



**COWI**



# **Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder**

**Bilag 3: Områderapport for Aarhus**



## 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

Århus - 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 1/10

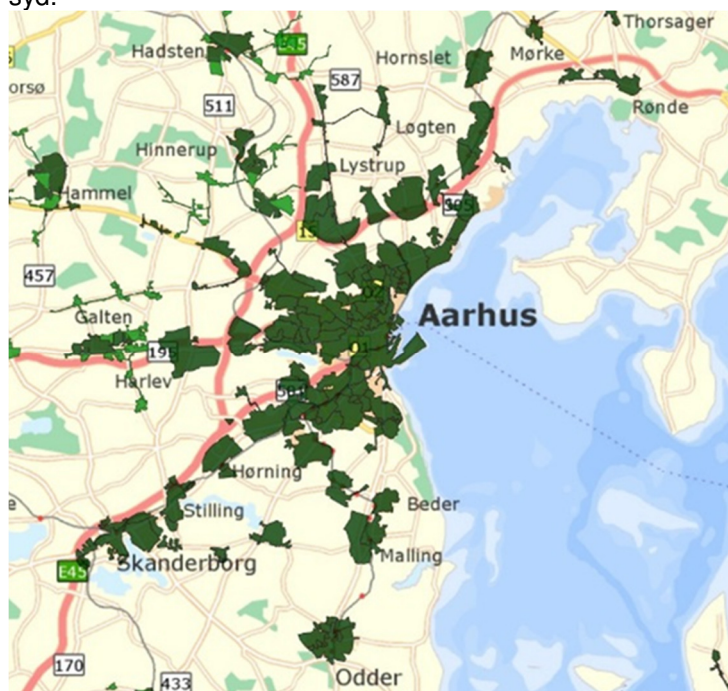
## 1 Århus Fjernvarmeområde

### 1.1 Nuværende forsyningsområde

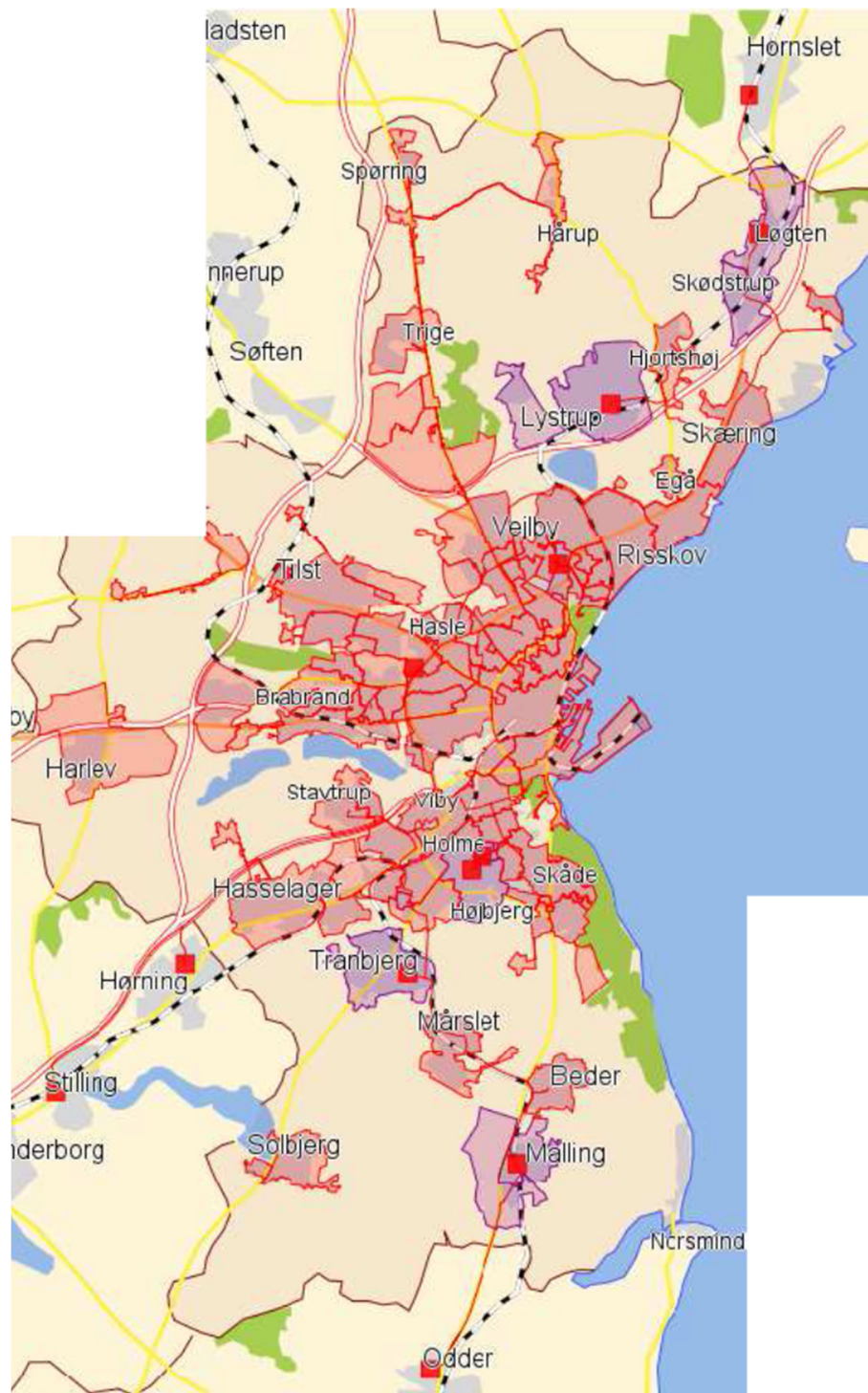
Fjernvarmeforsyningen i Aarhus og oplandsbyer varetages af AffaldVarme Aarhus. AffaldVarme Aarhus er kommunalt ejet. Siden 1980 har AffaldVarme Aarhus og forbrugerejede kraftvarmeverker samarbejdet om at dække 90 % af Aarhus Kommunes varmebehov med kraftvarme inden 1995. Målet blev nået, og 285.000 af Aarhus Kommunes over 300.000 indbyggere forsynes med fjernvarme.

Inden for den bymæssige bebyggelse er det i dag kun ca. 2 % af boligerne i Aarhus Kommune der ikke er tilsluttet fjernvarmen.

Nedenstående to kort viser henholdsvis AffaldVarme Aarhus' nuværende forsyningsområde og transmissionssystemet, der forbinder Hornslet i nord med Odder i syd.



Figur 1 Oversigtskort over Fjernvarmeområdet i Aarhus



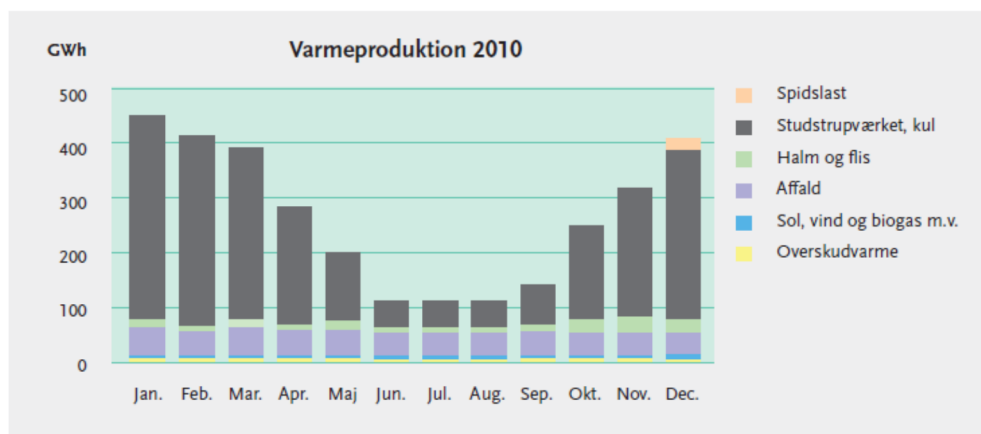
Figur 2 Oversigtskort over Transmissionssystemet

Transmissionssystemet består af over 130 km dobbeltrør med tilhørende pumpeanlæg, kedelanlæg mv. Varmen hentes primært fra Studstrupværket og Forbrændingsanlægget på AVA AffaldsCenter og transmitteres ved højt tryk og temperatur frem til varmeveksleranlæggene. Her afsættes varmen via pladevarmevekslere til distributionsnettene, der har et lavere tryk- og temperaturniveau.

Til daglig har AffaldVarme Aarhus ansvar for transmissionssystemet. Her varetages anlæg, drift og vedligeholdelse af det overordnede transmissionssystem med tilhørende kedelanlæg, varmeveksleranlæg, pumpeanlæg mv.

Mere end 285.000 af Aarhus Kommunes over 300.000 indbyggere forsynes i dag med fjernvarme, som fortrinsvis er produceret som kraftvarme på Studstrupværket (kul og biomassefyret) og forbrændingsanlægget i Lisbjerg.

Studstrupværket er idriftsat i 1968 og flere ovnlinjer er kommet til i 1984 og 1985. Værket er løbende blevet moderniseret. Produktionsfordelingen er illustreret i nedenstående figur. I det sammenkoblede produktionssystem indgår desuden fliskedler i Skanderborg.



Figur 3 Oversigt varmeproduktionsfordeling 2010

Efterfølgende tabel (næste side) viser varmebehovet i det samlede transmissionsområde fordelt på de enkelte sammenkoblede fjernvarmeselskaber.

Tabel 1 Oversigt nuværende og fremtidigt varmegrundlag

Varmegrundlag				
<b>Aarhus Varmeplan</b>				
MWh/år	2013*	2015*	2025*	2030*
<b>Holme - Lundshøj</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	45.244	45.115	43.690	42.827
Distributionstab	12.761	12.725	12.323	12.079
An net	58.005	57.840	56.013	54.906
<b>Lystrup Fjernvarme</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	73.224	74.195	76.678	75.719
Distributionstab	20.653	20.927	21.627	21.357
An net	93.877	95.121	98.305	97.075
<b>Løgten Skødsstrup</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	42.735	43.232	44.332	43.186
Distributionstab	12.053	12.194	12.504	12.181
An net	54.788	55.425	56.835	55.367
<b>Malling</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	24.222	24.955	29.960	30.443
Distributionstab	6.832	7.038	8.450	8.586
An net	31.054	31.993	38.410	39.029
<b>Rundhøj</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	10.093	10.011	9.511	9.265
Distributionstab	2.847	2.824	2.683	2.613
An net	12.940	12.834	12.194	11.879
<b>Tranbjerg varmeværk</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	50.651	50.943	50.641	49.333
Distributionstab	14.286	14.369	14.283	13.915
An net	64.938	65.312	64.925	63.248
<b>Vejlby Fjernvarmecentral</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	18.757	19.467	21.556	21.884
Distributionstab	5.291	5.491	6.080	6.172
An net	24.048	24.958	27.635	28.057
<b>TDC</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	6.520	6.466	6.144	5.985
Distributionstab	1.839	1.824	1.733	1.688
An net	8.358	8.290	7.877	7.673
<b>Odder Varmeværk</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	88.137	88.601	89.167	88.921
Distributionstab	24.859	24.990	25.150	25.080
An net	112.996	113.592	114.316	114.002
<b>Skanderborg Hørning Fjernvarme</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	204.446	206.723	214.789	210.466
Distributionstab	57.664	58.306	60.581	59.362
An net	262.111	265.029	275.370	269.828
<b>Hornslet Fjernvarmecentral</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	36.451	38.124	39.134	39.362
Distributionstab	10.281	10.753	11.038	11.102
An net	46.731	48.877	50.172	50.464
<b>AVA Varme</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	1.904.239	1.943.077	1.994.443	1.994.678
Distributionstab	537.093	548.047	562.535	562.601
An net	2.441.333	2.491.125	2.556.978	2.557.279
<b>Total Aarhus Varmeplan/ ab transmission MWh</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	2.504.719	2.550.910	2.620.044	2.612.069
Distributionstab	706.459	719.487	738.987	736.738
An distribution/ab transmission	3.211.179	3.270.397	3.359.030	3.348.807
Transmissionstab, oplyst af AVA	111.111	111.111	111.111	111.111
Overskudsvarme, oplyst af AVA	65.040	65.040	65.040	65.040
An transmissionsnet	3.257.250	3.316.468	3.405.101	3.394.878
<b>Total Aarhus Varmeplan/ ab transmission TJ</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	9017	9183	9432	9403
Distributionstab	2543	2590	2660	2652
An distribution/ab transmission	11560	11773	12093	12056
Transmissionstab	400	400	400	400
An transmissionsnet	11726	11939	12258	12222
* Data an net er oplyst af AffaldVarme Aarhus				
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år		11.712 TJ		
Energiproducenttællingen angiver en samlet produktion an net på 12.080 TJ an net				
Der er således rimelig overensstemmelse mellem de tilgængelige statistikker				



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

Temperaturerne er repræsentative for AVA's distributionssystem, men der er afvigelser fra distributionssystem til distributionssystem.

*Tabel 2 Oversigt temperaturforhold - distributionssystem*

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
75	46	81	42

Transmissionssystemet forventes i fremtiden drevet med fremløbstemperaturer mellem 107 °C og 87 °C og returtemperaturer mellem 45 °C og 47 °C.

## 1.2 Nuværende produktionsstruktur

Efterfølgende tabel (næste side) giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur i det samlede Aarhus fjernvarmeområde.

Tabel 3 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)

Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012			Brændselsfordeling, Tj																		
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varmerproduktion i 2012 (TJ)	*Brændselsforbrug 2012 (TJ)	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varmer effekt (MW)	Elvirkningsgrad	**Varmer virkningsgrad	Etableringsår	Forventet udfasningsår	Kul	Fuelolie	Gasolie	Affald	Biogas	Halm	Skovflis	Træ- og biomasseaffald	Træpiller	
<b>Aarhus by</b>																					
Forbrændingsanlægget, Ovnlinje 1+2	Damp turbine	Affald	95,3	1225	53	9	36	17%	78%						1224,6						
Forbrændingsanlægget, Ovnlinje 4	Damp turbine	Affald	1058	1481	50	11	36	23%	71%	01-10-2004					1480,7						
Kolt Kraftvarmeværk	Forbrændingsmol	Biogas	2	3	2	1	1	37%	53%	15-03-1994							2,9				
Holme Lundshøj Fjernvarme amb	Kedel 1+2+3	Gasolie	0,003	0,003	25	0	25	100%	100%	01-01-1967				0,003							
I/S Reno Syd	Damp turbine	Affald	310	478	16	3	11	18%	65%	01-01-1993				1,03	416,2			0,1		61,0	
I/S Reno Syd	Kedel	Affald	192	235	12	0	10		83%	01-01-1984				1,17	203,9			0,1		29,9	
Rundhøj Fjernvarme	Kedel 1+2		0,0	0,0	5	0	5		100%	01-09-2010											
Affaldvarme Århus, Århusværket	Kedel (2 stk)	Gasolie	16	17	156	0	140		90%	01-05-1976				16,87							
Affaldvarme Århus, Risskov Varmecentral	Kedel	Gasolie	1	1	53	0	50		94%					1,01							
Affaldvarme Århus, Hjortshøj Central	Kedel	Gasolie	0,03	0,04	5	0	5		90%					0,04							
Affaldvarme Aarhus, Jens Juuls Vej, Kedel	Kedel	Gasolie	28	30	126	0	119		94%					30,26							
Affaldvarme Aarhus, Viby Varmecentral	Kedel	Gasolie	2	2	54	0	49		91%					2,10							
Affaldvarme Aarhus, Stenvej Central	Kedel	Gasolie	0,17	0,19	12	0	11		90%					0,19							
Affaldvarme Aarhus, Gellerup	Kedel	Gasolie	14	16	80	0	75		94%					15,61							
Affaldvarme Aarhus, Beder Central	Kedel	Gasolie	1	1	13	0	12		90%					0,57							
Affaldvarme Aarhus, Hasselager Central	Kedel	Gasolie	0,15	0,16	17	0	15		90%					0,16							
Affaldvarme Aarhus, Studstrup Central	Kedel	Gasolie	0,06	0,07	3	0	3		90%					0,07							
Affaldvarme Aarhus, Trige Central, KÅN	Kedel	Gasolie	1	1	14	0	13		90%					1,21							
Affaldvarme Aarhus, Århus Vest Central	Kedel		0	0	8	0	8		90%												
Affaldvarme Aarhus, Geding Satellitcentral	Kedel	Gasolie	3	3	0	0	0		88%					3,36							
Affaldvarme Aarhus, Årslev	Kedel	Gasolie	20	23	3	0	3		89%					22,76							
Studstrupværket, SSV3	Damp turbine	Kul	2748	6913	860	359	455	42%	40%	01-01-1984		6674,80	149,64					61,8		26,8	
Studstrupværket, SSV4	Damp turbine	Kul	6108	17281	856	357	455	42%	35%	01-01-1985		16362,84	140,70					777,5			
Studstrupværket, SSV5	Gasturbine	Gasolie	0,0	2	47	13	0	27%	0%					1,9							
Studstrupværket, Hjelpekedel	Kedel	Gasolie	3	4	12	0	0		0%					3,8							
<b>Løgsten-Skødstrup Fjernvarme A.m.b.a.</b>																					
Løgstencentralen	Kedel		0	0	12	0	12		96%	01-01-1969											
Skødstrupcentralen	Kedel		0	0	10	0	10		100%	01-01-1968											
<b>An/S Vejlbj Fjernvarme central</b>																					
Vejlbj Fjernvarme central, kedel 1	Kedel		0	0	5	0	4		80%	01-01-2011											
Vejlbj Fjernvarme central, kedel 2	Kedel		0	0	6	0	6		100%	01-01-2001											
<b>Lystrup Fjernvarme A.m.b.a.</b>																					
Hovmarken 2 - 3 oliekedler (12+8,5+7,5 M)	Kedel	Gasolie	0,09	0,10	28	0	28		100%	01-01-1962				0,10							
<b>Malling Fjernvarmeværk A.m.b.a.</b>																					
Malling Varmeværk	Kedel	Fuelolie	1	1	12	0	12		100%				1,29								
<b>Odder Varmeværk AMBA</b>																					
Kedelcentral (spids og reservelastprodukt)	Kedel	Gasolie	2	2	32	0	29		90%	01-01-1989				2,26							
Kedelcentral Øst	Kedel	Gasolie	0,28	0,28	15	0	15		100%	01-01-1968				0,28							
<b>Skanderborg-Hørning Fjernvarme</b>																					
Hørning Fjernvarme, Højgårdsvej	Kedel 1+2	Gasolie	0,08	0,08	11	0	8		73%	01-01-1984				0,08							
Hørning Fjernvarme, Toftevej	Kedel 1+2	Gasolie	0,08	0,08	22	0	15		69%	10-01-2000				0,08							
Skanderborg-Hørning, Danmarksvej	Kedel	Gasolie	0,09	0,09	10	0	10		100%	01-01-1971				0,09							
Skanderborg-Hørning, Danmarksvej	Kedel		0	0	10	0	10		100%	01-01-1981											
Skanderborg-Hørning, Danmarksvej	Kedel		0	0	10	0	10		100%												
Skanderborg-Hørning, Danmarksvej	Kedel	Træpiller	2	3	12	0	12		100%											2,9	
Skanderborg-Hørning, Danmarksvej	Flis kedel 1+2	Skovflis	544	544	30	0	30		100%	01-06-2010									543,7		
Skanderborg-Hørning, Møllegade	Kedel		0	0	14	0	14		100%	01-01-1958											
Skanderborg-Hørning, Industrifloften	Kedel	Gasolie	1	1	3	0	3		100%					0,86							
<b>Tranbjerg Varmeværk A M B A</b>																					
Tranbjerg Varmeværk, Jægstrupvænget	Kedel	Gasolie	0,00	0,02	18	0	16		90%	01-01-1998				0,02							
Tranbjerg Varmeværk, Jægstrupvænget	Kedel	Gasolie	0,00	0,02	12	0	10		87%	01-10-2007				0,02							
<b>Bånlev Biogas</b>																					
Bånlev Biogas, Decentralt værk	Forbrændingsmol	Biogas	68	165	6	3	3	46%	44%	16-01-1995						164,6					
<b>Total</b>																					
			12.080				1.790														
Heraf Aarhus by			11.460				1.534														
Heraf Løgsten-Skødstrup			-				22														
Heraf An/S Vejlbj Fjernvarme A.m.b.a.			-				10														
Heraf Lystrup Fjernvarme A.m.b.a.			0				28														
Heraf Malling Fjernvarmeværk A.m.b.a.			1				12														
Heraf Odder Varmeværk AMBA			3				43														
Heraf Skanderborg-Hørning Fjernvarme			547				112														
Heraf Tranbjerg Varmeværk A M B A			-				26														
Heraf Bånlev Biogas			68				3														

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

\* Brændselsforbruget i energiproducenttællingen for kedeldrift identisk med varmerproduktion svarer til den samlede el og varmerproduktion og den angivne totalvirkningsgrad.

\*\* Varmevirkningsgradene er baseret på de angivne værdier for indfyret effekt og varmer effekt.

Anlæggenes geografiske placering er illustreret på næste side.



Figur 4 Geografisk oversigt varmeproduktionsanlæg

### 1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

Parterne i Varmeplan Aarhus arbejder hen imod en stadig mere flerstrengt varmeproduktion, hvor varmen produceres på en række forskellige lokale anlæg. Varmeproduktionen skal i stigende grad være uafhængig af fossile brændsler. I stedet skal varmeproduktionen benytte mere klimavenlige brændsler som bio-brændsler eller vedvarende energi.

Som et led i Aarhus Kommunes Klimavarmeplan etableres det biomassefyret kraftvarmeværk i Lisbjerg. Anlægget designes til fyring med halm fra lokalområdet. I år med for lidt halm kan der fyres med træflis sammen med halmen. Det er planen, at det nye kraftvarmeværk skal sættes i drift til fyringssæsonen i efteråret 2016. Anlægget planlægges etableret i forbindelse med det eksisterende affaldsforbrændingsanlæg. Derudover skal der etableres en ny fjernvarmetransmissionsledning ind til hovedtransmissionsledningen ved Møllerup. Anlægget har en indfyret effekt på 110 MW, elproduktion på 30 MW og varmeproduktion på 80 MW. Anlægget kan fyre op til 50 procent flis

Det er besluttet at ombygge Strudstrupværket til at fyre med træpiller.

Herudover er en 80 megawatt elektrisk kedel ved Studstrupværket under etablering. Den ventes klar til drift omkring årsskiftet 2014/2015. Elkedlen skal supplere produktionskapaciteten og sættes ind i spidslastsituationer samt når elpriserne er lave.

Inden for Aarhus Ø-projektet arbejder AffaldVarme Aarhus med en eldrevet varmepumpeløsning baseret på vand fra Aarhusbugten. Den ny bydel, Aarhus Ø, kan måske blive selvforsynende med varme, levere varme til Aarhus Midtby og være med til at introducere fjernkøling. Varmepumpen vil i perioder med lave elpriser kunne levere varme til Midtbyen og give væsentlige besparelser i forhold til le-

verancen fra Studstrupværket. Et sideprodukt ved varmeproduktionen fra varmepumpen er kulde, som kan anvendes til fjernkøling i virksomheder i Aarhus. Fjernkøling er et alternativ til traditionelle, individuelle køleanlæg i industri- og kontorbygninger.

AffaldVarme Aarhus har som udgangspunkt peget på seks forskellige muligheder for placering af et eventuelt nyt geotermianlæg, herunder bl.a. Harlev, Sabro og Solbjerg. Fælles for Harlev, Sabro og Solbjerg er at de har hvert deres selvstændige forsyningsnet der forsynes fra halmfyrede varmecentraler under Østjydsk Halmvarme a.m.b.a.

Halvarmeværket i Solbjerg er det ældste af de tre, og blev etableret i 1985. Herefter Harlev i 1989 og endelig Sabro i 1991. Halmvarmeværkerne er løbende blevet moderniseret og tilpasset de krav som myndighederne stiller til drift og miljø. I 2003-2005 er varmeværkerne således blevet levetidsforlænget, så de kan køre videre indtil 2015.

AffaldVarme Aarhus overtager halmvarmeværkerne pr. 1. april 2015. De tre værker er således vedligeholdt til en grad, hvor der muligvis skal gøres noget ved overtagelsen. Halmvarmeværkerne kører typisk som resten af Aarhus nettet.

Hvis geotermi viser potentiale forudsættes det at de små net kobles sammen med det resterende AffaldVarme Aarhus' net. *Figur 2.3.1* viser et oversigtskort over Fjernvarmeområdet i Aarhus.

Halmværkernes produktion i 2013 og prognoser er listet nedenfor.

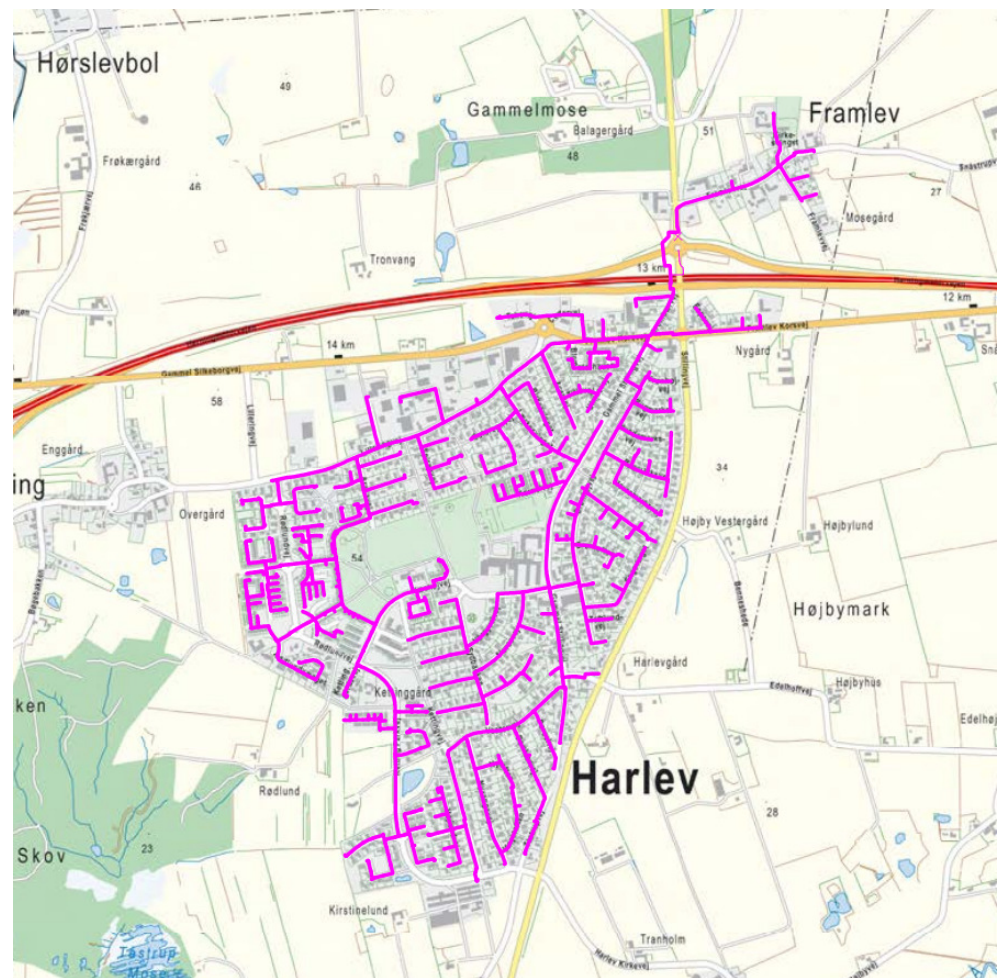
Tabel 4 Oversigt nuværende og fremtidigt varmegrundlag i Østjydsk Halmvarme a.m.b.a.

<b>Varmegrundlag</b>				
<b>Østjydsk Halmvarme a.m.b.a.</b>				
<b>MWh/år</b>	<b>2013*</b>	<b>2015*</b>	<b>2025*</b>	<b>2030*</b>
<b>Sabro</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	23.992	24.000	25.114	24.961
Distributionstab	6.767	6.769	7.084	7.040
An net	30.759	30.769	32.198	32.001
<b>Harlev</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	26.237	27.199	42.162	64.895
Distributionstab	7.400	7.671	11.892	18.304
An net	33.637	34.870	54.054	83.199
<b>Solbjerg</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	23.700	23.929	24.969	24.737
Distributionstab	6.685	6.749	7.043	6.977
An net	30.384	30.678	32.012	31.714
<b>Total Østjydsk Halmvarme a.m.b.a.</b>				
<b>MWh/år</b>				
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	73.929	75.128	92.246	114.593
Distributionstab	20.852	21.190	26.018	32.321
An net	94.781	96.318	118.264	146.915
<b>TJ/år</b>				
Nettovarme	266	270	332	413
Distributionstab	75	76	94	116
An net	341	347	426	529
* Data an net er oplyst af AffaldVarme Aarhus				

Med udgangspunkt i de seks forskellige muligheder for placering af et eventuelt nyt geotermianlæg og på baggrund GEUS seismiske analyser er det besluttet at lade screeningen tage udgangspunkt i at anlægget placeres i Harlev. Nedenfor er der listet temperaturforhold for Harlev og et oversigtskort over distributionsnettet i Harlev.

Tabel 5 Oversigt temperaturforhold i Harlev - distributionssystem

Temperaturer i Harlev, 2013 [°C]			
Sommer		Vinter	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
79	50	80	43



Figur 5 Oversigtskort over distributionssystemet i Harlev

Projekt: Landsdækkende screening af geotermi i fjernvarmesystemerne

Til: Ea Energianalyse & COWI

Kopi: GEUS

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

Dato: 17. april 2015

Emne: Beregning af et geotermianlæg i Aarhus

## 1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Aarhus. 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.: Århus\_2014\_07\_28.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Aarhus leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos AffaldVarme Aarhus (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg på Lilleringsvej 32 i Harlev ved Harlev Varmeværk.

## 2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Aarhus 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 Aarhus. Det er vurderet af GEUS at der er risiko for forkastninger i området.

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

Formation		Gassum Fm
Terrænkote	moh	47
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	1925
Temperatur@midt reservoir	°C	60
Tykkelse af formation	m TVT	125
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	28
Transmissivitet	Dm	16
Seismik-anbefaling	km	50

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. Harlev Varmeværk som er halmfyret er levetidsforlænget til 2015, og kan derfor ikke forventes at levere drivvarme. I beregningerne må der regnes med etablering af ny drivvarme.

Da Harlevs forsyningsområde er meget begrænset regnes al varme fra geotermianlægget afsat ved transmissionstemperaturer.

Varmegrundlag	TJ/år	12.258 (2025)
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Antages ikke tilgængelig som drivvarme.	MW	Ca. 80
Fremløbstemperatur vinter	°C	107
Returløbstemperatur vinter	°C	45
Fremløbstemperatur sommer	°C	87
Returløbstemperatur sommer	°C	47
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger.

Eksisterende produktion med forret er affaldsvarme, der regnes jævnt fordelt over året. Den valgte placering af geotermianlægget bevirker, at affaldsvarme og varme fra planlagt biomasse kraftvarmeverk ved Lisbjerg ikke vil kunne bruges som drivvarme. Da affaldsvarmen har forret vil den valgte placering begrænse geotermianlæggets størrelse.

### 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 anlægsskiten 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 Aarhus er beregnet et geotermianlæg med seks boringer (3 dubletter) med anvendelse af absorptionsvarmepumper. Endvidere er beregnet et alternativt anlægsdesign med 10 boringer (5 dubletter), hvor der benyttes el-varmepumper til at udnytte varmen fra geotermivandet.

## 5 Resultater

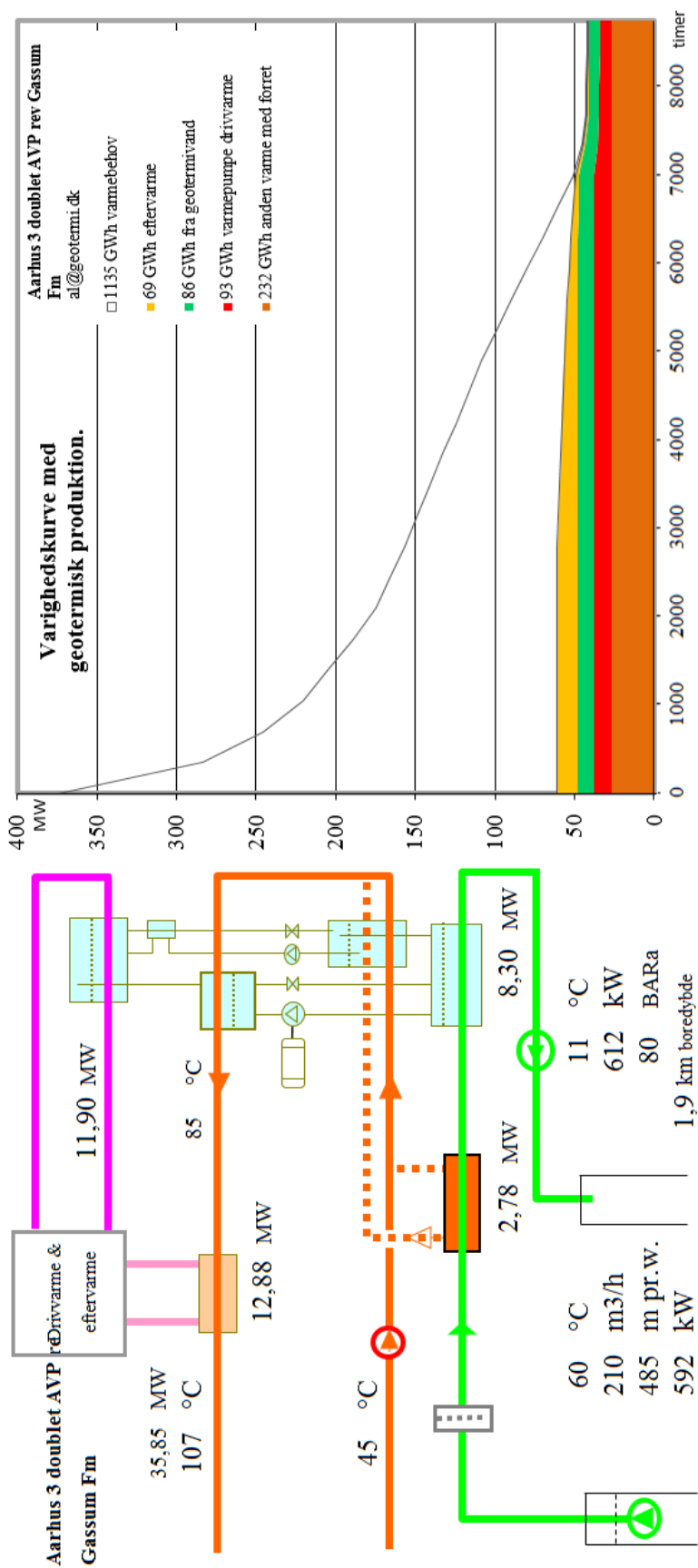
Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med geotermibidrag samt økonomiske nøgletal. Output fra standard-beregningen vises i Figur 1. Resultater fra den supplerende anlægsberegning for et geotermianlæg med for 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 642 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 33,3 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 107,5 MW.

Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 258 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 285 kr./MWh.

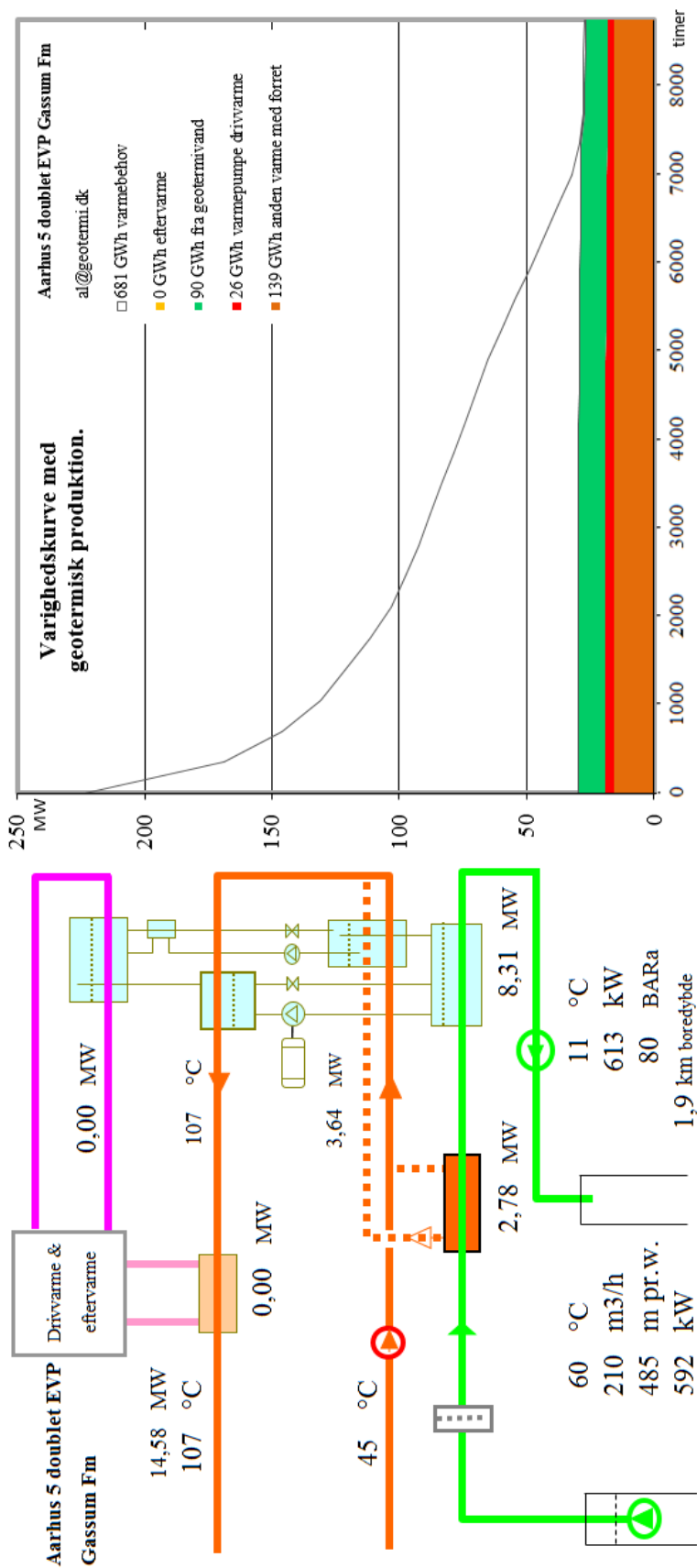
Resultaterne i Tabel 3 skal benyttes i de videre beregninger af scenarier og landsbilleder for geotermi i fjernvarmesystemerne, og indeholder derfor ikke omkostninger til energikøb i de variable drift- og vedligeholdelsesomkostninger. Ligeledes er afskrivning og forrentning af anlægsinvesteringerne ikke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

Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være høj.



2015 prisniveau	15,0 Mkr/år + 104,6 kr/MWh	Mkr/år	11,7	136,8
Forundersøgelser	3,7 mio.kr	Indexlån	3,0%	25 år
Boringer, planlægning	107,9 mio.kr	Drift eksklusive energikøb	4,9	57,8
Overfladeanlæg	84,7 mio.kr	Proces el til pumper mm.	7,3	85,3
Byggeranter	10,6 mio.kr	Drivenergi kompressor VP	0,0	0,0
I alt	207,0 mio.kr	Drivenergi absorption VP	0,0	0,0
Proces el til pumper mm., mio.kWh/år:	9,7	Eftervarme til fremløb	0,0	0,0
El eller brændsel VP motor, mio.kWh/år:	0,0	Varmepris	24,0	280,0

Figur 1: Output fra geotermiPRO.



Figur 2: Output fra geoterminPRO.

Aarhus 5 doublet EVP Gassum Fm		2015 prisniveau	
al@geotermin.dk		14,3 Mkr/år + 334,1 kr/MWh	Mkr/år kr/MWh
□ 681 GWh varmebehov		2,4 mio.kr	11,2
■ 0 GWh eftervarme		100,6 mio.kr	96,8
■ 90 GWh fra geotermivand		84,5 mio.kr	41,0
■ 26 GWh varmepumpe drivvarme		9,9 mio.kr	64,2
■ 139 GWh anden varme med forret		I alt 197,5 mio.kr	256,3
		Proces el til pumper mm.	7,4
		Drivenergi kompressor VP	29,6
		Drivenergi absorption VP	0,0
		Eftervarme til fremløb	0,0
		Varmepris	52,9
			458,2

Aarhus 5 doublet EVP Gassum Fm		2015 prisniveau	
al@geotermin.dk		14,3 Mkr/år + 334,1 kr/MWh	Mkr/år kr/MWh
□ 681 GWh varmebehov		2,4 mio.kr	11,2
■ 0 GWh eftervarme		100,6 mio.kr	96,8
■ 90 GWh fra geotermivand		84,5 mio.kr	41,0
■ 26 GWh varmepumpe drivvarme		9,9 mio.kr	64,2
■ 139 GWh anden varme med forret		I alt 197,5 mio.kr	256,3
		Proces el til pumper mm.	7,4
		Drivenergi kompressor VP	29,6
		Drivenergi absorption VP	0,0
		Eftervarme til fremløb	0,0
		Varmepris	52,9
			458,2

Aarhus 5 doublet EVP Gassum Fm		2015 prisniveau	
al@geotermin.dk		14,3 Mkr/år + 334,1 kr/MWh	Mkr/år kr/MWh
□ 681 GWh varmebehov		2,4 mio.kr	11,2
■ 0 GWh eftervarme		100,6 mio.kr	96,8
■ 90 GWh fra geotermivand		84,5 mio.kr	41,0
■ 26 GWh varmepumpe drivvarme		9,9 mio.kr	64,2
■ 139 GWh anden varme med forret		I alt 197,5 mio.kr	256,3
		Proces el til pumper mm.	7,4
		Drivenergi kompressor VP	29,6
		Drivenergi absorption VP	0,0
		Eftervarme til fremløb	0,0
		Varmepris	52,9
			458,2

Beregningsresultater Geotermianlæg ved Aarhus 3 dubletter for absorptionsvarmepumper 5 dubletter for el-varmepumper	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El- varmepump er	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	N/A
<b>Anlægskapacitet (vinter)</b>					
1) Effekt fra geotermivand	MW	33,264		55,490	
2) Effekt fra drivvarme	MW	35,687		N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	38,638		N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	107,547		72,884	
5) Proces el	MW	3,825		6,091	
6) Varmepumpe el	MW	N/A		18,191	
<b>Årsenergiomsætning, forholdstal</b>					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000		100,000	
8) Drivvarme	%	109,226		N/A	
9) Eftervarme	%	80,087		N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%	289,313		128,809	
11) Proces el forbrug	%	11,376		11,019	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A		28,809	
<b>Investeringsomkostninger</b>					
13) Samlet investering	mio. kr	588,963		937,742	
14) Byggerenter	mio. kr	31,923		49,584	
<b>Driftsomkostninger</b>					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	9,899		15,768	
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	19,276		13,661	

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 Aarhus. 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.

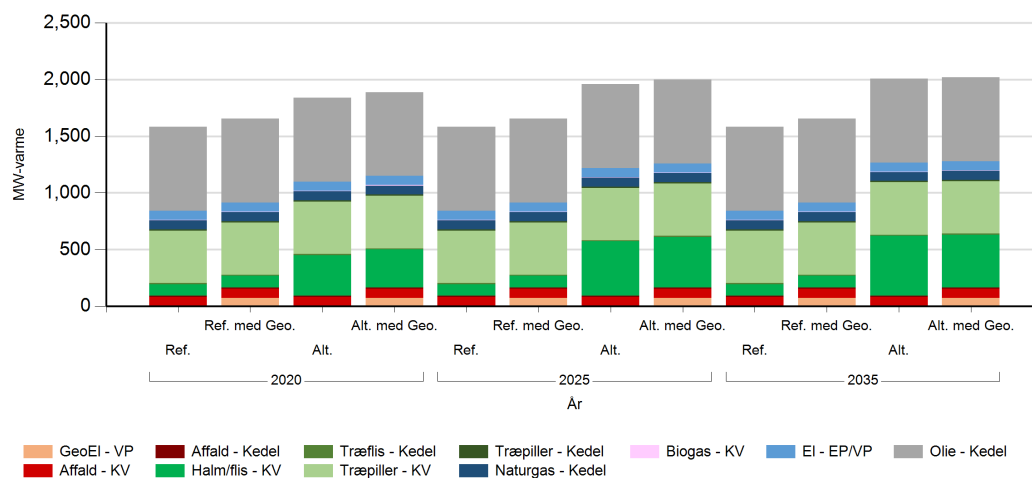
De to scenarier Ref. og Alt. er valgt for at ramme en stagnering og ekspanderende udvikling af grønne teknologiindfasning. I nogle systemet vil man være tættest på det ene og i andre tættest på det andet. De fire scenarier er forklaret i større detalje i hovedrapporten "Landsdækkende screening af geotermi 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 m<sup>2</sup>
- 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 Aarhus fordelt på brændsler og anlægstyper. For alle fjernvarmeområder er der yderligere indsat tilstrækkelig oliespidslastkapacitet til at dække spidsbehovet.

### Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

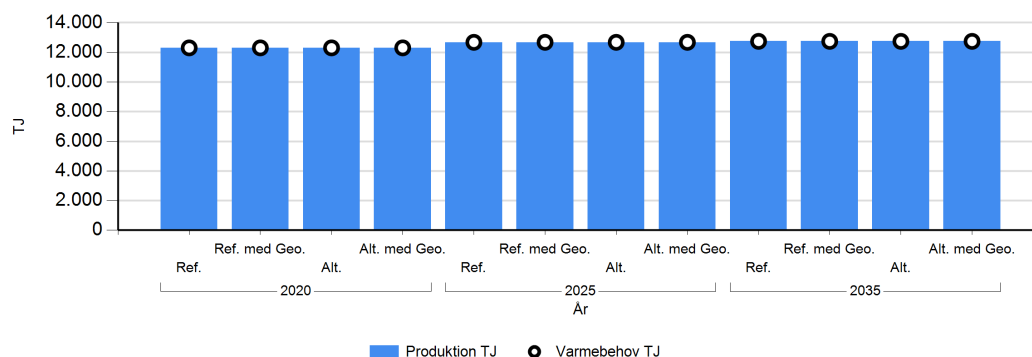
MW Brændsel og Anlægstyper	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Træpiller - KV	461.7	461.7	461.7	461.7	461.7	461.7	461.7	461.7	461.7	461.7	461.7	461.7
Halm/flis - KV	103.4	103.4	359.8	337.0	103.4	103.4	480.1	446.4	103.4	103.4	528.8	466.7
Affald - KV	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
EI - EP/VP	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Affald - Kedel	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Naturgas - Kedel	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0
Træflis - Kedel	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Træpiller - Kedel	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Biogas - KV	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
GeoEI - VP		72.5		72.5		72.5		72.5		72.5		72.5

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



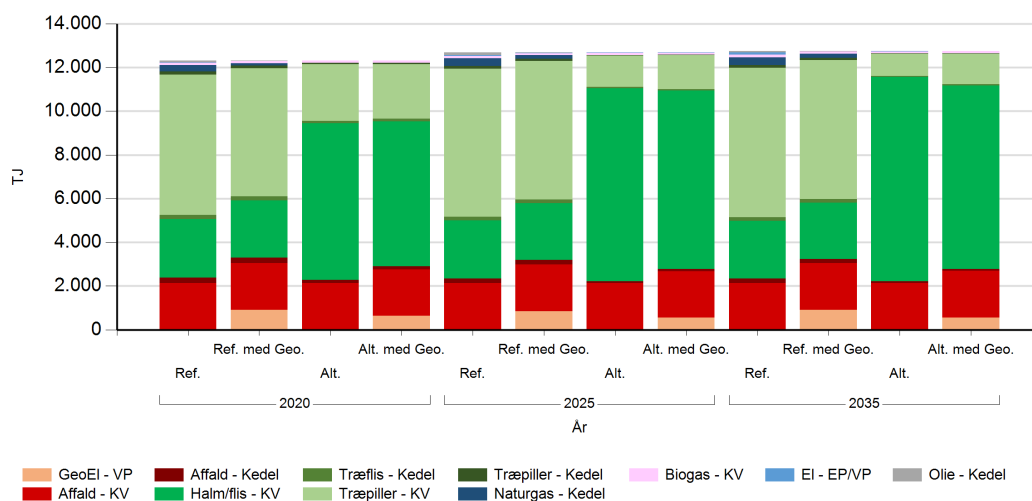
## Fjernvarmeproduktion

### Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



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

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.
Olie - Kedel	82,5	1,8			129,9	6,8			69,2	3,7		
EI - EP/VP	12,0	2,3			29,9	12,6	0,7	0,1	104,2	20,4	0,1	
Affald - Kedel	256,1	238,7	140,5	139,7	209,8	197,8	94,9	96,6	206,2	193,8	86,6	92,1
Naturgas - Kedel	290,8	106,1			348,0	161,5			357,9	170,6		
Træflis - Kedel	196,3	170,1	114,2	114,3	169,8	154,6	63,8	65,6	178,3	158,5	50,1	62,7
Træpiller - Kedel	142,9	129,1	47,6	43,7	123,1	108,1	24,3	16,5	130,7	114,8	14,1	13,2
Biogas - KV	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2
Affald - KV	2.134,7	2.134,7	2.129,3	2.121,3	2.134,7	2.134,7	2.129,9	2.121,0	2.134,7	2.134,7	2.130,2	2.121,5
Halm/flis - KV	2.660,2	2.636,3	7.166,5	6.631,2	2.645,4	2.609,7	8.811,8	8.169,6	2.627,5	2.570,4	9.345,0	8.397,8
Træpiller - KV	6.422,8	5.867,0	2.600,1	2.504,0	6.780,0	6.332,8	1.445,1	1.547,2	6.828,1	6.355,3	1.010,8	1.386,5
GeoEI - VP		912,0	644,0		851,9		554,0		914,6		563,1	

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

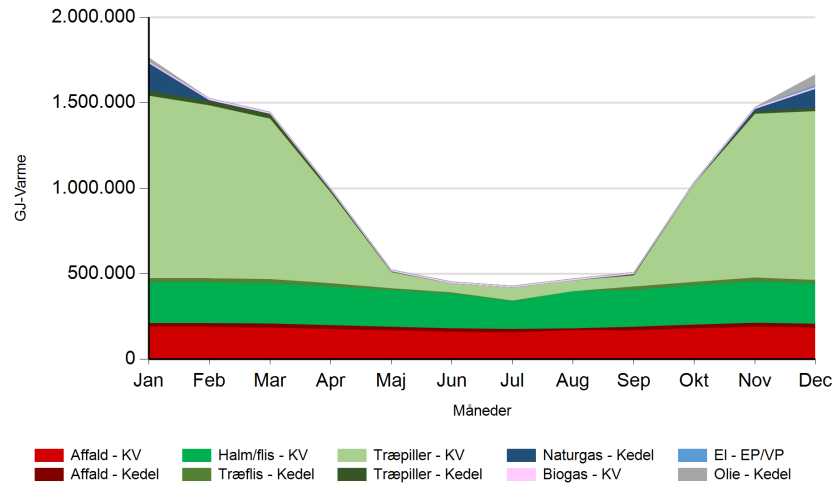
**Fuldstastimer for varmeproduktion**

Fuldstastimer	2020				2025				2035				
	Brændsler og anlæg	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Affald - KV	7.256	7.256	7.238	7.211	7.256	7.256	7.240	7.210	7.256	7.256	7.241	7.211	
Halm/flis - KV	7.166	7.107	5.512	5.437	7.111	7.019	5.036	5.036	7.034	6.906	5.046	5.113	
EI - EP/VP	42	8			104	44	2		362	71			
Affald - Kedel	7.114	6.631	3.902	3.880	5.827	5.493	2.636	2.682	5.727	5.382	2.405	2.557	
Naturgas - Kedel	1.023	373			1.224	568			1.259	600			
Træflis - Kedel	5.453	4.725	3.172	3.175	4.718	4.295	1.773	1.822	4.954	4.403	1.391	1.741	
Træpiller - Kedel	3.307	2.989	1.101	1.011	2.850	2.501	562	381	3.026	2.657	327	305	
Biogas - KV	7.256	7.256	7.256	7.256	7.256	7.256	7.256	7.256	7.256	7.256	7.256	7.256	
Træpiller - KV	3.864	3.530	1.564	1.506	4.079	3.810	869	931	4.108	3.823	608	834	
Olie - Kedel	23				36	2			19	1			
GeoEI - VP		3.494		2.468		3.264		2.122		3.504		2.157	

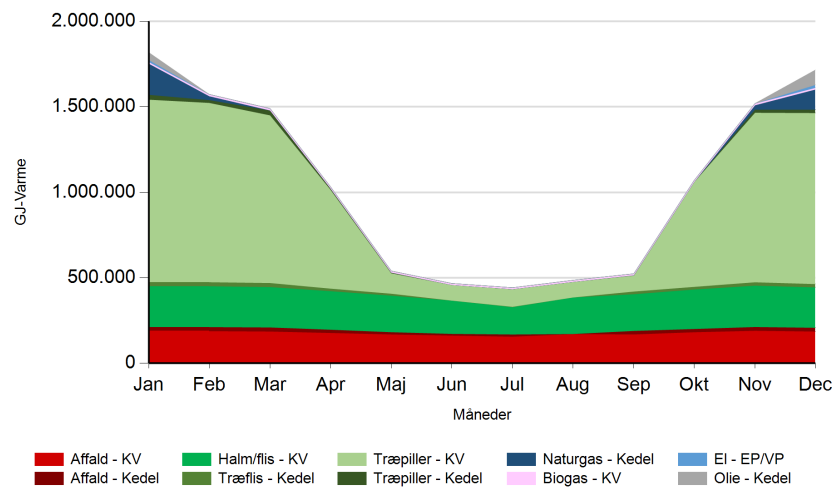
**Table 4: Antal af fuldstastimer for varmeproduktion i Aarhus.**

### Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Aarhus.

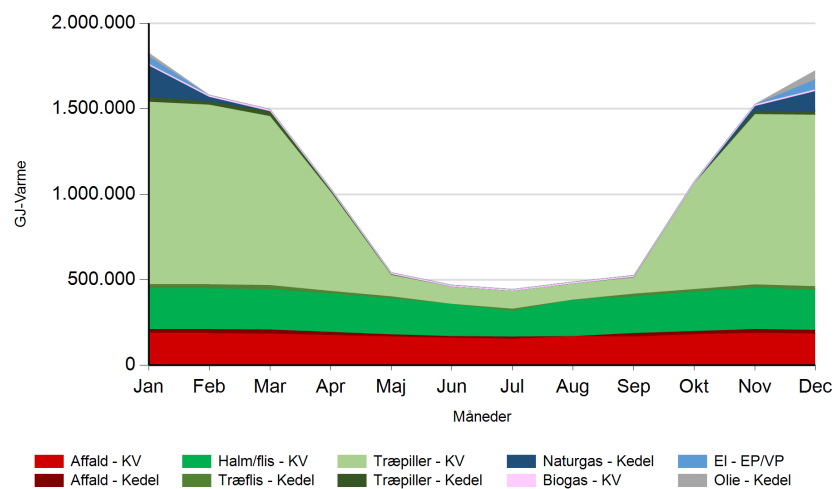
Ref. 2020



2025

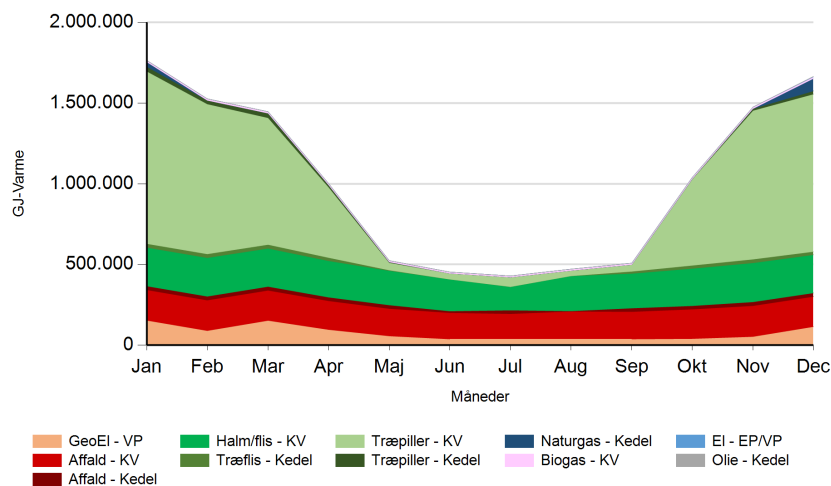


2035

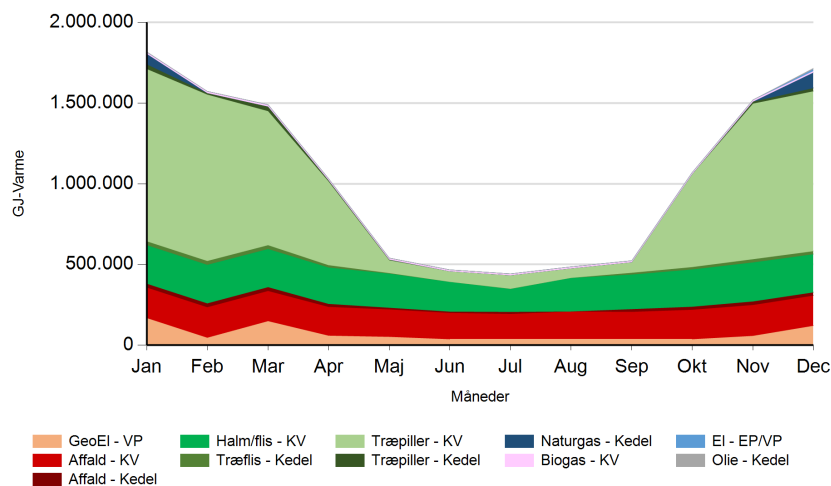




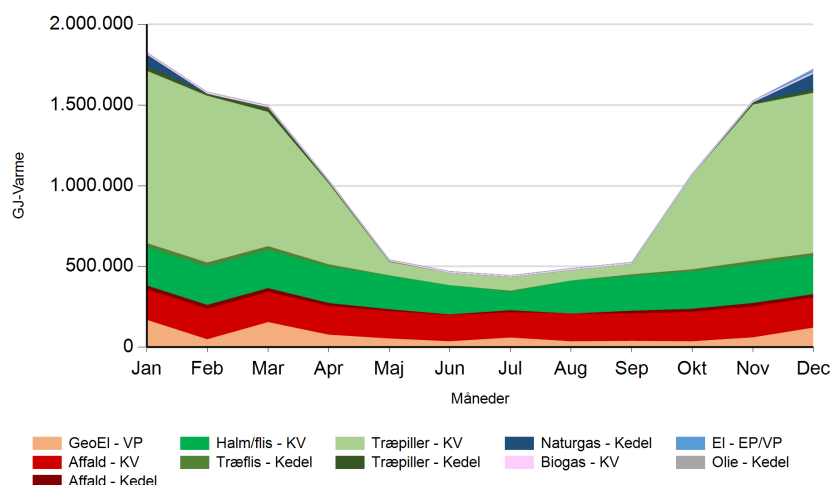
Ref. med Geo. 2020



2025



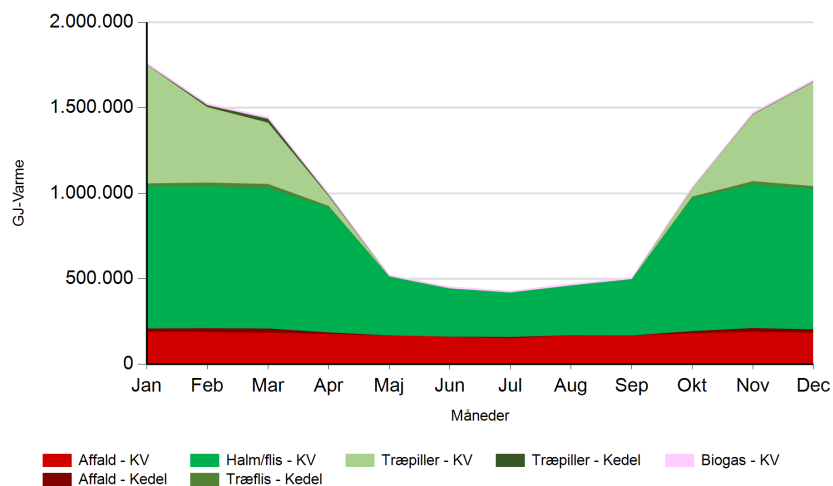
2035



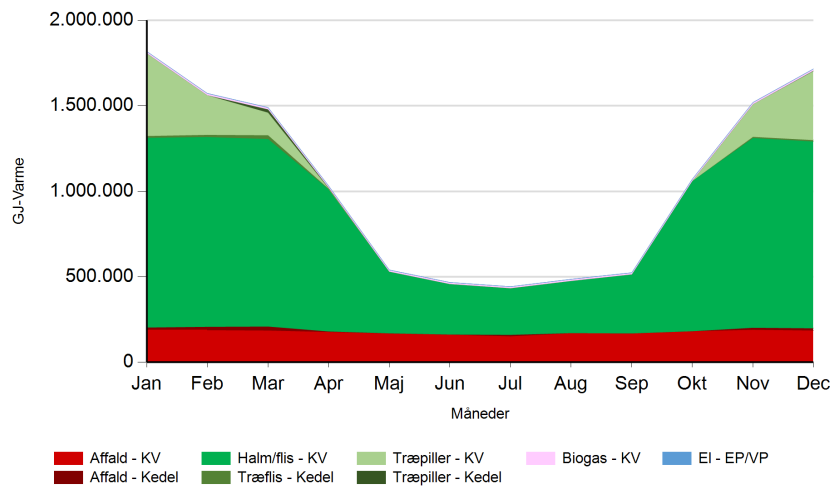


Alt.

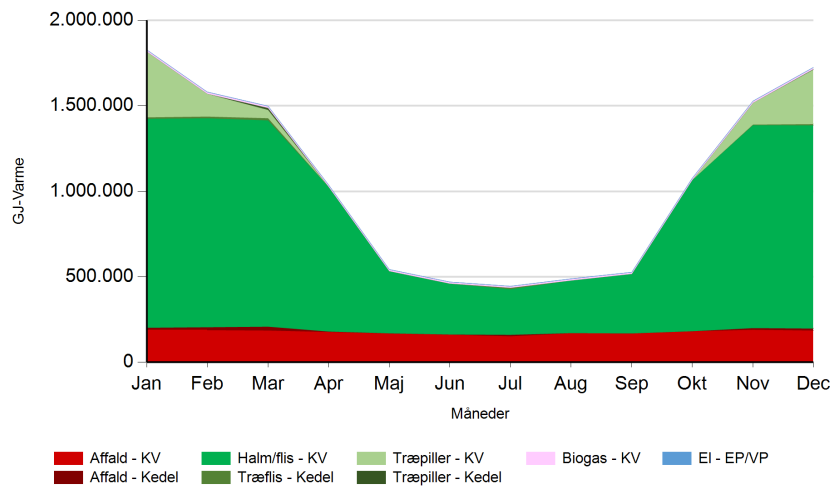
2020



2025

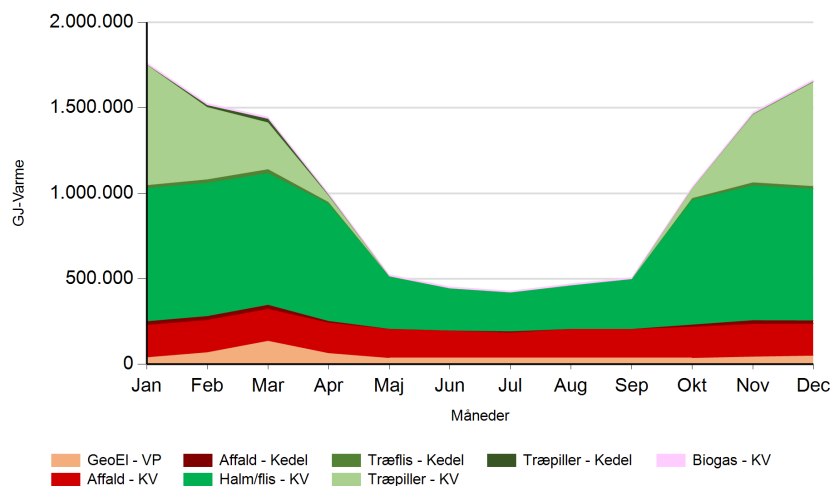


2035

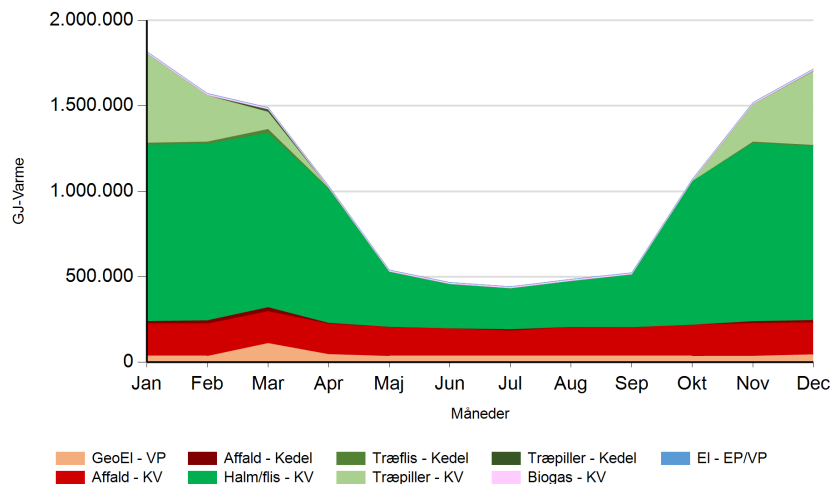




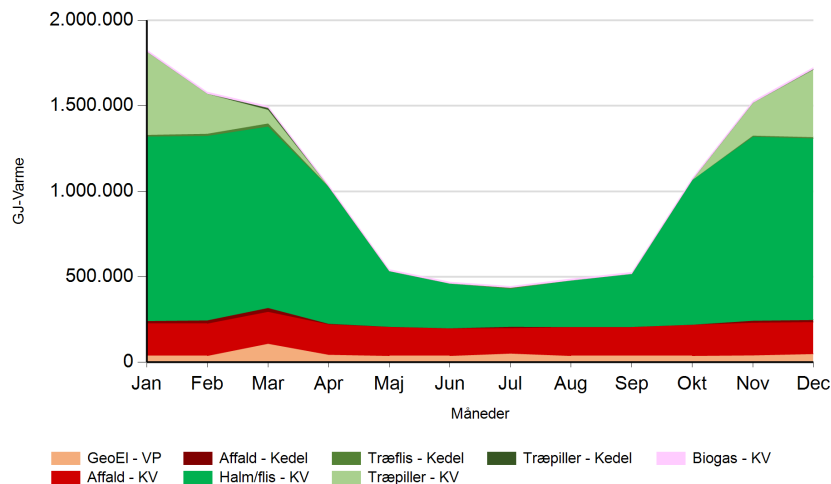
Alt. med Geo. 2020



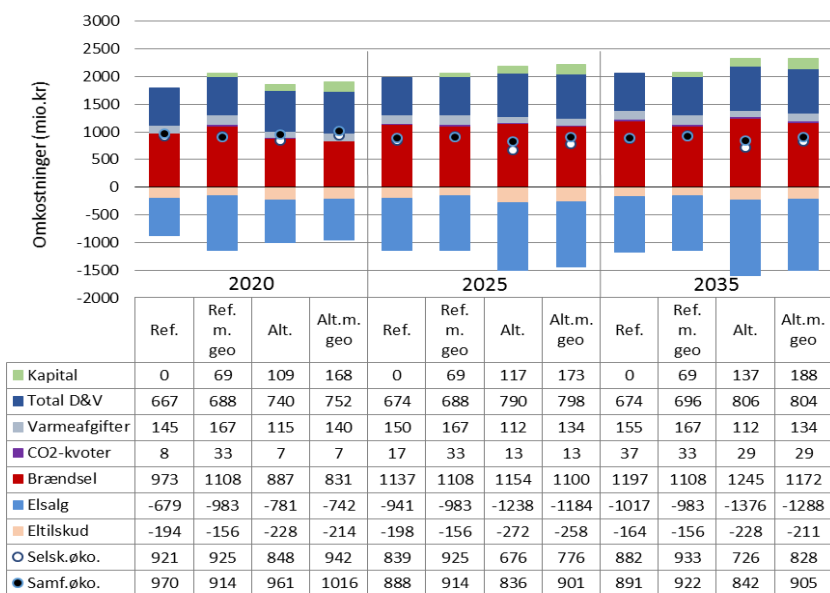
2025



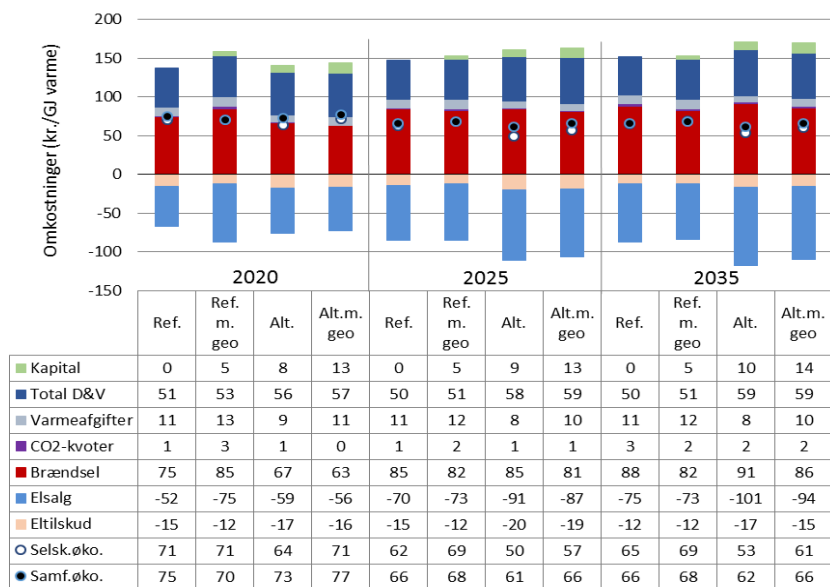
2035



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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Aarhus



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Aarhus





# Det geotermiske screeningsprojekt

Århus-lokaliteten

Henrik Vosgerau, Anders Mathiesen, Lars Kristensen,  
Morten Sparre Andersen, Morten Leth Hjuler & Troels Laier



## Indhold

<b>1.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Geologisk baggrund</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Resultater for Århus-lokaliteten</b>	<b>8</b>
3.1	Anbefalinger .....	10
<b>4.</b>	<b>Datagrundlag</b>	<b>11</b>
<b>5.</b>	<b>Gennemgang af data</b>	<b>13</b>
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 .....	18
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	21
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet .....	23
5.2.3	Permeabilitet.....	24
5.2.4	Transmissivitet .....	25
5.3	Temperatur .....	26
5.4	Salinitet.....	28
<b>6.</b>	<b>Referencer</b>	<b>29</b>

# 1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet beliggende vest for Århus på adressen Lilleringsvej 32, 8462 Harlev (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).

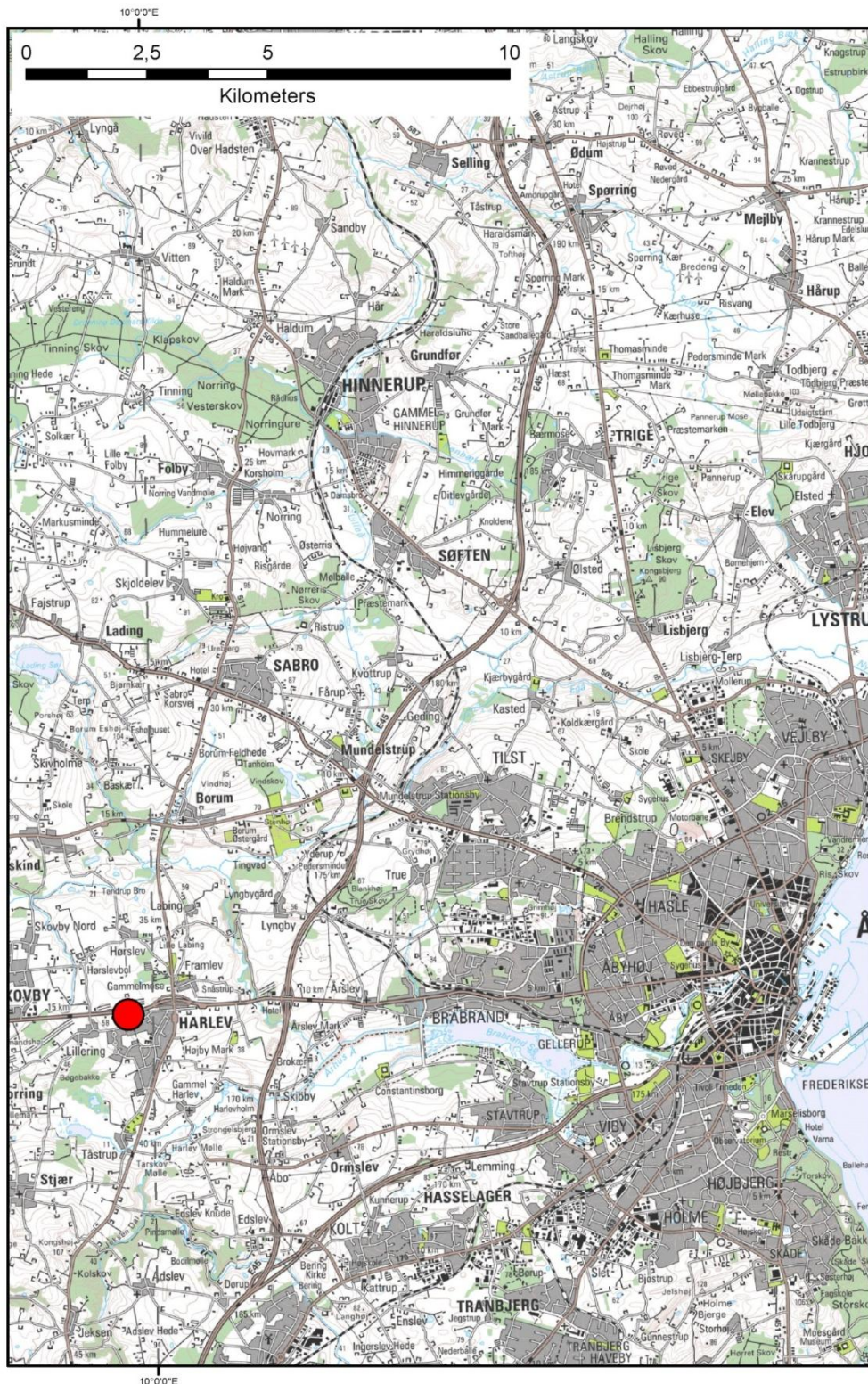
Århus fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er valgt ud fra, at deres varmemarked er større end 400 TJ/år, og 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 Århusområdet, 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 Århus-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 30 meter sandsten, der er beliggende mere end 1860 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 Århus-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) ved Harlev vest for Århus by.

## 2. Geologisk baggrund

Århus-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).

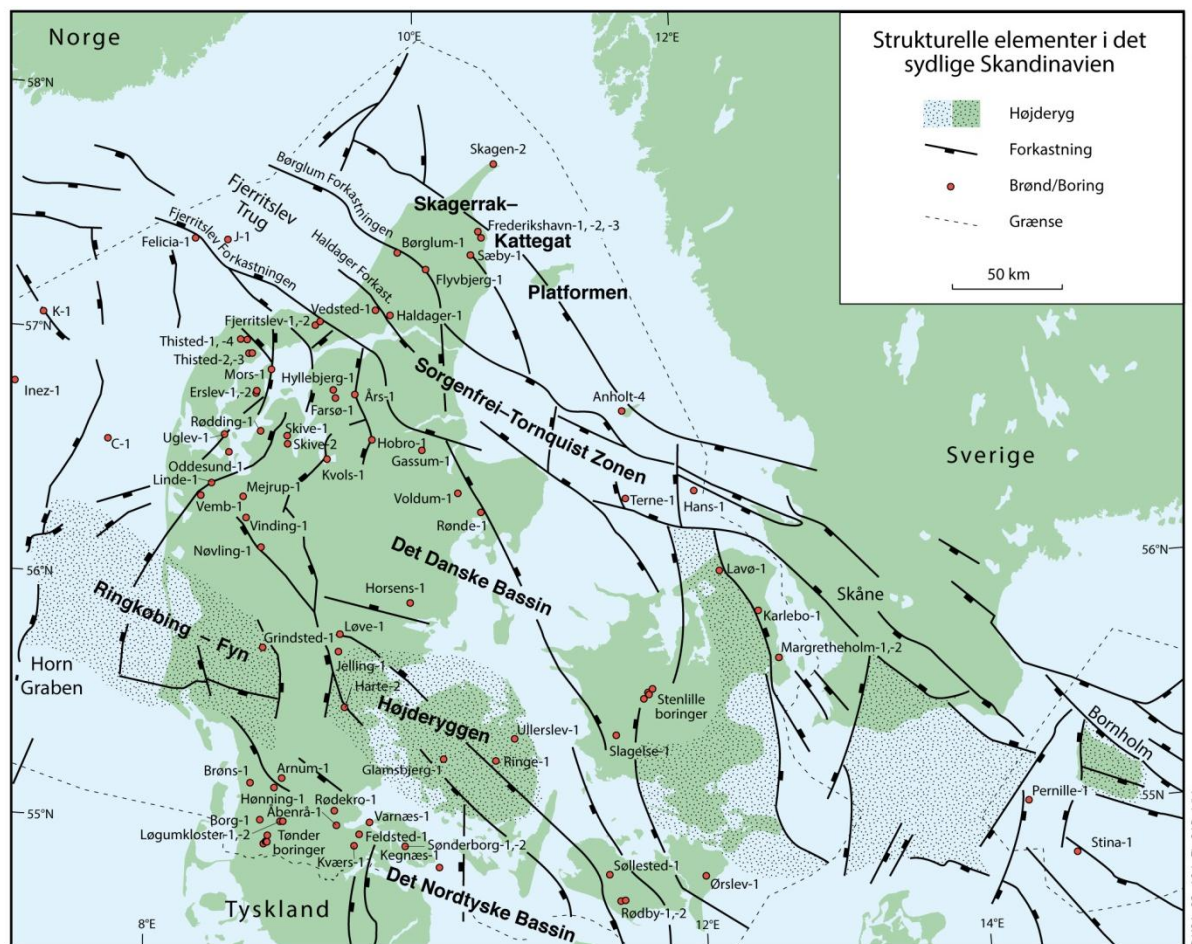
Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin fulgte en lang periode med indsynkning, hvor tykke aflejringer af Zechstein-salt blev dannet i bassinerne efterfulgt af aflejring af sand, mudder, karbonat og mindre saltdannelser 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 Århus-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien 4,5–5,0 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirer 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 sandstensreservoirer, og at de i større områder vurderes til at være beliggende indenfor dybdeintervallet 800–3000 meter, der anses for egnet til dyb geotermisk indvinding. Kortlægningen af dybdeintervaller og indhold af sandsten er baseret på tilgængelige seismiske data og data fra dybe borer i undergrunden. Den geografiske dækning og kvaliteten af disse data er dog meget varierende, og det er som følge heraf også meget forskelligt med hvilken grad af sikkerhed, man kan udtale sig om det geotermiske potentiale fra område til område.

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 vest for Århus.

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 p.g.a. 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 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 Århus-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Århus-lokaliteten er samlet i Tabel 3.1. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolkningsusikkerheden 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. 1815 – 1940 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. 60 °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 transmissivitetsværdier på under 10 Darcy-meter (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoir-kvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som "Potentielt reservoirsand" i Figur 6–8). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

Gassum Formationen ser forholdsvis uforstyrret ud ved prognoselokaliteten baseret på den nærmeste seismiske linje af god kvalitet. Datadækningen er dog generelt ringe omkring lokaliteten og ca. 5 km nord for lokaliteten samt ca. 10 km syd for lokaliteten, er der identificeret mindre forkastninger. Det kan derfor ikke udelukkes, at mindre forkastninger opsplitter Gassum Formationen i nærheden af prognoselokaliteten. Hvis der er forkastninger til stede, og disse ikke kortlægges, er der en risiko for, at eventuelt fremtidige geotermiske produktions- og injektionsboringer placeres, så de ikke er i tilstrækkelig hydraulisk kontakt med hinanden.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 55 meter tyk med toppen liggende ca. 1360 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 1170 meter tykke og beliggende ca. 110–1280 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.

<b>Århus-lokaliteten</b>			
UTMz32 X: 561.610 m; Y: 6.223.295 m Terrænkote: 47 meter over havniveau (m.o.h.)			
<b>Gassum Formationen</b>	<b>Estimeret værdi</b>	<b>Vurderet usikkerhed</b> <sup>1</sup>	<b>Usikkerhedsinterval</b> <sup>2</sup>
			[MinCase - MaxCase]
<b>Makro reservoirparametre</b>			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1815	8 <sup>3</sup>	1670–1960 <sup>3</sup>
Tykkelse af formation [m]	125	30 <sup>3</sup>	88–163 <sup>3</sup>
<b>Andel af sandsten i formationen</b>			
Tykkelse af Gross sand [m]	32	20 <sup>3</sup>	25–38 <sup>3</sup>
Tykkelse af Potentielt reservoirsand <sup>4</sup> [m]	28	20 <sup>3</sup>	23–34 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/formation <sup>5</sup>	0,24	20 <sup>3</sup>	0,18–0,27 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/Gross sand <sup>6</sup>	0,89	20 <sup>3</sup>	0,72–1,00 <sup>3</sup>
<b>Vandlevende egenskaber (reservoirsand)</b>			
Porøsitet [%]	23	15 <sup>3</sup>	20–27 <sup>3</sup>
Gas-permeabilitet [mD]	460	5 <sup>7</sup>	92–2300 <sup>7</sup>
Reservoir-permeabilitet <sup>8</sup> [mD]	575	5 <sup>7</sup>	115–2875 <sup>7</sup>
Reservoir-transmissivitet (Kh) <sup>9</sup> [Dm]	16	6 <sup>7</sup>	3–96 <sup>7</sup>
<b>Temperatur</b>			
Temperatur <sup>10</sup> [°C]	60	10 <sup>3</sup>	54–66 <sup>3</sup>
<b>Tekstur og cementering (sandsten)</b>		<b>Vurdering</b>	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsageligt fin kornstørrelse; ringe til velsorteret; subkantede til afrundede korn		
Diagenese/cementering	Løs til hård		
<b>Andre betydende parametre</b>		<b>Vurdering</b>	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Stor til mellem; ingen store forkastninger observeret i nærområdet til prognoselokaliteten men mindre forkastninger er observeret ca. 5 km nord for og ca. 10 km syd for lokaliteten. Lokaliteten er beliggende over en lille lokal saltpude		

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

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

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

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

<sup>5</sup> Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af formation.

<sup>6</sup> Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af Gross sand.

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

<sup>8</sup> 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.

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

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

### 3.1 Anbefalinger

Mængden af seismiske data indsamlet omkring prognoselokaliteten er meget begrænset. Der bør derfor laves en seismisk dataindsamling for at kunne kortlægge, om der forekommer forkastninger omkring prognoselokaliteten, og for at kunne bestemme de mest optimale placeringer af geotermi-brøndene. Endvidere vil dybden til Gassum Formationen og dens tykkelse herved kunne fastlægges mere præcist og dermed indirekte også flere af reservoirværdierne, herunder transmissiviteten og temperaturen. Den seismiske linjeføring bør lægges således, at den knytter prognoselokaliteten til det eksisterende seismiske net i regionen og eventuelt til en dyb boring, samt at den omkring prognoselokaliteten muliggør en rumlig kortlægning af eventuelle forkastninger, der gennemskærer Gassum Formationen. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 50 km ny seismik.

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

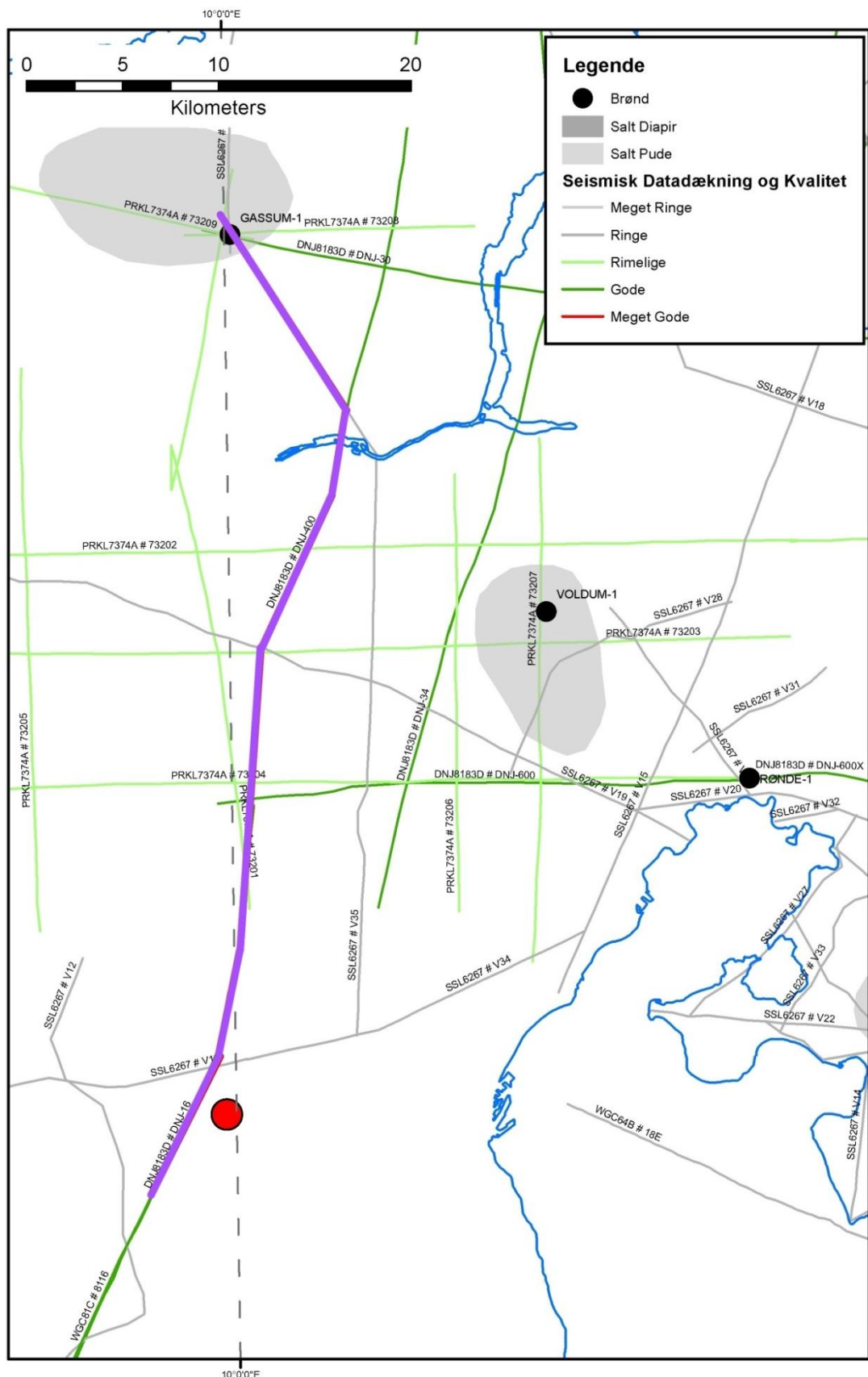
I Figur 3 er den tilgængelige database i Århus-området og i regionen vist i form af placeringen af nogle af de nærmeste brønde til prognoselokaliteten samt placering og kvalitet af seismiske linjer.

De nærmeste dybe brønde er Horsens-1, Voldum-1 og Rønde-1, der er placeret henholdsvis ca. 25, 31 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 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 begrænser sig i det væsentligste til en enkelt seismisk linje af god kvalitet ca. 1,8 km vest for lokaliteten (linje DNJ-16). Mod nord findes der i større afstand seismiske linjer af ringe til god kvalitet, mens der ikke findes data for nærområderne mod øst og syd. Overordnet set må den seismiske datadækning og -kvalitet derfor betegnes som værende ringe.

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

		Horsens-1 (25 km)	Voldum-1 (31 km)	Rønde-1 (32 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	163–1111	-8–1212	87–1941
	Tykkelse (m)	948	1220	1854
Fjerritslev Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1239–1449	1388–1722	2096–2571
	Tykkelse (m)	210	334	475
Gassum Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1449–1543	1722–1850	2571–2711
	Tykkelse (m)	94	128	140



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og nærmeste brønde samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. De dele af de seismiske linjer DNJ-16, DNJ-400, DNJ-400 og V35, som er fremhævet med fed lilla streg, er anvendt til at fremstille et sammensat 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

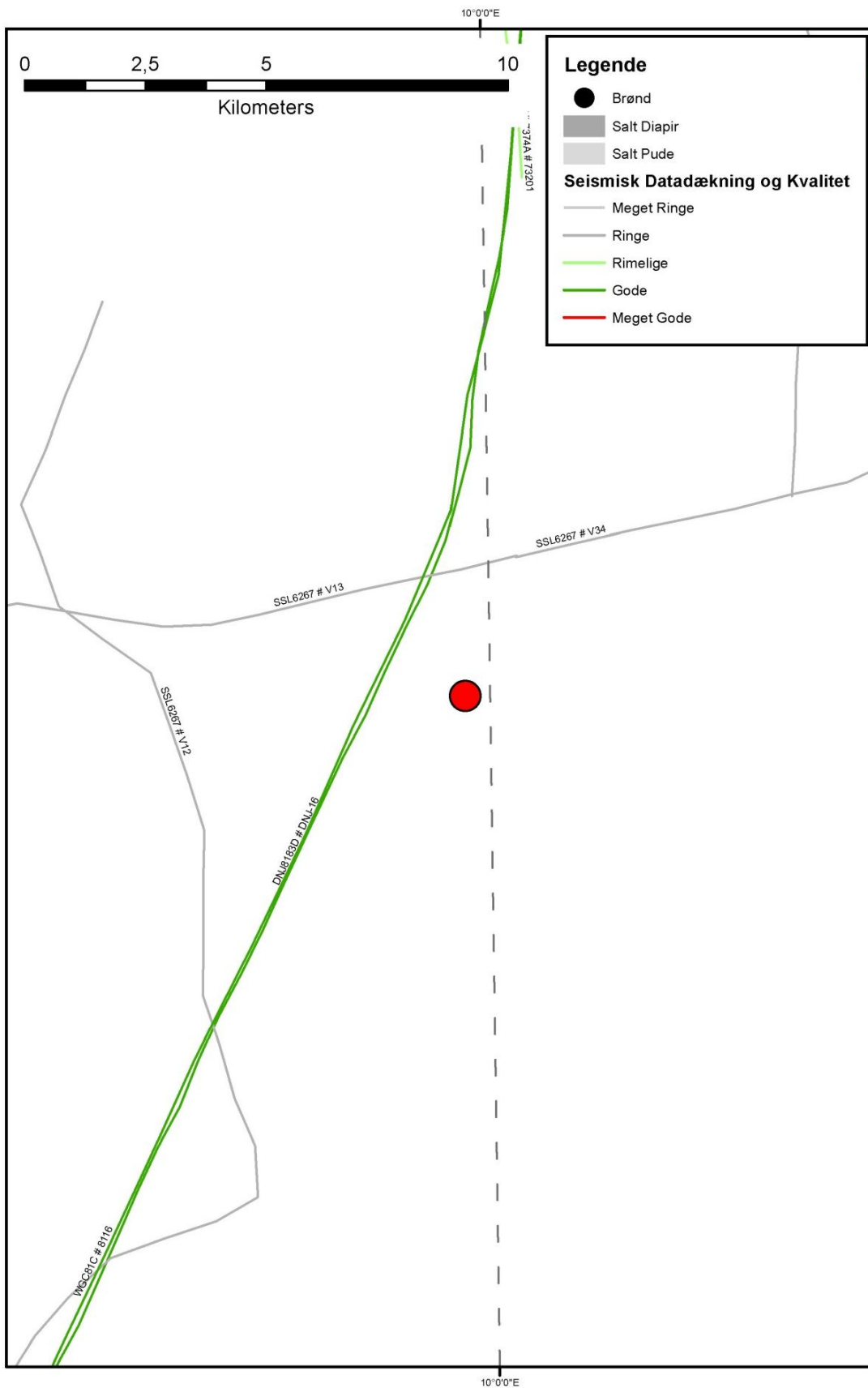
#### 5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

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. 1815 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  $\pm 30\%$ .

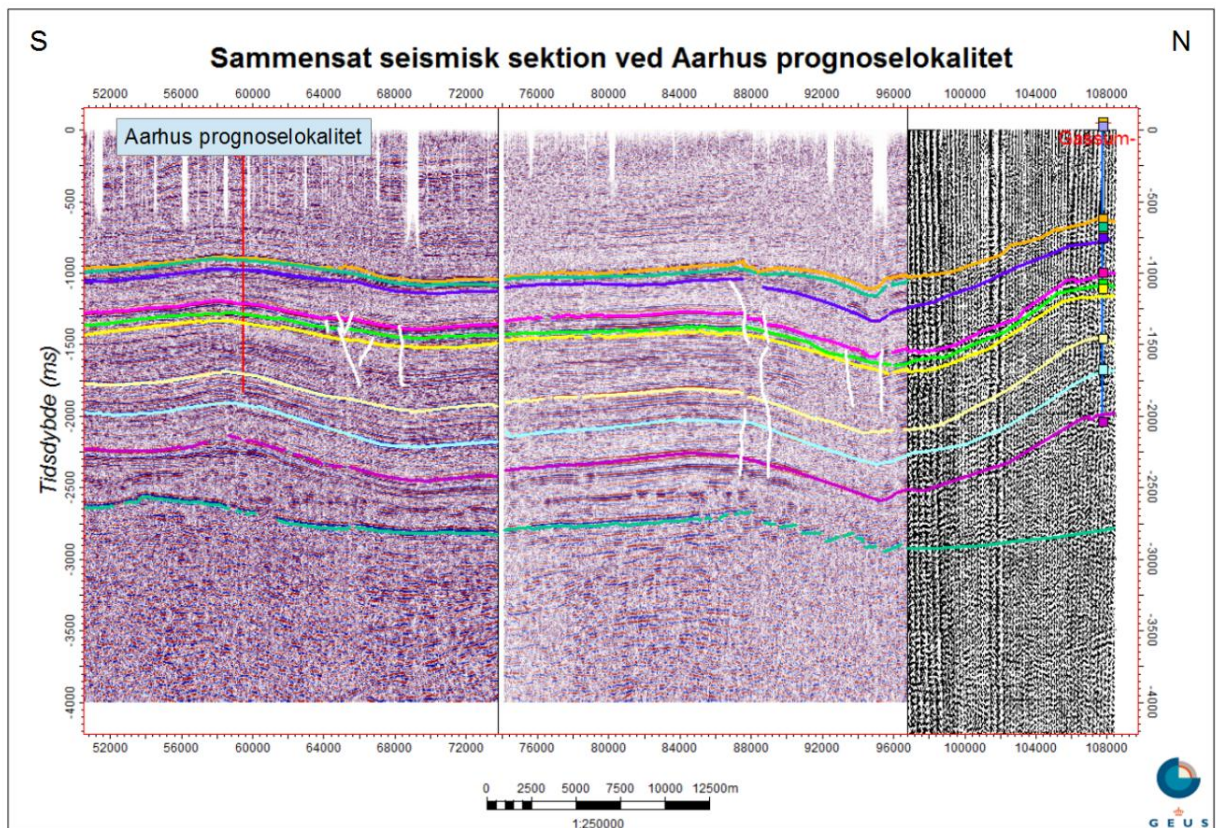
De seismiske linjer DNJ-16, DNJ-400 og V35 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et omtrent syd–nord orienteret seismisk profil, der passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af ca. 1,8 km. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. Gassum Formationen fremstår forholdsvis uforstyrret i nærheden af prognoselokaliteten, som er beliggende over en lille lokal saltpude i undergrunden. Der er dog identificeret mindre forkastninger ca. 5 km nord og 10 km syd for lokaliteten. På grund af den ringe seismiske datadækning er det ikke muligt at lave en rummelig kortlægning af undergrunden i nærområdet til prognoselokaliteten. Det kan som følge heraf heller 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 og Kalk Gruppen	110–1280	1170
Frederikshavn Fm	1360–1415	55
Fjerritslev Fm	1430–1815	410
Gassum Fm	1815–1940	125
Bunter Sandsten Fm	3185–?	<600



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten (rød cirkel). En del af den seismiske linje DNL-16 (markeret på Figur 3) indgår i et sammensat seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: S sammensat seismisk profil, der passerer vest om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 1,8 km samt Gassum-1 i en afstand af ca. 3 km (baseret på linjerne DNJ-16, DNJ400 og V35 Figur 3). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet, og er markeret med en rød, lodret streg. Mindre forkastninger, som skærer Gassum Formationen, ses ca. 5 km nord for lokaliteten (angivet som stejle hvide streger). Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren: Basis af Kalkgruppen (orange), Top Frederikshavn Fm (grøn), Basis Frederikshavn Fm/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 omtrentlige 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, hvoraf nogle befinder sig mere end 50 kilometer fra prognoselokaliteten (Løve-1 og Hobro-1). Af tabellen fremgår det også hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirgenskaber (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. Formationen er dog ikke til stede i Løve-1, som er boret henover flanken af Ringkøbing–Fyn Højderyggen, mens de øvrige brønde viser en tykkelsesvaria-

tion af formationen fra 94 til 145 meter (Tabel 5.2). Den estimerede tykkelse af formationen på 125 meter ved prognoselokaliteten, baseret på seismiske data, holder sig således inden for dette interval.

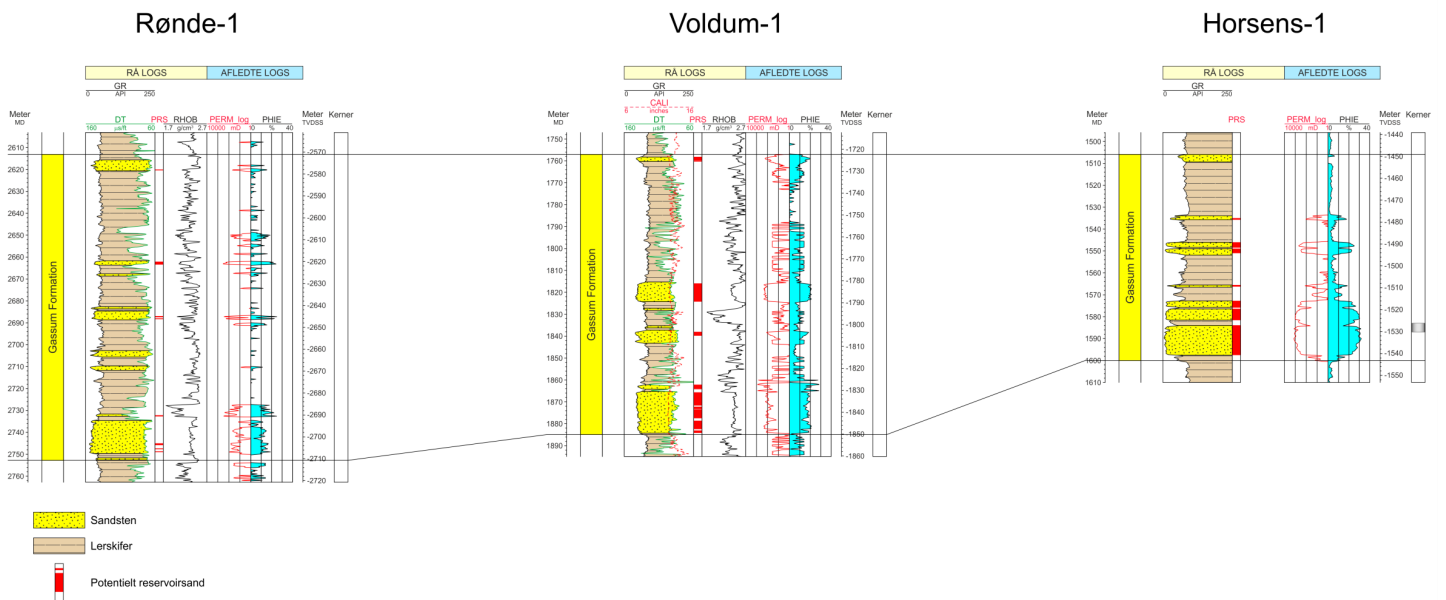
Horsens-1 ligger tættest ved prognoselokaliteten, og det synes derfor mest oplagt at anvende data fra denne boring til vurderingen af sandstensindholdet og reservoirkvaliteten af sandstene-  
ne i Gassum Formationen ved prognoselokaliteten. Ved lokaliteten er formationen dog beliggende ca. 340 meter dybere i undergrunden end i Horsens-1, hvilket kan resultere i lidt for optimistiske reservoirdata, hvis der udelukkende tages udgangspunkt i data fra Horsens-1. Formationen ligger kun ca. 70 meter dybere ved prognoselokaliteten i forhold til i Voldum-1. Denne brønd er dog beliggende over en markant saltstruktur, og formationen kan meget vel oprindeligt have været beliggende i væsentlig større dybde inden saltbevægelsen satte ind, hvilket kan have influeret på de nuværende reservoirdata. I Rønde-1 er Gassum Formationen beliggende knap 800 meter dybere end ved prognoselokaliteten. På baggrund af ovenstående vil der blive lagt mest vægt på reservoirdata fra Horsens-1 og sekundært fra Voldum-1 i estimeringen af reservoiregenskaberne for Gassum Formationen ved prognoselokaliteten (se afsnit 5.2).

Det fremgår af Figur 6, at intervaller med sandsten hovedsageligt er koncentreret i den nedre halvdel af Gassum Formation i de nærmeste brønde til prognoselokaliteten. Dele af sandstenene vurderes at have en stor regional udbredelse (Nielsen 2003), og må også antages at være til stede ved prognoselokaliteten i tykkelser, der ligner dem i Horsens-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 faldende havniveau rykkede kysten og de bagvedliggende floder længere ud i bassinet, og som følge heraf kan sandstenslagene i undergrunden have en stor udstrækning, hvis de ikke sidenhen er brudt op af forkastninger.

Tabel 5.2: Tykkelser af Gassum Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoiregenskaber (Potentielt reservoirsand), i de nærmeste brønde, hvis omtrentlige placeringer ses på oversigtskortet i Figur 2.

	Tykkelser/antal meter		
	Formation	Gross sand	Potentielt reservoirsand
<b>Horsens-1</b>	94	28	28
<b>Voldum-1</b>	128	39	29
<b>Rønde-1</b>	140	14	2
<b>Gassum-1</b>	130	46	44
<b>Løve-1</b>	Ikke til stede	-	-
<b>Hobro-1</b>	145	143	63





Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationen i Rønde-1, Voldum-1 og Horsens-1, som er de nærmeste brønde til prognoselokaliteten (placering af brønde ses i Figur 2). Formationen er i brøndene vist med dens vertikale tykkelser, og der er således korrigeret for boringernes eventuelle afbøjning. Det er ikke muligt at tolke Potentielt reservoirsand for Rønde-1MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).

## 5.2 Reservoirkvalitet

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

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af bore-spåner fra Horsens-1 og Voldum-1 borerne (DGU 1958, Gulf 1974). Kernen fra Horsens-1 boringen er knap 3 meter lang og repræsenterer et sandstensinterval, der indgår i reservoirvalueringen (det kernede interval fremgår i Figur 7). De optagne og tolkede logs i Horsens-1 og Voldum-1 brøndene er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

I estimeringen af reservoirværdierne for Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er der taget udgangspunkt i data fra Horsens-1 og Voldum-1, hvor data fra Horsens-1 vægtes 2/3 og data fra Voldum-1 vægtes 1/3. De tolkede reservoirværdier for Horsens-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 reservoirværdierne ved prognoselokaliteten generelt er større end de angivne usikkerheder på reservoirværdierne for Horsens-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 Horsens-1 og Voldum-1 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Horsens-1	1506–1600	1 kort kerne	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
Resistivitetslogs/ Modstandslogs	ILD	Ohm-m	Induktion log; dybt-læsende modstandslog
	ILM	Ohm-m	Induktion log; medium-læsende modstandslog
	LLS	Ohm-m	Laterolog; medium-læsende modstandslog
	LLD	Ohm-m	Laterolog; dybt-læsende modstandslog
	16ft	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	38in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	10in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	18F8	Ohm-m	Lateral modstandslog af ældre dato
	64in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
Neutron log	NPHI	fraction	Måler den tilsyneladende porøsitet (neutron-loggen kan være forkortet "NEU")
Densitets logs	RHOB	g/cm <sup>3</sup>	Måler bulk-densiteten af bjergarten
	RHOZ	g/cm <sup>3</sup>	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 Horsens-1 brønden.*

<b>Horsens-1</b>			
<b>Gassum Formationen</b>	<b>Estimeret værdi</b>	<b>Vurderet usikkerhed <sup>1</sup></b>	<b>Usikkerhedsinterval<sup>2</sup></b>
			<b>[MinCase - MaxCase]</b>
<b>Makro reservoirparametre</b>			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1449	1 <sup>3</sup>	1435–1463 <sup>3</sup>
Tykkelse af formation [m]	94	1 <sup>3</sup>	93–95 <sup>3</sup>
<b>Andel af sandsten i formationen</b>			
Tykkelse af Gross sand [m]	28	5 <sup>3</sup>	27–29 <sup>3</sup>
Tykkelse af Potentielt reservoirsand <sup>4</sup> [m]	28	5 <sup>3</sup>	27–29 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/formation <sup>5</sup>	0,30	5 <sup>3</sup>	0,28–0,31 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/Gross sand <sup>6</sup>	1,0	5 <sup>3</sup>	0,95–1,0 <sup>3</sup>
<b>Vandlevende egenskaber (reservoirsand)</b>			
Porøsitet [%]	26	7 <sup>3</sup>	24–28 <sup>3</sup>
Gas-permeabilitet [mD]	630	5 <sup>7</sup>	126–3150 <sup>7</sup>
Reservoir-permeabilitet <sup>8</sup> [mD]	788	5 <sup>7</sup>	158–3938 <sup>7</sup>
Reservoir-transmissivitet (Kh) <sup>9</sup> [Dm]	22	5 <sup>7</sup>	4–110 <sup>7</sup>
<b>Tekstur og cementering (sandsten)</b>		<b>Vurdering</b>	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Hovedsagelig fin kornstørrelse; ingen information om sortering og afrundingsgrad		
Diagenese/cementering	Løs til hård		

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

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

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

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

<sup>5</sup> *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af formation*.

<sup>6</sup> *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af Gross sand*.

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

<sup>8</sup> *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.

<sup>9</sup> *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.*

<b>Voldum-1</b>			
<b>Gassum Formationen</b>	<b>Estimeret værdi</b>	<b>Vurderet usikkerhed <sup>1</sup></b>	<b>Usikkerhedsinterval<sup>2</sup></b>
			<b>[MinCase - MaxCase]</b>
<b>Makro reservoirparametre</b>			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1757	1 <sup>3</sup>	1739–1775 <sup>3</sup>
Tykkelse af formation [m]	128	1 <sup>3</sup>	127–129 <sup>3</sup>
<b>Andel af sandsten i formationen</b>			
Tykkelse af Gross sand [m]	39	6 <sup>3</sup>	37–41 <sup>3</sup>
Tykkelse af Potentielt reservoirsand <sup>4</sup> [m]	29	6 <sup>3</sup>	28–31 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/formation <sup>5</sup>	0,23	6 <sup>3</sup>	0,22–0,24 <sup>3</sup>
Potentielt reservoirsand/Gross sand <sup>6</sup>	0,75	6 <sup>3</sup>	0,71–0,80 <sup>3</sup>
<b>Vandlevende egenskaber (reservoirsand)</b>			
Porøsitet [%]	18	6 <sup>3</sup>	17–19 <sup>3</sup>
Gas-permeabilitet [mD]	120	5 <sup>7</sup>	24–600 <sup>7</sup>
Reservoir-permeabilitet <sup>8</sup> [mD]	150	5 <sup>7</sup>	30–750 <sup>7</sup>
Reservoir-transmissivitet (Kh) <sup>9</sup> [Dm]	4	5 <sup>7</sup>	1–20 <sup>7</sup>
<b>Tekstur og cementering (sandsten)</b>		<b>Vurdering</b>	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til mellem kornstørrelse; ringe til velsorteret; subkantede korn		
Diagenese/cementering	Cementeret, svagt kalkholdig		

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

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

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

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

<sup>5</sup> *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af formation*.

<sup>6</sup> *Tykkelse af Potentielt reservoirsand* divideret med *Tykkelse af Gross sand*.

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

<sup>8</sup> *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.

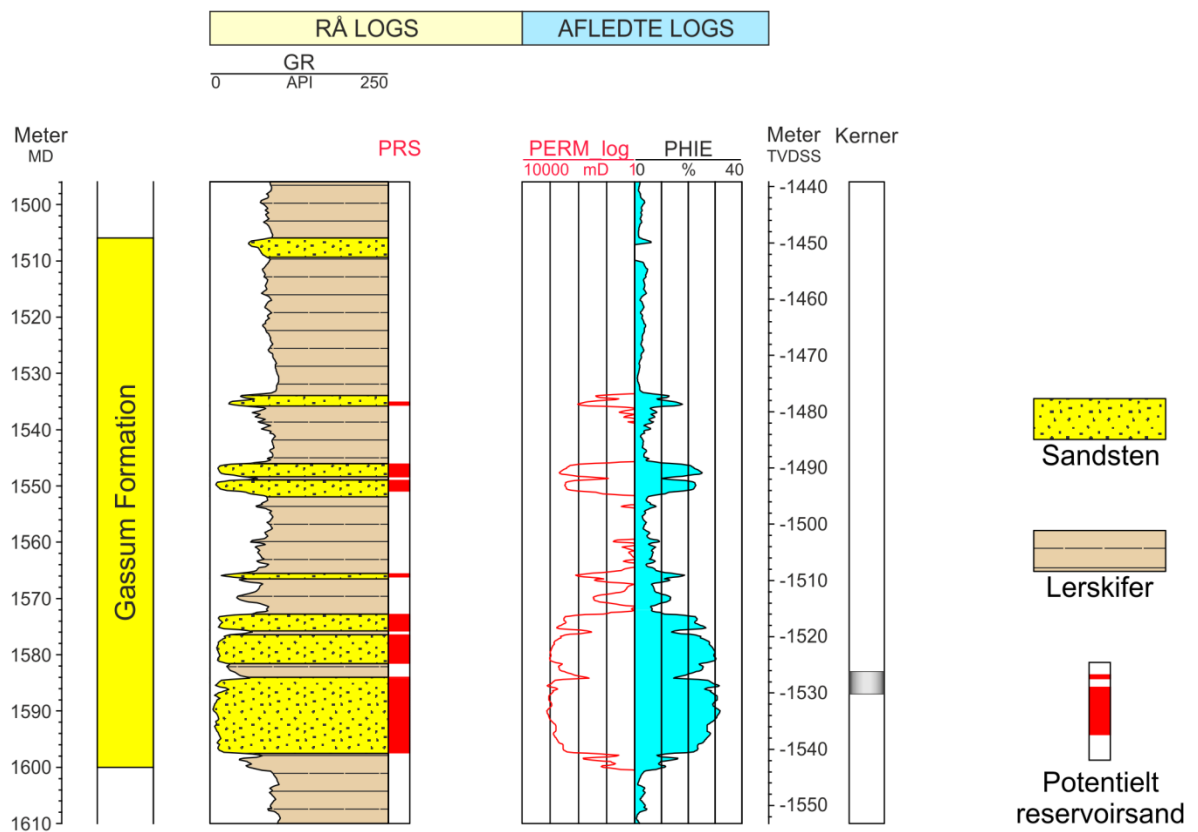
<sup>9</sup> *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

### 5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale samt udtagne kerner fra Horsens-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 sandstene i formationen hovedsageligt er fin til mellemkornede i Voldum-1, hvorimod de ho-

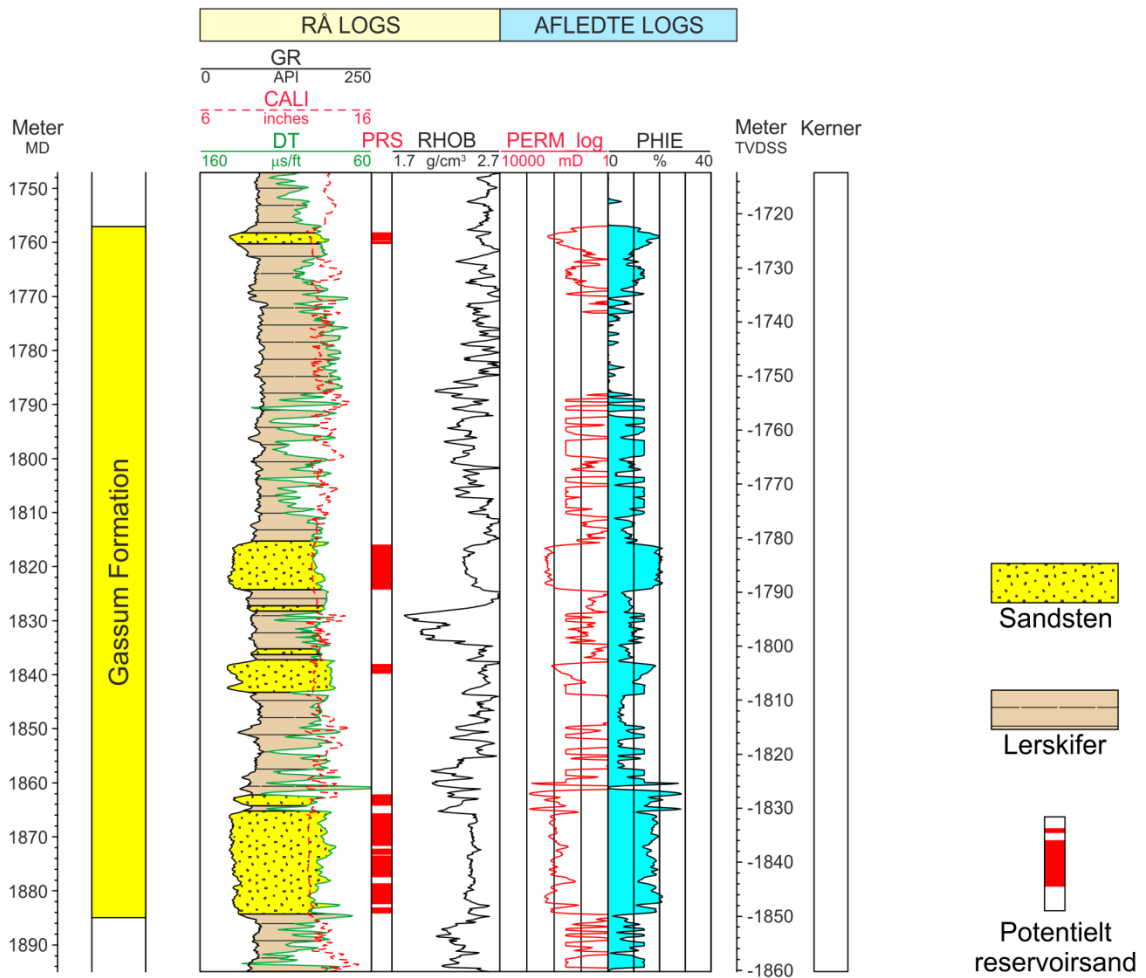
vedsagelig er finkornede i Horsens-1 (Gulf 1974, DGU 1958). Da prognoselokaliteten på aflejrings-tidspunktet har befundet sig længere væk fra sedimentkilden (Skandinaviske grundfjeldsområde) end Voldum-1, formodes sandstenene i Gassum Formationen hovedsageligt at være finkornede ligesom i Horsens-1. Information om sandstenenes sortering, afrundingsgrad og cementering er ringe. I "Voldum-1 Completion Report" beskrives sandstenene som værende ringe til velsorterede med subkantede sandkorn (Gulf 1974), mens der ingen informationer er om disse parametre i "Horsens-1 Completion Report" (DGU 1958). Ud fra den generelle viden om Gassum Formationen må det formodes, at sandstens-kornene også kan være velafrundende. Sandstenene beskrives i boringsrapporterne som værende løse til hårde og svagt kalkholdige.

# Horsens-1



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Horsens-1 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologikolonnen er afgrænset af SP-loggen, der her er re-skaleret med henblik på at tilnærme SP-loggen til en gamma-log (SP-loggen er omregnet til en pseudo GR log). Seksjoner med Potentielt reservoirsand (PRS) er markeret med rødt fyld. Porøsitets-estimatet (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 Horsens-1 og Voldum-1 er Gassum Formationen henholdsvis 94 og 128 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 28 meter i Horsens-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 SP-loggen (Horsens-1) og gamma-loggen (Voldum-1), idet det antages, at mængden af

ler er proportional med SP- eller 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. 28 og 29 meter i henholdsvis Horsens-1 og Voldum-1. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 26 % i Horsens-1 og ca. 18 % i Voldum-1 (Tabel 5.5 og 5.6). Porøsitetstolkningen af Gassum Formationen i Horsens-1 er baseret på modstandslog (64 inch) kombineret med kerne-porøsitets data, da der ikke er optaget en decideret porøsitets-log i boringen. Porøsitetsmålinger på det sparsomme kernemateriale fra Horsens-1 giver en gennemsnitlig porøsitet på 23 % og understøtter dermed i nogen grad den log-estimerede porøsitet på ca. 26 %. Porøsitetstolkningen i Voldum-1 er tolket ud fra 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.

Tabel 5.7: Responsparametre for Spontaneous Potential (SP) log optaget i Horsens-1 boringen og Gamma (GR) log optaget i Voldum-1 boringen.

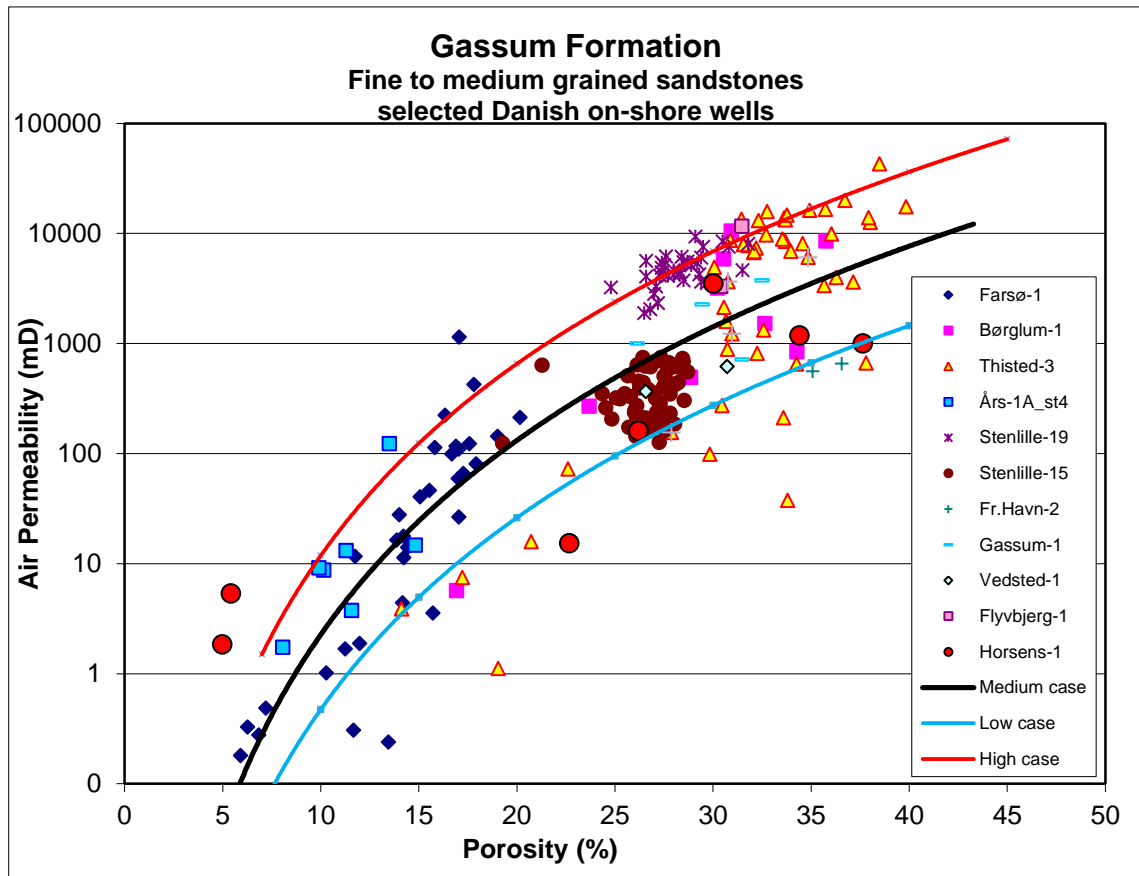
Responsparametre for SP og GR logs	SP_min/GR_min (baggrundsstråling)	SP_max/GR_max (respons for rent ler)
Horsens-1 (SP)	74	166
Voldum-1 (GR)	34	115

### 5.2.3 Permeabilitet

Permeabiliteten er bestemt på kernen fra Gassum Formationen i Horsens-1. Disse målinger indgår i en porøsitet-permeabilitetsrelation, der er baseret på kerneanalysedata fra en række danske landboringer beliggende i Jylland og på Sjælland (Figur 9). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Århus-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. 630 mD for Horsens-1 og til ca. 120 mD for Voldum-1. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 788 og 150 mD for henholdsvis Horsens-1 og Voldum-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 (Horsens-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. Porøsitets-permeabilitesdata fra Horsens-1 viser relativ stor spredning og plotter derfor ikke entydigt på en decideret korrelationslinje. Det kan derfor være relevant at belyse variationsbredden på korrelationslinjen med tendens-linjer (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").

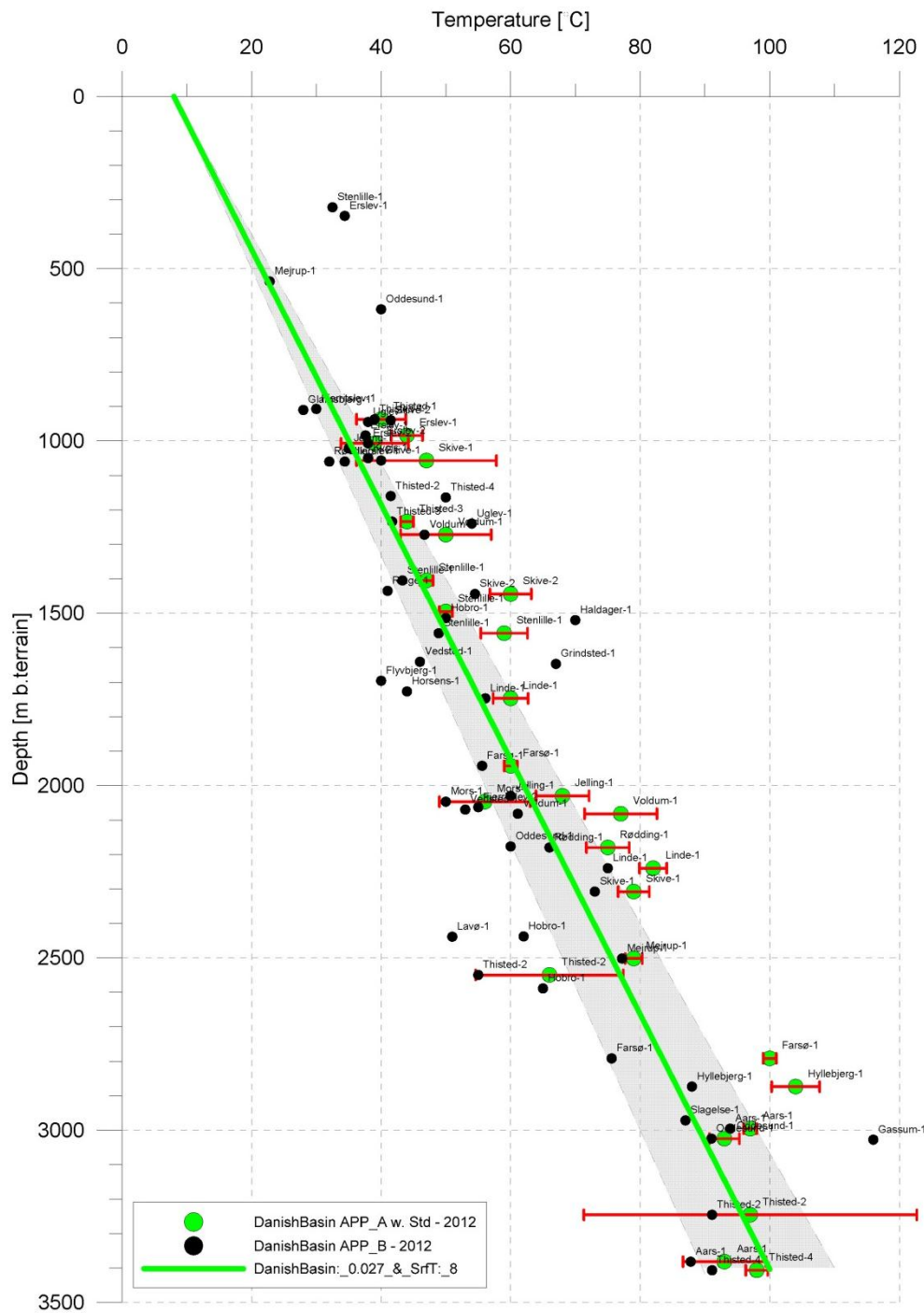
#### 5.2.4 Transmissivitet

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 erfaringsbaseret opskalering. Transmissiviteten er således en forventet reservoir-transmissivitet; denne er i Horsens-1 vurderet til ca. 22 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 at dividere/gange med en faktor på 6; sva-

rende 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**

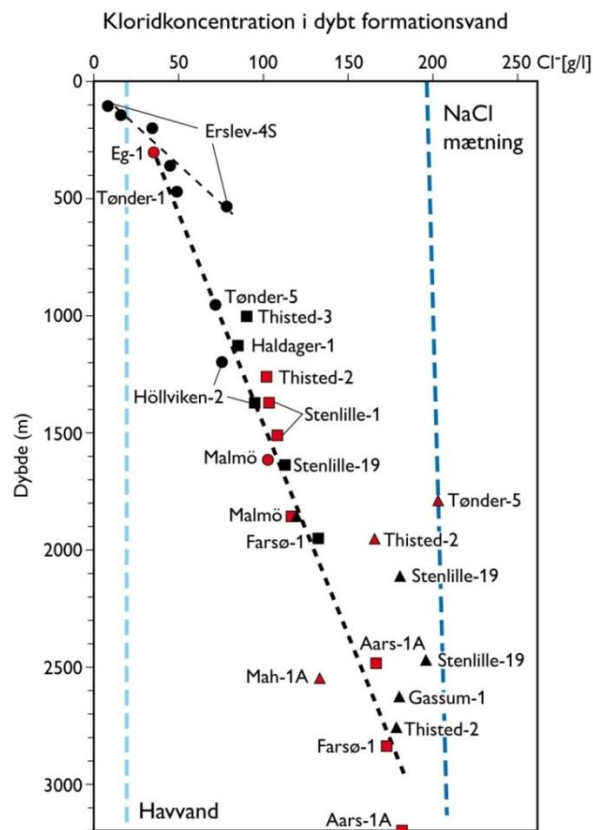
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til 60 °C ± 10 % ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på temperaturmålinger i dybe boringer i bassinet og er givet ved:  $Temp. = 0,027 * dybde + 8 \text{ °C}$  (Figur 10). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 1925 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (1815 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (47 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). Det fremgår af figuren, at temperaturmålingerne fra Voldum-1 er højere end den øvre del af usikkerhedsbåndet. Omvendt er dybe temperaturmålinger i Rønne-1 (ikke vist) lavere end den nedre del af usikkerhedsbåndet.

## 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. 124 g/l i en dybde af 1925 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 204 g/l  $\text{Cl}^-$  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.

DGU 1958: Horsens-1. Completion report (Compiled May 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.