LØSNINGSSKISSE
med kommentarer

ØVING 3

OPPGAVE 1: *IPR og TPR kurver*

For en brønn har en følgende data fra en multirate test:

For en brønn har en følgende data fra en multirate test:

q(o)	p(wf)	p(wh)
[stb/d]	[psia]	[psia)
0	5000	
550	4800	1900
1225	4500	1500
2180	4000	800

Forøvrig er følgende data gitt:

Reservoartrykket p_{eo} = ***5000*** *psia*
Kokepunktstrykket p_b = ***5000*** *psia*
Dvs. brønntrykk på kokepunktet
Midlere gass - olje forhold **GOR** = ***1200*** *scf/STB*

Som innstrømningslikning benyttes: $q_o = C\left(p_e^2 - p_{wf}^2\right)^n$

A) *Likningen over kan skrives:* $\ln[q_o] = \ln[C] + n \cdot \ln[\left(p_e^2 - p_{wf}^2\right)]$

eller: $\log[q_o] = \log[C] + n \cdot \log[\left(p_e^2 - p_{wf}^2\right)]$

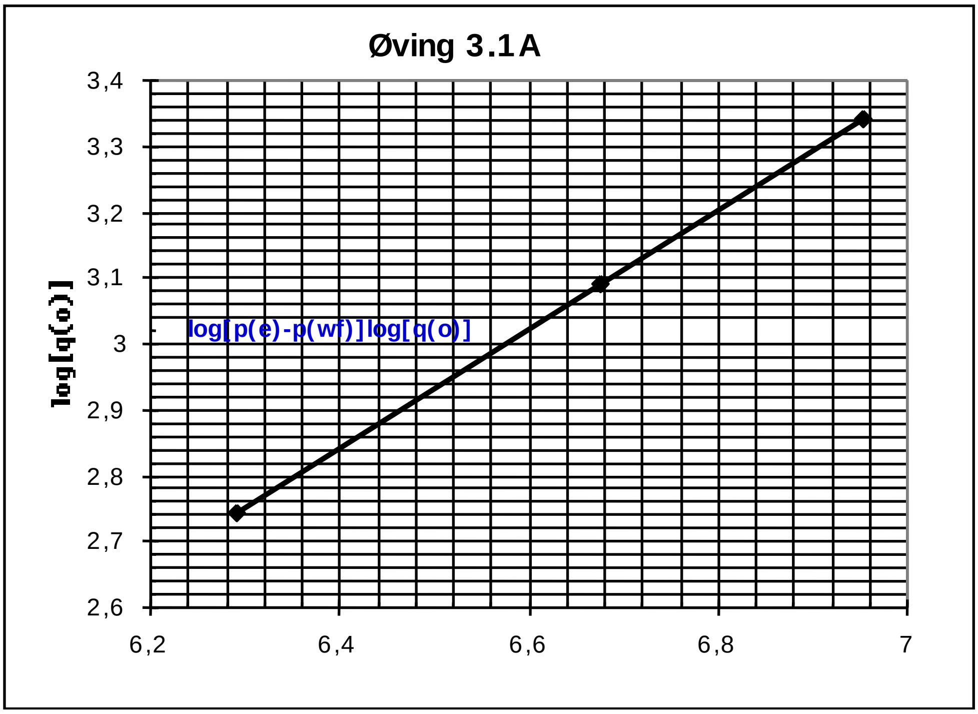
log[q_o] *plottes som funksjon av* ***log[(p_e^2 – p_{wf}^2)]***:

q(o)	p(wf)	log[p(r)^2-p(wf)^2]	log[q(o)
[stb/d]	[psia]		
0	5000		
550	4800	6,292	2,740
1225	4500	6,677	3,088
2180	4000	6,954	3,338

Diagram finnes på neste side.

n *bestemmes som vinkelkoeffisienten i nedenforstående diagram:* ***n = 0.90***

Dere kan også beregne n fra formlene over ved for eksempel å benytte verdiene for q_{o1} = 550, p_{wf1} = 4800, q_{o2} = 1225 og p_{wf2} = 4500. Dette er vist til slutt rett før spørsmål B under.



Ettersom det er sagt "Vis at…", kan det enkelt vises at ***n = 0.9*** *ved direkte innsetting av samhørende verdier av* p_{wf} *og* q_o *i likningen for* q_o.

C= konst når n har riktig verdi.

q(o) [stb/d]	C(beregnet)
0	
550	**1,19E-03**
1225	**1,20E-03**
2180	**1,20E-03**

Dersom vi tar tak i ligningene: $\ln[q_o] = \ln[C] + n \cdot \ln[(p_e^2 - p_{wf}^2)]$

eller: $\log[q_o] = \log[C] + n \cdot \log[(p_e^2 - p_{wf}^2)]$

kan vi sette opp:

$\log[q_{o1}] = \log[C] + n \cdot \log[(p_e^2 - p_{wf1}^2)]$ [1] og

$\log[q_{o2}] = \log[C] + n \cdot \log[(p_e^2 - p_{wf2}^2)]$ [2] og får da:

[1] – [2] : $\log[q_{o1}] - \log[q_{o2}] = n \cdot \log[(p_e^2 - p_{wf1}^2)] - n \cdot \log[(p_e^2 - p_{wf2}^2)]$ og

$$n = \frac{log\left(\frac{q_{o1}}{q_{o2}}\right)}{log\left(\frac{p_e^2 - p_{wf1}^2}{p_e^2 - p_{wf2}^2}\right)} = \frac{log\frac{550}{1225}}{log\left(\frac{5000^2 - 4800^2}{5000^2 - 4500^2}\right)} = \frac{-0.3478}{log\frac{1960000}{4750000}} = \frac{-0.3478}{-0.3844} = 0.904$$

Vi finner nå C ved å sette inn for q_o, p_{wf} og n i enten ligning [1] eller [2] og finner

$\log[550] = \log[C] + 0.9 \cdot \log[(5000^2 - 4800^2)]$

$\log(C) = \log[550] - 0.9\log[5000^2 - 4800^2]$ = 2.74 - 5.66 = - 2.92

C = 0.0012

B) *Fra beregningen ovenfor:* ***C = 0,0012***

IPR-kurven beregnes ved hjelp av den gitte likningen for $\boldsymbol{q_o}$. *For konstantene i likningen benyttes tallverdiene:*

$\boldsymbol{n} = \mathbf{0.9}$
$\mathbf{C} = \mathbf{0.00120}$
$\boldsymbol{p_e} = \mathbf{5000}$

IPR-kurven er vist på neste side.

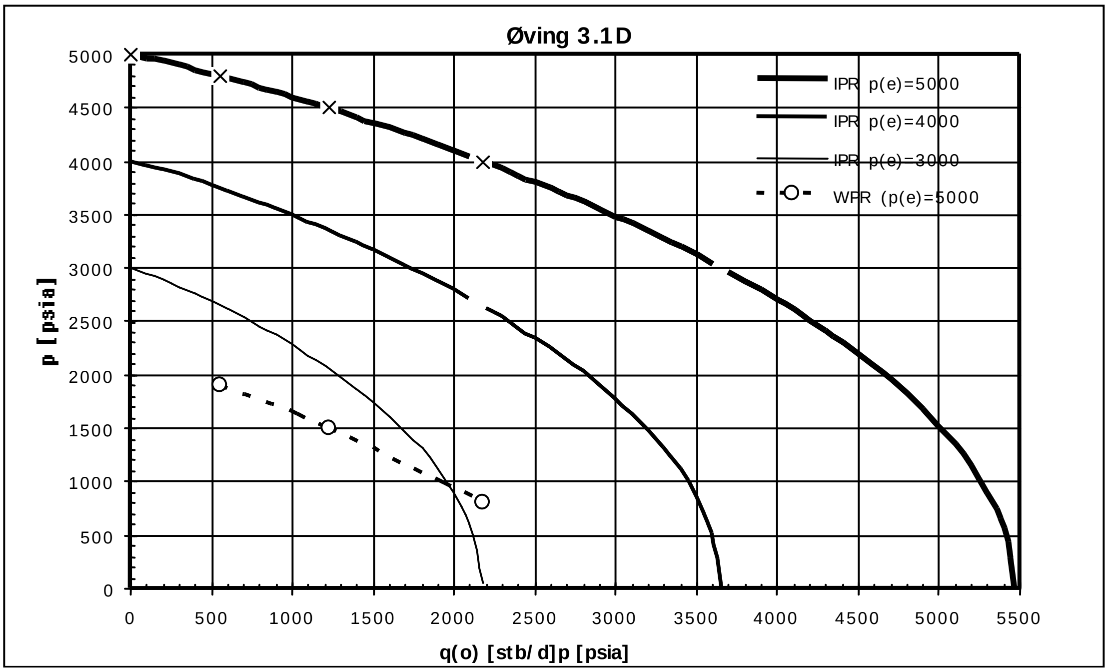
C) *IPR-kurver tilsvarende andre reservoartrykk skal beregnes og tegnes ut fra de gitte data. Det må da antas at størrelsene* **C** *og* ***n*** *i innstrømningslikningen ikke endres når* $\boldsymbol{p_e}$ *synker fra 5000 psia til 3000 psia. For både* $\boldsymbol{p_{e1}}$ **= 4000** psia *og* $\boldsymbol{p_{e2}}$ **= 3000** psia *benyttes verdiene:*

$\boldsymbol{n} = \mathbf{0.9}$
$\mathbf{C} = \mathbf{0.00120}$

En har da antatt at fluidegenskaper og reservoaregenskaper ikke er forandret i løpet av den tiden reservoatrykket har sunket fra det initielle. Husk at du må benytte $\boldsymbol{p_{e1}}$ *og* $\boldsymbol{p_{e2}}$ *for* p_e *i*

ligningen $q_o = C\left(p_e^2 - p_{wf}^2\right)^n$ *når du beregner IPR kurver ved lavere reservoartrykk.*

Kurvene er inntegnet i diagrammet nedenfor.



D) Kommentar: Ved bruk av den oppgitte likningen er p_{wf} eller IPR =IPR(p_e,q_o), eller for gitt reservoartrykk IPR(p_e = p_{e0}) = IPR0(q_o) , der det finnes samsvarende verdier for p_{wf} (q_o)og p_{wh} (q_o) ved gitt p_R. Fluid-egenskaper og reservoaregenskaper er implisitt gitt ved n og C. Sammen med kurven IPR(P_e =p_{e1})=IPR1(q_o) hører andre sam-svarende verdier av p_{wf} (q_o) og p_{wh} (q_o). Dette er lett forståelig når en knytter størrelsene til de aktuelle ratemålingene :

- ved et gitt reservoartrykk vil økende brønnhodetrykk korrespondere med minkende rate (og dermed minkende p_{wf}),
- for å holde en gitt rate må brønnhodetrykket minkes etter som reservoartrykket synker, og p_{wf} synker tilsvarende.

Av det ovenstående ser en at en WPR-kurve der p_{wh} er gitt ved WPR = WPR(q_o) er samhørende med en gitt IPR-kurve.

WPR-kurven som korresponderer med IPR(p_{e0} = 5000) *(tegnes inn i samme diagram som IPR-kurvene.*

For q_o = **1500** *psia leses det av på diagrammet et korresponderende brønnhodetrykk* p_{wh} ≈ **1290** *psia.*

E) *Det skal tegnes inn i diagrammet en kurve for nødvendig inntakstrykk ved inngang til produksjonsrøret* p_{in} *når* p_{wh} = **500** *psia. I mangel av andre opplysninger antas det neglisjerbart trykktap mellom perforeringer og inngang til produksjonsrør, altså antas* p_{in} = p_{wf}

Følgende opplysninger er relevante:

•*TPR-kurven gis for et gitt brønnhodetrykk,* p_{wh} = *konstant.*

- *I forelesningen fra kapittel 7 i læreboka ble diskutert et diagram som viste de ulike trykkbidragene til TPR-kurven:* p_{wh} = *konstant,* Δp_H *(hydrostatisk) og*Δ p_f *(friksjon). (se handout fra forelesning).*
- *TPR-kurven basers på forholdene i produksjonsrøret: geometri og fluidegenskaper. I praksis reduseres dette gjerne til strømningsrate* q*, produksjonsrørets diameter* d_w *, produksjonsrørets lengde* **H**, *fluidtetthet* ρ *(eller* **GLR**).
- *Et forenklet oppsett for TPR er TPR(*q_o*)* = p_{wh} + Δ $p_w(q_o)$ = p_{wh} + Δ $p_h(q_o)$ + Δ $p_f(q_o)$, *der* Δ p_f *betraktes som proporsjonal med* q^2/d^5 *for en væske. I enkle tilnærminger vil en som her av og til se bort fra variasjon i tetthet / GLR).*

Som en approksimasjon kan en da benytte samme Δ $p_w(q_o)$ *for ulike* p_{wh}.

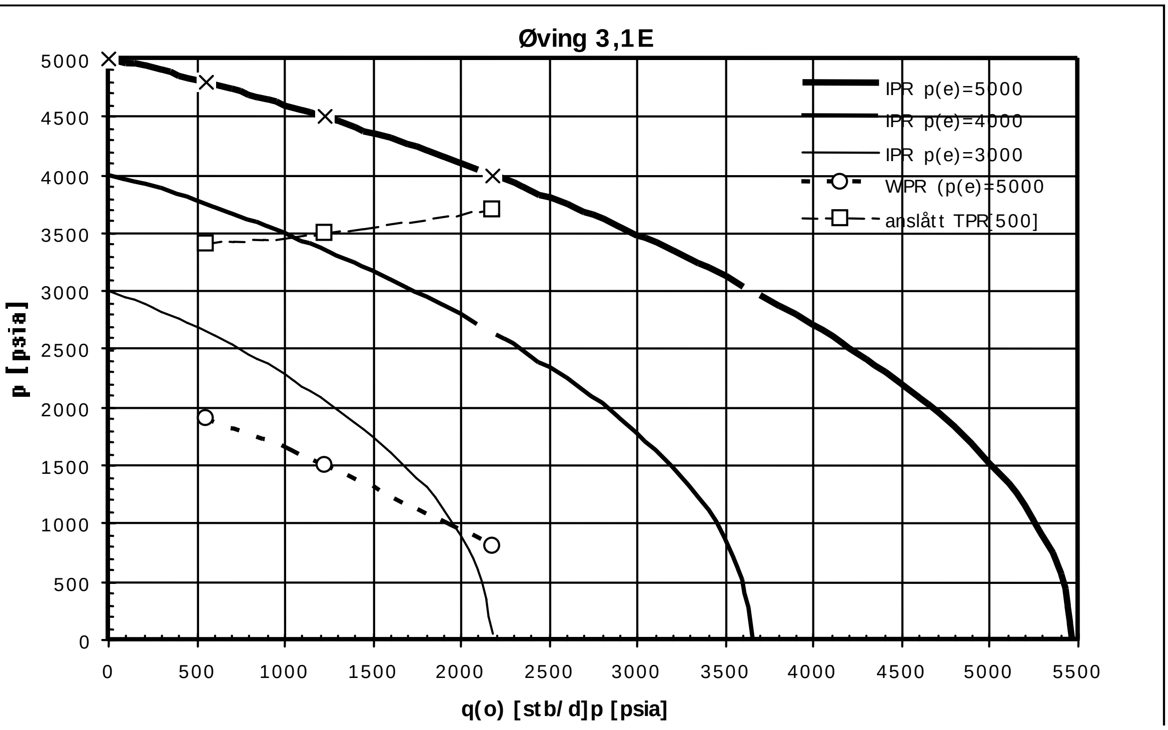
Ut fra de samme forutsetninger kan en da anslagsvis bruke TPR ved gitt p_{wh} *sammen med IPR for endret* p_e.

For den gitte serie målte q_o*-verdier finnes ved å lese av diagrammet* Δ $p_w(q_o)$ = **IPR**(q_o) - **WPR**(q_o) *for IPR- og WPR-kurve for* p_e = **5000** *psia.. Denne verdien brukes så i den forenklede likningen for TPR:*

$$TPR(p_{wh} = 500, q_o) = 500 + \Delta p_w(q_o).$$

q(o) [stb/d	p(wf) [psia]	p(wh) [psia)	p(wf)-p(wh [psia)	obs[p(wf)-p(wh)]+500 anslått TPR[500]
0	5000			
550	4800	1900	2900	3400
1225	4500	1500	3000	3500
2180	4000	800	3200	3700

Disse verdiene er tegnet inn i det samme diagrammet som tidligere:

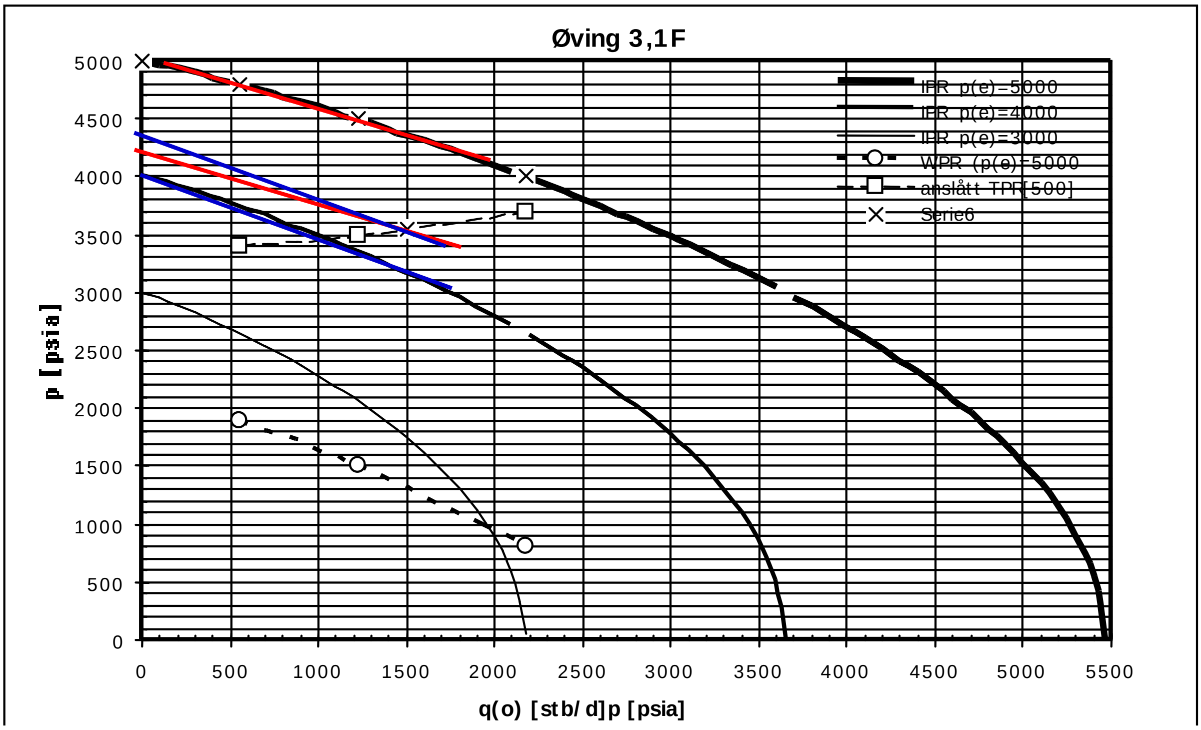


Kommentar:. Å anta $\Delta p_w(q_o)$ bare som en funksjon av q_o er en tilnærming. Tilnærmede verdier for $\Delta p_w(q_{o,} d_{w,} H, GLR, p_{wh})$ kan finnes ved brukav Gilbert-type diagram-korrelasjoner basert på empiriske data (se læreboka tabell 5.3 side 5/64).

F)

Kommentar:. Dersom en forsøksvis ekstrapolerer den inntegnede TPR-kurven, vil den skjære den initielle IPR-kurven (p_R = 5000 psia) omtrent ved p_{wf} = 3850 psia.. Etter som $\mathbf{p_e}$ synker, vil den aktuelle IPR-kurven stadig forflyttes ned og mot venstre i diagrammet. Ettersom i dette eksemplet TPR-kurven betraktes bare relatert til brønngeometri, som antas uendret, kan den benyttes sammen med de forflyttede IPR-kurvene i tur og orden. Skjæringspunktet mellom ***TPR(p_{wh}=500, q_o)*** og IPR - kurven for minkende p_R vil flyttes mot stadig lavere q_o-verdi.

*Ut fra de kurvene som nå foreligger, skal det anslås en tidsperiode fra initiell produksjon ved tiden **t = 0** og **p_{e0} = 5000** psia til platåraten på **q_o = 1 500** psia ikke lenger kan holdes ved naturlig driv i brønnen uten å senke **p_{wh} < 500**. Anta at dette skjer ved tiden **t = t_3** og reservoartrykk **p_e = p_{e3}**. Ved dette tidspunkt vil IPR-kurven skjære TPR-kurven i punktet der **q_o = 1 500** psia. Når **p_e** avtar utover dette vil skjæringspunktet IPR og TPR befinne seg ved enten lavere rate enn platåraten eller ved lavere brønnhodetrykk.*
*Det søkte punktet er altså på TPR-kurven: **TPR(p_{wh}= 500, q_o= 1500)** der **p** = 3530 psia.*



Mellom hver av de allerede inntegnede IPR-kurvene er det en endring i $\boldsymbol{p_e}$ *på* ***1000*** *psia, som tilsvarer en tidsperiode på* ***4 år*** *(* ***250 psia pr.år****).*

For platåraten ***1500*** *psia leses av i diagrammet samsvarende verdier for reservoartrykk og bunnhullstrykk:*

q_o [stb/d]	t [år]	p_e [psia]	p_{wf} [psia]
1500	**0**	**5000**	**4390**
1500	t_3	p_{3x}	**3530**
1500	**4**	**4000**	**3170**

Gitt $\Delta \boldsymbol{p_e} \alpha\ \Delta\ \boldsymbol{t}$. *Ved å interpolere mellom IPR-kurver i diagrammet finnes* $\boldsymbol{p_{e3}}$ *= 4295 psia og*

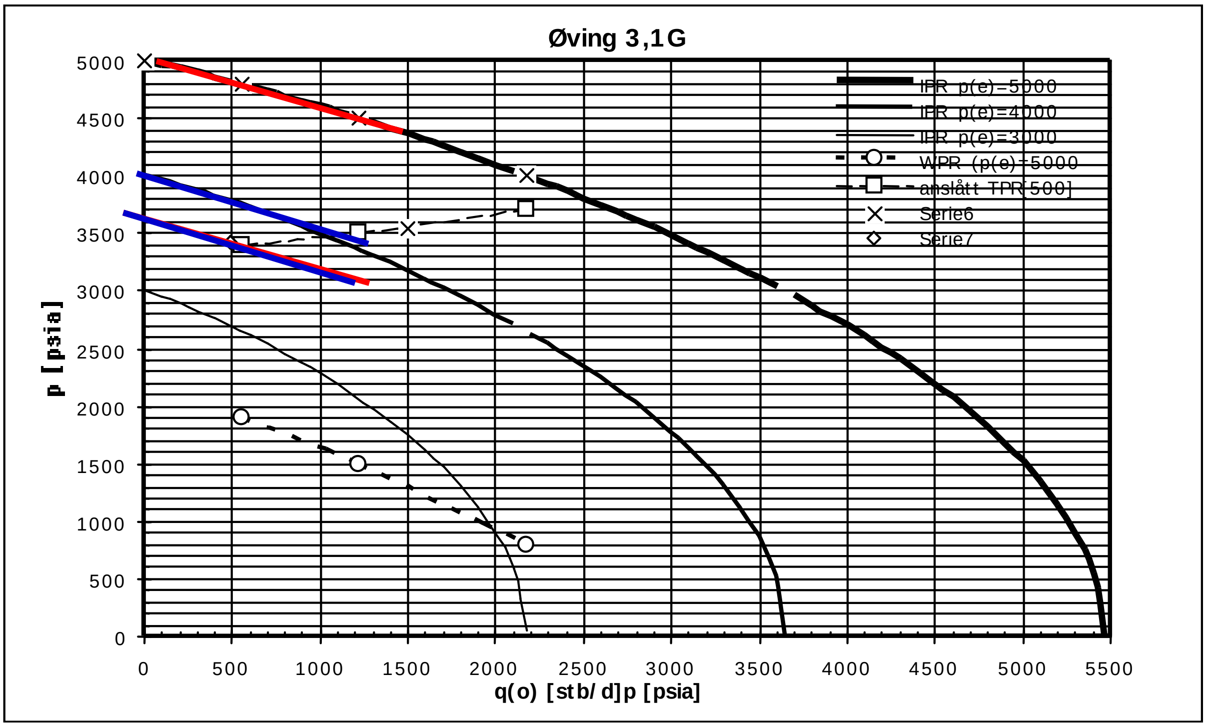
$\boldsymbol{T_3}$ **= 2 år 10 mndr.**

Det er kanskje å foretrekke å beregne $\boldsymbol{p_{e1}}$ ***fra IPR-kurven.***

Denne beregningen virker litt tungvint (oppgave og fasit "arvet" fra tidligere fagansvarlig). I grafen over har jeg tilpasset IPR kurvene ved p_e = 5000 og p_e = 4000 til tilnærmede rette linjer i området opp til q_o = 1500 (representert ved henholdsvis en rød og en blå linje). Disse linjene har jeg parallellforskjøvet slik at de krysser TPR ved q_o = 1500 og "ekstrapolert" tilbake til trykkaksen. Jeg ser da at reservoartrykket vil ligge et sted mellom 4350 og 4200 psia og antar p_e = 4247 ved tidspunkt t_3. Vi får da at produksjonstiden med trykkfall 250 psia/år blir:

$\boldsymbol{t_3} = \frac{5000-4275}{250} = \frac{725}{250} =$ **2 år og ca. 11 måneder**.

G) *En er så interessert i en rate på* $\boldsymbol{q_o}$ ***= 500*** *stb/d.. Dette punktet er såvidt utenfor det* $\boldsymbol{q_o}$*-området som de opprinnelige data var gitt for, og en må kunne anta at det er ok å ekstrapolere verdier i diagrammet. Som foran er nedre akseptable grense for brønnhodetrykk* $\boldsymbol{p_{wh}}$***= 500*** *psia. Helt tilsvarende forrige deloppgave: det søkte punktet er på TPR-kurven* ***TPR(***$\boldsymbol{p_{wh}}$***= 500,*** $\boldsymbol{q_o}$***= 500****), der verdien for* $\boldsymbol{p}$ ***= 3400*** *psia. Gjennom dette punktet går en IPR-kurve for* $\boldsymbol{p_R = p_4}$ *, og dette reservoar trykket nås etter tiden* $\boldsymbol{t_4}$ *.*



Tabellen som det skal interpoleres fra blir:

q_o [stb/d]	t [år]	p_e [psia]	p_{wf} [psia]
500	***4***	***4000***	***4810***
500	$\boldsymbol{t_4}$	$\boldsymbol{p_{R4}}$	***3400***
500	***8***	***3000***	***2700***

Ved å interpolere mellom verdiene hentet fra de inntegnede iPR-kurver i duagrammet finnes $\boldsymbol{p_{R4}}$ = ***3650*** *psia, og* $\boldsymbol{t_4}$ ***= 5 år 5 mnd.***

Tilsvarende som over kan vi nå avlese p_e = 3620 ved tidspunkt t_4 og finner da:

$$t_4 = \frac{5000-3620}{250} = \frac{1380}{250} = \textbf{5 år og 6 måneder}$$

OPPGAVE 2: **Produksjonsbrønn**

Fra et oljeførende lag produseres gjennom en vertikal brønn. Nødvendige brønn- og fluid-data er:

Reservoartrykket	p_e	= **6000** *psia*
Kokepunktstrykket	p_b	= **3500** *psia*
Brønnradius	r_w	= **4.25** *in*
Dreneringsradius	r_e	= **1000** *ft*
Reservoartykkelse mot brønnen	h	= **60** *ft*
Permeabilitet	k	= **150** *md*
Formasjonsvolumfaktor olje	B_o	= **1.5**
Viskositet olje	μ_o	= **1.3** *cP*
Relativ tetthet olje	γ_o	= **0.75**
Oppløst gass forhold	R_s	= **800** *SCF/STB*

En brønntest har gitt følgende resultat:

q(o) STB/d	p(wf) psia	p(wh) psia
0	6000	
832	5600	2450
2454	4820	1870
4098	4030	790
4555	3810	510

Så lenge brønntrykket er høyere enn kokepunkttrykket kan innstrømningslikningen skrives (i US feltenheter):

$$q_o = \frac{h \cdot k}{141.2 \cdot \mu_o \cdot B_o} \frac{(p_e - p_{wf})}{\left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}$$

For trykk lavere en kokepunktstrykket er et tilnærmet uttrykk:

$$q_o - q_{ob} = \frac{h \cdot k}{141.2 \cdot \mu_o \cdot B_o} \frac{\left(p_b^2 - p_{wf}^2\right)}{\left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right) \cdot 2 \cdot p_b}$$

der q_{ob} *er strømningsraten som tilsvarer* $p_{wf} = p_b$

Når reservoartrykket er mindre enn kokepunktstrykket, reduseres det siste uttrykket til:

$$q_o = \frac{\mathbf{hk}}{\mathbf{141.2}\mu_o \mathbf{B_o}} \frac{\left(p_e^2 - p_{wf}^2\right)}{(\mathbf{ln}(\frac{\mathbf{r_e}}{\mathbf{r_w}}) - \mathbf{0.75} + \mathbf{s}) \cdot 2 p_b}$$

ROS´s formel for dysen ved brønnhodet; $p_{wh} = \frac{17.40 q_o \sqrt{GOR}}{d_{64}^2}$

A) *Finn produktivitetsindeksen **J**.*

Produktivitetsindeksen ***J*** er definert som: $J = \frac{q_o}{p_e - p_{wf}}$

Datapunkt nr.5 i brønntesten benyttes:

$$J = \frac{q_o}{p_e - p_{wf}} = \frac{4555}{6000-3810} = 2.08\ (\frac{STB}{d})/psi$$

B) *Hva er oljeraten **q_{ob}** når bunnhulltrykket er lik kokepunktstrykket?*

Gitte betingelser viser at for $p_{wf} \geq p_b$ kan innstrømnings- likningen betraktes som lineær: $q_o = konst. \cdot (p_e - p_{wf})$

Datapunkt nr.5 ble benyttet for å finne ***J***, og $p_{wf5} \geq p_b$, altså ***konst. = J***

og $q_{ob} = q_o(p_{wf} = p_b) = J \cdot (p_e - p_b)$

$$q_{ob} = 2.08 \cdot (6000 - 3500) = \mathbf{5200}\ STB/d$$

C) *Forklar hvorfor gass-olje forholdet **GOR** her er det samme som oppløst gass forhold.*

Når brønnen betraktes i tidlig produksjonsfase er brønntrykket større enn kokepunktstrykket. I reservoaret er det da enfase strømning. Ikke noe av den produserte gassen (angitt i ***GOR***-forholdet) er i gassfase i reservoaret, men befinner seg i oljefasen. Derfor: ***GOR = R_S.***

D) *Beregn brønnens skinnfaktor **s_O**.*

Brønnens skinnfaktor s_O beregnes fra den lineære innstrømningslikningen

$$q_o = \frac{\mathbf{hk}}{141.2\mu_o \mathbf{B_o}} \frac{\left(p_e^2 - p_{wf}^2\right)}{(\ln(\frac{r_e}{r_w}) - 0.75 + s) \cdot 2p_b}$$

som er den samme som den lineære innstrømningslikningen i punkt B):

$q_o = konst. \cdot (p_e - p_{wf}) = J \cdot (p_e - p_{wf})$

s_O kan enklest finnes fra

$$J = \frac{\mathbf{hk}}{141.2\mu_o \mathbf{B_o}} \cdot \frac{1}{(\ln(\frac{r_e}{r_w}) - 0.75 + s)}$$

$$s_o = \frac{1}{J} \cdot \frac{h \cdot k}{141.2 \cdot \mu_o B_o} - \left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75\right)$$

$$\left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75\right) = \left(ln\left(\frac{1000 \cdot 12}{4.25}\right) - 0.75\right) = 7.20$$

$$s_o = \frac{1}{2.08} \cdot \frac{60 \cdot 150}{141.2 \cdot 1.3 \cdot 1.5} - 7.20 = 8.5$$

E) *Tegn opp den fullstendige **IPR**-kurven til brønnen.*
IPR-kurven til brønnen tegnes ved q_o som funksjon av p_{wf}.

For $p_{wf} \geq p_b$ = ***3500:*** $q_o = J \cdot (p_e - p_{wf})$

For $p_{wf} \leq p_b$ = ***3500:*** $q_o = \frac{J}{2p_b}\left(p_b^2 - p_{wf}^2\right) + q_{ob}$

Utledning av uttrykket for q_o ved $p_{wf} < p_b$

Jeg har slått delspørsmål E og K sammen i diagrammet / figuren på neste og utleder relasjoner med både skinfaktor før og etter stimulering av brønn som kommer i spørsmål K. Siden dere utfører oppgavene før dere titter i fasiten går jeg ut fra at det er greit og at ingen lar seg forvirre av at skin faktor fra spørsmål K blandes inn i spørsmål E.

Reservoarlikningen:

$$q_o = \frac{h \cdot k}{141.2 \cdot \mu_o \cdot B_o} \frac{(p_e - p_{wf})}{\left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}$$

Fra testdata og reservoar i enfase olje har en: $q_o = J(p_e - p_{wf})$
Dersom en setter disse to likningene lik hverandre, kan en bestemme J uttrykt som en funksjon av reservoarrelasjoner som:

$$J = \frac{\mathbf{h \cdot k}}{\mathbf{141.2 \cdot \mu_o \cdot B_o \cdot \left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}}$$

Dette uttrykket for J kan en nå sette inn i likningen som gjelder for reservoar i enfase med brønn i tofase gitt av:

$$q_o - q_{ob} = \frac{\mathrm{h \cdot k}}{141.2 \cdot \mu_o \cdot \mathrm{B_o}} \frac{(p_b^2 - p_{wf}^2)}{\left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right) \cdot 2 \cdot p_b}$$

$$= \frac{\mathbf{h \cdot k}}{\mathbf{141.2 \cdot \mu_o \cdot B_o \left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}} \cdot \frac{(p_b^2 - p_{wf}^2)}{2 \cdot p_b}$$

som ordnet gir:

$$q_o = J \cdot \frac{(p_b^2 - p_{wf}^2)}{2 \cdot p_b} + q_{ob} = \frac{J}{2 \cdot p_b} \cdot (p_b^2 - p_{wf}^2) + q_{ob}$$

Dersom skin faktor reduseres fra 8.5 til 5.0 vil produksjonen vil produksjon ved gitt p_{wf} øke (jfr. forelesning om skin faktor). Dette vil gi en økning i produktivitetsindeks, $J_{s=5.0}$ sammenliknet med $J_{s=8.5}$ (= 2.08) som dere har funnet i det foregående. For å beregne $q_{o,s=5.0}$ må dere først finne $J_{s=5.0}$. Dere kan nå benytte reservoarlikningen:

$$q_o = \frac{h \cdot k}{141.2 \cdot \mu_o \cdot B_o} \frac{(p_e - p_{wf})}{\left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s\right)}$$

og sette $p_{wf} = p_b = 3500$ psia og beregne en ny q_{ob}. Denne blir ca 6700 stb/d. dere kan nå finne $J_{s=5.0}$ fra:

$$J_{s=5.0} = \frac{q_{ob}}{p_e - p_b} = \frac{6700}{6000 - 3500} = 2.68 \left(\frac{STB}{d}\right)/psi$$

Denne verdien settes nå inn i likningen over for $p_{wf} \leq p_b = 3500$:

$$q_o = \frac{J_{s=5.0}}{2p_b}\left(p_b^2 - p_{wf}^2\right) + \boldsymbol{q_{ob,s=5.0}} = \frac{2.68}{2 \cdot 3500}\left(3500^2 - p_{wf}^2\right) + 6700$$

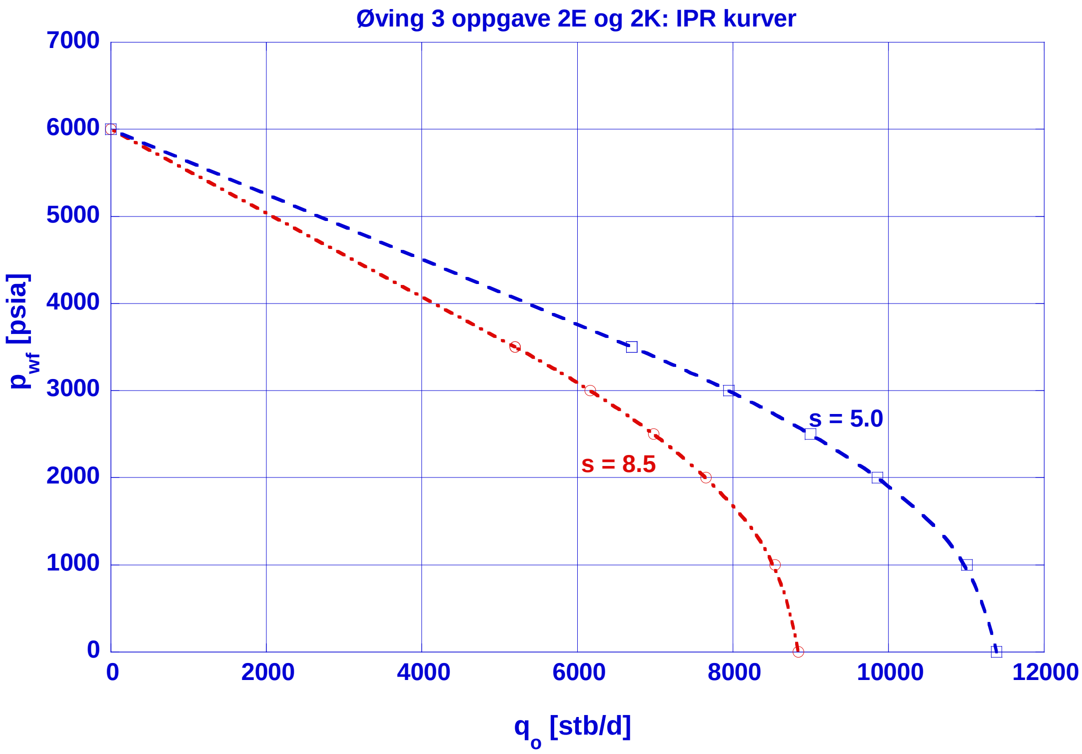
$$\left[q_o = \frac{J_{s=8.5}}{2p_b}\left(p_b^2 - p_{wf}^2\right) + \boldsymbol{q_{ob,s=8.5}} = \frac{2.08}{2 \cdot 3500}\left(3500^2 - p_{wf}^2\right) + 5200\right]$$

og dere finner verdiene i tabellen under ved $J_{s=8.5}$ (midtre kolonne) og $J_{s=5.0}$ (høyre kolonne) ved input for p_{wf} (venstre kolonne) og riktig verdi av q_{ob} (5200 eller 6700).

Følgende punkter fra tabellen under er beregnet og benyttet til å trekke IPR-kurven:

p_{wf} [psia]	$q_{o,s=8.5}$ [stb/d]	$q_{o,s=5.0}$ [stb/d]
6000	0	0
3500	5200	6700
3000	6166	7945
2500	6983	8998
2000	7651	9859
1000	8543	11008
0	8840	11391

En kan nå plotte IPR kurver ved s = 8.5 og s = 5.0. Her ser dere at lavere skin (dvs. **mindre skader** i reservoaret rundt brønn) **gir høyere produksjon** slik som det bør være forventet.



Figuren over viser: IPR ved skin faktor 8.5 (rød kurve, basert på originale testdata for brønnen) og IPR ved s = 5.0 (blå kurve, basert på beregnet $J_{s=5.0}$ og q_{ob} ved p_b og s = 5.0)

F) *Tegn inn i diagrammet den **TPR**-kurven som tilsvarer et brønnhodetrykk på* p_{wh} ***= 1500*** *psi.*

For gitt p_e gjelder: for hver q_{ox} er samhørende verdier av ***IPR*** og ***WPR*** gitt ved skjæringspunktet mellom ***IPR*** (q_{ox}) og kurven for ***TPR***(***WPR***,q_{ox}). q_{ox} betegner den raten der vi har samhørende verdier mellom IPR og TPR dvs. skjæringspunktet mellom disse to kurvene ved stabile produksjonsforhold.

Tilnærmet kan en ***TPR***-kurve uttrykkes som:

$$TPR(WPR, q_{ox}) = WPR + \Delta P(q_{ox})$$

der ***WPR*** er konstant og Δ***P***, trykkfallet opp gjennom brønnen til brønnhodet, antas uavhengig av fluidegenskaper. Det er her forutsatt gitt brønngeometri.

For hvert av de gitte datapunktene 2-5 fra brønntesten, kan verdien av ***TPR***(q_{ox}) finnes som:

$$TPR(q_{ox}) = IPR(q_{ox}) = WPR(q_{ox}) + \Delta P(q_{ox})$$

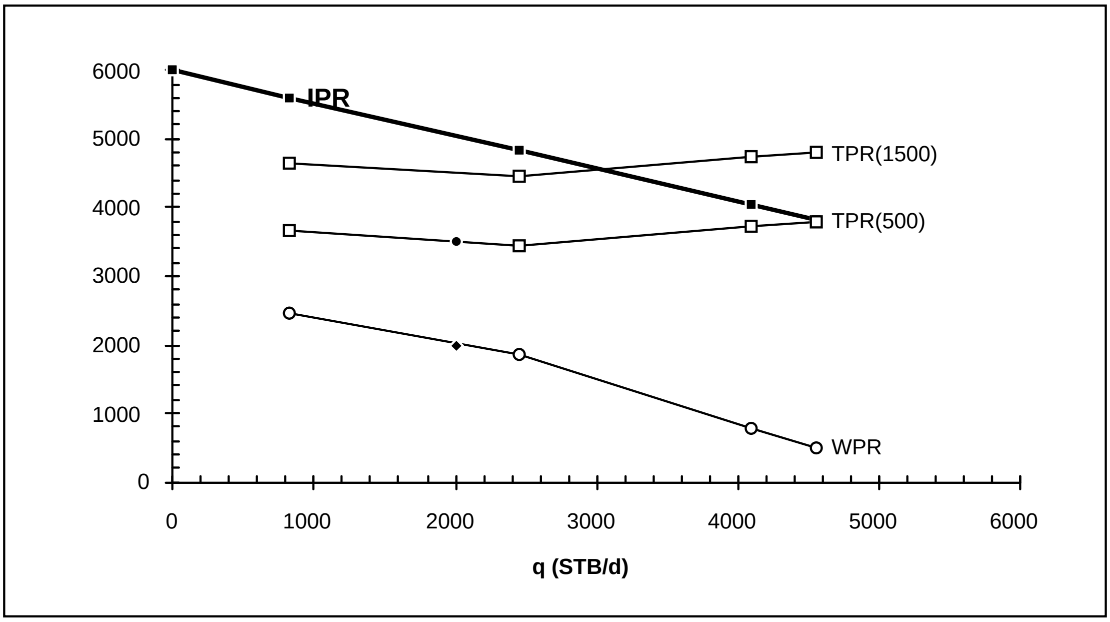
altså $$\Delta P(q_{ox}) = IPR(q_{ox}) - WPRq_{ox})$$

For hvert av de gitte datapunkter er nå en tilnærmet verdi for $\Delta P(q_{ox})$ funnet i tabellen nedenfor. ***TPR***-kurven for ***WPR = 1500*** *psi* er da gitt ved:

$$TPR(WPR{=}1500, q_{ox}) = 1500 + \Delta P(q_{ox})$$

Verdiene for denne kurven ved de opprinnelig avgitte data-punktene finnes også i tabellen nedenfor, og kurven er trukket i diagram sammen med deler av ***IPR***-kurven.

q(o)	p(wf)	p(wh)	p(wf)-p(wh)	TPR(pwh)=1500
STB/d	psia	psia	psia	psia
0	6000			
832	5600	2450	3150	4650
2454	4820	1870	2950	4450
4098	4030	790	3240	4740
4555	3810	510	3300	4800



G) *Hva blir brønnhodetrykket dersom en ønsker å produsere med en rate på* ***2000*** *STB/d?*
Fra ***WPR***-kurven i diagrammet finnes for $\boldsymbol{q_o}$ = ***2000*** *STB/d:*

$\mathbf{p_{wh}}$ ≈ ***2000*** *psi.*

H) *Hvor stor dyse må benyttes for å produsere med en rate på* ***2000*** *STB/d?*
Fra ROS´s formel finnes dysediameter som*:*

$$d_{64}^2 = \frac{17.40 \cdot q_o \cdot \sqrt{GOR}}{p_{wh}}$$

$$d = \frac{1}{64} d_{64}^2 = \frac{1}{64} \cdot \left(\frac{17.40 \cdot q_o \cdot \sqrt{GOR}}{p_{wh}}\right)^{0.5}$$

$$d = \frac{1}{64} d_{64}^2 = \frac{1}{64} \cdot \left(\frac{17.40 \cdot 2000 \cdot \sqrt{800}}{2000}\right)^{0.5} = 0.35\ in$$

I) *Når feltet er i produksjon avtar reservoartrykket med* ***200*** *psi pr. år. Hvor lenge kan en konstant rate på* ***2000*** *STB/d opprettholdes dersom minste akseptable brønnhodetrykk er* ***500*** *psi?*
Ut fra tilsvarende tilnærmede beregningen av ***TPR***-kurve som ble gjort under punkt F), finnes

TPR(***WPR=500***,$\boldsymbol{q_{ox}}$) = ***500*** + Δ***P***($\boldsymbol{q_{ox}}$)

De aktuelle datapunktene for denne kurven er satt opp i tabellen nedenfor og kurven er inntegnet i diagrammet i punkt F).

q(o) STB/d	**TPR(500)** psia
0	
832	3650
2454	3450
4098	3740
4555	3800

Konstant rate på ***2000*** STB/d kan opprettholdes så lenge ***IPR***- kurven ligger over skjæringspunktet mellom $\boldsymbol{q_o}$ = ***2000*** STB/d og ***TPR***(***WPR=500***,$\boldsymbol{q_{ox}}$). I dette punktet er $\mathbf{p_{wf}}$ ≈ ***3500*** *psi* = $\mathbf{p_b}$ og den lineære innstrømningslikningen gjelder fremdeles, med tilnærmet samme konstant ***J.*** Reservoartrykket kan finnes fra denne likningen: $q_o = J\left(p_{e'} - p_{wf}\right)$

$$p_{e'} = \frac{q_o}{J} + p_{wf} = \frac{2000}{2.08} + 3500 = 4462\,psia$$

Trykkreduksjonen er ***6000 - 4462 = 1538*** *psia.*

Med en trykksenkning på ***200*** *psi pr. år* tar dette $t = \frac{1538}{200} = 7.7$ år.

J) *Anta at det blir utført en enkel syrestimulering for å kompensere for skinneffekten. Skinnfatoren etterpå er* $\boldsymbol{s_1}$ ***= 5****. Med hvilken faktor har da strømningseffektiviteten* $\boldsymbol{E_F}$ *økt? Var syrestimuleringen vellykket?*
Strømningseffektiviteten $\boldsymbol{E_F}$ har da økt med en faktor

$$f = \frac{E_{F1}}{E_{F0}} = \frac{\left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75\right) + s_0}{\left(ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75\right) + s_1} = \frac{7.20 + 8.5}{7.20 + 5} = \frac{15.7}{12.2} = 1.29$$

K) *Tegn inn i diagrammet* ***IPR****-kurven for tilfellet med redusert skinnfaktor.*
IPR-kurven for $\boldsymbol{s_1}$***=5*** finnes ved å gå ut fra definisjonen for strømningseffektivitet: $E_F = \frac{q_{o(reell)}}{q_{o(ideell)}}$

For en gitt $\mathbf{p_{wf}}$ verdi er da

$$q_{o(s_1=5)} = \frac{E_{F1}}{E_{F0}} \cdot q_{o(s_0=8.5)} = 1.29 \cdot q_{o(s_0=8.5)}$$

Beregning av punkter på ***IPR***-kurven er vist i tabellen under punkt E, og ***IPR***-kurven for tilfellet med redusert skinnfaktor finnes i diagrammet i punkt E.