



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Hjørring

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

Hjørring - Beskrivelse fjernvarmeområde
10. oktober 2014
Energistyrelsen

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)
A044062

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

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

SIDE 1/6

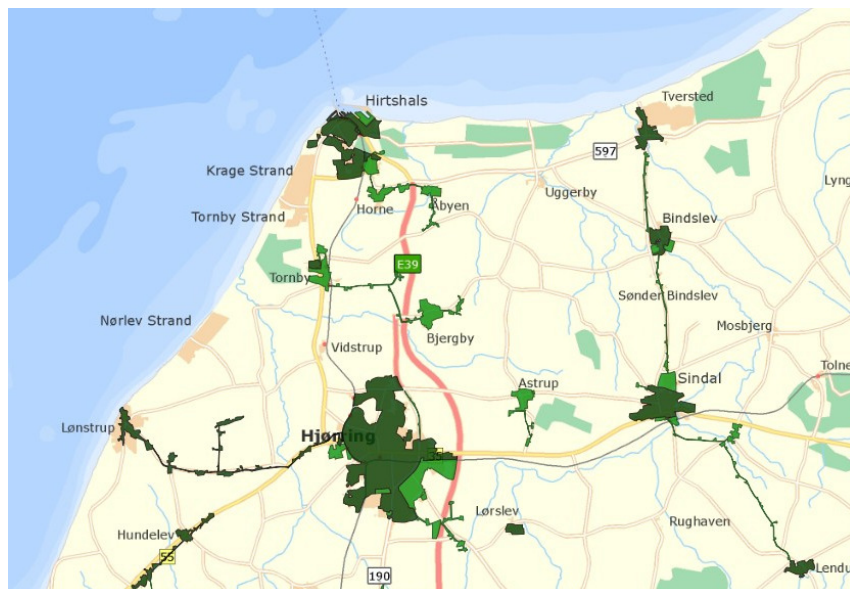
1 Hjørring fjernvarmeområde

1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i Hjørring by og Lønstrup varetages af Hjørring Varmeforsyning A.m.b.a.

I Hjørring by er affaldsforbrændingsanlægget AVV placeret. AVV leverer varme direkte til Hjørring Varmeforsyning og til Hirtshals Fjernvarme via en transmissionsledning. AVV forsyner endvidere landsbyen Lørslev via en mindre transmissionsledning.

Nedenstående kort viser de nuværende forsyningsområder i Hjørring og omegn.

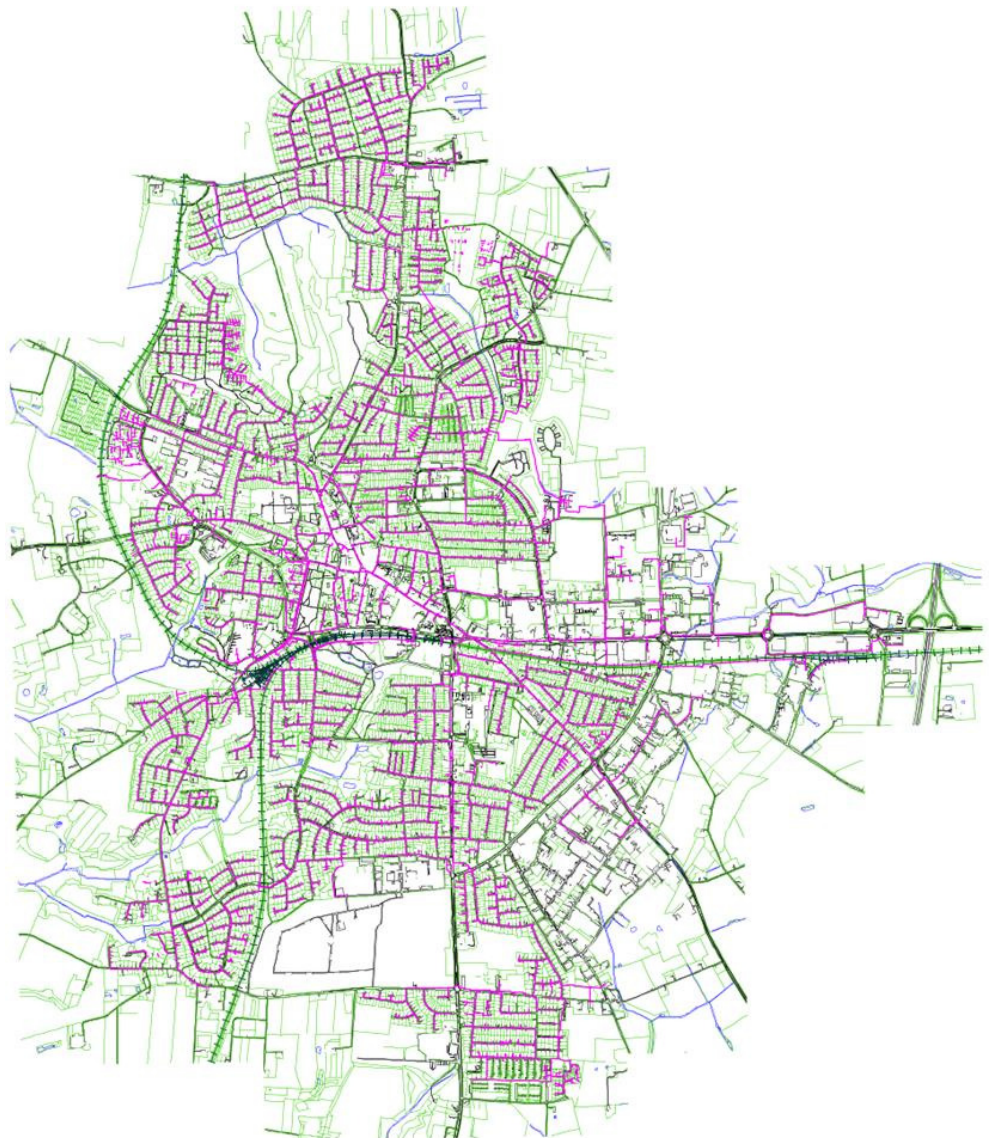


Figur 1 Oversigtskort over forsyningsområder i Hjørring, Hirtshals og oplandsbyer

Jf. ovenstående figur er der mindre fjernvarmeområder i byområderne Tversted, Bindslev, Sindal og Lendum. Disse områder forsynes fra mindre kraftvarme/varmeproducerende anlæg i de respektive byer.

Det fremgår ligeledes af ovenstående kort, at en stor del af varmforsyningen i Hjørring By er udlagt til fjernvarme. En del af de naturgasforsynede områder er erhvervsområder.

Nedenstående figur viser ledningsnettet i Hjørring by:



Figur 2 Oversigtskort ledningsnet Hjørring By (Kilde – Hjørring Varmeforsynings ledningskort via hjemmeside)

Varmen til Hjørring by produceres på biomassekedel på Mandøvej (46%), fra affaldsforbrændingsanlægget AVV (27%), fra naturgasfyrede spids- og reservelastkedler (18%) og fra 2 biogasanlæg (9%). Det naturgasfyrede kraftvarmeværk (idriftsat i 1995) har kun produceret varme i meget begrænset omfang de sidste mange år på grund af lave elmarkedspriser.

AVV og de 2 biogasanlæg har 1. prioritet i leverancerne til Hjørring Varmeforsyning.

Varmen til Hirtshals by kommer primært fra AVV i Hjørring (67%), dernæst som overskudsvarme fra Lilleheden A/S – limtræsproducent (23%) - efterfulgt af varme fra det gasfyrede kraftvarmeværk på havnen (10%) samt en mindre del på olie- og gasfyrede spidslastcentraler.

Nedenstående tabel viser varmebehovet for det samlede forsyningsområde i Hjørring og Hirtshals.

Tabel 1 Nuværende og fremtidigt varmegrundlag Hjørring og Hirtshals

Varmegrundlag					
Hjørring					
MWh/år	2011/2012*	2012/2013*	2015**	2025**	2035**
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	240.776	269.223	269.223	269.223	269.223
Distributionstab	55.424	61.277	61.277	61.277	61.277
An net	296.200	330.500	330.500	330.500	330.500
Hirtshals					
MWh/år	2011/2012*	2012/2013*	2015**	2025**	2035**
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	49.619	58.383	58.383	58.383	58.383
Distributionstab	20.498	19.813	19.813	19.813	19.813
An net	70.117	78.196	78.196	78.196	78.196
TJ/år					
Nettovarme	1045	1179	1179	1179	1179
Distributionstab	273	292	292	292	292
An net	1319	1471	1471	1471	1471
Hjørring: Kilde Årsberetninger 2011/2012, 2012/2013 samt DF's årsstatistik 2012					
Hirtshals: Kilder: Årsberetning 2012/13					
Energistyrelsens udbud angiver som gns over 5 år 1043 TJ inklusive affald og 468 TJ eksklusive affald.					
Affaldsleverancer til Hjørring og Hirtshals udgjorde i 2012/2013 i alt (88,8+52,2) GWh = 507 TJ					
Affaldsleverancer til Hjørring og Hirtshals udgjorde i 2011/2012 i alt (103,5+46,4) GWh = 539 TJ					
ENS - udbudsgrundlag tager måske ikke højde for transmissionsledning mellem AVV og Hirtshals					

Efterfølgende tabel viser varmebehovet alene for Hjørring by.

Tabel 2 Nuværende og fremtidigt varmegrundlag Hjørring by

Varmegrundlag					
Hjørring					
MWh/år	2011/2012*	2012/2013*	2015**	2025**	2035**
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	240.776	269.223	269.223	269.223	269.223
Distributionstab	55.424	61.277	61.277	61.277	61.277
An net	296.200	330.500	330.500	330.500	330.500
TJ/år					
Nettovarme	867	969	969	969	969
Distributionstab	200	221	221	221	221
An net	1066	1190	1190	1190	1190
Kilde Årsberetninger 2011/2012, 2012/2013 samt DF's årsstatistik 2012					
Energistyrelsens udbud angiver som gns over 5 år 1043 TJ inklusive affald og 468 TJ eksklusive affald.					
Affaldsleverance i følge ENS udgør 575 TJ					
Affaldsleverancer til Hjørring udgjorde i 2012/2013 88,8 GWh = 320 TJ					
Affaldsleverancer til Hjørring udgjorde i 2011/2012 103,5 GWh = 373 TJ					
Varmemarked i Hjørring er højere end det af ENS forudsatte, når der ses bort fra affaldsvarmen					
ENS - udbudsgrundlag tager måske ikke højde for transmissionsledning mellem AVV og Hirtshals					

Hjørring varmeforsyning forventer ikke at der sker nogen udvikling i varmemarkedet. Der ses ingen effekt på energibesparelsesområdet.

DF har gennemført en treårig strukturanalyse for medlemsselskaberne og har i denne forbindelse angivet nedenstående temperaturforhold for fjernvarmedistributionsledningerne i Hjørring

Tabel 3 Temperaturforhold distributionsnet i Hjørring by

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
70	45	82	45

Det maksimale effektbehov an net er i DF's statistik angivet til 104 MW i Hjørring.

Det er fra Hjørring Varmeforsynings side vurderet at fremløbstemperaturen i transmissionsledningen er på ca. 87-88 °C året rundt og at returtemperaturen er et par grader højere end returtemperaturen distributionsnettet i Hjørring by.

1.2 Nuværende produktionsstruktur

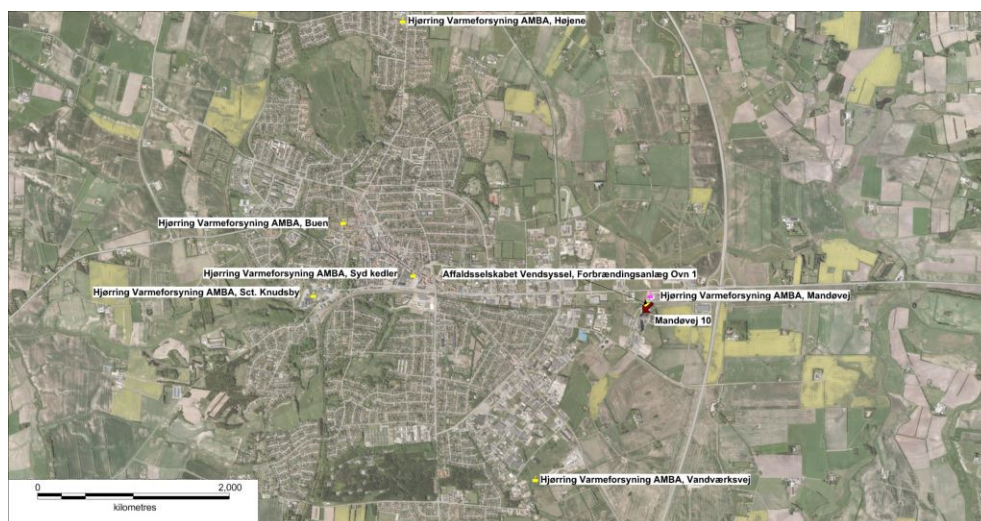
Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur i Hjørring og Hirtshals.

Tabel 4 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)

Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012												Brændselsfordeling			
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varme produktion i 2012 (TJ)	*Brændselsforbrug 2012 (TJ)	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varme effekt (MW)	Elvirkningsgrad	**Varmevirkningsgrad	Etableringsår	Forventet udfasningsår	Affald	Halm	Træ- og biomasseaffald	Naturgas
Hjørring by															
Affaldsselskabet Vendsyssel, Forbrænding	Damp turbine	Affald	392	590	21	5	13	22%	67%	01-04-1998		571,7	0,2	17,6	
Affaldsselskabet Vendsyssel, Forbrænding	Kedel	Affald	114	171	10	0	7		70%	01-01-1986		165,6	0,1	5,1	
Hjørring Varmeforsyning AMBA, Buen	Kedel	Naturgas	5	4	18	0	16		88%	01-01-1960					4,4
Hjørring Varmeforsyning AMBA, Mandøvej	Kedel	Biomasse	522	536	20	0	18		90%						
Hjørring Varmeforsyning AMBA, Mandøvej	Kombianlæg	Naturgas	10	24	132	56	48	43%	41%	01-01-1996					24,2
Hjørring Varmeforsyning AMBA, Højene	Kedel	Naturgas	1	1	9	0	7		80%	01-01-1963					1,2
Hjørring Varmeforsyning AMBA, Vandværk	Kedel	Naturgas	0	0	6	0	5		90%	01-01-1972					0,0
Hjørring Varmeforsyning AMBA, Sct. Knud	Kedel	Naturgas	15	14	9	0	7		80%	01-01-1974					14,3
Hjørring Varmeforsyning AMBA, Syd kedler	Kedel (3 stk.)	Naturgas	170	164	26	0	24		89%	01-01-1964					164,2
Hirtshals by															
Hirtshals Kraftvarmeværk Læssevej	Gasturbine	Naturgas	18	31	29	9	17,7	31%	61%	32509					31,3
Hirtshals Kraftvarmeværk Læssevej	Kedel	Naturgas	23	21	14	0	16,5		118%						21,1
Lilleheden afd. - LL, Hovedvejen 114	Kedel	Biomasse	68	72	18	0	16,3		88%	21916					72,2
Total Hjørring og Hirtshals			1.338				196								

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

Anlæggenes geografiske placering er for Hjørrings vedkommende illustreret nedenfor.



Figur 4 Geografisk placering af varmeproduktionsanlæg i Hjørring

Anlæggenes placering i Hirtshals er ikke relevant i denne sammenhæng, hvorfor kort ikke er medtaget.

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

Hjørring Varmeforsyning og AVV har forlænget den eksisterende aftale med AVV omkring affaldsvarmeleverancer frem til udgangen af 2022.

Hjørring Varmeforsyning er p.t. ved at opføre et nyt biomasseværk med en biomassekedel på nabogrunden til de eksisterende produktionsanlæg på Mandøvej. Anlægget forventes idriftsat i løbet af 2014.

Det nye biomassefyrede værk får en varmekapacitet på 25 MW samt yderligere 2,7 MW fra røggaskondensering. Forventet varmevirkningsgrad bliver op imod 125%.

Anlægget vil kunne anvende brændsler med fugtigheds indhold på mellem 30 og 55%. Forventet årligt brændselsbehov bliver på ca- 50.000 tons flis. Det nye anlæg forventes at dække ca. 40 % af det samlede varmebehov, i det AVV fortsat vil levere ca. 1/3 del som grundlast og de 2 biogasanlæg vil – som 2. prioritet – dække ca. 10 % af varmebehovet. De resterende ca. 10 % dækkes fortsat af naturgasfyrede spids- og reservelastkedler. Det naturgasfyrede kraftvarmeværk forventes fortsat ikke at producere varme i nævneværdigt omfang.

Hjørring Varmeforsyning besluttede tilbage i 2008 at undersøge mulighederne for geotermi og resultatet af undersøgelser blev præsenteret på et repræsentantskabsmøde i 2012.

Undersøgelserne tyder på at, at der er flere lag under Hjørring, der indeholder op til 52 C varmt vand, som vil kunne anvendes i et geotermianlæg. Hjørring Varmeforsyning vil dog ikke udføre de nødvendige prøveboringer før end der findes en forsikring- eller garantiordning, som kan afdække den økonomiske risiko, hvis der alligevel ikke fandtes egnede lag med varm vand i undergrunden under Hjørring.

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt nyt geotermianlæg på Mandøvej, dvs. tæt ved både affaldsforbrændingsanlæg og Hjørring Varmeforsyning produktionsanlæg.

Projekt: Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne

Til: Ea Energianalyse & COWI

Kopi: GEUS

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

Dato: 3. februar 2015.

Emne: Beregning af et geotermianlæg i Hjørring

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Hjørring. 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.: Hjørring_2014_08_06.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Hjørring leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Hjørring Varmeforsyning (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg på adressen Mandøvej 10 ved det eksisterende og kommende varmeanlæg.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Hjørring 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 Hjørring.

Usikkerheden på de geologiske parametre er middel, på grund af detaljerede analyser af eksisterende data og nyligt indsamlede seismiske data. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1.

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	25
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	1540
Temperatur@midt reservoir	°C	50
Tykkelse af formation	m TVT	130
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	78
Transmissivitet	Dm	74
Seismik-anbefaling	km	0

Tabel 1: Geologiske reservoirdata.

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

3 Forudsætninger for fjernvarmesystemet

Forudsætningerne for det respektive fjernvarmesystem er beskrevet i rapporten "Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014". Data fra denne rapport er sammenfattet i Tabel 2 til brug for anlægsberegningerne.

Varmegrundlag	TJ/år	1471
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	20
Fremløbstemperatur vinter	°C	82
Returløbstemperatur vinter	°C	45
Fremløbstemperatur sommer	°C	70
Returløbstemperatur sommer	°C	45
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger for geotermianlæg ved Hjørring.

Temperaturniveauet for varmen leveret via transmissionsledning til Hirtshals er noget højere end for Hjørring, men da transmissionen kun udgør omkring 20 % af varmegrundlaget forudsættes det, at geotermivarmen kan afsættes i bynettet.

Det forudsættes, at affaldsvarme svarende til 33 % af behovet og biogas varme svarende til 10 % af behovet er prioriteret grundlast, der er jævnt fordelt over året og vil kunne bruges som drivvarme for absorptionsvarmepumper i et geotermianlæg.

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 affaldsforbrændings og biogas kedelanlæg kan benyttes som drivvarme, evt. suppleret af drivvarme fra et nyt biomassefyret værk. 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 Hjørring er endvidere beregnet et alternativt anlægsdesign, hvor der benyttes el-varmepumper til at udnytte varmen fra geotermivandet.

5 Resultater

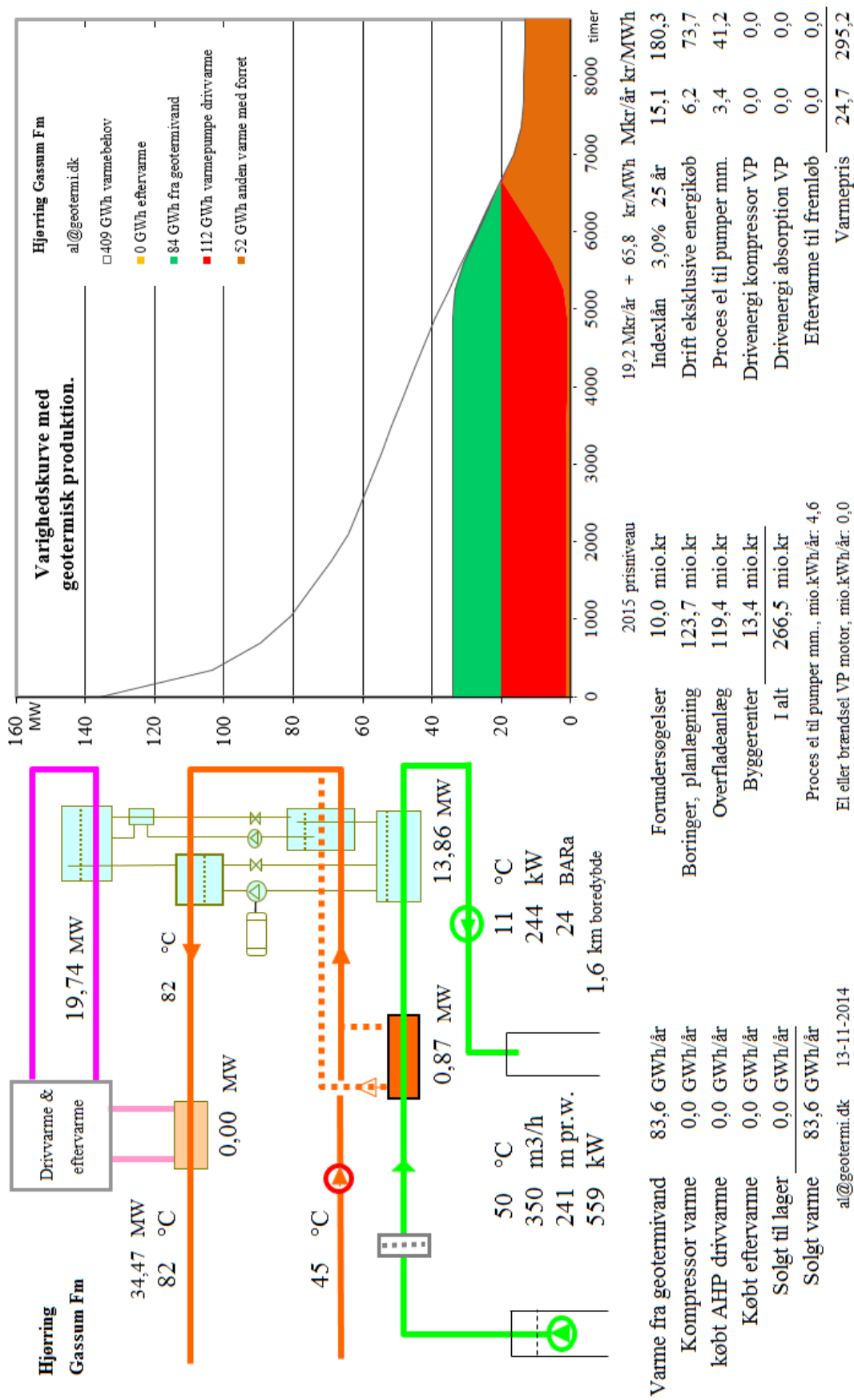
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard-beregningen vises i Figur 1. Resultater fra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

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper og placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 266,5 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 14,7 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 30,5 MW.

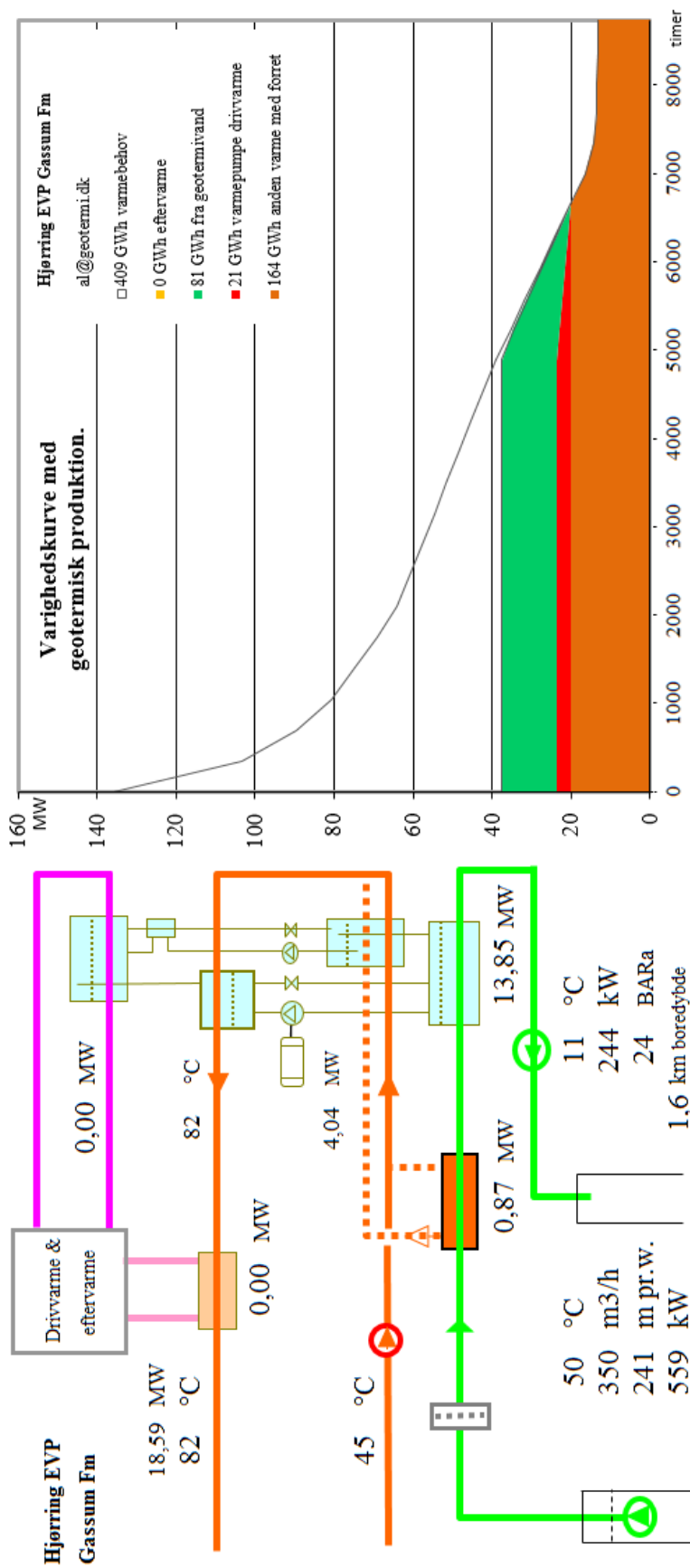
Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 84 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 295 kr./MWh.

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 lav.



Figur 1: Output fra geotermiPRO.



2015 prisniveau	19,7 Mkr/år + 284,2 kr/MWh	Mkr/år	kr/MWh	Mkr/år	kr/MWh
Forundersøgelser	10,0 mio.kr	Indexlån	3,0%	25 år	15,5
Boringer, planlægning	123,8 mio.kr	Drift eksklusive energikøb		6,3	61,1
Overfladeanlæg	126,3 mio.kr	Proces el til pumper mm.		3,0	29,1
Byggerenter	13,6 mio.kr	Drivenergi kompressor VP		24,0	234,7
I alt	273,7 mio.kr	Drivenergi absorption VP		0,0	0,0
Proces el til pumper mm., mio.kWh/år:	4,0	Eftervarme til fremløb		0,0	0,0
El eller brændsel VP motor, mio.kWh/år:	0,0	Varmepris		48,8	476,1

Figur 2: Output fra geotermiPRO.

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	14,733		14,719	
2) Effekt fra drivvarme	MW	19,739		N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000		N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	34,468		18,594	
5) Proces el	MW	0,916		0,824	
6) Varmepumpe el	MW	N/A		4,040	
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000		100,000	
8) Drivvarme	%	134,437		N/A	
9) Eftervarme	%	0,000		N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%	234,437		125,760	
11) Proces el forbrug	%	5,495		4,881	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A		25,760	
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	253,073		260,126	328,793
14) Byggerenter	mio. kr	13,417		13,582	15,114
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	4,107		4,171	5,3
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	24,560		20,363	

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 Hjørring. 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 implementeret 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."

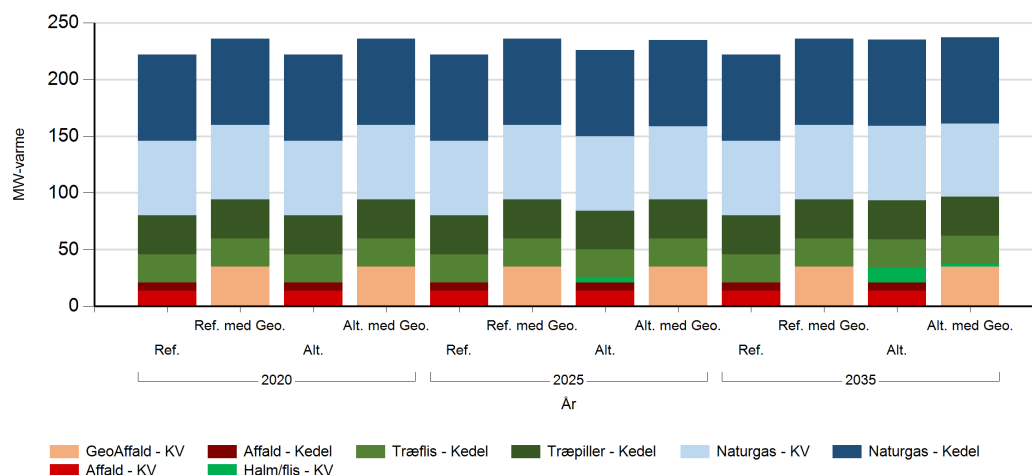
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

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

Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

MW Brændsel og Anlægstyper	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Naturgas - Kedel	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0
Træflis - Kedel	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Træpiller - Kedel	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3
Naturgas - KV	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	64.3	65.7	65.7	65.7	64.3
GeoAffald - KV		35.0		35.0		35.0		35.0		35.0		35.0
Affald - Kedel	7.0		7.0		7.0		7.0		7.0		7.0	
Affald - KV	13.9		13.9		13.9		13.9		13.9		13.9	
Halm/flis - KV							4.1				13.0	2.3

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

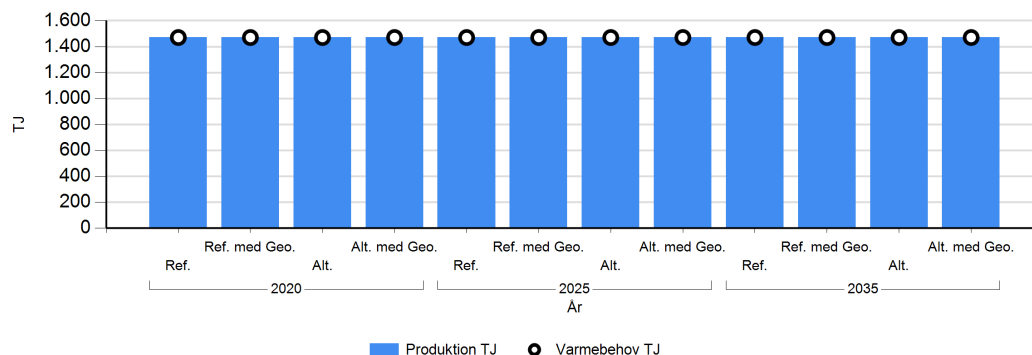
Solvarmeanlæg

m ²	2035
Brændsel og Anlægstyper	Alt.
Solvarme	40.861

Tabel 2: Udvikling i kapaciteten af solvarmeanlæg for Hjørring.

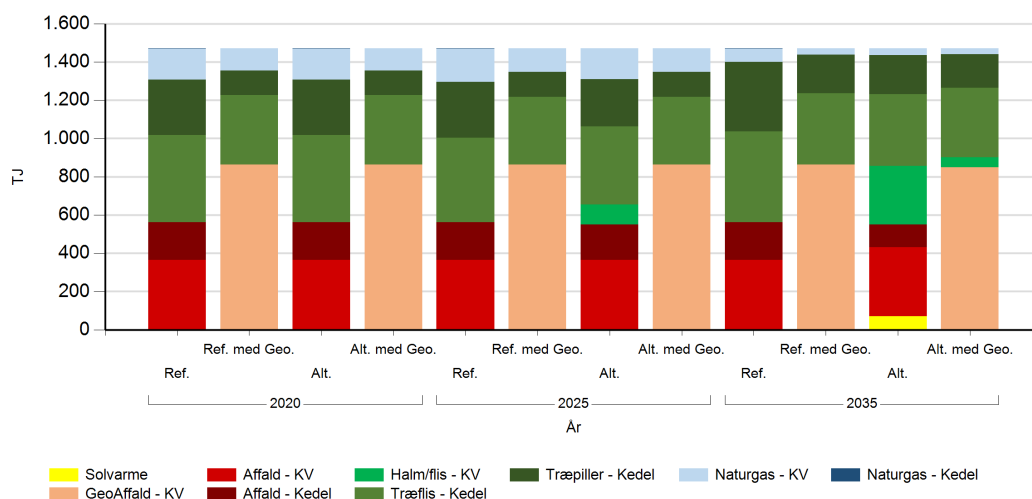
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



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

TJ	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	198,5		198,5		196,8		186,7		198,7		118,7	
Naturgas - Kedel	0,1		0,1		0,1				0,1			
Træflis - Kedel	456,3	362,8	456,3	362,8	443,2	355,3	408,8	355,3	474,2	372,6	375,9	362,3
Træpiller - Kedel	288,1	127,4	288,1	127,4	292,3	129,4	245,0	129,4	362,2	200,9	205,3	175,8
Naturgas - KV	164,0	116,6	164,0	116,6	174,7	123,5	162,4	123,5	71,8	33,2	34,5	31,6
Affald - KV	363,8		363,8		363,8		363,8		363,8		361,5	
Halm/flis - KV							104,1				304,9	52,3
GeoAffald - KV		864,0		864,0		862,5		862,5		864,0		848,9
Solvarme											69,9	

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

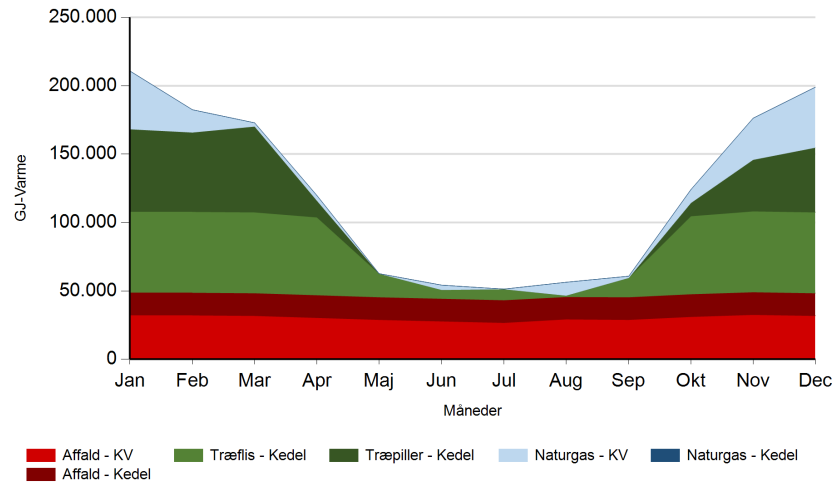
Fuldstimer for varmeproduktion

Fuldstimer	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	7.877		7.877		7.808		7.410		7.884		4.709	
Naturgas - Kedel												
Træflis - Kedel	5.069	4.031	5.069	4.031	4.924	3.948	4.542	3.948	5.269	4.140	4.177	4.025
Træpiller - Kedel	2.333	1.032	2.333	1.032	2.367	1.048	1.984	1.048	2.934	1.627	1.663	1.423
Naturgas - KV	476	338	476	338	507	358	472	358	218	192	200	183
Affald - KV	7.256		7.256		7.256		7.256		7.256		7.211	
Halm/flis - KV							7.135				6.492	6.230
GeoAffald - KV		6.865		6.865		6.854		6.854		6.865		6.745

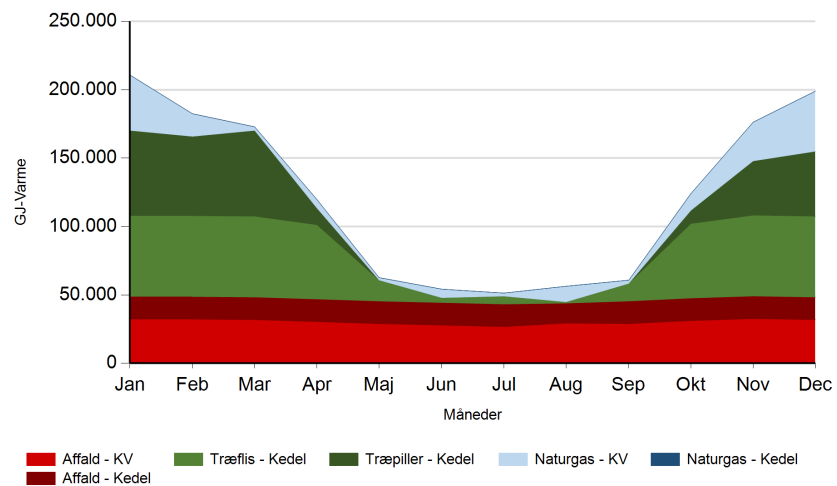
Table 4: Antal af fuldstimer for varmeproduktion i Hjørring.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Hjørring.

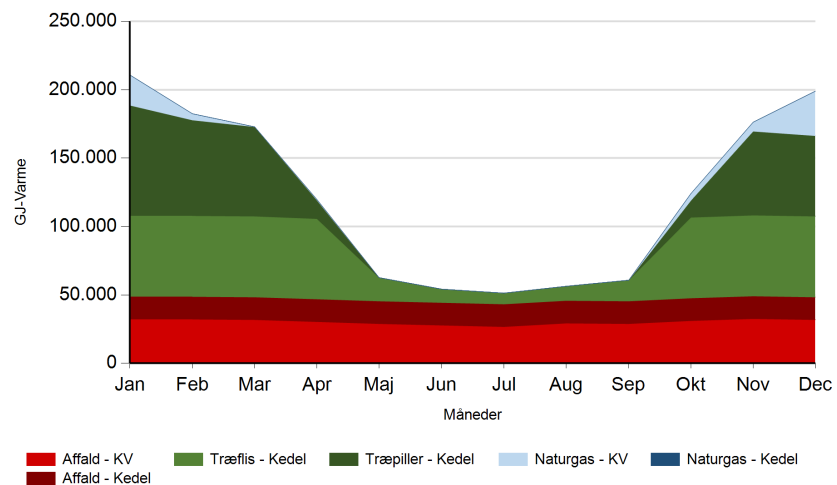
Ref. 2020

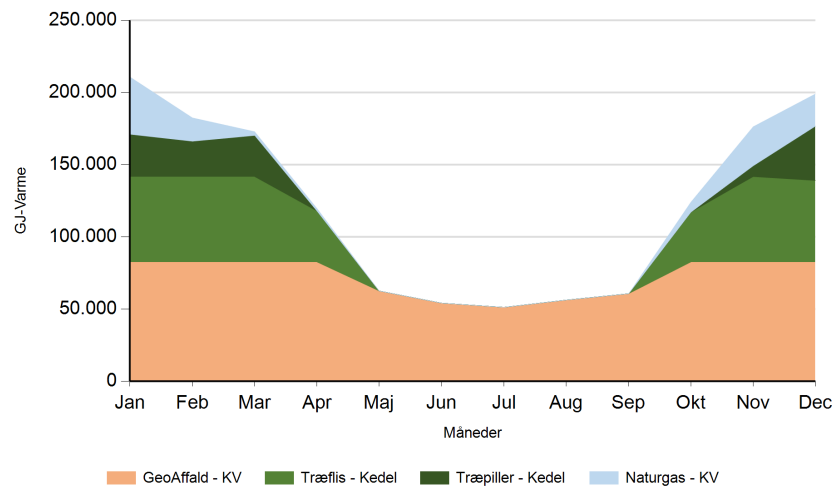
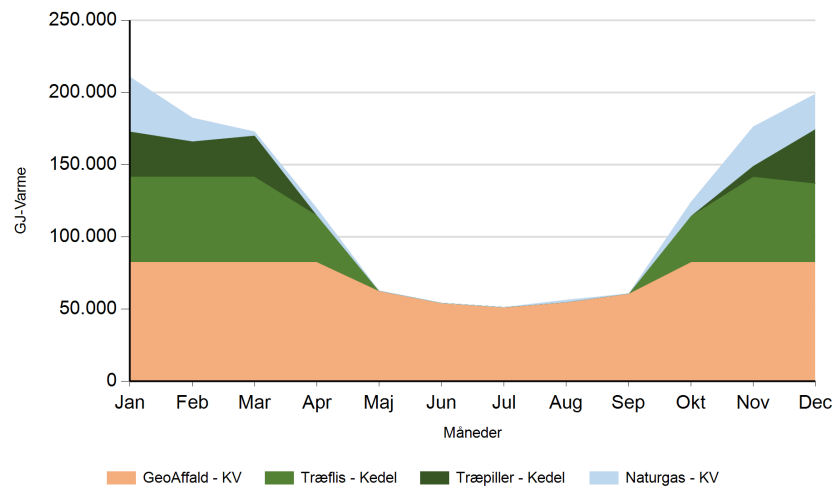
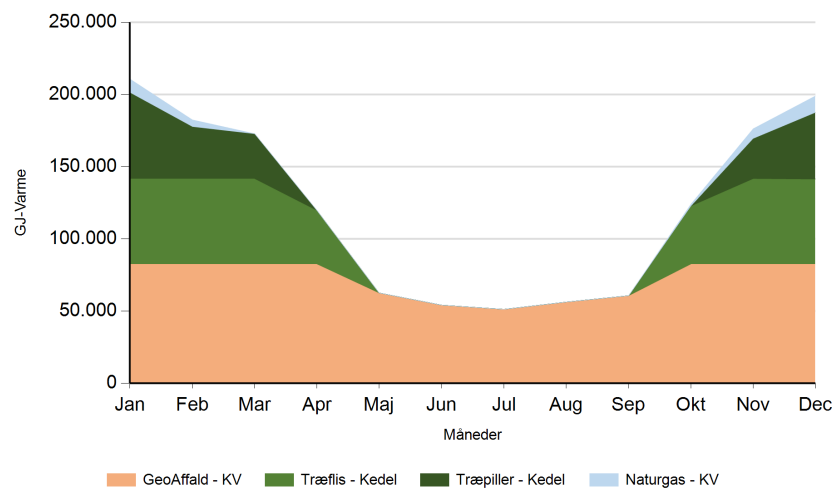


2025



2035

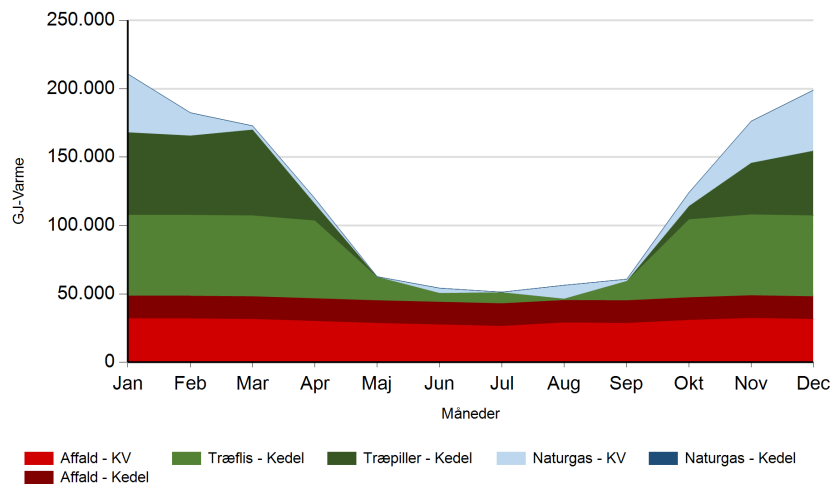


Ref. med Geo. 2020

2025

2035


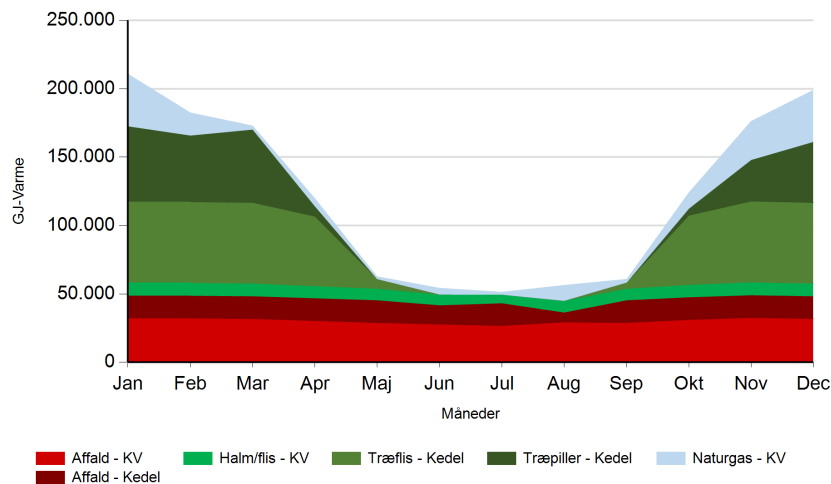


Alt.

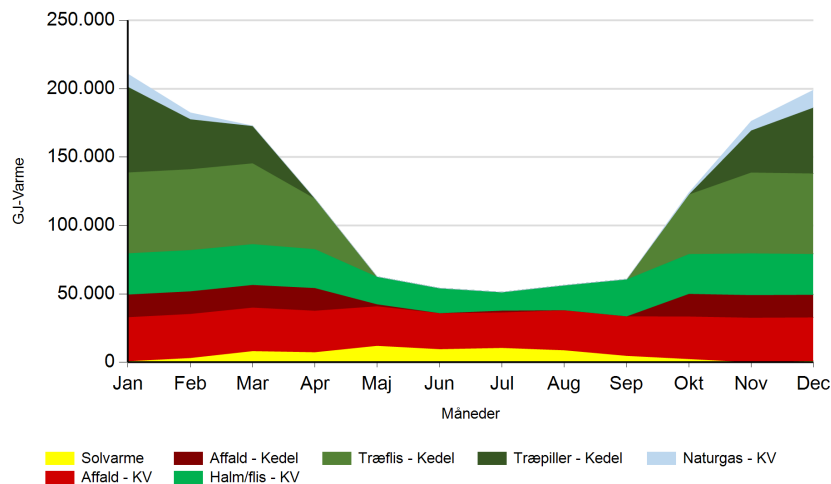
2020

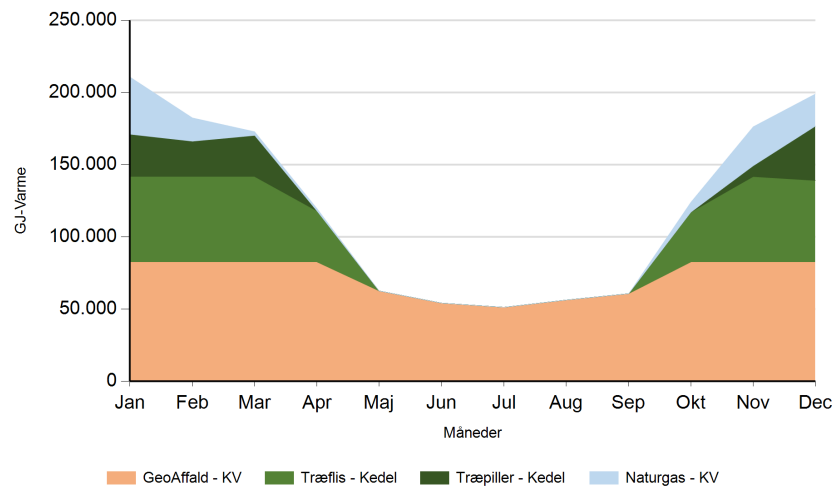
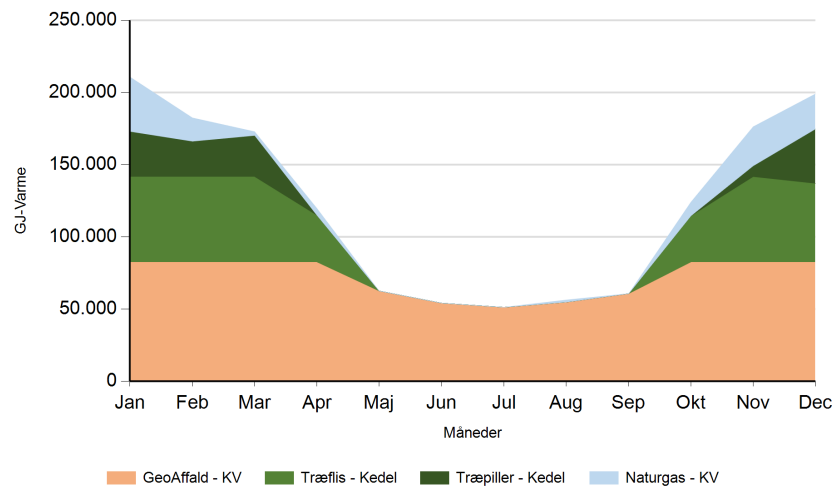
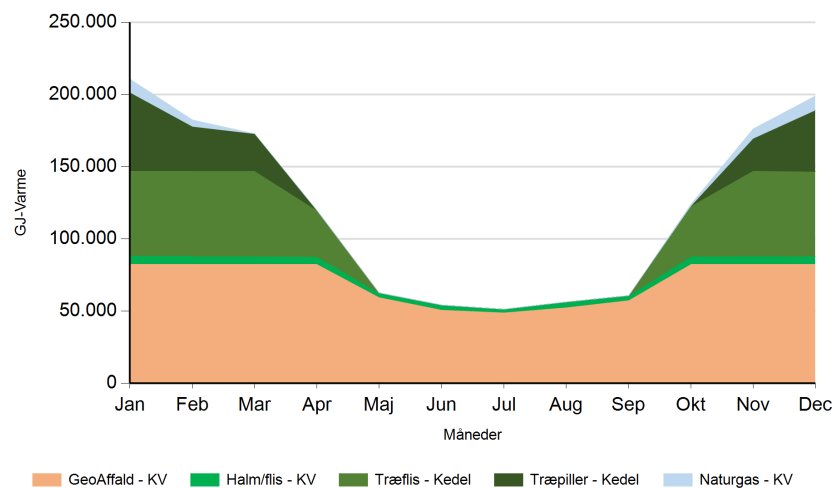


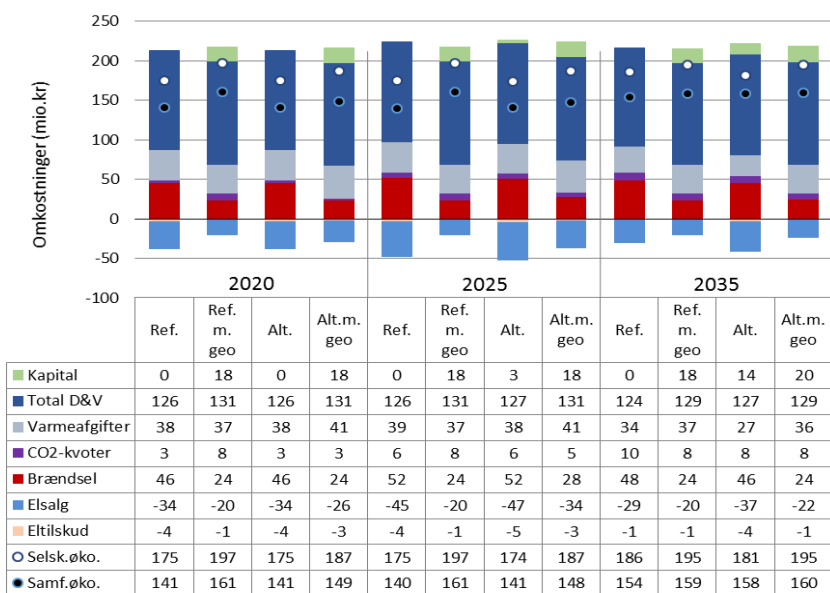
2025



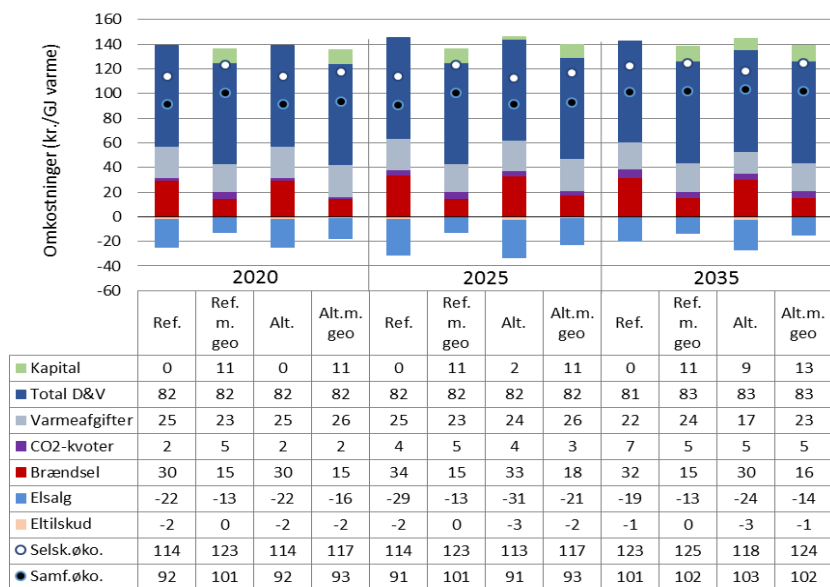
2035



Alt. med Geo. 2020

2025

2035

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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Hjørring



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Hjørring

Det geotermiske screeningsprojekt

Hjørring-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 Hjørring-lokaliteten	8
3.1	Anbefalinger	10
4.	Datagrundlag	11
5.	Gennemgang af data	14
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer	14
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	14
5.1.2	Boringsdata	16
5.2	Reservoirkvalitet	19
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	22
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	25
5.2.3	Permeabilitet.....	26
5.2.4	Transmissivitet	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 østlige udkant af Hjørring på adressen Mandøvej 10, 9800 Hjørring (Figur 1). Lokaliteten har tidligere været genstand for en detaljeret gennemgang af de geologiske forudsætninger for udnyttelse af dyb geotermisk energi (Kristensen & Nielsen 2014). 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).

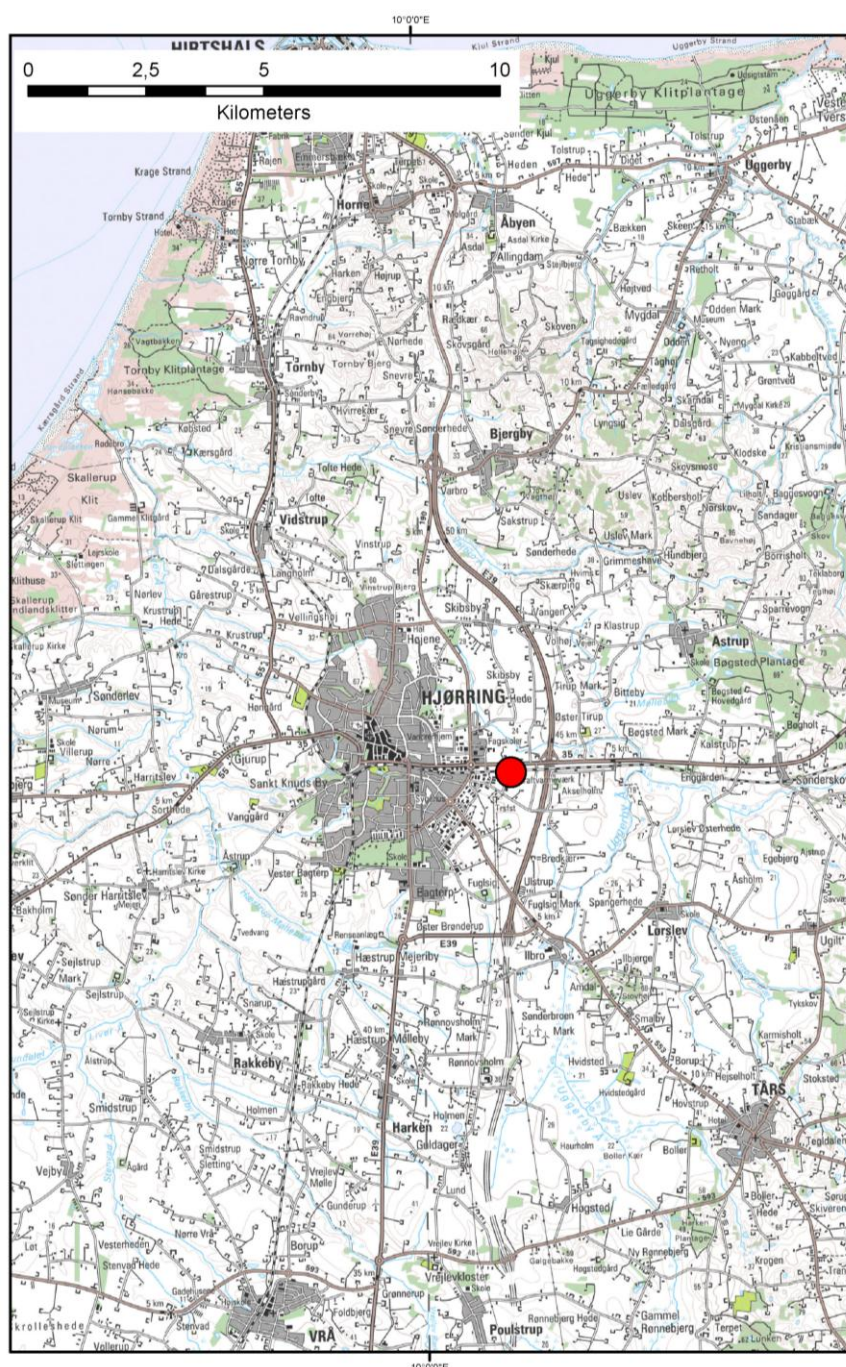
Hjørring fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er i udgangspunktet valgt ud fra, at deres varmemarked er større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

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

Undergrundens geologiske opbygning kan variere betydeligt over selv korte afstande og som følge heraf, kan det geotermiske potentiale variere tilsvarende. En kortlægning af denne variation over større områder er meget omfattende, kræver ofte indsamling af supplerende geologiske data og ligger som følge heraf udenfor rammerne af indeværende screening. Den valgte lokalitet udgør derfor muligvis heller ikke det mest optimale sted for udnyttelse af geotermi i Hjørringområdet, 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 Hjørring-lokaliteten er opbygget således, at der i afsnit 2 gøres rede for regionale geologiske forhold og undergrundens opbygning. Det vurderes, at den primære dybe geotermiske reservoirmulighed ved lokaliteten udgøres af knap 80 meter sandsten, der er beliggende mere end 1475 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 Hjørring-lokaliteten og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. Disse data hidrører fra GEUS' tidligere afrapportering af de geologiske forhold ved lokaliteten (Kristensen & Nielsen 2014), og vurderes til at udgøre det bedste input til de efterfølgende økonomiske beregninger. I afsnit 3 evalueres det geotermiske potentiale endvide-

re, og der gives anbefalinger til eventuelle supplerende undersøgelser. I de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og med henvisning til Kristensen & Nielsen 2014 opsummeres det, hvordan de geologiske nøgledata er fremkommet samt delvist hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem. For en generel introduktion til anvendelsen af geotermisk energi i Danmark ud fra en geologisk synsvinkel henvises der til WebGIS portalen. Heri gennemgås blandt andet hvilke typer geologiske data (reservoirdata, seismiske data, temperaturdata og salinitetsdata m.fl.), der indgår i vurderingen af et geotermisk potentiale og hvilke usikkerheder, der overordnet knytter sig til beregningen af disse.



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

2. Geologisk baggrund

Hjørring-området er beliggende på Skagerrak–Kattegat Platformen, som sammen med Sorgenfrei–Tornquist Zonen udgør den Fennoskandiske Randzone og overgangen fra det Danske Bassin til det højtliggende grundfjeld i det Baltiske Skjold (Figur 2). Det Danske Bassin 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.

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

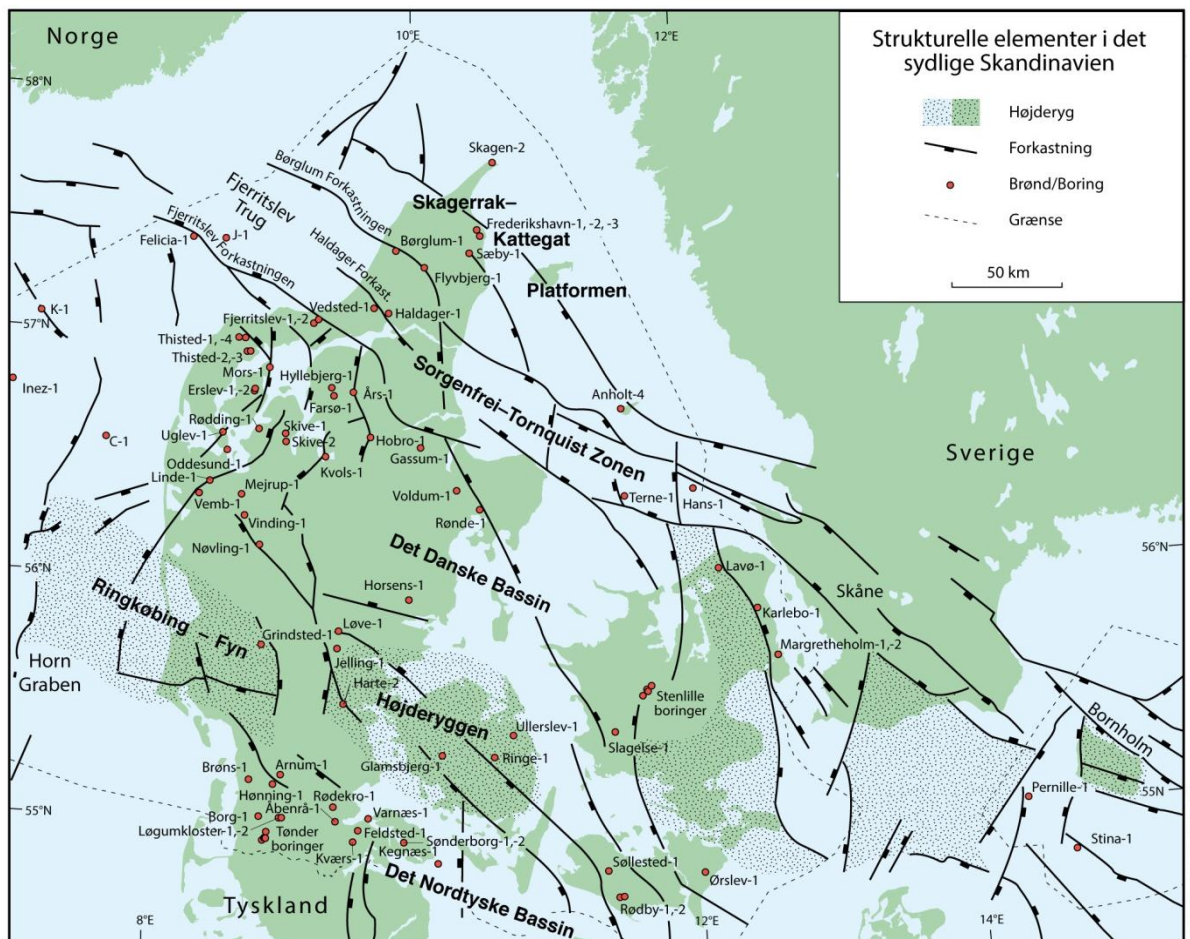
Hjørring er beliggende på Skagerrak–Kattegat Platformen i et område hvor Øvre Perm – Kvartær lagserien er omkring 2,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirer at kunne være til stede i den Nedre – Øvre Triassiske Skagerrak Formation, den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation, den Mellem Jurassiske Haldager Sand Formation samt den Øvre Jurassiske – Nedre Kretassiske Frederikshavn Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at formationerne vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirer, og at de i større områder vurderes til at være beliggende indenfor dybdeintervallet 800–3000 m, der anses for egnet til dyb geotermisk indvinding. Kortlægningen af dybdeintervaller og indhold af sandsten er baseret på tilgængelige seismiske data og data fra dybe borer i undergrunden. Den geografiske dækning og kvaliteten af disse data er dog meget

varierende, og det er som følge heraf også meget forskelligt med hvilken grad af sikkerhed, man kan udtale sig om det geotermiske potentiale fra område til område.

Gassum Formationen vurderes til at udgøre det primære mål for geotermisk indvinding ved prognoselokaliteten, da denne er beliggende i større dybde end Haldager Sand, Flyvbjerg og Frederikshavn formationerne uden at dette vurderes at ødelægge reservoirgenskaberne. På grund af den større dybde vil der således kunne indvindes varmere vand fra Gassum Formationen end fra de overliggende formationer. Skagerrak Formationen ligger dybest af de fem formationer, men dens reservoirgenskaber vurderes til at være knap så gode som for Gassum Formationen og desuden mere usikre (Kristensen & Nielsen 2014). Generelt er kendskabet til Gassum Formationen endvidere væsentlig større end kendskabet til de øvrige formationer. Gassum Formationen udgør således det bedst kendte sandstensreservoir i Danmark og udnyttes til geotermisk indvinding i Thisted og Sønderborg samt til gaslagring ved Stenlille. Fokus er derfor i det efterfølgende på Gassum Formationen i vurderingen af det geotermiske potentiale ved prognoselokaliteten i den østlige udkant af Hjørring.

Gassum Formationen er vidt udbredt i det Danske Bassin og til dels også i den danske del af det Nordtyske Bassin med en generel tykkelse på 30–150 meter og med tykkelser på op til mere end 300 meter i Sorgenfrei–Tornquist Zonen (Nielsen 2003). Derimod synes formationen generelt ikke at være til stede henover Ringkøbing–Fyn Højderyggen og langs dens flanker. Endvidere kan formationen stedvis mangle på grund af lokal hævnning og erosion relateret til saltbevægelse i undergrunden.

Gassum Formationen domineres af fin- til mellemkornede, stedvis grovkornede, lysegrå sandsten, der veksler med mørkere-farvede ler- og siltsten og lokalt tynde kullag (Bertelsen 1978, Michelsen & Bertelsen 1979, Michelsen et al. 2003). Sedimenterne afspejler afsætning under gentagne havniveausvingninger i den sidste del af Trias Perioden og i starten af Jura Perioden (Nielsen 2003). I dette tidsrum var hovedparten af det danske indsynkningsområde et lavvandet havområde, hvortil floder 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 inklusive det Danske Bassin, Sorgenfrei-Tornquist Zonen, Skagerrak-Kattegat Platformen, Ringkøbing-Fyn Højderyggen og den nordligste del af det Nordtyske Bassin. Modificeret figur fra Nielsen (2003).

3. Resultater for Hjørring-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Hjørring-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. 1450–1580 meter under havniveau (m.u.h.) og dermed i en dybde, der er egnet til dyb geotermisk indvinding. Dette afspejler sig i temperaturen, der vurderes til at være ca. 50 °C i midten af formationen. De øvrige parameterværdier 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 74 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 %).

I 2012 blev der indsamlet højopløselige seismiske data og tolkningen af disse viser ingen markante forkastninger, som gennemskærer Gassum Formationen i området omkring prognoselokaliteten.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 390 meter tyk med toppen liggende ca. 1060 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 335 meter tykke og beliggende ca. 105–440 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.

Hjørring-lokaliteten			
UTMz32 X: 561.906 m; Y: 6.368.411 m Terrænkote: ca. 25 meter over havniveau (m.o.h.)			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval ²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1450	5 ³	1378–1523 ³
Tykkelse af formation [m]	130	5 ³	124–137 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	89	20 ³	71–107 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	78	20 ³	62–94 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,60	20 ³	0,48–0,72 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,88	20 ³	0,70–1,00 ³
Vandledende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	26	15 ³	22–30 ³
Gas-permeabilitet [mD]	760	5 ⁷	152–3800 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	950	5 ⁷	190–4750 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	74	5 ⁷	15–370 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	50	10 ³	45–55 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til grov kornstørrelse; ringe til velsorterede; kantede til velafrundede korn		
Diagenese/cementering	Antagelig svagt cementerede til cementerede		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Stor		

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

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

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

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

⁵ Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af formation.

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

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

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

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

¹⁰ Temperatur er estimeret for midten af formationen ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin.

3.1 Anbefalinger

Ved en eventuel udførelse af en efterforskningsboring bør det overvejes undervejs at indsamle information om reservoirregenskaberne for de ikke så dybtliggende Frederikshavn, Flyvbjerg og Haldager Sand formationer samt eventuelt at bore videre til den dybereliggende Skagerrak Formation. Sandstensintervaller i disse formationer kan potentielt udgøre alternative geotermiske reservoirer til Gassum Formationen, hvis de indsamlede brøndata mod forventning viser, at Gassum Formationen ikke egner sig til geotermisk indvinding.

4. Datagrundlag

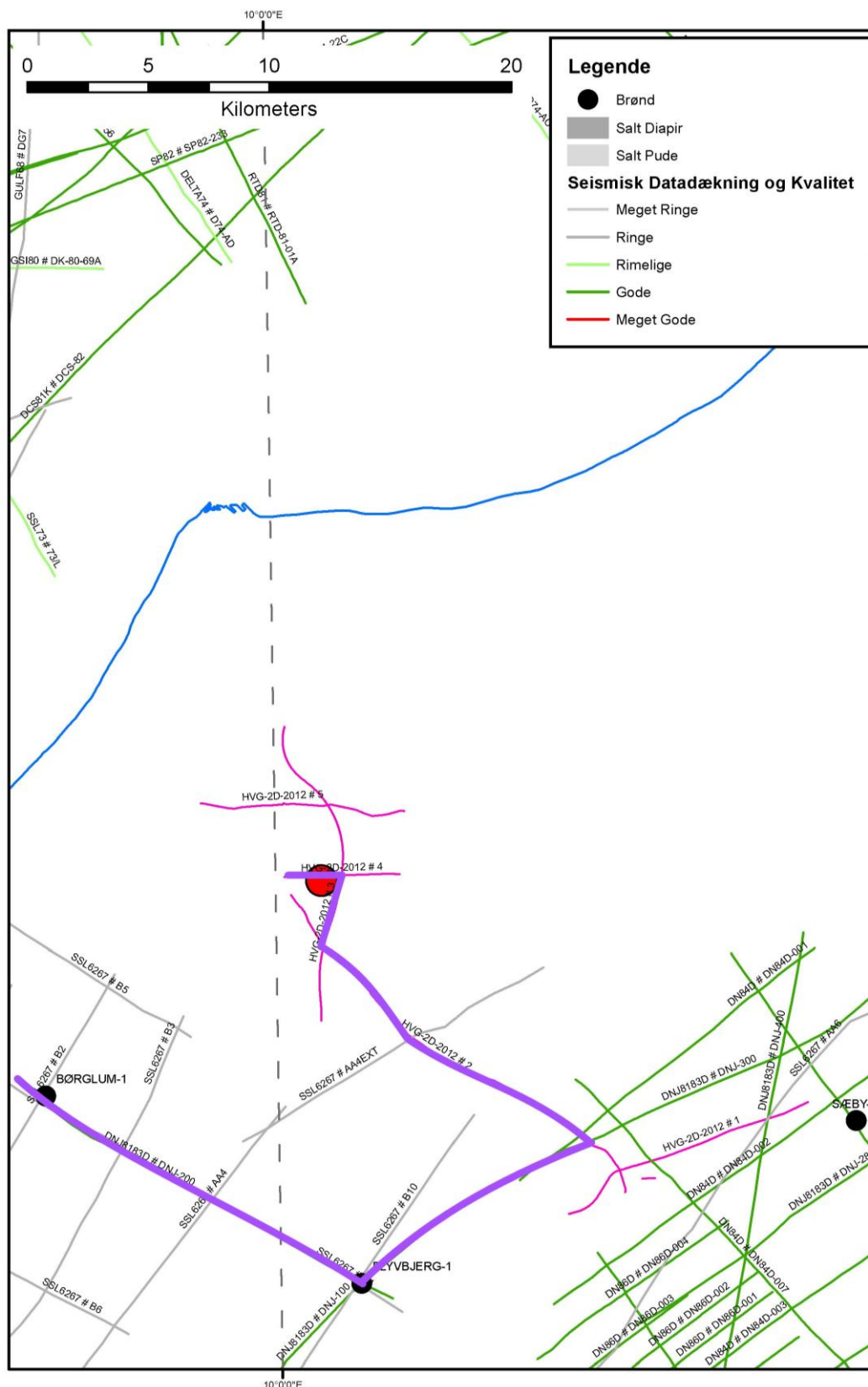
I Figur 3 er den tilgængelige database i Hjørring-området og i regionen vist i form af placeringen af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer.

De nærmeste dybe brønde er Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Sæby-1, der er placeret henholdsvis ca. 15, 17 og 24 km fra prognoselokaliteten (Figur 2 og 3). I Flyvbjerg-1 er der ikke optaget en fuld logsuite, og det er derfor ikke muligt at tolke flere relevante reservoirparametre. Ligeledes forefindes der ingen standard porøsitetslog for Børglum-1, og i stedet er porøsiteten estimeret ud fra en modstandslog, der er kalibreret til kerneporøsitetsmålinger. Endvidere er Gassum Formationen kun delvis gennemboret i Børglum-1. I Sæby-1 er der optaget en fuld logsuite, og da loggene desuden er af god kvalitet, er det derfor muligt at bestemme porøsitetsfordelingen ret præcist. Overordnet set vurderes brønddækningen og kvaliteten af brøndata som værende rimelig i vurderingen af prognoselokaliteten. I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen for de nævnte brønde, hvori Gassum Formationen forekommer. Det fremgår af tabellen, at Gassum Formationen forekommer i 2 dybdeintervaller i Flyvbjerg-1 (det mellemliggende interval udgøres af finkornede sedimenter tilhørende Fjerritslev Formationen). Endvidere er dybdeinterval og tykkelse vist for den lerstens-dominerede Fjerritslev Formation samt for Kridt lagseriens kalkaflejringer, som udgør "dæklag" for Gassum Formationen. Dybde og tykkelse af disse dæklag er også vurderet for prognoselokaliteten (afsnit 5) og er interessante, da de kan indgå i vurderingen af omkostninger til borefasen ved en eventuel etablering af et geotermisk anlæg.

Kvaliteten af de seismiske linjer, der er indsamlet i regionen, er markeret med farver i Figur 3 og 4 og angiver, hvor anvendelige de seismiske data er til at kortlægge formationer i det geotermiske dybdeinterval. Det er en overordnet kvalitetsangivelse, der i høj grad afspejler i hvilket år, de seismiske data blev indsamlet. Der blev i 2012 indsamlet højopløselige seismiske data omkring prognoselokaliteten og videre over til Sæby-1 brønden med henblik på bedre at kunne vurdere de geologiske forhold i relation til geotermisk udnyttelse af undergrunden. Den seismiske data-dækning og datakvalitet er derfor god omkring prognoselokaliteten.

Tabel 4.1: De enkelte brøndes omtrentlige afstand til prognoselokaliteten er angivet i parentes under brøndnavnet. Brøndenenes placering fremgår endvidere på oversigtskortene i Figur 2 og 3. Tykkelse er i meter, og dybdeinterval er i meter under havniveau (data fra Nielsen & Japsen 1991).

		Børglum-1 (15 km)	Flyvbjerg-1 (17 km)	Sæby-1 (24 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	96–450	101–476	157–376
	Tykkelse (m)	354	375	219
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1053–1349	997–1261	737–757
	Tykkelse (m)	296	264	20
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1349–1496	1261–1283 1301–1457	1013–1047
	Tykkelse (m)	>156	178	34



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og nærmeste brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. Den sammensatte seismiske linje fra Børglum-1 over Flyvbjerg-1 til prognoselokaliteten, der er fremhævet med fed lilla streg, er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.

5. Gennemgang af data

I dette afsnit dokumenteres datagrundlaget for estimeringen af de geologiske nøgledata i Tabel 3.1 og delvis hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem. For en mere detaljeret gennemgang af de bagvedliggende beregninger og antagelser henvises der til Kristensen & Nielsen 2014.

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

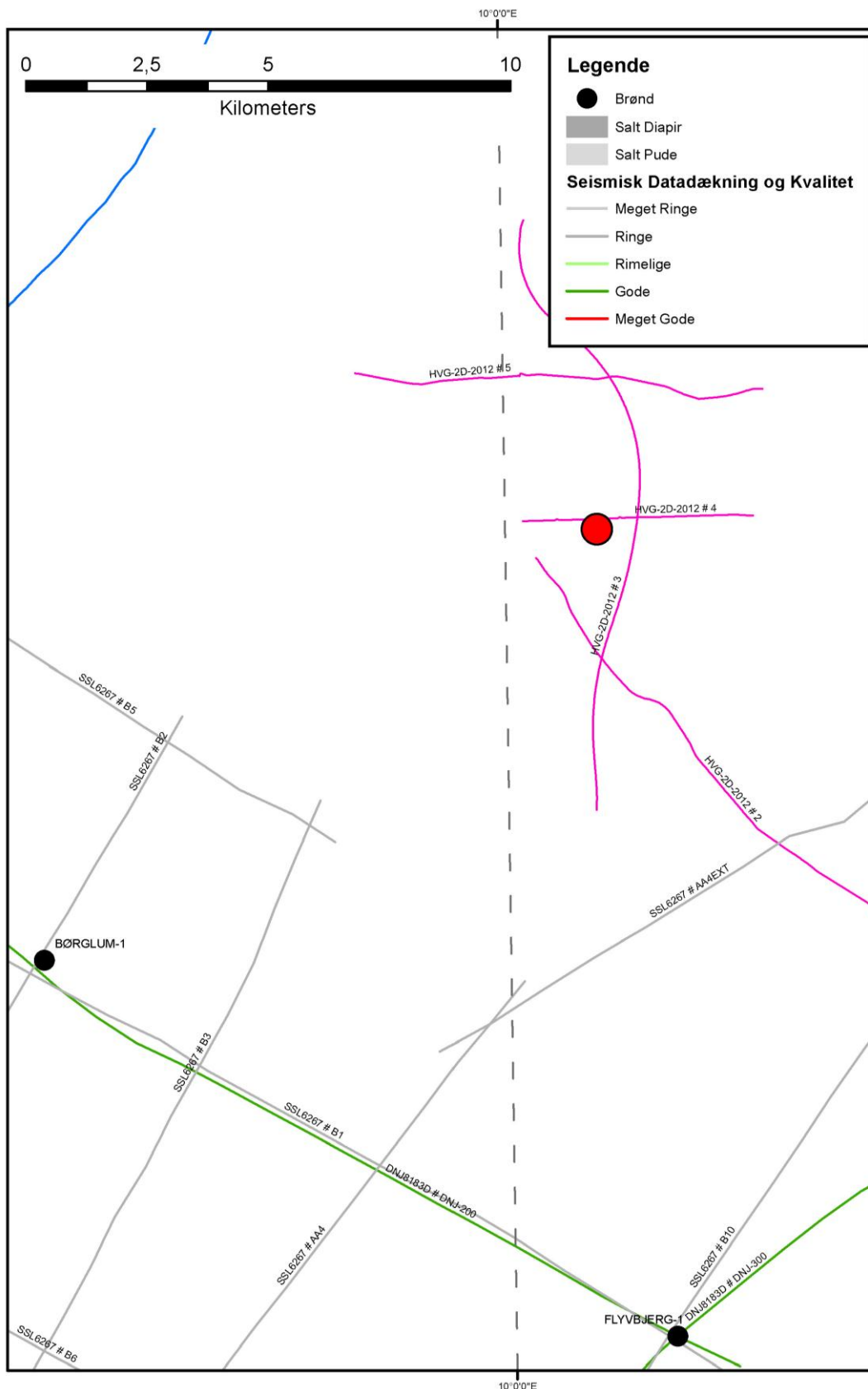
5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1. Gassum Formationens top vurderes at være til stede ca. 1450 m.u.h. ved prognoselokaliteten (Kristensen & Nielsen 2014) med en vurderet usikkerhed på $\pm 5\%$. Tykkelsen af formationen vurderes til at være 130 meter med en usikkerhed på $\pm 5\%$.

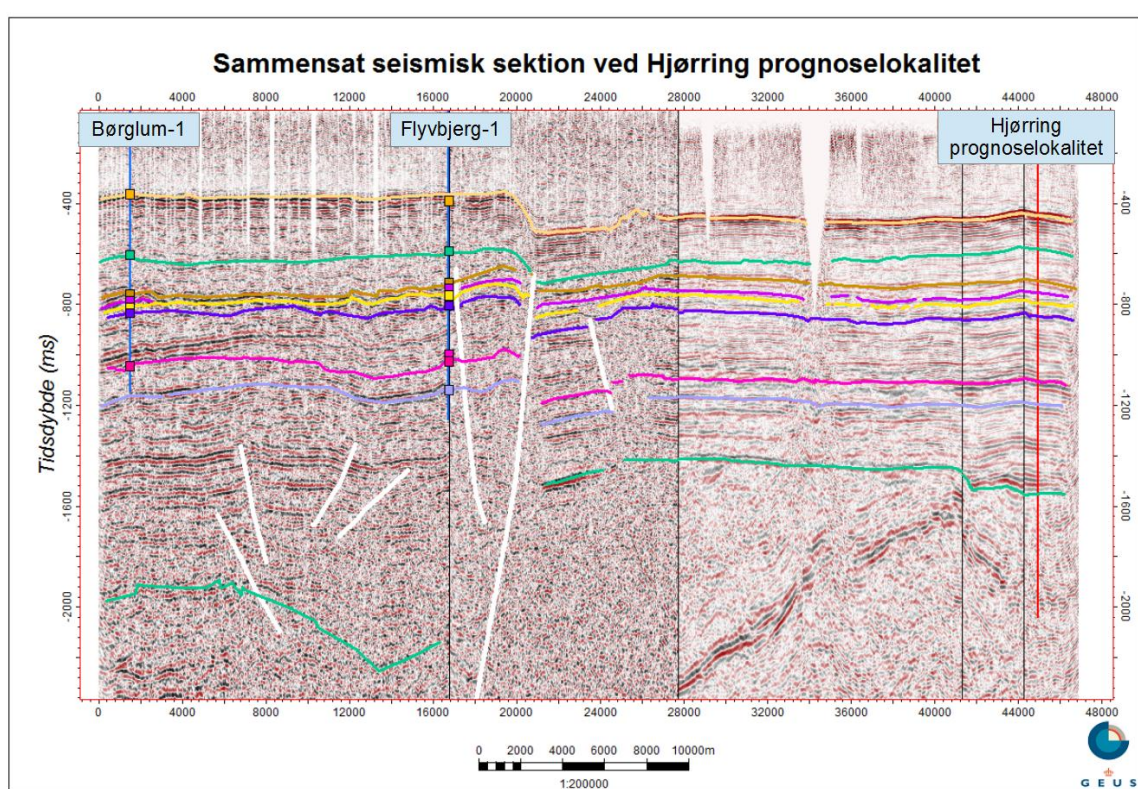
De seismiske linjer DNJ-200, DNJ-100, 2, 3 og 4 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et sammensat seismisk profil, der passerer gennem Børglum-1 og Flyvbjerg-1 samt nord om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 200 meter. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. På det seismiske profil fremstår Gassum Formationen forholdsvis uforstyrret og de øvrige seismiske data viser ligeledes, at formationen ikke brydes af markante forkastninger i interesseområdet.

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

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	105–440	335
Frederikshavn Fm	720–890	170
Flyvbjerg Fm	950–1000	50
Haldager Sand Fm	1000–1060	60
Fjerritslev Fm	1060–1450	390
Gassum Fm	1450–1580	130
Skagerrak Fm	1580–2140	560



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



Figur 5: Sammensat seismisk profil, der passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af ca. 200 meter (baseret på linjerne DNJ-200, DNJ-100, 2, 3 og 4 i Figur 3 og 4). Prognoselokalitet er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Endvidere er Børglum-1 og Flyvbjerg-1, som den seismiske linje passerer forbi i en afstand på under 50 meter, projiceret vinkelret ind på profilet. Gassum Formationen fremstår forholdsvis uforstyrret, og der ses ingen markante forkastninger omkring prognoselokaliteten. Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren: Basis af Kalkgruppen (orange), Top Frederikshavn Fm (grøn), Top Børglum Fm (brun), Top Flyvbjerg Fm (lyserød), Top Haldager Sand Fm (gul), Top Fjerritslev Fm (lilla), Top Gassum Fm (lyserød), Top Skagerrak Fm (lyslilla) og Top Pre-Zechstein (turkisgrøn). På figuren fremgår endvidere de nominelle tidsdybder af de tilsvarende lithologiske grænser i Børglum-1 og Flyvbjerg-1 borerne (vist som kvadratiske kasser).

5.1.2 Boringsdata

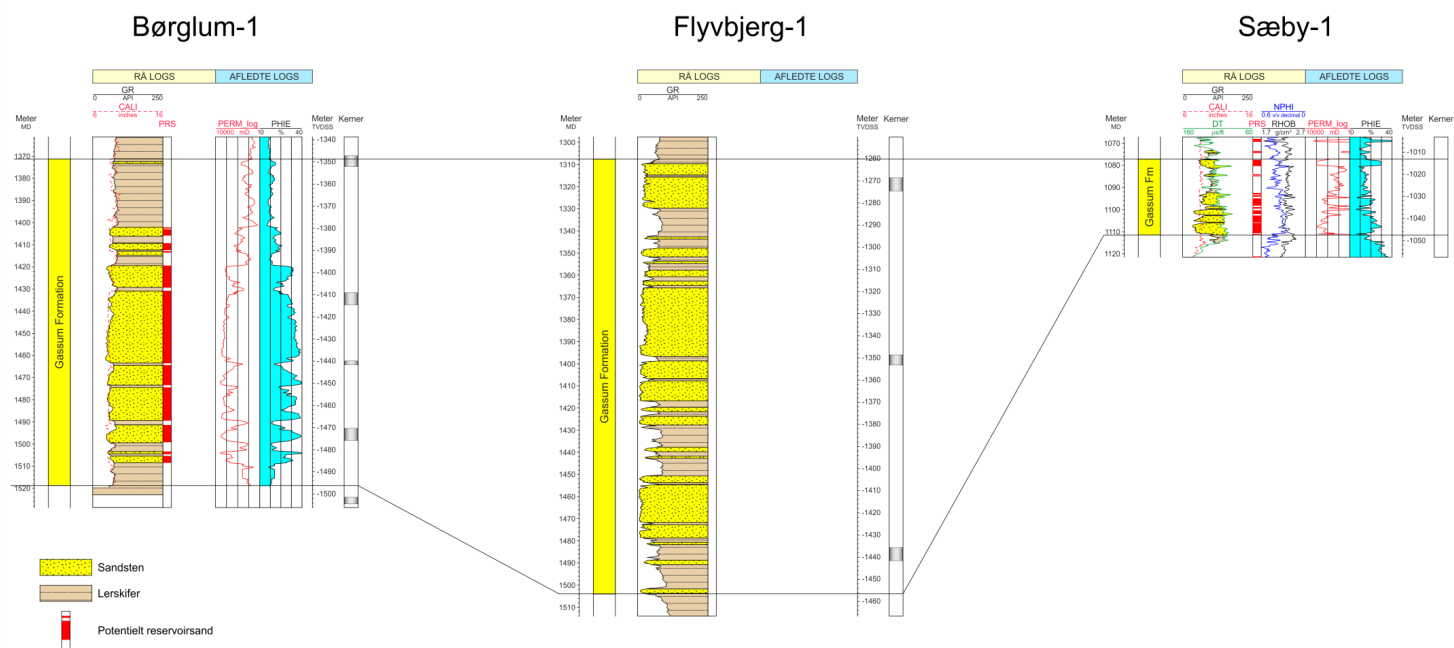
Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Gassum Formationen i de nærmeste "omkransende" brønde. Endvidere er der vist hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoir egenskaber (Potentielt reservoirsand), formationen er estimeret til at indeholde i brøndene. I afsnit 5.2, og mere udførligt i Geotermi WebGIS portalen, gøres der rede for, hvordan disse størrelser estimeres på baggrund af logdata. Boringsdata viser, at Gassum Formationen generelt er vidt udbredt i regionen (Nielsen 2003). De "omkransende" brønde til prognoselokaliteten viser dog en betydelig variation i tykkelsen af Gassum Formationen fra 11 meter i Skagen-2 til 178 meter i Flyvbjerg-1 (Tabel 5.2). Tykkelsen er markant større i Børglum-1 og Flyv-

bjerg-1, der er beliggende i Fjerritslev Truget, i forhold til i de øvrige brønde, der er beliggende på Skagerrak–Kattegat Platformen. Nærmeste brønd til prognoselokaliteten på Skagerrak–Kattegat Platformen er Sæby-1, hvor Gassum Formationen kun er 34 meter tyk. Denne tykkelse anses ikke for værende repræsentativ for prognoselokaliteten, hvor de højopløselige seismiske data indikerer, at formationen har en tykkelse på omkring 130 meter (Kristensen & Nielsen 2014).

Gassum Formationen viser også en betydelig variation i den interne fordeling af sandsten og lersten; eksemplificeret ved Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Sæby-1 i Figur 6. Mange af sandstensintervallerne kan korreleres regionalt mellem brøndene i form af sekvensstratigrafiske enheder, mens enkelte kiler ud fra nordøst mod sydvest, mens andre igen bliver tykkere i denne retning (Figur 19 og 20 i Nielsen 2003). En sådan variation afspejler det oprindelige aflejningsmiljø; eksempelvis blev sand i lange tidsrum tilført det Danske Bassin fra det skandinaviske grundfjeldsområde og aflejret som kystsand langs bassinranden, hvorimod en mere silt- og lerholdig sedimentation tog over ude i de kystfjerne, dybere dele af bassinet. I perioder med lavt havniveau førte floderne deres materiale hen over store dele af Skagerrak–Kattegat Platformen og videre ud i det dybereliggende Fjerritslev Trug. Overordnet set må det forventes, at sandstensintervaller i Gassum Formationen ved prognoselokaliteten kan korreleres til Børglum-1 og Flyvbjerg-1 og delvis mod nordøst og øst på Skagerrak–Kattegat Platformen (mod Skagen-1, Frederikshavn-1 og -2 samt Sæby-1). Den sedimentologiske kontinuitet kan derfor betragtes som værende stor om end de interne sandstensintervaller kan afspejle forskellige aflejningsmiljøer (Nielsen 2003).

Tabel 5.2: Tykkelser af Gassum Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirgenskaber (Potentielt reservoirsand), i de nærmeste brønde, hvis omtrentlige placeringer ses på oversigtskortene i Figur 2. For Børglum-1 angives minimumsværdier da hele Gassum Formationen ikke blev gennemboret. 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
Børglum-1	>156	>86	>82
Flyvbjerg-1	178	122	
Sæby-1	34	23	17
Frederikshavn-1	78	40	
Frederikshavn-2	78	25	
Skagen-2	11	11	



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

5.2 Reservoirkvalitet

I vurderingen af Gassum Formationens reservoirregenskaber ved prognoselokaliteten er der taget udgangspunkt i data fra Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Sæby-1 (Kristensen & Nielsen 2014). Dybdeintervallet for Gassum Formationen i disse brønde ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der fra alle borer er udtaget kerner af formationen (i Sæby-1 dog kun i form af en enkelt sidevægskerne).

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af kerner og borespåner fra Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Sæby-1 borerne (DAPCO & DGU 1951, DAPCO 1958, Dansk Olie og Gas Produktion A/S 1985). Kerneintervallerne i Børglum-1 og Flyvbjerg-1 varierer i længde fra 4,6 til 8 meter (de kernede intervaller fremgår i Figur 6 og 7), og sandsten fra kernerne indgår i reservoirvalueringen. De optagne og tolkede logs i Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Sæby-1 brøndene er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

I estimeringen af reservoirværdierne for Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er data fra Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Sæby-1 vægtet forskelligt afhængig af deres relevans for lokaliteten (Kristensen & Nielsen 2014). Det er dog kun i Børglum-1 og Sæby-1, at der blev indsamlet logdata, som muliggør en mere detaljeret vurdering af formationens reservoirkvalitet. De tolkede reservoirværdier for Gassum Formationen i disse brønde er samlet i henholdsvis Tabel 5.5 og 5.6. Da der ikke forefindes nogen standard porøsitetolog fra Børglum-1, er porøsiteten af sandstenene i denne brønd i stedet vurderet ud fra en modstandslog, der er kalibreret til kerneporøsitetmålinger. 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 Børglum-1 og Sæby-1. Dette er en naturlig følge af, at en ekstrapolering af dataværdier altid vil medføre en ekstra usikkerhed.

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

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Børglum-1	1371–1518	I 4 intervaller	Ingen
Flyvbjerg-1	1308–1504	I 3 intervaller	Ingen
Sæby-1	1077–1111	Ingen	I ét niveau

Tabel 5.4: Liste over rå-logs anvendt i danske onshore borer og tolkede logkurver.

Beskrivelse	Log-navn	Enhed	Log-funktion
Gamma logs	GR	API	Måler naturlig radioaktivitet
	GR_DEN	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med densitetslog
	GR_SON	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med sonic log
Spontaneous potential log	SP	mV	Måler spontaneous potential ('selv-potentialet')
	GRpseudo	mV	Re-skaleret SP log
Sonic logs	DT	microsek/ft	Akustisk log; måler intervalhastighed
	DTCO	microsek/ft	Akustisk log; måler intervalhastighed
Caliper logs	CALI/CAL	Inch/tommer	Måler borehullets diameter
	CAL_NUC	Inch/tommer	Måler borehullets diameter, med neutron log
Resistivetslogs/ Modstandslogs	ILD	Ohm-m	Induktion log; dybt-læsende modstandslog
	ILM	Ohm-m	Induktion log; medium-læsende modstandslog
	LLS	Ohm-m	Laterolog; medium-læsende modstandslog
	LLD	Ohm-m	Laterolog; dybt-læsende modstandslog
	16ft	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	38in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	10in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	18F8	Ohm-m	Lateral modstandslog af ældre dato
	64in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
Neutron log	NPHI	fraction	Måler den tilsyneladende porøsitet (neutron-loggen kan være forkortet "NEU")
Densitets logs	RHOB	g/cm ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
	RHOZ	g/cm ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
Log-beregnet permeabilitet	PERM_log	mD	Beregnet log-kurve baseret på PHIE
Log-beregnet effektiv porøsitet	PHIE	fraction	Beregnet/tolket log kurve
Kernepermeabilitet	Kh_a	mD	Målt horisontal gas permeabilitet (på plugs)
	CPERM_GEUS	mD	Målt gas permeabilitet (på plugs; GEUS data)
Kerneporøsitet	CPOR	%	Målt porøsitet (på plugs)
	CPOR_GEUS	%	Målt porøsitet (på plugs; GEUS data)
Normaliseret gamma log	GRnorm	API	Beregnet/tolket log kurve
Log-beregnet lermængde	Vshale	fraktion	Beregnet/tolket log kurve
Indikator for potentielt reservoirsand (PRS)	PRS	m	Log-udledt kurve ("flag") der indikerer, hvor der er potentielt reservoirsand (PRS)

Tabel 5.5: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Børglum-1 brønden (for den gennemborede del af formationen).*

Børglum-1				
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²	
			[MinCase - MaxCase]	
Makro reservoirparametre				
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1349	1 ³	1336–1362 ³	
Tykkelse af formation [m]	156	1 ³	154–158 ³	
Andel af sandsten i formationen				
Tykkelse af Gross sand [m]	86	5 ³	82–90 ³	
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	82	5 ³	78–86 ³	
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,53	5 ³	0,53–0,59 ³	
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,95	5 ³	0,9–1,0 ³	
Vandlede egenskaber (reservoirsand)				
Porøsitet [%]	29	7 ³	27–31 ³	
Gas-permeabilitet [mD]	1230	5 ⁷	246–6150 ⁷	
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	1538	5 ⁷	308–7690 ⁷	
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	127	5 ⁷	25–635 ⁷	
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering		
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt meget fin til medium kornstørrelse, stedvis grov og meget grov; ingen information om sortering og afrundingsgrad			
Diagenese/cementering	Ingen oplysninger om cementeringsgrad bortset fra en angivelse af at sandstenene ikke er kalkcementeret med undtagelse af i enkelte dybdeintervaller			

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 Gassum Formationen i Sæby-1 brønden.*

Sæby-1			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1013	1 ³	1003–1023 ³
Tykkelse af formation [m]	34	1 ³	34–34 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	23	5 ³	22–24 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	17	5 ³	16–18 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,50	5 ³	0,48–0,53 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,74	5 ³	0,70–0,78 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	22	5 ³	21–23 ³
Gas-permeabilitet [mD]	320	4 ⁷	80–1280 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	400	4 ⁷	100–1600 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	7	4 ⁷	2–28 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til grov kornstørrelse; ringe sorteret til sorteret; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Ingen oplysninger om cementeringsgrad bortset fra en angivelse af at sandstenene kan være calcit-cementerede i den øvre del af formationen		

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

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

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

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

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

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

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

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

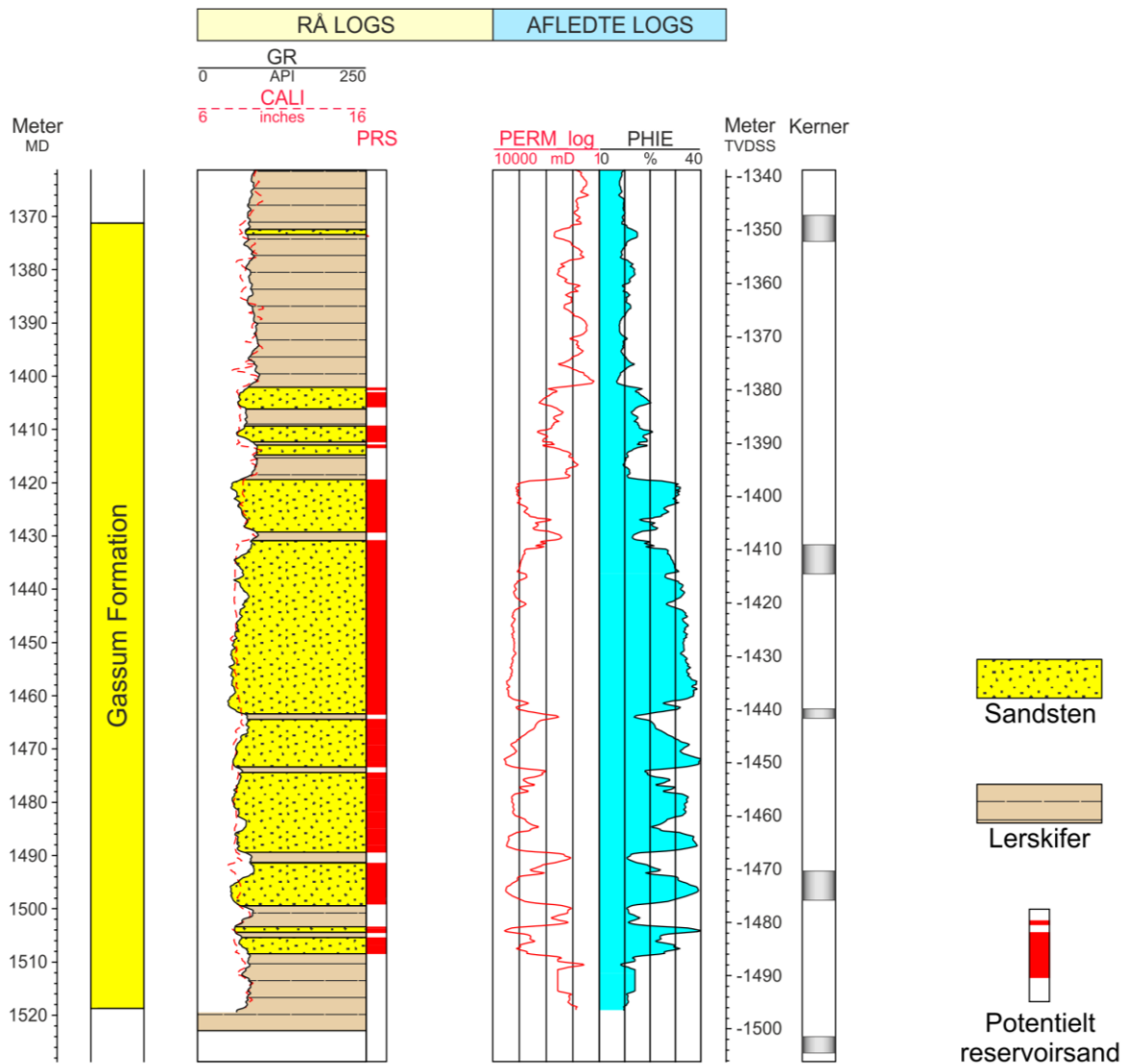
⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale samt udtagne kerner fra Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Sæby-1 borerne har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Gassum Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten (Figur 6–8). Borespåne- og kernebeskrivelserne understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af beskrivelserne, at

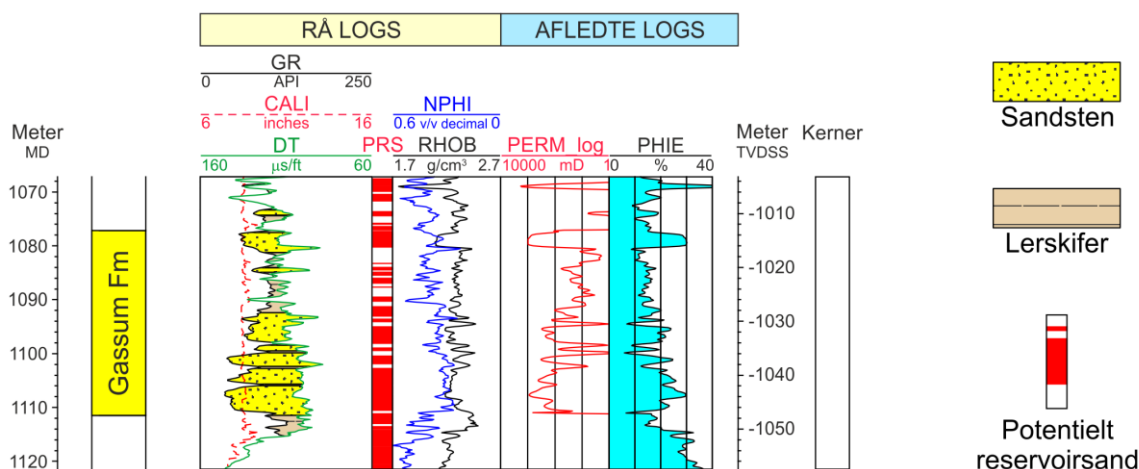
sandstenene i formationen kan variere i kornstørrelse fra fin til grov (DAPCO & DGU 1951, DAPCO 1958, Dansk Olie og Gas Produktion A/S 1985). Oplysninger om sandstenenes sortering, afrundingsgrad og cementering er meget begrænsede. I Sæby-1 angives sandstenene dog som værende ringe sorterede til sorterede og sandskornene som værende subkantede til afrundede. Ud fra den generelle viden om Gassum Formationen må det antages, at sandstenene også kan være velsorterede og sandskornene velafrundede. Endvidere angives det for den øvre del af formationen i Sæby-1, at sandstenene kan være calcitcementerede. I enkelte dybdeintervaller er sandstenene angivet til at være lercementerede (Flyvbjerg-1). I den nærmeste boring, Børglum-1, angives det for de fleste beskrevne dybdeintervaller, at sandstenene er kalkfrie bortset fra enkelte intervaller, som angives til at være svagt kalkholdige eller kalkholdige. På baggrund af de ovennævnte oplysninger fra de nærmeste boringer vurderes det, at sandstenene i Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er svagt cementerede til cementerede.

Børglum-1



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Børglum-1 inklusiv en tolkning af lithologien. 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 lyseblå fyld, og permeabilitetsestimatet (PERM_log) er plottet som en rød kurve. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.4. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tykkelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

Sæby-1



Figur 8: Petrofysisk log-tolkning af lithologien i Gassum Formationen i Sæby-1. Lithologikolonnen er afgrænset af gamma (GR) og sonic (DT) loggene. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.4. Sektioner med Potentielt reservoirsand (PRS) er markeret med rødt fyld. Porøsitetsestimatet (PHIE) er fremhævet med lyseblåt fyld, og permeabilitetsestimatet (PERM_log) er plottet som en rød kurve. Formationen er i boringen vist med dens vertikale tykkelse. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform, TVDSS: Vertikale dybde under havniveau.

5.2.2 Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet

I Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Sæby-1 er Gassum Formationen henholdsvis >156, 178 og 34 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 86 meter i den gennemborede del af formationen i Børglum-1, ca. 122 meter i Flyvbjerg-1 og ca. 23 meter i Sæby-1 (Tabel 5.2). Tolkningen af Gross-sandets tykkelse er baseret på en forudgående tolkning af ler-mængden ud fra gamma-loggen, idet det antages, at mængden af ler er proportional med gamma-loggens respons fratrukket baggrundsstrålingen (Tabel 5.7).

På baggrund af tolkningen af ler-mængden er andelen af Gross sand herefter bestemt som den del af et givet dybdeinterval, der har et ler-indhold på mindre end 30 %. Ligeledes er andelen af Potentielt reservoirsand vurderet ud fra den log-tolkede porøsitet samt ler-mængden, idet der både stilles krav til en vis minimumsporøsitet og et maksimalt lerindhold. GEUS har i den forbindelse valgt at definere Potentielt reservoirsand ud fra følgende kriterier: porøsiteten (PHIE) skal være større end 15 %, og samtidig skal ler-indholdet (Vshale) være mindre end 30 %. Ud fra disse kriterier er mængden af Potentielt reservoirsand vurderet til ca. 82 meter i den gennemborede del af Gassum Formationen i Børglum-1 og til ca. 17 meter i Sæby-1, hvorimod denne og andre reservoirparametre ikke kan be-

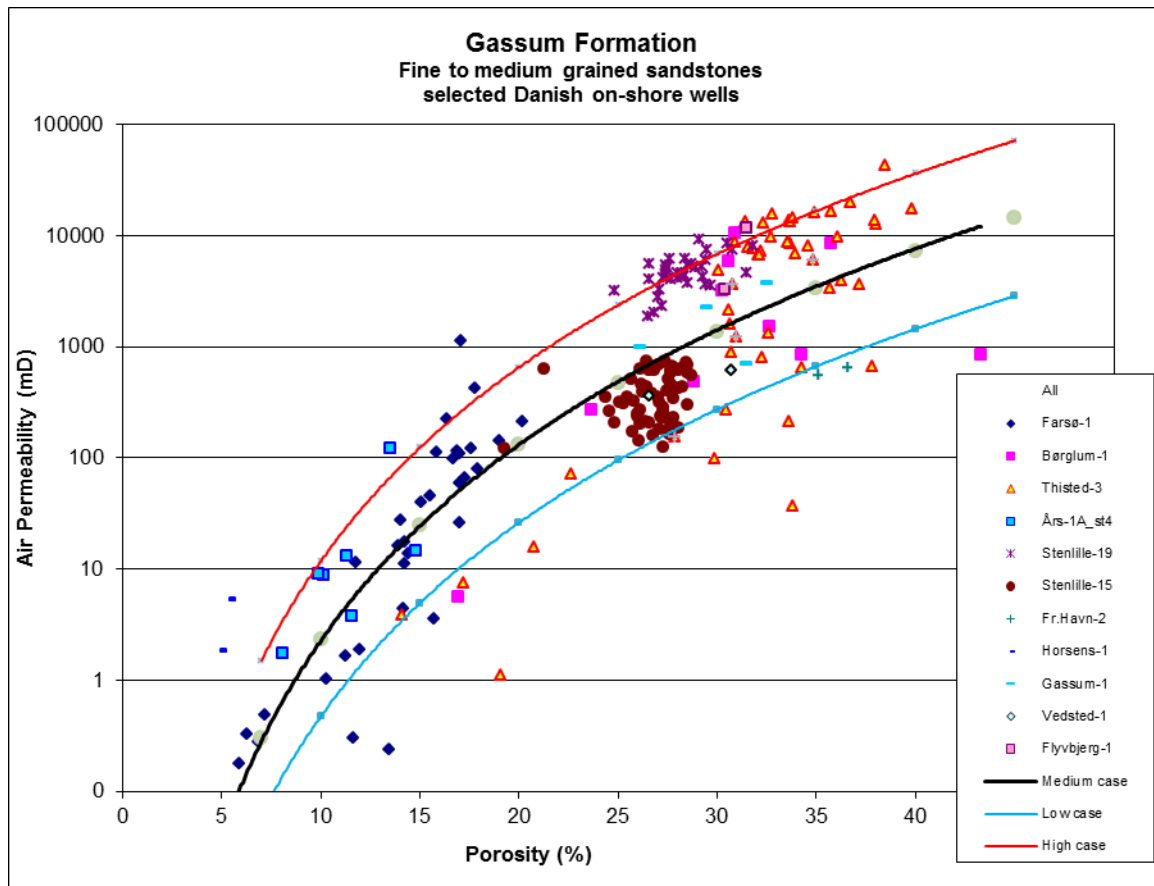
regnes for Flyvbjerg-1 på grund af manglende logdata. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 29 % i Børglum-1 og ca. 22 % i Sæby-1 (Tabel 5.5 og 5.6). Porøsitetstolkningen er baseret på en ler-korrigeret densitets-log, og der er anvendt en sandstens densitet på $2,65 \text{ g/cm}^3$ svarende til densiteten for ren kvarts. For Børglum-1 er porøsiteten dog vurderet ud fra en modstandslog, der er kalibreret til kerneporøsitetmålinger.

Tabel 5.7: Responsparametre for gamma (GR) log for Børglum-1, Flyvbjerg-1 og Sæby-1 boringerne.

Responsparametre for gamma (GR) log	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Børglum-1	32	120
Flyvbjerg-1	37	150
Sæby-1	30	150

5.2.3 Permeabilitet

Permeabiliteten er bestemt på kernemateriale fra Gassum Formationen i Børglum-1 og Flyvbjerg-1. Disse målinger indgår i en porøsitet-permeabilitetsrelation, der er baseret på kerneanalyzedata fra en række danske landboringer beliggende i Jylland og på Sjælland (Figur 9). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Hjørring-området, og permeabiliteten er dernæst beregnet for hver log-læsning, dvs. log-porøsiteterne er omregnet til log-permeabiliteter for hver halve fod (15 cm). Under anvendelse af de førnævnte 'cut-off' værdier er den gennemsnitlige gas-permeabilitet (vægtet gennemsnit) for reservoirsandstenene estimeret til ca. 1230 mD for Børglum-1 og til ca. 400 mD for Sæby-1. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 1538 og 400 mD for henholdsvis Børglum-1 og Sæby-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 (Børglum-1 og Sæby-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 9, og herudover er tidligere foretagne vurderinger af Gassum Formationen udenfor studieområdet udnyttet. Sæby-1 er ikke kernet i Gassum Formationen, hvorimod der foreligger en række porøsitets- og permeabilitets målinger fra Gassum Formationen i Børglum-1 boringen. Kernemålingerne fra Børglum-1 viser stor spredning, og en repræsentativ gennemsnits-permeabilitet er derfor vanskelig at bestemme. Det er følgelig hensigtsmæssigt at indlægge et usikkerhedsbånd på permeabiliteten baseret på flere modeller, f.eks. "Medium", "High" & "Low case" som vist i Figur 9.



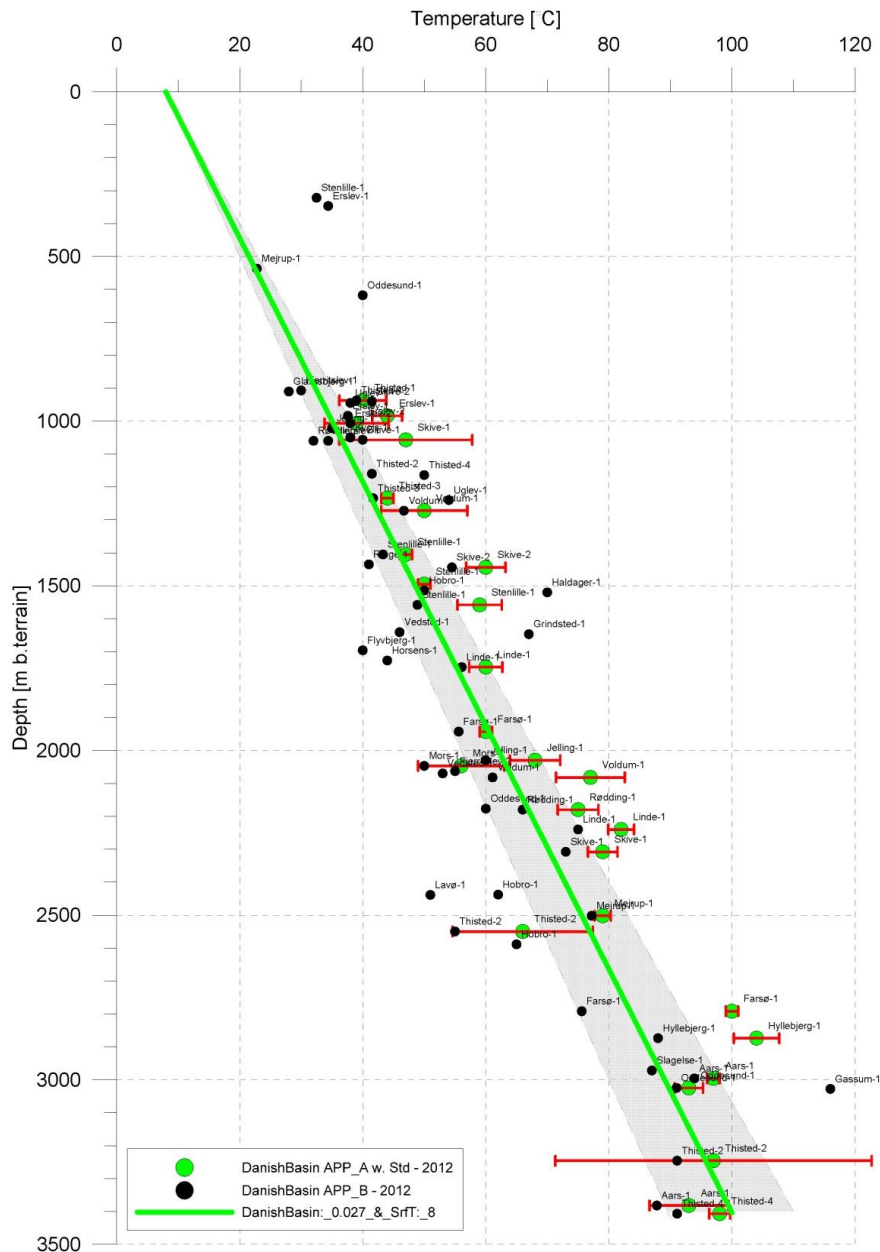
Figur 9: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug prøver primært fra sandstenslag i Gassum Formationen. Korrelationen er ikke entydig, og derfor er variationsbredden belyst med 3 tendens-linjer (Høj, Medium og Lav "cases").

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 erfarings-baseret opskalering. Transmissiviteten er således en forventet reservoir-transmissivitet; denne er i Børglum-1 vurderet til ca. 127 Darcy-meter og i Sæby-1 til ca. 7 Darcy-meter. Den store forskel skyldes i væsentlig grad forskellig geologisk udvikling af Gassum Formationen ved de to lokaliteter. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS transmissiviteten til 74 Darcy-meter ved prognoselokaliteten med en usikkerhed, der mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 5; svarende til at dividere, henholdsvis gange, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren indeholder en samlet usikkerhed knyttet til estimeringen af permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

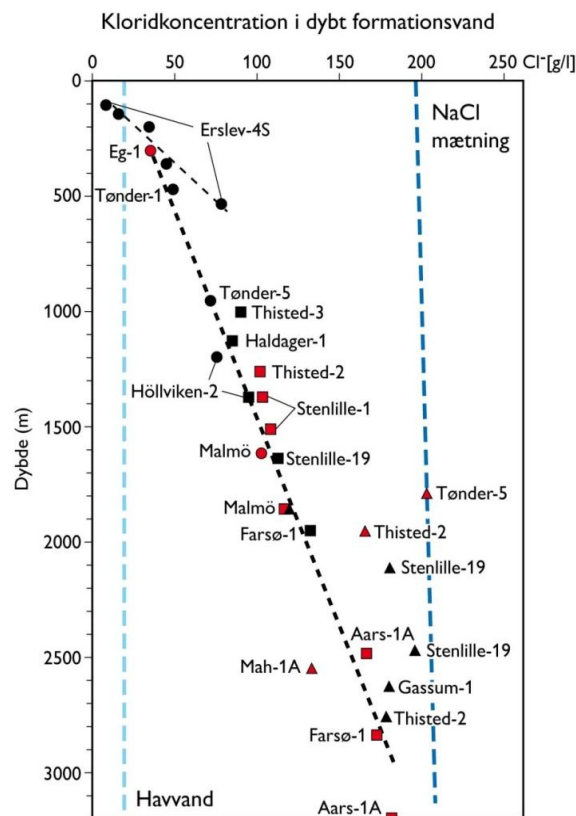
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til ca. $50\text{ °C} \pm 10\%$ ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på temperaturmålinger i dybe borer i bassinet og er givet ved: $\text{Temp.} = 0,027 \cdot \text{dybde} + 8\text{ °C}$ (Figur 10). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 1540 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (1450 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (25 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (65 meter).



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

5.4 Salinitet

Ud fra målinger af kloridkoncentrationen i forskellige dybe brønde er der udarbejdet en generel relation mellem dybden og kloridkoncentrationen for formationer, der ikke overlejres af saltlag (Figur 11). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på omkring 103 g/l i en dybde af 1540 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 202 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. Klorid-analyserne 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 1958: Flyvbjerg-1, Completion Report.

DAPCO & DGU 1951: Børglum-1, Completion Report (compiled May 1993).

Dansk Olie og Gas Produktion A/S 1985: Sæby-1, Exploratory Well Summary (Completion Report). Licence 9/84.

Kristensen, L. & Nielsen, L. 2014: Vurdering af det geotermiske potentiale i Hjørring området. GEUS-notat nr. 08-EN-14-07 af den 20. juni 2014.

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

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

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

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

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

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

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