

Øvingsoppgaver PET120

MERK at:

Tetthet sandstein : 2,65 g/cm³
- - - Karbonat : 2,71 - - -
- - - Dolomitt : 2,87 - - -

ResTek1— Øving 1

Oppgave 1-4 relevante for
PET120

Oppgave 1

hurry hurra hurra

$p_{\text{eff}}^{\text{max}}$

Beregn porøsiteten av en kjerneplugg og litologien (bergartstypen) fra følgende data:

Tørrvekt av kjerneplugg, 259.2 gram

Vekt av vannmettet kjerneplugg, 297 gram

Tetthet av vann, 1.0 g/cm³

Vekt av vannmettet kjerneplugg nedsenket i vann, 161.4 gram.

Er dette total eller effektiv ϕ ?

Oppgave 2

En beholder inneholder 500 cm³ vann og veier sammen med vannet 800 gram. Biter av CaCO₃ slippes oppi beholderen inntil nivået av biter faller sammen med vannoverflaten. Beregn bulkvolum og porøsitet av materialet i beholderen dersom den totale vekt er 2734 gram. Er dette total eller effektiv porøsitet?

Oppgave 3

Et begerglass er fylt til 2500 cm³ merket med knust dolomitt. Vekten av dolomitten er 4714 gram. Beregn porøsiteten. Er den total eller effektiv?

Oppgave 4

Gitt tre typer sandpartikler, alle med uniform kornfordeling:

Grus, $\phi = 0.30$,

Grov sand, $\phi = 0.38$,

Fin sand, $\phi = 0.33$.

De tre typene blandes. Anta at den grove sanden fyller hulrommene i grusen og at den fine sanden fyller hulrommene i den grove sanden. Beregn ϕ til blandingen.

Oppgave 5

Vis at fullstendig dolomitisering av kalsitt etter reaksjonen $2\text{CaCO}_3 + \text{Mg}^{2+} \rightleftharpoons \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + \text{Ca}^{2+}$ vil gi en porøsitetsøkning på 13%.

ResTek1— Øving 2

Oppgave 1-6 relevante
for PET120

Oppgave 1

Utledd omregningsfaktoren 1.0133×10^6 fra dyn/cm² til atmosfærer.

Oppgave 2

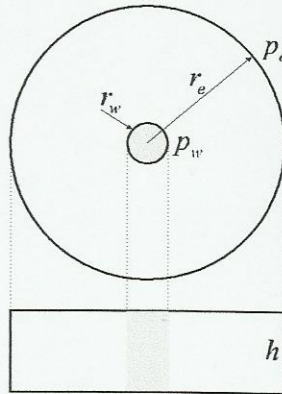
Gitt Darcy's lov på formen

$$q = \frac{kA \Delta p}{\mu \Delta L}, \dots \dots \dots (1)$$

med enheter k darcy, μ cp, A cm², q cm³/s, L cm, p atm. Omgjør ligningen til Oil Field Units med k md, μ cp, A ft², q bbl/d, L ft, p psi.

Oppgave 3

Gitt et reservoar med sylindergeometri som vist i Figur 1 og horisontal, radiell strøm fra et konstant trykk p_e ved ytre grense r_e til konstant trykk p_w i brønnen med radius r_w . Start med den generelle form av Darcy's lov og utled uttrykket for volumraten \bar{q} inn mot brønnen for (a) inkompressibel væske, og (b) ideell gass.



Figur 1: Sylindrisk reservoar; p trykk, r radius, h høyde, w brønn (well), e ytre (exterior).

Oppgave 4

Bruk Darcy og Poiseuilles sine lover til å estimere hvor lav permeabiliteten i en sandsteinsplugg må være for at en skal kunne måle Klinkenbergeffekt når N₂ brukes under laboratorieforhold.

Oppgave 5

Beregn luftpermeabiliteten på to måter til en sylindrisk kjerneplugg fra følgende data:

Lengde: 3.0 in p_1 : 55 psig
Diameter: 1.5 in p_2 : 20 psig
 q_b : 75 cm³/s Atm.trykk: 13 psia
 p_b : 14.65 psia μ : 0.0185 cp

Oppgave 6

a) En oljebrønn produserer fra et sylindrisk reservoar med dreneringsareal på 20 acres.
Beregn trykket p_w i brønnen fra følgende data:

r_w : 6 in p_e : 5000 psia
 q : 175 BOPD h : 10 ft
 k : 75 md μ : 5 cp

b) Beregn trykket i reservoaret 5 ft ut fra brønnen.

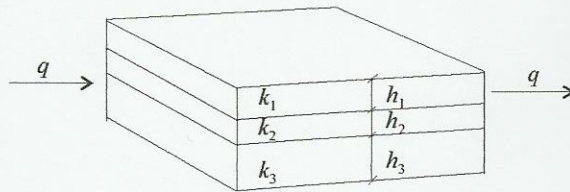
ResTek1— Øving 3

Oppgave 1-6 relevante
for PET120

Oppgave 1

Vis at den midlere permeabilitet \bar{k} til sedimentære lag i parallell, figur 1, er gitt ved

$$\bar{k} = \frac{\sum_{j=1}^n k_j h_j}{\sum_{j=1}^n h_j} \dots \dots \dots (1)$$



Figur 1: Sedimentære lag i parallell

Oppgave 2

Beregn den totale strømningsrate av gass i ft^3/d ved trykk p_b gjennom det viste system i figur 1 fra følgende data,

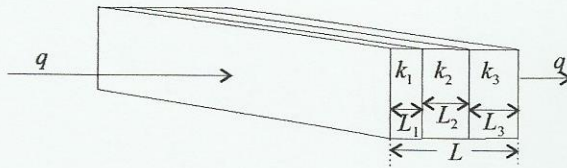
Bredde	200 ft,	Lengde	400 ft,	p_{atm}	15.0 psia,
h_1	2 ft,	k_1	200 md,	p_{in}	500 psig,
h_2	6 ft,	k_2	150 md,	p_{out}	400 psig,
h_3	4 ft,	k_3	400 md,	p_b	14.65 psia,

$$\mu_g = 0.0185 \text{ cp og } p_{\text{psia}} = p_{\text{psig}} + p_{\text{atm}}$$

Oppgave 3

Vis at den midlere permeabilitet for lag i serie, figur 2, er gitt ved,

$$\bar{k} = \frac{\sum_{j=1}^n L_j}{\sum_{j=1}^n L_j/k_j} \dots \dots \dots (2)$$



Figur 2: Sedimentære lag i serie

Oppgave 4

Beregn den totale oljerate i bbl/d gjennom det viste system i figur 2, fra følgende data,

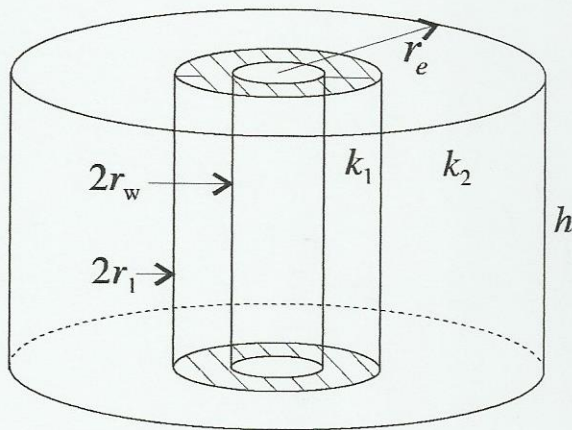
Bredde	100 ft,	Høyde	50 ft,	μ_o	10 cp,
L_1	100 ft,	k_1	100 md,	p_{in}	100 psig,
L_2	200 ft,	k_2	50 md,	p_{out}	50 psig,
L_3	200 ft,	k_3	200 md,	p_{atm}	15.0 psia.

Oppgave 5

Uttrykkene (1) og (2) er gyldige for lineær strøm. Vis at midlere permeabilitet for lag i serie i et radielt system, figur 3, er gitt ved,

$$\bar{k} = \frac{\ln(r_e/r_w)}{\sum_{j=1}^n \ln(r_j/r_{j-1})/k_j}, \quad \dots \dots \dots (3)$$

hvor r_e er radius til ytre grense og r_w er brønnradius.



Figur 3: Radiell, horisontal strøm gjennom sylinder skall i serie.

Oppgave 6

En oljebrønn har en sone med redusert permeabilitet k_1 nærmest brønnen, figur 3. Beregn hvilket trykk p_e ved ytre grense som er nødvendig for å produsere 100 bbl/d av olje fra brønnen, basert på følgende data:

$$\begin{array}{llll} r_w & 6 \text{ in,} & k_1 & 50 \text{ md,} & p_w & 2000 \text{ psia,} \\ r_1 & 10 \text{ ft,} & k_2 & 200 \text{ md,} & \mu_o & 5 \text{ cp,} \\ r_e & 330 \text{ ft,} & & & h & 20 \text{ ft.} \end{array}$$

Hva er trykket ved radius r_1 ?

Oppgave 7

Gitt Forchheimer's ligning på generell form for horisontal strøm,

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{\mu}{k}u - \beta\rho u^2.$$

Vis at ved å integrere denne over lengden ΔL så fås følgende uttrykk for trykkfallet, Δp ,

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = -\frac{\mu}{k}\bar{u} - \beta\bar{\rho}\bar{u}^2,$$

hvor \bar{u} og $\bar{\rho}$ er tatt ved middeltrykket.

ResTek1— Øving 4

*Oppgave 1-7 relevante
for PET 120*

Oppgave 1

En kjerneprøve inneholder olje med tetthet $\rho_o = 35^\circ\text{API}$, gass og vann og veier initielt 224.14 g. Gassen blir pumpet ut og det tidligere gassvolum blir erstattet med vann med tetthet 1 g/cm^3 . Prøven er nå mettet med olje og vann og veier 225.90 g. Den blir så plassert i en Dean-Stark apparatur og 4.4 cm^3 vann blir utvunnet. Etter påfølgende tørking i varmeskap veier prøven 209.75 g. Bulkvolum av prøven blir målt til 95 cm^3 i et kvikksølvpyknometer. Beregn porøsitet, vannmetning, oljemetning, gassmetning og litologi (bergartstype). Oppgitt: $\rho_o[\text{g/cm}^3] = \frac{141.5}{131.5 + \rho [^\circ\text{API}]}$.

Oppgave 2

En kjerneprøve ble brakt til laboratoriet for analyse og 80 g av prøven ble plassert i en kvikksølvpumpe og gassvolumet ble bestemt til 0.53 cm^3 . En annen bit av prøven på 120 g ble plassert i en retorte. Vanninnholdet ble bestemt til 2.8 cm^3 og oljeinnholdet til 4.4 cm^3 . Et stykke på 90 g av opprinnelig ble plassert i et kvikksølvpyknometer og bulkvolumet ble bestemt til 37.4 cm^3 . Anta $\rho_w = 1.0\text{ g/cm}^3$ og $\rho_o = 35^\circ\text{API}$. Beregn porøsitet, vannmetning, oljemetning, gassmetning, litologi.

Oppgave 3

Et glassrør er plassert vertikalt i et kar med vann. Overflatespenningen mellom luft og vann er 70 dyn/cm og kontaktvinkelen er 0° . Beregn høyden vannet vil stå opp i kapillarrøret dersom dette har en indre diameter på 0.1 cm . Beregn trykkdifferansen i psi over luft-vann overflaten i røret.

Oppgave 4

For å presse luft inn i en oljemettet porselensplate kreves et trykk på 25 psig. Hva er diameteren i tommer til den største porekanalen i porselensplaten? Oppgitt: $\sigma = 24\text{ dyn/cm}$, $\theta = 0^\circ$.

Oppgave 5

Vis at det generelle uttrykk for kapillartrykk,

$$p_c = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

blir

$$p_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}$$

for et sylindrisk kapillarrør med radius r . Her er R_1 , R_2 hovedkrumningsradier, θ kontaktvinkel, σ overflatespenning.

Oppgave 6

Vis at for rette porekanaler så er $F = R_o/R_w = 1/\phi$. Anta så at alle porekanalene er kronglete med samme lengde L_a og samme tverrsnitt ΔA . Vis at $F = \tau/\phi$, hvor $\tau = (L_a/L)^2$, og L er lengden av pluggen.

Oppgave 7

Gitt en kule av fase 1 med radius R omgitt av fase 2. Vis at kapillartrykket er gitt ved

$$p_c = \frac{2\sigma}{R}$$

ved å forta en virtuell forskyvning δR og sette tilført arbeid lik økning i overflateenergi, eller om en vil, sette energiendringen lik null, $\delta E = 0$.

ResTek1— Øving 5

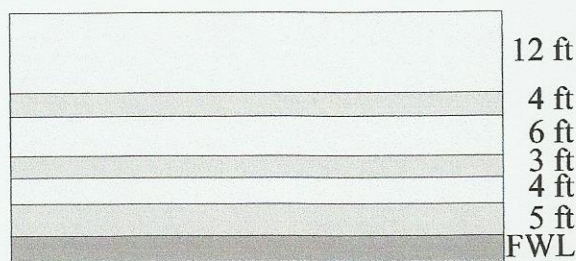
Oppgave 1-5 relevante
for PET 120

Oppgave 1

Følgende kapillartrykksdata ble oppnådd ved å fortrenge vann med luft fra to vannmettede kjerneplugger:

1000 md prøve		200 md prøve		k_{fa}	h (m)
P_c [psi]	S_w	P_c [psi]	S_w		
1.0	1.00	3.0	1.00	2,05	4,82
1.5	0.80	3.6	0.90	2,46	5,78
1.8	0.40	4.0	0.60	2,74	6,42
2.2	0.20	4.5	0.30	3,08	7,21
3.0	0.13	5.5	0.20	3,76	8,82
4.0	0.12	7.0	0.18	4,79	11,2
5.0	0.12	10.0	0.18	6,84	16,0

Beregn vertikal metningsfordeling, det vil si S_w som funksjon av høyden i reservoaret, for følgende sekvens av lag,



Figur 1: Vertikal sekvens av sedimentære lag. Rett over det frie vannivå (FWL), hvor $p_c = 0$, kommer et lag på 5 ft med 1000 md bergart. Så et 4 ft tykt lag med 200 md, etc.

Andre data:

Lab: $\sigma_{\text{vann-luft}} = 50 \text{ dyn/cm}$

Res: $\sigma_{ow} = 23 \text{ dyn/cm}$

$\rho_o = 0.81 \text{ g/cm}^3$

$\rho_w = 1.01 \text{ g/cm}^3$

Oppgave 2

[Eks.opg.1, 13Mai98]

a) Kapillartrykket er generelt gitt ved

$$p_c = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad \dots \dots \dots (1)$$

Forklar med ord hva størrelsene p_c , σ , R_1 og R_2 står for og forklar hvorfor kapillartrykket vanligvis er en funksjon av metningen.

b) Vis at for et rett rør med radius r så kan ligning (1) skrives som

$$p_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \quad \dots \dots \dots (2)$$

hvor θ er kontaktvinkelen.

c) Forklar hva som menes med *fuktpreferanse* og angi hvordan den kan kvantifiseres.

d) Gitt Darcy's lov på formen

$$u = -\frac{k}{\mu} \frac{dp}{dx}. \quad \dots \dots \dots (3)$$

Forklar hva Darcy-hastigheten u står for. For strøm i rør gjelder Poiseuille's ligning,

$$v = -\frac{d^2}{32\mu} \frac{dp}{dx}. \quad \dots \dots \dots (4)$$

Forklar hva hastigheten v står for og vis at ved å sammenholde ligningene (3) og (4) finner en at k/ϕ kan erstattes med $r^2/8$, dersom porekanalene kan antas å bestå av like, rette rør.

e) Vis at J -funksjonen

$$J(S) = \frac{p_c(S)}{\sigma \cos \theta} \sqrt{\frac{k}{\phi}}, \quad \dots \dots \dots (5)$$

hvor S er metningen, kan være et godt forslag til et dimensjonsløst kapillartrykk som kan brukes for flere fluidpar og fuktpreferanser i samme bergartstype, selv om permeabiliteten og porøsiteten også skulle variere. Kommenter hvilke enheter som kan brukes på størrelsene i uttrykket for J .

f) Forklar hva som menes med *det frie vannnivå* mellom vann og olje. Vil dette nivået ha konstant dybde over hele reservoarets utstrekning selv om lagdelingen og bergartstypen varierer?

g) Vis at kapillartrykket i en høyde h over det frie vannivå er gitt ved $p_c = \Delta\rho gh$, hvor $\Delta\rho$ er tetthetsforskjellen.

h) I tabell 1 er gitt en J -funksjon for primær drenering fra et homogent reservoar med en vannsone, oljesone og en gasskappe. I tabell 2 er gitt egenskaper til reservoaret samt andre opplysninger.

Estimer gass-, vann- og oljemetningen 21 meter over det frie vannivå dersom det frie oljenivå (for gass-olje) er 20 meter over det frie vannivå.

Tabell 1: J -funksjonen for et reservoar

S	$J(S)$
1.000	0.00
0.950	0.22
0.900	0.31
0.750	0.55
0.600	1.02
0.450	1.66
0.300	2.84
0.250	3.80
0.235	4.23
0.235	5.29

Tabell 2: Egenskaper til reservoaret og andre opplysninger

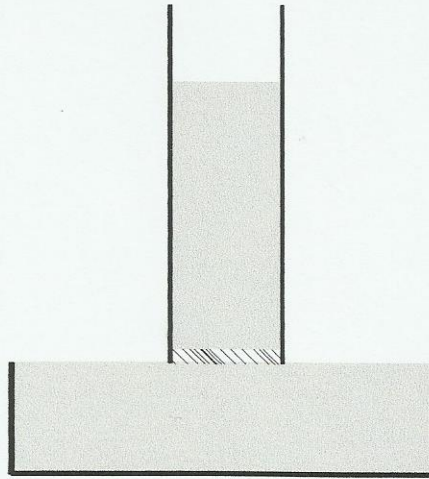
porøsitet	$\phi = 0.20$
permeabilitet	$k = 200 \text{ md}$
overflatespenning vann-olje	$\sigma_{wo} = 30 \text{ dyn/cm}$
kontaktvinkel vann-olje	$\theta_{wo} = 35^\circ$
overflatespenning gass-olje	$\sigma_{go} = 5 \text{ dyn/cm}$
kontaktvinkel gass-olje	$\theta_{go} = 10^\circ$
tetthet av olje	$\rho_o = 850 \text{ kg/m}^3$
tetthet av gass	$\rho_g = 120 \text{ kg/m}^3$
tetthet av vann	$\rho_w = 1050 \text{ kg/m}^3$
tyngdens akselerasjon	$g = 980 \text{ cm s}^{-2}$
1 cp tilsvare	$10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
1 dyn tilsvare	1 g cm s^{-2}
1 mD tilsvare	$9.869 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$

- i) Forklar om samme J -funksjon som i tabell 1 kan brukes til å anslå metningsprofilen som funksjon av høyden etter at det frie vannivå har steget som følge av produksjon fra oljesonen.

Oppgave 3

[Eks.opg.1, 18Sep97]

Figur 2 viser et kar fylt til randen med vann. Et vertikalt, gjennomsiktig rør med tverrsnitt A stikker såvidt ned i vannet. I den nedre enden av røret er det en høyde h_s med sand som blir holdt på plass av en rist. Karet og røret er åpne til atmosfæren. Vann helles med konstant rate q oppi røret. Vannet renner gjennom sanden og over kanten på karet. Ved stasjonær strøm står vannet i røret opp til høyden h_v .



Figur 2: Kar fylt med vann, rør med sand til høyde h_s og vann til høyde h_v

- a) Bruk Darcy's lov til å finne et uttrykk for vannraten q som funksjon av den høyden h_v som vannet står opp i røret.
- b) Vannet skrus nå av og en observerer at vann-luft nivået i røret bruker 400 sekunder på å falle fra 100 cm til 80 cm. Hva er permeabiliteten til sanden dersom $h_s = 5$ cm?
- c) Røret fylles til topps med sand og mettes med vann. Vanntilførselen stenges. Hvor lang tid vil det nå ta for luft-vann nivået i røret å falle fra 100 cm til 80 cm? Angi hvilke antagelser som eventuelt blir gjort i beregningen.

d) Skisser vannmetningen i sanden som funksjon av høyden over vannet i karet etter at vannet har sluttet å renne. Poengter karakteristiske trekk i metningsprofilen. Hvordan vil profilen endres dersom nå hele røret sakte senkes ned i vannet?

e) Forklar hvordan en med kjennskap til kapillartrykkskurven kan beregne vannmetningen som funksjon av høyden i et oljereservoar. Redegjør spesielt for hvordan en i praksis skal kunne fastsette det frie vannivå for: (i) primær drenering og (ii) imbibering som følge av vanninnfluks fra bunnen av reservoaret.

Oppgitt:

Data: Tetthet av vann, 1 g cm^{-3}
Viskositet til vann, 1 cp
Tyngdens akselerasjon, 980 cm s^{-2}

Enheter: 1 atm tilsvarer $1.01325 \cdot 10^6 \text{ dyn cm}^{-2}$
1 dyn tilsvarer 1 g cm s^{-2}
1 cp tilsvarer 10^{-3} Pa-s
1 md tilsvarer $9.869 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$

Oppgave 4

[Eks.opg2a, 18Sep97]

Dataene i tabell 3 er hentet fra en RFT-test ("Repeat Formation Tester") av en ukomplettert brønn.

Dybde (m)	Trykk (MPa)
2475	20.074
2500	20.133
2525	20.182
2550	20.339
2575	20.535
2600	20.721
2625	20.947
2650	21.202
2675	21.467

Tabell 3: RFT-data fra ukomplettert brønn

Bestem tetthetene til de fluidene som er tilstede og dybdene til gass-olje og olje-vann kontaktene.

Oppgave 5

[Eks.opg1, 3.juni 1999]

a) Hva er kapillartrykk? [Bruk maksimalt 50 ord.]

b) Gitt J -funksjonen

$$J(S) = \frac{p_c(S)}{\sigma \cos \theta} \sqrt{\frac{k}{\phi}} \dots \dots \dots (6)$$

Forklar kort de størrelser som inngår, deres benevning i et konsistent sett av enheter og hva J -funksjonen brukes til.

c) En mye brukt korrelasjon for kapillartrykket mellom olje og vann under primær drenering er

$$p_c(S_n) = \frac{p_d}{S_n^a} \dots \dots \dots (7)$$

hvor $S_n = (S_w - S_{iw}) / (1 - S_{iw})$ er normalisert vannmetning, S_{iw} er irreduibel vannmetning, p_d er terskeltrykket ("displacement pressure") og a en positiv konstant.

Forklar kort hva som menes med primær drenering og irreduibel vannmetning. Hva er den fysiske forklaringen på terskeltrykket?

d) Et umettet oljereservoar har egenskaper som gitt i tabell 4. Reservoaret ble oppdaget med en brønn ute på flanken av en halvkuleformet struktur. Prøver ble tatt både fra kappebergarten og reservoarbergarten. Porøsitet og permeabilitet ble målt. Det viser seg at kappebergarten og reservoarbergarten har samme fluider (vann og olje) i trykklikevekt. På havoverflaten over reservoaret observeres det jevnlig oljeflekker og en regner med at olje som fortsetter å migrere inn i reservoaret lekker opp gjennom kappebergarten og videre opp til overflaten.

Kapillartrykkskurven for kappebergarten ble ikke målt i første omgang siden det tar så lang tid med en såpass tett formasjon. Men J -funksjonen kan anvendes til å anslå kapillartrykket for kappebergarten. Det antas samme fuktpreferanse i reservoar- og kappebergart.

Gi et anslag på høyden av oljekolonnen under toppen av strukturen.

Tabell 4: Egenskaper til reservoaret og andre opplysninger

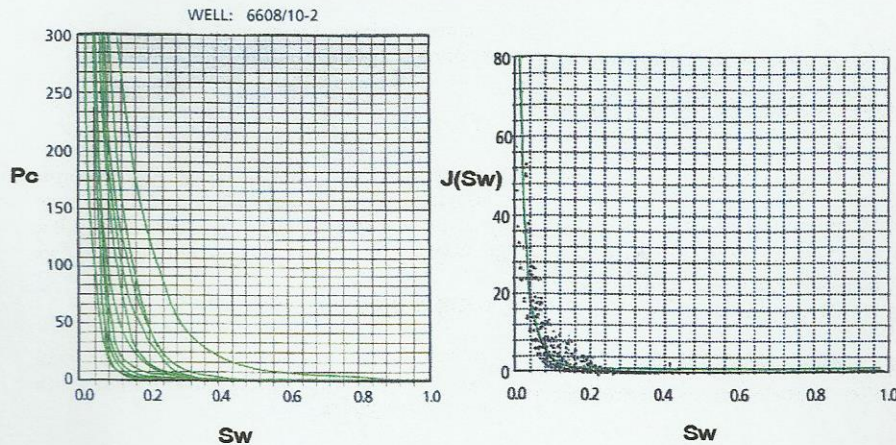
RESERVOARBERGART OG FLUIDER	
porøsitet	$\phi = 0.20$
terskeltrykk	$p_d = 0.2 \text{ bar}$
permeabilitet	$k = 100 \text{ md}$
tetthet av olje	$\rho_o = 850 \text{ kg/m}^3$
tetthet av vann	$\rho_w = 1050 \text{ kg/m}^3$
KAPPEBERGART	
porøsitet	$\phi = 0.01$
permeabilitet	$k = 0.2 \text{ md}$
ANNET	
tyngdens akselerasjon	$g = 9.80 \text{ m s}^{-2}$
1 bar tilsvarer	10^5 Pa
1 Pa tilsvarer	1 N/m^2

Øving 6

J-function: Field example

Norne is an oil field in the Norwegian Sea. Reservoir pressure is 280 bar, reservoir temperature 98 °C and FWL=2688,5 m TVD MSL. Capillary pressure curves have been established for a number of cores (with varying porosity and permeability) taken from well 6608/10-2, using a Hg-air method. For each core sample, the corresponding J-value is calculated and plotted as a function of water saturation. A best fit to the data is calculated and the water saturation above the free water level is established as a function of porosity and permeability.

Water Saturation Modelling on Norne



$$J(S_w) = \frac{P_c}{\sigma \cdot \cos\theta} \sqrt{\frac{k}{\phi}} \quad , [k] = \text{mD}, [P_c] = \text{bar} \dots \dots \dots \text{Leveretts J-function}$$

$$(Hg - Air)_{lab} : \sigma \cdot \cos\theta = 368$$

$$J_{lab} = (a \cdot S_w^{-b})_{lab} = 0,01946 \cdot S_w^{-2,448} = J_{res} = \left[\frac{P_c}{\sigma \cdot \cos\theta} \right]_{res} \cdot \left[\sqrt{\frac{k}{\phi}} \right]_{res} \dots \dots \dots \text{Best fit}$$

$$(oil - water)_{res} : \sigma \cdot \cos\theta = 25 \text{ (Uncertain parameter)}$$

$$S_w = \left[\frac{\Delta\rho^{res} \cdot g \cdot h^{res} \cdot 10^{-5}}{a \cdot (\sigma \cdot \cos\theta)_{res}} \sqrt{\frac{k}{\phi}} \right]^{\frac{1}{b}} \dots \dots \dots \text{Water saturation model}$$

h^{res} = Height above free water level (in meter)

$$\Delta\rho^{res} = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$S_w = (0,06049 \cdot h^{res} \sqrt{\frac{k}{\phi}})^{-0,4085} \dots \dots \dots \text{Water saturation model Norne Field}$$

ResTek1— Øving 8

Oppgave 2 relevant for PEI190

Oppgave 1

[EksOppg juni 2001. Det var gjennomgått i forelesningene den gangen at r_s uttrykker oljevolumet oppløst i gassen delt på volumet av gassen, begge volum målt på overflaten. Størrelsen r_s , oppløst olje-gass forhold, er helt analog til R_s , oppløst gass-olje forhold, slik at oljen i reservoaret kan ha oppløst gass og den frie gassen kan ha oppløst olje.]

Gitt et umettet oljereservoar med lett olje. Når reservoartrykket synker under kokepunktstrykket p_b utvikles det fri gass. Gassen inneholder oppløst kondensat (olje) som felles ut når gassen tas til overflaten. La ΔV_{gr} være det reservoarvolum fri gass som følger med dersom et lite reservoarvolum ΔV_{or} med olje produseres ved reservoartrykk $p < p_b$. Indeks r betegner reservoarforhold og indeks s betegner overflateforhold (surface).

Tabell 1: Overflatevolum fra reservoarvolum ΔV_{gr} og ΔV_{or} .

VOLUM OLJE OG GASS	
Reservoar	Overflate
ΔV_{gr}	$\rightarrow \Delta V_{ggs} + \Delta V_{gos}$
ΔV_{or}	$\rightarrow \Delta V_{ogs} + \Delta V_{oos}$

a) Bruk Tabell 1 til å definere volumfaktorene B_o , B_g , R_s , r_s og det produserende gass-olje forholdet R . [Anta at det brukes samme volumenheter, f.eks. m^3 for både gass og olje.]

b) Vis at dersom r_s kan neglisjeres så gjelder følgende uttrykk for R ,

$$R = \frac{k_g \mu_o B_o}{k_o \mu_g B_g} + R_s. \dots \dots \dots (1)$$

c) Vis at om r_s ikke kan neglisjeres så blir uttrykket

$$R = \frac{\alpha + R_s}{1 + \alpha r_s}, \quad \text{med } \alpha = \frac{k_g \mu_o B_o}{k_o \mu_g B_g}. \dots \dots \dots (2)$$

d) Forklar hvilken verdi R i ligning (2) har ved trykk over kokepunktstrykket og ved et trykk langt under kokepunktstrykket.

Oppgave 2

Materialbalanse, oppgaver fra Dake

Gitt følgende PVT-tabell, tabell 2, fra et oljereservoar:

p psia	B_o rb/stb	R_s scf/stb	B_g rb/scf
4000	1.2417	510	—
3500	1.2480	510	—
3330	1.2511	510	0.00087
3000	1.2222	450	0.00096
2700	1.2022	401	0.00107
2400	1.1822	352	0.00119
2100	1.1633	304	0.00137
1800	1.1450	257	0.00161
1500	1.1287	214	0.00196
1200	1.1115	167	0.00249
900	1.0940	122	0.00339
600	1.0763	78	0.00519
300	1.0583	35	0.01066

Tabell 2: PVT-data

a) Umettet oljereservoar. Beregn utvinningsgraden N_p/N fra $p_i = 4000$ psia til $p = p_b$. Det er oppgitt at $c_w = 3.0 \cdot 10^{-6} \text{ psi}^{-1}$, $c_f = 8.6 \cdot 10^{-6} \text{ psi}^{-1}$, opprinnelig vannmetning $S_{wc} = 0.20$.

b) Oppløst gassdriv. "Abandonment pressure" er 900 psia. Dette er det trykk som reservoaret forlates ved. Beregn utvinningsgraden N_p/N fra $p_i = 4000$ psia til $p = 900$ psia som en funksjon av $R_p|_{900 \text{ psia}} = (G_p/N_p)|_{900 \text{ psia}}$ og diskuter resultatet. Beregn også gassmetningen ved 900 psia dersom $R_p(900 \text{ psia}) = 1000$ scf/stb.

c) Vanninjeksjon. Ved $p = 2700$ psia er oljeraten 10,000 stb/d og det produserende gass-olje forhold $R = 3000$ scf/stb. Hvor stor vannrate må injiseres for å opprettholde produksjonen ved $p = 2700$ psia? (Bruk $B_w = 1.0$ rb/stb).

ResTek1— Øving 10

Oppgave 1 relevant for PET120

Oppgave 1

Sml. oppg. 7 i bok av Dake.

En brønn starter å produsere med konstant rate lik 400 stb/d fra et nytt reservoar med følgende egenskaper:

$$\begin{aligned}k &= 50 \text{ md} & \phi &= 0.30 & c_t &= 10 \times 10^{-6} \text{ psi}^{-1} \\h &= 30 \text{ ft} & \mu &= 3.0 \text{ cp} & B_o &= 1.25 \text{ rb/stb} \\r_w &= 0.5 \text{ ft}\end{aligned}$$

Tabell 1: Reservoaregenskaper

- Etter hvilken produksjonstid er tilnærmelsen $e_i(x) = -\ln(\gamma x)$ bli gyldig?
- Hva er trykkfallet i brønnen etter 3 timers produksjon?
- Hvor lenge må brønnen produsere forat trykkfallet skal bli 1 psi i en observasjonsbrønn 2000 ft bort?

Oppgave 2

Følgende data er fra 3 oljebrønner i et nytt reservoar:

$$\begin{aligned}p_i &= 4483 \text{ psia} & B_o &= 1.15 \text{ rb/stb} & h &= 30 \text{ ft} \\k_o &= 7.5 \text{ md} & S_o &= 0.80 & c_o &= 8.0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/psi} \\ \mu_o &= 1.15 \text{ cp} & S_w &= 0.20 & c_w &= 3.0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/psi} \\r_w &= 0.276 \text{ ft} & & & c_f &= 4.0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/psi}\end{aligned}$$

Tabell 2: Reservoar- og brønndata

Bruk total kompressibilitet $c_t = S_o c_o + S_w c_w + c_f$ i beregningene.

Brønn w1 er observasjonsbrønn. Etter at brønn w2, som ligger 2000 ft nord for w1, har produsert med 190 stb/d i 1600 timer og brønn w3, som ligger 1900 ft vest for w1, har produsert med 80 stb/d i 1550 timer, er trykket i w1 sunket til 4439 psia. Beregn midlere porøsitet mellom brønnene.

ResTek1— Øving 11 *Oppgave 1 relevant*

Oppgave 1

for PE1120

(Sml. bok av Dake, øving 7.3)

Gitt følgende definisjoner på dimensjonsløse variable i Darcy enheter:

$$r_D = \frac{r}{r_w}, \quad \text{radius}$$

$$t_D = \frac{kt}{\phi\mu cr_w^2}, \quad \text{tid}$$

$$p_D(r_D, t_D) = \frac{2\pi kh}{q\mu}(p_i - p(r_D, t_D)), \quad \text{trykk.}$$

a) Bruk dimensjonsanalyse til å vise at både t_D og p_D er dimensjonsløse.

b) Uttrykk t_D i følgende praktiske trykktestenheter:

$$\begin{aligned} k &: \text{md} & t &: \text{timer} & p &: \text{psi} \\ \mu &: \text{cp} & c &: \text{psi}^{-1} & r_w &: \text{ft} \end{aligned}$$

c) Uttrykk p_D i samme enheter som under b) med h i ft og q i rb/d. Hva blir uttrykket dersom en ønsker å angi raten i stb/d?

Oppgave 2

(Sml. bok av Dake, øving 7.6)

En undersøkelsesbrønn ble produsert i omlag 100 timer før den ble stengt av for en trykkoppbyggingstest. Produksjonsdata og estimerte reservoar- og fluidegenskaper er vist i tabell 1. Dreneringsarealet er omlag 300 acres. Avstengingstrykket p_{ws} målt som

$$\begin{aligned} Q_o &= 123 \text{ stb/d} & \phi &= 0.2 \\ N_p &= 500 \text{ stb} & \mu &= 1 \text{ cp} \\ h &= 20 \text{ ft} & B_{oi} &= 1.22 \text{ rb/stb} \\ r_w &= 0.3 \text{ ft} & c &= c_o S_o + c_w S_w + c_f = 20 \cdot 10^{-6} \text{ 1/psi} \end{aligned}$$

Tabell 1: Produksjonsdata, reservoar- og fluiddata

funksjon av avstengingstiden Δt er gitt i tabell 2.

a) Finn et estimat på initielt trykk.

ResTek1—Øving 12

*Oppgave 1 relevant
for PE120*

Oppgave 1—Trykkfallstest

Følgende formasjons- og produksjonsdata er gitt for denne trykkfallstesten, tabell 1, Trykkdata er gitt i tabell 2, Beregn permeabilitet og skinfaktor fra transient periode og

$\phi = 0.059$	$\mu_o = 0.878$ cp	$N_p = 1371$ stb
$S_w = 0.25$	$h = 50$ ft	$Q_o = 303$ stb/d
$S_g = 0.0$	$c_o = 6.88 \cdot 10^{-6}$ psi ⁻¹	$p_i = 4828$ psia
$B_o = 1.035$	$c_w = 3.16 \cdot 10^{-6}$ psi ⁻¹	$r_w = 3$ in
=	$c_f = 5.0 \cdot 10^{-6}$ psi ⁻¹	=

Tabell 1: Produksjonsdata, reservoar- og fluiddata

t min	p_{wf} psia	t min	p_{wf} psia
10	4714	150	4698
15	4708	250	4696
20	4705	400	4693
30	4703	600	4689
40	4703	800	4684
50	4702	1200	4677
60	4701	1400	4673
70	4701	1800	4666
80	4700	2200	4659
100	4699		

Tabell 2: Trykkdata, oppgave 1

porevolum fra halvstasjonær periode.

Oppgave 2—Trykkfallstest

(Se bok til Dake, øving 7.2)

En brønn blir testet ved å produsere den med en konstant rate på 1500 stb/d i 100 timer, altså en trykkfallstest. Fra geologisk og seismisk informasjon synes det rimelig å anta at brønnen drenerer fra et begrenset reservoar som har form av et 2:1 rektangel. Reservoardata er gitt i tabell 3 og trykkdata i tabell 4.

- a) Beregn effektiv permeabilitet og skinfaktor.

Øving 13 Trykkfallstest

En trykkfallstest utføres i et reservoar med følgende data

h	ft	130
p_i	psi	1154
B_o	rb/stb	1,14
φ		0,2
Q_o	stb/d	348
μ_o	cp	3,93
r_w	ft	0,25
c_t	psi ⁻¹	$8,74 \times 10^{-6}$

Følgende trykkutvikling ble målt

pwf(psi)	tid(timer)	log (timer)
1154	0	
968	1	0,00
955	2	0,30
950	3	0,48
945	4	0,60
942	5	0,70
938	6	0,78
936	7	0,85
930	10	1,00
920	20	1,30
905	40	1,60

Beregn følgende:

1. permeabilitet, k
2. skinfaktoren, S
3. Δp_{skin}
4. dreneringsareal, A

Øving 16 Gasskappedriv

Exercise – Gas cap drive

The reserves in a reservoir is estimated to $N = 115 \times 10^6$ stb.

Production and PVT data are listed in the table below. $P_i = P_b = 3330$ psi

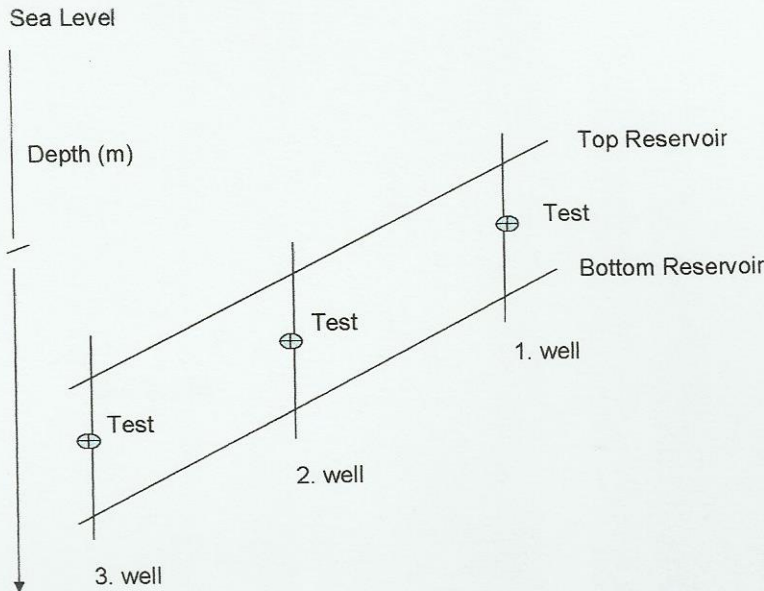
Pressure psia	N_p 10^6 stb	R_p scf/stb	B_o rb/stb	R_s scf/stb	B_g rb/scf
3330			1,2511	510	0,00087
3150	3,295	1050	1,2353	477	0,00092
3000	5,903	1060	1,2222	450	0,00096
2850	8,852	1160	1,2122	425	0,00101
2700	11,503	1235	1,2022	401	0,00107
2550	14,513	1265	1,1922	375	0,00113
2400	17,730	1300	1,1822	352	0,00120

The size of the gas cap is uncertain with the best estimate being $m = 0,4$. Is this figure confirmed by the production and pressure history? If not, what is the correct value of m ?

Assuming there is an uncertainty in both N and m . What are the values of these parameters that best fit the data?

Øving 17 Reservoartrykk

3 wells were drilled in a reservoir structure as illustrated



Gas, oil and water were detected according to Table 1.

Table 1 Pressure test results

Well nr	Top Reservoir (m)	Bottom Reservoir (m)	Pressure at the Test Point (kPa)	Depth at the Test Point (m)	Fluid type	Density (kg/m ³)
1	2358	2458	27360	2404	gas	232
2	2512	2612	28090	2561	oil	648
3	2715	2815	29440	2730	water	1038

- Calculate pressure gradients in gas, oil and water zones
- What are the min and max gas-water contacts after 1st well? Assume hydrostatic pressure in water zone with a gradient of 10.17 kPa/m
- Calculate gas-oil contact after 2nd well
- What are the min and max oil-water-contact after 2nd well? Assume hydrostatic pressure in water zone as above
- Calculate oil-water-contact after 3rd well and calculate the overpressure in the water zone

Øving 18 Reservoartrykk. Felteksempel

Jotun is an oil field in the middle part of the North Sea. The reservoir consists of three major structures (Elli and Tau West) and one small (Elli South). See Fig. 1. Notice that the sandstone reservoirs belong to Heimdal formation of Paleocene age. This is the same formation as the Heimdal gas field belongs to (see Fig. 2). This field had a production start in 1985 while Jotun began production in year 2000.

Fig.1 Jotun oil field

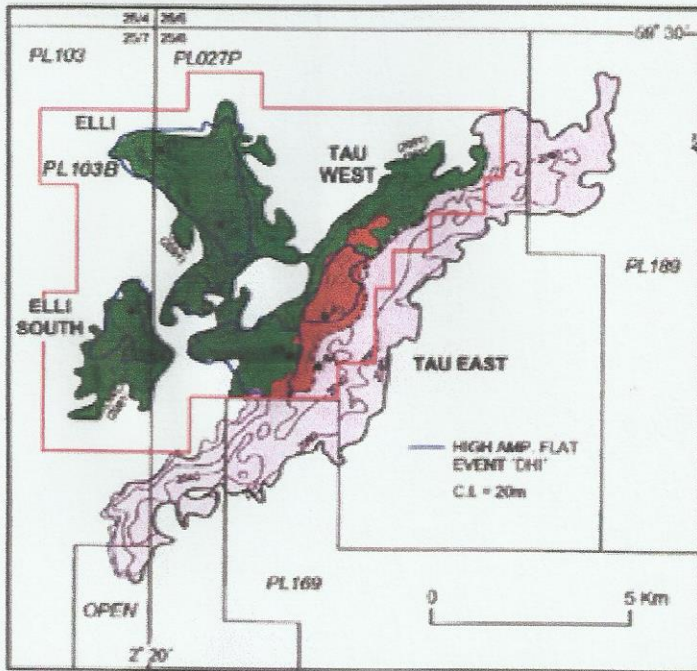
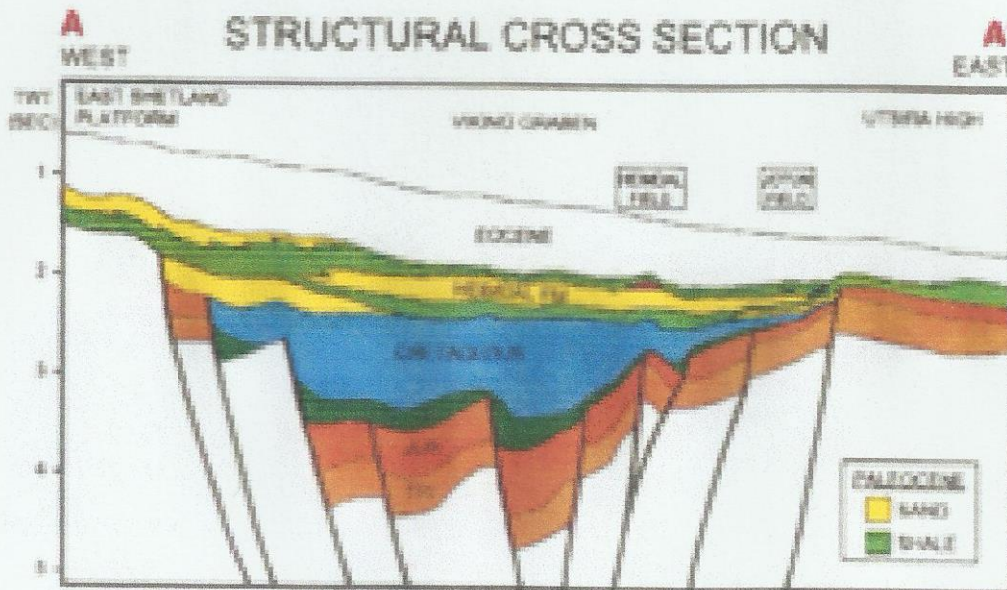


Fig. 2 Structural cross section in the Jotun area



Relevant reservoir data is given in Table 1.

Table 1 Jotun reservoir data

	ρ_o^s (kg/m ³)	B_{oi} (Rm ³ /Sm ³)	R_s (Sm ³ /Sm ³)	ρ_g^s (kg/Sm ³)
Elli	848,7	1,14	35	1,04
Tau	865,2	1,29	90	1,05

Density gradient of water: 0,102 bar/m

Measured pressure data is given in Table 2

Table 2 Pressure data

	Depth (m)	Elli pressure (bar)	Tau pressure (bar)
Oil zone	2060	197,3	199,45
Oil zone	2070	198,1	200,18
Oil zone	2080	198,86	200,9
Water zone	2110	201,53	203,53
Water zone	2120	202,55	204,55
Water zone	2130	203,57	205,57

Questions:

- Use the formula $\rho_o^R = \frac{\rho_o^s}{B_o} + R_s \frac{\rho_g^s}{B_o}$ and calculate the density of Elli and Tau oils at reservoir condition
- Make pressure vs. depth graphs in a spreadsheet and calculate FWL for Elli and Tau
- Check if the measured pressure oil gradients agree with the oil densities calculated in a)
- In the same graph, plot the normal water pressure vs. depth according to the formula $P_w = \frac{\Delta P}{\Delta D} \cdot D + 1$ (bar) and calculate C in the equation $P_w = \frac{\Delta P}{\Delta D} \cdot D + 1 + C$ (bar) both for Elli and Tau. Explain why the reservoir is underpressured.

Oving 19

Oppgave 3

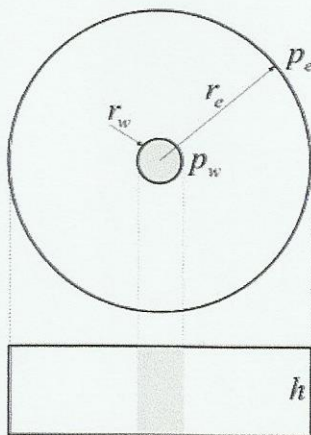
(Ex 2006)

a) Gitt Darcy's lov på formen

$$-\frac{dp}{dx} = \frac{\mu}{k} u. \dots\dots\dots (1)$$

Hva er enhetene til størrelsene som inngår?

b) Gitt et sylindrisk reservoar med brønn i sentrum som vist i Figur 1. Anta stasjonær,



Figur 1: Skisse av sylindrisk reservoar med brønn i sentrum; p trykk, r radius, h høyde, w brønn (well), e ytre (exterior).

horisontal væskestrøm inn mot brønnen og utled følgende uttrykk for volumraten q fra Darcy's lov,

$$q = \frac{2\pi kh(p_e - p_w)}{\mu \ln(r_e/r_w)}. \dots\dots\dots (2)$$

c) Vis at omregningsfaktoren blir 7.082 dersom følgende enheter skal brukes i Ligning 2: k darcy, μ cp, q bbl/d, h ft, p psi. Det oppgis at 1 atm er 14.696 psi, 1 ft er 30.48 cm, 1 bbl er 159 liter.

d) Skinfaktoren S er definert ved

$$\Delta p_{skin} = S \frac{q\mu}{2\pi kh},$$

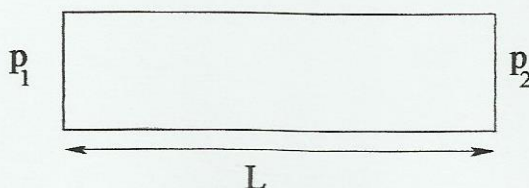
hvor Δp_{skin} er det ekstra trykkfallet som ligger over den skadde sone.

Vis at dersom brønnen i Figur 1 er skadet med permeabilitet k_s fra r_w og ut til radius r_s , så er skinfaktoren S gitt ved

$$S = \frac{k - k_s}{k_s} \ln \frac{r_s}{r_w}. \dots\dots\dots (3)$$

Øving 20
Oppgave 2:

(Ex 2007)



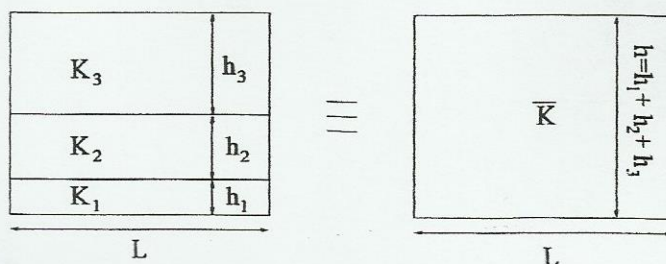
- a) Skriv ned Darcy's lov for en-dimensjonal *horisontal* strøm av en fase i et homogent, porøst medium med konstant tverrsnitt (se figur over). Definer størrelsene som inngår. Hva er definisjonsenhetene for Darcy's lov?
- b) Vis at for strøm av en ideell gass i et endimensjonalt, *horisontalt* medium, tar Darcy's lov følgende form:

$$q_b = \alpha \frac{K A}{\mu_g} \frac{1}{2 p_b L} (p_1^2 - p_2^2).$$

Anta at temperaturen er konstant. α er en konstant. Hva er verdien av α i Darcy enheter? Finn verdien av α i oljefeltenheter (OFU).

(Hint: ideell gass lov gir at $p \rho = \text{konstant}$ ved konstant temperatur. 1 psi = 0.068046 atm, 1 bbl = $159 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$ og 1 ft = 30.48 cm)

- c) Vis at for et lagdelt reservoar (se figur under) og væskestrøm langs lag så er effektiv permeabilitet gitt ved $\bar{K} = \frac{1}{h} (K_1 h_1 + K_2 h_2 + K_3 h_3)$.



Vi skal nå se nærmere på et olje reservoar med en gasskappe, uten vannproduksjon. Vi definer følgende volumer:

Reservoir	→	Surface
ΔV_g^R	→	$\Delta V_{g,g}^S + \Delta V_{o,g}^S$
ΔV_o^R	→	$\Delta V_{o,o}^S + \Delta V_{g,o}^S$

På venstre side er det reservoarvolum av gass (ΔV_g^R) og olje (ΔV_o^R). Når en volumenheter av olje blir tatt til overflatebetingelser blir det produsert et volum olje ($\Delta V_{o,o}^S$) og et volum gass som var oppløst i oljen ($\Delta V_{g,o}^S$). Tilsvarende for gassfasen. Vi ser vekk i fra oppløst olje i gass, dvs. $\Delta V_{o,g}^S = 0$.

- g) Definer volumfaktorene B_o , B_g og oppløst gass-olje forhold R_s .
- h) Skisser B_o , B_g og R_s som funksjon av trykk i tre forskjellige grafer. Indiker på grafen hvor boblepunktstrykket for olje er.

Sett $\Delta V_g^R = 0$, altså et oljereservoar uten gasskappe og anta ingen innstrømning av vann i reservoaret. Innfør N som er totalt volum av hydrokarboner tilstede i reservoaret målt i overflatevolum (Sm^3) og N_p som er produsert hydrokarbonvolum, også målt i overflatevolum (Sm^3).

- i) Bruk materialbalanse til å finne F og E_o , uttrykt ved B_o og N_p , i formelen under:

$$F = N E_o.$$

- j) Forklar ved hjelp av en graf hvordan vi kan bestemme volum av hydrokarboner opprinnelig tilstede, fra formelen over. Hvordan blir formelen over modifisert, dersom vi har innstrømning av vann i reservoaret?