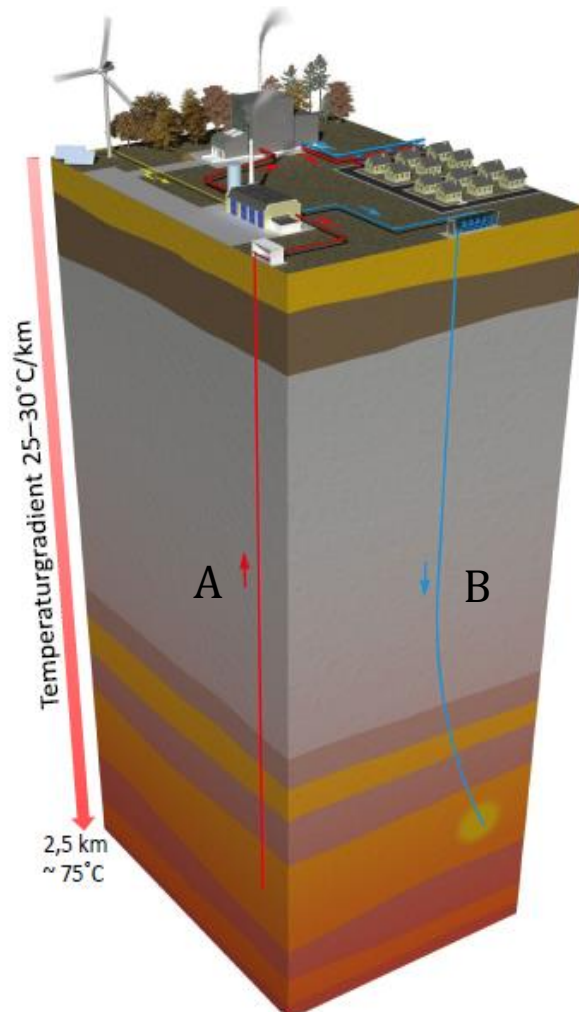


GeoCasen: GEOTERMI og CCS

Besvarelser af udvalgte øvelser og opgaver



Et samarbejde

GEOCENTER
DANMARK
GeoCase



GEUS

De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland

mellem:



GEOGRAFILÆRERFORENINGEN
for gymnasiet og HF



KØBENHAVNS
UNIVERSITET

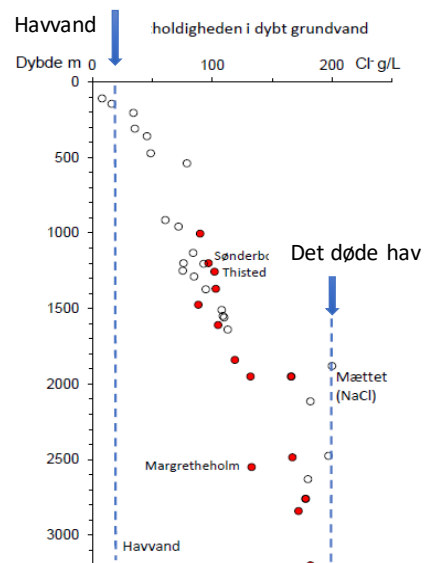
Indhold

Øvelse 1: Hvor mange svømmebassiner kan man varme op med geotermi vand?	2
Øvelse 2: Anlæg og fjernvarme	3
Øvelse 6: Tyndslib og bjergarter (på papir).....	4
Øvelse 8: Porøsitet og Permeabilitet i kridt, sand-, og lerstens kerner.....	5
Øvelse 10: Placer et geotermisk anlæg - i et modelområde.....	6
Øvelse 11: Case: Potentielle geotermiske reservoir i Nordjylland - Vedsted.....	7
Øvelse 16: Tolkning af seismisk profil.....	8
Øvelse 17: Tolkning af en borelog - Thisted 2	8
Øvelse 20: CO ₂ lagring.....	9

Øvelse 1: Hvor mange svømmebassiner kan man varme op med geotermi vand?

Mellem Margretheholm og Karlebo boringerne findes et sandstensreservoir fra Gassum Formationen. Det er omkring 25 km langt og 4 km bredt. Vi regner med en gennemsnitlig tykkelse af Gassum Formation i området på 306 m.

1. Beregn reservoirets størrelse i m^3 og i km^3
 - i. Svar: $25000\text{m} \times 4000\text{m} \times 306\text{m} = 30,6 \times 10^9 \text{ m}^3 / 30,6 \text{ km}^3$
2. Beregn hvor meget varmt vand der kan være i reservoiret, hvis porøsiteten, n , er 15%
 - ii. Svar: $30,6 \times 10^9 \text{ m}^3 \times 0,15 \text{ (eks)} = 4,59 \times 10^9 \text{ m}^3$
3. 1 svømmebassin bruger 1063 m^3 varmt vand i døgnet
4. Antal af svømmebassiner, der kan opvarmes pr døgn fra Gassum sandstensreservoiret mellem Margretheholm og Karlebo er således
 - i. Svar: $4,59 \times 10^9 \text{ m}^3 / 1063 \text{ m}^3 = 4.317.968$ svømmebassiner (hvis vi antager at alt det varme vand i reservoiret er tilgængeligt. Diskutér om det er en mulighed)
2. Aflæs i hvilken dybde man finder Gassum Formation i det område ved Margretheholm? Hvor varmt er vandet i denne dybde?
 - i. Svar: Dybden af Gassum Formation er ca i 1830 m og temperaturen er 57° i Karlebo og 54° i Margretheholm
5. Hvorfor bruger vi egentlig ikke bare geotermivandet direkte og svømmer i det?
 - i. Saltholdigheden er alt for høj, snak om figuren



Saltholdigheden kan bedst bekræftes ved kloridkoncentrationen i grundvandet. Klorid analyserne stammer fra forskellige borer, geotermiske borer er vist med rødt. De vigtigste salte i vandet er NaCl, CaCl_2 , MgCl_2 , KCl.

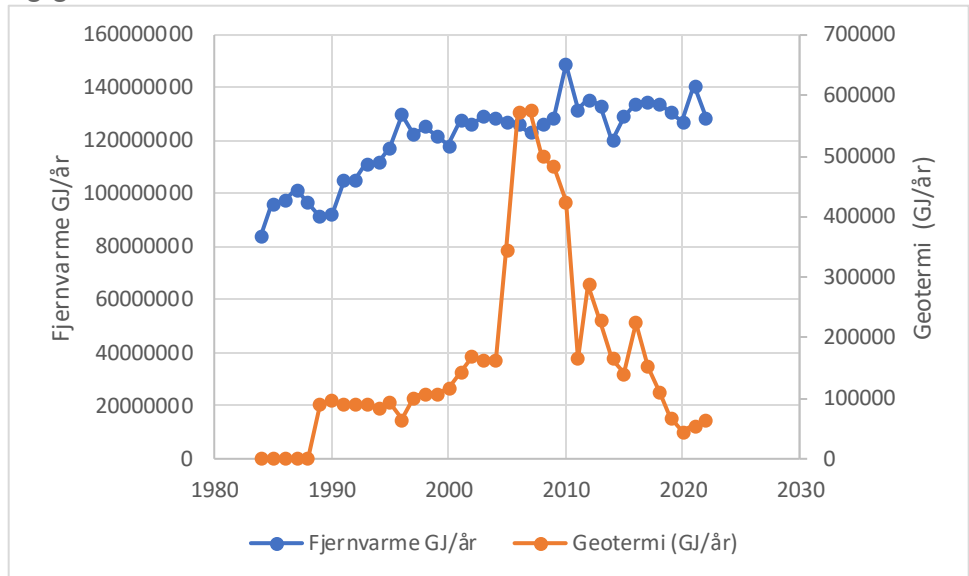
Kilde: GEUS

Øvelse 2: Anlæg og fjernvarme

Opgave 1: "Fjernvarme og geotermi 1984 - 2022"

I excelfilen "Fjernvarme og geotermi 1984 - 2022" finder du energiproduktionen angivet i GigaJoule (GJ)/år.

- Lav en graf, der viser udviklingen i fjernvarme og geotermi. Måske bliver du nødt til at have to forskellige y-akser



- Beregn hvor stor procentdel geotermi udgør af den samlede fjernvarme i 2022.

$$\frac{\text{Geotermi} \frac{\text{GJ}}{\text{år}}}{\text{Fjernvarme} \frac{\text{GJ}}{\text{år}}} * 100 = \frac{62536}{128758629} * 100 = 0,049\% = \mathbf{0,5\%}$$

Opgave 3: Effektoverførsel i varmeveksleren

I Margrethesholm er det oppumpede vand 72°C. Ved passage af varmeveksleren falder temperaturen af det oppumpede vand til 14°C. Når anlægget er i drift, passere 130m³ vand/time gennem varmeveksleren.

Energien, som vandet overfører, kan beregnes ved formlen: $E = m \cdot c \cdot \Delta T$

Hvor m er massen, c er varmekapaciteten og ΔT er temperaturforskellen.

På en time vil massen blive $m = 130 \text{ m}^3 \cdot \rho_{\text{vand}} = 130 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ kg}$

Og den afgivne energi (pr time): $E = 1,3 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{grad}} \cdot (72^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C}) = 3,156 \cdot 10^{10} \text{ J}$ (pr time)

Effekten P er givet som den overførte energi pr. tid:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{3,156 \cdot 10^{10} \text{ J}}{1 \text{ h}} = \frac{3,156 \cdot 10^{10} \text{ J}}{60 \cdot 60 \text{ s}} = 8,8 \cdot 10^6 \text{ W} = \mathbf{8,8 \text{ MW}}$$

Opgave 4: Hvor hurtigt afkøles reservoiret ved geninjektion

- Afstanden mellem injektion og produktionsboringen: **Findes ved at bruge målestokken til ~ 1300-1350m**
- Hvor langt væk er vandet blevet afkølet fra injektionsboringen efter hhv 10 og 50 år? **Maks hhv ~550m og 1300~1350m**

Øvelse 6: Tyndslib og bjergarter (på papir)

Opgave 1: Viser tyndslibet en sandsten, lersten eller skrivekridt?

- a) I hvilket tyndslib har du en finkornet matrix og en masse hvide fossiler? **B**
- b) I hvilket tyndslib har du små dine korn der er gennemskåret af en sprække? **C**
- c) I hvilket tyndslib ser du store kantede sandkorn? **A**
- d) Hvilket tyndslib er skrivekridt, lersten og sandsten? **A: Sandsten, B: Skrivekridt, C; Lersten**

Opgave 2: Hvilket tyndslib har størst porøsitet?

Porerne på tyndslibene herunder er farvet sorte. Begge tyndslib er fra sandsten i forskellige dybder og viser et areal på $45,5 \mu\text{m}^2$, hvor porerne udgør hhv $5 \mu\text{m}^2$ og $13,5 \mu\text{m}^2$

- a) Beregn porøsiteten med denne formel $n = \frac{\text{areal af porer}}{\text{total areal}} * 100 = \frac{5}{45,5} * 100 \approx 11\%$
$$n = \frac{\text{areal af porer}}{\text{total areal}} * 100 = \frac{13,5}{45,5} * 100 \approx 30\%$$

- b) Hvilket tyndslib har færrest porer? **Års**
- c) Hvilke faktorer kan spille ind på voluminet af porer? **Overordnet mindskes reservoiregenskaberne med stigende dybde, men en del variation forekommer Dette skyldes en kombination af faktorer, herunder aflejringstilstand, tekstur, mineralogi og begravelseshistorie**

Øvelse 8: Porøsitet og Permeabilitet i kridt, sand-, og lerstens kerner

Opgave 1: Beregning af porøsiteten i de tørre kridt, ler- og sandstensprøver

1. Vej alle tre plugs, der er indstøbt i plastikrøret. Husk at veje dem igen, når I efter forsøget har tømt dem for vandet. Vægten skal bruges i tillægsberegningsøvelsen til CO₂ opgaven

	Vægt, før forsøg (tør), g	Vægt efter forsøg (våd), g
Sandsten	127,9	135,5
Lersten	74,7	74,7
Kridt	104,9	116,8

2. Vej alle tre plugs, der ikke er indstøbt i plastikrøret
 - a. Vægt sandsten = **134,5 g**
 - b. Vægt lersten = **71,0 g**
 - c. Vægt kridt = **88,2 g**
3. Udregn hvor meget volume, v , (beregnete volume; cm³) kridt, sand- og lersten det svarer til, idet densiteten af kvarts og lerminerale er 2,65 g/cm³ og af calcit er 2,71 g/cm³ (ler er 2,81 g/cm³ i nye plugs)
 - a. $v = \text{Vægt sandsten} / 2.65 =$ **50,75 cm³**
 - b. $v = \text{Vægt lersten} / 2.65 =$ **26,79 cm³**
 - c. $v = \text{Vægt kridt} / 2.71 =$ **32,55 cm³**
4. Beregn så prøvernes aktuelle rumfang V , ved at måle diameter og højde
 - a. Sandsten
 - i. Diameter: **3,8 cm**; radius, $r = (D/2)$ **1,9 cm**;
Højde, $h =$ **5,8 cm**
Rumfang, $V = \pi \cdot r^2 \cdot h =$ **65,75 cm³**
 - b. Lersten
 - i. Diameter: **3,6 cm**; radius, $r = (D/2)$ **1,8 cm**;
Højde, $h =$ **2,9 cm**
Rumfang, $V = \pi \cdot r^2 \cdot h =$ **29,5 cm³**
 - c. Kridt
 - i. Diameter **3,7 cm**; radius, $r = (D/2)$ **1,85 cm**;
Højde, $h =$ **5,8 cm**
Rumfang, $V = \pi \cdot r^2 \cdot h =$ **62,33 cm³**
5. Forklar hvorfor der er en forskel på det beregnede og det aktuelle rumfang
6. Beregn volumen af porerum, p , i de to prøver og omregn det til prøvernes porøsitet
 - a. Sandsten; $p = V - v$ **15 cm³** Porøsiteten i procent er $(p \cdot 100) / V =$ **22,8 %**
 - b. Lersten; $p = V - v$ **2,71 cm³** Porøsiteten i procent er $(p \cdot 100) / V =$ **8,4 %**
 - c. Kridt; $p = V - v$ **29,78 cm³** Porøsiteten i procent er $(p \cdot 100) / V =$ **46,1 %**

Opgave 2: Tillægsopgave CO₂ -lagring, Del 1

1. Vægten af de tre indstøbte plugs skal I bruge til denne beregningsøvelse, hvor I gerne skulle få et indblik i, hvordan de forskellige bjergarter vil fungere som reservoir. Bemærk hvilken en af de tre bjergarter, der vil opleve den største vægtøgning. Hvorfor? Var det forventet?

	Vægt, før forsøg (tør), g	Vægt, efter forsøg (våd), g
Sandsten	127,9	135,5
Lersten	74,7	74,7
Kridt	104,9	116,8

Opgave 4:

Tillægsopgave CO₂ -lagring, Del 2 - fyldningsfaktor af reservoir

	Vægt, $m_{tør}$ (g)	Vægt, $m_{våd}$ (g)	Porøsitet, ϕ , (%)	Densitet, ρ , g/cm ³	Volume, V_{bjerg} ; $V_{bjerg} = m_{tør}/\rho$	Volume, $V_{porøs}$; $V = V_{bjerg}/100 \cdot \phi$	Fyldfaktor (1-Swir) = 1- $((m_{våd} - m_{tør})/V_{porøs})$
Sandsten	127,9	135,5	0,228	2,65	48,26	14,26	0,47
Lersten	74,7	74,7	0,0841				
Kridt	116,8	104,9	0,496	2,71	38,71	38,09	0,69

Øvelse 10: Placer et geotermisk anlæg - i et modelområde

Se særskilt powerpoint

Øvelse 11: Case: Potentielle geotermiske reservoir i Nordjylland - Vedsted.

Se omtrentlige svar i Bilag 1

Prognose for reservoir-parametrene

(udvalgte reservoirparametre, sammenfatning)

	Frederikshavn Fm	Haldager Sand Fm	Gassum Fm
Dybde, (m. u. hav-niveau)	700	950	1400
Temperatur (<i>modelleret</i>) (grader C), <i>ca.</i>	27	33	50
Tykkelse, (meter reservoirsand*)	26	78	53
Porøsitet (%)	25	28	25
Permeabilitet (mD)	450	1100	900
Transmissivitet (kh) (Darcy-meter)	12	86	46

*) Med reservoirsand menes her sandsten med lavt ler-indhold (<30%) og høj porøsitet (>15%)

12

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND

Sammenfatning og konklusioner

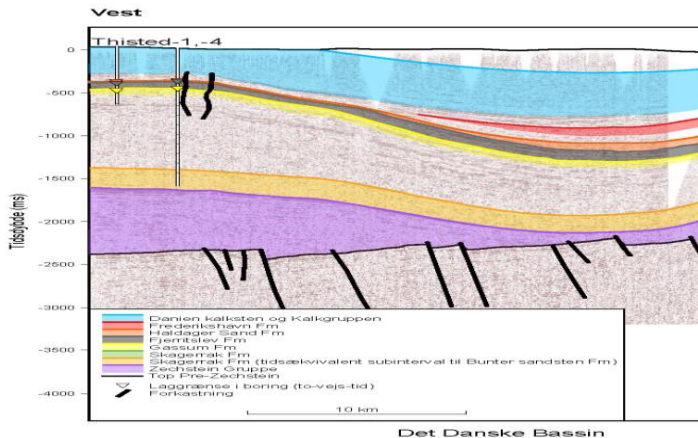
- Både Frederikshavn, Haldager Sand og Gassum Formation har et **potentiale for lagring af varmt vand** ved Aalborg.
- Dybden til Frederikshavn og Haldager Sand formationerne er **700–1000 meter**, hvorimod Gassum Formation ligger dybere (**ca. 1,4 km**).
Temp. (cirka): Fr.havn: **27 C**, Haldager: **33 C**, Gassum: **50 C**.
- Sandstenslagene i Haldager Sand og Gassum formationerne har bedre reservoirgenskaber end sandstenslagene i Frederikshavn Formation.
- Haldager Sand og Gassum formationerne har særlig høj permeabilitet og transmissivitet, og derfor anses disse to formationer for velegnede til varmelagring.

Øvelse 16: Tolkning af seismisk profil

Opgave 1: Hvor lang er profilinjen?

Ca 26km

Opgave 2: Tolk lagenes udbredelse i det seismiske profil?



Opgave 3: Beregn dybderne til og tykkelsen af lag i det seismiske profil ved boringen.

- Dybde Gassum Top = **739,8 m**
- Tykkelse Gassum m = **114 m**
- Dybde Zechstein Top = **3377m**
- Tykkelse Zechstein m = **2958 m**

Øvelse 17: Tolkning af en borelog - Thisted 2

- a) Aflæs densiteten (RHOB), porøsiteten (PHIE) og Permeabiliteten (PERM -log) i Målt dybde (MD) 1265 m svarende til Total vertikal dybde under havniveau (TVDSS) 1230 m
 - i) Densitet **~2,2 g/cm³**
 - ii) Porøsitet **~25 %**
 - iii) Permeabilitet **10000 mD**
- b) Aflæs densiteten (RHOB), porøsiteten (PHIE) og Permeabiliteten (PERM -log) i Målt dybde (MD) 1180 m svarende til Total vertikal dybde under havniveau (TVDSS) 1142 m
 - i) Densitet **~2.6 g/cm³**
 - ii) Porøsitet **~0 %**
 - iii) Permeabilitet **~0mD**
- c) Vurder andelen af reservoirsand i forhold til formationstykkelse,

$$\frac{\text{Sum af røde felters længder}}{\text{Hele Gassum formationenslængde}} = \mathbf{0,45}$$

Hvad sker der med kapaciteten hvis vores porøsitet er dobbelt så stor som den målte?

b. Svar $6430,75/37 = 173,80$ år, ved en porøsitet ved 40%

Som udgangspunkt er permeabiliteten meget lav i kridt (jvf forsøget) og det er derfor næsten umuligt at drive noget ind i med mindre, der er sprækker og andre ujævnheder.

- e. Diskutér om dette resultat har nogle usikkerheder? **Her vil det være fint at komme ind på ting som: Kan man fange alt CO_2 som udledes? Netop dette er en kæmpe udfordring og kræver store teknologiske fremskridt. Er det muligt at fylde til spild punktet? Næppe Kan vi antage at reservoiret er homogent? Reservoiret er næppe så homogent som antaget. Sandstenen er aflejret i et marint miljø og kan have enheder, der er mindre grovkornede og mere cementerede, så porøsiteten falder.**