



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Thisted

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
DATO
TIL
KOPI
FRA
PROJEKTNR

Thisted - Beskrivelse fjernvarmeområde
10. oktober 2014
Energistyrelsen

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)
A044062

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk

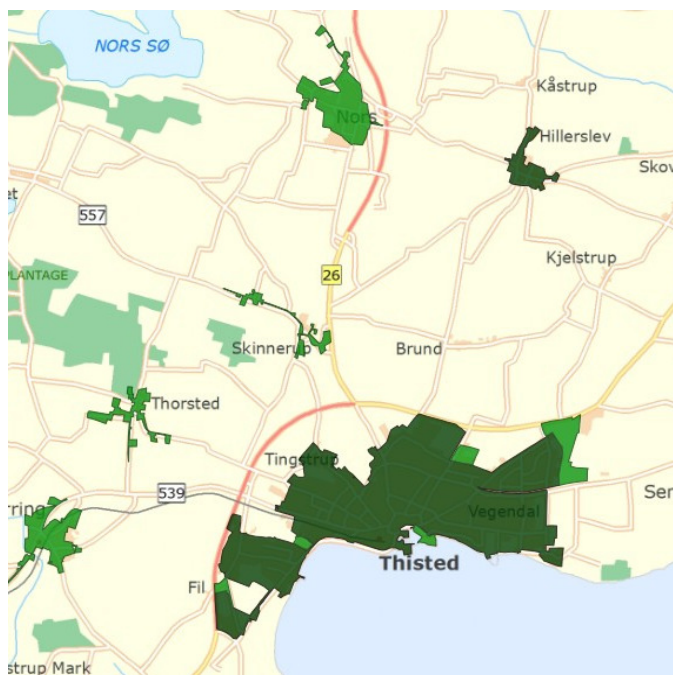
SIDE 1/4

1 Thisted fjernvarmeområde

1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i Thisted by varetages af Thisted Varmeforsyning a.m.b.a.

Nedenstående kort viser det nuværende forsyningsområde i Thisted by og Hillerslev. Hillerslev forsynes via transmissionsledning.



Figur1 Oversigtskort over Thisted Varmeforsynings forsyningsområde i Thisted by og Hillerslev

Varmen til området produceres primært på affaldskraftvarmeverket (63%), det halmfyrede anlæg (23%), geotermianlæg (10%) og fra naturgasfyrede spids- og reservelastkedler (4%).

Geotermianlægget blev idriftsat i 1984 som pilotprojekt og i 1988 som demonstrationsprojekt.

Det tidligere affaldsforbrændingsanlæg Thyra blev ombygget til det nuværende affaldsfyrede kraftvarmeværk I/S Kraftvarmeværk Thisted i 1991.

Halmvarmeværket blev etableret i 2005.

I 2006 fusioneredes med Hillerslev Kraftvarmeværk og der blev etableret en transmissionsledning fra Thisted til Hillerslev.

Endvidere er der etableret et fjernkølesystem i Thisted midtby med p.t. 9 tilsluttede forbrugere

Nedenstående tabel viser varmebehovet for Thisted Varmeforsynings forsyningsområder (Thisted by og Hillerslev).

Tabel 1 Nuværende og fremtidigt varmegrundlag

Varmegrundlag					
Thisted					
MWh/år	2012*	2013*	2015**	2025**	2035**
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	170.639	177.354	177.354	177.354	177.354
Distributionstab	28.852	24.224	24.224	24.224	24.224
An net	199.491	201.578	201.578	201.578	201.578
TJ/år					
Nettovarme	614	638	638	638	638
Distributionstab	104	87	87	87	87
An net	718	726	726	726	726
* Kilder Årsrapport 2013 og DF's 2012					
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år	622 TJ/år samlet an net				
hvoraf varmeliverancen fra forbrændingsanlægget udgør 408 TJ (65%)					
Ovenstående varmebehov indikerer et større varmegrundlag end i ENS udbud					
Forskel kan måske skyldes at Hillerselv ikke indgår i ENS-tal					
I 2013 udgjorde affaldsleverancen 63%, hvilket passer fint med ENS data					

** Varmebehovet kan jf. Thisted Fjernvarme forudsættes konstant.

Det fremgår af årsrapport 2013, at der udestår 175 potentielle forbrugere. Der foregår ikke nogen speciel markedsføring, da fjernvarmeprisen er markant billigere i området end anden opvarmning.

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

Tabel 2 Temperaturforhold

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
76	43	78	40

Det maksimale effektbehov udgør i størrelsesordenen 50 – 60 MW.

1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur i Thisted.

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	Affald	Skovflis	Naturgas	Halm	Brændselsfrit	
Thisted by																	
Thisted Varmeforsyning AMBA, Geotermisk	Hedtvandskedel	Naturgas	6	6	10	0	11		110%	01-01-1988					6,3		
Thisted Varmeforsyning AMBA, Geotermisk	Geotermi	Brændselsfrit	79	79	9	0	8		97%	01-01-1988						78,6	
Thisted Varmeforsyning AMBA, Geotermisk	Kedel	Halm	162	179	12	0	10		85%	01-11-2005					179,5		
Thisted Varmeforsyning AMBA, Central Vest	Kedel	Naturgas	8	8	17	0	18		106%	01-01-1961					7,8		
Thisted Varmeforsyning AMBA, Central Nord	Forbrændingsmo	Naturgas	0	0	2	1	1	35%	41%	01-11-1997					0,3		
Thisted Varmeforsyning AMBA, Central Nord	Kedel	Naturgas	11	11	27	0	27		100%	01-01-1967					10,5		
I/S Kraftvarmeværk Thisted	Damp turbine	Affald	452	566	16	3	14	20%	80%	01-01-1991		515,5	49,4		1,3		
Total			717				89										

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.

Anlæggenes geografiske placering er illustreret nedenfor.



Figur 3 Geografisk placering af varmeproduktionsanlæg

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

Der foreligger ikke nogen umiddelbart tilgængelige oplysninger om den fremtidige forsyningsstruktur.

Affaldskraftvarmeværket skal renoveres i løbet af en årrække, men der foreligger ikke en tidsplan herfor.

Det fremgår af seneste årsberetning (2013) at man også fremadrettet vil optimere på energiindkøb og produktion med henblik på at holde varmeprisen så lav som mulig.

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt nyt geotermianlæg ved den eksisterende geotermibrønd Thisted 3, beliggende på adressen Flintborgvej 2.

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 Thisted

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Thisted. 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.: Thisted_2014_07_28.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Thisted leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Thisted Varmeforsyning (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014).

Der tages udgangspunkt i en placering ved det eksisterende geotermianlæg ved kraftvarmeværket på Industrivej.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Thisted i det Danske Bassin, et indsynkningsområde med tykke aflejringer, hvoraf nogle lag anses som egnede for geotermisk varmeproduktion. Det eksisterende geotermiske anlæg producerer fra Gassum Formationen, og geologiske data stammer fra dette anlæg. Usikkerheden på de geologiske parametre er meget lav, da der er tale om data fra de eksisterende geotermiboringer. De geologiske data, der indgår i anlægsberegningerne, er vist i Tabel 1.

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	29
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	1216
Temperatur@midt reservoir	°C	45
Tykkelse af formation	m TVT	135
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	70
Transmissivitet	Dm	114
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	726
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	Geotermi med forret: 8 MW, drivvarme til rådighed: halm 10 MW & affald 14 MW
Fremløbstemperatur vinter	°C	78
Returløbstemperatur vinter	°C	40
Fremløbstemperatur sommer	°C	76
Returløbstemperatur sommer	°C	43
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger.

4 Beregninger for et geotermianlæg

Der regnes på en levetidsforlængelse og udvidelse af det eksisterende geotermianlæg på et tidspunkt, hvor anlægget ellers ville være udtjent og nedskrevet til nul værdi.

Der udføres én ny produktionsboring, idet de eksisterende boringer kan genanvendes til reinjektion af geotermivand. Overflade anlægget total renoveres og budgetteres til det halve af omkostningerne til et nyt overfladeanlæg. I prisen er der indregnet udgiften til en ekstra varmepumpe. Supplerende seismiske data vil blive indregnet som den halve omkostning af hvad der er oplyst i forudsætningerne, dvs. 5 mio. kr.

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, og der er foretaget en vægtet midling af temperaturniveauerne over året. 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".

I standardberegningen forudsættes der anvendt absorptionsvarmepumper, og drivvarme forudsættes at være til stede ved 160 °C. Det forudsættes at varmen fra eksisterende halmforbrændingsanlæg fortsat kan benyttes som drivvarme, og at dette evt. vil kunne suppleres med drivvarme fra affaldsforbrændingsanlægget. 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.

5 Resultater

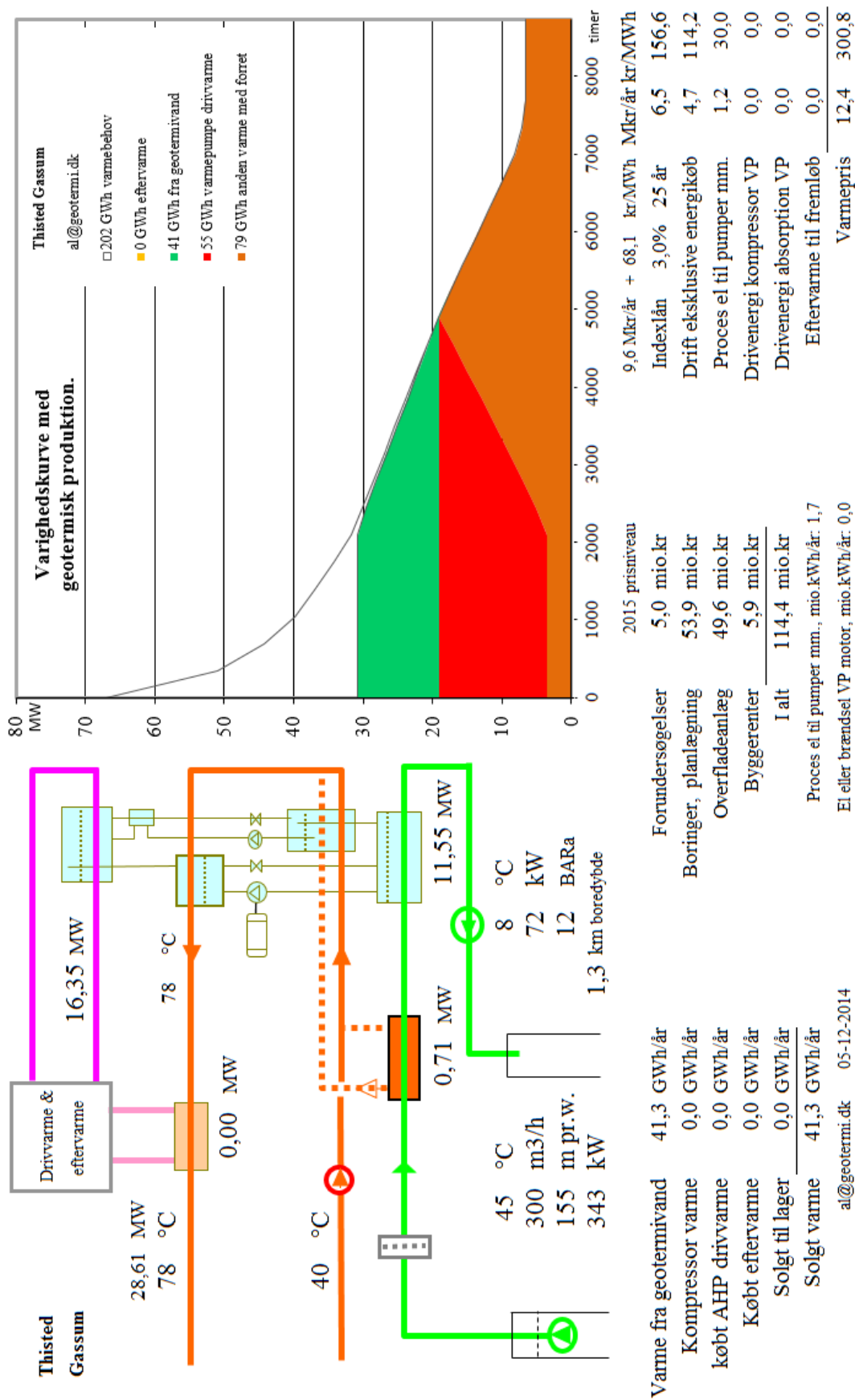
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for geotermiPRO-beregning i Figur 1, der indeholder anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal.

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper og placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 114 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 12,3 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 28,6 MW.

Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 41 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 301 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 lav.



Figur 1: Output fra geotermiPRO.

Beregningsresultater Geotermianlæg ved Thisted	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El- varmepump er	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	
Anlægskapacitet (vinter)					
1) Effekt fra geotermivand	MW	12,261			
2) Effekt fra drivvarme	MW	16,348			
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000			
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	28,605			
5) Proces el	MW	0,509			
6) Varmepumpe el	MW	N/A			
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000			
8) Drivvarme	%	133,716			
9) Eftervarme	%	0,000			
10) Varme til fjernvarmevand	%	233,716			
11) Proces el forbrug	%	3,998			
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A			
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	108,535			
14) Byggerenter	mio. kr	5,879			
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	3,147			
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	38,072			

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.
- 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 Thisted. 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 implementeret 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."

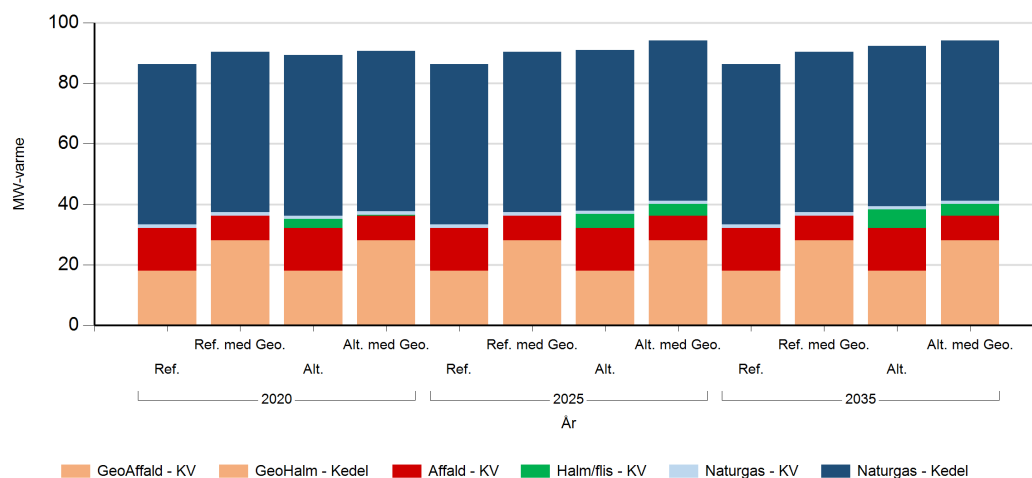
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- 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 m²
- 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 Thisted fordelt på brændsler og anlægstyper. For alle fjernvarmeområder er der yderligere indsat tilstrækkelig oliespidslastkapacitet til at dække spidsbehovet.

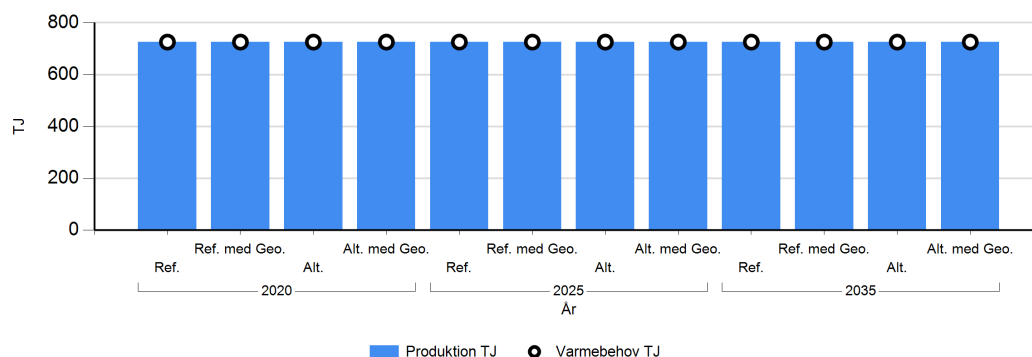
Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

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.
Halm/flis - KV			3.0	0.3			4.6	3.8			6.0	3.8
Naturgas - Kedel	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0
Naturgas - KV	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
GeoAffald - KV		10.1		10.1		10.1		10.1		10.1		10.1
GeoHalm - Kedel	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Affald - KV	14.2	8.2	14.2	8.2	14.2	8.2	14.2	8.2	14.2	8.2	14.2	8.2

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

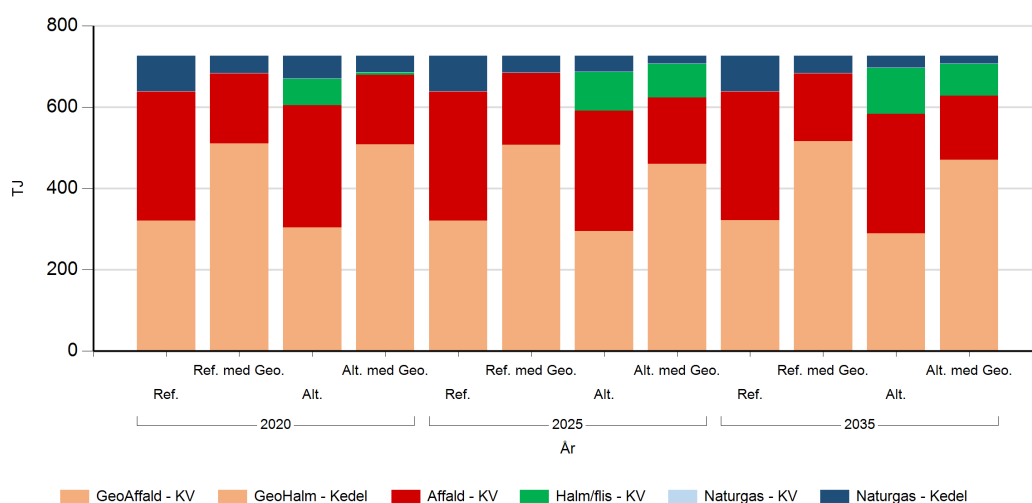
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov for Thisted. 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 Thisted.

TJ Brændsler og Anlægstype	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.
GeoAffald - KV		218,2		216,9		215,0		198,3		223,3		206,9
Halm/flis - KV			65,2	6,1			95,2	83,0			113,5	79,4
Naturgas - Kedel	86,7	41,8	55,5	39,5	86,2	41,4	39,0	18,2	87,1	42,2	28,7	18,7
Naturgas - KV	0,8	0,6	0,6	0,6	1,3	1,0	1,0	0,7	0,4	0,3	0,3	0,1
GeoHalm - Kedel	319,8	292,3	303,1	290,8	319,9	292,3	294,5	261,8	320,9	292,3	289,5	263,3
Affald - KV	318,1	172,5	301,1	171,5	318,1	175,7	295,7	163,5	317,0	167,4	293,5	157,1

Tabel 2: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Thisted.

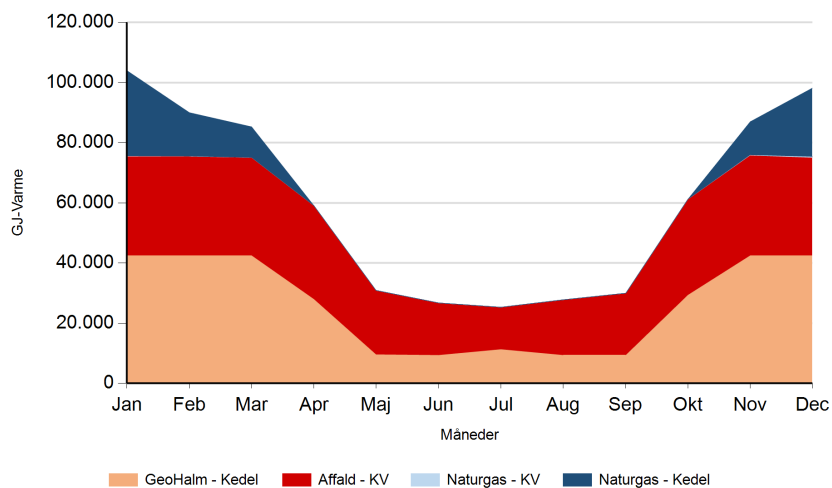
Fuldstimer for varmeproduktion

Fuldst 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.
GeoAffald - KV		6.010		5.974		5.922		5.461		6.150		5.698
Halm/flis - KV			6.119	5.983			5.567	6.081			5.240	5.810
Naturgas - Kedel	454	219	291	207	452	217	204	95	456	221	150	98
Naturgas - KV	198	157	157	157	332	260	260	168	92	73	69	38
GeoHalm - Kedel	4.936	4.511	4.677	4.488	4.937	4.511	4.545	4.040	4.953	4.511	4.467	4.063
Affald - KV	6.213	5.851	5.879	5.818	6.211	5.959	5.776	5.545	6.191	5.678	5.731	5.329

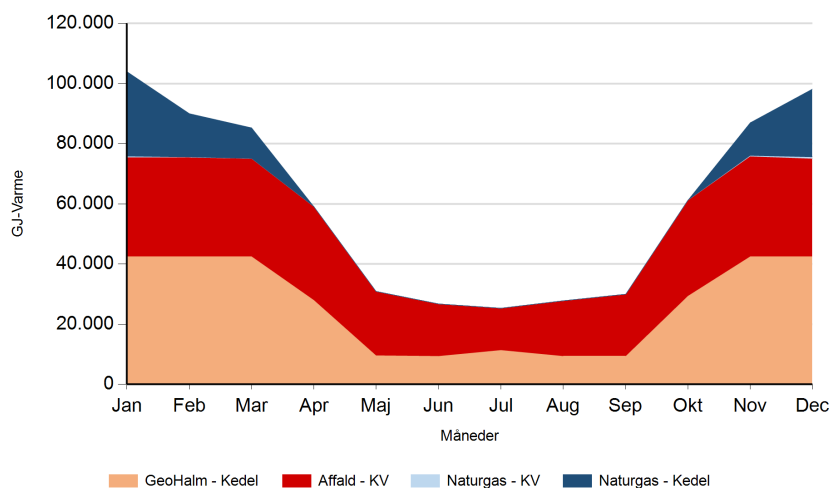
Tabel 4: Antal af fuldstimer for varmeproduktion i Thisted.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Thisted.

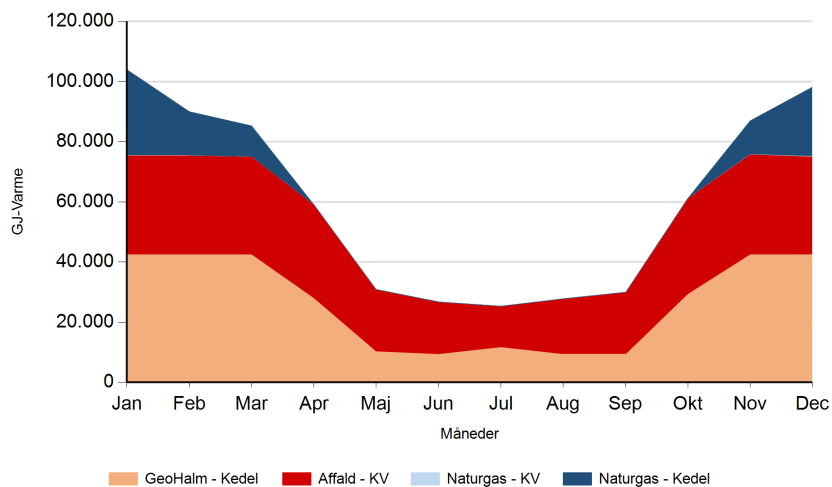
Ref. 2020



2025

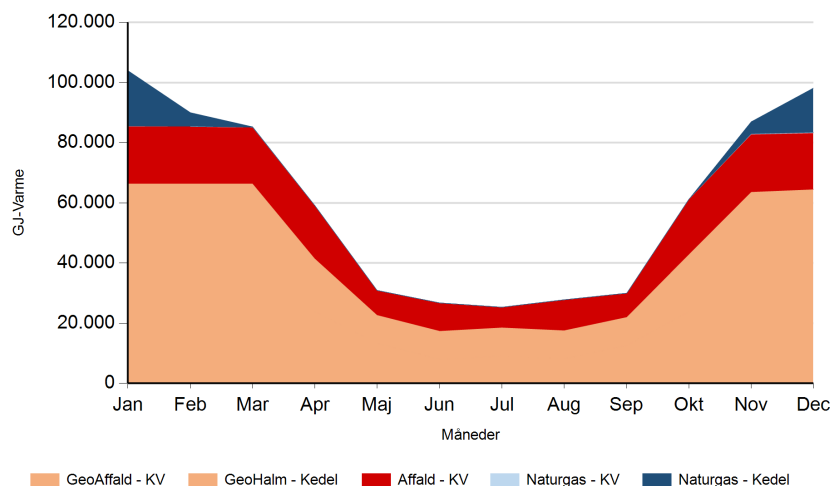


2035

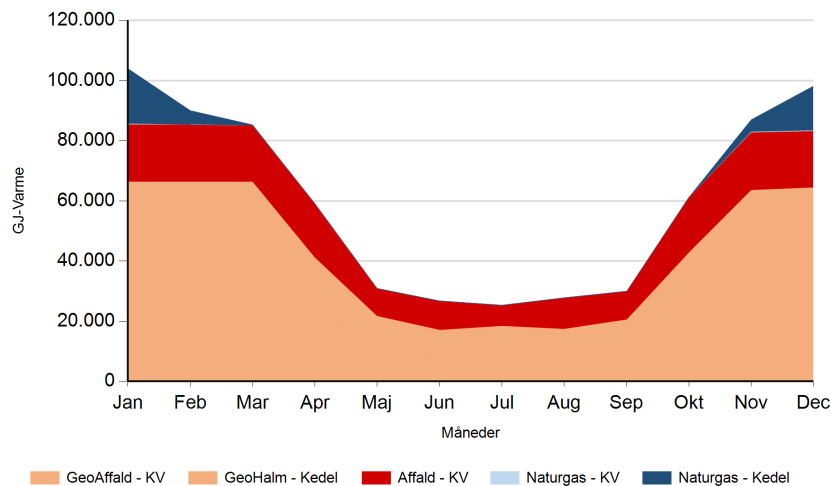




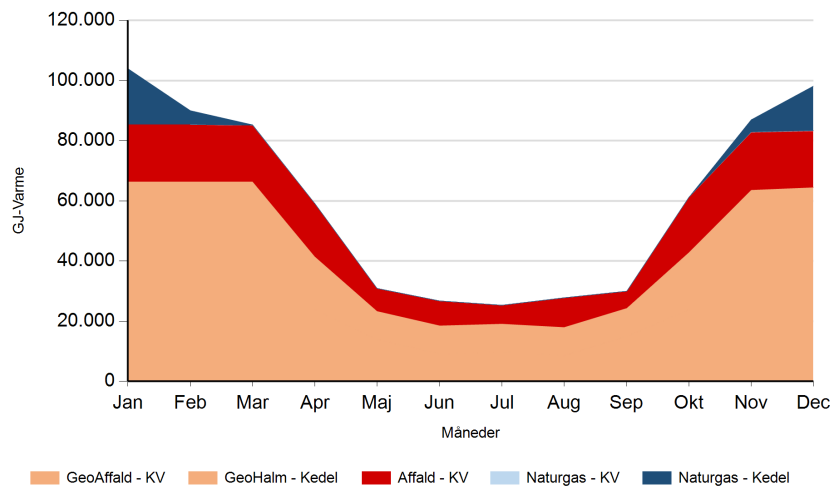
Ref. med Geo. 2020



2025



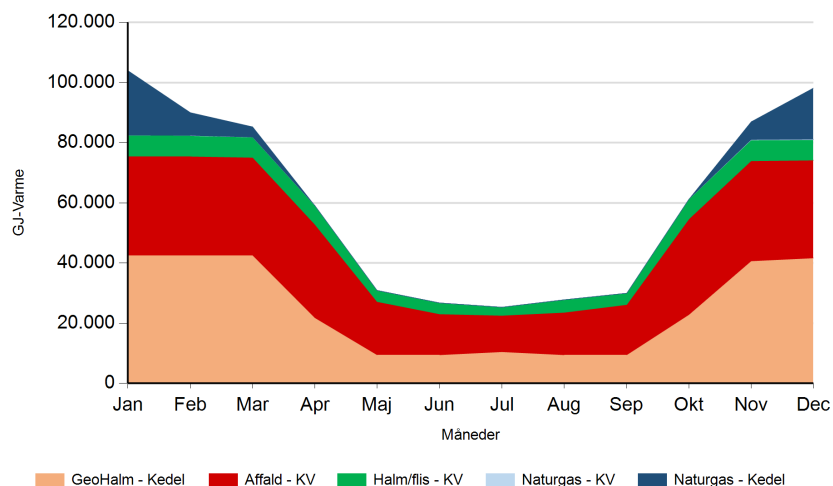
2035



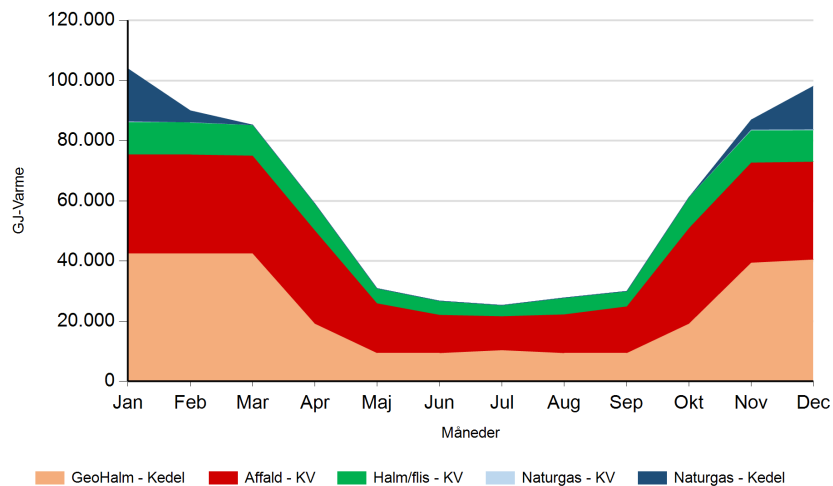


Alt.

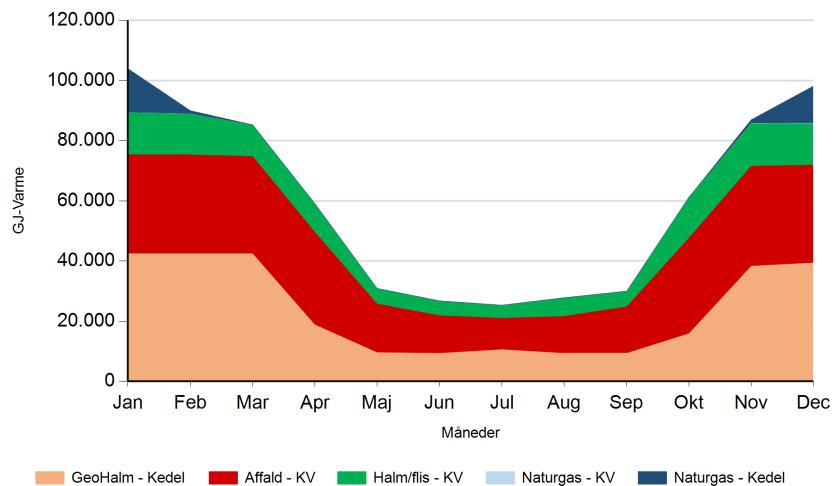
2020



2025

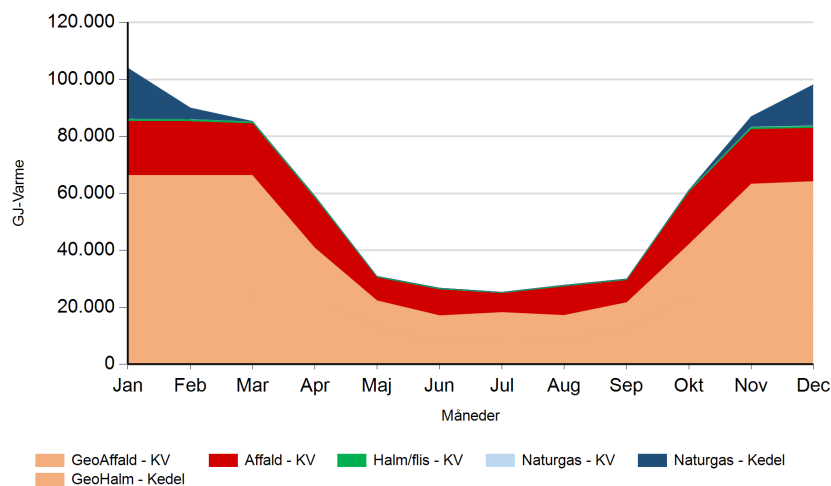


2035

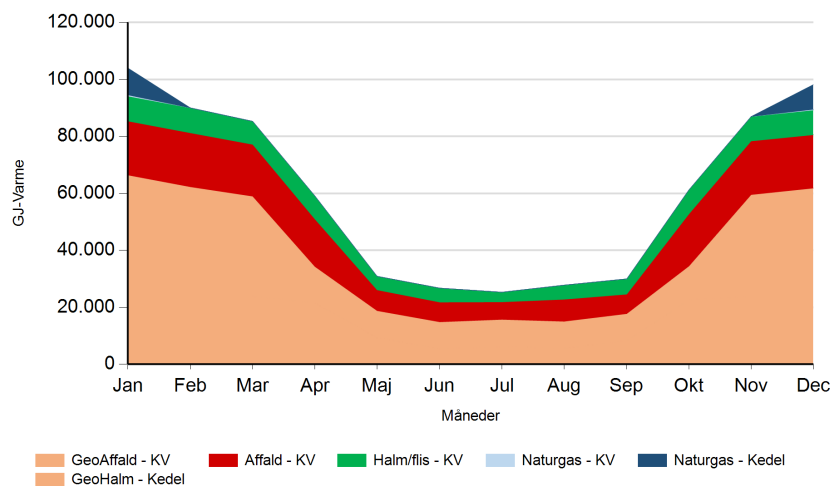




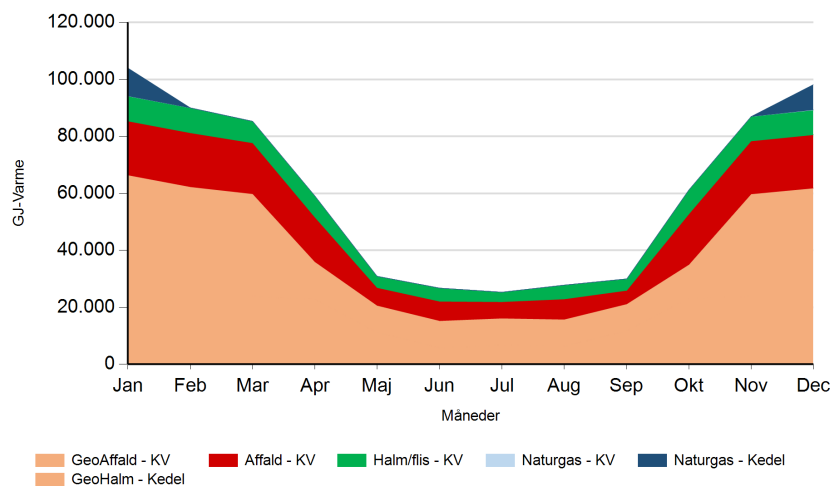
Alt. med Geo. 2020



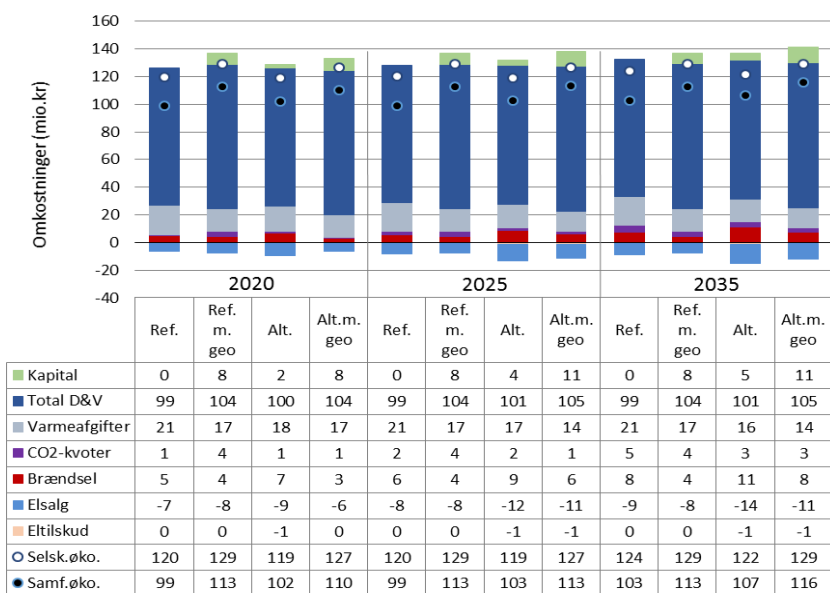
2025



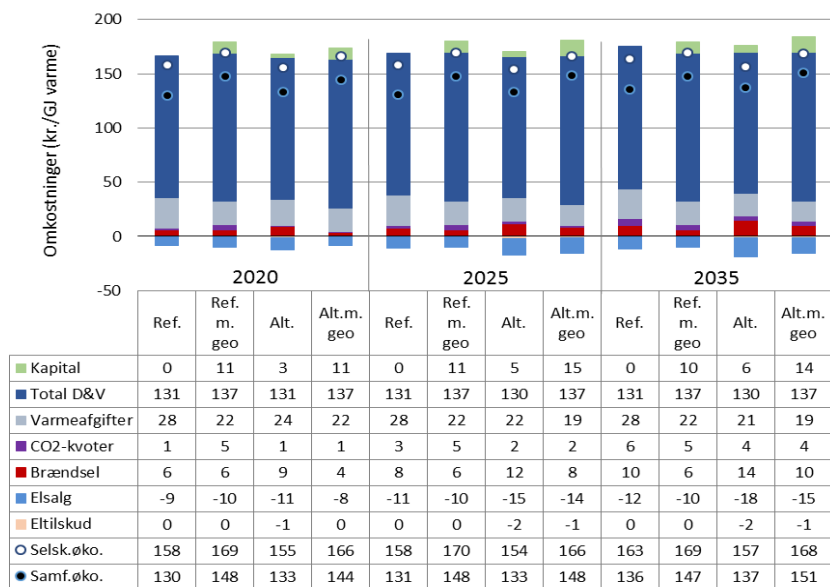
2035



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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Thisted



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Thisted

Det geotermiske screeningsprojekt

Thisted-lokaliteten

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



Indhold

1.	Introduktion	3
2.	Geologisk baggrund	5
3.	Resultater for Thisted-lokaliteten	8
3.1	Anbefalinger	10
4.	Datagrundlag	11
5.	Gennemgang af data	13
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.....	21
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	24
5.2.3	Permeabilitet.....	25
5.2.4	Transmissivitet	26
5.3	Temperatur	27
5.4	Salinitet.....	29
6.	Referencer	30

1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet i Thisted-området. Thisted 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 i udgangspunktet 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 sandstensreservoirer i det rette dybdeinterval for geotermisk indvinding. De geologiske data skal efterfølgende indgå som et input til at estimere varmeeffekt, 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. Geotermi WebGIS portalen vil udgøre et godt udgangspunkt, hvis det geotermiske potentiale ønskes vurderet andre steder i Thisted-området.

Thisted Fjernvarme skiller sig sammen med Sønderborg og Storkøbenhavns Fjernvarme ud fra de øvrige udvalgte fjernvarmeområder ved, at en geotermisk produktion allerede er etableret. Der er derfor ikke taget udgangspunkt i en prognoselokalitet i den geologiske screening af Thisted-området, men i data fra de etablerede geotermibrønde. Som en konsekvens heraf er diverse prognosebetragtninger nedtonet i gennemgangen af Thisted-området, og de geologiske data, der skal indgå i de økonomiske beregninger, tager i stedet udgangspunkt i de faktiske målte værdier (dybde, temperatur) og estimerede reservoirparametre (porøsitet, permeabilitet, transmissivitet) baseret på analyser af borehulsmålinger og kerneanalyser samt eksisterende beskrivelser af kerner og borespåner fra Thisted-2 (produktionsbrønden) og sekundært Thisted-3 (injektionsbrønden). Den estimerede transmissivitet sammenlignes endvidere med den transmissivitet, der er fremkommet på baggrund af tolkninger af data fra prøvepumpninger (testdata).

I Thisted indvindes vand med en gennemsnitstemperatur på ca. 45 grader fra et ca. 34 meter tykt reservoirinterval i Gassum Formationen. Reservoirintervallets top er beliggende ca. 1200 meter under havniveau i Thisted-2 og ca. 1173 meter under havniveau i Thisted-3. Det geotermiske anlæg blev taget i brug i 1984 og er beliggende umiddelbart nord for Thisted by (Figur 1). Der

2. Geologisk baggrund

Thisted-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 hævning 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.

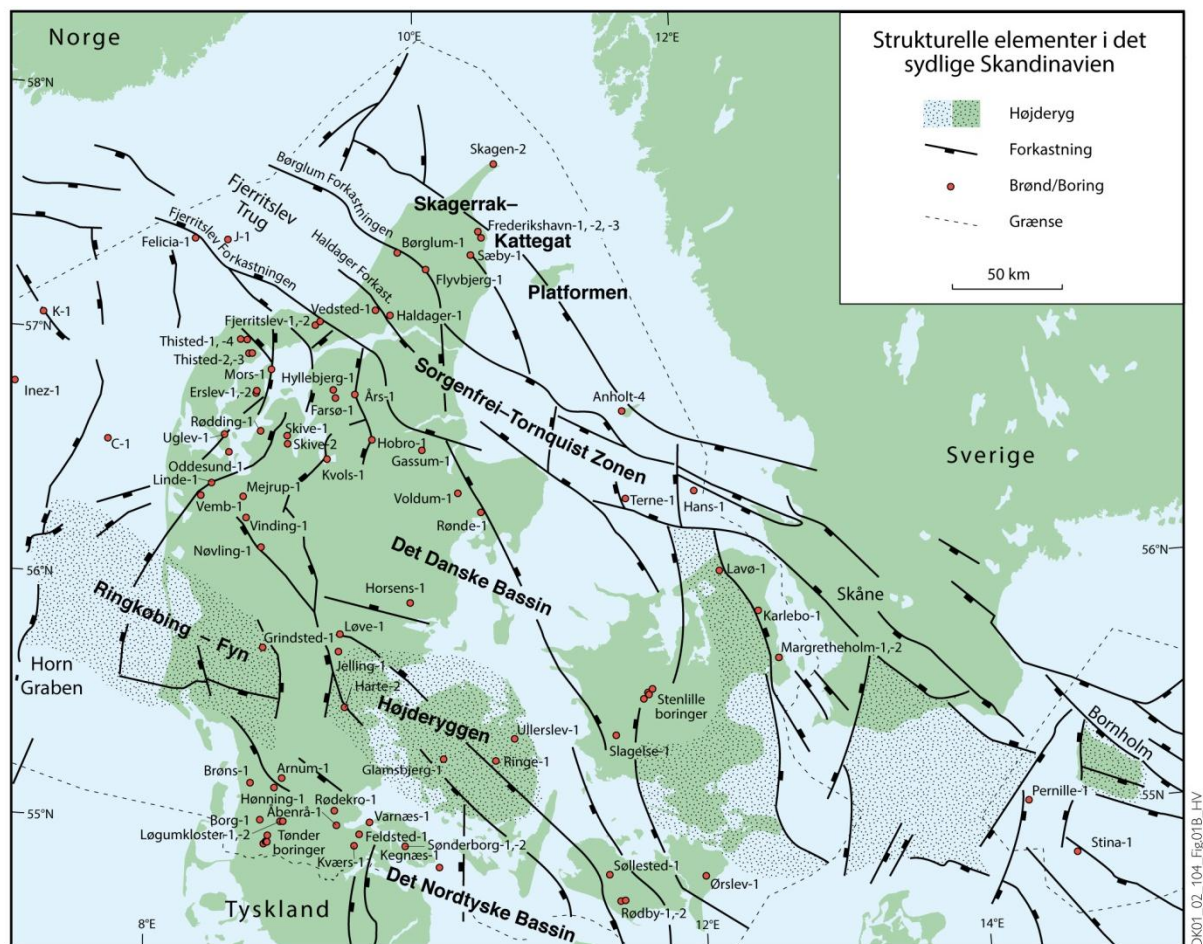
I Thisted-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien 5,0–5,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I den nordlige halvdel af Thy, som Thisted-området er beliggende indenfor, vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirer primært at være til stede i den Nedre–Øvre Triassiske Skagerrak Formation, den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation samt den Mellem Jurassiske Haldager Sand Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at formationerne vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirer, og at de i større områder vurderes til at være beliggende indenfor dybdeintervallet 800–3000 meter, der anses for egnet til dyb geotermisk indvinding. Forud for etableringen af det geotermiske anlæg i Thisted blev der lavet reservoirtest af Skagerrak og Gassum formationerne baseret på data fra Thisted-2 brønden. Testene viste, at Gassum Formation var mest egnet til en geotermisk produktion. Ligeledes blev Gassum Formationen foretrukket frem for Haldager Sand Formation, da den ligger dybere i un-

dergrunden, og det geotermiske vand dermed også har en højere temperatur end i Haldager Sand Formationen. Nærværende gennemgang af det geotermiske potentiale ved Thisted-lokaliteten har derfor fokus på Gassum Formationen.

Generelt gælder det, at 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 foruden i Thisted også til geotermisk indvinding i 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 på grund af lokal hævnning og erosion relateret til saltbevægelse i undergrunden.

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 dækket af et lavvandet havområde, hvortil floder transporterede store mængder af sand eroderet fra det Skandinaviske grundfjeldsområde. 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 reservoiregenskaberne.



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 Thisted-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Thisted-lokaliteten er samlet i Tabel 3.1. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden 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.

De geologiske data vurderes positive med hensyn til om reservoirintervallet i Gassum Formationen egner sig til en geotermisk produktion. Dette er naturligvis ikke overraskende, da reservoirdata stammer fra de borer, der knytter sig til det geotermianlæg, der blev sat i drift i 1984, og som har kørt succesfuldt siden da. Reservoiregenskaberne er estimeret ud fra analyser af petrofysiske logdata fra Thisted-2 og Thisted-3. De petrofysiske beregningsmetoder, der ligger bag estimererne, er tilpasset og kalibreret resultaterne af porøsits- og permeabilitetsmålinger på kernemateriale af Gassum Formationen fra Thisted-3.

Sandstenene i Gassum Formationen viser generelt meget høje porøsitet- og permeabilitetsværdier ved Thisted-lokaliteten, hvilket sandsynligvis skyldes, at formationen ikke ligger så dybt i undergrunden. Dette afspejler sig også ved en høj reservoirtransmissivitet på 114 Darcy-meter. Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoirkvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som "Potentielt reservoirsand" i Figur 6-8). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et generelt lavt lerindhold (<30 %). Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydeevne, beregnet ved at gange tykkelsen af Potentielt reservoirsand med reservoirsandstens gennemsnitspermeabilitet efterfulgt af en erfaringsbaseret opskalering. Pumpetestdata fra Thisted-2 og trykmålingsdata fra Thisted-3 viser ligeledes høje transmissiviteter på henholdsvis 125 Darcy-meter og 118 Darcy-meter. I geotermisk sammenhæng bør reservoirtransmissiviteten være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013*), og dette er således til fulde opfyldt for Thisted lokaliteten. Temperaturen er estimeret til 45 grader i midten af reservoiret i produktionsbrønden (Thisted-2) - i høj grad baseret på højpræcisionsmålinger af temperaturen i injektionsbrønden (Thisted-3).

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, er Fjerritslev Formationen ca. 100 meter tyk med toppen beliggende ca. 1030 m.u.h. i Thisted-2 produktionsbrønden. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer er ca. 800 meter tykke med toppen beliggende ca. 800 m.u.h. i Thisted-2 (Nielsen & Japsen 1991).

**I Mathiesen et al. 2013 angives det, baseret på foreløbige kriterier, at reservoirets 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.

Thisted-lokaliteten			
UTMz32 X: 482.716 m; Y: 6.313.729 m Terrænkote: 29 meter over havniveau (m.o.h.)			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1119	1 ³	1108–1130 ³
Tykkelse af formation [m]	135	1 ³	134–136 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	95	5 ³	90–100 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	70	5 ³	67–74 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,52	5 ³	0,49–0,55 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,74	5 ³	0,70–0,78 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	25	6 ³	24–27 ³
Gas-permeabilitet [mD]	1300	3 ⁷	433–3900 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	1625	3 ⁷	542–4875 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	114	3 ⁷	38–342 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	45	1 ³	45–45 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt fin til mellem kornstørrelse, i nogle intervaller grovkornet; ringe sorteret til velsorteret; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Løs og let-smuldrende, svagt cementeret eller ikke cementeret		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Mellem		
Strukturel kontinuitet	Mellem på regional skala pga. saltstrukturer og ledsagende forkastninger. Ingen store forkastninger identificeret omkring "prognoselokaliteten".		

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

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

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

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

⁵ Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af formation.

⁶ Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af Gross sand.

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

⁸ 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.

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

¹⁰ Temperatur er den estimerede temperatur i midten af reservoiret i produktionsbrønden baseret på den målte gennemsnitstemperatur i reservoiret i injektionsbrønden.

3.1 Anbefalinger

Der er planer om at supplere det geotermiske anlæg i Thisted med enten endnu en produktions- eller injektionsbrønd, og en nærmere udredning af de geologiske og reservoirmæssige forhold er i den forbindelse foretaget med henblik på at kunne placere en eventuelt kommende brønd mest hensigtsmæssigt (Hjuler et al. 2013). Udredningen omfatter blandt andet en tolkning af den eksisterende seismik for at kunne kortlægge dybden til toppen af Gassum Formationen og eventuelle forkastninger; en tolkning af formationens reservoiregenskaber baseret på petrofysiske logtolkninger, eksisterende porøsitets- og permeabilitetsmålinger på kernemateriale samt brøndtest data; en detaljeret kernebeskrivelse med henblik på at tolke markante vertikale og laterale skift i reservoirets sammensætning (reservoirsandsten kontra ler-og siltsten) som afspejles ved logdata fra Thisted-1, Thisted-2, Thisted-3 og Thisted-4; en reservoirmodel for at kunne simulere produktionshistorien (1984–2013) og forventet resterende tid inden afkølet injektionsvand når frem til produktionsbrønden (Thisted-2) samt for at kunne simulere produktions/injektions-scenarier ved forskellige placeringer af en supplerende produktions- eller injektionsbrønd.

4. Datagrundlag

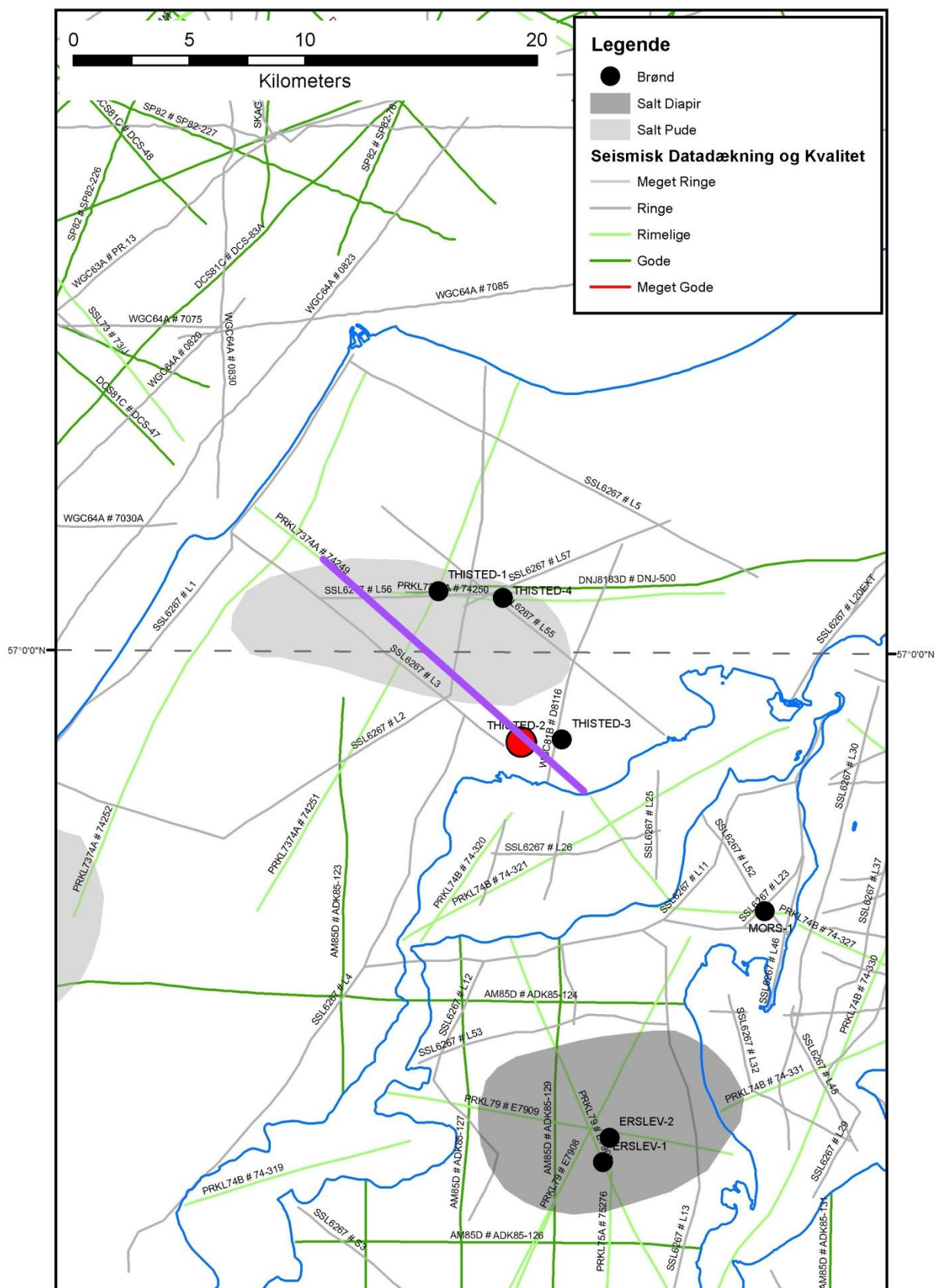
I Figur 3 er den tilgængelige database i Thisted-området og i regionen vist i form af placeringen af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer.

Placeringen af "prognoselokaliteten" er markeret ved produktionsbrønden Thisted-2. Nærmeste brønde er injektionsbrønden Thisted-3 samt Thisted-4 og Thisted-1, som befinder sig henholdsvis ca. 1,5; 6,3 og 7,5 km fra Thisted-2. I Thisted-3 er Gassum Formationen kun delvis gennemboet. Thisted-1 og Thisted-4 er beliggende over toppen af Thisted-saltputen, mens de 2 geotermiboringer er beliggende over saltputens sydlige flanke. Dette afspejler sig i dybden ned til toppen af Gassum Formationen i de fire brønde, som øges i sydlig retning fra 710 m.u.h. i Thisted-1 til 1119 m.u.h. i Thisted-2 (Tabel 4.1). På lidt større afstand befinder Mors-1, Erslev-2 og Erslev-1 sig i en afstand fra "prognoselokaliteten" på henholdsvis ca. 12,5; 17,5 og 18,5 km. Gassum Formationen er til stede i alle de nævnte brønde på nær i Erslev-1 og Erslev-2, hvor udviklingen af den underliggende Mors saltdiapir sandsynligvis har resulteret i hævnning og borterosion eller saltgennemtrængning af Gassum Formationen. I alle Thisted-brøndene, på nær Thisted-4, er der optaget en log-suite, som kan anvendes til vurdering af reservoirkvalitet. Da der endvidere findes kernedata fra Thisted-3 og brøndtestdata af Gassum Formationen i Thisted-2 og Thisted-3, vurderes datadækning og -kvalitet med hensyn til brøndata som værende god i vurderingen af "prognoselokaliteten".

Kvaliteten af de seismiske linjer, der er indsamlet i regionen, er markeret med farver i Figur 3 og 4 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. I vurderingen af "prognoselokaliteten" vurderes den seismiske datatæthed som værende rimelig, men kvaliteten af de seismiske data er gennemgående ringe til rimelig.

Tabel 4.1: De enkelte brøndes omtrentlige afstand til Thisted-2 ("prognoselokaliteten"), er angivet i parentes under brøndnavnet. Brøndenes placering fremgår endvidere på oversigtskortene i Figur 2 og 3.). Formationer, der ikke er gennemboet (ikke til stede), men hvor stratigrafisk dybdereliggende lag er anført, er markeret med "-" i tabellen. Tykkelse er i meter, og dybdeinterval er i meter under havniveau (data fra Nielsen & Japsen 1991).

		Thisted-2 (0 km)	Thisted-3 (1,5 km)	Thisted-4 (6,3 km)	Thisted-1 (7,5 km)	Mors-1 (12,5 km)	Erslev-2 (17,5 km)	Erslev-1 (18,5 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	3–806	-26–802	-30–476	-29–457	125–1482	63–707	33–562
	Tykkelse (m)	803	828	506	486	1357	643	529
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1028–1119	987–1093	622–740	600–710	2137–2750	-	-
	Tykkelse (m)	91	106	118	110	613	-	-
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1119–1254	1093–1208	740–854	710–835	2750–2917	-	-
	Tykkelse (m)	135	>115	114	137	167	-	-



Figur 3: Placering af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. "Prognose-lokaliteten" (rød cirkel) er givet ved placeringen af Thisted-2 (produktionsbrønden). Den del af den seismiske linje 74249, som er fremhævet med fed lilla streg, er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.

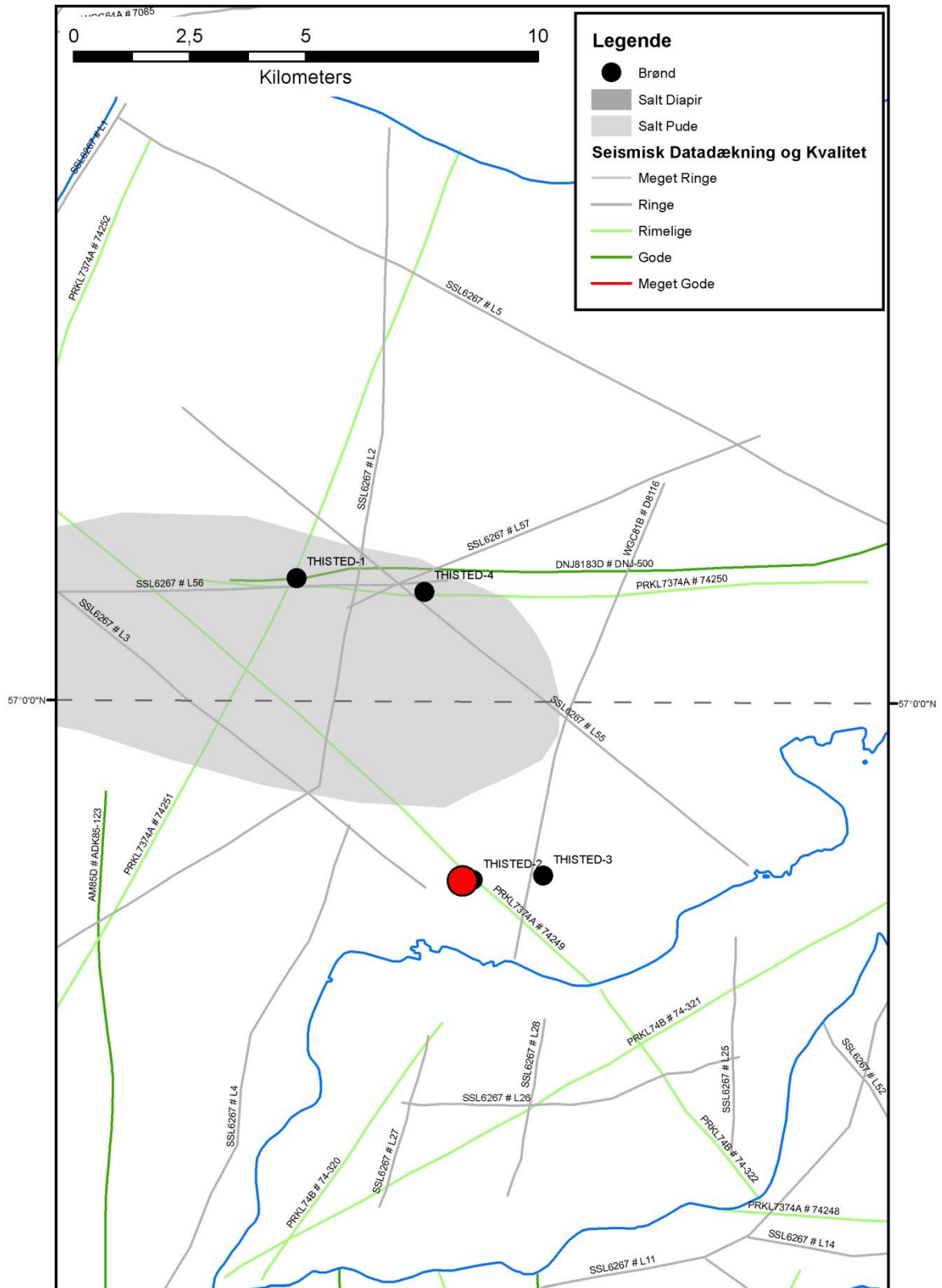
5. Gennemgang af data

I dette afsnit dokumenteres datagrundlaget, og hvordan de geologiske nøgledata i Tabel 3.1 er fremkommet samt delvis hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem.

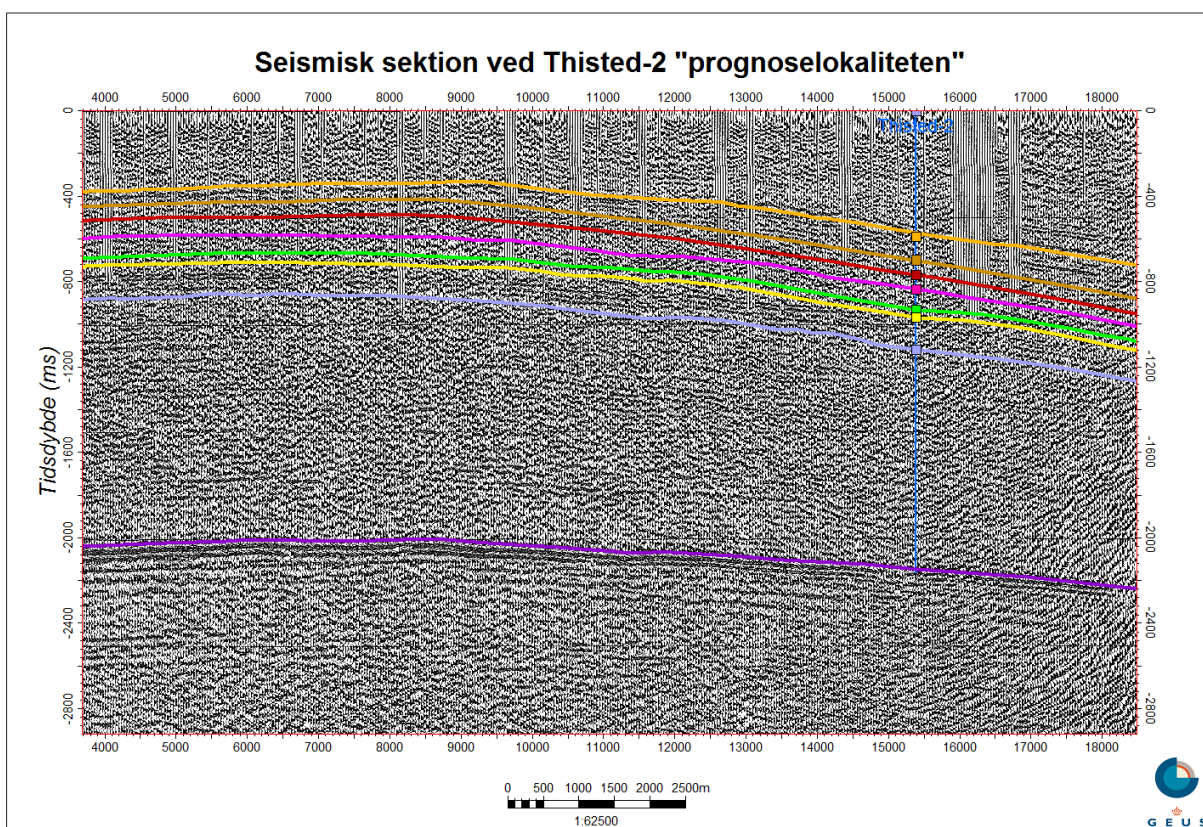
5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Den seismiske linje 74249 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et omtrent nordvest–sydøst orienteret seismisk profil, der passerer forbi ”prognoselokaliteten” i en afstand af ca. 200 meter samt Thisted-3 i en afstand af ca. 1 km. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. På profilet ses Thisted saltpudens kuppelformede struktur, som forårsager, at dybden til Gassum Formationen øges i sydlig retning. Der er ikke identificeret markante forkastninger i nærheden af ”prognoselokaliteten”. Kvaliteten af de seismiske data tillader dog ikke identificering af mindre forkastninger, og det kan derfor ikke udelukkes at sådanne er til stede i området.



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring "prognoselokaliteten" (rød cirkel). En del af den seismiske linje 74249 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: Omtrent nordvest-sydøst orienteret seismisk profil baseret på linje 74249, der passerer henover Thisted-saltputen (Figur 3 og 4). Profilet passerer nord om "prognoselokaliteten" (Thisted-2), i en afstand af ca. 200 meter. "Prognoselokaliteten" er projiceret vinkelret ind på profilet (blå lodret streg). Gassum Formationen fremstår forholdsvis uforstyrret, og der ses ingen markante forkastninger omkring lokaliteten. Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren: Basis af Kalkgruppen (orange), Top Børglum Fm (brun), Top Fjerritslev Fm (rødbrun), Top Gassum Fm (lyserød), Top Vinding Fm (lysegrøn), Top Oddesund Fm (gul), Top Skagerrak Fm (lyslilla) og Top Zechstein (mørk lilla). Den omtrentlige to-vejs-tid til laggrænser i Thisted-2 boringen, som svarer til de tolkede horisonter, er vist som kvadratiske kasser.

5.1.2 Boringsdata

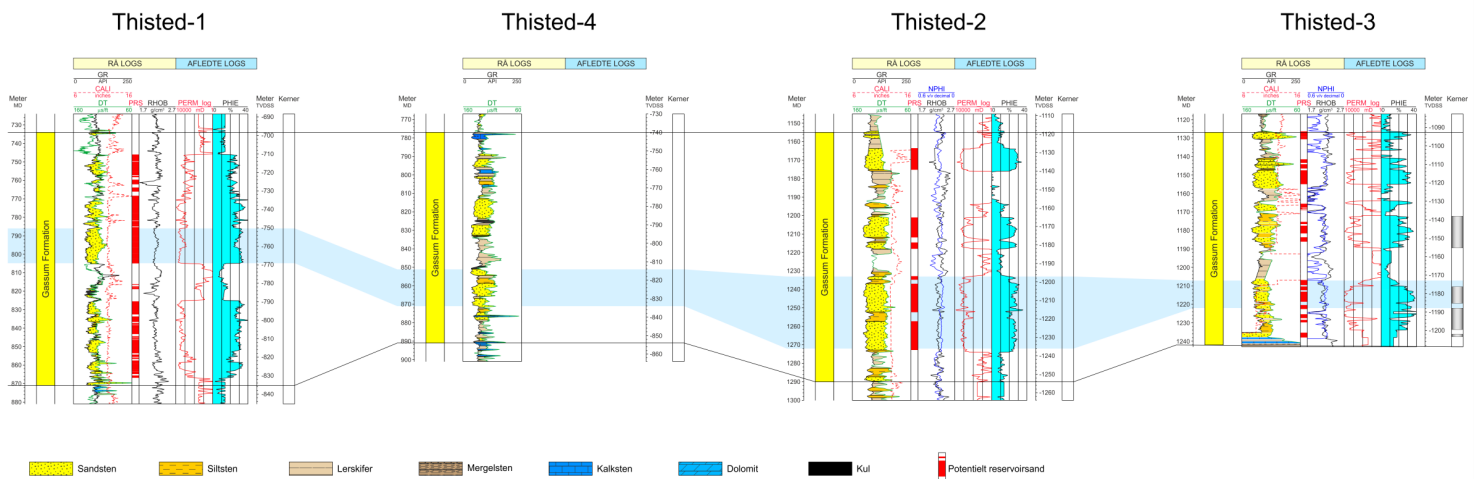
Boringsdata viser, at Gassum Formationen generelt er vidt udbredt i regionen, men at den kan mangle lokalt over saltstrukturer, som tilfældet er over den føromtalte Mors salt diapir. Saltstrukturer er almindelige i regionen, og deres dannelse har ofte været ledsaget af forkastningsaktivitet. Den strukturelle kontinuitet er som følge heraf begrænset over store afstande. Over store afstande ændrer de interne reservoirintervaller i Gassum Formationen endvidere ofte karakter; f.eks. ved at andelen og tykkelsen af sandsten aftager, mens andelen af silt- og lersten stiger, hvorved reservoirkvaliteten falder (jfr. 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.

Men også på en mere lokal skala kan den sedimentologiske kontinuitet variere, eksemplificeret ved de fire Thisted-brønde, hvor Gassum Formationen varierer i tykkelse fra 114-137 meter. Logtolkninger viser, at formationens indhold af sand-, silt- og lersten varierer betydeligt fra boring til boring (Figur 6), hvilket også giver ophav til at indholdet af Potentielt reservoirsand er forskelligt (Tabel 5.1). Det interne reservoirinterval, der benyttes til geotermi, er sandsynligvis til stede i alle brøndene, men varierer i tykkelse fra 20 meter til knap 40 meter ligesom mængden af sandsten varierer (Figur 6). Disse variationer afspejler forskellige submiljøer indenfor det oprindelige aflejningsmiljø. Som følge af den relativt lille sedimentologiske kontinuitet vil der blive opnået forskellige produktionsscenerier afhængig af hvor en eventuelt supplerende geotermibrønd placeres.

Tabel 5.1: *Tykkelser af Gassum Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirregenskaber (Potentielt reservoirsand), i Thisted-brøndene og Mors-1 brønden, hvis placeringer ses på oversigtskortet i Figur 3. For Thisted-3 angives minusværdier, da hele Gassum Formationen ikke blev gennemboret. Skraverede felter angiver at andelen af Potentielt reservoirsand ikke kan beregnes på baggrund af de givne logdata.*

	Tykkelser/antal meter		
	Formation	Gross sand	Potentielt reservoirsand
Thisted-1	137	94	85
Thisted-2	135	95	70
Thisted-3	>115	>67	>55
Thisted-4	114	37	
Mors-1	167	127	49



Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationens lithologiske sammensætning i Thisted-1, Thisted-4, Thisted-2 og Thisted-3. Det interne reservoirinterval, som benyttes i den geotermiske produktion, er fremhævet. Den omtrentlige placering og afstand mellem brøndene fremgår af Figur 3. Formationen er i hver boring vist med dens vertikale tykkelse, og der er således korrigeret for boringens eventuelle afbøjning. Det er ikke muligt at tolke Potentielt reservoirsand for Thisted-4. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).

5.2 Reservoirkvalitet

Vurderingen af Gassum Formationens lithologi og reservoirkvalitet bygger først og fremmest på en tolkning af "wireline" logs, eksisterende beskrivelser af kerner og borespåner samt kerneanalysedata. Data stammer fra de fire Thisted-boringer, hvoraf data fra geotermianlæggets produktionsbrønd, Thisted-2, er vægtet højest. Dybdeintervallet for Gassum Formationen i disse brønde ses i Tabel 5.2, som også giver et overblik over i hvilke dybdeintervaller, der er udtaget kerner. Både de optagne og tolkede logs fra boringerne er nærmere beskrevet i Tabel 5.3.

De tolkede reservoiværdier for Thisted-2 og Thisted-3 er vist i henholdsvis Tabel 5.4 og 5.5. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitets sammenhænge etc.). Det er produktionsbrønden Thisted-2, der danner grundlag for vurderingen af reservoirkvaliteten af Gassum Formationen på "prognoselokalteten" (Tabel 3.1).

Tabel 5.2: *Overblik over dybdeintervaller i målt dybde fra referencepunkt på boreplatformen (MD) af Gassum Formationen i de fire Thisted-brønde med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Thisted-1	734–871	Ingen	Ingen
Thisted-2	1155–1290	Ingen	1155–1288
Thisted-3	1127–1242	1172–1190 1210–1240	Ingen
Thisted-4	777–891	Ingen	Ingen

Tabel 5.3: Liste over rå-logs anvendt i danske onshore borer og tolkede logkurver.

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 ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
	RHOZ	g/cm ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
Log-beregnet permeabilitet	PERM_log	mD	Beregnet log-kurve baseret på PHIE
Log-beregnet <i>effektiv</i> 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 5.4: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Thisted-2 brønden.*

Thisted-2			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1119	1 ³	1108–1130 ³
Tykkelse af formation [m]	135	1 ³	134–136 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	95	5 ³	90–100 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	70	5 ³	67–74 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,52	5 ³	0,49–0,55 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,74	5 ³	0,70–0,78 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	25	6 ³	24–27 ³
Gas-permeabilitet [mD]	1300	3 ⁷	433–3900 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	1625	3 ⁷	542–4875 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	114	3 ⁷	38–342 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt fin til grov kornstørrelse; ringe sorteret til sorteret; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Løs og let-smuldrende, svagt kalkcementeret eller ikke cementeret		

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

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

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

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

⁵ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af formation*.

⁶ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af Gross sand*.

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

⁸ *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.

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

Tabel 5.5: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Thisted-3 brønden.*

Thisted-3			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1093	1 ³	1082–1104 ³
Tykkelse af formation [m]	>115	1 ³	114–116 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	>67	5 ³	64–70 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	>55	5 ³	52–58 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,47	5 ³	0,45–0,50 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,82	5 ³	0,78–0,86 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	29	6 ³	27–31 ³
Gas-permeabilitet [mD]	3500	3 ⁷	1167–10500 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	4375	3 ⁷	1458–13125 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	238	3 ⁷	79–714 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt fin til mellem kornstørrelse, i nogle intervaller grovkornet; ringe sorteret til velsorteret; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Svagt hærdnet til løs		

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

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

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

⁴ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* er estimeret ud fra afskæringskriterier på Vshale (< 30 %) og logporøsitet (> 15 %).

⁵ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af formation*.

⁶ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af Gross sand*.

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

⁸ *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.

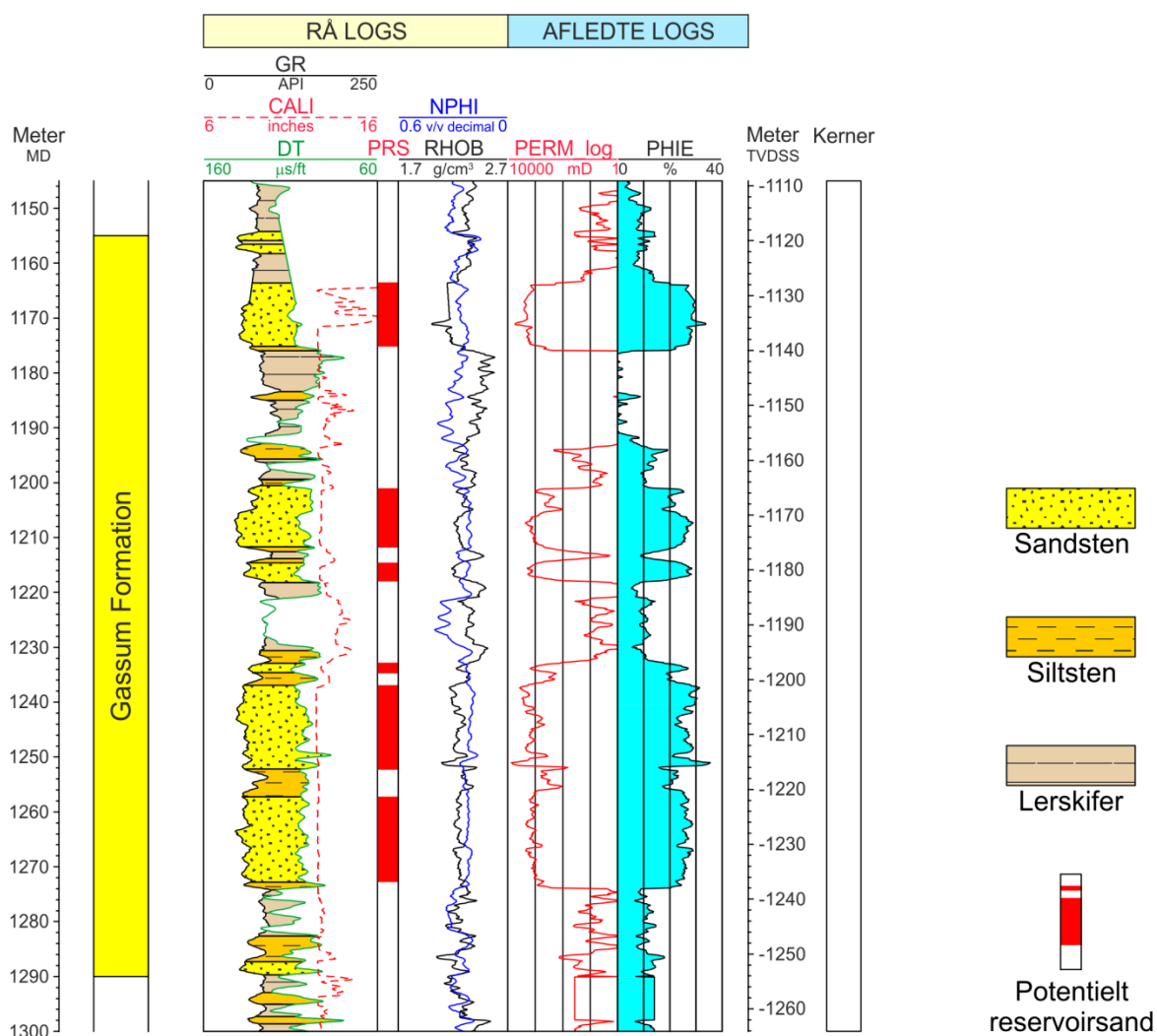
⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale samt udtagne kerner fra Thisted-boringerne har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Gassum Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten (Figur 6–8). Borespåne- og kernebeskrivelserne understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af beskrivelserne, at sandstenene i formatio-

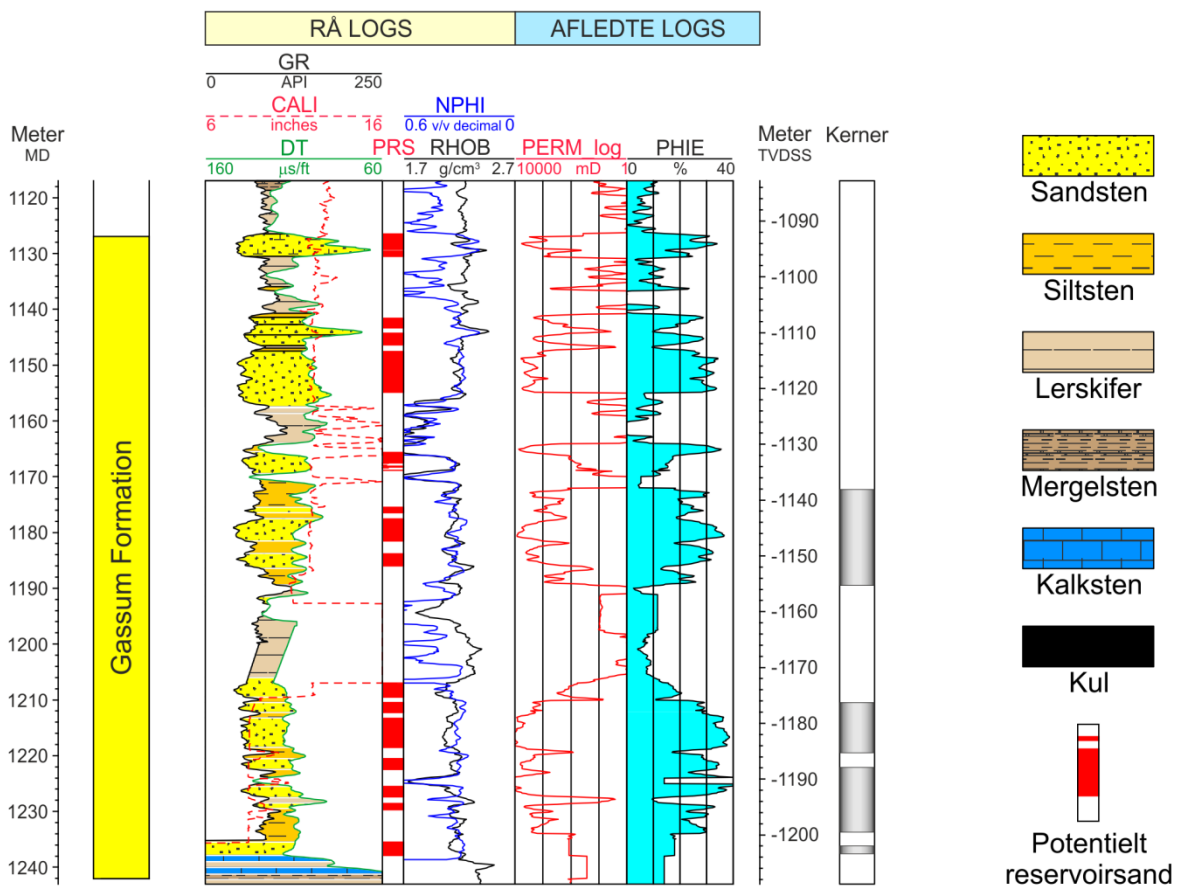
nen hovedsageligt er fin til mellemkornede, men at der også forekommer intervaller med grovkornede sandsten. Sandstenene er ringe til velsorterede med subkantede til afrundede sandkorn. Sandstenene er endvidere svagt cementerede eller ikke cementerede og er i mange intervaller løse og let-smuldrende (Dansk Olie & Naturgas A/S 1982, 1984).

Thisted-2



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Thisted-2 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 5.3. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tykkelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

Thisted-3



Figur 8: Petrofysisk log-tolkning af lithologien i Gassum Formationen i Thisted-3. Lithologikolonnen er afgrænset af gamma (GR) og sonic (DT) loggene. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.3. 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. 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 Thisted-2 og Thisted-3 er Gassum Formationen henholdsvis 135 og >115 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 95 meter i Thisted-2 og minimum 67 meter i Thisted-3 (Tabel 5.1). Tolkningen af Gross-sandets tykkelse er baseret på en forudgående tolkning af lermængden ud fra gamma-loggen, idet det antages, at mængden af ler er proportional med gamma-loggens respons fratrukket baggrundsstrålingen (Tabel 5.6).

På baggrund af tolkningen af lermængden 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. 70 og 55 meter i henholdsvis Thisted-2 og Thisted-3. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 25 % i Thisted-2 og ca. 29 % i Thisted-3 (Tabel 5.4 og 5.5). Porøsitetstolkningen er baseret på en ler-korrigeret densitets-log, og der er anvendt en sandstens densitet på $2,65 \text{ g/cm}^3$ svarende til densiteten for ren kvarts. Porøsitetsmålinger på kernemateriale fra Thisted-3 giver en gennemsnitlig porøsitet på ca. 29 % og understøtter dermed den log-estimerede porøsitet, der i gennemsnit ligeledes er på ca. 29 %. Der findes ikke målinger af porøsiteten på kernemateriale fra Thisted-2, som kan verificere den log-estimerede porøsitet på 25 %. Den noget lavere porøsitet for denne boring kan muligvis tilskrives en ukorrekt kalibrering af neutron- og densitet-loggene optaget i Thisted-2 brønden (Sørensen 1984).

Tabel 5.6: *Responsparmetre for gamma (GR) log for Thisted-2 og Thisted-3 borerne.*

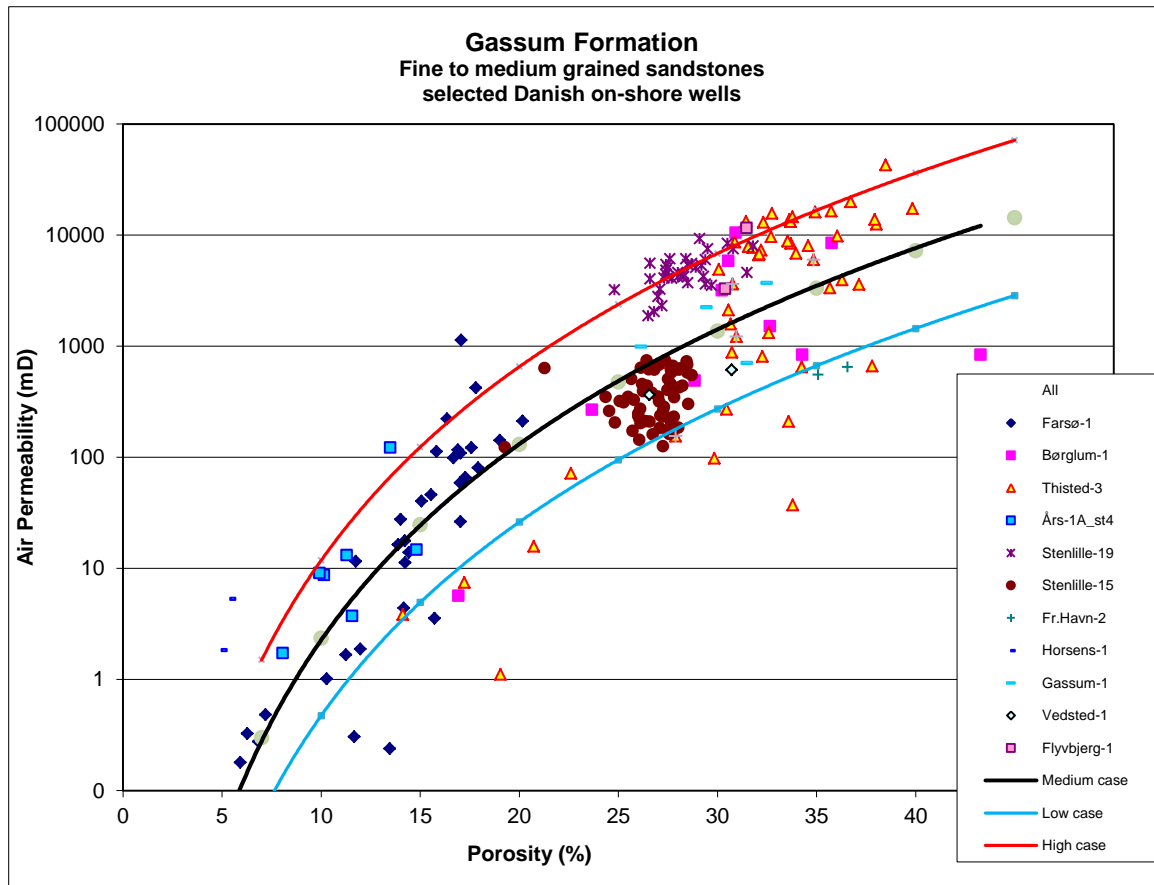
Responsparmetre for gamma (GR) log	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Thisted-2	50	200
Thisted-3	60	100

5.2.3 Permeabilitet

Det er ikke teknisk muligt at logge permeabiliteten i en brønd, men den kan indirekte udledes af den log-estimerede porøsitet sammenholdt med en generel porøsitet-permeabilitet relationen, der baserer sig på kerneanalyser af Gassum Formationen fra en række danske landboringer udført i Jylland og på Sjælland. Mange af permeabilitetsmålingerne fra Thisted-3 kernerne er forholdsvis høje i forhold til, hvordan porøsitet-permeabilitets målingerne falder på den generelle trend linje ("medium case" i Figur 9). De relativt høje permeabilitetsværdier understøttes af tilsvarende høje permeabilitetsværdier, der kan udledes fra pumpeanalyser fra Thisted-2 brønden og trykmålinger i Thisted-3 brønden. Som en konsekvens heraf er den regionale porøsitet-permeabilitet relation blevet tilpasset Thisted-området, så den tager højde for de relativt højere permeabilitetsværdier, der er målt på kernemateriale fra Thisted-3 (Hjuler et al. 2013).

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. 1300 mD for Thisted-2 og til ca. 3500 mD for Thisted-3. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 1625 og 4373 mD for henholdsvis Thisted-2 og Thisted-3. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering

af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af en omregning til væske-permeabilitet.



Figur 9: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyzedata, 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"). Bemærk delgruppen af Thisted data med høje permeabilitets-værdier, der ligger nærmere den røde linje (High) end den sorte linje (Medium).

5.2.4 Transmissivitet

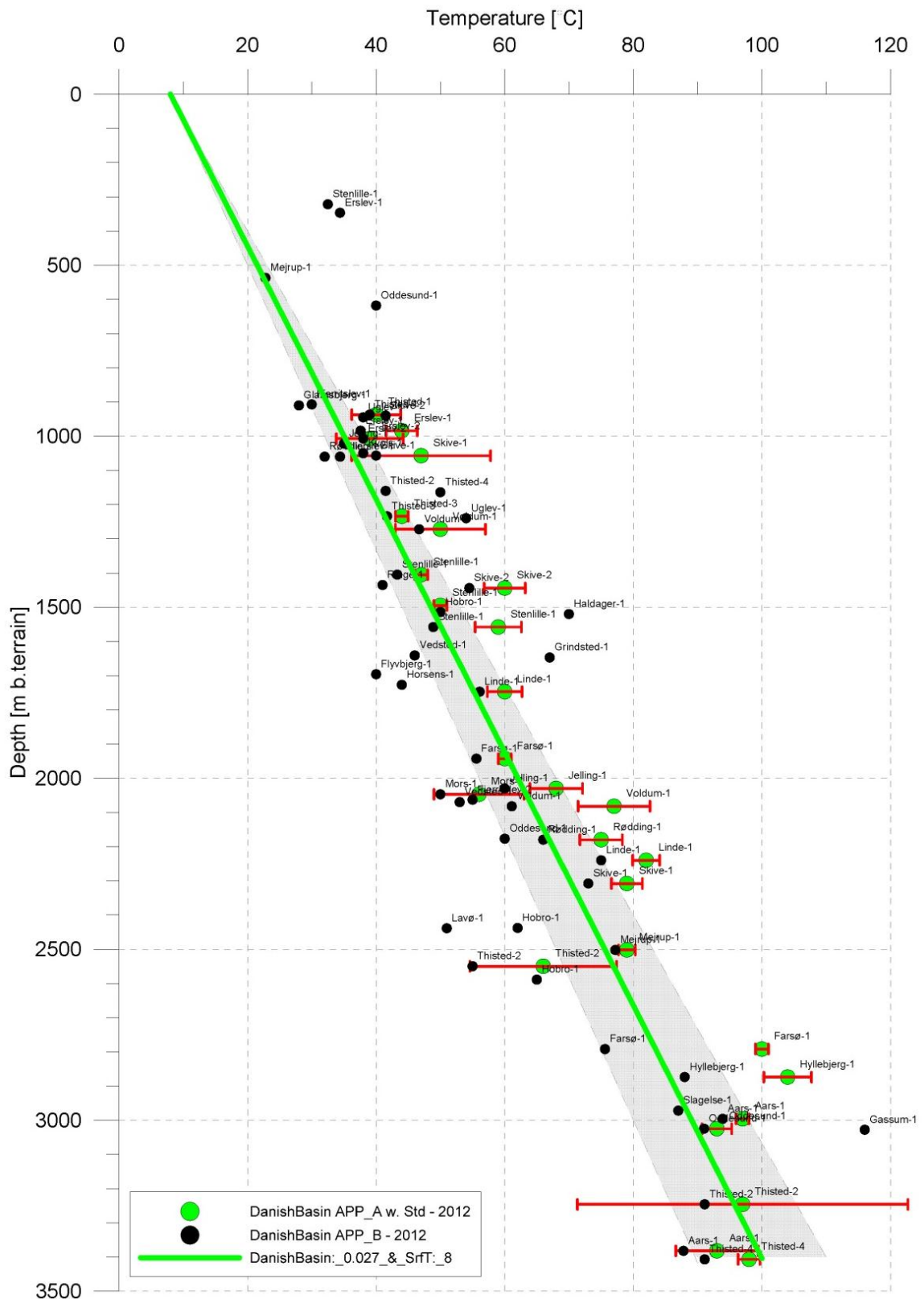
Endelig er den forventede transmissivitet beregnet på baggrund af den estimerede reservoir-permeabilitet ganget med tykkelsen af Potentielt reservoirsand. Kort beskrevet er transmissiviteten beregnet som en akkumuleret værdi baseret på de enkelte log-læsninger, de foretagne vurderinger af Potentielt reservoirsand efterfulgt af en erfarings-baseret opskalering. Transmissiviteten er således en forventet reservoir-transmissivitet; denne er i Thisted-2 vurderet til ca. 114 Darcy-meter og i Thisted-3 til ca. 238 Darcy-meter.

Reservoirintervallet i Gassum Formationen blev prøvepumpet i Thisted-2 brønden forud for etableringen af det geotermiske anlæg, og i Thisted-3 brønden blev der foretaget tryk-målinger i forbindelse med et injektionsstop i 1985. De efterfølgende tolkninger af brønd-

testene ledte også til høje transmissivitetsværdier på ca. 125 Darcy-meter og 118 Darcy-meter for reservoirintervallerne i henholdsvis Thisted-2 og Thisted-3 (Dansk Olie & Naturgas A/S 1983 og 1985).

5.3 Temperatur

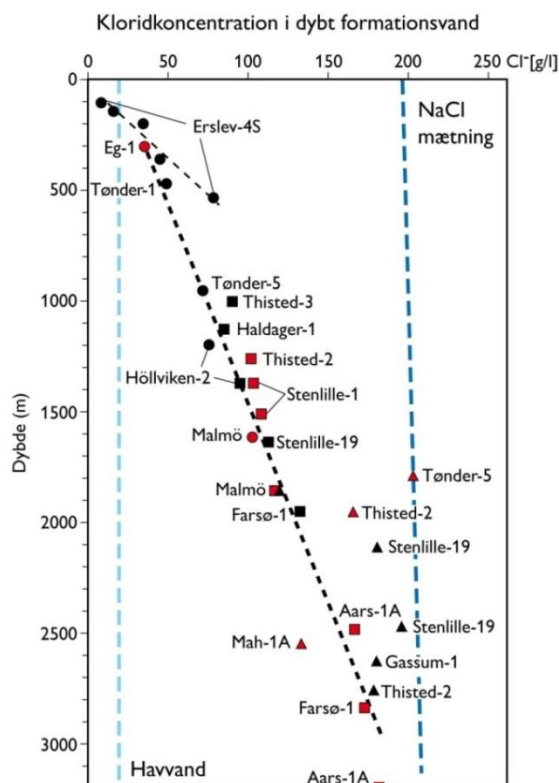
I den geotermiske produktionsbrønd Thisted-2 pumpes der ca. 45 °C varmt op fra reservoirintervallet i Gassum Formationen i en dybde af ca. 1250 m.u.t. Figur 10 viser den estimerede dybde-temperatur relation for det Danske Bassin, der baserer sig på temperaturmålinger i dybe borer i bassinet og er givet ved: $Temp. = 0,027 * dybde + 8 \text{ °C}$. Den regionale gradient resulterer i en temperatur på ca. 42 °C i reservoirintervallet i Thisted-2 brønden, hvilket er lidt lavere end den faktiske temperatur på 45 °C, som er vist i Tabel 3.1 og som danner udgangspunkt for de efterfølgende økonomiske beregninger. Den målte temperatur på 45 °C holder sig dog indenfor det usikkerhedsinterval på $\pm 10 \%$, som er tilknyttet den regionale temperaturgradient.



Figur 10: Estimeret dybde-temperatur relation (grønne linje) for det Danske Bassin baseret på alle relevante temperaturdata fra dybe brønde (Poulsen et al. 2013). Endvidere er der vist et usikkerhedsbånd på $\pm 10\%$ (gråt område). Temperaturmålingerne fra Thisted-2 og -3 holder sig generelt indenfor usikkerhedsbåndet.

5.4 Salinitet

Ud fra målinger af kloridkoncentrationen i forskellige dybe brønde, inklusiv Thisted-2 og Thisted-3, er der udarbejdet en generel relation mellem dybden og kloridkoncentrationen for formationer, der ikke overlejres af saltlag (Figur 11). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på ca. 87 g/l i en dybde af 1250 meter under terræn svarende til ca. midten af reservoirintervallet i produktionsbrønden Thisted-2. Kloridkoncentrationen er dermed væsentlig lavere end mætningspunktet for NaCl, der ligger på omkring 200 g/l 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 11: 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 Olie & Naturgas A/S 1982: Exploration well Thisted-2. Well Summary.

Dansk Olie & Naturgas A/S 1983: Geothermal energy. Exploration well Thisted-2. Gassum Formation. Test summary.

Dansk Olie & Naturgas A/S 1984: Thisted-3. Geothermal Exploratory Well. Well Summary.

Dansk Olie & Naturgas A/S 1985: Geotermisk anlæg i Thisted. Anlægsudvidelse. Evalueringsrapport.

Hjuler, M.L., Vosgerau, H., Nielsen, C.M., Frykman, P., Kristensen, L., Mathiesen, A., Bidstrup, T. & Nielsen, L.H. 2013: Assessment of potential capacity increase of the existing geothermal plant at Thisted by adding a new geothermal well. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport, 80, 90 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. & 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.

Sørensen, M. (1984): Thisted-2, Thisted-3. Log evaluation and sedimentology of the Gassum Formation reservoir. Dansk Olie & Naturgas A/S, 39 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.