



DATO: 21. SEPTEMBER 1998

EKSAMEN I: TE 195 Reservoarteknikk 1

VARIGHET: kl 09.00–14.00

TILLATTE HJELPEMIDLER: Kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV: 6 sider

MERKNADER: Ingen

Oppgave 1

a) Skriv ned det generelle uttrykk for Darcy's lov som angir sammenhengen mellom hastigheten og gradienten til potensialet. Forklar hva hver størrelse står for og hvilken enhet den har.

b) En brønn er boret inn i et nytt, tykt gassreservoar. Brønnen stikker såvidt ned i den produktive sonen og strømmen inn mot brønnen kan betraktes som halvsfærisk (over en halvkule). Neglisjer gravitasjonsleddet og vis at dersom ideell gasslov gjelder så kan volumraten \bar{q} i reservoaret ved midlere trykk $\bar{p} = (p_e + p_w)/2$ uttrykkes ved

$$\bar{q} = -\frac{2\pi k}{\mu} \frac{p_e - p_w}{\left(\frac{1}{r_w} - \frac{1}{r_e}\right)}, \quad \dots \dots \dots (1)$$

hvor p_e angir trykket ved ytre grense, p_w trykket i brønnen og r_e og r_w er de tilsvarende radiene.

c) Vis at volumfaktoren B_g for en reell gass er gitt ved

$$B_g = \frac{p_{\text{std}} Z T}{p Z_{\text{std}} T_{\text{std}}}. \quad \dots \dots \dots (2)$$

d) Beregn trykket i brønnen ved bruk av data fra tabell 1.

Oppgave 2

Innledning—Om Ekofisk

Ekofisk feltet ble satt i produksjon i mai 1974. Det er et umettet oljereservoar av typen kritt. Drivmekanismen ble først antatt å være vanlig trykkavlastning kombinert med

Tabell 1: Data til beregning av brønntrykket i oppgave 1

$p_{\text{std}} = 1 \text{ atm}$	$p_e = 200 \text{ atm}$
$T_{\text{std}} = 300 \text{ }^\circ\text{K}$	$T = 370 \text{ }^\circ\text{K}$
$Z_{\text{std}} = 1.0$	$\bar{Z} = 0.85$
$\mu = 0.0178 \text{ cp}$	$k = 100 \text{ mD}$
$r_e = 100 \text{ m}$	$r_w = 0.1 \text{ m}$
$q_{\text{std}} = 1.5 \times 10^5 \text{ std m}^3/\text{døgn}$	

reinjeksjon av overskuddsgass. Et pilotprosjekt for vanninjeksjon startet i 1984 og ledet siden til flere fullskala faser av vanninjeksjon.

Ekofisk reservoardata er gitt i tabell 2 og utdrag av PVT-data i tabell 3. Oljen karakteriseres som en lett olje. Idet reservoartrykket passerer gjennom kokepunktstrykket utvikles det fri gass i reservoaret. For tyngre oljetyper vil denne gassen ikke felle ut noe væske når den blir tatt til overflaten. For lette oljer derimot, vil reservoargassen ha olje oppløst i seg. Oljen felles ut som væske når gassen tas til overflaten. Den utfelte oljen kalles ofte kondensat. Produsert volum olje, N'_p , slik det måles på overflaten, består altså av olje fra oljefasen i reservoaret, N_p , og av kondensat fra gassfasen i reservoaret.

Spørsmål

- a) Vis at total årsproduksjon $\Delta N'_p$ av olje (olje fra oljefase og kondensat fra gassfase) kan justeres for kondensatbidraget etter formelen

$$\Delta N_p = \Delta N'_p - (\Delta N'_p \bar{R}' - \Delta N_p \bar{R}_s) \bar{r}_s, \quad \dots \dots \dots (3)$$

hvor

- ΔN_p : årsproduksjon av olje kun fra oljefasen i reservoaret (stb/yr)
- $\Delta N'_p$: årsproduksjon olje fra både olje- og gassfasen i reservoaret (stb/yr)
- \bar{R}' : total, midlere GOR over året (scf/(stb av olje pluss kondensat))
- \bar{R}_s : årsmidlet, oppløst gass-olje forhold, (scf/stb), (gass i oljefasen)
- \bar{r}_s : årsmidlet, oppløst olje-gass forhold, (stb/scf), (kondensat i gassfasen),

og forklar at en med denne korreksjonen kan bruke den vanlige materialbalanseligningen for oppløst gassdriv.

- b) Utled den vanlige materialbalanseligningen for oppløst gasdriv,

$$F = N(E_o + E_{fw}) + G_i B_{gI}, \quad \dots \dots \dots (4)$$

hvor det er tatt med følgende to modifiseringer: (1) gassinjeksjon er inkludert og (2) kompressibilitetsleddet for vann og bergart, E_{fw} , er beholdt siden dette er av betydning for Ekofisk.

c) Utdrag av produksjonsdata er gitt i tabell 4. På grunn av kompaksjonen av reservoaret vil porekompressibiliteten c_f endres under produksjon. Etter år 14 kan c_f settes lik $30.74 \cdot 10^{-6}/\text{psi}$ og etter år 15 lik $32.36 \cdot 10^{-6}/\text{psi}$. Bruk dette og ligning 4 til å estimere volum olje opprinnelig tilstede i reservoaret.

Tabell 2: Reservoardata for Ekofisk

p_i	7120 psia
p_b	6300 psia
B_{oi}	1.990 rb/stb
R_{si}	1550 scf/stb
ϕ	0.32
S_{wc}	0.25
c_w	$3.5 \times 10^{-6}/\text{psi}$
h	230 ft, midlere formasjonshøyde

Tabell 3: Utdrag av PVT-data for Ekofisk

År	Trykk (psia)	B_o (rb/stb)	R_s (scf/stb)	B_g (rb/scf)	B_{gl} (rb/scf)	r_s (stb/MMscf)
0	7120(p_i)	1.990	1550			
6	6300(p_b)	2.030	1550		0.00065	100
7	6175	2.000	1450	0.00061	0.00066	98
13	4310	1.515	700	0.00079	0.00085	33
14	4150	1.470	640	0.00081	0.00088	30
15	4000	1.455	610	0.00083	0.00090	28

Trykk: Oppgitt ved slutten av året

B_{gl} : Volumfaktor for injeksjonsgass

r_s : olje (kondensat) fra gass frigjort i reservoaret; (M: 1000)

Oppgave 3

Den klassiske linjekildeløsningen er gitt ved

$$p_D = \frac{1}{2} \text{ei}\left(\frac{1}{4t_D}\right) + S, \quad \dots \dots \dots (5)$$

Tabell 4: Utdrag av produksjons- og injeksjonsdata for Ekofisk

År	N'_p (MMstb)	N_p (MMstb)	G_p (MMscf)	G_i (MMscf)
13	501.812	448.550	1638823	602536
14	531.852		1869561	642170
15	555.489		2076158	696865
Volum oppgitt ved slutten av hvert år				

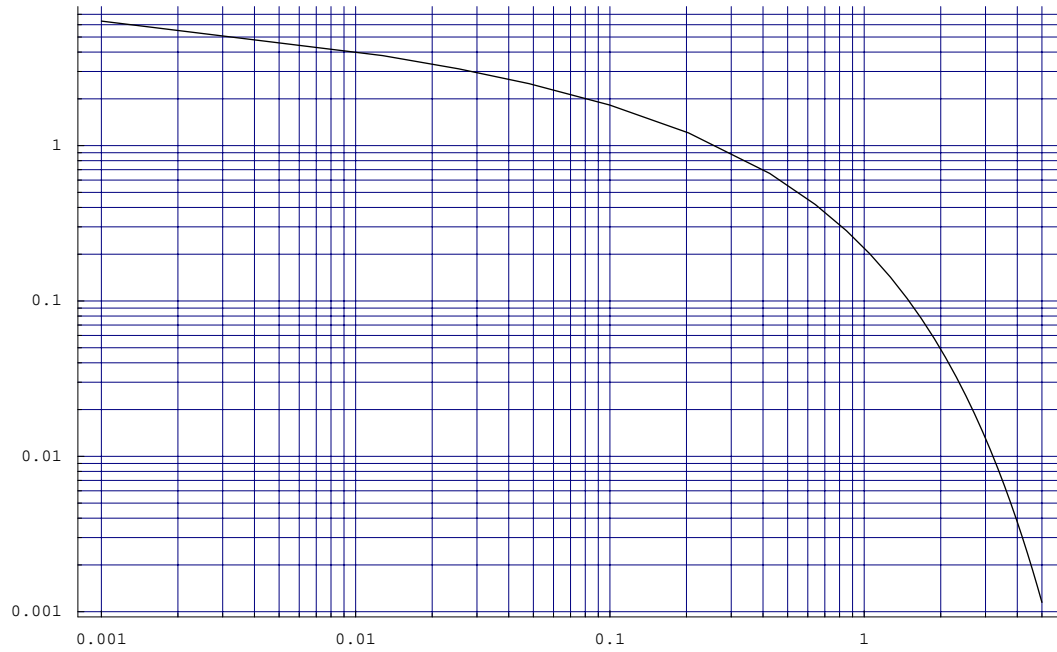
Tabell 5: Linjekildeløsningen i Darcy enheter og praktiske enheter

Darcy enheter		;	Praktiske enheter	
p_D	$= \frac{2\pi kh}{q\mu}(p_i - p_w)$;	$\frac{1}{141.2} \frac{kh}{Q\mu B}(p_i - p_w)$	
t_D	$= \frac{kt}{\phi\mu cr^2}$;	$0.000264 \frac{kt}{\phi\mu cr^2}$	
Praktiske enheter: ft, timer, stb/d, psia, cp og mD				

hvor dimensjonsløst trykk p_D og tid t_D er gitt i tabell 5, for to sett av enheter. Funksjonen $ei(x)$ er vist i figur 1. For x -verdier mindre enn 0.01 så kan vi bruke logaritmetilnærmelsen av eksponensialintegralet, $ei(x) \approx -\ln(\gamma x)$ med $\gamma = 1.781$.

a) Forklar hva som er de viktigste antagelsene for at ligning 5 skal være gyldig.

b) Et reservoar som kan betraktes som uendelig stort er begrenset mot øst av en forseglende forkastning i form av et vertikalt plan. En undersøkelsesbrønn er plassert i avstand d fra forkastningen. Korrekte grensevilkår ved forkastningen er at det ikke skal gå noen strøm gjennom den. Det kan en få til ved å bruke en såkalt speilbrønn. Det er en tenkt brønn som plasseres i samme avstand d på andre siden av forkastningen og som produseres på samme måte som den virkelige brønnen. Av symmetri grunner blir da strømmen over forkastningen lik null. Andre reservoardata er gitt i tabell 6. Før trykktesten ble utført var det fra annen informasjon klart at avstanden d til forkastningen var av størrelsesorden fem hundre fot, permeabiliteten antagelig rundt $0.5D$, og testen ble planlagt til å vare et døgnns tid. Vis at en ikke uten videre kan bruke logaritmetilnærmelsen av ei -funksjonen i beregning av trykkfallet fra speilbrønnen.



Figur 1: Funksjonen $e_i(x)$ i log-log plott for x -verdier mellom 0.001 og 5.

Tabell 6: Reservoardata

$p_i=3460$ psia ; $c=17 \times 10^{-6}$ /psi
$p_{wf,s}=2970$ psia ; $h=25$ ft
$r_w=0.510$ ft ; $\mu=1.0$ cp
$\phi=0.25$; $B=1.30$ rb/stb

c) Det utføres nå en trykkoppbyggingstest i brønnen. Vis at trykkløsningen er gitt ved

$$\frac{1}{141.2} \frac{kh}{Q\mu B} (p_i - p_{ws}) = 1.151 \log_{10} \frac{t_p + \Delta t}{\Delta t} + \frac{1}{2} \text{ei} \left(\frac{\phi \mu c d^2}{0.000264k(t_p + \Delta t)} \right) - \frac{1}{2} \text{ei} \left(\frac{\phi \mu c d^2}{0.000264k(\Delta t)} \right), \dots \dots \dots (6)$$

hvor t_p er produksjonstiden før avstenging.

d) Vis at ligning 6 medfører at plottet av p_{ws} mot $\log_{10}((t_p + \Delta t)/\Delta t)$ vil gi en rett linje for små verdier av Δt og en annen rett linje for store verdier av Δt , med økning i stigningsforholdet på en faktor 2.

e) Brønnen produserte 5320 stb olje med en sluttrate på 3500 stb/d før den ble stengt av. Trykkdata er gitt i tabell 7. Beregn permeabiliteten fra testen.

Tabell 7: Trykkoppbyggingsdata

Δt (hrs)	p_{ws} (psia)	Δt (hrs)	p_{ws} (psia)	Δt (hrs)	p_{ws} (psia)	Δt (hrs)	p_{ws} (psia)
0.050	3284.1	0.117	3310.6	0.183	3321.9	0.250	3329.1
0.317	3333.6	0.383	3337.1	0.450	3340.3	0.650	3347.5
0.850	3352.8	1.050	3357.1	1.250	3360.6	1.517	3364.2
2.050	3370.0	2.517	3374.1	3.050	3377.9	4.050	3383.8
5.050	3388.8	6.050	3392.4	7.050	3395.4	8.050	3398.5
9.050	3401.2	10.050	3403.6	11.050	3405.7	12.050	3408.0
13.117	3410.0	14.050	3411.6	15.050	3413.3	16.050	3414.9
17.050	3416.3	18.050	3417.6	20.050	3420.1	21.050	3421.2
22.050	3422.3	23.050	3423.3	24.050	3424.2	25.050	3425.1
26.050	3426.0	27.050	3426.8	28.050	3427.6	29.00	3428.3

f) Bruk testdataene til å estimere avstanden til forkastningen.