



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

**Bilag 3: Områderapport for Hillerød - Farum -
Værløse**

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

Hillerød – Farum – Værløse Beskrivelse fjernvarmeområde

DATO

5. februar 2015

TIL

Energistyrelsen

KOPI

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)

FRA

A044062

PROJEKTNR

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 1/10

1 Hillerød – Farum - Værløse fjernvarmeområde

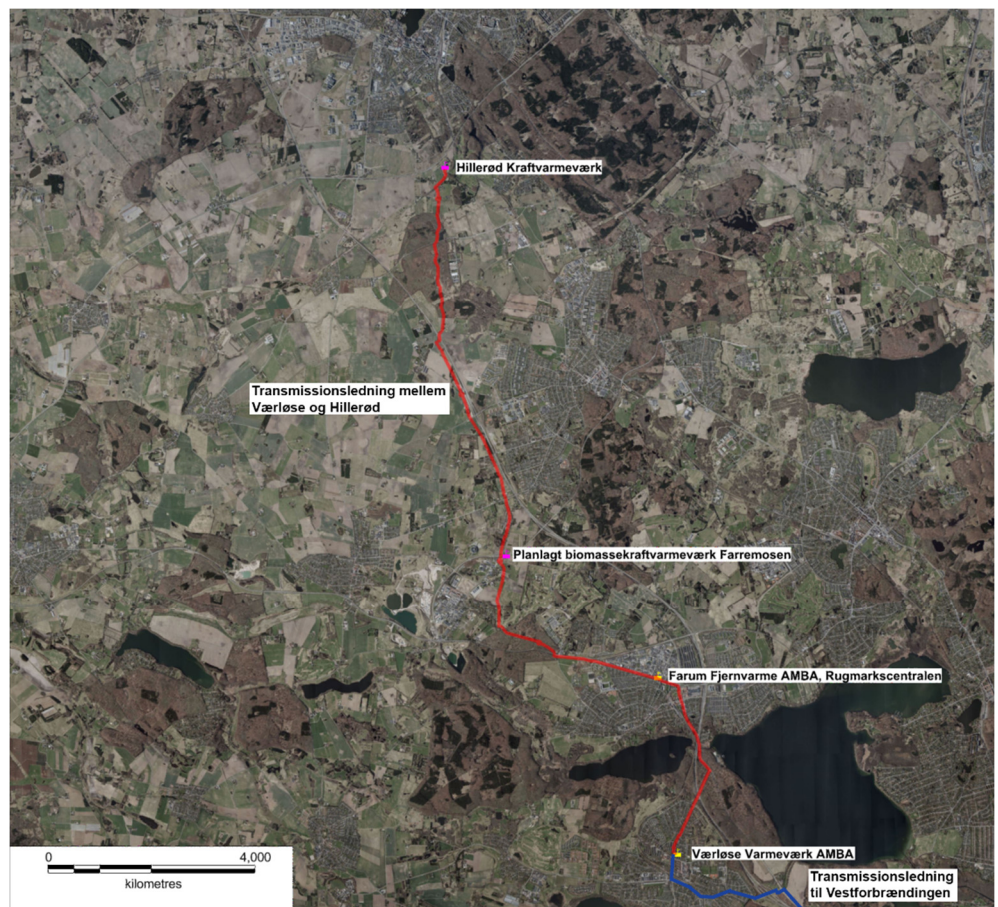
1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i dette område varetages af hhv. Hillerød Varme A/S, Farum Fjernvarme A.m.b.a. og Værløse Varmeværk.

Hillerød Varme A/S er en del af det 100% kommunalt ejede Hillerød Forsyning.

De 3 fjernvarmenet er forbundet med hinanden via en transmissionsledning fra Hillerød til Vestforbrænding via Farum og Værløse.

Den overordnede struktur af transmissionssystemet fremgår af efterfølgende figur:



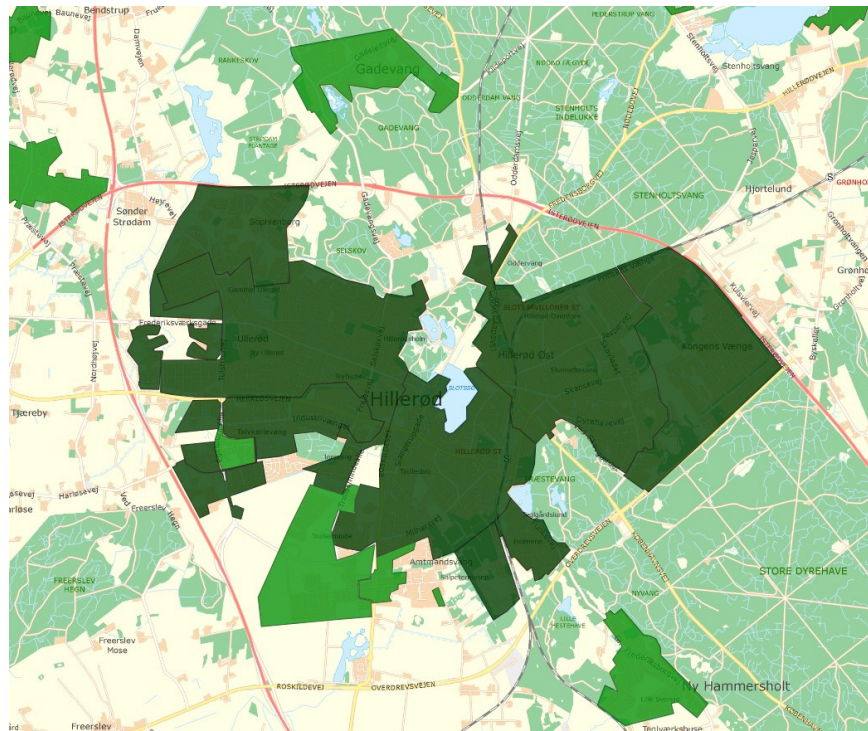
Figur 1.1-1 Oversigtskort transmissionsledninger Hillerød – Farum – Værløse.

Transmissionsledningen mellem Hillerød og Farum har en kapacitet på 30 MW.

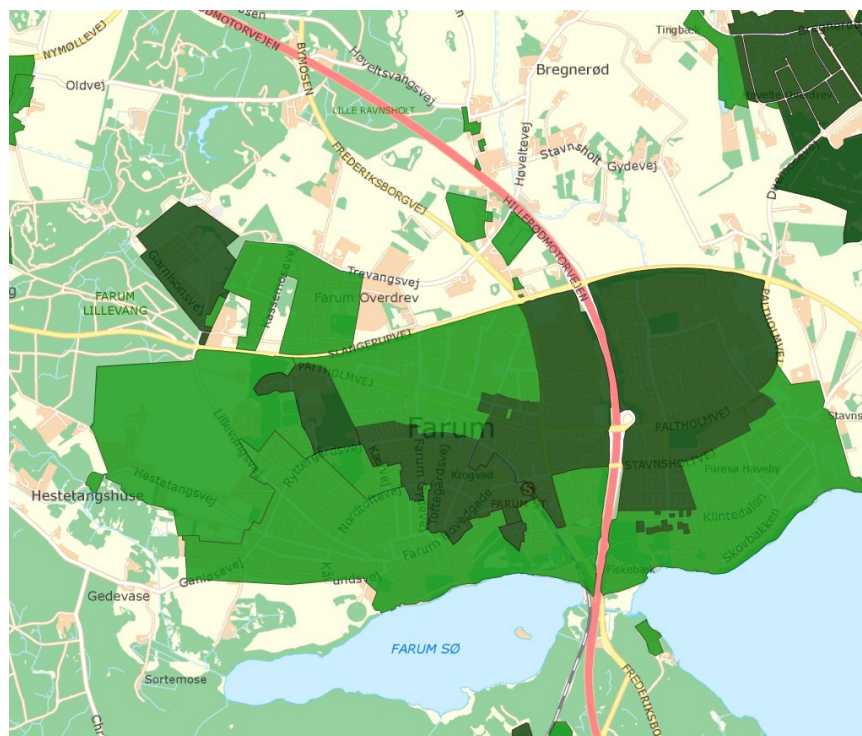
Mellem Farum og Værløse er kapaciteten på 20 MW.

Mellem Værløse og Vestforbrænding er kapaciteten på ca. 14 MW.

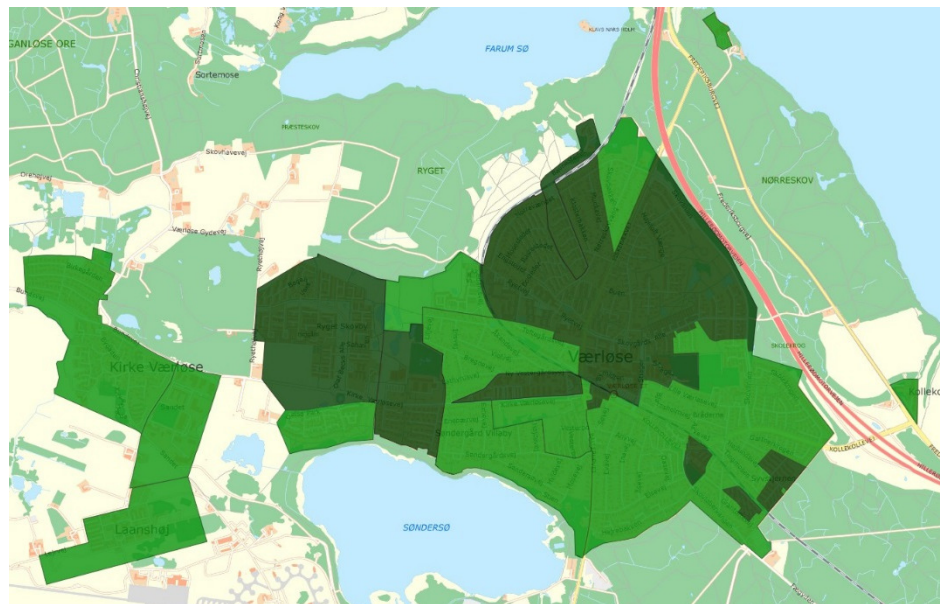
Efterfølgende kort viser de nuværende forsyningsområder i hhv. Hillerød, Farum og Værløse:



Figur 1.1-2 Oversigtskort over forsyningsområder Hillerød (nuværende fjernvarme mørkegrøn – lysegrønne områder er naturgas) Kilde Plansystem.dk



Figur 1.1-3 Oversigtskort over forsyningsområder Farum (nuværende fjernvarme mørkegrøn – lysegrønne områder er naturgas) Kilde Plansystem.dk



Figur 1.1-4 Oversigtskort over forsyningsområder Værløse (nuværende fjernvarme mørkegrøn – lysegrønne områder er naturgas) Kilde Plansystem.dk

Oversigt over fjernvarmeledningernes placering i Hillerød fremgår af nedenstående figur:



Figur 1.1-5 Oversigtskort distributionsnet i Hillerød (Kilde: COWI Termis-data):



Figur 1.1-6 Oversigtskort distributionsnet i Farum (Kilde Farum Fjernvarme).

Det har ikke været muligt at fremskaffe tilsvarende kort fra Værløse Varmeværk, da der p.t. er problemer med deres ledningsregistreringssystem.

I Hillerød leveres i dag ca. 25% af varmen fra biofyrede anlæg. De øvrige 75% leveres fra samme pulje, som leverer al Farums varme.

Puljen består af varme fra Hillerød Kraftvarmeværk, gaskedlerne i Farum samt affaldsvarme fra Vestforbrænding og lidt overskudsvarme i Hillerød (ca. 10.000 MWh). Der aftages så meget varme som muligt fra Vestforbrænding til Farum og Hillerød (2015 budget er på 49.000 MWh). Resterende varme leveres fra kraftvarmeværket, når det kan betale sig at producere el. Resten af varmen leveres fra gaskedlerne.

For Værløse Varmeværks vedkommende leveres al varme fra Vestforbrænding via transmissionsledningen, dog evt. suppleret med varme fra egne kedler i kolde perioder.

Nedenstående tabel viser fjernvarmebehovene for Hillerød, Farum og Værløse. Data herfor er baseret på de af disse selskabers leverede oplysninger til opgave vedrørende Strategisk Energiplanlægning for kommunerne i Region Hovedstaden suppleret med oplysninger fra Dansk Fjernvarmes årsstatistik udgivet ultimo 2014.

Sammenlignet med øvrige rapporter for tilsvarende fjernvarmeområder bemærkes det, at der ikke foreligger data for 2025. I stedet for er anført data for 2020.

Tabel 1.1-1 Oversigt nuværende og fremtidigt varmegrundlag i Hillerød, Farum og Værløse og samlet set.

Varmegrundlag					
Hillerød					
MWh/år	2012*	2013**	2015**	2025***	2035***
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	0	269.976	270.000	300.000	300.000
Distributionstab	0	50.000	50.000	60.000	60.000
An net	0	319.976	320.000	360.000	360.000
TJ/år					
Nettovarme	0	972	972	1080	1080
Distributionstab	0	180	180	216	216
An net	0	1152	1152	1296	1296
*Data for 2012 foreligger ikke					
** Kildemateriale: Data materiale fra opgave vedrørende Strategisk energiplanlægning for kommunerne i Region Hovedstaden.					
*** Fra og med 2016 forventes varmesalget at udgøre 300 GWh, nettabet 60 GWh og dermed et behov på 360 GWh, jf oplysninger fra Hillerød Forsyning					
Varmegrundlag					
Farum					
MWh/år	2012*	2013**	2015***	2025***	2035***
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	75.000	75.000	75.000	128.700	152.533
Distributionstab	12.413	12.413	11.833	21.300	25.244
An net	87.413	87.413	90.000	150.000	177.778
TJ/år					
Nettovarme	270	270	270	463	549
Distributionstab	45	45	43	77	91
An net	315	315	324	540	640
* Kildemateriale: Data materiale fra opgave vedrørende Strategisk energiplanlægning					
** Data for 2013 foreligger ikke - derfor forudsat at svare til 2012-tal					
*** data oplyst fra Farum Fjernvarme 2035 tal indeholder tilslutning af de nuværende fjernvarmeforsynede områder i Allerød - hertil kommer et yderligere konverteringspotentiale på op til 226 GWh i Allerød					
Varmegrundlag					
Værløse					
MWh/år	2012*	2013**	2015***	2025***	2035***
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	0	45.970	44.500	44.500	44.500
Distributionstab	0	7.576	9.000	9.000	9.000
An net	0	53.546	53.500	53.500	53.500
TJ/år					
Nettovarme	0	165	160	160	160
Distributionstab	0	27	32	32	32
An net	0	193	193	193	193
* Data foreligger ikke					
** Kilde Dansk Fjernvarmes årsstatistik 2014					
*** Kilde Anmeldelse af budgetdata for 2013/2014 - forudsat uændret varmebehov fremadrettet da der ikke foreligger nogen aktuelle planer/undersøgelser vedrørende mulighederne for etablering af nye fjernvarmeområder					
Varmegrundlag					
Hillerød - Farum - Værløse					
MWh/år	2012*	2013**	2015*	2025*	2035*
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	75.000	390.946	389.500	473.200	497.033
Distributionstab	12.413	69.989	70.833	90.300	94.244
An net	87.413	460.935	463.500	563.500	591.278
TJ/år					
Nettovarme	270	1407	1402	1704	1789
Distributionstab	45	252	255	325	339
An net	315	1659	1669	2029	2129
* 2012 - tal er alene for Farum					
Kildemateriale: Data materiale fra opgave vedrørende Strategisk energiplanlægning for kommunerne i Region Hovedstaden. samt individuelle oplysninger fra værkerne.					
Energistyrelsens udbud angiver som gennemsnit over 5 år 1646 TJ					
Energiproducenttællingen for 2012 angiver et samlet varmebehov på 1.668 TJ, hvilket er på niveau med tallene for 2013.					
Samlet set fin sammenhæng med nuværende niveau.					

Udviklingen i varmebehovet er baseret på de fremsendte oplysninger til Region Hovedstadens Strategiske Energiplan samt individuelle oplysninger fra de 3 byer.

Til brug for vurderingerne ønskes nedenstående temperaturforhold oplyst.

Tabel 1.1-2 Oversigt over temperaturforhold Hillerød.

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
2014/15 tal			
70	48	75	45

Tabel 1.1-3 Oversigt over temperaturforhold Farum.

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
80	47	84	46

Tabel 1.1-4 Oversigt over temperaturforhold Værløse.

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
DF-statistik 2014			
68	45	71	43

Tabel 1.1-5 Oversigt over temperaturforhold Transmissionsledning mellem Vestforbrænding og Hillerød.

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
N/A	N/A	N/A	N/A

Hillerød Varme A/S har oplyst, at temperaturniveau i transmissionsledningen ved leverancer fra Hillerød mod Farum bestemmes af temperaturniveauet i Farum. Hillerød Varme A/S har endvidere oplyst at fremløbstemperatur fra Vestforbrænding normalt er på minimum 90 °C eller højere.

Der foreligger ingen konkrete planer vedrørende reduktion af temperaturniveauerne i Hillerød Varme A/S's distributionssystem.

Der foreligger ingen konkrete planer vedrørende reduktion af temperaturniveauerne i Farum Fjernvarmes distributionssystem, men der er et stort potentiale – specielt i de store boligforeningsområder som Farum Park.

Værløse Varmeværk har heller ingen konkrete planer vedrørende sænkning af temperaturniveauer.

Det maksimale effektbehov udgør for Hillerøds vedkommende ca. 100 MW.

Det maksimale effektbehov udgør for Farums vedkommende p.t. ca. 30 MW, men behovet vil stige i takt med udbygningen i Farum i 2025 – op til minimum 50 MW – hertil kommer effektbehov til forsyning i Allerød.

Det maksimale effektbehov udgør for Værløse udgør jf. Dansk Fjernvarmes årsstatistik for 2014 30 MW.

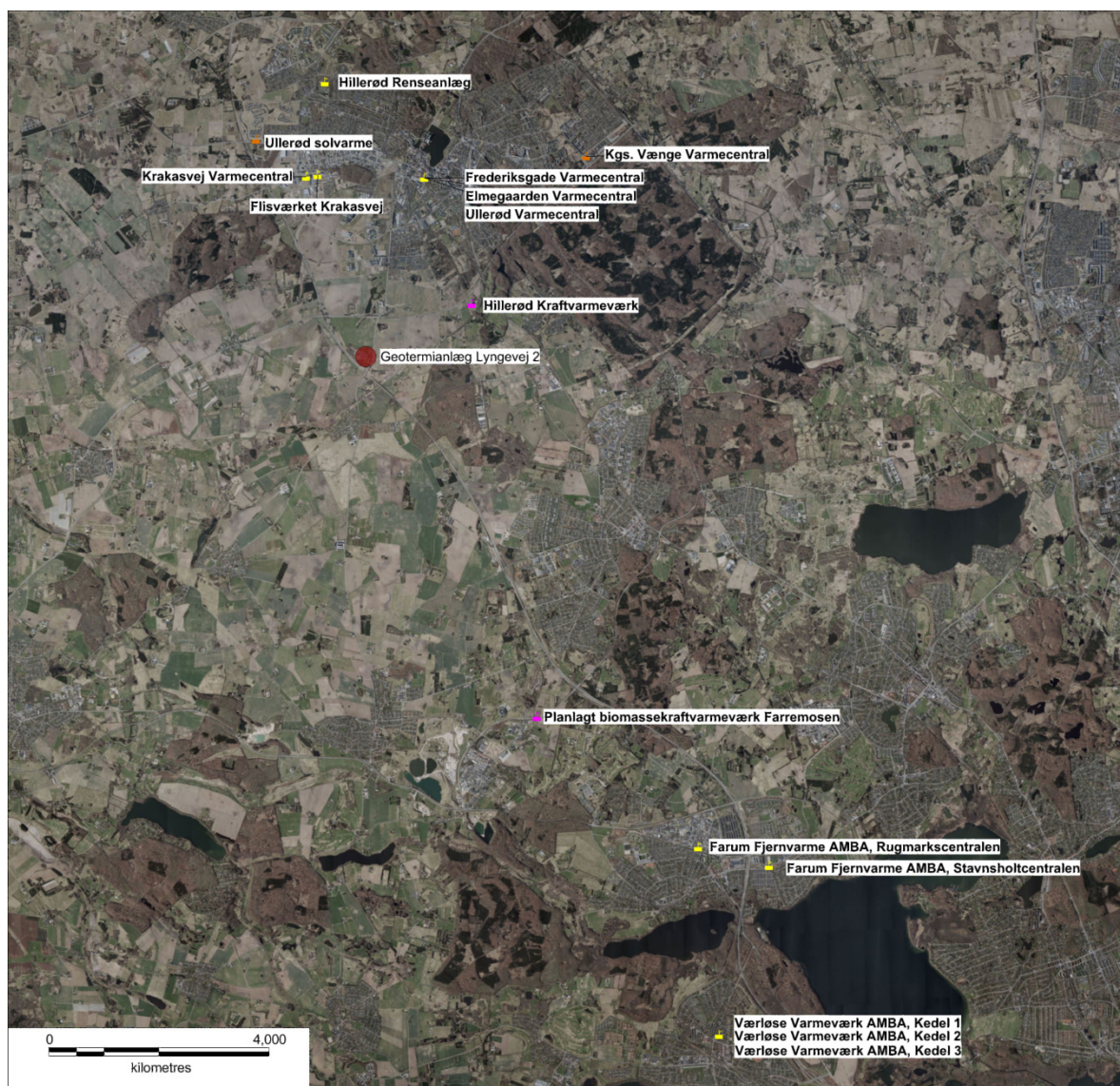
1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur:

Tabel 1.2-1 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling 2012)

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 udfasnings år	Biogas	Naturgas	Skovflis	Træpiller	Solenergi	
Farum by																	
Farum Fjernvarme AMBA, Stavnsholtcentral	Kedel (3 stk.)	Naturgas	37	37	22	0	22		100%	09-11-1973			36,5				
Farum Fjernvarme AMBA, Rugmarkscentral	Kedel (3 stk.)	Naturgas	199	179	30	0	30		100%	01-01-1977			179,1				
Værløse by																	
Værløse Varmeværk AMBA, Kedel 1	Kedel	Naturgas	0	0	6	0	6		100%	05-12-1985							
Værløse Varmeværk AMBA, Kedel 2	Kedel	Naturgas	16	16	9	0	9		100%	05-12-1985			16,2				
Værløse Varmeværk AMBA, Kedel 3	Kedel	Naturgas	22	22	9	0	9		100%	05-12-1985			22,5				
Hillerød by																	
Hillerød Renseanlæg	Kedel	Biogas	4	5	0	0	0		73%			4,7	0,1				
Frederiksgade Varmecentral	Kedel	Naturgas	162	171	8	0	8		100%	01-01-1969			170,7				
Frederiksgade Varmecentral	Kedel		0	0	8	0	8		100%	01-01-1962							
Frederiksgade Varmecentral	Kedel		0	0	10	0	10		100%	01-01-2006							
Frederiksgade Varmecentral	Kedel		0	0	10	0	10		100%	01-01-2006							
Frederiksgade Varmecentral	Kedel		0	0	8	0	8		100%	01-01-1967							
Ullerød Varmecentral	Kedel	Naturgas	31	33	9	0	9		100%	01-01-1974			32,6				
Ullerød Varmecentral	Kedel		0	0	9	0	9		100%	01-01-1974							
Ullerød Varmecentral	Kedel		0	0	9	0	9		100%	01-01-1978							
Kgs. Vænge Varmecentral	Kedel	Naturgas	69	73	9	0	9		100%	01-01-1974			72,6				
Kgs. Vænge Varmecentral	Kedel		0	0	9	0	9		100%	01-01-1974							
Kgs. Vænge Varmecentral	Kedel		0	0	9	0	9		100%	01-01-1974							
Kgs. Vænge Varmecentral	Solvarme		0	0	0	0	0		100%	01-01-2010							
Elmegaarden Varmecentral	Kedel	Naturgas	126	132	9	0	9		100%	01-01-1972			132,2				
Elmegaarden Varmecentral	Kedel		0	0	7	0	7		100%	01-01-1965							
Elmegaarden Varmecentral	Kedel		0	0	7	0	7		100%	01-01-1967							
Elmegaarden Varmecentral	Kedel		0	0	9	0	9		100%	01-01-1969							
Elmegaarden Varmecentral	Solvarme		0	0	1	0	1		100%	01-01-2010							
Kraksvej Varmecentral	Kedel	Gas og biomasse	93	98	10	0	10		91%	01-01-2006			8,7			89,4	
Ullerød solvarme	Solvarme	Sol	4	4	2	0	2		100%	01-11-2008						4,4	
Flisværket Kraksvej	Flis kedel (inkl. at	Flis	213	184	7	0	8		123%	01-05-2011				183,6			
Hillerød Kraftvarmeværk	Kombianlæg	Naturgas	693	1505	174	77	78	44%	46%	01-01-1991			1505,1				
Total			1.668				308										
Heraf Farum			235				52										
Heraf Værløse			37				24										
Heraf Hillerød			1.396				232										

Anlæggenes geografiske placering er illustreret nedenfor.



Figur 1.2-1 Geografisk placering af varmeproduktionsanlæg.

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

I Hillerød er et flisfyret kraftvarmeværk med en eleffekt på 4 MW og en varmeeffekt på 25 MW påregnet opført i 2016. Endvidere undersøges mulighederne for etablering af et geotermianlæg.

Set i forhold til det nuværende varmegrundlag i Hillerød påregnes der alene udvidet med varmebehovet fra det nye supersygehus med tilhørende bydel. Tilvæksten er estimeret til 20 GWH/72 TJ.

Forbindelsesledninger til de mindre byer Gørløse, Skævinge og Meløse er under implementering og forventes idriftsat i foråret 2015.

Varmebehov i Skævinge udgør ca. 54 TJ, heraf et nettab på 18 TJ.

Varmebehov i Meløse udgør ca. 20 TJ, heraf et nettab på 10 TJ

Varmebehov i Gørløse udgør ca. 16 TJ, heraf et nettab på 8 TJ

Varmebehovene fra disse 3 byer er indregnet i det fremtidige behov for Hillerød på i alt ca. 360 GWh.

I Farum er et biomassefyret kraftvarmeanlæg med en indfyret effekt på 16 MW og en eleffekt på 2,56 MW planlagt til opførelse i 2017. Anlægget placeres på adressen Farremosen 4 i Allerød Kommune. Anlægget er planlagt til senere udvidelse til 32 eller 48 MW indfyret effekt afhængigt af fjernvarmebehovet til udbygningen i Farum samt fjernvarmeforsyningen i Allerød.

Farum planlægger ligeledes etablering af geotermianlæg på samme adresse som ovenfor anført.

Varmeleveringen til Farum sker via transmissionsledningen og varmforsyningen til Allerød er planlagt at skulle ske direkte fra værket uden om transmissionsledningen.

Endvidere har Farum Fjernvarme planer om at udnytte sin forkøbsret til at købe transmissionsledningen, hvor Energitilsynet ultimo november 2014 har fastsat prisen for overtagelsen

Værløse Varmeværk har for nærværende ingen konkrete planer vedrørende udvidelse af fjernvarmeforsyningen.

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg på adressen Lyngvej 2 og primært med henblik på at afsætte varmen i Hillerøds distributionsnet.

Eventuel overskydende varme fra biomassekraftvarmeverkerne i Farum og i Hillerød samt overskydende varmeproduktion fra geotermivarmeanlæggene påregnes afsat via transmissionsledningen uanset ejerforhold for denne jf. oplysninger fra Farum Fjernvarme.

Hvis påkrævet kan temperaturen hæves ved at tilføre eftervarme.

Projekt: Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne

Til: Ea Energianalyse & COWI

Kopi: GEUS

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

Dato: 16. marts 2015

Emne: Beregning af et geotermianlæg i Hillerød-Farum-Værløse

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Hillerød. 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.: Hillerød_2014_12_16.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Hillerød leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Hillerød Forsyning (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 4, februar 2015).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg i Hillerød på adressen Lyngevej 2 i tilknytning til det planlagte kraftvarmeværk.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Hillerød 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 Hillerød.

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

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	28
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	2153
Temperatur@midt reservoir	°C	66
Tykkelse af formation	m TVT	150
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	44
Transmissivitet	Dm	17
Seismik-anbefaling	km	0

Tabel 1: Geologiske reservoirdata.

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

3 Forudsætninger for fjernvarmesystemet

Forudsætningerne for det respektive fjernvarmesystem er beskrevet i rapporten "Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 4, februar 2015". Data fra denne rapport er sammenfattet i Tabel 2 til brug for anlægsberegningerne. Ved vurderingen af afsætningsgrundlag og varighedskurve er der alene set på en situation, hvor geotermianlægget forsyner distributionsnettet i Hillerød. Ved angivelsen af eksisterende produktionsanlæg med forret er der set bort fra mindre bidrag fra biogas og solvarme.

Varmegrundlag (2025)	TJ/år	1296
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	0
Fremløbstemperatur vinter	°C	75
Returløbstemperatur vinter	°C	45
Fremløbstemperatur sommer	°C	70
Returløbstemperatur sommer	°C	48
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. Det forudsættes at varmen fra eksisterende forbrændingsanlæg kan benyttes som drivvarme. På anlægsskitzen 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.

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

5 Resultater

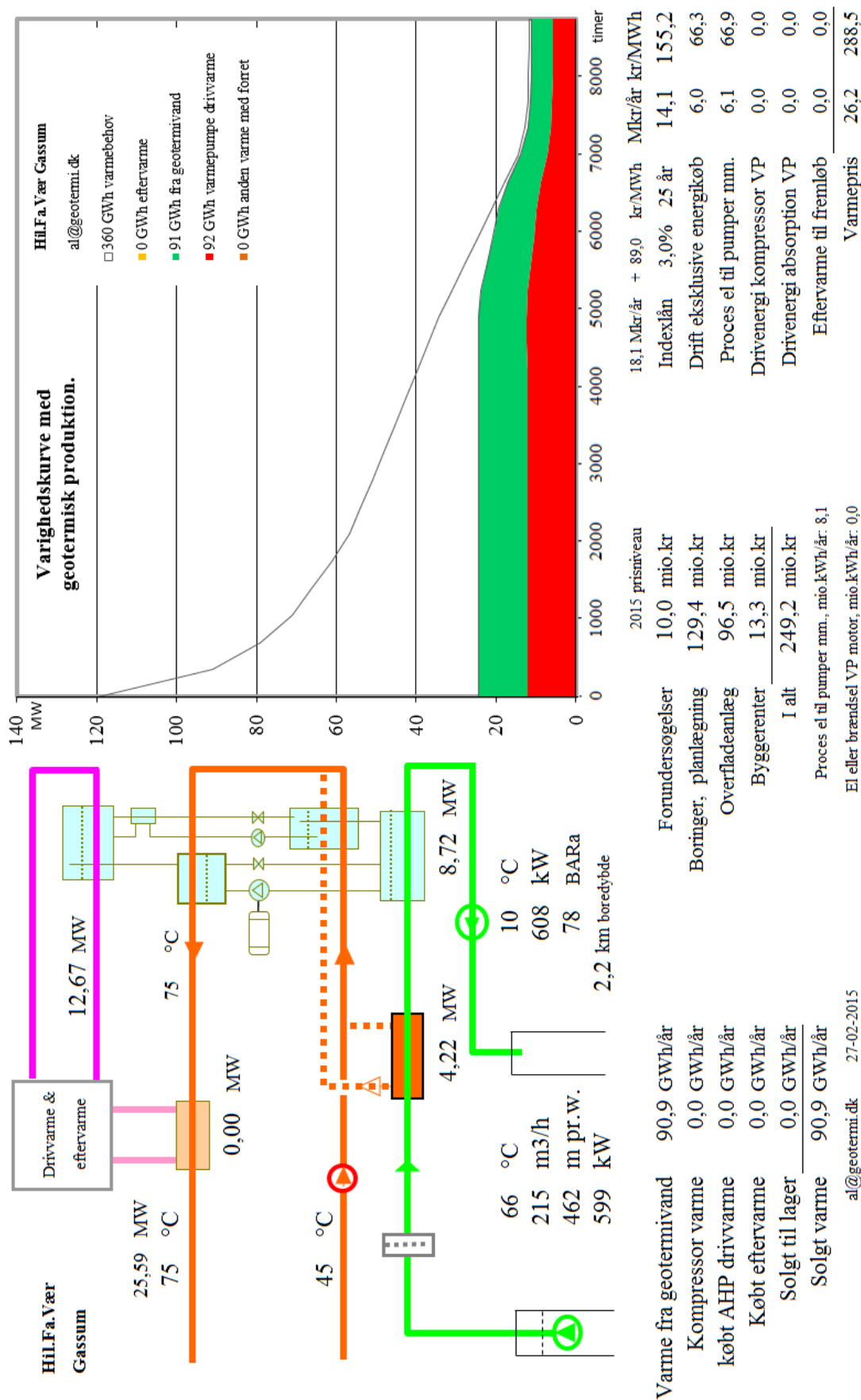
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard-beregningen vises i Figur 1. Resultater fra de supplerende anlægsberegninger for et geotermianlæg med el-varmepumper er vist i Figur 2. Det

geotermiske anlæg med elvarmepumper dimensioneres ens med et anlæg med absorptionsvarmepumper, hvad angår fordamper effekt.

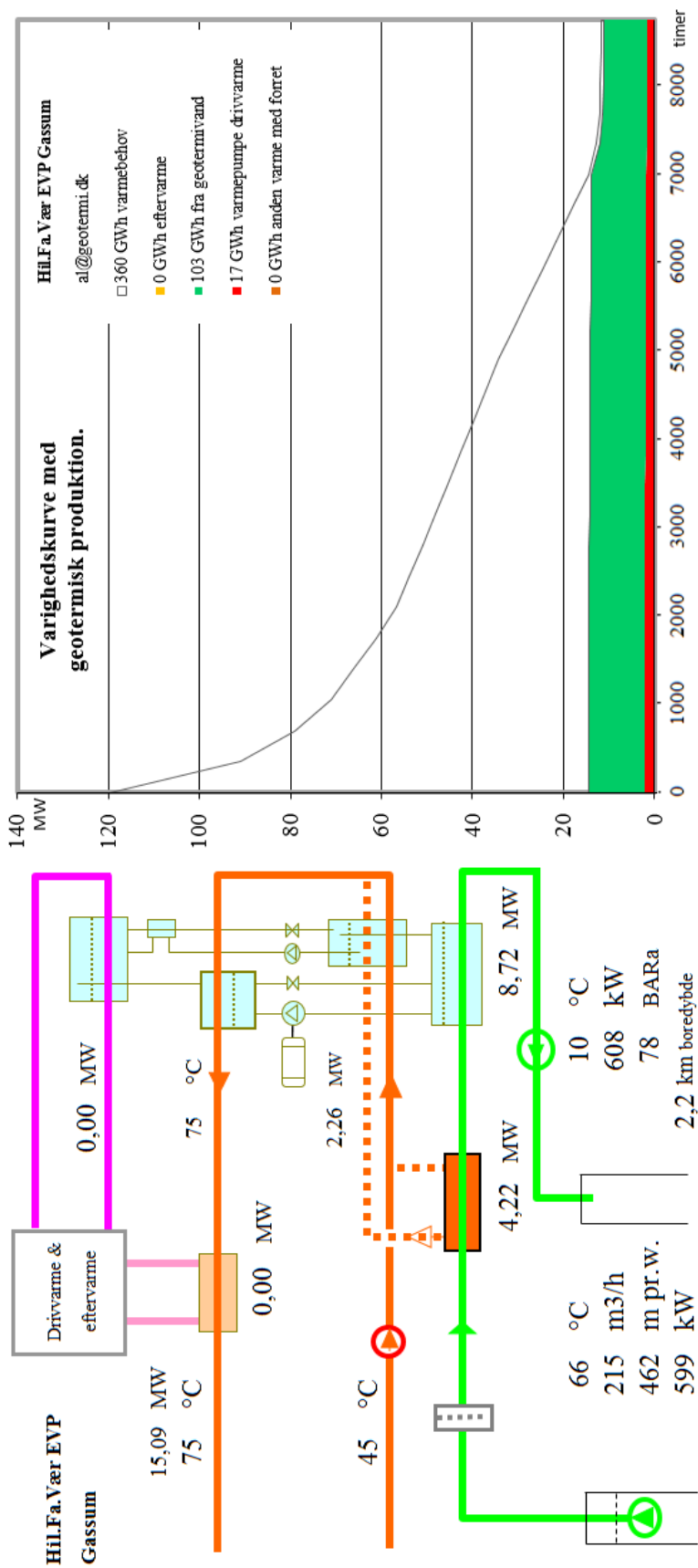
En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 236 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 13 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 25,6 MW. Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være moderat.

Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 91 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 288 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.



Figur 1: Output fra geotermiPRO med absorptionsvarmepumper.



Forundersøgelser	10,0 mio.kr	Forundersøgelser	10,0 mio.kr
Boringer, planlægning	129,4 mio.kr	Boringer, planlægning	129,4 mio.kr
Overfladeanlæg	97,6 mio.kr	Overfladeanlæg	97,6 mio.kr
Byggerenter	13,4 mio.kr	Byggerenter	13,4 mio.kr
I alt	250,4 mio.kr	I alt	250,4 mio.kr
Proces el til pumper mm., mio.kWh/år:	9,8	Proces el til pumper mm., mio.kWh/år:	9,8
El eller brændsel VP motor, mio.kWh/år:	0,0	El eller brændsel VP motor, mio.kWh/år:	0,0

Figur 2: Output fra geotermiPRO med elvarmepumper.

Beregningsresultater Geotermianlæg ved Hillerød	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	12,942		12,942	12,942
2) Effekt fra drivvarme	MW	12,673		N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000		N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	25,588		15,086	
5) Proces el	MW	1,288		1,228	
6) Varmepumpe el	MW	N/A		2,261	
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000		100,000	
8) Drivvarme	%	100,975		N/A	
9) Eftervarme	%	0,000		N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%	200,975		116,207	
11) Proces el forbrug	%	8,921		9,518	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A		16,207	
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	235,906		237,052	283,901
14) Byggerenter	mio. kr	13,342		13,369	14,420
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr/år	4,017		4,019	5,07
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr/MWh	22,107		16,772	

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 Hillerød-Farum-Værløse. 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."

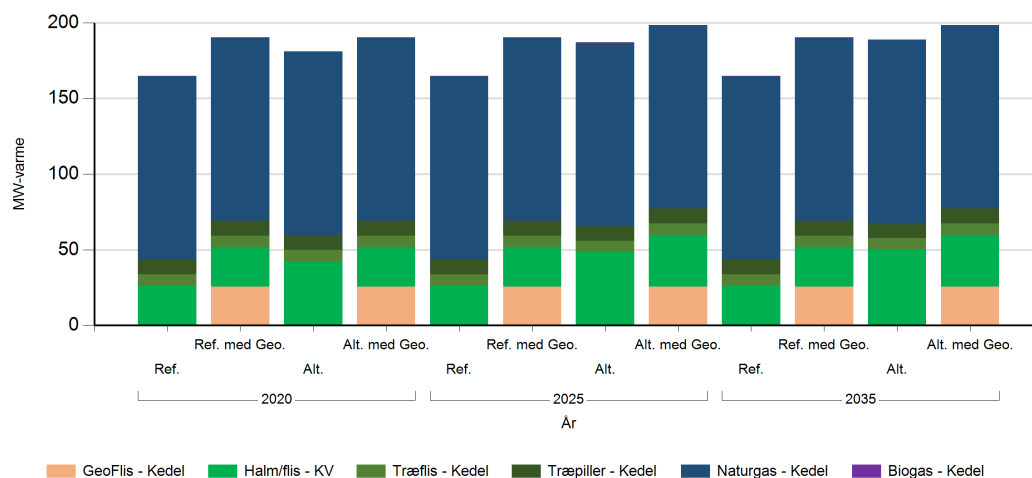
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- 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 Hillerød 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	26.2	26.2	42.5	26.2	26.2	26.2	48.6	34.3	26.2	26.2	50.2	34.3
Biogas - Kedel	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Naturgas - Kedel	120.9	120.9	120.9	120.9	120.9	120.9	120.9	120.9	120.9	120.9	120.9	120.9
Træflis - Kedel	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
Træpiller - Kedel	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
GeoFlis - Kedel		25.6		25.6		25.6		25.6		25.6		25.6

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

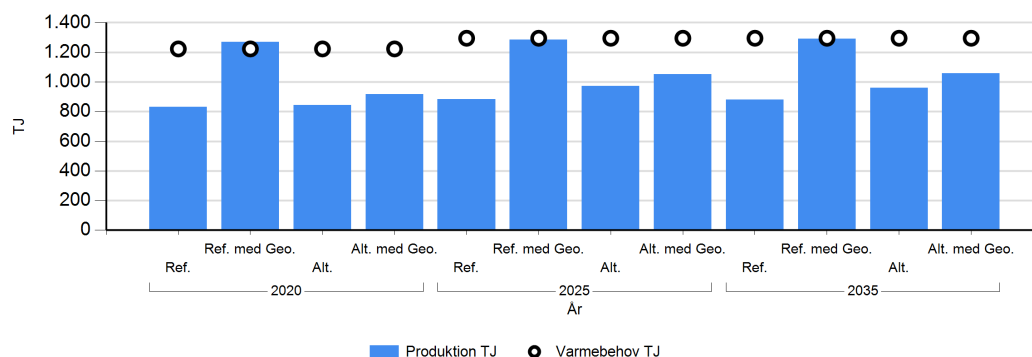
Solvarmeanlæg

m2 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.
Solvarme	3.019	3.019	3.019	3.019	3.019	3.019	3.019	3.019	3.019	3.019	3.019	3.019

Tabel 2: Udvikling i kapaciteten af solvarmeanlæg for Hillerød.

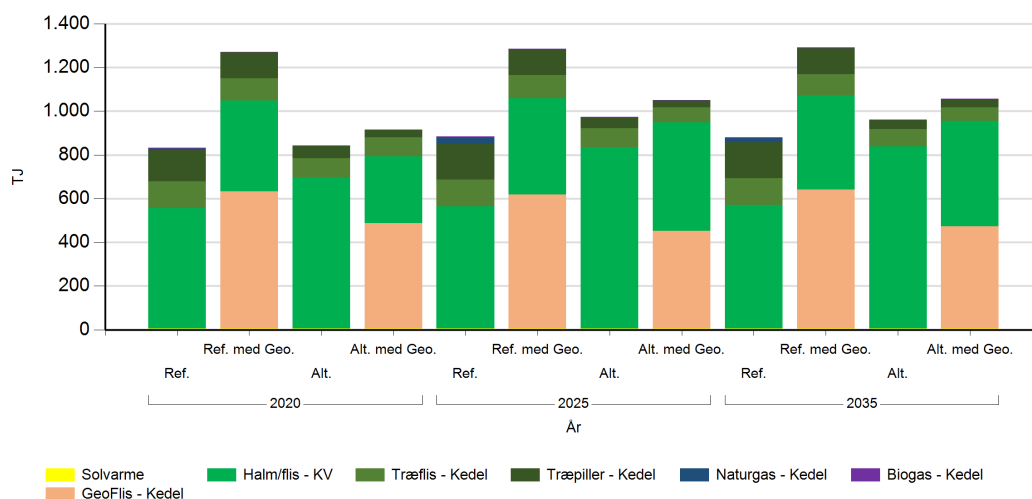
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



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

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.
Biogas - Kedel	4,8	3,4	3,4	1,4	4,8	3,4	2,7	1,1	4,8	3,4	1,4	1,4
Naturgas - Kedel	2,5				27,4				17,2			
Træflis - Kedel	122,5	100,4	87,5	87,5	122,5	105,0	87,5	68,4	122,5	97,7	78,9	61,8
Træpiller - Kedel	147,4	118,3	56,0	35,2	165,6	118,3	48,4	33,6	165,6	118,3	41,2	38,0
Halm/flis - KV	549,8	417,1	690,8	304,7	558,5	440,8	829,0	495,8	564,5	431,9	834,2	483,6
Solvarme	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
GeoFlis - Kedel		626,6		482,2		613,1		447,2		634,9		467,0

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

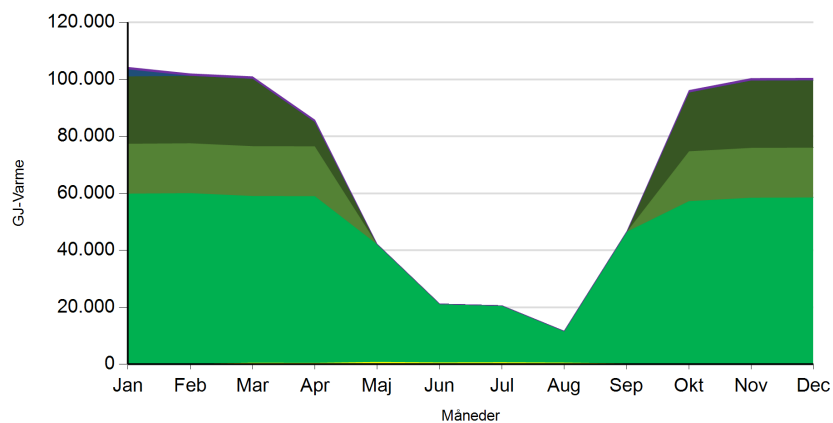
Fuldlasttimer for varmeproduktion

Fuldlast timer	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Biogas - Kedel	4.599	3.285	3.232	1.314	4.599	3.285	2.628	1.032	4.599	3.285	1.314	1.314
Naturgas - Kedel	6				63				40			
Træflis - Kedel	4.599	3.770	3.285	3.285	4.599	3.942	3.285	2.568	4.599	3.668	2.962	2.320
Træpiller - Kedel	4.095	3.285	1.556	978	4.599	3.285	1.346	934	4.599	3.285	1.145	1.057
Halm/flis - KV	5.982	4.915	4.715	3.673	6.114	5.156	4.769	4.741	6.103	5.054	4.460	4.504
GeoFlis - Kedel		6.800		5.232		6.653		4.852		6.890		5.067

Tabel 4: Antal af fuldlasttimer for varmeproduktion i Hillerød.

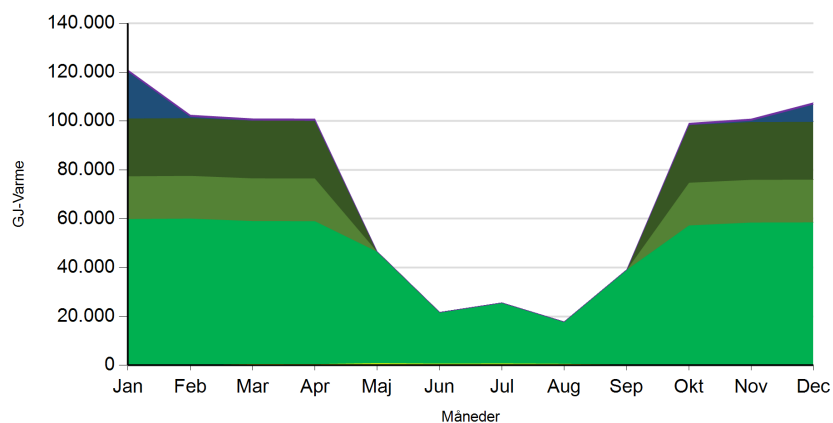
Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Hillerød.

Ref. 2020



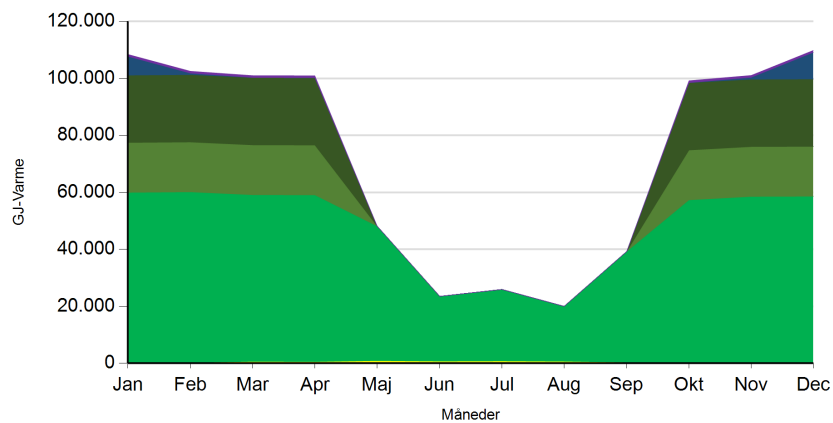
■ Solvarme
 ■ Halm/flis - KV
 ■ Træflis - Kedel
 ■ Træpiller - Kedel
 ■ Naturgas - Kedel
 ■ Biogas - Kedel

2025



■ Solvarme
 ■ Halm/flis - KV
 ■ Træflis - Kedel
 ■ Træpiller - Kedel
 ■ Naturgas - Kedel
 ■ Biogas - Kedel

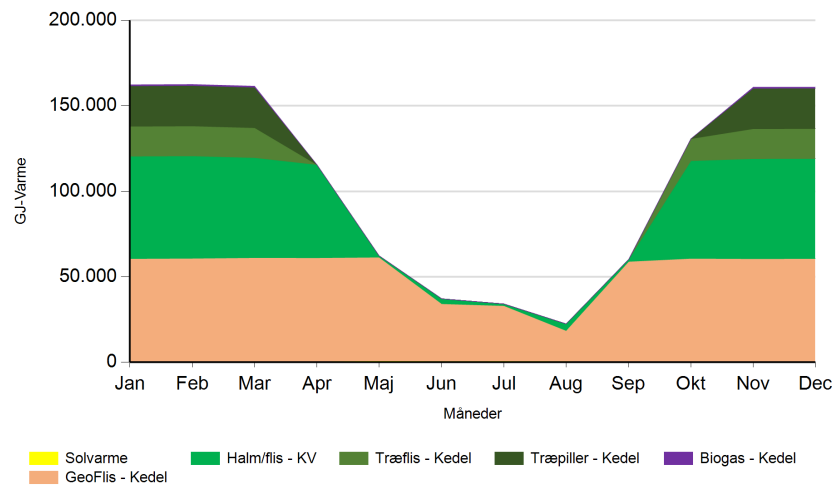
2035



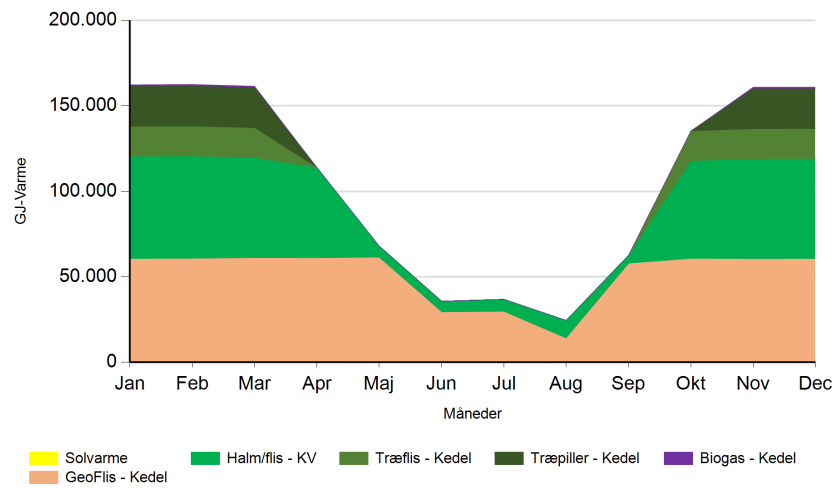
■ Solvarme
 ■ Halm/flis - KV
 ■ Træflis - Kedel
 ■ Træpiller - Kedel
 ■ Naturgas - Kedel
 ■ Biogas - Kedel



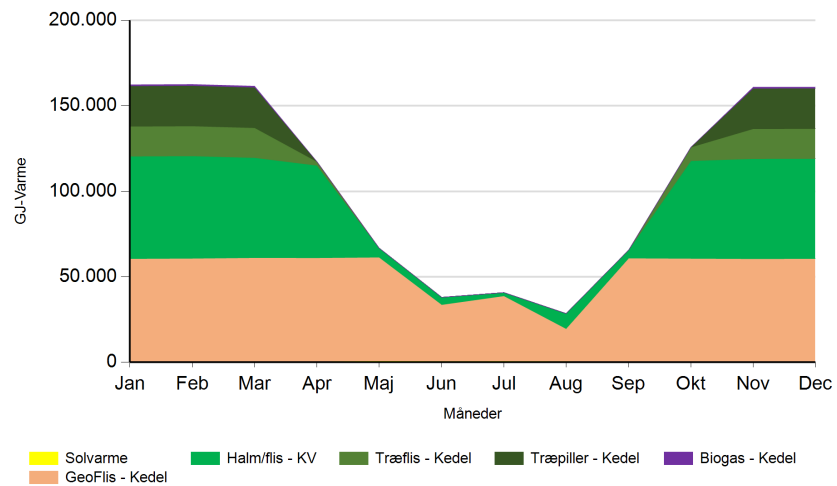
Ref. med Geo. 2020



2025



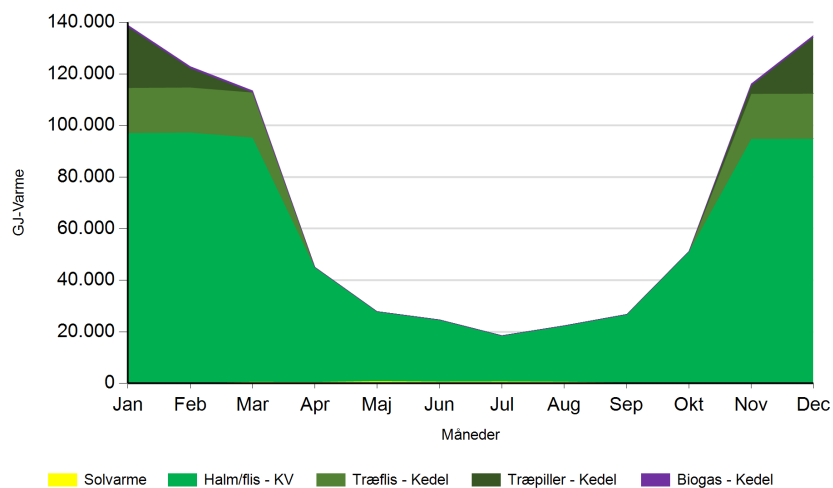
2035



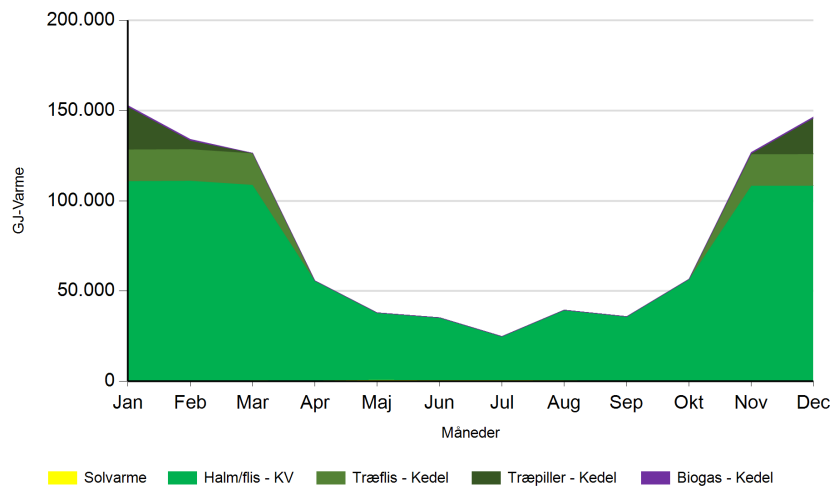


Alt.

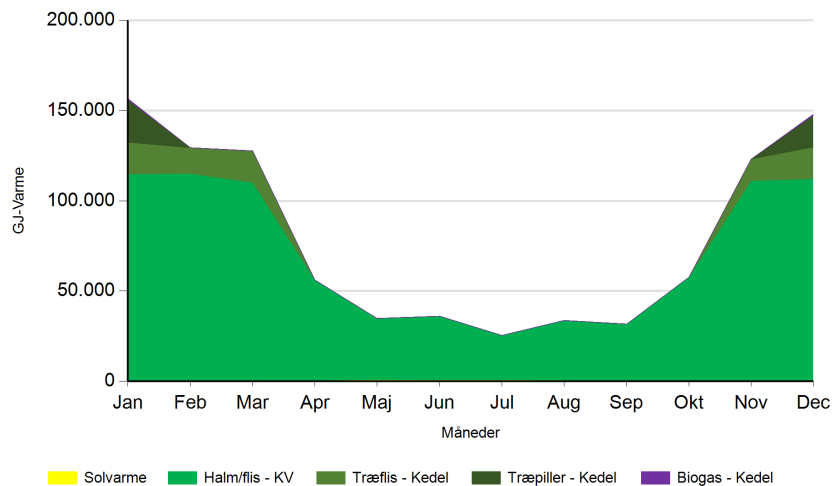
2020

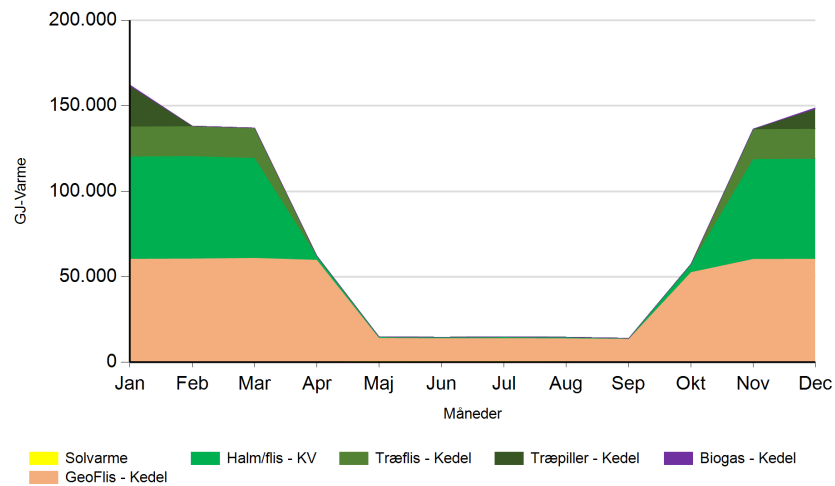
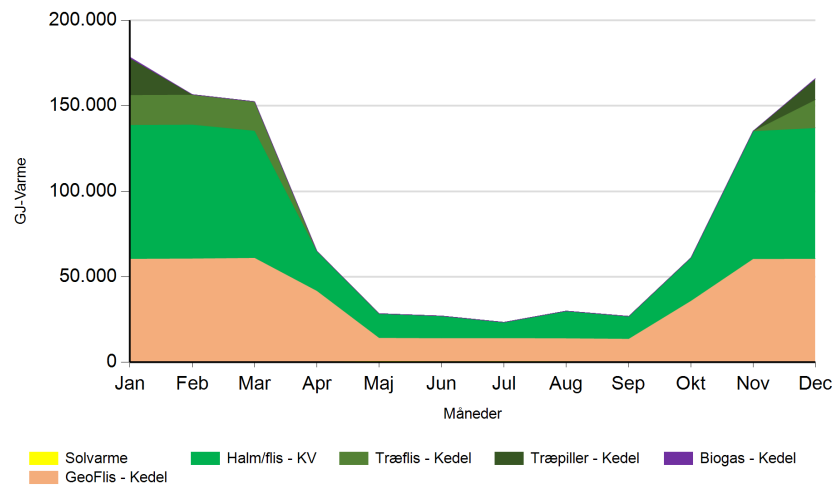
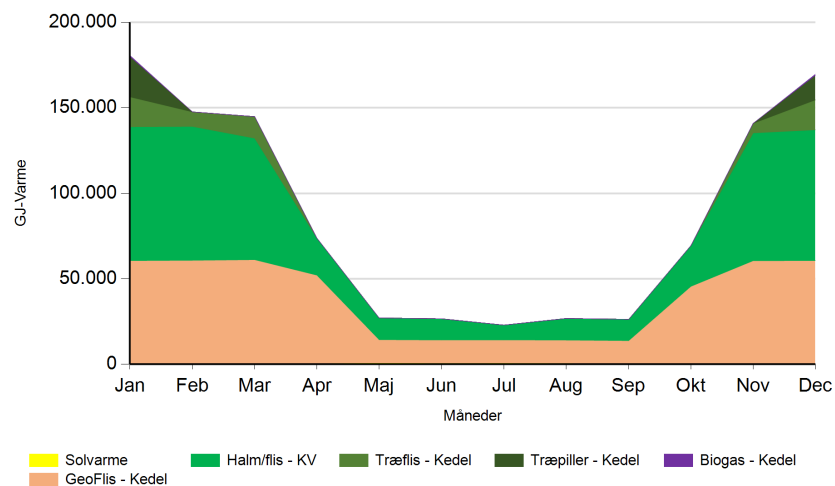


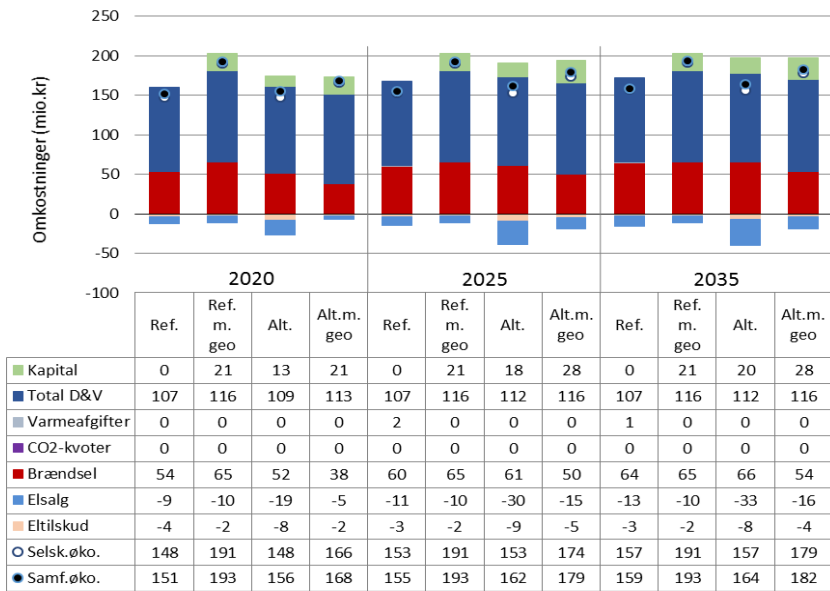
2025



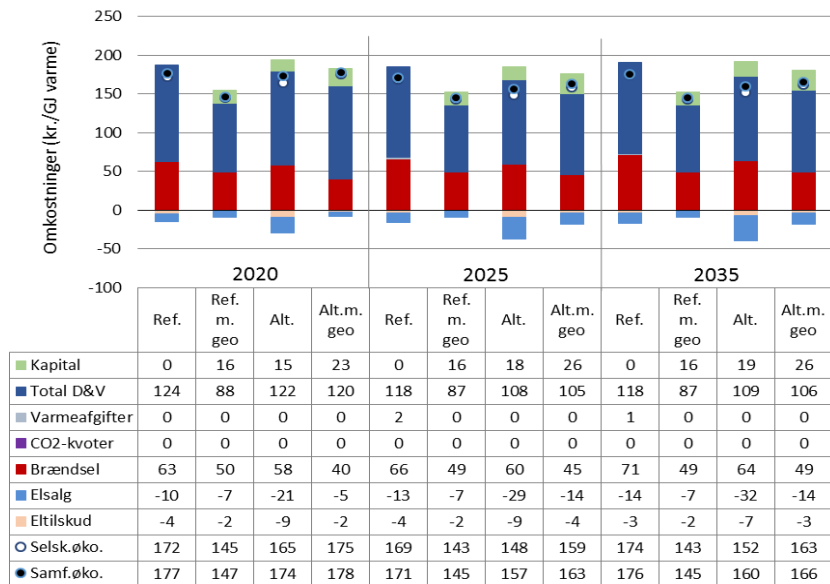
2035



Alt. med Geo. 2020

2025

2035

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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Hillerød



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Hillerød

Det geotermiske screeningsprojekt

Hillerød-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 Hillerød-lokaliteten	8
3.1	Anbefalinger	10
4.	Datagrundlag	11
5.	Gennemgang af data	14
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer	14
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	14
5.1.2	Boringsdata	16
5.2	Reservoirkvalitet	19
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	22
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	25
5.2.3	Permeabilitet.....	26
5.2.4	Transmissivitet	28
5.3	Temperatur	29
5.4	Salinitet.....	31
6.	Referencer	32

1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet beliggende syd for Hillerød på adressen Lyngvej 2, 3400 Hillerød (Figur 1). Lokaliteten har tidligere været genstand for en detaljeret gennemgang af de geologiske forudsætninger for udnyttelse af dyb geotermisk energi (Mathiesen et al. 2014). Udvalgelsen 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).

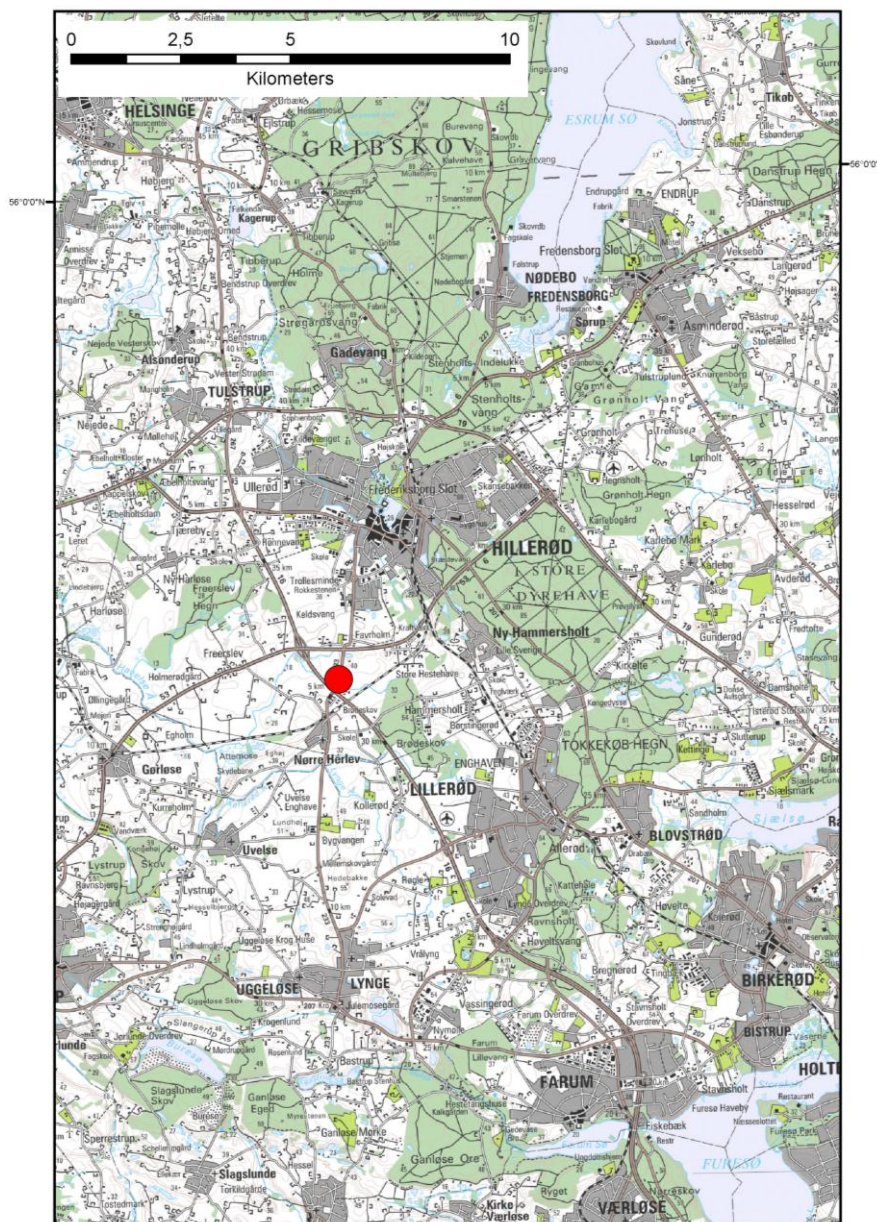
Hillerød-Farum-Værløse fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er i udgangspunktet valgt ud fra, at deres varmemarked 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. Den valgte lokalitet udgør derfor muligvis heller ikke det mest optimale sted for udnyttelse af geotermi i Hillerød-området, 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 Hillerød-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 45 meter sandsten, der er beliggende mere end 2075 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 Hillerød-lokaliteten og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. Disse data hidrører fra GEUS' tidligere afrapportering af de geologiske forhold ved lokaliteten (Mathiesen et al. 2014) og vurderes til at udgøre det bedste input til de efterfølgende økonomiske beregninger. I afsnit 3 evalueres det geotermiske potentiale endvidere,

og der gives anbefalinger til eventuelle supplerende undersøgelser. I de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og med henvisning til Mathiesen et al. 2014 opsummeres det, 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 portalen. Heri gennemgås blandt andet hvilke typer geologiske data (reservoirdata, seismiske data, temperaturdata og salinitetsdata m.fl.), der indgår i vurderingen af et geotermisk potentiale og hvilke usikkerheder, der overordnet knytter sig til beregningen af disse.



Figur 1: Kort visende den omtrentlige beliggenhed af prognoselokaliteten (rød cirkel) syd for Hillerød.

2. Geologisk baggrund

Hillerød-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). I Øresund regionen, øst for Hillerød, findes Øresund Sub-bassin, der er et randnært sub-bassin i Det Danske bassin (Erlström et al. 2013). I Nordsjælland markerer den Nordsjællandske Forkastningszone den vestlige afgrænsning af dette sub-bassin.

Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin fulgte en lang periode med indsynkning, hvor tykke aflejringer af Zechstein-salt blev dannet i bassinerne efterfulgt af aflejring af sand, mudder, karbonat og mindre saltdannelser i Trias og Tidlig Jura. Regional hævnning i tidlig Mellem Jura førte til en betydelig erosion af underliggende sedimenter, specielt op mod flankerne af og over det højtliggende grundfjeld i Ringkøbing–Fyn Højderyggen. Forkastningsbetinget indsynkning fortsatte dog i Sorgenfrei–Tornquist Zonen, hvor der aflejredes sand og mudder. Regional indsynkning fandt atter sted i løbet af den sene del af Mellem Jura og fortsatte generelt indtil Sen Kridt – Palæogen tid, hvor indsynkningen blev afløst af opløft og erosion relateret til den Alpine deformation og åbningen af Nordatlanten. Aflejringerne fra den sidste periode med indsynkning består af Øvre Jura – Nedre Kridt sandsten og i særdeleshed mudder- og siltsten efterfulgt af tykke karbonat- og kalkaflejringer fra Øvre Kridt, der udgør den øverste del af den mesozoiske lagserie i bassinerne. De betydelige mængder sedimenter, der blev aflejret gennem Mesozoikum, førte i perioder til, at underliggende aflejringer af salt fra Sen Perm tiden blev plastisk deformeret og nogle steder søgte opad 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. Saltbevægelse er dog mindre udpræget i den sjællandske undergrund i forhold til i undergrunden i Jylland og det sydligste Danmark.

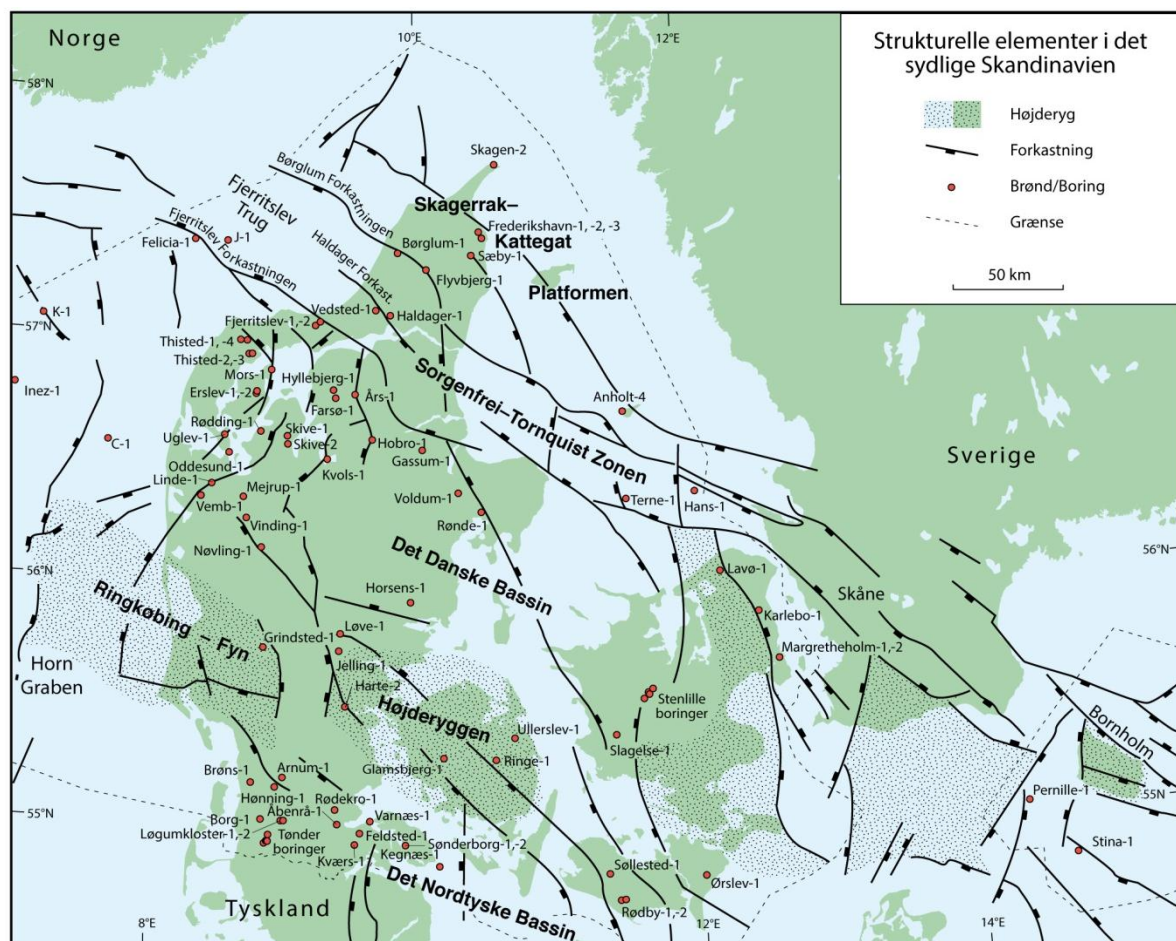
I Hillerød-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien omkring 2,5–3,0 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirer at kunne være til stede i den Nedre Triassiske Bunter Sandsten Formation og den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gasum Formation (Mathiesen et al. 2013). Endvidere har en detaljeret gennemgang af de geologiske forhold i Hillerød-området vist, at potentielle geotermiske sandstensreservoirer også kan være til stede i en "Nedre Jurassisk enhed" og en "Nedre Kretassisk enhed". Dette er baseret på, at formationerne og enhederne i større områder vurderes til at kunne indeholde geotermiske

sandstensreservoirer 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. 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 vurderes til at udgøre det primære mål for geotermisk indvinding på prognoselokaliteten, da denne vurderes at have de bedste reservoirgenskaber (Tabel 5 i Mathiesen et al. 2014). Fokus er derfor i det efterfølgende på Gassum Formationen i vurderingen af det geotermiske potentiale ved prognoselokaliteten syd for Hillerød. "Nedre Jurassisk enhed" ligger umiddelbart ovenover Gassum Formationen, og der vil derfor muligvis kunne produceres geotermisk energi fra denne og Gassum Formationen samtidigt.

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 hævning 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. I det vestlige Skåne findes tidsækvivalente aflejringer til Gassum Formationen med sandsten, der afspejler aflejring i tidevands- og flodkanaler, overskylsfaner, kystsand og deltaer mm. (Ahlberg 1994). Sedimenterne i det vestlige Skåne repræsenterer således mere vekslende aflejringsforhold, men deres overordnede forekomst og udbredelse var sandsynligvis i høj grad styret af de samme havniveausvingninger som i det Danske Bassin (Hjuler et al. 2014).



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 Hillerød-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Hillerød-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.

Af tabellen fremgår det, at formationen vurderes at være til stede ca. 2050–2200 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. 66 °C i midten af formationen. De øvrige reservoirværdier 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 17 Darcy-meter ved prognoselokaliteten (Tabel 3.1). Usikkerheden, der knytter sig til estimeringen af værdien, udelukker dog ikke, at transmissiviteten kan være 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 6–8). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

I 2013 blev der indsamlet højopløselige seismiske data, og tolkningen af disse viser ingen markante forkastninger, som gennemskærer Gassum Formationen i området omkring prognoselokaliteten.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 230 meter tyk med toppen liggende ca. 1820 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 1750 meter tykke og beliggende ca. 15–1750 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.

Hillerød-lokaliteten			
UTMz32 X: 705.132 m; Y: 6.199.787 m Terrænkote: ca. 28 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.]	2050	5 ³	1948–2153 ³
Tykkelse af formation [m]	150	5 ³	143–158 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	55	10 ³	50–61 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	44	10 ³	40–48 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,29	10 ³	0,26–0,32 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,80	10 ³	0,72–0,88 ³
Vandledende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	21	10 ³	19–23 ³
Gas-permeabilitet [mD]	295	5 ⁷	59–1475 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	370	5 ⁷	74–1850 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	17	5 ⁷	3–83 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	66	10 ³	59–73 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til mellem kornstørrelse; sorteret til velsorteret; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Svagt cementerede til cementerede, kalkfrie eller kalkholdige i varierende grad		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Stor		

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.

3.1 anbefalinger

Ved en eventuel udførelse af en efterforskningsboring bør der undervejs indsamles information om reservoirgenskaberne for "Nedre Kretassisk enhed" og "Nedre Jurassisk enhed". Sidstnævnte enhed ligger umiddelbart ovenover Gassum Formationen, og der vil muligvis kunne produceres geotermisk energi fra både denne og Gassum Formationen samtidigt. Det kan endvidere overvejes at bore videre til den dybereliggende Bunter Sandsten Formation. Sandstensintervaller i denne formation kan potentielt udgøre et alternativt og varmere geotermisk reservoir til Gassum Formationen, hvis de indsamlede brøndata viser, at Gassum Formationen ikke egner sig til geotermisk indvinding.

4. Datagrundlag

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

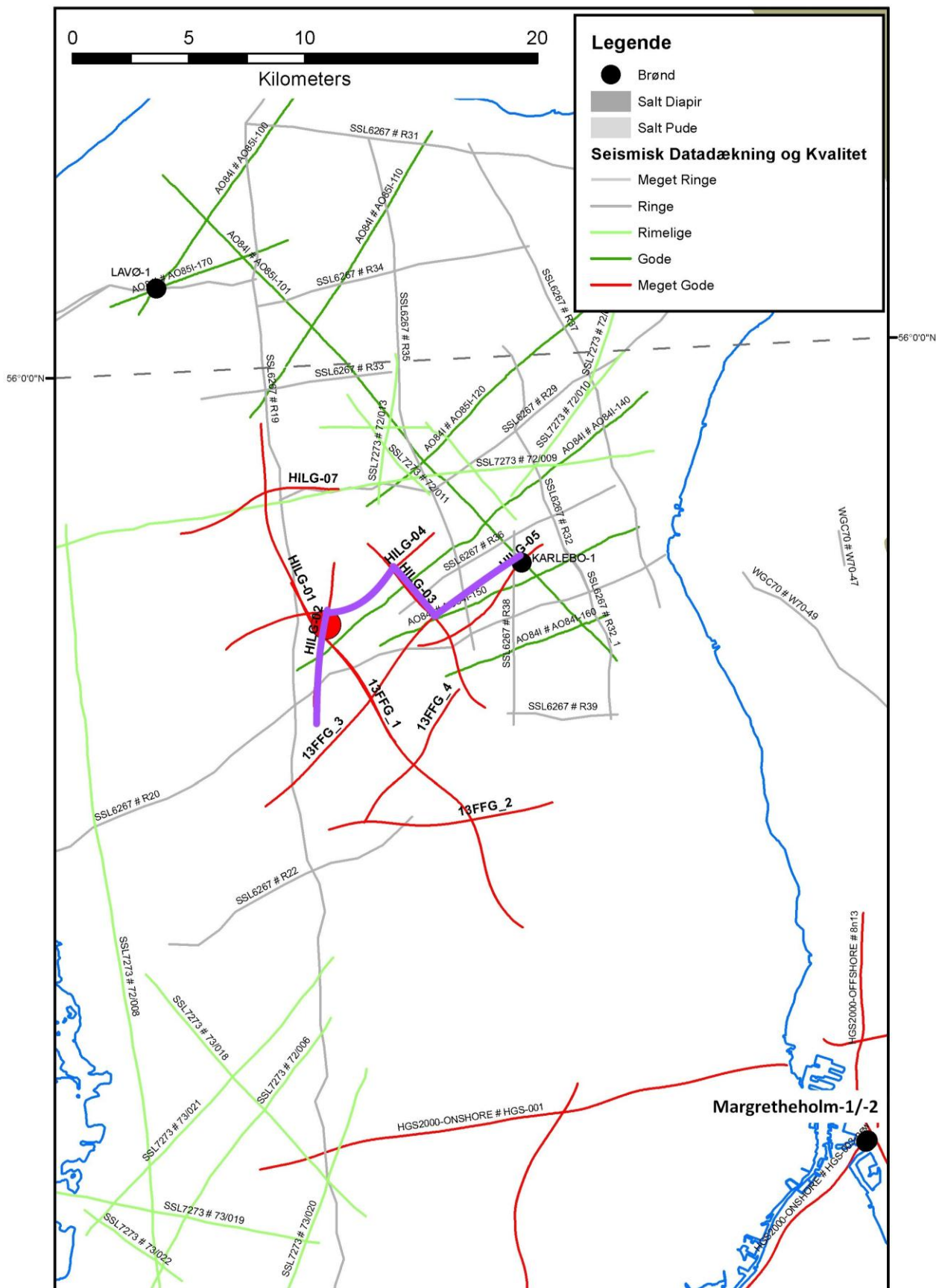
Der er ikke udført mange dybe borer på Sjælland (Figur 3). Nærmeste dybe brønde er Karlebo-1/1A, Lavø-1 samt Margretheholm-1/1A og -2, der er placeret henholdsvis ca. 9, 16 og 32 km fra prognoselokaliteten. På større afstand, omkring 60 km, findes Stenlille-brøndene, og i en afstand af omkring 80 km findes Slagelse-1 (Figur 2 og 3). Offshore findes endvidere Hans-1 og Terne-1, der er beliggende henholdsvis ca. 55 km og 70 km nordvest for prognoselokaliteten (Figur 2). I Karlebo-1/1A boringen er der ikke optaget en fuld logsuite men kun gamma, sonic og modstandslogs. Loggene fra Karlebo-1/1A er imidlertid af rimelig kvalitet, hvilket muliggør en vurdering af de fleste reservoirparametre, men desværre blev den nedre del af Gassum Formationen ikke logget på grund af tekniske problemer i forbindelse med log-optagelsen. I Lavø-1 og Margretheholm-2 er der heller ikke optaget en fuld logsuite, og det er derfor ikke muligt at tolke flere relevante reservoirparametre. I Margretheholm-1/1A er der optaget en fuld logsuite, og da loggene desuden er af god kvalitet, er det derfor muligt at bestemme porøsitetfordelingen ret præcist. Logdata fra Stenlille-boringerne er af god kvalitet, men vurderes knap så relevante i estimeringen af reservoirforholdene ved prognoselokaliteten, da borerne ligger langt fra lokaliteten i et område, som er strukturelt anderledes (Mathiesen et al. 2014). Dette gælder også for Slagelse-1, hvor der endvidere heller ikke er optaget en fuld logsuite. De to offshore brønde, Hans-1 og Terne-1, er placeret i Sorgenfrei–Tornquist Zonen, hvilket heller ikke gør disse brønde så relevante i vurderingen af prognoselokaliteten. Overordnet set vurderes brønddækningen og kvaliteten af brøndata som værende rimelig i vurderingen af reservoirlagenes egenskaber ved prognoselokaliteten.

I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen i de nærmeste brønde, som indgår med logdata i vurderingen af formationens reservoir egenskaber ved prognoselokaliteten. Endvidere er dybdeinterval og tykkelse vist for den lerstens-dominerede Fjerritslev Formation samt for Kridt lagseriens kalkaflejringer, som udgør "dæklag" for Gassum Formationen. Dybde og tykkelse af disse dæklag er også vurderet for prognoselokaliteten (afsnit 5) og er interessante, da de kan indgå i vurderingen af omkostninger til borefasen ved en eventuel etablering af et geotermisk anlæg.

Kvaliteten af de seismiske linjer, der er indsamlet i regionen, er markeret med farver i Figur 3 og 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. Der blev i 2013 indsamlet højopløselige seismiske data omkring prognoselokaliteten som forbinder lokaliteten med Karlebo-1/1A brønden. De seismiske data blev indsamlet med henblik på bedre at kunne vurdere de geologiske forhold i relation til geotermisk udnyttelse af undergrunden. Den seismiske datadækning og datakvalitet er derfor god omkring prognoselokaliteten.

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

		Karlebo-1/1A (9 km)	Lavø-1 (16 km)	Margretheholm-1/1A (32 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	147–1668	42–1915	111–1591
	Tykkelse (m)	1521	1873	1480
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1753–1991	2045–2265	1639–1833
	Tykkelse (m)	238	220	194
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1991–2118	2265–2340	1833–1969
	Tykkelse (m)	127	75	135



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og nærmeste sjællandske brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. De seismiske linjer, der 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. For en mere detaljeret gennemgang af de bagvedliggende beregninger og antagelser henvises der til Mathiesen et al. 2014.

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

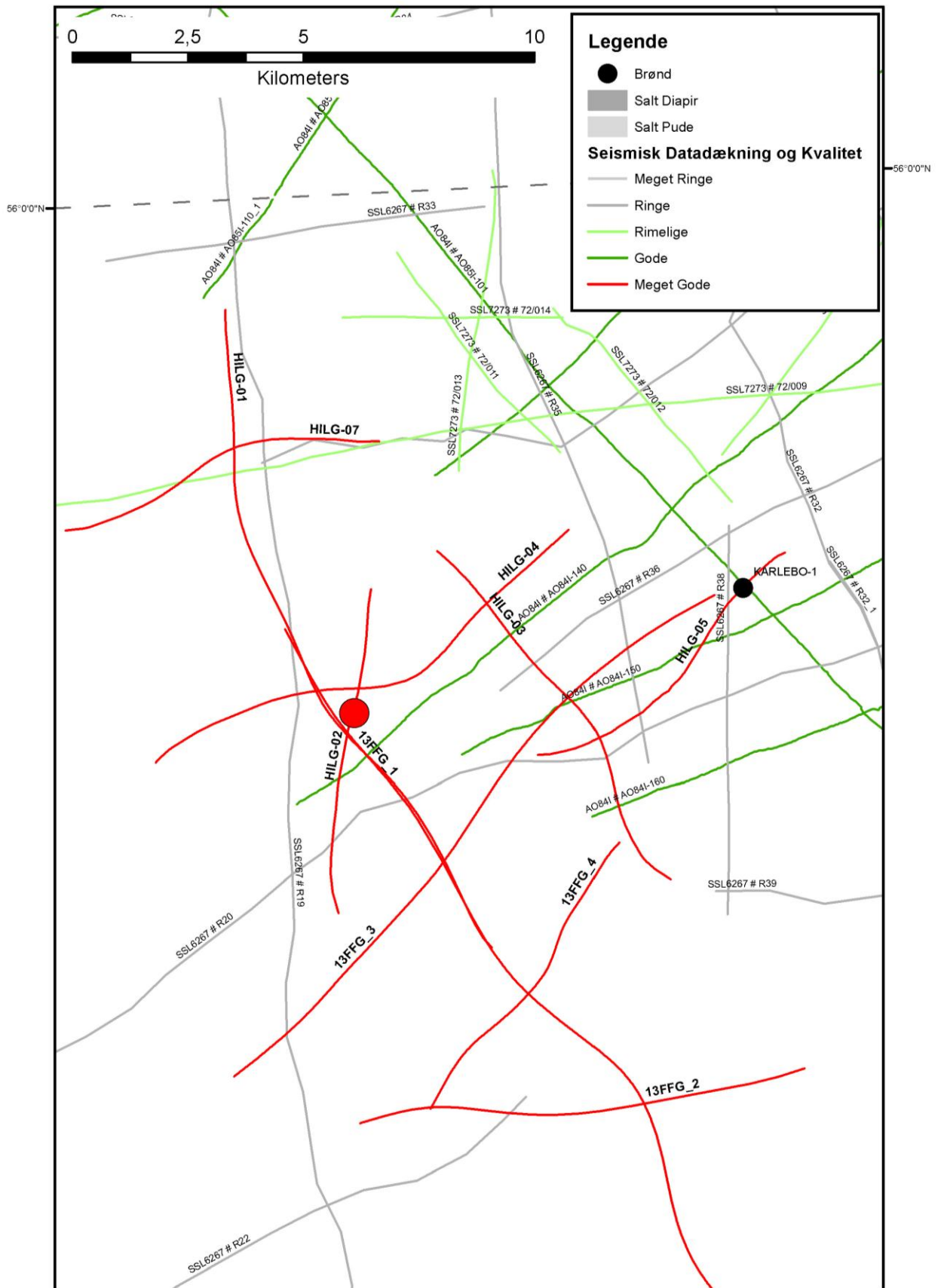
Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1. Gassum Formationens top vurderes at være til stede ca. 2050 m.u.h. ved prognoselokaliteten (Mathiesen et al. 2014) med en vurderet usikkerhed på $\pm 5\%$. Tykkelsen af formationen vurderes til at være 150 meter med en usikkerhed på omkring $\pm 5\%$.

De seismiske linjer HILG-02, HILG-04, HILG-03 og HILG-05 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et sammensat seismisk profil, der passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af ca. 50 meter. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. På det seismiske profil fremstår Gassum Formationen forholdsvis uforstyrret omkring prognoselokaliteten, og de øvrige seismiske data viser ligeledes, at formationen ikke brydes af markante forkastninger i interesseområdet. På baggrund af de nye seismiske data vurderes Gassum Formationen at være til stede med en relativ konstant tykkelse i store dele af det kortlagt område. Dette gælder også mod øst henover den Nordsjællandske Forkastningszone til Karlebo-1/1A, og det vurderes, at undergrunden ved prognoselokaliteten i store træk ligner undergrunden ved Karlebo-1/1A (Mathiesen et al. 2014).

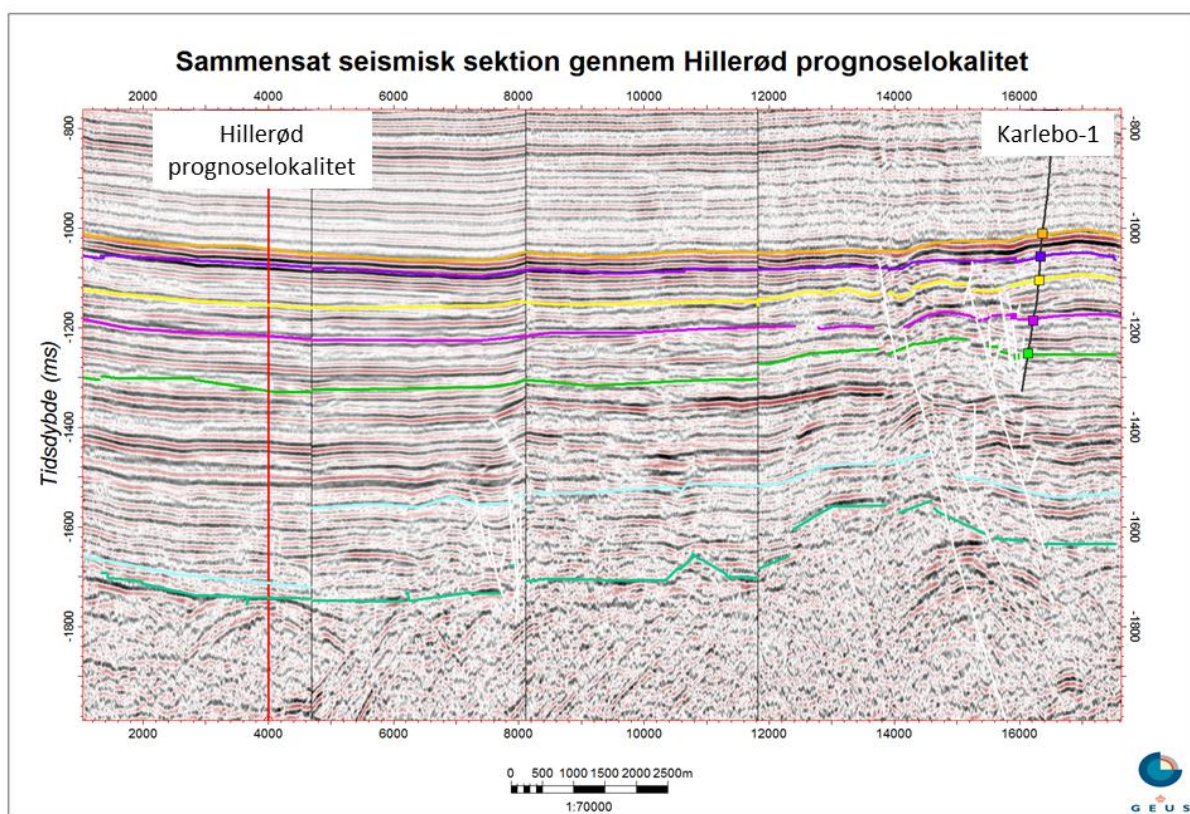
Tabel 5.1: *Dybdeintervaller og tykkelser af udvalgte lagserier ved prognoselokaliteten, som er estimeret på baggrund af seismisk kortlægning.*

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	15–1750	1750
Nedre Kretassisk enhed	1750–1820	70
Fjerritslev Fm	1820–2050	230
Nedre Jurassisk enhed ¹	1900–2050	150
Gassum Fm	2050–2200	150
Bunter Sandsten Fm	2500–2800	300

¹ Nedre Jurassisk enhed henregnes her til nederste del af Fjerritslev Fm.



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten. Udvalgte seismiske linjer (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et sammensat seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: Seismisk profil der passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af ca. 50 meter (baseret på linjerne HILG-02, HILG-04, HILG-03 og HILG-05 i Figur 3 og 4). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Endvidere er Karlebo-1/1A, som den seismiske linje passerer forbi i en afstand af ca. 100 m, projiceret vinkelret ind på profilet. Gassum Formationen fremstår forholdsvis uforstyrret, og der ses ingen markante forkastninger (angivet som stejle hvid streger) omkring prognoselokaliteten. 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 Fjerritslev Fm (blålilla), Top af Nedre Jurassisk Enhed (gul), Top Gassum Fm (lyserød), Top Vinding Fm (lysegrøn), Top Bunter Sandsten Fm (lyseblå), Top Pre-Zechstein (turkisgrøn). På figuren fremgår endvidere de nominelle tidsdybder af de tilsvarende lithologiske grænser i Karlebo-1 brønden.

5.1.2 Boringsdata

Tabel 5.2 giver en oversigt over de brønde på Sjælland, som giver mest information om Gassum Formationen. I tabellen ses tykkelsen af formationen i de enkelte brønde. Endvidere er der vist hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoiregenskaber (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 sjællandske boringsdata understøtter, at Gassum Formationen også er vidt udbredt i den sjællandske undergrund ligesom i den øvrige del af det Danske Bassin. Dette understøttes yderli-

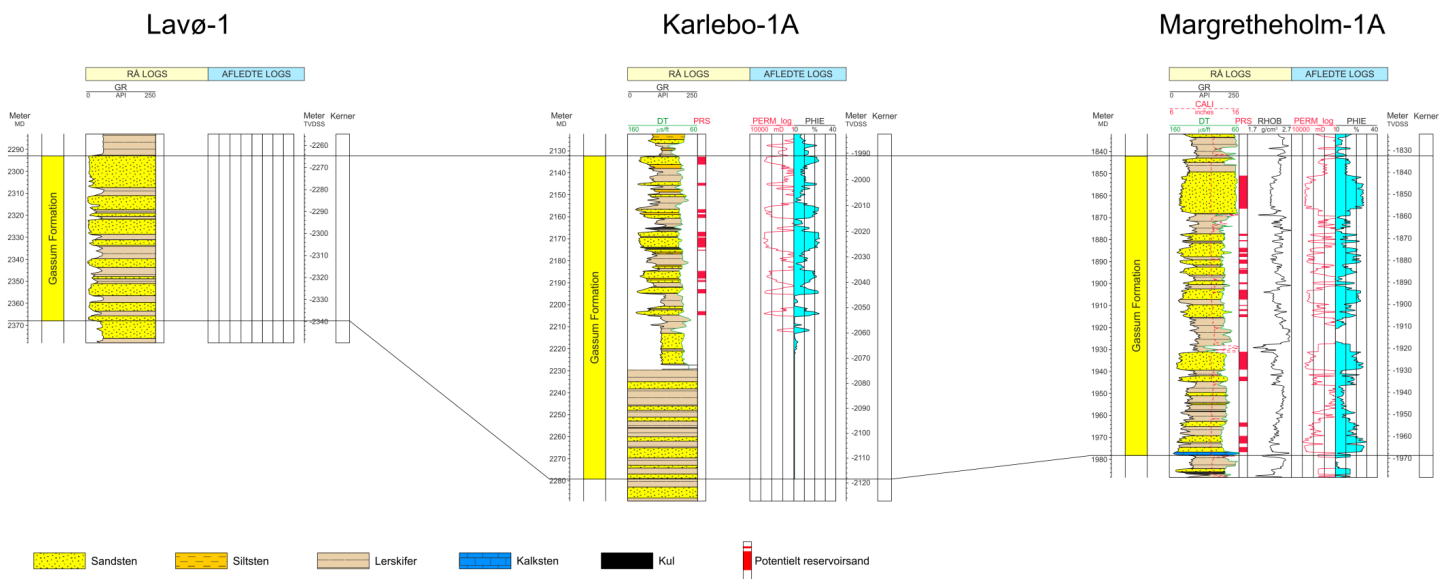
gere af, at tidsækvivalente, men mere randnære sedimenter, forekommer i det vestlige Skåne (Ahlberg 1994). I de nærmeste brønde til prognoselokaliteten varierer formationen i tykkelse fra 75 m til 135 m (Tabel 5.2). Dybden til toppen af Gassum Formationen er vurderet til 2050 m.u.h. ved prognoselokaliteten baseret på de seismiske data, hvilket er en smule dybere end i Karlebo-1/1A (1991 m.u.h.) og Margretheholm-1/1A (1833 m.u.h.), men lavere end i Lavø-1 (2265 m.u.h.). Ud fra de seismiske data vurderes undergrunden ved prognoselokaliteten og ved Karlebo-1/1A i store træk at ligne hinanden (Mathiesen et al. 2014). Data fra Karlebo-1/1A vurderes derfor som værende mest repræsentative for prognoselokaliteten.

På regional skala viser Gassum Formationen en variation i den interne fordeling af sandsten og lersten; eksemplificeret ved Lavø-1, Karlebo-1/1A og Margretheholm-1/1A i Figur 6. Mange af sandstensintervallerne kan korreleres regionalt mellem brøndene i form af sekvensstratigrafiske enheder, mens enkelte kiler ud mellem brøndene. 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. Prognoselokaliteten repræsenterer en position en smule længere ud i bassinet end de ovennævnte brønde, men overordnet set forventes det, at de fleste af sandstensintervallerne i brøndene, også er at finde i Gassum Formationen ved prognoselokaliteten. Den sedimentologiske kontinuitet vurderes derfor til at være stor.

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 sjællandske brønde, hvis omtrentlige placeringer ses på oversigtskortet i Figur 2. 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
Karlebo-1/1A	127	60 ¹	40 ¹
Lavø-1	75	50	
Margretheholm-1/1A	135	63	54
Stenlille-1	144	124	123
Stenlille-19	145	99	98
Slagelse-1	113	101	

¹Delvis baseret på ekstrapolation af relation mellem lithologi og logdata fremkommet ved et studie af borepånær fra hele formationen og logdata fra den øvre del af formationen i Karlebo-1 (Skovgaard Nielsen et al. 2014).



Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationen i Lavø-1, Karlebo-1A og Margretheholm-1/1A, som er de nærmeste brønde til prognoselokaliteten (placering af brønde ses i Figur 3). Formationen er i brøndene vist med dens vertikale tykkelser, og der er således korrigeret for boringernes eventuelle afbøjning. Det er ikke muligt at tolke Potentielt reservoirsand for Lavø-1. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).

5.2 Reservoirkvalitet

Af de nærmeste boringer til prognoselokaliteten er det kun i Karlebo-1/1A og Margretheholm-1/1A, at der blev indsamlet logdata, som muliggør en detaljeret vurdering af Gassum Formationens reservoirkvalitet. I vurderingen af formationens reservoirregenskaber ved prognoselokaliteten er reservoirværdierne for Karlebo-1/1A og Margretheholm-1/1A vægтет henholdsvis ca. 2/3 og 1/3 (Mathiesen et al. 2014). Gross sand kan dog godt estimeres for Lavø-1, og i vurderingen af formationens Gross sand ved prognoselokaliteten er Lavø-1 og Karlebo-1/1A vægтет hver med 1/2.

Dybdeintervallet for Gassum Formationen i de tre brønde ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der ikke er udtaget kerner af formationen i forbindelse med udførelsen af de tre boringer. I Margretheholm-2 er der dog udtaget ca. 7 sidevægskerner i Gassum Formationen, og reservoirmålinger på nogle af disse indgår i en generel porøsitet-permeabilitets relation (se afsnit 5.2.3).

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af bore-spåner fra Karlebo-1/1A, Margretheholm-1/1A og Lavø-1 boringerne (Tethys Oil Denmark 2007, Skovgaard Nielsen et al. 2014, DONG 2003, Dapco 1959). De optagne og tolkede logs i de tre brønde er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

De tolkede reservoirværdier for Gassum Formationen i Karlebo-1/1A og Margretheholm-1/1A er samlet i henholdsvis Tabel 5.5 og 5.6. I Karlebo-1/1A er det kun den øvre del af Gassum Formationen, der er logget, men i tabellen er der opgivet reservoirværdier for hele formationen. Dette er gjort ved at ekstrapolere logdata til den nedre del af formationen baseret på en relation mellem lithologi og logdata fremkommet ved et studie af bore-spåner fra hele formationen og logdata fra den øvre del af formationen (Skovgaard Nielsen et al. 2014). Karlebo-1/1A er endvidere en boring, der er forholdsvis meget afbøjet og for så vidt muligt at få "sande" tykkelser af formation, Gross sand og Potentielt reservoirsand, er der her regnet i vertikale dybder frem for målte dybder. Beregningen af reservoirparametre er ligeledes baseret på de korrigerede tykkelser.

Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitetssammenhænge etc.). Ved sammenligning af Tabel 5.5 og 5.6 med Tabel 3.1 fremgår det, at usikkerheden på reservoirværdierne ved prognoselokaliteten generelt er større end de angivne usikkerheder på reservoirværdierne for Karlebo-1/1A og Margretheholm-1/1A. 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 Karlebo-1/1A, Margretheholm-1/1A og Lavø-1 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Karlebo-1/1A	2132-2279	Ingen	Ingen
Margretheholm-1/1A	1842-1977	Ingen	Ingen
Lavø-1	2293-2368	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')
	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 5.5: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Karlebo-1/1A brønden.*

Karlebo-1/1A			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1991	1 ³	1971–2011 ³
Tykkelse af formation ¹⁰ [m]	127	1 ³	126–129 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand ¹⁰ [m]	60	5 ³	57–63 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ^{4,10} [m]	40	5 ³	38–42 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,31	5 ³	0,30–0,33 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,67	5 ³	0,63–0,70 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	20	6 ³	19–21 ³
Gas-permeabilitet [mD]	290	5 ⁷	58–1450 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	360	5 ⁷	72–1800 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	15	5 ⁷	3–75 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til mellem i kornstørrelse, i enkelte niveauer også grov; sorteret til velsorteret, stedvis ringe sorteret til sorteret; subkantede til subafrundede, stedvis afrundede korn		
Diagenese/cementering	Løs til moderat hård, kvarts cement, stedvis kalkholdig		

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 %). Tykkelsen er korrigeret for boringens afbøjning.

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 pumpe-test 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 Tykkelsen er korrigeret for boringens afbøjning. Tykkelsen af både Gross sand og Potentielt reservoirsand er delvis fastlagt efter skøn, da Gassum Formationen kun er delvis logget.

Tabel 5.6: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Margretheholm-1/1A brønden.*

Margretheholm-1/1A			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1833	1 ³	1814–1851 ³
Tykkelse af formation [m]	135	1 ³	134–136 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	63	5 ³	60–66 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	54	5 ³	51–56 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,40	5 ³	0,38–0,42 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,85	5 ³	0,80–0,89 ³
Vandlede egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	22	5 ³	21–23 ³
Gas-permeabilitet [mD]	300	4 ⁷	75–1200 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	375	4 ⁷	94–1500 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	20	4 ⁷	5–80 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin, stedvis mellemkornet; sorteret til velsorteret; subafrundede til afrundede, enkelte steder subkantede korn		
Diagenese/cementering	Løs til fast, stedvis hård, kalkfri til kalkholdig i varierende grad, stedvis pyrit-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 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 pumpe-test eller en brøndtest. *Reservoir-permeabiliteten* er estimeret ved at multiplicere *Gas-permeabilitet* med en opskaleringsfaktor på 1,25.

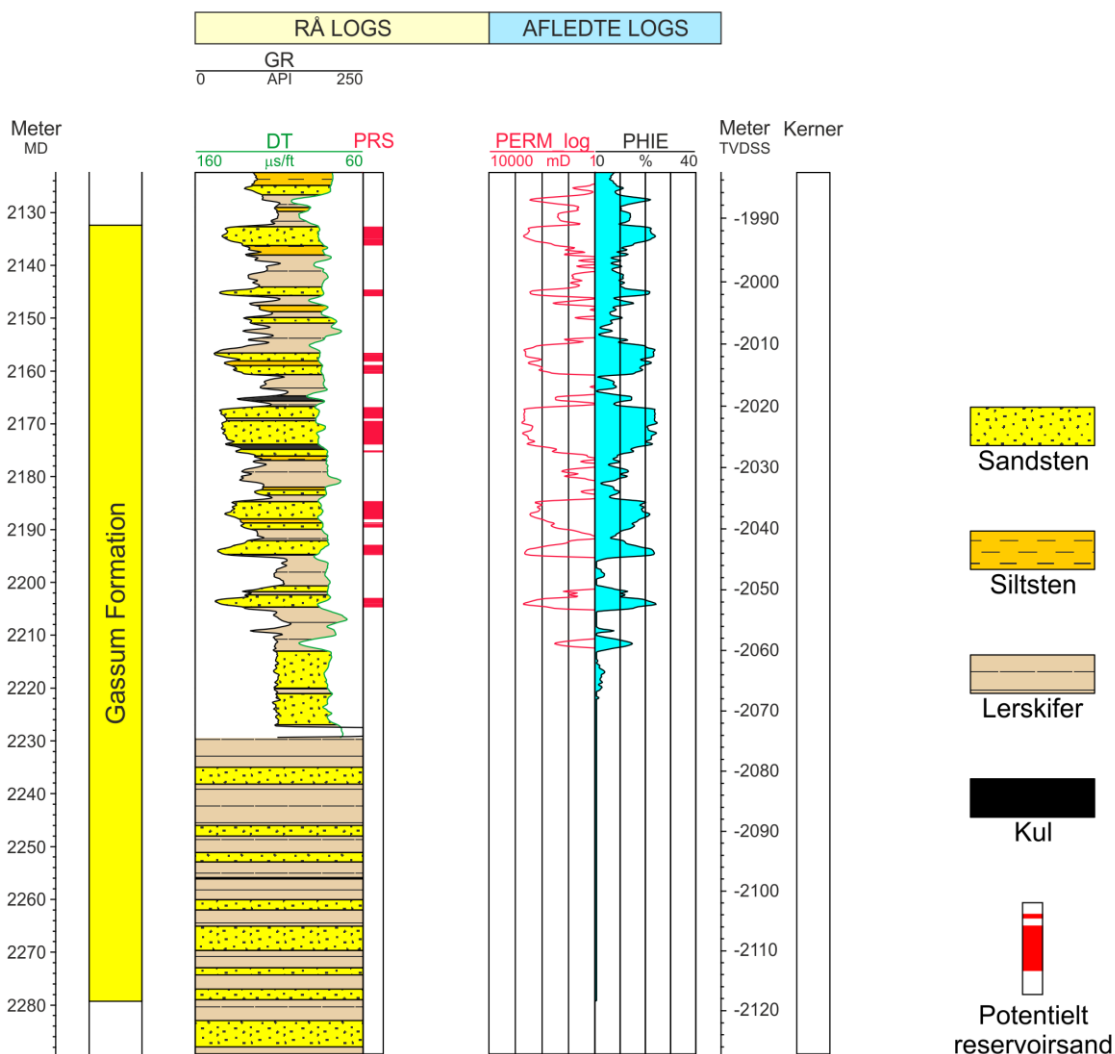
⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale fra Karlebo-1/1A, Margretheholm-1/1A og Lavø-1 borerne 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). Borespånebeskrivelserne understøtter log-tolkningen, men er dog mangelfulde for Lavø-1, hvor op-

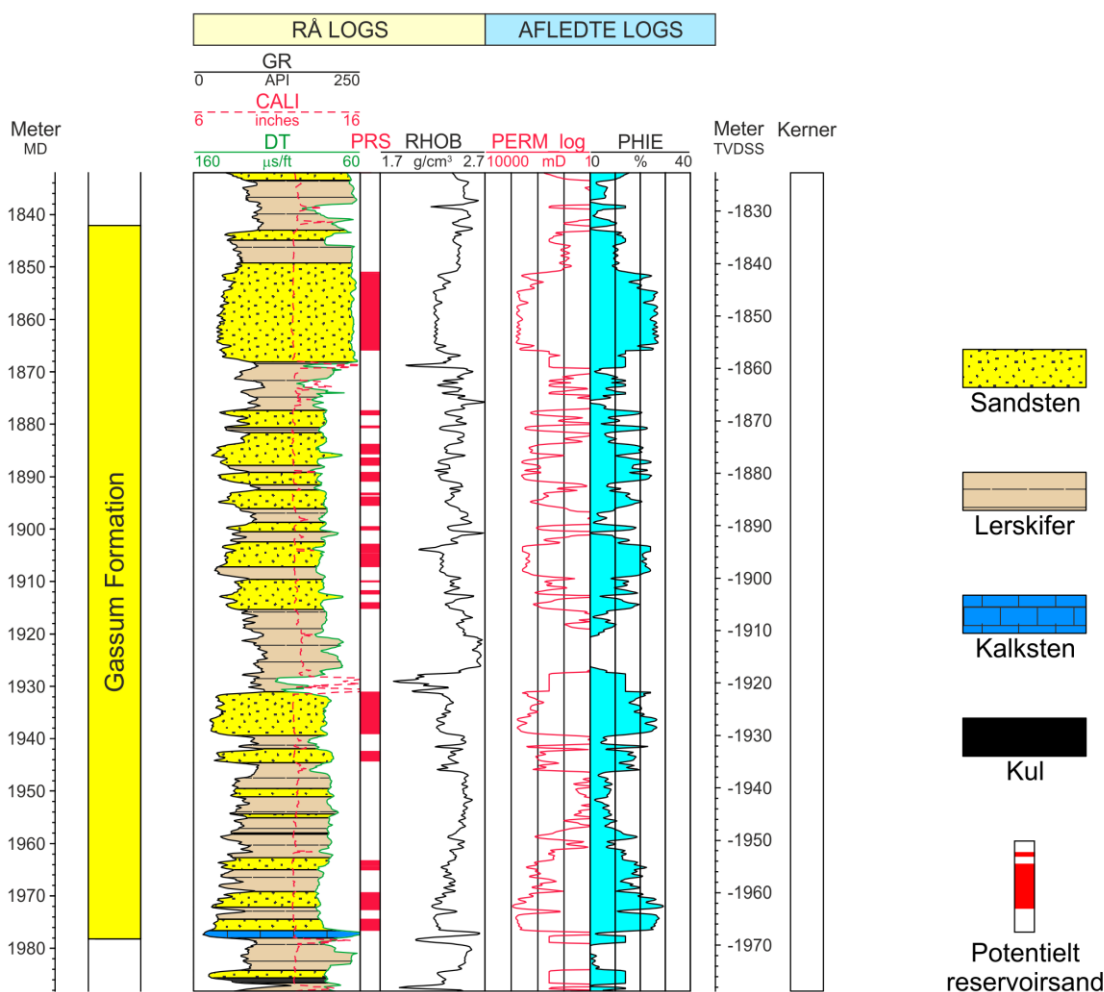
lysningerne i det væsentligste begrænser sig til, at sandstenene er finkornede (Dapco 1959). Det fremgår af borespåne-beskrivelserne fra Karlebo-1/1A og Margretheholm-1/1A, at sandstenene hovedsageligt er fin- til mellemkornede (i Margretheholm-1/1A mest finkornede) og sorterede til velsorterede med subkantede til afrundede sandskorn (Tethys Oil Denmark 2007, Skovgaard Nielsen et al. 2014, DONG 2003). Desuden angives sandstenene til at være løse til faste, kalkfrie eller kalkholdige i varierende grad. I nogle dybdeintervaller kan sandstenene endvidere være kvarts- eller pyrit-cementerede. På baggrund af de ovennævnte oplysninger fra de nærmeste borerer vurderes det, at sandstenene i Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er fin- til mellemkornede, sorterede til velsorterede, og svagt cementerede til cementerede.

Karlebo-1A



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Karlebo-1A inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologi-kolonnen 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 permeabilitets-estimatet (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.

Margretheholm-1A



Figur 8: Petrofysisk log-tolkning af lithologien i Gassum Formationen i Margretheholm-1A. Lithologi-kolonnen er afgrænset af gamma (GR) og sonic (DT) loggene. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.4. Sektioner med Potentielt reservoirsand (PRS) er markeret med rødt fyld. Porøsitetsestimater (PHIE) er fremhævet med lyseblåt fyld, og permeabilitetsestimater (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 Karlebo-1/1A, Margretheholm-1/1A og Lavø-1 er Gassum Formationen henholdsvis 127, 135 og 75 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 60 meter i Karlebo-1/1A, ca. 63 meter i Margretheholm-1/1A og ca. 50 meter i Lavø-1 (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 (Tabel 5.7). Denne fremgangsmåde er anvendt i Karlebo-1/1A og Margrethholm-1/1A; i Lavø-1 er der ikke optaget en gamma-log, og ler-mængden er her tolket ud fra SP-loggen.

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. 40 meter i Gassum Formationen i Karlebo-1/1A og til ca. 54 meter i Margrethholm-1/1A, hvorimod denne og andre reservoirparametre ikke kan beregnes for Lavø-1 på grund af manglende logdata. Som nævnt tidligere, er de nævnte reservoirværdier for formationen i Karlebo-1/1A endvidere delvis baseret på ekstrapolation af en relation mellem lithologi og logdata fremkommet ved et studie af borespåner fra hele formationen og logdata fra den øvre del af formationen (Skovgaard Nielsen et al. 2014).

Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 20 % i Karlebo-1/1A og ca. 22 % i Margrethholm-1/1A (Tabel 5.5 og 5.6). Porøsitetstolkningen af Karlebo-1 boringen er baseret på en ler-korrigeret sonic-log, hvorimod porøsitetstolkningen af Margrethholm-1/1A er baseret på en ler-korrigeret densitets-log, og der er i den forbindelse anvendt en sandstens densitet på $2,65 \text{ g/cm}^3$ svarende til densiteten for ren kvarts.

Tabel 5.7: Responsparametre for gamma (GR) log for Karlebo-1/1A og Margrethholm-1/1A borerne. Herudover SP_min og SP_max for Lavø-1 boringen.

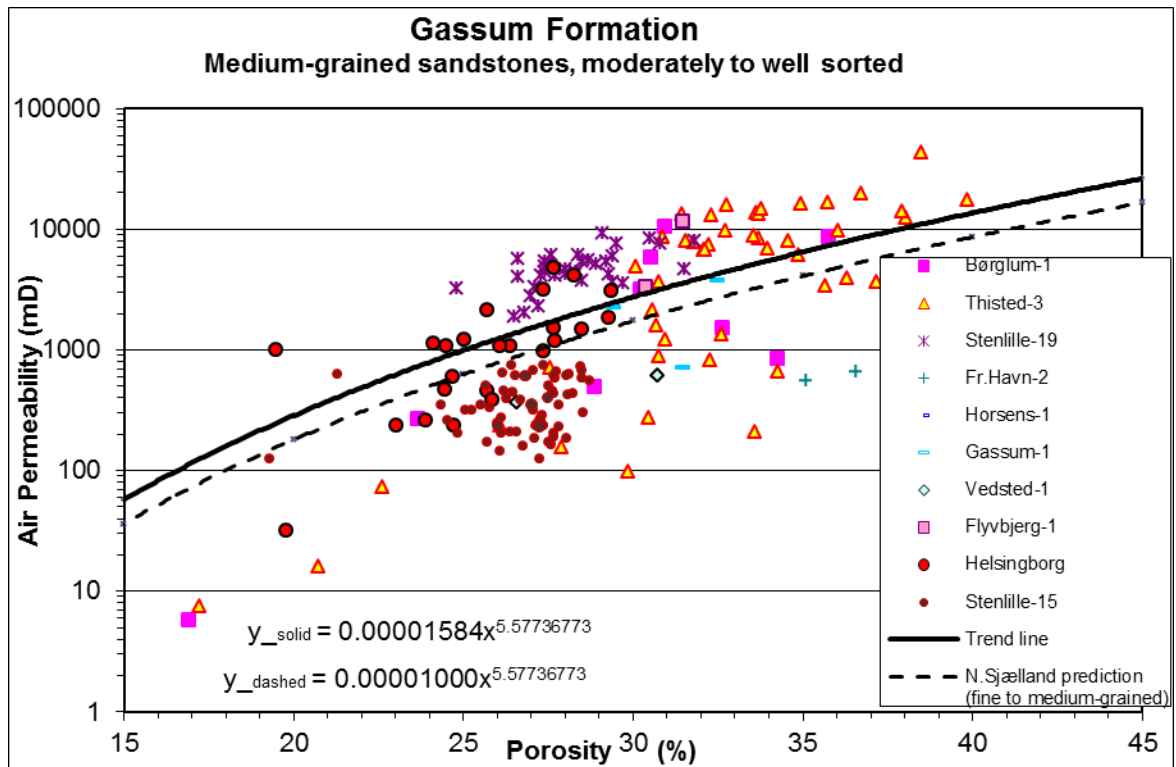
Responsparametre for gamma (GR) og SP logs		GR/SP_min (baggrundsstråling)	GR/SP_max (respons for rent ler)
Karlebo-1/1A	(GR)	75	163
Margrethholm-1/1A	(GR)	90	160
Lavø-1	(SP)	37	180

5.2.3 Permeabilitet

For det sjællandske område findes der kun kernemateriale af Gassum Formationen fra Stenlille-boringer samt sidevægskerner fra Margrethholm-2. Porøsiteten og permeabiliteten er bestemt på udvalgt kernemateriale fra disse, og målingerne indgår i en porøsitet-permeabilitetsrelation, som også bygger på kernemålinger fra boringer udenfor Sjælland, blandt andet konventionelle kerneanalyse-data fra Helsingborg samt fra en række jyske boringer (Figur 9). De plottede data i Figur 9 repræsenterer mellemkornede sandsten, men da reservoirbjergarten ved Hillerød anses for at være fin- til mellemkornet, skal den *fuldt*

optrukne tendenslinje modificeres for at kompensere for forskel i kornstørrelsen. Baseret på kerneprøver fra Gassum Formationen (egentlig Gassum Formation ækvivalent) fra Helsingborg samt cuttings-prøver fra Karlebo-1/1A boringen er det GEUS vurdering, at Gassum Formationen indenfor det Nordsjællandske område overordnet set består af cirka 2/3 mellemkornet sandsten og 1/3 finkornet sandsten (Hjuler et al. 2014). På den baggrund er der beregnet en "Nordsjællands-linje", der tager højde for den lidt finere kornstørrelse i Nordsjælland (*stiplede linje* i Figur 9). GEUS forventer, at denne porøsitet-permeabilitets relation også gælder for Hillerød-området.

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 (afsnit 5.2.2) er den gennemsnitlige gas-permeabilitet (vægtet gennemsnit) for reservoirsandstenene estimeret til ca. 290 mD for Karlebo-1/1A og til ca. 300 mD for Margretheholm-1/1A. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 360 og 375 mD for henholdsvis Karlebo-1/1A og Margretheholm-1/1A. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af omregning til væske-permeabilitet. Gassum Formationen i de to brønde (Karlebo-1/1A og Margretheholm-1/1A) blev ikke prøvepumpet, og det er således ikke muligt at vurdere permeabiliteten ud fra testdata. Fra Stenlille-1 til -5 foreligger der produktionstest, og på baggrund af disse vurderes reservoirpermeabiliteten til at være i størrelsesorden 100–750 mD (Mathiesen et al. 2014). Da vurderingen af sandstenenes permeabilitet ved prognoselokaliteten i det væsentligste bygger på erfaringsmæssige sammenhænge, og da kernemålingerne viser en forholdsvis stor spredning, er det vanskeligt at bestemme en repræsentativ gennemsnits-permeabilitet. Det er følgelig hensigtsmæssigt, at vurdere usikkerheden på permeabilitets-bestemmelsen ved hjælp af modeller og analogier. F.eks. udviser data fra Stenlille-boringerne generelt set mindre spredning end de regionale data, og på baggrund af de lokale Stenlille data vurderes det, at usikkerhedsbåndet i en optimistisk tolkning kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 3. Der er ikke indtegnet et usikkerhedsbånd på porøsitet-permeabilitets plottet, men "High" og "Low" case kan umiddelbart vurderes ud fra følgende: "High case" kan beskrives med en tendenslinje, der fremkommer ved at gange "Nordsjællands-linjen" med 3, og "Low case" fremkommer ved at dividere "Nordsjællands-linjen" med 3. I en mere gængs tolkning vurderes usikkerhedsbåndet dog til at være lidt bredere, dvs. variationsbredden beskrives her med udgangspunkt i en dividere/gange faktor på 5.



Figur 9: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug prøver, primært fra mellemkornede sandstenslag i Gassum Formationen. Den fuldt optrukne linje repræsenterer tendenslinjen for de plottede datapunkter. Den stiplede linje antages at være gældende for Nordsjælland og tilgrænsende områder. Forskellen på forløbet af de to tendenslinjer beror på, at Gassum reservoiret i Nordsjælland ikke udelukkende består af mellemkornet sandsten, men er en blanding af både fin- og mellemkornet sandsten. Usikkerheden på porøsitets-permeabilitets relationen er beskrevet og perspektiveret i teksten.

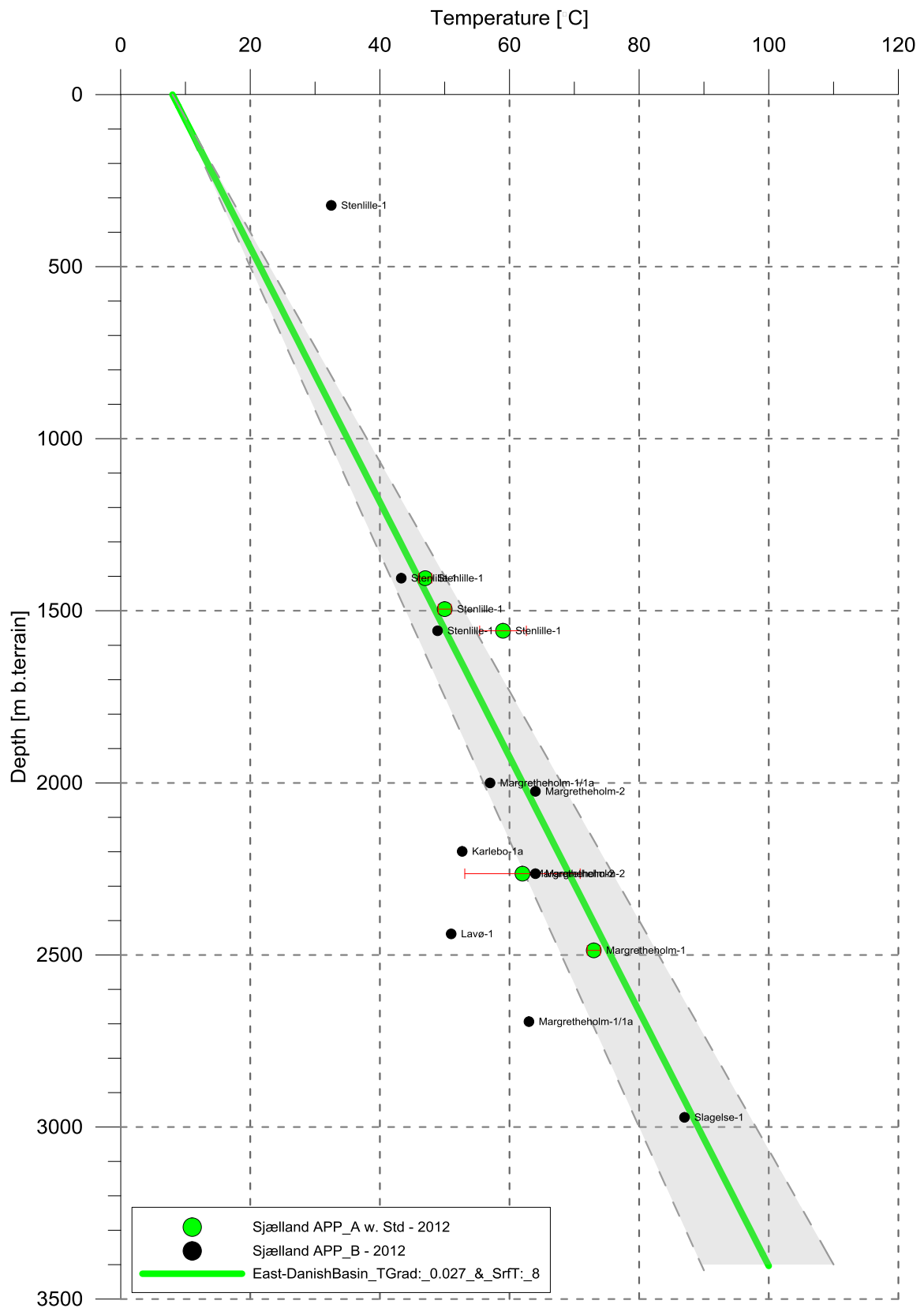
5.2.4 Transmissivitet

Endelig er den forventede transmissivitet beregnet på baggrund af den estimerede reservoir-permeabilitet ganget med tykkelsen af Potentielt reservoirsand. Kort beskrevet er transmissiviteten beregnet som en akkumuleret værdi baseret på de enkelte log-læsninger, de foretagne vurderinger af Potentielt reservoirsand efterfulgt af en erfaringsbaseret opskalering. Transmissiviteten er således en forventet reservoir-transmissivitet; denne er i Karlebo-1/1A vurderet til ca. 15 Darcy-meter, i Margretheholm-1/1A til ca. 20 Darcy-meter og til ca. 17 Darcy-meter ved prognoselokaliteten. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved hjælp af en dividere/gange faktor i en størrelsesorden på 5 (svarende til at dividere, henholdsvis multiplicere den estimerede transmissivitet med denne faktor). Faktoren indeholder en samlet usikkerhed knyttet til permeabilitete-

ten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

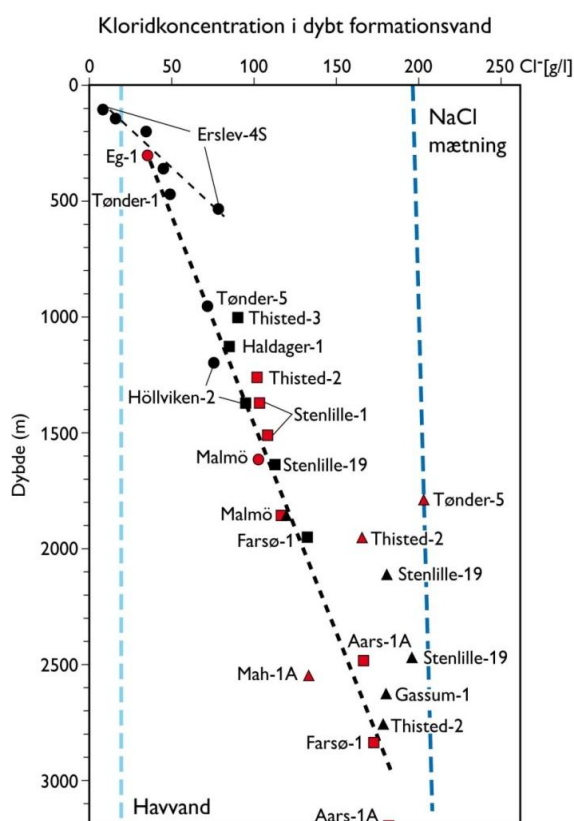
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til ca. $66\text{ °C} \pm 10\%$ ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på temperaturmålinger i dybe boringer i bassinet og er givet ved: $\text{Temp.} = 0,027 \cdot \text{dybde} + 8\text{ °C}$ (Figur 10). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 2153 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (2050 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (28 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (75 meter).



Figur 10: Estimeret dybde-temperatur relation (grønne linje) for den østlige del af det Danske Bassin baseret på alle relevante temperaturdata fra dybe brønde på Sjælland (Poulsen et al. 2013). Endvidere er der vist et usikkerhedsbånd på $\pm 10\%$ (gråt område).

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 11). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på omkring 137 g/l i en dybde af 2153 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 205 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. 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

Ahlberg, A. 1994: Deposition and diagenesis of the Rhaetian-Hettangian succession (Triassic-Jurassic) in southern Sweden. *Lund Publications in Geology* 123, 1-56.

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.

Dapco 1959: Lavø-1. Completion report.

DONG 2003: Margretheholm-1/1A. Final well report.

Erlström, M., Bidstrup, T., Lindström, S., Nielsen L.H., Kristensen, L. & Mathiesen, A. 2013: Structural outline, depositional setting and assessment of Mesozoic low enthalpy geothermal aquifers in the marginal eastern parts of the Danish Basin. *European Geothermal Congress 2013, Pisa, 3-7 June 2013*.

Hjuler, M.L., Erlström, M., Lindström, S., Nielsen, L.H., Kristensen, L., Mathiesen, A. & Bidstrup, T. 2014: Extended evaluation of possible geothermal reservoirs in the Helsingør area including geological data from Helsingør and Øresund. Contribution to an evaluation of the geothermal potential. *Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2014/29*.

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*.

Mathiesen, A., Rasmussen, R., Bidstrup, T., Kristensen, L., Laier, T. & Nielsen, L.H. 2014: Seismic quality control, interpretation, mapping and assessment of the geothermal potential in the Hillerød area, Northeastern Zealand. Contribution to an evaluation of the geothermal potential. *Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2014/35*.

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 Fenoscandian 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.

Skovgaard Nielsen, L., Keulen, N., Kristensen, L., Therkelsen, J., Nielsen, L.H. & Mathiesen, A. 2014: Karlebo-1A: Investigation of cuttings samples from the Lower Cretaceous, Lower Jurassic and Gassum Formation. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2014/1.

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.

Tethys Oil Denmark 2007: Karlebo-1/1A. Final well report (Geology).

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.