



NYVURDERING AF GEOTERMISK ENERGI

Har geotermien en fremtid i Danmark?

*Kai Sørensen, Anders Mathiesen, Ole V. Vejebak
og Niels Springer*

Temperaturen stiger med ca 30° C pr. km ned gennem den danske undergrund. Den indeholder derfor store mængder energi i form af jordvarme.

I områder, hvor der forekommer (porøse og) permeable sedimenter, såkaldte reservoirer, kan denne energi udnyttes ved at pumpe varmt vand fra undergrunden op gennem en boring og ekstrahere varmen ved direkte og indirekte varmeveksling. Det afkølede vand pumpes derefter igen ned i reservoiret gennem en injektionsboring bl.a. for at undgå udfældninger i reservoiret. Som følge af det geotermale vands aggressive kemi (først og fremmest p.gr. af salt) skal det holdes i et lukket kredsløb, fra produktionsboring, gennem varmeveksler og injektionsboringen tilbage til reservoiret.

I slutningen af halvfjerdserne og begyndelsen af firserne deltog det daværende Danmarks Geologisk Undersøgelse (DGU) i en omfattende vurdering af mulighederne for at nyttiggøre undergrundens varmeenergi (DGU-publikation: Michelsen et al., 1981). I arbejdet deltog desuden

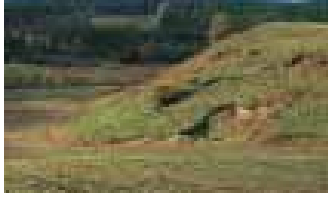
Dansk Olie og Naturgas (DONG), som i 1978 fik en eneretskoncession til de geotermiske ressourcer, og som derefter gennemførte tre dybe geotermiske boringer: Års-1, Farsø-1 og Thisted-2 (3400 m, 2925 m og 3250 m under havniveau). Resultatet var desværre skuffende, idet de dybtliggende reservoirer, som man borede efter, viste sig at være af dårlig kvalitet. I den nyeste plan for Danmarks fremtidige energiforsyning (Energi 21) udtrykkes et politisk ønske om at give vedvarende energi en mere fremtrædende rolle. Som et resultat heraf gennemføres derfor en revurdering af det geotermiske potentiale. I dette arbejde deltager GEUS, sammen med Energistyrelsen og DONG.

NYT RATIONALE FOR DEN GEOTERMISKE EFTERFORSKNING

I 1982 blev Thisted-2 boringen boret til den anselige slutdybde (3250 m), for at undersøge den reservoirmæssige kvalitet af Skagerrak-formationen. Den var ikke god, men Gassum Formationen på lavere dybde (ca. 1200 m)

viste sig at indeholde sand med god permeabilitet, - og med dette reservoir som produktiv bjergart (d.v.s. undergrundens varmeveksler), blev et geotermisk anlæg bygget i Thisted. Dette anlæg har fungeret tilfredsstillende siden 1984 og har vist, at geotermalt vand med relativ lav temperatur kan danne basis for en betragtelig varmeproduktion. Dette kan endda lade sig gøre uden væsentlig brug af elektricitet, idet varmen ekstraheres ved hjælp af en såkaldt absorptionsvarmepumpe, hvis drivvarme kommer fra et nærliggende affaldsforbrændingsanlæg.

De negative erfaringer fra de tre "gamle" og dybe geotermiske boringer har betydet, at der i den nuværende revurdering af de geotermiske muligheder fokuseres på undergrundsreservoirer i dybdeintervallet 1000-2000 m. I den tidligere efterforskning var opmærksomheden koncentreret omkring dybdeintervallet 2000-3000 m, fordi vand hentet i dette dybdeinterval kan afgive en stor del af sin varmeenergi ved direkte varme-



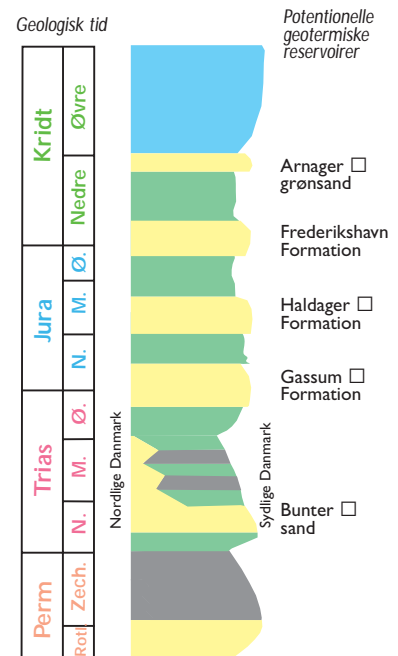
veksling. På dette tidspunkt var der i Danmark ikke opbygget nogen efterforskningsmæssig erfaring udenfor Dansk Undergrunds Consortium (DUC), og det er derfor kun i bagklogskabens lys man kan undre sig over den fatale interesse omkring de meget dybe reservoirer. Denne tidlige efterforskning gav dog nyttige, og smertelige, erfaringer, samt en rigdom af teknisk baggrundsmateriale, som også danner grundlag for den aktuelle revurdering af det geotermiske potentiale i Danmark.

RESERVOIRMULIGHEDER: "FAIRWAYS"

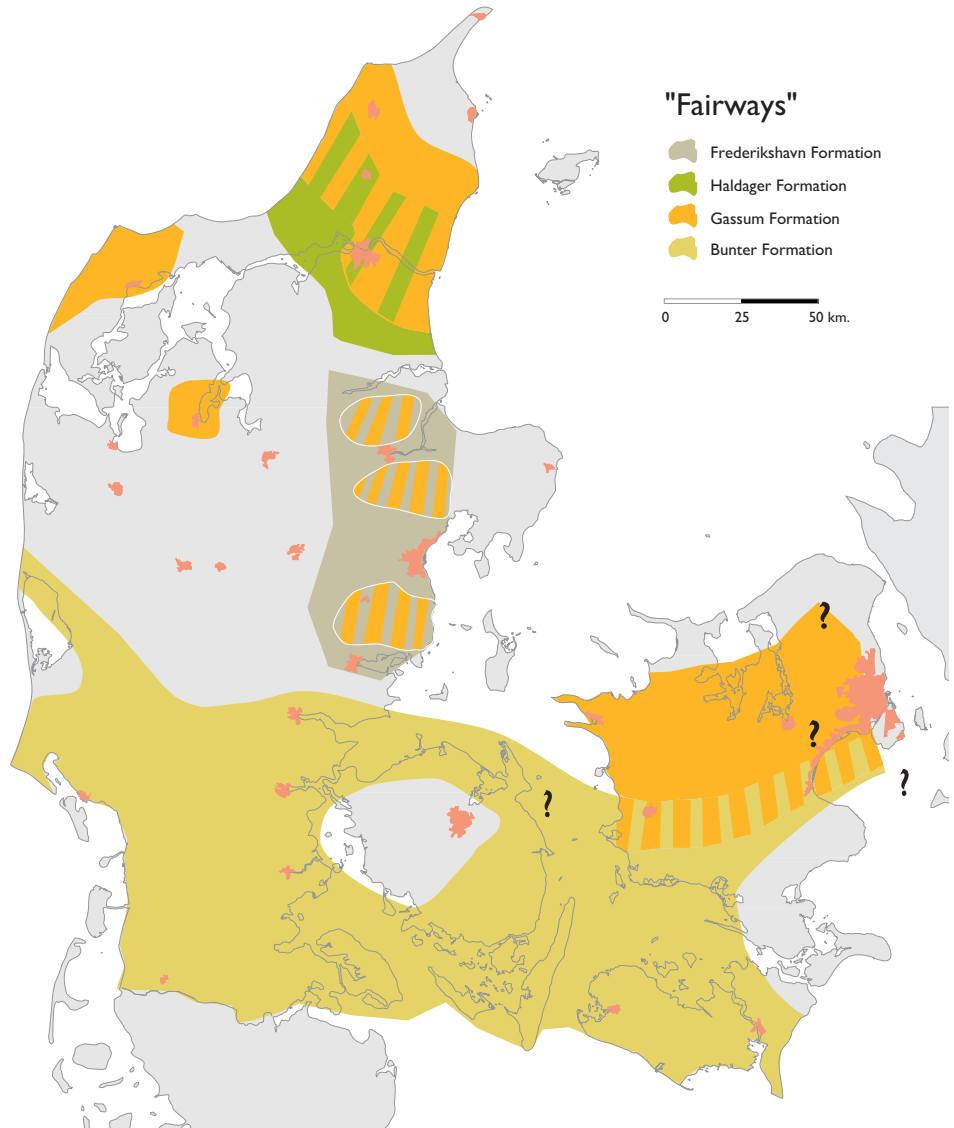
De potentielle geotermiske reservoirenheder i den danske undergrund er sandsten af Trias, Jura og Kridt alder. En forenklet lagsøjle for det danske område er vist i fig. 1 med de væsentligste reservoirmuligheder fremhævet. Disse sandlag forekommer ikke overalt i den danske undergrund. Det er faktisk kun Gassum-sandet, der både er vidt udbredt og forekommer i en tykkelse, der er tilstræk-

kelig til at understøtte en geotermisk produktion af nødvendigt omfang. Gassum-sandet forekommer i det rette dybdeinterval i den nordlige og østlige del af Danmark. Takket være DONGs geotermiske Thisted-boringer og gaslager-boringer ved Stenlille på Midsjælland, samt data fra en række ældre olieefterforskningsboringer, er det påvist, at dette reservoir flere steder har egenskaber, som muliggør geotermisk produktion.

Figur 1. Stratigrafisk søjle.



Under en stor del af Danmark rummer Gassum-reservoiret således et geotermisk potentiale, og det er dette reservoir, der vil være hovedmålet for en fornyet efterforskningsindsats. Dertil vil der være muligheder i de øvrige reservoirer i begrænsede egne af landet, men kendskabet til disse reservoirer er ringere og deres potentiale er derfor behæftet med større usikkerheder. En væsentlig del af en fremtidig indsats omkring geotermien vil være opbygning af en forøget forståelse af disse mindre kendte reservoirformationer. De områder, hvor et reservoir er tilstede i en tilstrækkelig tykkelse og forekommer i det rette dybdeinterval kaldes dette reservoirs "fairway". Med vort nuværende kendskab til reservoirer og undergrundens struktur er GEUS's opfattelse af de aktuelle "fairways" for geotermisk efterforskning som vist i figur 2.



Figur 2. Geotermiske "fairways".

GEOTERMISK EFTERFORSKNING

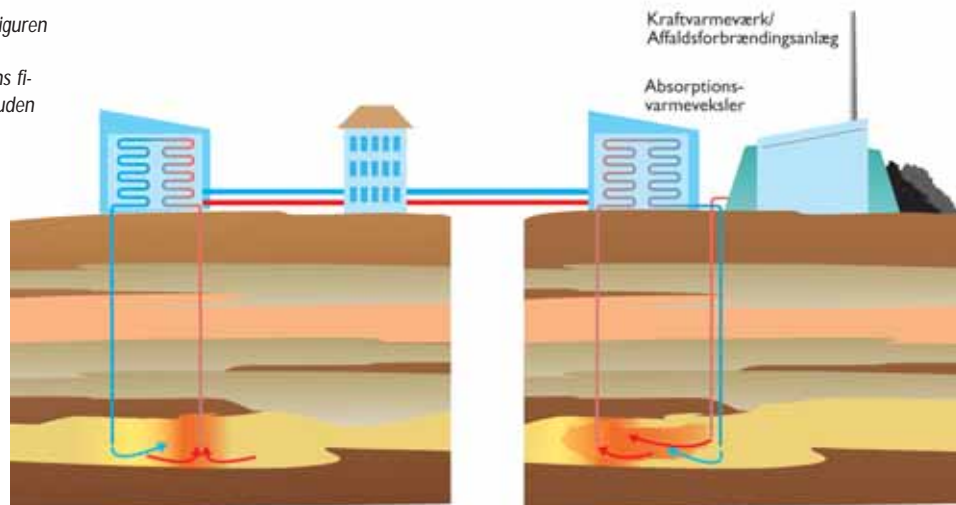
Der er ét meget væsentligt lighedspunkt mellem olieefterforskning og geotermisk efterforskning at finde et godt reservoir! At finde et godt reservoir på den rette dybde er også hovedopgaven for olieefterforskeren i Nordsøen. Normalt skal reservoiret indgå i en geometrisk lukket struktur for at kvalificere det som et **oliepro-**

spekt, og dertil skal det ligge i et område, hvor der er dannet olie eller gas.

Ved geotermisk efterforskning er det tilstrækkelig at reservoiret er godt og tykt. Men hvad er et geotermisk prospekt så? Svaret er simpelt, men ikke særlig geologisk: en by! Skulle man resumere essensen i geotermisk efterforskning aforistisk ville det lyde: **en by indenfor en "fairway" er et prospekt**. Omkostningerne ved at

etablere et geotermisk anlæg er så store, at kun forholdsvis store byer er aktuelle geotermibyer. Et geotermisk anlæg består af to borer: en produktions- og en injektionsboring, bygninger, varmevekslere samt yderligere VVS. Prisen for et sådant minimumsanlæg er i runde tal 100 mio. kroner, excl. risikoafdækning og et profitelement. Erfaringerne fra Thisted-anlægget samt fra pumpeforsøg i borer i gaslageret i Stenlille viser,

Figur 3. Geotermiske koncepter. Figuren til højre forestiller et koncept med sæsonlagring af varmeenergi, mens figuren til venstre viser et koncept uden sæsonlagring..



at med lignende reservoirer vil der fra én boring kunne produceres med en effekt på ca. 10-15 MW. Med endnu en tredje boring åbner der sig mulighed for at lagre overskudsvarme om sommeren, således at denne varme kan genbruges i vinterhalvåret. Disse to grundkoncepter er illustreret skematisk i fig. 3. Et anlæg med lagringsmulighed vil typisk koste 160 mio. kr. og vil kunne producere det dobbelte af minimumsanlægget, altså 20-30 MW.

Et geotermisk prospekt er således en rimelig stor by. Københavnsområdet er i en kategori for sig: det er Danmarks største geotermiske prospekt og vil blive diskuteret senere.

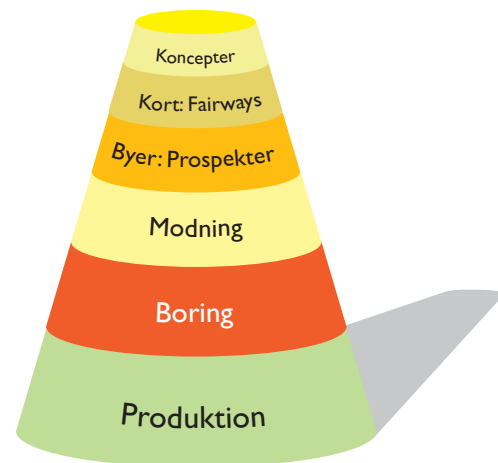
Eksisterende boringer og eksisterende seismiske undersøgelser på land er jævnt fordelt ud over Danmark, men er placeret med henblik på at finde olie og gas. Denne efterforskning har været skuffende, men udgør alligevel et tilstrækkeligt godt grundlag for en afgrænsning af de områder i Dan-

mark, hvor f.eks. Gassum-reservoiret udgør et realistisk geotermisk efterforskningsmål. For at bringe efterforskningen så vidt, at der evt. kan peges på borelokalteter i eller nær de store fjernvarmebyer, kræves en yderligere indsamling af seismiske linier forbundet til nærliggende boringer, eller til eksisterende seismiske linier, der allerede er forbundet til en boring.

Forløbet af en geotermisk efterforskning kan således resumeres som i figur 4: de enkelte faser i forløbet, fra ideen fødes til produktionsanlægget er bygget. Denne proces er tidskrævende!!

Det "siddende" udvalg om geotermi har, som en af sine første opgaver, skullet udpege en by, hvor der kan placeres et demonstrationsanlæg. Udvalget har peget på Ålborg som en oplagt vært for et sådant demonstrationsanlæg (f. eks. som det, der er vist til venstre i figur 3). For at illustrere arbejdet med den igangværende revurdering af de geotermiske

muligheder, vil overvejelserne omkring Ålborg og København blive resumeret.



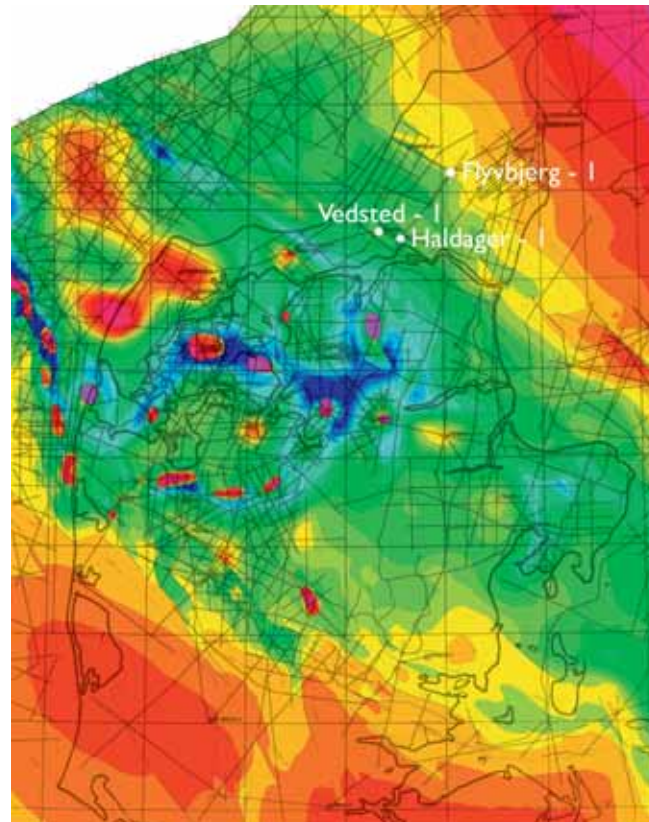
Figur 4. Fra ide til virkelighed.



ET STORT JYSK PROSPEKT: ÅLBORG

Ålborg ligger i en forkastningsbe-
grænset struktur, som byen har gi-
vet navn til: Ålborggraven. Denne
gravsænkning danner i Nordjyl-
lands undergrund grænse mellem
Skagerakplatformen med en for-
holdsvis tynd og næsten horison-
tal mesozoisk lagerie og de cen-
trale dele af det norsk-danske bas-
sin med tykke sedimenter og in-
tens, saltbetinget strukturering. I
de centrale dele af det norsk-dan-
ske bassin er aflejringerne domi-
nerede af skiferlag. Aflejringerne i
Ålborggraven og Skagerakplatfor-
men er derimod ret rige på sand,
og på grundlag af forholdene i
nærliggende borerer (Vedsted-I
og Haldager-I) kan Ålborg således
vurderes til at være et "exceptio-
nelt" godt sted at søge efter geo-
termiske reservoirer i undergrun-
den. I Ålborgområdet er der mu-
ligheder for at finde både Frede-
rikshavn Sand, Haldager Sand og
Gassum Sand, og på grund af mar-
kante forkastninger er disse reser-
voirer formentlig tilstede i forskel-

lige dybder i Ålborgområdet, som
det ses af figur 5 og figur 6.



Figur 5. Udsnit af Nordjyl-
landskort med datagrund-
lag. (Seismiske linier og
boringer). Profilet i figur 6
er lavet på basis af den
seismiske linie, der går
gennem borerne Hald-
ager - 1 og Flyvbjerg - 1

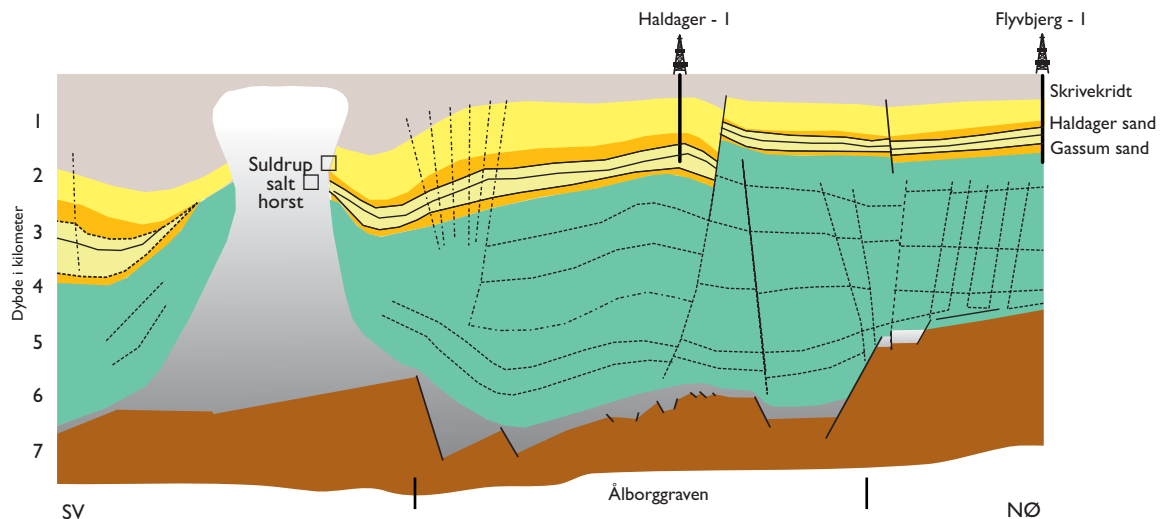
Oplysningerne om Ålborgområdet illustrerer en af hovedmanglerne ved det eksisterende datagrundlag: den seismiske dækning er meget sparsom (figur 5). For at fastlægge forkastningernes forløb i undergrunden ved Ålborg vil det være nødvendigt at indsamle nye seismiske data. Indsamlingen skal planlægges således, at de nødvendige borerer kan placeres "på" eller meget tæt ved den seismiske linie. Samtidig skal de seismiske li-

nier forbindes enten til eksisterende borerer, eller til linier, som går gennem relevante, nærliggende borerer.

Selv om Ålborg ud fra en reservoirmæssig synsvinkel er et ideelt prospekt, som ligger nær ved to dybe olieeftersøkningsboringer, Vedsted-1 og Haldager-1, så viser det detaljerede billede, at det ideelle sted for placering af geotermiske borerer ligger på nordsiden af en forkastning, som de to

nærliggende borerer til gengæld ligger syd for. Dertil kommer usikkerhed med hensyn til den seismiske tolkning; de eksisterende data er få, og nogle af dem er næsten værdiløse. Selv for Ålborg, som på mange måder er den by, som har det bedst dokumenterede geotermiske potentiale, er der således endnu usikkerheder, hvoraf nogle kun kan elimineres med ny seismik.

Figur 6.
Profil på tværs af
Ålborggraven.





DET STØRSTE PROSPEKT: KØBENHAVN

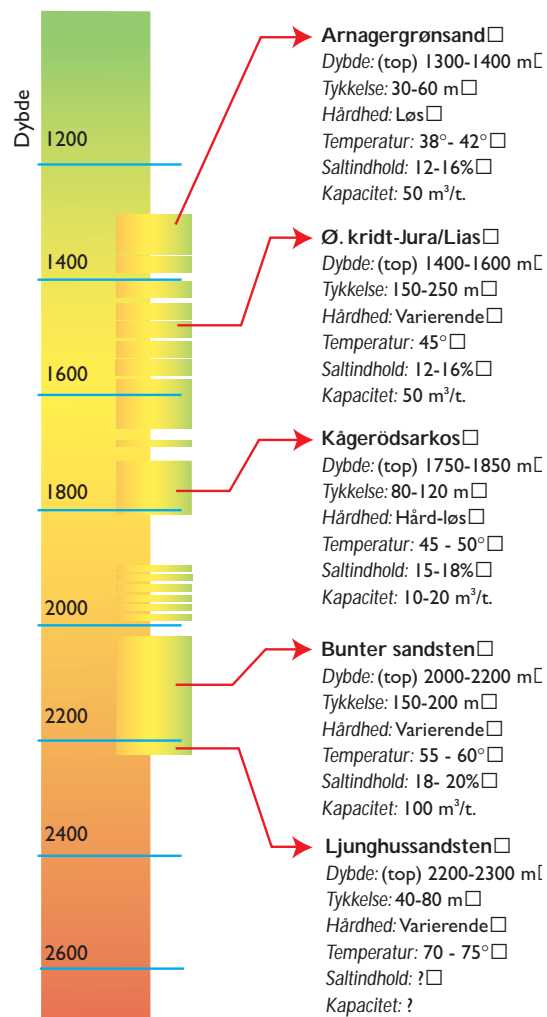
Hvis Københavnsområdet er beliggende indenfor en "geotermisk fairway" er det Danmarks suverænt største geotermiske prospekt. Uheldigvis ligger væsentlige dele af København i en struktur, Høllvikengraven, hvor der ikke er borer, og som i øvrigt kun er dårligt dækket med seismiske data. I den oprindelige geotermiske kampagne blev Københavnsområdet ikke vurderet, formentlig på grund af den meget mangelfulde datadækning. Høllvikengraven begrænses af tre forkastninger og ligger i et område hvor to hovedtemaer i den danske geologi kommer til udtryk:

1) den triassiske/jurassiske og nedre kretassiske extensions-og indsynkningstektonik, og 2) den øvre kretassiske kompressionstektonik. Der er næsten ingen egnede data i den danske del af Høllvikengraven. Det betyder, at forløbet af den vestlige begrænsning, Øresundsforkastningen, er dårligt kendt. Feks. vides det ikke, om

Øresundsforkastningen danner det dybtliggende grundlag for den såkaldte Carlsbergforkastning, der tydeligvis påvirker de overfladenære skrivekridtaflejringer. I den svenske del af Høllvikengraven er der til gengæld en relativ rigdom af data: både seismiske og borer. Høllvikengravens østlige grænse er en Øvre Kridt kompressionsstruktur, der udnytter en tidligere extensionsforkastning ("inversion"). De svenske data kan bruges til at forudsige geologien under København. GEUS' svenske søsterorganisation, SGU har på baggrund af en sammenfatning af Høllvikengravens geologi opstillet en prognose for geologien i nærheden af København. Med hovedvægt på mulige reservoirer ser prognosen ud som vist på figur 7 for den sydlige del af Københavnsområdet. Det er åbenbart, at denne prognose på nogle punkter ligner fig. 1, men på andre punkter adskiller sig markant fra den. Lighedspunkterne er Trias-Nedre Jura sektionens reservoirforventninger; både i Nedre Trias og på Trias-Jura-



Figur 7. Prognose for geologien under København



grænsen forventes sand at forekomme, nemlig: Bunter/Ljunghusen Sand og Rhæt-Lias Sand. Under København forventes ikke reservoir-ækvivalenter til hverken Hal-dager eller Frederikshavn Sandet. Til gengæld forventes sand i Øvre Kridt under den meget tykke skrivekridt-mergelsekvens; formentlig svarende til Arnager Grønsandet på Bornholm.

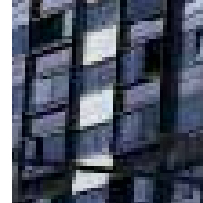
Takket være samarbejdet med SGU har GEUS fået adgang til kerner fra borer i Skåne, og har endvidere i samarbejde med Mikael Erlstrøm og Ulf Sivhed fra SGUs afdeling i Lund udboret prøver fra daglokaliteter i Helsingborg-området, hvor Rhæt-Lias sandet, der er et 'Svensk ækvivalent' til Gassum-sandet, er tilgængeligt i overfladen. Af dette prøvemateriale, som omfatter alle de potentielle reservoirenheder, er der fremstillet prøve-cylindre, som på GEUS's kernelaboratorium er undersøgt for porøsitet og permeabilitet. Disse undersøgelser viser, som forventet, en stor spredning i reservoirkvalitet, men også, som håbet, gode re-

servoir-intervaller, især i Rhæt-Lias-sandet. Der er større reservoir-risiko knyttet til Arnager Grønsandet, og formentlig endnu en grad større risiko knyttet til Bunter/Ljunghusen-sandet. På grund af sidstnævnte formations dybe beliggenhed, og dermed høje temperatur, vil den første geotermiske boring i Københavns undergrund fornuftigvis have Ljunghusen-sandet som nederste, sekundære mål (slutdybde i toppen af Silur). Rhæt-Lias-sandet vil være det primære efterforskningsmål, og Arnager Grønsandet et øverste, sekundært mål. Den dag Arnager Grønsandet påvises "by the bit" i Københavns undergrund, bør vi geologer sende en respektfuld tanke til dansk geologi's og den kemiske oceanografi's fader: salig professor Forchammer. Men det er en helt anden historie.....

GEOTERMIEEN HAR EN FREMTID

Resultaterne fra de tre dybe boringer i Års, Farsø og Thisted må formodes at have virket afskrækkende på både politikere, embedsmænd og koncessionshaveren DONG. Siden igangsættelsen af anlægget i Thisted har den geotermiske efterforskning i Danmark ligget stille. I løbet af denne periode er der til gengæld kanaliseret meget store beløb ind i andre former for vedvarende energi. I dag er en vindmølle med en effekt på 500 kW en stor vindmølle. Et geotermisk anlæg af minimumsomfang, baseret på reservoir egenskaber som dokumenteret i Thisted og Stenlille, kan have en effekt på 15 MW, svarende til 30 store vindmøller. Tilmed kan den geotermiske energi udnyttes uden gener af visuel eller støjmæssig art.

De reservoir egenskaber, som er nødvendige for effektive geotermiske anlæg er veldokumenterede i Gassum Sand i både Thisted og Stenlille. Det skånske Rhæt-Lias Sand er af tilsvarende alder som Gassum-sandet, og selvom det ikke helt kan sammenlignes med dette, kan Rhæt-Lias-sandet forventes at have gode produktions egenskaber. I Gassum fairway'en (se figur 2) og i Høllviken fairway'en, er der derfor områder, hvor vi forventer gode geotermiske muligheder. Indenfor denne fairway (Høllviken) bor mere end halvdelen af Danmarks befolkning. En stor del af denne befolknings energiforbrug går til opvarmning. Behov og muligheder danner et smukt par. Ja! Vi tror, at geotermien har en fremtid i Danmark.



Abstract

The geothermal potential of Denmark is under re-evaluation. Earlier efforts in the late seventies and early eighties led to the drilling of three geothermal wells with a deep reservoir target. This exploration strategy proved unsuccessful: the reservoir deterioration was far more important than the gain in temperature. Presently, focus is on the depth interval 1000-2000 m, and it appears that this change in depth emphasis bring several major cities into the geothermal fairway of several reservoirs: especially the Gassum reservoir. Special attention has been paid to Copenhagen, which is, in a geothermal sense, the "largest Danish prospect". The geothermal potential in the Copenhagen area is considerable, but due to lack of nearby off-set wells, it is at present speculative.

Referenceliste

Michelsen, O. et al.(1981) Kortlægning af potentielle geotermiske reservoirer i Danmark. D.G.U. Serie B, Nr.5.

Sivhed, U. & Erlstrøm, M.(1997) Forstudie angående geotermisk potential i Københavnsområdet. S.G.U., Lund, 1997.

Springer, N. (1997) Kerneanalyse for Energistyrelsen. Geotermisk potentiale i Københavnsområdet. GEUS, Kernelaboratoriet, Rapport 1997/6.

