



COWI



Landsdækkende screening af geotermi i 28 fjernvarmeområder

Bilag 3: Områderapport for Herning - Ikast

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 Herning - Ikast - Beskrivelse fjernvarmeområde
 DATO 10. oktober 2014
 TIL Energistyrelsen
 KOPI
 FRA COWI (Else Bernsen/Kurt Madsen)
 PROJEKTNR A044062

ADRESSE COWI A/S
 Parallelvej 2
 2800 Kongens Lyngby

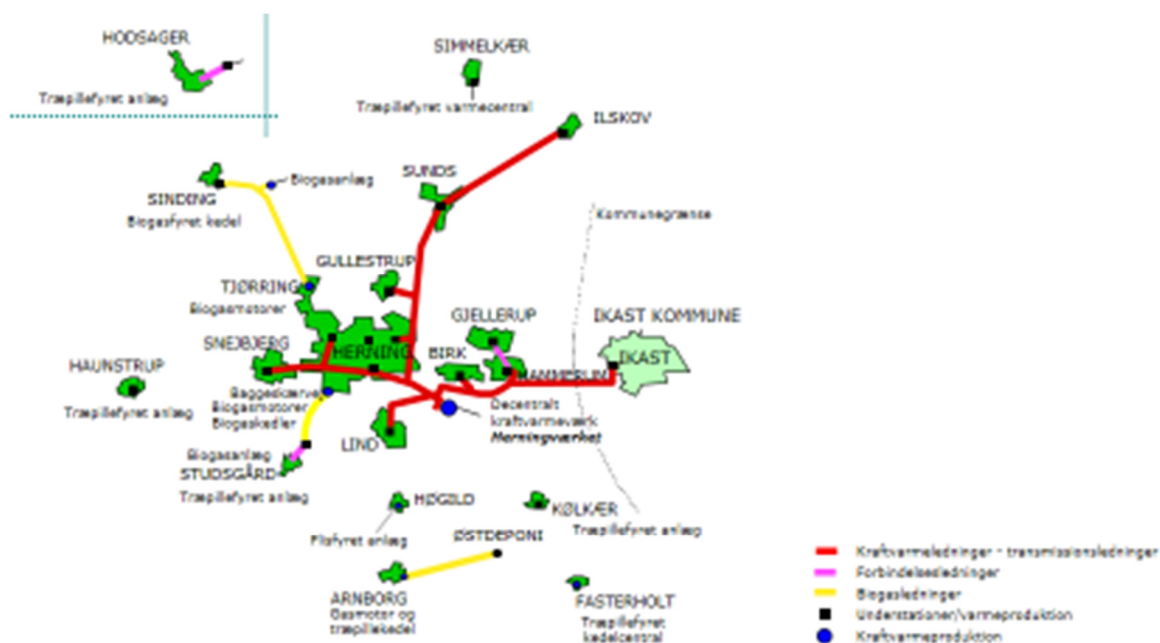
TLF +45 56 40 00 00
 FAX +45 56 40 99 99
 WWW cowi.dk

SIDE 1/10

1 Herning - Ikast fjernvarmeområde

1.1 Nuværende forsyningsområde

Fjernvarme til byområderne Herning, Ikast og Sunds leveres fra et sammenhængende integreret energiforsyningsystem. Det samlede system er illustreret på nedenstående principdiagram.



Figur 1 Oversigtskort over EnergiMidt – EnergiGruppen Varmes forsyningsområde i Herning og omegn (kort tilsendt fra EnergiGruppen Jylland Varme A/S)

Varmen til det sammenkoblede fjernvarmetransmissionssystem og derfra til tre fjernvarmedistributionsselskaber hhv. - EnergiGruppen Jylland Varme A/S (EGJ), Ikast Værkerne Varme A/S og Sunds Varmeværk leveres primært fra Herningværket. Herningværket leverer ca. 95% mens resten produceres på olie- og naturgas fyrede spids- og reservelastkedler.

Herningværket, der ejes og drives af DONG Energy Thermal Power A/S, ligger i den sydlige del af Herning. Værket har eksisteret siden 1982 og er løbende blevet moderniseret. Værket var oprindeligt et kulfyret anlæg, men blev i 2000 ombygget til naturgasfyring. I 2002 blev det igen ombygget, denne gang til primært at fyre med flis. Endelig blev værket i 2009 ombygget til udelukkende at køre på biomasse.

Værket har en ydelse på 95 MW el og 175 MW fjernvarme og fyrer med træflis og træpiller, mens naturgas er reservebrændsel. Uden elproduktion kan værket yde 200 MW varme. Træflis udgør omkring 70 % af Herningværkets brændsel, mens træpiller udgør ca. 30 %. Herningværket er således Danmarks største flis-baserede anlæg og afbrænder årligt ca. 280-300.000 ton træflis og ca. 60-70.000 ton træpiller.

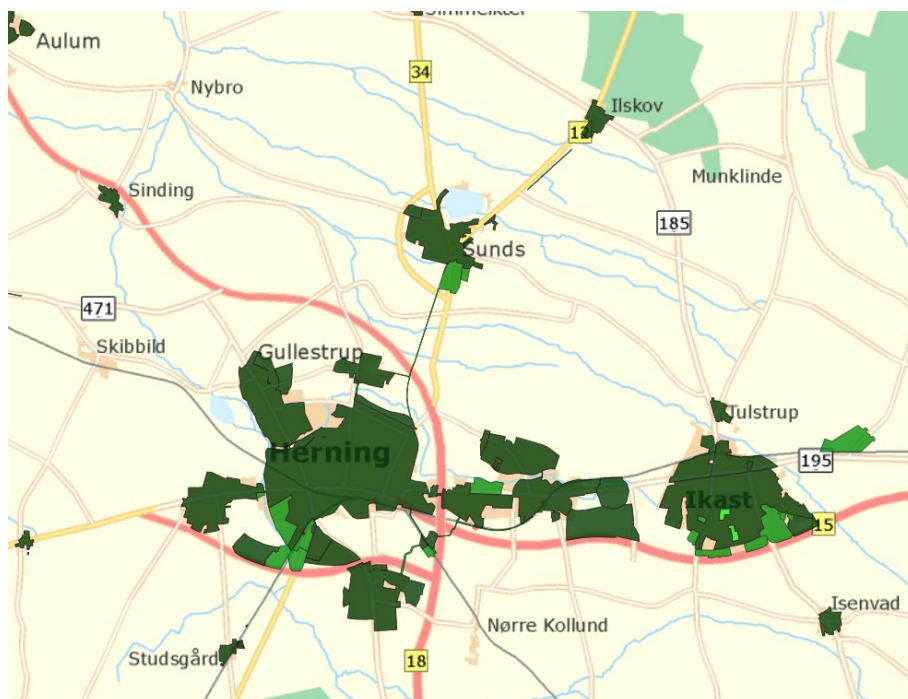
Flisen hentes i de store midt- og vestjyske plantager og skove i en afstand på op til 120 km fra værket. 75% af flisen hugges direkte i skovene, mens de resterende 25% oplagres og leveres i form af tre meter lange træstammer, der hugges til flis på værket.

EnergiGruppen Jylland Varme forsyner Herning by samt omegnsbyerne (ca. 18.500 målere) med fjernvarme, herunder også Ilskov.

Ikast Værkerne Varme A/S distribuerer varme til Ikast (ca. 7.600 målere), Isenvad, Bording og Engesvang. De 3 sidstnævnte områder er decentrale kraftvarmeværker på gas.

Sunds Varmeværk forsyner ca. 1.550 kunder i Sunds.

I forbindelse med geotermiscreeningen fokuseres alene på det sammenkoblede kraftvarmeforsyningsområde. Forsyningsområderne tilknyttet dette system fremgår af nedenstående oversigtskort.

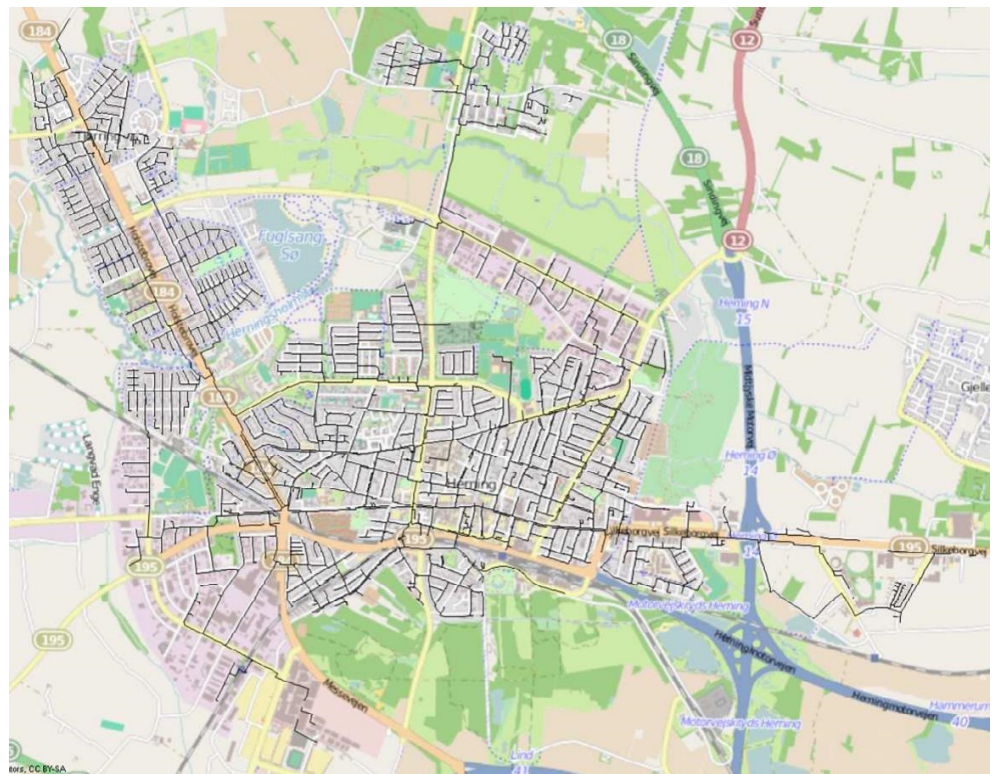


Figur 2 Oversigt sammenkoblede forsyningsområder Herring - Ikast

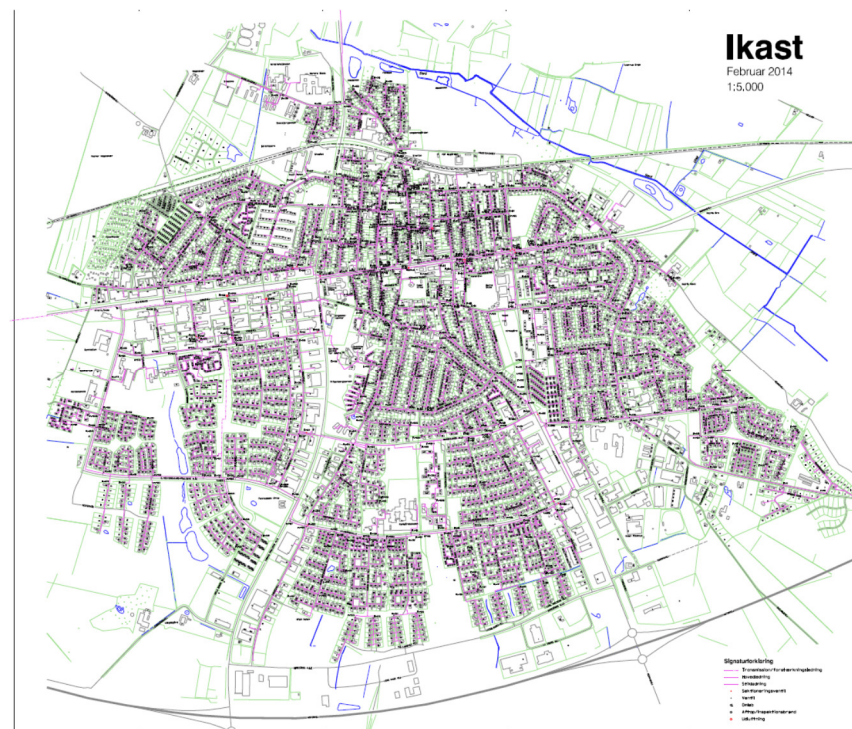
Varmeforsyningen i Herring blev grundlagt i 1950 som en del af Herring Kommune Værker. I dag er EnergiMidt/ EnergiGruppen Jylland Varme A/S et af Danmarks største varmforsyningsselskaber med et årligt salg på ca. 500.000 MWh og en omsætning på mere end 300 mio. kr. Selskabets hovedaktivitet er produktion, transmission og distribution af fjernvarme til ca. 18.500 kunder i regionen. Men sideløbende producerer varmforsyningen også el på tre mindre anlæg.

Produktionen af fjernvarme foregår på 20 forskellige produktionssteder, hvor ca. 98 procent af fjernvarmen fremstilles ved samproduktion af el og varme. Varmeforsyningens produktionsanlæg anvender både affald, biogas, halm, træflis, lossepladsgas, træpiller, olie og naturgas som brændsel.

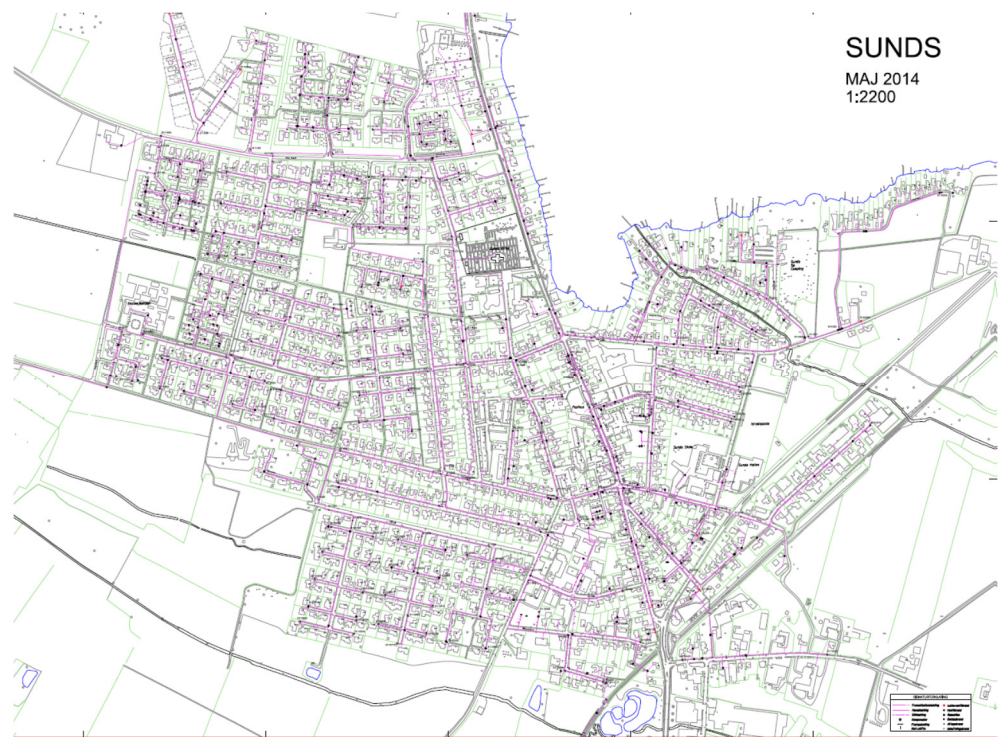
Oversigt over ledningsnettet i Herring fremgår af efterfølgende figur:



Figur 3 Oversigtskort over fjernvarmeledninger i Herning (kilde Termisberegninger)



Figur 4. Oversigtskort ledningsnet i Ikast (Kilde Ikast varmeværk)



Figur 5 Oversigtskort ledningsnet i Sunds (Kilde Ikast Varmeværk)

Ikast Varmeværk etableres i 1948 med det formål at levere fjernvarme til beboerne i området. I 1953 indtræder Ikast EI- og Varmeværk som interessent i Vestkraft.

I 1978 blev det besluttet at opføre Herningværket og i den forbindelse vedtages en varmeplan for Ikast, der betyder, at der skal etableres en fjernvarmerørledning af anseelige dimensioner fra Herning til Ikast.

Ikast Værkerne Varme A/S har til formål at fremskaffe og distribuere varme på billigste måde under hensyn til forsyningssikkerhed.

Sunds Vand og Varmeværk A.m.b.a. distribuerer fjernvarmen i Sunds by.

Efterfølgende tabel viser varmebehovet for Herning- Ikast systemet.

Tabel 1 Nuværende og fremtidigt varmegrundlag

| Varmegrundlag | | | | |
|--|-----------|---------|---------|---------|
| Herning | | | | |
| MWh/år | 012/2013* | 2015** | 2025** | 2035** |
| Eksisterende forbrugsbase Netto varme | 495.720 | 502.620 | 504.720 | 504.720 |
| Distributionstab | 116.280 | 116.957 | 116.957 | 116.957 |
| An net | 612.000 | 612.000 | 621.677 | 621.677 |
| Ikast | | | | |
| MWh/år | | | | |
| Eksisterende forbrugsbase Netto varme | 169.600 | 169.600 | 169.600 | 169.600 |
| Distributionstab | 42.400 | 42.400 | 42.400 | 42.400 |
| An net | 212.000 | 212.000 | 212.000 | 212.000 |
| Sunds | | | | |
| MWh/år | | | | |
| Eksisterende forbrugsbase Netto varme | 31.600 | 31.600 | 31.600 | 31.600 |
| Distributionstab | 8.400 | 8.400 | 8.400 | 8.400 |
| An net | 40.000 | 40.000 | 40.000 | 40.000 |
| Total Transmissionssystem | | | | |
| MWh/år | | | | |
| Eksisterende forbrugsbase Netto varme | 696.920 | 703.820 | 705.920 | 705.920 |
| Distributionstab | 167.080 | 167.757 | 167.757 | 167.757 |
| An net | 864.000 | 864.000 | 873.677 | 873.677 |
| TJ/år | | | | |
| Nettovarme | 2509 | 2534 | 2541 | 2541 |
| Distributionstab | 601 | 604 | 604 | 604 |
| An net | 3110 | 3110 | 3145 | 3145 |
| Data for varmesalg mv fremgår ikke af selskabernes årsrapporter | | | | |
| Energistyrelsens Udbud angiver som gns 5 år | | 2888 TJ | | |
| Heraf er affaldsandelen angivet til 208 TJ (Knudmoseværket der blev lukket i 2010) | | | | |
| Energiproducenttællingen angiver en samlet produktion an net på 2996 TJ an net | | | | |
| Der er således rimelig overensstemmelse mellem de tilgængelige statistikker | | | | |
| ** Uændret varmebehov i Ikast og Sunds jf. tilbagemeldinger fra værkerne | | | | |
| For Hernings vedkommende øget varmebehov fra nyt sygehus (9.000 MWh fra 2020) | | | | |

Max effekt:

- > Herning: 267 MW voksende til ca. 272 MW, når sygehuset medtages
- > Ikast: 50 MW
- > Sunds: 15 MW

DF har gennemført en treårig strukturanalyse for medlemsselskaberne og har i denne angivet nedenstående temperaturforhold for fjernvarmesystemerne i Herning-Ikast området.

Tabel 2 Temperaturforhold Herning:

| Sommer an net | | Vinter an net | |
|------------------------------------|-------|---------------|-------|
| Fremløb | Retur | Fremløb | Retur |
| [°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse | | | |
| 70 | 40 | 73 | 37 |

Det er oplyst, at ovenstående temperaturforhold fortsat er gældende i Herning.

Tabel 3 Temperaturforhold Ikast:

| Sommer an net | | Vinter an net | |
|------------------------------------|-------|---------------|-------|
| Fremløb | Retur | Fremløb | Retur |
| [°C] 2010 - 3 årig strukturanalyse | | | |
| 69 | 40 | 75 | 37 |

Tabel 4 Temperaturforhold i Sunds

| Sommer an net | | Vinter an net | |
|---------------------------|-------|---------------|-------|
| Fremløb | Retur | Fremløb | Retur |
| Oplyste temperaturer 2014 | | | |
| 70 | 37 | 84 | 38 |

Følgende temperaturforhold er oplyst for transmissionsledningssystemet:

Tabel 5 Temperaturforhold i transmissionsledningssystemet

| Sommer an net | | Vinter an net | |
|----------------------|-------|---------------|-------|
| Fremløb | Retur | Fremløb | Retur |
| Oplyste temperaturer | | | |
| 82 | 50 | 87 | 43 |

1.2 Nuværende produktionsstruktur

Nedenstående tabel giver en oversigt over den nuværende varmeproduktionsstruktur i Herning og Ikast og omegnsbyer.

Tabel 6 Varmeproduktionsstruktur 2012 (fra Energistyrelsens energiproducenttælling)

| Eksisterende produktionsanlæg - baseret på energiproducenttællingen 2012 | | | | | | | | | | | Brændselsfordeling | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------|--------------------|-----------------|------------------------|---------------|------------------------|---------|----------|---------|--------|-----------|
| Anlægsnavn | Anlægstype | Hovedbrændsel | Varmerproduktion i 2012 (TJ) | *Brændselsforbrug 2012 (TJ) | Indfyret effekt (MW) | Eleffekt (MW) | Varmer effekt (MW) | Elvirkningsgrad | **Varmer virkningsgrad | Etableringsår | Forventet udfasningsår | Gasolie | Naturgas | Flis | Biogas | Træpiller |
| Herning by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Holstebrovej | Kedel | Naturgas | 72 | 69 | 95 | 0 | 95 | | 100% | 01-01-1969 | | 0,3 | 68,7 | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Nord varmecentral | Kedel 3 + 4 | Naturgas | 44 | 43 | 19 | 0 | 19 | | 103% | 01-01-1966 | | | 42,7 | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Nord varmecentral | Kedel 5 | | 0 | 0 | 19 | 0 | 19 | | 102% | 01-01-1986 | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Nord varmecentral | Kedel 6 | | 0 | 0 | 22 | 0 | 20 | | 109% | 04-05-2010 | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Vest | Kedel | | 0 | 0 | 35 | 0 | 35 | | 100% | 01-01-1955 | | 0,1 | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Baggeskærvej | Kedel | Biogas | 13 | 15 | 6 | 0 | 6 | | 100% | 01-01-1995 | | | 4,7 | | | 9,9 |
| EnergiGruppen Jylland, Baggeskærvej | Forbrændingsmo | Biogas | 79 | 165 | 7 | 3 | 3 | 37% | 48% | 01-03-1997 | | | 0,3 | | | 164,5 |
| Sinding, Ørre Biogasanlæg | Forbrændingsmotor | | 0 | 18 | 1 | 0 | 0 | 50% | 0% | 01-01-1988 | | | | | | 17,5 |
| Herning Renseanlæg | Forbrændingsmotor | | 10 | 25 | 1 | 0 | 0 | 32% | 42% | 25-11-1985 | | 0,3 | | | | 24,7 |
| Herningværket | Damptrubine | Flis og træpiller | 2692 | 4622 | 289 | 89 | 174 | 31% | 58% | 01-10-1982 | | | 454,0 | 3.133,1 | | 1.035,0 |
| Ikast by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ikast El- og Varmeværk | Kedel | Naturgas | 39 | 39 | 47 | 0 | 48 | | 101% | | | 0,0 | 39,4 | | | |
| Effektmarked DK A/S | Forbrændingsmo | Naturgas | 0 | 0 | 11 | 4 | 6 | 41% | 59% | 01-10-2005 | | | 0,3 | | | |
| Effektmarked DK A/S | Forbrændingsmo | Naturgas | 0 | 1 | 15 | 6 | 3 | 42% | 23% | 01-01-2006 | | | 0,3 | | | |
| Sunds by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sunds Varmeværk, Teglgårdvej | Kedel | | 0 | 0 | 7 | 0 | 7 | | 100% | 01-01-1962 | | | | | | |
| Sunds Varmeværk, Linåværet | Kedel | Gasolie | 1 | 1 | 8 | 0 | 8 | | 100% | 01-01-1981 | | 0,6 | | | | |
| Hammerum by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Hammerum | Kedel | Gasolie | 6 | 6 | 18 | 0 | 18 | | 100% | 01-01-1905 | | 6,4 | | | | |
| Gjellerup by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Gjellerup | Kedel | gasolie | 1 | 1 | 16 | 0 | 16 | | 100% | 01-01-1973 | | 1,0 | | | | |
| Lind by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Lind | Kedel | gasolie | 3 | 4 | 17 | 0 | 17 | | 100% | 01-01-1964 | | 3,9 | | | | |
| Kølkær by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Kølkær | Kedel | Træpiller | 21 | 25 | 2 | 0 | 2 | | 100% | 01-01-1994 | | 4,7 | | | | 19,8 |
| Tjørring by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Tjørring | Forbrændingsmo | Biogas | 10 | 17 | 2 | 1 | 1 | 34% | 53% | 01-01-1988 | | | | | | 16,5 |
| Snebjerg by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Nordgaden | Kedel | Gasolie | 3 | 4 | 14 | 0 | 14 | | 100% | 01-01-1964 | | 3,8 | | | | |
| Ilskov by | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Skarphusvej | Kedel | | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | | 100% | 01-09-2001 | | 0,1 | | | | |
| HI-Park, ved Ikast | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Mobil varmecentral | Kedel | | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | 100% | 01-10-1999 | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Mobil Frøgtcentrale | Kedel | | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | 100% | 01-01-2003 | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, HI-Syd | Kedel | | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | 100% | 01-01-2008 | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, Bach-gruppen | Kedel | | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | 100% | 01-01-2008 | | | | | | |
| EnergiGruppen Jylland, HI-Parken | Kedel | Naturgas | 1 | 1 | 20 | 0 | 20 | | 100% | | | | 0,8 | | | |
| Total | | | 2.996 | | | | 536 | | | | | | | | | |
| Heraf Herning by | | | 2.911 | | | | 371 | | | | | | | | | |
| Heraf Ikast by | | | 40 | | | | 58 | | | | | | | | | |
| Heraf Sunds by | | | 1 | | | | 15 | | | | | | | | | |
| Heraf HI-park | | | 1 | | | | 23 | | | | | | | | | |
| Heraf resterende byer (7 stk) | | | 44 | | | | 69 | | | | | | | | | |

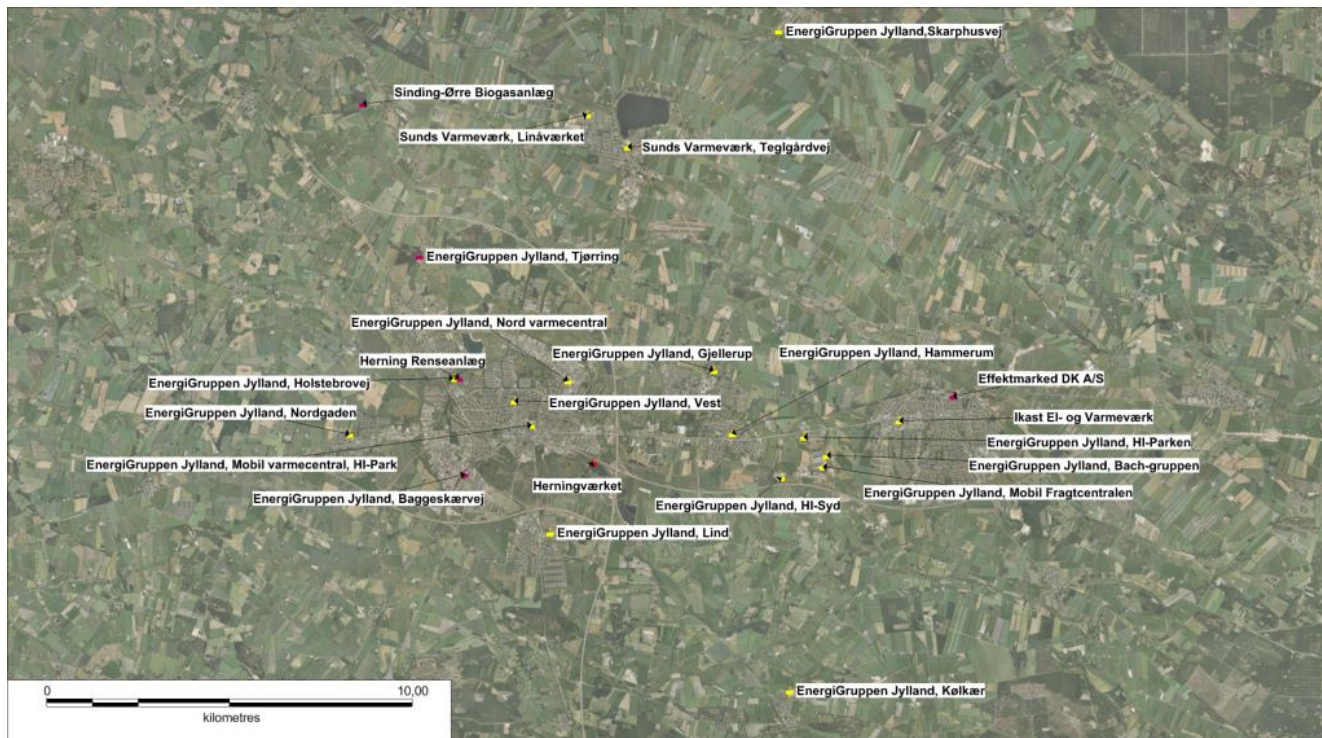
Oplysningerne i energiproducenttællingen er baseret på indmeldinger fra selskaberne. Data skal suppleres/verificeres i forbindelse med den videre proces.

* Brændselsforbruget jvf energiproducenttællingen for kedeldrift identisk med varmeproduktion svarer til den samlede el og varmeproduktion og den angivne totalvirkningsgrad

** Varmevirkningsgraderne er baseret på de angivne værdier for indfyret effekt og varmeeffekt.

De to gasmotoranlæg i Ikast – benævnt Effektmarked A/S opererer alene på effektmarkedet og producere reelt ikke meget varme.

Anlæggenes geografiske placering er illustreret nedenfor.



Figur 6 Geografisk oversigt varmeproduktionsanlæg

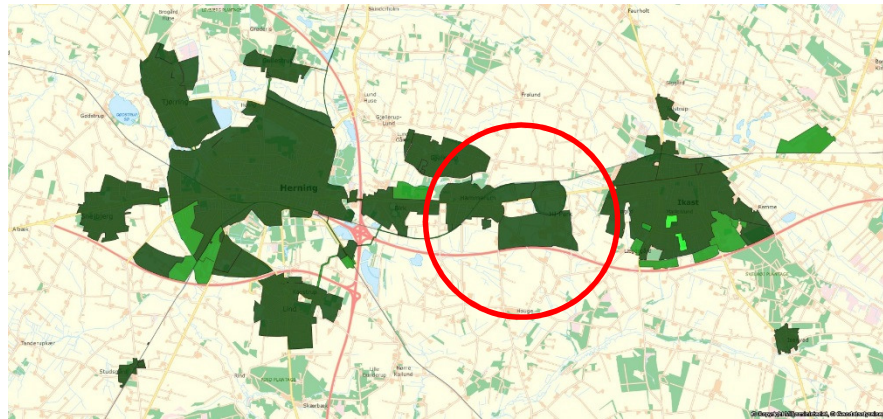
1.3 Fremtidig forsyningsstruktur

EnergiGruppen Jylland Varme A/S tilstræber at øge brugen af vedvarende ressourcer og på at anvende de mest miljøvenlige teknologier. Derfor gennemfører selskabet løbende pilot- og udviklingsprojekter, der skal skabe økonomiske og økologiske/miljømæssige forbedringer på fjernvarmeområdet.

I Herning området forventes der ikke nogen udbygning ud over det nye sygehus. I 2015 forventes behovet herfra at udgøre ca. 6.900 MWh og fuldt udbygget i 2020 udgør varmebehovet 9.000 MWh. Hertil kommer et øget nettab på knap 700 MWh.

Fra både Ikasts og Sunds side er det oplyst, at der ikke forventes nogen tilvækst i det fremtidige varmebehov – for Sunds vedkommende er kapaciteten i transmissionsledningen stort set fuldt udnyttet.

Ikast Værkerne (Ikast). EnergiGruppen (Herning) og Silkeborg har for 2-3 år siden i fællesskab fået gennemført en screening for geotermi. Med baggrund i denne er der peget på en eventuel placering i området omkring Ikast, Gjellerup og Hammerum. Det er valgt i nærværende projekt at tage udgangspunkt i en placering ved EnergiGruppens kedelcentral i Gjellerup. Med denne placering bør det vurderes nærmere om et eventuelt nyt geotermianlæg mest hensigtsmæssigt tilsluttes det sammenkoblede transmissionssystem eller kobles direkte på et af distributionssystemerne (Herning eller Ikast).



Figur 5 Mulig placering af geotermianlæg

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 Herning-Ikast

1 Indledning

Dansk Fjernvarmes Geotermiselskab, COWI og Ea Energianalyse har for Energistyrelsen udført beregninger af de økonomiske og tekniske forhold i et geotermianlæg i Herning-Ikast. 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.: Herning-Ikast_2014_08_28.docx) og data for fjernvarmeforsyningen i Herning-Ikast leveret af COWI på baggrund af forskellige datakilder, herunder data indhentet hos Energigruppen Jylland Varme, Ikast Værkerne Varme og Sunds Varmeværk (ref.: Beskrivelse af fjernvarmeområder gruppe 3, august 2014).

Der tages udgangspunkt i en placering af et eventuelt geotermianlæg ved kedelcentralen i Gjellerup på Virkelyst 62, 7400 Herning.

2 De geologiske forudsætninger

Geologisk set ligger Herning-Ikast 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 Herning-Ikast.

Usikkerheden på de geologiske parametre er høj, især på grund af stor afstand til boringer. De geologiske data, der indgår i beregningerne, er vist i Tabel 1.

| Formation | | Gassum Fm |
|--------------------------------------|----------|-----------|
| Terrænkote | moh | 66 |
| Dybde@midt reservoir | m TVD GL | 2105 |
| Temperatur@midt reservoir | °C | 65 |
| Tykkelse af formation | m TVT | 105 |
| Tykkelse af potentielt reservoirsand | m TVT | 26 |
| Transmissivitet | Dm | 16 |
| Seismik-anbefaling | km | 25 |

Tabel 1: Geologiske reservoirdata for Herning-Ikast.

(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. På den valgte placering findes en spidslast gaskedel. Et geotermianlæg med absorptionsvarmepumper vil derfor kræve etablering af nyt drivvarmeanlæg. På den valgte placering forudsættes al den producerede varme leveret til transmissionsnettet.

| | | |
|---|-------|-------------------|
| Varmegrundlag | TJ/år | 3145 |
| Eksisterende produktionsanlæg med forret. | MW | 0 |
| Fremløbstemperatur vinter | °C | 87 |
| Returløbstemperatur vinter | °C | 43 |
| Fremløbstemperatur sommer | °C | 82 |
| Returløbstemperatur sommer | °C | 50 |
| Mindste varmeeffekt (sommereffekt) | MW | Standard kurve |

Tabel 2: Energiforudsætninger for Herning Ikast.

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

5 Resultater

Resultaterne af anlægsberegninger er samlet i den følgende Tabel 3. Desuden vises resultater for hver geotermiPRO-beregning i en figur indeholdende anlægsskitse med energibalance, varighedskurve med

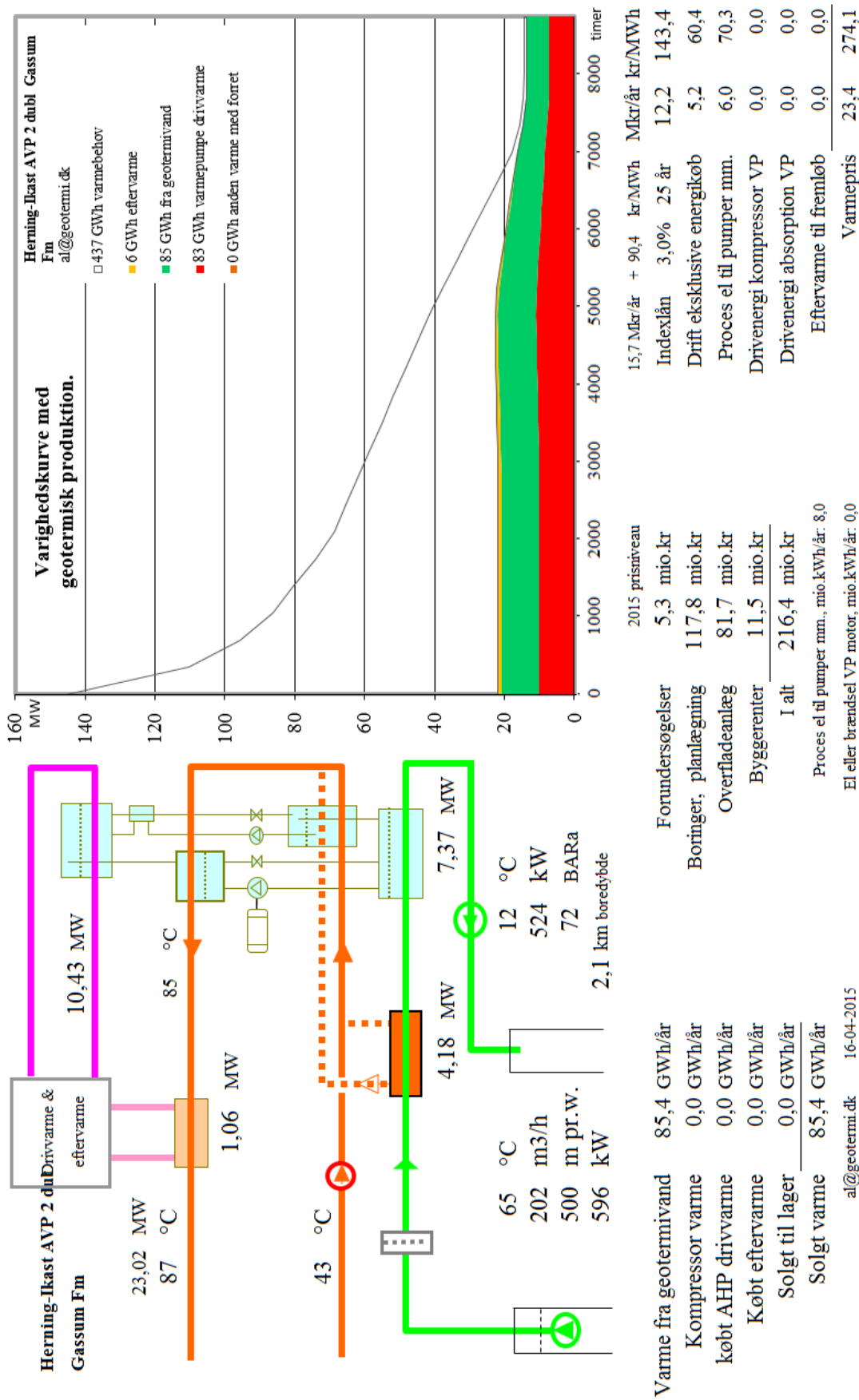
Figur 1. Resultater fra den supplerende anlægsberegning for et geotermianlæg med el-varmepumper er vist i Figur 2.

En anlægsberegning for et anlæg med absorptionsvarmepumper og placeret på én lokalitet, standardberegningen, viser at der med en samlet investering på 443 mio. kr. kan etableres et geotermianlæg med fire borer og med en kapacitet på 23 MW varme fra undergrunden og en total effekt inklusiv driv- og eftervarme på 46 MW.

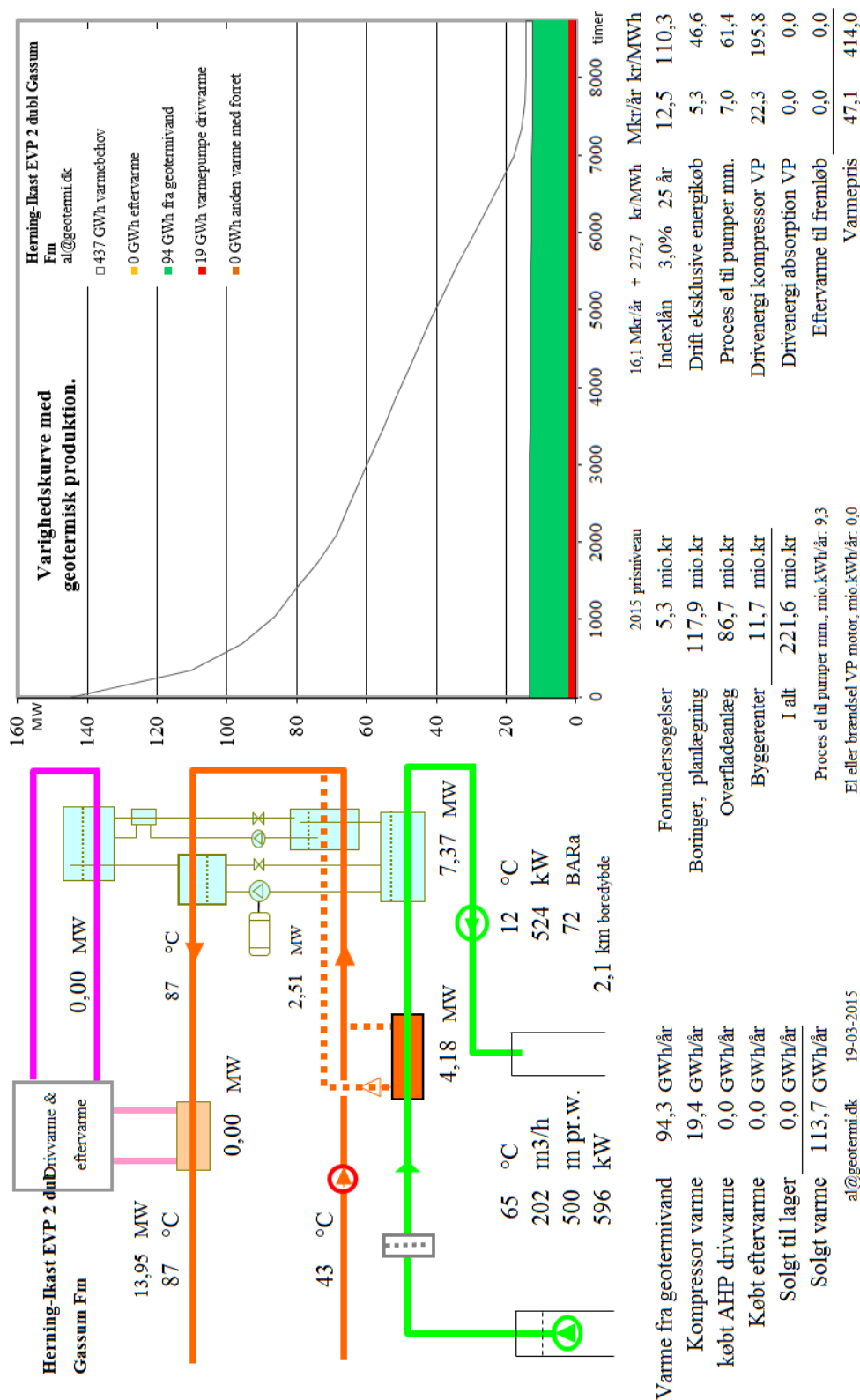
Med de generelle forudsætninger, herunder antagne energipriser og kalkulationsrente, resulterer dette i en årlig varmeproduktion fra undergrunden på 85 GWh/år og en forventet varmepris for geotermivarmen på 278 kr./MWh.

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

Usikkerheden på anlægsstørrelsen er vurderet til at være høj.



Figur 1: Output fra geotermiPRO.



Figur 2 – Elektrisk varmepumpe beregning for et anlæg med 4 boringer. Varighedskurven er halveret fra absorptionsvarmepumpe beregningen, for at vise afsætningsgrundlaget for 1 anlæg. Effekterne der er vist er også kun gældende for 1 anlæg, i tabellen er der vist de totale energiomsætning, samt anlægsomkostninger.

| Beregningsresultater 2 doubletter | Enhed | A) Absorptions varmepumper | | B) El-varmepumper | C) Kombination Absorptions og el VP |
|---|-------------|----------------------------|--------------|-------------------|-------------------------------------|
| | | Samlet anlæg | Opdelt anlæg | Samlet anlæg | |
| Anlægskapacitet (vinter) | | | | | |
| 1) Effekt fra geotermivand | MW | 23,101 | | 23,118 | 23,101 |
| 2) Effekt fra drivvarme | MW | 20,868 | | N/A | |
| 3) Effekt fra eftervarme | MW | 2,116 | | N/A | |
| 4) Varmeeffekt til fjernvarmevand | MW | 46,044 | | 27,897 | |
| 5) Proces el | MW | 2,365 | | 2,270 | |
| 6) Varmepumpe el | MW | N/A | | 5,021 | |
| Årsenergiomsætning, forholdstal | | | | | |
| 7) Varme fra geotermivand | % | 100,000 | | 100,000 | |
| 8) Drivvarme | % | 97,593 | | N/A | |
| 9) Eftervarme | % | 6,507 | | N/A | |
| 10) Varme til fjernvarmevand | % | 204,100 | | 120,609 | |
| 11) Proces el forbrug | % | 9,374 | | 9,867 | |
| 12) Varmepumpe el forbrug | % | N/A | | 20,609 | |
| Investeringsomkostninger | | | | | |
| 13) Samlet investering | mio. kr | 409,721 | | 419,805 | 512,121 |
| 14) Byggerenter | mio. kr | 23,075 | | 23,303 | 26,339 |
| Driftsomkostninger | | | | | |
| 15) Faste D&V omkostninger | mio. kr./år | 6,881 | | 7,060 | 8,667 |
| 16) Variable D&V omkostninger, eksklusiv energiforbrug, per MWh varme produceret fra geotermivand | kr./MWh | 20,140 | | 15,522 | |

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 Herning-Ikast. De fire scenarier som der vises resultater for er:

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

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

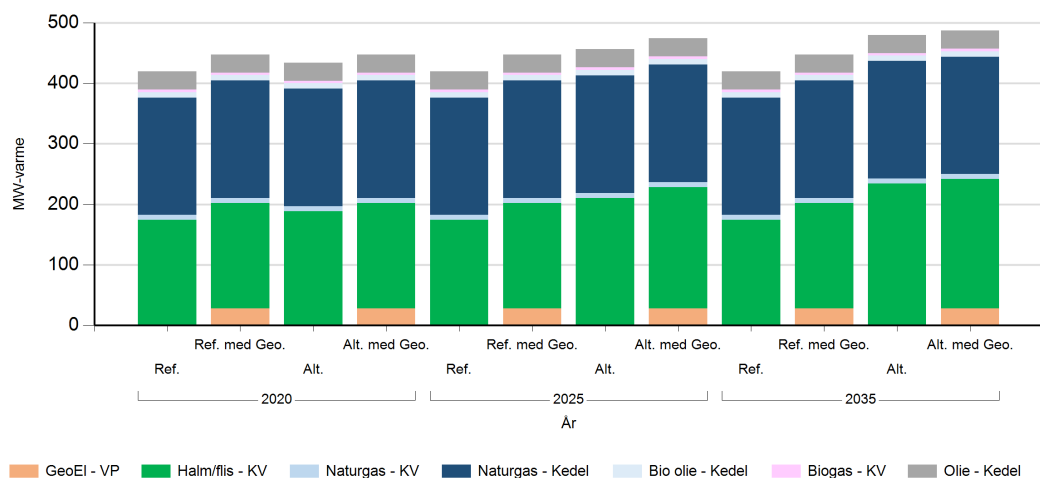
Denne rapport viser varmeproduktionskapaciteter, årlig fjernvarmeproduktion og månedlig fjernvarmeproduktion. Figur- og tabelforklaring er som følger:

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

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

Kapaciteter

Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper



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

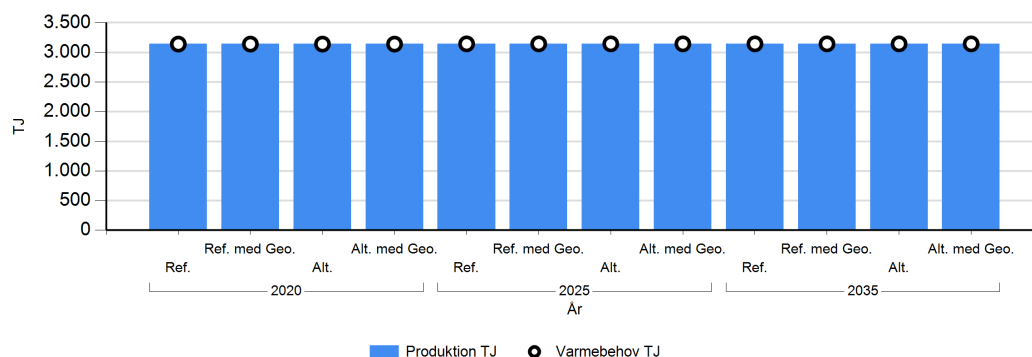
Fjernvarmeproduktionskapacitet - fordelt på brændsler og anlægstyper

| MW Brædsel 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. |
| GeoEI - VP | | 28.1 | | 28.1 | | 28.1 | | 28.1 | | 28.1 | | 28.1 |
| Halm/flis - KV | 174.0 | 174.0 | 188.6 | 174.0 | 174.0 | 174.0 | 210.6 | 200.5 | 174.0 | 174.0 | 234.2 | 213.5 |
| Naturgas - Kedel | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 | 194.0 |
| 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 |
| Naturgas - KV | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.2 |

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

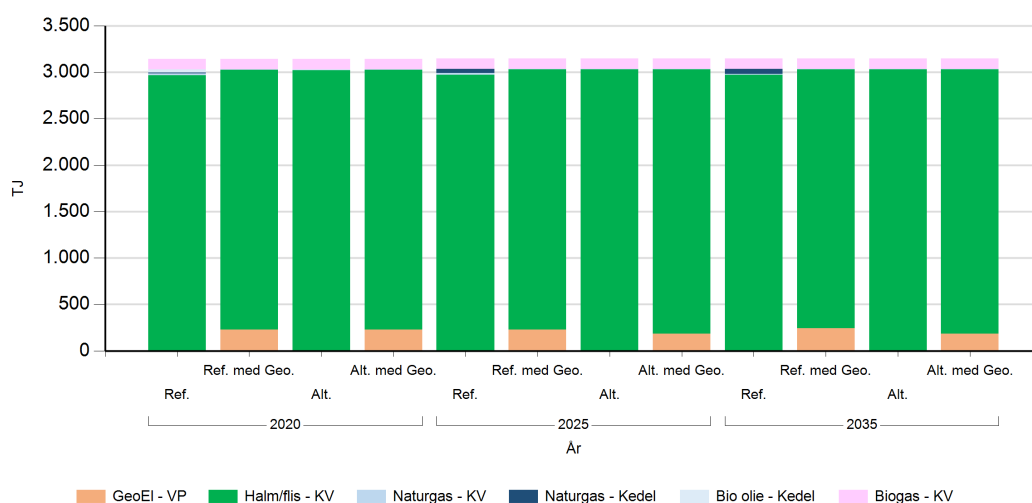
Fjernvarmeproduktion

Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov



Figur 2: Fjernvarmeproduktion i forhold til fjernvarmebehov for Herning-Ikast. 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 Herning-Ikast.

| TJ Brændsler og Anlægstype | 2020 | | | | 2025 | | | | 2035 | | | |
|----------------------------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|
| | Ref. | Ref. med Geo. | Alt. | Alt. med Geo. | Ref. | Ref. med Geo. | Alt. | Alt. med Geo. | Ref. | Ref. med Geo. | Alt. | Alt. med Geo. |
| Naturgas - KV | 20,7 | 1,8 | 9,0 | 1,8 | 19,8 | 2,6 | 0,8 | 0,8 | 13,0 | 1,0 | 0,3 | 0,3 |
| Halm/flis - KV | 2.965,7 | 2.802,3 | 3.018,8 | 2.802,3 | 2.968,7 | 2.806,6 | 3.033,7 | 2.850,3 | 2.969,4 | 2.793,4 | 3.034,5 | 2.851,5 |
| Bio olie - Kedel | 33,2 | | 2,6 | | | | | | | | | |
| Naturgas - Kedel | 10,8 | | | | 46,0 | | | | 52,4 | | | |
| Biogas - KV | 110,0 | 110,0 | 110,0 | 110,0 | 109,7 | 109,4 | 109,7 | 109,4 | 109,3 | 109,2 | 109,3 | 109,2 |
| GeoEI - VP | | 226,2 | | 226,2 | | 225,6 | | 183,7 | | 240,5 | | 183,1 |

Tablet 2: Fjernvarmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Herning-Ikast.

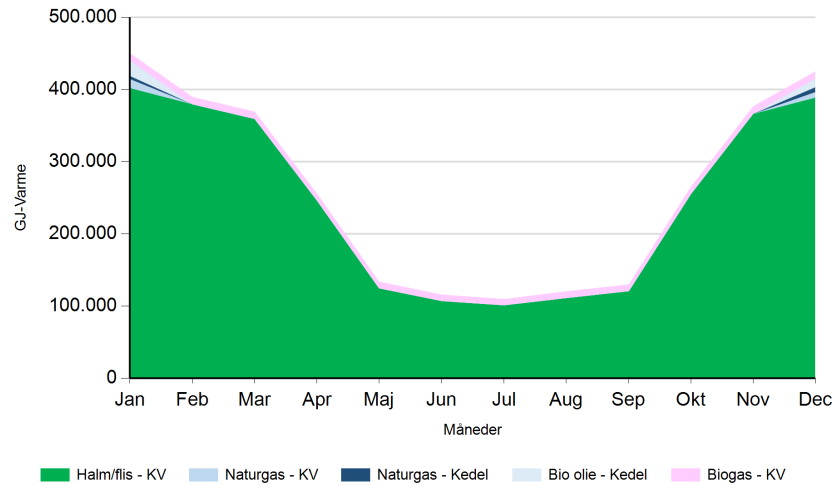
Fuldstimer for varmeproduktion

| 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. |
| Naturgas - KV | 704 | 61 | 307 | 61 | 673 | 87 | 26 | 26 | 444 | 34 | 11 | 11 |
| Halm/flis - KV | 4.734 | 4.474 | 5.098 | 4.474 | 4.739 | 4.480 | 4.378 | 4.343 | 4.740 | 4.460 | 4.335 | 4.518 |
| Bio olie - Kedel | 1.023 | | 79 | | | | | | | | | |
| Naturgas - Kedel | 16 | | | | 66 | | | | 75 | | | |
| Biogas - KV | 7.256 | 7.256 | 7.256 | 7.256 | 7.237 | 7.215 | 7.237 | 7.215 | 7.212 | 7.205 | 7.212 | 7.205 |
| GeoEl - VP | | 2.236 | | 2.236 | | 2.230 | | 1.816 | | 2.377 | | 1.810 |

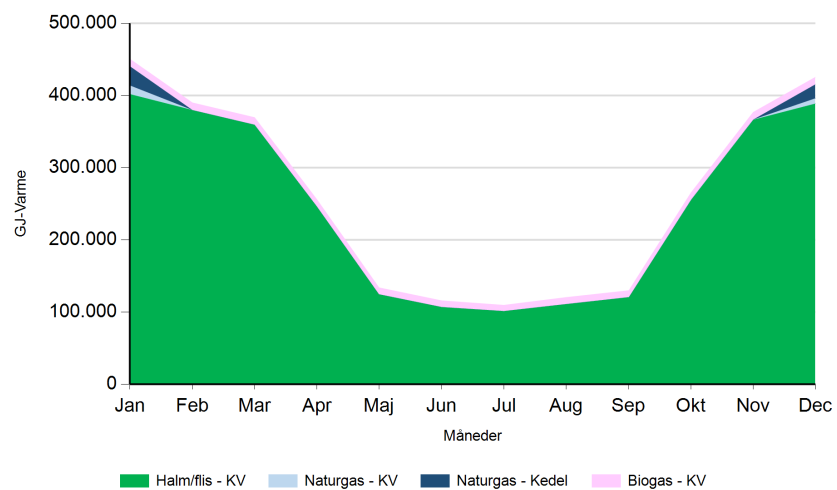
Tabel 4: Antal af fuldstimer for varmeproduktion i Herning-Ikast.

Månedlig varmeproduktion fordelt på brændsler og anlægstyper for Herning-Ikast.

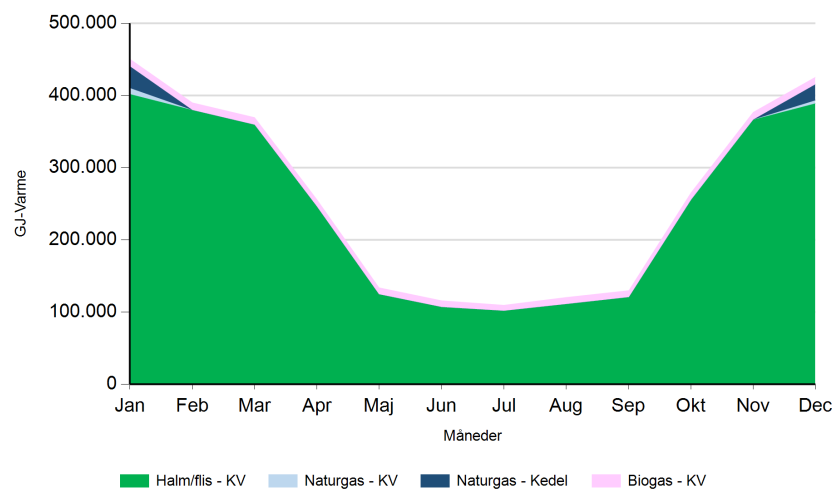
Ref. 2020



2025

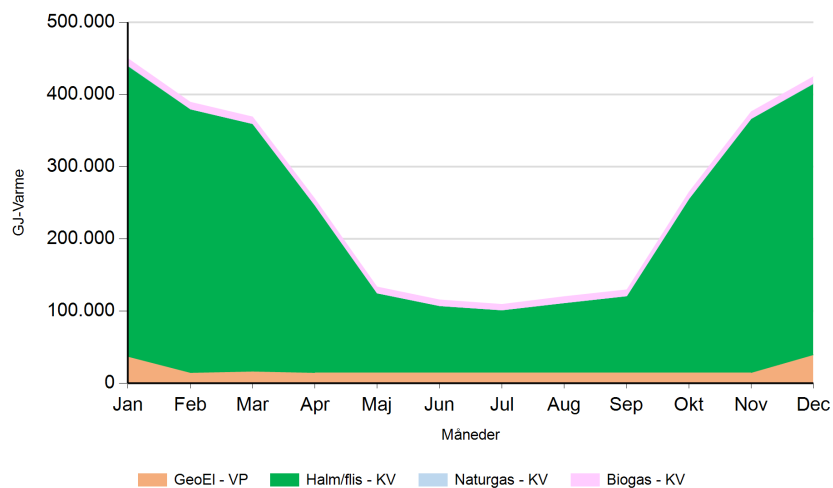


2035

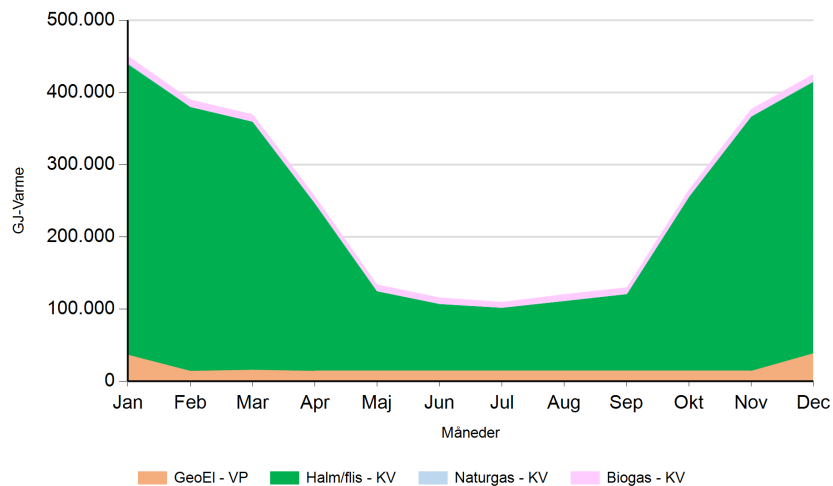




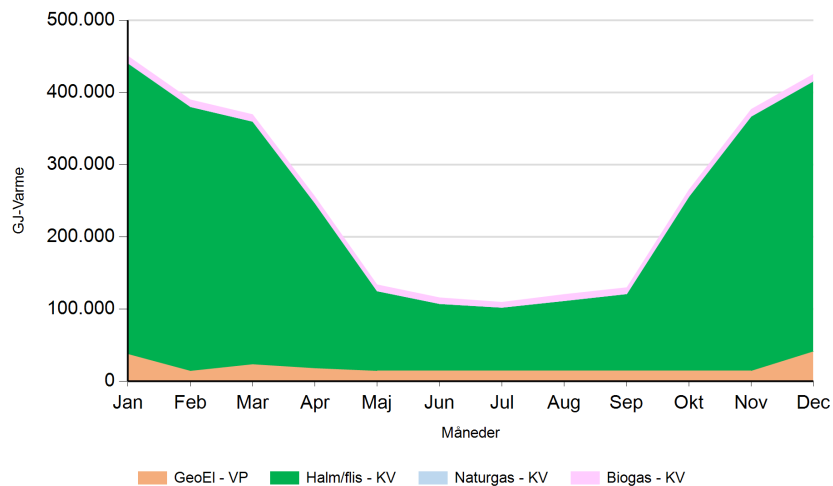
Ref. med Geo. 2020



2025



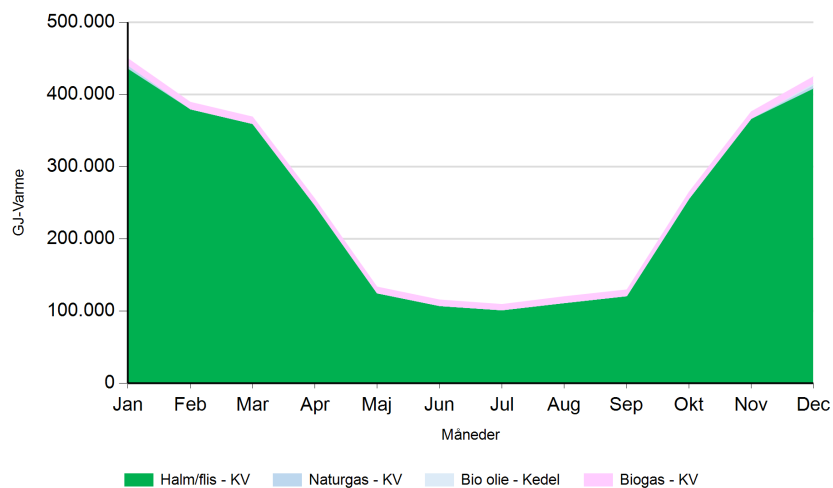
2035



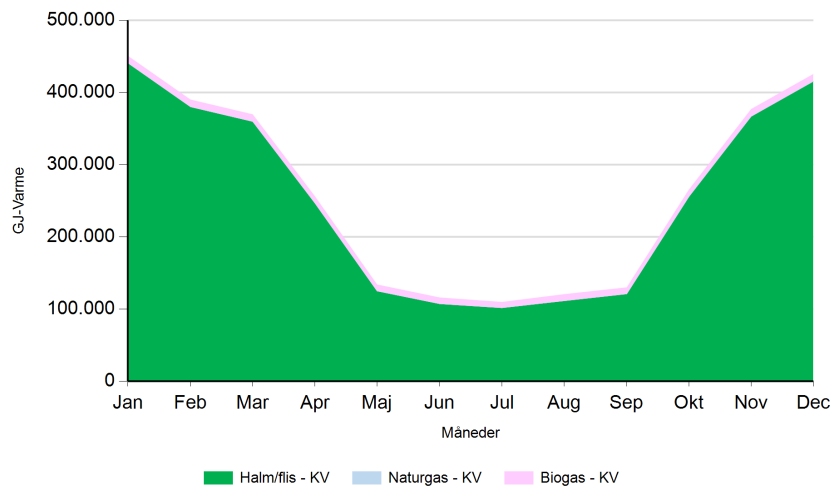


Alt.

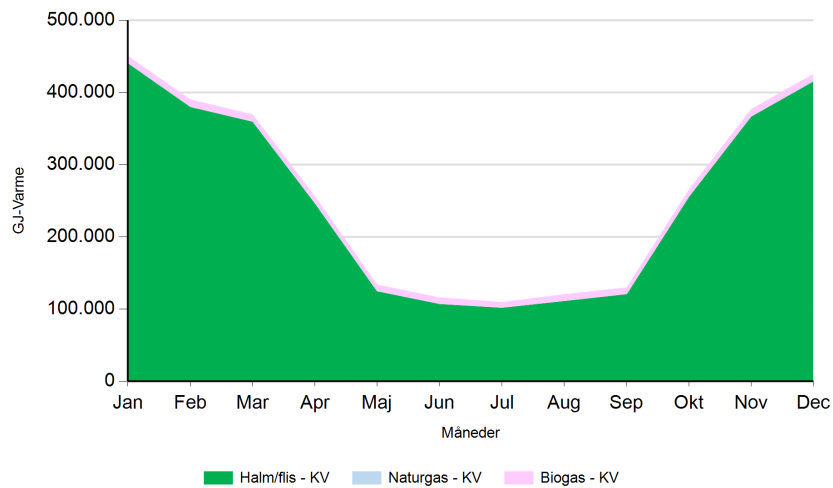
2020



2025

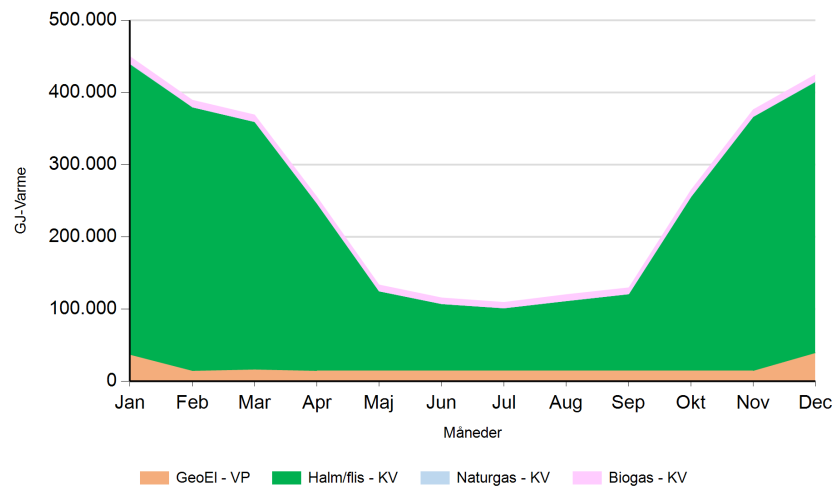


2035

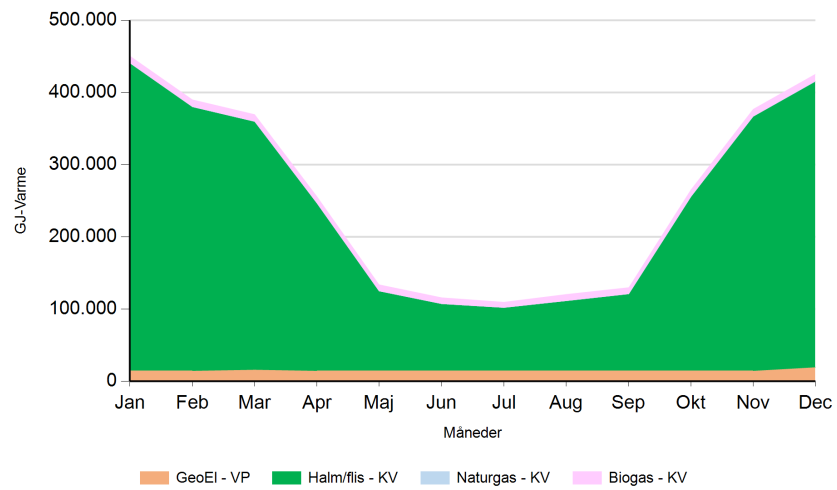




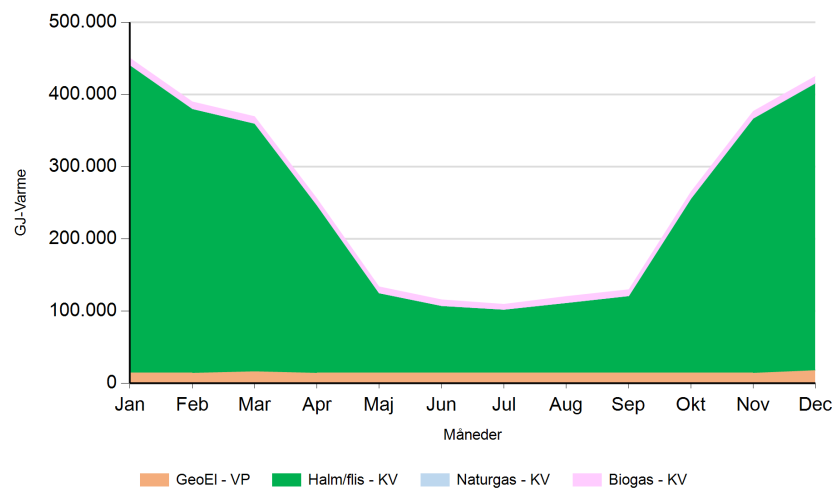
Alt. med Geo. 2020



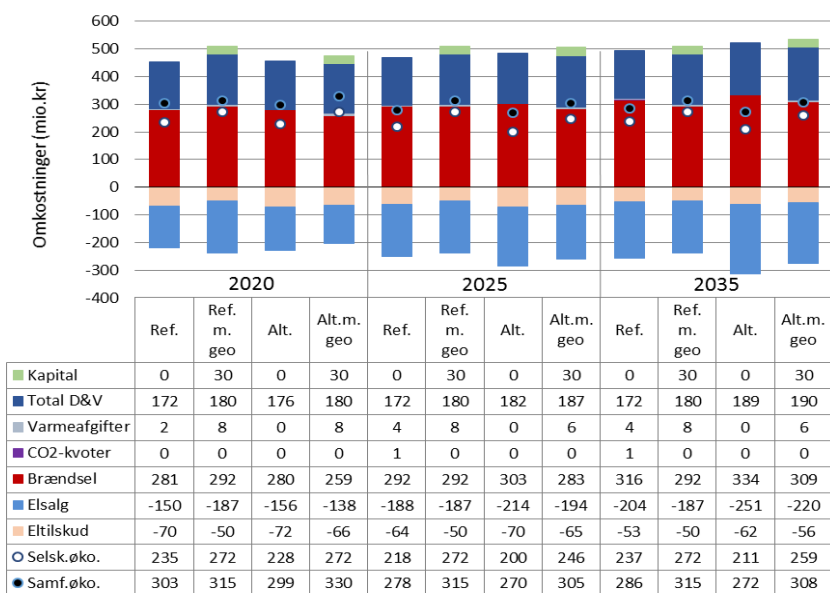
2025



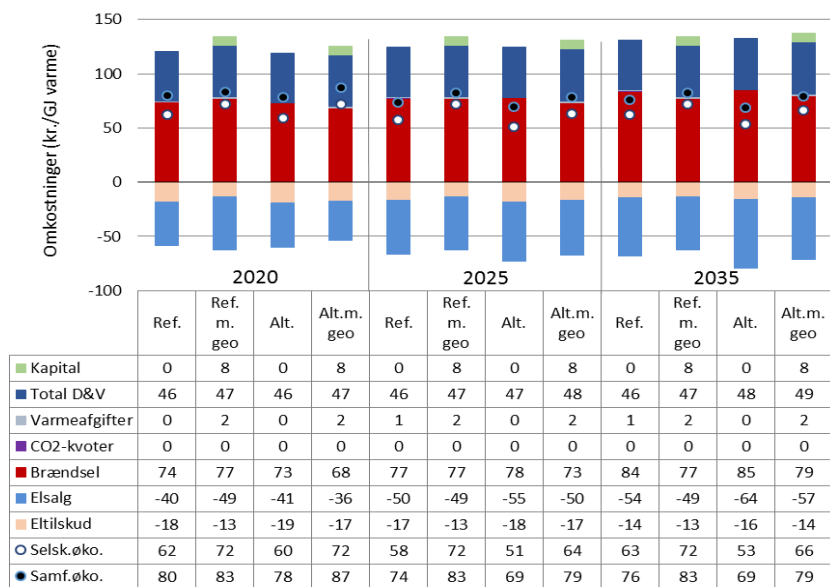
2035



Figur 5: Fjernvarmeproduktion over året fordelt på brændsler og anlægstyper for Herning-Ikast.



Figur 6: Samlede varmeomkostninger for området Herring



Figur 7: Samlede varmeproduktionsomkostninger for området Herring

Det geotermiske screeningsprojekt

Herning-Ikast 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 Herning-Ikast-lokaliteten | 8 |
| 3.1 | Anbefalinger | 10 |
| 4. | Datagrundlag | 11 |
| 5. | Gennemgang af data | 13 |
| 5.1 | Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer | 13 |
| 5.1.1 | Seismisk tolkning og kortlægning..... | 13 |
| 5.1.2 | Boringsdata | 15 |
| 5.2 | Reservoirkvalitet | 18 |
| 5.2.1 | Tolkning af lithologi..... | 22 |
| 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 |
| 6. | Referencer | 29 |

1. Introduktion

I denne rapport præsenteres relevante geologiske data som grundlag for en vurdering af de dybe geotermiske muligheder ved en lokalitet beliggende mellem Herning og Ikast på adressen Virkelyst 62, 7400 Herning (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).

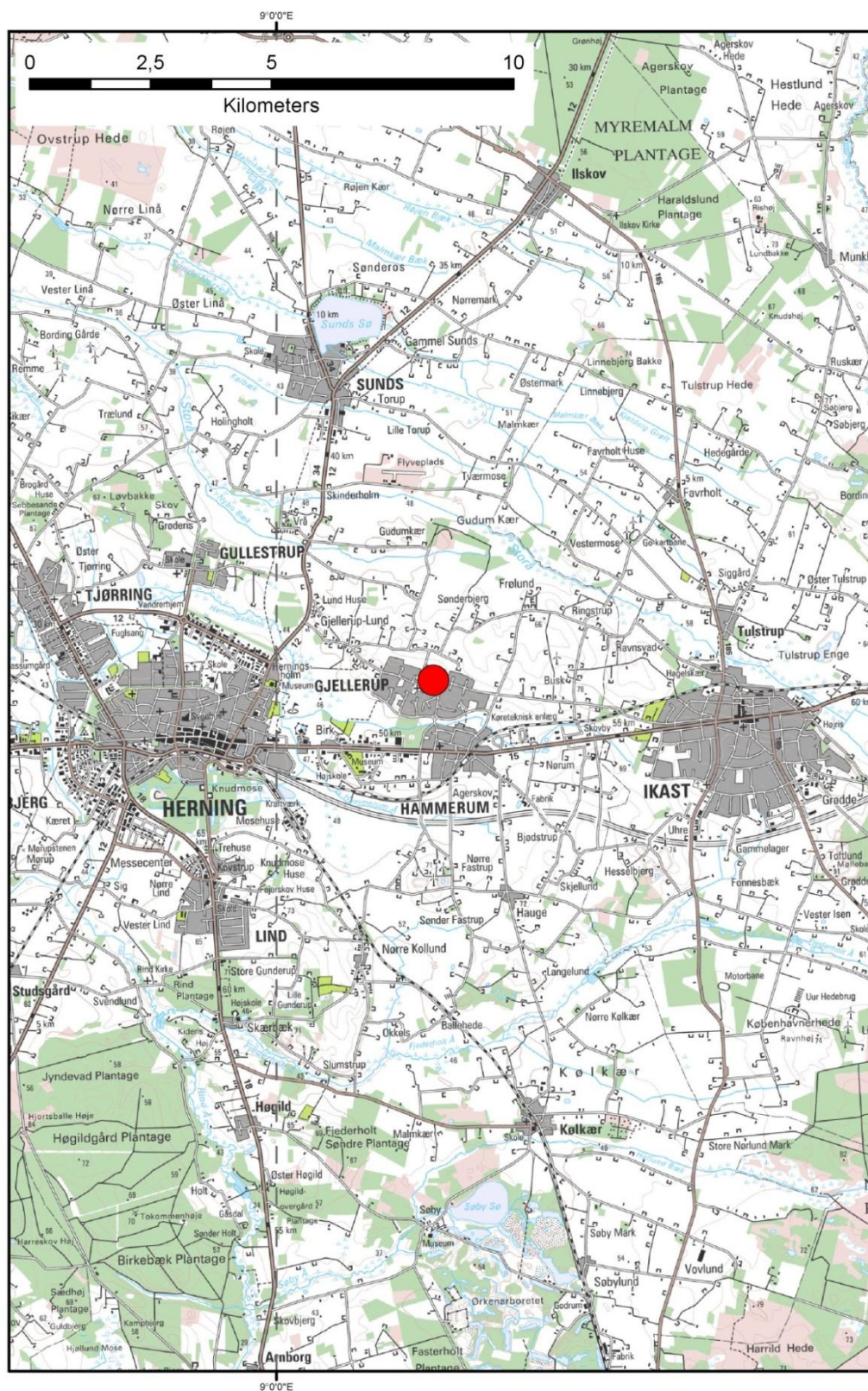
Herning-Ikast fjernvarmeområde udgør ét af 28 fjernvarmeområder, der skal screenes for de geotermiske muligheder ved en udvalgt lokalitet. Screeningen sker for midler afsat i den Enerkipolitiske aftale af 22. marts 2012. De 28 fjernvarmeområder er i udgangspunktet valgt ud fra, at deres varmemarked er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

De geologiske data fra screeningen af de 28 fjernvarmeområder indgår i en Geotermi WebGIS portal, hvori relevante geologiske data sammenholdes med henblik på at lave en screening af det geotermiske potentiale på landsplan. WebGIS portalen er under udarbejdelse af GEUS for midler, der ligeledes er afsat i den Enerkipolitiske 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 Herning-Ikast-området, 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 Herning-Ikast-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 godt 25 meter sandsten, der er beliggende mere end 2050 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 Herning-Ikast-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 porta-

len. 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) mellem Herning og Ikast.

2. Geologisk baggrund

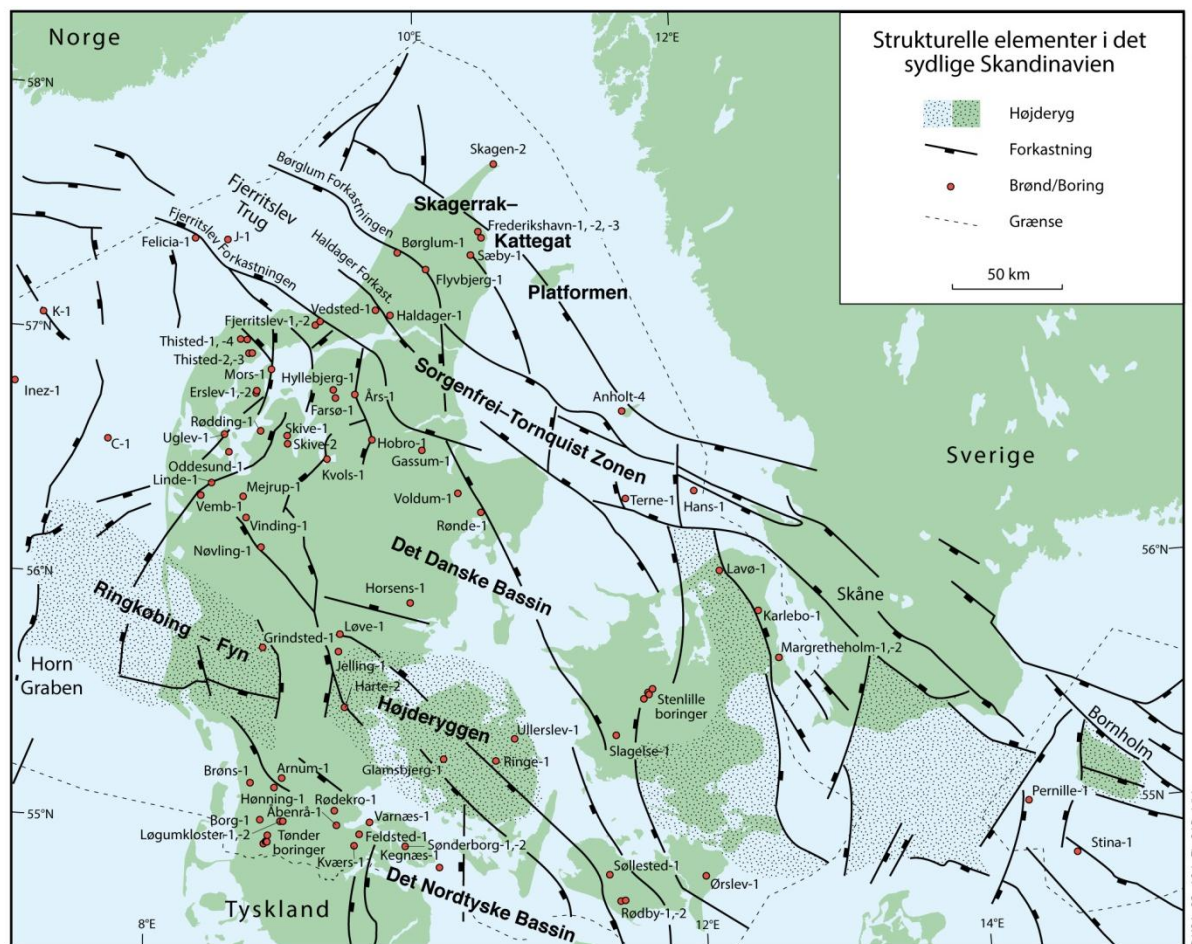
Herning-Ikast-området er beliggende i det Danske Bassin, som udgør den sydøstlige del af det Norsk–Danske Bassin, der blev dannet ved strækning af skorpen i Tidlig Perm tid. Mod syd afgrænses bassinet fra det Nordtyske Bassin ved Ringkøbing–Fyn Højderyggen, der er en del af et regionalt VNV–ØSØ-gående 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 Herning-Ikast-området er Øvre Perm – Kvartær lagserien 3,5–4,5 km tyk (Vejbæk & Britze 1994). I området vurderes potentielle geotermiske sandstensreservoirs primært at være til stede i den Øvre Triassiske – Nedre Jurassiske Gassum Formation (Mathiesen et al. 2013). Dette er baseret på, at formationen vides at kunne indeholde geotermiske sandstensreservoirs, og at den 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 udgør det bedst kendte sandstensreservoir i Danmark og udnyttes til geotermisk indvinding i Thisted og Sønderborg samt til gaslagring ved Stenlille. Formationen er vidt udbredt i det Danske Bassin og til dels også i den danske del af det Nordtyske Bassin med en generel tykkelse på 30–150 meter og med tykkelser på op til mere end 300 meter i Sorgenfrei–Tornquist Zonen (Nielsen 2003). Derimod synes formationen generelt ikke at være til stede henover Ringkøbing–Fyn Højderyggen og langs dens flanker. Endvidere kan formationen stedvis mangle på grund af lokal 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 transporterede store mængder af sand eroderet fra det Skandinaviske grundfjeldsområde og i mindre grad også fra Ringkøbing–Fyn Højderyggen i perioder, hvor denne var blotlagt. Noget af sandet blev afsat i flodkanaler og estuarier, men det meste blev aflejret i havet som kystsand. Herved blev der dannet forholdsvis sammenhængende sandstenslegemer med stor geografisk udbredelse. Senere forkastningsaktivitet har i nogle områder dog ændret på dette, ligesom senere kompaktion og mineraludfældninger (diagenese) har modificeret 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 Herning-Ikast-lokaliteten

De geologiske data for Gassum Formationen ved Herning-Ikast-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. 1986–2091 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. 65 °C i midten af formationen. De øvrige parameterværdier vurderes rimelige med hensyn til det geotermiske potentiale. Reservoirtransmissiviteten er et udtryk for reservoirsandets geotermiske ydelse og er dermed en vigtig parameter. Denne bør være større end 10 Darcy-meter (Mathiesen et al. 2013*), og er vurderet til 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 reservoirkvalitet 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 lerindhold (<30 %).

Området omkring Herning og Ikast er strukturelt kompliceret med flere saltstrukturer og relaterede forkastninger, der gennemskærer den overliggende lagserie. Prognoselokaliteten er beliggende over en randsænkning mellem saltstrukturer, og i nærområdet til lokaliteten (inden for 2 km) er der ikke observeret forkastninger, som går gennem Gassum Formationen. Den seismiske datatæthed og -kvalitet er rimelig i området, men dog ikke tilstrækkelig til at udelukke, at der forekommer forkastninger, som opsplitter Gassum Formationen i nærheden af prognoselokaliteten. Hvis der er forkastninger til stede, og disse ikke kortlægges, er der risiko for, at eventuelt kommende geotermiske produktions- og injektionsboringer placeres, så de ikke er i tilstrækkelig hydraulisk kontakt med hinanden.

Med hensyn til dæklag, der erfaringsmæssigt kan være nødvendige at fokusere på i boreprocessen, vurderes Fjerritslev Formationen til at være omkring 265 meter tyk med toppen liggende ca. 1721 m.u.h. Kridt og Danien lagseriens kalkaflejringer vurderes til at være ca. 876 meter tykke og beliggende ca. 611–1487m.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.

| Herning-Ikast-lokaliteten | | | |
|---|--|--|--|
| UTMz32 X: 503.245 m; Y: 6.222.412 m Terrænkote: ca. 66 meter over havniveau (m.o.h.) | | | |
| Gassum Formationen | Estimeret værdi | Vurderet usikkerhed¹ | Usikkerhedsinterval² |
| | | | [MinCase - MaxCase] |
| Makro reservoirparametre | | | |
| Dybde til top af formation [m.u.h.] | 1986 | 10 ³ | 1787–2185 |
| Tykkelse af formation [m] | 105 | 20 ³ | 84–126 ³ |
| Andel af sandsten i formationen | | | |
| Tykkelse af Gross sand [m] | 32 | 20 ³ | 26–39 ³ |
| Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m] | 26 | 20 ³ | 21–32 ³ |
| Potentielt reservoirsand/formation ⁵ | 0,25 | 20 ³ | 0,20–0,30 ³ |
| Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶ | 0,82 | 20 ³ | 0,65–0,98 ³ |
| Vandlevende egenskaber (reservoirsand) | | | |
| Porøsitet [%] | 24 | 15 ³ | 21–28 ³ |
| Gas-permeabilitet [mD] | 481 | 5 ⁷ | 96–2403 ⁷ |
| Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD] | 601 | 5 ⁷ | 120–3005 ⁷ |
| Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm] | 16 | 6 ⁷ | 3–94 ⁷ |
| Temperatur | | | |
| Temperatur ¹⁰ [°C] | 65 | 10 ³ | 59–72 ³ |
| Tekstur og cementering (sandsten) | | Vurdering | |
| Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad | Hovedsageligt fin til mellem kornstørrelse, i enkelte niveauer også grovkornet; ringe sorteret til velsorteret; subkantede til afrundede korn | | |
| Diagenese/cementering | Svagt til mellem cementeret, hovedsageligt svagt kalkholdige til kalkholdige | | |
| Andre betydende parametre | | Vurdering | |
| Salinitet | Kloridkoncentrationen er væsentlig under mætningspunktet for NaCl | | |
| Sedimentologisk kontinuitet | Stor | | |
| Strukturel kontinuitet | Lille; mange saltstrukturer i området. Lokaliteten er beliggende over en randsænkning mellem saltstrukturer. I nærområdet til lokaliteten (inden for 2 km) er der ikke observeret forkastninger, som skærer Gassum Formationen | | |

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

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

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

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

⁵ Tykkelse af Potentielt reservoirsand divideret med Tykkelse af formation.

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

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

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

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

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

3.1 anbefalinger

De eksisterende seismiske data bør suppleres med en indsamling af seismiske data syd for lokaliteten. Dette vil muliggøre en rumlig kortlægning af eventuelle forkastninger, der gennemskærer Gassum Formationen i nærheden af prognoselokaliteten samt udgøre et grundlag til at bestemme de mest optimale placeringer for geotermibrøndene. Endvidere vil dybden til Gassum Formationen og dens tykkelse herved kunne fastlægges mere præcist og dermed indirekte også flere af reservoirværdierne, herunder transmissiviteten og temperaturen. Det vurderes, at der skal indsamles i størrelsesordenen af 25 km ny seismik.

4. Datagrundlag

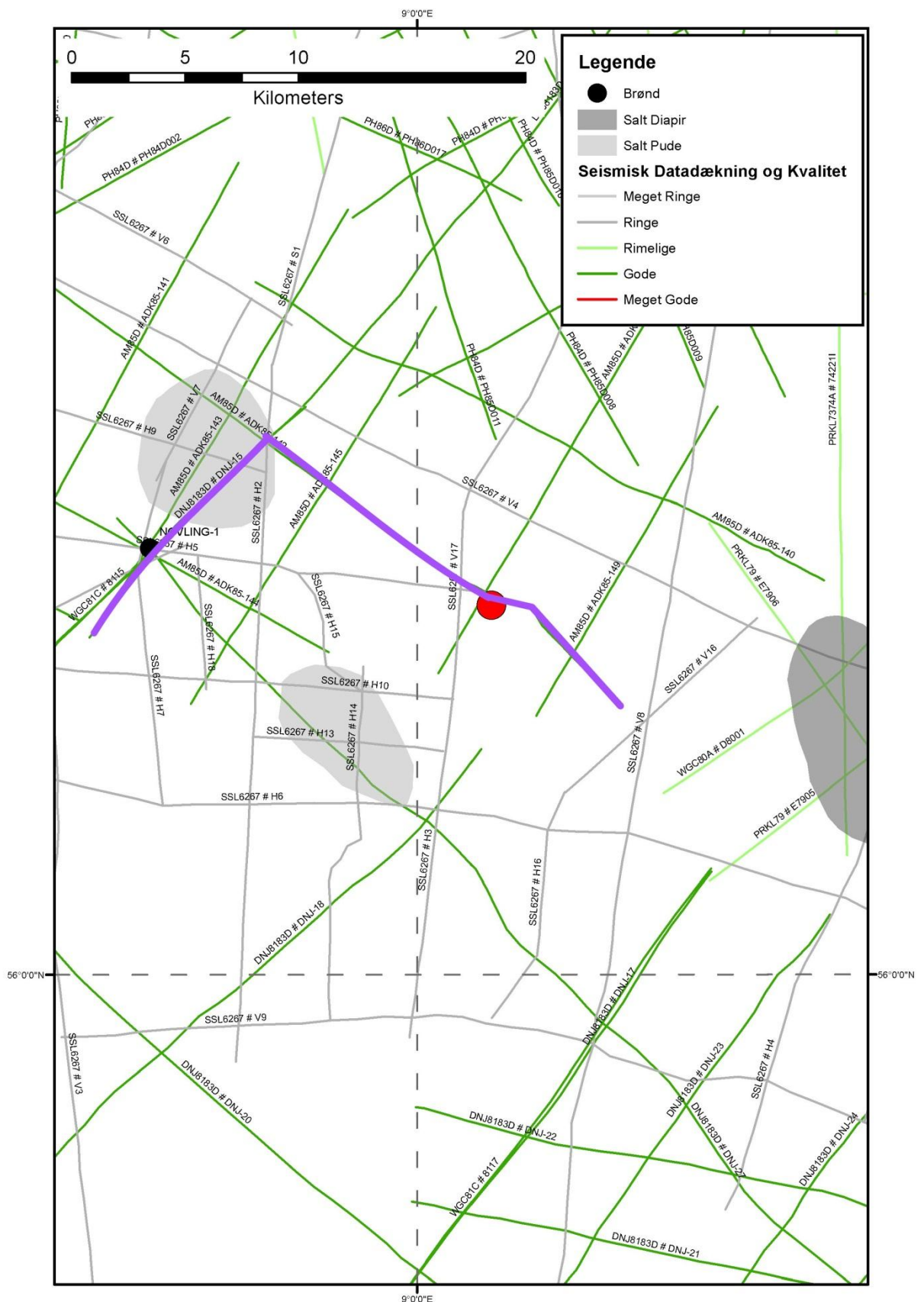
I Figur 3 er den tilgængelige database i Herning-Ikast-området og i regionen vist i form af placeringen af Nøvling-1 brønden samt placering og kvalitet af seismiske linjer.

De nærmeste dybe brønde er Nøvling-1, Vinding-1 og Mejrup-1, der er placeret henholdsvis 15, 28 og 35 km fra prognoselokaliteten (Figur 2). Derefter følger Løve-1, Grindsted-1, Kvols-1 og Jelling-1 i en afstand på mere end 43 km. GEUS er ikke i besiddelse af en log-suite for Vinding-1, og det er derfor ikke muligt at estimere reservoirgenskaberne for Gassum Formationen i denne brønd. Kvaliteten af brøndata er god for Mejrup-1, men derimod ret ringe for Nøvling-1. Brønddækningen er ringe i vurderingen af prognoselokaliteten på grund af de forholdsvis store afstande mellem brøndene og prognoselokaliteten kombineret med en strukturelt kompliceret undergrund. I Tabel 4.1 fremgår dybdeinterval og tykkelse af Gassum Formationen i Nøvling-1, Vinding-1 og Mejrup-1. 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 og kvaliteten af de seismiske data er rimelig. Der er dog ikke indsamlet seismiske data umiddelbart syd for lokaliteten. Nærmeste seismiske linje til prognoselokaliteten er en nordvest-sydøst orienteret linje, der passerer ca. 500 meter nord om lokaliteten.

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

| | | Nøvling-1 (15 km) | Vinding-1 (28 km) | Mejrup-1 (35 km) |
|----------------|------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Kalk Gruppen | Dybdeinterval (m.u.h.) | 474–1259 | 492–1235 | 496–1382 |
| | Tykkelse (m) | 785 | 744 | 886 |
| Fjerritslev Fm | Dybdeinterval (m.u.h.) | 1443–1778 | 1396–1539 | 1702–2177 |
| | Tykkelse (m) | 335 | 143 | 475 |
| Gassum Fm | Dybdeinterval (m.u.h.) | 1778–1863 | 1539–1590 | 2177–2281 |
| | Tykkelse (m) | 85 | 51 | 105 |



Figur 3: Placering af prognoselokalitet (rød cirkel) og Nøvling-1 brønden samt placering og kvalitet af seismiske linjer i regionen. De dele af de seismiske linjer DNJ-16 og ADK85-142, som er fremhævet med fed lilla streg, er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.

5. Gennemgang af data

I dette afsnit dokumenteres datagrundlaget og hvordan de geologiske nøgledata i Tabel 3.1 er fremkommet samt delvis hvilke betragtninger og antagelser, der ligger bag dem.

5.1 Udbredelse og kontinuitet af formationer og interne reservoirer

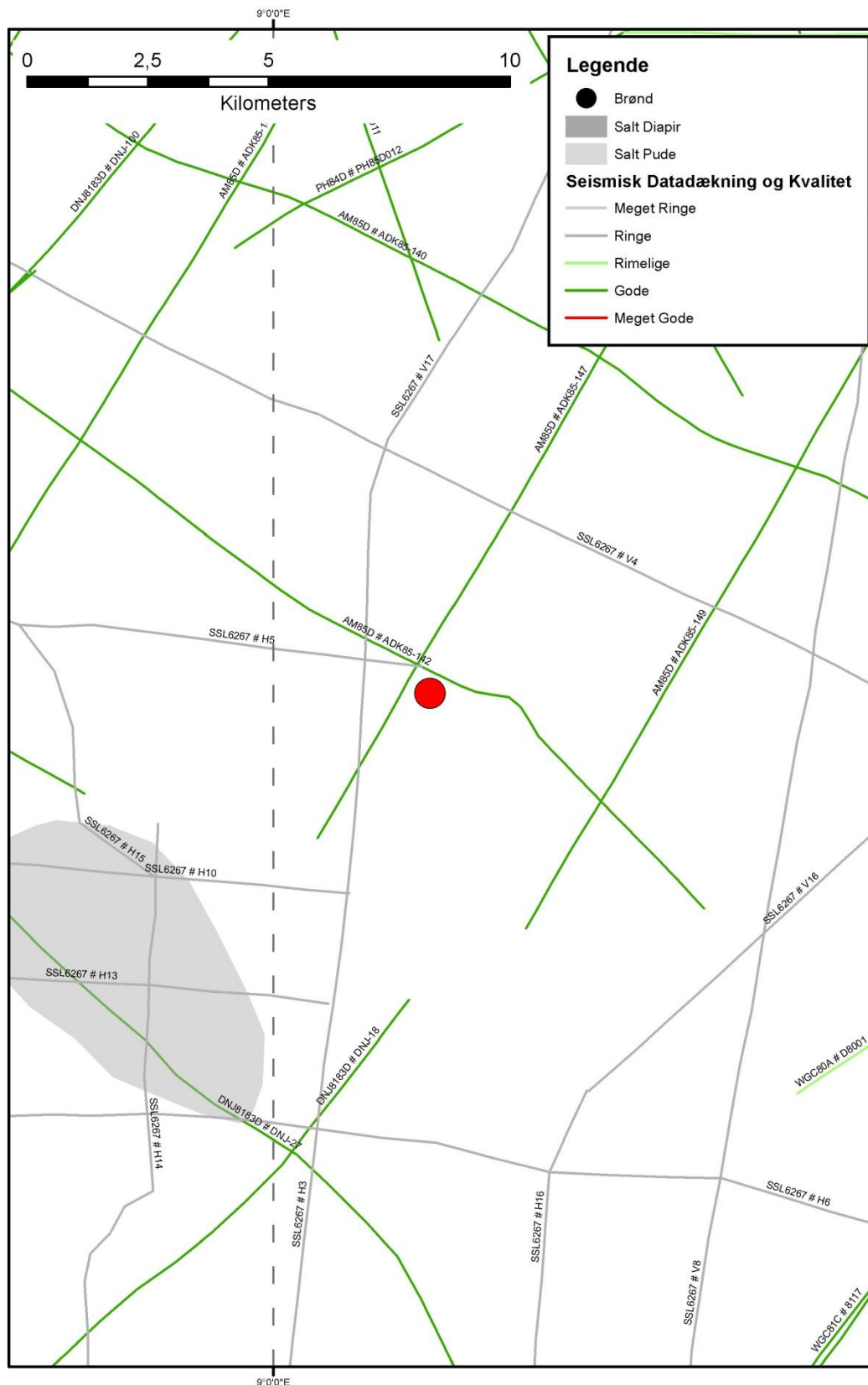
5.1.1 Seismisk tolkning og kortlægning

Dybder og tykkelser af udvalgte lagserier i undergrunden ved prognoselokaliteten ses i Tabel 5.1 og er baseret på delresultater af en igangværende og meget omfattende seismisk kortlægning, der vil munde ud i landsdækkende dybdekort til vigtige seismiske horisonter og formationsgrænser. Ud fra den seismiske kortlægning vurderes Gassum Formationens top at være til stede ca. 1986 m.u.h. ved prognoselokaliteten med en vurderet usikkerhed på $\pm 10\%$. Formationens tykkelse vurderes til at være 105 meter med en usikkerhed på $\pm 20\%$.

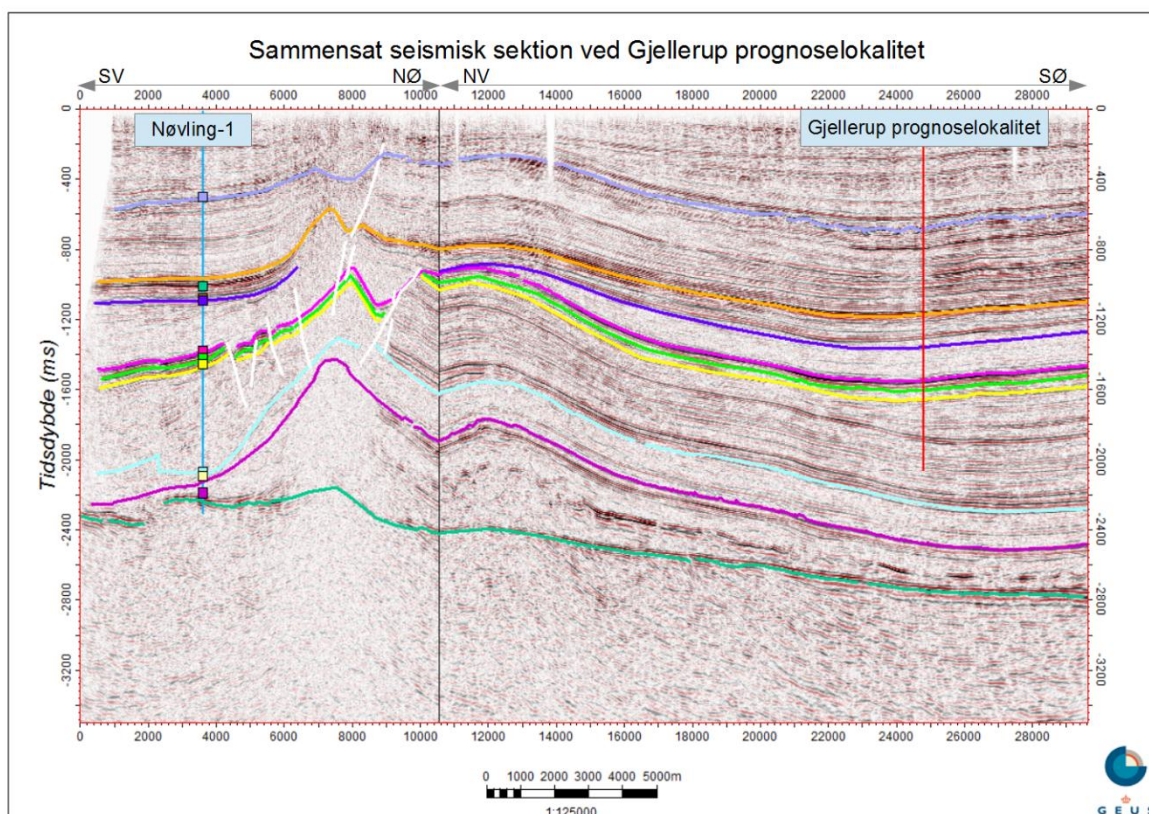
De seismiske linjer DNJ-16 og ADK85-142 (Figur 3 og 4) er anvendt til at sammenstille et seismisk profil, der passerer nord om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 500 m. Profilet er vist med tolkede seismiske horisonter i Figur 5. Det fremgår af profilet, at undergrunden er strukturelt kompliceret med flere saltstrukturer, der løfter de overliggende lag, som endvidere mange steder gennemskæres af forkastninger. Prognoselokaliteten er beliggende over en randsækning mellem saltstrukturer, og i nærområdet til lokaliteten (inden for 2 km) er der ikke observeret forkastninger, som skærer Gassum Formationen.

Tabel 5.1: *Dybdeintervaller og tykkelser af udvalgte lagserier ved prognoselokaliteten, som er estimeret på baggrund af den igangværende landsdækkende seismiske kortlægning og data fra de nærmeste boringer.*

| Prognoselokalitet | Dybdeinterval (m.u.h.) | Tykkelse (m) |
|--------------------------------|------------------------|--------------|
| Danien kalksten & Kalk Gruppen | 611–1487 | 876 |
| Fjerritslev Fm | 1721–1986 | 265 |
| Gassum Fm | 1986–2091 | 105 |



Figur 4: Indsamlede seismiske linjer omkring prognoselokaliteten. Dele af de seismiske linjer DNJ-16 og ADK85-142 (markeret på Figur 3) er anvendt til at fremstille et seismisk profil med tolkede seismiske horisonter i Figur 5.



Figur 5: S sammensat seismisk profil baseret på de seismiske linjer DNJ-16 og ADK85-142. ADK85-142 passerer nord om prognoselokaliteten i en afstand af ca. 500 m (Figur 3). Prognoselokaliteten er projiceret vinkelret ind på profilet, og er markeret med en rød, lodret streg. Nøvling-1 er projiceret vinkelret ind på linjen DNJ-16. Det fremgår af profilet, at undergrunden er strukturelt kompleks med flere saltstrukturer, der løfter den overliggende lagserie, som endvidere mange steder gennemskæres af forkastninger (angivet som stejle hvide streger). Lokaliteten er beliggende over en randsænkning mellem saltstrukturer. I nærområdet til lokaliteten (inden for 2 km) er der ikke observeret forkastninger, som skærer Gassum Formationen. Dybde er angivet som seismisk to-vejs-tid i millisekunder. Oppefra og ned er følgende tolkede horisonter vist på figuren: Top kalk (lyslilla), Basis af Kalkgruppen (orange), Top Fjerritslev Fm (lilla), Top Gassum Fm (lyserød), Top Vinding Fm (lysegrøn), Top Oddesund Fm (gul), Top Bunter Sandsten Fm (lyseblå), Top Zechstein (lyserød) og Top Pre-Zechstein (turkisgrøn).

5.1.2 Boringsdata

Tabel 5.2 giver en oversigt over tykkelsen af Gassum Formationen i de nærmeste brønde, som befinder sig inden for en afstand af 15–35 km fra prognoselokaliteten. Endvidere er der vist hvor mange meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoir egenskaber (Potentielt reservoirsand), formationen er estimeret til at indeholde i brøndene. I afsnit 5.2, og mere udførligt i Geotermi WebGIS portalen, gøres der rede for, hvordan disse størrelser estimeres på baggrund af logdata. Det fremgår af tabellen, at Gassum Formationen varierer betydeligt i tykkelse mellem brøndene; fra 51 til 105 meter. Den estimerede tykkelse på 105 meter ved

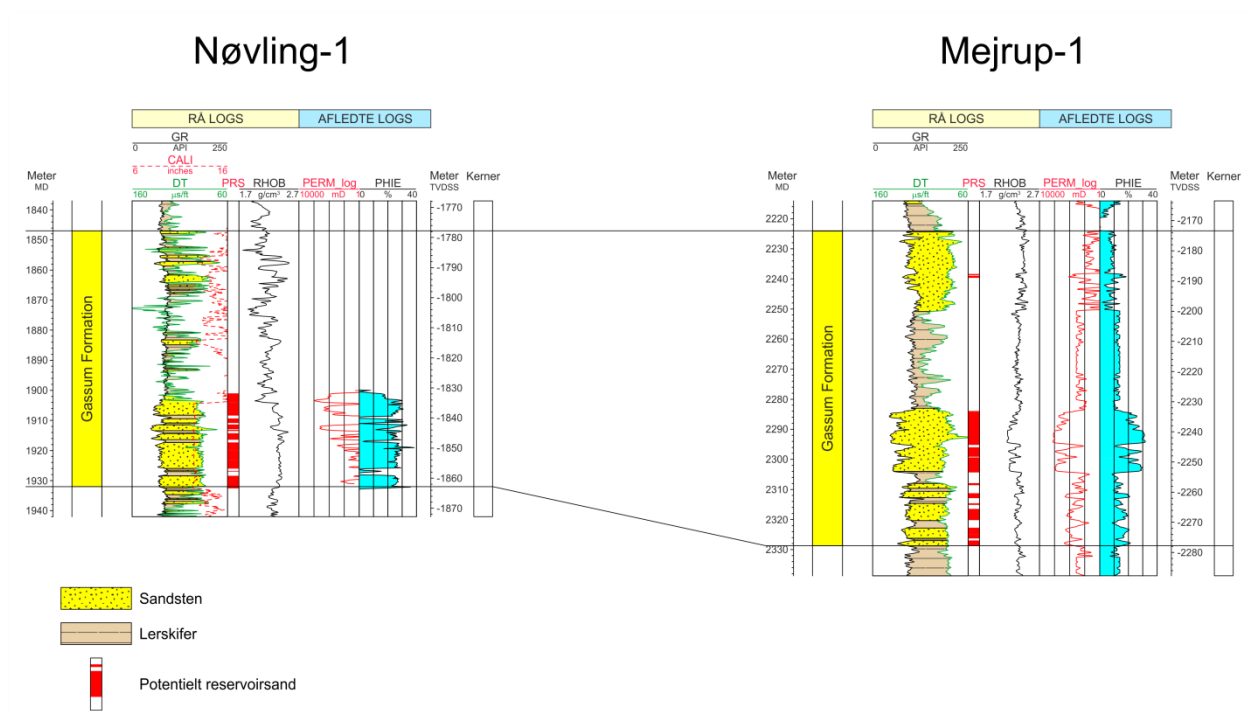
prognoselokaliteten, baseret på en tolkning af seismiske data, svarer til tykkelsen i Mejrup-1 brønden.

Logdata fra de nærmeste brønde, Nøvling-1 og Mejrup-1, er anvendt til at vurdere Gassum Formationens reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten (der foreligger ikke logdata fra Vinding-1). Gassum Formationens top er i Nøvling-1 beliggende i omtrent samme dybde som ved prognoselokaliteten, hvor dybden er estimeret til 1710 meter på baggrund af seismiske data. I Mejrup-1 er toppen beliggende omkring 450 meter dybere end ved prognoselokaliteten og reservoirdata fra denne boring kan derved være en anelse for pessimistiske i vurderingen af Gassum Formationens reservoirregenskaber ved prognoselokaliteten. På baggrund af dette, og da Nøvling-1 ligger tættest ved prognoselokaliteten, vil reservoirdata fra Nøvling-1 og Mejrup-1 blive vægtet henholdsvis 2/3 og 1/3 i estimeringen af Gassum Formationens reservoirregenskaber ved lokaliteten.

I Nøvling-1 og Mejrup-1 er intervaller med sandsten koncentreret i den nederste og øverste del af Gassum Formation, hvorimod finkornede sedimenter dominerer i den midterste del af formationen (Figur 6). Dele af sandstenene kan korreleres mellem brøndene i form af sekvensstratigrafiske enheder og vurderes til at have en stor regional udbredelse (Nielsen 2003). Sandstenene vurderes også til at være til stede ved prognoselokaliteten i tykkelser, der ligner dem i de to brønde. 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. En sådan variation afspejler det oprindelige aflejningsmiljø; eksempelvis blev sand i lange tidsrum tilført det Danske Bassin fra det skandinaviske grundfjeldsområde og aflejret som kystsand langs bassinranden, hvorimod en mere silt- og lerholdig sedimentation tog over ude i de kystfjerne, dybere dele af bassinet. I perioder med lavt havniveau rykkede kysten og de bagvedliggende floder længere ud i bassinet, og som følge heraf kan sandstenslagene i undergrunden have en stor udstrækning, hvis de ikke sidenhen er brudt op af forkastninger. Sådanne forhold kan blandt andet ligge til grund for de variationer og ligheder, der ses i indholdet af sandsten mellem Nøvling-1 og Mejrup-1 (Figur 6).

Tabel 5.2: Tykkelser af Gassum Formationen, estimerede antal meter sandsten (Gross sand), og heraf meter sandsten med gode reservoirregenskaber (Potentielt reservoirsand), i de nærmeste brønde, hvis placeringer ses på oversigtskortet i Figur 2. Skraverede felter angiver, at reservoirparameteren ikke kan beregnes ud fra de tilgængelige data.

| | Tykkelser/antal meter | | |
|-----------|-----------------------|------------|--------------------------|
| | Formation | Gross sand | Potentielt reservoirsand |
| Nøvling-1 | 85 | 19 | 5 |
| Vinding-1 | 51 | | |
| Mejrup-1 | 105 | 33 | 27 |



Figur 6: Sammenligning af Gassum Formationen i Nøvling-1 og Mejrup-1 som er de brønde, hvorfra data anvendes til at estimere Gassum Formationens reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten. Formationen er i brøndene vist med dens vertikale tykkelser, og der er således korrigeret for boringernes eventuelle afbøjning. MD: 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 data fra Nøvling-1 og Mejrup-1. Dybdeintervallet for Gassum Formationen i disse brønde ses i Tabel 5.3, hvor det også fremgår, at der kun er udtaget kerner fra Mejrup-1 (i form af sidevægskerner).

Selve vurderingen af formationens lithologi og reservoirkvalitet ved prognoselokaliteten bygger på en tolkning af borehulslogs kombineret med eksisterende beskrivelser af bore-spåner fra Nøvling-1 og Mejrup-1 borerne (Gulf 1967, Phillips 1987). De optagne og tolkede logs i de to brønde er nærmere beskrevet i Tabel 5.4.

I estimeringen af reservoirværdierne for Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er data fra Nøvling-1 og Mejrup-1 vægtet henholdsvis 2/3 og 1/3 (se afsnit 5.1.2). De tolkede reservoirværdier for Gassum Formationen i de to brønde er samlet i Tabel 5.5 og 5.6. Usikkerheden på de angivne estimater bygger på en generel og erfaringsmæssig vurdering af tolknings-usikkerheden ved de forskellige typer af data (borehulslogs, porøsitet-permeabilitets sammenhænge etc.). Ved sammenligning af Tabel 5.5 og 5.6 med Tabel 3.1 fremgår det, at usikkerheden på reservoirværdierne ved prognoselokaliteten er større end de angivne usikkerheder på reservoirværdierne for de to brønde. Dette er en naturlig følge af, at en ekstrapolering af dataværdier altid vil medføre en ekstra usikkerhed.

Tabel 5.3: *Overblik over dybdeintervaller i målt dybde fra referencepunkt på boreplatformen (MD) af Gassum Formation i Nøvling-1 og Mejrup-1 med tilhørende kommentarer om tilgængeligt kernemateriale fra formationen.*

| Brønd | Dybdeinterval [m MD] | Kerner [m MD] | Sidevægskerner [m MD] |
|-----------|-------------------------|------------------|--------------------------|
| Nøvling-1 | 1847–1932 | Ingen | Ingen |
| Mejrup-1 | 2224–2329 | Ingen | I ca. 13 niveauer |

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

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

Tabel 5.5: *Estimerede reservoirværdier for Gassum Formationen i Nøvling-1 brønden.*

| Nøvling-1 | | | |
|---|--|---|--|
| Gassum Formationen | Estimeret værdi | Vurderet usikkerhed ¹ | Usikkerhedsinterval² |
| | | | [MinCase - MaxCase] |
| Makro reservoirparametre | | | |
| Dybde til top af formation [m.u.h.] | 1778 | 1 ³ | 1760–1796 ³ |
| Tykkelse af formation [m] | 85 | 1 ³ | 84–86 ³ |
| Andel af sandsten i formationen | | | |
| Tykkelse af Gross sand [m] | 32 | 5 ³ | 30–33 ³ |
| Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m] | 26 | 5 ³ | 25–27 ³ |
| Potentielt reservoirsand/formation ⁵ | 0,31 | 5 ³ | 0,29–0,32 ³ |
| Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶ | 0,82 | 5 ³ | 0,78–0,86 ³ |
| Vandlevende egenskaber (reservoirsand) | | | |
| Porøsitet [%] | 25 | 6 ³ | 24–27 ³ |
| Gas-permeabilitet [mD] | 496 | 5 ⁷ | 99–2480 ⁷ |
| Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD] | 620 | 5 ⁷ | 124–3100 ⁷ |
| Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm] | 16 | 5 ⁷ | 3–80 ⁷ |
| Tekstur og cementering (sandsten) | | Vurdering | |
| Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad | Fin til meget grov kornstørrelse; ringe sorteret; subkantede til subafrundede korn | | |
| Diagenese/cementering | Kalkholdige | | |

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

| Mejrup-1 | | | |
|---|---|---|--|
| Gassum Formationen | Estimeret værdi | Vurderet usikkerhed ¹ | Usikkerhedsinterval² |
| | | | [MinCase - MaxCase] |
| Makro reservoirparametre | | | |
| Dybde til top af formation [m.u.h.] | 2177 | 1 ³ | 2155–2199 ³ |
| Tykkelse af formation [m] | 105 | 1 ³ | 104–106 ³ |
| Andel af sandsten i formationen | | | |
| Tykkelse af Gross sand [m] | 33 | 5 ³ | 32–35 ³ |
| Tykkelse af Potentielt reservoirsand ⁴ [m] | 27 | 5 ³ | 26–28 ³ |
| Potentielt reservoirsand/formation ⁵ | 0,26 | 5 ³ | 0,25–0,27 ³ |
| Potentielt reservoirsand/Gross sand ⁶ | 0,81 | 5 ³ | 0,77–0,85 ³ |
| Vandlevende egenskaber (reservoirsand) | | | |
| Porøsitet [%] | 23 | 5 ³ | 22–24 ³ |
| Gas-permeabilitet [mD] | 450 | 4 ⁷ | 113–1800 ⁷ |
| Reservoir-permeabilitet ⁸ [mD] | 563 | 4 ⁷ | 141–2252 ⁷ |
| Reservoir-transmissivitet (Kh) ⁹ [Dm] | 15 | 4 ⁷ | 4–60 ⁷ |
| Tekstur og cementering (sandsten) | Vurdering | | |
| Kornstørrelse/sortering/afrundingsgrad | Meget fin til mellem kornstørrelse, i enkelte niveauer også grovkornet; ringe sorteret til velsorteret; subkantede til afrundede korn | | |
| Diagenese/cementering | Svagt til mellem cementeret, svagt kalkholdige til kalkholdige, i enkelte niveauer meget kalkholdige | | |

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*.

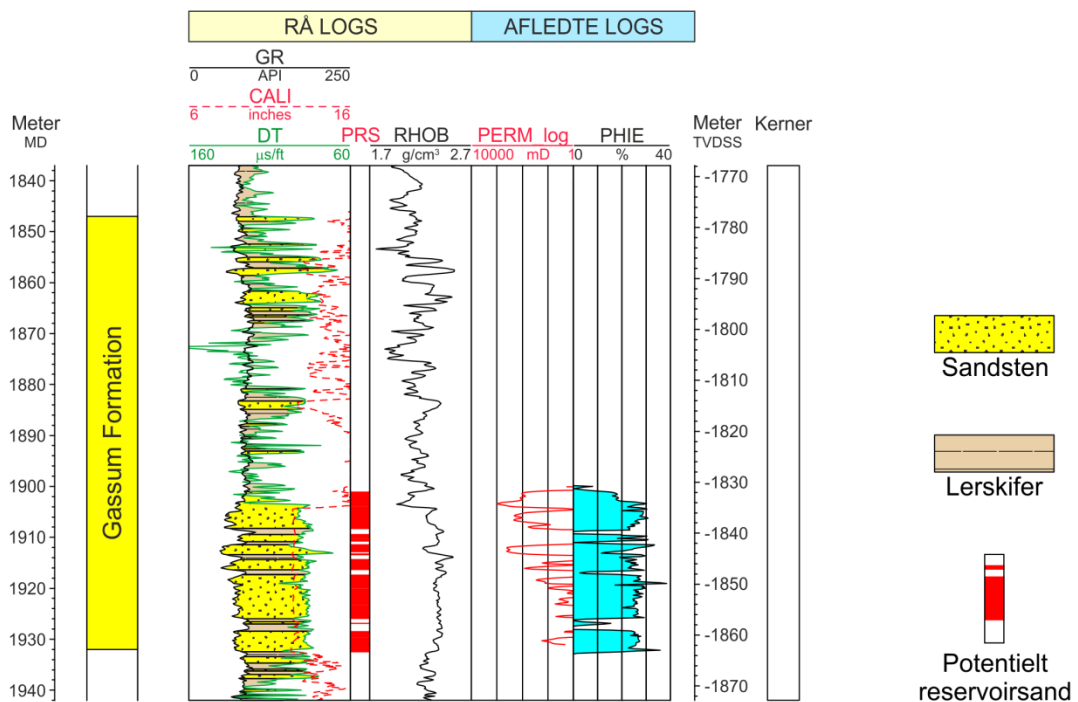
⁸ *Reservoir-permeabilitet* er den permeabilitet, som forventes målt i forbindelse med en pumpe-test eller en brøndtest. *Reservoir-permeabiliteten* er estimeret ved at multiplicere *Gas-permeabilitet* med en opskaleringsfaktor på 1,25.

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

5.2.1 Tolkning af lithologi

På baggrund af logdata og eksisterende beskrivelser af opboret materiale fra Nøvling-1 og Mejrup-1 og udtagne sidevægskerner fra den sidstnævnte boring har GEUS tolket variationen af den bjergartsmæssige sammensætning indenfor Gassum Formationen, dvs. en tolkning af lithologien og primært fordelingen af sand- og lersten (Figur 6–8). Borespåne- og kernebeskrivelserne understøtter log-tolkningen, og desuden fremgår det af beskrivelserne, at sandstenene i formationen hovedsageligt varierer i kornstørrelse fra meget fin til mellem (Gulf 1967, Phillips 1987). I enkelte niveauer er sandstenene også grovkornede. I "Nøvling-1 Completion Report" beskrives sandstenene som værende ringe sortererede med subkantede til subafrundede sandkorn (Gulf 1967); i "Mejrup-1 Completion Report" beskrives sandstenene som værende ringe til velsorterede med subkantede til afrundede sandkorn (Phillips 1987). Sandstenene beskrives i boringsrapporterne som værende svagt til mellem cementeret og generelt svagt kalkholdige til kalkholdige.

Nøvling-1



Figur 7: Petrofysisk log-tolkning af Gassum Formationen i Nøvling-1 inklusiv en tolkning af lithologien. Lithologikolonnen er afgrænset af gamma (GR) og sonic (DT) loggene. Sektioner med Potentielt reservoirsand (PRS) er markeret med rødt fyld. Porøsitetsestimatet (PHIE) er fremhævet med lyseblåt fyld, og permeabilitetsestimatet (PERM_log) er plottet som en rød kurve. Logforkortelserne er forklaret i Tabel 5.4. Formationen er i boringen vist 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.

dhold. 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. 26 og 27 meter i henholdsvis Nøvling-1 og Mejrup-1. Den gennemsnitlige porøsitet af reservoir-sandet er ud fra log-tolkning bestemt til ca. 25 % i Nøvling-1 og ca. 23 % i Mejrup-1 (Tabel 5.5 og 5.6). Porøsitetstolkningen i Mejrup-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. Loggene fra den øverste del af Gassum Formationen i Nøvling-1 boringen er generelt af ringe kvalitet på grund af udvaskning, hvilket illustreres af caliper-loggens forløb. Desuden er densitetsloggen i den nederste del af Gassum Formationen fejlbehæftet, hvorimod sonic-loggen er af god kvalitet. Porøsitetstolkningen i Nøvling-1 er derfor baseret på sonic-loggen i den nederste del af Gassum Formationen (1904–1932 m), mens den øverste og overvejende lerstens-dominerede del af formationen (1847–1904 m) ikke er tolket med hensyn til porøsitet. Selv om gamma-loggens kvalitet ikke er specielt god, har det dog været muligt at tolke mængden af lersten (Vshale) indenfor hele Gassum Formationen, og bestemmelsen af Vshale er udnyttet i forbindelse med vurderingen af tykkelse af Gross sand. På grund af den manglede porøsitetstolkning i den øverste del af Gassum Formationen er den angivne tykkelse for Potentiel reservoirsand en minimumsværdi (se Tabel 5.5). Da der ikke foreligger kerne-analyse data fra Gassum Formationen i Nøvling-1, har det ikke været muligt at kalibrere porøsitets-tolkningen.

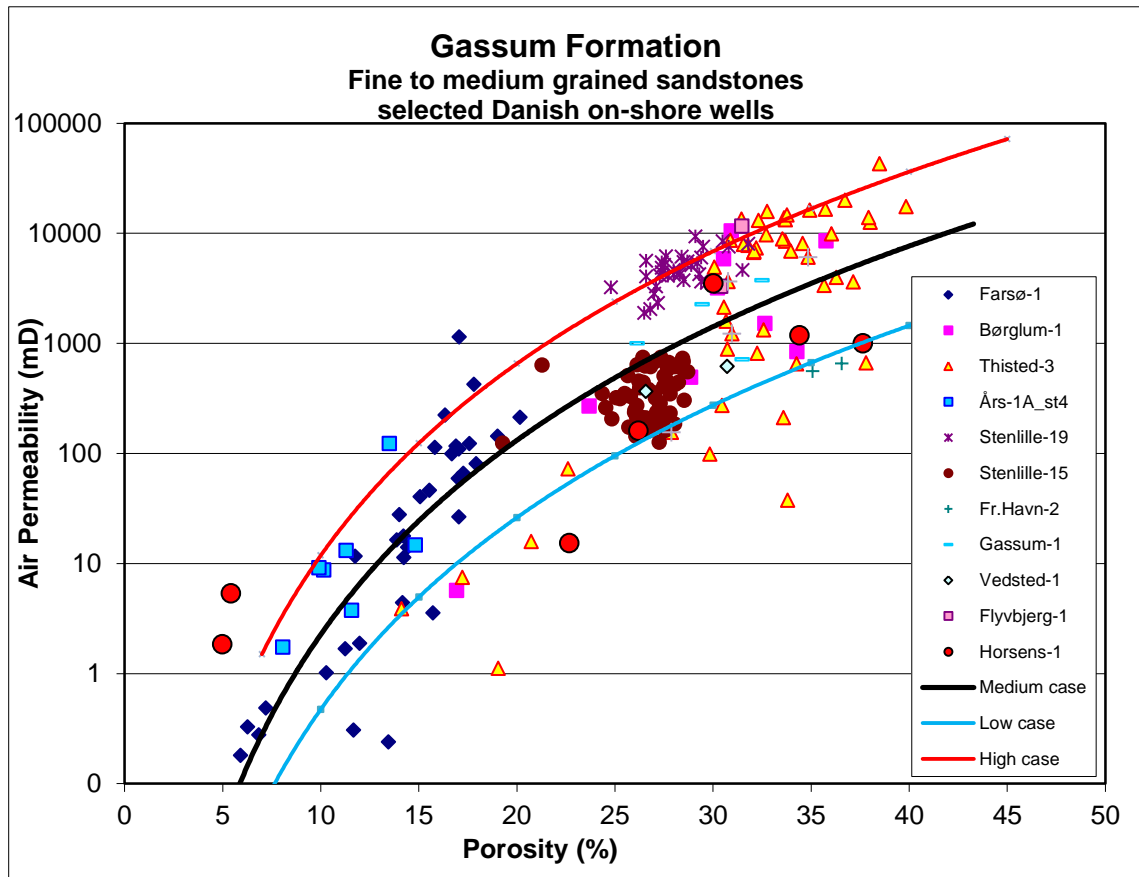
Tabel 5.7: Responsparametre for Gamma-ray (GR) log optaget i Nøvling-1 og Mejrup-1 borerne.

| Responsparametre for gamma-ray (GR) log | GR_min (baggrundsstråling) | GR_max (respons for rent ler) |
|---|-------------------------------|----------------------------------|
| Nøvling-1 | 65 | 125 |
| Mejrup-1 | 55 | 105 |

5.2.3 Permeabilitet

GEUS har bestemt en sammenhæng mellem kerne-permeabilitet og porøsitet i Gassum Formationen. Denne porøsitet-permeabilitetsrelation 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 Herning-Ikast-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. 496 mD for Nøvling-1 og til ca. 450 mD for Mejrup-1. Dette svarer til reservoir-permeabiliteter på omtrent 620 og 563 mD for henholdsvis Nøvling-1 og Mejrup-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 blev ikke prøvepumpet, og det er således ikke muligt at vurdere permeabiliteten ud fra testdata. Vurderingen af permeabiliteten bygger derfor i

dette tilfælde på erfaringsmæssige sammenhænge, f.eks. som vist i Figur 9, og herudover er tidligere foretagne vurderinger af Gassum Formationen udenfor studieområdet udnyttet.



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

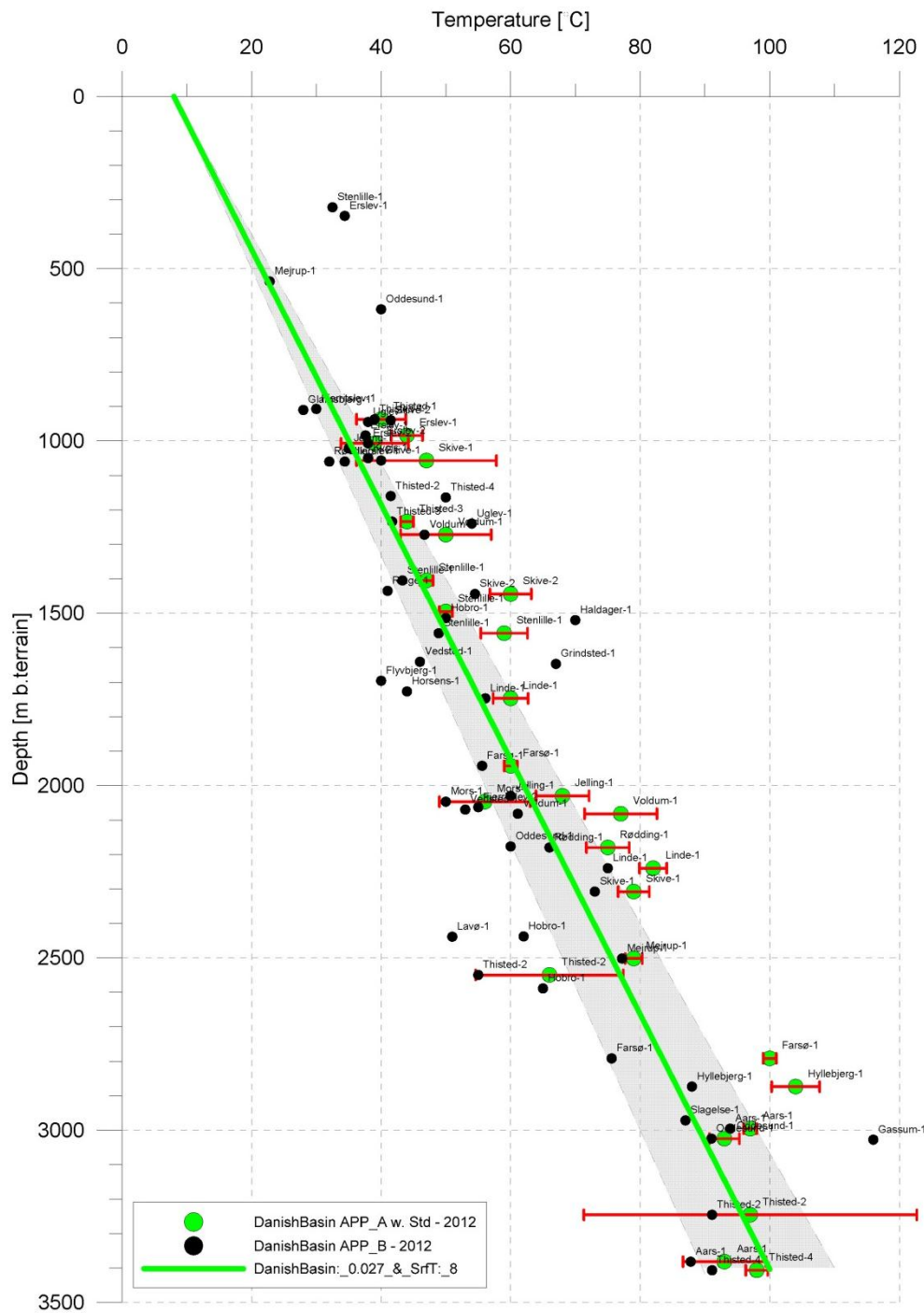
5.2.4 Transmissivitet

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 vurderet til ca. 16 Darcy-meter i Nøvling-1, ca. 15 Darcy-meter i Mejrup-1 og ved prognoselokaliteten til ca. 16 Darcy-meter. På baggrund af det tilgængelige datamateriale vurderer GEUS, at usikkerheden på den forventede transmissivitet ved prognoselokaliteten mest hensigtsmæssigt kan beskrives ved en dividere/gange faktor på 6; svarende til at dividere, henholdsvis gange, den estimerede transmissivitet med denne faktor. Faktoren

indeholder en samlet usikkerhed knyttet til estimeringen af permeabiliteten og tykkelsen af Potentielt reservoirsand samt til ekstrapolering af boringsdata til prognoselokaliteten.

5.3 Temperatur

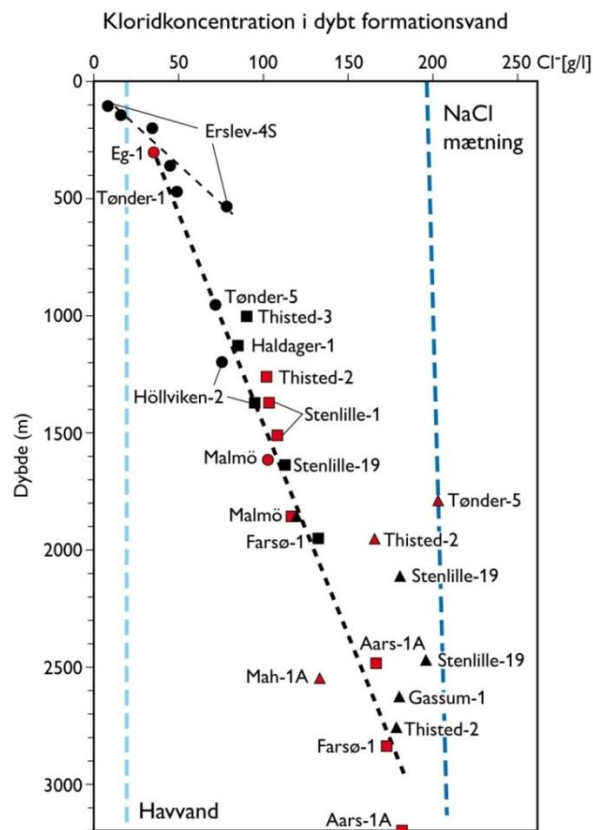
Temperaturen i midten af Gassum Formationen ved prognoselokaliteten er vurderet til 65 °C ± 10 % ud fra en generel dybde-temperatur relation for det Danske Bassin. Relationen baserer sig på temperaturmålinger i dybe boringer i bassinet og er givet ved: $Temp. = 0,027 * dybde + 8 \text{ °C}$ (Figur 10). Ved prognoselokaliteten er dybden i ligningen sat til 2105 meter og er baseret på den estimerede dybde fra havniveau til toppen af formationen (1986 meter; se Tabel 3.1) tillagt terrænkote (66 meter) og estimerede antal meter fra top til centrum af formationen (ca. 53 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 Mejrup-1 ligger inden for 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. 134 g/l i en dybde af 2105 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 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.

Gulf 1967: Nøvling-1. 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.

Phillips 1987: Mejrup-1. Completion report.

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.