



**COWI**



# **Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder**

**Bilag 3: Områderapport for Skive**



## Indholdsfortegnelse

- Introduktion
- Data for fjernvarmeområder (COWI)
- Beregning af geotermianlæg (DFG)
- Beregningsresultater vedr. indpasning af geotermi (Ea)
- Geologisk vurdering (GEUS)

## Introduktion

Dette er én ud af 28 områderapporter, som viser specifikke økonomiske og produktionsmæssige resultater for hvert enkelt område. Rapporten er et bilag til hovedrapporten "Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder", og bør læses i sammenhæng med denne, da hovedrapporten indeholder information, der er væsentlig for at forstå resultatet. Rapporten er udarbejdet for Energistyrelsen af Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse i perioden efteråret 2013 til sommeren 2015.

Områderapporten indeholder den af GEUS udførte geologiske vurdering, COWIs beskrivelse af fjernvarmeområdet og den fremtidige forsyningsstruktur, Dansk Fjernvarmes Geotermiselskabs beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i fjernvarmeområdet, og Ea Energianalyses modelresultater fra Balmorel med varmeproduktionskapaciteter, fjernvarmeproduktion og -omkostninger over året for de fire scenarier i årene 2020, 2025 og 2035.

Resultaterne skal tages med en række forbehold.

Først og fremmest skal det understreges, at der er tale om en screening med det formål at give en indikation af mulighederne for geotermi. Der er ikke foretaget en fuldstændig analyse af den optimale fremtidige fjernvarmeforsyning i området.

Den geologiske vurdering er alene foretaget for en enkelt lokalitet, svarende til en umiddelbart vurderet fordelagtig placering af geotermianlægget. Der kan derfor ikke drages konklusioner om hele områdets geologiske potentiale og den optimale placering for et eventuelt geotermianlæg.

Modellering af områdets nuværende og forventede fremtidige fjernvarmeproduktion og -struktur er sket ud fra de data, som de var oplyst og forelå i år 2013. Endvidere indeholder optimeringsmodellen en række forudsætninger og forsimplinger, som ikke nødvendigvis afspejler de aktuelle forhold præcist. Der tages således for eksempel ikke hensyn til kapitalomkostninger for eksisterende produktionsenheder, kun for enheder modellen investerer i. Eksisterende anlæg forudsættes at kunne levetidsforlænges indtil år 2035 uden væsentlige reinvesteringer ud over normalt vedligehold. Der skal endvidere tages højde for, at resultaterne ikke er baseret på optimeringer for hver enkelt by, men en optimering for hele systemets energiomkostninger. Der er ikke udført usikkerheds- og følsomhedsberegninger for hvert område, men derimod lavet et generelt eksempel på geotermianlæggets følsomhed overfor ændringer af de vigtigste inputparametre, se afsnit 5.2 i hovedrapporten.



## MEMO

TITEL Skive - Beskrivelse fjernvarmeområde  
DATO 10. oktober 2014  
TIL Energistyrelsen  
KOPI  
FRA COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)  
PROJEKTNR A044062

ADRESSE COWI A/S  
Parallelvej 2  
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

SIDE 1/10

## 1 Skive fjernvarmeområde

I Energistyrelsens udbudsmateriale er det forudsat, at der alene tages udgangspunkt i et geotermianlæg alene baseret på fjernvarmemarkedet i/ved Skive.

Efterfølgende er det aftalt at der også beregnes på et større geotermisystem, baseret på et allerede godkendt projektforslag fra november 2011 omfattende en række fjernvarmeværker i Skive kommune.

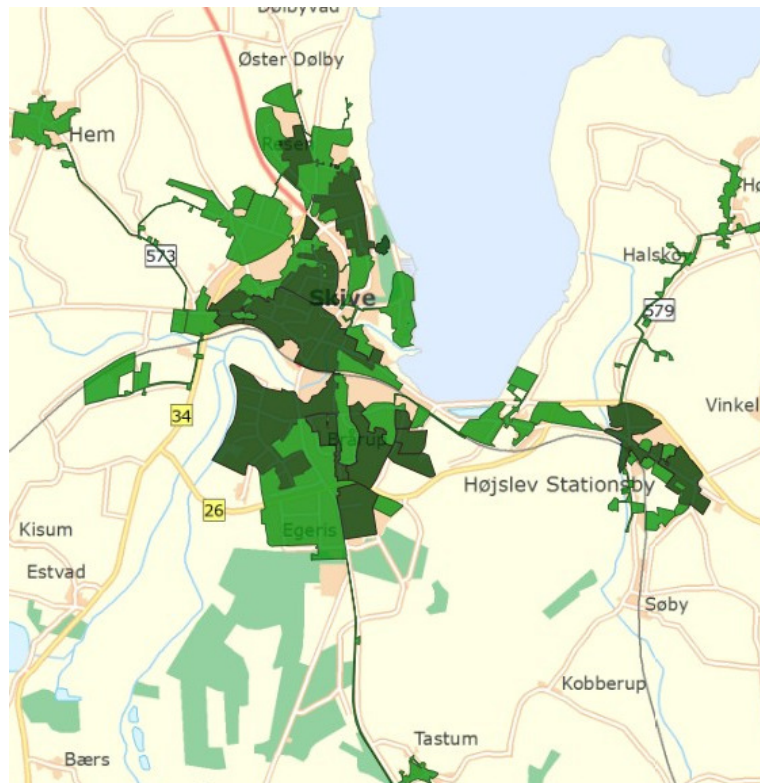
Siden det nævnte projektforslag blev godkendt har selskabet Skive Geotermi A/S arbejdet videre med udvikling af projektet. Det oprindelige geotermiprojekt var baseret på borerer ved Spøttrup og et fælles drivvarmeanlæg placeret samme sted. Efterfølgende er det besluttet at arbejde videre ud fra samme placering af boringerne men med 3 drivvarmeanlæg, hvoraf det ene placeres i Skive, jf. beskrivelsen i kapitel 1.3.

Data for det større geotermisystem er anført i kapitel 1.4.

### 1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i Skive varetages af Skive Fjernvarme a.m.b.a.

Nedenstående kort viser det nuværende forsyningsområde i Skive by og Højslev Stationsby.



*Figur 1 Oversigtskort over forsyningsområder i Skive og Højslev Stationsby*



Figur 2 Oversigtskort over I/S Skive Fjernvarme forsyningsområde i Skive (kortudsnit fra TERMIS)

Varmen til Skive by produceres primært på de træpillede fyrede kedler på Thorsvej (43%), på biomassekraftvarmeværket – forgasningsgas – (30%), biooliefyrede ked-

ler på Marius Jensens Vej (16%), det naturgasfyrede kraftvarmeværk på Marius Jensens Vej (4%) og den naturgasfyrede central på Højlundsvej (7%).

Det biomassefyrede kraftvarmeværk er idriftsat i 2009. Værket er baseret på forgasning af træpiller med efterfølgende forbrænding af gassen i 3 gasmotorer.

På centralen på Marius Jensens Vej er der 5 biooliefyrede kedler og 4 gasmotorer, hvoraf de første 3 blev idriftsat i 1994 og den sidste gasmotor blev installeret i 1998.

På grund af de lave elpriser og etablering af forgasningsanlægget producerer gasmotorerne ikke ret meget.

For Højslev Stationsbys leveres fjernvarme fra Højslev Nr. Søby Fjernvarmeværk. Den samlede varmeproduktion udgør 15 GWh og alt er produceret på flis.

Nedenstående tabel viser varmebehovet for forsyningsområdet i Skive by.

*Tabel 1 Nuværende og fremtidigt varmegrundlag*

<b>Varmegrundlag</b>					
<b>Skive</b>					
<b>MWh/år</b>	01/2012*	12/2013**	2015***	2025***	2035***
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	121.321	133.470	140.000	165.000	165.000
Distributionstab	31.243	40.293	43.000	48.000	48.000
An net	152.564	173.763	183.000	213.000	213.000
<b>TJ/år</b>					
Nettovarme	437	480	480	480	480
Distributionstab	112	136	136	136	136
An net	549	616	616	616	616
* Kilde DF-årsstatistik					
** Kilde Uddrag af årstrappert for 2013 samt internetside hos Skive Fjernvarme					
Energiproducenttællingen angiver en samlet produktion an net på 602 TJ an net					
*** Data tilvækst fra projektforslag for tilvækst på i alt 40 GWh (nettab 8 GWh og varme 32 GWh)					

DF har gennemført en treårig strukturanalyse for medlemsselskaberne og har i denne angivet nedenstående temperaturforhold for fjernvarmesystemet i Skive.

*Tabel 2 Temperaturforhold*

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
81	58	86	53



Det installerede effektbehov er ifølge DF's statistik opgjort til 96 MW. Aktuelt udgør det maksimale effektbehov ca. 55 MW, jf. oplysninger fra Skive Fjernvarme a.m.b.a.

## 1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur hos Skive Fjernvarme a.m.b.a.

*Tabel 3 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)*

Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012											Brændselsfordeling			
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varmerproduktion i 2012 (TJ)	*Brændselsforbrug 2012 (TJ)	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varmer effekt (MW)	Elvirkningsgrad	**Varmer virkningsgrad	Etableringsår	Forventet udfasningsår	Naturgas	Træpiller	Bioolie
<b>Skive by</b>														
Marius Jensenvej 5 stk.	Kedel	Bioolie	81	123	53	0	45		85%	01-10-1966				123,2
Kraftvarmeanlæg 4 stk	Forbrændingsmo	Naturgas	41	99	33	12	14	37%	41%	22-09-1994		99,3		
Kedler 2 stk.	Kedel	Træpiller	256	293	20	0	17		85%	01-07-1984			293,4	
Biomasse k/v - 3 motorer	Forbrændingsmo	Træpiller	171	305	20	6	11	30%	56%	01-09-2009			304,7	
Højlundvej	Kedel	Naturgas	41	44	10	0	9		89%	01-07-1977		44,3		
<b>Total</b>			<b>589</b>				<b>96</b>							

Oplysningerne i energiproducenttællingen er baseret på indmeldinger fra selskaberne. Data skal suppleres/verificeres i forbindelse med den videre proces.  
 \* Brændselsforbruget jvf energiproducenttællingen for kedeldrift identisk med varmeproduktion svarer til den samlede el og varmeproduktion og den angivne totalvirkningsgrad  
 \*\* Varmevirkningsgraderne er baseret på de angivne værdier for indfyret effekt og varmeeffekt - for KV-anlægs vedkommende på angivne værdier for brændselsforbrug og varmeproduktion

Anlæggenes geografiske placering er illustreret nedenfor.



*Figur 3 Geografisk placering af varmeproduktionsanlæg*

## 1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

I henhold til Skive Kommunes varmeplan er det hensigten at fjernvarmeforsyningen i Skive Kommune udvides betragteligt også under hensyntagen til Skive kommunes ønske om at aftage geotermisk energi fra Vestsalling, hvis dette projekt realiseres.

Som forberedelse til eventuelt at kunne aftage geotermisk energi ønsker Skive Fjernvarme gradvist at opbygge nye forsyningsområder og etablere den fornødne kapacitet til at kunne forsyne de nye områder.

Skive Fjernvarme har til dette formål købt en mindre landbrugsejendom på Holstebrovej 101, hvor det i første omgang er hensigten at opføre en ny biomassefyret varmecentral med en kapacitet på 10 MW. Såfremt geotermianlægget ikke realiseres er der plads til at opføre yderligere et 10 MW biomasseanlæg til at forsyne en fortsat udbygning af fjernvarmenettet

Skive Fjernvarmes har endvidere udarbejdet en udbygningsplan, der omfatter konvertering af 28 naturgasområder i Skive, i alt ca. 3.650 nye forbrugere med et samlet varmebehov på ca. 82 GWh.

Første fase af denne udbygningsplan omfatter opførsel af den ovenfor nævnte biomassefyrede varmecentral og konvertering/tilslutning af ca. 1600 nye forbrugere.

Projektforslag herfor er udarbejdet og indsendt til Skive Kommune pr 5. juni 2014.

I forbindelse med screeningen er det forudsat i nærværende rapport at geotermianlægget placeres enten ved Palt 1B eller Holstebrovej 101, hvor Skive Fjernvarme allerede har købt en grund og planlægger opførsel af de ovennævnte biomassefyrede anlæg. Varmepumper til brug for hævnning af temperaturen i geotermivandet er forudsat placeret på adressen Holstebrovej 101, hvis geotermivandet fremføres med et fremløb på 60 C og retur med 10 C.

## 1.4 Data større geotermianlæg i Skive Kommune

Efterfølgende er anført hoveddata for et større geotermiprojekt omfattende en række fjernvarmeværker i Skive Kommune. Data er gengivet fra rapporten Geotermi og samdrift i Skive Kommune. Rapporten er en intern udgave udarbejdet af Planenergi for Skive Geotermi A/S og er dateret 3. marts 2014.

## Oversigtskort

På efterfølgende kort er anført den forventede udstrækning af geotermiprojektet.



Figur 4. Oversigtskort geotermianlæg i Skive Kommune (Kilde rapport fra Plan-energi)

### Medvirkende fjernvarmeværker med tilhørende varmegrundlag.

Følgende fjernvarmeværker i Skive Kommune indgår:

- > Balling Fjernvarmeværk
- > Durup Fjernvarme
- > Glyngøre Fjernvarmeværk
- > Ramsing-Lem-Lihme Kraftvarmeværk
- > Roslev Fjernvarmeværk
- > Skive Fjernvarme
- > Spøttrup Varmeværk

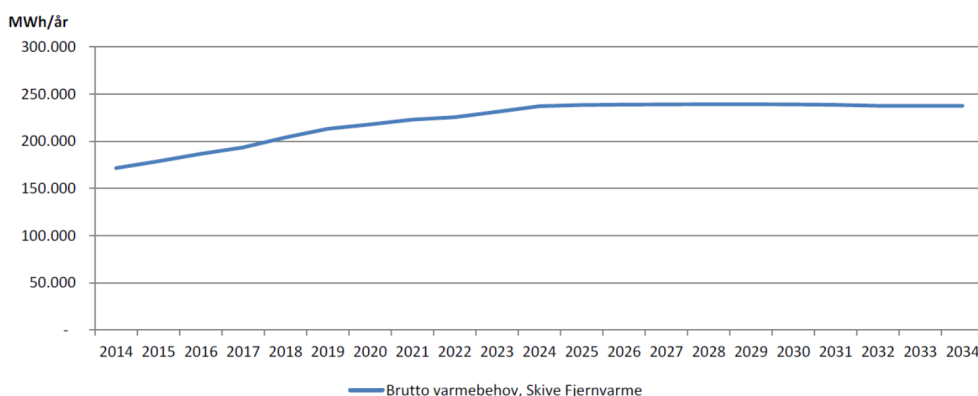
De nuværende varmebehov og produktionsform/struktur fremgår af følgende tabel:

*Tabel 4 Oversigt over varmebehov og produktionsform ved medvirkende fjernvarmeværker.*

Navn	Varmesalg (MWh/år)	Varme- produktion (MWh/år)	Nettab (%)	Værktype	Brændsel
Balling Fjernvarmeværk A.m.b.a.	8.716	12.316	29%	Varmeværk	Træpiller, gasolie
Durup Fjernvarme A.m.b.a.	8.696	10.946	21%	Kraftvarmeværk	Naturgas
Fur Kraftvarmeværk A.m.b.a.	4.859	8.179	41%	Kraftvarmeværk	Naturgas
Glyngøre Fjernvarmeværk A.m.b.a.	4.798	6.798	29%	Kraftvarmeværk	Naturgas
Højslev - Nr. Søby Fjernvarmeværk A.m.b.a.	11.957	15.557	23%	Varmeværk	Træflis, naturgas
Ramsing-Lem-Lihme Kraftvarmeværk A.m.b.a.	10.383	17.983	42%	Kraftvarmeværk	Naturgas
Roslev Fjernvarmeselskab A.m.b.a.	10.995	13.995	21%	Varmeværk	Træflis, gasolie
Skive Fjernvarme A.m.b.a.	135.662	174.522	22%	Kraftvarmeværk	Naturgas, træpiller
Spøttrup Varmeværk A.m.b.a.	8.155	11.023	26%	Varmeværk	Træpiller, gasolie

Med hensyn til udvikling i varmebehov påregnes det i geotermiprojektet at varme-markederne – bortset fra ved Skive Fjernvarme – er uændrede fremover. Evt. tilvækst fra nyttilslutninger opvejes af energibesparelser.

For Skive Fjernvarmes vedkommende påregnes der en væsentlig udvidelse af varmemarkedet jf. både foregående tekstafsnit og efterfølgende figur.



*Figur 5 Oversigt over forventet udvikling i varmebehovet ved Skive Fjernvarme (Kilde COWI – og gengivet i rapport fra Planenergi).*

Samlet forventes der en tilvækst på ca. 80.000 MWh ved Skive Fjernvarme, svarende til hele den forventede udvikling med 28 nye naturgasområder ved fuldt udbygget geotermianlæg, jf. tekst i afsnit 2.8.3.

Det samlede varmegrundlag inklusive nettab i de forskellige byer og ved fuld udbygning i Skive udgør i alt ca. 350.000 MWh.

### Hoveddata geotermiløsning

Transmissionsnettet i geotemisystemet er dimensioneret efter et temperatursæt på  $T_{\text{frem}} 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  og en  $T_{\text{retur}}$  på  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Der etableres et 16 MW geotermisk anlæg i Spøttrup, hvor effekten fordeles med 4 MW til Roslev, 4 MW til Balling og 8 MW til Skive. Derudover etableres de decentrale drivvarmeanlæg, som fordeles med 5 MW i Roslev, 5 MW i Balling og 10 MW i Skive. Som tidligere nævnt planlægges det at etablere de 10 MW flisanlæg i Skive uafhængigt af geotermiprojektet, men at forberede det, således det kan bruges til drivvarme. Fliskedlen i Skive er i de økonomiske beregninger inkluderet i geotermiprojektet.

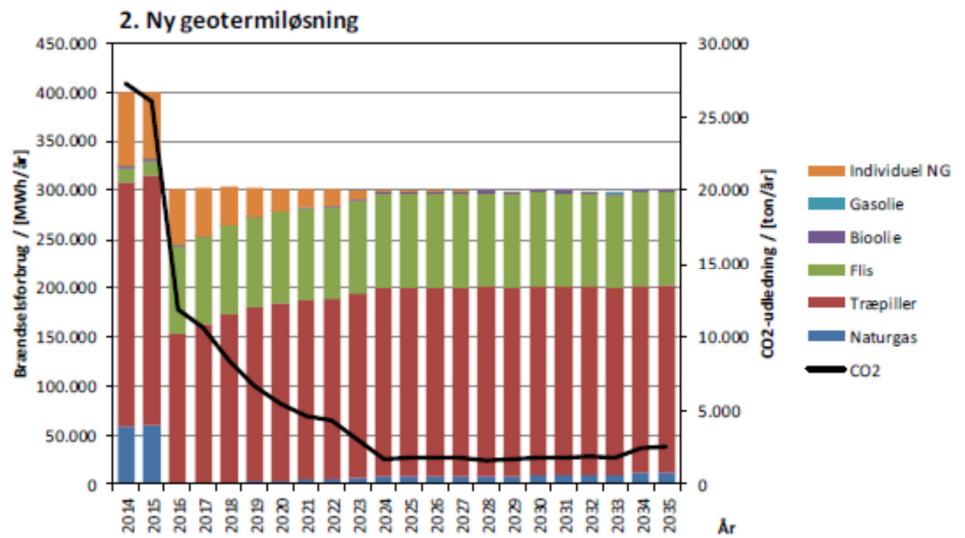
Budgettet for den fulde geotermiløsning er anført efterfølgende:

*Tablet 5 Oversigt over investeringer i geotermiprojekt*

#### 2. Ny geotermiløsning med decentral drivvarme

<b>Drivvarme (decentral)</b>			
Roslev (5 MW)			25.000.000 kr.
Balling (5 MW)			25.000.000 kr.
Skive (10 MW)			50.000.000 kr.
Samlet			100.000.000 kr.
<b>Transmissionsnet</b>			
Ledningstype	kr./m	m	
DN80	1.320	5.400	7.128.000 kr.
DN100	1.400	6.000	8.400.000 kr.
DN125	1.500	19.900	29.850.000 kr.
DN150	1.600	21.400	34.240.000 kr.
DN250	2.000	4.100	8.200.000 kr.
Samlet			87.818.000 kr.
<b>Pumpestationer</b>			
Pumper, vekslere mv.	2 mio. kr. pr. by		16.000.000 kr.
<b>Geotermi</b>			
Geotermi (inkl. garantiprovision)			194.020.101 kr.
<b>Samlet investering</b>			<b>397.838.101 kr.</b>

Brændselsforbrug mv fremgår af efterfølgende figur:



Figur.6 Oversigt over brændselsforbrug og udvikling i CO<sub>2</sub>-emission

Projekt: Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne

Til: Ea Energianalyse & COWI

Kopi: GEUS

Fra: Birte Røgen, Malthe Jacobsen & Asger Løngreen, Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab

Dato: 3. februar 2015

Emne: Beregning af et geotermianlæg i Skive

## 1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Skive. Beregningerne er udført som en del af et større analysearbejde omfattende 28 fjernvarmeområder i Danmark.

Anlægsberegningerne er udført på baggrund af geologiske data leveret af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) (ref.: Skive\_2014\_08\_04.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Skive leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Skive Fjernvarme (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg ved Rødding-1-boringen (Vildmosen 1, 7860 Spøttrup). Der forudsættes et anlæg, hvor geotermivarmen transmitteres til 3 varmpumpeanlæg placeret i Skive, Roslev og Balling, jævnfør Rapport d. 3 marts 2014 udarbejdet af Planenergi for Skive Geotermi.

## 2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Skive i det Danske Bassin, et indsynkningsområde med tykke aflejringer, hvoraf nogle lag anses som egnede for geotermisk varmeproduktion. GEUS har vurderet at sandsten fra Gassum Formationen udgør det bedste potentielle geotermiske reservoir ved Skive.

Usikkerheden på de geologiske parametre er høj. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1.

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	27
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	2107
Temperatur@midt reservoir	°C	65
Tykkelse af formation	m TVT	100
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	34
Transmissivitet	Dm	17
Seismik-anbefaling	km	0

Tabel 1: Geologiske reservoirdata.

(moh: meter over havniveau; TVD: lodret dybde (true vertical depth); GL: terrænniveau (Ground Level); TVT: lodret tykkelse (true vertical thickness); Dm: Darcy meter)

### 3 Forudsætninger for fjernvarmesystemet

Forudsætningerne for det respektive fjernvarmesystem er beskrevet i rapporten "Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014". Data fra denne rapport er sammenfattet i Tabel 2 til brug for anlægsberegningerne.

Varmegrundlag	TJ/år	1260
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	-
Fremløbstemperatur vinter	°C	80
Returløbstemperatur vinter	°C	40
Fremløbstemperatur sommer	°C	80
Returløbstemperatur sommer	°C	40
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger.

### 4 Beregninger for et geotermianlæg

Beregningerne er udført med geotermiPRO, en konceptberegningsmodel for geotermiske anlæg. Programmet arbejder ud fra en anlægskonstellation med varmevekslere og varmepumper og muligheden for at opdele anlægget med geotermivandskreds og varmepumpekreds på to lokaliteter (se bilag om geotermiPRO).

I beregningerne er varmegrundlaget taget i betragtning i form af en varighedskurve. Det forudsættes at geotermien sammen med anlæggene til driv- og eftervarme vil udgøre grundlast i fjernvarmeforsyningen.

De tekniske og økonomiske forudsætninger for beregningerne fremgår i øvrigt af notatet "Generelle forudsætninger for beregning af geotermianlæg".

Anlægget opdeles i fire dele, hvor varmevekslere er placeret sammen med borerne, mens absorptionsvarmepumper sammen med drivvarmeforsyningen er placeret på tre lokaliteter. I beregningen forudsættes der anvendt absorptionsvarmepumper, og drivvarme forudsættes at være til stede ved 160 °C. Det forudsættes at varmen fra eksisterende eller nye forbrændingsanlæg kan benyttes som drivvarme på de tre lokaliteter. På anlægsskitsen i output fra geotermiPRO, som vises i resultatafsnittet er der kun vist én absorptionsvarmepumpe, mens der i praksis kan være tale om et antal absorptionsvarmepumper i serie.

Beregningen er udført med et tillæg på 7,5 mio kr, svarende til merprisen for varmepumpeanlægget ved at opdele det i tre anlæg.

Transmissionsledninger, drivvarmeanlæg, tilslutningsomkostninger og ledningstab er ikke medregnet.



## 5 Resultater

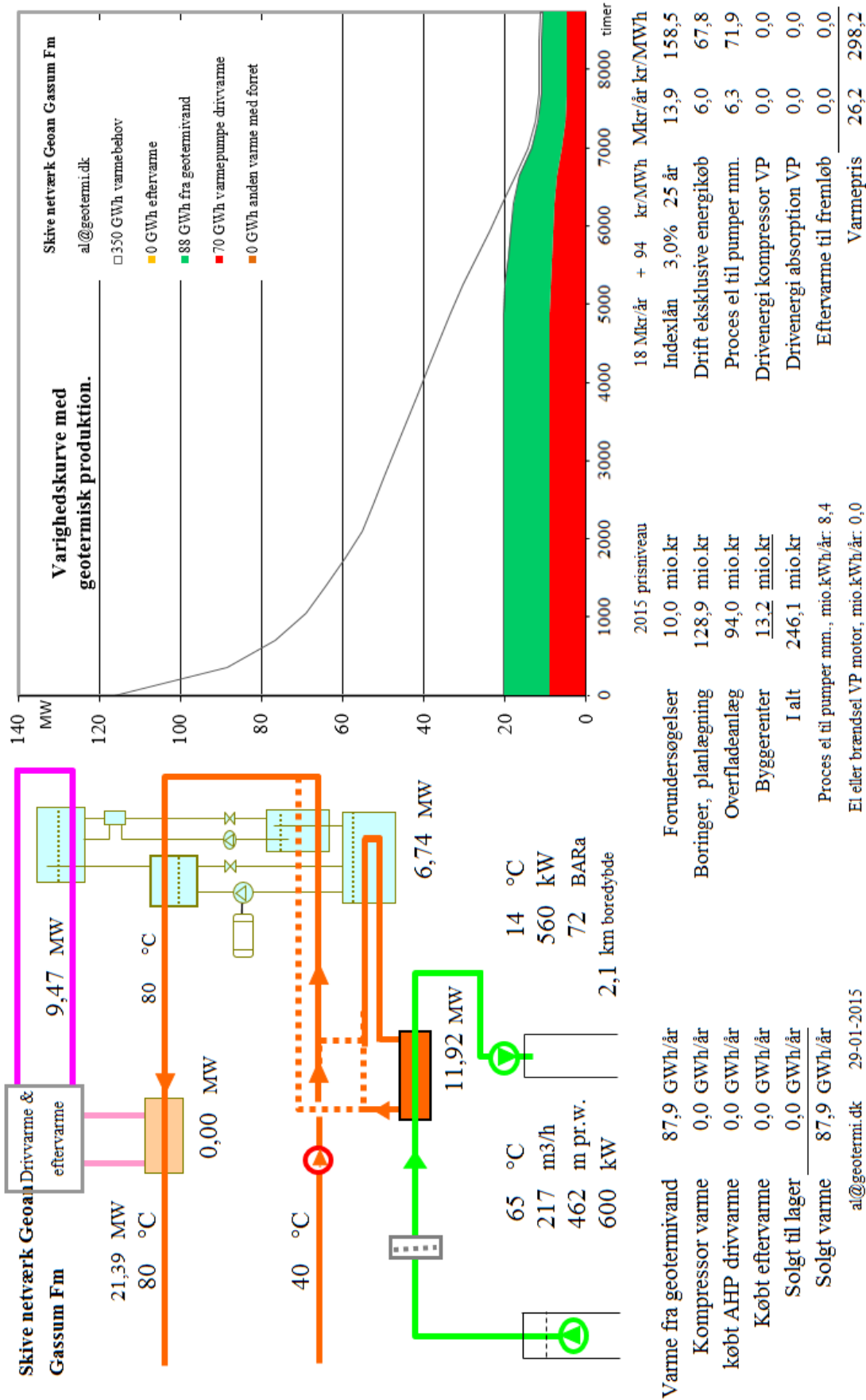
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermi bidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard-beregningen vises Figur 1.

En anlægsberegning for et opdelt anlæg med absorptionsvarmepumper placeret på tre lokaliteter viser, at der med en samlet investering på 246 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 12 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 21,4 MW.

Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 88 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 298 kr./MWh.

Resultaterne i Tabel 3 skal benyttes i de videre beregninger af scenarier og landsbilleder for geotermi i fjernvarmesystemerne, og indeholder derfor ikke omkostninger til energikøb i de variable drift- og vedligeholdelsesomkostninger. Ligeledes er afskrivning og forrentning af anlægsinvesteringerne ikke medtaget i tabellen.

Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være høj.



Figur 1: Output fra geotermiPRO.

Beregningsresultater	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El-varmepumper	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	
<b>Anlægs kapacitet (vinter)</b>					
1) Effekt fra geotermivand	MW		11,921		
2) Effekt fra drivvarme	MW		9,469		
3) Effekt fra eftervarme	MW		0,000		
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW		21,391		
5) Proces el	MW		1,220		
6) Varmepumpe el	MW		N/A		
<b>Årsenergiomsætning, forholdstal</b>					
7) Varme fra geotermivand	%		100,000		
8) Drivvarme	%		79,550		
9) Eftervarme	%		0,000		
10) Varme til fjernvarmevand	%		179,550		
11) Proces el forbrug	%		9,585		
12) Varmepumpe el forbrug	%		N/A		
<b>Investeringsomkostninger</b>					
13) Samlet investering	mio. kr		232,892		
14) Byggerenter	mio. kr		13,247		
<b>Driftsomkostninger</b>					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år		3,973		
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh		22,604		

Tabel 3: Resultater fra anlægsberegninger i geotermiPRO.

#### Noter til Resultatark:

- 1) Effekt fra geotermivand: Den effekt, der stammer fra undergrunden, ved drift i vinterperioden.
- 2) Effekt fra drivvarme: Effekt i form af varme til absorptionsvarmepumper, ved drift i vinterperioden.
- 3) Effekt fra eftervarme: Effekt i form af eftervarme til at hæve temperaturen efter varmepumperne, ved drift i vinterperioden.
- 4) Total effekt til fjernvarmevandet, ved drift i vinterperioden (inkl. efter- og drivvarme)
- 5) Proces el effekt til geotermianlæg, ved drift i vinterperioden
- 6) El effekt til varmepumper, ved drift i vinterperioden
  
- 7) Årsenergiomsætning, varmemængde produceret fra geotermivand (%). Årsenergiomsætningerne er beregnet med en vægtet kombination af sommer- og vinterdrift.
- 8) Årsenergiomsætning, drivvarmemængde per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 9) Årsenergiomsætning, eftervarmemængde per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 10) Årsenergiomsætning, total varmemængde til fjernvarmevand per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 11) Årsenergiomsætning, proces el forbrug per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 12) Årsenergiomsætning, varmepumpe el forbrug per varmemængde produceret fra geotermivand (%)

- 13) Samlet investering i geotermianlæg inklusiv varmepumper men ekskl. drivvarmeanlæg. Prisniveau 2015 (uden byggerenter)
- 14) Byggerenter for mellemfinansiering i byggeperioden (3% realrente p.a.)
- 15) Faste drifts- og vedligeholdelsesomkostninger for anlægget (uanset driftstid)
- 16) Variable drifts- og vedligeholdelsesomkostninger ekskl. energiforbrug. Årlige variable omkostninger til drift og vedligehold i forhold til årlig varmemængde produceret fra geotermivand.

Kolonne C): Svarende til et geotermianlæg med både absorptions- og el varmepumper. Anlægget kan skiftevis drives med absorptions- eller el-varmepumper.



De efterfølgende sider indeholder en specifik resultatrapport for Skive. De fire scenarier som der vises resultater for er:

1. Ref.: Reference scenarie med fastholdelse af det nuværende system og de af fjernvarmeselskaberne planlagte udvidelse indtil 2020. Fra 2020 er "verden forlænget med brædder". Dette scenarie er altså et "status-quo" scenarie.

2. Ref.m.geo.: Reference scenariet med anlagt geotermianlæg. Anlæggets størrelse og tekniske specifikationer er udregnet af Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab. Scenariet kan sammenlignes med Reference scenariet og vise hvorledes et geotermianlæg vil konkurrere i områdets nuværende system.

3. Alt.: Alternativ scenariet er hvor systemerne ikke er forlænget med brædder, men i stedet har investeret i nye teknologier, primært biomasse kraftvarme, solvarme og varmepumper.

4. Alt.m.geo.: Dette er et alternativt scenarie, hvor der før man har investeret i nye teknologier har implemeteret et geotermianlæg. Det vil derfor stadig investere i nye teknologier, men i mindre omfang. Dette scenarie kan sammenlignes med Alternativ scenariet og se geotermianlægs konkurrenceforhold i et mere grønt system.

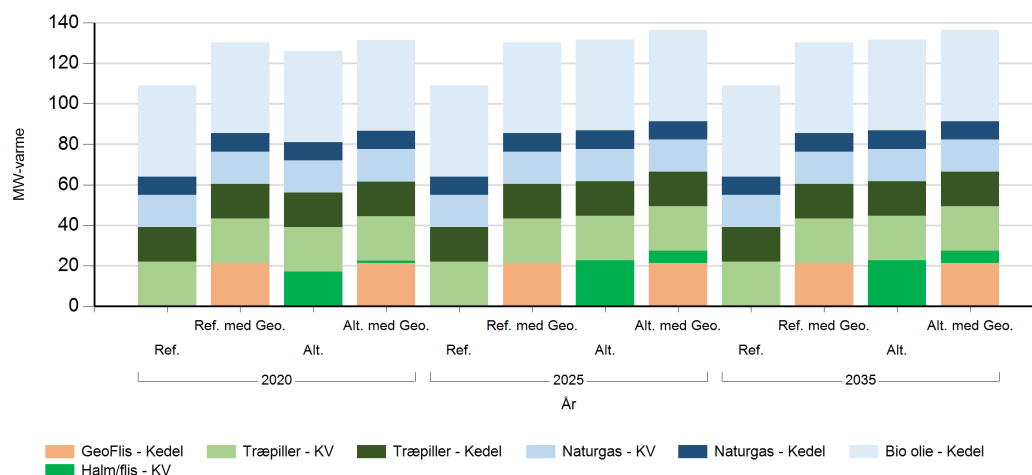
De to scenarier Ref. og Alt. er valgt for at ramme en stagnering og ekspanderende udvikling af grønne teknologiindfasning. I nogle systemet vil man være tættest på det ene og i andre tættest på det andet. De fire scenarier er forklaret i større detalje i hovedrapporten "Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder - Beregning af geotermianlæg og muligheder for indpasning i fjernvarmeforsyningen."

Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- Figur 1: Fjernvarmeproduktionskapacitet fordelt på brændsler og anlægstyper
- Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov
- Figur 3: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper
- Figur 4: Brændselsforbrug for fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler
- Figur 5: Varmelastfordeling over året fordelt på brændsler og anlægstyper
- Figur 6: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området (mio. kr.)
- Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området (kr./GJ)
  
- Tabel 1: Fjernvarmeproduktionskapacitet fordelt på brændsler og anlægstyper
- Tabel 2i: Solvarmeanlæg i m<sup>2</sup>
- Tabel 2ii: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper
- Tabel 3: Brændselsforbrug for fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler
- Tabel 4: Fulldlasttimer for varmeproduktionsenhederne.

## Kapaciteter

### Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper



**Figur 1: Udvikling i fjernvarme-produktionskapacitet for Skive fordelt på brændsler og anlægstyper. For alle fjernvarmeområder er der yderligere indsat tilstrækkelig oliespidslastkapacitet til at dække spidsbehovet.**

### Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

MW Brændsel og Anlægstyper	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Naturgas - Kedel	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
Træpiller - Kedel	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Naturgas - KV	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
Træpiller - KV	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
GeoFlis - Kedel		21.4		21.4		21.4		21.4		21.4		21.4
Halm/flis - KV			17.0	1.1			22.7	5.9			22.7	5.9

**Tabel 1: Udvikling i fjernvarmeproduktionskapacitet for Skive. For alle fjernvarmeområder er der yderligere indsat tilstrækkelig oliespidslastkapacitet til at dække spidsbehovet.**

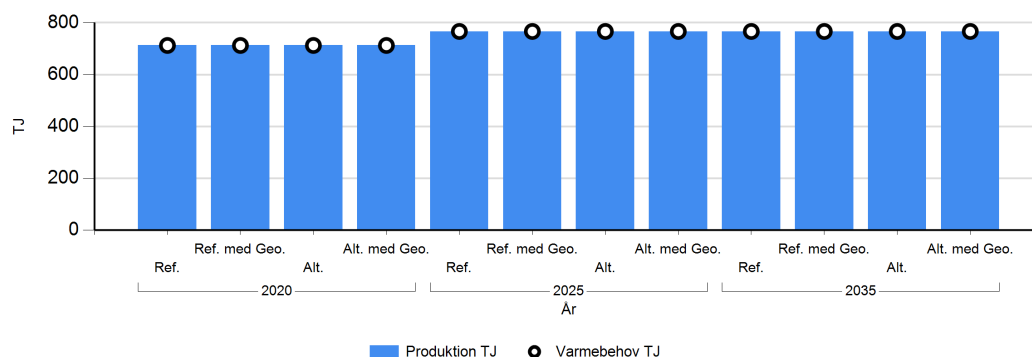
### Solvarmeanlæg

m2 Brændsel og Anlægstyper	2035	
	Alt.	Alt. med Geo.
Solvarme	35.000	29.153

**Tabel 2: Udvikling i kapaciteten af solvarmeanlæg for Skive.**

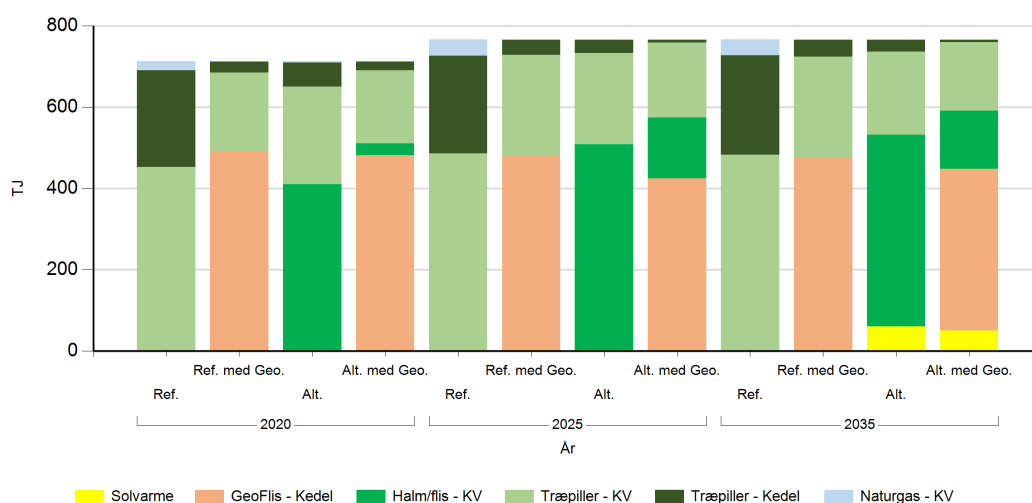
## Fjernvarmeproduktion

### Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov for Skive. Eventuelle forskelle mellem produktion og forbrug afspejler varmetransmission med andre fjernvarmeområder.

### Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper



Figur 3: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Skive.

TJ	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
GeoFlis - Kedel		491,6		481,2		479,2		424,5		477,1		397,7
Halm/flis - KV			410,0	28,5			508,2	149,0			471,8	143,5
Træpiller - Kedel	238,7	26,3	59,5	22,1	240,7	37,0	32,8	8,3	244,4	42,5	30,0	7,1
Naturgas - KV	22,0	1,2	3,0	0,9	40,7	1,3	1,3	0,4	39,3	0,9	0,9	0,2
Træpiller - KV	451,8	193,4	240,1	179,8	485,1	249,0	224,1	184,2	482,8	246,0	203,9	168,1
Solvarme											59,9	49,9

Tablet 2: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Skive.

**Fuldlasttimer for varmeproduktion**

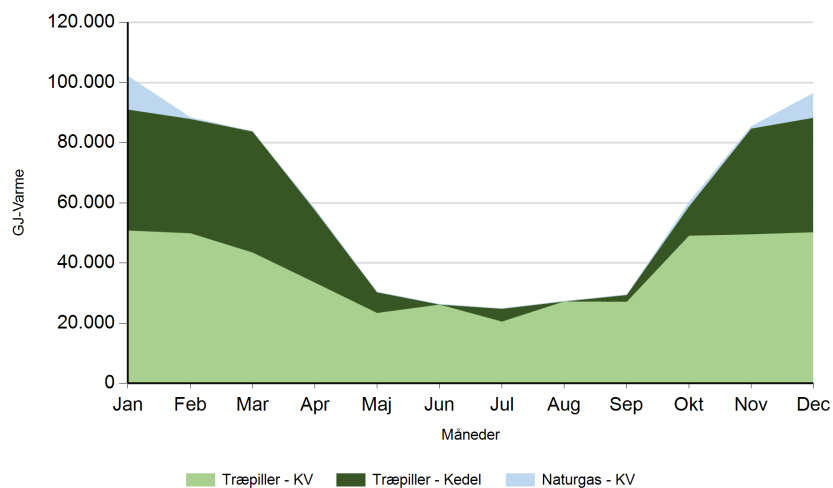
Fuldlast timer	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
GeoFlis - Kedel		6.382		6.246		6.221		5.510		6.193		5.162
Halm/flis - KV			6.683	6.989			6.030	6.989			5.549	6.730
Træpiller - Kedel	3.901	430	972	361	3.933	604	537	136	3.994	695	491	116
Naturgas - KV	382	20	52	15	708	23	23	8	683	15	15	4
Træpiller - KV	5.705	2.442	3.032	2.271	6.125	3.144	2.830	2.326	6.096	3.106	2.574	2.123

**Table 4: Antal af fuldlasttimer for varmeproduktion i Skive.**

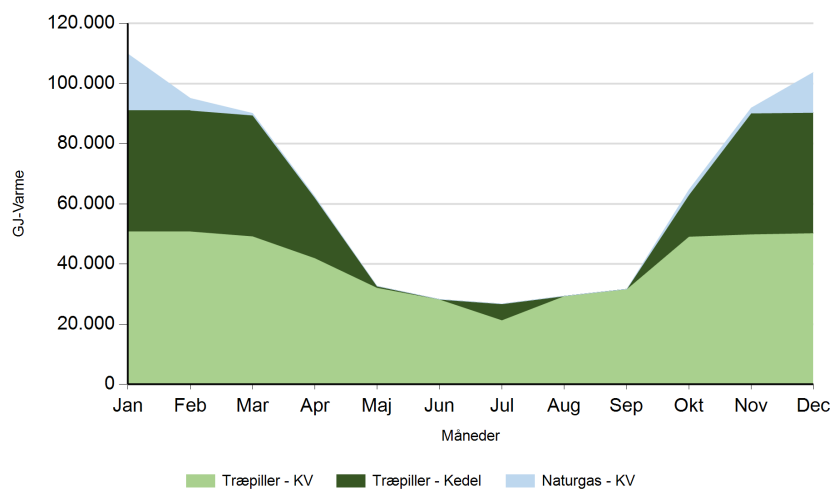


### Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Skive.

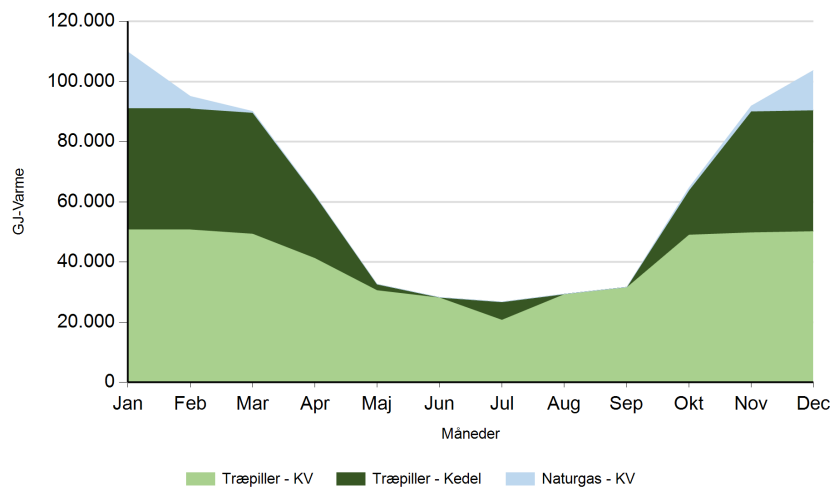
Ref. 2020



2025

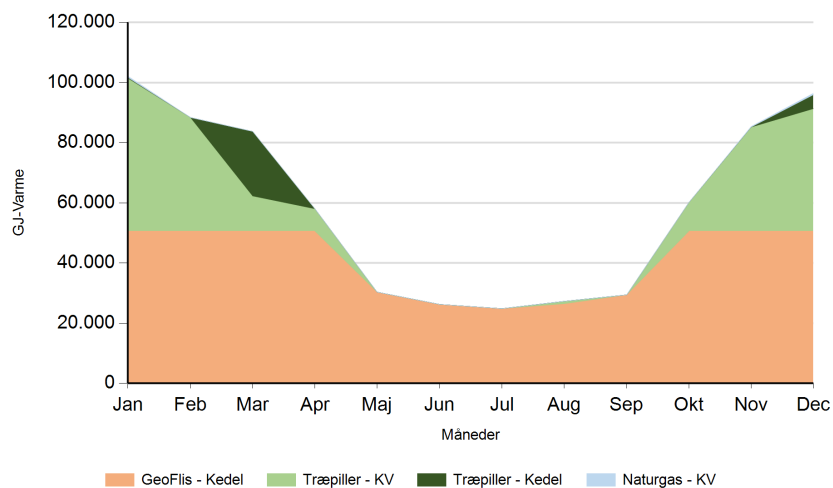


2035

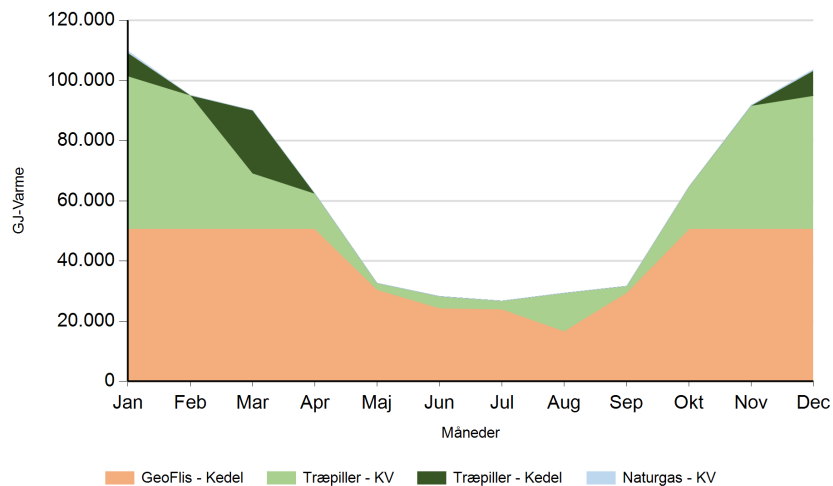




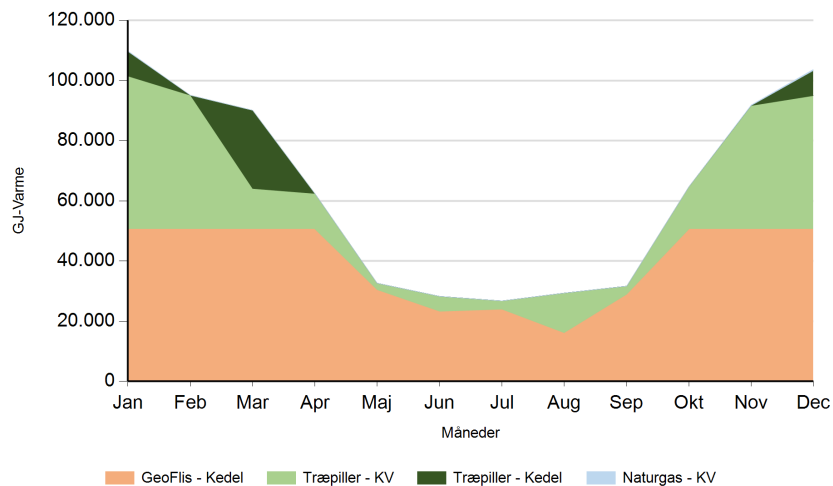
Ref. med Geo. 2020

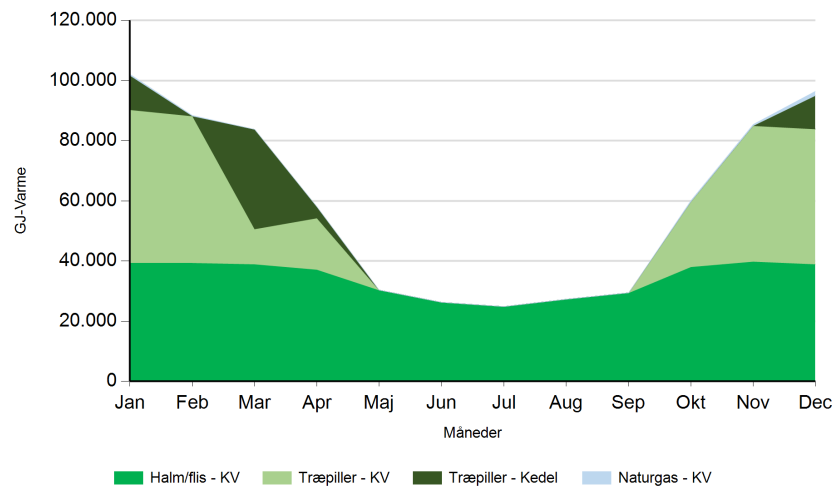
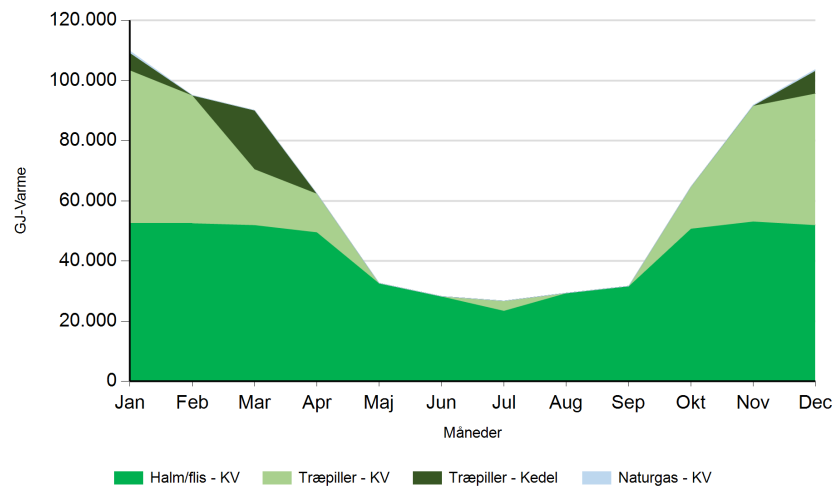
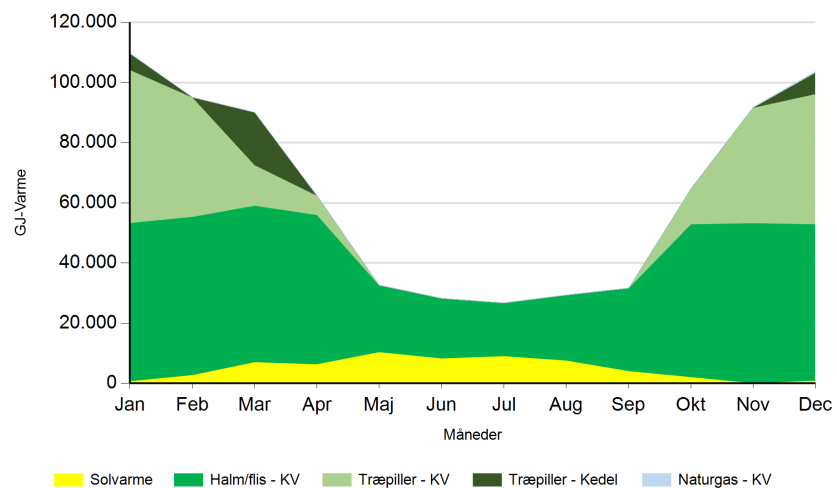


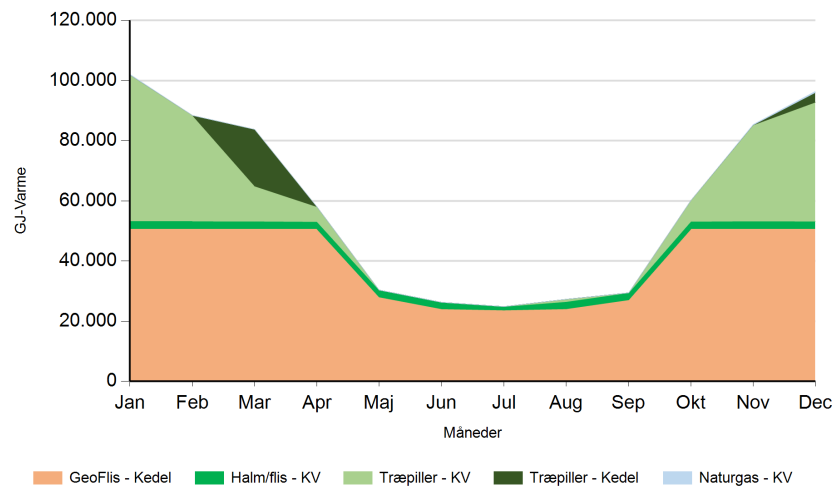
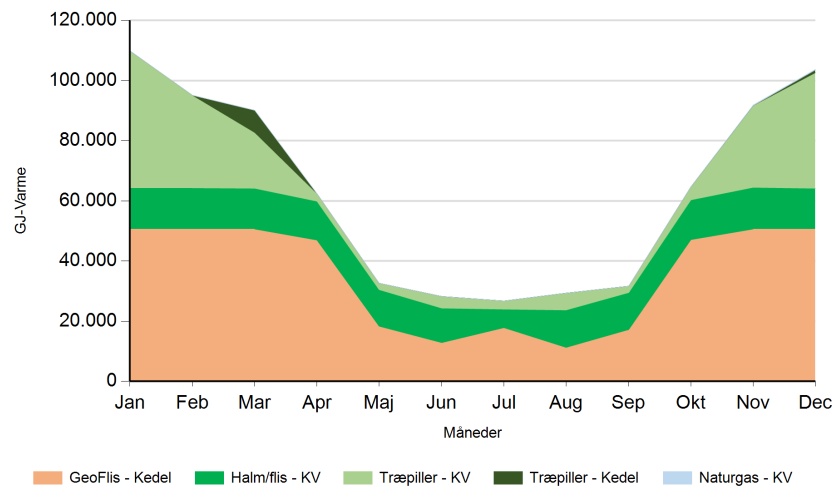
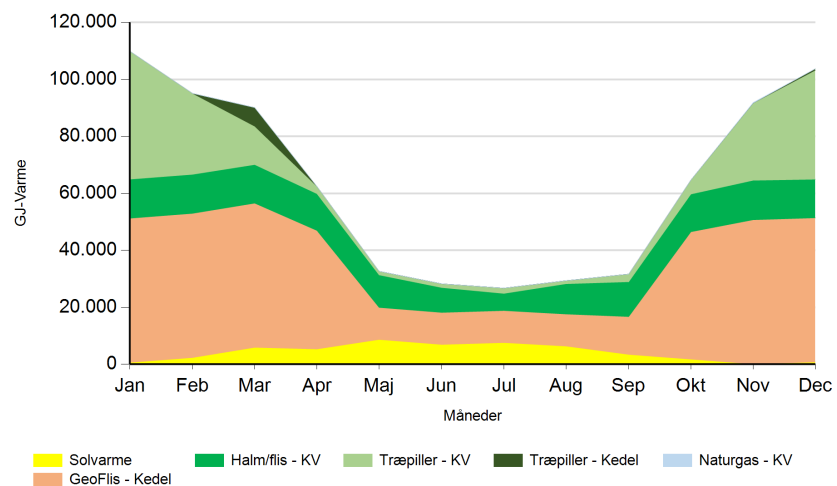
2025

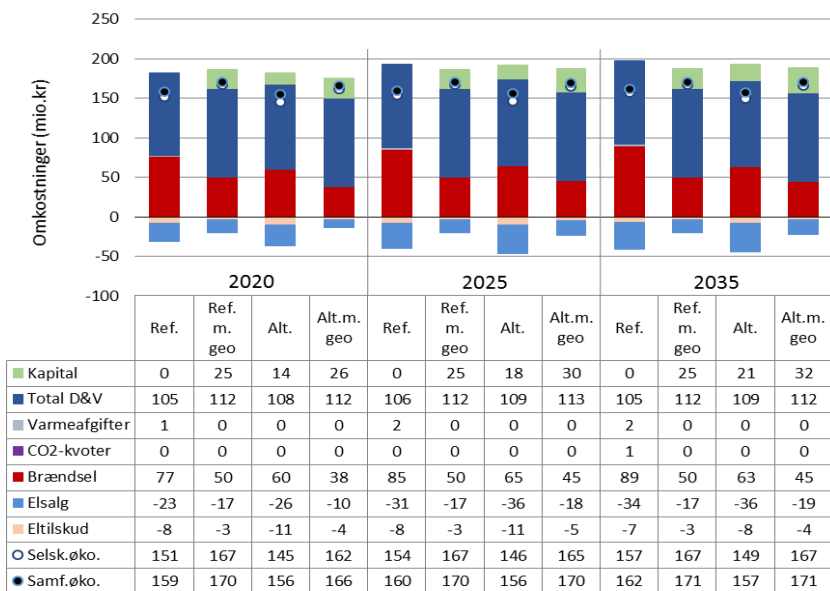


2035

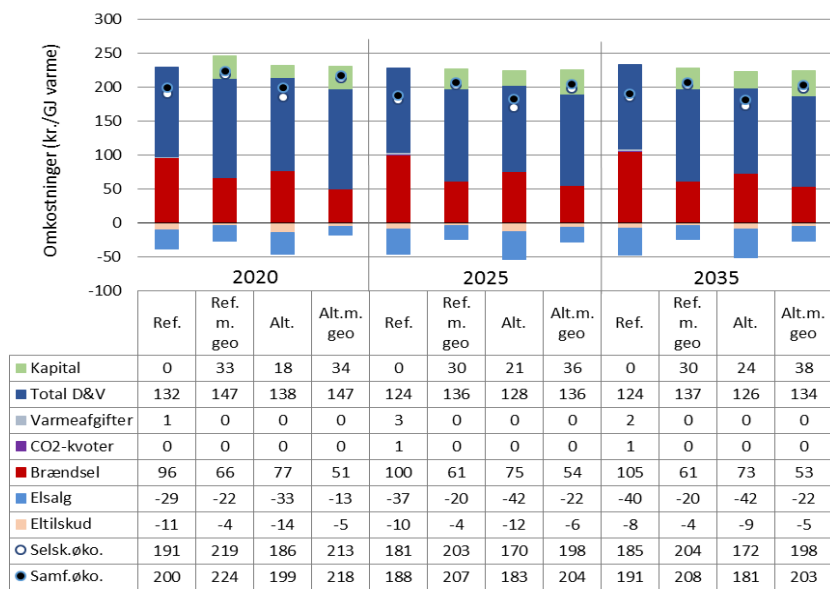


**Alt.**
**2020**

**2025**

**2035**


**Alt. med Geo. 2020**

**2025**

**2035**

**Figur 5: Fjernvarmeproduktion over året fordelt på brændsler og anlægstyper for Skive.**



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Skive



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Skive



# Det geotermiske screeningsprojekt

Skive-lokaliteten

Henrik Vosgerau, Anders Mathiesen, Lars Kristensen,  
Morten Sparre Andersen, Morten Leth Hjuler & Troels Laier



## Indhold

<b>1.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Geologisk baggrund</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Resultater for Skive-lokaliteten</b>	<b>8</b>
3.1	Anbefalinger .....	10
<b>4.</b>	<b>Datagrundlag</b>	<b>11</b>
<b>5.</b>	<b>Gennemgang af data</b>	<b>13</b>
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer .....	13
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	13
5.1.2	Boringsdata .....	15
5.2	Reservoirkvalitet .....	18
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	20
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet .....	22
5.2.3	Permeabilitet.....	22
5.2.4	Transmissivitet .....	23
5.3	Temperatur .....	24
5.4	Salinitet.....	25
<b>6.</b>	<b>Referencer</b>	<b>26</b>



# 1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet beliggende nordvest for Skive i nærheden af Rødding på adressen Vildmosen 1, 7860 Spøttrup (Figur 1). Området omkring Rødding har tidligere været genstand for en detaljeret gennemgang af de geologiske forudsætninger for udnyttelse af dyb geotermisk energi (Nielsen et. al 2012, Mathiesen et al. 2011). Udvælgelsen af lokaliteten er sket under hensynstagen til infrastrukturen på overfladen, herunder beliggenheden af eksisterende fjernvarmeanlæg og -net, samt ud fra driftsbetragtninger (primært temperatur og lastforhold).

Skive fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er valgt ud fra, at deres varmemarked er større end 400 TJ/år, og at de dækker områder, hvor der forekommer formationer i undergrunden, som kan indeholde geotermiske sandstensreservoarer i det rette dybdeinterval for geotermisk indvinding. De geologiske data skal efterfølgende indgå som et input til at estimere varme-effekt, geotermisk indvindingspotentiale, økonomi m.v. ved en eventuel realisering af et geotermianlæg og til efterfølgende at vurdere samfundsøkonomi samt selskabsøkonomi på det samlede varmemarked ved inkludering af geotermisk varmeproduktion

De geologiske data fra screeningen af de 28 fjernvarmeområder indgår i en Geotermi WebGIS portal, hvori relevante geologiske data sammenholdes med henblik på at lave en screening af det geotermiske potentiale på landsplan. WebGIS portalen er under udarbejdelse af GEUS for midler, der ligeledes er afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012.

Undergrundens geologiske opbygning kan variere betydeligt over selv korte afstande og som følge heraf, kan det geotermiske potentiale variere tilsvarende. En kortlægning af denne variation over større områder er meget omfattende, kræver ofte indsamling af supplerende geologiske data og ligger som følge heraf udenfor rammerne af indeværende screening. Den valgte lokalitet udgør derfor muligvis heller ikke det mest optimale sted for udnyttelse af geotermi i Skiveområdet, hvis der udelukkende tages udgangspunkt i de geologiske forhold. Geotermi WebGIS portalen vil udgøre et godt udgangspunkt til at vurdere geologien og variationen af det geotermiske potentiale over større områder.

Gennemgangen af Skive-lokaliteten er opbygget således, at der i afsnit 2 gøres rede for regionale geologiske forhold og undergrundens opbygning. Det vurderes, at den primære dybe geotermiske reservoirmulighed ved lokaliteten udgøres af knap 35 meter sandsten, der er beliggende mere end 2050 meter under terræn. Sandstenene indgår i Gassum Formationen, og den geologiske gennemgang og vurdering af undergrunden fokuserer derfor på denne formation. Geologiske nøgledata, der danner grundlag for en vurdering af det geotermiske potentiale ved Skive-lokaliteten og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. Det er også i dette afsnit, at det geotermiske potentiale vurderes, og der gives anbefalinger til eventuelle supplerende undersøgelser. I de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og hvordan de geologiske nøgledata er fremkommet samt delvist hvilke be-

tragtninger og antagelser, der ligger bag dem. For en generel introduktion til anvendelsen af geotermisk energi i Danmark ud fra en geologisk synsvinkel henvises der til WebGIS portalen. Heri gennemgås blandt andet hvilke typer geologiske data (reservoirdata, seismiske data, temperaturdata og salinitetsdata m.fl.), der indgår i vurderingen af et geotermisk potentiale og hvilke usikkerheder, der overordnet knytter sig til beregningen af disse.



Figur 1: Kort visende den omtrentlige beliggenhed af prognoselokaliteten (rød cirkel) i nærheden af Rødding nordvest for Skive.

## 2. Geologisk baggrund

Skive-området er beliggende i det Danske Bassin, som udgør den sydøstlige del af det Norsk–Danske Bassin, der blev dannet ved strækning af skorpen i Tidlig Perm tid. Mod syd afgrænses bassinet fra det Nordtyske Bassin ved Ringkøbing–Fyn Højderyggen, der er en del af et regionalt VNV–ØSØ-gående strøg af højtliggende grundfjeldsområder i undergrunden. Mod nordøst og øst afgrænses bassinet af den Fennoskandiske Randzone, som består af Sorgenfrei–Tornquist Zonen og Skagerrak–Kattegat Platformen, der udgør overgangen til det højtliggende grundfjeld i det Baltiske Skjold (Figur 2).

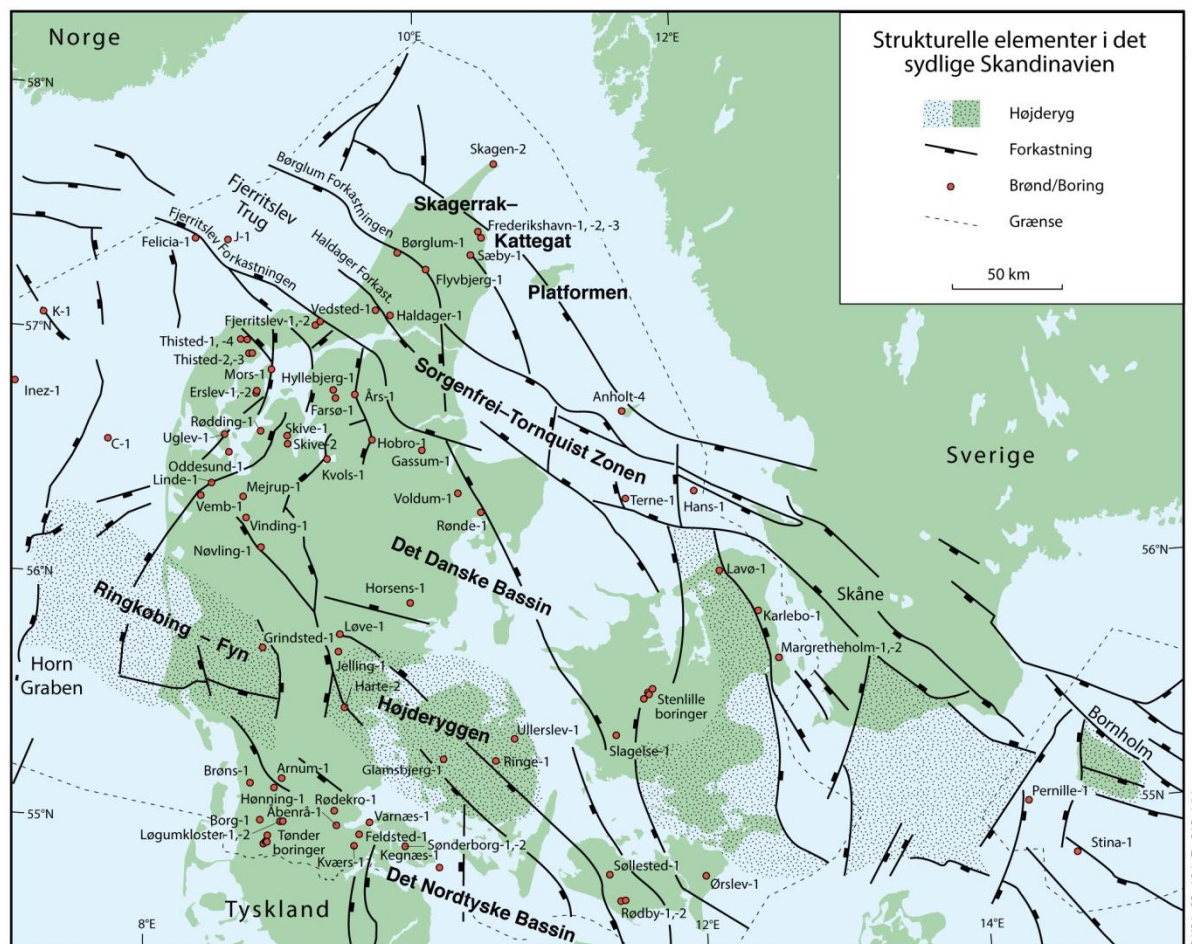
Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin fulgte en lang periode med indsynkning, hvor tykke aflejringer af Zechstein-salt blev dannet i bassinerne efterfulgt af aflejring af sand, mudder, karbonat og mindre saltdannelser i Trias og Tidlig Jura. Regional hævnning i tidlig Mellem Jura førte til en betydelig erosion af underliggende sedimenter, specielt op mod flankerne af og over det højtliggende grundfjeld i Ringkøbing–Fyn Højderyggen. Forkastningsbetinget indsynkning fortsatte dog i Sorgenfrei–Tornquist Zonen, hvor der aflejredes sand og mudder. Regional indsynkning fandt atter sted i løbet af den sene del af Mellem Jura og fortsatte generelt indtil Sen Kridt-Palæogen tid, hvor indsynkningen blev afløst af opløft og erosion relateret til den Alpine deformation og åbningen af Nordatlanten. Aflejringerne fra den sidste periode med indsynkning består af Øvre Jura – Nedre Kridt sandsten og i særdeleshed mudder- og siltsten efterfulgt af tykke karbonat- og kalkaflejringer fra Øvre Kridt, der udgør den øverste del af den mesozoiske lagserie i bassinerne. De betydelige mængder sedimenter, der blev aflejret gennem Mesozoikum, førte i perioder til, at underliggende aflejringer af Zechstein-salt blev plastisk deformeret og nogle steder søgte op ad langs svaghedszoner. Dette resulterede nogle steder i, at de overliggende lag blev løftet op (på saltpuder) eller gennembrudt af den opstigende salt (af salt diapirer). Over saltstrukturerne kan lagene være eroderet helt eller delvis bort eller ikke være aflejret, hvorimod forøget indsynkning nedenfor saltstrukturernes flanker (i randsænkerne) kan have ført til, at selvsamme lag er ekstra tykke i disse områder. Saltbevægelsen har endvidere mange steder været ledsaget af forkastningsaktivitet, og da tektonisk betinget forkastningsaktivitet også har fundet sted, er den strukturelle kontinuitet som følge heraf lille i dele af det Danske Bassin.

Skive-lokaliteten er beliggende i den centrale del af det Danske Bassin i et område hvor Øvre Perm – Kvartær lagserien er omkring 6,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirs primært at kunne være til stede i den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation (Mathiesen et al. 2011). Dette er baseret på, at formationen vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirs, og at den i større områder vurderes til at være beliggende indenfor dybdeintervallet 800–3000 m, der anses for egnet til dyb geotermisk indvinding. Sandsten i den Øvre Jurassiske – Kretassiske Frederikshavn Formation kan udgøre et sekundært reservoir, men viden om formationens udbredelse og reservoirgenskaber i området er meget begrænset (Mathiesen et al. 2011). Kortlægningen af dybdeintervaller og indhold af sandsten er baseret på tilgængelige seismiske data og data fra dybe borer i undergrunden. Den geografiske dækning og kvaliteten af disse data er dog meget varierende, og

det er som følge heraf også meget forskelligt med hvilken grad af sikkerhed, man kan udtale sig om det geotermiske potentiale fra område til område.

Gassum Formationen udgør det bedst kendte sandstensreservoir i Danmark og udnyttes til geotermisk indvinding i Thisted og Sønderborg samt til gaslagring ved Stenlille. Formationen er vidt udbredt i det Danske Bassin og til dels også i den danske del af det Nordtyske Bassin med en generel tykkelse på 30-150 meter og med tykkelser på op til mere end 300 meter i Sorgenfrei-Tornquist Zonen (Nielsen 2003). Derimod synes formationen generelt ikke at være til stede henover Ringkøbing-Fyn Højderyggen og langs dens flanker. Endvidere kan formationen stedvis mangle p.g.a. lokal hævnning og erosion relateret til saltbevægelse i undergrunden. Eksempelvis er Gassum Formationens tykkelse og dybde påvirket markant af saltbevægelse på dele af Skive saltstrukturen, ligesom forkastninger formentlig bryder kontinuiteten af reservoiret (Nielsen et al. 2012).

Gassum Formationen domineres af fin- til mellemkornede, stedvis grovkornede, lysegrå sandsten, der veksler med mørkere-farvede ler- og siltsten og lokalt tynde kullag (Bertelsen 1978, Michelsen & Bertelsen 1979, Michelsen et al. 2003). Sedimenterne afspejler afsætning under gentagne havniveausvingninger i den sidste del af Trias Perioden og i starten af Jura Perioden (Nielsen 2003). I dette tidsrum var hovedparten af det danske indsynkningsområde et lavvandet havområde, hvortil floder transporterede store mængder af sand eroderet fra det Skandinaviske grundfjeldsområde og i mindre grad også fra Ringkøbing-Fyn Højderyggen i perioder, hvor denne var blotlagt. Noget af sandet blev afsat i flodkanaler og estuarier, men det meste blev aflejret i havet som kystsand. Herved blev der dannet forholdsvis sammenhængende sandstenslegemer med stor geografisk udbredelse. Senere forkastningsaktivitet har i nogle områder dog ændret på dette, ligesom senere kompaktion og mineraludfældninger (diagenese) har modificeret reservoirgenskaberne.



Figur 2: De væsentligste strukturelle elementer i det sydlige Skandinavien inklusive det Danske Bassin, Sorgenfrei-Tornquist Zonen, Skagerrak-Kattegat Platformen, Ringkøbing-Fyn Højderyggen og den nordligste del af det Nordtyske Bassin. Modificeret figur fra Nielsen (2003).

### 3. Resultater for Skive-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Skive-lokaliteten er samlet i Tabel 3.1. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolkningsusikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitets sammenhænge etc.). Nogle af parametrene er indbyrdes afhængige, men de angivne usikkerheder knytter sig generelt til den enkelte parameter, og der er således ikke tale om akkumulerede usikkerheder. Specielt på reservoirdata er der store usikkerheder, og på GEUS pågår derfor et arbejde med at vurdere, om der er belæg for generelt at kunne reducere usikkerhedsbåndet på estimerede reservoirværdier.

Af tabellen fremgår det, at formationen vurderes at være til stede ca. 2030–2130 meter under havniveau (m.u.h.) og dermed i en dybde, der er egnet til dyb geotermisk indvinding. Dette afspejler sig i temperaturen, der vurderes til at være ca. 65 °C i midten af formationen. De øvrige parameterværdier vurderes rimelige med hensyn til det geotermiske potentiale. Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydeevne og er dermed en vigtig parameter. Denne bør være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013\*), og er vurderet til ca. 17 Darcy-meter ved prognoselokaliteten. Usikkerheden, der knytter sig til estimeringen af værdien, udelukker dog ikke transmissivitetsværdier på under 10 Darcy-meter (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoir-kvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som "Potentielt reservoirsand" i Figur 6 og 7). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

Prognoselokaliteten ligger i et strukturelt roligt område, og der er ikke observeret betydende forkastninger indenfor en afstand af 2 km fra lokaliteten. Prognoselokaliteten omkranses af seismiske linjer af rimelig kvalitet, og det vurderes ikke nødvendigt at indsamle nye seismiske data forud for udførelsen af en eventuelt fremtidig efterforskningsboring ved lokaliteten (Nielsen et al. 2012).

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 350 meter tyk med toppen liggende ca. 1680 m.u.h. Kridt og Danien lagersiens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 1209 meter tykke og beliggende ca. 206–1415m.u.h.

*\*I Mathiesen et al. 2013 angives det, baseret på foreløbige kriterier, at reservoirs gennemsnitlige gas-transmissivitet i udgangspunktet er rimelig, hvis denne er større end 8 Darcy-meter. Værdien svarer efter GEUS' vurdering til en væsketransmissivitet på ca. 10 Darcy-meter.*

Tabel 3.1: Nøgledata, der danner grundlag for en vurdering af det geotermiske potentiale ved prognoselokaliteten, og som vil udgøre et input til økonomiske beregninger mm.

<b>Skive-lokaliteten</b>			
UTMz32 X: 489.466 m; Y: 6.276.539 m Terrænkote: ca. 27 meter over havniveau (m.o.h.)			
<b>Gassum Formationen</b>	<b>Estimeret værdi</b>	<b>Vurderet usikkerhed</b> <sup>1</sup>	<b>Usikkerhedsinterval</b> <sup>2</sup>
			[MinCase - MaxCase]
<b>Makro reservoirparametre</b>			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	2030	6 <sup>3</sup>	1908–2152 <sup>3</sup>
Tykkelse af formation [m]	100	10 <sup>3</sup>	90–110 <sup>3</sup>
<b>Andel af sandsten i formationen</b>			
Tykkelse af Gross sand [m]	36	10 <sup>3</sup>	32–40 <sup>3</sup>
Tykkelse af Potentielt reservoirsand <sup>4</sup> [m]	34	10 <sup>3</sup>	30–37 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/formation <sup>5</sup>	0,36	10 <sup>3</sup>	0,30–0,37 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/Gross sand <sup>6</sup>	0,93	10 <sup>3</sup>	0,84–1,00 <sup>3</sup>
<b>Vandledende egenskaber (reservoirsand)</b>			
Porøsitet [%]	24	10 <sup>3</sup>	21–26 <sup>3</sup>
Gas-permeabilitet [mD]	400	4 <sup>7</sup>	100–1600 <sup>7</sup>
Reservoir-permeabilitet <sup>8</sup> [mD]	500	4 <sup>7</sup>	125–2000 <sup>7</sup>
Reservoir-transmissivitet (Kh) <sup>9</sup> [Dm]	17	5 <sup>7</sup>	3–85 <sup>7</sup>
<b>Temperatur</b>			
Temperatur <sup>10</sup> [°C]	65	10 <sup>3</sup>	59–72 <sup>3</sup>
<b>Tekstur og cementering (sandsten)</b>		<b>Vurdering</b>	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til mellem kornstørrelse; hovedsageligt velsorterede; kantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Kalkfrie eller svagt kalkholdige, hovedsageligt kun svagt cementerede		
<b>Andre betydende parametre</b>		<b>Vurdering</b>	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Stor		

<sup>1</sup> Vurderet usikkerhed benyttes til udregning af Usikkerhedsinterval og er erfarings- og vidensbaseret (se tekst for nærmere uddybning).

<sup>2</sup> Usikkerhedsinterval angiver variationsbredden for Estimeret værdi og kontrolleres af omfang og kvalitet af det tilgængelige datagrundlag.

<sup>3</sup> Vurderet usikkerhed (målt i relative %). Usikkerhedsinterval givet ved Estimeret værdi +/- Vurderet usikkerhed (målt i relative %).

<sup>4</sup> Tykkelse af Potentielt reservoirsand er estimeret ud fra afskæringskriterier på Vshale (< 30 %) og log-porøsitet (> 15 %).

<sup>5</sup> Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af formation.

<sup>6</sup> Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af Gross sand.

<sup>7</sup> Usikkerhedsinterval givet ved Estimeret værdi divideret/ganget med Vurderet usikkerhed.

<sup>8</sup> Reservoir-permeabilitet er den permeabilitet, som forventes målt i forbindelse med en pumpetest eller en brøndtest. Reservoir-permeabiliteten er estimeret ved at multiplicere Gas-permeabilitet med en opskaleringsfaktor på 1,25.

<sup>9</sup> Reservoir-transmissiviteten er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. Reservoir-transmissiviteten er opskaleret til reservoirforhold.

<sup>10</sup> Temperatur er den estimerede temperatur i midten af reservoirret i produktionsbrønden baseret på den målte gennemsnitstemperatur i reservoirret i injektionsbrønden.

### **3.1 anbefalinger**

Under udførelsen af en eventuelt efterfølgende efterforskningsboring bør det overvejes undervejs at indsamle information om reservoirregenskaberne fra den knap så dybtliggende Frederikshavn Formation. Sandstensintervaller i denne formation kan potentielt udgøre et alternativt geotermisk reservoir til Gassum Formationen, hvis de indsamlede brøndata viser, at Gassum Formationen ikke egner sig til geotermisk indvinding.



## 4. Datagrundlag

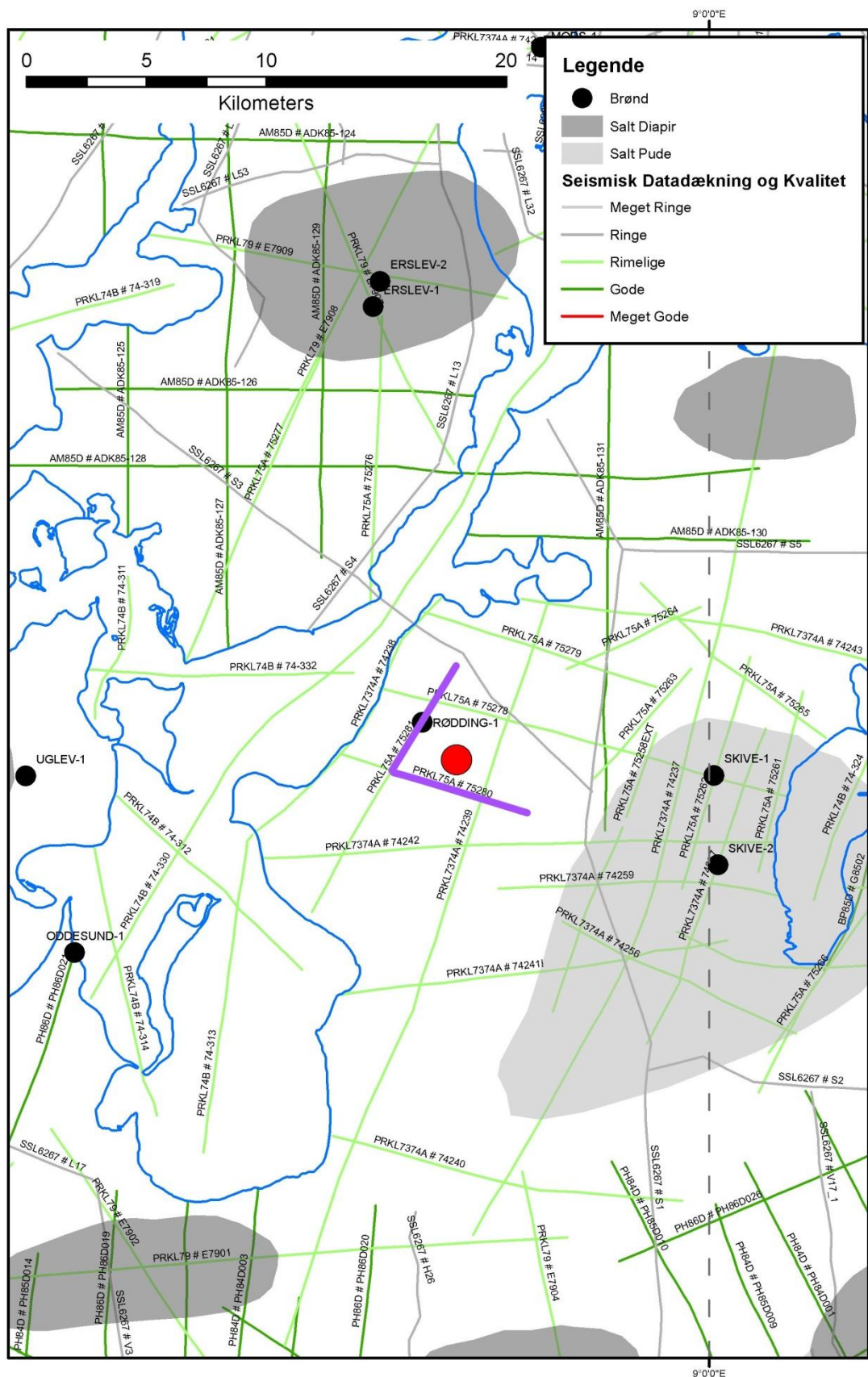
I Figur 3 er den tilgængelige database i Rødding-området og i regionen vist i form af placeringen af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer.

De nærmeste dybe brønde er Rødding-1, Skive-1, Skive-2, Uglev-1, Oddesund-1, Erslev-1 og Erslev-2, der er placeret inden for en afstand af ca. 2 til 20 km til prognoselokaliteten (Figur 3). Gassum Formationen er dog ikke til stede i brøndene Uglev-1, Erslev-1 og -2, der er beliggende over saltdiapirer. Rødding-1 er den nærmeste boring til prognoselokaliteten, og fra denne brønd foreligger der logdata, som generelt er af god kvalitet, og som muliggør en vurdering af Gassum Formationens reservoirkvalitet. På baggrund heraf vurderes brønddækningen og kvaliteten af brøndata derfor som værende god i vurderingen af prognoselokaliteten. I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen for de nævnte brønde, hvori Gassum Formationen forekommer. Endvidere er dybdeinterval og tykkelse vist for den lerstens-dominerede Fjerritslev Formation samt for Kridt lagseriens kalkaflejringer, som udgør "dæklag" for Gassum Formationen. Dybde og tykkelse af disse dæklag er også vurderet for prognoselokaliteten (afsnit 5) og er interessante, da de kan indgå i vurderingen af omkostninger til borefasen ved en eventuel etablering af et geotermisk anlæg.

Kvaliteten af de seismiske linjer, der er indsamlet i regionen, er markeret med farver i Figur 3 og angiver, hvor anvendelige de seismiske data er til at kortlægge formationer i det geotermiske dybdeinterval. Det er en overordnet kvalitetsangivelse, der i høj grad afspejler i hvilket år, de seismiske data blev indsamlet. Prognoselokaliteten omkranses af seismiske linjer af rimelig kvalitet, der passerer forbi lokaliteten inden for en afstand af 1–2 km. Kvaliteten af de seismiske data vurderes god nok til at kunne identificere eventuelle forkastninger, der bryder Gassum Formationen i området omkring prognoselokaliteten. Da den seismiske tolkning endvidere viser, at undergrundens geologi generelt er simpel i området, vurderes den seismiske datadækning som værende god.

Tabel 4.1: De enkelte brøndes omtrentlige afstand til prognoselokaliteten er angivet i parentes under brøndnavnet. Brøndenes placering fremgår endvidere på oversigtskortene i Figur 2 og 3. Tykkelse er i meter, og dybdeinterval er i meter under havniveau (data fra Nielsen & Japsen 1991).

		Rødding-1 (2 km)	Skive-1 (11 km)	Skive-2 (12 km)	Oddesund-1 (18 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	237–1437	184–1429	110–1030	407–1362
	Tykkelse (m)	1200	1245	920	955
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1647–1916	1702–2093	1149–1269	1608–1893
	Tykkelse (m)	269	391	120	285
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1916–2012	2093–2212	1269–1322	1893–1990
	Tykkelse (m)	96	119	53	97



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og nærmeste brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. De dele af de seismiske linjer 75280 og 75281, som er fremhævet med fed lilla streg, er anvendt til at fremstille et sammensat seismisk profil med tolkede seismiske horisoner i Figur 5.

## 5. Gennemgang af data

I dette afsnit dokumenteres datagrundlaget for estimeringen af de geologiske nøgledata i Tabel 3.1 og delvis hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem.

### 5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

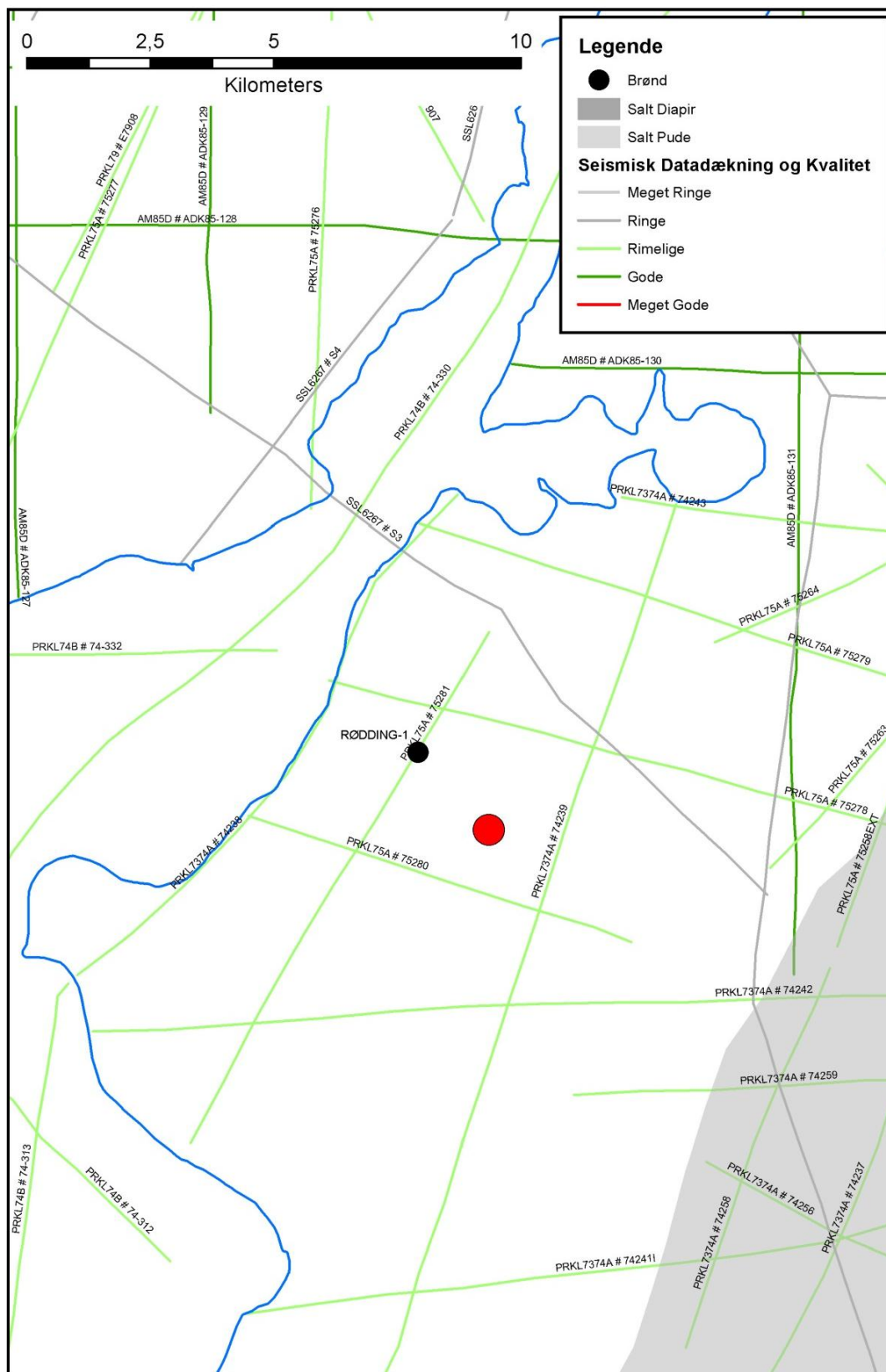
#### 5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1. Gassum Formationens top vurderes at være til stede ca. 2030 m.u.h. ved prognoselokaliteten med en vurderet usikkerhed på  $\pm 6\%$ . Tykkelsen af formationen vurderes til at være ca. 100 meter med en usikkerhed på  $\pm 10\%$ .

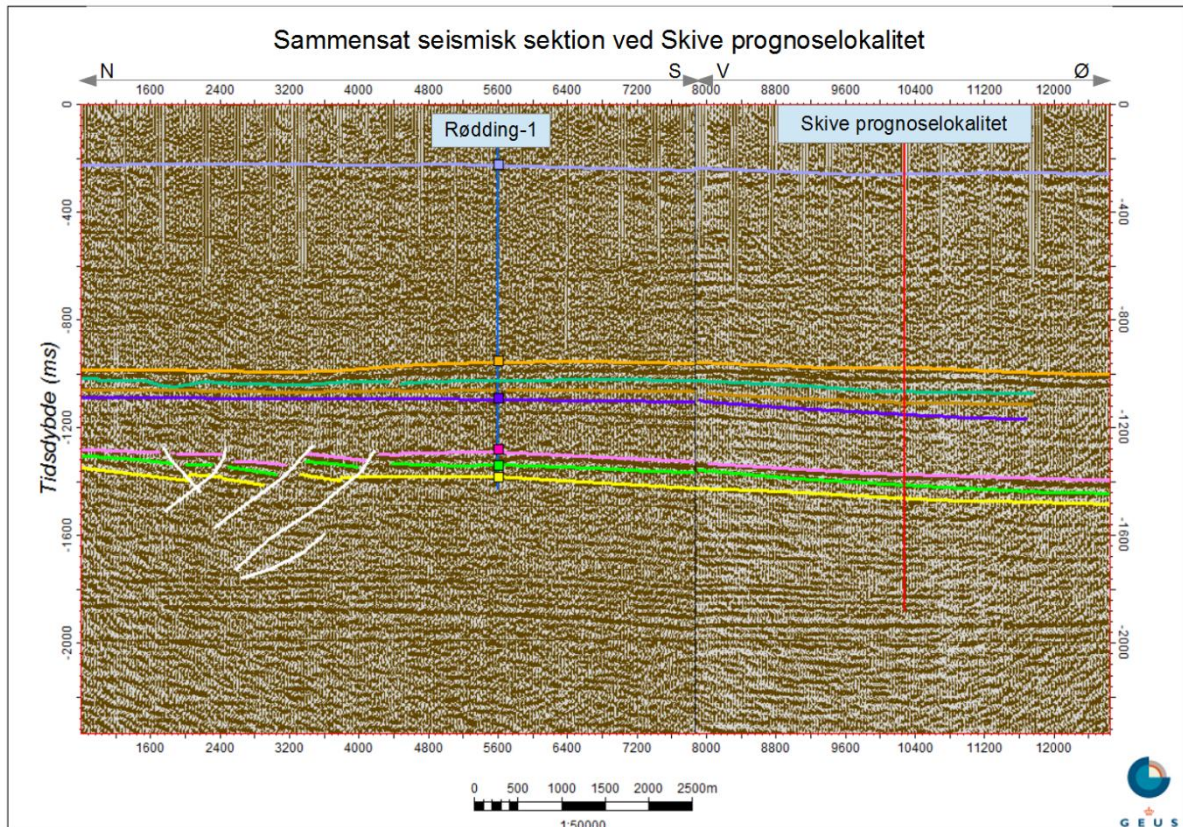
De seismiske linjer 75280 og 75281 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et sammensat seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. Linje 75280 passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af ca. 1250 meter. På det seismiske profil fremstår Gassum Formationen forholdsvis uforstyrret og med en ensartet tykkelse.

Tabel 5.1: *Dybdeintervaller og tykkelser af udvalgte lagserier ved prognoselokaliteten, som er estimeret på baggrund af den igangværende landsdækkende seismiske kortlægning.*

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	206–1415	1209
Frederikshavn Fm	1580–1630	50
Fjerritslev Fm	1680–2030	350
Gassum Fm	2030–2130	100



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten (rød cirkel). Dele af de seismiske linjer 75280 og 75281 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et sammensat seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: S sammensat seismisk profil, der passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af ca. 1250 m, baseret på de seismiske linjer 75280 og 75281 (Figur 3 og 4). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Endvidere er Rødding-1 projiceret vinkelret ind på profilet. Gassum Formationen fremstår forholdsvis uforstyrret og med en ensartet tykkelse. Dog brydes formationen af forkastninger i en forkastningszone beliggende ca. 1 km nord for Rødding-1 (forkastninger angivet som stejle hvid streger). Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren: Top kalk (lyslilla), Basis af Kalkgruppen (orange), Top Frederikshavn Fm (grøn), Basis Frederikshavn Fm (brun), Top Fjerritslev Fm (mørkeblå), Top Gassum Fm (lyserød), Top Vinding Fm (lysegrøn) og Top Oddesund Fm (gul).

### 5.1.2 Boringsdata

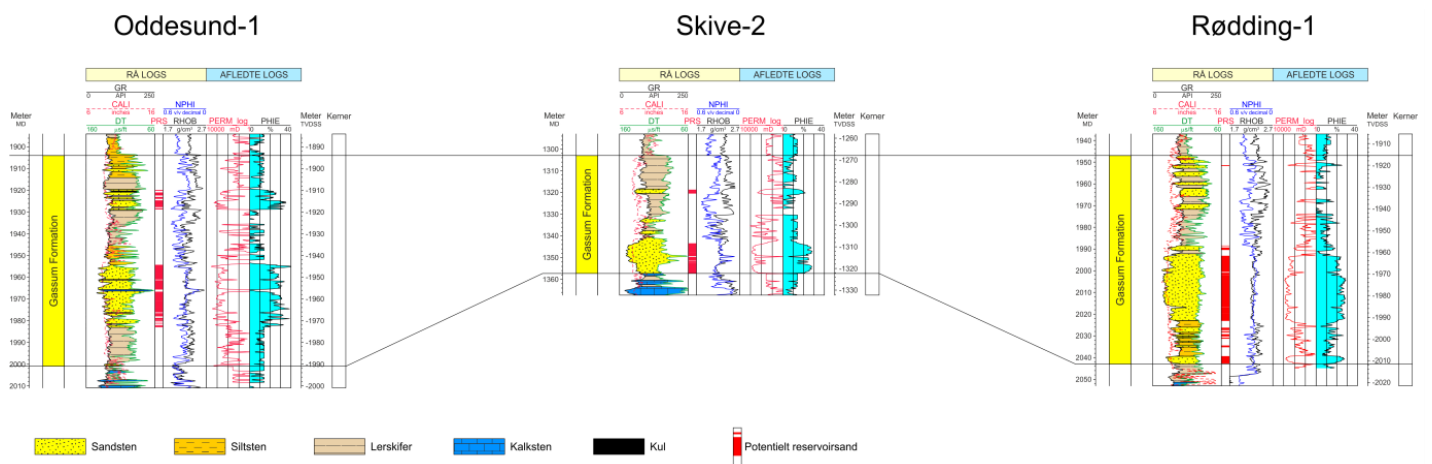
Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Gassum Formationen i de nærmeste brønde. Endvidere er der vist hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoir egenskaber (Potentielt reservoirsand), formationen er estimeret til at indeholde i brøndene. I afsnit 5.2, og mere udførligt i Geotermi WebGIS portalen, gøres der rede for, hvordan disse størrelser estimeres på baggrund af logdata. Boringsdata viser, at Gassum Formationen generelt er vidt udbredt i regionen (Nielsen 2003). De nærmeste brønde viser en tykkelse af formationen på omkring 100 meter bortset fra Skive-2, hvor tykkelsen kun er 53 meter (Tabel 5.2). Den forholdsvis lille tykkelse i Skive-2 tilskrives påvirkning af saltbevægelse i undergrunden. Ud fra de seismiske data vurderes tykkelsen af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten at

svare til formationens tykkelse i Rødding-1, det vil sige omkring 100 meter. Da Rødding-1 endvidere kun ligger ca. 2 km fra prognoselokaliteten vil data fra denne boring udgøre grundlaget til at vurdere reservoirparametre ved prognoselokaliteten.

Mange af sandstensintervallerne i Rødding-1 kan korreleres over store afstande til andre brønde i form af sekvensstratigrafiske enheder, mens enkelte kiler ud mod sydvest (Figur 19 i Nielsen 2003). En sådan variation afspejler det oprindelige aflejningsmiljø; eksempelvis blev sand i lange tidsrum tilført det Danske Bassin fra det skandinaviske grundfjeldsområde og aflejret som kystsand langs bassinranden, hvorimod en mere silt- og lerholdig sedimentation tog over ude i de kystfjerne, dybere dele af bassinet. I perioder med lavt havniveau rykkede kysten og de bagvedliggende floder længere ud i bassinet, og som følge heraf kan sandstenslagene i undergrunden have en stor udstrækning, hvis de ikke sidenhen er brudt op af forkastninger. Overordnet set kan den sedimentologiske kontinuitet betragtes som værende stor på grund af sandstenintervallers store udbredelse om end sandstenene over større afstande afspejler forskellige aflejningsmiljøer (Nielsen 2003).

Tabel 5.2: Tykkelser af Gassum Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoir egenskaber (Potentielt reservoirsand), i de nærmeste brønde, hvis placeringer ses på oversigtskortet i Figur 3. De skraverede felter angiver, at parameterværdierne ikke kan beregnes på baggrund af de givne logdata.

	Tykkelser/antal meter		
	Formation	Gross sand	Potentielt reservoirsand
<b>Rødding-1</b>	96	36	34
<b>Skive-1</b>	119		
<b>Skive-2</b>	53	11	10
<b>Oddesund-1</b>	97	46	37



Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationen i Odde-1, Skive-2 og Rødding-1 (placering af brønde ses i Figur 3). Formationen er i brøndene vist med dens vertikale tykkelser, og der er således korrigeret for boringernes eventuelle afbøjning. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).

## 5.2 Reservoirkvalitet

I vurderingen af Gassum Formationens reservoirregenskaber ved prognoselokaliteten er der taget udgangspunkt i data fra den nærtliggende Rødding-1. Dybdeintervallet for Gassum Formationen i denne brønd ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der i flere niveauer er udtaget sidevægskerner fra formationen men ingen konventionelle kerner.

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af sidevægskerner og borespåner fra Rødding-1 (Dansk Boreselskab 1976). De optagne og tolkede logs i Rødding-1 brønden er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

De tolkede reservoirværdier for Gassum Formationen i Rødding-1 ses i Tabel 5.5. Ved sammenligning af tabellen med Tabel 3.1 fremgår det, at usikkerheden på reservoirværdierne ved prognoselokaliteten generelt er lidt større end de angivne usikkerheder på reservoirværdierne for Rødding-1. Dette er en naturlig følge af, at en ekstrapolering af data-værdier altid vil medføre en ekstra usikkerhed.

Tabel 5.3: *Overblik over dybdeintervaller i målt dybde fra referencepunkt på boreplatformen (MD) af Gassum Formationen i Rødding-1 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Rødding-1	1947–2043	Ingen	I 6 niveauer



Tabel 5.4: Liste over rå-logs og tolkede logkurver for de nærmeste boringer.

Beskrivelse	Log-navn	Enhed	Log-funktion
Gamma logs	GR	API	Måler naturlig radioaktivitet
	GR_DEN	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med densitetslog
	GR_SON	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med sonic log
Spontaneous potential log	SP	mV	Måler spontaneous potential ('selv-potentialet')
	GRpseudo	mV	Re-skaleret SP log
Sonic logs	DT	microsek/ft	Akustisk log; måler intervalhastighed
	DTCO	microsek/ft	Akustisk log; måler intervalhastighed
Caliper logs	CALI/CAL	Inch/tommer	Måler borehullets diameter
	CAL_NUC	Inch/tommer	Måler borehullets diameter, med neutron log
Resistivetslogs/ Modstandslogs	ILD	Ohm-m	Induktion log; dybt-læsende modstandslog
	ILM	Ohm-m	Induktion log; medium-læsende modstandslog
	LLS	Ohm-m	Laterolog; medium-læsende modstandslog
	LLD	Ohm-m	Laterolog; dybt-læsende modstandslog
	16ft	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	38in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	10in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	18F8	Ohm-m	Lateral modstandslog af ældre dato
	64in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
Neutron log	NPHI	fraction	Måler den tilsyneladende porøsitet (neutron-loggen kan være forkortet "NEU")
Densitets logs	RHOB	g/cm <sup>3</sup>	Måler bulk-densiteten af bjergarten
	RHOZ	g/cm <sup>3</sup>	Måler bulk-densiteten af bjergarten
Log-beregnet permeabilitet	PERM_log	mD	Beregnet log-kurve baseret på PHIE
Log-beregnet effektiv porøsitet	PHIE	fraction	Beregnet/tolket log kurve
Kernepermeabilitet	Kh_a	mD	Målt horisontal gas permeabilitet (på plugs)
	CPERM_GEUS	mD	Målt gas permeabilitet (på plugs; GEUS data)
Kerneporøsitet	CPOR	%	Målt porøsitet (på plugs)
	CPOR_GEUS	%	Målt porøsitet (på plugs; GEUS data)
Normaliseret gamma log	GRnorm	API	Beregnet/tolket log kurve
Log-beregnet lermængde	Vshale	fraktion	Beregnet/tolket log kurve
Indikator for potentielt reservoirsand (PRS)	PRS	m	Log-udledt kurve ("flag") der indikerer, hvor der er potentielt reservoirsand (PRS)

Tabel 5.5: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Rødding-1 brønden.*

<b>Rødding-1</b>			
<b>Gassum Formationen</b>	<b>Estimeret værdi</b>	<b>Vurderet usikkerhed <sup>1</sup></b>	<b>Usikkerhedsinterval<sup>2</sup></b>
			<b>[MinCase - MaxCase]</b>
<b>Makro reservoirparametre</b>			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1916	1 <sup>3</sup>	1897–1935 <sup>3</sup>
Tykkelse af formation [m]	96	1 <sup>3</sup>	95–97 <sup>3</sup>
<b>Andel af sandsten i formationen</b>			
Tykkelse af Gross sand [m]	36	5 <sup>3</sup>	34–38 <sup>3</sup>
Tykkelse af Potentielt reservoirsand <sup>4</sup> [m]	34	5 <sup>3</sup>	32–35 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/formation <sup>5</sup>	0,35	5 <sup>3</sup>	0,33–0,37 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/Gross sand <sup>6</sup>	0,93	5 <sup>3</sup>	0,89–0,98 <sup>3</sup>
<b>Vandlevende egenskaber (reservoirsand)</b>			
Porøsitet [%]	24	5 <sup>3</sup>	23–24 <sup>3</sup>
Gas-permeabilitet [mD]	400	4 <sup>7</sup>	100–1600 <sup>7</sup>
Reservoir-permeabilitet <sup>8</sup> [mD]	500	4 <sup>7</sup>	125–2000 <sup>7</sup>
Reservoir-transmissivitet (Kh) <sup>9</sup> [Dm]	17	4 <sup>7</sup>	4–68 <sup>7</sup>
<b>Tekstur og cementering (sandsten)</b>		<b>Vurdering</b>	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til mellem kornstørrelse; hovedsageligt velsorterede; kantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Kalkfrie eller svagt kalkholdige, hovedsageligt kun svagt cementerede		

<sup>1</sup> *Vurderet usikkerhed* benyttes til udregning af *Usikkerhedsinterval* og er erfarings- og vidensbaseret (se tekst for nærmere uddybning).

<sup>2</sup> *Usikkerhedsinterval* angiver variationsbredden for *Estimeret værdi* og kontrolleres af omfang og kvalitet af det tilgængelige datagrundlag.

<sup>3</sup> *Vurderet usikkerhed* (målt i relative %). *Usikkerhedsinterval* givet ved *Estimeret værdi +/- Vurderet usikkerhed* (målt i relative %).

<sup>4</sup> *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* er estimeret ud fra afskæringskriterier på Vshale (< 30 %) og log-porøsitet (> 15 %).

<sup>5</sup> *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af formation*.

<sup>6</sup> *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af Gross sand*.

<sup>7</sup> *Usikkerhedsinterval* givet ved *Estimeret værdi* divideret/ganget med *Vurderet usikkerhed*.

<sup>8</sup> *Reservoir-permeabilitet* er den permeabilitet, som forventes målt i forbindelse med en pumpetest eller en brøndtest. *Reservoir-permeabiliteten* er estimeret ved at multiplicere *Gas-permeabilitet* med en opskaleringsfaktor på 1,25.

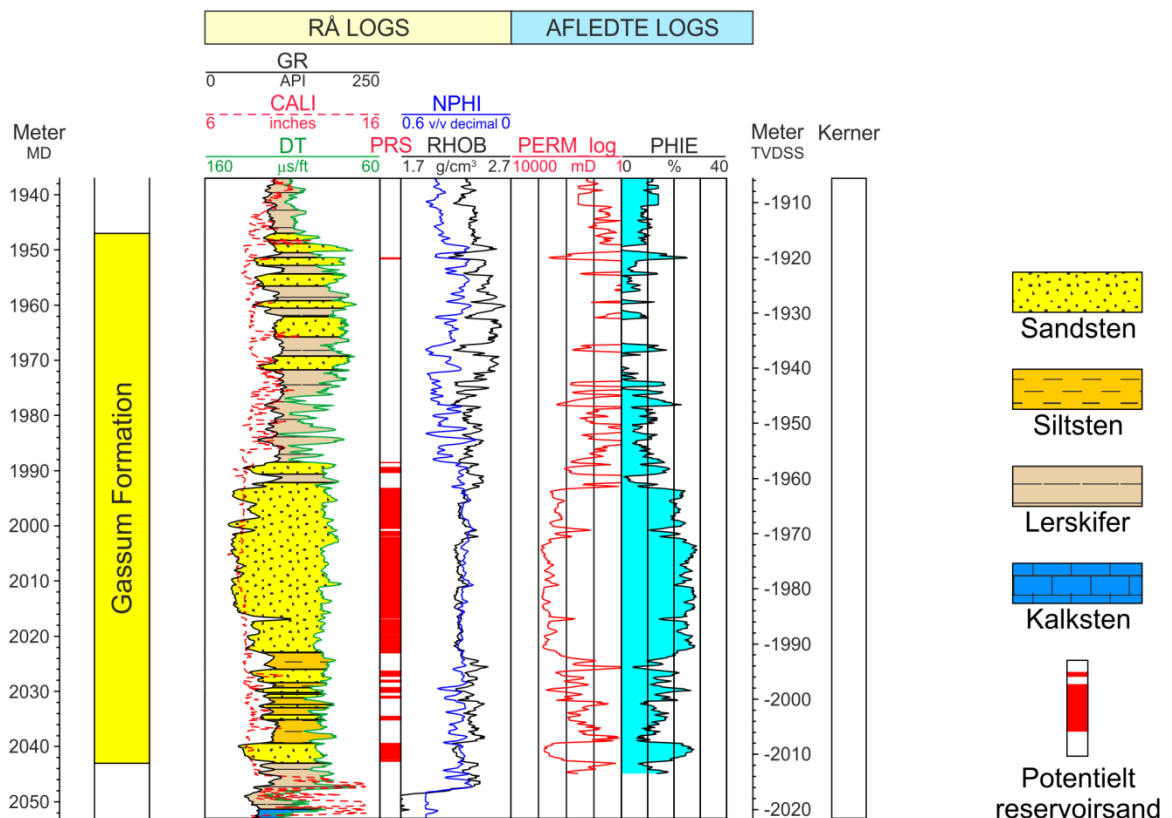
<sup>9</sup> *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

### 5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale samt udtagne sidevægskerner fra Rødding-1 boringen har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Gassum Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten (Figur 6 og 7). På baggrund af logtolkningen er det muligt at underindele Gassum Formationen i tre dele; den nedre del domineres af sandsten der veksler med siltsten, den midterste del består hovedsageligt af sandsten, mens

den øvre del består af skiftende lag af lersten og sandsten (Figur 6 og 7). Beskrivelserne af borespåner og sidevægskerner understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af disse, at sandstenene i den nedre del er meget finkornede, velsorterede, kalkfrie og med kantede til subafrundede sandkorn. Sandstenene i den mellemste del er fin- til mellemkornede, velsorterede, kalkfrie eller svagt kalkholdige og med subafrundede til afrundede sandkorn. Sandstenene fra intervallet beskrives endvidere som værende løse, hvilket må tolkes som, at sandstenene kun er svagt cementerede. I den øvre del beskrives sandstenene som værende meget finkornede, dårligt sorterede, kalkfrie, løse, og med subkantede til subafrundede sandkorn (Dansk Boreselskab 1976). En tilsvarende lithologisk sammensætning samt tekstur og cementering af sandsten antages også at være gældende ved prognoselokaliteten.

## Rødding-1



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Rødding-1 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologikolonnen er afgrænset af gamma (GR) og sonic (DT) loggene. Sektioner med Potentielt reservoirsand (PRS) er markeret med rødt fyld. Porøsitetsestimatet (PHIE) er fremhævet med lyseblåt fyld, og permeabilitetsestimatet (PERM\_log) er plottet som en rød kurve. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.4. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tykkelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

### 5.2.2 Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet

I Rødding-1 er Gassum Formationen 96 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 36 meter (Tabel 5.2). Tolkningen af Gross-sandets tykkelse er baseret på en forudgående tolkning af ler-mængden ud fra gamma-loggen, idet det antages, at mængden af ler er proportional med gamma-loggens respons fratrukket baggrundsstrålingen. I nogle dybdeintervaller indeholder sandstenene i Rødding-1 dog andre radioaktive mineraler end lermineraler. Dette er der forsøgt at tage højde for ved at anvende forskellige gamma-værdier til definering af rent ler for specifikke dybdeintervaller (Tabel 5.6).

På baggrund af tolkningen af ler-mængden er andelen af Gross sand herefter bestemt som den del af et givet dybdeinterval, der har et ler-indhold på mindre end 30 %. Ligeledes er andelen af Potentielt reservoirsand vurderet ud fra den log-tolkede porøsitet samt ler-mængden, idet der både stilles krav til en vis minimumsporøsitet og et maksimalt lerindhold. GEUS har i den forbindelse valgt at definere Potentielt reservoirsand ud fra følgende kriterier: porøsiteten (PHIE) skal være større end 15 %, og samtidig skal ler-indholdet (Vshale) være mindre end 30 %. Ud fra disse kriterier er mængden af Potentielt reservoirsand vurderet til ca. 34 meter i Gassum Formationen. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoirsandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 24 % (Tabel 5.5).

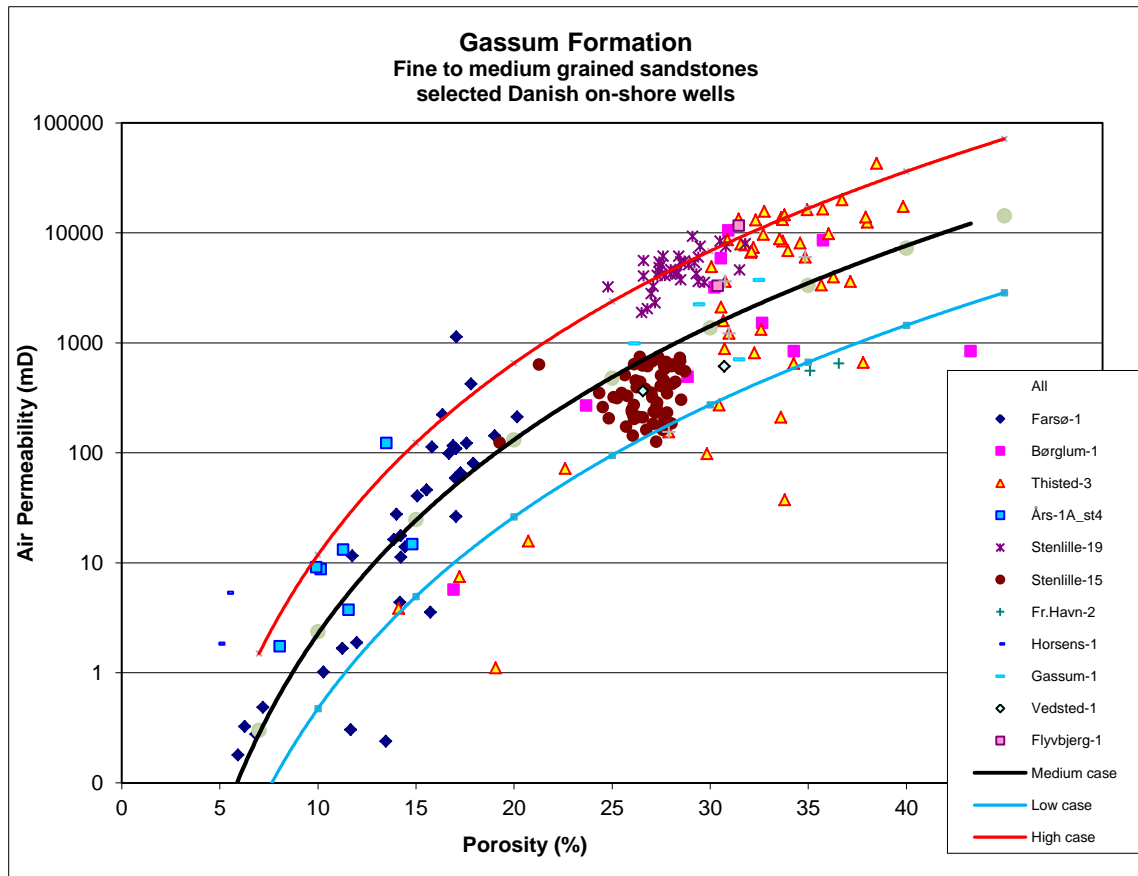
Tabel 5.6: Responsparametre for gamma (GR) log optaget i Rødding-1 boringen.

Responsparametre for gamma (GR) log	Dybdeinterval (meter MD)	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Rødding-1	1947–2015	38	130
	2015–2039	58	160
	2039–2043	38	130

### 5.2.3 Permeabilitet

GEUS har bestemt en sammenhæng mellem kerne-permeabilitet og porøsitet i Gassum Formationen. Denne porøsitet-permeabilitetsrelation er baseret på kerneanalyserdata fra en række danske landboringer beliggende i Jylland og på Sjælland (Figur 8). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Rødding-området, og permeabiliteten er dernæst beregnet for hver log-læsning, dvs. log-porøsiteterne er omregnet til log-permeabiliteter for hver halve fod (15 cm). Under anvendelse af de førnævnte 'cut-off' værdier er den gennemsnitlige gas-permeabilitet (vægtet gennemsnit) for reservoirsandstenene estimeret til ca. 400 mD for Rødding-1. Dette svarer til en reservoir-permeabilitet på omtrent 500 mD. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af omregning til væske-permeabilitet. Rødding-1 blev ikke prøvepumpet, og det er således ikke muligt at vurdere permeabiliteten ud fra testdata. Vurderingen af permeabiliteten bygger derfor i dette tilfælde på erfaringsmæssige sammenhænge, f.eks. som vist i Figur 7, og herudover

er tidligere foretagne vurderinger af Gassum Formationen udenfor studieområdet udnyttet.



Figur 8: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug prøver primært fra sandstenslag i Gassum Formationen. Korrelationen er ikke entydig, og derfor er variationsbredden belyst med 3 tendens-linjer (Høj, Medium og Lav "cases").

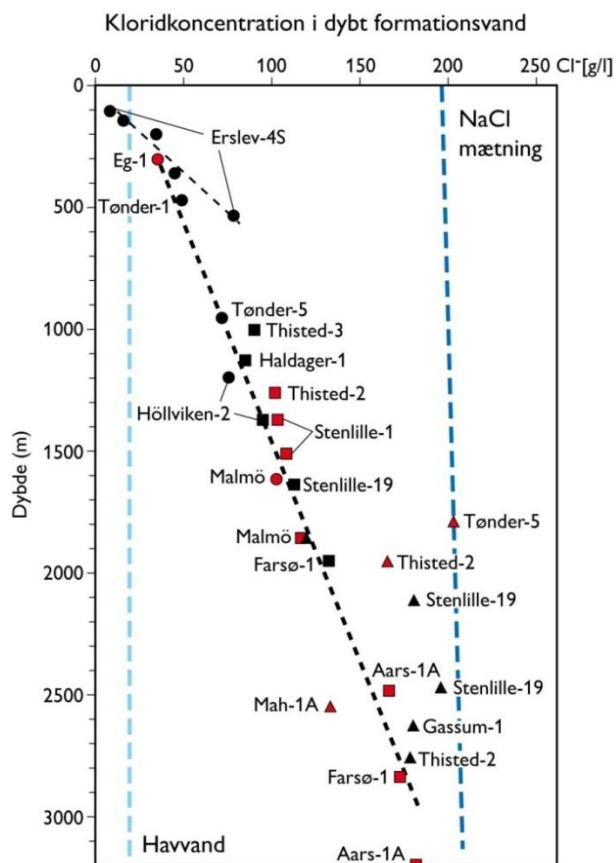
#### 5.2.4 Transmissivitet

Endelig er den forventede transmissivitet beregnet på baggrund af den estimerede reservoir-permeabilitet ganget med tykkelsen af Potentielt reservoirsand. Kort beskrevet er transmissiviteten beregnet som en akkumuleret værdi baseret på de enkelte log-læsninger, de foretagne vurderinger af Potentielt reservoirsand efterfulgt af en erfaringsbaseret opskalering. Transmissiviteten er således en forventet reservoir-transmissivitet; denne er i Rødding-1 og ved prognoselokaliteten vurderet til ca. 17 Darcy-meter. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet ved prognoselokaliteten mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 5; svarende til at dividere, henholdsvis gange, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren indeholder en samlet usikkerhed knyttet til estimeringen af permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.



## 5.4 Salinitet

Ud fra målinger af kloridkoncentrationen i forskellige dybe brønde er der udarbejdet en generel relation mellem dybden og kloridkoncentrationen for formationer, der ikke overlejres af saltlag (Figur 10). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på ca. 134 g/l i en dybde af 2107 meter under terræn svarende til ca. midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten. Kloridkoncentrationen er dermed væsentlig lavere end mætningspunktet for NaCl, der ligger på omkring 204 g/l  $\text{Cl}^-$  ved den pågældende formationstemperatur/-dybde. Alvorlige problemer med saltudfældning som følge af afkøling i et geotermisk anlæg forventes kun, hvis formationsvandet er helt tæt på mætning med NaCl.



Figur 10: Saltholdigheden i dybt formationsvand givet ved kloridkoncentrationen. Klorid-analyserne er foretaget på vandprøver indsamlet i forbindelse med prøvepumpninger (rød signatur) eller vandprøver fra kerner eller andet (sort signatur). Med sort stiplede linje er der vist en tilnærmet lineær relation mellem dybde og kloridkoncentrationen baseret på analyser af vandprøver fra formationer, der ikke overlejres af saltlag. En enkelt undtagelse er dog vandanalysen fra Tønder-5 (rød trekant), der viser mættede saltforhold, og som er medtaget til sammenligning. Vandprøven er fra Bunter Sandsten Formationen, som i Tønder området overlejrer Zechstein salt og selv overlejres af Röt salt. Den mørkeblå stiplede linje angiver ved hvilke kloridkoncentrationer i dybden, der kan forventes mættede forhold. Den lyseblå stiplede linje er ikke dybderelateret, men angiver kloridkoncentrationen i havvand og er medtaget som sammenligningsgrundlag. Trias (▲), Jura inkl. yngste Trias (■), Kridt-Tertiær (●).

## 6. Referencer

Bertelsen, F. 1978: The Upper Triassic – Lower Jurassic Vinding and Gassum Formations of the Norwegian–Danish Basin. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie B, Nr. 3, 26 pp.

Dansk Boreelskab 1976: Rødding-1, Completion Report.

Mathiesen, A., Kristensen, L., Bidstrup, T. & Nielsen, L.H. 2011: Evaluation of the possible geothermal Gassum reservoir in the area around the Rødding-1 well. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport, 16, 30 pp.

Mathiesen, A., Kristensen, L., Nielsen, C.M., Weibel, R., Hjuler, M.L., Røgen, B., Mahler, A. & Nielsen, L.H. 2013: Assessment of sedimentary geothermal aquifer parameters in Denmark with focus on transmissivity. European Geothermal Congress 2013, Pisa, 3–7 June 2013.

Michelsen, O. & Bertelsen, F. 1979: Geotermiske reservoirformationer i den danske lagserie. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Årbog 1978, 151–164.

Michelsen, O., Nielsen, L.H., Johannessen, P.N., Andsbjerg, J. & Surlyk, F. 2003: Jurassic lithostratigraphy and stratigraphic development onshore and offshore Denmark. In: Ineson, J.R. & Surlyk, F. (eds): The Jurassic of Denmark and Greenland. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 1, 147–216.

Nielsen, L.H., 2003: Late Triassic – Jurassic development of the Danish Basin and the Fennoscandian Border Zone, southern Scandinavia. In: Ineson, J.R. & Surlyk, F. (eds): The Jurassic of Denmark and Greenland. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 1, 459–526.

Nielsen, L.H., Nielsen, C.M., Mathiesen, A., Kristensen, L. & Therkelsen, J. 2012: Vurdering af det geotermiske potentiale i området omkring Rødding-1 boringen vest for Skive by. GEUS-notat nr. 08-EN-12-18,

Nielsen, L.H. & Japsen, P. 1991: Deep wells in Denmark 1935-1990: Lithostratigraphic subdivision. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie A, 31, 177 p.

Poulsen, S.E., Balling, N. & Nielsen, S.B. 2013: Analysis of bottom hole temperatures on – and nearshore Denmark. Progress report, Department of Geoscience, Aarhus University, 22 pp.

Vejbæk, O.V. & Britze, P. 1994: Geologisk kort over Danmark/Geological map of Denmark 1:750.000. Top præ-Zechstein/Top pre-Zechstein. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie, 45, 9 pp.