



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Nyborg

Indholdsfortegnelse

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

Introduktion

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

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

Resultaterne skal tages med en række forbehold.

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

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

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

MEMO

TITEL
DATO
TIL
KOPI
FRA
PROJEKTNR

Nyborg - Beskrivelse fjernvarmeområde
5. februar 2015
Energistyrelsen

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)
A044062

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

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

SIDE 1/5

1 Nyborg fjernvarmeområde

1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i Nyborg og Ullerslev varetages af NFS Varme A/S, der er datterselskab af det kommunalt ejede selskab Nyborg Forsyning & Service A/S.

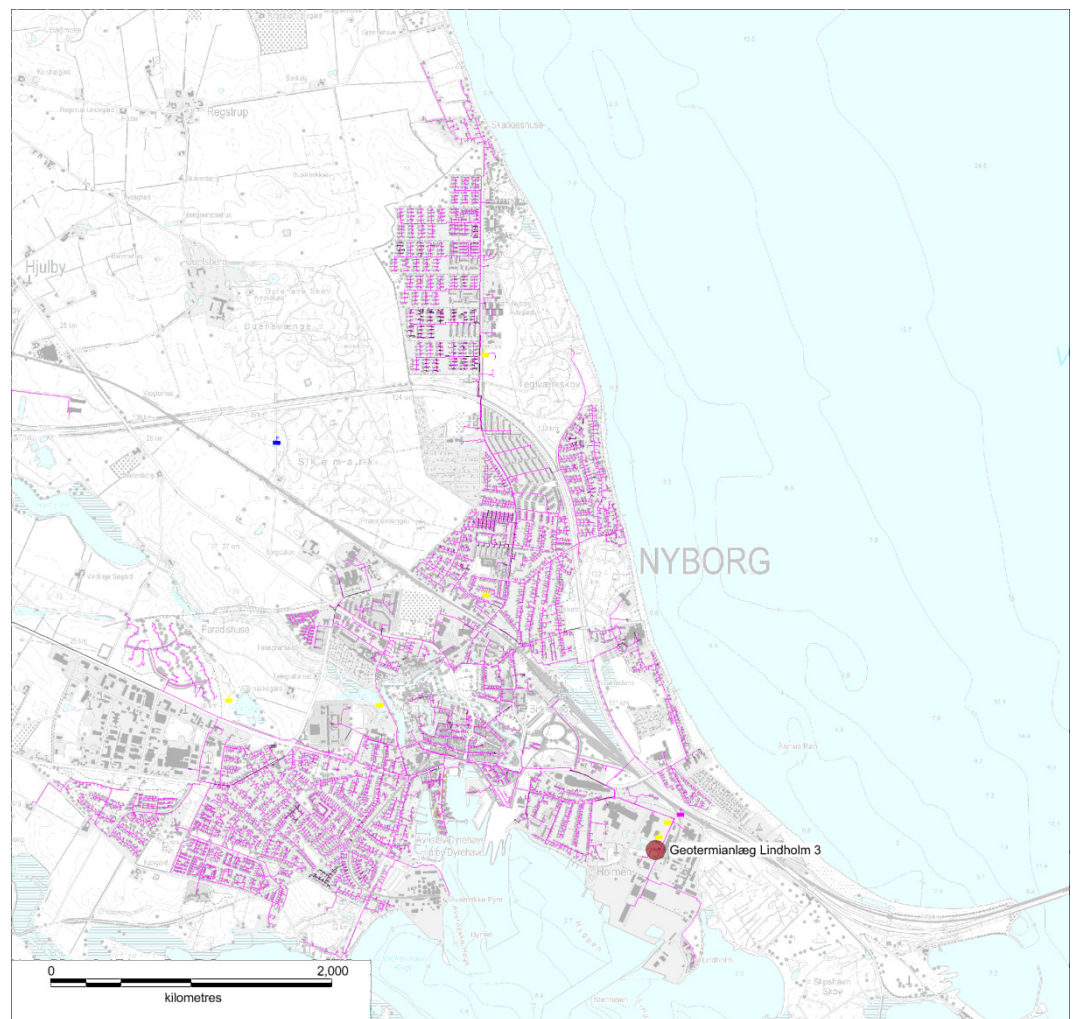
Nedenstående kort viser de nuværende forsyningsområder i Nyborg by og Ullerslev:



Figur 1.1-1 Oversigtskort over forsyningsområder i Nyborg og omegn (mørkegrønt fjernvarme – lysgrønt naturgas).

Fjernvarme området i Ullerslev forsynes via en transmissionsledning mellem Nyborg og Ullerslev.

Efterfølgende kort viser ledningsnettet i Nyborg.



Figur 1.1-2 Oversigtskort ledningsnet.

NFS Varme A/S distribuerer årligt ca. 210.000 MWh til ca. 6.750 tilsluttede forbrugssteder i Nyborg og Ullerslev.

90% af varmen er overskudsvarme fra produktionen på de lokale virksomheder NORD (det tidligere KommuneKemi og Koppers Danmark A/S samt fra renseanlægget i Nyborg. Den sidste procentdel produceres på egen centraler.

Ledningsnettet består af 202 km fjernvarmeledninger, heraf er 75 km stikledninger. I alt findes 6 varmecentraler.

Varmeforsyningen i Nyborg Kommune foregår på grundlag af varmforsyningsplaner. Inden for fjernvarmens forsyningsområde er der tilslutningspligt.

Nedenstående tabel viser fjernvarmebehovet for Nyborg og Ullerslev

Tabel 1.1-1 Oversigt over nuværende og fremtidigt varmegrundlag.

Varmegrundlag					
Nyborg					
MWh/år	2012*	2013**	2015***	2025***	2035***
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	163.454	166.293	166.293	166.293	166.293
Distributionstab	45.192	44.251	44.251	44.251	44.251
An net	208.646	210.544	210.544	210.544	210.544
TJ/år					
Nettovarme	588	599	599	599	599
Distributionstab	163	159	159	159	159
An net	751	758	758	758	758
* Kilde DF-årsstatistik for 2012					
** Kilde DF-årsstatistik 2013					
Energistyrelsens udbud angiver	732 TJ - hvoraf affaldsvarme 692 TJ				
Rimelig sammenhæng mellem udbud og DF-statistik					
Energiproducenttælling noget højere - kan skyldes leverance af overskudsvarme/affaldsvarme til anden modtager end Nyborg Forsyning Varme					
*** Der regnes med konstant varmebehov - dog enkelte konvertering af naturgasområder undervejs, da projektforslaget herfor er påklaget til Energiklagenævnet indgår disse ikke i prognosen					

Der er jf. ovenstående forudsat konstant varmebehov, jf. sidste afsnit er der dog et potentiale for yderligere 5-7.000 MWh, der ikke er indregnet. Sammenlignet med det nuværende varmegrundlag vurderes dette potentiale ikke at have den store betydning for vurdering af geotermipotentialet.

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

Tabel 1.1-2 Oversigt over temperaturforhold.

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
73	44	78	41

Det maksimale effektbehov er ifølge DF's statistik for 2013 opgjort til 95 MW

1.2 Nuværende produktionsstruktur

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

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

Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012													Brændselsfordeling					
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varmerproduktion i 2012 (TJ)	*Brændselsforbrug 2012 (TJ)	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varmer effekt (MW)	Elvirkningsgrad	**Varmer virkningsgrad	Etableringsår	Forventet udfasningsår	Fuel oil	gasolie	Affald	Biogas	Naturgas	Bio-olie	Brændselsfrit
Nyborg by																		
Nord A/S, Kommunekemi A/S	Gasturbine		0	0	16	5	8	31%		01-07-1998								
Nord A/S, Kommunekemi A/S	Kombianlæg	Affald	356	656	24	5	18	21%	54%	01-01-1983		19,0	7,2	630,2				
Nord A/S, Kommunekemi A/S	Kombianlæg	Affald	340	634	24	5	18	21%	54%	01-01-1989		19,0	7,2	608,1				
Nord A/S, Kommunekemi A/S	Kombianlæg	Affald	376	694	27	7	20	26%	54%	01-10-2002		19,0	7,2	667,8				
Central Gasværksvej	Kedel	Bio-olie	4	5	22	0	25		114%	01-09-1964								4,5
Central Fladet	Kedel	Bio-olie og naturgas	7	11	13	0	10		75%	01-05-1975						2,8		7,7
Central Skovparken	Kedel	Bio-olie	7	9	18	0	18		102%	01-10-1973								9,2
Central Halvej	Kedel	Bio-olie	2	3	19	0	19		99%	01-10-1965								3,0
Varmecentral Langelandsvej	Kedel	Naturgas	5	5	11	0	11		104%	01-03-1970							4,5	
Nyborg Renseanlæg	Kedel	Biogas	6	9	1	0	1		101%	01-11-1982					9,1			
Koppers Denmark Aps, Fjernvarmeanlæg	Overskudsvarme	Brændselsfrit	66	66	14	0	3		18%	01-01-2000								66,2
Total			1.168				150											

Oplysningerne i energiproducenttællingen er baseret på indmeldinger fra selskaberne. Data skal suppleres/verificeres i forbindelse med den videre proces.
 * Brændselsforbruget i/vf energiproducenttællingen for kedeldrift identisk med varmerproduktion svarer til den samlede el og varmerproduktion og den angivne totalvirkningsgrad på 85% (42%+43%)
 ** Varmer virkningsgradene er baseret på de angivne værdier for indfyret effekt og varmer effekt.

Anlæggenes geografiske placering er illustreret nedenfor.



Figur 1.2-1 Geografisk placering af varmerproduktionsanlæg.

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

Der foreligger et projektforslag for konvertering fra naturgas til fjernvarme for et mindre område kaldet Bondemosen i Ullerslev. Naturgas Fyn Distribution har primo

2014 påklaget Nyborg Kommunes godkendelse af projektforslaget. Projektet omfatter tilslutning af op mod 360 nye forbrugere og der forventes et øget varmebehov på ca. 5-7.000 MWh/år.

Energiklagenævnet har primo december 2014 ophævet Nyborg Kommunes godkendelse af projektforslaget og hjemvist projektet til fornyet sagsbehandling. På baggrund heraf regnes der med konstant varmebehov i prognosen.

Området ved Bondemosen svarer til det med lysegrønt markerede umiddelbart vest for Ullerslev.

Såfremt projektforslagene godkendes på et senere tidspunkt vil Nyborg Forsyning arbejde videre med et projektforslag for etablering af et halmfyret kedelanlæg.

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg på adressen Lindholm 3.

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 Nyborg

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Nyborg. 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.: Nyborg_2014_12_19.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Nyborg leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos NFS Varme (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 4, februar 2015).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg ved Kommunekemi på adressen Lindholm 3, Nyborg.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Nyborg 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 Nyborg.

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

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	2
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	922
Temperatur@midt reservoir	°C	33
Tykkelse af formation	m TVT	100
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	37
Transmissivitet	Dm	9
Seismik-anbefaling	km	80

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.

Varmegrundlag (2025)	TJ/år	758
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	59 *)
Fremløbstemperatur vinter	°C	78
Returløbstemperatur vinter	°C	41
Fremløbstemperatur sommer	°C	73
Returløbstemperatur sommer	°C	44
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger.

*) For at kunne give det mest retvisende billede af det geotermiske potentiale i Nyborg, er varme med forret ikke indregnet, da der i så fald ikke vil være afsætning til geotermien.

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 varmeproduktionsanlæg (Kommunekemi) kan benyttes som drivvarme. På anlægsskitsen i output fra geotermiPRO, som vises i resultatafsnittet er der kun vist én absorptionsvarmepumpe, mens der i praksis kan være tale om et antal absorptionsvarmepumper i serie.

For at kunne give det mest retvisende billede af det geotermiske potentiale i Nyborg, er varme med forret ikke indregnet, da der i så fald ikke vil være afsætning til geotermien.

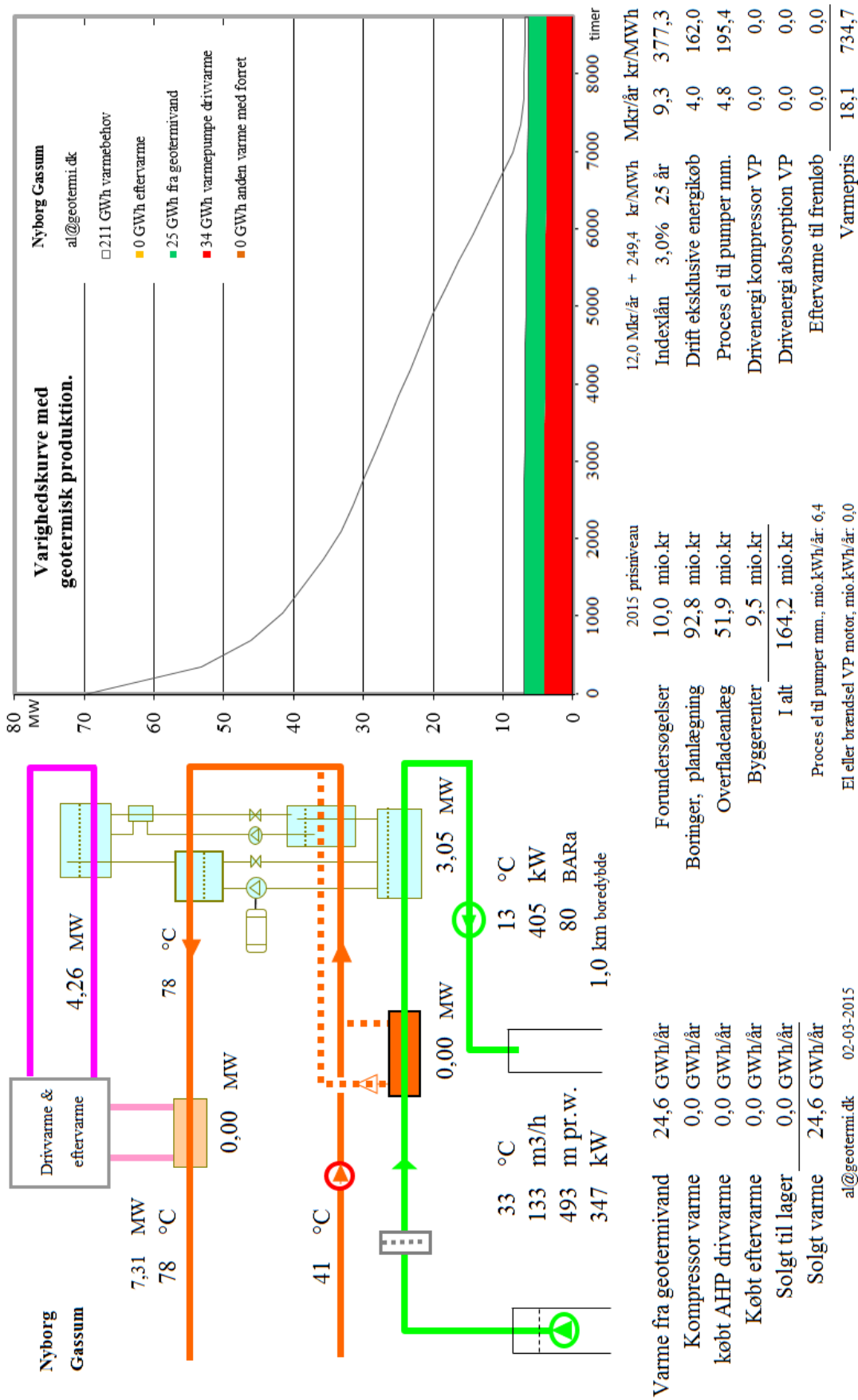
5 Resultater

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

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper placeret på én lokalitet, standard-beregningen, viser at der med en samlet investering på 155 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 3 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 7 MW. Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være høj.

Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 25 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 735 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.

Beregningsresultater Geotermianlæg ved Nyborg	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El- varmepump er	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	
Anlægs kapacitet (vinter)					
1) Effekt fra geotermivand	MW	3,051			
2) Effekt fra drivvarme	MW	4,257			
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000			
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	7,308			
5) Proces el	MW	0,780			
6) Varmepumpe el	MW	N/A			
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000			
8) Drivvarme	%	139,388			
9) Eftervarme	%	0,000			
10) Varme til fjernvarmevand	%	239,388			
11) Proces el forbrug	%	26,053			
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A			
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	154,672			
14) Byggerenter	mio. kr	9,533			
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr/år	2,660			
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr/MWh	54,010			

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 Nyborg. 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."

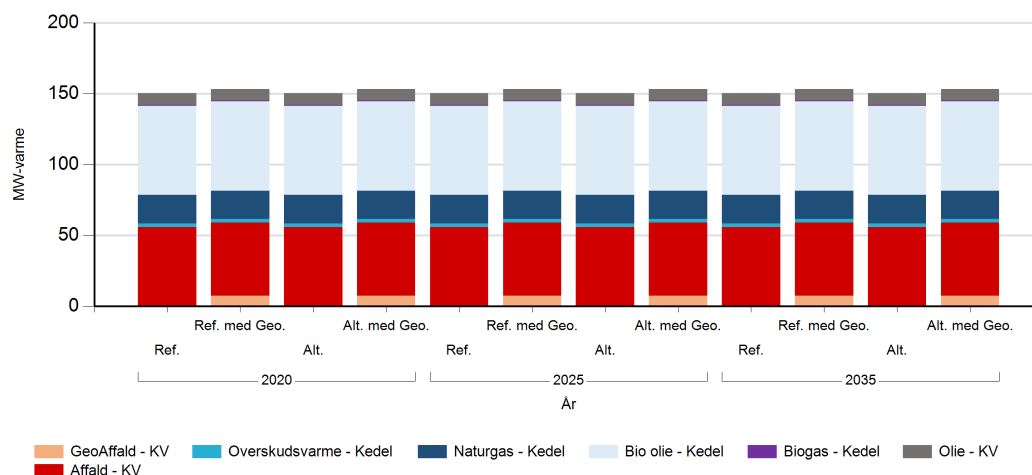
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

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

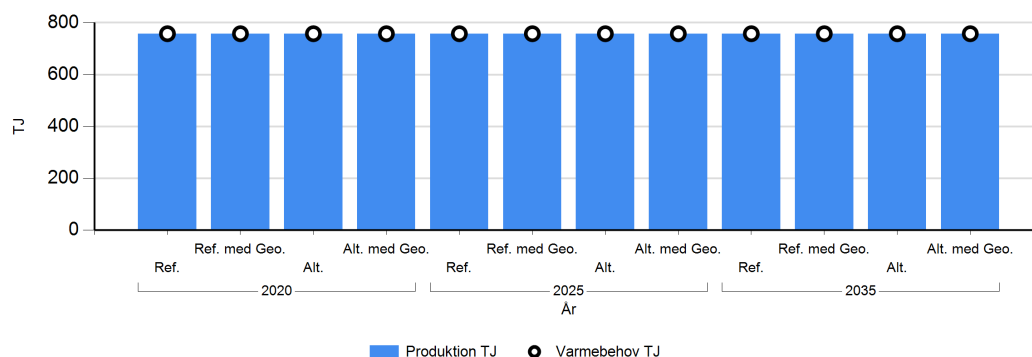
Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

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.
Biogas - Kedel	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Naturgas - Kedel	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Affald - KV	55.9	51.6	55.9	51.6	55.9	51.6	55.9	51.6	55.9	51.6	55.9	51.6
GeoAffald - KV		7.4		7.4		7.4		7.4		7.4		7.4
Overskudsvarme - Kedel	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

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

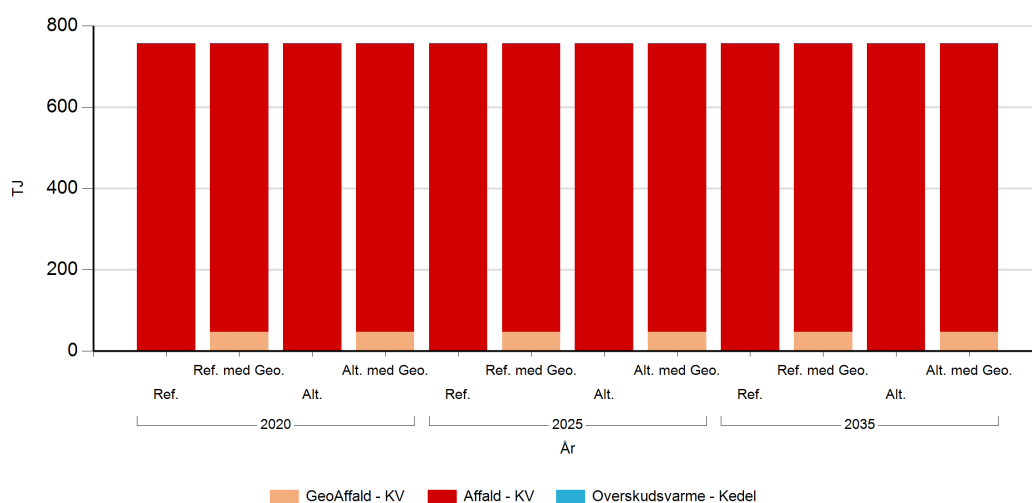
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



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

TJ	2020				2025				2035			
Brændsler og Anlægstype	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Affald - KV	757,6	711,0	757,6	711,0	757,6	711,0	757,6	711,0	757,4	710,5	757,4	710,5
Overskudsvarme - Kedel	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,7	0,3	0,7
GeoAffald - KV		46,6		46,6		46,6		46,6		46,6		46,6

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

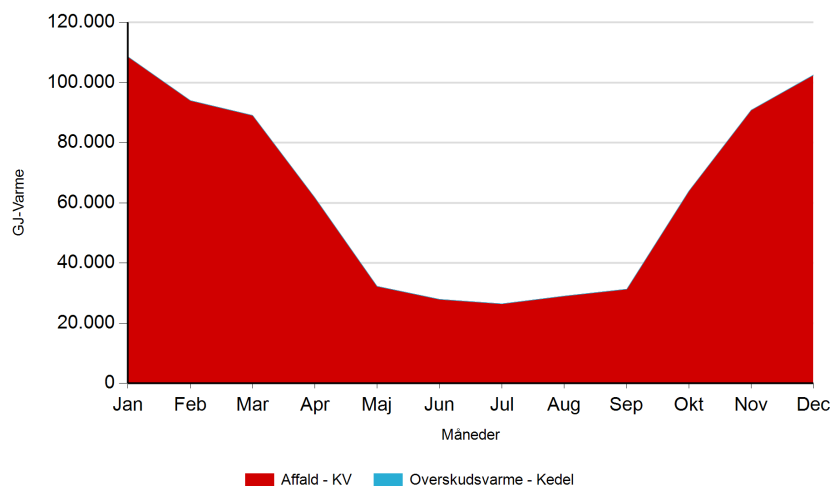
Fuldstimer for varmeproduktion

Fuldst timer	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Affald - KV	3.763	3.824	3.763	3.824	3.763	3.824	3.763	3.824	3.762	3.821	3.762	3.821
Overskudsvarme - Kedel	9	9	9	9	9	9	9	9	31	74	31	74
GeoAffald - KV		1.752		1.752		1.752		1.752		1.752		1.752

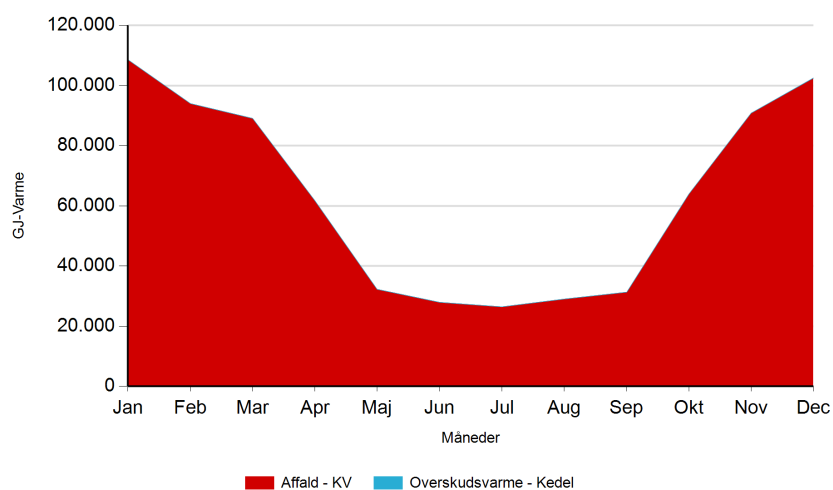
Tabel 4: Antal af fuldstimer for varmeproduktion i Nyborg.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Nyborg.

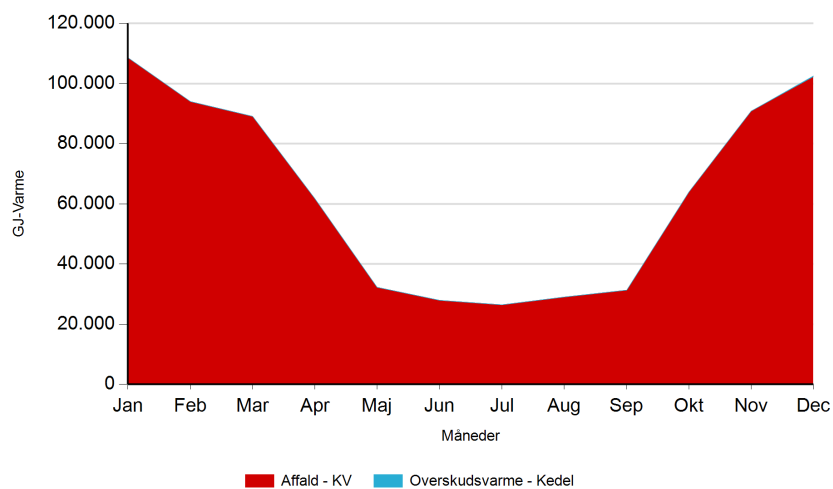
Ref. 2020



2025

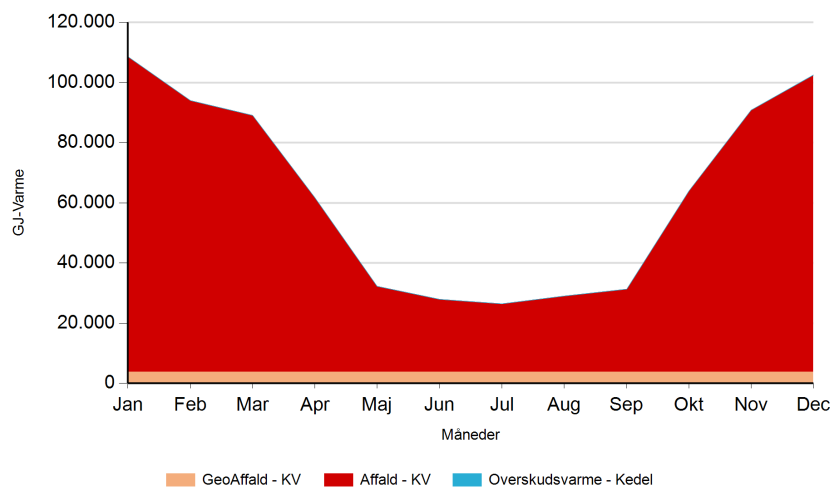


2035

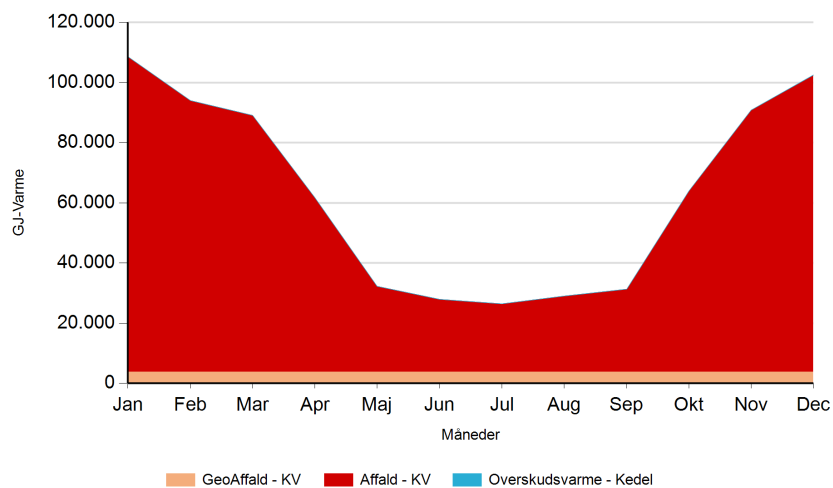




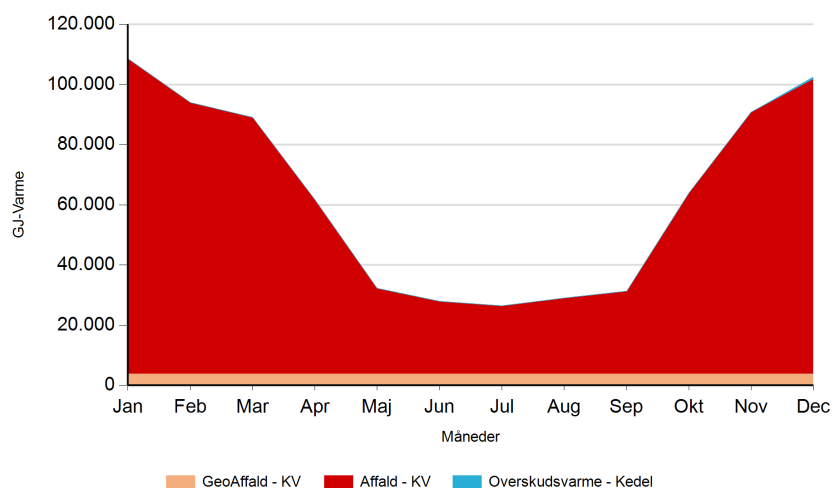
Ref. med Geo. 2020



2025



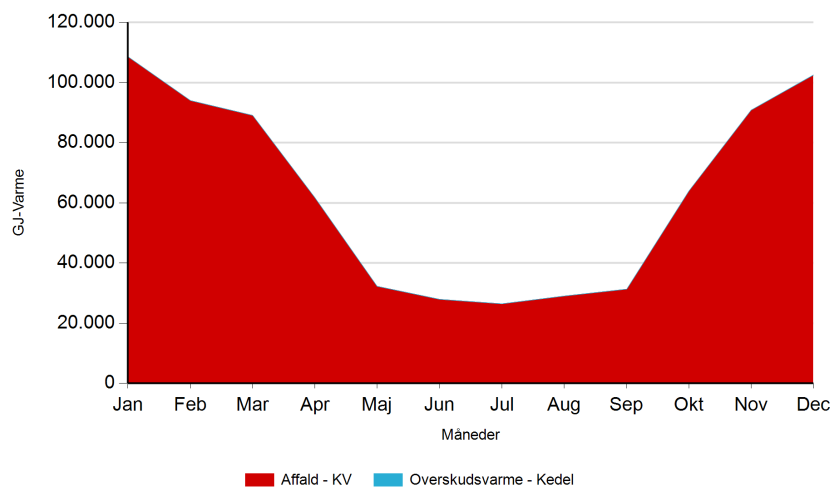
2035



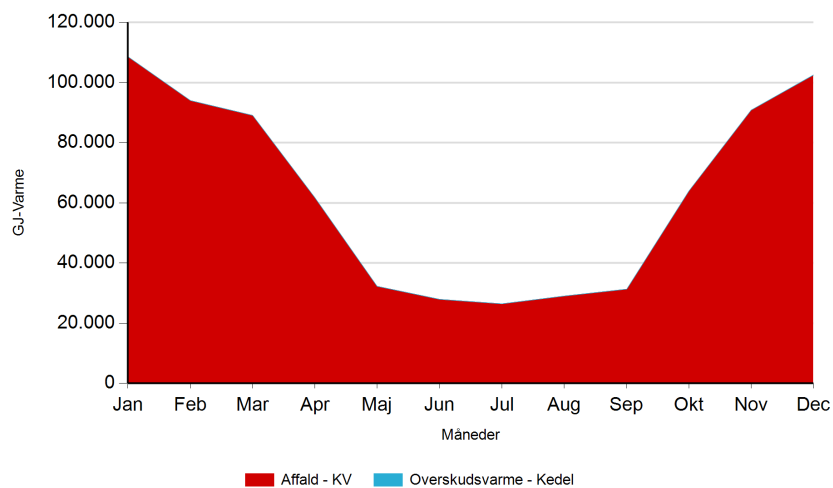


Alt.

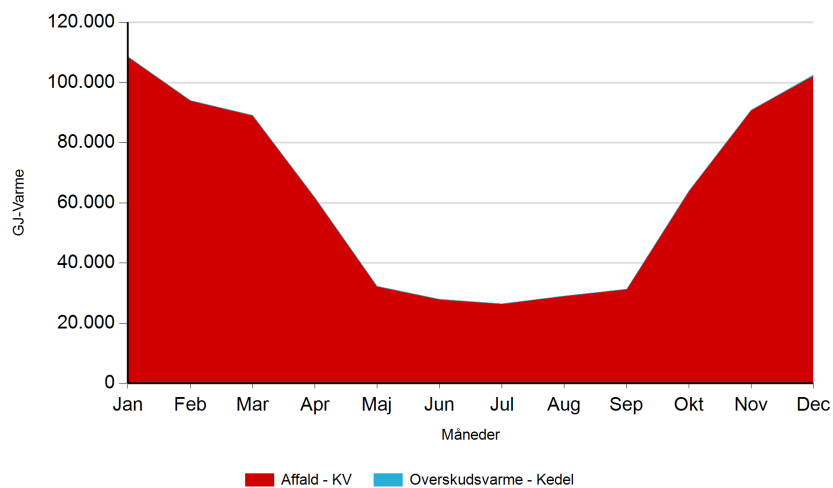
2020



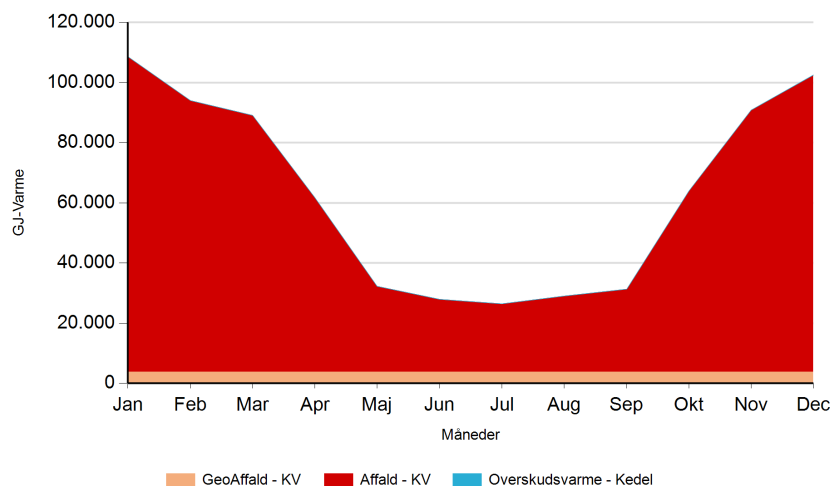
2025



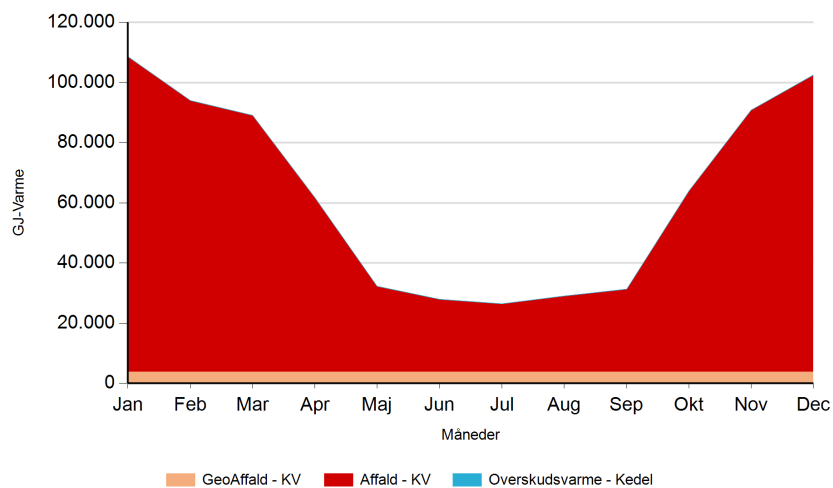
2035



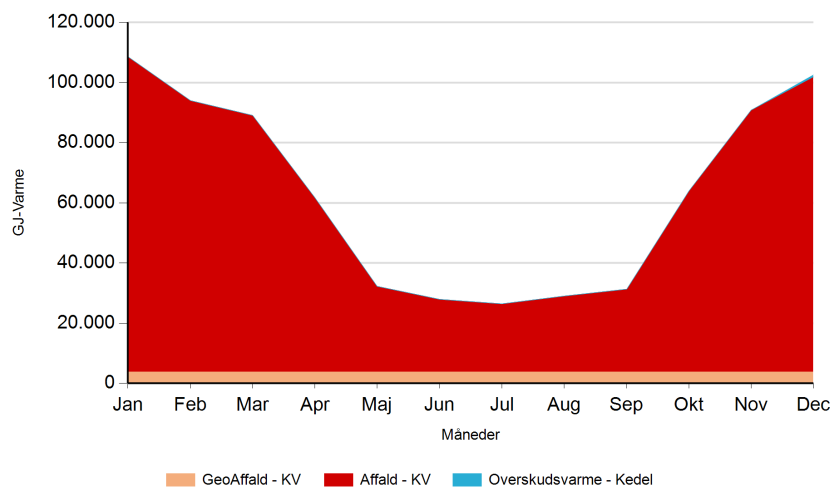
Alt. med Geo. 2020



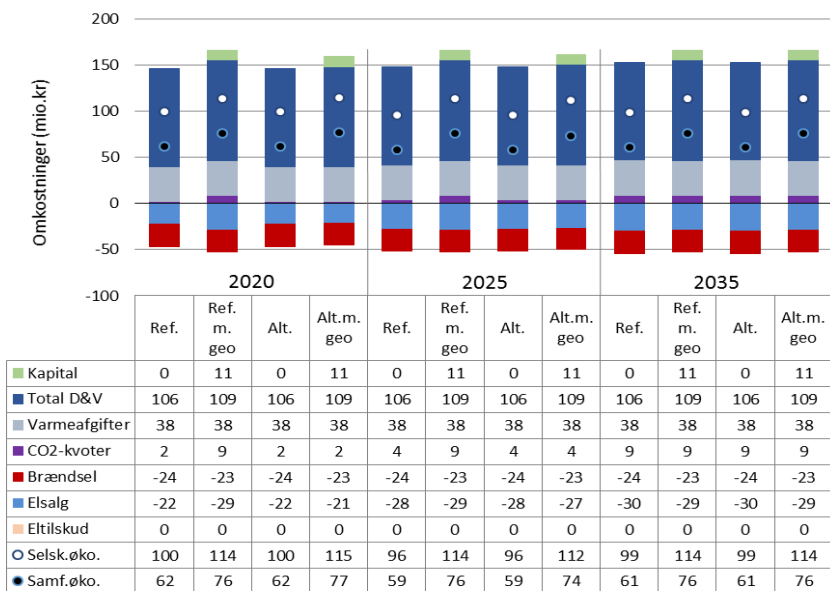
2025



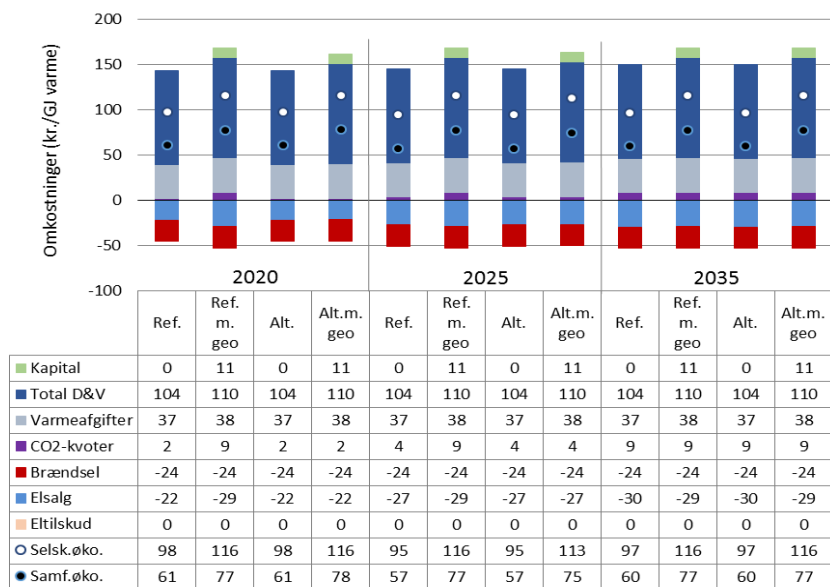
2035



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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Nyborg



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Nyborg

Det geotermiske screeningsprojekt

Nyborg-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 Nyborg-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	20
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	24
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	26
5.2.3	Permeabilitet.....	27
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 i den østlige del af Nyborg på adressen Lindholmvej 3, 5800 Nyborg (Figur 1). Udvælgelsen af lokaliteten er sket under hensynstagen til infrastrukturen på overfladen, herunder beliggenheden af eksisterende fjernvarmeanlæg og -net, samt ud fra driftsbetragtninger (primært temperatur og lastforhold).

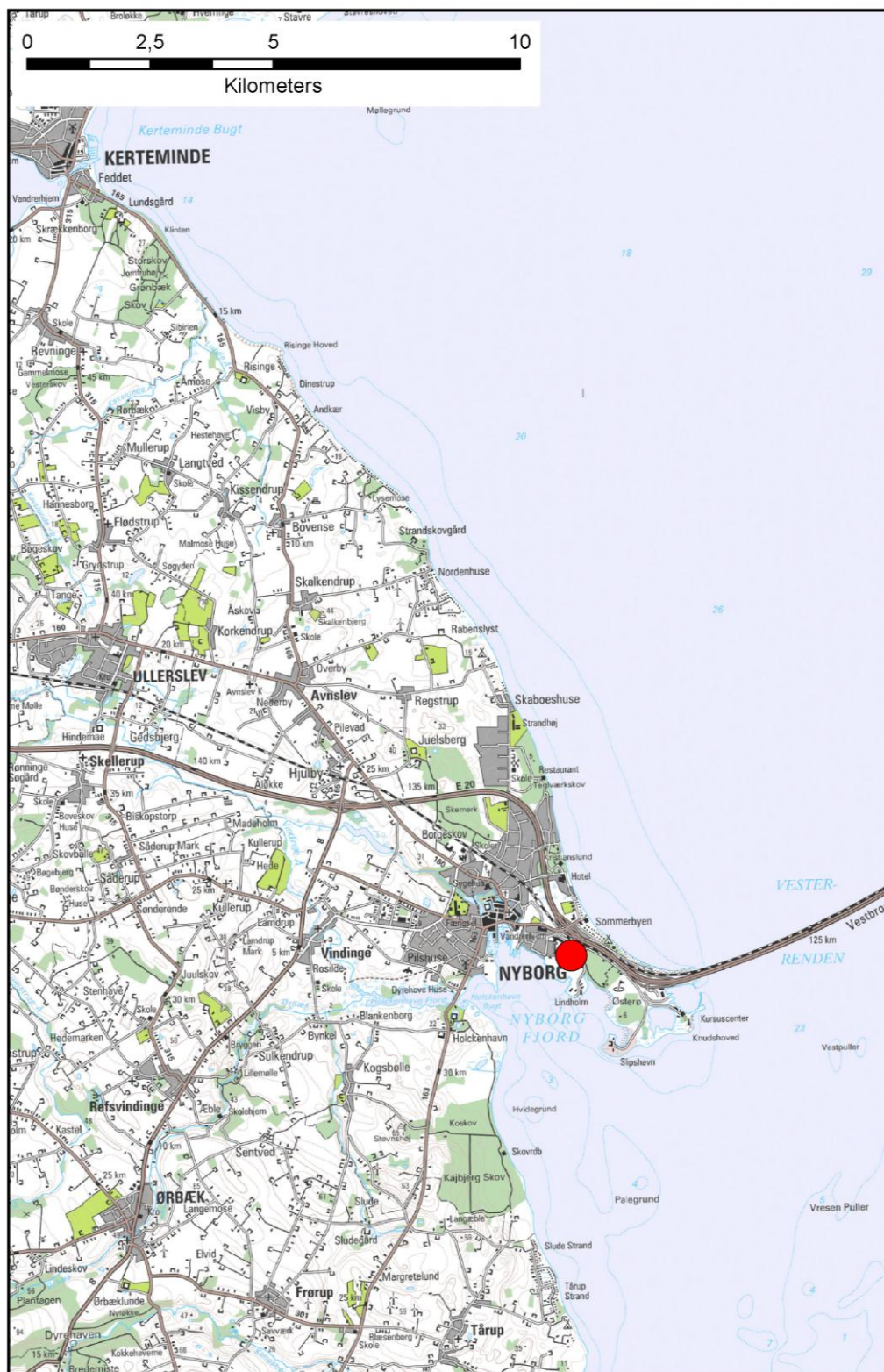
Nyborg fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er i udgangspunktet valgt ud fra, at deres varmemarked er større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

De geologiske data fra screeningen af de 28 fjernvarmeområder indgår i en Geotermi WebGIS portal, hvori relevante geologiske data sammenholdes med henblik på at lave en screening af det geotermiske potentiale på landsplan. WebGIS portalen er under udarbejdelse af GEUS for midler, der ligeledes er afsat i den 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 Nyborgområdet, 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 Nyborg-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 godt 35 meter sandsten, der er beliggende mere end 870 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 Nyborg-lokaliteten og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. I afsnit 3 evalueres det geotermiske potentiale endvidere, og der gives anbefalinger til eventuelle supplerende undersøgelser. I de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og hvordan de geologiske nøgledata er fremkommet samt delvist hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem. For en generel introduktion til anvendelsen af geotermisk energi i Danmark ud fra en geologisk synsvinkel henvises der til WebGIS portalen. Heri gennem-

gå blandt andet hvilke typer geologiske data (reservoirdata, seismiske data, temperaturdata og salinitetsdata m.fl.), der indgår i vurderingen af et geotermisk potentiale og hvilke usikkerheder, der overordnet knytter sig til beregningen af disse.



Figur 1: Kort visende den omtrentlige beliggenhed af prognoselokaliteten (rød cirkel) i den østlige del af Nyborg.

2. Geologisk baggrund

Nyborg-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). Nyborg-lokaliteten er beliggende i den sydlige del af Det Danske Bassin over flanken af Ringkøbing–Fyn Højderyggen.

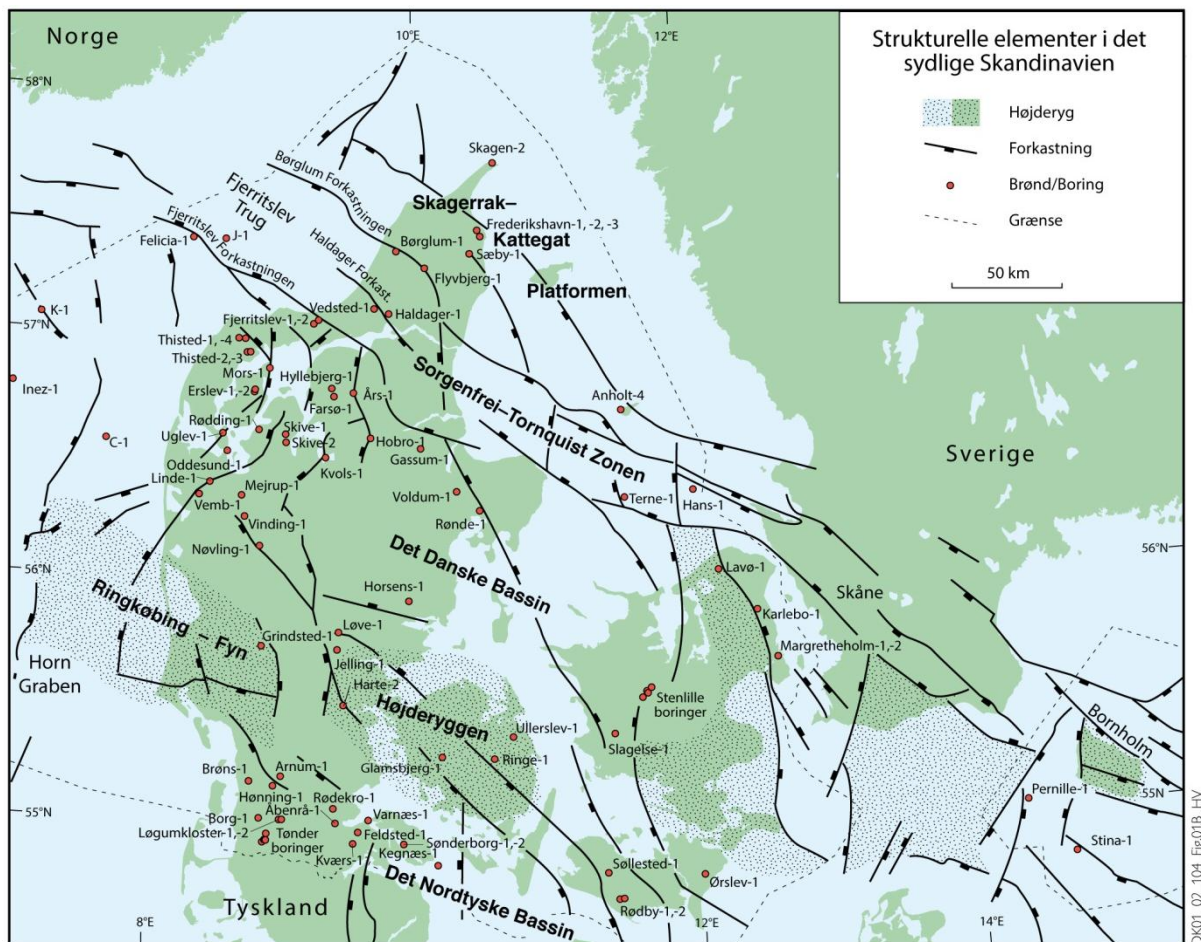
Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin fulgte en lang periode med indsynkning, hvor tykke aflejringer af Zechstein-salt blev dannet i bassinerne efterfulgt af aflejring af sand, mudder, karbonat og mindre saltdannelser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

I Nyborg-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien omkring 2,0–2,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I regionen 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). Dette er baseret på, at formationerne 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.

I Nyborg-området er datadækningen ringe; der er således kun meget begrænset information at hente om Gassum og Bunter Sandsten formationerne fra borerne på Fyn. Gassum Formationen er omkring 100 meter tyk i Ullerslev-1 brønden, men er ikke til stede i Ringe-1 og Glamsbjerg-1. På grundlag af de spredte seismiske data vurderes Gassum Formationen til at være omkring 100 meter tyk i den nordlige del af Nyborg-området men tynd eller ikke til stede i den sydlige del af området. Bunter Sandsten Formationen er 10-15 meter tyk i Ringe-1 brønden, men er ikke til stede i Glamsbjerg-1. Ullerslev-1 brønden er ikke dyb nok til at påvise, om Bunter Sandsten Formationen er til stede ved denne lokalitet. De spredte seismiske data indikerer dog, at Bunter Sandsten Formationen er til stede i Nyborg-området med en tykkelse på 10-25 meter. I Vestsjælland vurderes Gassum Formationen til at have bedre reservoirgenskaber end Bunter Sandsten Formationen. På baggrund heraf, og den sandsynligvis lille tykkelse af Bunter Sandsten Formationen, er der i det følgende valgt at fokusere på Gassum Formationen i vurderingen af det geotermiske potentiale ved Nyborg-lokaliteten.

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 kun delvis langs dens flanker. Endvidere kan formationen stedvis mangle på grund af lokal hævnning og erosion relateret til saltbevægelse i undergrunden.

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



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

3. Resultater for Nyborg-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Nyborg-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. 870–970 meter under havniveau (m.u.h.) og dermed i den lave ende af dybdeintervallet for dyb geotermisk indvinding (800–3000 meter). Dette afspejler sig i temperaturen, der vurderes til at være ca. 33 °C i midten af formationen. De øvrige reservoirværdier vurderes rimelige med hensyn til det geotermiske potentiale. Dog er reservoirtransmissiviteten vurderet til kun at være 9 Darcy-meter ved prognoselokaliteten (Tabel 3.1). Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydeevne og bør være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013*). Den er beregnet ved at gange tykkelsen af Potentielt reservoirsand med reservoirsandstenens gennemsnitspermeabilitet efterfulgt af en erfaringsbaseret opskalering. Usikkerheden, der knytter sig til den estimerede værdi, muliggør dog væsentlig større transmissivitetsværdier (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoir-kvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som "Potentielt reservoirsand" i Figur 6 og 7). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt lerindhold (<30 %).

Der knytter sig en meget stor usikkerhed til de angivne reservoirværdier i Tabel 3.1. Dette skyldes, at kendskabet til undergrundens beskaffenhed er meget begrænset, da datadækningen i området er ringe. Det er således meget usikkert i hvor høj grad, de anvendte reservoirdata fra Gassum Formationen i Stenlille er repræsentative for Nyborg-lokaliteten.

Endvidere er den seismiske datadækning for ringe til at kunne bestemme om forkastninger gennemskærer Gassum Formationen tæt ved prognoselokaliteten. Hvis der er forkastninger til stede i nærheden af lokaliteten, og disse ikke kortlægges, er der en risiko for, at eventuelt fremtidige geotermiske produktions- og injektionsboringer placeres, så de ikke er i tilstrækkelig hydraulisk kontakt med hinanden.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 110 meter tyk med toppen liggende ca. 760 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 670 meter tykke og beliggende ca. 0–670 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.

Nyborg-lokaliteten			
UTMz32 X: 615.129 m; Y: 6.130.077 m Terrænkote: ca. 2 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.]	870	10 ³	783–957 ³
Tykkelse af formation [m]	100	25 ³	75–125 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	38	20 ³	31–46 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	37	30 ³	26–48 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,37	30 ³	0,26–0,48 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,97	30 ³	0,68–1,00 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	25	10 ³	23–28 ³
Gas-permeabilitet [mD]	200	6 ⁷	33–1200 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	250	6 ⁷	42–1500 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	9	7 ⁷	1–65 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	33	10 ³	30–36 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til fin kornstørrelse, subkantede korn; ingen oplysninger om sorteringsgrad		
Diagenese/cementering	Løse, kalkfrie		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Lille til stor		
Strukturel kontinuitet	Lille til moderat, men vanskeligt at udtale sig præcist om i lokalitetens nærområde på grund af en ringe seismisk datadækning		

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

Det er som nævnt usikkert, hvor repræsentative data fra Gassum Formationen i Stenlilleområdet er for Nyborg-lokaliteten. Det vil derfor være hensigtsmæssigt at gennemgå det eksisterende kernemateriale fra den tættere liggende Ullerslev-1 boring, og hvis muligt, udføre porøsitet- og permeabilitetsmålinger på kernemateriale bestående af sandsten. Efterfølgende sammenlignes resultaterne af kernemålingerne med de anvendte Stenlille-data, og på baggrund heraf revurderes reservoirgenskaberne for prognoselokaliteten.

Det vil være nødvendigt at lave en seismisk dataindsamling, som muliggør en rumlig kortlægning af eventuelle forkastninger, der gennemskærer Gassum Formationen omkring prognoselokaliteten, og som kan anvendes til bestemme de mest optimale placeringer af geotermi-brøndene. Endvidere vil dybden til Gassum Formationen og dens tykkelse herved kunne fastlægges mere præcist og dermed indirekte også flere af reservoirværdierne, herunder transmissiviteten og temperaturen. Da kendskabet til den vestfynske undergrund er meget begrænset, bør kortlægningen af eventuelle forkastninger inkludere en omtrent nord-syd gående seismisk linje vest for lokaliteten. Endvidere bør den seismiske linjeføring lægges således, at den knytter lokaliteten til Ullerslev-1 brønden. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 80 km ny seismik.

4. Datagrundlag

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

Nærmeste dybe brønd er Ullerslev-1, der er beliggende ca. 13 km nordvest for prognoselokaliteten. Mod vest findes Ringe-1 og Glamsberg-1 i en afstand af henholdsvis ca. 20 km og knap 45 km. Disse to brønde er beliggende over den centrale del af Ringkøbing–Fyn Højderyggen og i ingen af brøndene er Gassum Formationen til stede, idet aflejringer fra Kridt Perioden ligger direkte på aflejringer, der er ældre end Gassum Formationen. Nærmeste brønd på Sjælland er Slagelse-1 i en afstand af ca. 36 km samt de mange Stenlille-brønde, der er beliggende godt 55 km fra prognoselokaliteten (Figur 2).

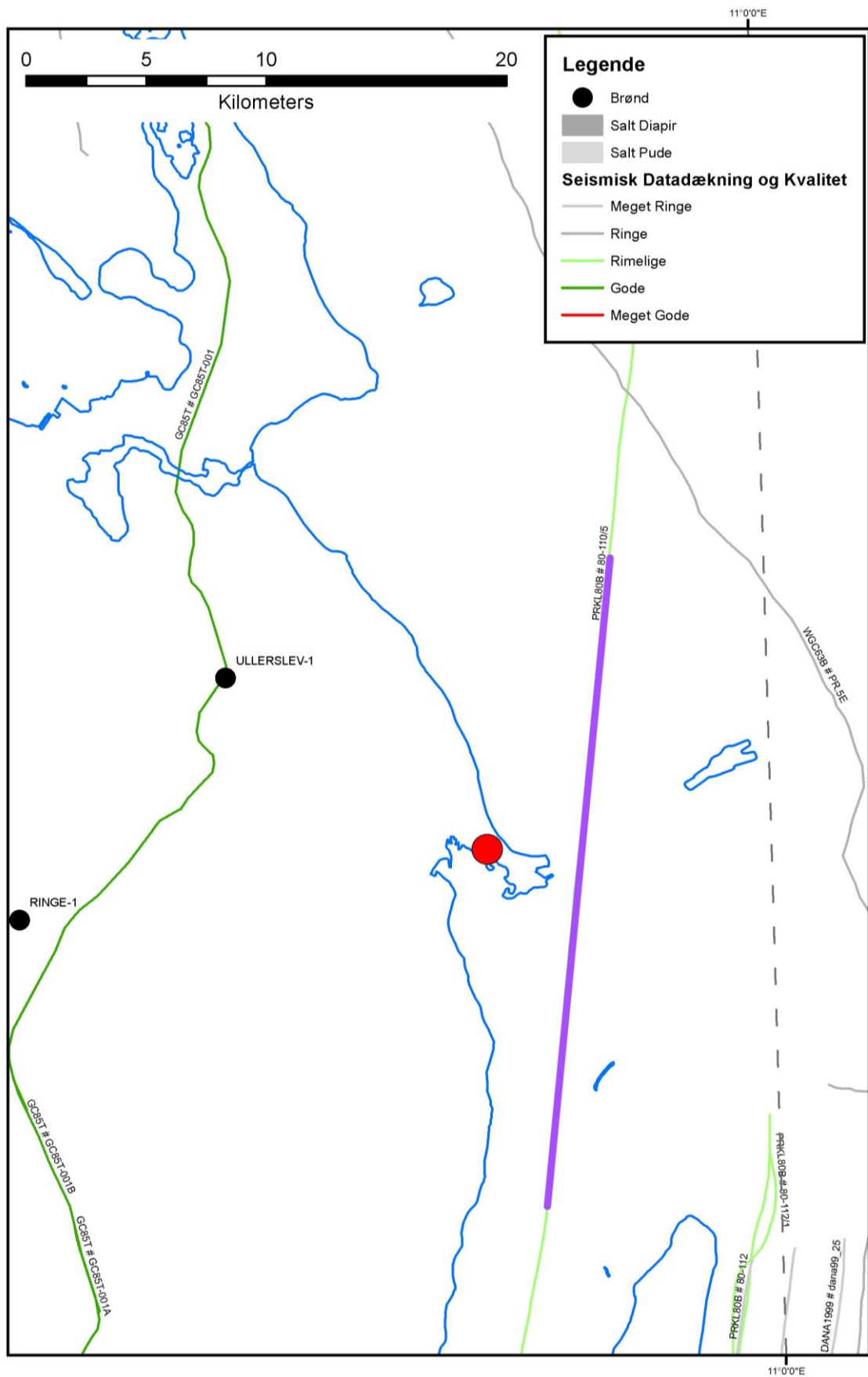
I Ullerslev-1 og Slagelse-1 er der ikke optaget en fuld logsuite, og det er derfor ikke muligt at tolke flere relevante reservoirparametre. I Stenlille-boringerne er der optaget en fuld logsuite, og da loggene desuden er af god kvalitet, er det derfor muligt at bestemme porøsitetfordelingen ret præcist. Der er her valgt, at lade Gassum Formationen ved gaslagret i Stenlille repræsentere ved data fra Stenlille-1, og vurderingen af Gassum Formationens egenskaber ved prognoselokaliteten tager derfor udgangspunkt i data fra denne boring. Overordnet set vurderes brønddækningen og kvaliteten af brøndata til at være ringe i vurderingen af reservoirlagenes egenskaber ved prognoselokaliteten. Kvaliteten af de anvendte data fra Stenlille-1 er dog god, men brønden er beliggende forholdsvis langt fra prognoselokaliteten.

I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen i Ullerslev-1, Slagelse-1 og Stenlille-1, hvoraf sidstnævnte indgår med logdata i vurderingen af formationens reservoirgenskaber ved prognoselokaliteten. Endvidere er dybdeinterval og tykkelse vist for den lerstensdominerede 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. Den seismiske datadækning er ringe i området, mens kvaliteten af de seismiske data er rimelig.

Tabel 4.1: De enkelte brøndes omtrentlige afstand til prognoselokaliteten er angivet i parentes under brøndnavnet. Brøndenes placering fremgår endvidere på oversigtskortet i Figur 2. Formationer, der ikke er gennemboret (ikke til stede), men hvor stratigrafisk dybereliggende lag er an-boret, er markeret med "-" i tabellen. Tykkelse er i meter, og dybdeinterval er i meter under hav-niveau.

		Ullerslev-1 (13 km)	Slagelse-1 (36 km)	Stenlille-1 (57 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	25-779	224-911	150-1158
	Tykkelse (m)	754	687	1008
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	-	932-1109	1205-1465
	Tykkelse (m)	-	177	260
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	817-916	1133-1246	1465-1609
	Tykkelse (m)	99	113	144



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og nærmeste brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. Den del af den seismiske linje 80-110/5, 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.

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

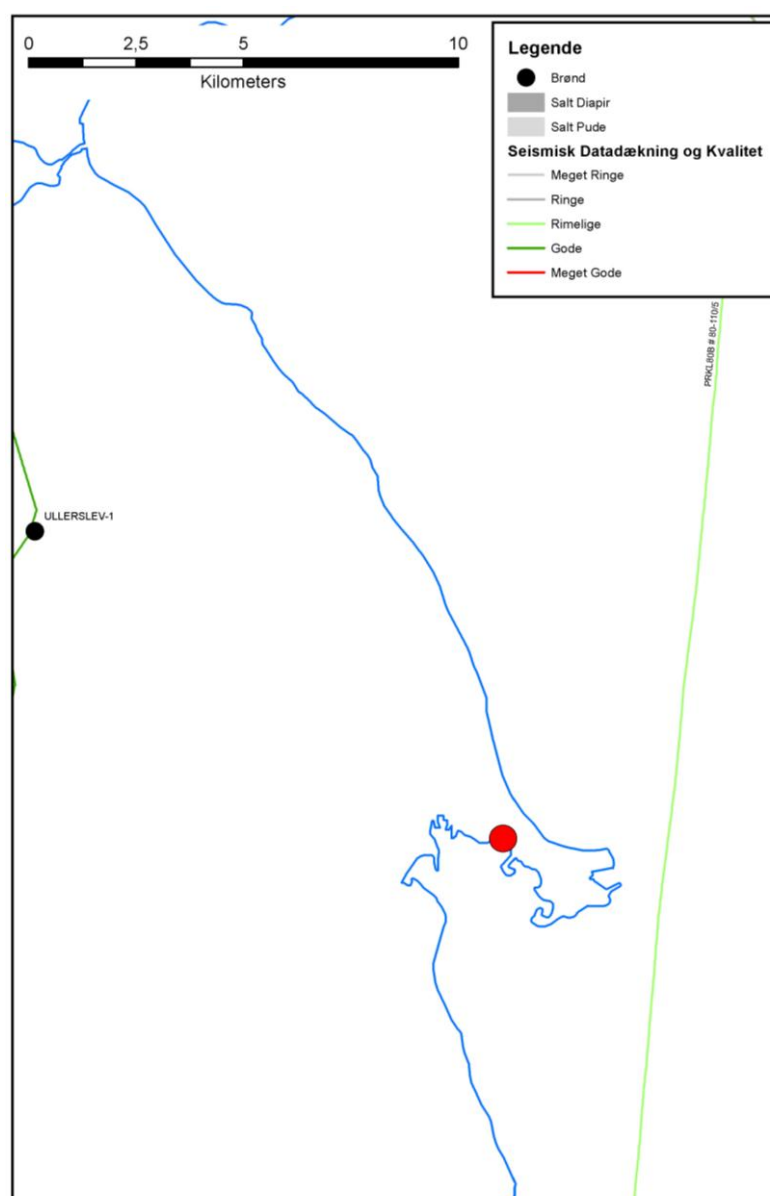
Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1. Gassum Formationens top vurderes at være til stede ca. 870 m.u.h. ved prognoselokaliteten med en vurderet usikkerhed på $\pm 10\%$ baseret på de seismiske data. Tykkelsen af formationen vurderes til at være 100 meter med en usikkerhed på omkring $\pm 25\%$; i høj grad baseret på at tykkelsen antages at være nogenlunde den samme som i Ullerslev-1.

Den nærmeste seismiske linje er 80-110/5 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et omtrent syd-nord orienteret seismisk profil, der øst om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 4 km. I Figur 5 er profilet vist med tolkede seismiske horisonter og med prognoselokaliteten projiceret vinkelret ind på profilet. Profilet viser ingen hovedforkastninger, men der forekommer flere mindre forkastninger gennem Gassum Formationen, ligesom der er saltstrukturer til stede i undergrunden. Den seismiske datadækning er ikke tilstrækkelig til at kunne afgøre, om der er forkastninger til stede i undergrunden tæt ved prognoselokaliteten. Overordnet set vurderes den strukturelle kontinuitet i området til at være lille til moderat.

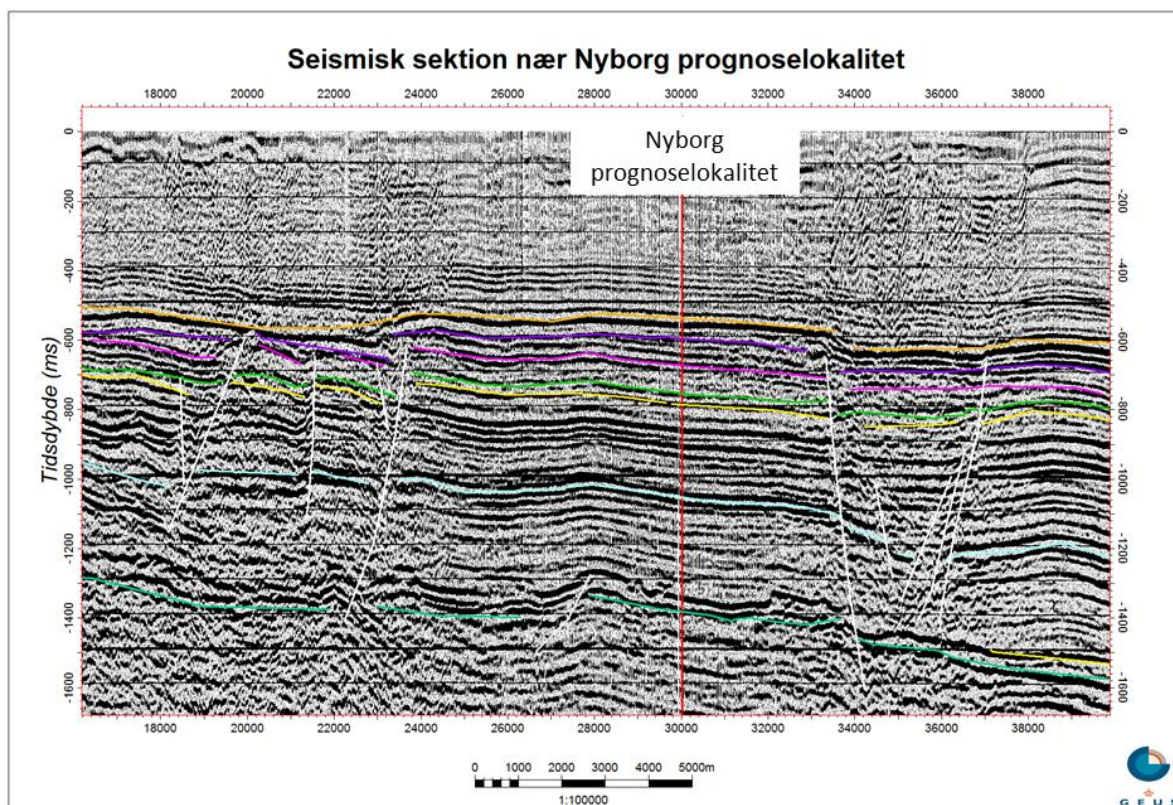
De seismiske data indikerer tilstedeværelsen af en markant inkonformitet over Gassum Formationen. På store dele af Fyn er Gassum Formationen fjernet i forbindelse med denne erosionsflade. Formationens udbredelse omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen er vanskelig at fastlægge præcist på baggrund af de seismiske data, men den antages at tynde ud 5-10 km syd for prognoselokaliteten.

Tabel 5.1: Dybdeintervaller og tykkelser af udvalgte lagserier ved prognoselokaliteten, som er estimeret på baggrund af seismisk kortlægning og data fra Ullerslev-1.

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	0–670	670
Fjerritslev Fm	760–870	110
Gassum Fm	870–970	100
Bunter Sandsten Fm	1470–1490	20



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten. Den seismiske linje 80-110/5 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: omtrent syd–nord orienteret seismisk profil baseret på den seismiske linje 80-110/5, der passerer øst om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 4 km (Figur 3 og 4). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Profilet viser, at der i området forekommer flere mindre forkastninger, som gennemskærer Gassum Formationen (stejle hvide streger). 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 (lilla), Top Gassum Fm (lyserød), Top Vinding Fm (lysegrøn), Top Oddesund Fm (gul), Top Bunter Sandsten Fm (lyseblå), Top Zechstein (gul) og Top Pre-Zechstein (turkisgrøn).

5.1.2 Boringsdata

I Tabel 5.2 ses tykkelsen af Gassum Formationen i Ullerslev-1, Slagelse-1 og Stenlille-1. Endvidere er der vist hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirgenskaber (Potentielt reservoirsand), formationen er estimeret til at indeholde i brøndene. Tykkelsen af potentiel reservoirsand kan dog kun estimeres for Stenlille-1, da de nødvendige logdata til beregningen ikke foreligger for de to øvrige brønde. I afsnit 5.2, og mere udførligt i Geotermi WebGIS portalen, gøres der rede for, hvordan paramenterne estimeres på baggrund af logdata.

I den nærmeste brønd til prognoselokaliteten, Ullerslev-1, har Gassum Formationen en tykkelse på ca. 99 meter, mens tykkelsen er ca. 113 meter i Slagelse-1 og ca. 144 meter i Stenlille-1. Den vurderede tykkelse på 100 meter ved prognoselokaliteten er behæftet med stor usikkerhed, og

baserer sig som tidligere nævnt i høj grad på, at tykkelsen antages at være nogenlunde den samme som i Ullerslev-1.

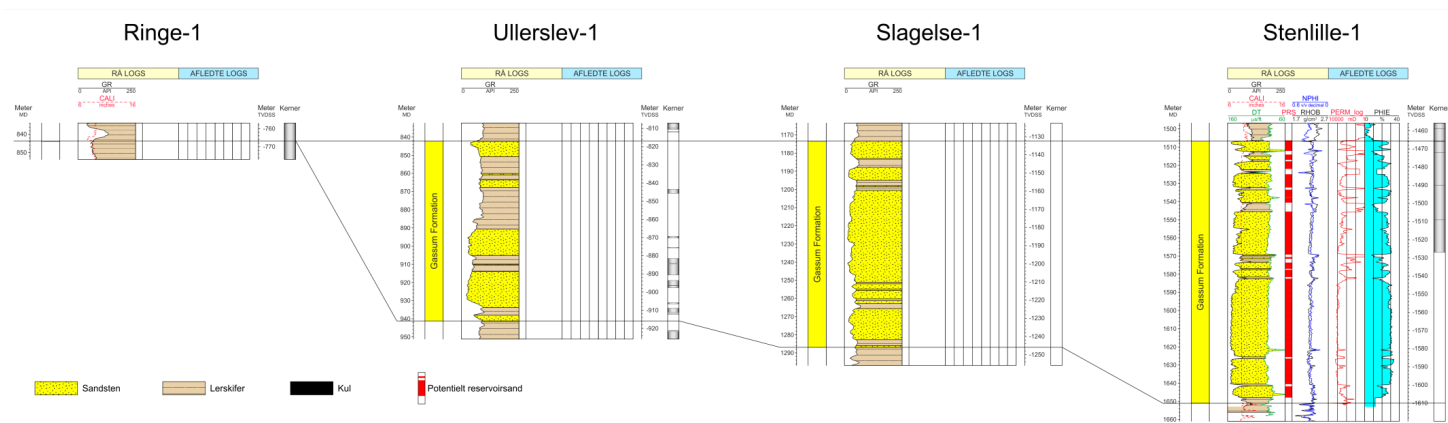
Dybden til toppen af Gassum Formationen er vurderet til 870 m.u.h. ved prognoselokaliteten baseret på de seismiske data, og formation er således beliggende i omtrent samme dybde som i Ullerslev-1. I Stenlille-1 ligger formationen derimod ca. 600 meter dybere end ved prognoselokaliteten. Det er hovedsageligt reservoirdata fra Stenlille-1, der indgår i vurderingen af det geotermiske potentiale ved Nyborg-lokaliteten. Alt andet lige forringes reservoiregenskaberne med dybden, og man kan derfor argumentere for, at reservoirdata fra Stenlille-1 er en anelse for pessimistiske, når de indgår i en vurdering af prognoselokaliteten. Sandstenene i Gassum Formationen ved Stenlille er dog generelt forholdsvis løse, og deres reservoiregenskaber synes derfor ikke at være reduceret nævneværdigt på grund af diagenese tilknyttet deres begravelsesdybde. Endvidere vurderes usikkerheden ved at anvende reservoirdata så langt væk fra prognoselokaliteten som Stenlille-1 til at være væsentlig større end den usikkerhed, der knytter sig til dybdeforskellen. Der er derfor ikke valgt at dybdekorrigere reservoirdata fra Stenlille-1, når de indgår i en prognose for Nyborg-lokaliteten.

På regional skala viser Gassum Formationen en variation i den interne fordeling af sandsten og lersten; eksemplificeret ved Ullerslev-1, Slagelse-1 og Stenlille-1 i Figur 6. Ringe-1 er også medtaget i figuren til at illustrere, at formationen forsvinder henover Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Nogle 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. I Nyborg-området er der endvidere sket en lokal tilførsel af sedimenter fra Ringkøbing-Fyn Højderyggen.

Sandstensintervallerne i Gassum Formationen ved Stenlille afspejler aflejring i floder, estuarier og kystmiljøer (Nielsen 2003, Hamberg & Nielsen 2000). I den øvre halvdel af formationen er sandstenene fin- til mellemkornede og repræsenterer hovedsageligt kystsandsaflejringer, der her en stor geografisk udbredelse i undergrunden, og som blandt andet er korreleret til Ullerslev-1 (Hamberg & Nielsen 2000). Disse sandstensintervaller er sandsynligvis også til stede ved prognoselokaliteten. I den nedre halvdel af formationen er sandstenene mere grovkornede, idet de stedvis er mellem- til grovkornede. Sandstenene repræsenterer flod- og estuarieaflejringer, som er tolket til at være aflejret indenfor nedskårne dale (Nielsen 2003). De har derfor sandsynligvis en mere begrænset udbredelse end sandstenene fra den øvre del af formationen. Tilsvarende grovkornede sandsten er ikke beskrevet fra Ullerslev-1. Aflejringer, der er ækvivalente til den nedre halvdel af formationen ved Stenlille, vurderes derfor ikke at være til stede ved prognoselokaliteten. På baggrund heraf, og i mangel af data, vurderes det, at den sedimentologiske kontinuitet mellem de viste borer i Figur 6 og prognoselokaliteten kan være fra lille til høj indenfor Gassum Formationen.

Tabel 5.2: Tykkelser af Gassum Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoiregenskaber (Potentielt reservoirsand), i Ullerslev-1, Slagelse-1 og Stenlille-1, hvis omtrentlige placeringer ses på oversigtskortet i Figur 2. I Stenlille-1 er tykkelsen af Potentielt reservoirsand i henholdsvis øvre og nedre del af Gassum Formationen angivet i parentes. 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
Ullerslev-1	99	38	
Slagelse-1	113	101	
Stenlille-1	144	124	123 (57+66)



Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationen i Ullerslev-1, Slagelse-1 og Stenlille-1. Ringe-1 er også medtaget i figuren til at illustrere, at Gassum Formationen forsvinder henover Ringkøbing-Fyn Højderyggen (brøndenes placering ses i Figur 2). Formationen er i brøndene vist med dens vertikale tykkelser, og der er således korrigeret for boringernes eventuelle afbøjning. Det er kun muligt at tolke Potentielt reservoirsand for Stenlille-1. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala). Tolkning af lithologien i Ullerslev-1 er udover GR-log også baseret på SP-loggen (ikke vist).

5.2 Reservoirkvalitet

Vurderingen af Gassum Formationens reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten tager hovedsageligt udgangspunkt i logdata fra den øvre halvdel af formationen i Stenlille-1. Data fra den nedre halvdel af formationen er ikke medtaget, da sandstenene her er væsentlig mere grovkornede end formationens sandsten i Ullerslev-1, og som følge heraf vurderes de ikke til at være repræsentative for prognoselokaliteten. Logdata fra Ullerslev-1 er anvendt til at vurdere formationens Gross sand, men logsuiten fra denne boring er som tidligere nævnt ikke fyldestgørende nok til at kunne beregne øvrige reservoirparametre.

Dybdeintervallet for Gassum Formationen i Ullerslev-1, Slagelse-1 og Stenlille-1 ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der i forbindelse med udførelsen af Ullerslev-1 og Stenlille-1 er udtaget kerner af formationen, hvorimod der ikke er udtaget kerner i Slagelse-1. Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af borespåner og kerner fra Ullerslev-1 og Stenlille-1 (Dapco 1951, DGU 1981).

I Ullerslev-1 er der udtaget en ca. 3 meter lang kerne af et leret interval indenfor den øvre del af formationen samt en række kerner med varierende recovery fra den nedre halvdel af formationen (dybdeintervallet 895–941 meter MD), dvs. at det varierer hvor stor en del af kernerne, der er kommet med op til overfladen i forbindelse med boringens udførelse. Kerneintervallerne i Stenlille-1 dækker et samlet interval på ca. 61 meter fra den øverste del af Gassum Formationen (de kernede intervaller fremgår i Figur 6 og 7). De optagne og tolkede logs i brøndene er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

De tolkede reservoirværdier for den øvre halvdel af Gassum Formationen i Stenlille-1 ses i Tabel 5.5. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitetssammenhænge etc.). Ved sammenligning af tabellen med Tabel 3.1 fremgår det, at usikkerheden på reservoirværdierne ved prognoselokaliteten generelt er større end de angivne usikkerheder på reservoirværdierne ved Stenlille-1. Dette er en naturlig følge af, at en ekstrapolering af dataværdier altid vil medføre en ekstra usikkerhed.

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

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner
Ullerslev-1	842–941	869–871 895–941	I 4 niveauer
Slagelse-1	1173–1287	Ingen	Ingen
Stenlille-1	1507–1651	1507–1513 1513–1531 1531–1550 1550–1568	I 15 niveauer (heraf 5 uden recovery)

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
Resistivitetslogs/ 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)
Normaliset 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 den øvre del af Gassum Formationen i Stenlille-1 brønden.*

Stenlille-1			
Gassum Formationen - Øvre del (intervallet 1507-1583 meter MD)	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval ²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1466	1 ³	1451–1480 ³
Tykkelse af formation [m]	75	1 ³	74–76 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	59	5 ³	56–62 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	57	5 ³	54–60 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,76	5 ³	0,72–0,80 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,97	5 ³	0,92–1,00 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	25	5 ³	24–26 ³
Gas-permeabilitet [mD]	336	3 ⁷	112–1008 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	420	3 ⁷	140–1260 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	24	3 ⁷	8–72 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til mellem kornstørrelse, velsorteret; subkantede til sub-afrundede korn		
Diagenese/cementering	Løs til fast, kalkfri til kalk-cementeret, stedvis kvarts-cementeret		

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

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

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

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

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

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

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

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

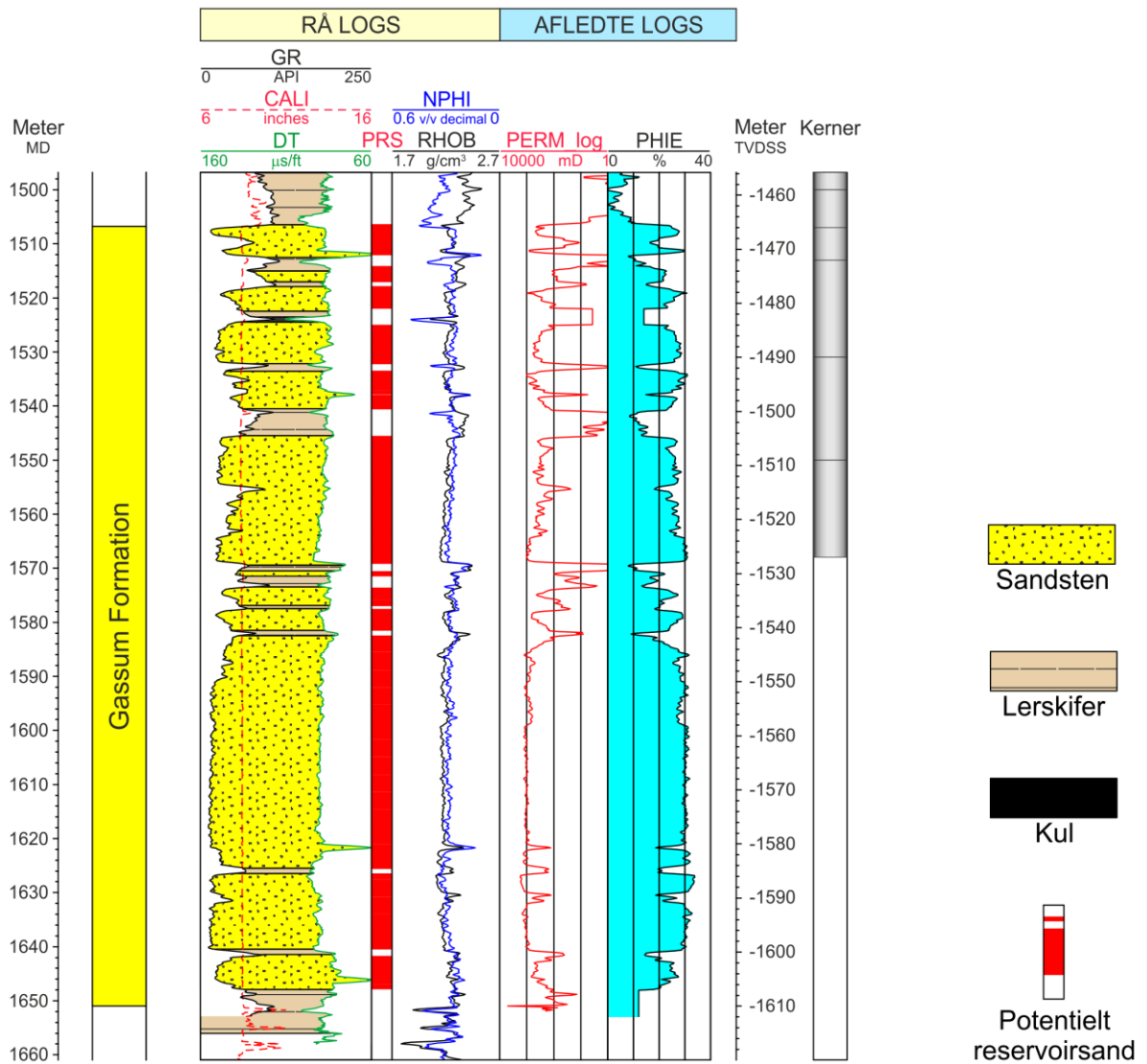
⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale fra Ullerslev-1, Slagelse-1 og Stenlille-1 borerne har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Gassum Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sandsten og lersten (Figur 6 og 7). Borepåne-beskrivelserne understøtter log-tolkningen, og endvidere fremgår det af borespåne- og kernebeskrivelserne fra Ullerslev-1, at sandstenene i Gassum Formationen hovedsageligt er meget fin til finkornede samt kalkfrie (Dapco 1951). Sandstenene angives endvidere enkelte steder til at være "soft", hvilket her tolkes til, at de er løse. Sandskornene angives til at være subkantede de få steder, hvor afrundingsgraden beskrives. Der er ingen oplysninger om sorteringsgraden. I Stenlille-brøndene, herunder Stenlille-1, angives sandstenene i Gassum Formationen hovedsageligt til at være fin- til mellemkornede, men stedvis også mellem til grovkornede i den nedre halvdel af formationen. Endvidere beskrives sandstenene som værende sortererede til velsorterede med subkantede til afrundede sandskorn samt løse til faste og stedvis kalk- eller kvarts-cementererede (DGU 1981).

Af det ovenstående fremgår det, at sandstenene i Gassum Formationen muligvis er en anelse mindre cementerede og generelt vurderes til at være mere finkornede i Ullerslev-1 end i Stenlille-1. Dette bidrager naturligvis til usikkerheden ved at anvende reservoirdata fra Stenlilleområdet til at beskrive reservoirforholdene ved prognoselokaliteten. I reservoirvurderingerne er data fra den nedre halvdel af Gassum Formationen i Stenlille-1 dog udeladt, da de forholdsvis grovkornede sandstenslag fra denne del af formationen ikke vurderes repræsentative for prognoselokaliteten.

Stenlille-1



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Stenlille-1 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. Porøsitetsestimater (PHIE) er fremhævet med lyseblåt fyld, og permeabilitets-estimer (PERM_log) er plottet som en rød kurve. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.4. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tykkelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

5.2.2 Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet

I Ullerslev-1, Slagelse-1 og Stenlille-1 er Gassum Formationen henholdsvis 99, 113 og 144 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 38 meter i Ullerslev-1, ca. 101 meter i Slagelse-1 og ca. 124 meter i Stenlille-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 5.6). På baggrund af tolkningen af ler-mængden er andelen af Gross sand herefter bestemt som den del af et givet dybdeinterval, der har et ler-indhold på mindre end 30 %. Prognoselokalteten tilskrives den samme formationstykkelse (dog afrundet til 100 meter) og tykkelse af Gross sand som i Ullerslev-1, da det er vanskeligt at bestemme formationens tykkelse ved lokaliteten ud fra seismiske data.

Andelen af Potentielt reservoirsand kan ikke beregnes for Ullerslev-1, men er for den øvre del af Gassum Formationen i Stenlille-1 vurderet ud fra den log-tolkede porøsitet samt lermængden (Tabel 5.5), 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 i den øvre del af Gassum Formationen vurderet til ca. 57 meter i Stenlille-1. Forholdet mellem tykkelsen af Potentielt reservoirsand og Gross sand er ca. 0,97 (Tabel 5.5). Dette forhold er anvendt til at vurdere tykkelsen af Potentielt reservoirsand ved prognoselokaliteten, hvor Gross sand er vurderet til 38 meter. Potentielt reservoirsand er således vurderet til 37 meter ved lokaliteten (givet ved $0,97 \times 38$ meter), hvilket indebærer, at stort set alt sandstenen vurderes til at have gode reservoirgenskaber.

Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet i den øvre del af Gassum Formationen er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 25 % i Stenlille-1 (Tabel 5.5). På baggrund af de analyserede Stenlille-1 data vurderes det, at reservoirsandstenene ved prognoselokaliteten ligeledes har en gennemsnitsporøsitet på ca. 25 %, idet det ikke er muligt at tolke porøsiteten ud fra den ufuldstændige log-suite i Ullerslev-1. Det er ikke muligt at verificere dette porøsitetsniveau ud fra kerneanalyse-data, da der ikke er foretaget porøsitetsmålinger på kernerne fra Ullerslev-1.

Tabel 5.6: Responsparametre for gamma (GR) for Stenlille-1 og -19 borerne samt Slagelse-1. GR log-læsningerne fra Slagelse-1 er gennemgående meget lave.

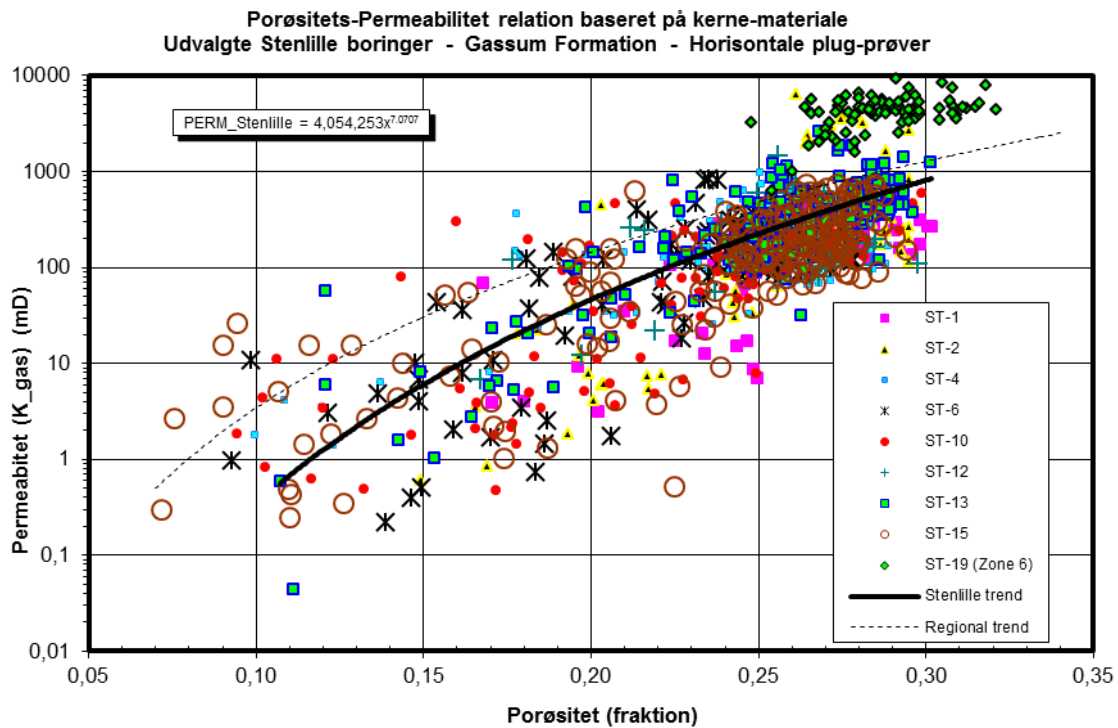
Responsparametre for gamma-ray (GR)	GRmin (baggrundsstråling)	GRmax (respons for rent ler)
Stenlille-1	15	125
Stenlille-19	45	150
Slagelse-1	3	10

5.2.3 Permeabilitet

For det sjællandske område findes der kun kernemateriale af Gassum Formationen fra Stenlille-boringerne samt sidevægskerner fra Margretheholm-2. De mange kerneanalysedata fra Stenlille-boringerne er plottet i Figur 8. På baggrund af den eksisterende viden om aflejringsforholdene i Gassum tid, anser GEUS disse data for værende kun delvis repræsentative for Gassum Formationen indenfor det fynske område.

Korrelationen mellem Stenlille-boringerne og Ullerslev-1 viser, at den nedre del af Gassum Formationen, repræsenteret ved Stenlille-19 data i Figur 8, sandsynligvis ikke er til stede i Ullerslev-1. Et foreløbigt skøn over permeabiliteten bør derfor baseres på data fra den øvre del af Gassum Formationen (Stenlille-1 til Stenlille-15 data). Såfremt "Stenlille trend-linjen" vist på Figur 8 lægges til grund for beregningen af permeabiliteten, og intervallet for beregningen begrænses til den øvre del af Gassum Formationen, fås en gennemsnitlig gas-permeabilitet for reservoirsandstenene i Stenlille-1 på ca. 336 mD (Tabel 5.5). Permeabiliteten er beregnet for hver log-læsning, dvs. log-porøsiteterne i Stenlille-1 er omregnet til log-permeabiliteter for hver halve fod (15 cm). Gennemsnits-permeabiliteten er efterfølgende beregnet under anvendelse af de ovenfor omtalte afskæringskriterier; dvs. et lerindhold $< 30\%$ og en porøsitet $> 15\%$.

Da reservoirsandstenene generelt set er en smule mere finkornede ved Nyborg end ved Stenlille, anser GEUS en gas-permeabilitet på ca. 336 mD for at være meget optimistisk, når det gælder en vurdering af permeabilitetsforholdene ved prognoselokaliteten. GEUS vurderer skønsmæssigt, at den gennemsnitlige gas-permeabilitet snarere kun er på cirka 200 mD ved Nyborg-lokaliteten. Dette svarer til en reservoirpermeabilitet på omkring 250 mD, fremkommet ved en opskalering af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af omregning til væske-permeabilitet. Med henblik på at af- eller bekræfte de estimerede permeabilitets-niveauer, anbefaler GEUS, at næste skridt i evalueringen af Nyborg-lokaliteten bliver, at der udtages prøver fra det eksisterende kernemateriale i Ullerslev-1 med henblik på at bestemme (måle) porøsitet og permeabilitet.



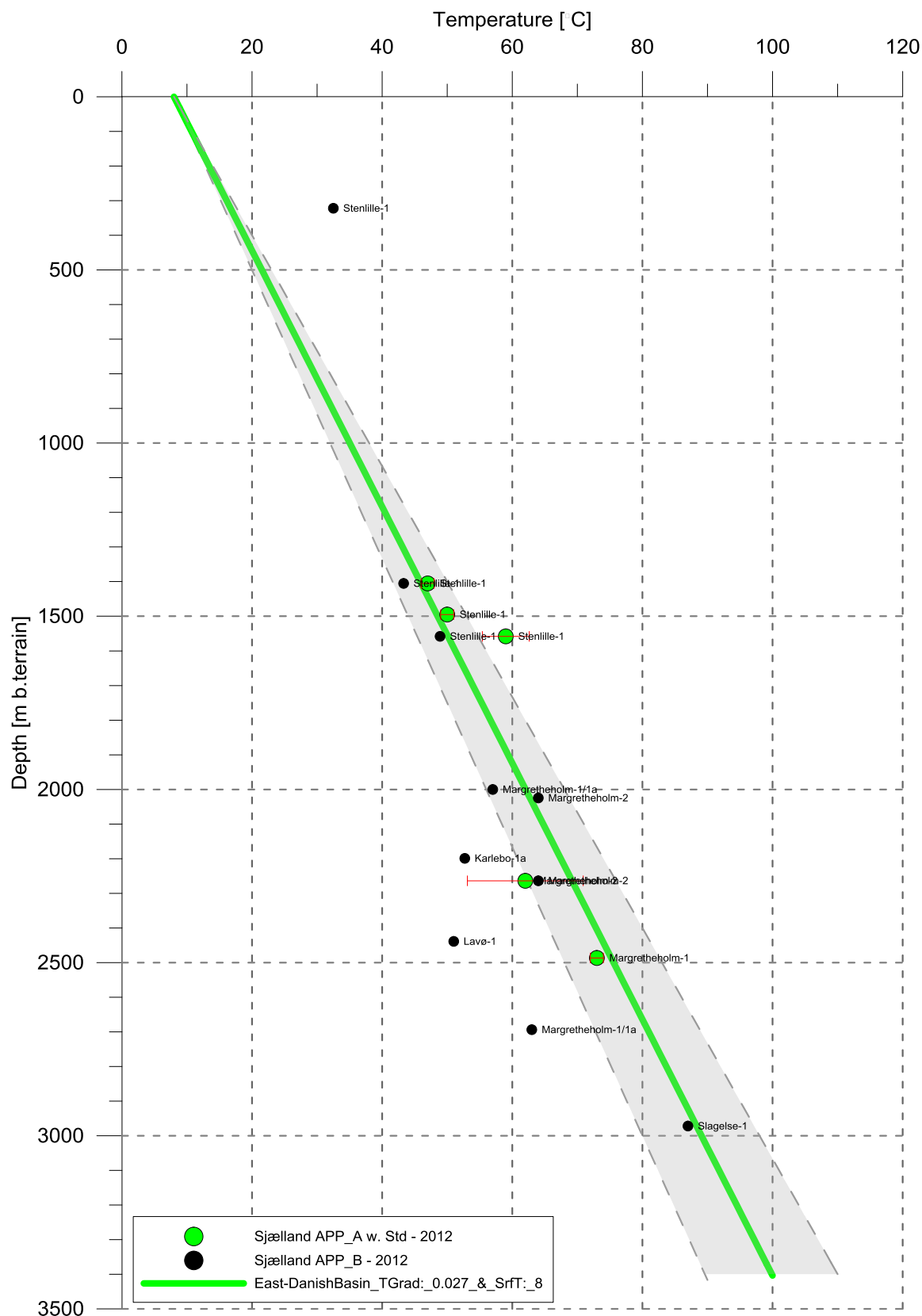
Figur 8: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerne-analyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug prøver. Den fuldt optrukne linje repræsenterer tendenslinjen for Stenlille-1 til Stenlille-15 datapunkterne, der stammer fra den øvre del af Gassum formationen (Zone 1–5). Data fra Stenlille-19 stammer fra den nedre del af Gassum Formationen (Zone 6).

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 vurderet til ca. 24 Darcy-meter for den øvre halvdel af formationen i Stenlille-1 og til ca. 9 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 på 7; svarende til at dividere, henholdsvis multiplicere, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren indeholder en samlet usikkerhed knyttet til permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

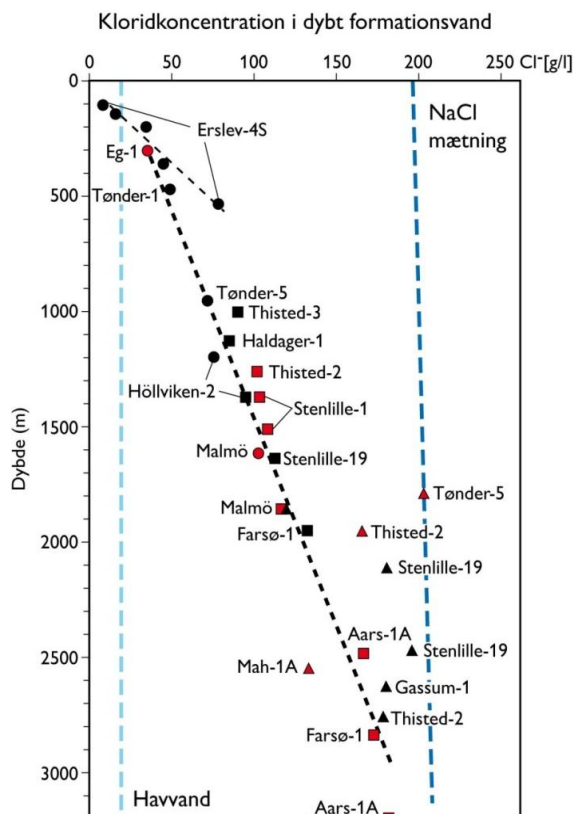
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til ca. 33 °C ± 10 % ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på temperaturmålinger i dybe borer i bassinet og er givet ved: $\text{Temp.} = 0,027 \cdot \text{dybde} + 8 \text{ °C}$ (Figur 9). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 922 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (870 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (2 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (50 meter).



Figur 9: Estimeret dybde-temperatur relation (grønne linje) for den østlige del af det Danske Basin 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 dybde brønde er der udarbejdet en generel relation mellem dybden og kloridkoncentrationen for formationer, der ikke overlejres af saltlag (Figur 10). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på omkring 69 g/l i en dybde af 922 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 200 g/l Cl^- ved den pågældende formationstemperatur/-dybde. Alvorlige problemer med saltudfældning som følge af afkøling i et geotermisk anlæg forventes kun, hvis formationsvandet er helt tæt på mætning med NaCl.



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

6. Referencer

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

Dapco 1951: Ullerslev-1. Completion report (compiled August 1993).

DGU 1981: Stenlille-1. Geological well completion report.

Hamberg, L. & Nielsen, L.H. 2000: Shingled, sharp-based shoreface sandstones: depositional response to stepwise forced regression in a shallow basin, Upper Triassic Gassum Formation, Denmark. In: Hunt, D. & Gawthorpe, R.L. (eds): *Sedimentary Responses to Forced Regressions*. Geological Society, London, Special Publications, 172, 69–89.

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

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

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

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

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

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