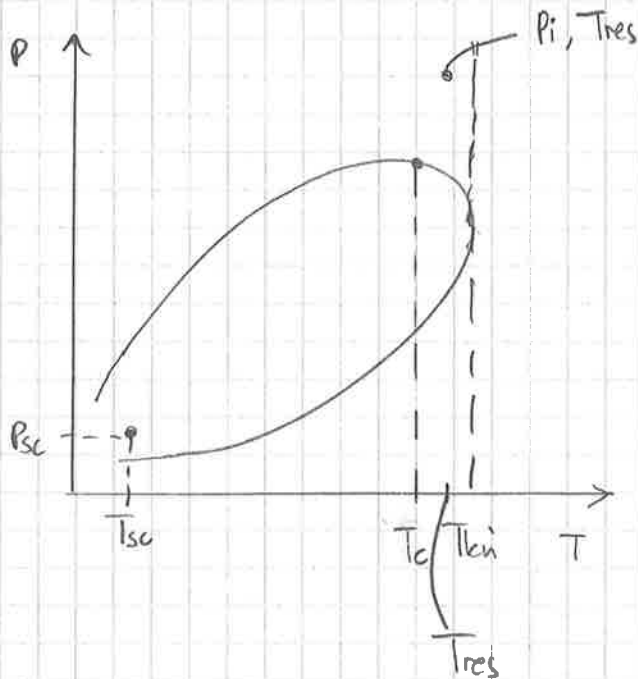


PET 120
LØSNINGSFORSLAG V-2016

OPPGAVE 1

a) Dette er et gasskondensatreservoar pga at P_d er oppgitt. Det er bare gasskondensat som har et duggpunktstrykk i reservoaret, der olje begynner å felles ut fra gassen ved $P < P_d$.

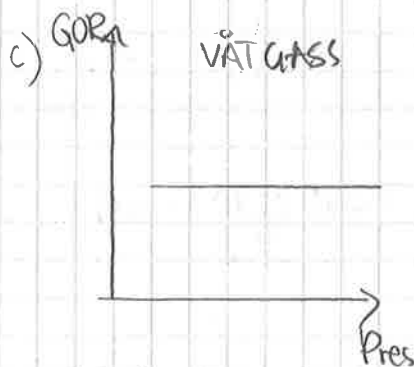


Gasskondensat:

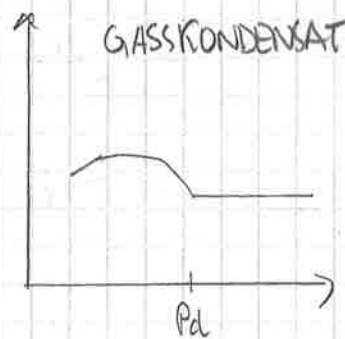
$$T_c < T_{res} < T_{kin}$$

P_c, T_{sc} inni tofasekonn.

$$\begin{aligned} \text{b) } \underline{HCPV} &= V_b \cdot \Phi \cdot (1 - S_{wi}) \\ &= 2.5 \cdot 10^6 \text{ ft}^3 \cdot 0.25 \cdot (1 - 0.10) \\ &= \underline{\underline{562500 \text{ ft}^3}} \end{aligned}$$



Konstant GOR pga lik gasskomposisjon



Konstant GOR $\forall P > P_d$ pga lik komposisjon.
 $P < P_d$, retrograd kondensering av olje

TØRR GASS:

Ingen GOR da ingen olje blir produsert.

$$\begin{aligned}
 d) \quad \underline{GOR_{tot}} &= GOR_1 + GOR_2 + GOR_3 \\
 &= 9371 + 1081 + 819 \\
 &= \underline{11271 \text{ SCF/STB}}
 \end{aligned}$$

e) Trykkløstning fra P_i til P_d

$$\Delta n = n_i - n_{igjen}$$

$$\Delta n = \frac{P_i V_i}{z_i R T} - \frac{P_{res} V_{res}}{z_{res} R T_{res}}$$

$$\Delta n = \frac{8000 \cdot HCPV}{1,347 \cdot 10,732 \cdot (250 + 460)} - \frac{7217 \cdot HCPV}{1,259 \cdot 10,732 \cdot (250 + 460)}$$

$$= 438435,7 - 423169,6$$

$$= \underline{15266,1 \text{ lbmol}}$$

$$PV = z n R T$$

$$n = \frac{PV}{z R T}$$

$$V_i = V_{res} = HCPV$$

$$\text{Produisert gass} = \Delta n_{prod} \cdot V \cdot V_m$$

$$GOR = \frac{V_g}{V_{STO}} = 11271 \frac{\text{SCF}}{\text{SBL}}$$

$$1 \text{ bbl STO} = \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V$$

$$n_{STO} \cdot M_{STO} = \rho \cdot V$$

$$n_{STO} = \frac{\rho_{STO} \cdot V_{STO}}{M_{STO}}$$

$$n_{STO} = \frac{51,25 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \cdot 350,54 \text{ lb/bbl} \cdot 1 \text{ bbl}}{62,43 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = \underline{203,22}$$

$$n_{STO} = 1,416 \text{ lbmol}$$

$$V_g = GOR \cdot V_{STO} = 11271 \frac{\text{SCF}}{\text{SBL}} \cdot 1 \text{ SBL} = \underline{11271 \text{ SCF}}$$

$$n_g = \frac{11271 \text{ SCF}}{379,51 \text{ SCF/lbmol}} = 29,699 \text{ lbmol}$$

$$\text{Totalt antall mol} : n_{sto} + n_g = 1,416 + 29,699$$

$$= 31,115 \text{ lbmol}$$

$$L : \text{Molfraksjon olje} : \frac{n_{sto}}{n_{sto} + n_g} = \frac{1,416}{1,416 + 29,699} = 0,0455$$

$$V : \text{Molfraksjon gass} : \frac{n_g}{n_{sto} + n_g} = \frac{29,699}{31,115} = 0,9545$$

$$\text{Produsert gass} = \Delta n_{prod} \cdot V \cdot V_m$$

$$= 15266,1 \text{ lbmol} \cdot 0,9545 \cdot 379,51 \text{ SCF/lbmol}$$

$$= \underline{\underline{5\,530\,027 \text{ SCF}}}$$

$$\text{Produsert olje} = \frac{\Delta n_{prod} \cdot L \cdot M_{sto}}{\rho_{sto}}$$

$$= \frac{15266,1 \text{ lbmol} \cdot 0,0455 \cdot 203,22 \text{ lb/lbmol}}{287,77 \text{ lb/SBL}}$$

$$= \underline{\underline{490,5 \text{ SBL}}}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{n \cdot M}{\rho}$$

$$\text{evt. } V_{sto} = \frac{V_g}{GOR} = \frac{5\,530\,027 \text{ SCF}}{11271 \text{ SCF/SBL}} = \underline{\underline{490,6 \text{ SBL}}}$$

$$f) \text{ GOR}_i = \frac{IGIP}{10IP}$$

$$G_i = IGIP + 10IP \cdot GE_{sto}$$

$$\underline{IGIP} = n_i \cdot V \cdot V_m = \frac{P_i \cdot W_{CPV}}{z_i \cdot R T_{res}} \cdot 0,9545 \cdot 379,51 \text{ SCF/lbmol}$$

$$= \frac{8000 \cdot 562500}{1,347 \cdot 10,732 \cdot (250 + 460)} \cdot 0,9545 \cdot 379,51$$

$$= \underline{\underline{158\,819\,953 \text{ SCF}}}$$

$$\underline{10IP} = \frac{IGIP}{GOR} = \frac{158\,819\,953 \text{ SCF}}{11271 \text{ SCF/SBL}} = \underline{\underline{14091 \text{ SBL}}}$$

g) CVD-analyse:

- Separatorgass og -olje rekombineres i rett forhold i en PVT-celle ved Pd og Tres.
- Steg 1:
- Cellerokem utvides, trykk synker til P_1 .
- Trykk holdes ved P_1 mens gassvolumet ΔV_1 produseres.
- Utfelt væskerddum i cellen bestemmes, samt egenskapene til gassen, z , γ , komposisjon
- Prosessen gjentas i ca. 10 steg til avslutningstrykk.

h) Ved 5000 pria har 17,08% av molene blitt produsert hentet fra CVD-analyse.

$$\text{Ved Pd har en } n_i - \Delta n_{\text{prod}} = 438435,7 - 15286,1$$

$$n_d = 423169,6 \text{ mol}$$

Produsert mol ved 5000 pria:

$$\Delta n_{\text{Pd} \rightarrow 5000} = \frac{n_d \cdot 17,08}{100} = 72277,4 \text{ mol}$$

Fra Pd til 5000 pria

$$\text{Volum brønnstrømsfluid som gass} = \Delta n_{\text{prod}} \cdot V_{\text{nr}}$$

$$= 72277,4 \cdot 379,51 = \underline{\underline{27429996 \text{ SCF}}}$$

$$G_i = 1GIP + 101P \cdot G_{E510}$$

$$G_{E510} = 133000 \cdot \frac{Y_{510}}{M_{510}} \cdot \frac{\text{SCF}}{\text{SBL}}$$

$$= 133000 \cdot \frac{0,821}{203,22}$$

$$= \underline{\underline{537,31 \text{ SCF/SBL}}}$$

$$Y_{510} = \frac{Q_o}{Q_w}$$

$$= \frac{287,77 \text{ lb/bbl}}{350,54 \text{ lb/bbl}}$$

$$= 0,821$$

$$\begin{aligned}
 G_i &= 141P + 101P \cdot G_{Esto} \\
 &= 158\,819\,953 \text{ SCF} + 14\,091\,582 \cdot 537,31 \text{ SCF/SBL} \\
 &= \underline{166\,391\,188,2 \text{ SCF}}
 \end{aligned}$$

$$\% \text{ uttinningsgrad} = \frac{27429996 \text{ SCF}}{166\,391\,188,2 \text{ SCF}} \cdot 100\% = \underline{16,5\%}$$

$$\text{Evt. } G_i = n_i \cdot V_m = 438435,7 \cdot 379,15 = \underline{166232,9 \text{ SCF}}$$

OPPGAVE 2

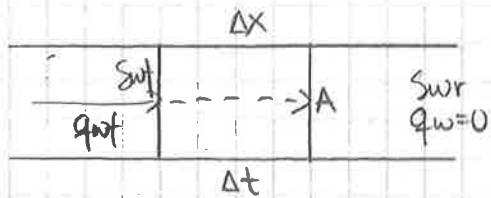
- a)
- v_{sw} = effektiv hastigheden til vannmetningen S_w
 - q_t = total volumrate, $q_w + q_o$ ved reservoarbetingelser
 - ϕ = porøsitet (fraksjon)
 - A = tverrsnittsareal av reservoaret
 - $\left(\frac{df_w}{dS_w}\right)_{S_w}$ = stigningstallet til tangenten til fraksjonsstrømskurven $f_w = f_w(S_w)$ ved metningen S_w .

Forutsetninger:

1. Jevntylt lineært reservoar, $A = \text{konstant}$
2. Inkompressible faser; $q_t = q_o + q_w = \text{konstant}$, $q_{inj} = q_{prod}$
3. Ingen masseutveksling mellom fasene, vann - olje
4. Samme fysiske egenskaper over en tverrsnittsflate i strømingsretningen (S_w, P, ρ, S_o etc.)
5. Strøm i én dimensjon, pga gravitasjonskrefter, viskose fingrer.

b) Utled uttrykket for sjokkfrontens tangent til fraksjonsstrømskurven.

Skisse: Massebalanse i sjokkfronten



$$1. \quad q_{wf} = f_{wf} \cdot q_t$$

$$2. \quad q_{wf} \cdot \Delta t = \Delta x \cdot A \cdot \phi \cdot (S_{wf} - S_{wr})$$

Mengde vann inn i volumelementet $\phi \cdot A \cdot \Delta x$ i tid Δt .

Setter 1. inn i 2.

$$f_{wf} \cdot q_t \cdot \Delta t = (S_{wf} - S_{wr}) \cdot \phi A \cdot \Delta x$$

$$V_{swf} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{f_{wf} \cdot q_t}{(S_{wf} - S_{wr}) \phi A}$$

fra massebalanse

$$V_{swf} = \frac{q_t}{\phi A} \left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_{wf}}$$

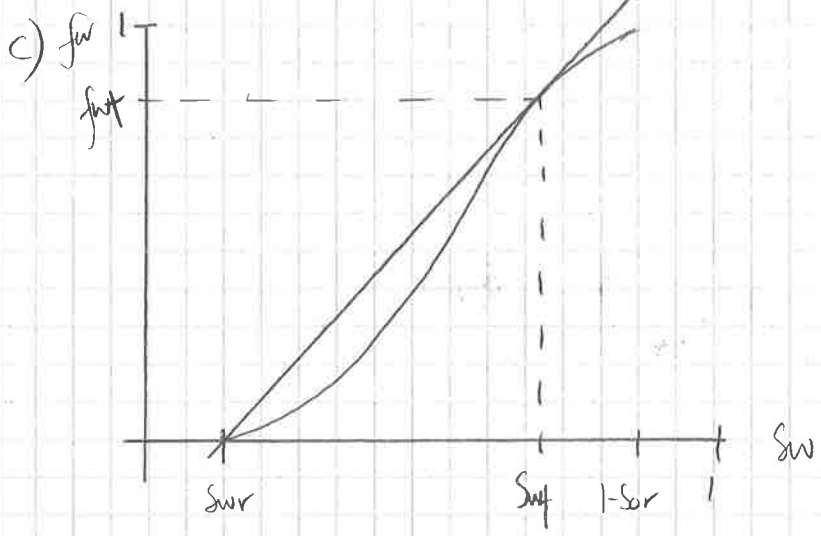
fra B-L

Uttrykkene må være like:

$$\frac{q_t}{\phi A} \left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_{wf}} = \frac{f_{wf} \cdot q_t}{(S_{wf} - S_{wr}) \phi A}$$

$$\underline{\underline{\left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_{wf}} = \frac{f_{wf}}{(S_{wf} - S_{wr})} \quad \text{s.s.v.}}}$$

Betingelse
sjokkfronten må
oppfyller iflg B-L



Ex 2016 Ordinær Løs

a) **Darcy** $q_x = -\frac{k \cdot A}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx}$

1. k : permeabilitet (D)

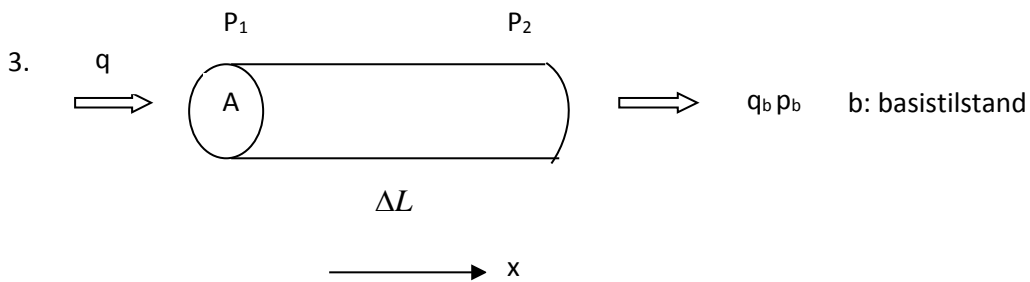
A : strømningsareal (cm²)

μ : viskositet (cP)

dp/dx : trykkgradient (atm/cm)

q_x : strømningsrate (cm³/s)

2. $k = 1D$ når $q_x = 1 \text{ cm}^3/\text{s}$; $A = 1 \text{ cm}^2$; $\mu = 1 \text{ cP}$; $dp/dx = 1 \text{ atm/cm}$



$$q_x = -\frac{k \cdot A}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx} \quad q_x \text{ trykkavhengig for gass}$$

$$q \cdot \rho = -A \frac{k \cdot \rho_b \cdot p}{\mu \cdot p_b} \frac{dp}{dx} = q_b \cdot \rho_b$$

$$q_b = A \frac{k}{2 \cdot \mu \cdot p_b} \frac{p_1^2 - p_2^2}{\Delta L}$$

$$\bar{q} = q_b \frac{p_b}{\bar{p}} = \frac{k \cdot A}{\mu} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L} \quad \text{hvor } \bar{p} = \frac{1}{2} [p_1 + p_2] \text{ og } \Delta P = p_1 - p_2$$

4. VS: $\frac{\text{m}^3 \cdot 10^6 \text{ cm}^3}{\text{s} \cdot 1 \text{ m}^3} = 10^6$

$$\text{HS: } \frac{\text{m}^2 \cdot 1D \cdot \text{m}^2 \cdot 10^4 \text{ cm}^2 \cdot \text{Pa} \cdot 1 \text{ atm} \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot 1 \text{ m}}{0,987 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot 1,0132 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 1 \text{ cP} \cdot \text{m} \cdot 10^2 \text{ cm}} = 10^6$$

Omregningsfaktor: $10^6/10^6 = 1$

Dette resultatet kan vi også se direkte fra uttrykket siden

$$[q] = \frac{\text{m}^2 \cdot \text{m}^2 \text{ Pa}}{\text{Pa} \cdot \text{s} \text{ m}} = \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{forutsatt at } [k] = \text{m}^2 \text{ ; det var jo slik vi fant at } 1D = 0,987 (\mu\text{m})^2$$

5. Turbulens

Darcy lov forutsetter laminer strømning. Gass ved høy hastighet kan gi turbulens.

Korreksjon ved å inkludere en turbulensfaktor. Denne effekten er aktuell både under reservoar og laboratorieforhold.

Slippage

Gass ved lavt trykk strømmer raskere enn lamener strøm skulle tilsi (slippage). Effekten oppstår når molekylenes frie veilengde er av samme størrelse som poredimensjonen. Korreksjon ved å inkludere Klinkenberg faktor. Denne effekten er aktuell bare under laboratorieforhold.

6. Væske kan reagere med bergarten og dermed påvirke bestemmelsen av k . Med gass unngås denne effekten. Gass er også "non-destruktiv" slik at prøven kan brukes til andre målinger.

7. Et reservoar med $k=1$ D vil ha gode produksjonsegenskaper

8. For ikke kompressibel væske (olje, vann)

$$q \int_{x_1}^{x_2} dx = -\frac{k \cdot A}{\mu} \int_{p_1}^{p_2} dp$$
$$q = \frac{k \cdot A \Delta p}{\mu L}$$

$$\text{Total strømningsrate for lagdelt reservoar } q = \frac{\bar{k} \cdot w \cdot h \Delta p}{\mu L}$$

w = bredde

$h = h_1 + h_2 + h_3$

$q = q_1 + q_2 + q_3$

$$\frac{\bar{k} \cdot w \cdot h \Delta p}{\mu L} = \frac{k_1 \cdot w \cdot h_1 \Delta p}{\mu L} + \dots$$

$$\bar{k} = \frac{1}{h} [k_1 h_1 + k_2 h_2 + k_3 h_3]$$

9. Uttrykket for strømning av gass (\bar{q}) og strømning av væske (q) er på samme form.

Argumentasjonen blir dermed lik i de to tilfellene. Ligning (3) gjelder derfor både for gass og væske strøm.

10. Total strømningsrate for lagdelt reservoar

$$q = \frac{\bar{k} \cdot A \Delta p}{\mu L}$$

$$\bar{k} = 0,242 D = 0,239 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$$

$$q = \frac{0,239 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot (0,6 + 1,8 + 1,2) \cdot 1,013 \cdot 10^6}{10^{-3} \cdot 5} = 348 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

b)

$$1. c = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$$

Relativ volumforandring som en respons på en trykkforandring ved konstant temperatur

2. Forutsetninger

- c_o konstant over $\Delta p (= p_1 - p_2)$

- $c_o \cdot \Delta p \ll 1$

- konstant temperatur

$$3. B_o = \frac{V_o^R}{V_o^S} \quad R: \text{reservoar betingelser; S: standard betingelser}$$

$$c_o = \frac{1}{V_o} \frac{\Delta V_o}{\Delta p} \Rightarrow V_o = B_o \cdot V_o^S \Rightarrow c_o = \frac{1}{B_o \cdot V_o^S} \frac{\Delta B_o \cdot V_o^S}{\Delta p} \Rightarrow \frac{1}{B_o} \frac{\Delta B_o}{\Delta p}$$

$$4. c_o = \frac{1}{B_{oi}} \frac{(B_{ob} - B_{oi})}{p_i - p_b} = \frac{1}{1,247} \frac{(1,258 - 1,247)}{308 - 239} = 12,8 \cdot 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$$

$$5. c_t = 0,8 \cdot 12,8 \cdot 10^{-5} + 0,2 \cdot 4,33 \cdot 10^{-5} + 12,4 \cdot 10^{-5} = 23,4 \cdot 10^{-5} \text{ bar}^{-5}$$

6. Drivmekanismer (antar $W_e = W_p = 0$)

- ekspansjon av væske (olje, vann) og kompaksjon av porevolum

7. $F = N[E_o + E_{f,w}]$ Her er $m = 0$ og $W_e = W_p = 0$

$$F = N_p [B_o + (R_p - R_s)B_g] = N_p \cdot B_o \text{ da } R_p = R_s \text{ når } p \geq p_b$$

$$\frac{N_p}{N} = \frac{B_{oi}}{B_o} \left[\frac{B_o - B_{oi}}{B_{oi}} + \frac{(S_{wc} \cdot c_w + c_p)}{1 - S_{wc}} \Delta p \right] \text{ nå er } c_o \Delta p = \frac{B_o - B_{oi}}{B_{oi}}$$

$$\frac{N_p}{N} = \frac{B_{oi}}{B_o} \frac{c_t}{1 - S_{wc}} \Delta p \text{ siden } S_o = 1 - S_{wc}$$

$$8. \frac{N_p}{N} = \frac{1,247}{1,258} \frac{23,4 \cdot 10^{-5}}{(1 - 0,2)} (308 - 239) = 2,0\%$$

$$9. S_w = \frac{V_w}{V_p}$$

$$c_w = \frac{1}{V_w} \frac{\Delta V_w}{\Delta p} \Rightarrow \Delta V_w = c_w \cdot V_w \cdot \Delta p$$

$$V_w - V_w^i = c_w \cdot V_w^i \cdot \Delta p \Rightarrow V_w = V_w^i [1 + c_w \Delta p]$$

Tilsvarende fås $V_p = V_p^i [1 - c_p \Delta p]$

$$S_w = \frac{V_w}{V_p} = \frac{V_w^i [1 + c_w \Delta p]}{V_p^i [1 - c_p \Delta p]} = S_{wc} \frac{1 + c_w \Delta p}{1 - c_p \Delta p}$$
$$= 0,2 \frac{1 + 4,33 \cdot 10^{-5} \cdot 69}{1 - 12,4 \cdot 10^{-5} \cdot 69} = 0,202$$

dvs. liten endring i S_{wc} ved trykkfall

10. Når $p < p_b$ vil løst gass gradvis gå over til fri gass som normalt vil dominere som drivmekanisme (løsningsgassdriv)

$$F = N [(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) B_g]$$

$$F = N_p [B_o + (R_p - R_s) B_g]$$

$$\frac{N_p}{N} = \frac{(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s) B_g}{B_o + (R_p - R_s) B_g}$$

Parameteren $R_p = \frac{G_p}{N_p}$ er avgjørende for utvinningsgraden.

- Høy R_p gir lav N_p/N siden det meste av den frigjorte gass blir produsert og dermed ikke bidrar med drivenergi
- Lav R_p gir høy N_p/N siden frigjort gass akkumuleres i reservoaret og bidrar dermed til betydelig drivenergi pga gassens ekspansive virkning

11. De fleste oljefelt på norsk sokkel ville med trykkavlastning bli produsert med løsningsgassdriv som hoveddrivmekanisme. Utvinningsgraden ville da typisk bli rundt 15-20 %. En betydelig bedre utvinningsgrad oppnås med vanninjeksjon, typisk rundt 50 %. Grunnen til at vanninjeksjon fungerer så bra på norsk sokkel er det gunstige mobilitetsforholdet mellom vann og olje ($M^0 \approx 1$). Unntak kan være oljefelt med gasskappe, men de er det få av og vanligvis må gasskappen forsterkes med import av gass fra nærliggende felt (Oseberg, Fram, Grane, Troll Vest Oljeprovin).