

Tentamen Geo-Energie

1 Februari 2012

Oplossingen

Opgave 1

Vraag 1:

Het bulk-rock volume van de horst structuur is: dikte x lengte x breedte = $10 \times 5 \times 150 \cdot 10^6 = 750 \cdot 10^7 \text{ m}^3$

Het poriën volume is: $V_{\text{por,gas}} = V_{\text{bulk}} \times N/G \times \text{porositeit } \phi \times S_g = 750 \cdot 10^7 \times 0.25 \times 0.9 \phi = 168.8 \cdot 10^7 \phi \text{ m}^3$

Het gas dat moet worden opgeslagen is $20 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ bij standaard condities. Onder reservoir condities op 2500m wordt dit: $V_{2500} = V_{\text{standaard}} / E$

E is de expansiefactor: $E = \frac{284.38p}{ZT}$

Op 2500m is de hydrostatische druk 251 bar

En de temperatuur is $15^\circ + (0.03 \times 2500) = 90^\circ\text{C} = 363^\circ\text{K}$

Op Bijlage 1 lezen we af: $Z = 0.925$

Dit levert op: $E = 212.6$

Dus $V_{2500} = 20 \cdot 10^9 \text{ m}^3 / 212.6 = 0.094 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

Het met gas gevulde poriën volume moet minimaal gelijk zijn aan het gas volume op 2500m:

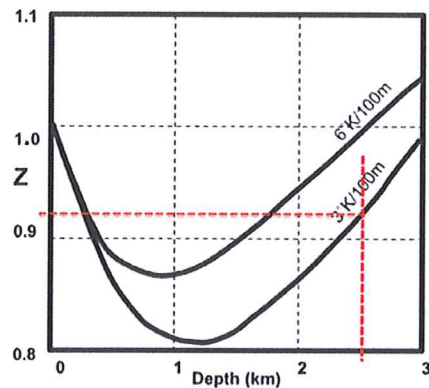
$V_{\text{por,gas}} = V_{2500} \rightarrow 168.8 \cdot 10^7 \phi = 0.094 \cdot 10^9 \rightarrow \phi = (0.094 \cdot 10^9) / (168.8 \cdot 10^7) = 0.06$ ofwel 6%

Vraag 2:

Een gesteente met een porositeit van 6% is van 'slechte' kwaliteit

Opgave 1 – Bijlage 1

Compressibility Factor voor Methaan



Opgave 1

Vraag 3:

De druk in het reservoir moet 10 bar onder de oorspronkelijke druk van 251 bar blijven, derhalve $p = 241$ bar. De temperatuur is 90°C .

Op het fase diagram voor CO_2 in Bijlage 2 lezen we bij deze druk en temperatuur de dichtheid van CO_2 af: $\rho_{\text{CO}_2} = 625 \text{ kg/m}^3$.

Massa CO_2 die maximaal opgeslagen kan worden: $\rho_{\text{CO}_2} \times V_{\text{por,gas}} = 625 \times 0.094 \cdot 10^9 = 5.9 \cdot 10^{10} \text{ kg} = 59 \text{ Mton}$

Vraag 4:

Als de volledige poriën ruimte wordt ingenomen door zoet water, dan moeten we $V_{\text{por,gas}}$ uit Vraag 1 nog corrigeren voor de reeds aanwezige water saturatie: $V_{\text{por,water}} = V_{\text{por,gas}} / S_g = 0.094 \cdot 10^9 / 0.9 = 0.104 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

De dichtheid ρ_w van zoet water is 1000 kg/m^3 .

De massa van het water in de poriën is dus: $\rho_w V_{\text{por,water}} = 0.104 \cdot 10^{12} \text{ kg}$

De oplosbaarheid van CO_2 in water bij $p = 241$ bar en $T = 90^\circ\text{C}$ halen we uit de grafiek in Bijlage 3:

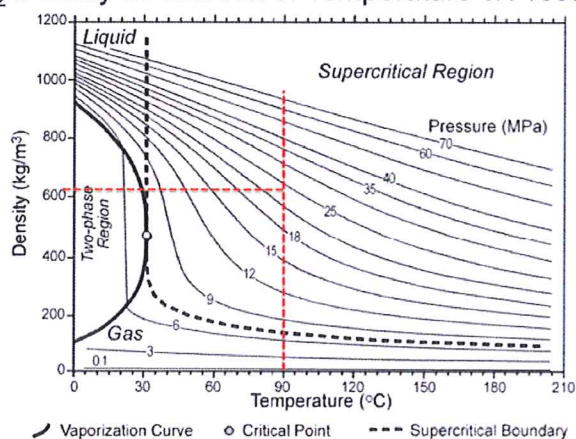
We lezen hier af: 5.3 kg CO_2 in 100 kg water ;

In het reservoir kunnen we dus $5.3 \times 0.104 \cdot 10^{10} \text{ kg} = 5.5 \text{ Mton CO}_2$ oplossen

Vraag 5: de aanwezigheid van zouten in de brine verlaagt het potentieel om CO_2 op te lossen

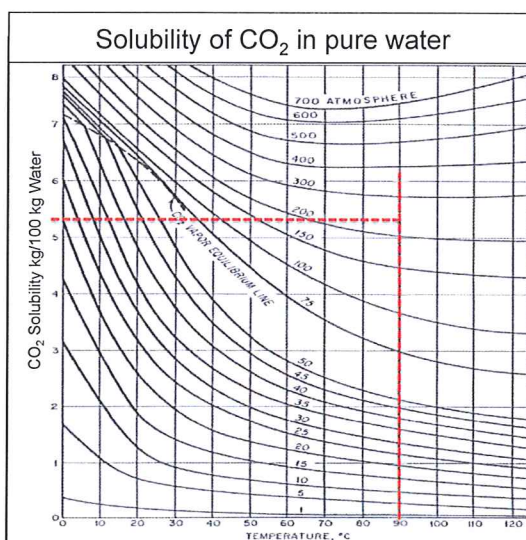
Opgave 1 - Bijlage 2

CO₂ Density as function of Temperature & Pressure

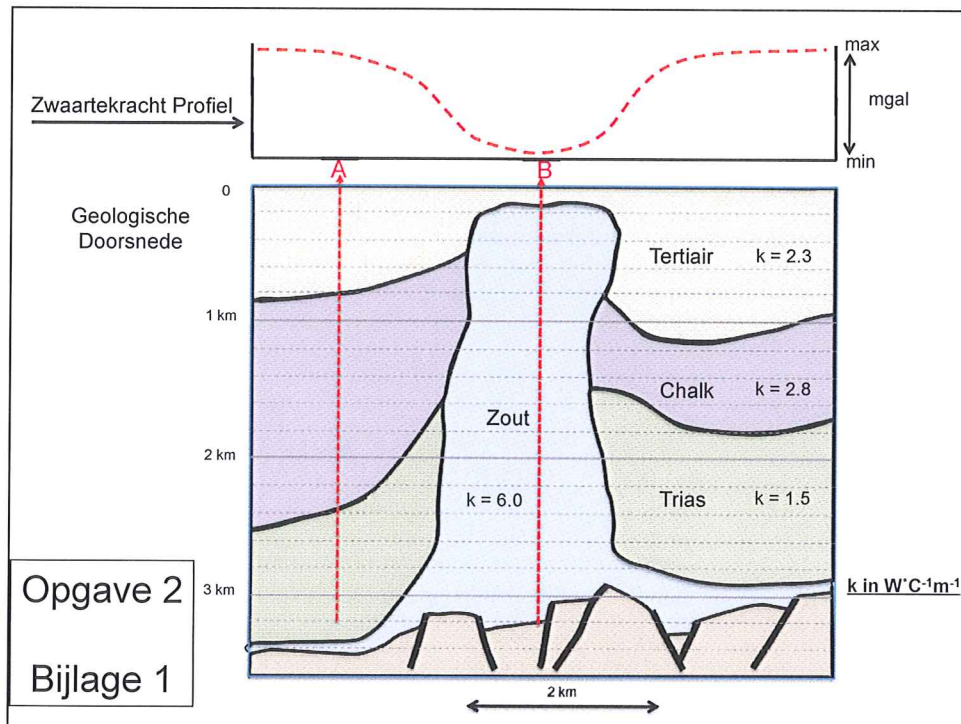


At standard conditions: $\rho = 1.87 \text{ kg/m}^3$

Opgave 1 – Bijlage 3



1 atm = 1.01325 bar



Opgave 2

Vraag 1:

Aangezien de zoutkoepel een lagere dichtheid (2 gr/cc) heeft dan het gemiddelde sedimentaire gesteente van Tertiair, Krijt en Trias (2.5 – 3 gr/cc) zal de gemeten zwaartekracht recht boven het zout dus een lagere waarde hebben dan in de omgeving (Zie Bijlage 1)

Vraag 2:

De hoogte van de zoutkoepel is ongeveer 3000m en de top bevindt zich op 175m onder het oppervlak. Om deze laatste 175m af te leggen, wordt dus een strain gecreëerd ter grootte van:
 $(d_a - d_o) / d_o = (3175 - 3000) / 3000 = 0.06$ ofwel 6%

Een strain rate van 10^{-14} s^{-1} komt overeen met 0.3 / mln jaar

Met deze rate duurt het dus $0.06 / 0.3 = 0.2$ mln ofwel 200.000 jaar voor het zout aan de oppervlakte komt

Vraag 3:

Met behulp van de integraal $T(z) = T(0) + q \int_0^z \frac{dz}{k(z)}$ berekenen we de temperatuur op 3200m in A & B:

$$T_A(3200) = 15^\circ + 65 \cdot 10^{-3} [800/2.3 + 1600/2.8 + 800/1.5] = 15^\circ + (65 \cdot 10^{-3} \times 1453) = 109.4^\circ\text{C}$$

$$T_B(3200) = 15^\circ + 65 \cdot 10^{-3} [175/2.3 + 3025/6] = 15^\circ + (65 \cdot 10^{-3} \times 580) = 52.7^\circ\text{C}$$

Vraag 4:

We forceren een constante $T(0)$ aan het oppervlak. In de realiteit zal er door de hogere geleiding in het zout zich erboven meer warmte verzamelen en zal de temperatuur aan het oppervlak boven de zoutkoepel iets hoger zijn dan er omheen. Met infrarood satellietmetingen zouden we hier een positieve warmte anomalie meten.

Opgave 3

Vraag 1:

Eerst trekken we in Bijlage 1 de hydrostatische druk gradiënt: 0.01 MPa/m.

Daarna de lithostatische druk gradiënt: bij constante dichtheid is dit 0.03 MPa/m

Het reservoir bevindt zich tussen 1 en 2 km en is 20MPa overpressured, dit geeft dus een shift van 20 MPa voor de hydrostatische gradiënt.

Teken nu het GWC in op 2000m. Vanaf het snijpunt van GWC met de overpressured hydrostatische gradiënt trekken we nu de gas gradiënt (0.0009 MPa/m) omhoog totdat deze de lithostatische gradiënt raakt. Dit bepaalt de maximum gas kolom die het reservoir kan bevatten zonder dat het gesteente 'faalt'. De lengte van deze kolom is ongeveer 700m.

Vraag 2:

Uit de laboratorium experimenten bepalen we de Mohr-Coulomb "failure lijn": $\tau = 8 + 0.58 \sigma_n$, en tekenen die in op Bijlage 2.

Op de diepte van het GWC (2000m) is de verticale principle stress σ_1 gelijk aan de lithostatische druk: pgz op 2000m is $3060 \times 9.8 \times 2000 = 60 \text{ MPa}$

De horizontale principle stress is gegeven: $\sigma_3 = 30 \text{ MPa}$

We construeren nu de Mohr cirkel met behulp van σ_1 en σ_3

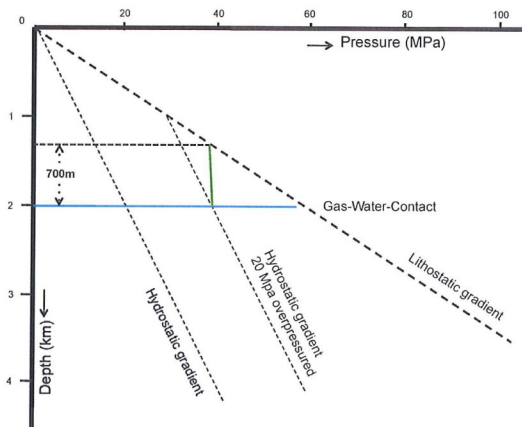
De maximaal tolerabele pore pressure kunnen we nu bepalen door de cirkel langs de normal stress as te schuiven tot hij de "failure lijn" raakt. Deze shift is 30 MPa (zie Bijlage 2)

Dit 'failure point P' van 30 MPa op 2000m plotten we nu op de pressure/depth grafiek (Bijlage 3).

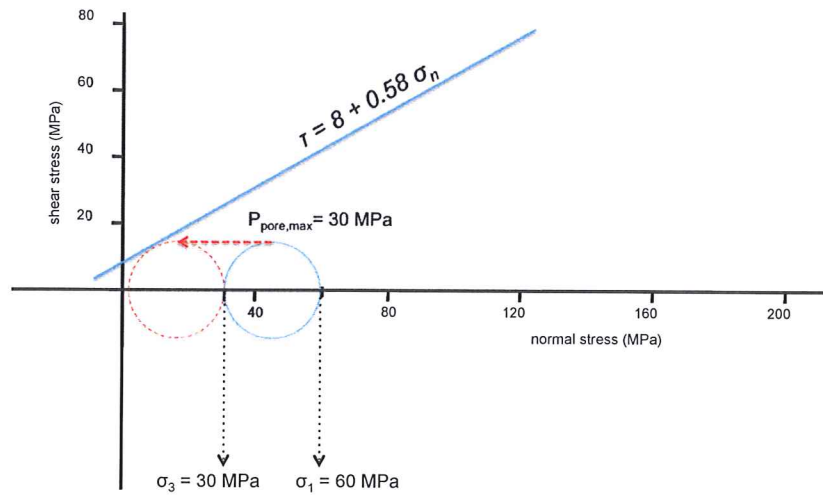
Wat we hebben uitgerekend is een punt P op de Lower Bound, de failure lijn voor gesteenten die onderhevig zijn aan principle stresses en pore pressure.

Op de diepte van een mogelijk GWC, bv het structurele spillpoint op 2000m, is dus met een pore pressure van 20 MPa boven hydrostatisch geen gaskolom mogelijk

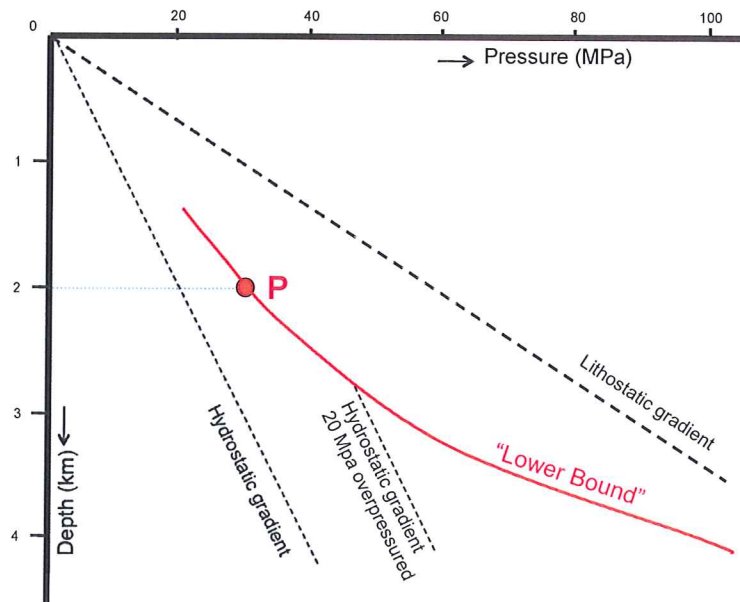
Opgave 3 – Bijlage 1



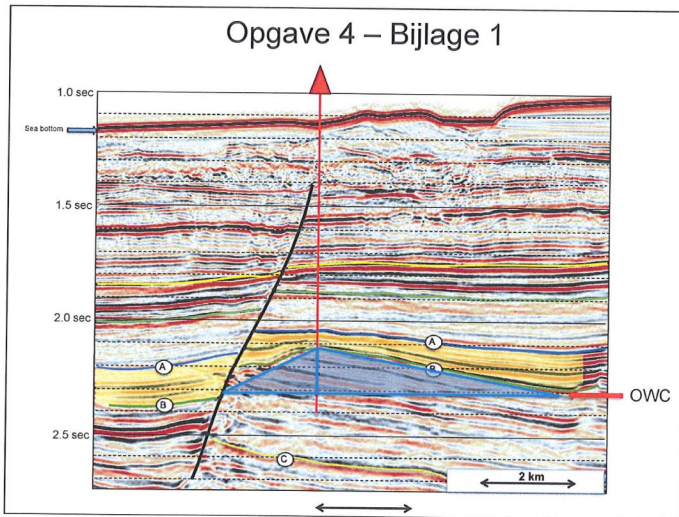
Opgave 3 – Bijlage 2



Opgave 3 – Bijlage 3



Opgave 4 – Bijlage 1



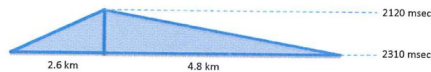
Opgave 4

Vraag 1:

Een seismoloog heeft het olie-water-contact (OWC) geïnterpreteerd op 2310 msec. Op dit niveau zien we in het reservoir interval een aantal reflecties van karakter veranderen van "bright" boven 2310 msec naar "dim" eronder. Dit kan worden veroorzaakt doordat de dichtheid van olie kleiner is dan van water, waardoor de reflectie coëfficiënt bij contrasten van poreuze zanden met klei-intervals groter is in de met olie gevulde zone. Ten tweede blijkt op deze seismische lijn het spillpoint van de structuur ongeveer op dit niveau te liggen. Er is hier wel een proviso: het spillpoint kan alleen in de 3D sense worden bepaald en het is dus niet zeker dat deze cross-sectie representatief is!

Vraag 2:

we berekenen eerst het bulk-rock volume, hiervoor benaderen we de doorsnede van het reservoir interval boven het OWC dmv 2 driehoeken (zie ook bijlage1)



De gemeenschappelijke hoogte van de driehoeken is: $0.5 \Delta t \times v_{\text{reservoir}} = 0.5 \times 0.19 \times 3000 = 285 \text{ m}$

Het oppervlak wordt dan: $285 \times (2600 + 4800) / 2 = 1.0545 \times 10^6 \text{ m}^2$

En het bulk rock volume: $V_{\text{bulk}} = 10 \times 10^3 \times 1.0545 \times 10^6 = 1.0545 \times 10^{10} \text{ m}^3$

Het olie volume is dan: $V_{\text{oil}} = V_{\text{bulk}} \cdot \phi \cdot N/G \cdot S_{\text{oil}} = 1.0545 \times 10^{10} \times 0.25 \times 0.2 \times 0.75 = 395 \times 10^6 \text{ m}^3$

En onder standaard condities: $\text{STOIPP} = V_{\text{oil}} / B_0 = 395 \times 10^6 / 1.3 = 304 \times 10^6 \text{ m}^3$

Opgave 4

Vraag 3:

In het interval 9150 – 9650 ft is de average yield 20 % (bijlage 2)

Dus de yield in massa olie per m³ sourcerock is: 0.02 x 2300 = 46 kg/m³

Dit levert een olie volume van 46 / 800 = 0.06 m³ olie per m³ sourcerock

Dus over een lengte van 500 ft = 152m levert dit 152 x 0.06 = 9 m³ olie per m² sourcerock
 Oftewel 9 10⁶ m³ olie per km² sourcerock met deze dikte.

Het in situ olie volume in het veld is 395 10⁶ m³ (zie vraag 2)

Er is dus een oppervlak van 395 / 9 = 44 km² aan sourcerock nodig om dit te kunnen vullen

Vraag 4:

de minimum diepte waarop de source rock mature (VR>0.6) is voor olie is 11000 ft = 3300m (bijlage 2)

Op de seismische sectie ligt het diepste punt van horizon "C" op ongeveer 2650 msec, dus 340 msec onder het OWC. Met een snelheid van 3000 m/sec betekent dit 0.34 x 3000 / 2 = 510m onder het OWC

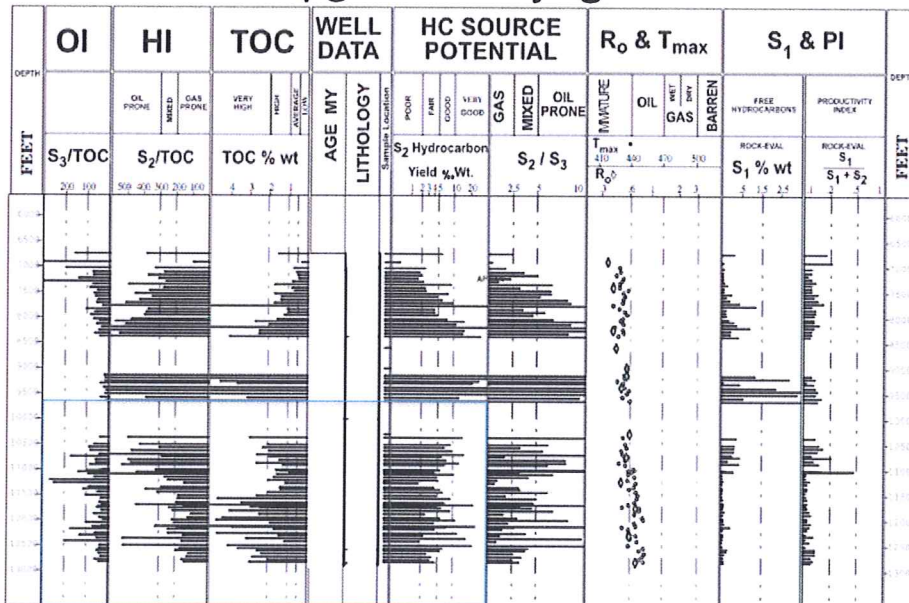
De diepte van het OWC bepalen we op de putlokatie:

OWC = waterdiepte + dikte interval (zeebodem-horizon B) + interval (horizon B – OWC) met gebruikmaking van de arrival times en seismische snelheden:

OWC = (1130 msec x 1500 / 2) + [(2120 – 1130 msec) x 2500 / 2] + 285 (vraag 2) = 847 + 1237 + 285 = 2370m

Horizon C ligt dus op 2370 + 510 = 2880m en daar is de sourcerock dus nog niet mature.

Opgave 4 – Bijlage 2



Opgave 5

Hieronder staan een aantal statements; sommige zijn juist, andere onjuist. Geef bij elk statement aan of het juist of onjuist is.

1. Als een basalt afkoelt tot onder de Curie temperatuur, behouden de ijzer/titanium oxide mineralen de richting van het aardmagneetveld **juist**
2. bodemdaling Subsidence en zeespiegelstijging hebben een tegengesteld effect op mariene sedimentatie **onjuist**
3. De 'free-air' correctie bij een zwaartekrachtmeting in de Ardennen verhoogt de gemeten waarde **juist**
4. De voortplantingssnelheid van compressional (longitudinale) elastische golven is hoger dan van shear (transversale) elastische golven **juist**
5. De kans op het vormen van anoxic bodemwater in zeeën is groter tijdens ijstijden **onjuist**
6. Bij pyrolyse van source rocks geeft de Hydrogen Index een indicatie of de source rock olie of gas zal genereren **juist**
7. Reservoirs bestaande uit diepwater turbidieten kenmerken zich door geringe laterale continuïteit **onjuist**
8. Coal Bed Methane kan maar tot diepten van 1200-1500m economisch gewonnen worden **juist**
9. De heatflow van geothermische warmte wordt voornamelijk veroorzaakt door afkoeling van de aarde **onjuist**