

Geologiske parametre til vurdering af geotermisk potentiale

Der er en lang række geologiske parametre, man skal kende til, for at vurdere, om et sted egner sig til at indvinde geotermisk energi fra eller ej.

De fire overordnede parametre for geotermisk potentiale, som også nævnes i Geovidentemaet om geotermi side 20, kan ses herunder.

Nøgleparametre	Reservoirets samlede tykkelse af egnet sand	Reservoirets transmissivitet	Reservoirets porøsitet	Reservoirets permeabilitet
Minimumværdi egnet til geotermi	≥ 15 meter	≥ 10 Dm (Darcymeter)	≥ 15%	50-500 mD (milliDarcy) = rimelig

De fire parametre står dog aldrig alene og bygger på en masse data og mellemregninger. Derfor kan man ikke gå ud og stikke en pind i jorden og umiddelbart vurdere, om stedet egner sig til geotermisk varmeproduktion. Det kræver et meget stort arbejde med alskens målinger og analyser.

Det drejer sig typisk om følgende parametre:

1. Dybde til top af formation
Hvor dybt skal man bore, før man rammer reservoiret?
2. Tykkelse af formation
Hvor tyk er formationen fra top til bund?
3. Tykkelse af Gross sand
Tykkelsen af alle enkelte sandstenslag i formationen
4. Tykkelse af potentielt reservoirsand
Tykkelse af de sandstenslag i formationen, der har gode reservoirregenskaber
5. Potentielt reservoirsand / formation
Forholdet mellem tykkelse på egnet reservoirsand og tykkelse på hele formationen
6. Potentielt reservoirsand / Gross sand
Forholdet mellem tykkelse på egnet reservoirsand og tykkelse på alt sand i formationen
7. Porøsitet
Hvor meget udgør porerummene af sandstenen af selve stenens rumfang?
8. Gaspermeabilitet
Sandstens gennemstrømmelighed for gas
9. Reservoirpermeabilitet
Sandstens gennemstrømmelighed for vand
10. Reservoirtransmissivitet
reservoirets overordnede geotermiske ydeevne udtrykt ved tykkelse af reservoirsandsten ganget med gennemsnitlig reservoirpermeabilitet
11. Temperatur
Målt i midten af reservoiret
12. Kornstørrelse
Fordeling af kornstørrelser i reservoiret, altså om sandet er finkornet, grovkornet etc.

13. Sortering af sedimenterne
Hvordan er sandtyperne fordelt i reservoiret, ligger alt det grovkornede sammen eller spredt f.eks.?
14. Afrundingsgrad af kornene
Er der skarpe kanter eller runde former?
15. Grad af diagenese/cementering
Hvor kompakt er sandstenen og hvor sammenvoksede er porerummene?
16. Salinitet i reservoirvandet
Saltkoncentrationen i vandet, som kan påvirke udstyret i anlægget mm.
17. Sedimentologisk kontinuitet
Hvor sammenhængende er de egnede sandlag i formationen?
18. Strukturel kontinuitet
Hvor sammenhængende er formationen, er der forkastninger mm?

Tre eksempler på screeningsresultater

Herunder kan du se tre eksempler på indledende vurderinger, eller screeninger, en række geologer fra De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) har lavet af 28 byområder i Danmark.

Screeningerne er lavet for at give et groft overslag over, hvor der er muligheder for geotermisk varmeproduktion, og hvor der ikke er. Resultaterne af screeningen bruges blandt andet til at regne ud, om reservoiret i undergrunden er så godt, at det kan betale sig rent økonomisk at starte et anlæg.

Tabellerne for hver af de tre eksempler er taget fra de geologiske screeningsrapporter, der også kan findes i fuld længde [her](#).

Eksemplerne er fra specifikke adresser i henholdsvis Nykøbing Falster, Århus og Frederiksværk og gælder altså kun her.

Hver tabel viser både estimerede værdier for de 18 parametre og de usikkerheder, der knytter sig til dem. Estimerne bygger nemlig på data og målinger af varierende kvalitet, så man regner med en vis fejlmargen. Man kan altså være heldig, at reservoiret er endnu bedre, end man troede, når man borer ned, men det modsatte kan også lige så vel være tilfældet. Derfor arbejder geologer fra hele landet lige nu på at gøre usikkerhederne mindre, så man bedre kan forudse, hvordan reservoiret ser ud præcis der, energifirmaerne vælger at bore. På den måde bliver det mindre økonomisk risikabelt at starte et anlæg, og så er det måske flere, der har lyst til at gøre det.

I de tre tabellerne herunder er der to kolonner med usikkerheder, og her er vurderet usikkerhed baseret på data og erfaring med geologi i området og regnes i procent. Ved usikkerhedsintervallet har man taget højde for den vurderede usikkerhed i sin samlede vurdering af reservoiret, og det viser hvor stor variation der kan være. MinCase er den laveste værdi, man regner med at kunne finde i reservoiret og MaxCase er den højeste.

1. Nykøbing Falster, Energivej 4

Samlet vurdering:

De overordnede reservoirgenskaber er fine, men man bør lave flere seismiske målinger af området. Der er kendskab til flere forkastninger i områdets undergrund, så de skal kortlægges mere præcist, før man kan være sikker på at undgå dem i sin boring, da de kan forstyrre vandets flow i reservoiret.

Nykøbing Falster-lokaliteten			
UTMz32 X: 685.442 m; Y: 6.074.199 m Terrænkote: 5 meter over havniveau (m.o.h.)			
Bunter Sandsten Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed	Usikkerheds- interval
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1000	7	930–1070
Tykkelse af formation [m]	115	35	75–155
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	36	15	31–41
Tykkelse af Potentielt reservoirsand [m]	29	15	25–33
Potentielt reservoirsand/formation	0,25	15	0,21–0,29
Potentielt reservoirsand/Gross sand	0,81	15	0,68–0,93
Vandledende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	20	10	18–22
Gas-permeabilitet [mD]	400	4	100–1600
Reservoir-permeabilitet [mD]	500	4	125–2000
Reservoir-transmissivitet (Kh) [Dm]	15	5	3–75
Temperatur			
Temperatur [°C]	39	10	35–43
Tekstur og cementering (sandsten)	Vurdering		
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til fin, lokalt mellem til grovkornet; moderat sorteret, stedvis dårlig sorteret; subafrundede til afrundede korn, lokalt subkantede		
Diagenese/cementering	Kalkfri til kalkholdig, løs til hård		
Andre betydende parametre	Vurdering		
Salinitet	Risiko for mættede forhold i formationsvandet		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Lokalt strukturelt komplekst, forkastninger identificeret i området omkring prognoselokaliteten		

2. Århus, Lilleringsvej 32

Samlet vurdering:

Reservoiregenskaberne er rimelige. Formationen ser sammenhængende ud på det pågældende sted, men da der er mindre forkastninger både nord og syd for Århus, bør man undersøge nærmere, om der også skulle være små forkastninger under Århus. De seismiske data fra området er nemlig begrænsede, så med nye og bedre målinger vil man bedre kunne vælge det mest egnede sted til et geotermisk anlæg. Både i forhold til eventuelle forkastninger, men også i forhold til den præcise dybde af formationen

Århus-lokaliteten			
UTMz32 X: 561.610 m; Y: 6.223.295 m Terrænkote: 47 meter over havniveau (m.o.h.)			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed	Usikkerhedsinterval
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1815	8	1670–1960
Tykkelse af formation [m]	125	30	88–163
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	32	20	25–38
Tykkelse af Potentielt reservoirsand [m]	28	20	23–34
Potentielt reservoirsand/formation	0,24	20	0,18–0,27
Potentielt reservoirsand/Gross sand	0,89	20	0,72–1,00
Vandledende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	23	15	20–27
Gas-permeabilitet [mD]	460	5	92–2300
Reservoir-permeabilitet [mD]	575	5	115–2875
Reservoir-transmissivitet (Kh) [Dm]	16	6	3–96
Temperatur			
Temperatur [°C]	60	10	54–66
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt fin kornstørrelse; ringe til velsorteret; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Løs til hård		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Stor til mellem; ingen store forkastninger observeret i nærområdet til prognoselokaliteten men mindre forkastninger er observeret ca. 5 km nord for og ca. 10 km syd for lokaliteten. Lokaliteten er beliggende over en lille lokal saltpude		

1. Frederiksværk, Havnevej 8

Samlet vurdering:

Reservoiregenskaberne i Frederiksværk overordnet er rimelige eller positive, selvom usikkerhedsintervallet er rimeligt stort, så der kan være nogle steder, hvor egenskaberne er meget gode, men også hvor de er dårlige. Det afhænger igen blandt andet af, om der er forkastninger i området, der splitter formationen op. Det er der ikke ret god data på, så derfor anbefaler forskerne, at man laver flere seismiske målinger af området, hvis man overvejer at lægge et geotermisk anlæg i Frederiksværk.

Frederiksværk-lokaliteten			
UTMz32 X: 687.862 m; Y: 6.206.765 m			
Terrænkote: ca. 3 meter over havniveau (m.o.h.)			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed	Usikkerheds-interval
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	2360	10	2124–2596
Tykkelse af formation [m]	190	20	152–228
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	127	20	102–152
Tykkelse af Potentielt reservoirsand [m]	85	20	68–102
Potentielt reservoirsand/formation	0,45	20	0,36–0,53
Potentielt reservoirsand/Gross sand	0,67	20	0,53–0,80
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	19	15	16–22
Gas-permeabilitet [mD]	241	6	40–1444
Reservoir-permeabilitet [mD]	299	6	50–1793
Reservoir-transmissivitet (Kh) [Dm]	25	7	4–177
Temperatur			
Temperatur [°C]	74	10	67–81
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt fin til mellem kornstørrelse; sorterede til vel-sorterede; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Svagt cementerede, stedvis cementerede		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Moderat, men vanskeligt at udtale sig præcist om på grund af en ringe seismisk datadækning		