



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Slagelse

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

Slagelse - Beskrivelse fjernvarmeområde
5. februar 2015
Energistyrelsen

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)
A044062

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

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

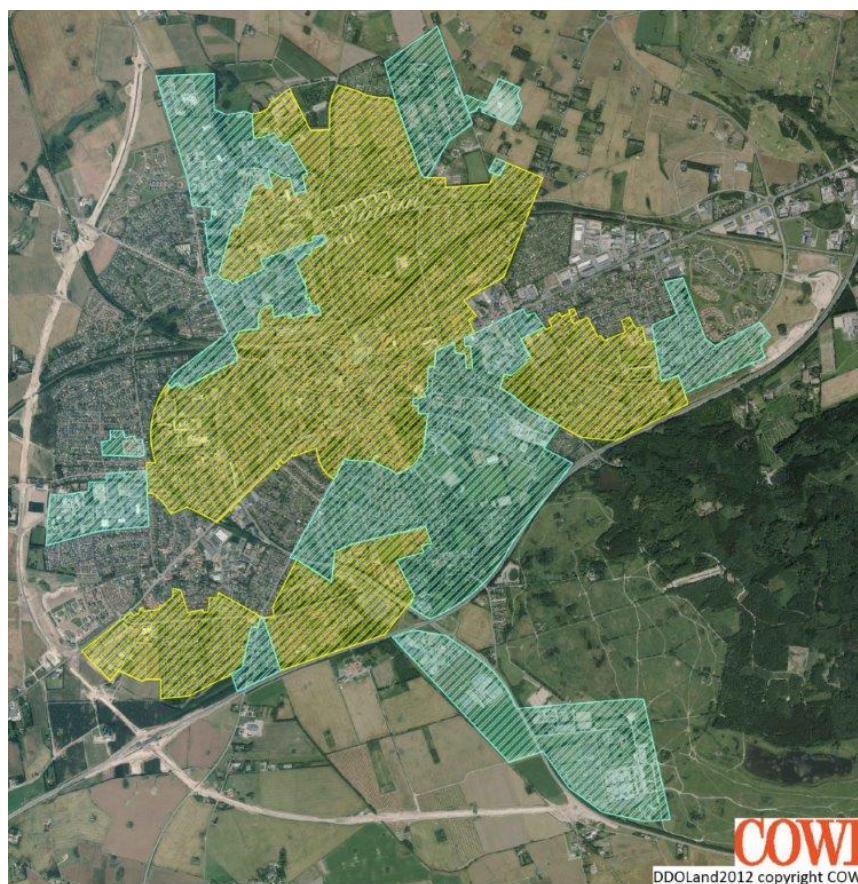
SIDE 1/6

1 Slagelse fjernvarmeområde

1.1 Nuværende forsyningsområde

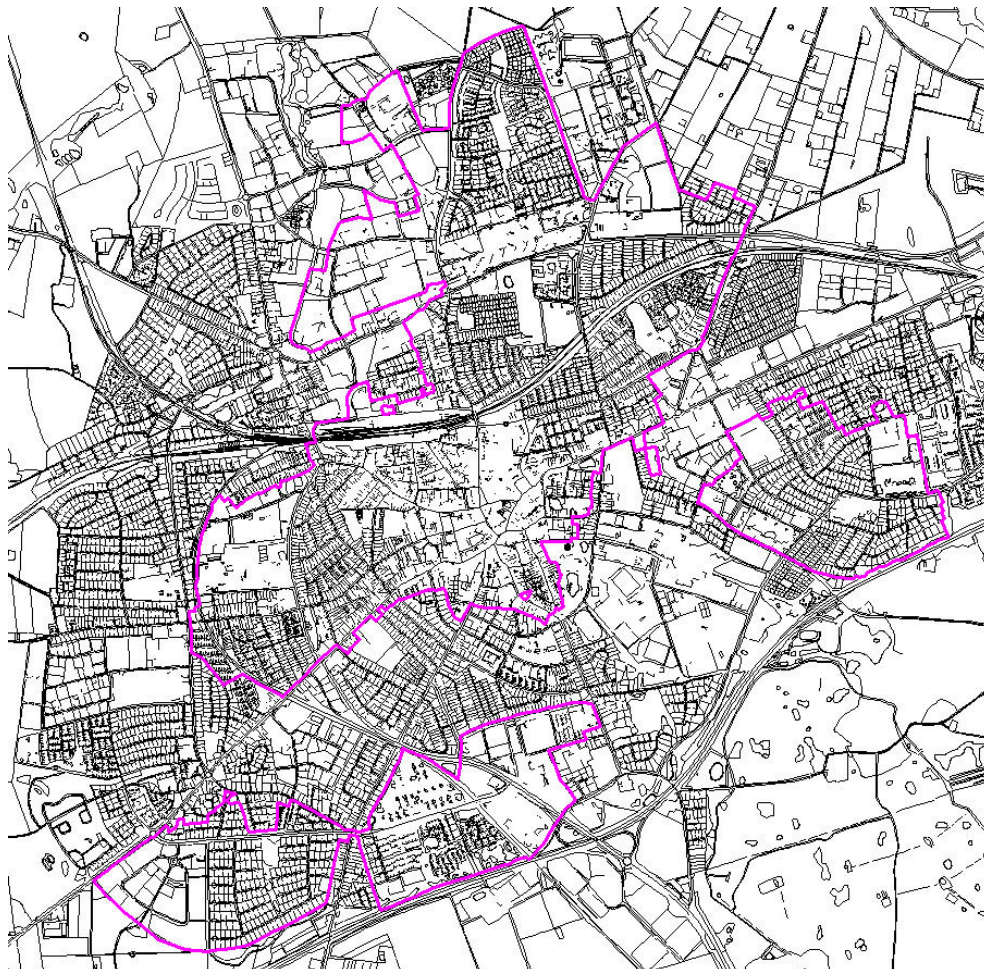
Fjernvarmeforsyningen i Slagelse varetages af SK Varme A/S, der er et 100 % ejet datterselskab til det kommunalt ejede SK Forsyning A/S.

Efterfølgende kort viser de nuværende forsyningsområder i Slagelse by



Figur 1.1-1 Oversigtskort over forsyningsområder i Slagelse (lysegul nuværende fjernvarmeområder, grøn potentielle fjernvarmeområder, uden markering naturgasområder) Kilde COWI.

Oversigt over fjervarmeledningernes placering fremgår af efterfølgende kort.



Figur 1.1-2 Oversigtskort ledningsnet (kilde SK Forsyning Varmes internetside).

Fjernvarmen i Slagelse by produceres primært på Slagelse Kraftvarmeværk og Affald Plus' affaldsforbrændingsanlæg. Affaldsforbrændingsanlægget har to ovne – Ovn 1 og Ovn 2. Varmen fra ovnene kan enten sendes direkte ud i fjernvarmenettet, eller det kan sendes til Slagelse Kraftvarmeværk. På Slagelse Kraftvarmeværk er der en halmkedel og en dampturbine. Varmen fra affaldsforbrændingsanlægget, der sendes til Slagelse Kraftvarmeværk, kan bruges i dampturbinen til elproduktion sammen med varmen fra halmkedlen.

Ovn 2 på affaldskraftvarmeværket tages ud af drift ultimo 2014. Ny fliskedel er i driftsat og forventes fremover at levere ca. 15% af varmebehovet.

Størsteparten af varmebehovet (82%) leveres således fremover fra det affalds- og halmfyrede kraftvarmeværk – den resterende del af varmebehovet leveres fra den nye fliskedel (15%) og resten fra de 4 naturgasfyrede spids- og reservelastcentraler.

Nedenstående tabel viser fjernvarmebehovet for Slagelse

Tabel 1.1-1 Oversigt nuværende og fremtidigt varmegrundlag.

Varmegrundlag					
Slagelse					
MWh/år	2012*	2013*	2015**	2025**	2035**
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	195.000	205.000	220.000	280.000	300.000
Distributionstab	55.000	54.000	55.000	70.000	75.000
An net	250.000	259.000	275.000	350.000	375.000
TJ/år					
Nettovarme	702	738	792	1008	1080
Distributionstab	198	194	198	252	270
An net	900	932	990	1260	1350
* Kilde COWI					
** Kilde COWI, idet der er taget højde for en planlagt/forventet udbygning af fjernvarmeområderne					
Energistyrelsens udbud angiver som gennemsnit over 5 år 675 TJ, hvoraf affaldsvarme udgør 390 TJ					
Energiproducenttællingen for 2012 oplyser en varmeproduktion på 684 TJ, hvilket er noget lavere end de oplyste 2012-tal.					
Det nuværende og forventede behov ser ud til at være noget højere end det af Energistyrelsen oplyste.					

** Udviklingen i varmebehovet er baseret på en forventet konvertering af en række naturgasområder til fjernvarme jf. ovenstående kort og sidste afsnit.

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

Tabel 1.1-2 Oversigt over temperaturforhold.

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
75	47	85	47

Temperaturniveauet svarer til den nuværende situation i distributionsnettet. Det kan tilføjes at der er en transmissionsledning fra kraftvarmeanlægget i nord til centralen i syd, hvor temperaturen i kolde perioder kan blive højere end 85 °C.

Der arbejdes løbende med nedsættelse af temperaturen i distributionsnettet via et optimeringsprogram.

Det maksimale effektbehov vurderes at udgøre 65 MW stigende til 100 MW ved fuld udbygning.

1.2 Nuværende produktionsstruktur

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

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

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	Brændselsfordeling		
												Affald	Naturgas	Halm
Slagelse by														
Slagelse forbrændingsanlæg	Kedel		0	0	16	0	18		115%	01-01-1990				
Slagelse forbrændingsanlæg	Kedel		0	0	10	0	6		59%	01-01-1983				
SK-Varme A/S - Slagelse Kraftvarmeværk	Damp turbine	Affald og Halm	619	1040	44	11	28	25%	60%	01-01-1990		566,3		473,7
SK-Varme A/S - Idagårdsvej	Kedel	Naturgas	22	24	22	0	22		100%	01-01-1977			24,0	
SK-Varme A/S, Central Øst	Kedel	Naturgas	13	15	14	0	14		100%	01-01-1966			14,9	
SK-Varme A/S, Central Nord	Kedel	Naturgas	3	3	13	0	13		100%	01-01-1963			3,2	
SK-Varme A/S, Hovedcentralen	Kedel	Naturgas	27	29	58	0	55		94%	01-01-1936			28,8	
Total			684				156							

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

Anlæggenes geografiske placering er illustreret nedenfor.



Figur 1.2-1 Geografisk placering af varmeproduktionsanlæg.

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

SK Varme har fået godkendelse til at etablere en 12 MW fliskedel i Slagelse by. Fliskedlen er opført og anlægget er idriftsat. Der er endvidere plads til at etablere yderligere en biomassefyret kedel på 12,5 MW i den nye kedelbygning. Denne kedel påregnes fyret med halm.

Der er ikke planlagt yderligere udbygning af kapaciteten. Ovn 2 på affaldsforbrændingsanlægget er ved at være udtjent og tages ud af drift i indeværende år, hvilket åbner op for at undersøge behovet for ny kapacitet.

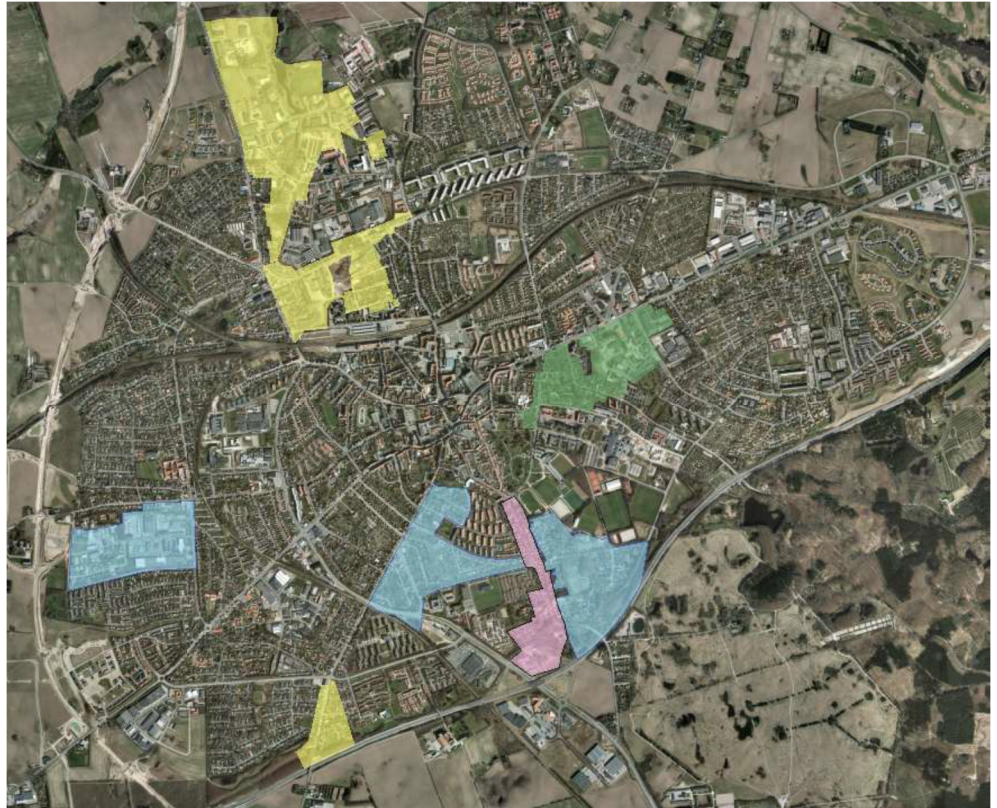
Den tilbageværende kraftvarmeproducerende ovnlinje på affaldsforbrændingsanlægget har en varmeeffekt på 10 MW.

Fremadrettet forventes der en samlet årlig varmeproduktion på affalds/halmfyrede anlæg på ca. 271.000 MWh, hvoraf knap 150.000 MWh kommer fra den halmfyrede del.

SK varme A/S har fået godkendt en række projektforslag for udbygning af fjernvarmeområderne – konvertering fra naturgas til fjernvarme og forventer jf. nedenstående kort følgende udbygningsplan:

- > I de lyserøde område (Slotsalleen og Munkebakken) skal fjernvarme etableres i 2015
- > De lyseblå områder forventes at blive konverteret til fjernvarme i 2016.
- > De grønne områder forventes at blive konverteret til fjernvarme i 2017
- > De gule områder forventes at blive konverteret til fjernvarme i 2018.

Tidsplanen kan dog blive ændret afhængigt af interessen i de enkelte områder. Forudsætningen for at fjernvarme etableres i de enkelte områder, er, at ca. 40 procent af boligejere og virksomheder har interesse i at blive tilsluttet.



Figur 1.3-1 Oversigt over fjernvarmeudbygningsområder i Slagelse (Kilde Slagelse Kommunes internetsider).

Udvikling i fjernvarmebehov er indeholdt i tabel 1.1.1 i afsnit 1.1

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg på adressen Dalsvinget 11.

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 Slagelse

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Slagelse. 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.: Slagelse_2014_12_19.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Slagelse leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos SK Varme (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 4, februar 2015).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg ved affaldsforbrændingsanlægget og kraftvarmeværket på Dalsvinget 11, Slagelse.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Slagelse 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 Slagelse.

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

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	26
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	1206
Temperatur@midt reservoir	°C	41
Tykkelse af formation	m TVT	140
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	124
Transmissivitet	Dm	133
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	TJ/år	1260
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	10
Fremløbstemperatur vinter	°C	85
Returløbstemperatur vinter	°C	47
Fremløbstemperatur sommer	°C	75
Returløbstemperatur sommer	°C	47
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger.

4 Beregninger for et geotermianlæg

Beregningerne er udført med geotermiPRO, en konceptberegningsmodel for geotermiske anlæg. Programmet arbejder ud fra en anlægskonstellation med varmevekslere og varmepumper og muligheden for at opdele anlægget med geotermivandskreds og varmepumpekreds på to lokaliteter (se bilag om geotermiPRO).

I beregningerne er varmegrundlaget taget i betragtning i form af en varighedskurve, og der er foretaget en vægtet midling af temperaturniveauerne over året. Det forudsættes at geotermien sammen med anlæggene til driv- og eftervarme vil udgøre grundlast i fjernvarmeforsyningen.

De tekniske og økonomiske forudsætninger for beregningerne fremgår i øvrigt af notatet "Generelle forudsætninger for beregning af geotermianlæg".

I standardberegningen forudsættes der anvendt absorptionsvarmepumper, og drivvarme forudsættes at være til stede ved 160 °C. Det forudsættes at varmen fra eksisterende forbrændingsanlæg kan benyttes som drivvarme. På anlægsskitserne 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 Slagelse er endvidere beregnet et alternativt anlægsdesign, hvor der benyttes el-varmepumper til at udnytte varmen fra geotermivandet.

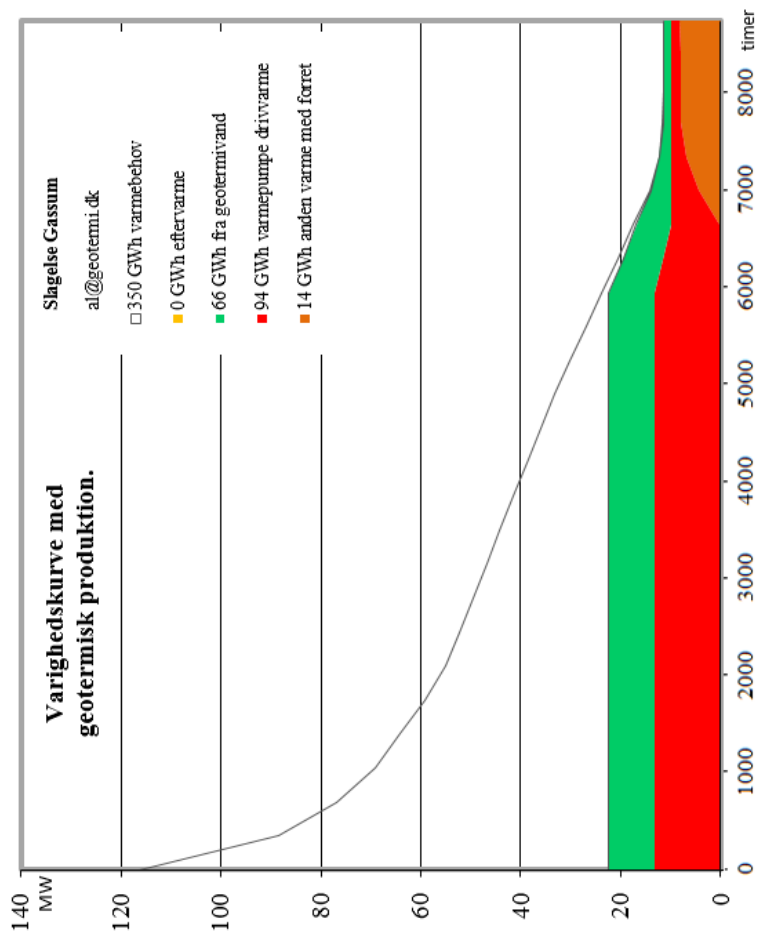
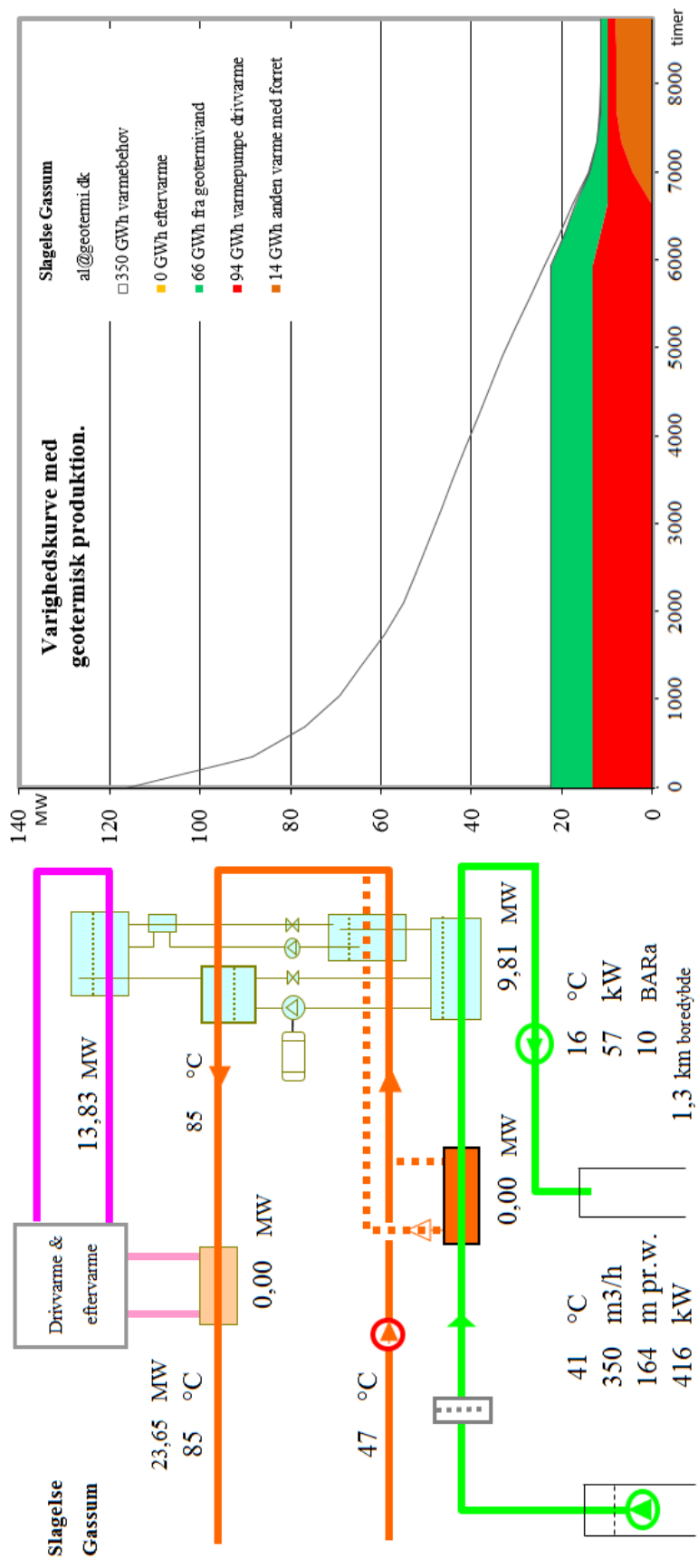
5 Resultater

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

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 220 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 9,8 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 23,6 MW. Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være høj.

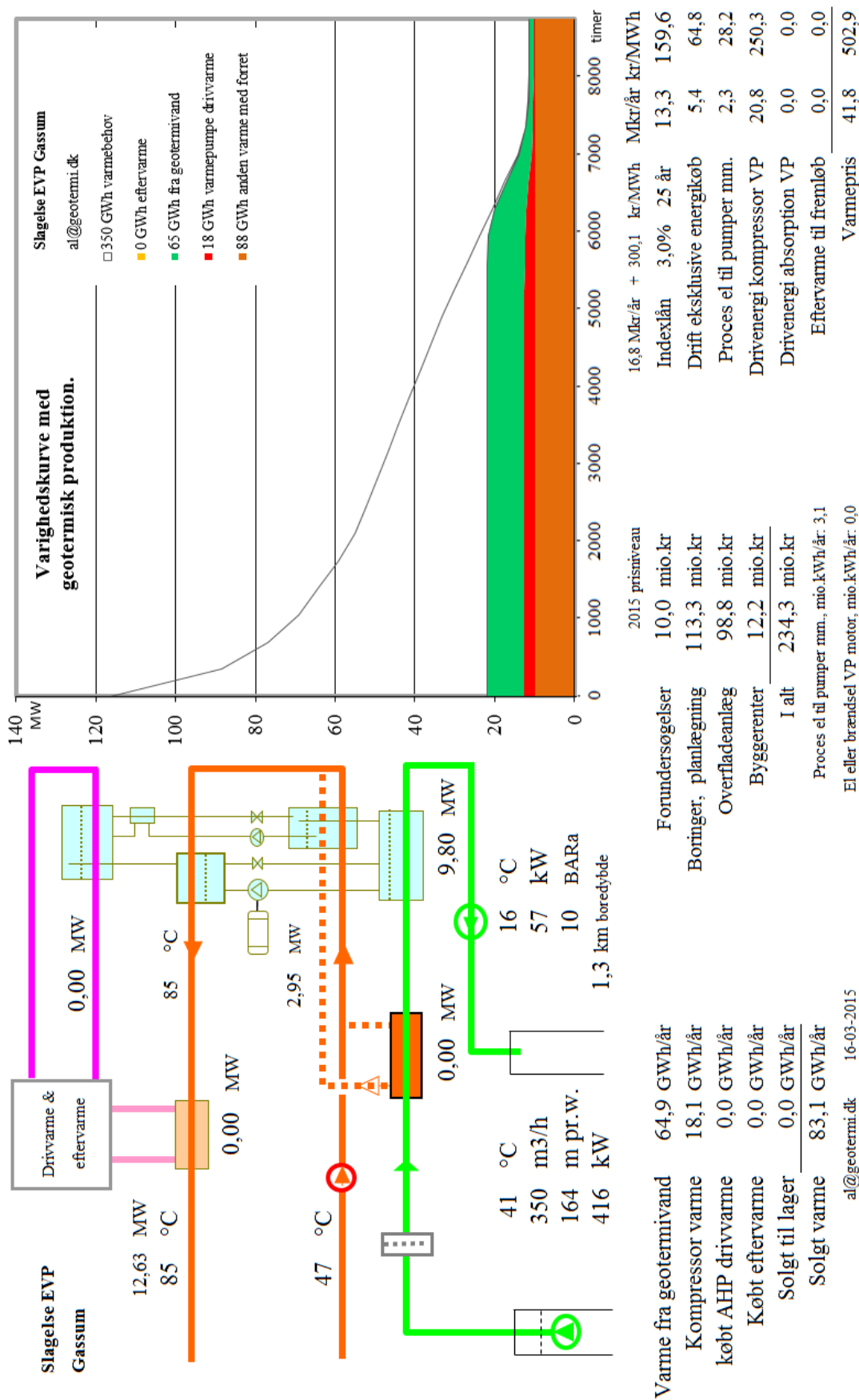
Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 66 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 319 kr./MWh.

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.



Varme fra geotermivand	66,3 GWh/år	2015 prisniveau	16,7 Mkr/år + 67,8	kr/MWh	Mkr/år	kr/MWh
Kompressor varme	0,0 GWh/år	Forundersøgelser	10,0	mio.kr	Indexlån	3,0%
købt AHP drivvarme	0,0 GWh/år	Boringer, planlægning	113,3	mio.kr	Drift eksklusive energikøb	5,4
Købt eftervarme	0,0 GWh/år	Overfladeanlæg	96,4	mio.kr	Proces el til pumper mm.	2,7
Solgt til lager	0,0 GWh/år	Byggerenter	12,1	mio.kr	Drivenergi kompressor VP	0,0
Solgt varme	66,3 GWh/år	I alt	231,7	mio.kr	Drivenergi absorption VP	0,0
		Proces el til pumper mm., mio.kWh/år.			Eftervarme til fremløb	0,0
		El eller brændsel VP motor, mio.kWh/år.			Varmepris	21,2
						319,5

Figur 1: Output fra geotermiPRO, med absorptionsvarmepumper.



Figur 2: Output fra geotermiPRO, med elvarmepumper.

Beregningsresultater Geotermianlæg ved Slagelse	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El- varmepump er	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	
Anlægskapacitet (vinter)					
1) Effekt fra geotermivand	MW	9,813		9,797	9,79
2) Effekt fra drivvarme	MW	13,835		N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000		N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	23,648		12,625	
5) Proces el	MW	0,553		0,488	
6) Varmepumpe el	MW	N/A		2,946	
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000		100,000	
8) Drivvarme	%	141,234		N/A	
9) Eftervarme	%	0,000		N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%	241,234		127,947	
11) Proces el forbrug	%	5,455		4,804	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A		27,947	
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	219,632		222,121	274,321
14) Byggerenter	mio. kr	12,098		12,158	13,328
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr/år	3,570		3,591	4,667
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr/MWh	26,929		21,616	

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 varmpumper. Anlægget kan skiftevis drives med absorptions- eller el-varmpumper.



De efterfølgende sider indeholder en specifik resultatrapport for Slagelse. 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.: Alternativt scenarie er hvor systemerne ikke er forlænget med brædder, men i stedet har investeret i nye teknologier, primært biomasse kraftvarme, solvarme og varmepumper.

4. Alt.m.geo.: Dette er et alternativt scenarie, hvor der før man har investeret i nye teknologier har implementeret et geotermianlæg. Det vil derfor stadig investere i nye teknologier, men i mindre omfang. Dette scenarie kan sammenlignes med Alternativt scenarie og se geotermianlæggs 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."

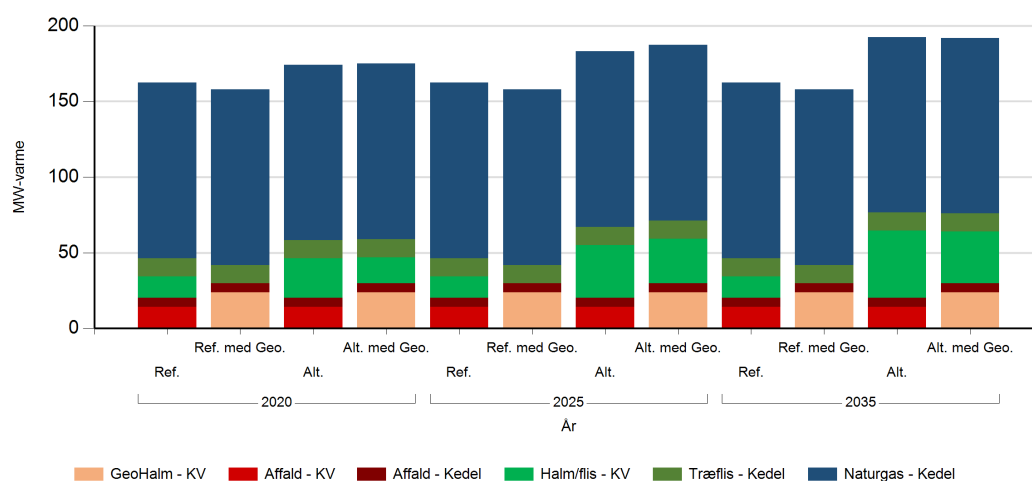
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- 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 Slagelse 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.
Affald - Kedel	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Naturgas - Kedel	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0
Træflis - 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		23.8		23.8		23.8		23.8		23.8		23.8
Halm/flis - KV	14.2		26.0	17.2	14.2		34.9	29.3	14.2		44.3	34.1
Affald - KV	14.2		14.2		14.2		14.2		14.2		14.2	

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

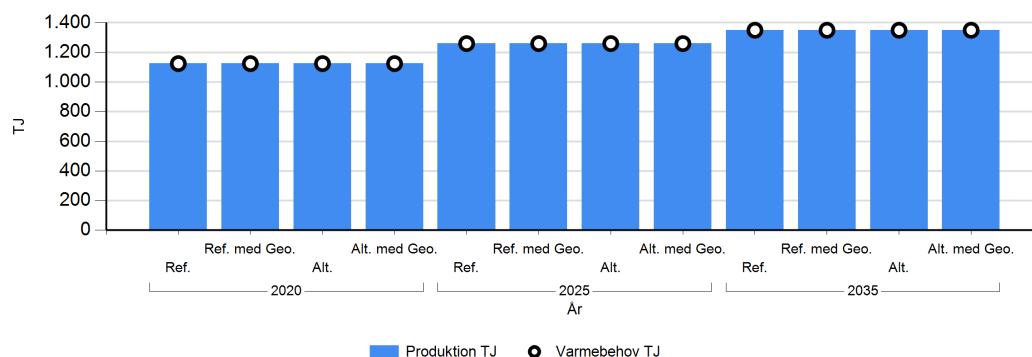
Solvarmeanlæg

m2	2035
Brændsel og Anlægstyper	Alt.
Solvarme	15.770

Tabel 2: Udvikling i kapaciteten af solvarmeanlæg for Slagelse.

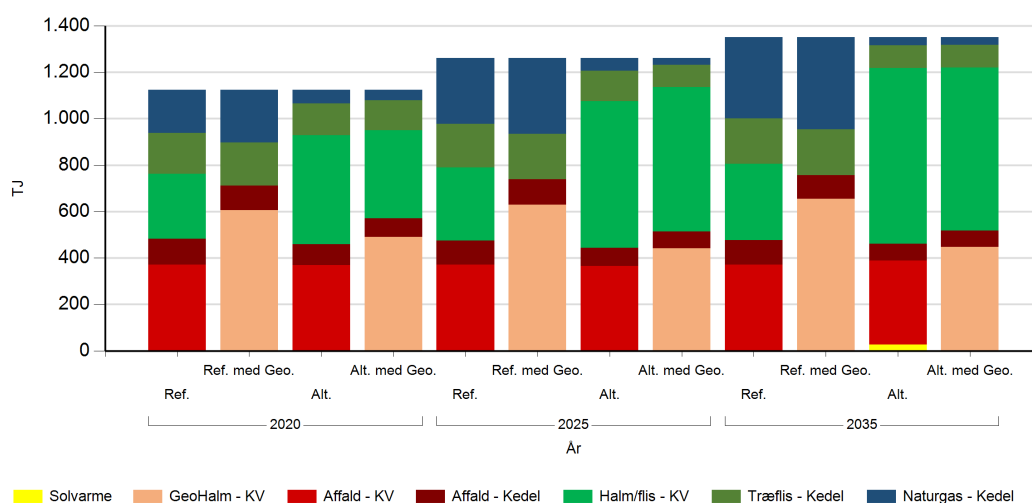
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



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

TJ Brændsler og Anlægstype	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
GeoHalm - KV		605,9		489,4		628,7		441,1		653,8		447,9
Affald - Kedel	111,3	106,1	90,0	81,1	102,8	109,5	79,2	73,2	104,9	101,4	72,5	69,8
Naturgas - Kedel	187,6	227,7	60,0	45,8	282,1	326,3	54,5	28,7	348,9	396,7	34,1	32,8
Træflis - Kedel	174,8	184,9	136,6	128,2	189,1	195,1	129,7	95,6	194,8	197,7	98,9	97,0
Affald - KV	371,4		368,0		371,3		364,1		371,4		361,9	
Halm/flis - KV	279,5		470,0	380,0	314,3		632,1	620,9	329,5		755,2	702,0
Solvarme											27,0	

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

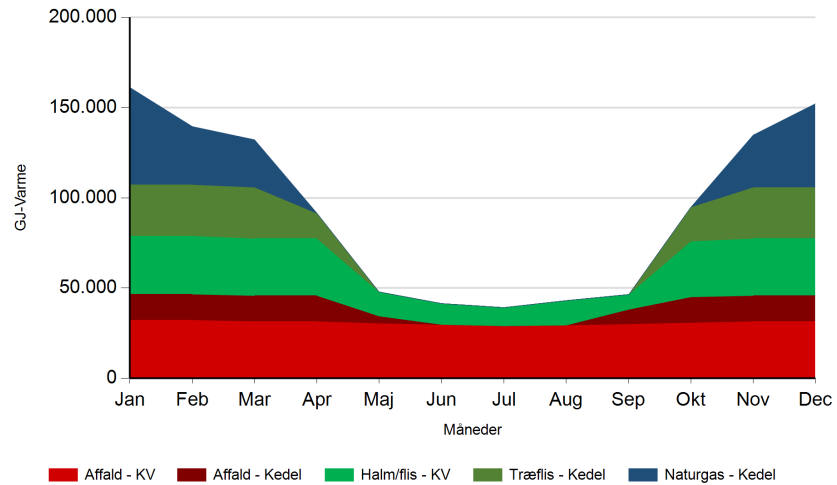
Fuldlasttimer for varmeproduktion

Fuldlast timer	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
GeoHalm - KV		7.061		5.704		7.327		5.141		7.619		5.220
Affald - Kedel	5.152	4.913	4.168	3.754	4.757	5.070	3.667	3.391	4.856	4.693	3.356	3.231
Naturgas - Kedel	449	545	144	110	676	781	130	69	836	950	82	78
Træflis - Kedel	4.045	4.281	3.162	2.968	4.377	4.516	3.001	2.213	4.509	4.576	2.288	2.246
Affald - KV	7.278		7.211		7.275		7.136		7.278		7.091	
Halm/flis - KV	5.477		5.070	6.148	6.160		4.961	5.882	6.457		4.659	5.724

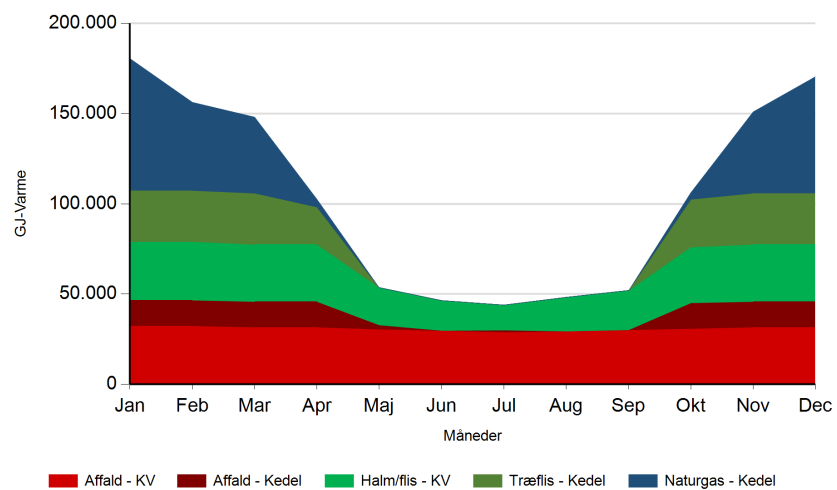
Tabel 4: Antal af fuldlasttimer for varmeproduktion i Slagelse.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Slagelse.

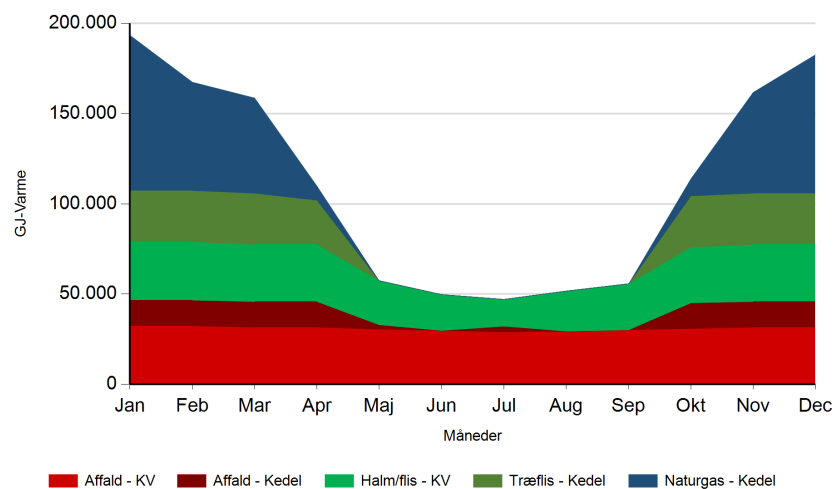
Ref. **2020**



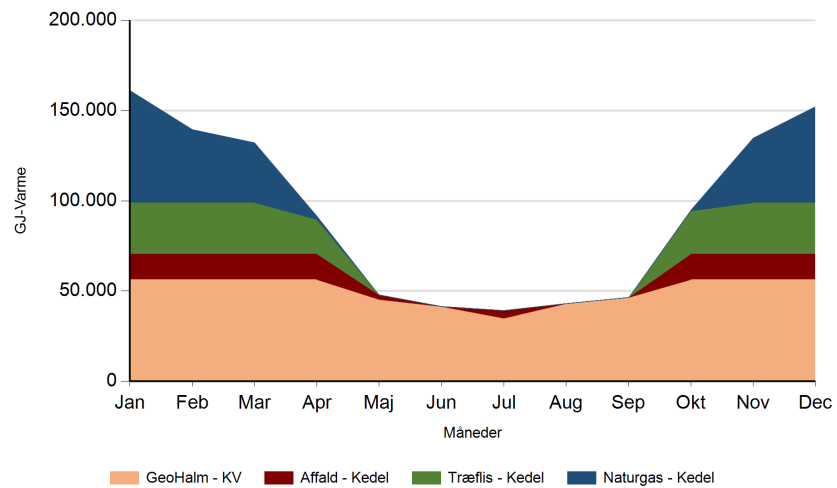
2025



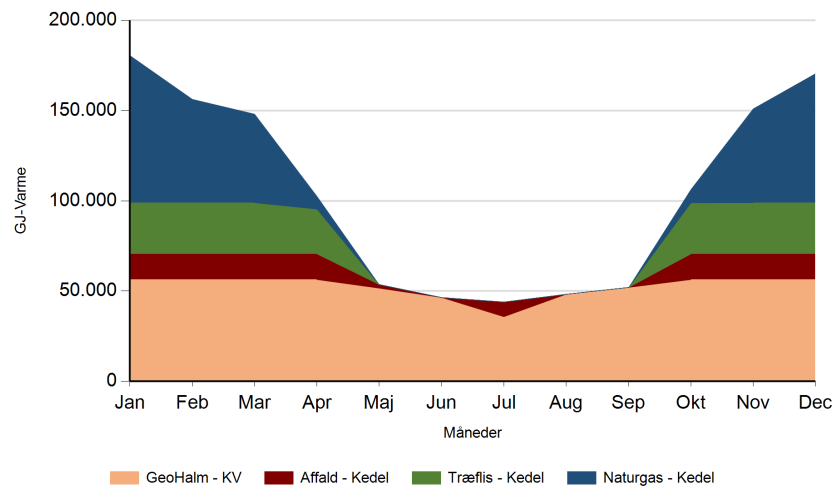
2035



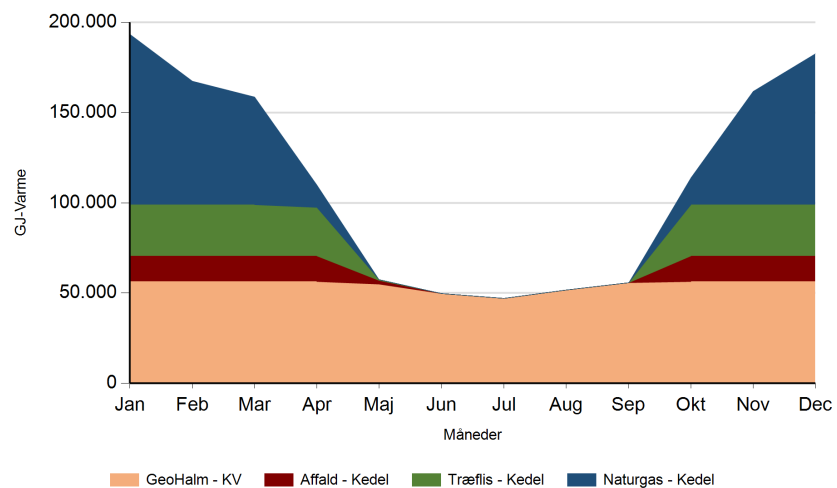
Ref. med Geo. 2020



2025



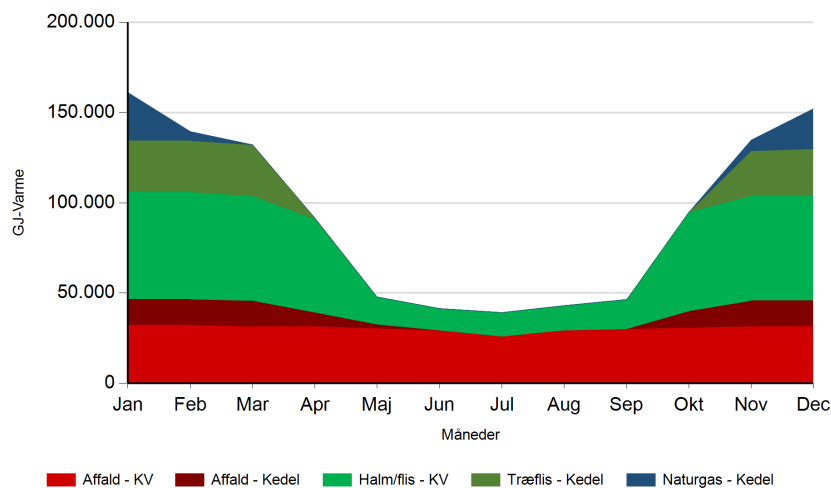
2035



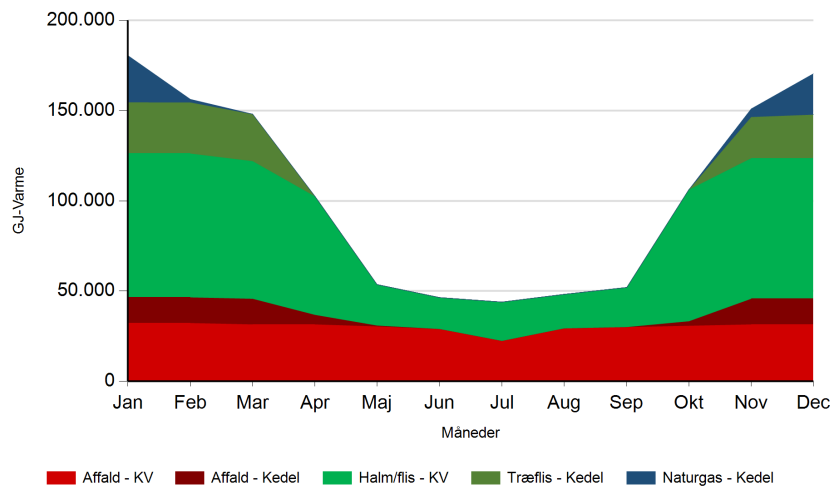


Alt.

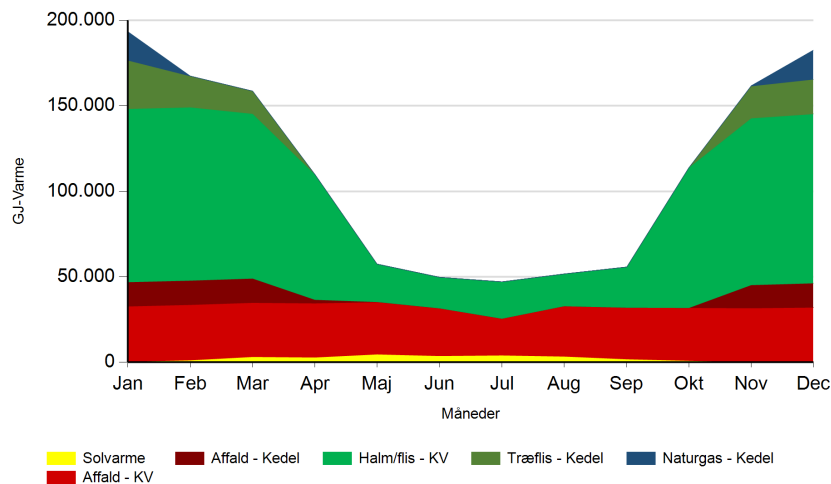
2020

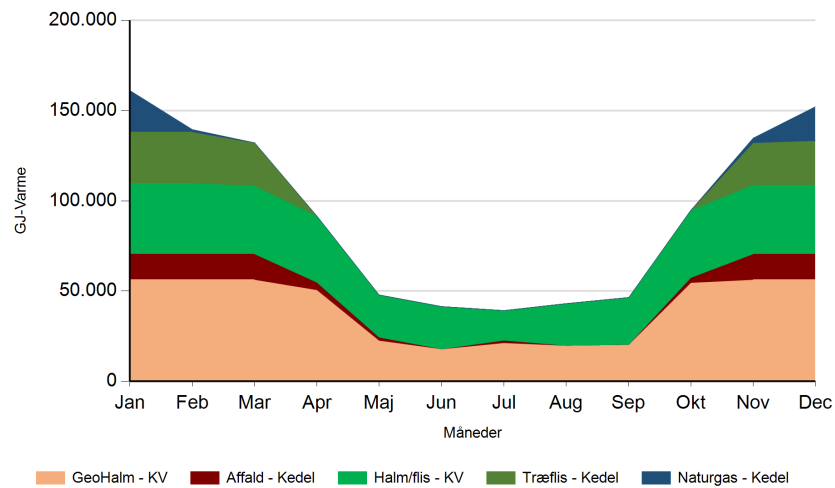
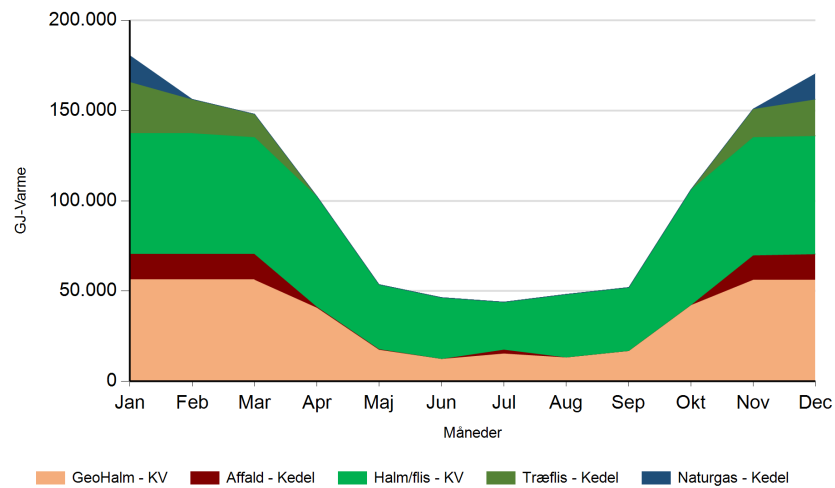
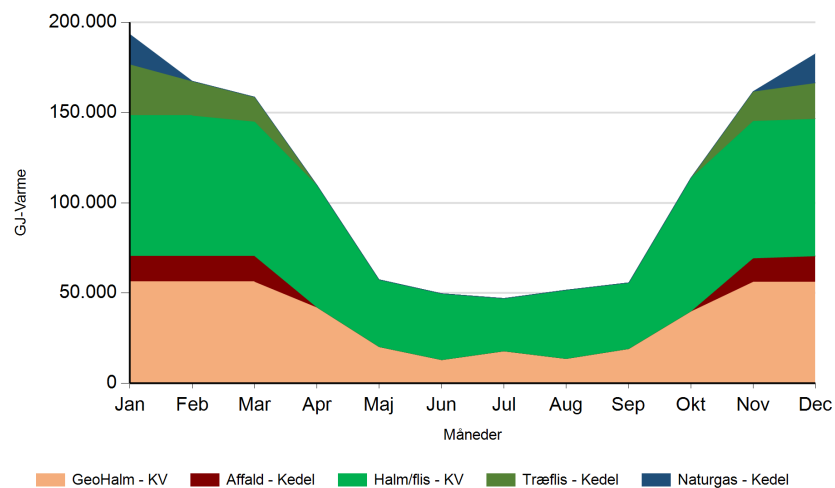


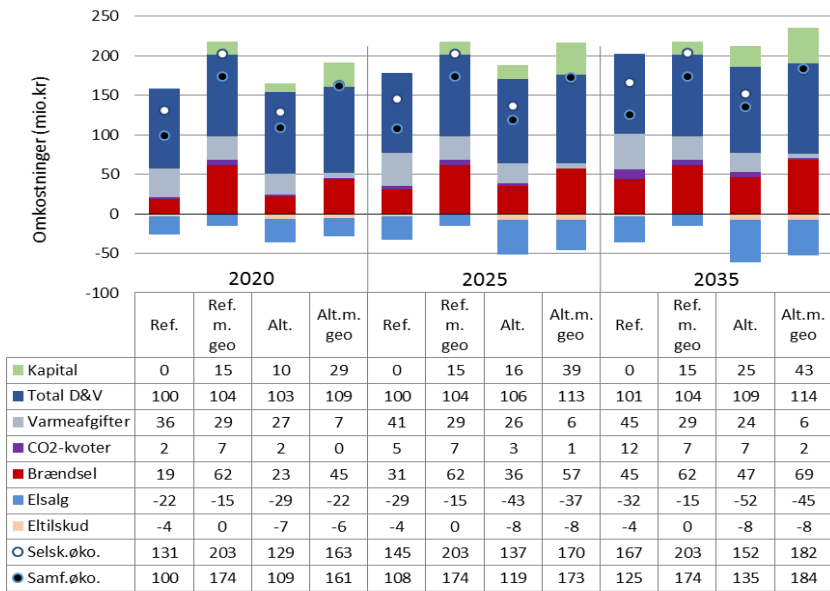
2025



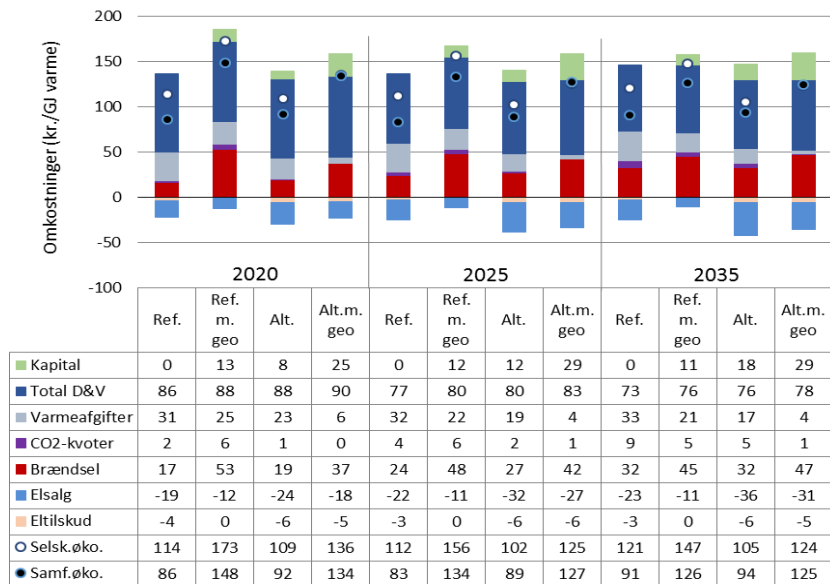
2035



Alt. med Geo. 2020

2025

2035

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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Slagelse



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Slagelse

Det geotermiske screeningsprojekt

Slagelse-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 Slagelse-lokaliteten	8
3.1	Anbefalinger	10
4.	Datagrundlag	11
5.	Gennemgang af data	14
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer	14
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	14
5.1.2	Boringsdata	16
5.2	Reservoirkvalitet	19
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	22
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	24
5.2.3	Permeabilitet.....	25
5.2.4	Transmissivitet	27
5.3	Temperatur	28
5.4	Salinitet.....	29
6.	Referencer	30

1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet beliggende i den nordlige del af Slagelse på adressen Dalsvinget 11, 4200 Slagelse (Figur 1). Udvalgelsen af lokaliteten er sket under hensynstagen til infrastrukturen på overfladen, herunder beliggenheden af eksisterende fjernvarmeanlæg og -net, samt ud fra driftsbetragtninger (primært temperatur og lastforhold).

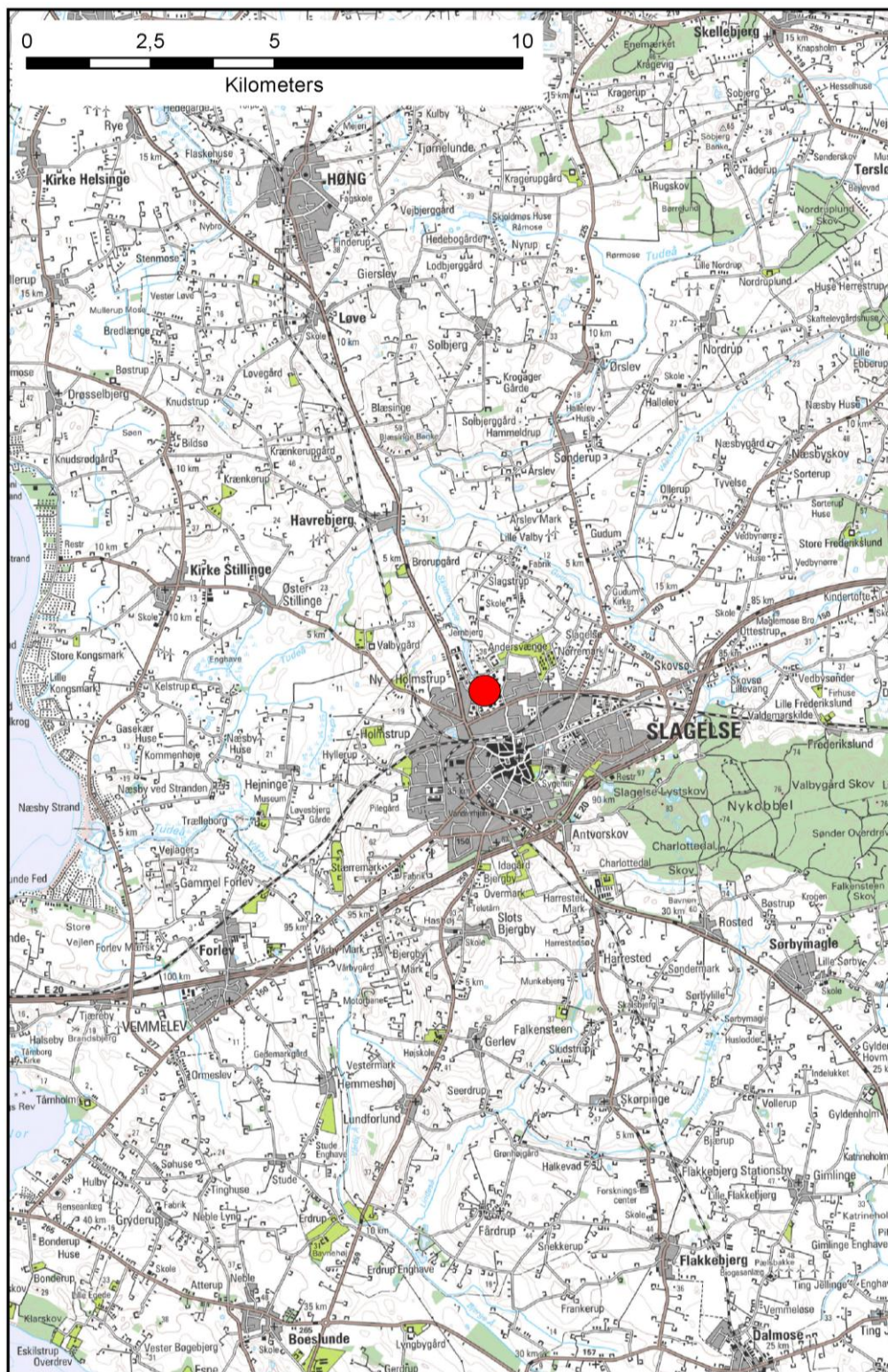
Slagelse fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er i udgangspunktet valgt ud fra, at deres varmemarked er større 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 Slagelseområdet, 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 Slagelse-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. 125 meter sandsten, der er beliggende mere end 1135 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 Slagelse-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-

gås 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 nordlige del af Slagelse.

2. Geologisk baggrund

Slagelse-området er beliggende i det Danske Bassin, som udgør den sydøstlige del af det Norsk–Danske Bassin, der blev dannet ved strækning af skorpen i Tidlig Perm tid. Mod syd afgrænses bassinet fra det Nordtyske Bassin ved Ringkøbing–Fyn Højderyggen, der er en del af et regionalt VNV–ØSØ-gående strøg af højtliggende grundfjeldsområder i undergrunden. Mod nordøst og øst afgrænses bassinet af den Fennoskandiske Randzone, som består af Sorgenfrei–Tornquist Zonen og Skagerrak–Kattegat Platformen, der udgør overgangen til det højtliggende grundfjeld i det Baltiske Skjold (Figur 2).

Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin fulgte en lang periode med indsynkning, hvor tykke aflejringer af Zechstein-salt blev dannet i bassinerne efterfulgt af aflejring af sand, mudder, karbonat og mindre saltdannelser i Trias og Tidlig Jura. Regional hævnning i tidlig Mellem Jura førte til en betydelig erosion af underliggende sedimenter, specielt op mod flankerne af og over det højtliggende grundfjeld i Ringkøbing–Fyn Højderyggen. Forkastningsbettinget indsynkning fortsatte dog i Sorgenfrei–Tornquist Zonen, hvor der aflejredes sand og mudder. Regional indsynkning fandt atter sted i løbet af den sene del af Mellem Jura og fortsatte generelt indtil Sen Kridt–Palæogen tid, hvor indsynkningen blev afløst af opløft og erosion relateret til den Alpine deformation og åbningen af Nordatlanten. Aflejringerne fra den sidste periode med indsynkning består af Øvre Jura – Nedre Kridt sandsten og i særdeleshed mudder- og siltsten efterfulgt af tykke karbonat- og kalkaflejringer fra Øvre Kridt, der udgør den øverste del af den mesozoiske lagserie i bassinerne. De betydelige mængder sedimenter, der blev aflejret gennem Mesozoikum, førte i perioder til, at underliggende aflejringer af salt fra Sen Perm tiden blev plastisk deformeret og nogle steder søgte opad langs svaghedszoner. Dette resulterede nogle steder i, at de overliggende lag blev løftet op (på saltpuder) eller gennembrudt af den opstigende salt (af salt diapirer). Over saltstrukturerne kan lagene være eroderet helt eller delvis bort eller ikke være aflejret, hvorimod forøget indsynkning nedenfor saltstrukturernes flanker (i randsænkerne) kan have ført til, at selvsamme lag er ekstra tykke i disse områder. Saltbevægelsen har endvidere mange steder været ledsaget af forkastningsaktivitet, og da tektonisk betinget forkastningsaktivitet også har fundet sted, er den strukturelle kontinuitet som følge heraf lille i dele af det Danske Bassin. Saltbevægelse er dog mindre udpræget i den sjællandske undergrund i forhold til i undergrunden i Jylland og det sydligste Danmark.

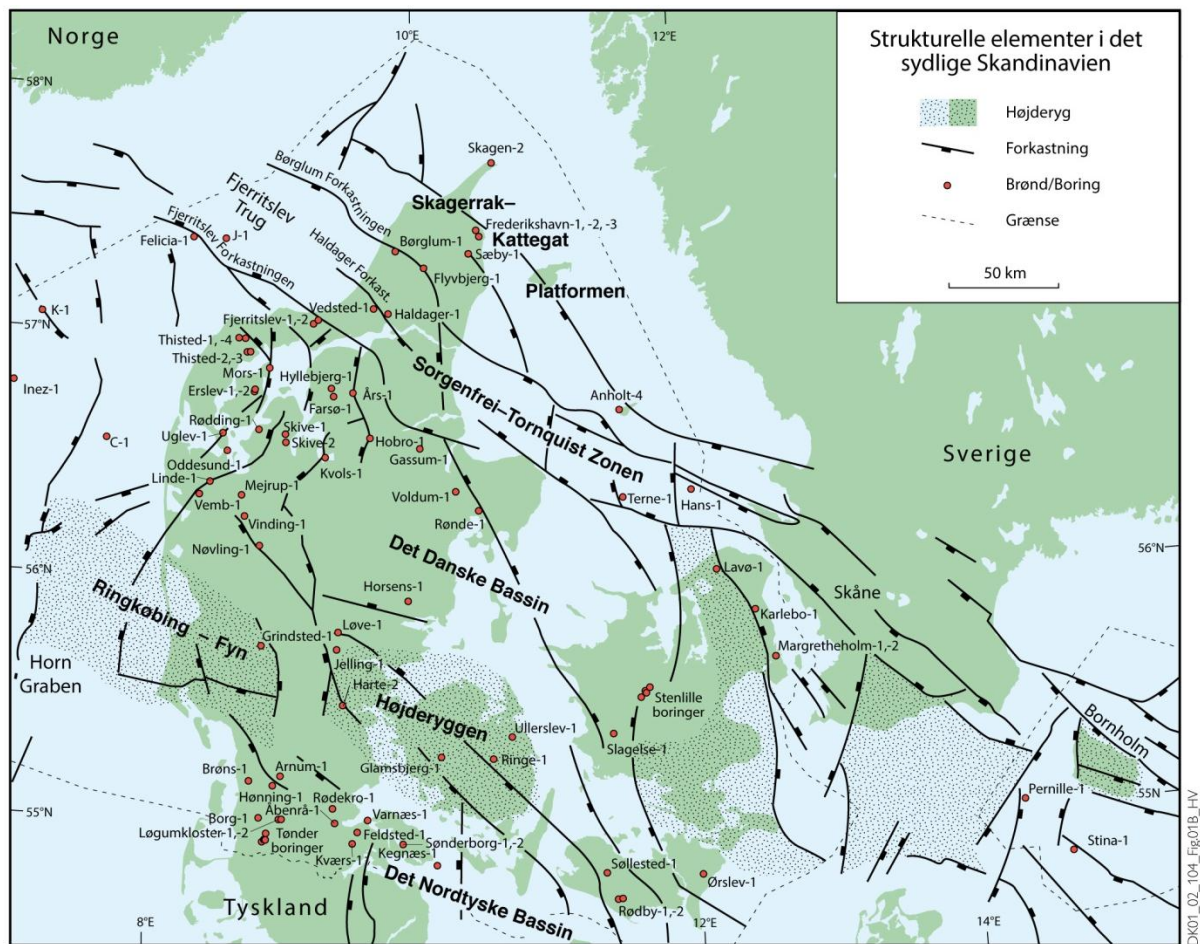
I Slagelse-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien omkring 2,5–3,0 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I regionen vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirer at kunne være til stede i den Nedre Triassiske Bunter Sandsten Formation og den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gasum Formation (Mathiesen 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 varieret.

rende, 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.

Baseret på boringsdata, er det GEUS' vurdering, at Gassum Formationen har de bedste reservoirgenskaber i Slagelse-området, og at denne derfor udgør det primære mål for dyb geotermisk indvinding. Fokus er derfor i det efterfølgende på Gassum Formationen i vurderingen af det geotermiske potentiale ved prognoselokaliteten ved Slagelse.

Gassum Formationen udgør det bedst kendte sandstensreservoir i Danmark og udnyttes til geotermisk indvinding i Thisted og Sønderborg samt til gaslagring ved Stenlille. Formationen er vidt udbredt i det Danske Bassin og til dels også i den danske del af det Nordtyske Bassin med en generel tykkelse på 30-150 meter og med tykkelser på op til mere end 300 meter i Sorgenfrei-Tornquist Zonen (Nielsen 2003). Derimod synes formationen generelt ikke at være til stede henover Ringkøbing–Fyn Højderyggen og langs dens flanker. Endvidere kan formationen stedvis mangle på grund af lokal hævning og erosion relateret til saltbevægelse i undergrunden.

Gassum Formationen domineres af fin- til mellemkornede, stedvis grovkornede, lysegrå sandsten, der veksler med mørkere-farvede ler- og siltsten og lokalt tynde kullag (Bertelsen 1978, Michelsen & Bertelsen 1979, Michelsen et al. 2003). Sedimenterne afspejler afsætning under gentagne havniveausvingninger i den sidste del af Trias Perioden og i starten af Jura Perioden (Nielsen 2003). I dette tidsrum var hovedparten af det danske indsynkningsområde et lavvandet havområde, hvortil floder transportererede 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 inklusiv 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 Slagelse-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Slagelse-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. 1110–1250 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 ca. 41 °C i midten af formationen. De øvrige reservoirværdier vurderes ligeledes positive 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 133 Darcy-meter ved prognoselokaliteten (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoir-kvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som "Potentielt reservoirsand" i Figur 6–8). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

Den seismiske datadækning er for ringe til at kunne bestemme, om forkastninger gennemskærer Gassum Formationen tæt ved 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.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 180 meter tyk med toppen liggende ca. 930 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 685 meter tykke og beliggende ca. 225–910 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.

Slagelse-lokaliteten			
UTMz32 X: 648.407 m; Y: 6.143.583 m Terrænkote: ca. 26 meter over havniveau (m.o.h.)			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1110	15 ³	944–1277 ³
Tykkelse af formation [m]	140	10 ³	126–154 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	125	15 ³	106–144 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	124	15 ³	105–142 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,88	15 ³	0,75–1,00 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,99	15 ³	0,84–1,00 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	27	10 ³	24–30 ³
Gas-permeabilitet [mD]	863	4 ⁷	216–3450 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	1078	4 ⁷	270–4312 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	133	5 ⁷	27–666 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	41	10 ³	37–45 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt fin til mellem kornstørrelse, men stedvis også mellem til grov i den nedre halvdel af formationen; sorterede til velsorterede; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Løse til faste, stedvis kalk- eller kvartscementerede		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Moderat til stor		
Strukturel kontinuitet	Lille, men vanskeligt at udtale sig præcist om 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 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 at 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. Udover at muliggøre en rumlig kortlægning af eventuelle forkastninger ved prognoselokaliteten bør den seismiske linjeføring lægges således, at den knytter lokaliteten til Stenlille-brøndene og Slagelse-1. Dette vil bidrage til en mere sikker tolkning af de seismiske data og til at kunne vurdere, hvor repræsentativ Gassum Formationen i brøndene er for lokaliteten. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 80 km ny seismik.

4. Datagrundlag

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

Nærmeste dybe brønd er Slagelse-1, der er beliggende ca. 5 km sydøst for prognoselokaliteten. Omkring 20 km nordøst for lokaliteten findes de mange Stenlille-brønde. Der er her valgt at lade Gassum Formationen ved gaslagret i Stenlille repræsentere ved data fra Stenlille-1 og -19. Mod vest findes Ullerslev-1 og Ringe-1 i en afstand af henholdsvis ca. 45 og 55 km fra lokaliteten (Figur 2). Begge brøndene er beliggende henover det højtliggende grundfjeld i Ringkøbing-Fyn Højderyggen, og i Ringe-1 er Gassum Formationen ikke til stede.

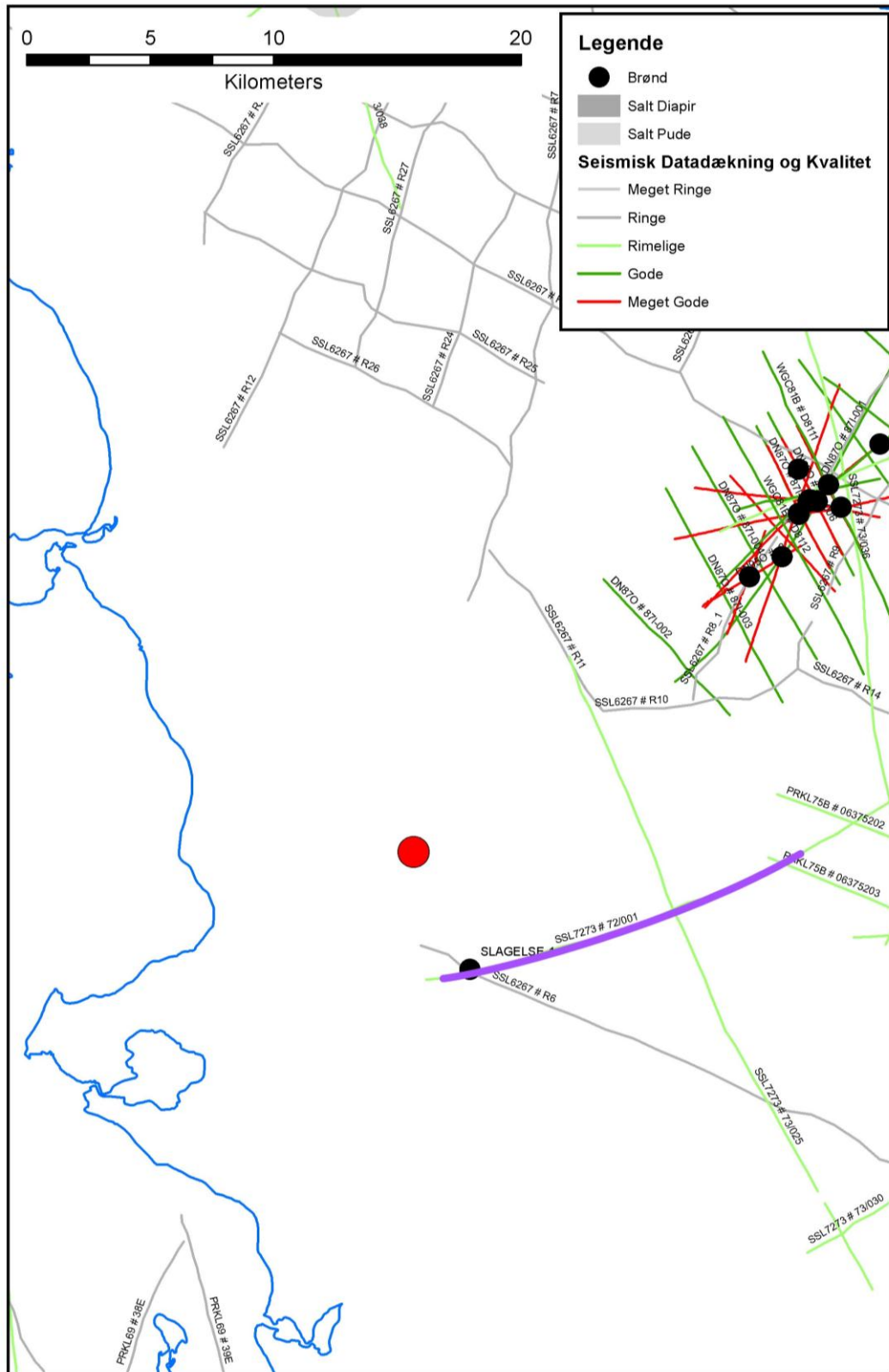
I Slagelse-1 er der ikke optaget en fuld logsuite, og det er derfor ikke muligt at tolke flere af de relevante reservoirparametre. I vurderingen af Gassum Formationens egenskaber ved prognoselokaliteten er det derfor mest oplagt at tage udgangspunkt i data fra Stenlille-brøndene, som ligger næst nærmest prognoselokaliteten. 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. Overordnet set vurderes brønddækningen til at være ringe, men kvaliteten af brøndata som værende god til vurderingen af reservoirlagenes egenskaber ved prognoselokaliteten.

I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen i Slagelse-1, Stenlille-1 og -19, hvoraf de to 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 indgår 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 meget ringe i området, men kvaliteten af de nærmeste 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 oversigtskortene i Figur 2 og 3. Tykkelse er i meter, og dybdeinterval er i meter under havniveau.

		Slagelse-1 (5 km)	Stenlille-19 (21 km)	Stenlille-1 (22 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	224–911	151–1178	150–1158
	Tykkelse (m)	687	1027	1008
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	932–1109	1284–1458	1205–1465
	Tykkelse (m)	177	174	260
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1133–1246	1458–1603	1465–1609
	Tykkelse (m)	113	145	144



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og nærmeste brønde (Slagelse-1 og Stenlillebrønde mod nordøst) samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. Den del af den seismiske linje 72/001, 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

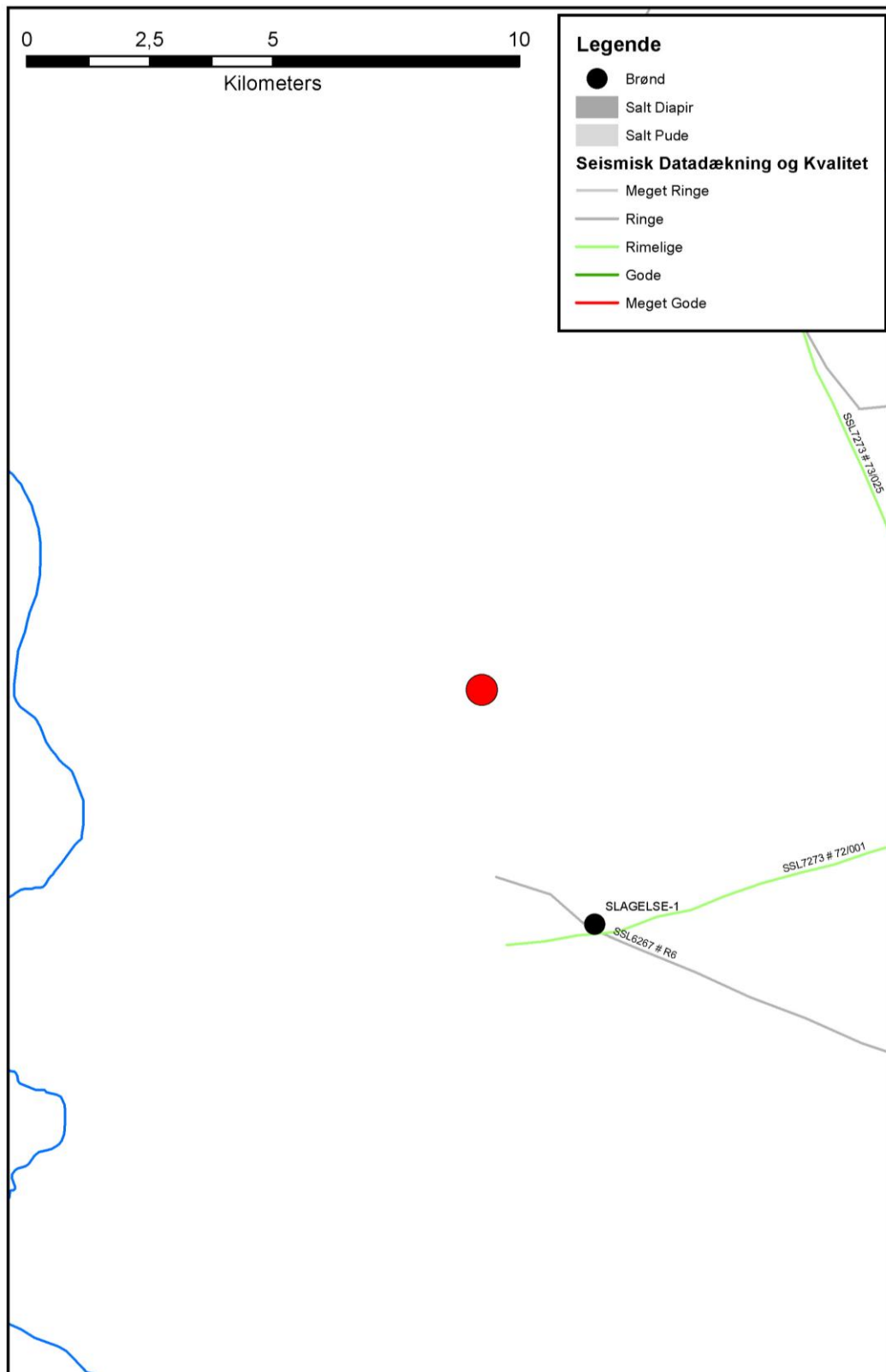
5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1. Gassum Formationens top vurderes til at være til stede ca. 1110 m.u.h. ved prognoselokaliteten med en vurderet usikkerhed på $\pm 15\%$ baseret på de seismiske data. Tykkelsen af formationen vurderes til at være 140 meter med en usikkerhed på omkring $\pm 10\%$.

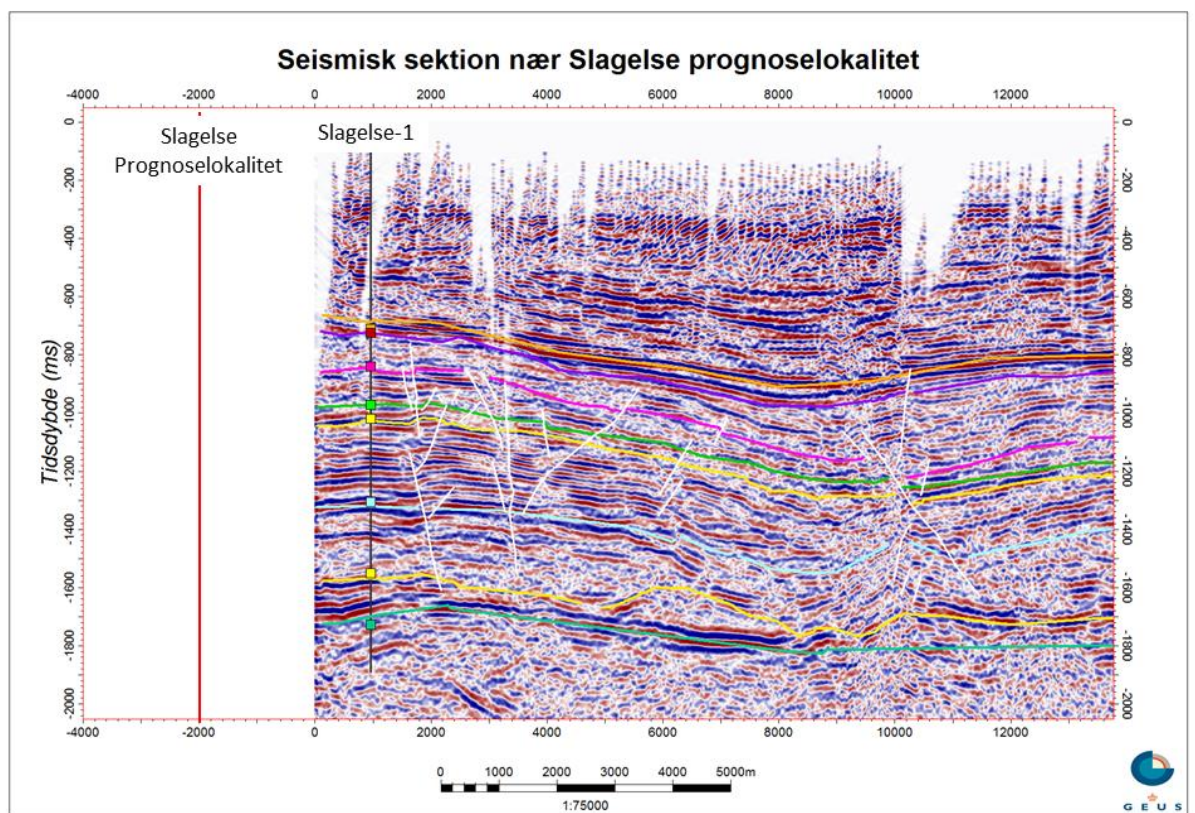
Den nærmeste seismiske linje af rimelig kvalitet er 72/001 (Figur 3 og 4), som er anvendt til at fremstille et omtrent sydvest–nordøst orienteret seismisk profil, der passerer syd om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 5 km. I Figur 5 er profilet vist med tolkede seismiske horisonter og med prognoselokalitet projiceret vinkelret ind for enden af profilet. Profilet viser, at der forekommer flere mindre forkastninger gennem Gassum Formationen i området. Endvidere forekommer der saltstrukturer i undergrunden, og som følge heraf vurderes den strukturelle kontinuitet i området til at være lille, men er dog vanskelig at udtale sig præcist om ved prognoselokaliteten på grund af den ringe seismiske datadækning.

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

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	225–910	685
Fjerritslev Fm	930–1110	180
Gassum Fm	1110–1250	140
Bunter Sandsten Fm	1865–2055	190



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten. Den seismiske linje 72/001 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: Seismisk profil baseret på den seismiske linje 72/001, der passerer syd om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 5 km (Figur 3 og 4). Prognoselokalitet er projiceret vinkelret ind for enden af profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Profilet viser, at der forekommer flere mindre forkastninger (markeret med hvide streger) gennem Gassum Formationen i området. Det fremgår også af profilet, at der i Slagelse-området forekommer mindre saltstrukturer i Zechstein Gruppen. Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren (også markeret ved farvede rektangler i Slagelse-1 boringen): 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 Fm (gul) og Top Pre-Zechstein Fm (turkisgrøn). På figuren fremgår endvidere de nominelle tidsdybder af de tilsvarende lithologiske grænser i Slagelse-1 brønden.

5.1.2 Boringsdata

Tabel 5.2 giver en oversigt over nogle af de brønde på Sjælland, samt Ullerslev-1 fra Fyn, som giver information om Gassum Formationen. I tabellen ses tykkelsen af formationen i de enkelte brønde. Endvidere er der vist hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoireregenskaber (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.

I den nærmeste brønd til prognoselokaliteten, Slagelse-1, har Gassum Formationen en tykkelse på ca. 113 meter, mens tykkelsen er ca. 145 meter i Stenlille-1 og -19. Dybden til toppen af Gas-

sum Formationen er vurderet til 1110 m.u.h. ved prognoselokaliteten baseret på de seismiske data, hvilket indebærer, at formationen ikke ligger helt så dybt som i Stenlille-1 (1466 m.u.h.) og Stenlille-19 (1458 m.u.h.). Det vurderes dog ikke nødvendigt at dybdekorrigerer reservoirdata fra Stenlille-boringerne, når de indgår i en prognose for Slagelse-lokaliteten.

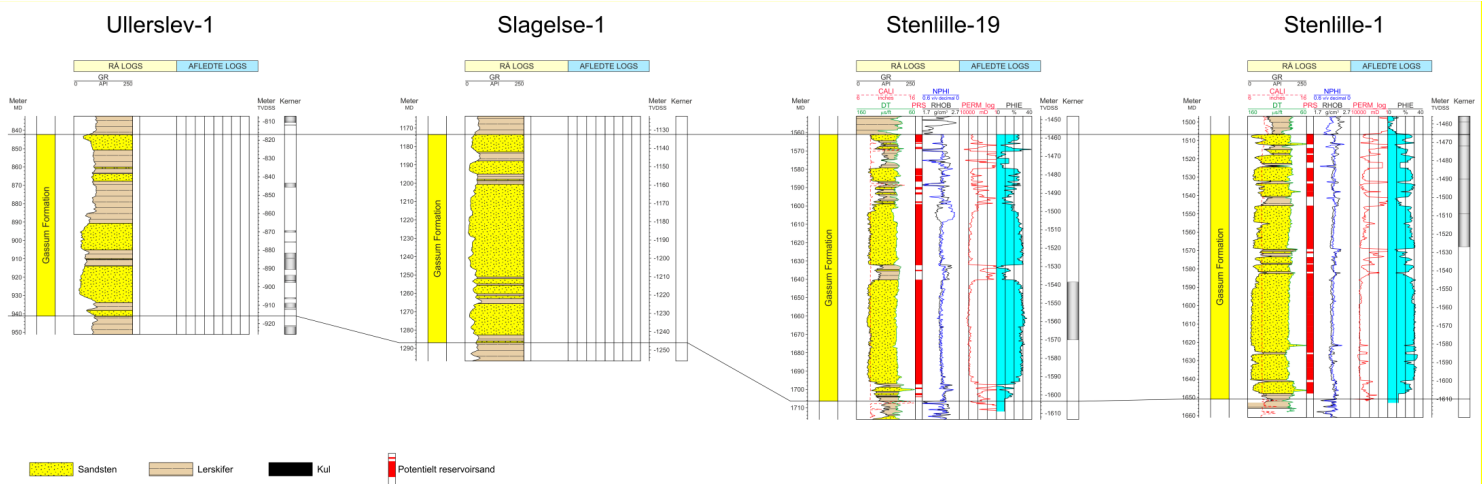
Over afstande viser Gassum Formationen en variation i den interne fordeling af sand- og lersten; eksemplificeret ved Ullerslev-1, Slagelse-1, Stenlille-19 og Stenlille-1 i Figur 6. Nogle af sandstensintervallerne kan korreleres regionalt mellem brøndene i form af sekvensstratigrafiske enheder, mens enkelte kiler ud mellem brøndene. En sådan variation afspejler det oprindelige aflejringstilstand; 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 faldende 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 Slagelse-området kan der endvidere være 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 del af formationen repræsenterer sandstensintervallerne hovedsageligt kystsandsaflejringer, der har en stor geografisk udbredelse i undergrunden (Hamberg & Nielsen 2000), og flere af disse sandstensintervaller er sandsynligvis også til stede ved prognoselokaliteten. Flod- og estuarie-sandstenene er tolket til at være aflejret indenfor nedskårne dale og har derfor sandsynligvis en mere begrænset udbredelse, men vurderes også at kunne være til stede ved lokaliteten. På baggrund af ovenstående vurderes den sedimentologiske kontinuitet som værende moderat til stor.

Tabel 5.2: Tykkelser af Gassum Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoiregenskaber (Potentielt reservoirsand), i sjællandske brønde og i Ullerslev-1, 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
Slagelse-1	113	101	
Stenlille-1	144	124	123
Stenlille-19	145	99	98
Lavø-1	75	50	
Margretheholm-1/1A	135	63	54
Karlebo-1/1A	127	60 ¹	40 ¹
Ullerslev-1	99	38	

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



Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationen i Ullerslev-1, Slagelse-1, Stenlille-19 og Stenlille-1 (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. Det er ikke muligt at tolke Potentielt reservoirsand for Ullerslev-1 og Slagelse-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 udgangspunkt i logdata fra Stenlille-1 og -19. Logdata fra Slagelse-1 er dog 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 de tre brønde ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der i forbindelse med udførelsen af Stenlille-1 og -19 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 de tre boringer (Datalog Technology 2000, DGU 1981, Dapco 1959). Kerneintervallerne i Stenlille-1 dækker et samlet interval på ca. 61 meter fra den øverste del af Gassum Formationen, mens kernen fra Stenlille-19 dækker et interval på omkring 31 meter fra den nedre halvdel af formationen (de kernede intervaller fremgår i Figur 6–8). De optagne og tolkede logs i brøndene er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

De tolkede reservoirværdier for Gassum Formationen i Stenlille-1 og -19 ses i 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 reservoirværdierne ved prognoselokaliteten generelt er større end de angivne usikkerheder på reservoirværdierne for de fire brønde. 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 Slagelse-1, Stenlille-1 og -19 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner
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)
Stenlille-19	1561–1706	1642–1673 ¹	Ingen

¹Kernen er placeret ca. 12 meter dybere end angivet i Datalog Technology 2000 baseret på en sammenligning af logporøsiteter med kerneporøsiteter.

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 sammen 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 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)
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 Gassum Formationen i Stenlille-1 brønden.

Stenlille-1			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1466	1 ³	1451–1480 ³
Tykkelse af formation [m]	144	1 ³	143–146 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	124	5 ³	118–130 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	123	5 ³	116–129 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,85	5 ³	0,81–0,89 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,99	5 ³	0,94–1,00 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	27	5 ³	26–28 ³
Gas-permeabilitet [mD]	725	3 ⁷	242–2175 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	906	3 ⁷	302–2718 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	111	3 ⁷	37–333 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til mellem kornstørrelse, stedvis mellem til grov i den nedre halvdel af formationen; velsorteret; subkantede til subafrundede 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.

Tabel 5.6: *Estimerede reservoiværdier for Gassum Formationen i Stenlille-19 brønden.*

Stenlille-19			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoiparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1458	1 ³	1444–1473 ³
Tykkelse af formation [m]	145	1 ³	143–146 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	99	5 ³	94–104 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	98	5 ³	93–103 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,68	5 ³	0,64–0,71 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,99	5 ³	0,94–1,00 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	27	5 ³	26–29 ³
Gas-permeabilitet [mD]	1000	3 ⁷	333–3000 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	1250	3 ⁷	417–3750 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	123	3 ⁷	41–369 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til mellem i kornstørrelse; sorteret til velsorteret; subkantede til subafrundede		
Diagenese/cementering	Løs, spor af calcit og pyrit		

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.

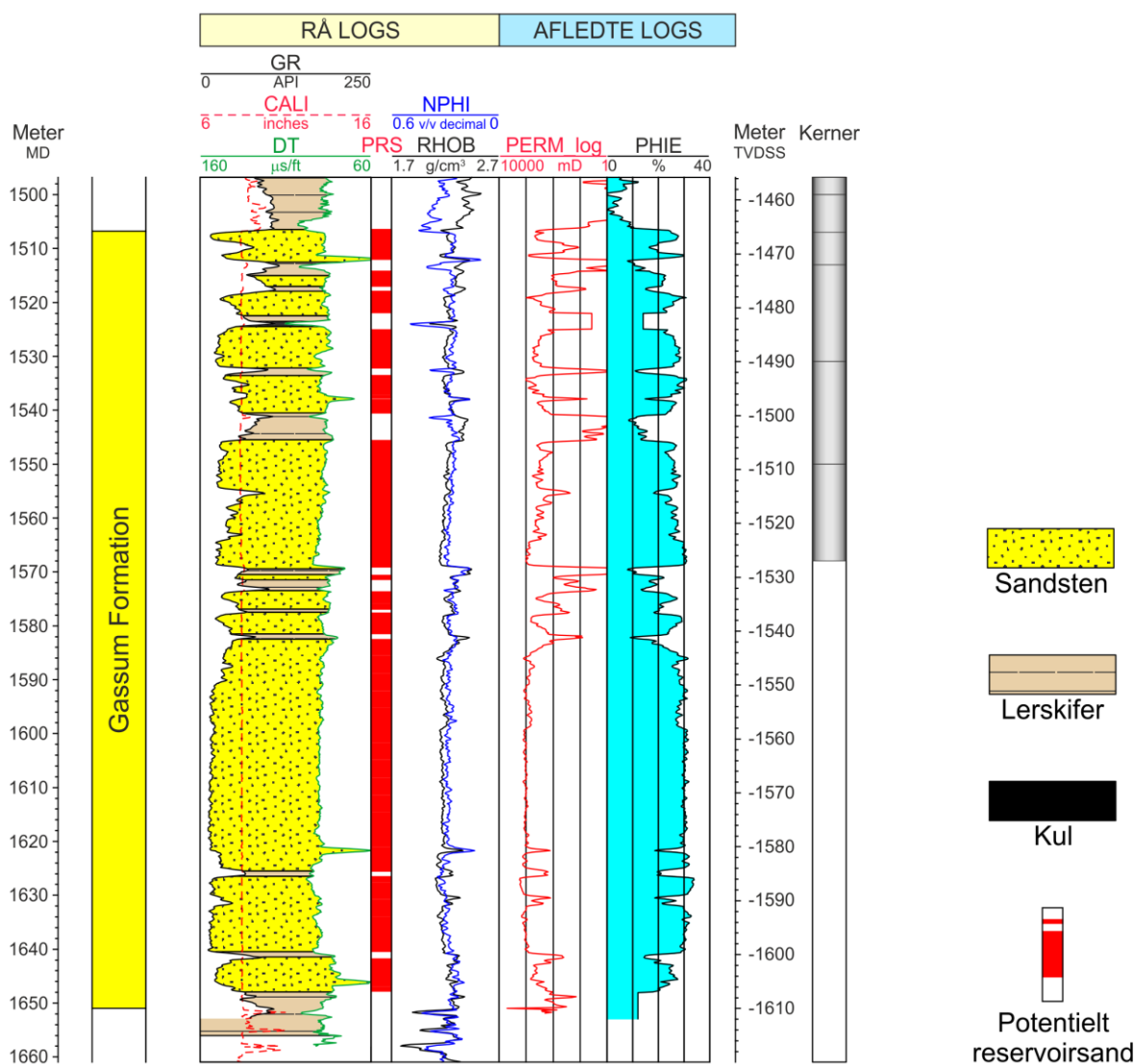
⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoiforhold.

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale fra Stenlille-1, -19 og Slagelse-1 borerne har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Gassum Formationen, det vil sige en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten (Figur 6–8). Borespåne-beskrivelserne understøtter log-tolkningen, men er dog mangelfulde for Slagelse-1, hvor oplysningerne i det væsentligste begrænser sig til, at sandstenene er meget finkornede (Dapco 1959). Det fremgår af borespåne- og kernebeskrivelserne fra Stenlille-1 og -19, at sandstenene i Gassum Formationen hovedsageligt er fin- til mellemkornede,

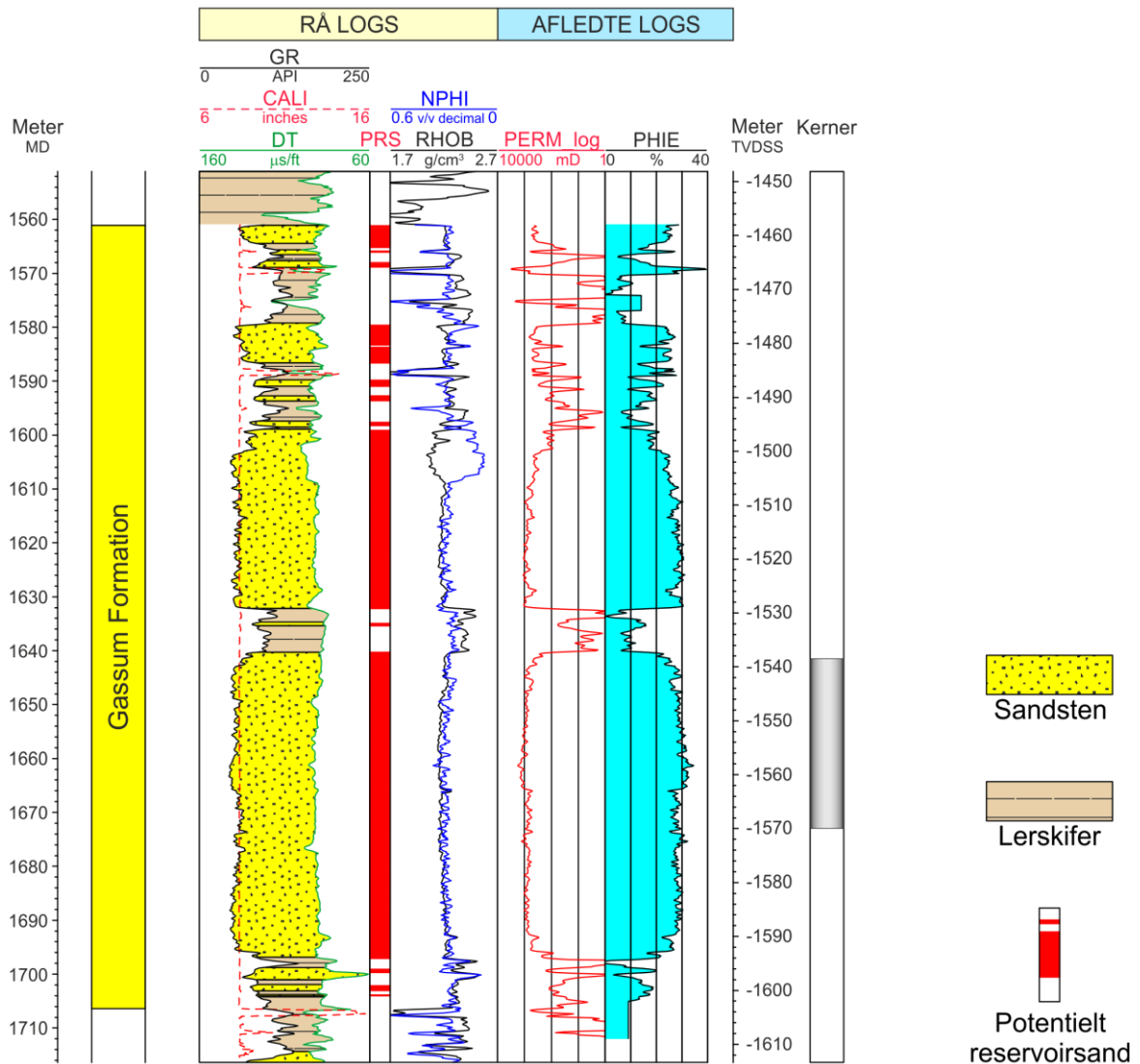
men stedvis også mellem til grovkornede i den nedre halvdel af formationen. Endvidere beskrives sandstenene som værende sorterede til velsorterede med subkantede til afrundede sandkorn samt løse til faste og stedvis kalk- eller kvartscementerede (Datalog Technology 2000, DGU 1981).

Stenlille-1



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Stenlille-1 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologi-kolonne er afgrænset af gamma-ray (GR) og sonic (DT) loggene. Sektioner med Potentielt reservoirsand (PRS) er markeret med rødt fyld. Porøsitetsestimater (PHIE) er fremhævet med lyseblå 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.

Stenlille-19



Figur 8: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Stenlille-19 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologi-kolonnen er afgrænset af gamma-ray (GR) og sonic (DT) loggene. Sektioner med Potentielt reservoirsand (PRS) er markeret med rødt fyld. Porøsitetsestimatet (PHIE) er fremhævet med lyseblåt fyld, og permeabilitets-estimatet (PERM_log) er plottet som en rød kurve. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.4. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tykkelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

5.2.2 Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet

I Slagelse-1, Stenlille-1 og -19 er Gassum Formationen henholdsvis 113, 144 og 145 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 101 meter i Slagelse-1, 124 meter i Stenlille-1 og ca. 99 meter i Sten-

lille-19 (Tabel 5.2). Tolkningen af Gross-sandets tykkelse er baseret på en forudgående tolkning af ler-mængden ud fra gamma-loggen, idet det antages, at mængden af ler er proportional med gamma-loggens respons fratrukket baggrundsstrålingen (Tabel 5.7). 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 %. Forholdet mellem tykkelsen af Gross sand og formations-tykkelse er 0,89 i den nærmeste boring Slagelse-1. Dette forhold er anvendt til at vurdere tykkelsen af Gross sand ved prognoselokaliteten, hvor Gassum Formationen er vurderet til at være noget tykkere end i Slagelse-1 (140 meter contra 113 meter). Gross sand er således vurderet til ca. 125 meter ved prognoselokaliteten (givet ved $0,89 \times 140$ meter).

Andelen af Potentielt reservoirsand kan ikke beregnes for Slagelse-1, men er for Stenlille-1 og -19 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 ler-indholdet (Vshale) være mindre end 30 %. Ud fra disse kriterier er mængden af Potentielt reservoirsand i Gassum Formationen vurderet til ca. 123 meter i Stenlille-1 og ca. 98 meter i Stenlille-19 (Tabel 5.2). Forholdet mellem tykkelsen af Potentielt reservoirsand og Gross sand er 0,99 i både Stenlille-1 og -19, og følgelig er gennemsnittet af disse tilsvarende 0,99. Gennemsnitsværdien er anvendt til at vurdere tykkelsen af Potentielt reservoirsand ved prognoselokaliteten, hvor Gross sand er vurderet til 125 meter. Potentielt reservoirsand er således vurderet til 124 meter ved lokaliteten (givet ved $0,99 \times 125$ meter).

Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 27 % i både Stenlille-1 og -19 (Tabel 5.5 og 5.6), og reservoirsandstenene ved prognoselokaliteten tilskrives derfor også en gennemsnitsporøsitet på 27 %. Porøsitetstolkningen af Stenlille-boringerne er baseret på en ler-korrigeret densitets-log, og der er i den forbindelse anvendt en sandstens-densitet på 2,65 g/cc svarende til densiteten for ren kvarts.

Tabel 5.7: Responsparametre for gamma-ray (GR) for Stenlille-1 og -19 boringerne 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	2,9	10

5.2.3 Permeabilitet

For det sjællandske område findes der kun kernemateriale af Gassum Formationen fra to lokaliteter, nemlig Stenlille (konventionelle kerner) samt Margrethholm-2 (sidevægskerner). De mange kerneanalyzedata fra Stenlille-boringerne er plottet i Figur 9, og på baggrund af den eksisterende viden om aflejningsforholdene i Gassum tid, anser GEUS disse data for repræsentative for den del af Gassum Formationen, der er beliggende indenfor det Midt- og Vestsjællandske område, herunder Slagelse. De fleste Stenlille-kerner (fra Stenlille-1 til -15) er taget i den øvre del

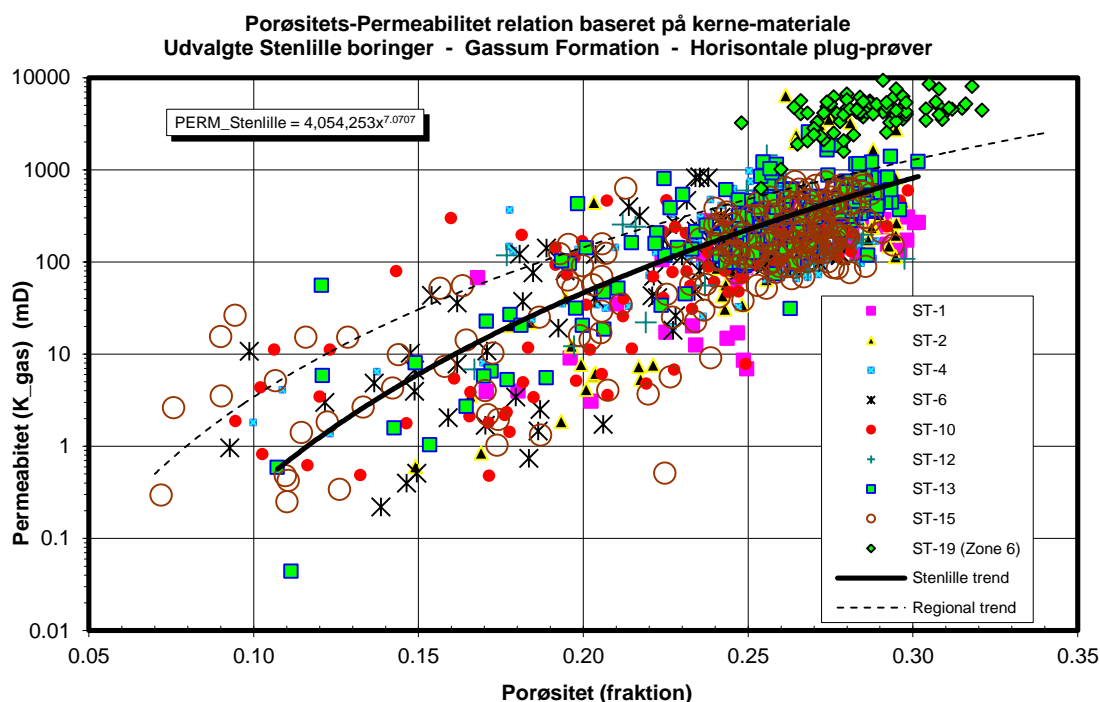
af Gassum Formationen, hvorimod Stenlille-19 analyserne repræsenterer den nedre del af Gassum Formationen. Det er imidlertid ikke muligt at fremkomme med en tendenslinje, der både inkluderer data fra den øvre og den nedre del af Gassum Formationen. Derfor er der her valgt at beregne permeabiliteten ud fra GEUS' regionale model (stiplede linje i Figur 9), der er baseret på data fra Gassum Formationen fra udvalgte borer beliggende på Sjælland og i Jylland. Den regionale model tager behørigt hensyn til variationen i permeabiliteten indenfor Gassum Formationen ved Stenlille, idet den regionale model i nogen grad overvurderer den faktiske permeabilitet indenfor den øvre del af Gassum Formationen, men undervurderer permeabiliteten i den nedre del. Ud fra denne betragtning anses den regionale model for en plausibel model til beregning af gennemsnits-permeabiliteter for reservoirsandstenene i Gassum Formationen, når det gælder Midt- og Vestsjælland.

Permeabiliteten er dernæst beregnet for hver log-læsning, dvs. log-porøsiteterne er omregnet til log-permeabiliteter for hver halve fod (15 cm). Under anvendelse af den førnævnte regionale model samt de 'cut-off' værdier, der er nævnt i afsnit 5.2.2, er den gennemsnitlige gas-permeabilitet (vægtet gennemsnit) for reservoirsandstenene estimeret til ca. 725 mD for Stenlille-1 og ca. 1000 mD for Stenlille-19. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 906 og 1250 mD for henholdsvis Stenlille-1 og -19. Reservoirsandstenene ved prognoselokaliteten tilskrives et gennemsnit af disse værdier, således at den gennemsnitlige gas-permeabilitet og reservoir-permeabilitet vurderes til henholdsvis 863 og 1078 mD ved lokaliteten.

I udgangspunktet knytter der sig en stor usikkerhed til den estimerede reservoir-permeabilitet, da beregningen af denne i det væsentligste bygger på en erfaringsbaseret opskalering af de laboratorie-bestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af omregning til væskepermeabilitet. Særligt den store spredning på kernemålingerne, der ligger til grund for den estimerede porøsitet-permeabilitet korrelation, bidrager til usikkerheden. Det er derfor vanskeligt at bestemme en repræsentativ reservoirpermeabilitet, og det er desuden svært at vurdere usikkerheden på permeabilitets-bestemmelsen. Hvis der kun fokuseres på den øvre del af Gassum Formationen, vurderes det, at usikkerhedsbåndet kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 3 - svarende til at dividere ("Low case"), henholdsvis gange ("High case"), "Stenlille trend-linjen" i Figur 9 med denne faktor. I en mere gængs tolkning (af hele formationen) vil usikkerhedsbåndet dog normalt tolkes til at være lidt bredere, svarende til en usikkerhed på en dividere/gange faktor på 5.

I Stenlille-1 og -5 er der foretaget produktionstest, som kan inddrages i usikkerhedsvurderingen af den estimerede reservoirpermeabilitet. Ud fra produktionstestene vurderes reservoirpermeabiliteten til at være i størrelsesordenen af 100–750 mD (Mathiesen et al. 2014), og dermed lidt mindre end den estimerede reservoirpermeabilitet på 906 mD for Stenlille-1. Forskellen skyldes sandsynligvis til dels, at det kun er intervaller fra den øvre del af Gassum Formationen, der er testet i Stenlille-1; den mere høj-permeable nedre del af Gassum Formationen indgår således ikke i testintervallet. Resultaterne af produktionstestene sandsynliggør, at reservoirpermeabiliteten i Stenlille-1 og -19 er bestemt med en større sikkerhed end givet ved en dividere/gange faktor på 5. Med støtte i reservoirtestene er det GEUS' vurdering, at usikkerheden godt kan reduce-

res til en dividere/gange faktor på 3, og ved prognoselokaliteten en faktor højere (faktor 4) grundet den usikkerhed, der knytter sig til ekstrapoleringen af boringsdata.



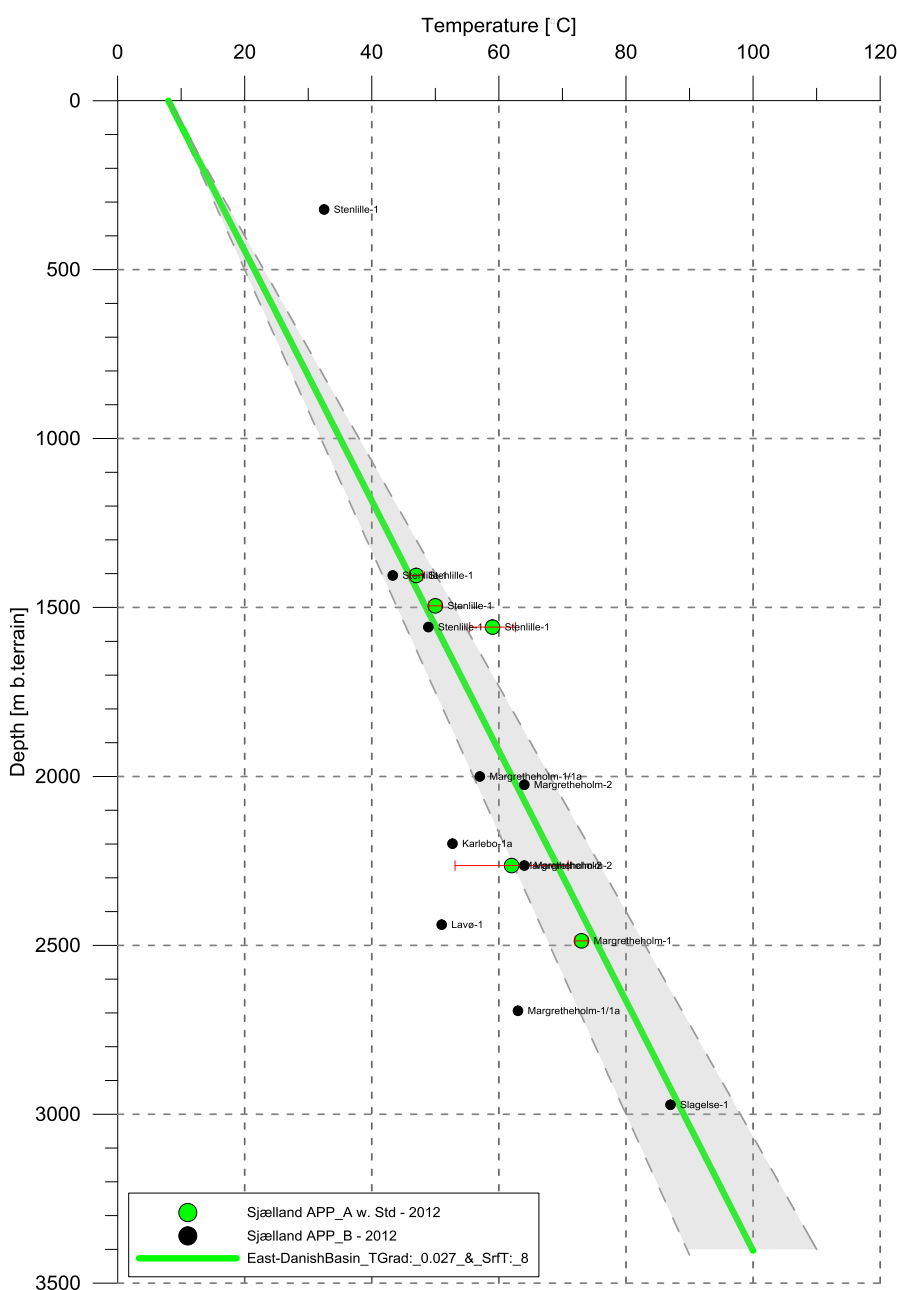
Figur 9: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerne-analyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug prøver. Den fuldt optrukne linje repræsenterer tendenslinjen for Stenlille-1 til -15 datapunkterne, der stammer fra den øvre del af Gassum formationen (Zone 1–5). Data fra Stenlille-19 stammer fra den nedre del af Gassum Formationen (Zone 6). Den stiplede linje repræsenterer GEUS' regionale model og antages, ud fra en gennemsnitsbetragtning, at være gældende for Slagelse-området.

5.2.4 Transmissivitet

Endelig er den forventede transmissivitet beregnet på baggrund af den estimerede reservoir-permeabilitet ganget med tykkelsen af Potentielt reservoirsand. Kort beskrevet er transmissiviteten beregnet som en akkumuleret værdi baseret på de enkelte log-læsninger, de foretagne vurderinger af Potentielt reservoirsand efterfulgt af en erfaringsbaseret opskalering. Transmissiviteten er således en forventet reservoir-transmissivitet; denne er i vurderet til ca. 111 Darcy-meter for Stenlille-1, ca. 123 Darcy-meter for Stenlille-19 og ca. 133 Darcy-meter for prognoselokaliteten. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 5; 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

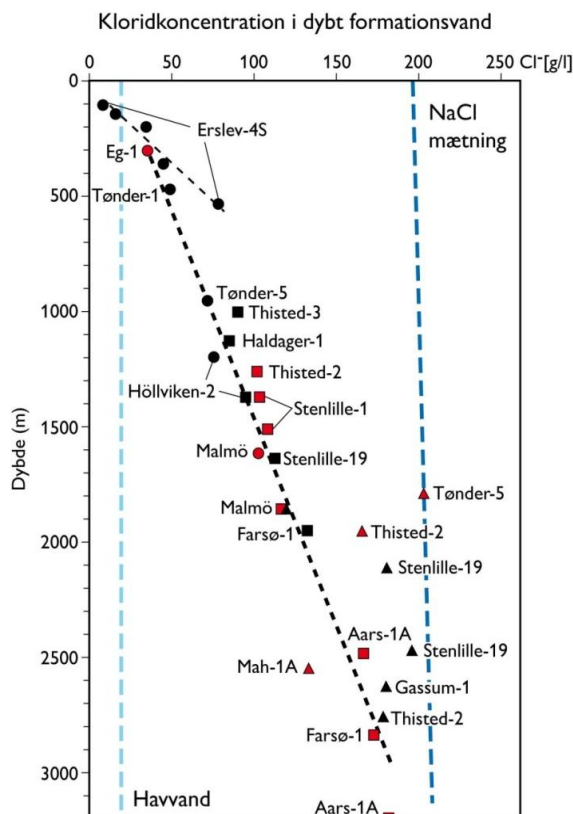
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til ca. 41 °C ± 10 % ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på temperaturmålinger i dybe borer i bassinet og er givet ved: $Temp. = 0,027 \cdot \text{dybde} + 8 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Figur 10). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 1206 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (1110 meter; se Tabel 3.1) tillagt ter-rænkote (26 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (70 meter).



Figur 10: Estimeret dybde-temperatur relation (grønne linje) for den østlige del af det Danske Bassin baseret på alle relevante temperaturdata fra dybe brønde på Sjælland (Poulsen et al. 2013). Endvidere er der vist et usikkerhedsbånd på ± 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 11). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på omkring 85 g/l i en dybde af 1206 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 201 g/l Cl^- ved den pågældende formationstemperatur/-dybde. Alvorlige problemer med saltudfældning som følge af afkøling i et geotermisk anlæg forventes kun, hvis formationsvandet er helt tæt på mætning med NaCl.



Figur 11: Saltholdigheden i dybt formationsvand givet ved kloridkoncentrationen. Kloridanalyserne er foretaget på vandprøver indsamlet i forbindelse med prøvepumpninger (rød signatur) eller vandprøver fra kerner eller andet (sort signatur). Med sort stiplede linje er der vist en tilnærmet lineær relation mellem dybde og kloridkoncentrationen baseret på analyser af vandprøver fra formationer, der ikke overlejres af saltlag. En enkelt undtagelse er dog vandanalysen fra Tønder-5 (rød trekant), der viser mættede saltforhold, og som er medtaget til sammenligning. Vandprøven er fra Bunter Sandsten Formationen, som i Tønder området overlejrer Zechstein salt og selv overlejres af Röt salt. Den mørkeblå stiplede linje angiver ved hvilke kloridkoncentrationer i dybden, der kan forventes mættede forhold. Den lyseblå stiplede linje er ikke dybderelateret, men angiver kloridkoncentrationen i havvand og er medtaget som sammenligningsgrundlag. Trias (▲), Jura inkl. yngste Trias (■), Kridt-Tertiær (●).

6. Referencer

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

Dapco 1959: Slagelse-1. Completion report.

Datalog Technology 2000: Stenlille-19. End of well report.

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.

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

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

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

Nielsen, L.H. 2003: Late Triassic – Jurassic development of the Danish Basin and the 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.

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

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.