



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Viborg

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

Viborg - 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 1/5

1 Viborg fjernvarmeområde

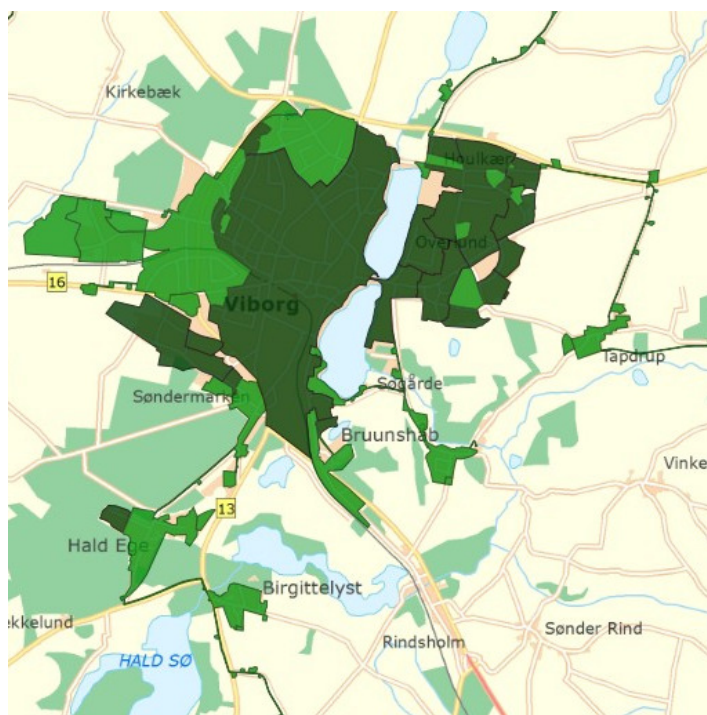
1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i Viborg og Houlkjær varetages af Viborg Fjernvarme A.m.b.a.

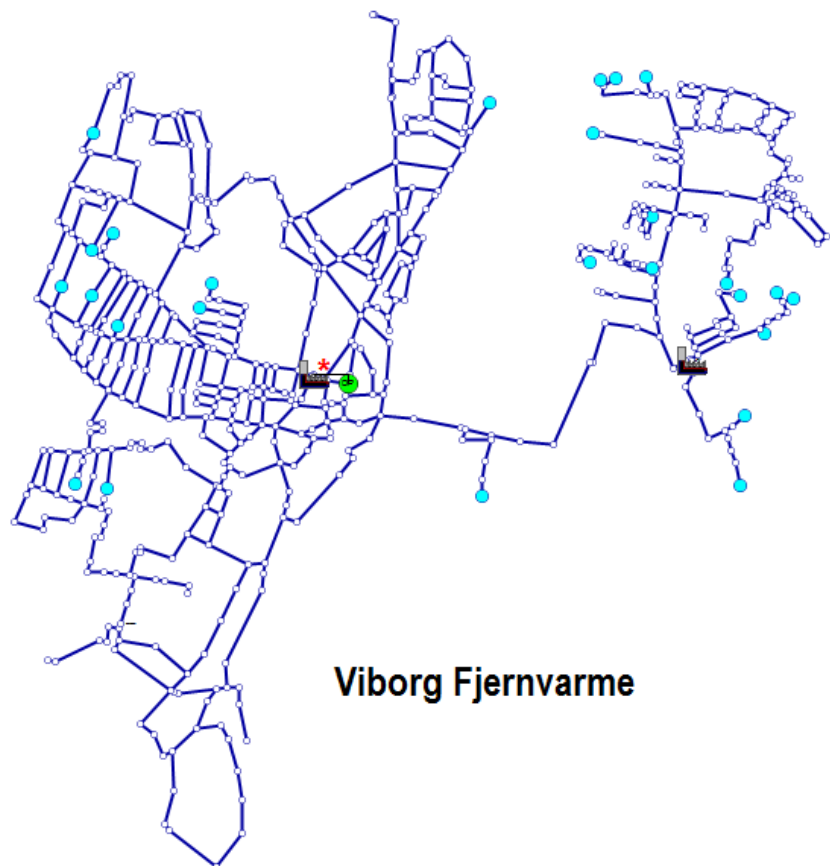
Varmeforsyningen i Overlund varetages af Overlund Fjernvarme A.m.b.a.

Al fjernvarme til de nævnte byer leveres af Energi Viborg kraftvarme A/S, som er et selskab, der ejes 100% af Viborg Kommune

Nedenstående kort viser de nuværende forsyningsområder i Viborg Houlkjær og Overlund.



Figur 1 Oversigt over fjernvarmeområder i Viborg og omegn



Figur 2 Oversigtskort over Viborg Fjernvarme forsyningsområde i Viborg og oplandsbyer (kortudsnit fra TERMIS)

Som nævnt ovenfor leveres al varme fra Energi Viborg Kraftvarme A/S.

I 2013 blev 52 % af varmen produceret på naturgaskedelanlæggene og resten 48%) blev produceret på det gasfyrede kraftvarmeanlæg. I 2012 udgjorde kedelandsdelen kun 27%.

Det naturgasfyrede kraftvarmeværk er opført nord for Viborg by og blev idriftsat i 1996.

Efterfølgende tabel viser varmebehovet for Viborg Fjernvarmes forsyningsområde.

Tabel 1 Nuværende og fremtidigt varmegrundlag

Varmegrundlag					
Viborg					
MWh/år	2012*	2013*	2015**	2025**	2035**
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	226.426	223.763	223.763	223.763	223.763
Distributionstab	62.098	62.309	62.309	62.309	62.309
An net	288.524	286.072	286.072	286.072	286.072
TJ/år					
Nettovarme	815	806	806	806	806
Distributionstab	224	224	224	224	224
An net	1039	1030	1030	1030	1030
* Kilder Viborg Fjernvarmes hjemmeside					
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år		1137			
Energiproducenttællingen angiver en samlet produktion an net på 1216 TJ an net					
Da der også leveres varme til 3 andre distributionsselskaber fra Energi Viborgs centraler (Overlund og 2 boligselskaber i Viborg) vurderes der at være rimelig overensstemmelse.					
** Der er forudsat konstant varmebehov, i det det dog bemærkes, der tilsyneladende er et vist potentiale for konverering fra naturgas til fjernvarme. Det har ikke været muligt at identificere planer herfor. Da en stor del af varmen i Viborg produceres på naturgas, kan det være svært at opnå en brugerøkonomisk fordel ved konvertering fra individuel naturgas til fjernvarmebaseret naturgas					

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

Tabel 2 Temperaturforhold

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
67	42	75	41

Det maksimale effektbehov an net er i DF's statistik angivet til 95 MW.

1.2 Nuværende produktionsstruktur

Efterfølgende tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur i Viborg.

Tabel 3 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)

Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012													Brændselsfordeling				
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varme produktion i 2012 (TJ)	*Brændsels forbrug 2012 (TJ)	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varme effekt (MW)	Elvirknings grad	**Varme virknings grad	Etablerings år	Forventet udfasning år	Gasolie	Naturgas	Affald	Biogas	Træ- og biomasseaffald	Halm
Viborg by																	
Viborg Kraftvarme A/S, Central Farvervej	Kedel (3 stk.)	Naturgas	86	89	36	0	36		100%				88,8				
Viborg Kraftvarme A/S, Central Hamlen	Kedel (2 stk.)	Naturgas	35	34	20	0	20		100%				33,9				
Viborg Kraftvarme A/S, Central Gyldenrisvej	Kedel	Naturgas	93	91	32	0	32		100%				90,7				
Viborg Kraftvarme A/S, Viborg Kraftvarmeværk	Kombianlæg	Naturgas	876	1804	128	57	56	44%	49%	01-01-1996			1804,1				
Viborg Kraftvarme A/S, Kedelcentral Indust	Kedel (2 stk.)	Naturgas	107	117	16	0	16		100%	01-01-1996		0,7	117,1				
REVAS, Losseplads	Kedel	Lossepladsgas	11	0	1	0	1		100%	01-08-2012					15,2		
Viborg Kraftvarme A/S, Hald Ege Varmeværk	Kedel	Naturgas	8	8	2	0	2		100%				8,4				
Total			1.216				162										

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

Affaldssamarbejdet L90 har i en længere periode påregnet at opføre et større affaldsforbrændingsanlæg i Kjellerup – beliggende mellem Viborg og Silkeborg. Varme herfra var påregnet leveret til både Silkeborg og Viborg.

På grund af generelt faldende affaldsmængder besluttede L90 i april 2014 ikke at opføre et affaldsforbrændingsanlæg i Kjellerup.

På grund af bortfald af grundbeløbet med udgangen af 2018 har Energi Viborg Kraftvarme A/S besluttet (jf. årsrapport for 2013) at undersøge blandt andet følgende muligheder:

- > Skitseprojekt for udnyttelse af overskudsvarme fra vandboringer

- > Skitseprojekt for udnyttelse af overskudsvarme fra Energinet.dk's transformerstation
- > Skitseprojekt for biomassekraftvarmeværk og biomassevarme
- > Skitseprojekt for solvarmeanlæg (med/uden et eventuelt affaldsforbrændingsanlæg)
- > Forudsætninger for fortsat drift af naturgaskraftvarme med/uden et eventuelt affaldsforbrændingsanlæg

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt nyt geotermianlæg i Kvols. Kvols ligger ca. 10 km nord-vest for Viborg. I illustrationen nedenfor er afstanden mellem Viborg Kraftvarmeværk og Kvols markeret.



Figur 4 Geografisk placering af Kvols i forhold til Viborg, herunder Viborg Kraftvarmeværk

Projekt: Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne

Til: Ea Energianalyse & COWI

Kopi: GEUS

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

Dato: 5. februar 2015

Emne: Beregning af et geotermianlæg i Viborg

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Viborg. 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.: Viborg_2014_07_28.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Viborg leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data fra Viborg Fjernvarme og Energi Viborg (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg ved Kvals.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Viborg 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 Viborg.

Usikkerheden på de geologiske parametre er lav til middel. Der er indsamlet nye seismiske data i 2011, som stadig er fortrolige, og derfor ikke indgår i analysen. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1.

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	15
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	2503
Temperatur@midt reservoir	°C	76
Tykkelse af formation	m TVT	115
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	38
Transmissivitet	Dm	11
Seismik-anbefaling	km	0
		NB! Køb af fortrolige data

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	1030 Mulighed for sammenkobling med andre byer
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	0
Fremløbstemperatur vinter	°C	75
Returløbstemperatur vinter	°C	41
Fremløbstemperatur sommer	°C	67
Returløbstemperatur sommer	°C	42
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, 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.

For Viborg er et potentielt geotermianlæg med absorptionsvarmepumper forudsat opdelt på to forskellige lokaliteter. Anlægget opdeles her i to dele, hvor varmevekslere er placeret sammen med borerne, mens absorptionsvarmepumper er placeret på en anden lokalitet, hvor der kan etableres drivvarmeforsyning, og hvor der kan tilsluttes til fjernvarmenettet.

For Viborg er endvidere beregnet et alternativt anlægsdesign, hvor der benyttes el-varmepumper til at udnytte varmen fra geotermivandet.

5 Resultater

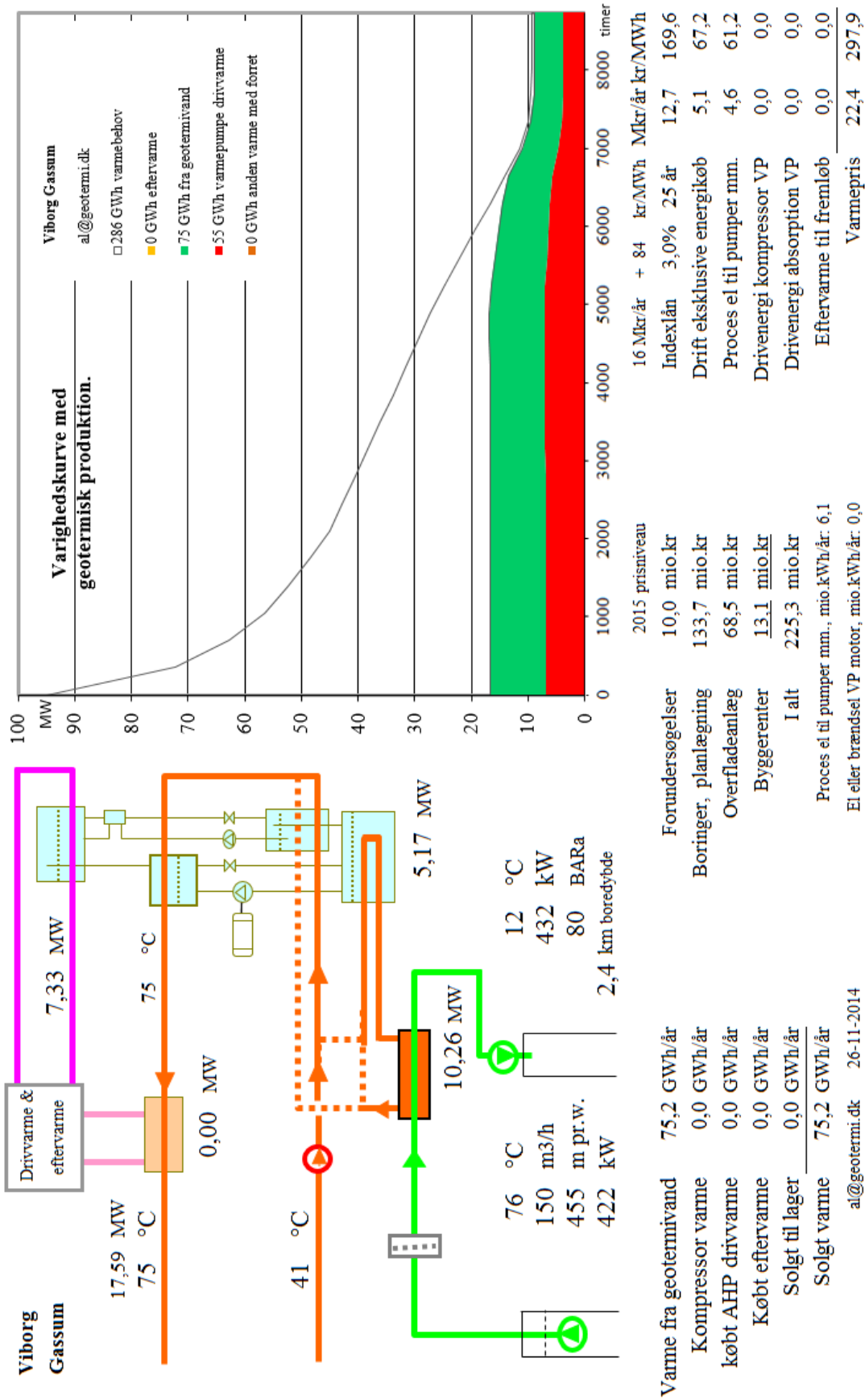
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra anlægsberegninger for et geotermianlæg opdelt på to lokaliteter med absorptionsvarmepumper ses i Figur 1, og for el-varmepumper i Figur 2.

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper og placeret på to lokaliteter, viser at der med en samlet investering på 225 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 10,3 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 17,6 MW.

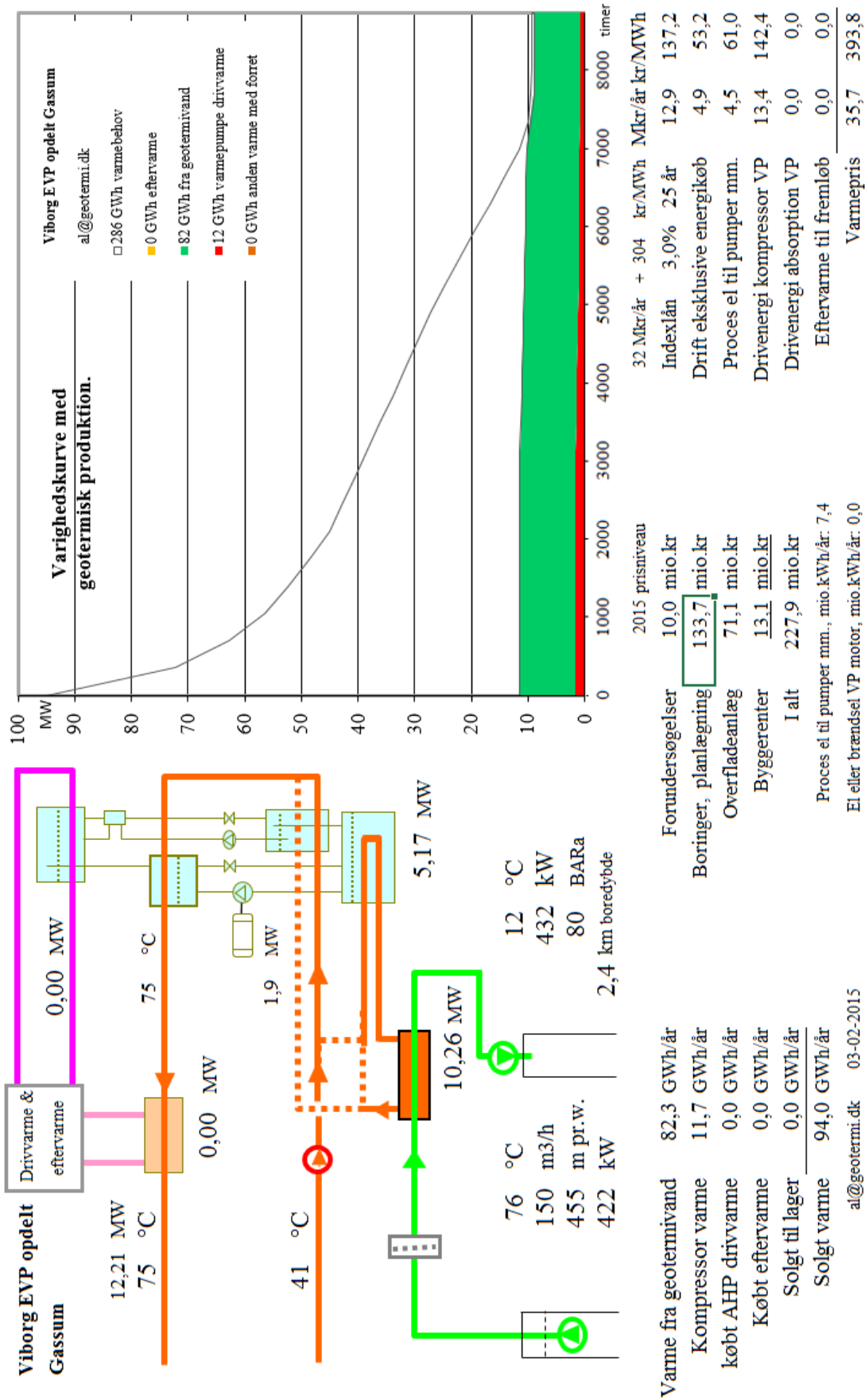
Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 75 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 298 kr./MWh.

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 medium.



Figur 1: Output fra geotermiPRO.



Figur 2 - El varmepumpe beregning opdelt anlæg.

Beregningsresultater Geotermianlæg ved Viborg	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El- varmepump er	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Opdelt anlæg	
Anlægs kapacitet (vinter)					
1) Effekt fra geotermivand	MW		10,262	10,262	10,262
2) Effekt fra drivvarme	MW		7,326	N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW		0,000	N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW		17,591	12,140	
5) Proces el	MW		0,904	0,869	
6) Varmepumpe el	MW		N/A	1,905	
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%		100,000	100,000	
8) Drivvarme	%		72,636	N/A	
9) Eftervarme	%		0,000	N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%		172,636	114,195	
11) Proces el forbrug	%		8,157	8,426	
12) Varmepumpe el forbrug	%		N/A	14,195	
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr		212,260	214,800	243,100
14) Byggerenter	mio. kr		13,051	13,100	13,700
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år		3,368	3,559	3,733
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh		22,396	19,522	

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. driv- og eftervarme)
- 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 Viborg. 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."

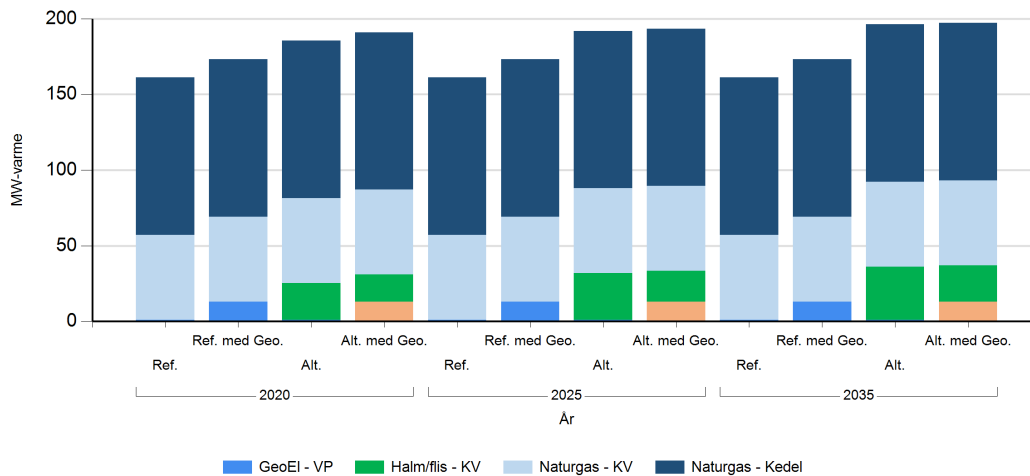
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- 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 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 Viborg 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	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0
Naturgas - KV	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
GeoEI - VP	1.0	13.1	1.0	13.1	1.0	13.1	1.0	13.1	1.0	13.1	1.0	13.1
Halm/flis - KV			24.2	17.8			30.8	20.2			35.0	23.9

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

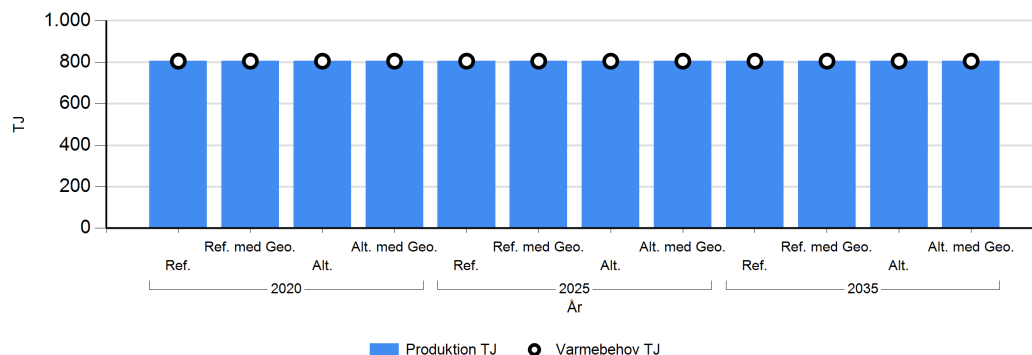
Solvarmeanlæg

m2	2035
Brændsel og Anlægstyper	Alt.
Solvarme	28.611

Tabel 2: Udvikling i kapaciteten af solvarmeanlæg for Viborg.

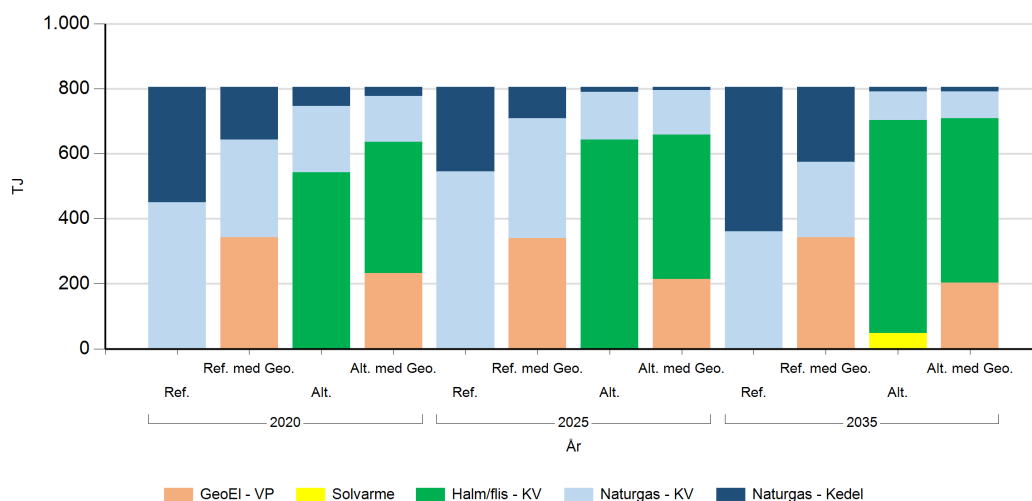
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



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

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.
Halm/flis - KV			542,7	404,2			643,7	445,2			654,2	506,2
Naturgas - Kedel	353,9	161,9	58,5	27,5	260,0	96,3	14,9	10,1	443,9	231,0	13,5	13,5
Naturgas - KV	451,3	300,4	204,0	141,4	545,2	368,7	146,7	136,0	361,4	231,4	88,6	82,8
GeoEI - VP		342,9		232,2		340,2		213,9		342,9		202,7
Solvarme											48,9	

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

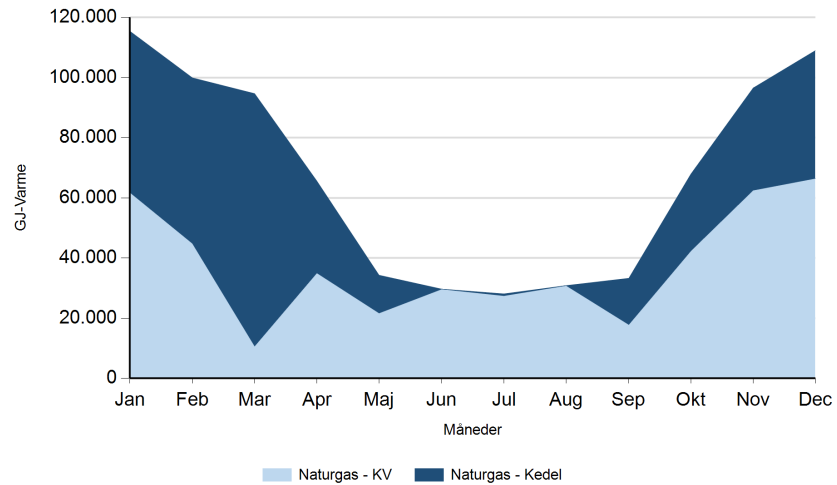
Fuldstimer for varmeproduktion

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.
Halm/fiis - KV			6.221	6.317			5.294	6.125			4.659	5.874
Naturgas - Kedel	945	433	156	73	695	257	40	27	1.186	617	36	36
Naturgas - KV	2.233	1.486	1.009	700	2.697	1.824	726	673	1.788	1.145	438	410
GeoEI - VP		7.872		5.330		7.810		4.911		7.872		4.654

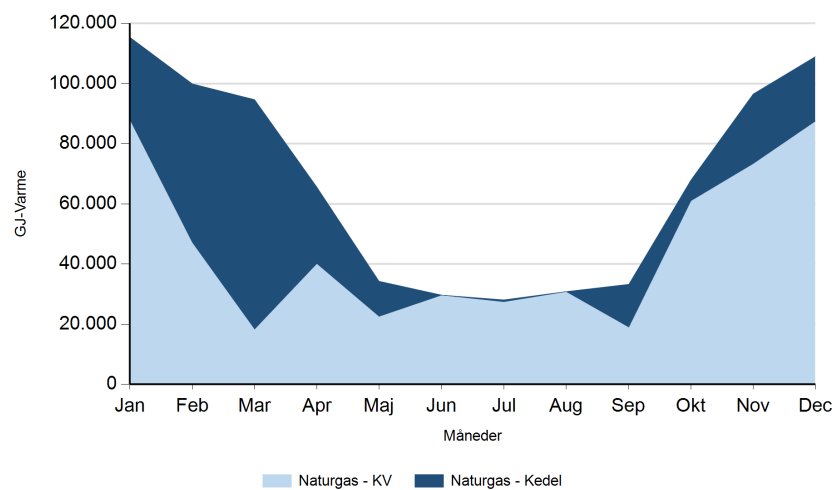
Tabel 4: Antal af fuldstimer for varmeproduktion i Viborg.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Viborg.

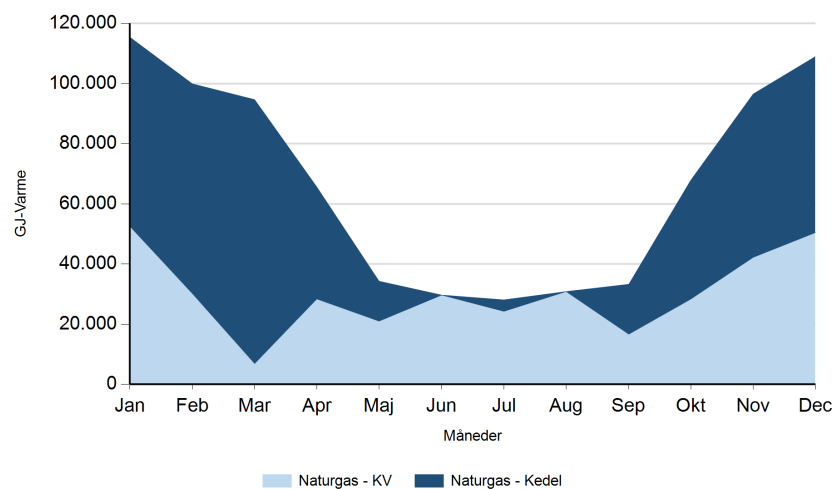
Ref. 2020



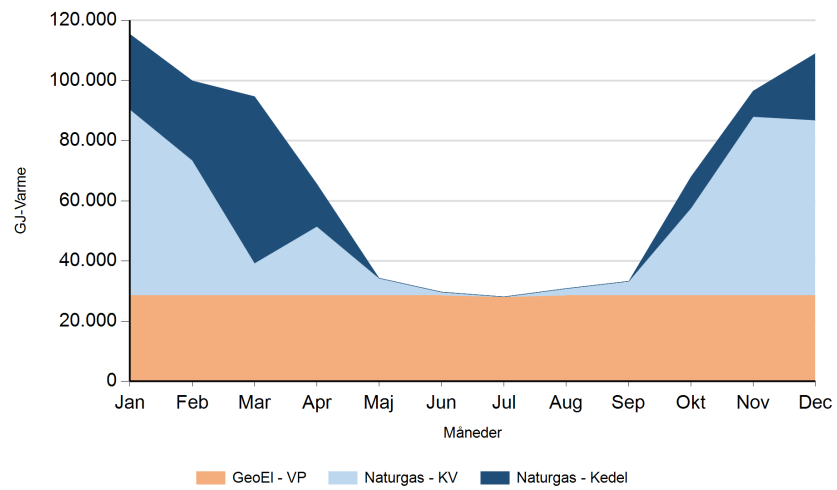
2025



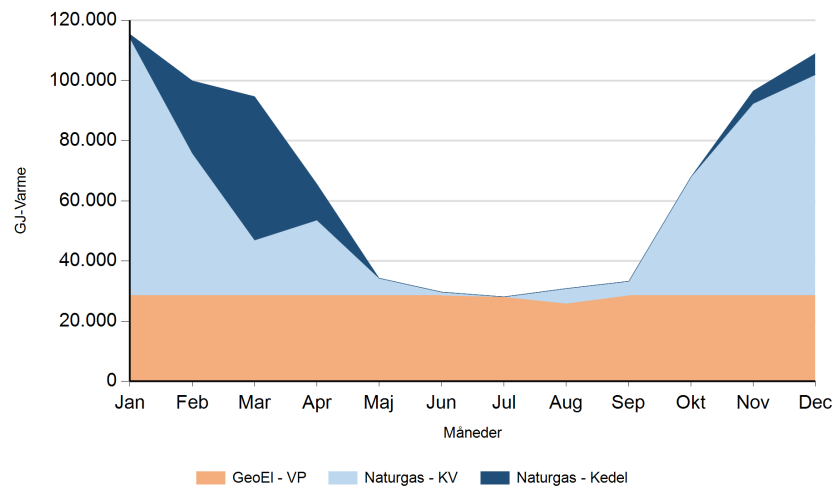
2035



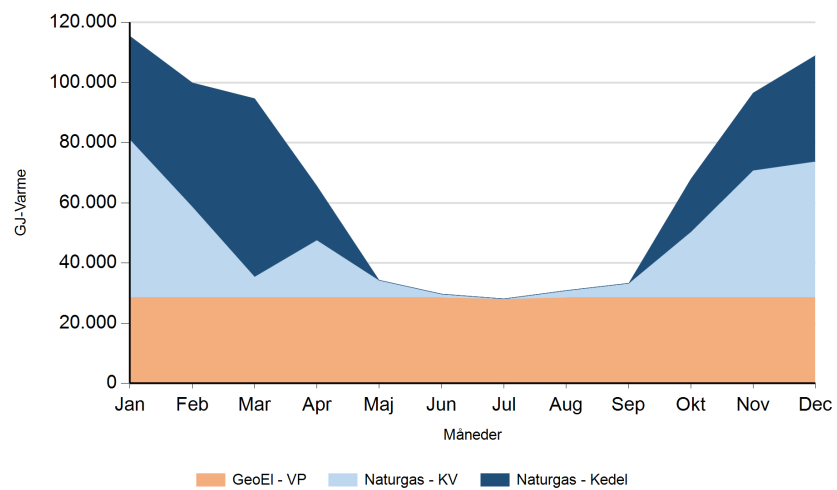
Ref. med Geo. 2020



2025



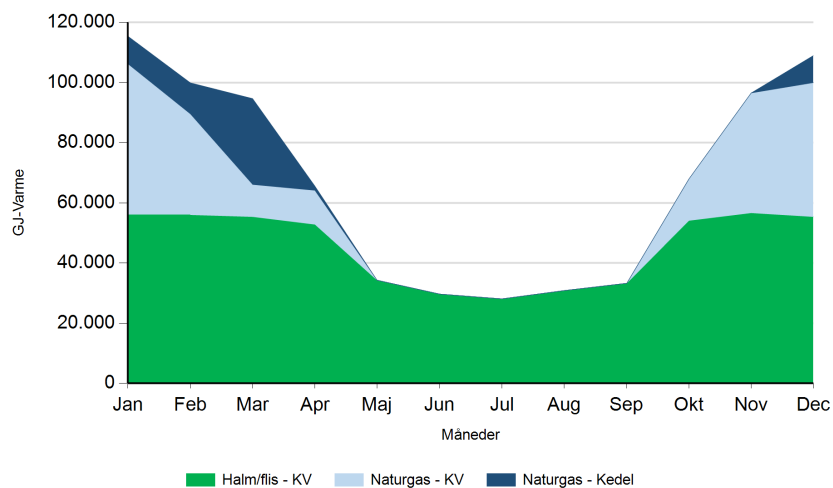
2035



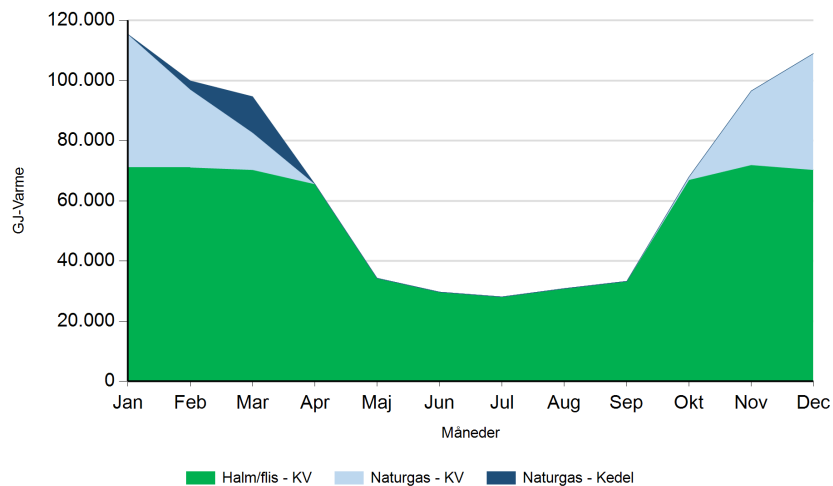


Alt.

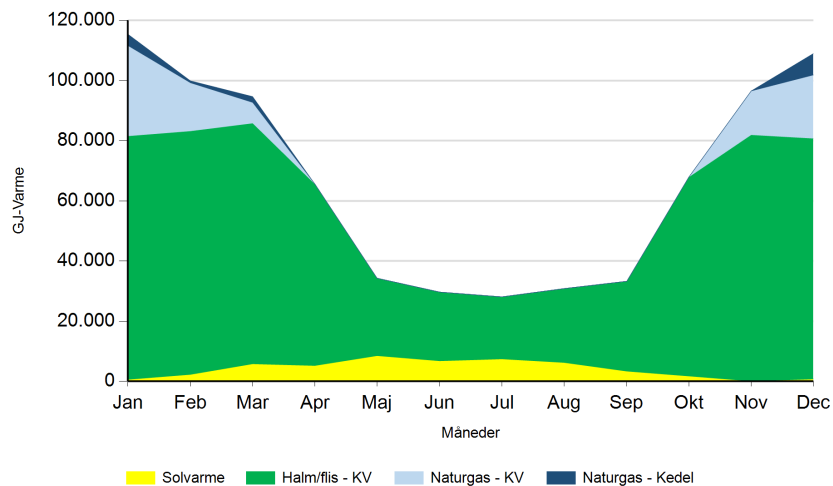
2020

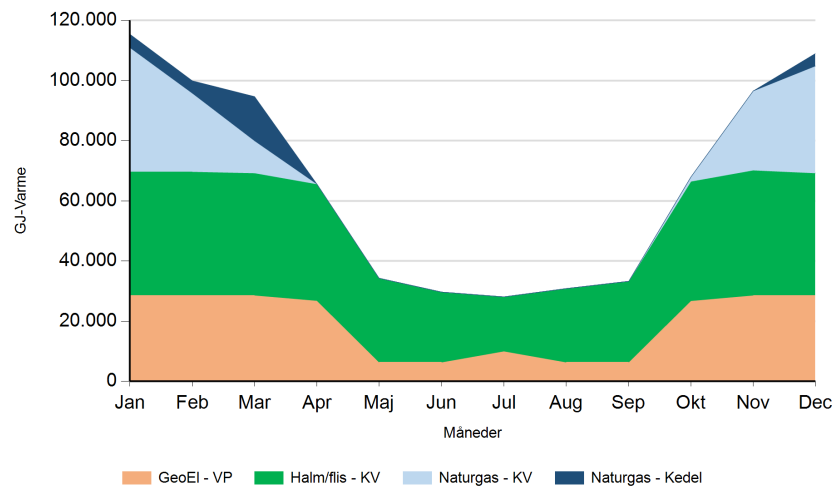
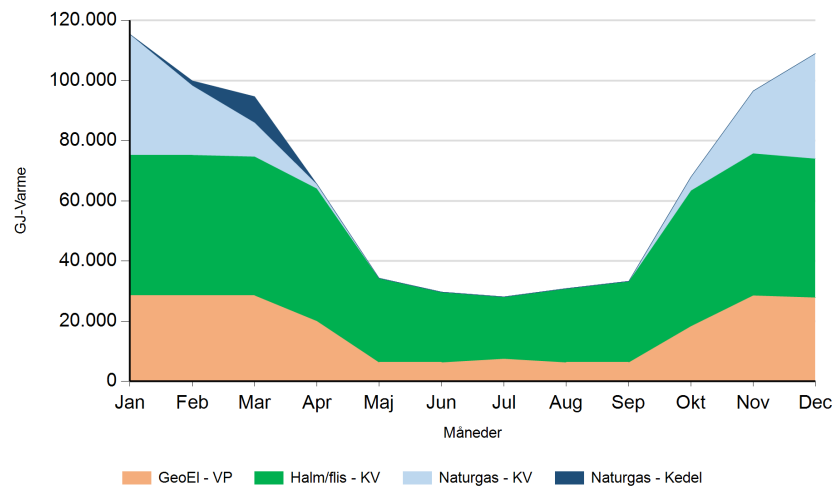
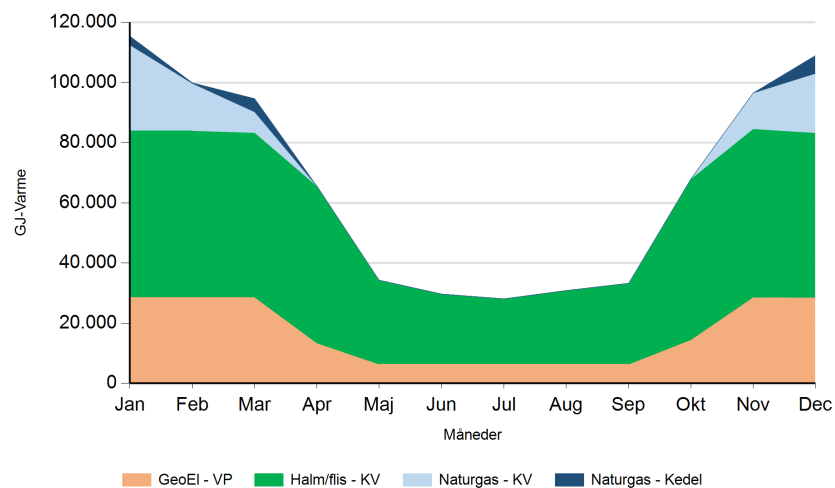


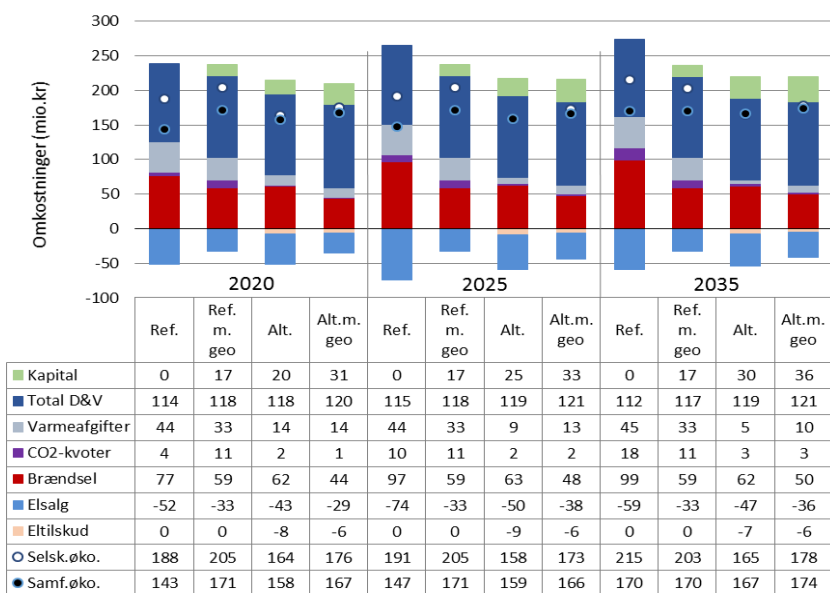
2025



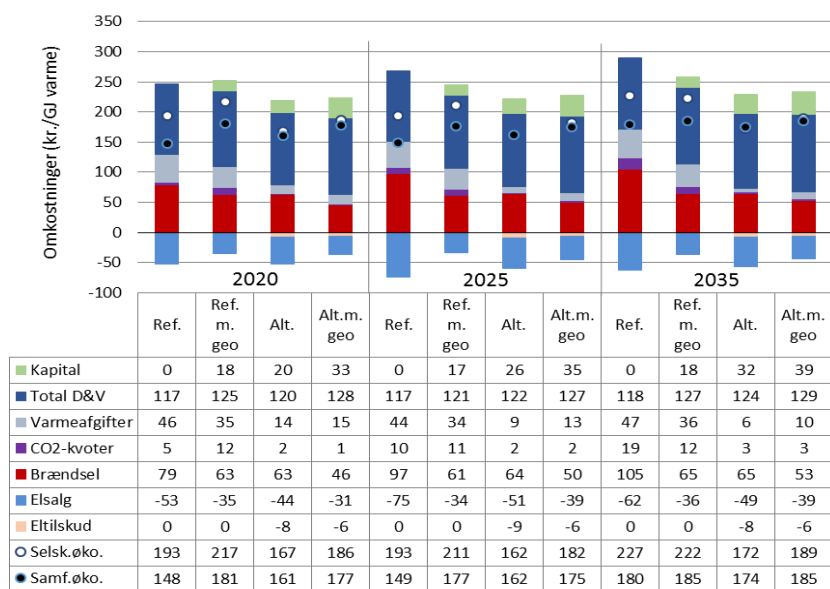
2035



Alt. med Geo. 2020

2025

2035

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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Viborg



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Viborg

Det geotermiske screeningsprojekt

Viborg-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 Viborg-lokaliteten	8
4.	Datagrundlag	10
5.	Gennemgang af data	12
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer	12
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	12
5.1.2	Boringsdata	14
5.2	Reservoirkvalitet	16
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	18
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet.....	20
5.2.3	Permeabilitet.....	20
5.3	Temperatur	22
5.4	Salinitet.....	23
6.	Referencer	24

1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet beliggende ved Kvols, ca. 8 km nordvest for Viborg (Figur 1). Lokaliteten har tidligere været genstand for en detaljeret gennemgang af de geologiske forudsætninger for udnyttelse af dyb geotermisk energi. 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).

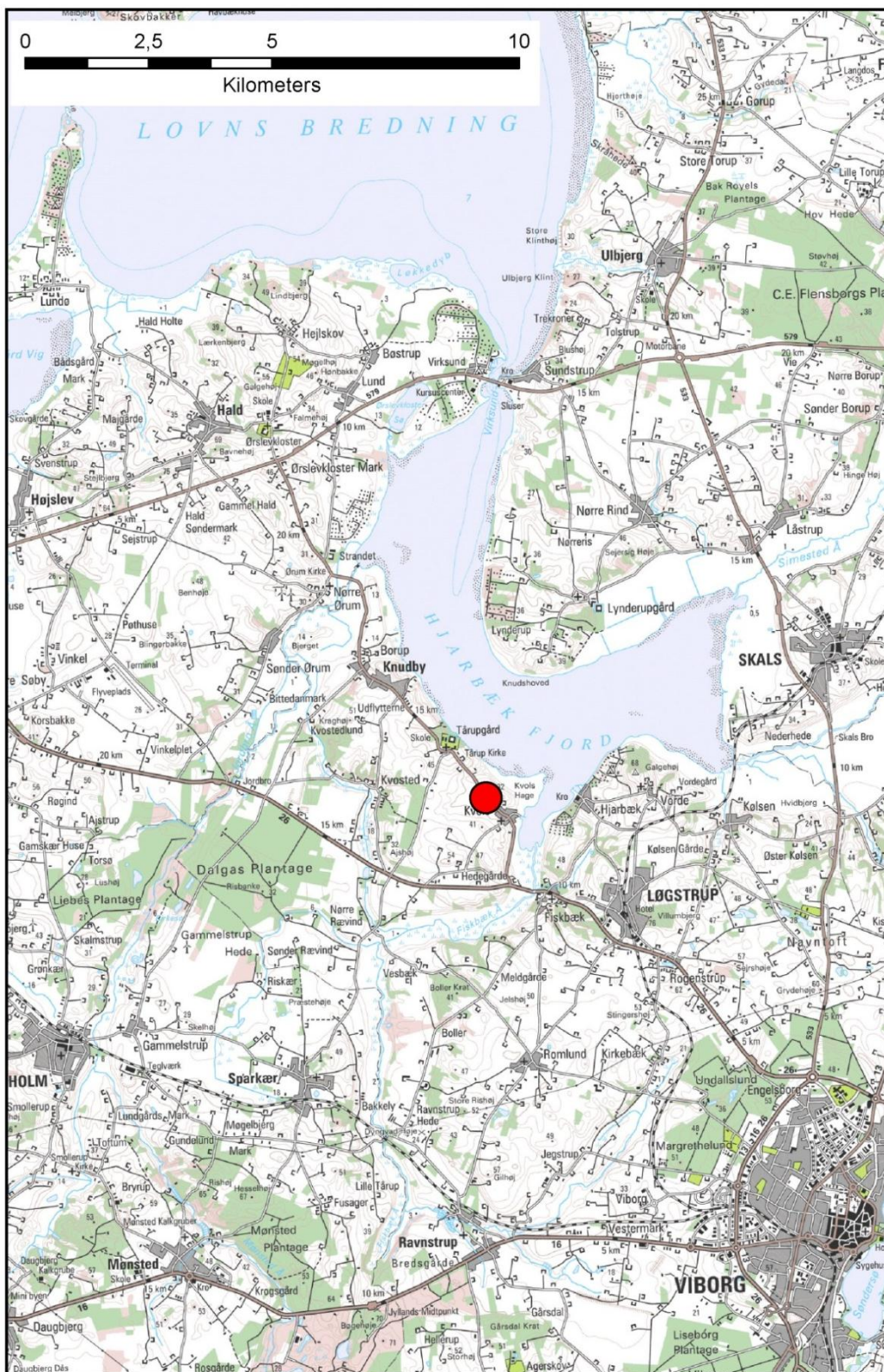
Viborg fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Enerkipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er i udgangspunktet valgt ud fra, at deres varmemarked er større end 400 TJ/år, og at de dækker områder, hvor der forekommer formationer i undergrunden, som kan indeholde geotermiske sandstensreservoarer 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 Enerkipolitiske 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 Viborgområdet, 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 Viborg-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 40 meter sandsten, der er beliggende mere end 2445 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 lokaliteten og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. I afsnit 3 evalueres det geotermiske potentiale endvidere, og i de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og hvordan de geologiske nøgledata er fremkommet samt delvist hvilke betragtninger 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 porta-

len. 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) ved Kvols nordvest for Viborg.

2. Geologisk baggrund

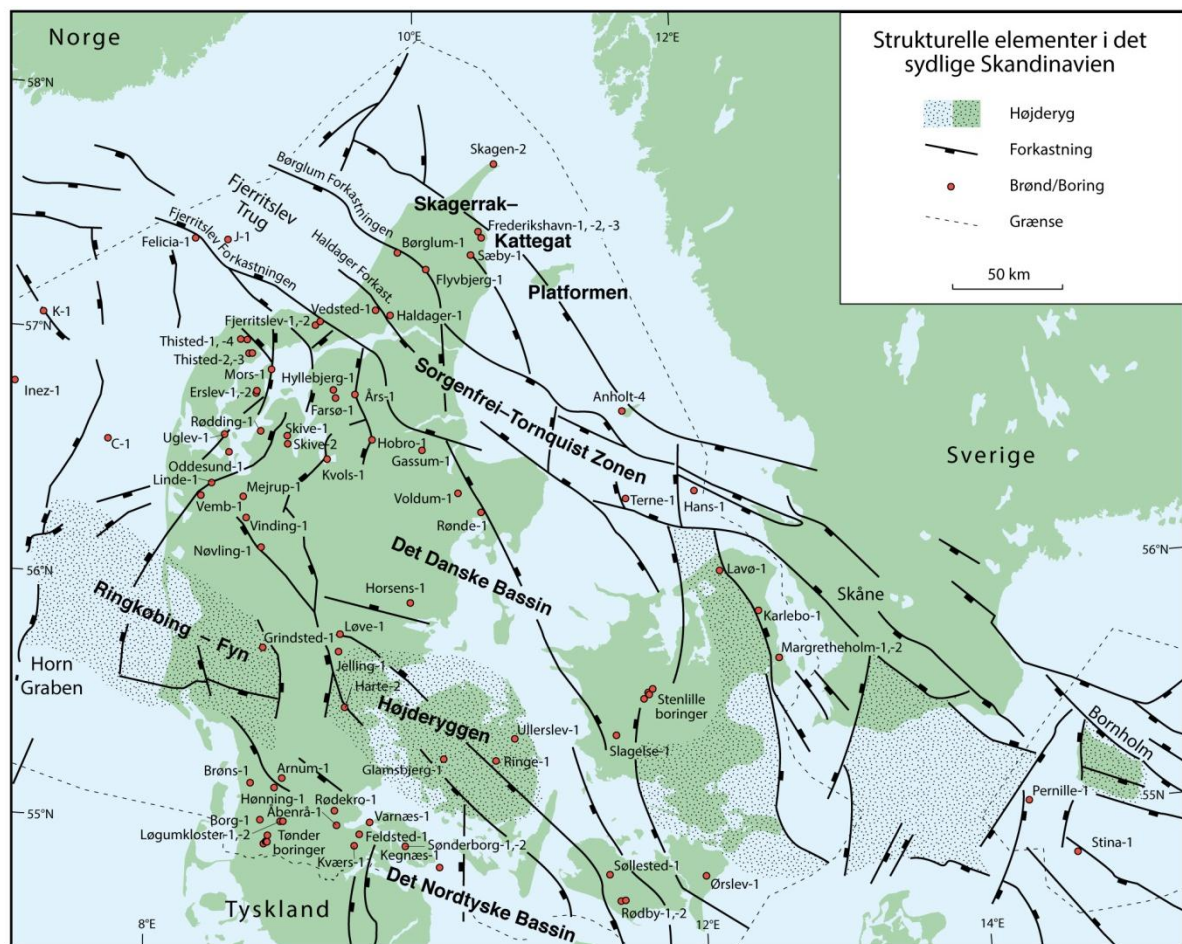
Kvols-området er beliggende i det Danske Bassin, som udgør den sydøstlige del af det Norsk–Danske Bassin, der blev dannet ved strækning af skorpen i Tidlig Perm tid. Mod syd afgrænses bassinet fra det Nordtyske Bassin ved Ringkøbing–Fyn Højderyggen, der er en del af et regionalt VNV–ØSØ-gående strøg 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.

Kvols er beliggende i den centrale del af det Danske Bassin i et område hvor Øvre Perm – Kvartær lagserien er omtrent 5,0–5,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirs primært til at være til stede i den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at formationen vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirs, og at den i området vurderes til at være beliggende indenfor dybdeintervallet 800–3000 meter, der anses for egnet til dyb geotermisk indvinding. Kortlægningen af dybdeintervaller og indhold af sandsten er baseret på tilgængelige seismiske data og data fra dybe borer i undergrunden. Generelt er den geografiske dækning og kvaliteten af disse data 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 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 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 Viborg-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Viborg-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 reservoirtæthedsværdier.

Af tabellen fremgår det, at formationen vurderes at være til stede ca. 2430–2545 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. 76 °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. 11 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). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

De seismiske data viser, at Gassum Formationen er forholdsvis kontinuerlig med hensyn til tykkelse og udbredelse i Kvols-området. Der er ikke observeret større forkastningszoner, men 1-2 km syd og øst for prognoselokaliteten skærer mindre forkastninger formationen.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 470 meter tyk med toppen beliggende ca. 1960 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 1500 meter tykke med toppen beliggende ca. 230 m.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.

Viborg-lokaliteten			
UTMz32 X: 517.865 m; Y: 6.264.930 m Terrænkote: ca. 15 meter over havniveau (m.o.h.)			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval ²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	2430	3 ³	2357–2503 ³
Tykkelse af formation [m]	115	5 ³	109–121 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	55	7 ³	51–59 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	38	10 ³	34–42 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,33	10 ³	0,30–0,36 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,69	10 ³	0,62–0,76 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	21	5 ³	20–22 ³
Gas-permeabilitet [mD]	240	4 ⁷	60–960 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	300	4 ⁷	75–1200 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	11	5 ⁷	2–55 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	76	10 ³	68–84 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til mellem kornstørrelse, stedvis grovkornet; dårlig sorteret til velsorteret; subkantede til subafrundede korn		
Diagenese/cementering	Kalkfrie til svagt kalkcementerede, stedvis kalkcementerede		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Mellem; kontinuiteten er forholdsvis stor i nærområdet til lokaliteten, som er beliggende over Kvols saltpudden, men mindre forkastninger gennemskærer formationen syd og øst for lokaliteten i en afstand af 1–2 km.		

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 estimeret for midten af formationen ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin.

4. Datagrundlag

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

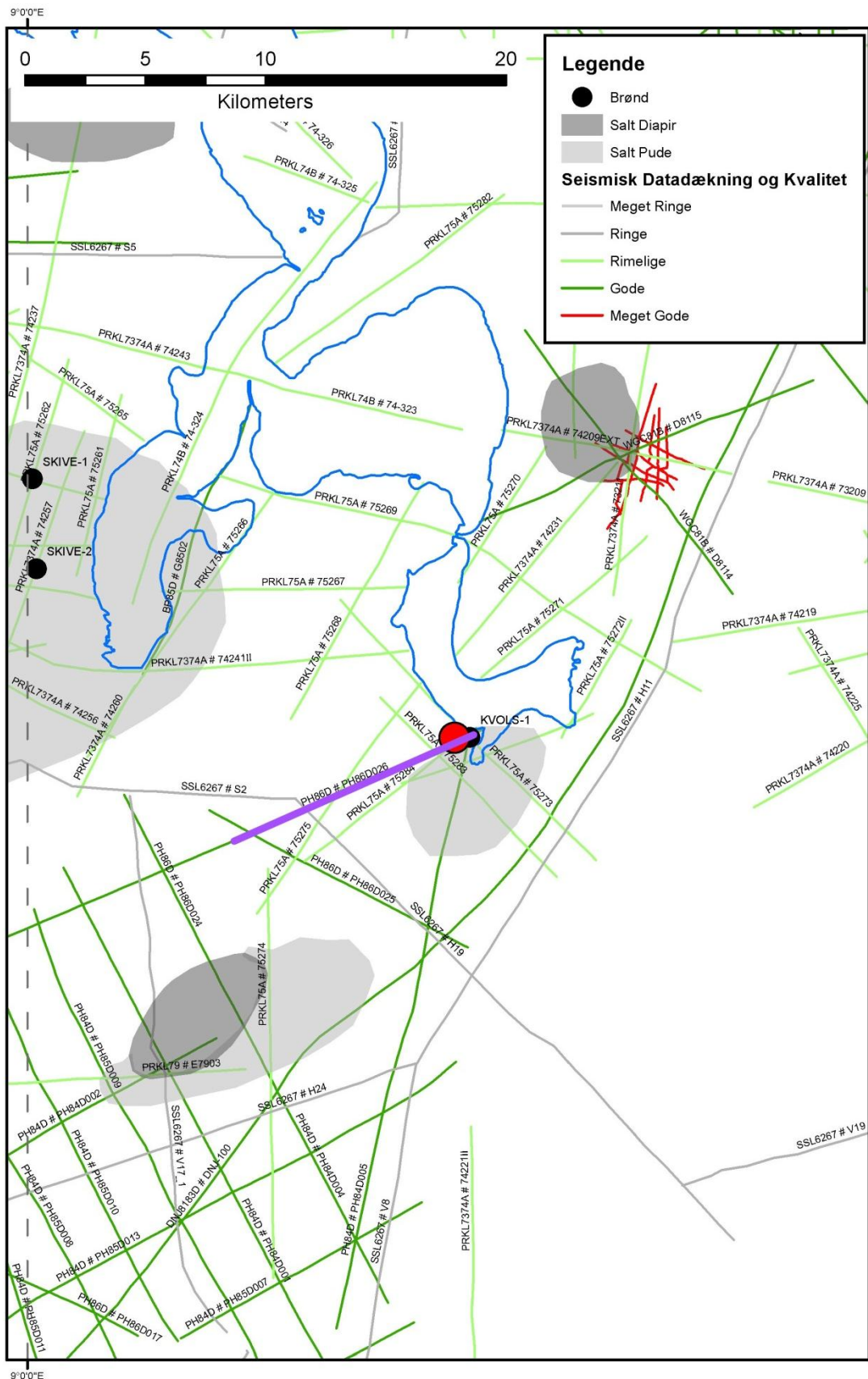
De nærmeste dybe brønde er Kvols-1, Skive-2, Skive-1, Hobro-1 og Farsø-1, der er placeret henholdsvis ca. 0,5, 19, 21, 23 og 29 km fra prognoselokaliteten (Figur 2). I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen for de nævnte brønde. Endvidere er dybdeinterval og tykkelse vist for 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. Petrofysiske logs indsamlet i Kvols-1 brønden er af god kvalitet og udgør grundlaget til at vurdere Gassum Formationens reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten. Da Kvols-1 samtidig ligger meget tæt ved prognoselokaliteten vurderes brønddækningen og kvaliteten af brønddata som værende god i vurderingen af lokaliteten.

Kvaliteten af tilgængelige 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. Den seismiske datadækning og -kvalitet vurderes som værende rimelig i området. I 2011 blev der endvidere indsamlet højopløselige seismiske data i området. Disse data er fortrolige og indgår ikke i analysen.

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 Figur 3 (de nærmeste brønde). Tykkelse er i meter, og dybdeinterval er i meter under havniveau (data fra Nielsen & Japsen 1991).

		Kvols-1 (0,5 km)	Skive-2 (19 km)	Skive-1 (21 km)	Hobro-1 (23 km)	Farsø-1 (29 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	234–1722	110–1030	184–1429	41–1593	15–1410
	Tykkelse (m)	1488	920	1245	1542	1395
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1955–2405	1149–1269	1702–2093	1891–2344	1952–2718
	Tykkelse (m)	450	120	391	453	766
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	2405–2519*	1269–1322	2093–2212	2344–2489	2718–2916
	Tykkelse (m)	114*	53	119	145	198

*Nedre grænse til Vinding Formationen er sat hvor det første hårde karbonatlag forekommer, og de viste værdier afviger dermed lidt fra Nielsen & Japsen 1991.



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og nærmeste brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. Den del af den seismiske linje PH86D026, 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 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

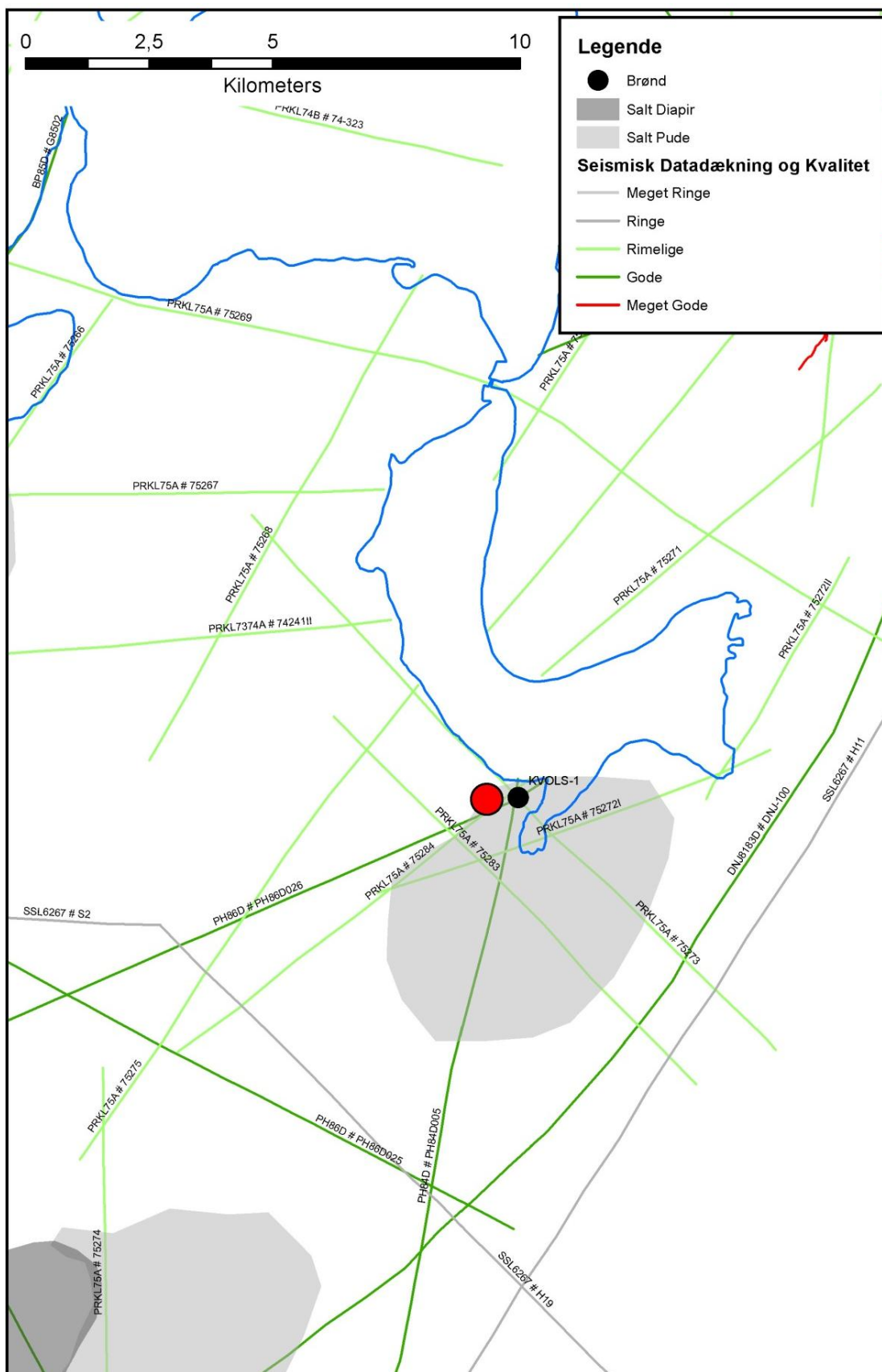
5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1. Gassum Formationens top vurderes at være til stede ca. 2430 m.u.h. ved prognoselokaliteten med en vurderet usikkerhed på $\pm 3\%$. Tykkelsen af formationen vurderes til at være 115 meter med en usikkerhed, der ligeledes vurderes til $\pm 5\%$.

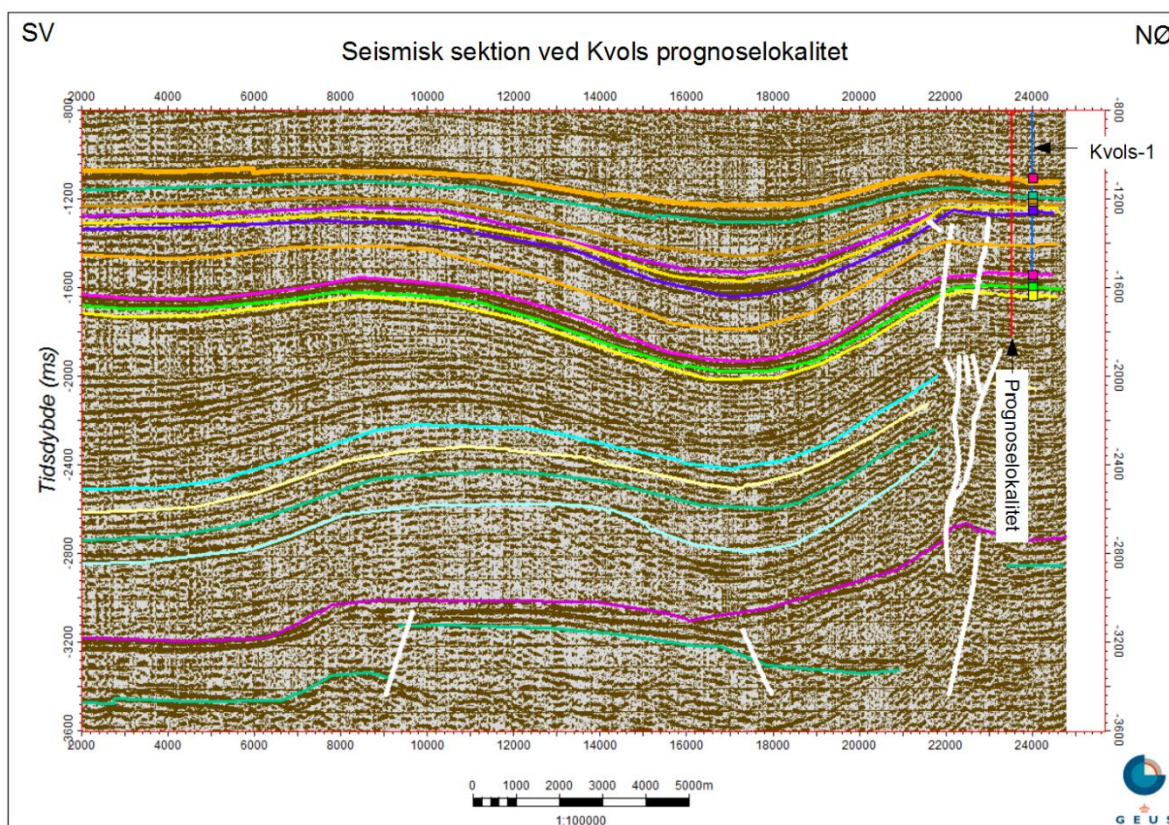
Den seismiske linje PH86D026 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et omtrent sydvest-nordøst orienteret seismisk profil, der passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af omkring 200 meter og tilnærmelsesvis løber henover Kvols-1 brønden. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. Profilet viser, at Gassum Formationen draperer henover en mindre saltpude, der tilsyneladende er knyttet til en dybtliggende forkastning, som skærer Top Pre-Zechstein horisonten nær prognoselokaliteten. Generelt viser de seismiske data, at Gassum Formationen i området er forholdsvis kontinuerlig med hensyn til tykkelse og udbredelse. Der forekommer dog mindre forkastninger, som skærer formationen ca. 1 km sydvest for prognoselokaliteten. Disse er formodentlig knyttet til den dybereliggende hovedforkastning samt udviklingen af saltpuden. Endvidere indikerer de seismiske data, at Gassum Formationen ligger en smule dybere i undergrunden og måske er en anelse tykkere ved prognoselokaliteten end i Kvols-1.

Tabel 5.1: *Dybdeintervaller og tykkelser af udvalgte lagserier ved prognoselokaliteten, som er estimeret på baggrund af seismisk kortlægning sammenholdt med brøndata fra Kvols-1.*

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	230–1730	1500
Frederikshavn Fm	1840–1885	45
Haldager Sand Fm	2945–1960	15
Fjerritslev Fm	1960–2430	470
Gassum Fm	2430–2545	115



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten. En del af den seismiske linje PH86D026 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: Sydvest–nordøst orienteret seismisk profil baseret på den seismiske linje PH86D026, der passerer syd om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 200 meter (Figur 3 og 4). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Endvidere er Kvols-1, som den seismiske linje omtrentlig passerer hen over, projiceret ind på profilet. Gassum Formationen fremstår forholdsvis uforstyrret langs med profilet bortset fra tilstedeværelsen af et par forkastninger, som gennemskærer formationen knap 1 km sydvest for prognoselokaliteten (forkastninger er angivet som stejle hvide streger). Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. De vigtigste tolkede horisonter på figuren er oppefra og ned: Basis af Kalkgruppen (orange), Top Frederikshavn Fm (grøn), Top Børglum Fm (brun), Top Flyvbjerg Fm (lyserød), Top Haldager Sand Fm (gul), Top Fjerritslev Fm (lilla), Top Gassum Fm (lyserød), Top Vinding Fm (lysegrøn), Top Oddesund Fm (gul), Top Tønder Fm (turkisblå), Top Falster Fm (lysegul), Top Bunter Sandsten Fm (lyseblå), Top Zechstein (lyserød) og Top Pre-Zechstein (turkisgrøn). Den omtrentlig to-vejs-tid til laggrænser i Kvols-1 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 variere betydeligt i tykkelse og i den interne fordeling af sandsten og lersten (Nielsen 2003). Regionale studier har vist, at mange af sandstensintervallerne kan korreleres mellem brøndene over store afstande i form af sekvensstratigrafiske enheder, mens andre kiler ud mellem brøndene (Figur 19 og 20 i Nielsen 2003). Dette 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.

Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Gassum Formationen i de nærmeste brønde samt hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirgenskaber (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. De seismiske data viser ingen markante tykkelsesvariationer af Gassum Formationen mellem Kvols-1 og prognoselokaliteten, men formationen er muligvis en anelse tykkere ved lokaliteten. Sammenholdt med den korte afstand vurderes Kvols-1 derfor til at være repræsentativ for prognoselokaliteten med hensyn til Gassum Formationens tykkelse, dens interne fordeling af sandsten og lersten samt sandstenenes reservoirgenskaber. Flere af sandstensintervallerne i Kvols-1 kan korreleres med sandstensintervaller i andre brønde, og som udgangspunkt kan den sedimentologiske kontinuitet derfor betragtes som værende stor, om end de interne sandstensintervaller kan afspejle forskellige aflejringssmiljøer (Nielsen 2003).

Tabel 5.2: Tykkelser af Gassum Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirgenskaber (Potentielt reservoirsand), i de nærmeste brønde, hvis omtrentlige beliggenhed ses i Figur 2. Det skraverede felt angiver, at andelen af Gross sand og Potentielt reservoirsand ikke kan beregnes på baggrund af de givne logdata.

	Tykkelser/antal meter		
	Formation	Gross sand	Potentielt reservoirsand
Kvols-1	114	55	38
Skive-2	53	11	10
Skive-1	119		
Hobro-1	145	143	63
Farsø-1	198	61	35

5.2 Reservoirkvalitet

I vurderingen af Gassum Formationens reservoirregenskaber ved prognoselokaliteten er der taget udgangspunkt i data fra den nærliggende Kvols-1. Dybdeintervallet for Gassum Formationen i Kvols-1 ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der ikke er udtaget kerner af formationen. Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af borespåner fra Kvols-1 boringen (Dansk Boreselskab 1976). De optagne og tolkede logs i Kvols-1 brønden er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

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

Tabel 5.3: *Overblik over dybdeintervaller i målt dybde fra referencepunkt på boreplatformen (MD) af Gassum Formationen i Kvols-1. Det fremgår, at der ikke er udtaget kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Kvols-1	2424–2532	Ingen	Ingen

Tabel 5.4: 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')
	GRpseude	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 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 Kvols-1 brønden.*

Kvols-1			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	2405	1 ³	2381–2429 ³
Tykkelse af formation [m]	114	1 ³	113–115 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	55	5 ³	52–58 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	38	5 ³	36–40 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,33	5 ³	0,31–0,35 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,69	5 ³	0,65–0,72 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	21	5 ³	20–22 ³
Gas-permeabilitet [mD]	240	4 ⁷	60–960 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	300	4 ⁷	75–1200 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	11	4 ⁷	3–44 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad		Fin til mellem kornstørrelse, stedvis grovkornet; dårlig sorteret til velsorteret; subkantede til subafrundede korn	
Diagenese/cementering		Kalkfrie til svagt kalkcementerede, stedvis kalkcementerede	

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.

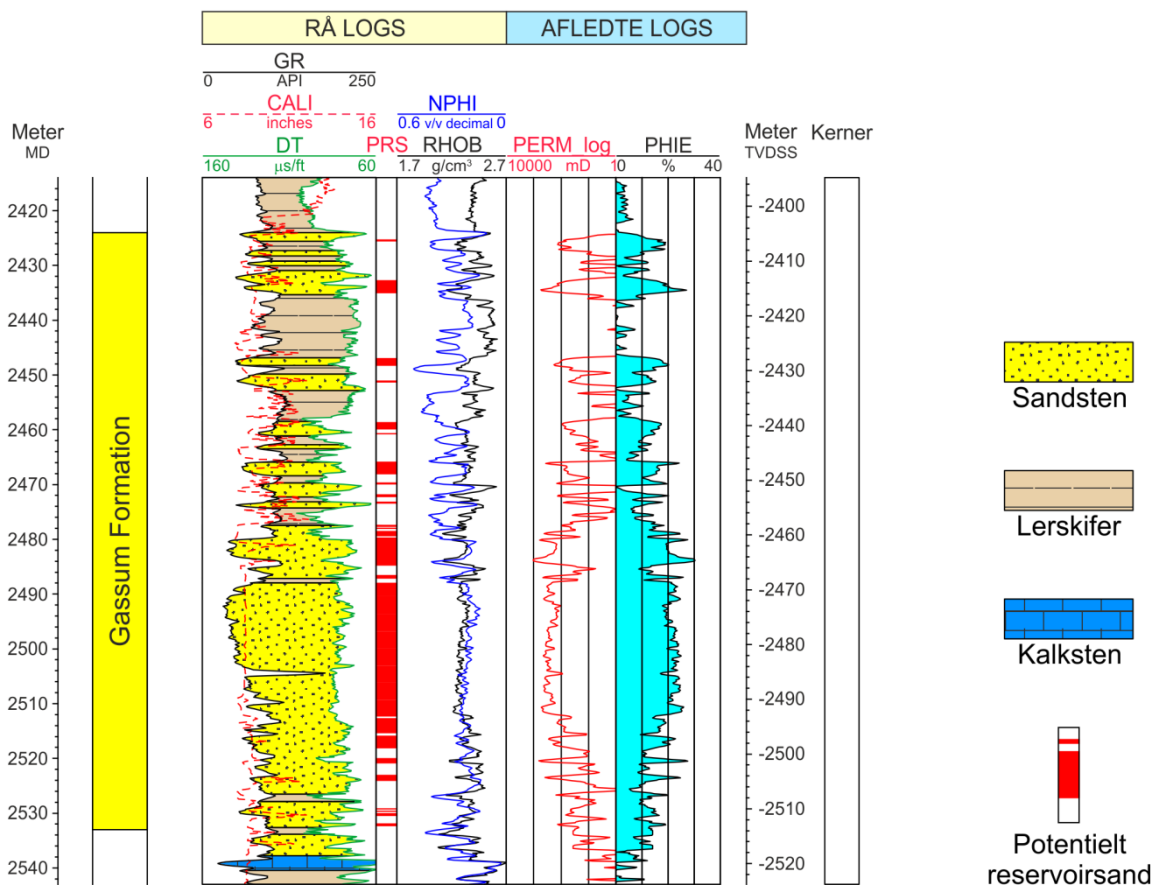
⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale fra Kvols-1 har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Gassum Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten. Logtolkningen viser, at den nederste halvdel af formationen domineres af sandsten, hvorimod sandsten veksler med lersten i den øvre del af formationen (Figur 6). Beskrivelserne af borespåner fra Kvols-1 understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af disse, at

sandstenene i den nedre halvdel af formationen hovedsageligt er finkornede, velsorterede og svagt kalkcementerede eller kalkfrie (fra ca. 2482 m.u.h. og dybere) eller medium til grovkornede, dårligt sorterede og med subkantede til subafrundede sandskorn samt svagt kalkcementerede (fra ca. 2465 til 2482 m.u.h.). I den øvre halvdel af formationen er sandstenene fin- til mellemkornede, sorterede og med subafrundede korn samt kalkcementerede eller kalkfrie (Dansk Boresekskab 1976). En tilsvarende lithologisk sammensætning samt tekstur og cementering af sandsten antages også at være gældende ved prognoselokaliteten.

Kvols-1



Figur 6: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Kvols-1 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologikolonnen er afgrænset af gammay (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 Kvols-1 er Gassum Formationen 114 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 55 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 Kvols-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. 38 meter i Gassum Formationen. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 21 % (Tabel 5.5).

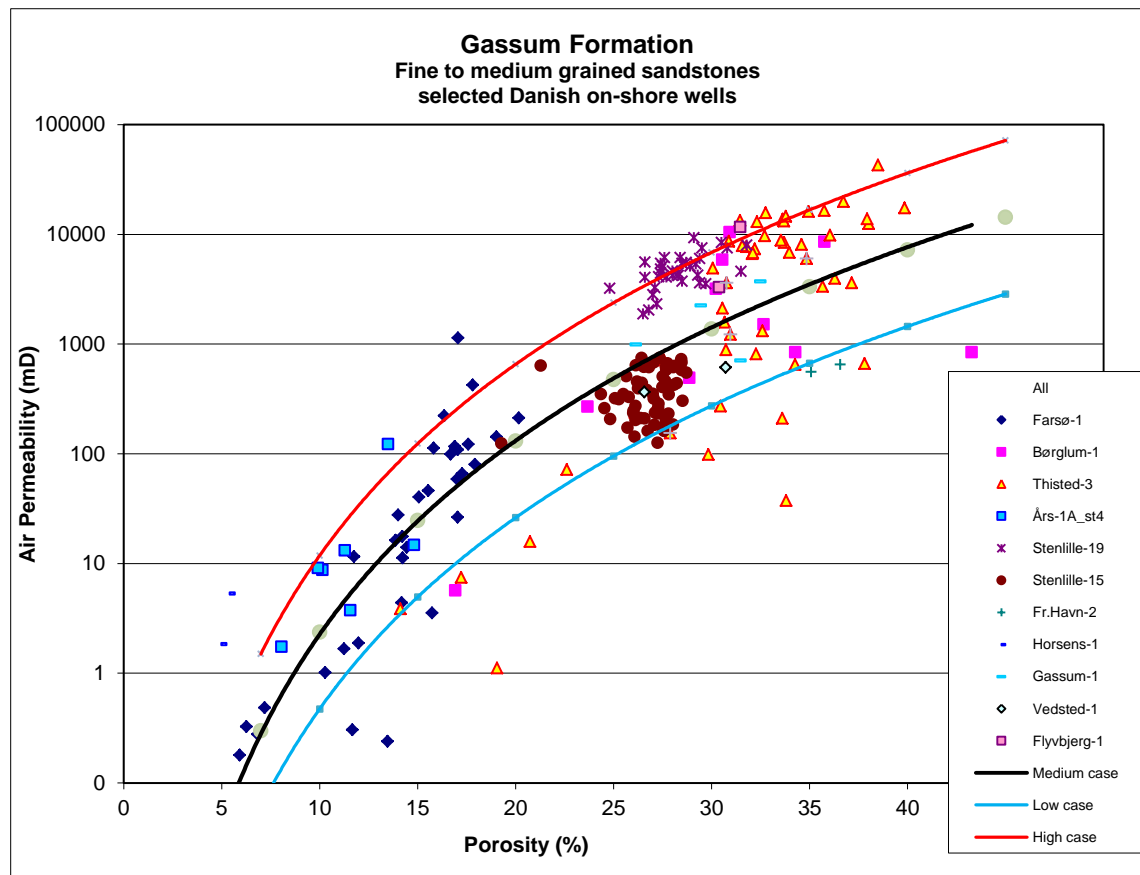
Tabel 5.6: Responsparametre for gamma (GR) log for Kvols-1 boringen.

Responsparametre for gamma (GR) log	Dybdeinterval (meter MD)	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Kvols-1, Gassum Formationen	2424–2480	50	150
	1280–2512	50	400
	2512–2525	50	380
	2525–2538	50	125

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 7). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Kvols-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. 240 mD for Kvols-1. Dette svarer til en reservoir-permeabilitet på omtrent 300 mD. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af en omregning til væske-permeabilitet. Kvols-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.



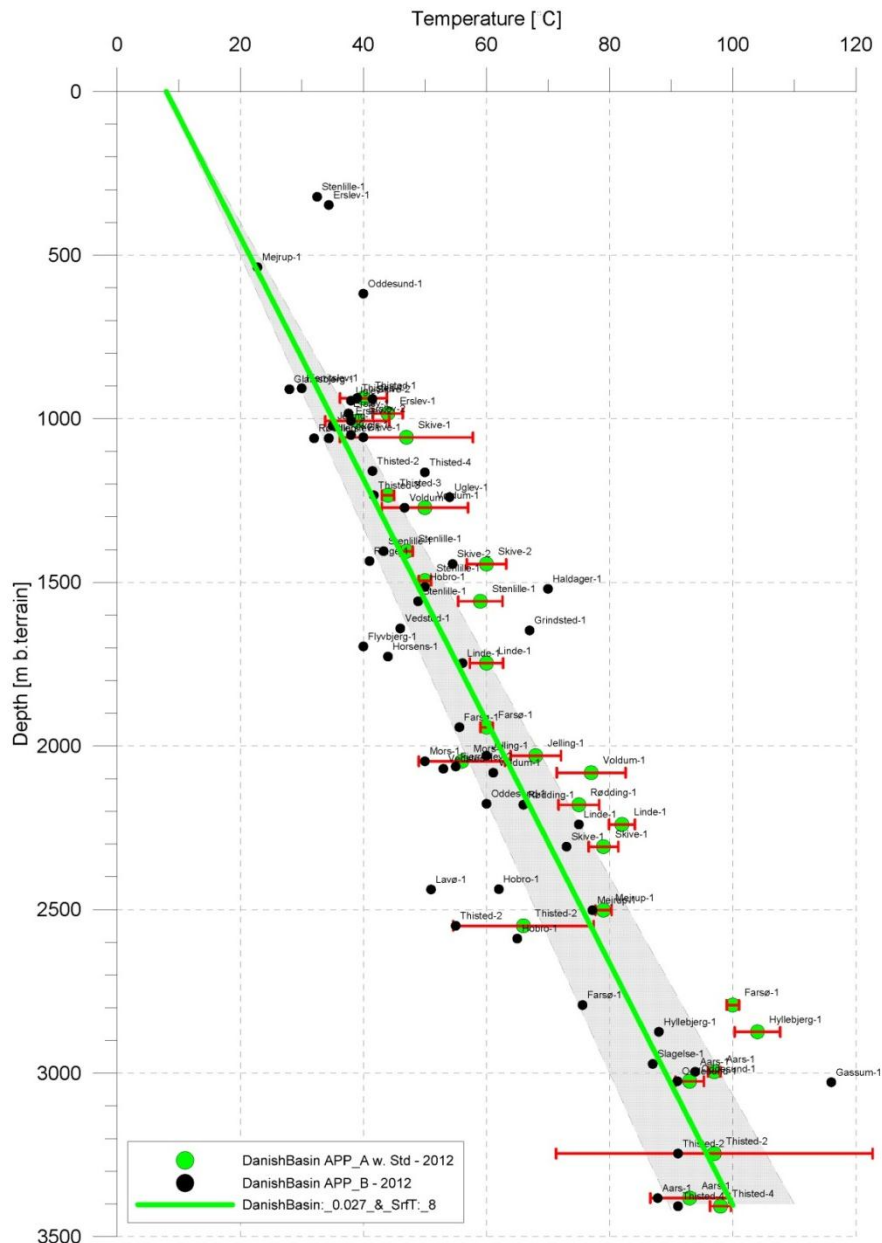
Figur 7: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug prøver primært fra sandstenslag i Gassum Formationen. Korrelationen er ikke entydig, og derfor er variationsbredden belyst med 3 tendens-linjer (Høj, Medium og Lav "cases").

5.2.3.1 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 Kvols-1 og ved prognoselokaliteten vurderet til ca. 11 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.

5.3 Temperatur

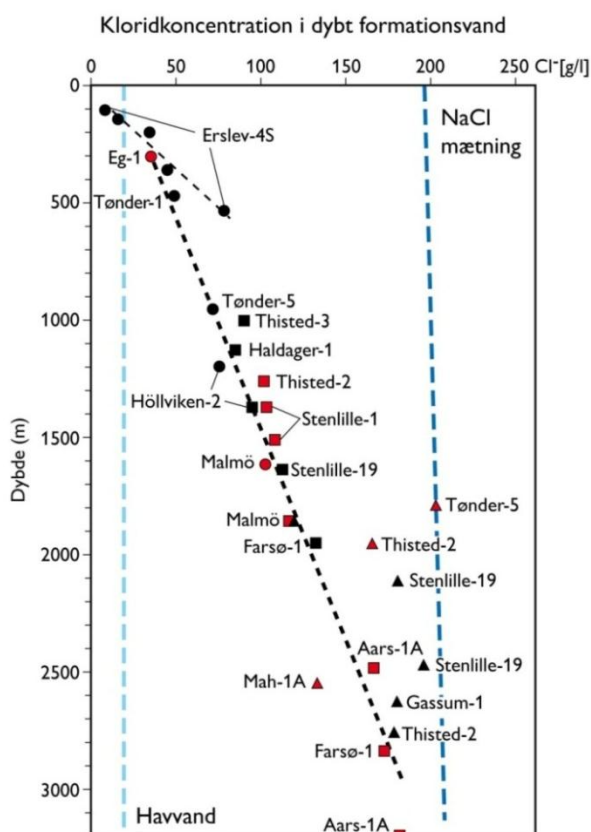
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til ca. $76 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \%$ ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på alle relevante temperaturmålinger i dybe borer i bassinet og er givet ved: $\text{Temp.} = 0,027 \cdot \text{dybde} + 8 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figur 8). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 2503 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (2430 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (15 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (ca. 58 meter).



Figur 8: 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). Temperaturmålingen fra Kvoles-1 (1050 m/38 $^\circ\text{C}$) holder sig indenfor usikkerhedsbåndet.

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 9). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på omkring 156 g/l i en dybde af 2503 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 206 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 9: Saltholdigheden i dybt formationsvand givet ved kloridkoncentrationen. Kloridanalyserne 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 A/S (Mærsk) 1976: Completion Report Kvols-1.

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.

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.