



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Randers

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

Randers - Beskrivelse fjernvarmeområde

DATO

10. oktober 2014

TIL

Energistyrelsen

KOPI

FRA

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)

PROJEKTNR

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

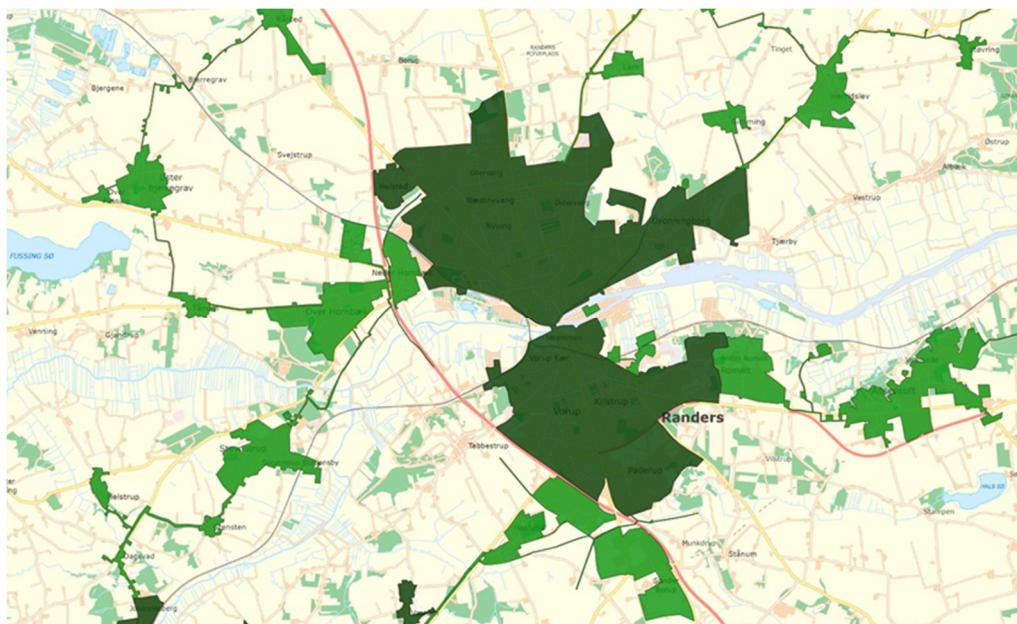
SIDE 1/5

1 Verdo Varme A/S – Randers fjernvarmeområde

1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i Randers og oplandsbyer varetages af Verdo Varme A/S.

Nedenstående kort viser Verdo Varme A/S' nuværende forsyningsområde i Randers by (mørkegrøn).



Figur 1 Oversigtskort over Fjernvarmeområdet forsynet fra Verdo Varme A/S i Randers by



Figur 2 Distributionsnettet i Randers by

Varmen til området produceres primært på det biomassefyrede kraftvarmeværk på Randers Havn samt spids- og reservelastskedler på centralerne Ydervangen, Bronzevej og Kulholmsvej (ved Kraftvarmeværket).

Verdo Varme A/S har i dag ca. 36.500 forbrugere (ca. 12.300 målere), der forsynes via ca. 50 km hovedledning og ca. 40 km stikledning.

Nedenstående tabel viser varmebehovet for Verdo Varme A/S' forsyningsområde.

Tabel.1 Oversigt nuværende og fremtidigt varmegrundlag Randers By

Varmegrundlag					
Randers					
MWh/år	2012	2013	2015**	2025**	2035**
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	437.000	437.000	478.904	478.904	478.904
Distributionstab	130.000	130.000	130.000	130.000	130.000
An net	567.000	567.000	608.904	608.904	608.904
TJ/år					
Nettovarme	1573	1573	1724	1724	1724
Distributionstab	468	468	468	468	468
An net	2041	2041	2192	2192	2192
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år	2073 TJ				
Energiproducenttællingen angiver en samlet produktion an net på 2138 TJ an net					
Der er således rimelig overensstemmelse mellem de tilgængelige statistikker					
Data vedrørende varmesalg mv fremgår ikke umiddelbart af selskabets årsberetninger					
** Prognosed er baseret på at kommunens Klimaplan					
forudsætter konvertering af ca 3500 olie og naturgasforbrugere i forsyningsområdet					

Behovsopgørelsen i 2012 er baseret på Dansk Fjernvarmes årsstatistik mens prognosen er baseret på forudsætninger i Randers Kommunes Klimaplan.

Det maksimale effektbehov i forsyningsområdet er i DF's statistik anført til 257 MW an net.

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

Tabel 2 Oversigt over temperaturforhold

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
79	45	84	41

1.2 Nuværende produktionsstruktur

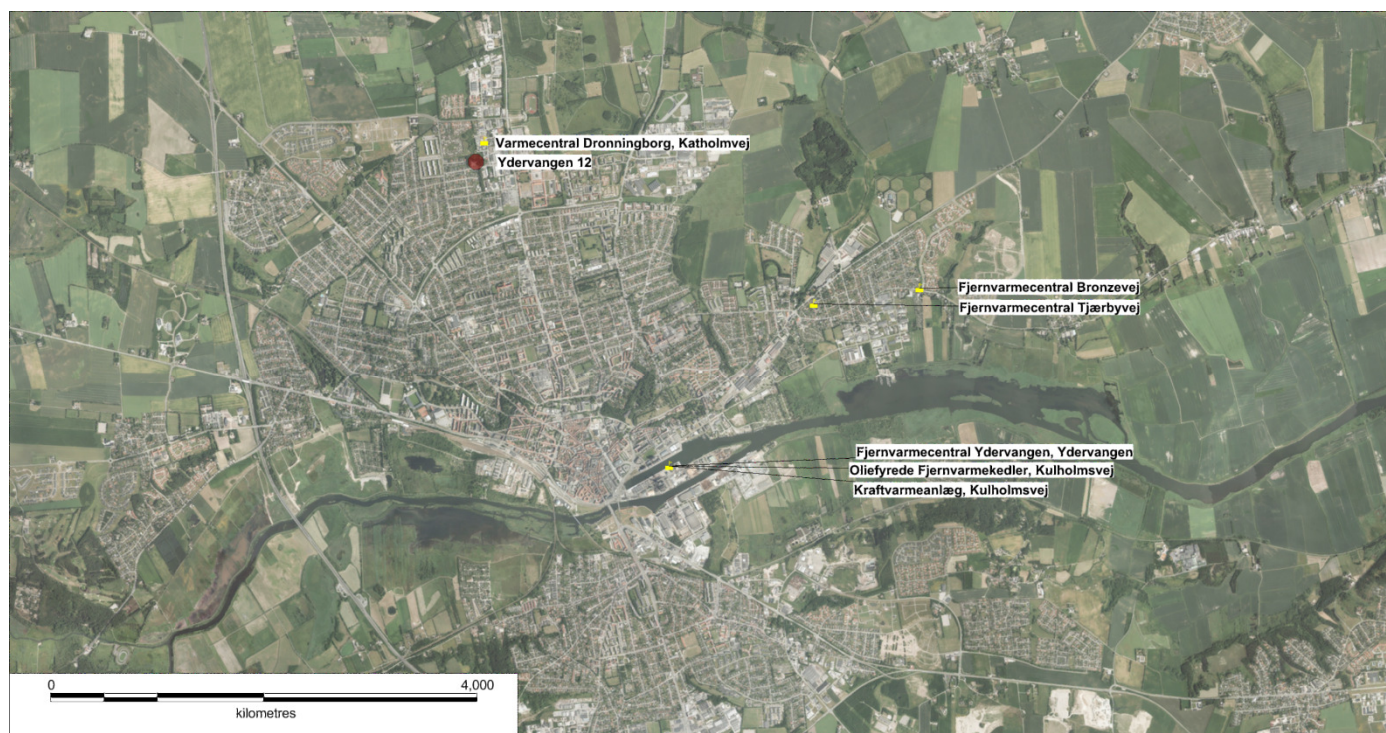
Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur hos Verdo Varme A/S.

Tabel 3 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)

Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012													Brændselsfordeling					
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varme produktion i 2012 (TJ)	*Brændsels forbrug 2012 (TJ)	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varme effekt (MW)	Elvirknings grad	**Varme virknings grad	Etablerings år	Forventet udfasnings år	Kul	Gasolie	Naturgas	Biogas	Flis	Træ- og biomasseaffald	Biolie
Randers by																		
Oliefyrede Fjernvarmekedler, Kulholmsvej	Kedel	Bio-olie	42	49	70	0	70		99%				3,6					49
Kraftvarmeanlæg, Kulholmsvej	Damp turbine	Flis	2092	2775	190	52	112	27%	75%	01-01-1982		2,1			10	2232	543	
Fjernvarmcentral Ydervangen, Ydervangen	Kedel	Gasolie	3	3	31	0	29		93%	01-01-1975			3,0					
Varmecentral Dronningborg, Katholmvej	Kedel	Gasolie	0	0	22	0	20		89%	01-01-1970			0,1					
Fjernvarmcentral Tjærbyvej	Kedel		0	0	0	0	3		0%									
Fjernvarmcentral Bronzevej	Kedel	Naturgas	2	2	24	0	22		92%	01-01-1998				2				
Total			2.138				255											

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

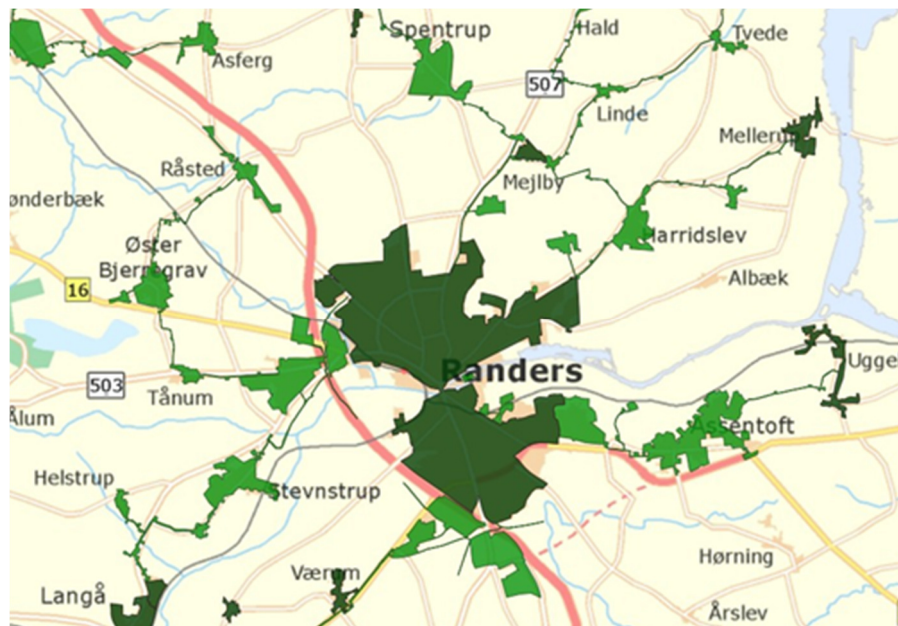
Anlæggenes geografiske placering er illustreret på nedenstående figur



Figur 3 Geografisk oversigt varmemproduktionsanlæg

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

I henhold til Randers Kommunes Klimaplan planlægges fjernvarmeområderne i kommunen udvidet til nærliggende centerbyer og lokalcentre. Det kunne bl.a. være Assentoft, Harridslev, Spentrup, Øster Bjerregrav, Stevnstrup samt dele af Randers by.



Figur 4 Oversigt potentielle udvidelser af fjernvarmeområder

Det forudsættes i Klimaplanen at op mod 2.500 individuelle gaskedler samt ca. 1.000 oliefyr i Energi Randers fjernvarmeforsyningsområde forventes konverteret til fjernvarme baseret på CO₂-neutralt brændsel.

Denne forudsætning er indbygget i prognosen for varmegrundlaget.

Energi Randers har for nogle år tilbage fået lavet en geotermi undersøgelse. Med baggrund i denne samt den nuværende biomassebaserede kraftvarmeproduktion der dækker næste 100% af fjernvarmebehovet har selskabet udtrykt at man ikke er interesseret i yderligere undersøgelser vedrørende geotermi.

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg på Ydervangen 12 ved en af spidslastcentralerne. Denne placering er baseret på at GEUS, ud fra allerede gennemførte seismiske undersøgelser, har vurderet at denne placering er bedst.

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 Randers

1 Indledning

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

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg ved en spidslastcentral på Ydervangen 12, 8920 Randers.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Randers 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 Randers.

Usikkerheden på de geologiske parametre er middel på grund af nærhed til gode data i Gassum boringen, men dårlig seismisk datadækning. Der er risiko for lokale forkastninger. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1.

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	55
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	2468
Temperatur@midt reservoir	°C	75
Tykkelse af formation	m TVT	125
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	34
Transmissivitet	Dm	16
Seismik-anbefaling	km	40

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	2192
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages tilgængelig som drivvarme.	MW	-
Fremløbstemperatur vinter	°C	84
Returløbstemperatur vinter	°C	41
Fremløbstemperatur sommer	°C	79
Returløbstemperatur sommer	°C	45
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger.

Det antages, at der ved den påtænkte placering på Ydervangen 10 kan tages drivvarme for absorptionsvarmepumper fra det eksisterende kedelanlæg, eller at alternativ drivvarmeforsyning kan etableres her.

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

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

5 Resultater

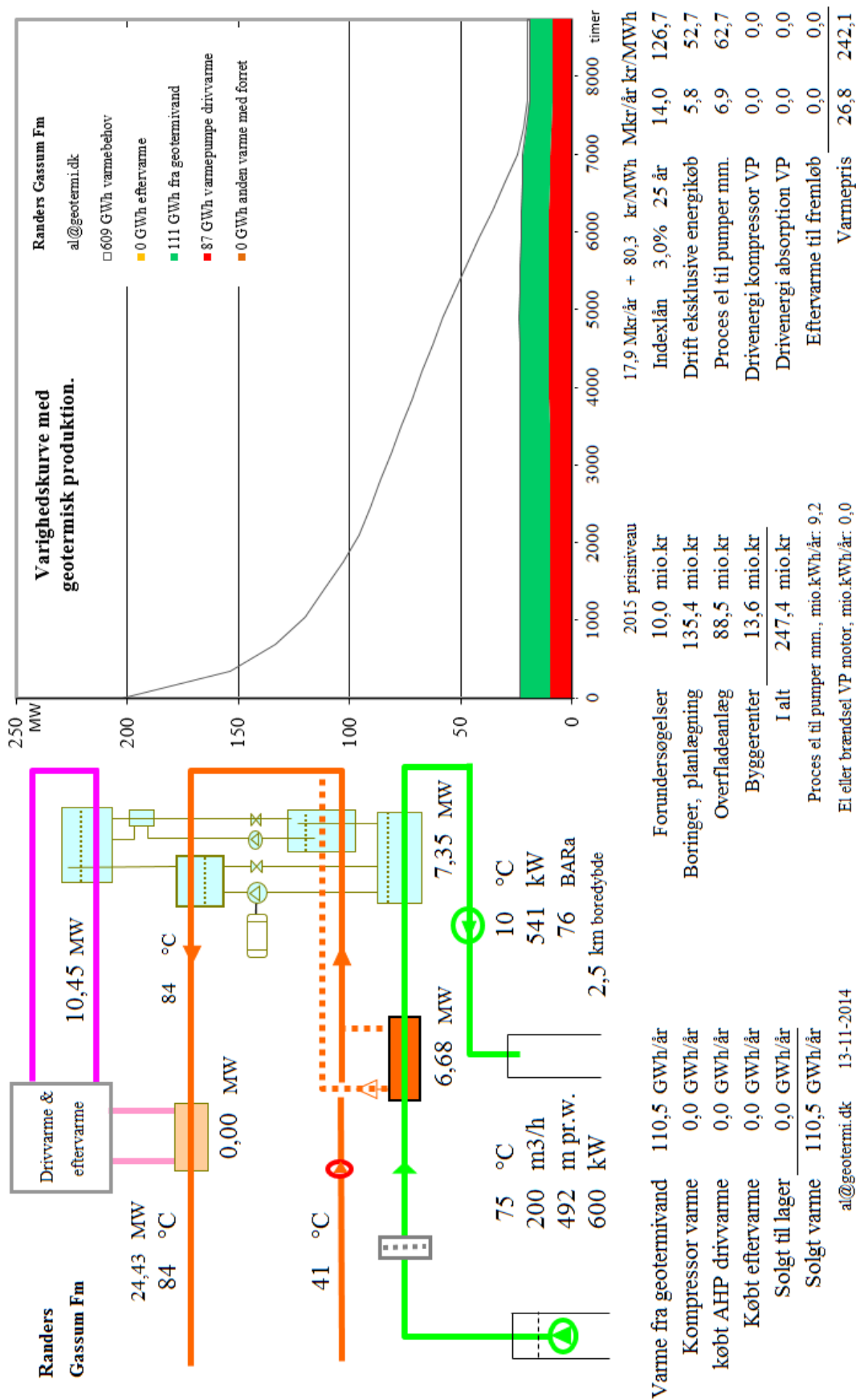
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard-beregningen vises i Figur 1. Resultater fra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

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper og placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 247 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 14,0 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 24,4 MW.

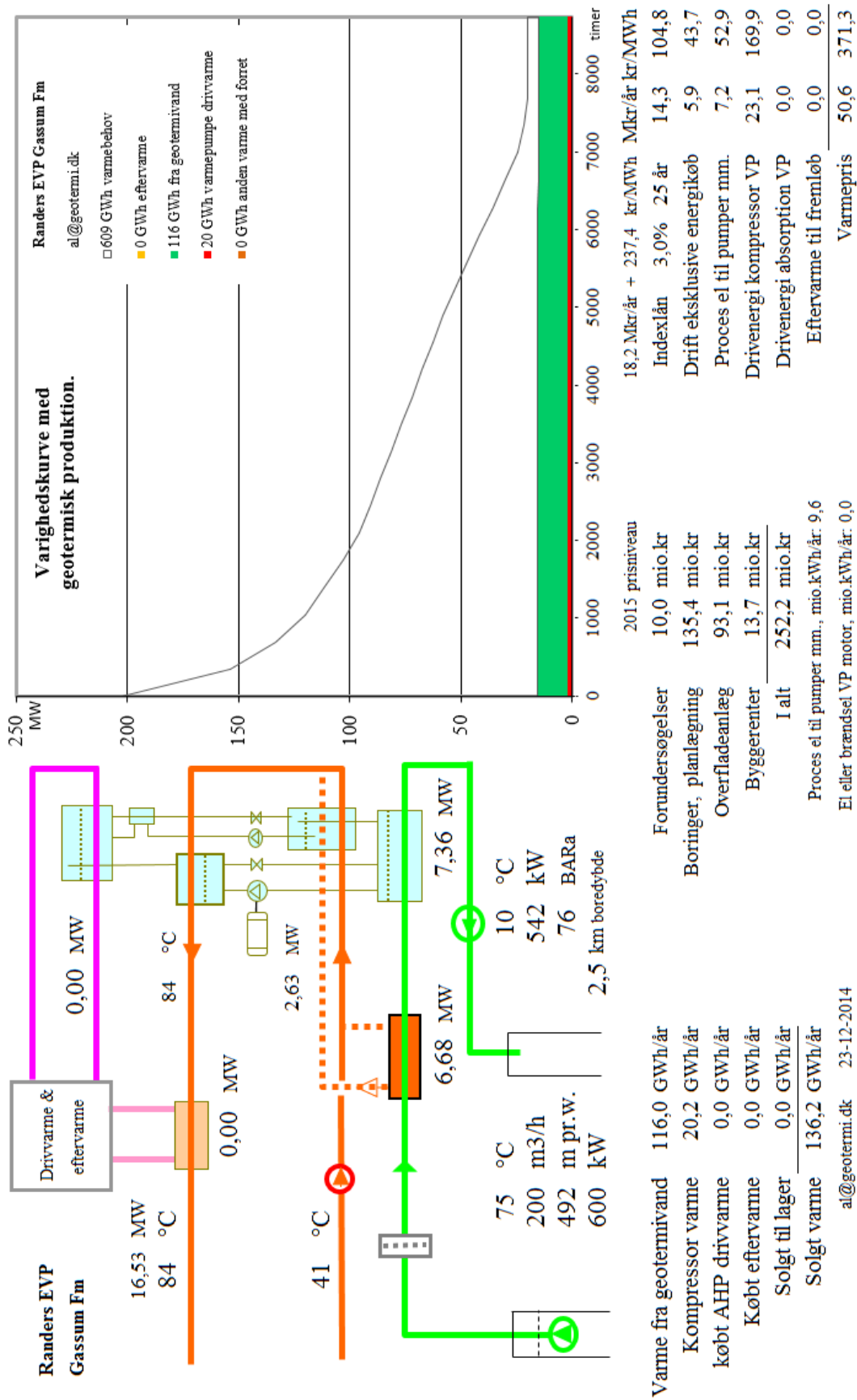
Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 111 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 242 kr./MWh.

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

Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være høj.



Figur 1: Output fra geotermiPRO.



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	14,035		14,044	14,044
2) Effekt fra drivvarme	MW	10,446		N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000		N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	24,434		16,527	
5) Proces el	MW	1,205		1,159	
6) Varmepumpe el	MW	N/A		2,635	
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000		100,000	
8) Drivvarme	%	78,331		N/A	
9) Eftervarme	%	0,000		N/As	
10) Varme til fjernvarmevand	%	178,331		117,411	
11) Proces el forbrug	%	8,363		8,280	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A		17,411	
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	233,823		238,512	278,923
14) Byggerenter	mio. kr	13,617		13,727	14,628
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	3,882		3,966	4,733
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	17,564		14,558	

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 Randers. De fire scenarier som der vises resultater for er:

1. Ref.: Reference scenarie med fastholdelse af det nuværende system og de af fjernvarmeselskaberne planlagte udvidelse indtil 2020. Fra 2020 er "verden forlænget med brædder". Dette scenarie er altså et "status-quo" scenarie.

2. Ref.m.geo.: Reference scenariet med anlagt geotermianlæg. Anlæggets størrelse og tekniske specifikationer er udregnet af Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab. Scenariet kan sammenlignes med Reference scenariet og vise hvorledes et geotermianlæg vil konkurrere i områdets nuværende system.

3. Alt.: Alternativ scenariet er hvor systemerne ikke er forlænget med brædder, men i stedet har investeret i nye teknologier, primært biomasse kraftvarme, solvarme og varmepumper.

4. Alt.m.geo.: Dette er et alternativt scenarie, hvor der før man har investeret i nye teknologier har implemeteret et geotermianlæg. Det vil derfor stadig investere i nye teknologier, men i mindre omfang. Dette scenarie kan sammenlignes med Alternativ scenariet og se geotermianlægs konkurrenceforhold i et mere grønt system.

De to scenarier Ref. og Alt. er valgt for at ramme en stagnering og ekspanderende udvikling af grønne teknologiindfasning. I nogle systemet vil man være tættest på det ene og i andre tættest på det andet. De fire scenarier er forklaret i større detalje i hovedrapporten "Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder - Beregning af geotermianlæg og muligheder for indpasning i fjernvarmeforsyningen."

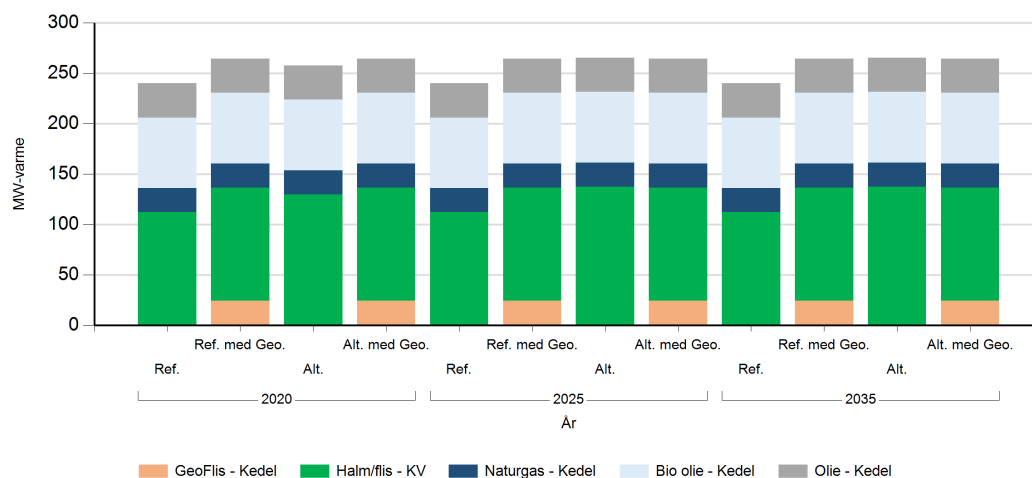
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

- Figur 1: Fjernvarmeproduktionskapacitet fordelt på brændsler og anlægstyper
- Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov
- Figur 3: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper
- Figur 4: Brændselsforbrug for fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler
- Figur 5: Varmelastfordeling over året fordelt på brændsler og anlægstyper
- Figur 6: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området (mio. kr.)
- Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området (kr./GJ)

- Tabel 1: Fjernvarmeproduktionskapacitet fordelt på brændsler og anlægstyper
- Tabel 2i: Solvarmeanlæg i m²
- Tabel 2ii: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper
- Tabel 3: Brændselsforbrug for fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler
- Tabel 4: Fulldlasttimer for varmeproduktionsenhederne.

Kapaciteter

Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper



Figur 1: Udvikling i fjernvarme-produktionskapacitet for Randers fordelt på brændsler og anlægstyper. For alle fjernvarmeområder er der yderligere indsat tilstrækkelig oliespidslastkapacitet til at dække spidsbehovet.

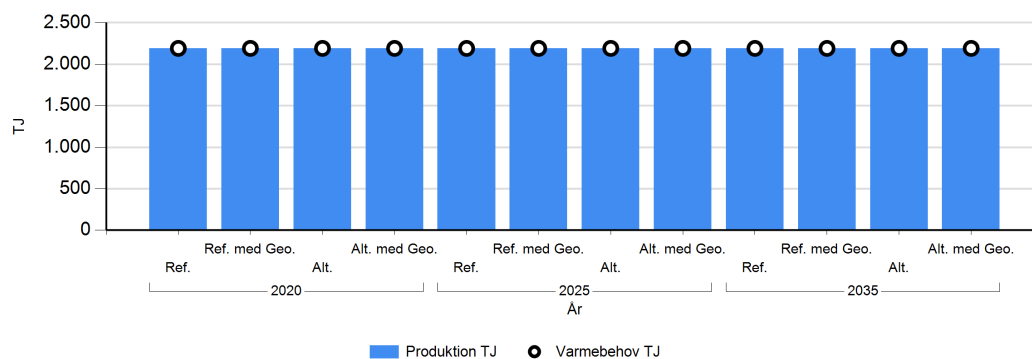
Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

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	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
GeoFlis - Kedel		24.4		24.4		24.4		24.4		24.4		24.4
Halm/flis - KV	112.0	112.0	129.7	112.0	112.0	112.0	137.4	112.0	112.0	112.0	137.4	112.0

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

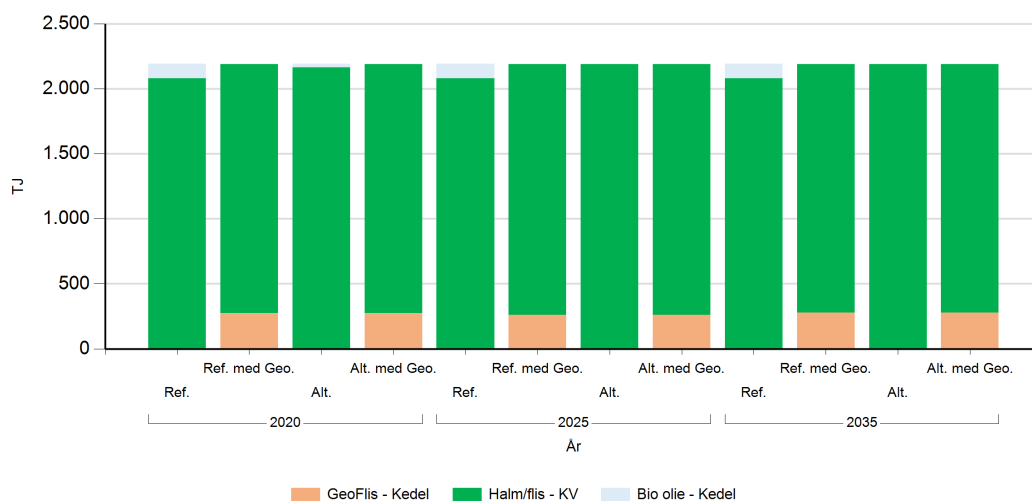
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



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

TJ	2020				2025				2035			
Brændsler og Anlægstype	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Bio olie - Kedel	113,1	2,4	26,0	2,4	113,1	2,4	2,3	2,4	113,1	2,4	2,3	2,4
Halm/flis - KV	2.078,2	1.913,4	2.165,3	1.913,4	2.078,2	1.926,8	2.189,0	1.926,8	2.078,2	1.911,2	2.189,0	1.911,2
GeoFlis - Kedel		275,5		275,5		262,0		262,0		277,7		277,7

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

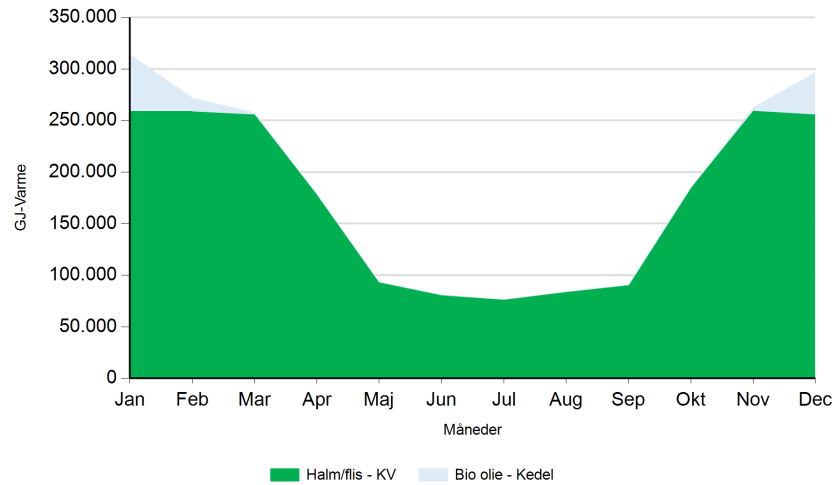
Fuldlasttimer for varmeproduktion

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.
Bio olie - Kedel	449	10	103	10	449	10	9	10	449	10	9	10
Halm/flis - KV	5.154	4.746	4.948	4.746	5.154	4.779	4.452	4.779	5.154	4.740	4.566	4.740
GeoFlis - Kedel		3.136		3.136		2.983		2.983		3.161		3.161

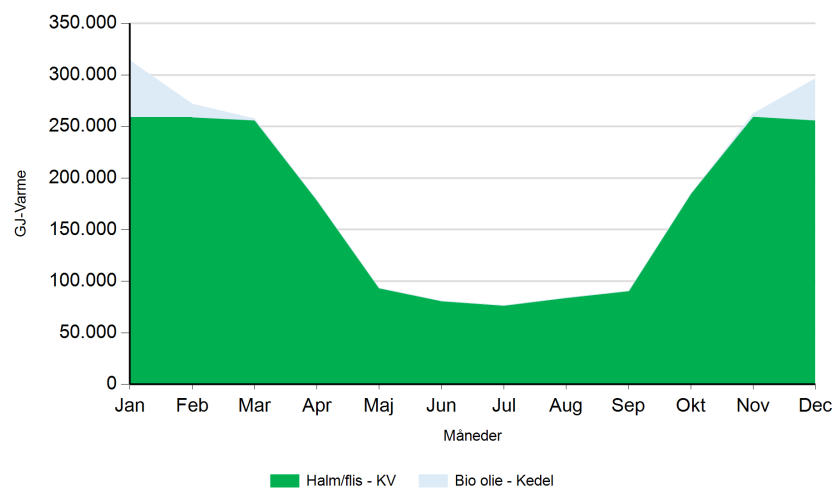
Table 4: Antal af fuldlasttimer for varmeproduktion i Randers.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Randers.

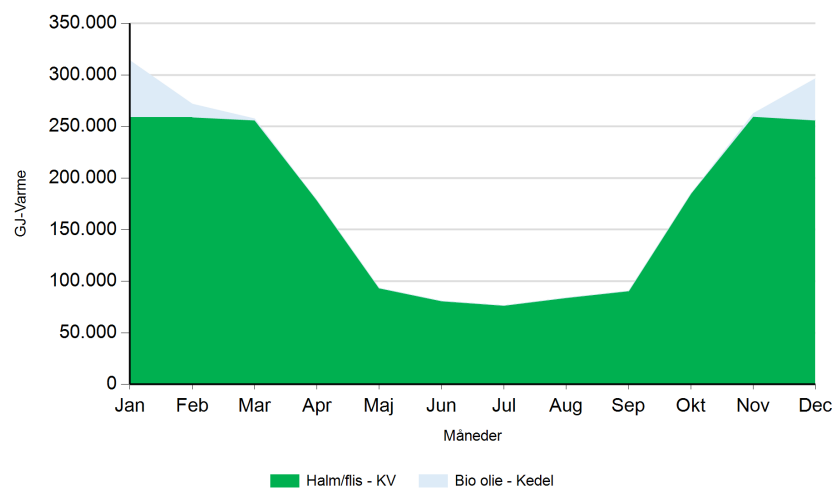
Ref. 2020



2025

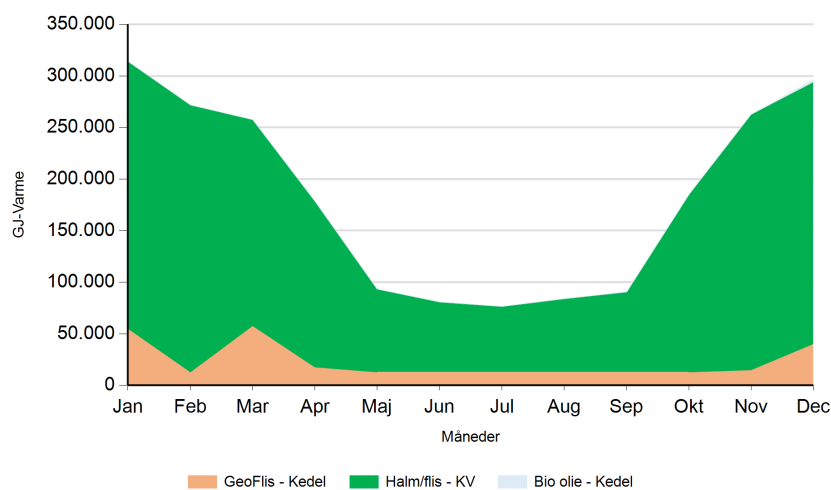


2035

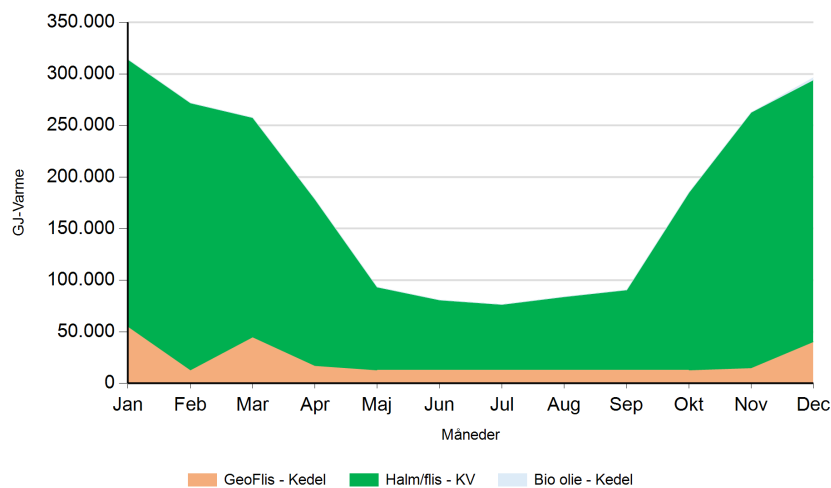




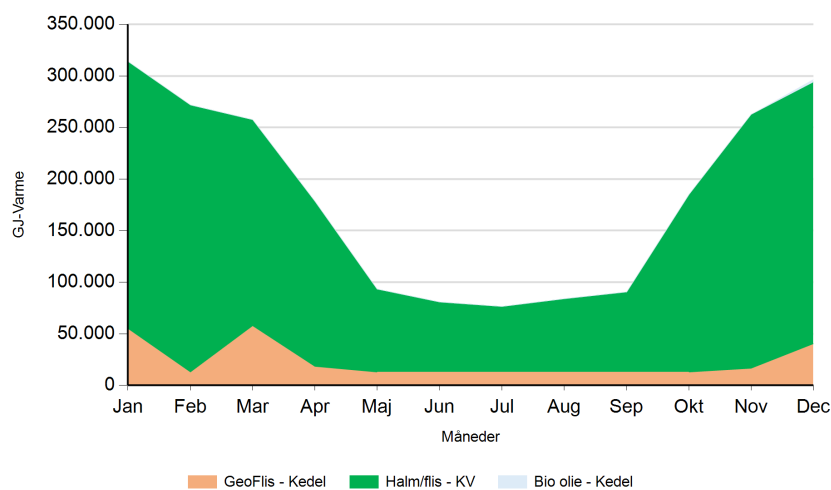
Ref. med Geo. 2020



2025



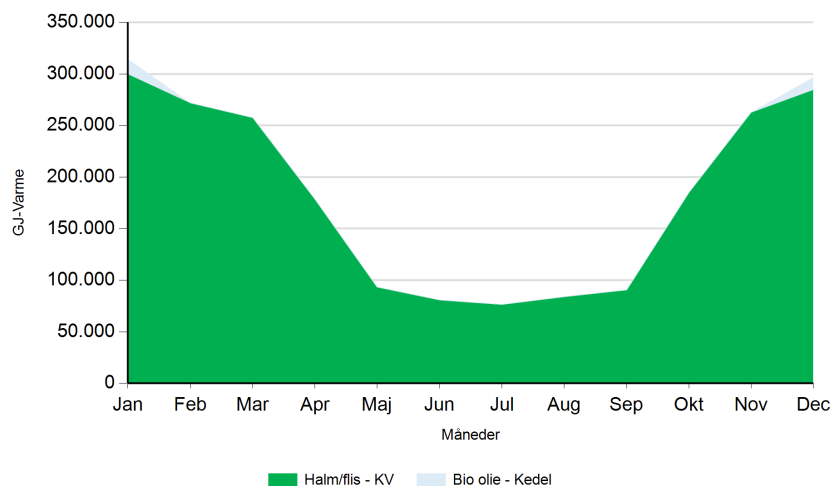
2035



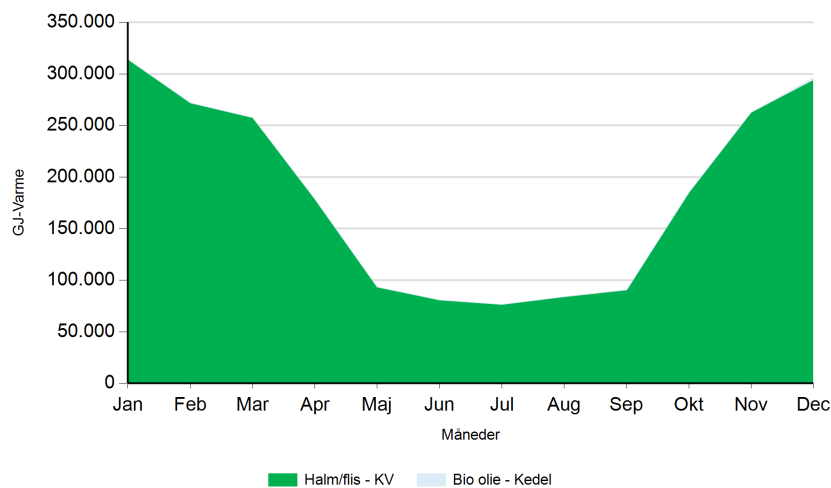


Alt.

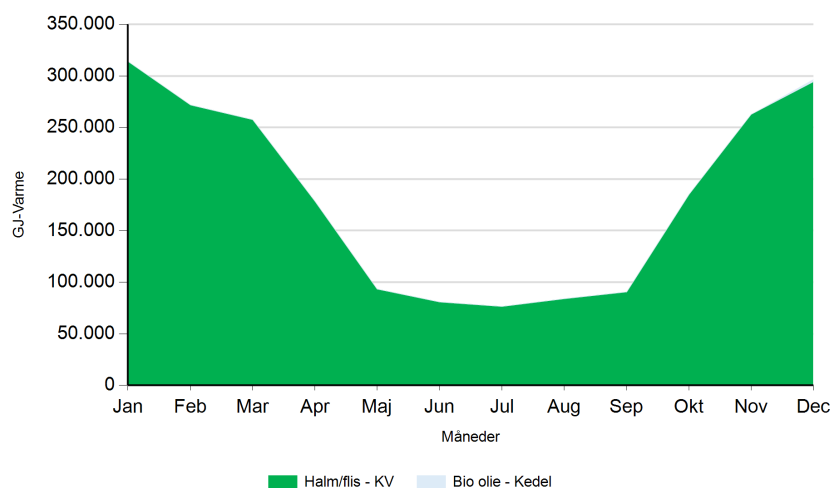
2020

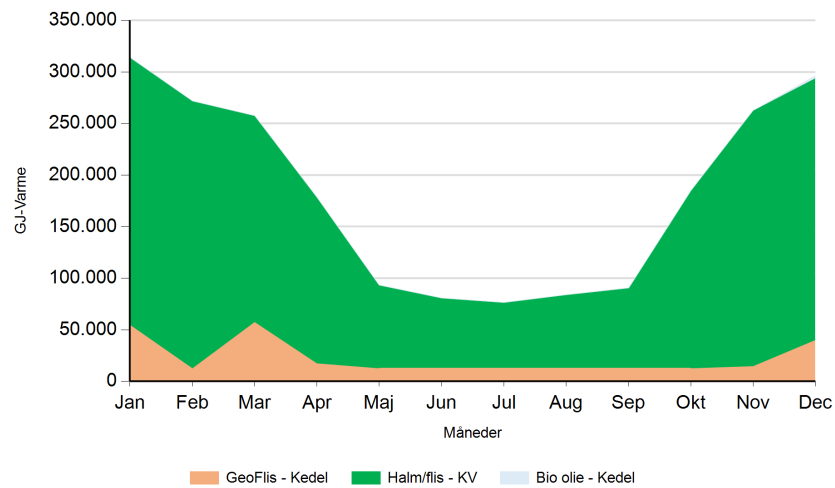
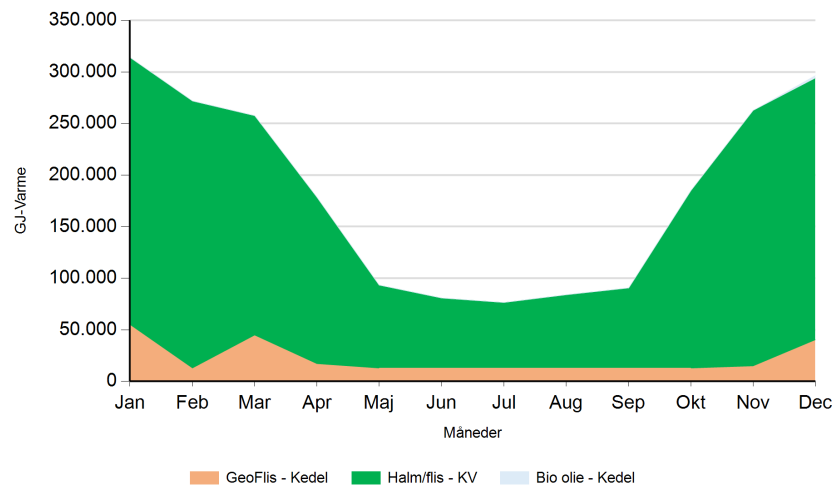
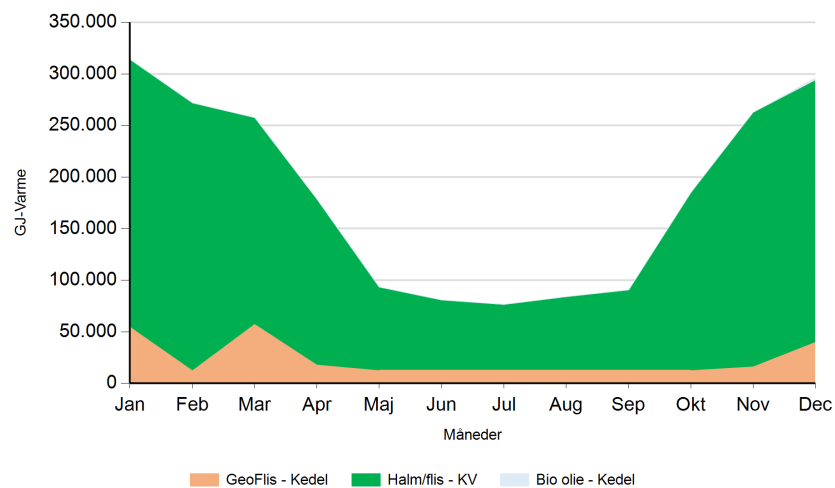


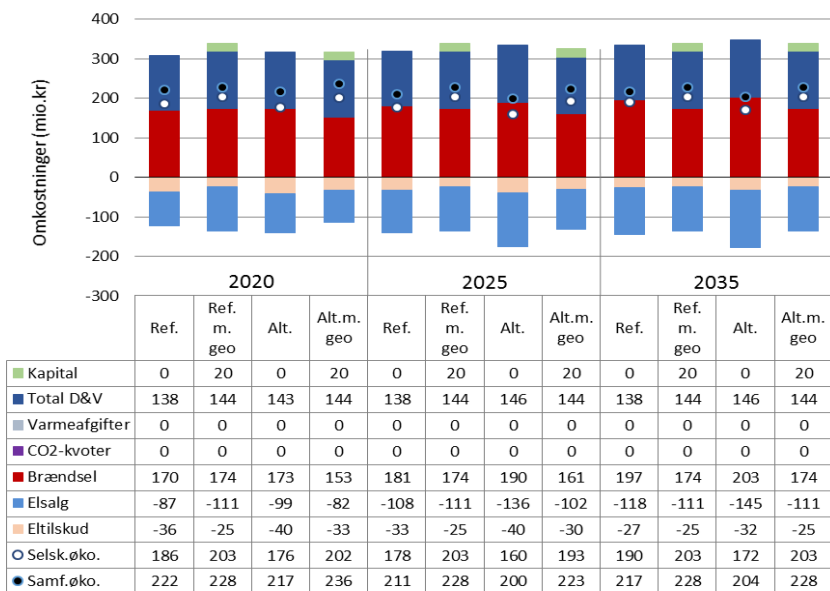
2025



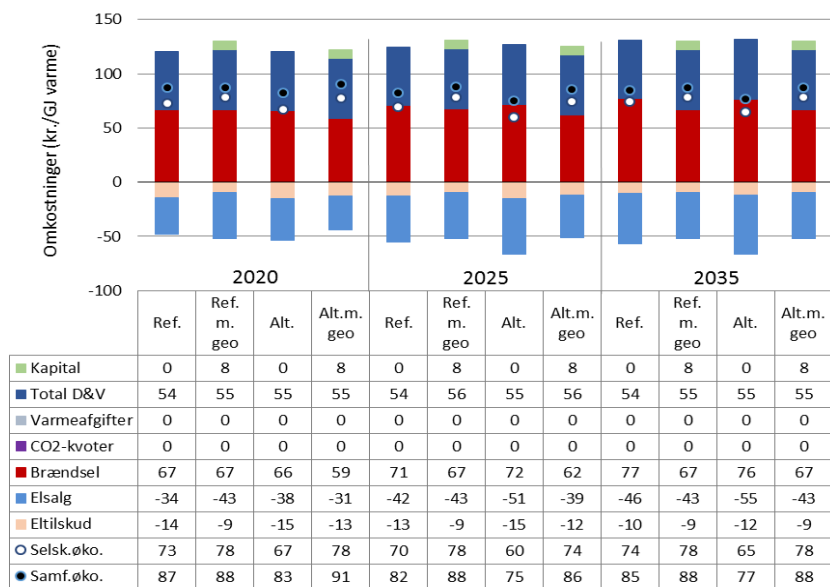
2035



Alt. med Geo. 2020

2025

2035

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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Randers



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Randers

Det geotermiske screeningsprojekt

Randers-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 Randers-lokaliteten	8
3.1	Anbefalinger	10
4.	Datagrundlag	11
5.	Gennemgang af data	13
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer	13
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	13
5.1.2	Boringsdata	15
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
5.3	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 Randers på adressen Ydervangen 12, 8920 Randers (Figur 1). Udvælgelsen af lokaliteten er sket under hensynstagen til infrastrukturen på overfladen, herunder beliggenheden af eksisterende fjernvarmeanlæg og -net, samt ud fra driftsbetragtninger (primært temperatur og lastforhold).

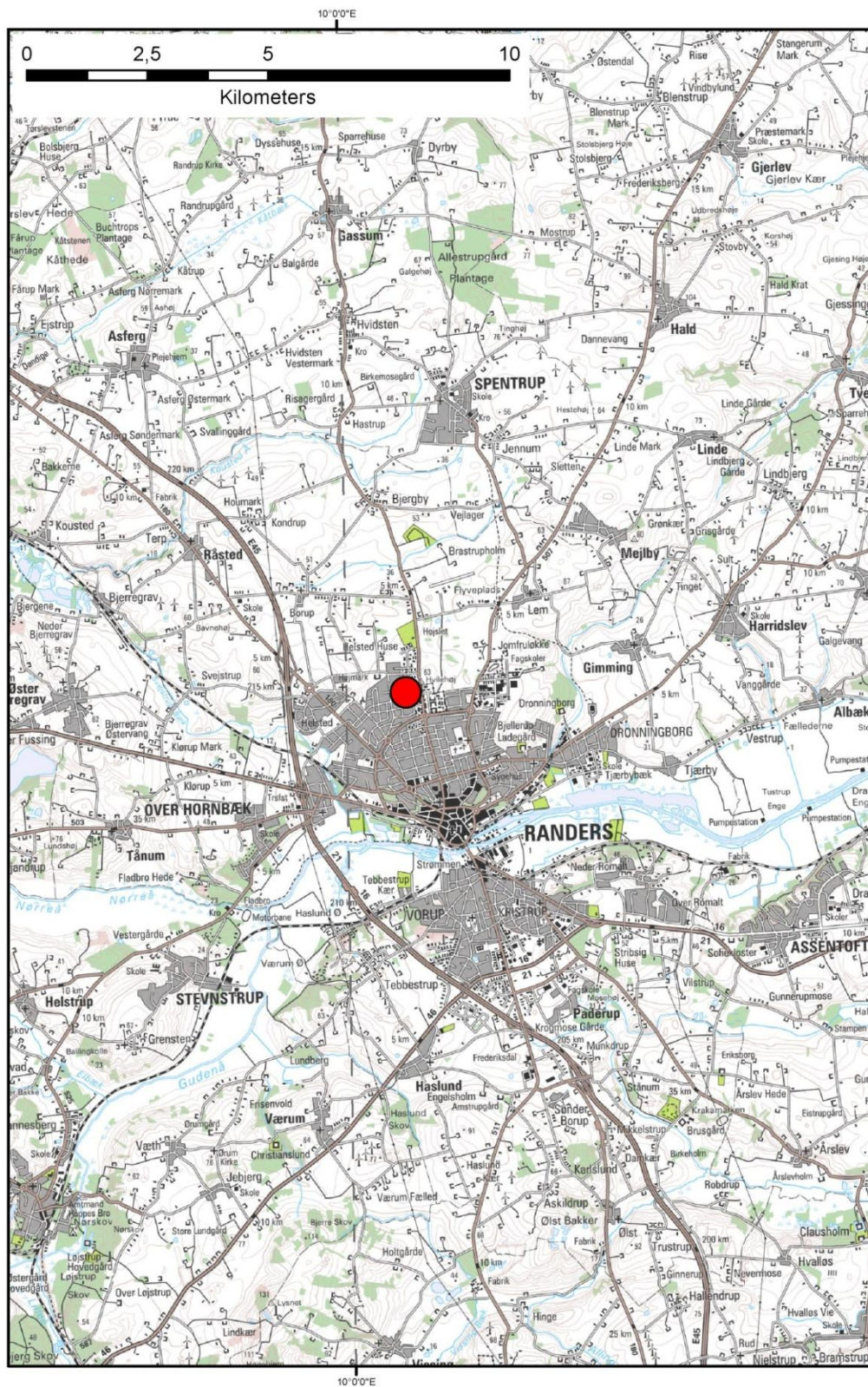
Randers fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er valgt ud fra, at deres varmemarked er større end 400 TJ/år,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

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

Undergrundens geologiske opbygning kan variere betydeligt over selv korte afstande og som følge heraf, kan det geotermiske potentiale variere tilsvarende. En kortlægning af denne variation over større områder er meget omfattende, kræver ofte indsamling af supplerende geologiske data og ligger som følge heraf udenfor rammerne af indeværende screening. Den valgte lokalitet udgør derfor muligvis heller ikke det mest optimale sted for udnyttelse af geotermi i Randersområdet, 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 Randers-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 35 meter sandsten, der er beliggende i over 2350 meters dybde. 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 Randers-lokaliteten og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. Det er også i dette afsnit, at det geotermiske potentiale vurderes, og der gives anbefalinger til eventuelle supplerende undersøgelser. I de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og hvordan de geologiske nøgledata er fremkommet samt delvist hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem. For en generel introduktion til anvendelsen af geotermisk energi i Danmark ud fra en geologisk synsvinkel henvises der til WebGIS portalen.

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



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

2. Geologisk baggrund

Randers-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).

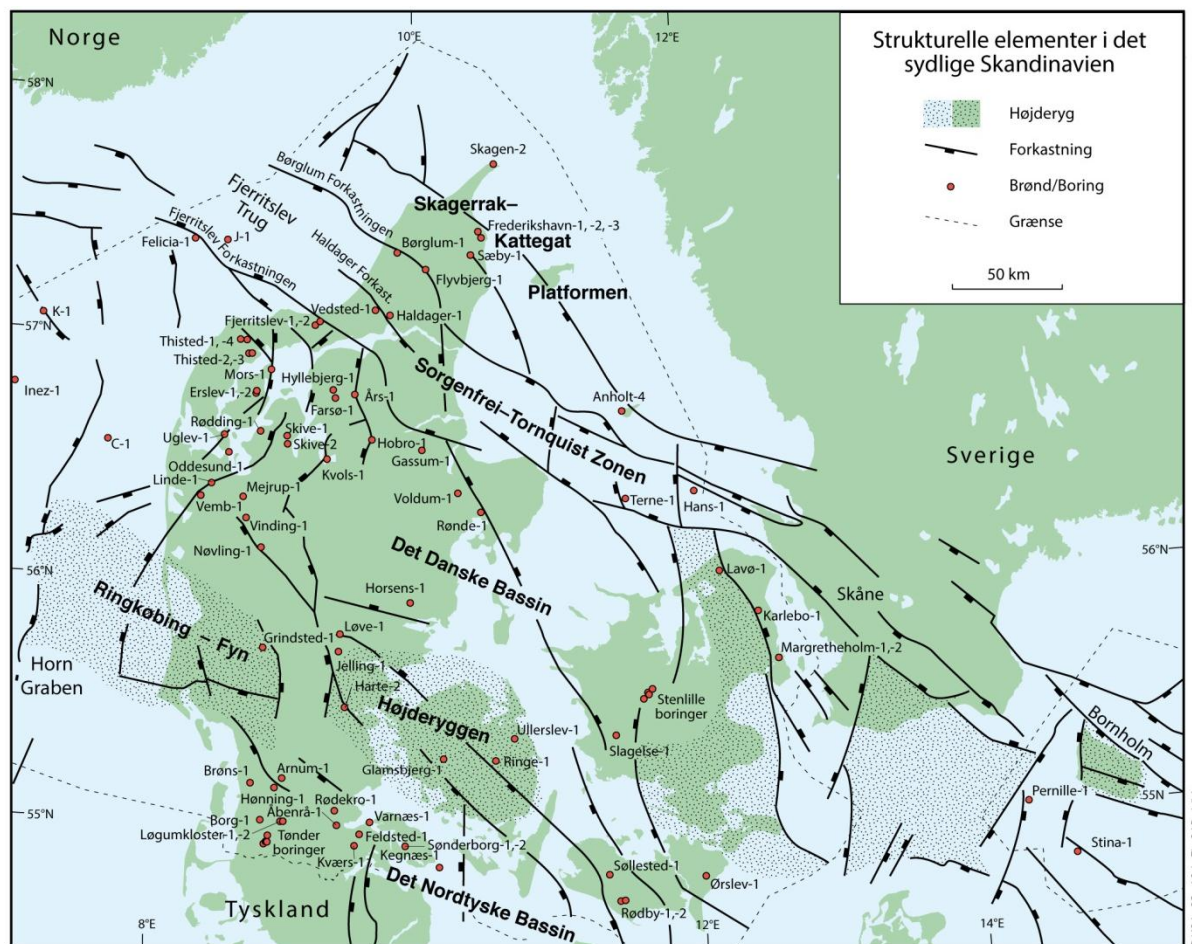
Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin fulgte en lang periode med indsynkning, hvor tykke aflejringer af Zechstein-salt blev dannet i bassinerne efterfulgt af aflejring af sand, mudder, karbonat og mindre saltdannelser 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. 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 Zechstein salt blev plastisk deformeret og nogle steder søgte op ad langs svaghedszoner. Dette resulterede nogle steder i, at de overliggende lag blev løftet op (på saltpuder) eller gennembrudt af den opstigende salt (af salt diapirer). Over saltstrukturerne kan lagene være eroderet helt eller delvis bort eller ikke være aflejret, hvorimod forøget indsynkning nedenfor saltstrukturernes flanker (i randsænkerne) kan have ført til, at selvsamme lag er ekstra tykke i disse områder. Saltbevægelsen har endvidere mange steder været ledsaget af forkastningsaktivitet, og da tektonisk betinget forkastningsaktivitet også har fundet sted, er den strukturelle kontinuitet som følge heraf lille i dele af det Danske Bassin.

I Randers-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien 5,0–5,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirs primært at være til stede i den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation og den Øvre Jurassiske – Nedre Kretassiske Frederikshavn Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at formationerne vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirs, 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 den er beliggende i større dybde end Frederikshavn Formationen uden at dette vurderes at ødelægge reservoiregenskaberne. På grund af den større dybde vil der således kunne indvindes varmere vand fra Gassum Formationen end fra Frederikshavn Formationen. Dertil kommer, at kendskabet til Gassum Formationen er væsentlig større end kendskabet til Frederikshavn Formationen. 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 nordlige del af Randers.

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 dækket af et lavvandet havområde, hvortil floder transporterede store mængder af sand eroderet fra det Skandinaviske grundfjeldsområde og i mindre grad også fra Ringkøbing–Fyn Højderyggen i perioder, hvor denne var blotlagt. Noget af sandet blev afsat i flodkanaler og estuarier, men det meste blev aflejret i havet som kystsand. Herved blev der dannet forholdsvis sammenhængende sandstenslegemer med stor geografisk udbredelse. Senere forkastningsaktivitet har i nogle områder dog ændret på dette, ligesom senere kompaktion og mineraludfældninger (diagenese) har modificeret reservoiregenskaberne.



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 Randers-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Randers-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. 2350–2475 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. 75 °C i midten af formationen. De øvrige parameterværdier vurderes rimelige med hensyn til det geotermiske potentiale. Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydeevne og er dermed en vigtig parameter. Denne bør være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013*), og er vurderet til ca. 16 Darcy-meter ved prognoselokaliteten. Usikkerheden, der knytter sig til estimeringen af værdien, udelukker dog ikke transmissivitsværdier på under 10 Darcy-meter (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoir-kvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som "Potentielt reservoirsand" i Figur 6–8). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

Seismiske data viser, at der forekommer en del forkastninger i Randers-området. Nærområdet til prognoselokaliteten er ikke dækket ind med seismiske data, og det kan derfor ikke udelukkes, at der her kan forekomme forkastninger, som opsplitter Gassum Formationen. Hvis der er forkastninger til stede, og disse ikke kortlægges, er der risiko for, at eventuelt fremtidige geotermiske produktions- og injektionsboringer placeres, så de ikke er i tilstrækkelig hydraulisk kontakt med hinanden.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 520 meter tyk med toppen liggende ca. 1830 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 1495 meter tykke og beliggende ca. 5–1500 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.

Randers-lokaliteten			
UTMz32 X: 562.814 m; Y: 6.260.618 m Terrænkote: 55 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.]	2350	8 ³	2162–2538 ³
Tykkelse af formation [m]	125	25 ³	94–156 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	42	10 ³	37–46 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	34	25 ³	26–43 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,27	20 ³	0,22–0,33 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,82	20 ³	0,66–0,98 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	21	15 ³	18–24 ³
Gas-permeabilitet [mD]	330	5 ⁷	66–1650 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	413	5 ⁷	83–2063 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	16	6 ⁷	3–98 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	75	10 ³	68–83 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt fin kornstørrelse; ringe til velsorteret; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Blød til hård		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Stor; ingen forkastninger observeret inden for en radius af ca. 2 km, men mod syd er der observeret forkastninger. Lokaliteten er beliggende over flanken af Gassum Saltpuden		

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 pumpe-test eller en brønd-test. 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

Der er ikke indsamlet seismiske data af god kvalitet i nærheden af prognoselokaliteten. Der bør derfor laves en seismisk dataindsamling for at kunne kortlægge, om der forekommer forkastninger i nærheden af lokaliteten og for at kunne bestemme de mest optimale placeringer af geotermibrøndene. 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. Den seismiske linjeføring bør lægges således, at den omkring prognoselokaliteten muliggør en rumlig kortlægning af eventuelle forkastninger, der gennemskærer Gassum Formationen. Endvidere kan det være relevant at lægge linjeføringen således, at den knytter prognoselokaliteten til Gassum-1 brønden. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 40 km ny seismik.

Et nærstudie af logdata og kernemateriale fra Gassum-1, Voldum-1 og Hobro-1 vil endvidere kunne bidrage til at vurdere, om de estimerede reservoirværdier ved prognoselokaliteten er for optimistiske, fordi der udelukkende er taget udgangspunkt i reservoirdata fra Voldum-1 og Gassum-1, hvor formationen ikke ligger så dybt som ved prognoselokaliteten.

Under udførelsen af en eventuelt efterfølgende efterforskningsboring bør der undervejs indsamles information om reservoirgenskaberne for den ikke så dybtliggende Frederikshavn Formation. Sandstensintervaller i denne formation kan potentielt udgøre et alternativt geotermisk reservoir til Gassum Formationen, hvis de indsamlede brøndata viser, at sandstensintervallerne i Gassum Formationen ikke egner sig til geotermisk indvinding.

4. Datagrundlag

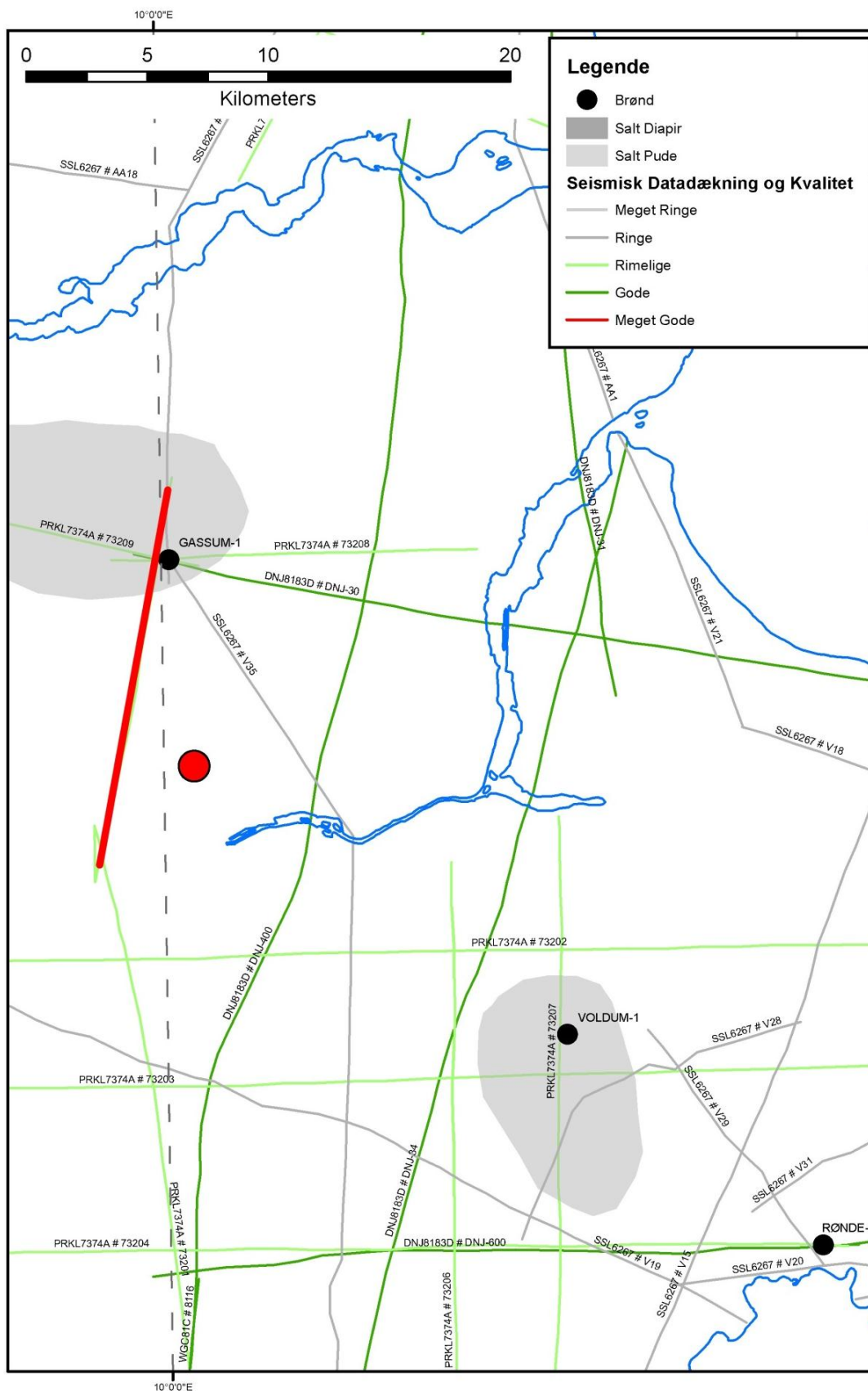
I Figur 3 er den tilgængelige database i Randers-området og i regionen vist i form af placeringen af brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer.

De nærmeste dybe brønde er Gassum-1, Voldum-1, Hobro-1 og Rønde-1, der er placeret henholdsvis ca. 9, 19, 27 og 32 km fra prognoselokaliteten (Figur 2). I alle borerne blev Gassum Formationen påvist, og der blev indsamlet logdata, som muliggør en vurdering af formationens reservoirkvalitet. Overordnet set vurderes brønddækningen til at være god, specielt grundet den forholdsvis korte afstand til Gassum-1, og kvaliteten af brønddata som værende rimelig i vurderingen af lokaliteten. I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen i de nævnte brønde. 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. Den seismiske datadækning omkring prognoselokaliteten er rimelig, mens kvaliteten af de seismiske data varierer fra ringe til 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 (data fra Nielsen & Japsen 1991).*

		Gassum-1 (9 km)	Voldum-1 (19 km)	Hobro-1 (27 km)	Rønde-1 (32 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	-28–944	-8–1212	41–1583	87–1941
	Tykkelse (m)	972	1220	1542	1854
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1140–1460	1388–1722	1891–2344	2096–2571
	Tykkelse (m)	320	334	453	475
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1460–1590	1722–1850	2344–2489	2571–2711
	Tykkelse (m)	130	128	145	140



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og nogle af de nærmeste brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. Den del af den seismiske linje 73201, som 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 og hvordan de geologiske nøgledata i Tabel 3.1 er fremkommet samt delvis hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem.

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

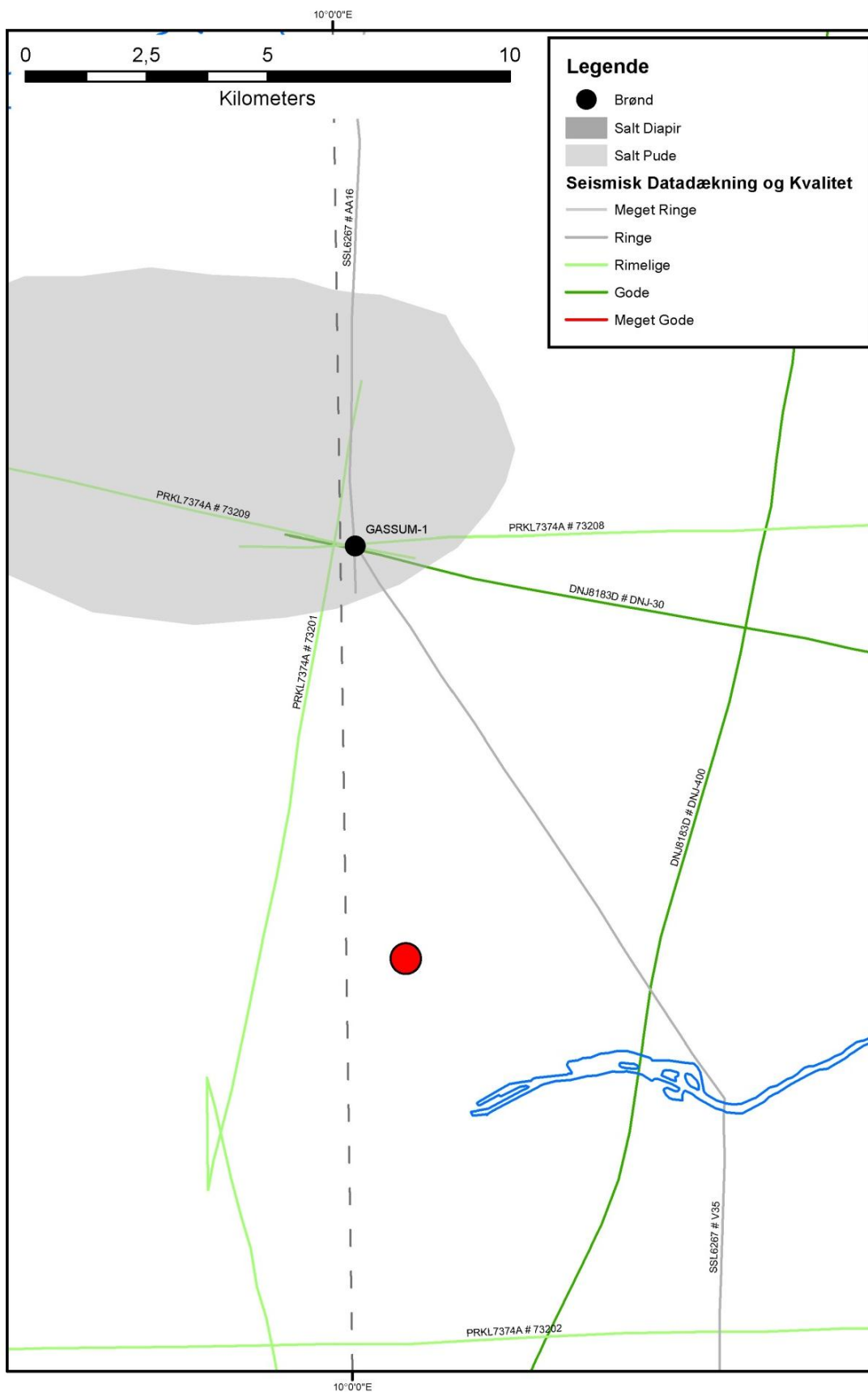
5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1 og er baseret på delresultater af en igangværende og meget omfattende seismisk kortlægning, der vil munde ud i landsdækkende dybdekort til vigtige seismiske horisonter og formationsgrænser. Ud fra den seismiske kortlægning vurderes Gassum Formationens top at være til stede ca. 2350 m.u.h. ved prognoselokaliteten med en vurderet usikkerhed på $\pm 8\%$. Tykkelsen af formationen vurderes til at være 125 meter med en usikkerhed på $\pm 25\%$.

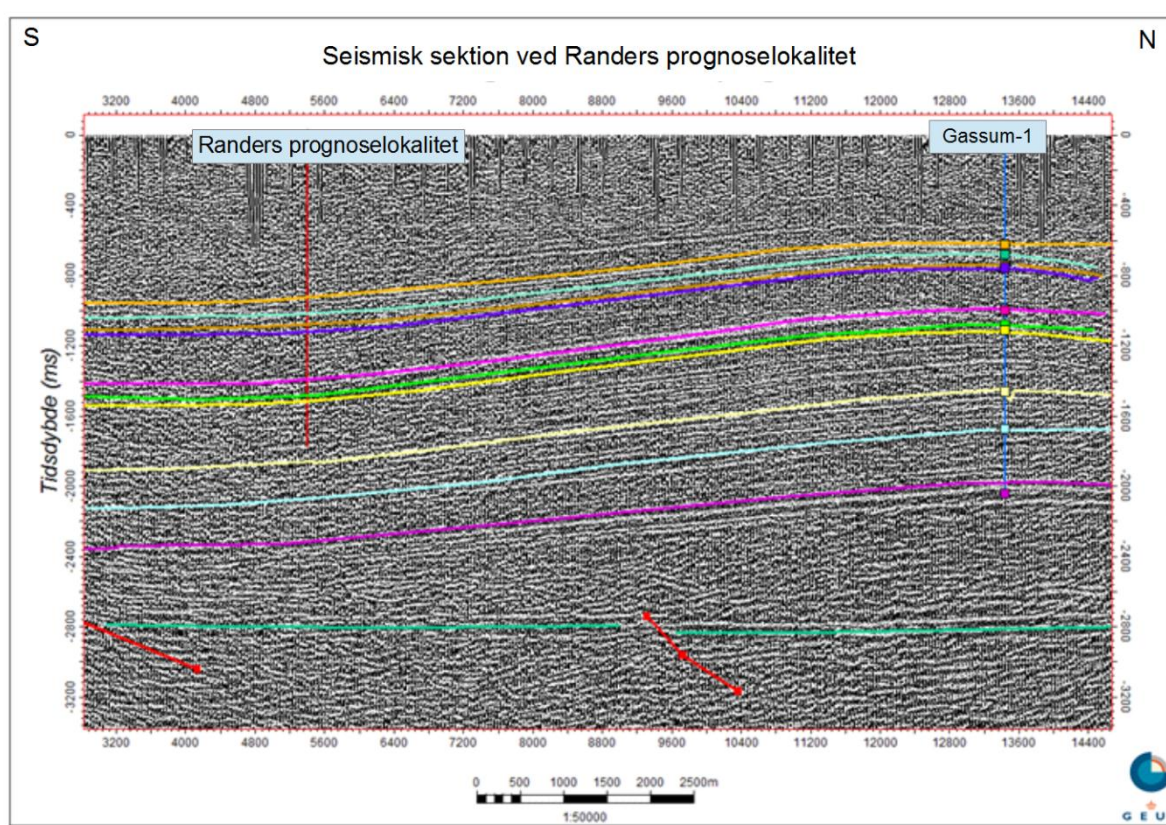
Den seismiske linje 73201 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et omtrent syd–nord orienteret seismisk profil, der passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af ca. 3 km. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. Prognoselokaliteten er beliggende på syd-flanken af Gassum saltpuden, og lagene i undergrunden hælder som følge heraf mod syd (Figur 5). På det seismiske profil fremstår lagene forholdsvis uforstyrrede, men øvrige seismiske data fra Randersområdet viser tilstedeværelsen af en del forkastninger syd, øst og nord for lokaliteten i en afstand på ned til 2–3 km. Endvidere befinder der sig en stor hovedforkastning ca. 15 km øst for lokaliteten (Figur 2). Da der ikke er indsamlet seismiske data af god kvalitet i nærheden af prognoselokaliteten, kan det ikke udelukkes, at der forekommer forkastninger gennem Gassum Formationen ved lokaliteten.

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

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	5–1500	1495
Frederikshavn Fm	1625–1715	90
Fjerritslev Fm	1830–2350	520
Gassum Fm	2350–2475	125
Bunter Sandsten Fm	3520–?	<600



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten. En del af den seismiske linje 73201 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: Omtrentlig syd–nord orienteret seismisk profil baseret på den seismiske linje 73201, der passerer vest om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 3 km (Figur 3 og 4). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Endvidere er Gassum-1 projiceret vinkelret ind på profilet. Prognoselokaliteten er beliggende på syd-flanken af Gassum saltpuden og lagene i undergrunden hælder som følge heraf mod syd. Omkring prognoselokaliteten fremstår lagene forholdsvis uforstyrrede. 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 (turkis), Basis Frederikshavn Fm (brun), Top Fjerritslev Fm (lilla), Top Gassum Fm (lyserød), Top Vinding Fm (lysegrøn), Top Oddesund Fm (gul), Top Falster Fm (lysegul), Top Bunter Sandsten Fm (lyseblå), Top Zechstein (lilla) og Top Pre-Zechstein (turkisgrøn). Den omtrentlig to-vejs-tid til laggrænser i Gassum-1 boringen, som svarer til de tolkede horisonter, er vist som kvadratiske kasser.

5.1.2 Boringsdata

Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Gassum Formationen i de nærmeste 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. De nærmeste brøndes placering ses i Figur 2 og 3. Boringsdata viser, at Gassum Formationen generelt er vidt udbredt i regionen. Baseret på de nærmeste brønde har formationen en tykkelsesvariation på ca. 130–145 meter, hvilket er en

anelse mere end den estimerede tykkelse på 125 meter ved prognoselokaliteten; en tykkelse som er baseret på seismiske data og hvortil der er vurderet en usikkerhed på $\pm 25\%$.

Gassum-1 ligger tættest ved prognoselokaliteten, og det synes derfor mest oplagt at anvende data fra denne boring til vurderingen af sandstensindholdet og reservoirkvaliteten af sandstene i Gassum Formationen ved lokaliteten. Ved prognoselokaliteten er formationen dog beliggende knap 900 meter dybere i undergrunden end i Gassum-1, hvilket kan resultere i lidt for optimistiske reservoirdata, hvis der udelukkende tages udgangspunkt i data fra Gassum-1. Gassum-1 er dog beliggende op ad flanken af en saltpude og kan således oprindeligt godt have været beliggende i lidt større dybde inden saltbevægelsen satte ind. Gassum Formationen ligger ca. 630 meter dybere ved prognoselokaliteten i forhold til den næst nærmeste brønd, Voldum-1. Denne brønd er beliggende over en markant saltstruktur, og formationen har formodentlig oprindeligt været beliggende i væsentlig større dybde inden saltbevægelsen satte ind. Dette har sandsynligvis influeret på formationens nuværende reservoirværdier, og gør Voldum-1 mere relevant i en reservoirestimering af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten. I Rønde-1, og specielt Hobro-1, ligger formationen i omtrent samme dybde som estimeret for prognoselokaliteten. I disse brønde er værdierne for Gross sand dog væsentlig forskellige fra Gross sandværdierne i Gassum-1 og Voldum-1 (Tabel 5.2), hvilket gør det vanskeligere at anvende reservoirdata fra disse brønde til at estimere reservoirværdierne ved prognoselokaliteten. Forholdet mellem Potentielt reservoirsand og Gross sand er 0,44 for Gassum Formationen i Hobro-1, hvilket viser, at den forholdsvis store dybde til Gassum Formationen i denne brønd, og deraf høje tryk- og temperaturforhold, ikke diskvalificerer formationen som et potentielt reservoir.

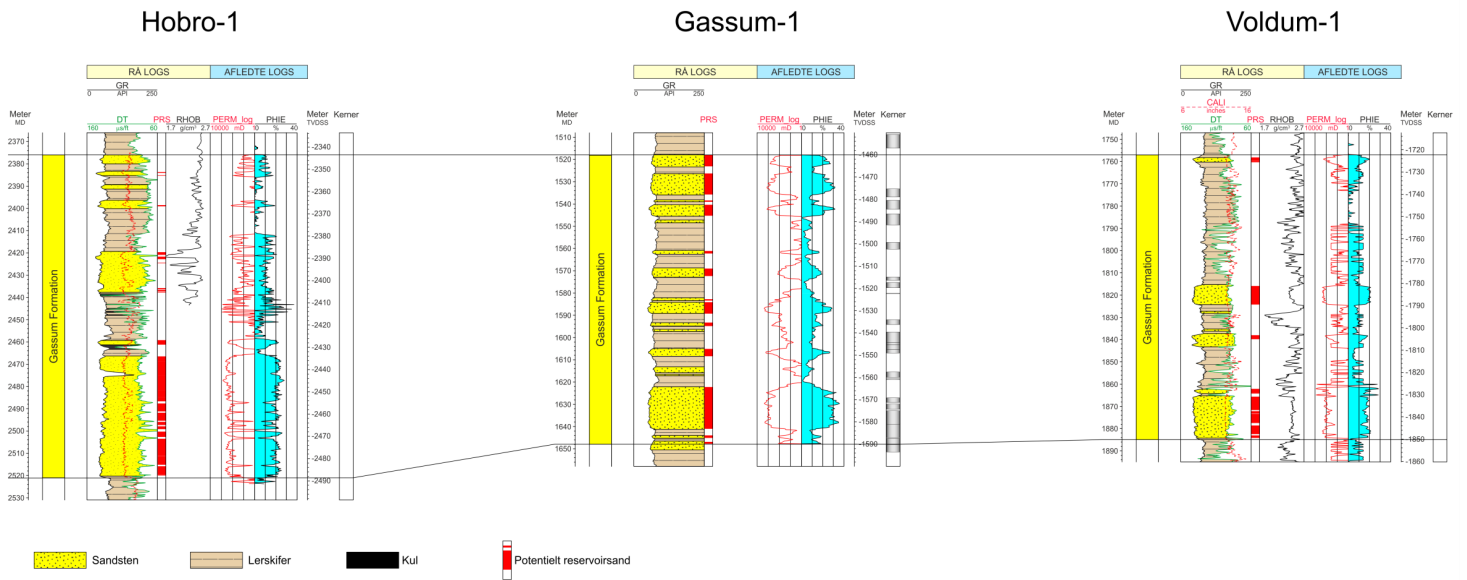
Da prognoselokaliteten er beliggende mellem Gassum-1 og Voldum-1 tages der udgangspunkt i data fra disse brønde. Voldum-1 er sandsynligvis mest repræsentativ for prognoselokaliteten med hensyn til den oprindelige dybde til formationen og reservoirdata fra Voldum-1 vægtes derfor højest (vægtes 2/3 mens data fra Gassum-1 vægtes 1/3).

Det fremgår af Figur 6, at specielt i Voldum-1 er intervaller med sandsten koncentreret i den nedre halvdel af Gassum Formation, hvorimod flere tyndere sandstensintervaller også forekommer i den øvre del af formationen i Gassum-1 og Hobro-1. Sandstensintervallerne i Gassum-1 kan korreleres til de andre brønde i form af sekvensstratigrafiske enheder og vurderes til at have en stor regional udbredelse (Nielsen 2003). De må derfor også antages at være til stede ved prognoselokaliteten i tykkelser, der ligner dem i Gassum-1 og Voldum-1. Den sedimentologiske kontinuitet kan derfor betragtes som værende stor om end de interne reservoirintervaller i Gassum Formationen over større afstande ændrer karakter; f.eks. ved at andelen og tykkelsen af sandsten aftager, mens andelen af silt- og lersten stiger, hvorved reservoirkvaliteten falder (jfr. 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 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.

Sådanne forhold kan ligge til grund for, at ikke alle sandstensintervaller, der ses i den øvre del af formationen i Gassum-1 og Hobro-1, er til stede i Voldum-1. Prognoselokalteten er beliggende mellem Gassum-1 og Voldum-1 og ved at lade data fra begge borer indgå i vurderingen af Gassum Formationens reservoirgenskaber ved prognoselokaliteten, tages der delvis højde for variationen mellem borerne.

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 oversigtskortet i Figur 2.

	Tykkelser/antal meter		
	Formation	Gross sand	Potentielt reservoirsand
Gassum-1	130	46	44
Voldum-1	128	39	29
Hobro-1	145	143	63
Rønde-1	140	14	2



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

5.2 Reservoirkvalitet

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

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af kerner og borespånner fra Gassum-1 og Voldum-1 borerne (Danish American Prospecting 1951, Gulf 1974). Kerneintervallerne i Gassum-1 er op til 24 meter lange (de kernede intervaller fremgår i Figur 7) og sandsten fra kernerne indgår i reservoir-evalueringen. De optagne og tolkede logs i Gassum-1 og Voldum-1 brøndene er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

I estimeringen af reservoiværdierne for Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er der taget udgangspunkt i data fra Gassum-1 og Voldum-1, hvor data fra Gassum-1 vægtes 1/3 og data fra Voldum-1 vægtes 2/3 (se afsnit 5.1.2). De tolkede reservoiværdier for Gassum-1 og Voldum-1 er samlet i henholdsvis Tabel 5.5 og 5.6. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitets sammenhænge etc.). Ved sammenligning af Tabel 5.5 og 5.6 med Tabel 3.1 fremgår det, at usikkerheden på reservoiværdierne ved prognoselokaliteten generelt er større end de angivne usikkerheder på reservoiværdierne for Gassum-1 og Voldum-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 Formation i Gassum-1 og Voldum-1 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Gassum-1	1518–1648	I ca. 8 niveauer	Ingen
Voldum-1	1757–1885	Ingen	I ca. 13 niveauer

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 Gassum-1 brønden.*

Gassum-1			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1460	1 ³	1445–1475 ³
Tykkelse af formation [m]	130	1 ³	129–131 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	46	5 ³	44–49 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	44	5 ³	41–46 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,34	5 ³	0,32–0,35 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,94	5 ³	0,89–0,99 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	25	6 ³	24–27 ³
Gas-permeabilitet [mD]	750	5 ⁷	150–3750 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	938	5 ⁷	188–4688 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	41	5 ⁷	8–205 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad		Hovedsageligt finkornet, stedvis meget finkornet; ingen oplysninger om sorterings- og afrundingsgrad	
Diagenese/cementering		Ingen direkte oplysninger om cementeringsgrad, beskrives som værende hovedsageligt medium hård, stedvis også blød og meget hård	

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

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

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

⁴ *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* er estimeret ud fra afskæringskriterier på Vshale (< 30 %) og 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 pumpe-test eller en brøndtest. *Reservoir-permeabiliteten* er estimeret ved at multiplicere *Gas-permeabilitet* med en opskaleringsfaktor på 1,25.

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

Tabel 5.6: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Voldum-1 brønden.*

Voldum-1			
Gassum Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1757	1 ³	1739–1775 ³
Tykkelse af formation [m]	128	1 ³	127–129 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	39	5 ³	37–41 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	29	6 ³	28–31 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,23	6 ³	0,22–0,24 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,75	6 ³	0,71–0,80 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	18	6 ³	17–19 ³
Gas-permeabilitet [mD]	120	5 ⁷	24–600 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	150	5 ⁷	30–750 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	4	5 ⁷	1–20 ⁷
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til mellem kornstørrelse; ringe til velsorteret; subkantede korn		
Diagenese/cementering	Cementeret, svagt kalkholdig		

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

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

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

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

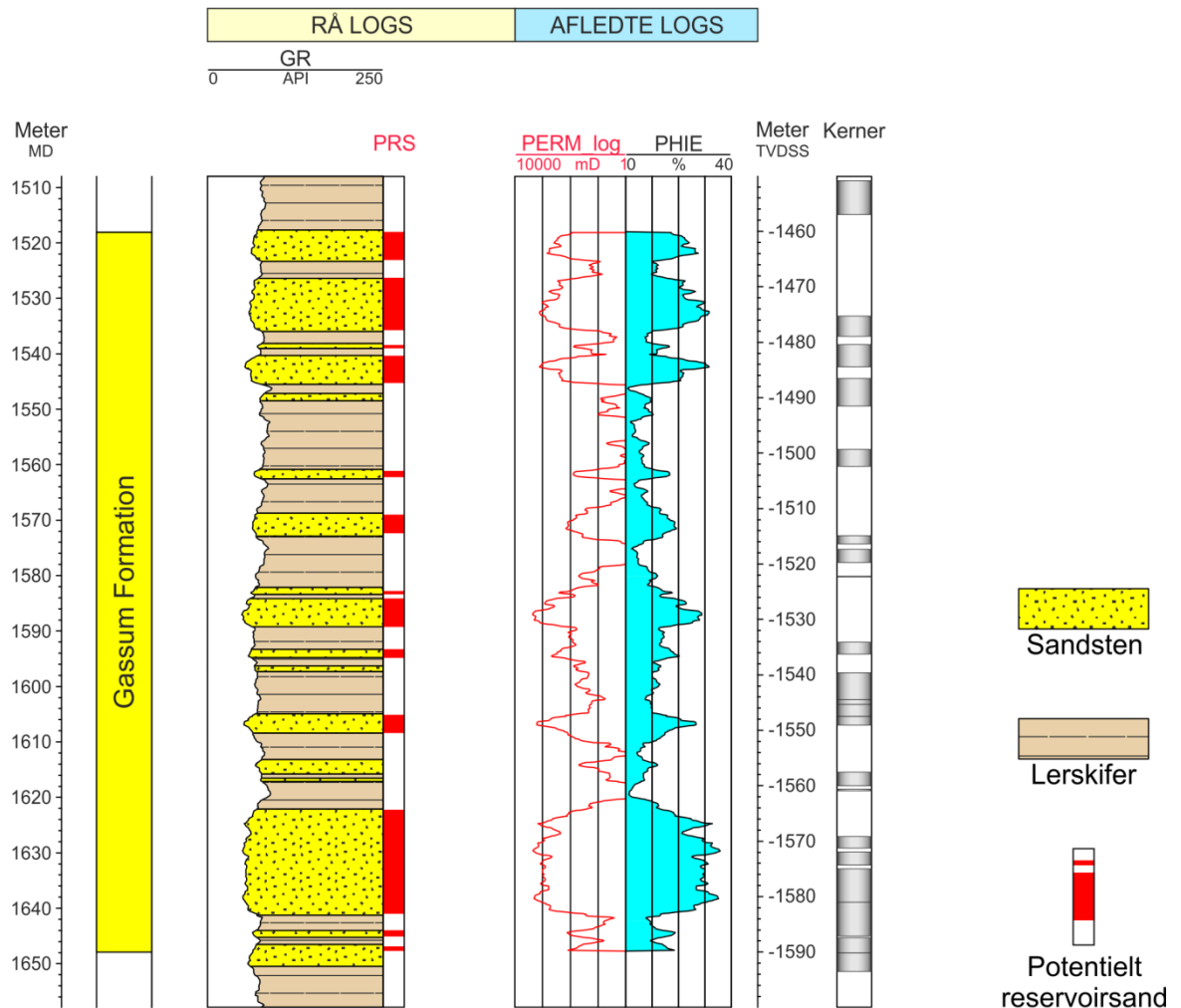
5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale samt udtagne kerner fra Gassum-1 og Voldum-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 sandste-

nene i formationen hovedsageligt er finkornede i Gassum-1, hvorimod de er fin til mellemkornede i Voldum-1 (Danish American Prospecting 1951, Gulf 1974).

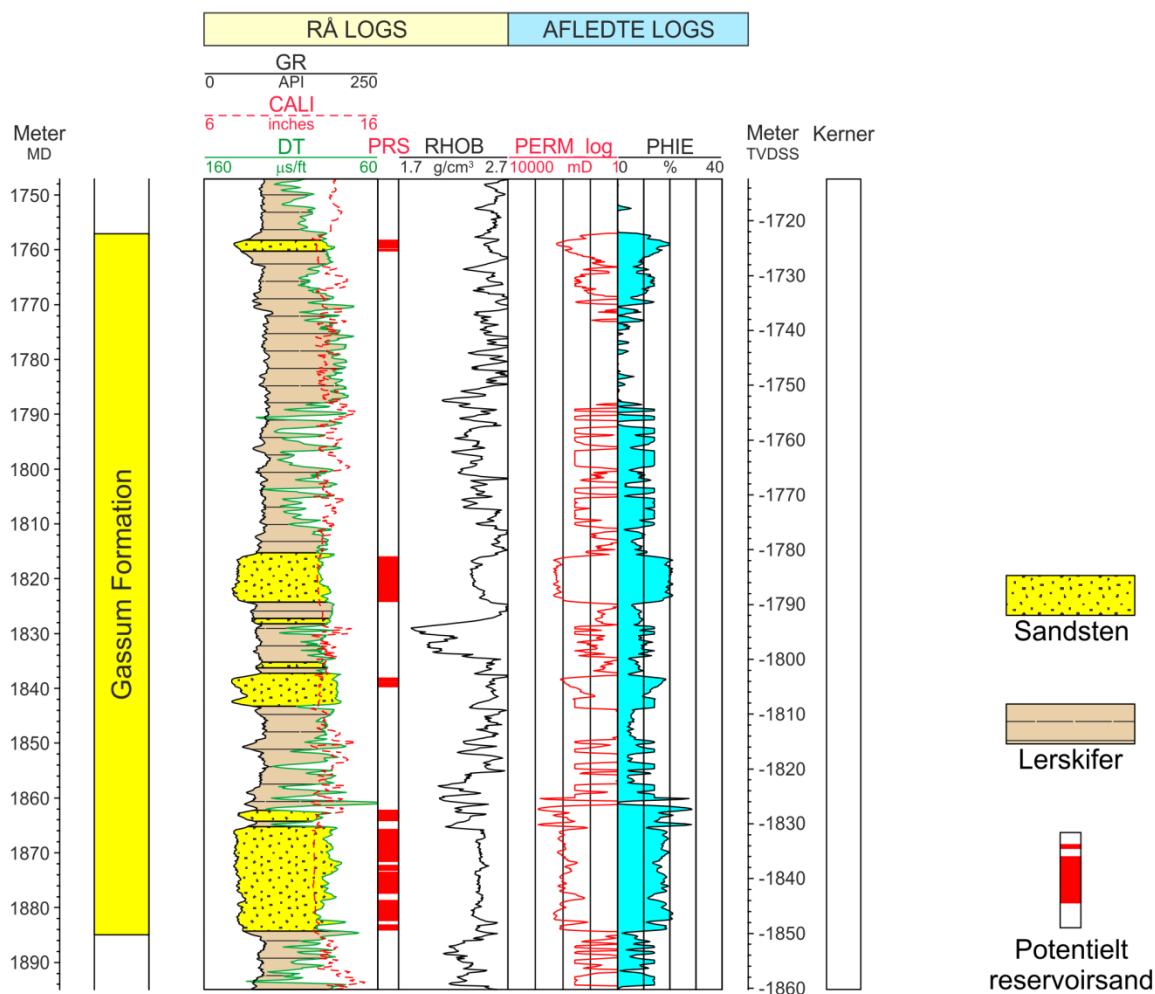
Da prognoselokaliteten ligger tættere på Gassum-1 end Voldum-1 formodes sandstenene i Gassum Formationen hovedsageligt at være finkornede ligesom i Gassum-1. Information om sandstenenes sortering, afrundingsgrad og cementering er ringe. I "Voldum-1 Completion Report" beskrives sandstenene som værende ringe til velsorterede med subkantede sandskorn (Gulf 1974), mens der ingen informationer er om disse parametre i "Gassum-1 Completion Report" (Danish American Prospecting 1951). Ud fra den generelle viden om Gassum Formationen må det formodes, at sandstenskornene også kan være velafrundede. Sandstenene beskrives i boringsrapporterne som værende glimmerholdige og svagt kalkholdige samt løse til hårde (i Gassum-1 hovedsageligt medium hård).

Gassum-1



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

Voldum-1



Figur 8: Petrofysisk log-tolkning af lithologien i Gassum Formationen i Voldum-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 Gassum-1 og Voldum-1 er Gassum Formationen henholdsvis 130 og 128 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 46 meter i Gassum-1 og ca. 39 meter i Voldum-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).

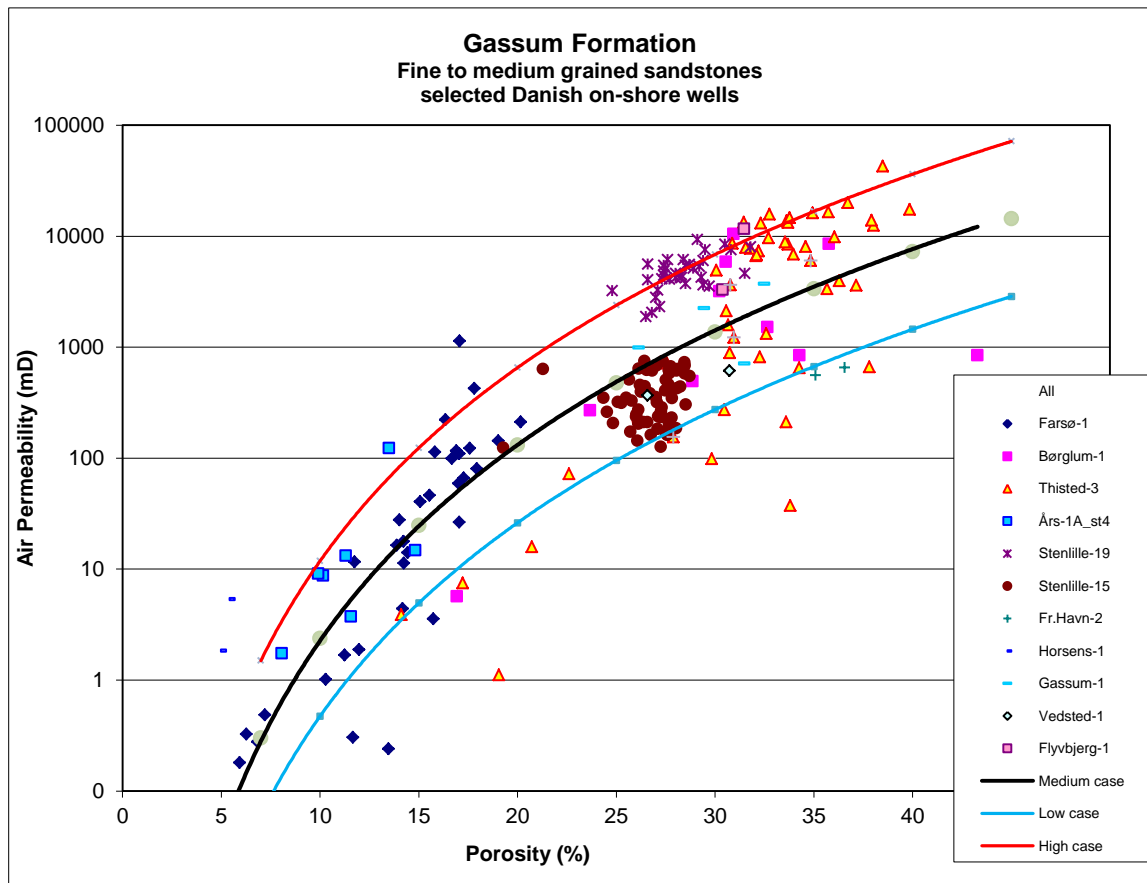
På baggrund af tolkningen af ler-mængden er andelen af Gross sand herefter bestemt som den del af et givet dybdeinterval, der har et ler-indhold på mindre end 30 %. Ligeledes er andelen af Potentielt reservoirsand vurderet ud fra den log-tolkede porøsitet samt ler-mængden, idet der både stilles krav til en vis minimumsporøsitet og et maksimalt ler-indhold. 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. 44 og 29 meter i henholdsvis Gassum-1 og Voldum-1. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 25 % i Gassum-1 og ca. 18 % i Voldum-1 (Tabel 5.5 og 5.6). Porøsitets-tolkningen af Gassum Formationen i Gassum-1 boringen er baseret på en modstandslog, der er kalibreret til kerne-porøsitets data; hvorimod porøsiteten i Voldum-1 er tolket ud fra ler-korrigeret densitets-log, og der er anvendt en sandstens densitet på $2,65 \text{ g/cm}^3$ svarende til densiteten for ren kvarts. I Gassum-1 boringen er porøsiteten målt på en række plug-prøver fra Gassum Formationen, hvilket muliggør en porøsitetsvurdering, selv om der ikke er optaget en decideret porøsitetslog i denne boring.

Tabel 5.7: Responsparametre for gamma (GR) log for Gassum-1 og Voldum-1 borerne.

Responsparametre for gamma-log	GR_min (baggrundsstråling)	GR_max (respons for rent ler)
Gassum-1	45	260
Voldum-1	34	115

5.2.3 Permeabilitet

Permeabiliteten er bestemt på kernemateriale fra Gassum Formationen i Gassum-1. Disse målinger indgår i en porøsitet-permeabilitetsrelation, der er baseret på kerneanalyserdata fra en række danske landboringer beliggende i Jylland og på Sjælland (Figur 9). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Randers-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 reservoirsandstenen estimeret til ca. 750 mD for Gassum-1 og til ca. 120 mD for Voldum-1. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 938 og 150 mD for henholdsvis Gassum-1 og Voldum-1. Beregningen af reservoir-permeabiliteten bygger på en opskalering af de laboratoriebestemte gas-permeabiliteter til reservoirforhold efterfulgt af omregning til væskepermeabilitet. De to brønde (Gassum-1 og Voldum-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.



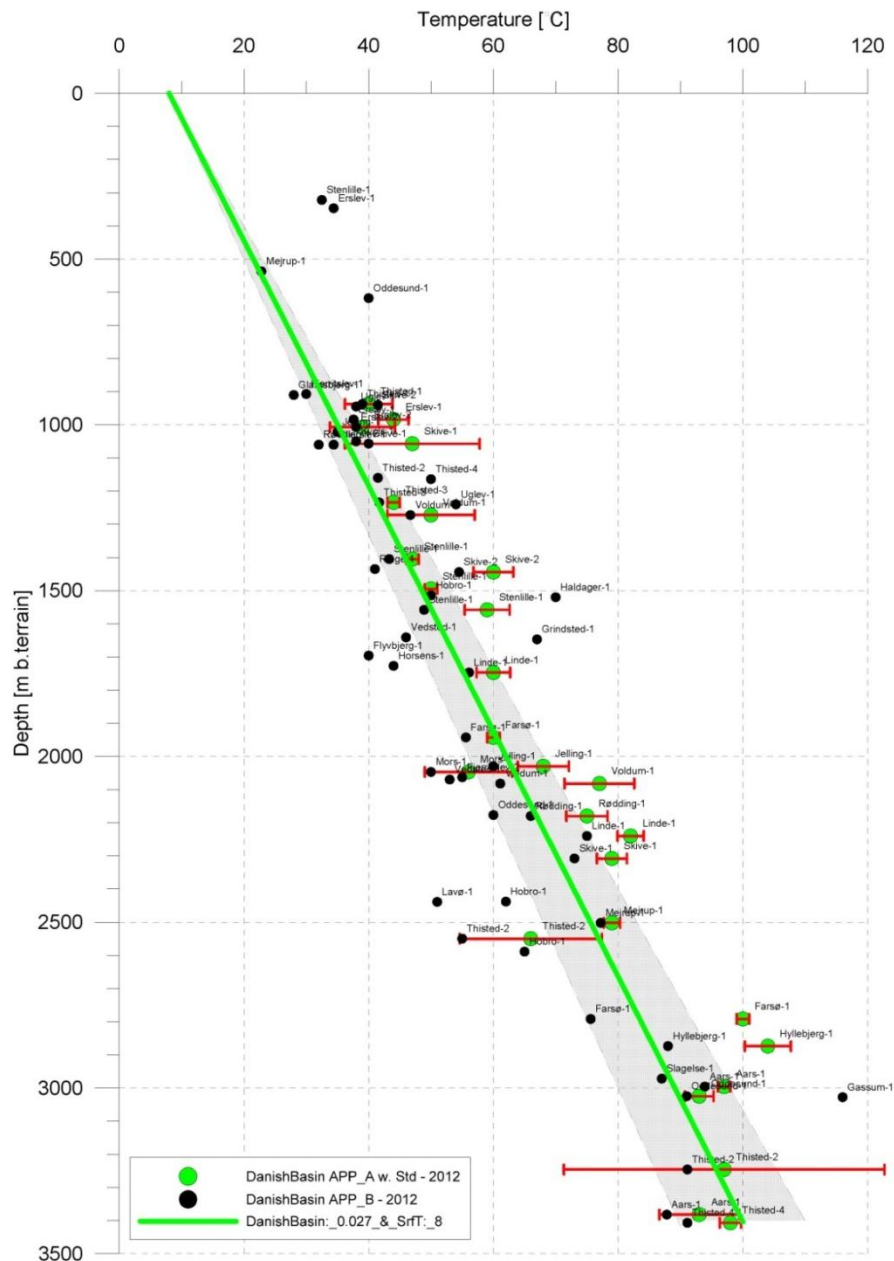
Figur 9: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug prøver primært fra sandstenslag i Gassum Formationen. Korrelationen er ikke entydig, og derfor er variationsbredden belyst med 3 tendens-linjer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

5.2.3.1 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 Gassum-1 vurderet til ca. 41 Darcy-meter, i Voldum-1 til ca. 4 Darcy-meter og ved prognoselokaliteten til ca. 16 Darcy-meter. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet ved prognoselokaliteten mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 6; svarende til at dividere, henholdsvis gange, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren indeholder en samlet usikkerhed knyttet til estimeringen af permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

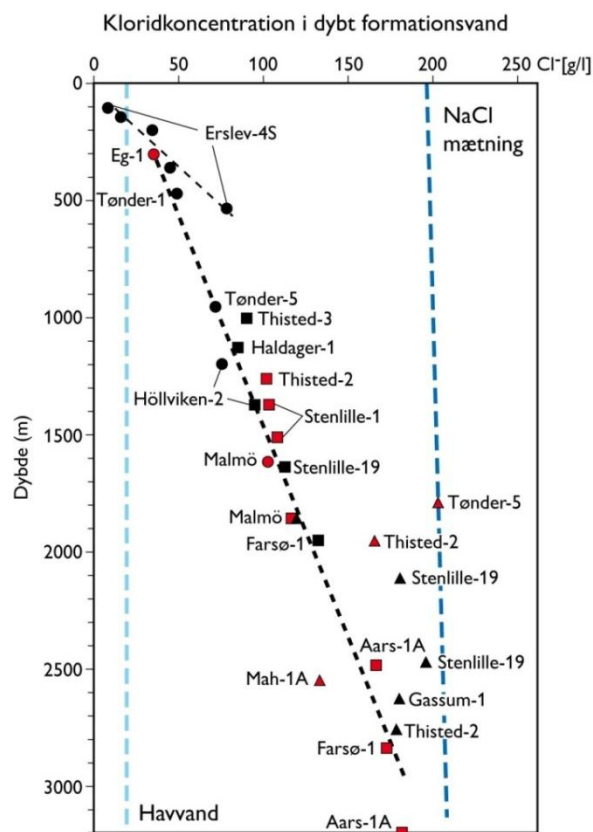
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til $75 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \%$ ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på temperaturmålinger i dybe borer i bassinet og er givet ved: $\text{Temp.} = 0,027 \cdot \text{dybde} + 8 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figur 10). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 2468 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (2350 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (55 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (ca. 63 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 ca. 154 g/l i en dybde af 2468 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 206 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.

Danish American Prospecting 1951: Gassum-1, Completion report (Compiled March 1993).

Gulf 1974: Voldum-1X. Completion report.

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

Michelsen, O. & 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.