



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Maribo

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

Maribo - Beskrivelse fjernvarmeområde

DATO

17. februar 2014

TIL

Energistyrelsen

KOPI

FRA

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)

PROJEKTNR

A044062

ADRESSE COWI A/S

Parallelvej 2

2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

SIDE 1/8

1 Maribo og Saksøbing Fjernvarme

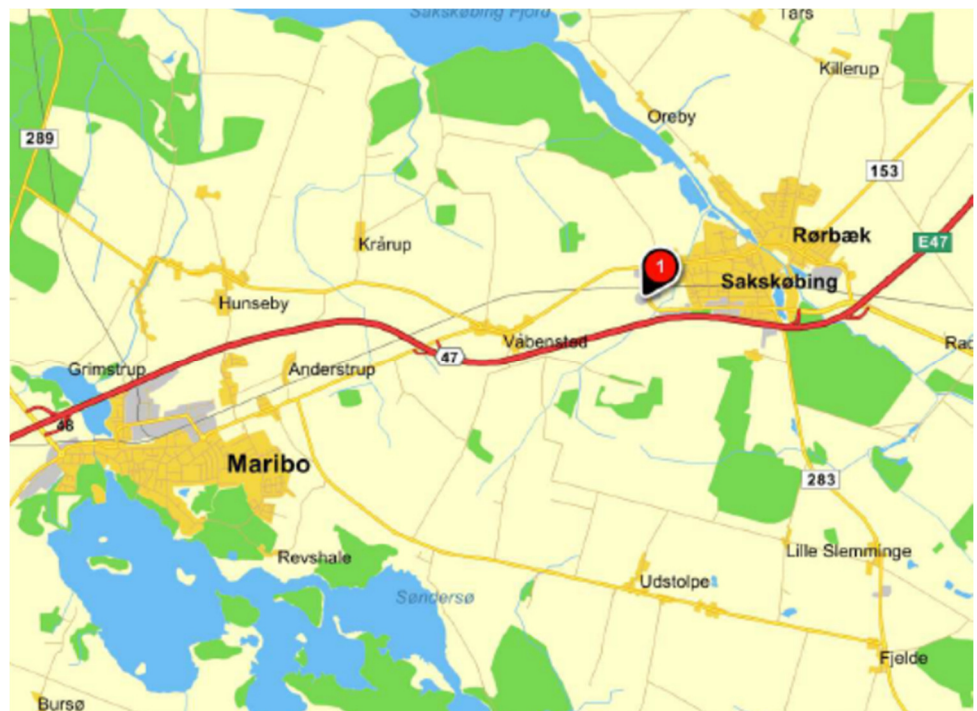
1.1 Nuværende forsyning

Fjernvarmesystemerne i Maribo og i Saksøbing forsynes fra Maribo – Saksøbing Kraftvarmeværk, der ejes af REFA Energi, som er en del af Lolland-Falsters fælleskommunale energi- og affaldsselskab REFA.

Maribo- Saksøbing Kraftvarmeværk, der blev sat i drift i 1999 er halmfyret. Værket, der tidligere var ejet af DONG Energy blev overdraget til REFA 1. januar 2012. Med overtagelsen på Midtjylland leverer REFA nu fjernvarme til forsyningsselskaberne i Nykøbing F., Saksøbing og Maribo. Desuden driver REFA Energi varmeværker i Stubbekøbing, Horbelev og Holeby.

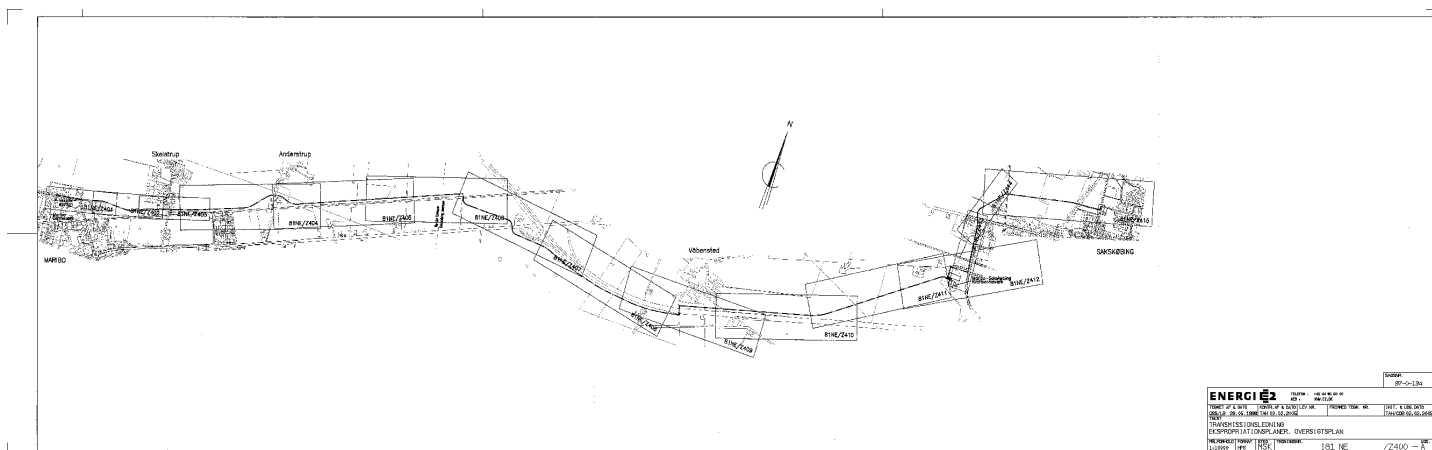
Maribo-Saksøbing Kraftvarmeværk har en kapacitet på 11 MW el og 23 MJ/s varme.(opgraderet i 2003). Energiproduktionen på kraftvarmeværket dækker ca. 10.000 husstandes elforbrug og 90 procent af fjernvarmebehovet i Maribo og Saksøbing.

Værkets placering i forhold til de to selvstændige fjernvarmeselskaber er illustreret på nedenstående kort.



Kraftvarmeværket er forbundet med de to distributionssystemer via en transmissionsledning som illustreret nedenfor.

Detailplaner for ledningen er modtaget som en del af datagrundlaget.



Udviklingen i varmegrundlaget i Maribo og Saksøbing fremgår af nedenstående tabel. Aktuelt arbejdes der hos Maribo Fjernvarme med at konkretisere mulighederne for at Maribo varmeværk overtager Hunseby Nabovarmeværk. Varmegrundlaget i Hunseby udgør ca. 13.000 MWh/år men er ikke medtaget i nedenstående tabel da de to systemer endnu ikke er koblet sammen.

Varmegrundlag				
Maribo Fjernvarme				
MWh/år	2012/2013	2015	2025	2035
Netto varme Maribo	76.370	85.075	85.000	86.000
Distributionstab	13.747	15.314	15.300	15.480
An net	90.117	100.389	100.300	101.480
TJ/år	324	361	361	365
Sakskøbing Fjernvarme				
MWh/år	2012/2013	2015	2025	2035
Netto varme	38.891	56.400	56.400	56.400
Distributionstab	13.155	11.280	11.280	11.280
An net	52.046	67.680	67.680	67.680
TJ/år	187	244	244	244
Total Maribo og Sakskøbing MWh/år				
Nettovarme	115.261	141.475	141.400	142.400
Distributionstab	26.902	26.594	26.580	26.760
An net	142.163	168.069	167.980	169.160
Total Maribo og Sakskøbing TJ/år				
Nettovarme	415	509	509	513
Distributionstab	97	96	96	96
An net	512	605	605	609
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år				
468 TJ/år samlet an net.				

I Energistyrelsens udbudsmateriale henvises til Maribo Fjernvarme repræsenterer net 48. Maribo Fjernvarme har i forbindelse med dataindsamlingen anført at dette bør være net 52 og at varme an net ekskl. Hunseby bør være 341 TJ.

I Maribo er minimum varmebehov 3,2 MW og maksimum 28 MW.

I Sakskøbing kan minimum og maksimum varmebehov parallelt opgøres til henholdsvis 1,6 MW og 14 MW.

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

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
72	46	78	46

Maribo- Sakskøbing kraftvarmeværk har oplyst følgende temperaturforhold for leverancerne til de to systemer (an transmissionsnet):

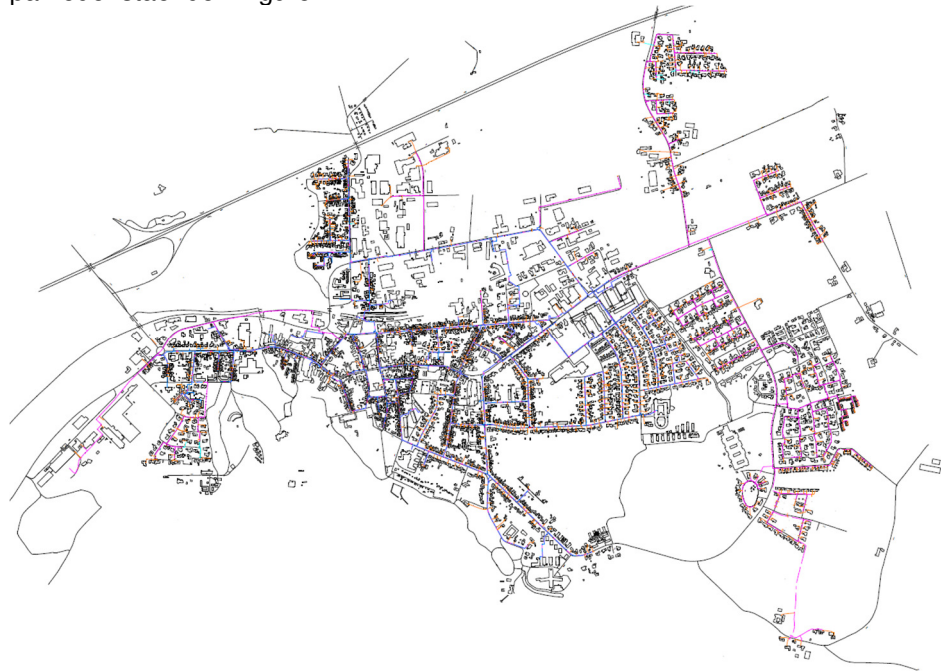
Sommer Vinter

Sakskøbing Fjernvarme fremløb max	83°C	83°C
Sakskøbing Fjernvarme returløb max	53°C	48°C
Maribo Fjernvarme fremløb max	80°C	80°C
Maribo Fjernvarme returløb max	50°C	45°C

Maribo Fjernvarme har for distributionsnettet oplyst:

Vinter: 77-46 og sommer 68-42.

Fjernvarmedistributionsnettene i henholdsvis Maribo og Sakskøbing er illustreret på nedenstående 2 figurer.



Distributionsnettet i Maribo



Distributionsnettet i Sakskøbing

1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående figur og tabel illustrerer den geografiske placering samt produktionsstrukturen i Maribo- Sakskøbing systemet.



Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012												
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varme produktion i 2012 (TJ)*	*Brændsels forbrug 2012 (TJ)*	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varme effekt (MW)	Elvirknings grad	**Varme virknings grad	Etablerings år	Forventet udfasning år	
Maribo												
Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk REFA Energi Tømmervej	Damp turbine	Halm	437	718	39	11	23	29%	61%	01-01-2000		
					30							
BIO-VÆRKET C.E Christiansensvej 40	Kedel 3	Træpiller	61	64	9	0	8		90%	1986	2018	
	Kedel 4	Træpiller			13		12		90%	2000	2030	
Olieværk - Hjulsporet 2	Kedel	Olie	0	0	10	0	9		93%	01-01-1964		
Sakskøbing												
SAX -3 oliekedler, Lillemark 25	kedel	olie	0,1	0	21	0	19		91%			
Total			498				71					

Oplysningerne i energiproducenttællingen er baseret på indmeldinger fra selskaberne. Data skal suppleres/verificeres i forbindelse med den videre proces.

* I Energiproducenttællingen er brændselsforbrug og varmeproduktion på de to træpillekedler oplyst som et samlet tal

Maribo Varmeværk får i dag ca. 70 % af varmen leveret fra Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk.

Aftalen med Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk er uopsigelig indtil 31/12-2020. Det forventes, at der fortsat herfra vil kunne leveres varme til Maribo Varmeværk – dog vil denne leverance være faldende i takt med de planlagte udvidelser og tilslutninger i Sakskøbing-området således, at varmeleverancen til Maribo Varmeværk på længere sigt vil være marginal.

1.3 Fremtidig forsyning

Maribo Varmeværk overvejer mulighederne for evt. at udvide forsyningsområdet til også at omfatte byområderne Bandholm og Nørreballe/Østoft.

Overordnet set er der endvidere igangsat en dialog, hvor mulighederne for at etablere et nyt fælles varmeværk på Midtjylland vurderes nærmere. Et nyt fælles varmeværk påtænkes at kunne levere varme til følgende byområder: Rødby, Rødbyhavn, Holeby, Maribo, Hunseby/Maglemer, Nørreballe/Østoft, Bandholm og Stokkemarke. Nedenstående skitse illustrerer det overordnede forsyningsnet relateret til disse planer. Det maksimale effektbehov på et nyt fælles varmeværk på Midtjylland vurderes at være på ca. 80 MW.



Maribo Varmeværk henlægger midler til en ny varmeproducerende enhed (f.eks. en ny fliskedel), en akkumuleringstank samt evt. vedvarende energikilder (f.eks. solpaneler)

I overvejelserne omkring etablering af et fælles nyt varmeværk indgår overvejelser om også at anvende geotermisk varme, idet varmeværkets minimumsbehov er tilstrækkelig til, at et geotermisk anlæg vil kunne udnyttes 100 % hele året og dermed sikre det nødvendige afkast af investeringen.

Placeringen af et geotermisk anlæg på Midtjylland er ikke fastlagt, idet det afhænger af et projekts endelige udformning og en nærmere vurdering af de geologiske forhold i området. Det skal nævnes, at de kendte geologiske forhold i området påviser, at Midtjylland vil være et interessant sted at etablere et geotermisk anlæg.

Det forventes, at der ved geotermisk varme anvendes absorptionsvarmepumper, som primært drives af energi fra det nye fælles varmekværk.

I relation til fremtidige produktionsmuligheder har REFA nævnt muligheden for etablering af en ny halmkedel.

REFA har endvidere opstillet nedenstående to scenarier for etablering af geotermianlæg:

- > Scenarie 1: En god placering vil være på transmissionsledningen ved vekslerstationen i Maribo, da et geotermianlæg vil kunne supplere varmehovet i Maribo om vinteren. Om sommeren vil geotermianlægget kunne sende fjernvarme både til Maribo og til Sakskøbing når Maribo-Sakskøbing Kraftvarmekværk (MSK) ligger ude til den årlige revision. Transmissionsledningen til Maribo kan max overføre 16 MJ/s og ved udendørstemperaturer på under +5°C overstiger behovet til Maribo transmissionsledningens kapacitet.
- > Scenarie 2: Hvis transmissionsledningen til Maribo blev opgraderet fra 16 MJ/s til 22 MJ/s, vil et geotermianlæg med fordel kunne placeres ved MSK. Såfremt MSK skal anvendes til drivenergi skal temperaturforholdene drøftes nærmere. Fjernvarmeproduktionstemperaturen i dag er (80°C – 90°C).

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg på adressen Tømmervej 1, 4990 Sakskøbing, svarende til scenarie 2 placeringen nævnt ovenfor.

Projekt: Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne

Til: Ea Energianalyse & COWI

Kopi: GEUS

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

Dato: Revideret 3. juli 2015

Emne: Beregning af et geotermianlæg ved Maribo-Sakskøbing

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Maribo-Sakskøbing. 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) og data for fjernvarmeforsyningen i Maribo-Sakskøbing leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Maribo-Sakskøbing kraftvarmeværk.

Geotermianlægget forudsættes placeret på Tømmervej 1, 4990 Sakskøbing, i umiddelbar nærhed af Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk.

2 De geologiske forudsætninger

Fastlæggelsen af de geologiske forudsætninger bygger på GEUS notat " Maribo_2014_01_31.docx". Geologisk set ligger Maribo og Sakskøbing i det Nordtyske Bassin, som har mere end 3 km tykke sedimenter. I regionen er lagene i flere områder påvirket af saltbevægelse og ledsagende forkastningsaktivitet, hvilket gør, at nogle lag varierer meget i dybde, tykkelse og kontinuitet. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1. Der knytter sig et betydeligt usikkerhedsbånd til nogle af de estimerede parameterværdier, som ikke indgår i de økonomiske beregninger.

Formation		Bunter Sst.
Dybde@midt reservoir	m TVD	1325
Temperatur@midt reservoir	°C	46
Tykkelse af formation	m	250
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m	40
Transmissivitet	Dm	18

Tabel 1: Geologiske reservoirdata for et geotermianlæg ved Maribo.

Det skal bemærkes at der er risiko for at det geotermiske vand er mættet med salt, hvilket giver risiko for udfældningsproblemer ved produktion.

3 Forudsætninger for fjernvarmesystemet

Forudsætningerne for det respektive fjernvarmesystem sammenfattes er beskrevet i rapporten "Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 1 og 2, januar 2014". ". Data fra denne rapport er til brug for beregningerne sammenfattet i Tabel 2.

Varmegrundlag	TJ/år	605
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	0
Fremløbstemperatur vinter	°C	83
Returløbstemperatur vinter	°C	48
Fremløbstemperatur sommer	°C	83
Returløbstemperatur sommer	°C	53
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger for et geotermianlæg ved Maribo.

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

5 Resultater

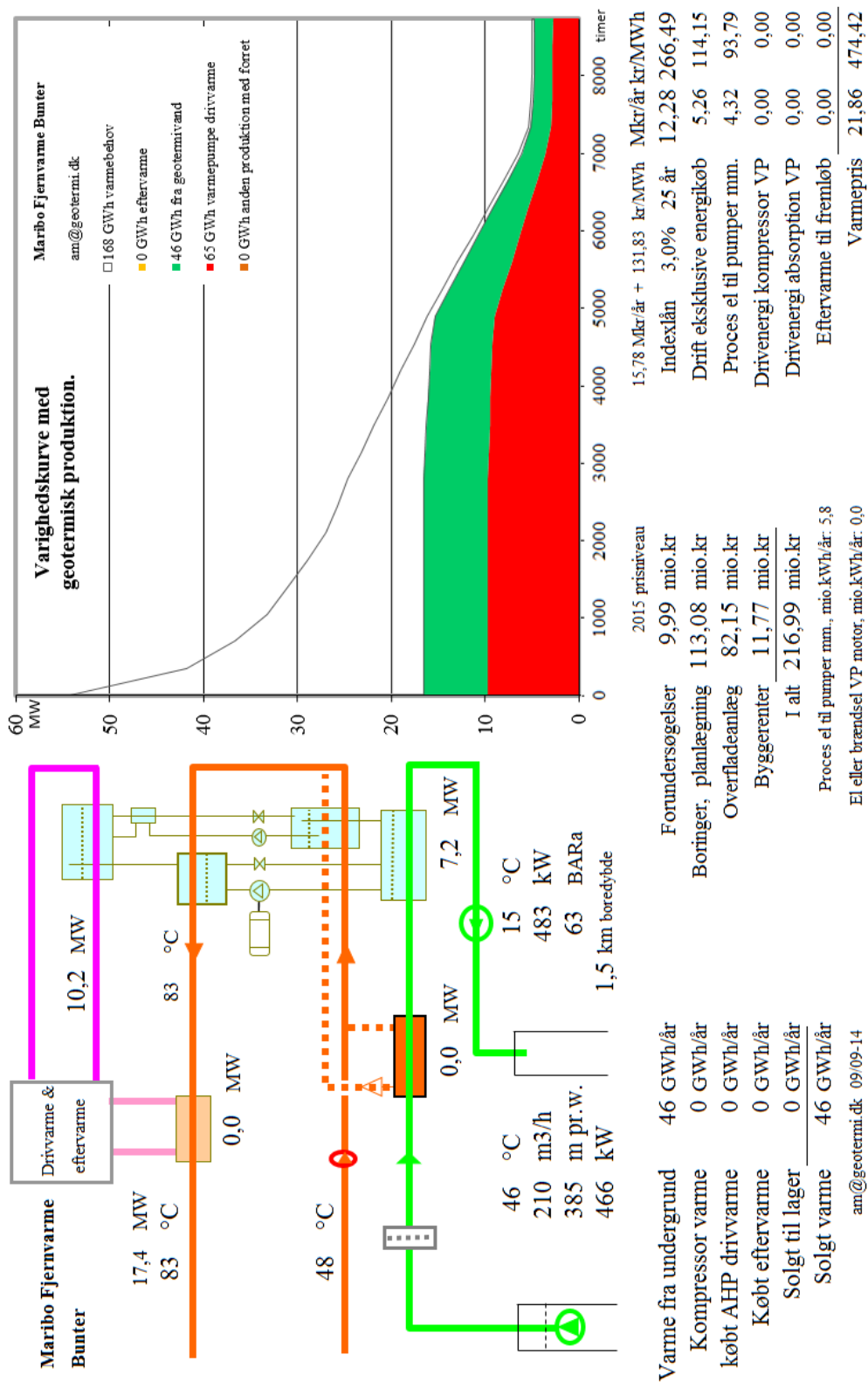
Resultaterne af anlægsberegninger for de to forskellige anlægskonstellationer er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard-

beregningen vises i figur 1. Resultater fra de supplerende anlægsberegninger for et geotermianlæg med el-varmepumper ses i figur 2.

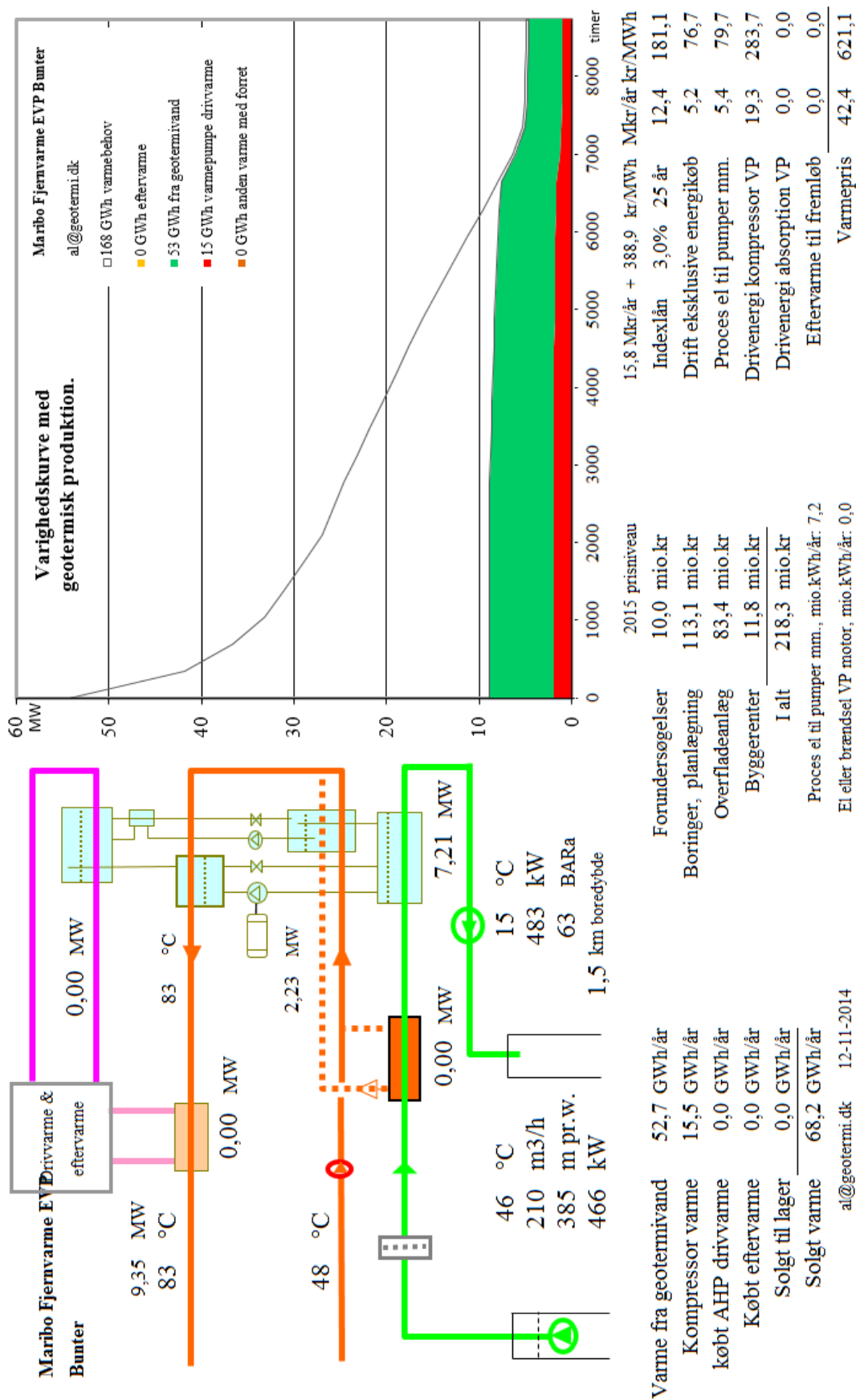
En anlægsberegning viser at der med en samlet investering på 220 mio. kr kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 7,2 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 17,4 MW. Den årlige varmeproduktion fra undergrunden beregnes til 46 GWh, med en forventet varmepris på 474 kr/MWh.

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

Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være høj.



Figur 1: Output fra geotermiPRO, standardberegning.



Figur 2: Output fra geotermiPRO, anlæg med el-varmepumper.

Beregningsresultater	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El-varmepumper	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	
Anlægskapacitet (vinter)					
1) Effekt fra geotermivand	MW	7,206		7,208	
2) Effekt fra drivvarme	MW	10,225		N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000		N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	17,430		9,351	
5) Proces el	MW	1,010		0,962	
6) Varmepumpe el	MW	N/A		2,232	
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000		100,000	
8) Drivvarme	%	141,712		N/A	
9) Eftervarme	%	0,000		N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%	241,712		129,356	
11) Proces el forbrug	%	12,505		13,744	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A		29,356	
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	205,217		206,517	
14) Byggerenter	mio. kr	11,768		11,799	
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	3,506		3,486	
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	38,049		25,553	

Tabel 3: Resultater fra anlægsberegninger i geotermiPRO.

Noter til Resultatark:

- 1) Effekt fra geotermivand: Den effekt, der stammer fra undergrunden, ved drift i vinterperioden.
- 2) Effekt fra drivvarme: Effekt i form af varme til absorptionsvarmepumper, ved drift i vinterperioden.
- 3) Effekt fra eftervarme: Effekt i form af eftervarme til at hæve temperaturen efter varmepumperne, ved drift i vinterperioden.
- 4) Total effekt til fjernvarmevandet, ved drift i vinterperioden (inkl. efter- og drivvarme)
- 5) Proces el effekt til geotermianlæg, ved drift i vinterperioden
- 6) El effekt til varmepumper, ved drift i vinterperioden

- 7) Årsenergiomsætning, varmemængde produceret fra geotermivand (%). Årsenergiomsætningerne er beregnet med en vægtet kombination af sommer- og vinterdrift.
- 8) Årsenergiomsætning, drivvarmemængde per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 9) Årsenergiomsætning, eftervarmemængde per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 10) Årsenergiomsætning, total varmemængde til fjernvarmevand per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 11) Årsenergiomsætning, proces el forbrug per varmemængde produceret fra geotermivand (%)
- 12) Årsenergiomsætning, varmepumpe el forbrug per varmemængde produceret fra geotermivand (%)

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

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



De efterfølgende sider indeholder en specifik resultatrapport for Maribo-Sakskøbing. 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."

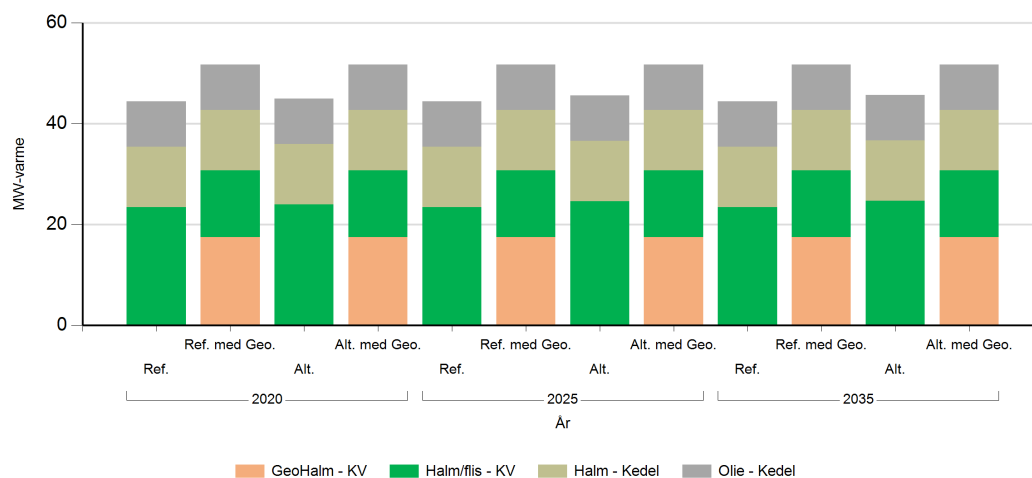
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- 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 Maribo 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 - Kedel	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
GeoHalm - KV		17.5		17.5		17.5		17.5		17.5		17.5
Halm/flis - KV	23.4	13.2	24.0	13.2	23.4	13.2	24.6	13.2	23.4	13.2	24.7	13.2

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

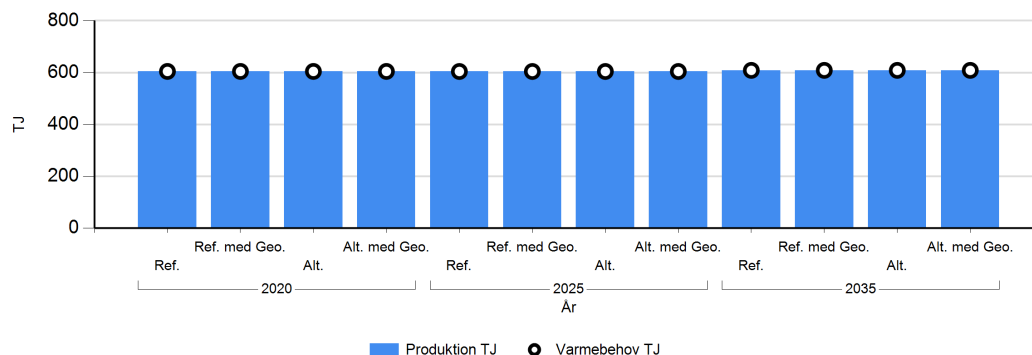
Solvarmeanlæg

m2	2035
Brændsel og Anlægstyper	Alt.
Solvarme	16.806

Tabel 2: Udvikling i kapaciteten af solvarmeanlæg for Maribo.

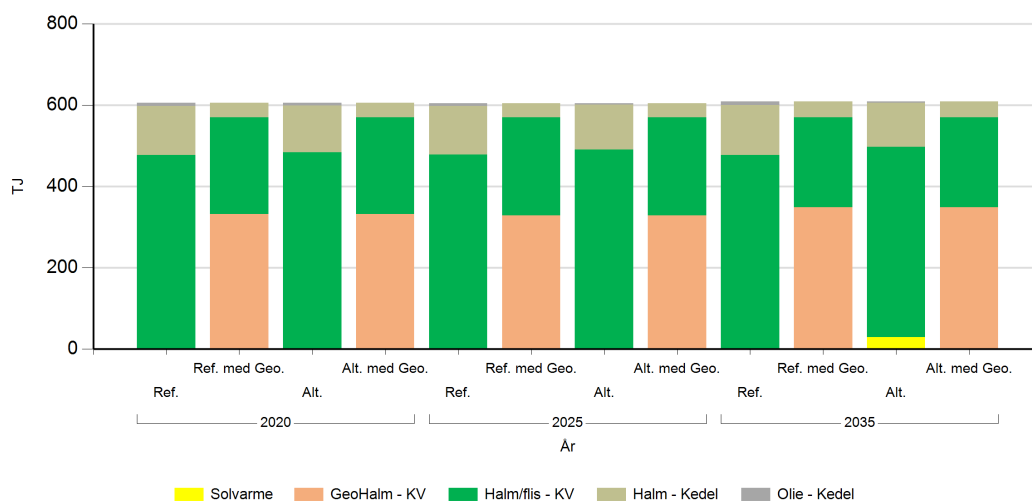
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



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

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.
Olie - Kedel	7,7		5,7		7,6		3,5		8,6		3,6	
Halm - Kedel	119,9	35,8	115,7	35,8	119,6	35,5	110,6	35,5	123,2	39,1	108,4	39,1
Halm/flis - KV	477,1	236,9	483,2	236,9	477,3	241,2	490,4	241,2	476,9	221,5	468,0	221,5
GeoHalm - KV		332,0		332,0		327,8		327,8		348,2		348,2
Solvarme											28,7	

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

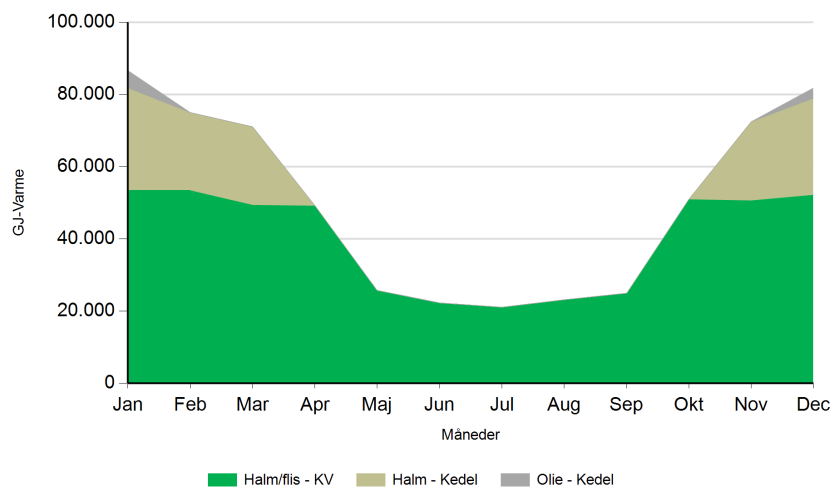
Fuldstimer for varmeproduktion

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.
Olie - Kedel	237		177		235		107		265		111	
Halm - Kedel	2.777	828	2.679	828	2.768	822	2.561	822	2.852	905	2.509	905
Halm/flis - KV	5.662	4.990	5.892	4.990	5.665	5.080	5.285	5.080	5.661	4.663	5.057	4.663
GeoHalm - KV		5.263		5.263		5.197		5.197		5.521		5.521

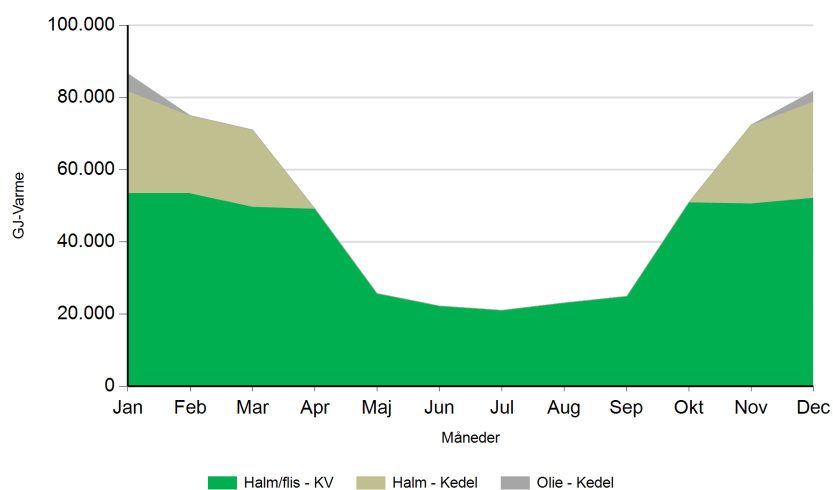
Tabel 4: Antal af fuldstimer for varmeproduktion i Maribo.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Maribo.

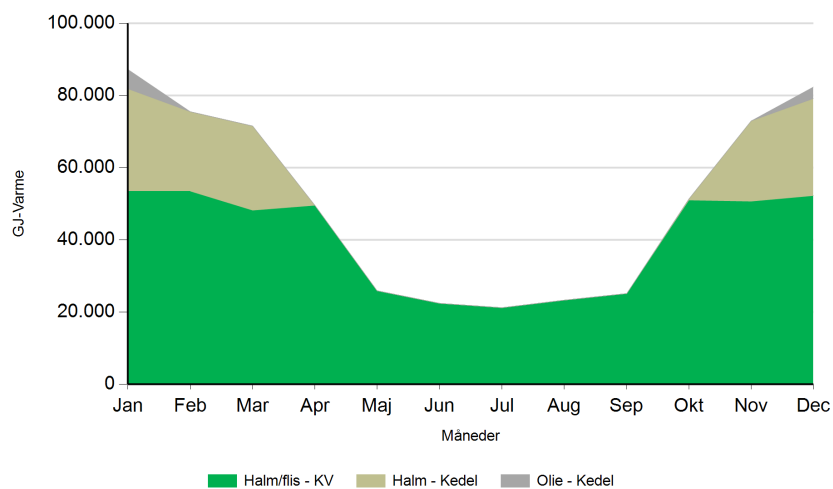
Ref. 2020



2025

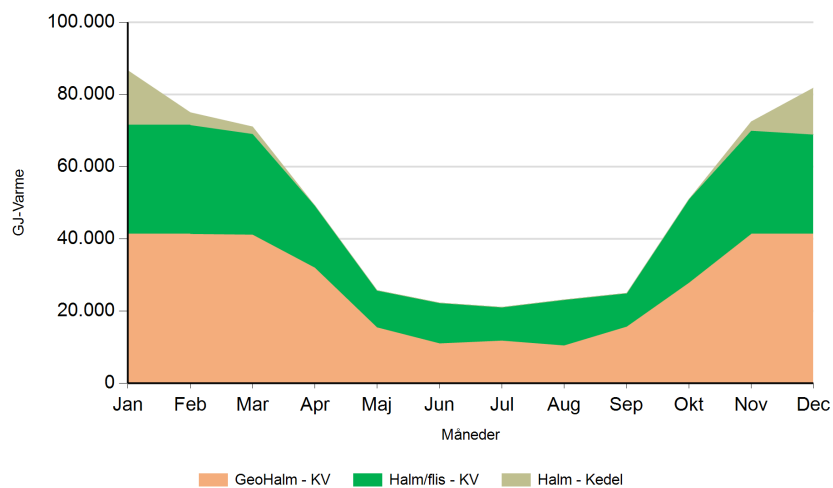


2035

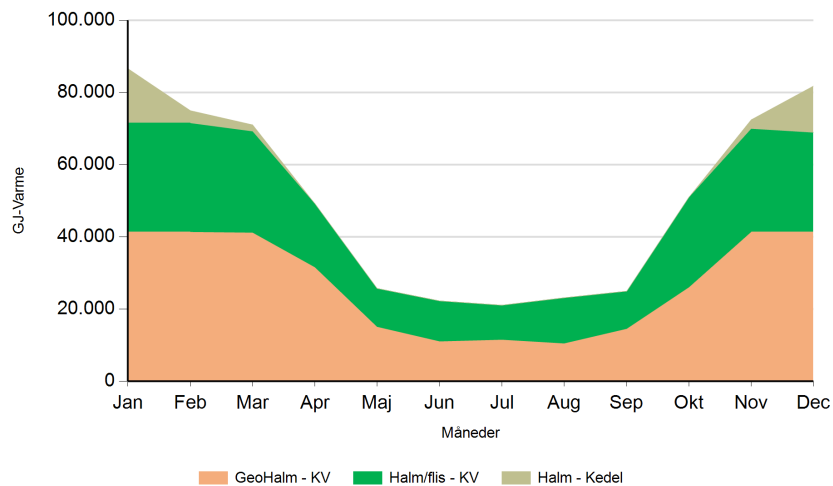




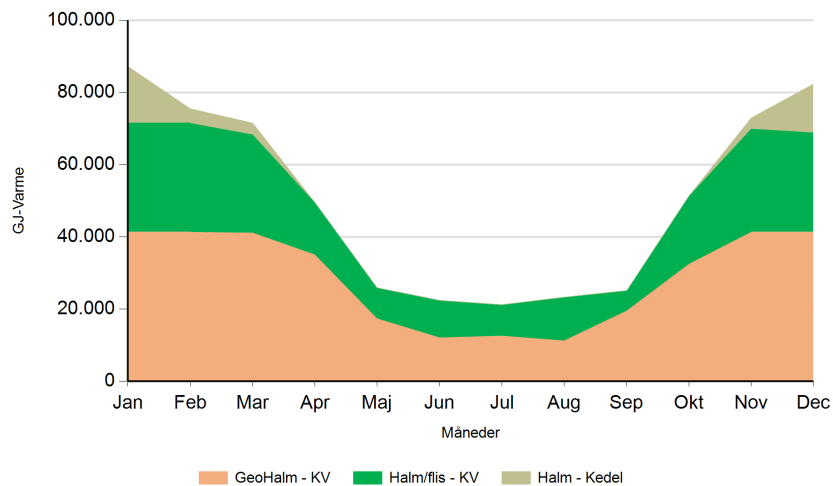
Ref. med Geo. 2020



2025

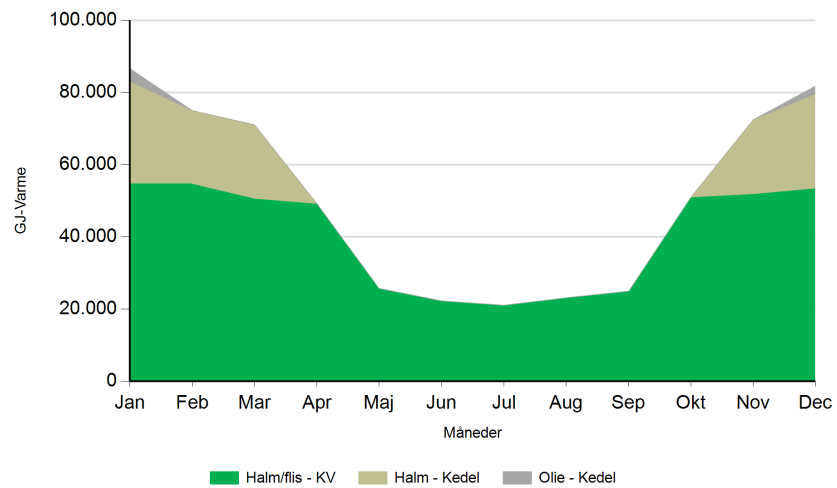


2035

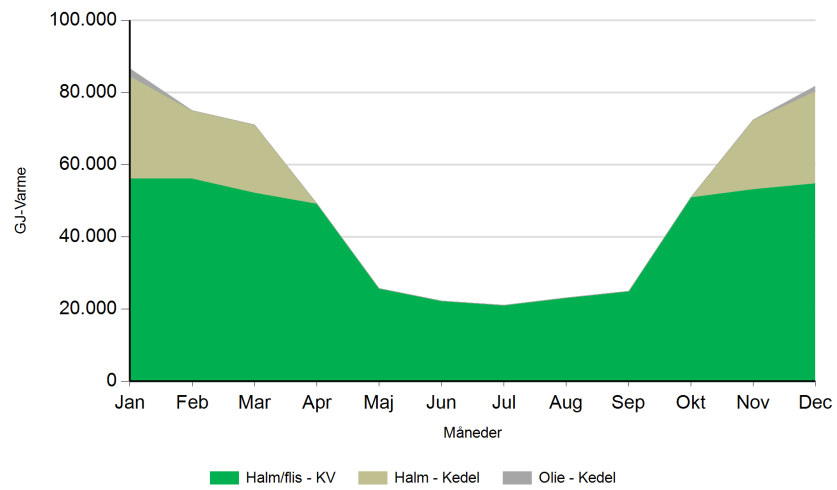


Alt.

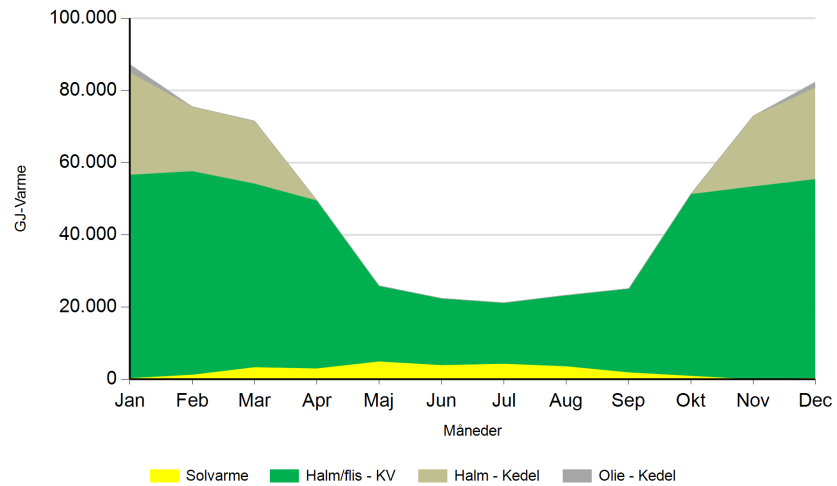
2020



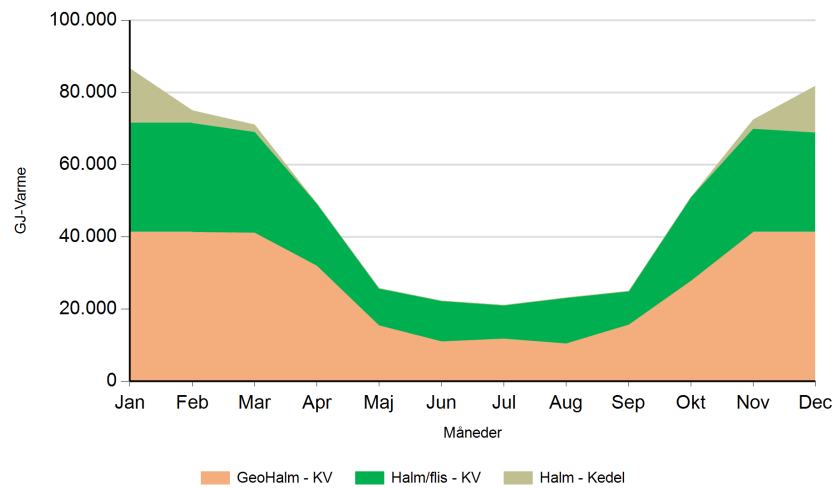
2025



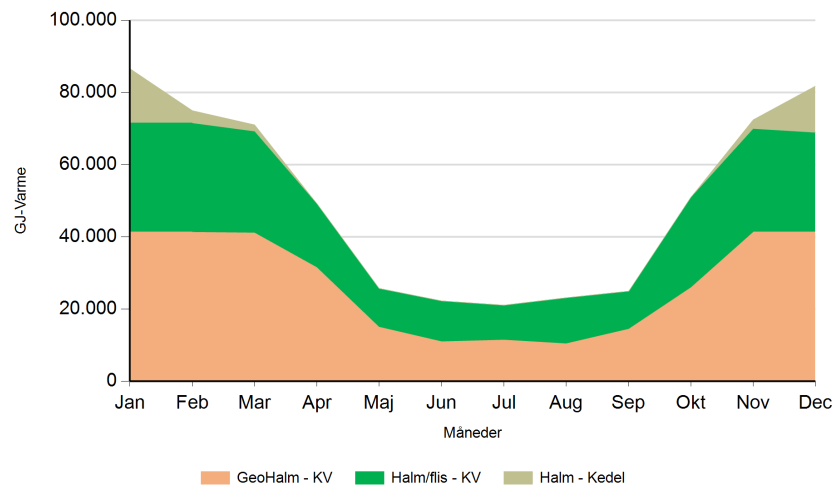
2035



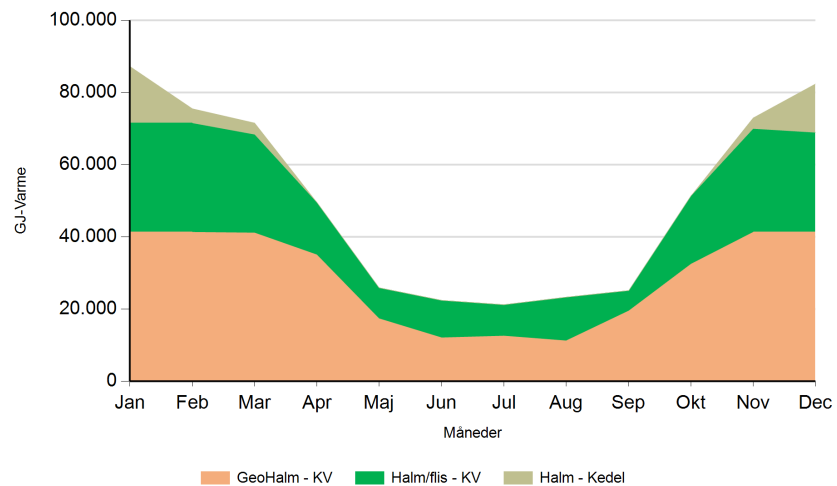
Alt. med Geo. 2020



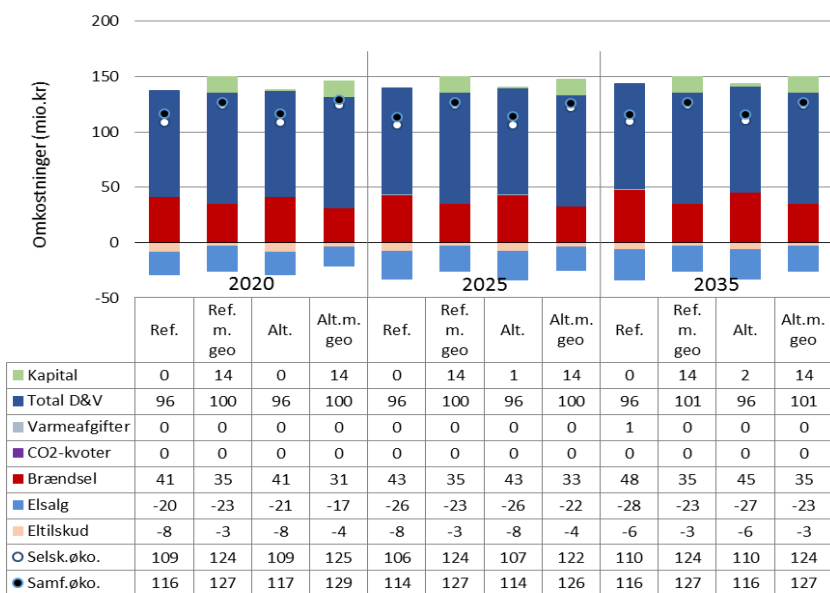
2025



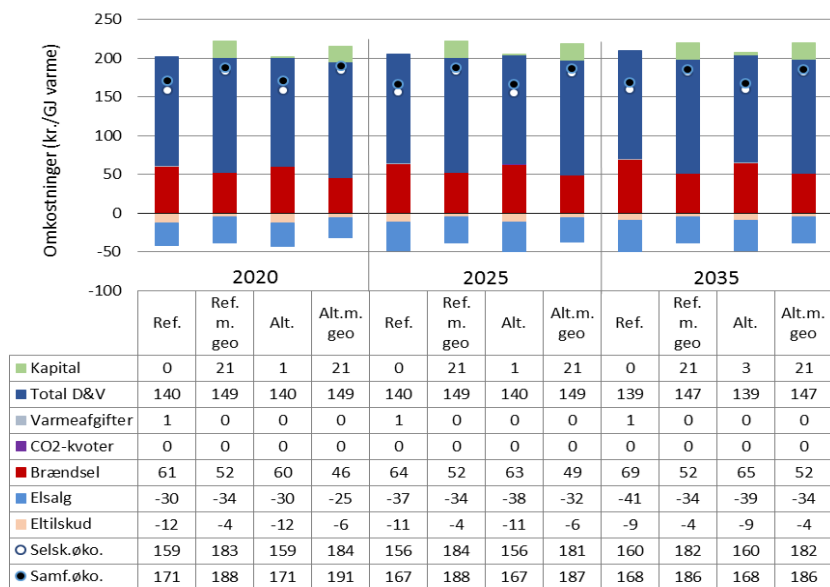
2035



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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Maribo



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Maribo

Det geotermiske screeningsprojekt

Maribo-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 Maribo-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.....	23
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	26
5.2.3	Permeabilitet.....	26
5.2.4	Transmissivitet	27
5.3	Temperatur	28
5.4	Salinitet.....	30
6.	Referencer	31

1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet ved Saksøbing på adressen Tømmervej 1, 4990 Saksøbing (Figur 1). Lokaliteten er således beliggende østnordøst for Maribo. 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).

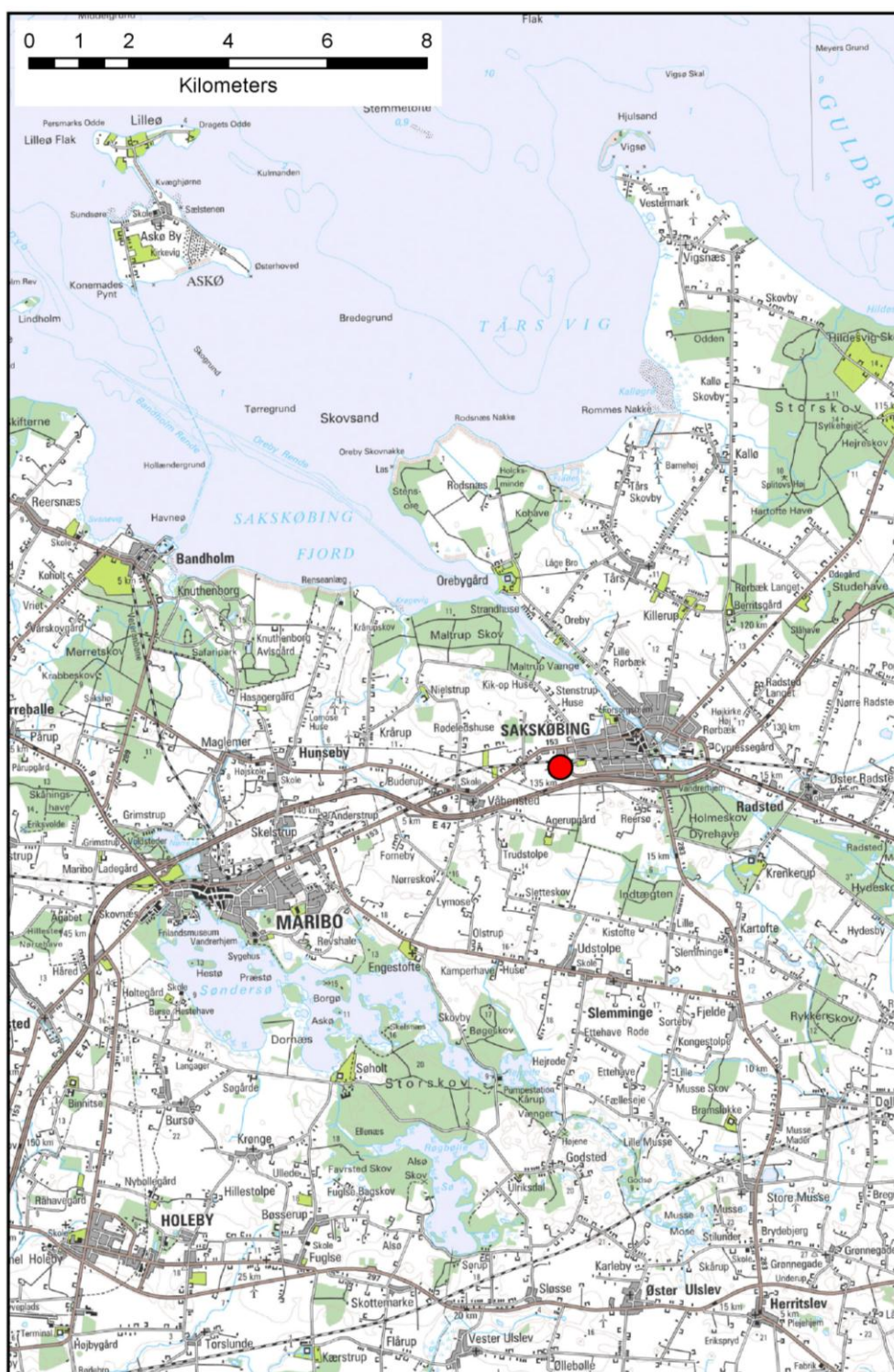
Maribo fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er valgt ud fra, at deres varmemarked er større end 400 TJ/år,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

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

Undergrundens geologiske opbygning kan variere betydeligt over selv korte afstande og som følge heraf, kan det geotermiske potentiale variere tilsvarende. En kortlægning af denne variation over større områder er meget omfattende, kræver ofte indsamling af supplerende geologiske data og ligger som følge heraf udenfor rammerne af indeværende screening. Den valgte lokalitet udgør derfor muligvis heller ikke det mest optimale sted for udnyttelse af geotermi i Maribo-Saksøbing-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 Maribo-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 ca. 40 meter sandsten, der er beliggende mere end 1200 meter under terræn. Sandstenene indgår i Bunter Sandsten 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 prognoselokaliteten, og som udgør et input til økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. Det er også i dette afsnit, at det geotermiske potentiale vurderes, og der gives anbefalinger til eventuelle supplerende undersøgelser. I de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og hvordan de geologiske nøgledata er fremkommet samt delvist hvilke 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) ved Saksøbing.

2. Geologisk baggrund

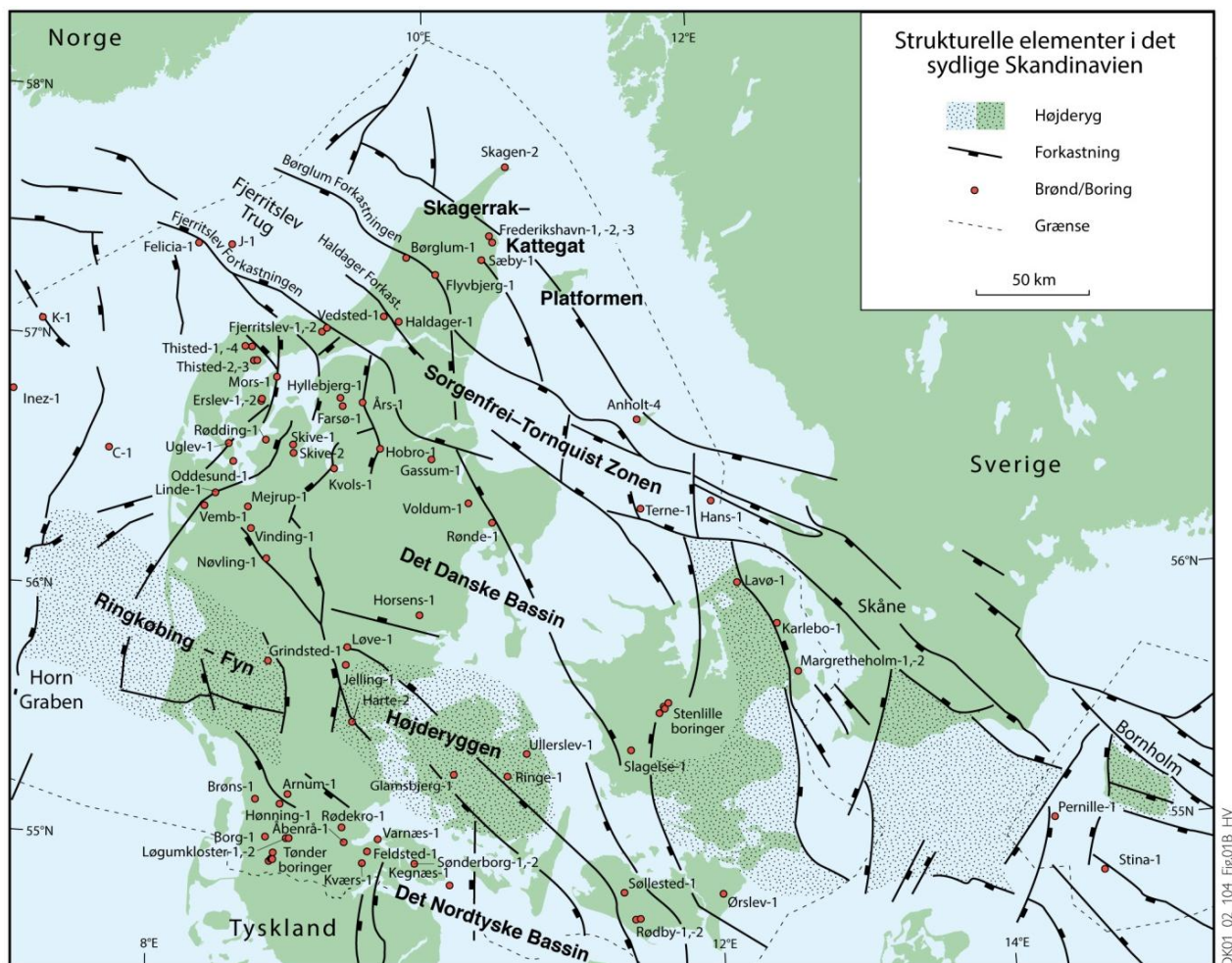
Maribo-Sakskøbing-området er beliggende i det Nordtyske Bassin, som blev dannet ved strækning af skorpen i Tidlig Perm tid. Ringkøbing–Fyn Højderyggen adskiller mod nord bassinet fra det Danske Bassin (Figur 2). Ringkøbing–Fyn Højderyggen er en del af et regionalt VNV–ØSØ-gående strøg af højtliggende grundfjeldsområder i undergrunden, der gennemskæres af nord-syd orienterede riftstrukturer og mindre trug.

Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Nordtyske Basin og det Danske 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 Mellem Jura førte til en betydelig erosion af underliggende sedimenter, specielt op mod flankerne af og over det højtliggende grundfjeld i Ringkøbing–Fyn Højderyggen. Denne, og senere erosionshændelser, er repræsenteret ved en markant erosionsflade, der overlejres af en Nedre Kridt lagserie bestående af muddersten og siltsten samt enkelte sandstenslag. Herefter følger en tyk serie af karbonat- og kalkaflejringer, der udgør den øverste del af den mesozoiske lagserie i bassinerne. De betydelige mængder sedimenter, der blev aflejret gennem Mesozoikum, førte i perioder til, at underliggende aflejringer af Zechstein-salt blev plastisk deformeret og nogle steder søgte 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 Nordtyske Bassin.

I Maribo-Sakskøbing-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien 2,0–2,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). Potentielle geotermiske sandstensreservoirs i den sydlige del af Danmark vurderes primært at være til stede i den Nedre Triassiske Bunter Sandsten Formation og i den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at disse formationer vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirs, og at de i større områder vurderes til at være beliggende indenfor dybdeintervallet 800–3000 meter, der anses for egnet til dyb geotermisk indvinding. Kortlægningen af dybdeintervaller og indhold af sandsten er baseret på tilgængelige seismiske data og data fra dybe borer i undergrunden. 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. Ud fra den regionale seismiske kortlægning og brøndata vurderes Gassum Formationen til at være beliggende på lavere dybde end 800 meter i store dele af Lolland, inklusiv Maribo-Sakskøbing-området. Derimod er Bunter Sandsten Formationen til stede i det rette dybdeinterval for dyb geotermisk indvinding, og fokus er i det efterfølgende derfor på denne formation i vurderingen af det geotermiske potentiale ved prognoselokaliteten.

Bunter Sandsten Formationen kendes fra adskillige dybe boringer i Danmark og Sverige og er vidt udbredt i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin. Det geotermiske anlæg ved Magretheholm på Amager udnytter varmt vand fra sandstenslag i Bunter Sandsten Formationen. Formationen er mindre end 300 meter tyk i det syddanske område og henover over Ringkøbing–Fyn Højderyggen er formationen tynd eller mangler helt. Højderyggen var sandsynligvis delvis blottet som "øer" i Tidlig Trias, hvor mindre trug mellem øerne forbandt det Nordtyske Bassin med det Danske Bassin (Michelsen et al. 1981).

Bunter Sandsten Formationen består af rødbrune og gulbrune, fin- til grovkornede sandsten, foruden silt- og lersten. Lokalt er aflejringerne stærkt kalk-, anhydrit- og glimmerholdige. I det Danske Bassin afløses Bunter Sandsten Formationen mod nord af grovkornede sandsten tilhørende Skagerrak Formationen. Bunter Sandsten Formationen blev dannet i Tidlig Trias i et tørt og varmt ørkenklima. Vidtforegnede og periodisk vandførende floder transportererede sand ind i den centrale del af aflejringsbassinet, hvor sandet blev aflejret i flodkanaler. Vegetationen var yderst sparsom, og i nedbørspauser dannede vinden sandklitter. I mellem flodkanal- og klitsandet blev lag af ler afsat i søer. Det syddanske område, som Maribo-området er en del af, fik tilført sedimenter fra nord stammende fra erosion af Ringkøbing–Fyn Højderyggen, og endvidere blev æolisk (vindtransporteret) sand i perioder tilført området fra syd (Olivarius 2015). På denne måde blev der dannet forholdsvist sammenhængende lag af fin- til mellemkornede sandsten, som havde stor geografisk udbredelse uden væsentlige primære hydrauliske barrierer. Senere for-kastningsaktivitet har i nogle områder dog ændret på dette, ligesom senere kompaktion og mineraludfældninger (diagenese) har modificeret reservoiregenskaberne.



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

3. Resultater for Maribo-lokaliteten

De geologiske data for Bunter Sandsten Formationen ved Maribo-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-permeabilitetssammenhænge, seismiske dybdekort etc.) samt ekstrapoleringen af disse data til prognoselokaliteten. 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. 1200–1450 meter under havniveau (m.u.h.) og dermed i en dybde, der er positiv i relation til dyb geotermisk indvinding. Dette afspejler sig i temperaturen, der vurderes til at være 46 °C i midten af formationen. De øvrige parameterværdier vurderes rimelige med hensyn til det geotermiske potentiale. Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydeevne og er dermed en vigtig parameter. Denne bør være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013*), og er vurderet til ca. 18 Darcy-meter ved prognoselokaliteten. Usikkerheden, der knytter sig til estimeringen af værdien, udelukker dog ikke transmissivitetsværdier på under 10 Darcy-meter (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoir-kvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som "Potentielt reservoirsand" i Figur 6 og 7). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

Bunter Sandsten Formationen synes forholdsvis uforstyrret ved prognoselokaliteten vurderet ud fra tilgængelige seismiske data. Datadækningen er dog ringe omkring lokaliteten, og i regionen er der konstateret flere store forkastninger, som opsplitter formationen. Det kan derfor ikke udelukkes, at mindre forkastninger opsplitter formationen i nærheden af prognoselokaliteten. Hvis der er forkastninger til stede, og disse ikke kortlægges, er der risiko for, at eventuelt kommende geotermiske produktions- og injektionsboringer placeres, så de ikke er i tilstrækkelig hydraulisk kontakt med hinanden. Derudover er der risiko for mættede saltforhold i formationsvandet, hvilket vil skulle håndteres ved en geotermisk produktion og vil fordyre driften.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 150 meter tyk med toppen beliggende ca. 450 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 400 meter tykke og beliggende ca. 50–450 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 Maribo-lokaliteten, og som vil udgøre et input til økonomiske beregninger mm.

Maribo-lokaliteten			
UTMz32 X: 667.886 m; Y: 6.075.114 m Terrænkote: 5 meter over havniveau (m.o.h.)			
Bunter Sandsten Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerheds- interval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1200	7 ³	1116–1284 ³
Tykkelse af formation [m]	250	30 ³	175–325 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	60	20 ³	48–72 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	40	30 ³	28–52 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,16	30 ³	0,11–0,21 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,67	30 ³	0,47–0,87 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	21	15 ³	18–24 ³
Gas-permeabilitet [mD]	350	5 ⁷	70–1750 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	438	5 ⁷	88–2188 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	18	6 ⁷	3–108 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	46	10 ³	42–51 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til fin, lokalt mellemkornet, stedvis lerholdig; moderat sorteret, stedvis dårlig sorteret; subafrundede til afrundede korn, lokalt subkantede		
Diagenese/cementering	Kalkfri til kalkholdig, løs til hård		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Risiko for mættede forhold i formationsvandet		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Regionalt mange store forkastninger, men forholdsvis uforstyrret omkring lokaliteten		

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 sydlige Danmark.

3.1 Anbefalinger

Den seismiske datadækning omkring prognoselokaliteten er ringe, og kun 10–15 km vest for lokaliteten, hvor datadækningen er bedre, er der identificeret flere store forkastninger, ligesom der er identificeret saltdiapirer og -puder syd for lokaliteten (Figur 3). Inden en geotermisk efterforskningsboring udføres, bør der derfor laves en seismisk dataindsamling omkring prognoselokaliteten for at kortlægge, om der forekommer forkastninger, som er i konflikt med en geotermisk indvinding. Endvidere vil dybden til Bunter Sandsten Formationen og dens tykkelse herved kunne fastlægges mere præcist og dermed indirekte også flere af reservoirværdierne, herunder transmissiviteten og temperaturen. Den seismiske linjeføring bør lægges således, at den omkring prognoselokaliteten muliggør en rummelig kortlægning af forkastninger, der gennemskærer Bunter Sandsten Formationen. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 20 km ny seismik.

4. Datagrundlag

I Figur 3 er den tilgængelige database i Maribo-Sakskøbing-området og i regionen vist i form af placeringen af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer. Endvidere er forløbet af de overordnede forkastninger vist i figuren. Afstanden fra prognoselokaliteten til Rødby-1, Rødby-2 og Søllested-1 er henholdsvis ca. 18, 19 og 20 km. På Falster findes endvidere Ørslev-1 brønden i en afstand af ca. 24 km (Figur 2). I alle brøndene, på nær Rødby-2, er der optaget logs, som kan anvendes til vurdering af reservoirkvalitet. Overordnet set vurderes brønddækningen og kvaliteten af brøndata som værende rimelig.

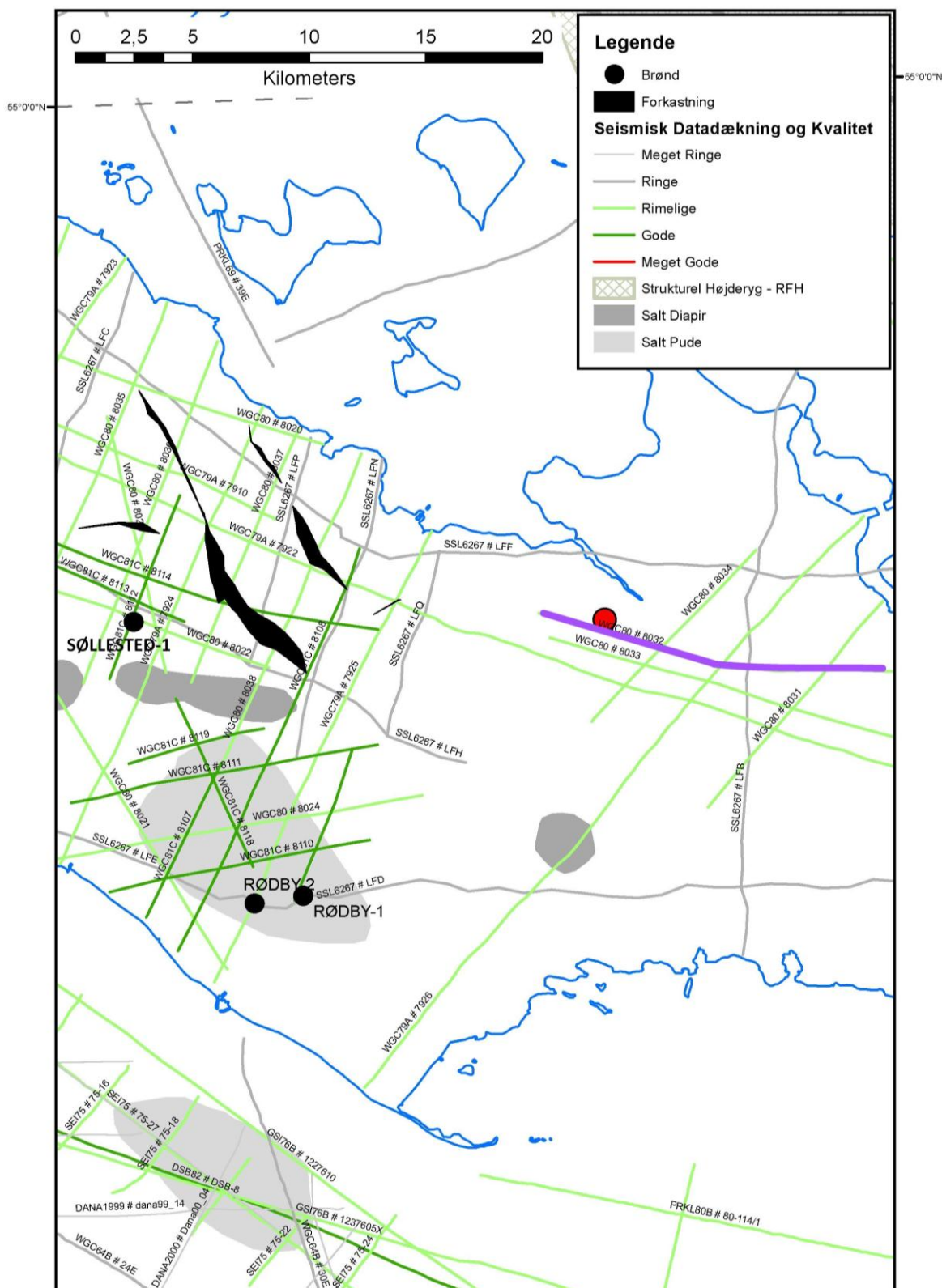
Det fremgår af Tabel 4.1, at i alle brønde, på nær Søllested-1, er Gassum Formationen til stede i for lav dybde (<800 m) til udnyttelse i forbindelse med dyb geotermisk indvinding. Derimod er den stratigrafisk dybereliggende Bunter Sandsten Formation til stede indenfor det geotermiske dybdeinterval, idet dens øvre grænse befinder sig omkring 1100 m.u.h.; dog lidt dybere i Søllested-1 boringen (ca. 1450 m.u.h.). I tabellen er dybdeinterval og tykkelse af Kridt-lagseriens kalkaflejringer samt den lerstens-dominerede Fjerritslev Formationen endvidere vist, da disse udgør "dæklag" for både Gassum og Bunter Sandsten formationerne. Dybde og tykkelse af dæklagene 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. Farverne 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. Overordnet set vurderes den seismiske datadækning til at være ringe omkring prognoselokaliteten, mens kvaliteten af de seismiske data vurderes til at være rimelig.

Ud fra den seismiske kortlægning vurderes det, at Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er til stede ca. 600–700 m.u.h, hvilket er for lavt i forhold til dybdeintervallet for dyb geotermi. Som følge heraf fokuseres der i de følgende afsnit på udbredelsen, kontinuiteten og reservoir-egenskaberne af Bunter Sandsten Formationen, som ved lokaliteten er til stede ca. 1200–1450 m.u.h. (se afsnit 5.1).

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

		Rødby-1 (18 km)	Rødby-2 (19 km)	Søllested-1 (20 km)	Ørslev-1 (24 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	27–457	140–435	75–550	17–424
	Tykkelse (m)	430	295	475	407
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	467–555	445–525	588–764	437–557
	Tykkelse (m)	88	80	176	120
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	555–683	525–665	764–873	557–740
	Tykkelse (m)	128	140	109	183
Bunter Sandsten Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1125–1382	1108–1336	1458–1749	1072–1187
	Tykkelse (m)	256	228	291	115



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen og forløbet af overordnede forkastninger. Rødby-1 og Søllested-1 er de nærmeste brønde til prognoselokaliteten, hvori der er optaget en log-suite, der kan anvendes til vurdering af reservoirkvalitet. Den seismiske linje 8032 (fremhævet med fed lilla streg) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.

5. Gennemgang af data

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

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

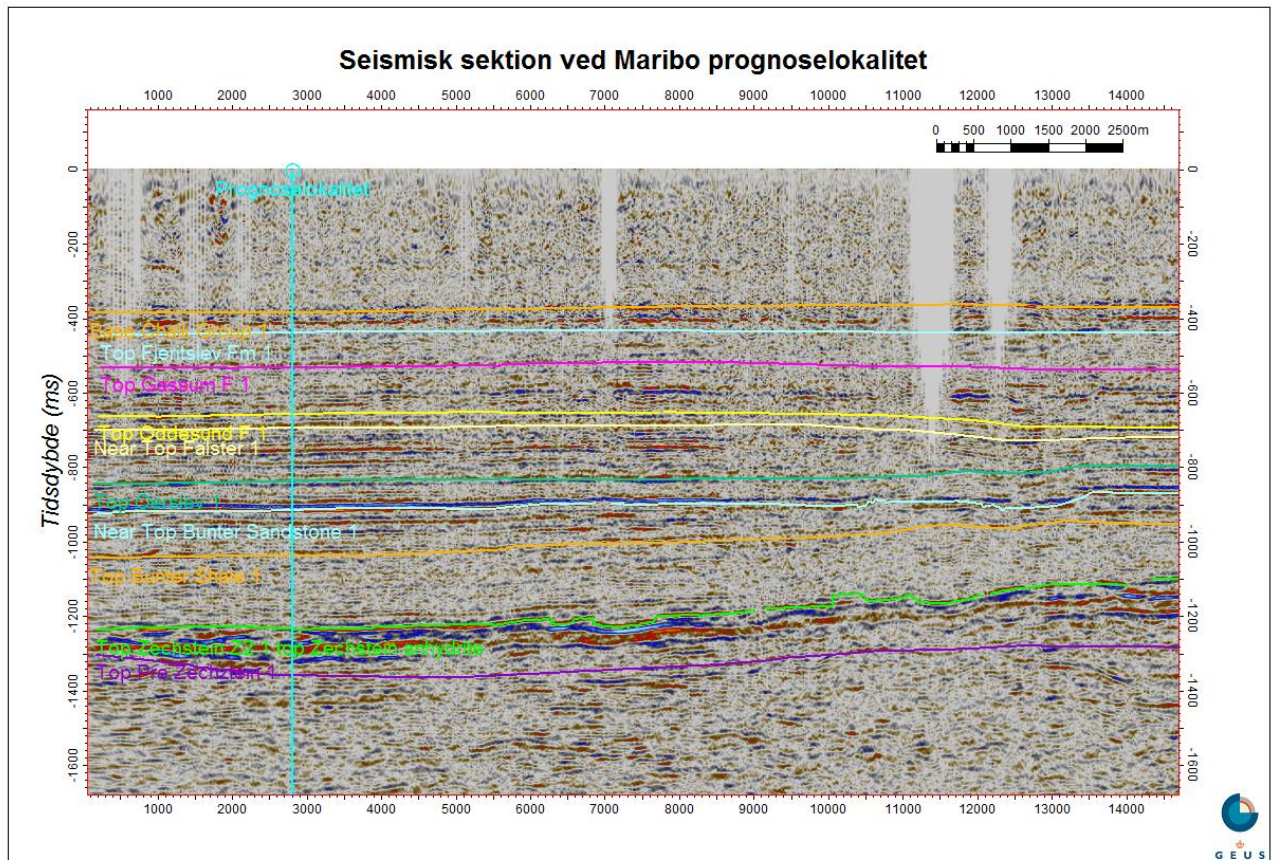
5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1 og er baseret på delresultater af en igangværende og meget omfattende seismisk kortlægning, der vil munde ud i landsdækkende dybdekort til vigtige seismiske horisonter og formationsgrænser. Ud fra den seismiske kortlægning vurderes Bunter Sandsten Formationens top at være til stede ca. 1200 m.u.h. ved prognoselokaliteten med en vurderet usikkerhed på $\pm 7\%$. Tykkelsen af formationen vurderes til at være 250 meter, dog med en større usikkerhed (30 %) som følge af, at basis af formationen er vanskeligere at identificere seismisk end toppen af formationen.

Den seismiske linje 8032 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et seismisk profil, der er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. Bunter Sandsten Formationen fremstår forholdsvis uforstyrret langs med profilet. I andre områder på Lolland, hvor datadækningen er bedre, er der dog identificeret mange forkastninger, som opsplitter formationen.

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

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	50–450	400
Fjerritslev Fm	450–600	150
Gassum Fm	600–700	100
Bunter Sandsten Fm	1200–1450	250



Figur 5: Seismisk profil som passerer syd om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 500 m (linje 8032 i Figur 3 og 4). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en lyseblå, lodret streg. Bunter Sandsten Formationen fremstår forholdsvis uforstyrret langs med profilet. Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren: Basis af Kalkgruppen (orange), Basis Nedre Kridt/Top Fjerritslev Fm (lyseblå), Top Gassum Fm (lyserød), Top Oddesund Fm (gul), Top Falster Fm (lysegul), Top Ørslev Fm (turkis grøn), Top Bunter Sandsten Fm (lyseblå), Basis Bunter Sandsten Fm/Top Bunter Shale Fm (orange), Top Zechstein (grøn) og Top Pre-Zechstein (lilla).

5.1.2 Boringsdata

Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Bunter Sandsten Formation i de nærmeste "omkransende" brønde, hvoraf nogle befinder sig mere end 80 km fra prognoselokaliteten (Ringe-1 og Kegnæs-1). Af tabellen fremgår det også, 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 nærmeste

brøndes placering ses i Figur 3, mens den omtrentlige placering af de brønde, der ligger længere væk fra prognoselokaliteten, ses i Figur 2.

Det fremgår af Tabel 5.2, at Bunter Sandsten Formationen er til stede i alle brøndene med en tykkelse, der i de fleste brønde er på mere end 200 meter. Ringe-1 og Ørslev-1 udgør markante undtagelser, idet tykkelserne af formationen i disse brønde kun er på henholdsvis 12 og 115 meter. Ringe-1 brønden er beliggende på Ringkøbing-Fyn Højderyggen og Ørslev-1 muligvis på flanken af højderyggen. Den forholdsvis lille tykkelse af Bunter Sandsten Formationen i disse brønde afspejler sandsynligvis, at dele af højderyggen var blotlagt som øer gennem aflejningsperioden, og at de lavere liggende dele af ryggen kun efterlod begrænset plads til aflejring af sediment. Nogle af variationerne i formationens tykkelse i regionen kan dog muligvis også tilskrives tektoniske pulser i Nedre Trias, som førte til mindre omarrangeringer af bassin-geometrien og dannelse af lokale nedforkastede blokke, mens højereliggende områder stedvis blev udsat for intens erosion (Bachmann et al. 2010).

Det er mest oplagt at anvende data fra Rødby-1 og Søllested-1 brøndene til vurderingen af sandstensindholdet og reservoirkvaliteten af sandstenene i Bunter Sandsten Formationen ved prognoselokaliteten. Dette skyldes, at disse brønde ligger tættest ved prognoselokaliteten, samt at tykkelsen af Bunter Sandsten Formationen i brøndene er på 256 meter (Rødby-1) og 291 meter (Søllested-1), hvilket svarer meget godt til den tykkelse formationen er estimeret til at have ved prognoselokaliteten på baggrund af de seismiske data (ca. 250 meter).

Rødby-1 og Søllested-1 er begge estimeret til at have en samlet sandstenstykkelse (Gross sand) på omkring 60 meter, hvoraf meter sandsten med gode reservoiregenskaber (Potentielt reservoirsand) er estimeret til at udgøre ca. 55 meter i Rødby-1 og knap 30 meter i Søllested-1 (Tabel 5.2). Det fremgår af Figur 6, at brøndene har en rimelig ensartet fordeling af sand- og lersten i formationsintervallet, idet der i begge brønde forekommer sandstens-dominerede intervaller i bunden, midten og den øverste del af formationen, som adskilles af lerstens-dominerede intervaller. I Ørslev-1, hvor Bunter Sandsten Formationen er betydelig tyndere, ses der kun sandstensintervaller i den nedre og øvre del af formationen, mens den midterste del består af lersten (Figur 6).

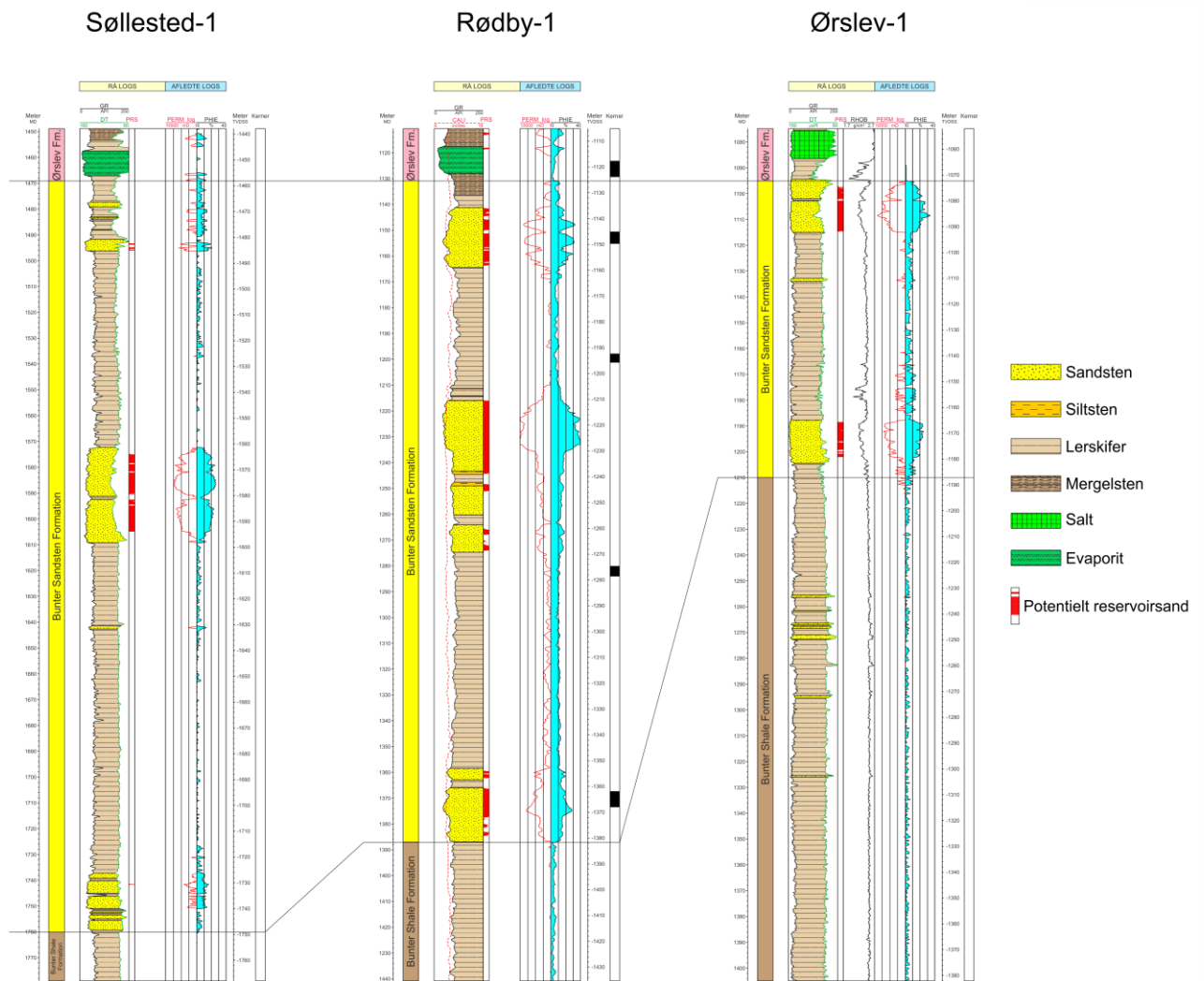
I det Nordtyske Bassin inddeles Bunter Sandsten Formationen i fire enheder, der hver består af en sandstensserie efterfulgt af en forholdsvis tyk lerstensserie. To af disse enheder (Volpriehausen og Solling members) kan også erkendes i de fleste dybe danske landboringer, der når ned i Bunter Sandsten Formationen (Bachmann et al. 2010, Michelsen & Clausen 2002). Det nederste og øverste sandstensinterval (inklusive efterfølgende lerstens-interval) i Søllested-1, Rødby-1 og Ørslev-1 svarer sandsynligvis til henholdsvis Volpriehausen og Solling members (Michelsen & Clausen 2002). Disse enheder har altså en stor geografisk udbredelse, og deres sedimentologiske kontinuitet kan som følge heraf også betegnes som værende stor. Det midterste sandstensinterval, og efterfølgende lerstensinterval i Søllested-1 og Rødby-1, svarer til Detfurth Member, der sandsynligvis også er til stede i blandt andet Slagelse-1, Stenlille-1 og Kegnæs-1. Denne enhed har ikke en helt så stor udbredelse i det danske område, da den mange steder blev fjernet ved en markant erosionshændelse, der fandt sted forud for afsætningen af Solling Member (Bach-

mann et al. 2010, Michelsen & Clausen 2002). Ved prognoselokaliteten formodes Bunter Sandsten Formationen at ligne Rødby-1 og Søllested-1 i fordelingen af ler- og sandsten, således at der også her forekommer sandstensintervaller i 3 niveauer. Denne antagelse baseres på de ensartede tykkelser af formationen i de to brønde og ved prognoselokaliteten.

Med en overordnet sedimenttilførsel fra nord (omtalt i afsnit 2) må det alt andet lige forventes, at andelen af sandsten i Bunter Sandsten Formationen er lidt større i Søllested-1 end i den sydligere beliggende Rødby-1. Det fremgår dog af Tabel 5.2, at indholdet af sandsten er omtrent det samme i begge brønde. På baggrund heraf vurderes det ikke relevant at inddrage betragtninger om nærhed til sedimentkilden, når indholdet af sandsten i formationen skal estimeres ved prognoselokaliteten i forhold til indholdet i Søllested-1 og Rødby-1.

Tabel 5.2: Tykkelser af Bunter Sandsten Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoireregenskaber (Potentielt reservoirsand), i udvalgte 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
Rødby-1	256	62	55
Rødby-2	228	76	
Søllested-1	291	61	29
Ørslev-1	115	36	29
Slagelse-1	192	117	
Ringe-1	12	11	
Kegnæs-1	232	52	24



Figur 6: Sammenligning af Bunter Sandsten Formationen i Søllested-1, Rødby-1 og Ørslev-1, som er de nærmeste brønde til prognoselokaliteten (placering af brønde ses i Figur 2). Formationen er i brøndene vist med dens vertikale tykkelser, og der er således korrigeret for boringernes eventuelle afbøjning. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).

5.2 Reservoirkvalitet

Som der er gjort rede for i de foregående afsnit, tager vurderingen af mængden af sandsten i Bunter Sandsten Formationen ved prognoselokaliteten udgangspunkt i de nærmeste brønde til lokaliteten, dvs. Rødby-1 og Søllested-1. Dybdeintervallet for Bunter Sandsten Formationen i disse brønde ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der er udtaget kerner af formationen i Rødby-1.

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af bore-spåner fra Rødby-1 og Søllested-1 borerne (Dansk Boreselskab 1983, DGU/DAPCO 1952). Kernerne fra Rødby-1 boringen indgår i reservoirevalueringen. Kernerne er korte og er udtaget fra det nederste og øverste sandstensinterval i formationen (de kernede intervaller fremgår i Figur 7). De optagne og tolkede logs i Rødby-1 og Søllested-1 brøndene er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

Der er i estimeringen af reservoiværdier for Bunter Sandsten Formationen ved prognoselokaliteten taget udgangspunkt i, at mængden af sandsten (Gross sand) er det samme som beregnet for Rødby-1 og Søllested-1 brøndene, mens Søllested-1 vægter 2/3 og Rødby-1 vægter 1/3 i estimeringen af de øvrige reservoiværdier (antal meter Potentielt reservoirsand, porøsitet, reservoirtransmissivitet mm.). Søllested-1 vægtes højest, da de optagne logs fra denne er af bedre kvalitet end logsporene fra Rødby-1, og da der hersker usikkerhed om kvaliteten af reservoirmålingerne på kernematerialet fra Rødby-1.

De tolkede reservoiværdier for Rødby-1 og Søllested-1 er samlet i henholdsvis Tabel 5.5 og 5.6. 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 reservoiværdierne ved prognoselokaliteten generelt er større end de angivne usikkerheder på reservoiværdierne for Rødby-1 og Søllested-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 Bunter Sandsten Formation i de nærmeste dybe brønde med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner	Sidevægskerner
Ørslev-1	1095–1210	Ingen	Ingen
Rødby-1	1131–1387	4 korte kerner	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
Neutron log	NPHI	fraction	Måler den tilsyneladende porøsitet (neutron-loggen kan være forkortet "NEU")
Densitets logs	RHOB	g/cm ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
	RHOZ	g/cm ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
Log-beregnet permeabilitet	PERM_log	mD	Beregnet log-kurve baseret på PHIE
Log-beregnet effektiv porøsitet	PHIE	fraction	Beregnet/tolket log kurve
Kernepermeabilitet	Kh_a	mD	Målt horisontal gas permeabilitet (på plugs)
	CPERM_GEUS	mD	Målt gas permeabilitet (på plugs; GEUS data)
Kerneporøsitet	CPOR	%	Målt porøsitet (på plugs)
	CPOR_GEUS	%	Målt porøsitet (på plugs; GEUS data)
Normaliseret gamma log	GRnorm	API	Beregnet/tolket log kurve
Log-beregnet lermængde	Vshale	fraktion	Beregnet/tolket log kurve
Indikator for potentielt reservoirsand (PRS)	PRS	m	Log-udledt kurve ("flag") der indikerer, hvor der er potentielt reservoirsand (PRS)

Tabel 5.5: *Estimerede reservoirværdier for Bunter Sandsten Formationen i Rødby-1 brønden.*

Rødby-1			
Bunter Sandsten Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1125	1 ³	1114–1136 ³
Tykkelse af formation [m]	256	1 ³	253–259 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	62	5 ³	59–65 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	54,6	5 ³	52–57 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,21	5 ³	0,20–0,22 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,88	5 ³	0,84–0,92 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	25	7 ³	23–27 ³
Gas-permeabilitet [mD]	2000	5 ⁷	400–10000 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	2500	5 ⁷	500–12500 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	137	5 ⁷	27–685 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til fin, lokalt mellemkornet, stedvis lerholdig; ingen oplysninger om sortering og afrundingsgrad		
Diagenese/cementering	Kalkfri til kalkholdig, løs til hård		

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabel 5.6: *Estimerede reservoirværdier for Bunter Sandsten Formationen i Søllested-1 brønden.*

Søllested-1			
Bunter Sandsten Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1458	1 ³	1443–1473 ³
Tykkelse af formation [m]	291	1 ³	288–294 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	61	5 ³	58–64 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	29	5 ³	27–31 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,10	5 ³	0,09–0,10 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,47	5 ³	0,45–0,50 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	20	6 ³	19–21 ³
Gas-permeabilitet [mD]	250	5 ⁷	50–1250 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	313	5 ⁷	63–1563 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	9	5 ⁷	2–45 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til fin, lokalt mellemkornet; moderat sorteret, stedvis dårlig sorteret; subafrundede til afrundede korn, lokalt subkantede		
Diagenese/cementering	Kalkfri til kalkholdig, fast til hård		

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

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

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

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

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

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

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

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

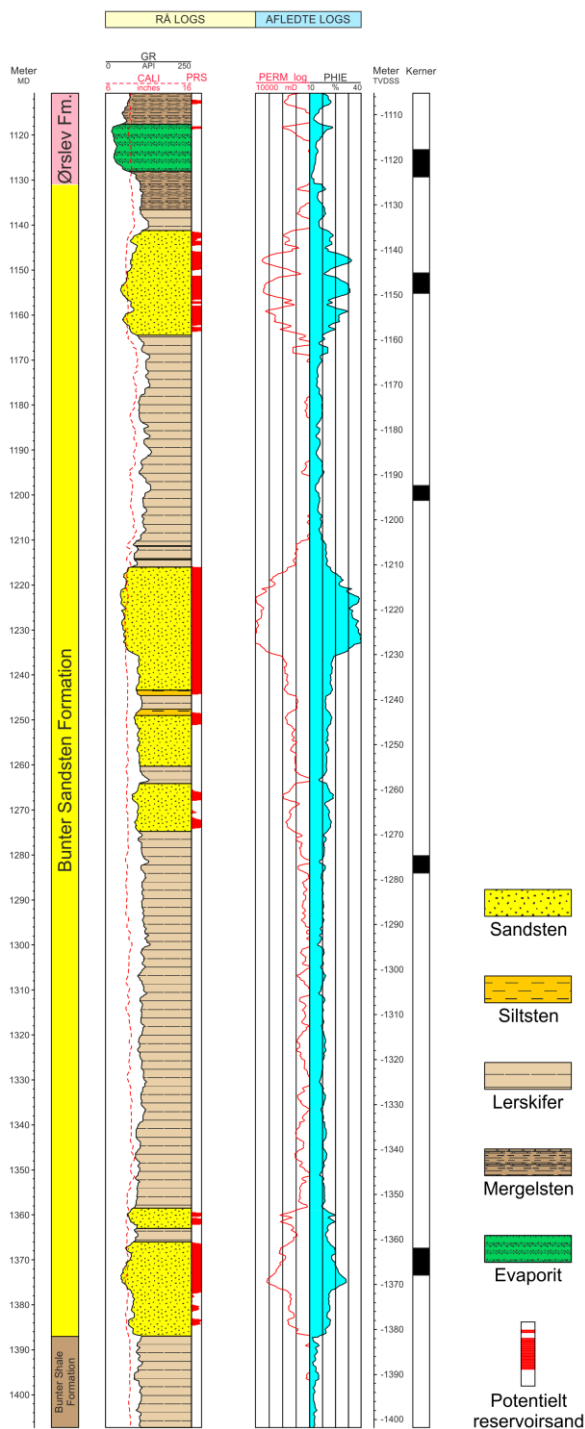
⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Bunter Sandsten Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten (Figur 6 og 7). Borespåne- og kernebeskrivelser understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af beskrivelserne, at sandstenenes kornstørrelse hovedsageligt er meget fin til fin (Dansk

Boreselskab 1983, DGU/DAPCO 1952). Både kalkfrie og kalkholdige sandsten forekommer, og generelt er de faste til hårde uden at cementeringsgraden dog beskrives nærmere. Oplysninger om sorterings- og afrundingsgrad er sparsomme, men i "Søllested-1 Completion Report" beskrives sandstenskornene til hovedsageligt at være moderat sorterede og sub-afrundede til afrundede (Dansk Boreselskab 1983).

Rødby-1



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

5.2.2 Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet

I Rødby-1 og Søllested-1 er Bunter Sandsten Formationen henholdsvis ca. 256 og 291 meter tyk, hvoraf andelen af sandsten (Gross sand) udgør godt 60 meter i begge brønde (Tabel 5.2). Logtolkningerne viser, at formationens sandsten er koncentreret i tre dybdeintervaller, som adskilles af intervaller med lersten (Figur 6); en fordeling som antages også at gøre sig gældende for formationen ved prognoselokaliteten.

Tolkningen af Gross-sandets tykkelse er baseret på en forudgående tolkning af lermængden ud fra gamma-loggen, idet det antages, at mængden af ler er proportional med gamma-loggens respons fratrukket baggrundsstrålingen (Tabel 5.7). På baggrund af tolkningen af lermængden er andelen af Gross sand herefter bestemt som den del af et givet dybdeinterval, der har et lerindhold på mindre end 30 %.

For begge brønde er det endvidere muligt at tolke formationens porøsitet samt hvor mange meter af formationens sandsten, der vurderes at have gode reservoirgenskaber (givet ved Potentielt reservoirsand). Potentielt reservoirsand er vurderet ud fra den log-tolkede porøsitet samt lermængden, 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 lerindholdet (Vshale) være mindre end 30 %. Ud fra disse kriterier er mængden af Potentielt reservoirsand i Rødby-1 vurderet til ca. 55 meter og i Søllested-1 til 29 meter. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 25 % i Rødby-1 og til 20 % i Søllested-1. Med hensyn til Rødby-1 er porøsitetstolkningen baseret på en modstandslog, og i Søllested-1 er porøsiteten tolket på baggrund af en sonic log, som vurderes mere pålidelig end førstnævnte til estimering af porøsiteten. Normalt tolkes porøsiteten dog ud fra neutron-density logs, men disse logs er ikke optaget i Bunter Sandsten Formationen i hverken Rødby-1 eller Søllested-1, og usikkerheden på porøsitetstolkningen bliver derfor relativ stor i begge tilfælde.

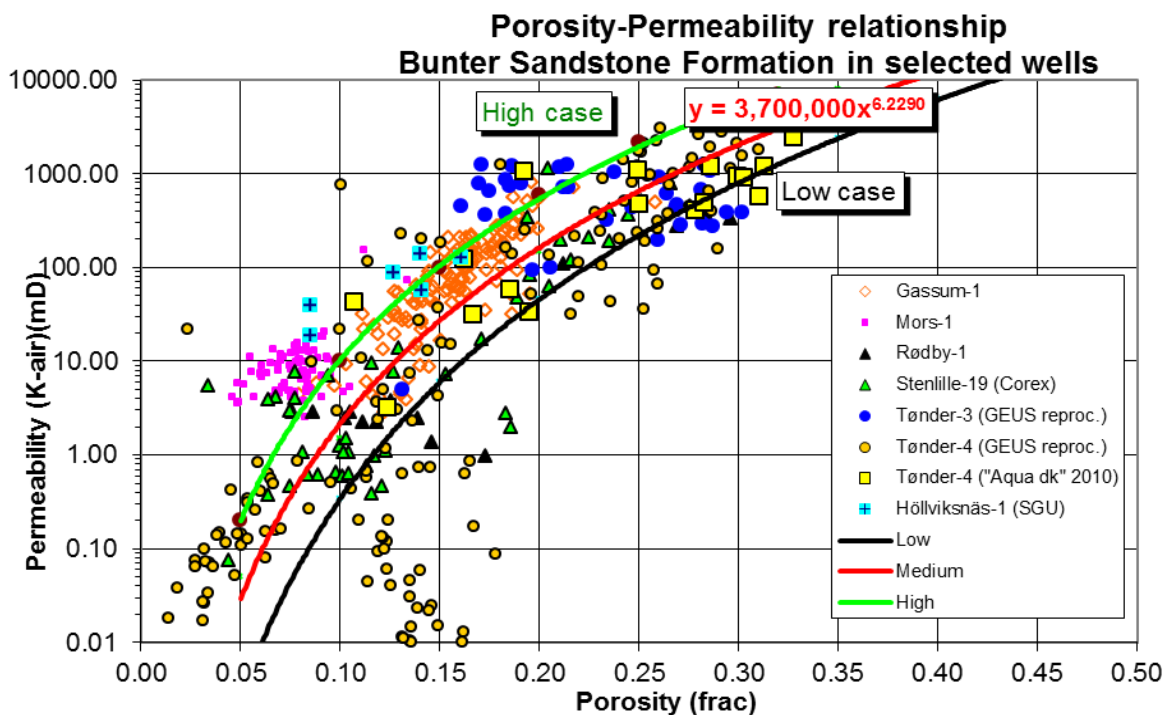
Tabel 5.7: Responsparametre for gamma-ray (GR) log for Rødby-1 og Søllested-1 boringerne.

Responsparametre for gamma-ray (GR) log	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Rødby-1	48	160
Søllested-1	30	100

5.2.3 Permeabilitet

Permeabiliteten er bestemt på kerner fra det nederste og øverste sandstensinterval i Bunter Sandsten Formationen i Rødby-1. Disse målinger indgår i en porøsitet-permeabilitetsrelation, der er baseret på kerneanalyser fra en række danske landboringer beliggende i Jylland og på Sjælland, foruden en i Skåne (Figur 8). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Maribo-Sakskøbing-området, og per-

meabiliteten 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 føromtalte 'cut-off' værdier er den gennemsnitlige gas-permeabilitet (vægtet gennemsnit) for reservoir-sandstenen estimeret til ca. 2000 mD for Rødby-1 og til ca. 250 mD for Søllested-1. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 2500 mD og 313 mD for henholdsvis Rødby-1 og Søllested-1. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af en omregning til væske-permeabilitet. De to brønde (Rødby-1 og Søllested-1) blev ikke prøvepumpet, og det er således ikke muligt at vurdere permeabiliteten ud fra testdata. Vurderingen af permeabiliteten bygger derfor i dette tilfælde på erfaringsmæssige sammenhænge, f.eks. som vist i Figur 8, og herudover er tidligere foretagne vurderinger af Bunter Sandsten Formationen udenfor studieområdet udnyttet.



Figur 8: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug prøver primært fra sandstenslag i Bunter Sandsten Formationen. Korrelationen er ikke entydig, og derfor er variationsbredden belyst med 3 tendens-linjer (Høj, Medium og Lav "cases"). Det antages at linjen med rød farve (Medium) med god tilnærmelse gælder for Maribo-Sakskøbing-området. Bemærk at de plottede data stammer fra to Tønder-boringer samt borerne Stenlille-19, Rødby-1, Mors-1 og Gassum-1, foruden Höllviksnäs-1 i Sverige.

5.2.4 Transmissivitet

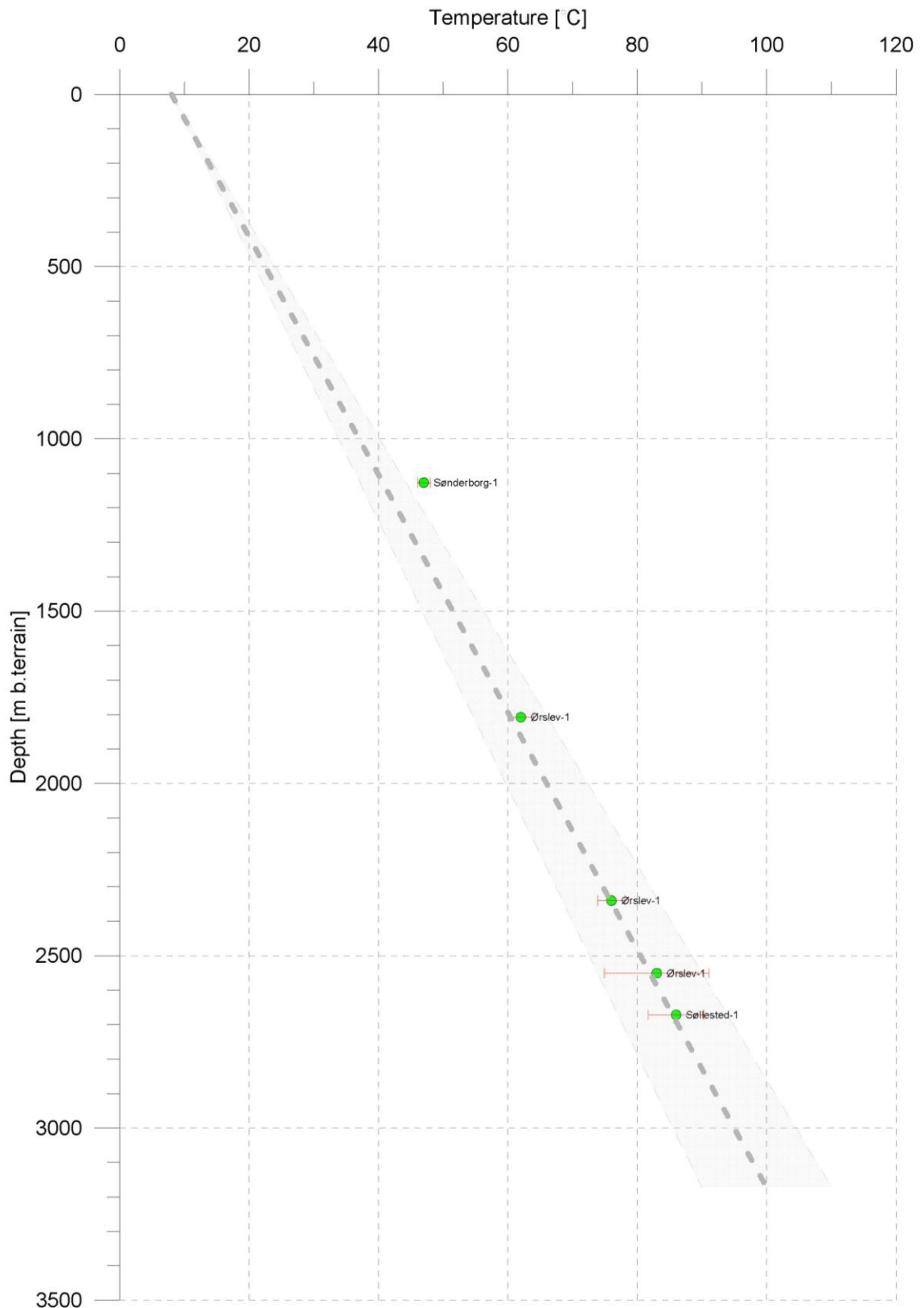
Endelig er den forventede transmissivitet beregnet på baggrund af den estimerede reservoir-permeabilitet ganget med tykkelsen af Potentielt reservoirsand. Kort beskrevet er

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, og i borerne Rødby-1 og Søllested-1 er reservoir-transmissiviteten vurderet til henholdsvis 137 og 9 Darcy-meter; denne markante forskel skyldes i nogen grad, at reservoirsandstenenes porøsitet er ca. 5 % højere i Rødby-1 end i Søllested-1. Transmissiviteten er ved prognoselokaliteten vurderet til 18 Darcy-meter. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet ved prognoselokaliteten mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 6; svarende til at dividere, henholdsvis gange, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren indeholder en samlet usikkerhed knyttet til estimeringen af permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

Temperaturen i midten af Bunter Sandsten Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til $46\text{ °C} \pm 10\%$. Temperaturen er estimeret ud fra en generel dybde-temperatur relation for det sydlige Danmark givet ved: $\text{Temp.} = 0,029 \cdot \text{dybde} + 8\text{ °C}$. Relationen er baseret på temperaturdata fra dybe borer i det sydlige Danmark, især de nye temperaturdata fra Sønderborg-1 brønden (Balling & Bording 2013). Den anvendte dybde-temperatur relation viser en temperaturgradient, der generelt er lidt højere end for resten af Danmark ($\text{Temp.} = 0,027 \cdot \text{dybde} + 8\text{ °C}$) (Balling & Bording 2013; Poulsen et al. 2013).

Figur 9 viser den generelle dybde-temperatur relation for det sydlige Danmark baseret på temperaturdata fra de nærmeste brønde. Relationen er vist med et usikkerhedsbånd på 10 %. Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 1330 meter, baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (1200 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (5 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (125 meter).



Figur 9: Estimeret dybde-temperatur relation (grå stiplede linje) for det sydlige Danmark baseret på temperaturdata fra dybe brønde (Poulsen et al. 2013). Endvidere er der vist et usikkerhedsbånd på $\pm 10\%$. Temperaturdata fra de nærmeste dybe brønde til prognoselokaliteten er vist som punkter.

5.4 Salinitet

Kendskab til formationsvandets saltholdighed og kemiske sammensætning er forudsætningen for at kunne vurdere, om der vil være risiko for kemisk udfældning under geotermisk udnyttelse af det varme vand. Udfældning af salt kan ske som følge af trykaflastning af vandet under oppumpning og/eller køling i det geotermiske anlæg. Størst effekt har temperatursænkningen, hvis formationsvandet er saltmættet med natriumklorid (NaCl) under reservoirforhold.

Formationsvandet i Bunter Sandsten Formationen er sandsynligvis saltmættet i områder, hvor der findes salt både under og over formationen. Dette er tilfældet i størstedelen af området syd for Ringkøbing–Fyn Højderyggen, idet der her forekommer Zechstein salt og Röt salt (Ørslev Formationen) henholdsvis under og over formationen. Udbredelsen af Zechstein salt op mod Ringkøbing–Fyn Højderyggen er bedre kendt end for Röt saltet. Dette skyldes, at målet for de fleste af de dybe borer i området var lag i Zechstein, der formodedes at rumme olie. Lagene blev derfor undersøgt grundigt ved udtagning af adskillige kerner. Dette var ikke tilfældet for Röt saltet, hvor der kun undtagelsesvis blev udtaget kerner, og hvor saltet hovedsageligt er påvist på baggrund af log-tolkninger. Logtolkningerne viser, at Röt salt sandsynligvis er til stede over Bunter Sandsten Formationen syd for Ringkøbing–Fyn Højderyggen med tykkelser på mellem 2 og 50 meter. I nogle borer består Röt lagene af vekslende anhydrit/kalksten og halit (salt), hvilket sandsynligvis afspejler aflejring i lavvandede områder på kanten af bassinet.

Tolkninger af logdata fra borerne på Lolland-Falster (Rødby-1, Søllested-1 og Ørslev-1) indikerer alle tilstedeværelsen af 8–10 meter halit over Bunter Sandsten Formationen. Beskrivelser af borespåner fra skylleprøver fra de to sidstnævnte borer bekræfter, at salt er til stede, dog viser en kerne fra de nederste ca. 2 meter af det angivelige Röt salt i Ørslev-1 sig at bestå af dolomit/anhydrit uden spor af halit.

Den sandsynlige tilstedeværelse af saltlag både under og over Bunter Sandsten Formationen ved prognoselokaliteten betyder, at formationsvandet i formationen må antages at være mættet eller næsten mættet under reservoirbetingelser, hvilket igen betyder risiko for udfældning af salt ved køling i forbindelse med geotermisk udnyttelse af vandet.

6. Referencer

Bachmann, G.H., Geluk, M.C., Warrington, G., Becker-Roman, A., Beutler, G., Hagdorn, H., Hounslow, M.W., Nitsch, E., Röhling, H.-G., Simon, T. & Szulc, A. 2010: Triassic. In: Doornenbal, J.C. & Stevenson, A.G. (eds): Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area. EAGE Publications b.v. (Houten), 149–173.

Balling, N. & Bording, T.S. 2013: Temperatur, temperaturgradienter og varmeledningsevne I den geotermiske boring Sønderborg-1/1A. Forskningsrapport, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet, 12 pp.

Dansk Boreelskab 1983: Søllested-1, Completion report.

DGU/DAPCO 1952: Rødby-1, Completion report.

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. & Clausen, O.R. 2002: Detailed stratigraphic subdivision and regional correlation of the southern Danish Triassic succession. *Marine and Petroleum Geology* 19, 563–587.

Michelsen, O., Saxov, S. Leth, J.A., Andersen, C., Balling, N., Breiner, N., Holm, L., Jensen, K., Kristensen, J.I., Laier, T., Nygaard, E., Olsen, J.C., Poulsen, K.D., Priisholm, S., Raade, T.B., Sørensen, T.R. & Würtz, J. 1981: Kortlægning af potentielle geotermiske reservoirer I Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie B, Nr. 5, 96 pp.

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

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

Olivarius, M. 2015: Diagenesis and provenance of Mesozoic sandstone reservoirs onshore Denmark. PhD Thesis. Geological Survey of Denmark and Greenland, Report 2015/19, 146 pp.

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.