



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Aalborg

Indholdsfortegnelse

- Introduktion
- Data for fjernvarmeområder (COWI)
- Beregning af geotermianlæg (DFG)
- Beregningsresultater vedr. indpasning af geotermi (Ea)
- Geologisk vurdering (GEUS)

Introduktion

Dette er én ud af 28 områderapporter, som viser specifikke økonomiske og produktionsmæssige resultater for hvert enkelt område. Rapporten er et bilag til hovedrapporten "Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder", og bør læses i sammenhæng med denne, da hovedrapporten indeholder information, der er væsentlig for at forstå resultatet. Rapporten er udarbejdet for Energistyrelsen af Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse i perioden efteråret 2013 til sommeren 2015.

Områderapporten indeholder den af GEUS udførte geologiske vurdering, COWIs beskrivelse af fjernvarmeområdet og den fremtidige forsyningsstruktur, Dansk Fjernvarmes Geotermiselskabs beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i fjernvarmeområdet, og Ea Energianalyses modelresultater fra Balmorel med varmeproduktionskapaciteter, fjernvarmeproduktion og -omkostninger over året for de fire scenarier i årene 2020, 2025 og 2035.

Resultaterne skal tages med en række forbehold.

Først og fremmest skal det understreges, at der er tale om en screening med det formål at give en indikation af mulighederne for geotermi. Der er ikke foretaget en fuldstændig analyse af den optimale fremtidige fjernvarmeforsyning i området.

Den geologiske vurdering er alene foretaget for en enkelt lokalitet, svarende til en umiddelbart vurderet fordelagtig placering af geotermianlægget. Der kan derfor ikke drages konklusioner om hele områdets geologiske potentiale og den optimale placering for et eventuelt geotermianlæg.

Modellering af områdets nuværende og forventede fremtidige fjernvarmeproduktion og -struktur er sket ud fra de data, som de var oplyst og forelå i år 2013. Endvidere indeholder optimeringsmodellen en række forudsætninger og forsimplinger, som ikke nødvendigvis afspejler de aktuelle forhold præcist. Der tages således for eksempel ikke hensyn til kapitalomkostninger for eksisterende produktionsenheder, kun for enheder modellen investerer i. Eksisterende anlæg forudsættes at kunne levetidsforlænges indtil år 2035 uden væsentlige reinvesteringer ud over normalt vedligehold. Der skal endvidere tages højde for, at resultaterne ikke er baseret på optimeringer for hver enkelt by, men en optimering for hele systemets energiomkostninger. Der er ikke udført usikkerheds- og følsomhedsberegninger for hvert område, men derimod lavet et generelt eksempel på geotermianlæggets følsomhed overfor ændringer af de vigtigste inputparametre, se afsnit 5.2 i hovedrapporten.

MEMO

TITEL
DATO
TIL
KOPI
FRA
PROJEKTNR

Aalborg - Beskrivelse fjernvarmeområde
10. oktober 2014
Energistyrelsen

COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)
A044062

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

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

SIDE 1/5

1 Aalborg fjernvarmeområde

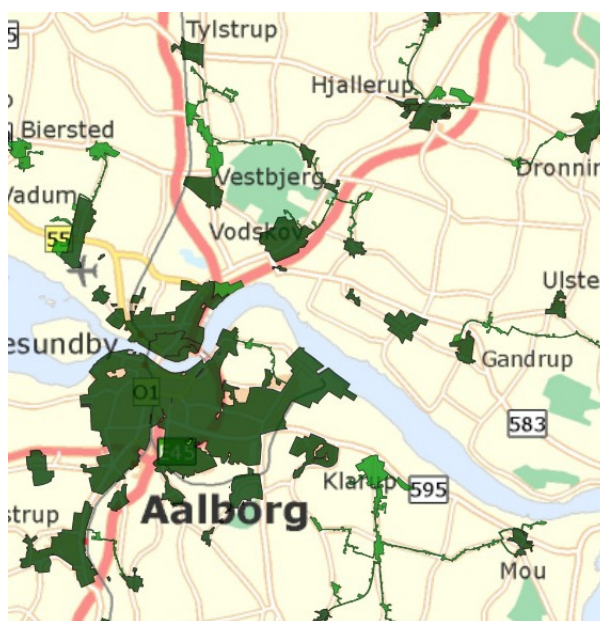
1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarmeforsyningen i Aalborg og oplandsbyerne Tylstrup, Vestbjerg, Vodskov, Grindsted, Uggerhalne, Langholt, Klarup, Gistrup og Svenstrup varetages af Aalborg Forsyning, Varme. Aalborg Forsyning, varme leverer endvidere al varme til Nørresundby Fjernvarme A.m.b.a., der distribuerer varmen i eget fjernvarmenet.

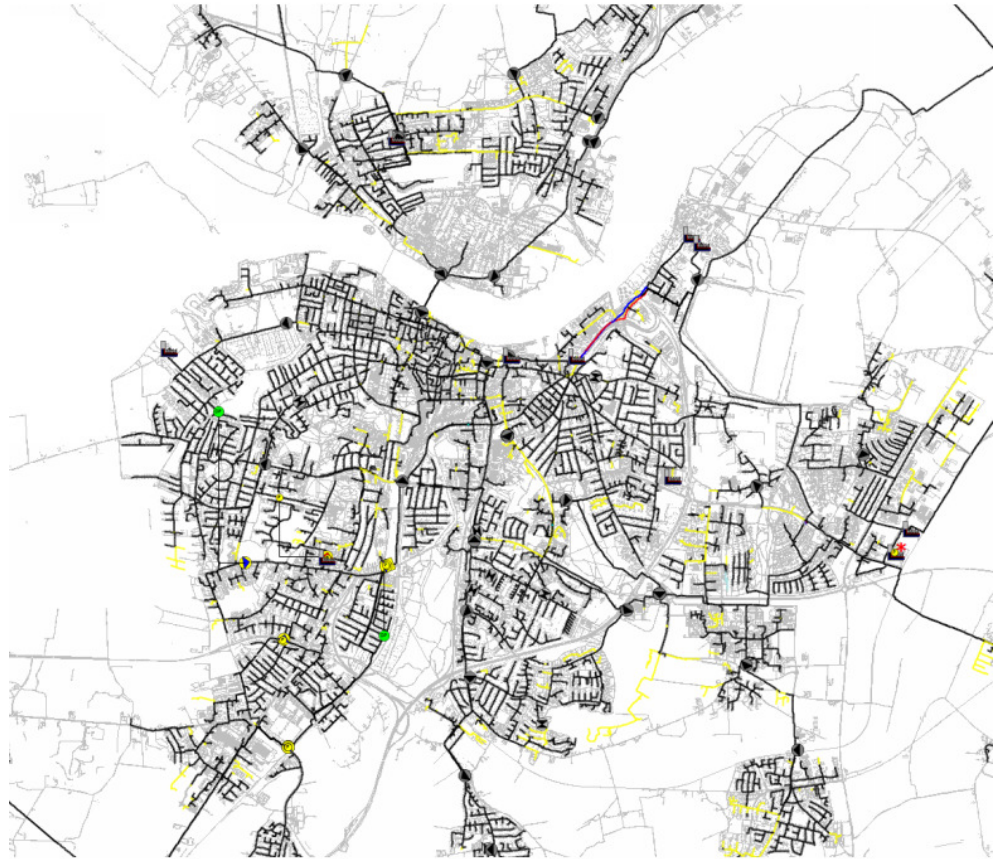
Endvidere driver Aalborg Forsyning, Varme fjernvarmesystemerne i byerne Hou og Farstrup-Kølby. I begge byer er fjernvarmeproduktionen baseret på naturgasfyrede motoranlæg/kedler.

Aalborg Forsyning, Varme indgår i den kommunale virksomhed Aalborg Forsyning.

Nedenstående kort viser det nuværende forsyningsområde.



Figur 1 Oversigtskort forsyningsområder i Aalborg og oplandsbyer



Figur 2 Oversigtskort over Aalborg Forsynings forsyningsområde i Aalborg og oplandsbyer (kortsudsnit fra TERMIS)

Varmen leveres fra Nordjyllandsværket (63%), Affaldsforbrændingsanlægget Reno Nord (20,%), overskudsvarme fra primært Aalborg Portland (15%) og en række naturgas- og oliefyrede centraler (2%).

Varme fra Aalborg Portland og RenoNord har første prioritet i varmelieferancerne.

Nordjyllandsværkets blok 3, der leverer varmen er kulfyret og blev idriftsat i 1998.

Efterfølgende tabel viser varmebehovet for Aalborg Forsynings forsyningsområder.

Tabel 1 Nuværende og fremtidigt varmegrundlag

Varmegrundlag					
Aalborg					
MWh/år	2011*	2012**	2015***	2025****	2035***
Eksisterende forbrugsbase Netto varme	1.528.347	1.579.900	1.587.678	1.636.289	1.636.289
Distributionstab	291.114	300.933	303.155	311.489	311.489
An net	1.819.461	1.880.833	1.890.833	1.947.777	1.947.777
TJ/år					
Nettovarme	5.502	5.688	5.716	5.891	5.891
Distributionstab	1.048	1.083	1.091	1.121	1.121
An net	6.550	6.771	6.807	7.012	7.012
* Kilde DFs- Årsstatistik 2012 ** Kilde Grønt regnskab 2012					
Nettab forudssat konstant til 16% jf. oplysninger i DF's årsstatistik 2012					
Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år 6682 TJ/år samlet an net					
hvoraf varmeleverancen fra forbrændingsanlægget udgør 437 TJ (6,5%)					
Ifølge Grønt regnskab for 2012 leverede affaldsforbrændingsanlægget 1.354 TJ, hvilket er markant højere end vurdering fra Energistyrelsen. Vurdering af samlet behov passer fint med produktionerne for 2011/2012					
*** Frem til 2015 forventes byområderne Ellidshøj-Ferslev tilsluttet - varmebehov inklusive nettab 36 TJ					
**** Frem til 2025 forventes en række omegnsbyer tilsluttet - varmebehov inklusive nettab 205 TJ					

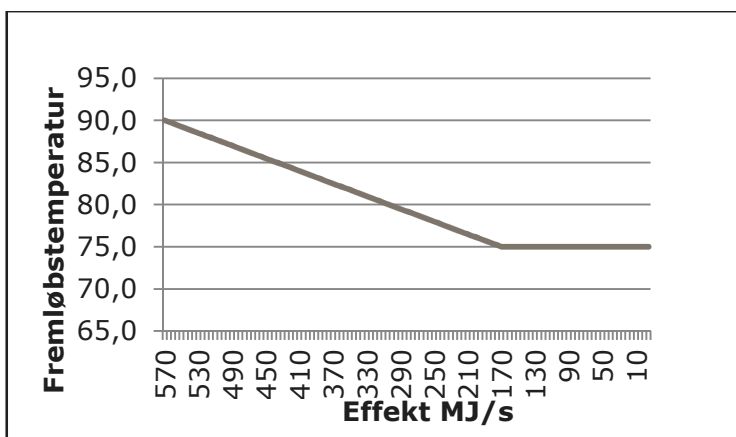
DF har gennemført en treårig strukturanalyse for medlemsselskaberne og har i denne angivet nedenstående temperaturforhold for fjernvarmesystemet i Aalborg.

Tabel 2 Temperaturforhold

Sommer an net		Vinter an net	
Fremløb	Retur	Fremløb	Retur
[°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse			
75	40	82	39

Det maksimale effektbehov udgjorde 633 MW i 2012 (pr. 7 februar kl. 07.00)

Fremløbstemperaturen styres i øvrigt efter følgende kurve:



Figur 3 Oversigt over sammenhæng effektbehov og fremløbstemperatur

1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur hos Aalborg Forsyning.

Tabel 2 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)

Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012												Brændselsfordeling, Tj									
Anlægsnavn	Anlægstype	Hovedbrændsel	Varme produktion i 2012 (Tj)	*Brændsels forbrug 2012 (Tj)	Indfyret effekt (MW)	Eleffekt (MW)	Varme effekt (MW)	Elvirknings grad	**Varme virknings grad	Etablerings år	Forventet udfasnings år	Kul	fuel-olie	gas-olie	Naturgas	Affald	Biogas	Skovflis	Bio-olie		
Aalborg by																					
Aalborg Portland A/S, Varmegenvindning 00	Overskudsvarme	Brændselsfrit	313	320	80	0	32		40%	20-11-2003											
Aalborg Portland A/S, Varmegenvindingsanlæg	Overskudsvarme	Brændselsfrit	733	766	182	0	70		38%	12-11-1991											
Aalborg Kommune, Vestbjerg Varmecentral	Kedel		0	0	9	0	8		91%	01-01-1993											
Aalborg Kommune, Vodskov Varmecentral	Kedel	Gasolie	0	0	12	0	11		91%	01-01-1991				0,1							
Aalborg Kommune, Lindholm Central	Kedel	Gasolie	0	0	20	0	18		90%	01-01-1976				0,1							
Aalborg Kommune, Lyngvej Central	Kedel (4 stk.)	Gasolie	4	5	95	0	87		92%	01-01-1961				4,9							
Aalborg Kommune, Svendborgvej Central	Kedel (2 stk.)	Bio-olie	43	48	106	0	98		93%	01-01-1971					4,8					42,8	
Aalborg Kommune, Borgmester Jørgensens	Kedel (3 stk.)	Gasolie	2	2	76	0	70		92%	01-01-1962				1,6							
Aalborg Kommune, Vadum Varmecentral	Kedel	Naturgas	1	1	9	0	8		93%	01-01-1994					0,6						
Aalborg Kommune, Højvang Varmecentral	Kedel (2 stk.)	Gasolie	1	1	22	0	20		92%	01-01-1988				1,3							
Aalborg Kommune, Gasværksvej Varmecentral	Kedel (5 stk.)	Gasolie	86	93	135	0	125		93%	01-01-2002				0,4	92,6						
Aalborg Forsyning, Kloak A/S, Vest Renseanlæg	Motor 1-4	Biogas	28	40	2	1	1	34%	69%	01-01-1985	01-11-2012							40			
I/S Reno Nord, ovinlinie 3	Damp turbine	Affald	35	49	30	7	19	23%	71%	01-01-1991						48,4				0,8	
I/S Reno Nord, ovinlinie 4	Damp turbine	Affald	1.305	1.840	67	18	47	27%	71%	01-08-2005				2,2	1.811					29,0	
Vattenfall A/S Nordjyllandsværket, NJV B2	Damp turbine	Gasolie	3	4	783	285	42	36%	85%	01-01-1977				3,9							
Vattenfall A/S Nordjyllandsværket, NJV GT	Gasturbine	Gasolie	0	11	96	25	0	26%	0%	01-01-1976				10,8							
Vattenfall A/S Nordjyllandsværket, NJV B3	Damp turbine	Kul	4.414	15.106	910	380	420	42%	29%	14-09-1998		14.970	129		7,6						
Vattenfall A/S Nordjyllandsværket, Hjelpe	Kedel		0	0	35	0	0		0%												
Nørresundby by																					
Nørresundby Fjernvarmeforsyning AMBA	Kedel		0	0	33	0	30		92%	01-01-1975											
Gandrup-Vester Hassing by																					
Gandrup - Vester Hassing Varmeforsyning	Kedel	Gasolie	6	8	8	0	8		100%	01-01-2011				7,5							
Gandrup - Vester Hassing Varmeforsyning	Kedel		0	0	0	0	0														
Gandrup - Vester Hassing Varmeforsyning	Kedel	Naturgas	4	4	3	0	3		100%	01-01-1989				4,1							
Total			6.977				1.116														
Heraf Aalborg by			6.966				1.075														
Heraf Nørresundby by			0				30														
Heraf Gandrup - Vester-Hassing by			10				11														

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

Anlæggenes geografiske placering er illustreret nedenfor.



Figur 4 Geografisk placering af varmeproduktionsanlæg

1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

Kedelanlæg i Nørresundby er nedlagt.

Overskudsvarmeleverancerne fra Aalborg Portland er meget afhængige af cementproduktionen. I forhold til tidligere er leverancerne noget lavere i dag. Der er muligheder for at udvide leverancerne fra andre dele af cementproduktionen, men der foreligger p.t. ingen detaljerede planer herfor.

Aalborg Byråd har på sit møde den 16. december 2013 godkendt en model for udvidelse af fjernvarmeforsyningen fra det centrale område i Aalborg til ca. 20 omegnsbyer. Der er tale om byer, hvor boligen eller erhvervsbyggeriet i dag bliver opvarmet med fjernvarme fra decentrale fjernvarmeselskaber eller individuelt med naturgas eller olie mv.

Principielt vil disse byer blive forsynet via transmissionsledninger fra det centrale område i Aalborg.

Udvidelsen af fjernvarmeforsyningen vil ske i fire korridorer (nord, sydøst, syd og syd-vest). Byrådet har besluttet, at der startes med den nordlige korridor, idet Aalborg Forsyning, Varme med udgangen af 2013 har etableret en ny varmetransmissionsledning til Tylstrup. Derfor er det naturligt at tilbyde borgere i byerne langs med ledningen - herunder Sulsted, Hostrup og Ajstrup - mulighed for tilslutning. Efter færdiggørelsen af nordkorridoren fortsættes med områderne mod sydøst, syd og sydvest.

Når minimum 50 % i de pågældende byer har takket ja til fjernvarme fra det centrale forsyningsområde, vil projekterne blive igangsat.

Det forventes at byområderne Ellidshøj og Ferslev tilsluttes i 2015. Det samlede varmebehov inklusive nettab udgør ca. 36 TJ.

I perioden 2015-2020 forventes tilsluttet en række øvrige omegnsbyer med et samlet varmebehov på i alt ca. 205 TJ, inklusive nettab. De øgede varmebehov er medtaget i tabel 2.9.1.

I forbindelse med screeningen er det valgt at tage udgangspunkt i en placering af et eventuelt nyt geotermianlæg på adressen Troensevej 2, 9220, Aalborg Ø – ved affaldsforbrændingsanlægget Reno Nord.

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 Aalborg

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Aalborg. Beregningerne er udført som en del af et større analysearbejde omfattende 27 fjernvarmeområder i Danmark.

Anlægsberegningerne er udført på baggrund af geologiske data leveret af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) (ref.: Ålborg_2014_08_08.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Aalborg leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Aalborg Forsyning, Varme (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg på Troensevej 2 i Aalborg Øst ved Affaldsforbrændingsanlægget Reno-Nord.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Aalborg i Fjerritslev Truget, et indsynkningsområde med tykke aflejringer, hvoraf nogle lag anses som egnede for geotermisk varmeproduktion. GEUS har vurderet at sandsten fra Haldager Sand Formationen udgør det bedste potentielle geotermiske reservoir ved Aalborg.

Usikkerheden på de geologiske parametre er høj på grund af lav tæthed af seismiske data. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1.

Formation		Haldager Sand Fm
Terrænkote	moh	3
Dybde@midt reservoir	m TVD GL	1076
Temperatur@midt reservoir	°C	37
Tykkelse af formation	m TVT	115
Tykkelse af potentielt reservoirsand	m TVT	90
Transmissivitet	Dm	96
Seismik-anbefaling	km	100

Tabel 1: Geologiske reservoirdata.

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

3 Forudsætninger for fjernvarmesystemet

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

Varmegrundlag	TJ/år	7.012 (i 2025)
Eksisterende produktionsanlæg med forret. Affald antages tilgængelig som drivvarme.	MW	33,15(overskudsvarme) 42,5 (affald)
Fremløbstemperatur vinter	°C	82
Returløbstemperatur vinter	°C	39
Fremløbstemperatur sommer	°C	75
Returløbstemperatur sommer	°C	40
Mindste varmeeffekt (sommereffekt)	MW	Standard kurve

Tabel 2: Energiforudsætninger.

Eksisterende produktion med forret er beregnet ud fra varmeproduktionen for 2012 dvs.

Overskudsvarme 1046TJ/1år = 33,15 MW

Affald 1340TJ/1år = 42,50 MW

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. Der regnes med at 80 % af varmeeffekten fra affaldsforbrændingen kan udtages som drivdamp ved 160 °C.

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

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

For begge alternativer er der regnet med et geotermianlæg med fire dubletter (8 borer).

5 Resultater

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

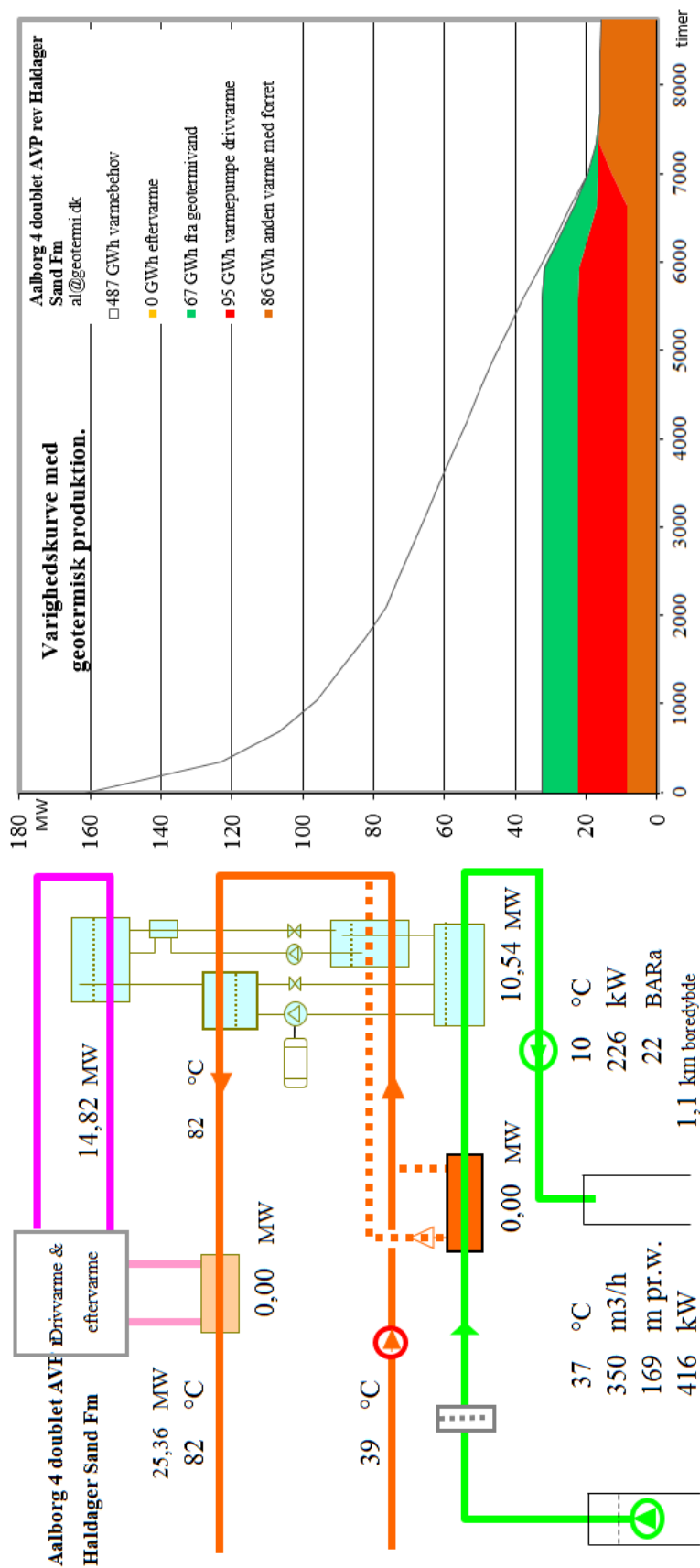
Figureerne viser et anlæg med to borer, men resultaterne i Tabel 3 afspejler anlæg med 8 borer.

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper og placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 819 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med en kapacitet på 42 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 101 MW.

Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 268 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 290 kr./MWh.

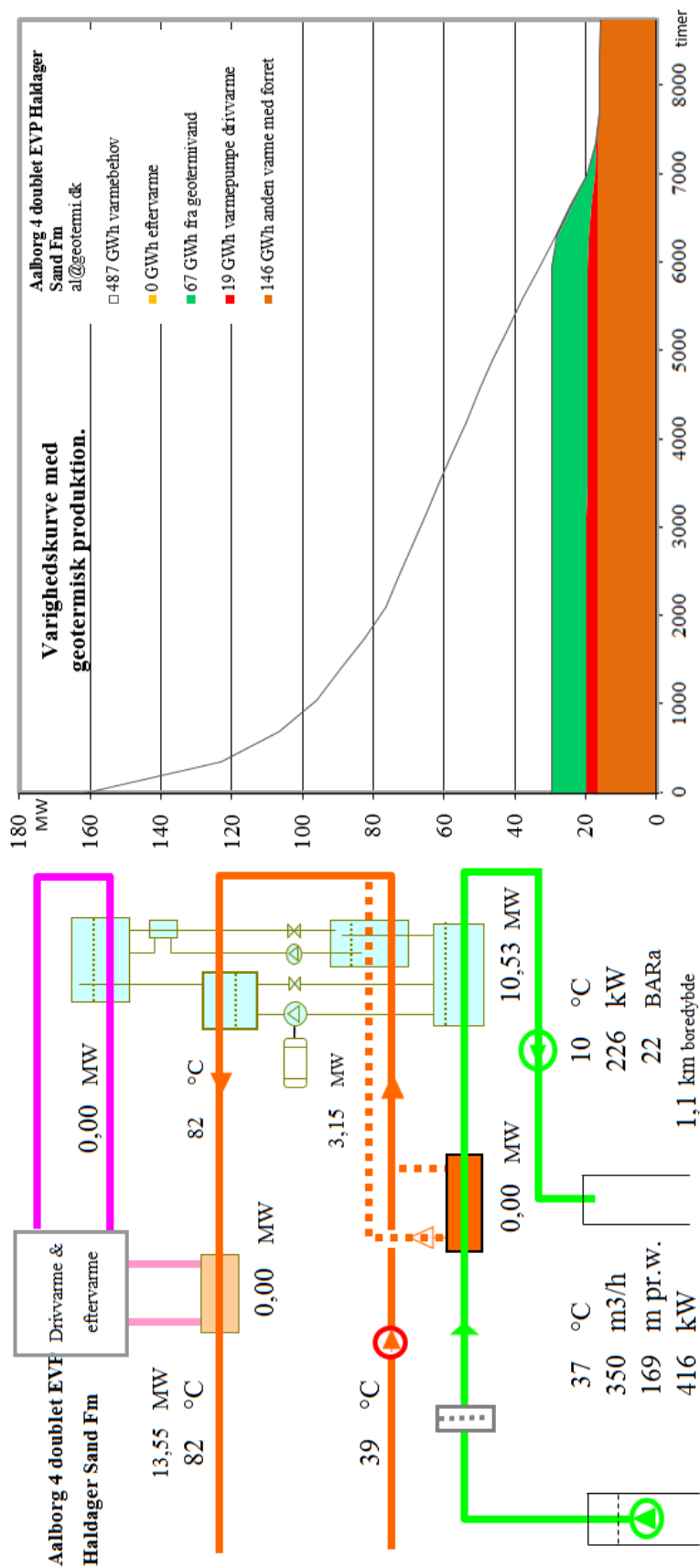
Resultaterne i Tabel 3 skal benyttes i de videre beregninger af scenarier og landsbilleder for geotermi i fjernvarmesystemerne, og indeholder derfor ikke omkostninger til energikøb i de variable drift- og vedligeholdelsesomkostninger. Ligeledes er afskrivning og forrentning af anlægsinvesteringerne ikke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

Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være høj.



2015 prisniveau	14,1 Mkr/år + 73,5 kr/MWh	Mkr/år	11,1	165,1
Forundersøgelser	3,0 mio.kr	Indexlån	3,0%	25 år
Boringer, planlægning	92,0 mio.kr	Drift eksklusive energikøb	4,5	66,4
Overfladeanlæg	92,4 mio.kr	Proces el til pumper mm.	3,5	51,4
Byggerenter	9,5 mio.kr	Drivenergi kompressor VP	0,0	0,0
I alt	196,8 mio.kr	Drivenergi absorption VP	0,0	0,0
Proces el til pumper mm., mio.kWh/år:	4,6	Eftervarme til fremløb	0,0	0,0
El eller brændsel VP motor, mio.kWh/år:	0,0	Varmepris	19,1	282,9

Figur 1: Output fra geotermiPRO.



Figur 2: Output fra geotermiPRO.

Aalborg 4 doublet EYP Haldager Sand Fm al@geotermi.dk □ 487 GWh varmebehov ■ 0 GWh eftervarme ■ 67 GWh fra geotermivand ■ 19 GWh varmepumpe drivvarme ■ 146 GWh anden varme med forret		Aalborg 4 doublet EYP Haldager Sand Fm al@geotermi.dk □ 487 GWh varmebehov ■ 0 GWh eftervarme ■ 67 GWh fra geotermivand ■ 19 GWh varmepumpe drivvarme ■ 146 GWh anden varme med forret	
2015 prisniveau	14,2 Mkr/år + 305,9 kr/MWh	Mkr/år	11,2
Forundersøgelser	3,0 mio.kr	Indexlån	3,0%
Boringer, planlægning	92,0 mio.kr	Drift eksklusive energikøb	4,5
Overfladeanlæg	92,7 mio.kr	Proces el til pumper mm.	3,1
Byggerenter	9,5 mio.kr	Drivenergi kompressor VP	21,7
I alt	197,1 mio.kr	Drivenergi absorption VP	0,0
Proces el til pumper mm., mio.kWh/år:	4,2	Eftervarme til fremløb	0,0
El eller brændsel VP motor, mio.kWh/år:	0,0	Varmepris	40,6
			470,2

Beregningsresultater Geothermianlæg ved Aalborg 4 doubleletter	Enhed	A) Absorptions varmepumper		B) El- varmepump er	C) Kombination Absorptions og el VP
		Samlet anlæg	Opdelt anlæg	Samlet anlæg	
Anlægskapacitet (vinter)					
1) Effekt fra geotermivand	MW	42,163		42,103	42,103
2) Effekt fra drivvarme	MW	59,277		N/A	
3) Effekt fra eftervarme	MW	0,000		N/A	
4) Varmeeffekt til fjernvarmevand	MW	101,440		54,210	
5) Proces el	MW	2,897		2,624	
6) Varmepumpe el	MW	N/A		12,612	
Årsenergiomsætning, forholdstal					
7) Varme fra geotermivand	%	100,000		100,000	
8) Drivvarme	%	140,585		N/A	
9) Eftervarme	%	0,000		N/A	
10) Varme til fjernvarmevand	%	240,585		128,195	
11) Proces el forbrug	%	6,854		6,211	
12) Varmepumpe el forbrug	%	N/A		28,195	
Investeringsomkostninger					
13) Samlet investering	mio. kr	749,289		750,511	1013,889
14) Byggerenter	mio. kr	37,982		38,021	46,821
Driftsomkostninger					
15) Faste D&V omkostninger	mio. kr./år	11,950		12,091	16,26
16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand	kr./MWh	22,141		17,520	

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 geothermianlæg, 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 Aalborg. De fire scenarier som der vises resultater for er:

1. Ref.: Reference scenarie med fastholdelse af det nuværende system og de af fjernvarmeselskaberne planlagte udvidelse indtil 2020. Fra 2020 er "verden forlænget med brædder". Dette scenarie er altså et "status-quo" scenarie.
2. Ref.m.geo.: Reference scenariet med anlagt geotermianlæg. Anlæggets størrelse og tekniske specifikationer er udregnet af Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab. Scenariet kan sammenlignes med Reference scenariet og vise hvorledes et geotermianlæg vil konkurrere i områdets nuværende system.
3. Alt.: Alternativ scenariet er hvor systemerne ikke er forlænget med brædder, men i stedet har investeret i nye teknologier, primært biomasse kraftvarme, solvarme og varmepumper.
4. Alt.m.geo.: Dette er et alternativt scenarie, hvor der før man har investeret i nye teknologier har implementeret et geotermianlæg. Det vil derfor stadig investere i nye teknologier, men i mindre omfang. Dette scenarie kan sammenlignes med Alternativ scenariet og se geotermianlægs konkurrenceforhold i et mere grønt system.

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

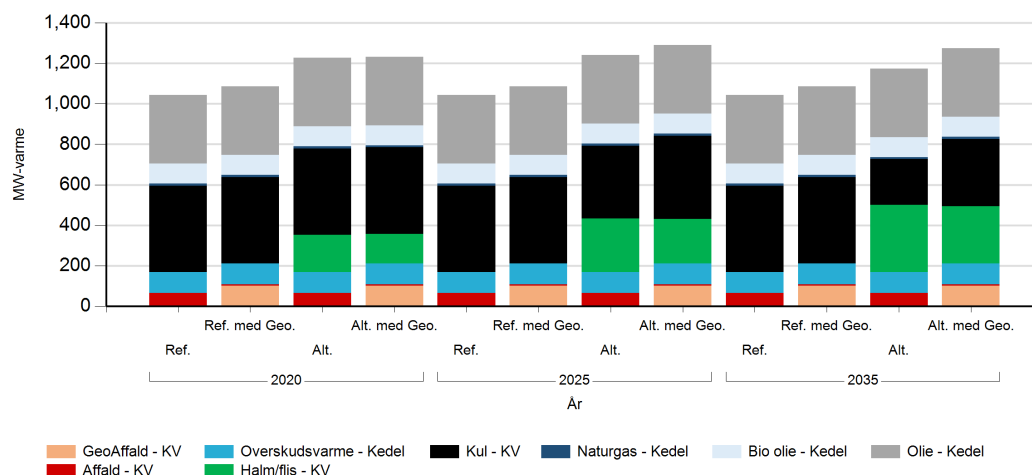
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

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

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

Kapaciteter

Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper



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

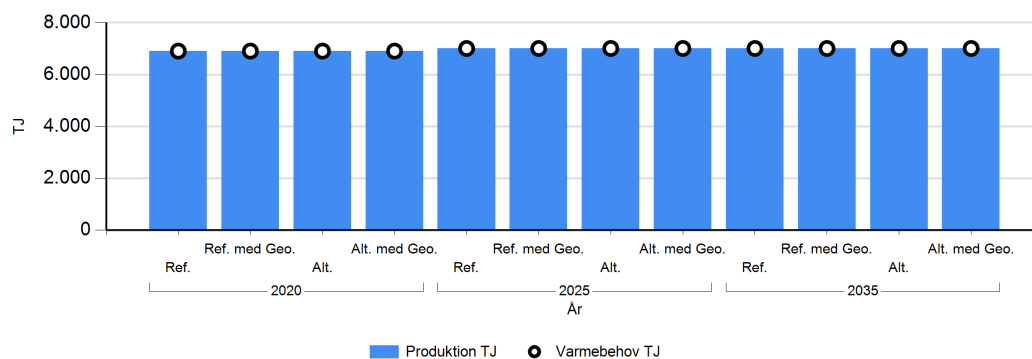
Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

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.
GeoAffald - KV		101.6		101.6		101.6		101.6		101.6		101.6
Halm/flis - KV			183.8	146.8			264.3	220.1			332.4	284.0
Naturgas - Kedel	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Affald - KV	66.0	6.9	66.0	6.9	66.0	6.9	66.0	6.9	66.0	6.9	66.0	6.9
Overskudsvarme - Kedel	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0
Kul - KV	427.0	427.0	427.0	427.0	427.0	427.0	360.3	410.9	427.0	427.0	225.6	330.9

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

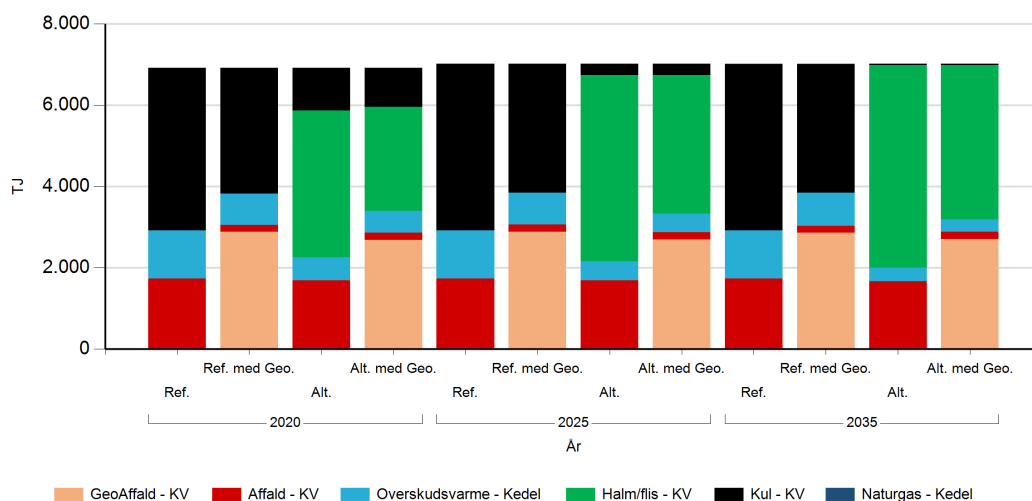
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



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

TJ	2020				2025				2035			
Brændsler og Anlægstype	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Kul - KV	3.993,8	3.085,1	1.049,3	951,6	4.096,2	3.168,7	281,3	276,6	4.096,1	3.168,5	33,0	34,6
Affald - KV	1.723,1	175,9	1.680,1	172,1	1.723,1	175,8	1.683,8	172,2	1.723,1	172,8	1.656,8	170,3
Overskudsvarme - Kedel	1.190,2	771,8	576,3	540,3	1.190,2	787,1	468,0	459,5	1.190,2	812,3	338,1	302,2
Naturgas - Kedel									0,2	0,2		
GeoAffald - KV		2.874,2		2.681,9		2.878,0		2.693,9		2.855,7		2.703,6
Halm/flis - KV			3.601,4	2.561,1			4.576,4	3.407,3			4.981,6	3.798,8

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

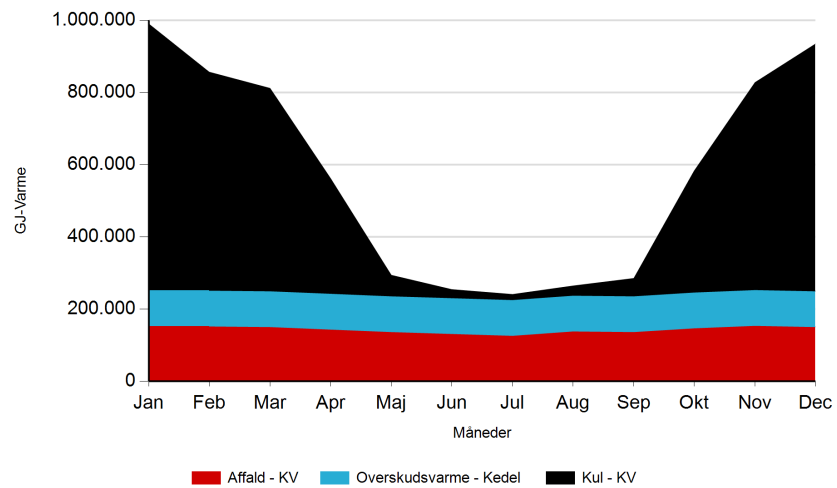
Fuldstimer for varmeproduktion

Fuldstimer	2020				2025				2035			
	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.	Ref.	Ref. med Geo.	Alt.	Alt. med Geo.
Affald - KV	7.256	7.123	7.075	6.968	7.256	7.117	7.091	6.972	7.256	6.999	6.977	6.895
Overskudsvarme - Kedel	3.241	2.102	1.569	1.472	3.241	2.144	1.275	1.251	3.241	2.212	921	823
Kul - KV	2.598	2.007	683	619	2.665	2.061	217	187	2.665	2.061	41	29
Naturgas - Kedel									4	4		
GeoAffald - KV		7.859		7.333		7.869		7.365		7.808		7.392
Halm/flis - KV			5.529	4.845			4.904	4.059			4.306	3.526

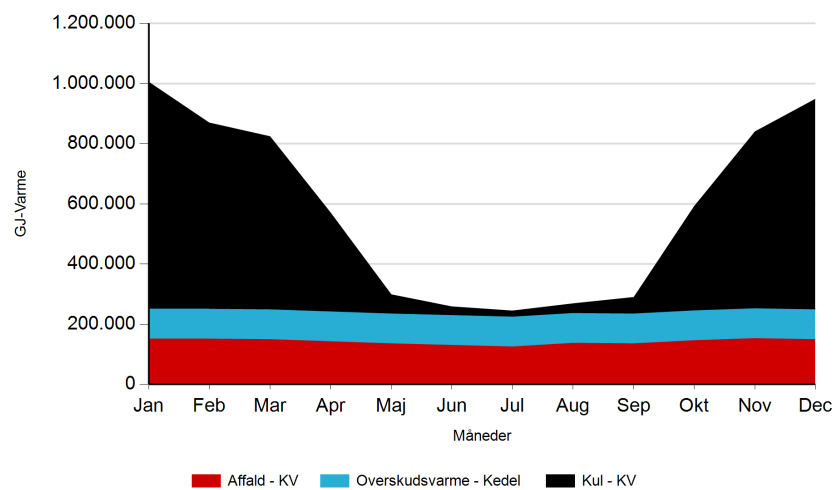
Tabel 4: Antal af fuldstimer for varmeproduktion i Aalborg.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Aalborg.

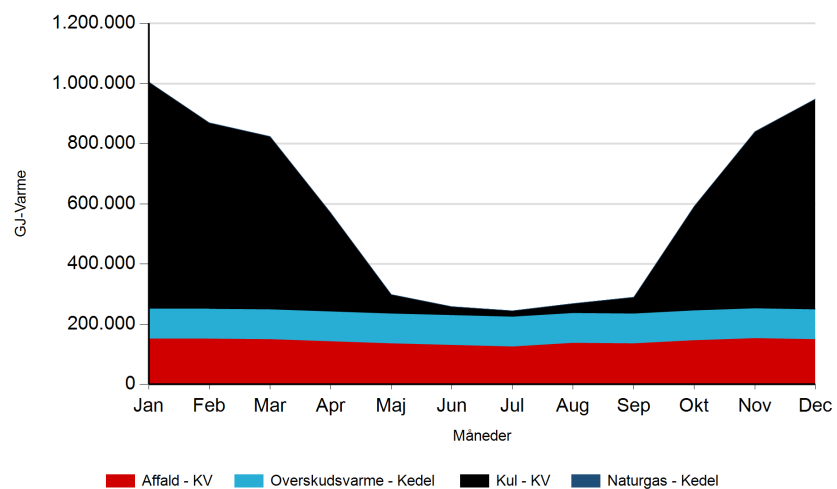
Ref. 2020



2025

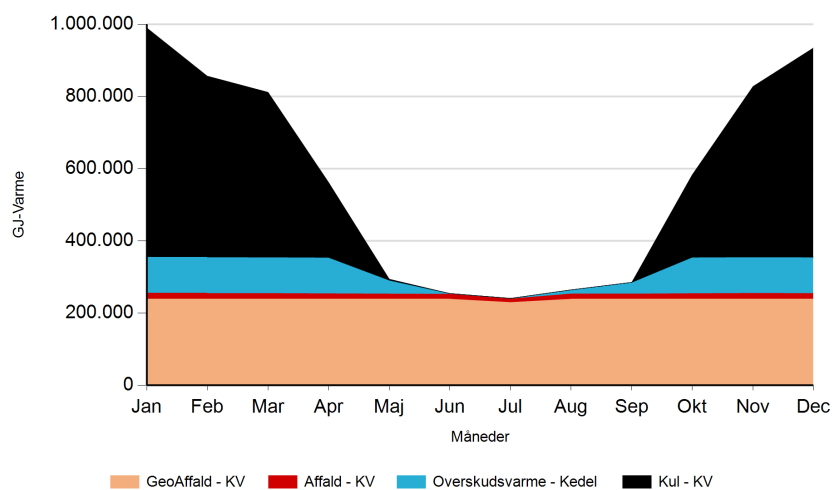


2035

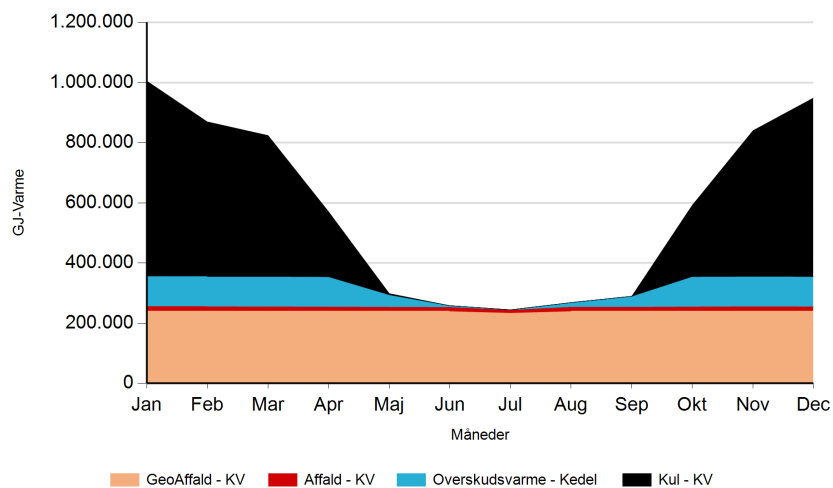




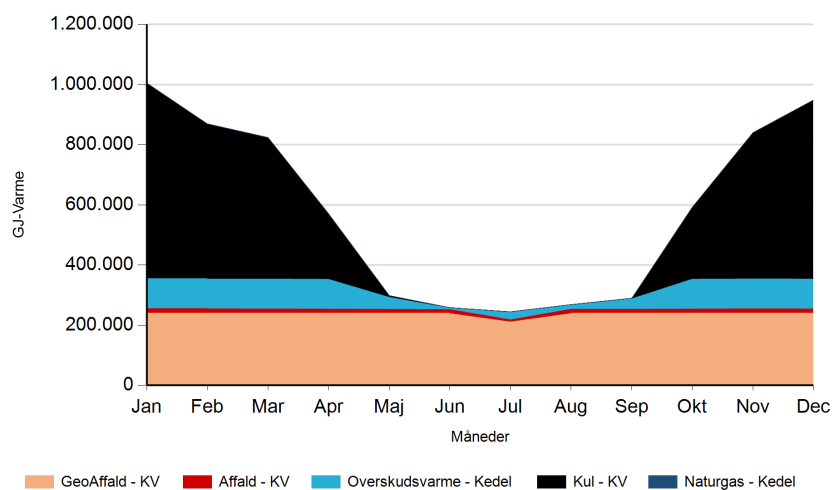
Ref. med Geo. 2020



2025



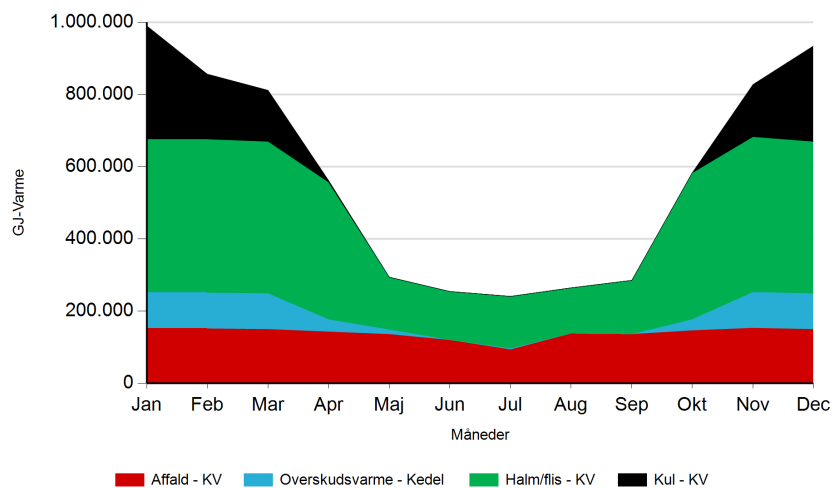
2035



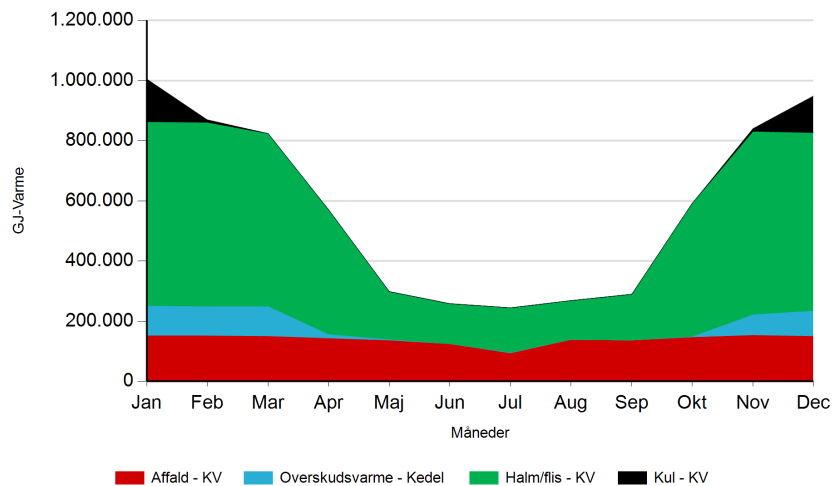


Alt.

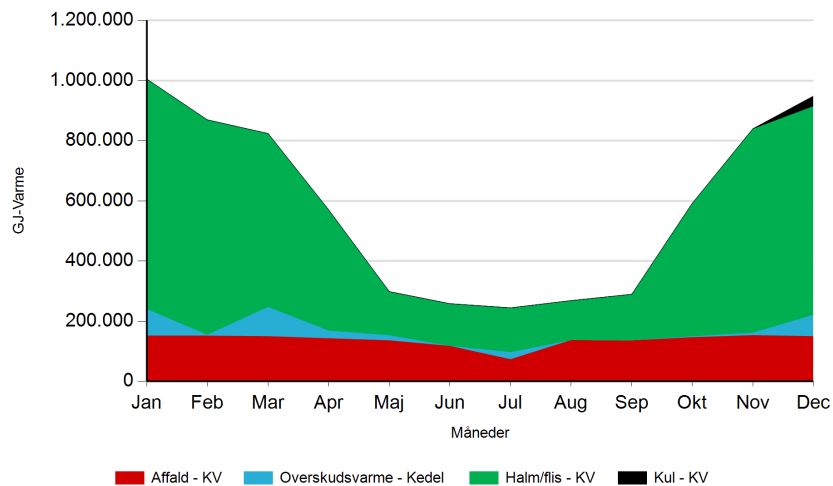
2020



2025

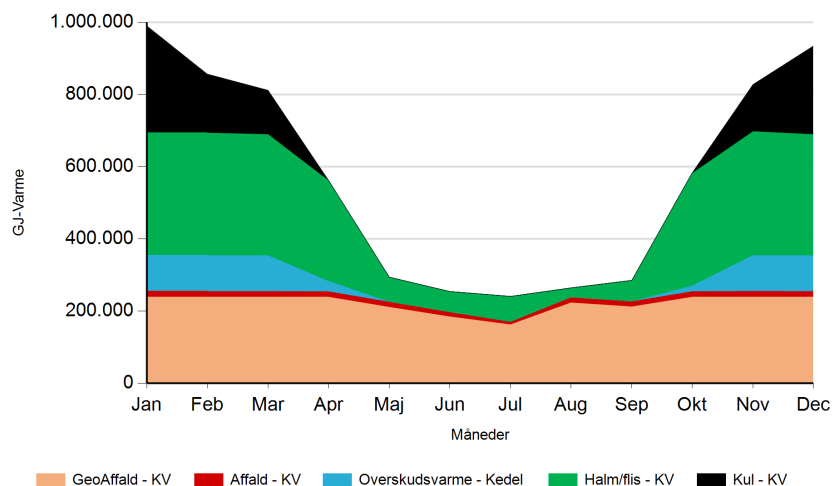


2035

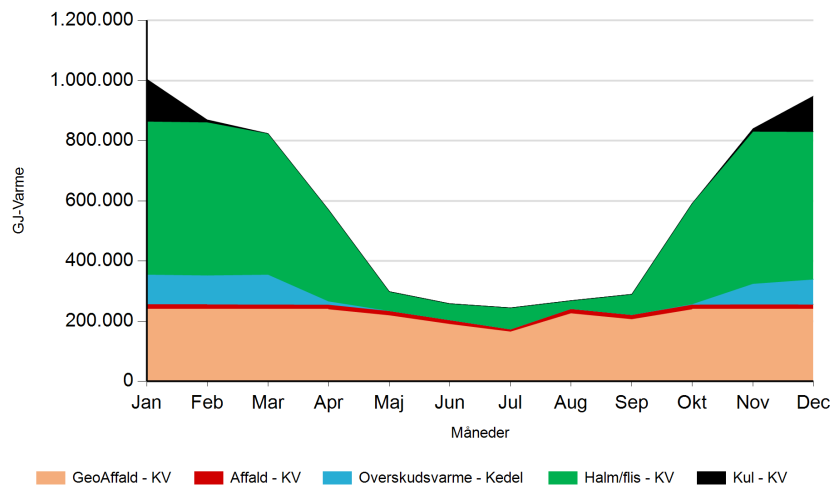




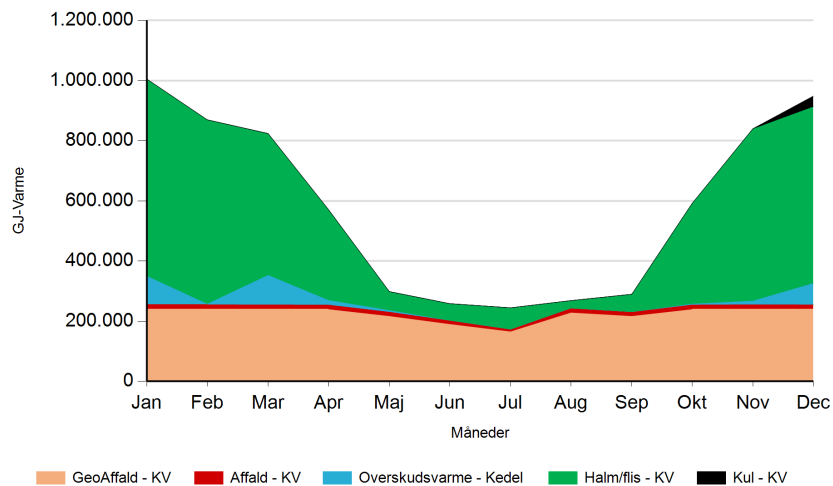
Alt. med Geo. 2020



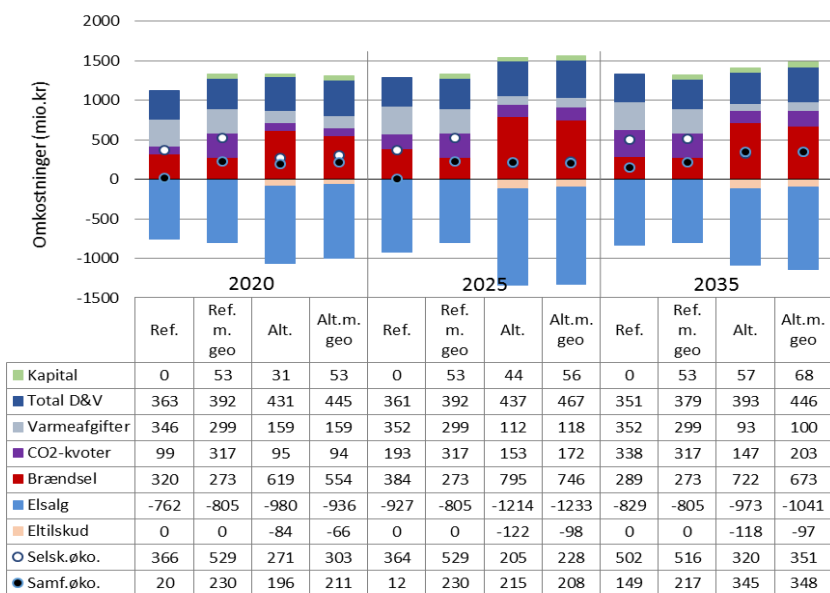
2025



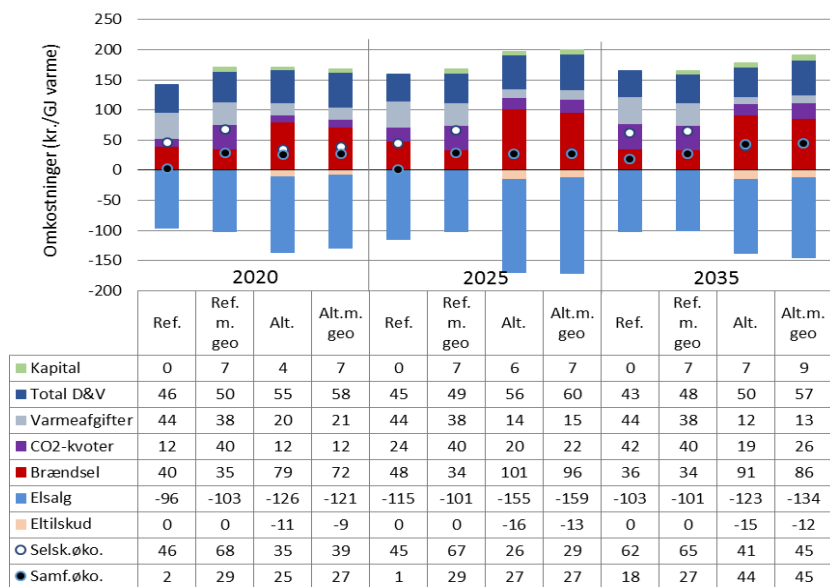
2035



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



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Aalborg



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Aalborg

Det geotermiske screeningsprojekt

Ålborg-lokaliteten

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



Indhold

1.	Introduktion	3
2.	Geologisk baggrund	5
3.	Resultater for Ålborg-lokaliteten	8
3.1	Anbefalinger	10
4.	Datagrundlag	11
5.	Gennemgang af data	14
5.1	Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer	14
5.1.1	Seismisk tolkning og kortlægning.....	14
5.1.2	Boringsdata	17
5.2	Reservoirkvalitet	20
5.2.1	Tolkning af lithologi.....	23
5.2.2	Vurdering af tykkelser, lerindhold og porøsitet	25
5.2.3	Permeabilitet.....	26
5.2.4	Transmissivitet	27
5.3	Temperatur	28
5.4	Salinitet.....	29
6.	Referencer	30

1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet beliggende i det østlige Ålborg på adressen Troensevej 2, 9220 Ålborg (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).

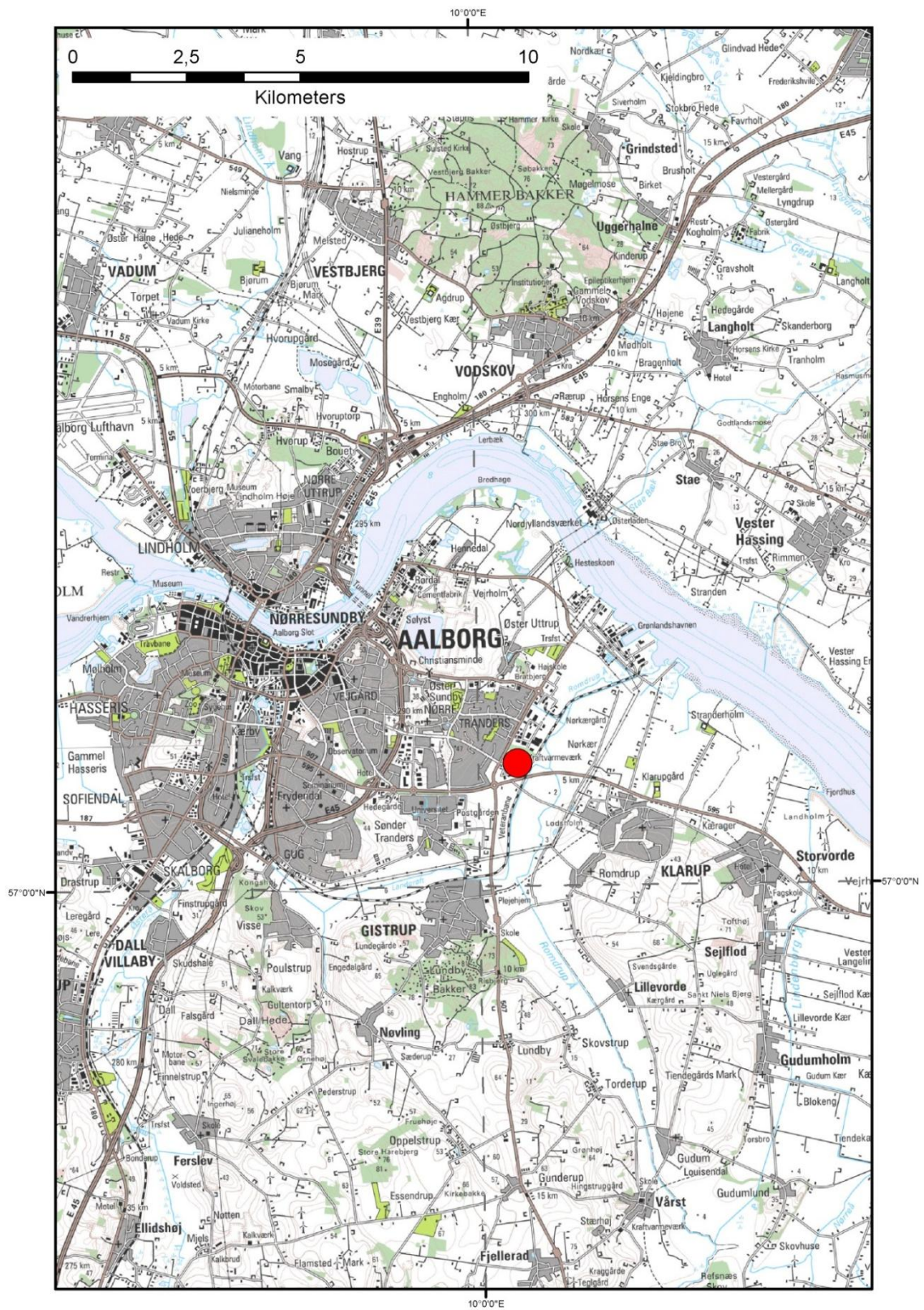
Ålborg fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Energipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er valgt ud fra, at deres varmemarked er større end 400 TJ/år,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

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

Undergrundens geologiske opbygning kan variere betydeligt over selv korte afstande og som følge heraf, kan det geotermiske potentiale variere tilsvarende. En kortlægning af denne variation over større områder er meget omfattende, kræver ofte indsamling af supplerende geologiske data og ligger som følge heraf udenfor rammerne af indeværende screening. Den valgte lokalitet udgør derfor muligvis heller ikke det mest optimale sted for udnyttelse af geotermi i Ålborgområdet, 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 Ålborg-lokaliteten er opbygget således, at der i afsnit 2 gøres rede for regionale geologiske forhold og undergrundens opbygning. Det vurderes, at den primære dybe geotermiske reservoirmulighed ved lokaliteten udgøres af ca. 90 meter sandsten, der er beliggende mere end 1015 meter under terræn. Sandstenene indgår i Haldager Sand 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 Ålborg-lokaliteten og som udgør et input til efterfølgende økonomiske beregninger mm., er samlet i Tabel 3.1 i afsnit 3. I afsnit 3 evalueres det geotermiske potentiale endvidere, og der gives anbefalinger til eventuelle supplerende undersøgelser. I de efterfølgende afsnit dokumenteres datagrundlaget, og hvordan de geologiske nøgledata er fremkommet samt delvist hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem. For en generel introduktion til anvendelsen af geotermisk energi i Danmark ud fra en geologisk synsvinkel henvises der til WebGIS portalen.

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



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

2. Geologisk baggrund

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

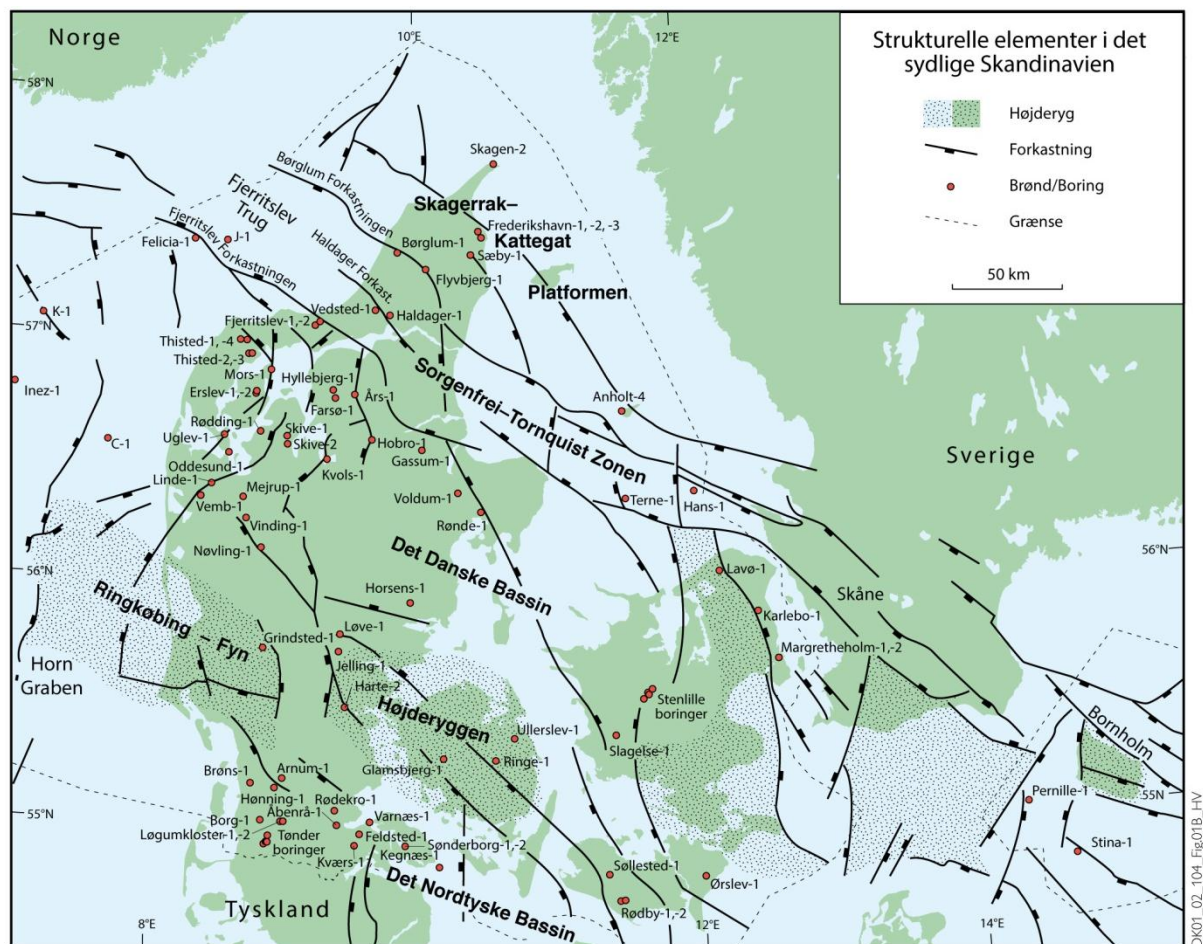
Efter en indledende aflejring af Rotliegend grovkornede klastiske sedimenter i det Danske Bassin og det Nordtyske Bassin fulgte en lang periode med indsynkning, hvor tykke aflejringer af Zechstein-salt blev dannet i bassinerne efterfulgt af aflejring af sand, mudder, karbonat og mindre saltdannelser i Trias og Tidlig Jura. Regional hævnning i tidlig Mellem Jura førte til en betydelig erosion af underliggende sedimenter, specielt op mod flankerne af og over det højtliggende grundfjeld i Ringkøbing–Fyn Højderyggen. Forkastningsbettinget indsynkning fortsatte dog i Sorgenfrei–Tornquist Zonen, hvor der aflejredes sand og mudder. Regional indsynkning fandt atter sted i løbet af den sene del af Mellem Jura og fortsatte generelt indtil Sen Kridt – Palæogen tid, hvor indsynkningen blev afløst af opløft og erosion relateret til den Alpine deformation og åbningen af Nordatlanten. Aflejringerne fra den sidste periode med indsynkning består af Øvre Jura – Nedre Kridt sandsten og i særdeleshed mudder- og siltsten efterfulgt af tykke karbonat- og kalkaflejringer fra Øvre Kridt, der udgør den øverste del af den mesozoiske lagserie i bassinerne. De betydelige mængder sedimenter, der blev aflejret gennem Mesozoikum, førte i perioder til, at underliggende aflejringer af 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 saltdiapirer). 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.

Ålborg er beliggende i Fjerritslev Truget, som udgør et strukturelt delelement i Sorgenfrei–Tornquist Zonen (Figur 2). I Ålborg-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien omkring 5,5–6,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirs at kunne være til stede i den Nedre – Øvre Triassiske Skagerrak Formation, den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation, den Mellem Jurassiske Haldager Sand Formation samt den Øvre Jurassiske – Nedre Kretassiske Frederikshavn Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at formationerne vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirs, og at de i større områder vurderes til at være beliggende indenfor dybdeintervallet 800–3000 meter, der anses for egnet til dyb geotermisk indvinding. Kortlægningen af dybdeintervaller og indhold af sandsten er baseret på tilgængelige seismiske data og data fra dybe borer i undergrunden. Den geografiske dækning og kvaliteten af disse data er dog meget varierende, og det er som

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

Haldager Sand Formationen vurderes til at udgøre det primære mål for geotermisk indvinding ved prognoselokaliteten, selvom denne ikke ligger i så stor dybde og temperaturen af det vand, som kan hentes op fra formationen, dermed heller ikke er så høj. Reservoirdata fra de nærmeste brønde ser imidlertid mest lovende ud for denne formation; i Vedsted-1 er reservoirtransmissiviteten eksempelvis kun estimeret til 6 Darcy-meter for begge de dybereliggende Gassum og Skagerrak formationer, hvorimod den er estimeret til 76 Darcy-meter for Haldager Sand Formationen i samme brønd. Fokus er derfor i det efterfølgende på Haldager Sand Formationen i vurderingen af det geotermiske potentiale ved prognoselokaliteten ved Ålborg.

Haldager Sand Formationen findes i den centrale og nordlige del af Det Danske Bassin, i Sorgenfrei–Tornquist Zonen og på Skagerrak–Kattegat Platformen. Formationen er mange steder tynd og fragmentarisk til stede. Den kan dog være mere end 150 meter tyk i Sorgenfrei–Tornquist Zonen, der var præget af forkastningsbetinget indsynkning i Mellem Jura (Nielsen 2003). Haldager Sand Formationen består af fin- til mellemkornede, stedvis meget grovkornede og grusede sandsten samt af silt- og lersten og enkelte kullag (Michelsen et al. 1981, Michelsen & Bertelsen 1979, Michelsen et al. 2003). I den sydvestlige del af det Danske Bassin og på Skagerrak–Kattegat Platformen blev sedimenterne hovedsageligt afsat i flettede floder, søer og laguner, hvorimod aflejring i estuarier, kysten og i havet tog over i Sorgenfrei–Tornquist Zonen. Nogle af de sandstenslegemer, der herved blev dannet, har stor geografisk udbredelse, mens andre er afgrænset inden for Sorgenfrei–Tornquist Zonen (Nielsen 2003). Sandstenslegemerne var oprindeligt sammenhængende, men senere forkastningsaktivitet har i nogle områder ændret på dette, ligesom senere kompaktion og mineraludfældninger (diagenese) har modificeret reservoirgenskaberne.



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

3. Resultater for Ålborg-lokaliteten

De geologiske data for Haldager Sand Formationen ved Ålborg-lokaliteten er samlet i Tabel 3.1. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitets sammenhænge etc.). Nogle af parametrene er indbyrdes afhængige, men de angivne usikkerheder knytter sig generelt til den enkelte parameter, og der er således ikke tale om akkumulerede usikkerheder. Specielt på reservoirdata er der store usikkerheder, og på GEUS pågår derfor et arbejde med at vurdere, om der er belæg for generelt at kunne reducere usikkerhedsbåndet på estimerede reservoirværdier.

Af tabellen fremgår det, at formationen vurderes at være til stede ca. 1015–1130 meter under havniveau (m.u.h.) og dermed i den lave ende af dybdeintervallet for dyb geotermisk indvinding (800–3000 meter). Dette afspejler sig i temperaturen, der vurderes til at være ca. 37 °C i midten af formationen. Reservoirværdierne vurderes positive med hensyn til det geotermiske potentiale. Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydeevne og er dermed en vigtig parameter. Denne bør være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013*), og er vurderet til ca. 96 Darcy-meter ved prognoselokaliteten (Tabel 3.1). Transmissiviteten er beregnet ud fra de log-bestemte porøsiteter, men kun zoner med reservoir-kvalitet indgår i beregningen (zonerne er markeret som ”Potentielt reservoirsand” i Figur 6–8). I beregningen er der således forudsat en vis minimumsporøsitet (>15 %) samt et relativt lavt ler-indhold (<30 %).

Tætheden og kvaliteten af seismiske data er dog meget mangelfuld omkring prognoselokaliteten og som følge heraf er usikkerheden på dybden til formationen og dens tykkelse stor. Ud fra de seismiske data kan det endvidere ikke afgøres om formationen brydes af forkastninger, hvilket der er en reel risiko for, da lokaliteten er beliggende i Fjerritslev Truget, der er et strukturelt komplekst område med flere regionale forkastninger. Hvis der er forkastninger til stede, og disse ikke kortlægges, er der risiko for, at eventuelt fremtidige geotermiske produktions- og injektionsboringer placeres, så de ikke er i tilstrækkelig hydraulisk kontakt med hinanden.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer til at være ca. 643 meter tykke og beliggende ca. 11–654 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 Ålborg-lokaliteten, og som vil udgøre et input til økonomiske beregninger mm.

Ålborg-lokaliteten			
UTMz32 X: 558.936 m; Y: 6.324.795 m Terrænkote: ca. 3 meter over havniveau (m.o.h.)			
Haldager Sand Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed¹	Usikkerheds- interval²
			[MinCase - MaxCase]
Makro reservoirparametre			
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1015	20 ³	812–1218 ³
Tykkelse af formation [m]	115	50 ³	58–173 ³
Andel af sandsten i formationen			
Tykkelse af Gross sand [m]	95	50 ³	48–143 ³
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	90	50 ³	45–135 ³
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,78	50 ³	0,39–1,00 ³
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,94	20 ³	0,47–1,00 ³
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)			
Porøsitet [%]	28	15 ³	24–32 ³
Gas-permeabilitet [mD]	875	6 ⁷	146–5250 ⁷
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	1094	6 ⁷	182–6564 ⁷
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	96	7 ⁷	14–672 ⁷
Temperatur			
Temperatur ¹⁰ [°C]	37	10 ³	33–41 ³
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering	
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til meget grov kornstørrelse; ingen oplysninger om sortering og afrundingsgrad fra nærmeste borer		
Diagenese/cementering	Hovedsageligt kalkfrie og svagt konsoliderede, stærkt kulstofholdige impermeable lag kan forekomme		
Andre betydende parametre		Vurdering	
Salinitet	Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl		
Sedimentologisk kontinuitet	Stor		
Strukturel kontinuitet	Antagelig lille; strukturelt komplekst område, kun få og ringe seismiske data øger usikkerheden omkring prognoselokaliteten		

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

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

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

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

⁵ Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af formation.

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

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

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

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

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

3.1 anbefalinger

Mængden og kvaliteten af seismiske data omkring prognoselokaliteten er ringe. Der vil derfor være nødvendigt at lave en seismisk dataindsamling for derved at kunne kortlægge, om der forekommer forkastninger i nærheden af prognoselokaliteten samt for at kunne bestemme de mest optimale placeringer af geotermi-brøndene. Endvidere vil dybden til Haldager Sand 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 Vedsted-1 brønden, samt at den omkring prognoselokaliteten muliggør en rumlig kortlægning af eventuelle forkastninger, der gennemskærer Haldager Sand Formationen. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 100 km ny seismik.

Under udførelsen af en eventuelt efterfølgende efterforskningsboring bør det overvejes at bore videre og indsamle information om den dybereliggende Gassum Formation. Herved vil det kunne afklares om formationen har gode reservoirregenskaber ved prognoselokaliteten, og om der vil være bedre økonomi i at hente varmere vand fra denne end fra Haldager Sand Formationen.

4. Datagrundlag

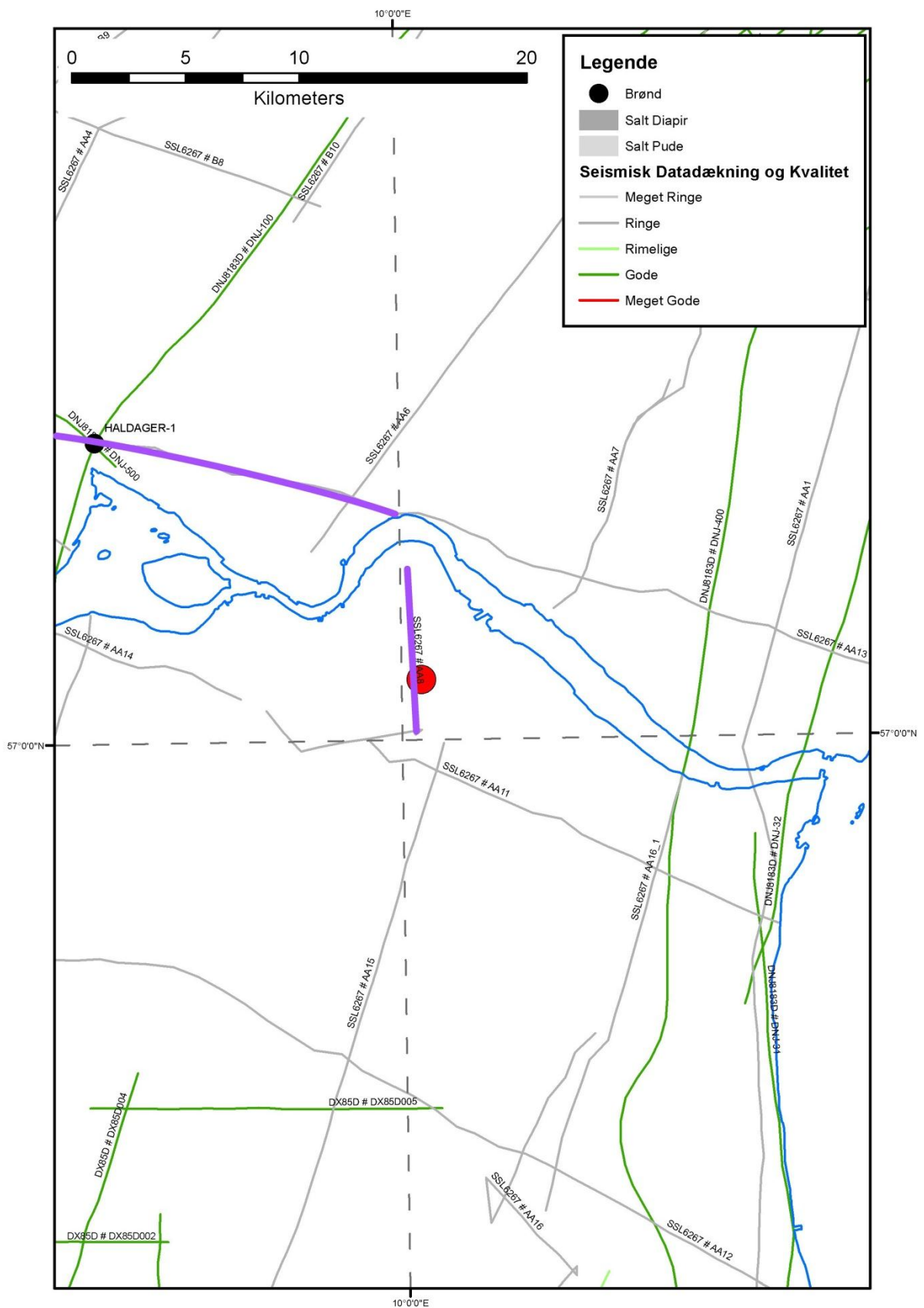
I Figur 3 er den tilgængelige database i Ålborg-området og i regionen vist i form af placeringen af Haldager-1 brønden samt placering og kvalitet af seismiske linjer.

De nærmeste dybe brønde er Haldager-1, Vedsted-1, Flyvbjerg-1, Års-1, Børglum-1 og Sæby-1, der er placeret inden for en afstand af 18–44 km fra prognoselokaliteten (Figur 2). De to nærmeste brønde er Haldager-1 og Vedsted-1, der er beliggende henholdsvis 18 og 25 km fra lokaliteten. Fra disse er der indsamlet logdata, som muliggør en vurdering af Haldager Sand Formationens reservoirkvalitet. Da de endvidere er beliggende i Fjerritslev Truget, ligesom prognoselokaliteten, vurderes de til at være mest relevante i en estimering af Haldager Sand Formationens reservoirgenskaber ved lokaliteten. Der eksisterer dog ingen standard porøsitetolog for Vedsted-1 og Haldager-1, og i stedet er porøsiteten estimeret ud fra en modstandslog, der er kalibreret til kerneporøsitetmålinger. Overordnet set vurderes brønddækningen og kvaliteten af brøndata som værende rimelig i vurderingen af sandstenenes reservoirgenskaber i Haldager Sand Formationen. Med hensyn til vurderingen af dybde og tykkelse af Haldager Sand Formationen er brønddækningen ringe, da lokaliteten er beliggende i et strukturelt komplekst område, hvor undergrundens geologiske sammensætning kan ændre sig over selv korte afstande. I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Haldager Sand Formationen for de ovennævnte brønde. Endvidere er dybdeinterval og tykkelse vist for Kridt lagseriens kalkaflejringer, som udgør ”dæklag” for Haldager Sand Formationen. Dybde og tykkelse af Kridt lagseriens kalkaflejringer er også vurderet for prognoselokaliteten (afsnit 5) og er interessante, da de kan indgå i vurderingen af omkostninger til borefasen ved en eventuel etablering af et geotermisk anlæg.

Kvaliteten af de seismiske linjer, der er indsamlet i regionen, er markeret med farver i Figur 3 og 4 og angiver, hvor anvendelige de seismiske data er til at kortlægge formationer i det geotermiske dybdeinterval. Det er en overordnet kvalitetsangivelse, der i høj grad afspejler i hvilket år, de seismiske data blev indsamlet. Den seismiske datadækning omkring prognoselokaliteten er ringe; i det væsentligste begrænset til en omtrent syd–nord gående seismisk linje, der passerer vest om lokaliteten i en afstand af ca. 350 meter, samt en omtrent øst–vest gående seismisk linje af ringe kvalitet godt 2 km syd for lokaliteten.

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

		Haldager-1 (18 km)	Vedsted-1 (25 km)	Flyvbjerg-1 (31 km)	Års-1 (40 km)	Børglum-1 (41 km)	Sæby-1 (44 km)
Kalk Gruppen	Dybdeinterval (m.u.h.)	16–414	35–455	101–476	83–1748	96–450	157–376
	Tykkelse (m)	398	420	375	1665	354	219
Haldager Sand Fm	Dybdeinterval (m.u.h.)	1120–1275	1144–1219	943–997	2420–2455	957–990	737–757
	Tykkelse (m)	155	75	54	35	34	20



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og Haldager-1 brønden samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. De dele af de seismiske linjer AA8 og AA13, 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 for estimeringen af de geologiske nøgledata i Tabel 3.1 og delvis hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem.

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

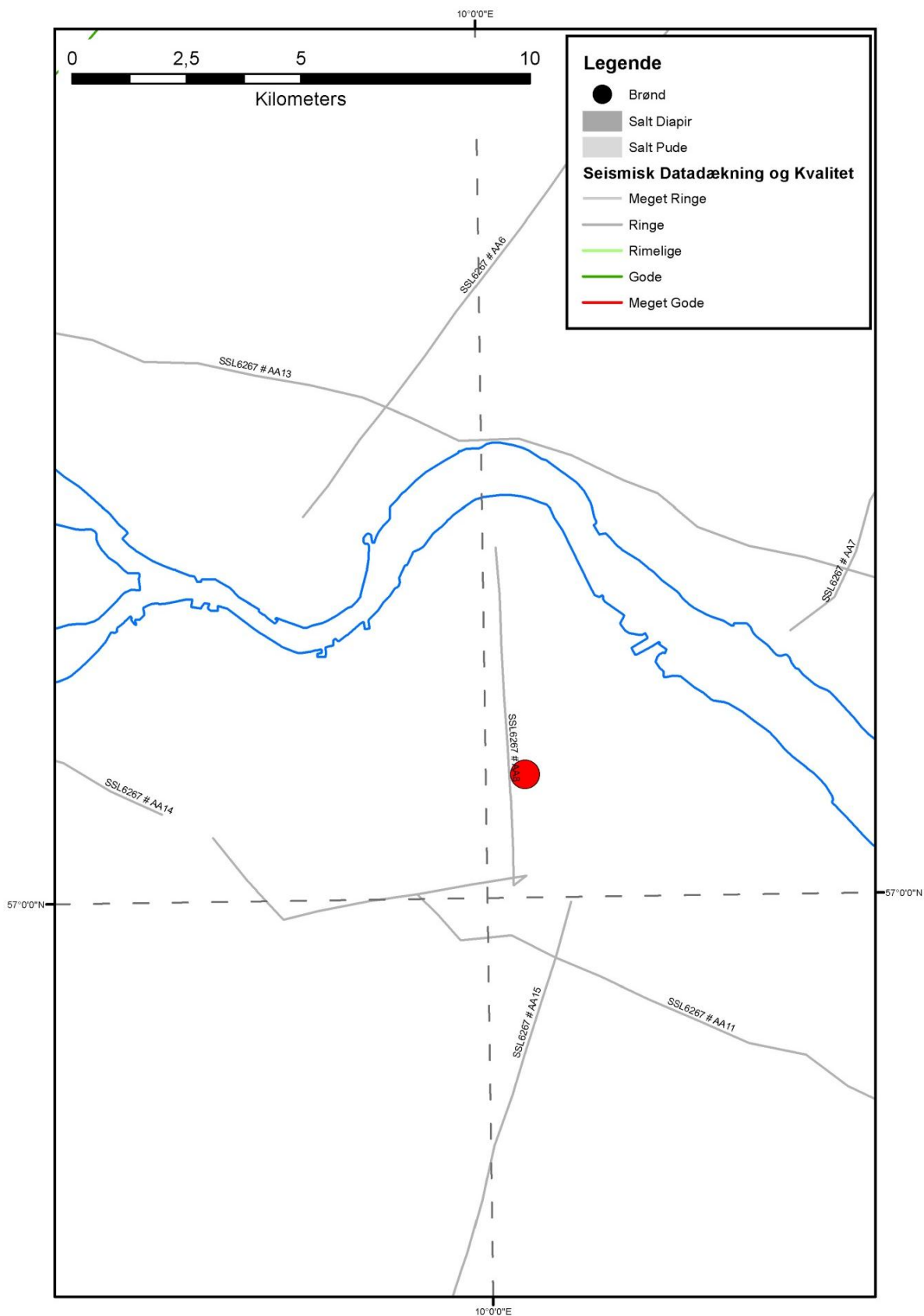
Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1. Da den seismiske dækning omkring prognoselokaliteten er ringe, er de angivne dybder og tykkelser meget usikre.

Det er endvidere ikke muligt at tolke Haldager Sand Formationens top på de seismiske data omkring prognoselokaliteten. Formationens bund er sammenfaldende med toppen af Fjerritslev Formationen, som er vurderet til at være beliggende 1130 m.u.h. \pm 150 meter. Dybden til formationens top er i stedet vurderet til 1015 m.u.h. ved at trække formationens forventede tykkelse fra dybden til formationens bund. Da formationens tykkelse endvidere varierer en del (se tabel 4.1), og den forventede dybde er beregnet ved at tage et gennemsnit af tykkelsen i Vedsted-1 og Haldager-1 (se afsnit 5.1.2), knytter der sig naturligvis en stor usikkerhed til den angivne dybde på formationens top; i Tabel 3.1 sat til \pm 20 %.

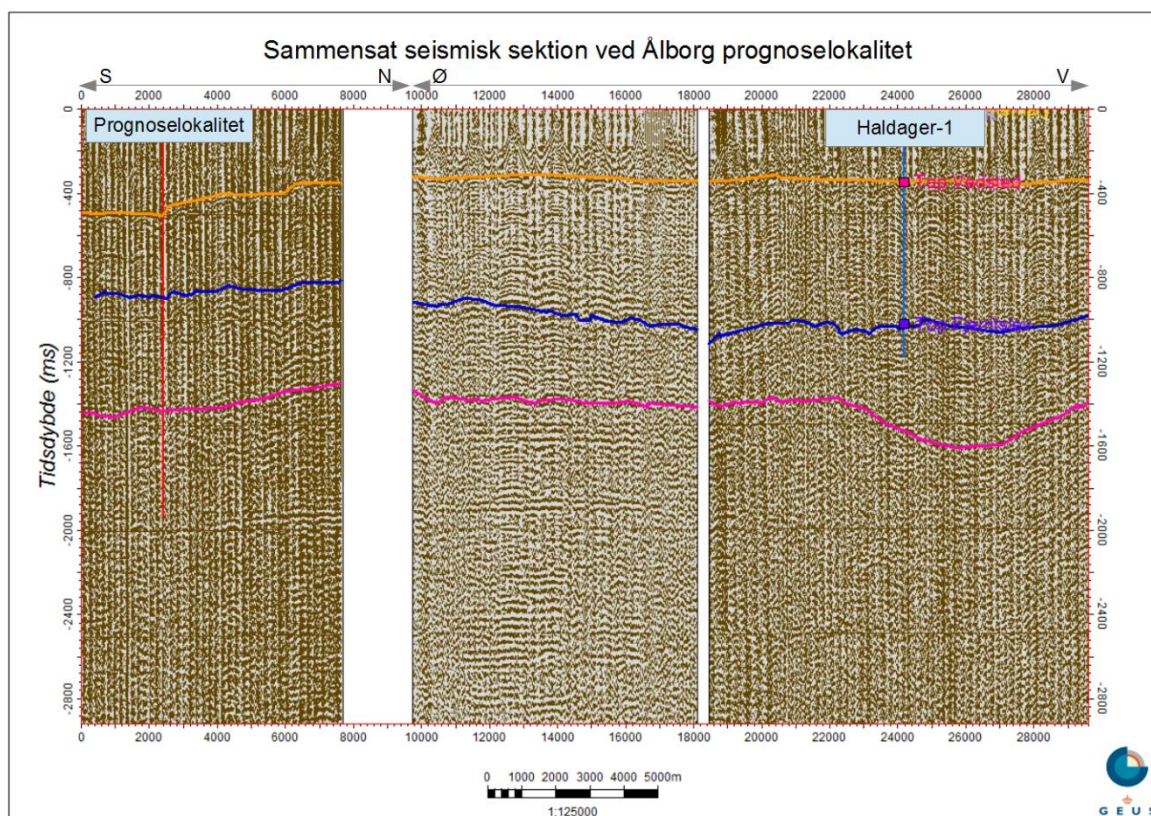
De seismiske linjer AA8 og AA13 (Figur 3 og 4) er anvendt til at fremstille et sammensat seismisk profil, der passerer forbi prognoselokaliteten i en afstand af ca. 350 meter. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5, hvor det også fremgår, at kvaliteten af de seismiske data er meget ringe. Det kan derfor heller ikke udelukkes, at forkastninger bryder Haldager Sand Formationen langs med den seismiske linje, selvom sådanne ikke er identificeret på det seismiske profil. I udgangspunktet må den strukturelle kontinuitet antages at være lille i området, i hvert fald over større afstande. Dette skyldes, at prognoselokaliteten er beliggende i det strukturelt komplekse Fjerritslev Trug, hvor der forekommer mange forkastninger.

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

Prognoselokalitet	Dybdeinterval (m.u.h.)	Tykkelse (m)
Danien kalksten & Kalk Gruppen	11–654	643
Frederikshavn Fm	840–940	100
Haldager Sand Fm	1015–1130	115
Fjerritslev Fm	1130–1930	800
Gassum Fm	1930–2055	125
Skagerrak Fm	2055–?	?



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten (rød cirkel). Dele af de seismiske linjer AA8 og AA13 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et sammensat seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: S sammensat seismisk profil baseret på de seismiske linjer AA8 og AA13. AA8 passerer vest om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 350 meter, mens AA13 passerer tæt forbi Haldager-1 brønden (Figur 3 og 4). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet og er markeret med en rød, lodret streg. Kvaliteten af de seismiske data er ringe, og på profilet er det kun muligt at give et bud på relativt få seismiske horisonter. Ligeledes er det på baggrund af de seismiske data heller ikke muligt at afgøre om forkastninger bryder Haldager Sand Formationen langs med den seismiske linje. Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. De tolkede horisonter på figuren er oppefra og ned: Basis af Kalkgruppen (orange), Top Fjerritslev Fm (blå) og Top Gassum Fm (lyserød).

5.1.2 Boringsdata

Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Haldager Sand Formationen i de nærmeste brønde samt hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoir-egenskaber (Potentielt reservoirsand), formationen er estimeret til at indeholde i brøndene. I afsnit 5.2, og mere udførligt i Geotermi WebGIS portalen, gøres der rede for, hvordan disse størrelser estimeres på baggrund af logdata.

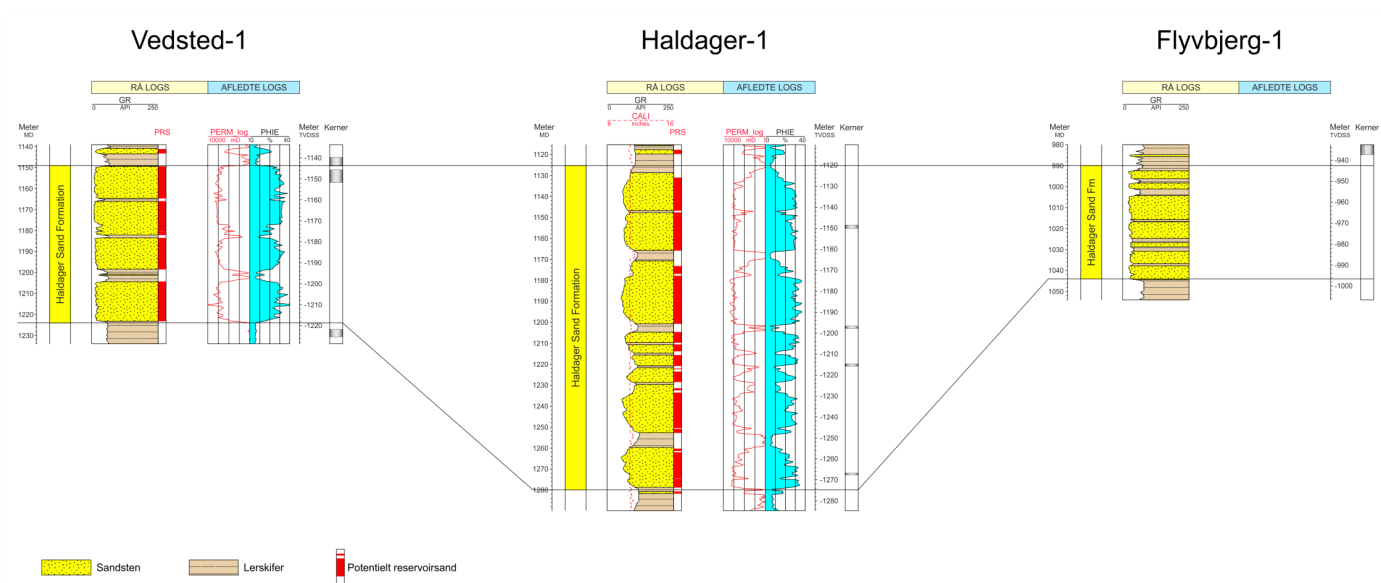
Det fremgår af tabellen, at Haldager Sand Formationen varierer betydeligt i tykkelse mellem brøndene. Formationen er tykkest i Haldager-1 og Vedsted-1, der ligesom prognoselokaliteten er beliggende i den centrale del af Fjerritslev Truget, mens tykkelsen er væsentlig mindre i de brønde, der er beliggende nær trugets rand eller udenfor truget. Selv mellem Haldager-1 og Vedsted-1 er formationstykkelsen markant forskellig, idet den er på henholdsvis 155 meter og 75 meter.

Da der ikke findes gode seismiske data ved prognoselokaliteten er det usikkert hvilken af disse formationstykkelser, der er mest repræsentativ for lokaliteten. I stedet har GEUS valgt at angive tykkelsen af Haldager Sand Formationen til 115 meter ved lokaliteten, som er et gennemsnit af formationens tykkelse i Haldager-1 og Vedsted-1. Der knytter sig naturligvis en betydelig usikkerhed til denne tykkelse; i Tabel 3.1 angivet til $\pm 50\%$.

Haldager Sand Formationen domineres af tykke sandstensintervaller adskilt af tyndere finkornede intervaller, som det fremgår i Figur 6, hvor formationens lithologi er tolket for Vedsted-1, Haldager-1 og Flyvbjerg-1. Mange af sandstensintervallerne kan korreleres over store afstande mellem brøndene i form af sekvensstratigrafiske enheder. I Haldager-1 forekommer der dog også sandstensintervaller som ikke kan korreleres til Vedsted-1 og Flyvbjerg-1 (Figur 24 i Nielsen 2003). Overordnet set må det forventes, at sandstensintervaller i Haldager Sand Formationen ved prognoselokaliteten kan korreleres til Haldager-1 og nogle også til Vedsted-1 og Flyvbjerg-1 (mest sandsynligt de sandstenslag som hører til i den øvre del af formationen). Den sedimentologiske kontinuitet kan derfor betragtes som værende stor om end de interne sandstensintervaller kan afspejle forskellige aflejringsmiljøer (Nielsen 2003).

Tabel 5.2: *Tykkelser af Haldager Sand Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirgenskaber (Potentielt reservoirsand), i de nærmeste brønde, hvis omtrentlige placeringer ses på oversigtskortet i Figur 2. Det skraverede felt angiver, at andelen af Potentielt reservoirsand ikke kan beregnes på baggrund af de givne logdata.*

	Tykkelser/antal meter		
	Formation	Gross sand	Potentielt reservoirsand
Haldager-1	155	126	116
Vedsted-1	75	65	64
Flyvbjerg-1	54	46	
Års-1	35	27	15
Børglum-1	34	16	14
Sæby-1	20	11	11



Figur 6: Sammenligning af Haldager Sand Formationen i Vedsted-1, Haldager-1 og Flyvbjerg-1, som er de nærmeste brønde til prognoselokaliteten, hvori formationen er påvist (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 Flyvbjerg-1. MD: Målt dybde fra referencepunkt på boreplatform (venstre dybdeskala), TVDSS: Vertikale dybde under havniveau (højre dybdeskala).

5.2 Reservoirkvalitet

I vurderingen af Haldager Sand Formationens reservoirregnskaber ved prognoselokaliteten er der taget udgangspunkt i data fra Haldager-1 og Vedsted-1. Dybdeintervallet for Haldager Sand Formationen i disse brønde ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der fra begge borer er udtaget kerner af formationen.

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af kerner og borespåner fra Vedsted-1 og Haldager-1 borerne (DAPCO 1958, DGU & DAPCO 1950). Kerneintervallerne i borerne er op til 6 meter lange. De kernede intervaller fremgår i Figur 6–8, men mange af kernerne er reelt mindre på grund af en lille "recovery" (kun en lille del af kernerne kom op til overfladen, da de blev udtaget i forbindelse med boringernes udførelse).

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af kerner og borespåner fra Haldager-1 og Vedsted-1. De optagne og tolkede logs i Haldager-1 og Vedsted-1 brøndene er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

I estimeringen af reservoirværdierne for Haldager Sand Formationen ved prognoselokaliteten er data fra Haldager-1 og Vedsted-1 anvendt og vægtet lige højt. De tolkede reservoirværdier for Haldager Sand Formationen i de to brønde er samlet i henholdsvis Tabel 5.5 og 5.6. Da der ikke forefindes nogen standard porøsitetlogs fra hverken Vedsted-1 eller Haldager-1, er porøsiteten af sandstenslagene i stedet vurderet ud fra modstandslogs, der er kalibreret til kerneporøsitetmålinger. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitetssammenhænge etc.). Ved sammenligning af Tabel 5.5 og 5.6 med Tabel 3.1 fremgår det, at usikkerheden på reservoirværdierne ved prognoselokaliteten er væsentlig større end de angivne usikkerheder på reservoirværdierne for Haldager-1 og Vedsted-1. Dette er en naturlig følge af, at en ekstrapolering af data-værdier altid vil medføre en ekstra usikkerhed.

Tabel 5.3: *Overblik over dybdeintervaller i målt dybde fra referencepunkt på boreplatformen (MD) af Haldager Sand Formationen i Haldager-1 og Vedsted-1 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

Brønd	Dybdeinterval [m MD]	Kerner [m MD]	Sidevægskerner [m MD]
Haldager-1	1125–1280	4 intervaller	5 niveauer
Vedsted-1	1149–1224	2 intervaller	Ingen

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

Beskrivelse	Log-navn	Enhed	Log-funktion
Gamma logs	GR	API	Måler naturlig radioaktivitet
	GR_DEN	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med densitetslog
	GR_SON	API	Måler naturlig radioaktivitet sammen med sonic log
Spontaneous potential log	SP	mV	Måler spontaneous potential ('selv-potentialet')
	GRpseudo	mV	Re-skaleret SP log
Sonic logs	DT	microsek/ft	Akustisk log; måler intervalhastighed
	DTCO	microsek/ft	Akustisk log; måler intervalhastighed
Caliper logs	CALI/CAL	Inch/tommer	Måler borehullets diameter
	CAL_NUC	Inch/tommer	Måler borehullets diameter, med neutron log
Resistivetslogs/ Modstandslogs	ILD	Ohm-m	Induktion log; dybt-læsende modstandslog
	ILM	Ohm-m	Induktion log; medium-læsende modstandslog
	LLS	Ohm-m	Laterolog; medium-læsende modstandslog
	LLD	Ohm-m	Laterolog; dybt-læsende modstandslog
	16ft	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	38in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	10in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
	18F8	Ohm-m	Lateral modstandslog af ældre dato
	64in	Ohm-m	Normal modstandslog af ældre dato
Neutron log	NPHI	fraction	Måler den tilsyneladende porøsitet (neutron-loggen kan være forkortet "NEU")
Densitets logs	RHOB	g/cm ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
	RHOZ	g/cm ³	Måler bulk-densiteten af bjergarten
Log-beregnet permeabilitet	PERM_log	mD	Beregnet log-kurve baseret på PHIE
Log-beregnet <i>effektiv</i> 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 Haldager Sand Formationen i Haldager-1 brønden.*

Haldager-1				
Haldager Sand Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²	
			[MinCase - MaxCase]	
Makro reservoirparametre				
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1120	1 ³	1109–1131 ³	
Tykkelse af formation [m]	155	1 ³	153–157 ³	
Andel af sandsten i formationen				
Tykkelse af Gross sand [m]	126	5 ³	120–133 ³	
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	116	5 ³	110–121 ³	
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,75	5 ³	0,71–0,78 ³	
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,92	5 ³	0,87–0,96 ³	
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)				
Porøsitet [%]	27	6 ³	25–29 ³	
Gas-permeabilitet [mD]	800	5 ⁷	160–4000 ⁷	
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	1000	5 ⁷	200–5000 ⁷	
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	116	5 ⁷	23–580 ⁷	
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering		
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Meget fin til grov kornstørrelse; ingen oplysninger om sortering og afrundingsgrad			
Diagenese/cementering	Hovedsageligt kalkfrie og svagt konsoliderede, men en del stærkt kulstofholdige impermeable lag			

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabel 5.6: *Estimerede reservoirværdier for Haldager Sand Formationen i Vedsted-1 brønden.*

Vedsted-1				
Haldager Sand Formationen	Estimeret værdi	Vurderet usikkerhed ¹	Usikkerhedsinterval²	
			[MinCase - MaxCase]	
Makro reservoirparametre				
Dybde til top af formation [m.u.h.]	1144	1 ³	1133–1155 ³	
Tykkelse af formation [m]	75	1 ³	74–76 ³	
Andel af sandsten i formationen				
Tykkelse af Gross sand [m]	65	5 ³	61–68 ³	
Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m]	64	5 ³	61–67 ³	
Potentielt reservoirsand/formation ⁵	0,85	5 ³	0,81–0,90 ³	
Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶	0,99	5 ³	0,94–1,00 ³	
Vandlevende egenskaber (reservoirsand)				
Porøsitet [%]	29	7 ³	27–31 ³	
Gas-permeabilitet [mD]	950	5 ⁷	190–4750 ⁷	
Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD]	1188	5 ⁷	238–5940 ⁷	
Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm]	76	5 ⁷	15–380 ⁷	
Tekstur og cementering (sandsten)		Vurdering		
Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad	Fin til meget grov kornstørrelse; ingen oplysninger om sortering og afrundingsgrad			
Diagenese/cementering	Porøs og let-smuldrende			

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

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

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

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

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

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

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

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

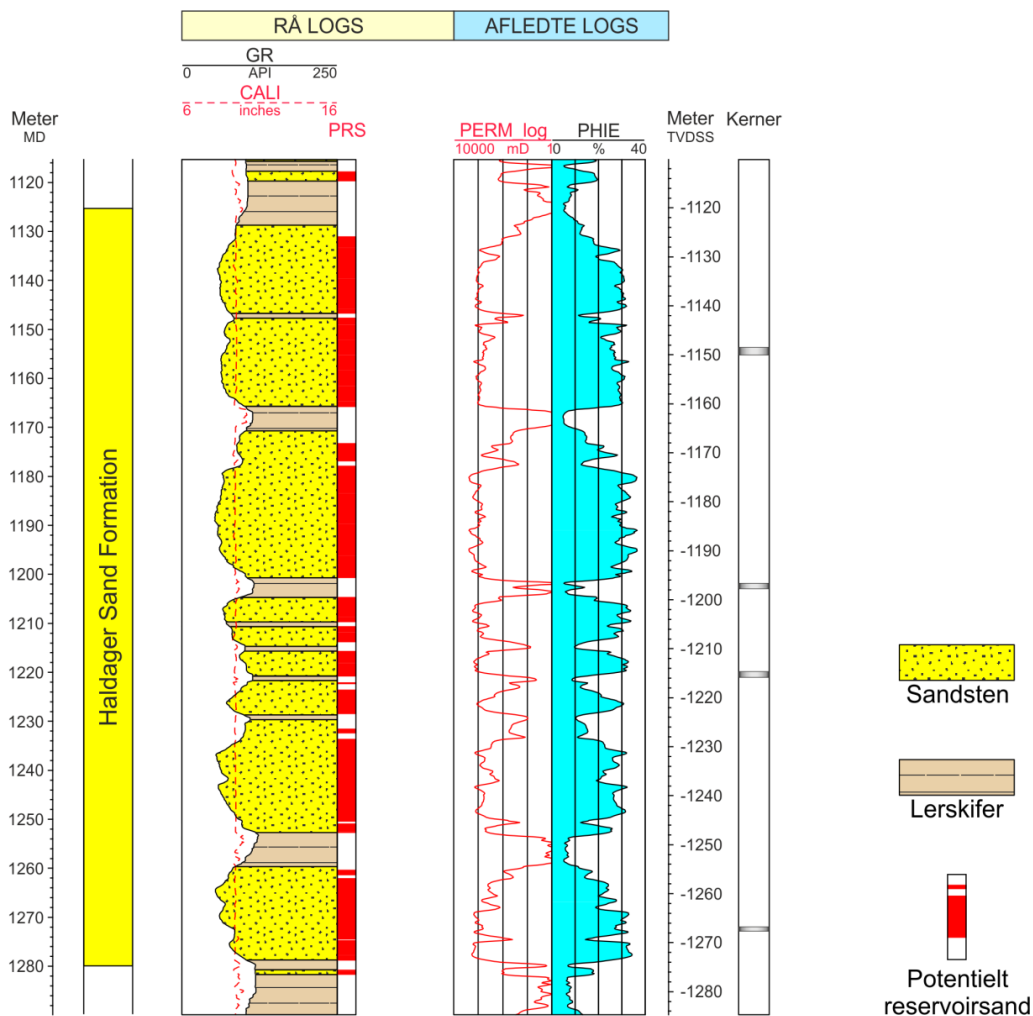
⁹ *Reservoir-transmissiviteten* er estimeret ud fra tolkning af logdata samt analyse af kernedata. *Reservoir-transmissiviteten* er opskaleret til reservoirforhold.

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale samt udtagne kerner fra Haldager-1 og Vedsted-1 borerne har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Haldager Sand Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten. Formationen domineres af tykke

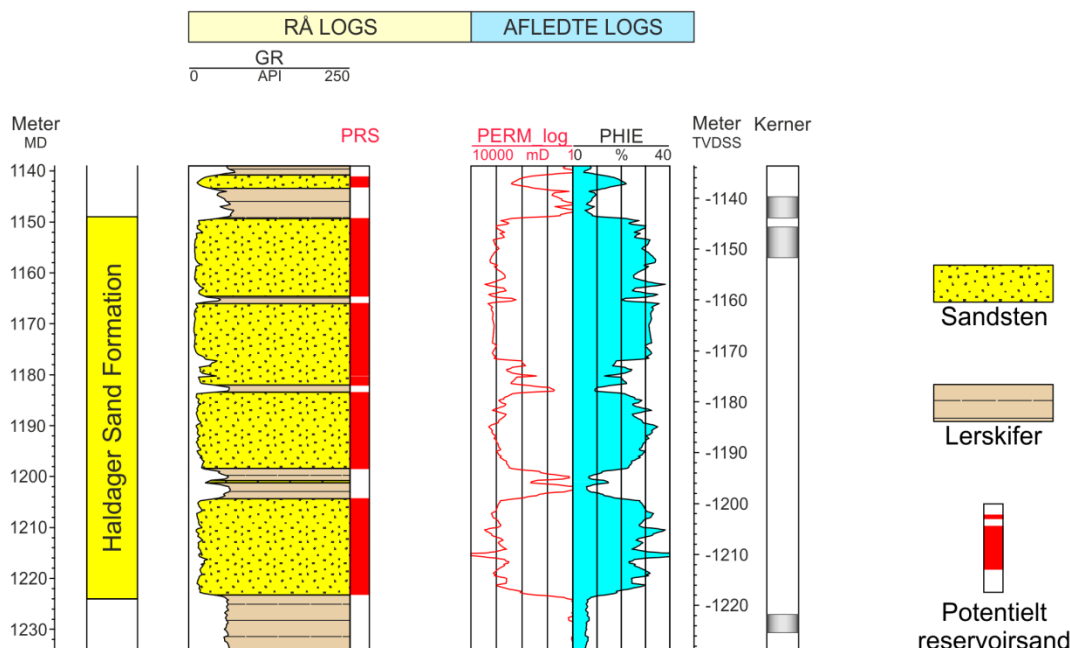
sandstensintervaller adskilt af tyndere intervaller af ler- og siltsten (Figur 6–8). Borespåne- og kernebeskrivelserne understøtter log-tolkningen, men er meget overfladiske (DAPCO 1958, DGU & DAPCO 1950). Det fremgår af beskrivelserne, at sandstenenes kornstørrelse varierer fra meget fin til meget grov, og at sandstenene kan indeholde forkullede planterester og stedvis tynde kullag. Generelt er sandstenene let-smuldrende og kun svagt cemen-terede. I Vedsted-1 forekommer der dog en del stærkt kulstofholdige impermeable lag (DAPCO 1958). Der er ingen oplysninger om sandstenenes sortering og sandskornenes afrundingsgrad.

Haldager-1



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

Vedsted-1



Figur 8: Petrofysisk log-tolkning af lithologien i Haldager Sand Formationen i Vedsted-1. Lithologikolonnen er afgrænset af gammay (GR) loggen. 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 Haldager-1 og Vedsted-1 er Haldager Sand Formationen henholdsvis 155 og 75 meter tyk, hvoraf Gross sand udgør ca. 126 meter i Haldager-1 og ca. 65 meter i Vedsted-1 (Tabel 5.2). Tolkningen af Gross-sandets tykkelse er baseret på en forudgående tolkning af lermængden ud fra gamma-loggen, idet det antages, at mængden af ler er proportional med gamma-loggens respons fratrukket baggrundsstrålingen (Tabel 5.7).

På baggrund af tolkningen af lermængden er andelen af Gross sand herefter bestemt som den del af et givet dybdeinterval, der har et ler-indhold på mindre end 30 %. Ligeledes er andelen af Potentielt reservoirsand vurderet ud fra den log-tolkede porøsitet samt lermængden, idet der både stilles krav til en vis minimumsporøsitet og et maksimalt lerindhold. GEUS har i den forbindelse valgt at definere Potentielt reservoirsand ud fra følgende kriterier: porøsiteten (PHIE) skal være større end 15 %, og samtidig skal ler-indholdet (Vshale) være mindre end 30 %. Ud fra disse kriterier er mængden af Potentielt reservoirsand vurderet til ca. 116 meter i Haldager-1 og til ca. 64 meter i Vedsted-1. Den gennem-

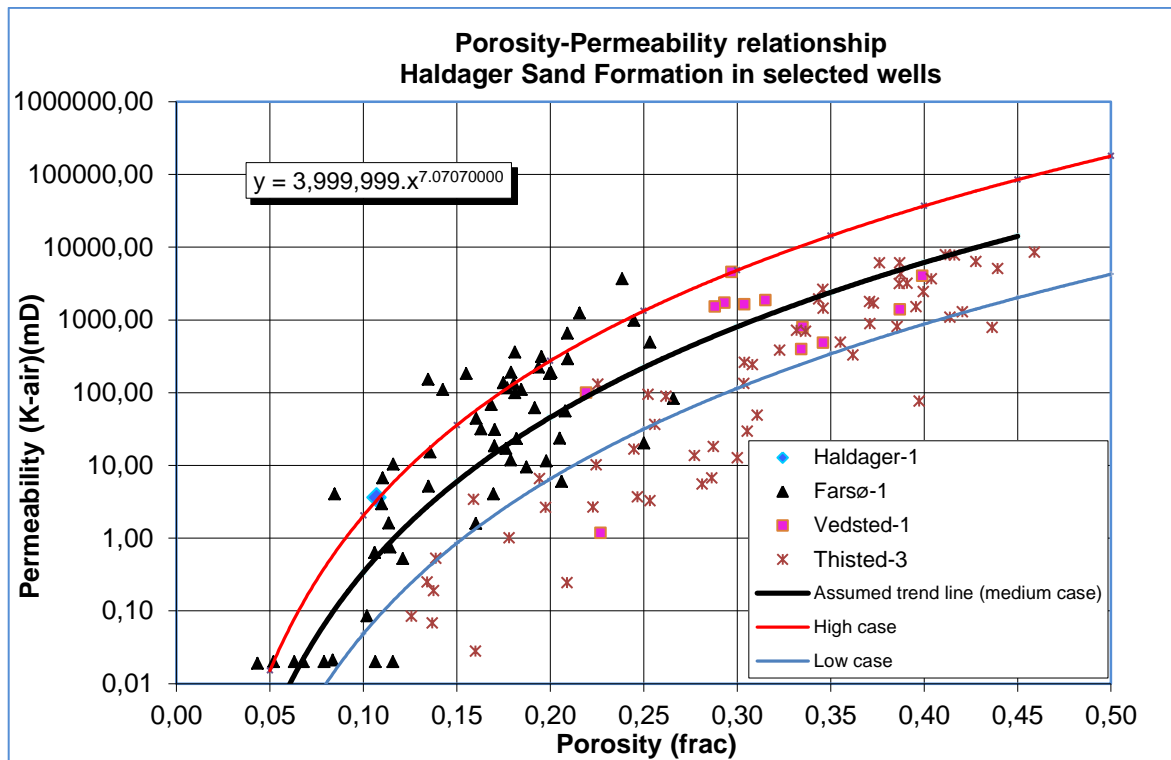
snitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 27 % i Haldager-1 og ca. 29 % i Vedsted-1 (Tabel 5.5 og 5.6). Porøsiteten er i begge borerer vurderet ud fra en modstandslog, der er kalibreret til kerneporøsitetsmåliger. Anvendelse af sidstnævnte metode giver anledning til en større usikkerhed på porøsiteten end hvis porøsiteten f.eks. blev beregnet ud fra en densitets-log.

Tabel 5.7: Responsparametre for GR loggen log for Haldager-1 og SP loggen for Vedsted-1 borererne.

Responsparametre for GR/SP log	GR/SP_min (baggrundsstråling)	GR/SP_max (respons for rent ler)
Haldager-1	48	150
Vedsted-1	65	150

5.2.3 Permeabilitet

Permeabiliteten er bestemt på kernemateriale fra Haldager Sand Formationen i Haldager-1 og Vedsted-1. Disse målinger indgår i en porøsitet-permeabilitetsrelation, der er baseret på kerneanalyzedata fra en række danske landboringer beliggende i Jylland og på Sjælland (Figur 9). GEUS forventer, at denne landsdækkende korrelation også gælder for Ålborg-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. 800 mD for Haldager-1 og til ca. 950 mD for Vedsted-1. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 1000 og 1188 mD for henholdsvis Haldager-1 og Vedsted-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 (Haldager-1 og Vedsted-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 Haldager Sand Formationen udenfor studieområdet udnyttet. Der foreligger en del kerneanalysedata fra den øverste del af Haldager Sand Formationen i Vedsted-1 boreren, mens der kun er målt ganske få porøsiteter og permeabiliteter på kernemateriale fra Haldager-1 boreren.



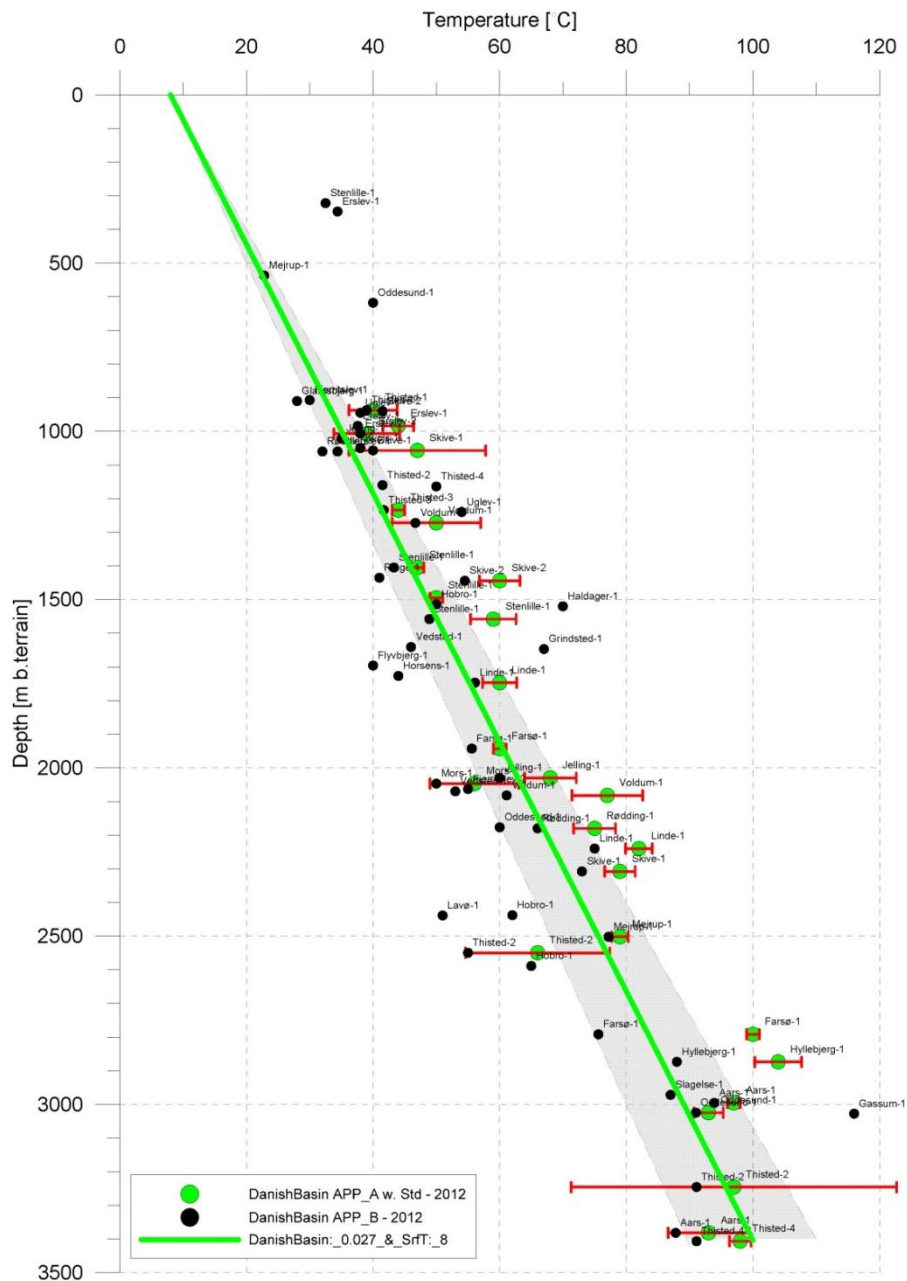
Figur 9: Generaliseret sammenhæng mellem porøsitet og permeabilitet estimeret ud fra kerneanalyse data, dvs. målinger af porøsitet og permeabilitet på små plug-prøver fra sandstenslag i Haldager Sand Formationen. Data er fra Haldager-1, Farsø-1, Vedsted-1 og Thisted-3 borerne. Korrelationen er ikke entydig, og derfor er vurderingen af permeabiliteten ved prognoselokaliteten baseret på flere permeabilitetsmodeller, dvs. der er indlagt et usikkerhedsbånd til belysningen af variationsbredden. Variationsbredden er i figuren anskueliggjort ved at indlægge 'High case', 'Low case' og 'Medium case'.

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 Haldager-1 vurderet til ca. 116 Darcy-meter, i Vedsted-1 til ca. 76 Darcy-meter og ved prognoselokaliteten til 96 Darcy-meter. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet ved prognoselokaliteten mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 7; svarende til at dividere, henholdsvis gange, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren indeholder en samlet usikkerhed knyttet til estimeringen af permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

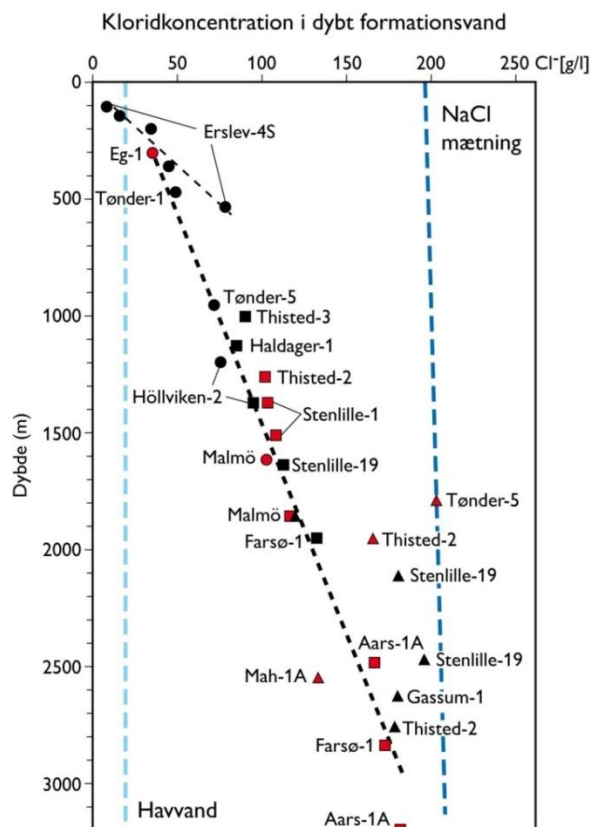
Temperaturen i midten af Haldager Sand Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til ca. 37 °C ± 10 % ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på alle relevante temperaturmålinger i dybe borer i bassinet og er givet ved: $Temp. = 0,027 * dybde + 8 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Figur 10). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 1076 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (1015 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (3 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (ca. 58 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 ± 10 % (gråt område).

5.4 Salinitet

Ud fra målinger af kloridkoncentrationen i forskellige dybe brønde er der udarbejdet en generel relation mellem dybden og kloridkoncentrationen for formationer, der ikke overlejres af saltlag (Figur 11). Ud fra relationen må der forventes en kloridkoncentration på ca. 78 g/l i en dybde af 1076 meter under terræn svarende til ca. midten af Haldager Sand Formationen ved prognoselokaliteten. Kloridkoncentrationen er dermed væsentlig lavere end mætningspunktet for NaCl, der ligger på omkring 200 g/l Cl^- ved den pågældende formationstemperatur/-dybde. Alvorlige problemer med saltudfældning som følge af afkøling i et geotermisk anlæg forventes kun, hvis formationsvandet er helt tæt på mætning med NaCl.



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

6. Referencer

DAPCO 1958: Vedsted-1, Completion Report.

DGU & DAPCO 1950: Haldager-1, Completion Report (Compiled April 1993).

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.

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

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.