i startrate og produksjon. Resultatet av denne produksjonsimuleringen er gitt i tabell 7.4.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavik
Parametrisk	580	608.80	638	42.42
Symmetrisk	543	567.93	593	36.82
Uniform	548	573.22	598	37.07
Streng prioritet	570	599.84	629	42.97
Adaptiv prioritet	587	615.7	645	42.88
Maxadaptiv prioritet	587	616.14	645	42.85

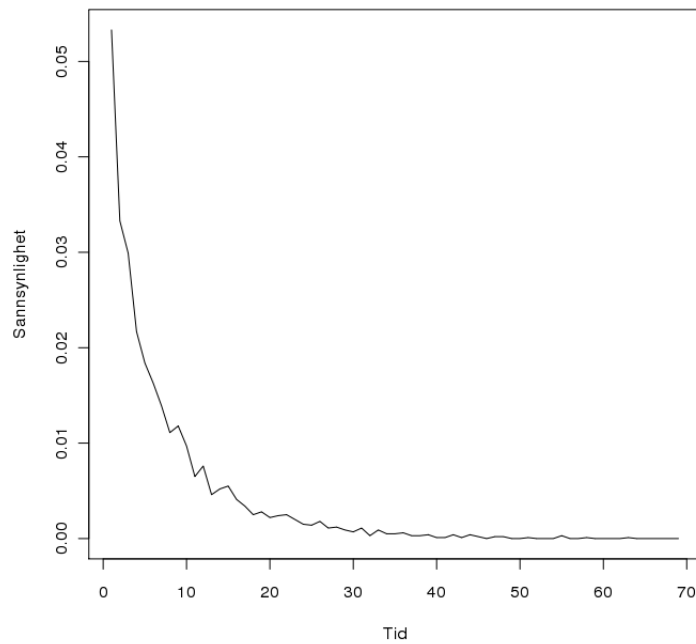
Tabell 7.4: Resultat fra stokastisk produksjonsimulering med like reservoarer og hyperbolske PPR-funksjoner med $b = 0.7$.

Som i tilfellet med harmoniske PPR-funksjoner er det igjen de adaptive produksjonstrategiene som oppnår det beste resultatet. Den optimale parametriske produksjonstrategien ligger derimot i en annen klasse nå enn hva de gjør ved bruk av harmoniske PPR-funksjoner. Reservoarvektene for den parametriske produksjonstrategien gitt ved:

$$A_1 = \{1_{[138.74]}, 2_{[22024.89]}, 3_{[30.76]}, 4_{[8471.39]}, 5_{[1.0]}\},$$

er veldig høye, og kan være en indikasjon på at en mer optimal strategi ligger i en høyere klasse. For å finne ut om dette er tilfelle må antall simuleringer i algoritme 2 økes i søket etter en optimal parametriske produksjonstrategi. Da resultatet fra første forsøk for den parametriske produksjonstrategien ligger ganske langt bak de adaptive, er nok ikke dette verdt bryet. Vil vil undersøke økning av antall simuleringer i seksjon 7.4 og 7.5.

For å se om den maxadaptive er realistisk å gjennomføre er omprioriteringssannsynligheten plottet i figur 7.1. For å få et mer detaljert bilde da sannsynlighetene for omprioritering er så små etter dag 1 er plottet fra dag 2. Dag 1 har en omprioriteringssannsynlighet på 100%. Sannsynligheten for omprioritering faller raskt under 1% for så å gå mot 0.



Figur 7.1: Sannsynligheten for at vi må omprioritere hvor hvert tidssteg for den maxadaptive prioritetstrategien ved like reservoarer.

7.2.3 Sammenligning av produksjonsimuleringene

Ved bruk av den partisjon og vekt-konfigurasjonen som ble funnet i det deterministiske søket blir den gjennomsnittlige platå lengden 599.83 dager når den brukes i den stokastiske modellen. Det er 8.97 dager dårligere enn det den optimale partisjon og vekt-konfigurasjonen fra det stokastiske søket gir, og 16.31 dager dårligere enn den maxadaptive prioritetstrategien. Ved reservoaroppsettet i denne seksjonen ser vi at det er en god del å vinne på å gjøre stokastiske produksjonsimuleringer med tanke på valg av produksjonstrategi.

7.3 Ulike reservoarer med konvekse, hyperbolske PPR-funksjoner

Vi fortsetter her med å se på tilfellet med ulike reservoarer som ble undersøkt i seksjon 6.3 i kapittel 6. Alle reservoarene er igjen modellert med en hyperbolsk PPR-funksjon og har $b = 0.7$. De lognormale startratefordelingene er gitt i tabell 7.5.

Reservoar	P10	P50	P90
1	2.40	3.00	3.75
2	3.20	4.00	5.00
3	4.00	5.00	6.25
4	4.80	6.00	7.50
5	5.60	7.00	8.75

Tabell 7.5: Persentilene for de lognormale startratefordelingene ved hyperbolske PPR-funksjoner.

7.3.1 Deterministisk produksjon

Deterministisk produksjonsmodellering er gitt i tabell 7.2, og den optimale partisjon og vekt-konfigurasjonen til den parametriske produksjonstrategien er gitt i tabell 7.3.

Produksjonstrategi	Gjennomsnitt
Parametrisk	442
Symmetrisk	405
Uniform	418
Streng prioritet	443
Adaptiv prioritet	443
Maxadaptiv prioritet	443

Tabell 7.6: Resultat fra deterministisk produksjonsmodellering med ulike reservoarer

Fra den deterministiske produksjonsmodelleringen er det en av prioritetstrategiene som det lønner seg å velge, og da antageligvis den maxadaptive prioritetstrategien hvis vi ser på resultatene fra seksjon 7.2. Om dette også stemmer i en stokastisk modell vil vi se i neste seksjon.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[3.33]}, 2_{[3.56]}, 3_{[2.35]}, 4_{[1.0]}\}$
A_2	$\{5_{[1.0]}\}$

Tabell 7.7: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for ulike reservoarer i en deterministisk modell.

7.3.2 Stokastisk produksjon

Resultatene fra den stokastiske produksjonsmodellen bekrefter at det er de adaptive prioritetstrategiene som presterer best, og da spesielt den maxadaptive. Resultatet er gitt i tabell 7.4.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavvik
Parametrisk	384	416.13	448	46.62
Symmetrisk	356	382.89	410	39.79
Uniform	369	396.95	426	41.7
Streng prioritet	384	416.01	448	46.64
Adaptiv prioritet	386	418.22	450	46.69
Maxadaptiv prioritet	387	418.38	450	46.7

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[17.81]}, 2_{[601.01]}, 3_{[7.54]}, 4_{[1.0]}\}$
A_2	$\{5_{[1.0]}\}$

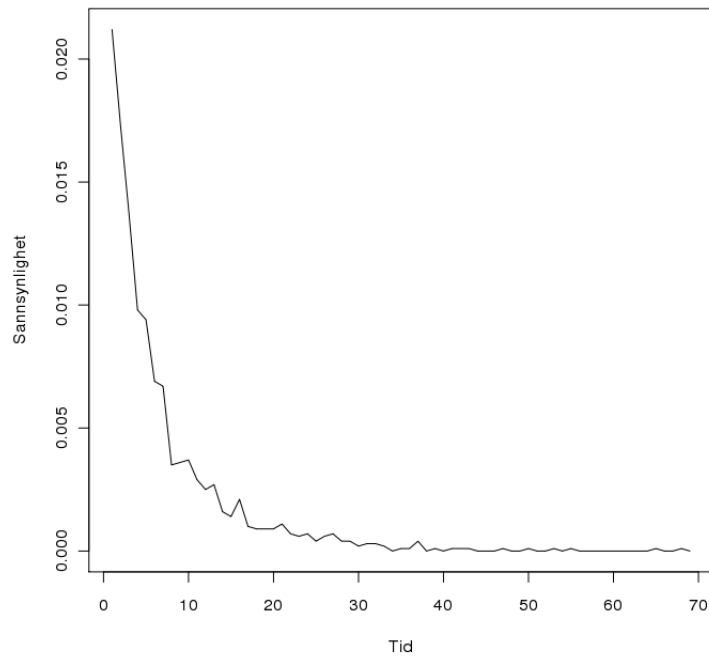
Tabell 7.8: Partisjonene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for ulike reservoarer i en stokastisk modell.

Partisjonskonfigurasjonen i den stokastiske produksjonsmodellen er lik som i den deterministiske tilfellet. Vektene har derimot endret seg for å forhåpentligvis bli bedre tilpasset usikkerheten som har blitt lagt på. Som i seksjon 7.3 er derimot ratioen mellom minste og største vekt i A_1 såpass høy at det er mulig ved bruk av flere simuleringer vil det være mulig å finne en bedre partisjon og vekt-konfigurasjon.

Omprioriteringssannsynligheten for den maxadaptive prioritetstrategien er plottet i figur 7.2. Plottet går fra dag 2 for å få et mer detaljert bilde. Ved dag 1 er sannsynligheten for omprioritering 40%. Sammenlignet med da det var like reservoarer har sannsynligheten sunket. Den maxadaptive er derfor også i dette tilfellet godt egnet til denne typen reservoaroppsett.

7.3.3 Sammenligning av produksjonsmodellene

Både i deterministiske og stokastiske produksjonsmodellen ble \mathcal{B}_2^w funnet til å være den optimale klassen for den parametriske produksjonstrategien. Selv om vekten til reservoar 2 for den stokastiske modellen er veldig høy i forhold til de andre vektene i partisjonen, er den resulterende gjennomsnittlige platå lengden bedre enn om vi bruker vektene fra den deterministiske produksjonsmodellen. Disse vektene oppnår en gjennomsnittlig platå lengde på 415.54 dager, 0.59 dårligere. Men som for de harmoniske PPR-funksjonene som ble undersøkt i kapittel 6 er det den maxadaptive som gir det beste resultatet.



Figur 7.2: Sannsynligheten for at vi må omprioritere hvor hvert tidssteg for den maxadaptive prioritetstrategien ved ulike reservoarer.

I de to neste seksjonene skal vi undersøke en komplett stokastisk modell hvor det er lagt til usikkerhet i alle komponenter som beskriver reservoaret og produksjon.

7.4 Komplette stokastisk modell 1

I denne seksjonen skal vi se på en full stokastisk modell. Dette innebærer at det er usikkerhet knyttet til alle hovedkomponentene som beskriver reservoaret: volum, formparameter b og startrate, samt at det også er irregulart i produksjonen.

Persentilene for de lognormale fordelingene i dette eksempelet er gitt i tabell 7.9.

Reservoar	Startrate-persentiler	Volum-persentiler	b -persentiler
1	[2.40 _{10%} , 3.00 _{50%} , 3.75 _{90%}]	[3000 _{10%} , 4000 _{50%} , 5000 _{90%}]	[0.2 _{10%} , 0.3 _{50%} , 0.4 _{90%}]
2	[3.20 _{10%} , 4.00 _{50%} , 5.00 _{90%}]	[5000 _{10%} , 6000 _{50%} , 7000 _{90%}]	[0.3 _{10%} , 0.4 _{50%} , 0.5 _{90%}]
3	[4.00 _{10%} , 5.00 _{50%} , 6.25 _{90%}]	[4500 _{10%} , 5500 _{50%} , 6500 _{90%}]	[0.4 _{10%} , 0.5 _{50%} , 0.6 _{90%}]
4	[4.80 _{10%} , 6.00 _{50%} , 7.50 _{90%}]	[2500 _{10%} , 3500 _{50%} , 4500 _{90%}]	[0.5 _{10%} , 0.6 _{50%} , 0.7 _{90%}]
5	[5.60 _{10%} , 7.00 _{50%} , 8.75 _{90%}]	[4500 _{10%} , 5500 _{50%} , 6500 _{90%}]	[0.6 _{10%} , 0.7 _{50%} , 0.8 _{90%}]

Tabell 7.9: Persentiler for lognormalfordelte startrater, reservoarvolum og formparameter.

7.4.1 Deterministisk produksjon

For den deterministiske produksjonsmodellen er det p50-persentilene som blir brukt som estimat for parametrene. Resultatet av denne simuleringen er gitt i tabell 7.10.

Produksjonstrategi	Gjennomsnitt
Parametrisk	615
Symmetrisk	530
Uniform	546
Streng prioritet	606
Adaptiv prioritet	615
Maxadaptiv prioritet	615

Tabell 7.10: Resultat fra deterministisk produksjonsmodell for eksempel 1.

Den optimale partisjon og vekt-konfigurasjonen er gitt i tabell 7.11. Det er ikke noe forskjell på den parametriske produksjonstrategien og de adaptive prioritetstrategiene som helt klart er de beste i dette tilfellet. En stokastisk produksjonsmodell gir nok et klarere bilde.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[0.65]}, 3_{[1.0]}\}$
A_2	$\{2_{[1.0]}\}$
A_3	$\{5_{[1.0]}\}$
A_4	$\{4_{[1.0]}\}$

Tabell 7.11: Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_4^w for den deterministiske produksjonsimuleringen.

7.4.2 Stokastisk produksjon

Vi legger nå irregularitet i produksjon samt usikkerheten i reservoarkomponentene gitt i tabell 7.9. Resultatet av denne produksjonsimuleringen er gitt i tabell 7.12.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavik
Symmetrisk	437	561.37	544	79.68
Uniform	453	491.68	562	81.05
Streng prioritet	495	509.16	615	90.05
Adaptiv prioritet	504	556.79	623	89.53
Maxadaptiv prioritet	505	565.11	624	89.68

Tabell 7.12: Resultat fra stokastisk produksjonsimulering for eksempel 1.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[1.97]}, 2_{[1.82]}, 3_{[1.0]}\}$
A_2	$\{4_{[103.06]}, 5_{[1.0]}\}$

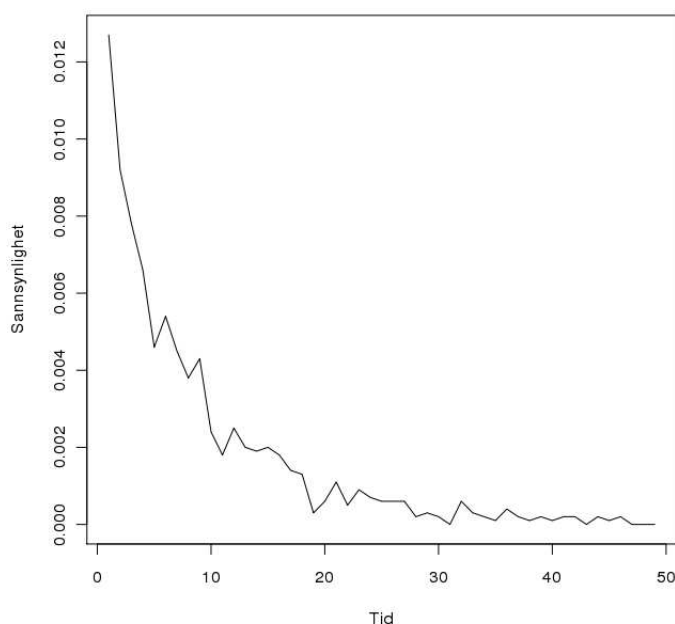
Tabell 7.13: Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_2^w for den stokastiske produksjonsimuleringen.

Ut i fra disse resultatene ser det ut som at den maxadaptive igjen er den beste produksjonstrategien. Bruker vi derimot den optimale partisjon og vekt-konfigurasjonen fra det deterministiske søket i den stokastiske modellen blir den resulterende gjennomsnittlige platå lengden på 565.10 dager. Dette er 3.73 dager bedre enn hva resultatet ble ved et søk i den stokastiske modellen. Med bare 1.01 dager dårligere gjennomsnittlig platå lengde enn den maxadaptive, og med bruk av en partisjon og vekt-konfigurasjon som ikke har tatt høyde for noe usikkerhet, er det mulig at et mer grundig søk etter en optimal parametriske produksjonstrategi i den stokastiske modellen vil gi et resultat som er bedre enn hva den maxadaptive gir.

For å undersøke dette nærmere økte vi først antall simuleringer fra 100 til 200 i algoritme 2 i søket etter en initialiseringsvektor. Deretter til 500 for å se om hvor store utslag det ville gi på resultatet. Ved 200 simuleringer ble den gjennomsnittlige platå lengden på 561.41 dager,

som er en økning på bare 0.05 dager. Sammenligner vi med det deterministiske er det fortsatt 3.68 dager dårligere. Ved 500 simuleringer blir den gjennomsnittlige platalengden på 561.37, som fortsatt ikke er noe bedre enn hva den partisjon og vekt-konfigurasjonen fra deterministisk produksjonsmodell gir. Ved bruk av 500 simuleringer er resultatet faktisk likt det vi får ved 100 simuleringer. Forskjellen er at simuleringstiden ble nesten 7 dager ved bruk av 500 simuleringer. Ved dette reservoaroppsettet og så mye usikkerhet i modellen er det klart at det må veldig mange simuleringer til for at optimal parametrisk produksjonstrategi skal bli funnet i den stokastiske modellen.

Den maxadaptive viser seg derfor som et klart valg. Sannsynligheten for omprioritering i dette reservoaroppsettet er også ganske liten, som vi kan se i figur 7.3. Plottet starter på dag 2, og sannsynligheten for omprioritering ved dag 1 er 64%.



Figur 7.3: Sannsynligheten for at vi må omprioritere hvor hvert tidssteg for den maxadaptive prioritetstrategien ved komplett stokastisk modell.

7.4.3 Sammenligning av produksjonsmodellene

Dette eksempelet viser hvordan søket etter en optimal parametrisk produksjonstrategi helt tydelig lider av at det blir for mye usikkerhet i dataene når den skal prøve å finne et globalt maksimumspunkt. I dette tilfellet var det faktisk bedre å bruke den optimale partisjon og vekt-konfigurasjonen fra den deterministiske produksjonsmodellen istedenfor den vi fikk fra en stokastisk produksjonsmodell med både 200 og 500 simuleringer.

Å øke antall simuleringer er den eneste mulighet for å prøve å jevne ut alle usikkerheten i modellen, noe som vil gjøre at tiden det tar før en optimal produksjonstrategi blir funnet øker

betraktelig hvis man ikke har store resursser tilgjengelig som for eksempel store og kraftige dataservere.

I neste seksjon skal vi snu på rekkefølgen til formparametrene for å se om dette har noe å si på utfallet.

7.5 Komplett stokastisk modell 2

I dette eksempelet har vi snudd på rekkefølgen på formparametrene i forhold til forrige eksempel. Sett bort fra dette så er både volum og startefordeling likt.

Reservoar	Startrate-persentiler	Volum-persentiler	b -persentiler
1	[2.40 _{10%} , 3.00 _{50%} , 3.75 _{90%}]	[3000 _{10%} , 4000 _{50%} , 5000 _{90%}]	[0.6 _{10%} , 0.7 _{50%} , 0.8 _{90%}]
2	[3.20 _{10%} , 4.00 _{50%} , 5.00 _{90%}]	[5000 _{10%} , 6000 _{50%} , 7000 _{90%}]	[0.5 _{10%} , 0.6 _{50%} , 0.7 _{90%}]
3	[4.00 _{10%} , 5.00 _{50%} , 6.25 _{90%}]	[4500 _{10%} , 5500 _{50%} , 6500 _{90%}]	[0.4 _{10%} , 0.5 _{50%} , 0.6 _{90%}]
4	[4.80 _{10%} , 6.00 _{50%} , 7.50 _{90%}]	[2500 _{10%} , 3500 _{50%} , 4500 _{90%}]	[0.3 _{10%} , 0.4 _{50%} , 0.5 _{90%}]
5	[5.60 _{10%} , 7.00 _{50%} , 8.75 _{90%}]	[4500 _{10%} , 5500 _{50%} , 6500 _{90%}]	[0.2 _{10%} , 0.3 _{50%} , 0.4 _{90%}]

Tabell 7.14: Persentiler for lognormalfordelte startrater, reservoarvolum og formparameter.

7.5.1 Deterministisk produksjon

Produksjonstrategi	Gjennomsnitt
Parametrisk	665
Symmetrisk	608
Uniform	616
Streng prioritet	629
Adaptiv prioritet	665
Maxadaptiv prioritet	665

Tabell 7.15: Resultat fra deterministisk produksjonsimulering for eksempel 2.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[0.65]}, 3_{[1.0]}\}$
A_2	$\{2_{[1.0]}\}$
A_3	$\{5_{[1.0]}\}$
A_4	$\{4_{[1.0]}\}$

Tabell 7.16: Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_4^w for den deterministiske produksjonsimuleringen.

Det er igjen ingen forskjell på den maxadaptive og parametriske produksjonstrategien i tabell 7.15. Den optimale parametriske produksjonstrategien er også helt lik den som ble funnet i seksjon 7.4.

7.5.2 Stokastisk produksjon

En stokastisk produksjonsmodell viser derimot at den parametriske produksjonstrategien er et klart valg med dette reservoaroppsettet. Dette resultatet er gitt i tabell 7.17, og den optimale partisjon og vekt-konfigurasjonen for den parametriske produksjonstrategien er gitt i tabell 7.18.

Produksjonstrategi	1. Kvartil	Gjennomsnitt	3. Kvartil	Standardavik
Symmetrisk	510	617.20	618	82.05
Uniform	518	565.96	631	85.18
Streng prioritet	522	576.26	643	91.53
Adaptiv prioritet	541	584.88	659	89.01
Maxadaptiv prioritet	545	601.8 605.04	663	88.99

Tabell 7.17: Resultat fra stokastisk produksjonsmodellering for eksempel 2.

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{1_{[8.26]}, 3_{[1.0]}\}$
A_2	$\{2_{[192.16]}, 4_{[1.0]}\}$
A_3	$\{5_{[1.0]}\}$

Tabell 7.18: Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_3^w for den stokastiske produksjonsmodelleringen.

Den parametriske produksjonstrategien er klart best i dette eksempelet. Ratioen mellom største og minste vekt i A_2 er derimot ganske høy og vi prøver derfor å øke antall simuleringer i algoritme 2 til 200 for å se hvordan dette påvirker resultatet. Resultatet blir at den gjennomsnittlige platå lengden øker til 617.73. Vektene og partisjonene har nå forandret seg og er nå som gitt i tabell 7.19. Økningen av simuleringer fører til en økning på 0.53 dager i forhold

Partisjon	Reservoar
A_1	$\{2_{[1.0]}\}$
A_2	$\{1_{[18.21]}, 3_{[15.56]}, 5_{[1.0]}\}$
A_3	$\{4_{[1.0]}\}$

Tabell 7.19: Partisjonene og vektene for den parametriske produksjonstrategien i klassen \mathcal{B}_3^w for den stokastiske produksjonsmodelleringen ved økning av simuleringer.

til å bruke 100 simuleringer i søket etter en initialiseringsvektor.

7.5.3 Sammenligning av produksjonsimuleringene

Ved bruk av den partisjon og vekt-konfigurasjonen fra den deterministiske produksjonsimuleringen i den stokastiske modellen blir den gjennomsnittlige platå lengden på 617.11 dager. Dette er bare 0.09 dårligere enn hva som er gitt for den parametriske produksjonstrategien gitt i tabell 7.17, og da 0.62 dager dårligere enn da vi økte antall simuleringer til 200.

Den deterministiske partisjon og vekt-konfigurasjonen gir fortsatt et godt resultat når den brukes i den stokastiske modellen, men sammenlignet med resultat vi fikk i seksjon 7.4 gir den ikke bedre resultat enn den konfigurasjonen som blir funnet i den stokastiske modellen.

7.6 Oppsummering

Vi har i dette kapitlet sett på hyperbolske PPR-funksjoner og forskjell på resultat ved bruk av deterministisk og stokastisk produksjonsimulering, og da spesielt med hensyn på optimaliseringen av den parametriske produksjonstrategien i kontekst av stor usikkerhet i produksjonsmodellen.

I seksjon 7.2 og 7.3 tok vi for oss eksempler med like og ulike reservoarer som det også ble gjort i kapittel 6 for harmoniske PPR-funksjoner. Med hensyn på hva som viste seg å være en optimal produksjonstrategi var det ikke noe forskjell på de harmoniske og hyperbolske PPR-funksjonene. Hva optimaliseringsprosedyren for den parametriske produksjonstrategien ga som optimale partisjon og vekt-konfigurasjon var derimot forskjellige.

For å videre undersøke effekten av usikkerhet i produksjonsmodellen tok vi i seksjon 7.4 og 7.5 for oss en modell med usikkerhet i startrate, formparameter, volum og produksjon. I seksjon 7.4 så vi at ved stor usikkerhet i modellen var det veldig vanskelig for optimaliseringsprosedyren til den parametriske produksjonstrategien å finne en optimal produksjonstrategi. Resultatet fra den deterministiske produksjonsimuleringen gjorde det bedre enn den som ble funnet i den stokastiske produksjonsimuleringen, og dette med over 3 dager. Økning av antall simuleringer til 200 og 500 ga oss heller ingen markante forbedringer, og dermed var det den maxadaptive som var den beste produksjonstrategien.

Når rekkefølgen på formparameter-persentilene ble snudd i seksjon 7.5 ble resultatet ganske annerledes i forhold til hva det ble i seksjon 7.4. I en stokastisk produksjonsimulering viste deg seg at den parametriske produksjonstrategien var hele 12.16 dager og 1.97% bedre enn den maxadaptive prioritetstrategien. I et slikt tilfelle gir det en god gevinst å gjøre produksjonsimuleringen i en stokastisk modell. Selv om partisjon og vekt-konfigurasjonen fra den deterministiske produksjonsimuleringen i dette tilfellet ikke gjorde det bedre enn den fra stokastiske produksjonsimuleringen i en stokastisk produksjonsimulering var det bare 0.09 dager i gjennomsnitt som skilte de to. Ved å øke antall simuleringer til 200 i algoritme 2, økte gjennomsnittlig platalengde for den parametriske produksjonstrategien med 0.53 dager og endte opp med en gjennomsnittlig platalengde på 617.73 dager. Dette er bare en økning på 0.08%, hvorav det måtte en dobling til i simuleringstiden for å oppnå dette. Om en har råd til å bruke så mye ekstra tid på så små endringer blir derfor en vurderingssak hvis man ikke har store dataressurser tilgjengelig.

Kapittel 8

Konklusjon

Vi har i denne oppgaven sett på optimalisering av oljeproduksjon når usikkerhet er tilstede i modellen, og da med tre ulike typer PPR-funksjoner: lineære, konkave og konvekse.

Ved bruk av lineære PPR-funksjoner i kapittel 4 så vi at det ikke var optimalt å ha en produksjonstrategi som fikk lov til å gjøre løpende endringer i prioriteten med hensyn på skalaparameteren D . Det var ved bruk av reservoarenes egentlige startrate at vi fikk det beste resultatet, og dette førte oss dermed inn på sporet av å finne en prioritetstrategi som tilnærmet seg denne teoretiske grensen best mulig. Det som viste seg å være optimalt var å bruke maksimum av observerte produksjonsrater som et estimat for startraten for deretter å bruke disse for å regne ut D . Denne prioritetstrategien oppnådde resultater tett opp til den teoretiske grensen uten å måtte ty til mange omprioriteringer. Vi presenterte også en versjon av denne som bare trengte en omprioritering i løpet av hele produksjonen.

For konkave og konvekse PPR-funksjoner er det ikke som ved lineære PPR-funksjoner en fast oppskrift vi kan bruke for å finne den mest optimale produksjonstrategien. I kapittel 5, 6 og 7 var det derfor av større interesse å undersøke forskjeller på deterministisk og stokastisk produksjonsmodellering. Spesielt så vi på bruken av resultater fra den deterministiske produksjonsmodelleringen i en stokastisk setting, og hva dette medførte i forhold til å bruke det vi fikk fra en stokastisk produksjonsmodellering. Det var ganske store forskjeller i det konkave tilfelle et og ved bruk av den parametriske produksjonstrategien. Ved ulike reservoarer i 5.3 var det så mye som 2.5% økning i platå lengden å bruke resultatene fra en stokastisk produksjonsmodellering. For konvekse PPR-funksjoner, og da spesielt den harmoniske var det ikke så mye å tape ved å bruke det som ble resultatet fra deterministiske produksjonsmodellering. Ved like og ulike reservoarer var det den maxadaptive produksjonstrategien som presterte best både ved harmoniske og hyperbolske PPR-funksjoner.

Det som gikk igjen i kapittel 6 og 7 var at det ved mye usikkerhet i modellen ble vanskelig å finne en optimal parametriske produksjonsstrategien. Det eneste vi kan gjøre for å bedre dette er å øke antall simuleringer, noe som vil føre til veldig lange simuleringprosesser. Dette ble spesielt erfart i kapittel 7 da vi økte antall simuleringer til 500 i algoritme 2, som

førte til at det tok cirka 7 dager å finne en optimal partisjon og vekt-konfigurasjon for den parametriske produksjonstrategien. Er det store dataprosesseringressurser tilgjengelig bør dette utnyttes ved at søket etter en optimal partisjon og vekt-konfigurasjon for den parametriske produksjonstrategien skrives om til å bli multitrådet. Dette vil kunne senke simuleringstiden betraktelig, og da spesielt med servere med mange prosessorkjerner. En rask implementasjon av dette som ble kjørt på en maskin med 2 prosessorkjerner ga en halvering av tiden det tok å finne en initialiseringsvektor, sammenlignet med en en-trådet optimaliseringsprosess. Har man store servere der antall prosessorer er tre eller firesifret vil vi kunne øke antall simuleringer betraktelig og allikevel kunne fullføre et søk etter en optimal parametrisk produksjonstrategi innen rimelig tid.

Det er klart ut i fra resultatene i denne oppgaven at det lønner seg å ta med usikkerhet i produksjonsimuleringene. Det gir et mer nyansert bilde av hvilke produksjonstrategier som er de optimale i forhold til i det deterministiske tilfellet der mange av resultatene blir like. Det har også blitt vist at i de tilfeller der det er den parametriske produksjonstrategien som gir det beste resultatet, blir det funnet bedre partisjon og vekt-konfigurasjoner som er bedre tilpasset en mer realistisk setting.

Bibliografi

- [1] A. B. Huseby and N. F. Haavardsson. Multi-reservoir production optimization. *European Journal of Operational Research*, 199(1-2):236 – 251, 2009.
- [2] A. B. Huseby and N. F. Haavardsson. Multi-reservoir production optimization under uncertainty. *Reliability, Risk and Safety. Theory and Applications*, pages CRC Press s. 407 – 413, 2010.
- [3] A. B. Huseby, N. F. Haavardsson, and L. Holden. A parametric class of production strategies for multi-reservoir production optimization. *Statistical research report no 8, Department of Mathematics, University of Oslo*, 2008.
- [4] J. J. Arps. Analysis of decline curves. *PETROLEUM TECHNOLOGY*, Technical Publication no. 1758, 1944.
- [5] Nils F. Haavardsson and Arne Bang Huseby. Multisegment production profile models – a tool for enhanced total value chain analysis. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 58(1-2):325 – 338, 2007.