

Geotermisk energi i Danmark – en geologisk vurdering

LARS MADSEN



Madsen, L.: Geotermisk energi i Danmark – en geologisk vurdering. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1977*, side 29–40. København, 4. januar 1978.

The approximate values of the geothermal gradient are calculated from temperature measurements in forty-nine exploration wells. A tentative regional contour map is presented. The possibilities of finding hot water bearing formations for geothermal energy utilization are discussed. Sandstone layers in the Jurassic. Rhaetic and Bunter are considered to be promising reservoir rocks. The most favourable conditions seem to be present in the Danish Embayment, where the total thickness of sediments is expected to exceed 8 km, and the geothermal gradient is in the order of 30°C/km.

Lars Madsen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, Thoravej 31, DK-2400 København NV.

I august 1976 anmodede handelsministeriet DGU om en vurdering af de geologiske forudsætninger for en eventuel indvinding af geotermisk energi fra Danmarks undergrund. Den afgivne rapport (Danm. Geol. Unders. okt. 1976) er udarbejdet på grundlag af al foreliggende information indbefattet data fra Dansk Undergrunds Consortiums seneste landboringer, og den er således grundet det i eneretsbevillingsaftalen nedfældede 5 års fortrolighedskrav klassificeret som fortrolig. Ligeledes i aug. 1976 udførte Laboratoriet for Geofysik ved Århus Universitet i samarbejde med Dansk Boresekskab A/S geotermiske energiundersøgelser i Dansk Undergrunds Consortiums efterforskningsboring Oddesund 1 (Balling okt. 1976). I nov. 1976 nedsatte handelsministeriet en arbejdsgruppe med statsgeolog L. Banke Rasmussen, DGU, som formand. Arbejdsgruppen fik til opgave at vurdere mulighederne for udnyttelse af geotermisk energi i Danmark samt at udarbejde et konkret projekt for en eller flere lokaliteter (Rapport fra handelsministeriets arbejdsgruppe vedr. geotermisk energi, febr. 1977).

I det følgende vil der på grundlag af forfatterens engagement i DGU's opgaver på dette felt dels blive givet en diskussion af temperaturforholdene i undergrunden og dels en sammenfattende vurdering af indvindingsmulighederne i de forskellige områder af landet. Der er til en vis grad tale om en foreløbig vurdering, idet der med støtte fra EF og Statens Naturvidenskabelige

Forskningsråd er påbegyndt et projekt med det formål at give en regional vurdering af mulighederne for indvinding af geotermisk energi i Danmark. Projektet udføres som et samarbejde mellem Laboratoriet for Geofysik ved Århus Universitet og DGU. Første fase af projektet (jan.–dec. 77) omfatter overvejende sammenstilling og vurdering af foreliggende information. Senere vil hovedvægten blive lagt på bestemmelse af varmefluxværdier.

Generel vurdering

I det danske område må interessen i første omgang koncentreres om indvinding af geotermisk energi fra varmtvandsførende formationer efter samme principper, som det praktiseres i Frankrig, hvor tre fjernvarmeanlæg i omegnen af Paris i den centrale del af Pariserbassinet udnytter 55–70°C varmt vand fra et Jurassisk kalkstensreservoir i 1,5–2,0 km's dybde (Rapport fra handelsministeriets arbejdsgruppe vedr. geotermisk energi, febr. 1977 bilag nr. 1.2). Videre perspektiver rummer det såkaldte »hot dry rock« projekt, som der bl.a. arbejdes med ved Los Alamos Laboratoriet i USA. Ved dette projekt udføres der efter boring til en vis dybde (ønsket temperatur) en kunstig opsprækning ad eksplosiv eller hydraulisk vej. Energien i de tørre varme bjergarter kan da indvindes ved at injicere koldt overfladevand, lade det cirkulere og opvarme i

Tegn. nr. 0706-77-02

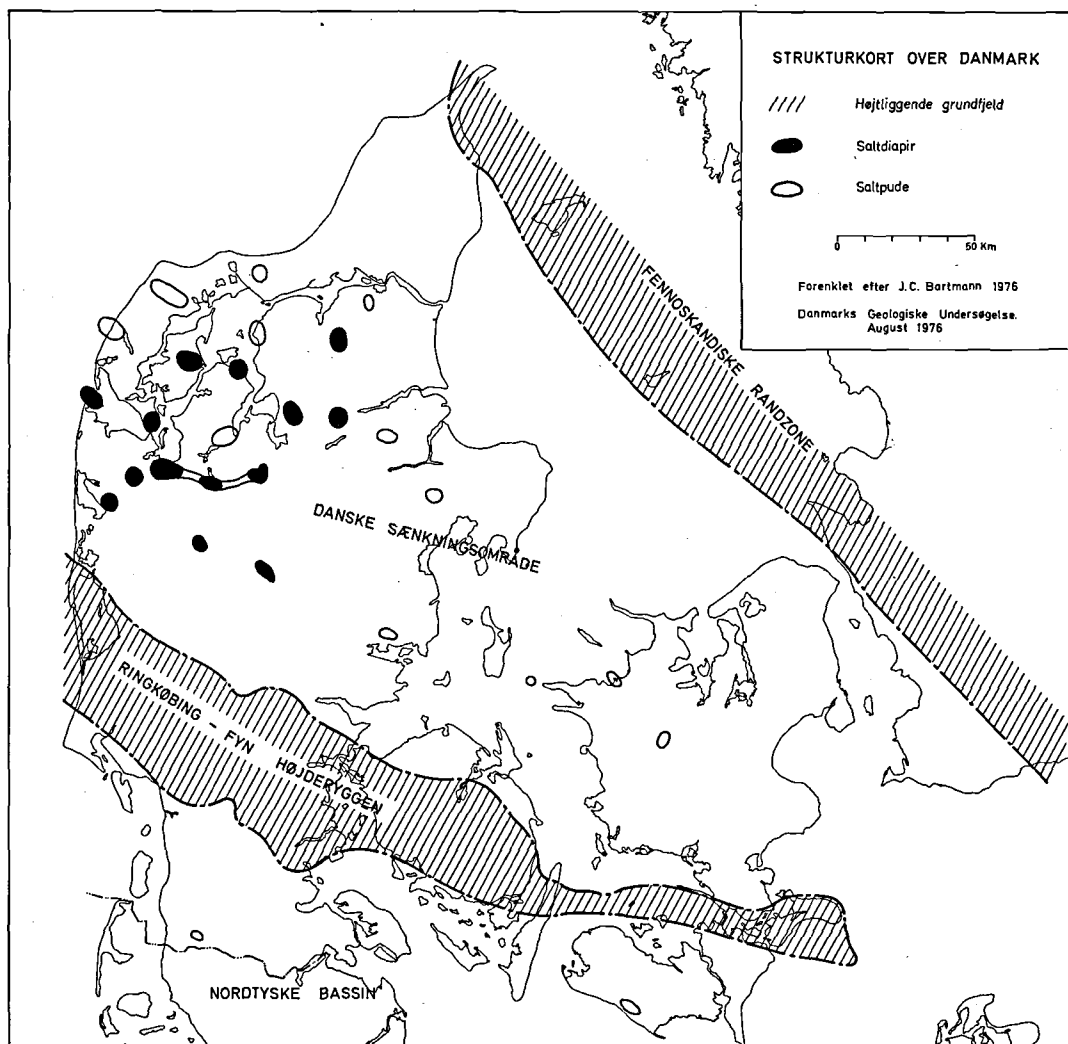


Fig. 1.

sprækkesystemet, og derpå lede det tilbage til overfladen. Hvis denne metode kan gøres rentabel, ligger der store muligheder i udnyttelse af varmeenergien i dybtliggende niveauer, hvor temperaturen er tilstrækkelig høj til at kunne danne basis for en produktion af elektricitet.

Efter undergrundens strukturelle forhold kan Danmark regionalt opdeles i to sedimentbassiner, det Danske Sænkingsområde og det Nordtyske Bassin, adskilt af Ringkøbing-Fyn Højderyggen (fig. 1). I det Danske Sænkingsområde formodes dybden til grundfjeldet på Sjælland overvejende at være 3-4 km. Bassindybden tilta-

ger mod nordvest, hvor der i den centrale del i Jylland antages at være 8-10 km til grundfjeldet. Bassinet er her præget af saltteknik. På Ringkøbing-Fyn Højderyggen ligger grundfjeldet gennemsnitligt i en dybde af ca. 1 km. I det danske område af det Nordtyske Bassin overstiger mægtigheden af sedimenterne 3 km.

De ovennævnte mægtigheder af den sedimentære lagserie i de to bassiner må give forventninger om tilstedeværelsen af varmtvandsførende formationer, der vil være potentielle reservoirer for indvinding af geotermisk energi. En nærmere vurdering må således være berettiget.

Undergrundens temperaturforhold

De første pålidelige temperaturmålinger i en dybere boring her i landet blev foretaget i boringen Grøndals Eng, der blev udført som en kombineret vandboring og videnskabelig undersøgelsesboring i tidsrummet 1893–1907. De øvrige af de foreliggende temperaturdata er fra perioden 1950–1976. Flertallet af disse data stammer fra boringer, der er udført som led i efterforskningen af kulbrinter, mens de resterende hidrører fra boringer udført i forbindelse med udforskningen af saltforekomster.

Temperaturmålinger fra ovennævnte boringer er gengivet i tabel 1, mens boringernes beliggenhed er vist på kortet fig. 2. De angivne temperaturer er enten målinger, der er taget nær bunden af borehullet eller maksimumsbestemmelser. Det er antaget, at sidstnævnte også repræsenterer temperaturer nær boringens bund. I flere af boringerne er temperaturen målt i mere end én dybde. Målingerne er udført under ophold i borearbejdet, og der er således tale om temperaturer målt nær boringens bund i den aktuelle dybde. En undtagelse er målingen i 1957 meters dybde i Oddesund 1, der blev udført i forbindelse med en »drill stem test«, efter at slutdybden 3540 meter var nået. Det har ikke på nuværende tidspunkt været muligt at korrigere de målte temperaturer. På grund af boremuddercirkulationens afkølede effekt må de i tabellen angivne værdier betragtes som minimumsværdier. De vurderes at være af størrelsesordenen 10–15% lavere end de sande bjergartstemperaturer.

Den geotermiske gradient er et udtryk for, hvor meget temperaturen stiger med dybden. For hver boring er de beregnede gradienter anført i tabel 1 sammen med de temperaturer og dybder, der ligger til grund for beregningen. Endvidere er den geologiske alder af bjergarterne i de respektive dybder angivet i det omfang, oplysningerne er frigivet. Ved udregning af gradienterne er temperaturen ved jordoverfladen sat til 8°C svarende til den årlige middeltemperatur for hele landet. De fundne gradientværdier må betragtes som en gennemsnitsværdi for jordlagene mellem overfladen og dybden for den givne temperaturbestemmelse. Ved de boringer hvor det har været muligt at beregne mere end én værdi, fremgår det, at gradienten ikke er konstant. Temperaturen er således ikke en lineær funktion af dybden, hvilket heller ikke var at

vente, da varmeledningsevnen varierer med bjergartstypen. Den gradient, der er beregnet ud fra den dybeste temperaturmåling, giver gennemsnittet for det største afsnit af undergrunden, og værdien af denne er anført ved hver boring på kortet fig. 2.

Fig. 3 viser sammenhørende værdier af temperatur og dybde. En ret linie er tilpasset punkterne efter »mindste kvadraters metode«. De nummererede punkter er holdt udenfor beregningen af linien, idet de repræsenterer temperaturværdier, der er relativt høje i forhold til dybden. Der er muligvis tale om lokale anomalier. Den beregnede linie skærer temperaturaksen ved 9,5°C. At skæringspunktet ikke ligger nærmere overfladetemperaturen på 8°C, kan skyldes usikkerhed på data; men en mere sandsynlig forklaring er, at gradienten i de øverste jordlag på grund af lavere varmeledningsevne er større end den rette linie indikerer. Linien har en hældning på 23,5°C/km, hvilket kan betragtes som en gennemsnitsværdi for den geotermiske gradient i Danmark (minimumsværdi).

Gradienterne, der blev beregnet ud fra de dybeste temperaturmålinger, har dannet grundlag for den følgende regionale vurdering. På grund af usikkerheden på gradienterne, og det faktum at de er bestemt for boringer af forskellig dybde, må en sammenligning af værdierne foretages med forsigtighed. På fig. 4 er den regionale variation vist ved et konturkort. På grund af de anormale temperaturforhold, der kan forventes i og omkring saltstrukturer, er der set bort fra de egentlige saltboringer i Nordjylland. Hensigten med konturkortet har mere været at vise tendenser i den regionale variation end at tildele områder uden målinger absolutte værdier. Den geotermiske gradient antager ofte relativt lave værdier over højtliggende Prækambrisk grundfjeld, mens den udviser relative maksima i sedimentbassiner. Det fremgår af konturkortet, at en minimumszone er beliggende over Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Fra Højderyggen i retning mod syd mod det Nordtyske Bassin tiltager værdien af den geotermiske gradient. En langstrakt maksimumszone ligger delvist over det Danske Sænkingsområde, hvorfra gradienten aftager i nordøstlig retning mod den Fennoskandiske Randzone. I Nordvestjylland er det muligt, at den regionale gradient i retning mod Nordsøen antager værdier på 30°C/km eller mere. Forhol-

Tabel 1. Temperaturmålinger i danske dybdeboringer

Boring	år	terræn- kote i m	dybde under ter- ræn i m	målt temperatur °C	geotermisk gradient i °C/km	geologisk tidsafsnit
Arnum 1	1952	39	1511	38	20	Buntsandstein præ-Zechstein
			1829	54	25	
Batum 1A	1951	12	762	26	24	Zechstein (saltdiapir)
Batum 13	1952	9	557	21	23	Zechstein (saltdiapir)
Børglum 1	1951	19	1516	37	19	Nedre Jura
Fjerritslev 1	1958	5	907	30	24	Nedre Jura
Fjerritslev 2	1958	5	2059	55	23	Nedre Jura
Flyvbjerg 1	1958	44	1695	40	19	Keuper
Frederikshavn 2	1952	12	1026	32	23	?Trias
Frederikshavn 3	1952	7	1003	32	24	?Trias
Gassum 1	1948-1951	54	3027	116	36	Buntsandstein
Glamsbjerg 1	1951	68	905	28	22	Prækambrium
Grindsted 1	1958	32	1647	67	36	Prækambrium
Grøndals Eng	1893-1907	7	861	27	22	Øvre Kridt
Haldager 1	1950	2	1517	71	42	Nedre Jura
Hobro 1	1974	27	1514	50	28	
			2438	62	22	
			2590	65	22	
Horsens 1	1958	54	1726	44	21	Keuper
Hvornum 1	1964	19	1500	44	24	Zechstein (saltdiapir)
Hvornum 2	1964	23	1550	50	27	Zechstein (saltdiapir)
Hvornum 4	1971	18	1606	47	24	Zechstein (saltdiapir)
Hyllebbjerg 1	1975-1976	21	1055	32	23	
			2873	88	28	
Hønning 1	1958	29	1922	44	19	Buntsandstein præ-Zechstein
			2485	54	19	
Kvøls 1	1976	12	1048	40	31	
			2533	71	25	
			2635	78	27	
Lavø 1	1959	25	2438	51	18	?Keuper
Mors 1	1966-1967	11	2047	49	20	Jura Buntsandstein Buntsandstein Buntsandstein
			4576	105	21	
			4981	129	24	
			5216	133	24	
Mønsted 1	1951	37	762	27	25	Zechstein (saltdiapir)
Nøvling 1	1966	62	3527	93	24	Perm Silur
			3752	95	23	

Oddesund 1	1976	3	618	40	52	Rhæt
			1957	77	35	
			2178	60	24	
			2427	67	24	
			3026	91	27	
			3537	98	26	
Ringe 1	1951	74	904	55	52	Trias Nedre Perm eller Prækambrium
			1435	41	23	
Rødby 1	1952	2	1530	41	22	Buntsandstein
Rødby 2	1953	3	1658	58	30	overgangen / Buntsandstein-Zechstein Rotliegendes
			2720	74	24	
Rødding 1	1976	25	1060	34	25	
			2188	66	27	
Rødebro 1	1958	49	1645	39	19	præ-Zechstein
Rønne 1	1965-1966	35	4057	100	23	Buntsandstein ?Rotliegendes Silur Silur
			4893	112	21	
			5031	124	23	
			5293	138	25	
Skive 1	1976	21	1054	40	30	
			2306	73	28	
Slagelse 1	1959	38	2972	87	27	Nedre Kambrium eller Prækambrium
Suldrup 4A	1959-1960	65	1144	32	21	Zechstein (salt diapir)
Thisted 1	1967	29	937	39	33	Rhæt
Tostrup 1	1951	36	759	23	20	Zechstein (salt diapir)
Tønder 1	1951-1952	8	1037	33	24	Keuper Buntsandstein Buntsandstein Zechstein
			1517	44	24	
			2078	50	20	
			3084	71	20	
Tønder 2	1952-1953	13	1832	49	22	Buntsandstein Buntsandstein Buntsandstein Zechstein Rotliegendes
			2356	60	22	
			2383	62	23	
			2968	82	25	
			3196	93	27	
Uglev 1	1951	32	945	38	32	overgangen Jura - cap rock (salt diapir) Zechstein (salt diapir)
			1239	54	37	
Ullerslev 1	1951	22	1057	34	25	Trias
Vedsted 1	1958	2	1641	46	23	Nedre Jura Rhæt
			2065	53	22	
Vejrum 7	1973	36	238	30	92	Zechstein (salt diapir) Zechstein (salt diapir)
			999	36	28	
Vejrum 8	1973	33	1000	37	29	Zechstein (salt diapir)
Vejrum 9	1973	42	999	39	31	Zechstein (salt diapir)
Voldum 1	1974	30	1274	46	30	
			1969	58	25	
			2085	61	25	
			2235	64	25	
Ørslev 1	1967-1968	16	1823	59	28	Perm Nedre Karbon Nedre Karbon
			2354	66	25	
			2567	74	26	
Abenrå 1	1952-1953	53	971	38	31	Keuper overgangen Buntsandstein - Zechstein præ-Zechstein
			1853	54	25	
			2343	66	25	

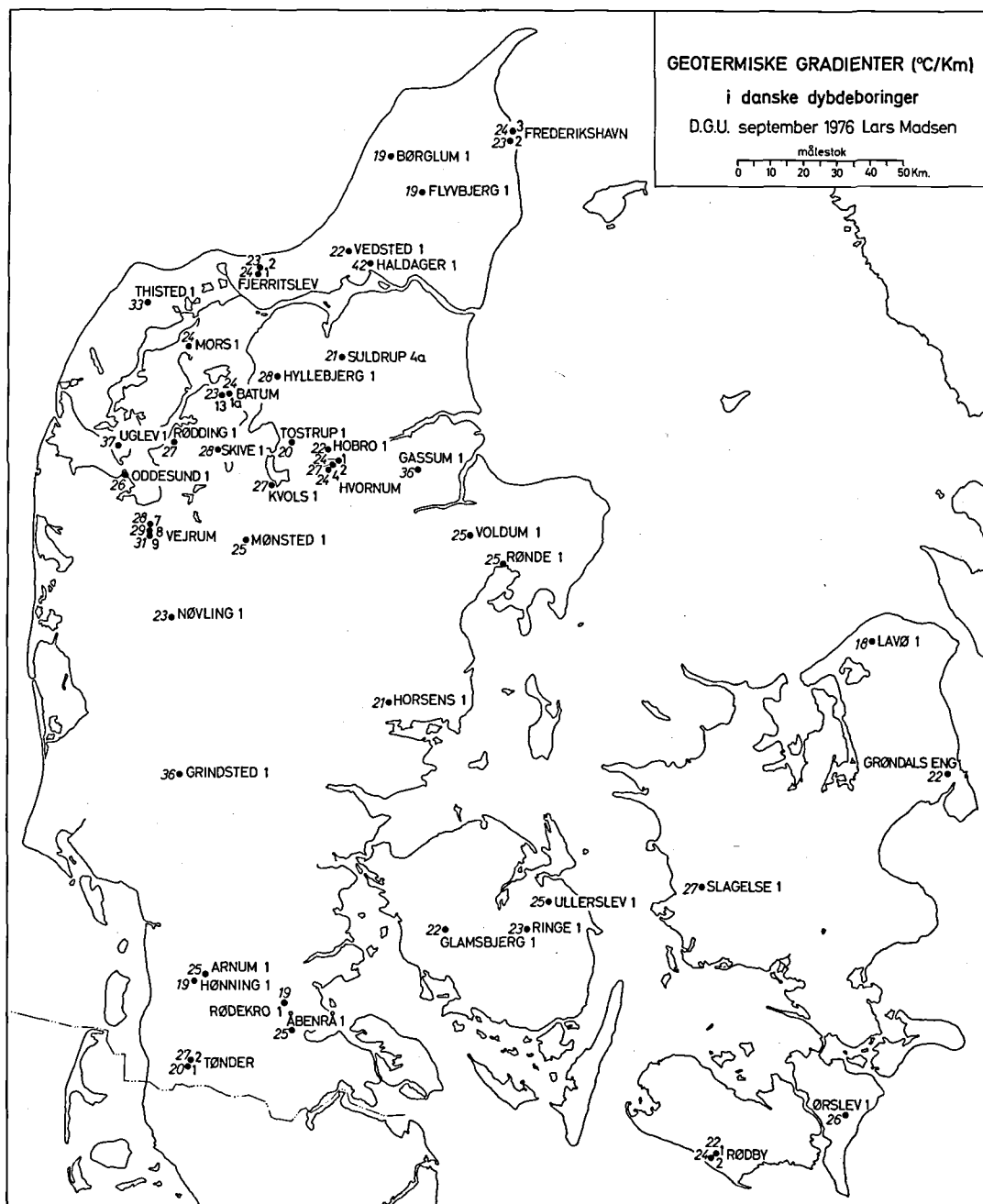


Fig. 2.

dene i dette område er imidlertid komplicerede på grund af de mange saltstrukturer.

Saltstrukturer er sandsynligvis den hyppigste årsag til de mere markante anomalier i temperaturfordelingen i den danske undergrund. Saltet

har en væsentlig større varmeledningsevne end de fleste andre sedimenter. Derfor vil saltstrukturer og specielt salt diapirer »suge« varmen til sig og lede den hurtigere mod overfladen. Modelberegninger (Balling 1978) giver en forståelse af

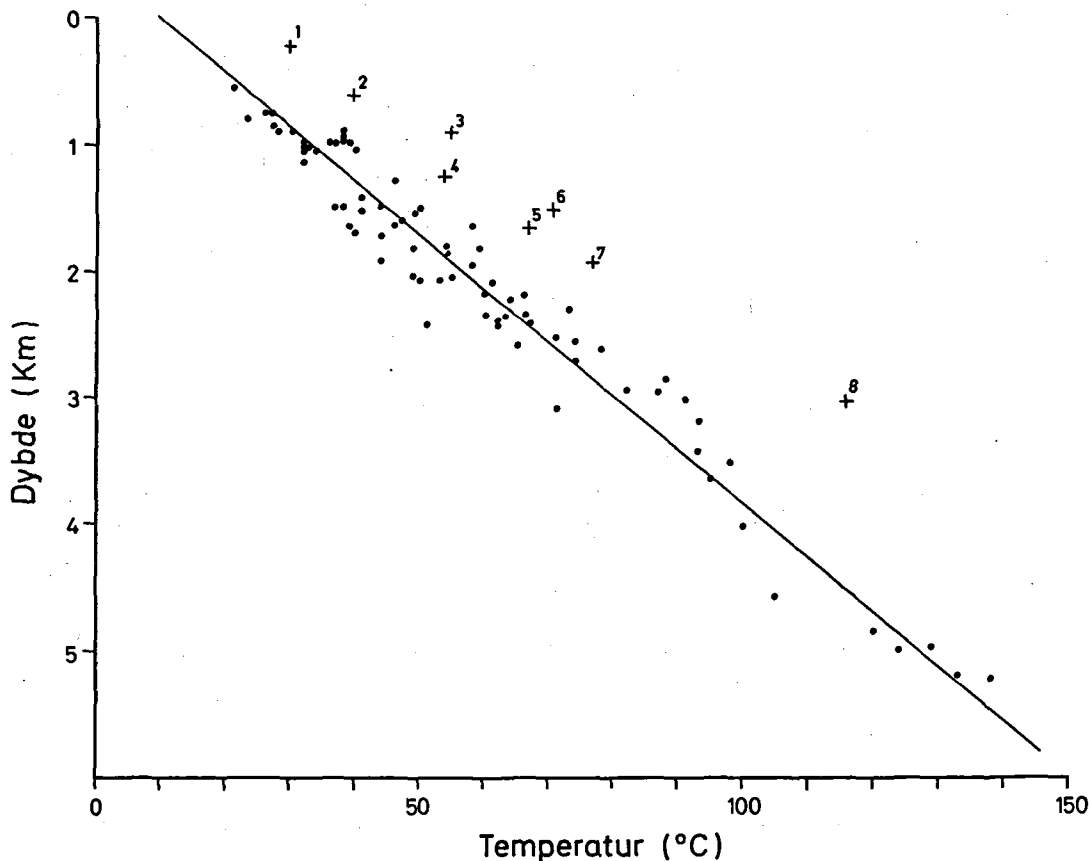


Fig. 3. Punkterne angiver sammenhørende temperaturer og dybder. Linien angiver en stigning på 23,5°C/km. Særligt høje temperaturer i forhold til dybden er målt i borerne Vejrum 7

(1), Oddesund 1 (2 og 7), Ringe 1 (3), Uglev 1 (4), Grindsted 1 (5), Haldager 1 (6) og Gassum 1 (8).

temperaturfordelingen i og omkring saltstrukturer. Over og i toppen af strukturerne kan forventes positive anomalier. Disse er større for dybereliggende strukturer end for diapirer, der når tæt på overfladen. Strukturernes indre samt deres flanker domineres af negative anomalier. Det er først og fremmest i Nordjylland undergrunden præges af saltstrukturer. For at udrede strukturernes indflydelse på temperaturfeltet kræves mere detaljerede undersøgelser. Eksempler på positive anomalier er gradientværdierne, der er beregnet for Uglev 1 (32 og 37°C/km), Gassum 1 (36°C/km), og Thisted 1 (33°C/km), hvor den første boring er placeret over en dybereliggende diapir og de to andre over dybtliggende saltpuder. Boringerne Hobro

1 og Mors 1 er beliggende på eller nær flankerne af salt diapirer, hvilket kan forklare, at gradienterne på henholdsvis 22 og 24°C/km er anormalt lave i forhold til en forventet regionalværdi på mere end 27°C/km.

Temperaturmålingerne i borerne Hyllebjerghøj 1, Kvols 1, Oddesund 1, Rødding 1 og Skive 1 synes ikke at være væsentlig influeret af saltstrukturer. Målingerne kan derfor benyttes til en generel regional vurdering. De dybeste gradientbestemmelser ligger alle på 26–28°C/km. Antages gradientværdierne at være i størrelsesordenen 15 % for lave, fås efter korrektion værdier omkring 30°C/km. En geotermisk gradient omkring 30°C/km for dybdeintervallet 2–3 km er formentlig en realistisk værdi for den centrale del

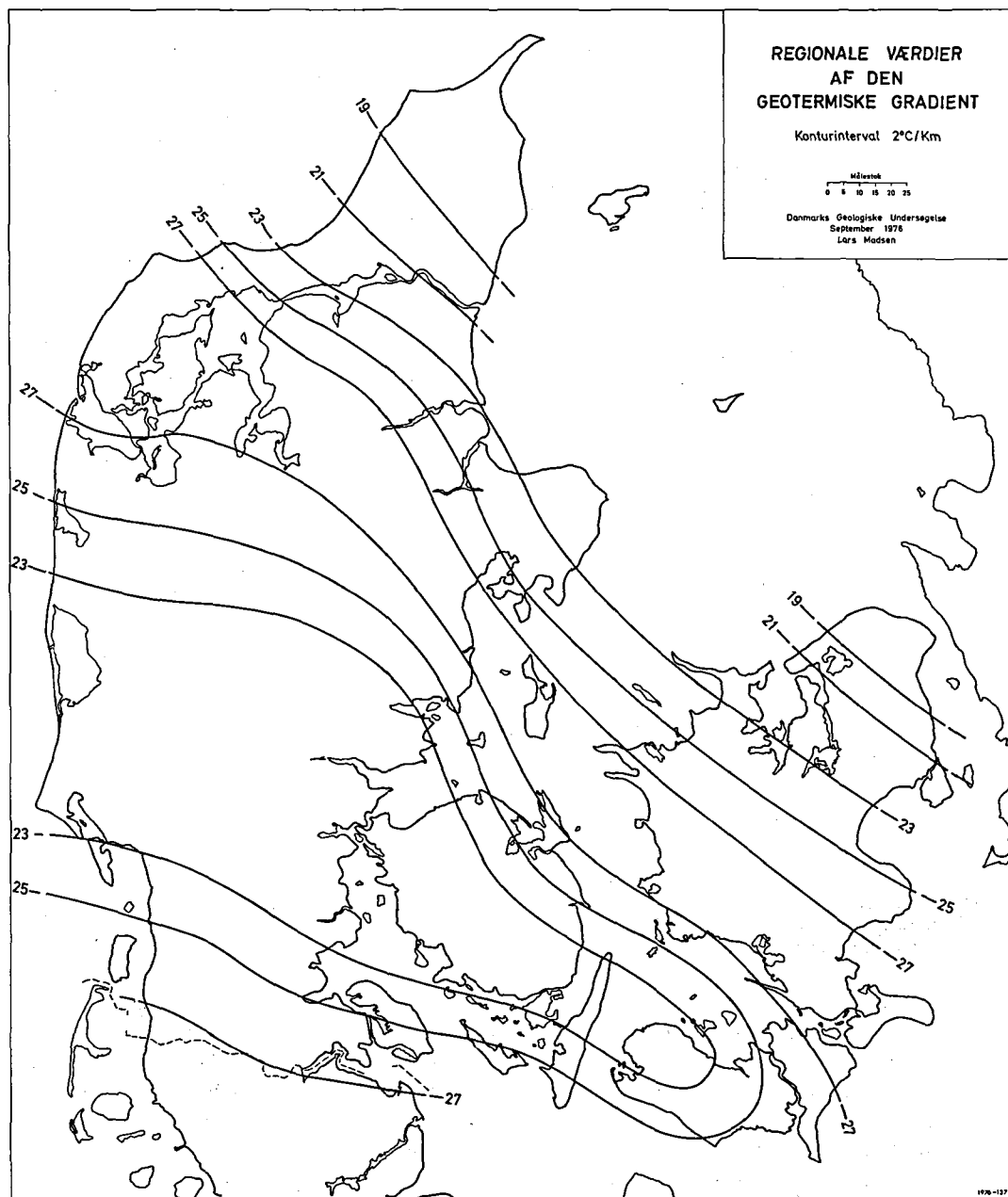


Fig. 4.

af det Danske Sænkingsområde i Jylland. For lavere dybder f.eks. 1 km kan gradienten være større, idet de overfladenære sedimenter har lavere varmeledningsevneværdier.

Indvindingsmuligheder

I det følgende gives en sammenfattende vurdering af indvindingsmulighederne i de forskellige områder af landet. Opdelingen i områder følger

undergrundens opdeling i strukturelle hovedenheder (fig. 1). Vurderingen baseres på den forudgående diskussion af undergrundens temperaturforhold, de geologiske oplysninger i de tidligere omtalte rapporter samt publikationerne Larsen 1966, Michelsen 1976, Rasmussen 1972, Rasmussen *et al.* 1971 og 1973, Sorgenfrei 1966 og Sorgenfrei & Buch 1964. I forbindelse med udarbejdelsen af ovennævnte rapporter har ved DGU især Finn Bertelsen, Olaf Michelsen og Søren Priisholm arbejdet med den geologiske vurdering af potentielle varmtvandsreservoirbjergarter i den danske lagserie.

Det Danske Sænkingsområde på Sjælland. Nord for Ringkøbing-Fyn Højderyggen, blev den største geotermiske gradient bestemt for Slagelse 1 boringen, hvori der ved en dybde af 2972 m blev målt en temperatur på 87° C, hvilket svarer til en gradient på 27°C/km. Værdierne for borerne Grøndals Eng og Lavø 1 på henholdsvis 22 og 18°C/km indikerer, at temperaturstigningen med dybden aftager i nordøstlig retning. En maksimal gradientværdi på op mod 30°C/km og en dybde til grundfjeldet på 3–4 km betyder, at det vil være muligt at lokalisere områder, hvor temperaturen ved basis af den sedimentære lagserie er omkring 100°C.

De ældste og dybestliggende af de potentielle reservoirbjergarter i området er de Nedre Kambriske sandsten. Kendskabet til deres udbredelse, mægtighed og reservoirgenskaber er imidlertid ringe. De er kun påvist i Slagelse 1 boringen, hvor der i en dybde af knap 3 km blev genboret 6 m af sandstenen uden, at grundfjeldet blev nået. Fra Perm perioden må sandstenslag i Rotliegendes og Kalklag i Zechstein betegnes som potentielle reservoirbjergarter. Sandstenslagene er ikke påvist i borerne i dette område, men deres tilstedeværelse kan ikke udelukkes. Kalklagene er formentlig stort set begrænset til Midt- og Vestsjælland. Kendskabet til disse lags udbredelse og reservoirgenskaber er minimalt. Buntsandstein i Trias rummer formentlig i nogle områder af Danmark gode reservoirmuligheder, men lagenes karakter i Slagelse 1 tyder ikke på gode reservoirgenskaber. Desuden ligger lagene relativt højt her, idet dybden til basis af Buntsandstein i boringen er 2254 m. Det er muligt, at seriens reservoirgenskaber er bedre i det

nordligste Sjælland, hvor den ifølge seismiske data ligger dybere og har større mægtighed.

I boringen Lavø 1 blev sandlag fra Rhæt, Jura og Nedre Kridt betegnet som vandførende. Lagene ligger her i en dybde af 2,0–2,3 km. Der blev bestemt en geotermisk gradient på 18°C/km. Såfremt temperaturmålingen er pålidelig, og der er tale om en minimumsværdi, kan der i gunstigste fald forventes en temperatur på omkring 50°C i 2 km's dybde. I retning mod syd og sydvest mindskes dybden til lagene, og medmindre der lokalt kan findes gunstige strukturelle forhold og/eller geotermiske anomalier, vil mulighederne for indvinding fra disse lag være marginale.

Kalklagene i Øvre Kridt kan rumme gode reservoirmuligheder, specielt hvor de er opsprækkede, men i det meste af landet ligger de for højt til at have interesse i forbindelse med indvinding af varmt vand. Den dybeste beliggenhed af lagene, der er påvist i borerne på dansk landområde er i Lavø 1, hvor basis af kalken ligger i 2 km's dybde, men som nævnt ovenfor er temperaturen her formentlig ikke over 50°C.

Med det nuværende kendskab til lagserien på Sjælland er der således ingen niveauer, der umiddelbart kan betegnes som gunstige med hensyn til en indvinding af varmt vand.

Det Danske Sænkingsområde i Jylland. Dybden til grundfjeldet når antageligt op på 8–10 km. Den geotermiske gradient blev for den centrale del af bassinet vurderet til en værdi omkring 30°C/km. Selvom gradienten formentlig aftager på dybere niveauer, må der ved basis af de sedimentære lag forventes temperaturer over 200°C.

Potentielle reservoirbjergarter i Palæozoikum (sandstenslag fra Nedre Kambrium og Rotliegendes samt kalkstenslag i Zechstein) vil i området overvejende ligge i dybder på 3–10 km, hvor temperaturen vil være i størrelsesordenen 100–250°C. Kendskabet til lagenes udbredelse, mægtighed og reservoirgenskaber er meget begrænset.

Den nedre sandede serie i Buntsandstein anses for at rumme reservoirmuligheder. I boringen Gassum 1 blev der i 3027 m's dybde målt 116°C. Fra et sandlag i dybden 2683 m indtraf der under borearbejdet en kraftig vandindstrømning i borehullet, og trykket var af en sådan størrelse, at

der løb vand ud på overfladen. Dette tyder på, at Buntsandstein rummer sandlag, der er vandførende og permeable, samt at porevandstrykket er lig med eller større end det hydrostatiske tryk.

Gassum Formationen, der er af Øvre Triassisk – Nedre Jurassisk alder, indeholder sandlag, der vurderes at have gode reservoiregenskaber. Lagene ligger i den centrale del af området gennemsnitligt i en dybde af 2–3 km, hvor temperaturen kan forventes at ligge i intervallet 70–100°C. De bedste muligheder for indvinding af varmt vand synes at være tilstede i et område der strækker sig fra Thy over Mors, Salling, Himmerland ned mod Århus-Djursland området (fig. 5). En formations-test i boringen Oddesund 1 bekræftede, at serien er vandførende og permeabel. Vandets temperatur blev målt til 77°C.

Haldager Formationen, der er af Mellem Jurassisk alder, rummer ligesom Gassum Formationen sandlag med gode reservoirmuligheder. De Jurassiske lag ligger i en gennemsnitlig dybde på 1500–2000 m, og det vil derfor være mere vanskeligt, men formentlig muligt at lokalisere områder med Jurassiske reservoirtjergarter ved tilstrækkelig høj temperatur for en geotermisk energiindvinding. Tre »drill stem tests« i boringen Haldager 1 har bekræftet, at der er vandførende sandlag i Jura.

Lag, der er yngre end Jura, ligger sandsynligvis så højt, at temperaturen er for lav til, at de kan have betydning i forbindelse med geotermisk energi.

Med den nuværende viden synes der derfor i den jyske del af det Danske Sænkingsområde at være muligheder for indvinding af varmt vand fra sandlag i Buntsandstein, Rhæt og Jura. De bedste betingelser er formentlig tilstede centralt i bassinet. I retning mod den Fennoskandiske Randzone opnår lagene en større mægtighed, og aflejringerne er af en type, der vurderes at have bedre reservoiregenskaber. Her ligger lagene imidlertid højere i undergrunden og dermed ved en lavere temperatur. I retning mod Ringkøbing-Fyn Højderyggen mindskes dybden til grundfjeldet ligeledes, og de sandede lag synes at være reducerede i mægtighed. Mulighederne for at finde velegnede reservoirtjergarter ved relativ høj temperatur mindskes derfor i retning mod disse områder. Det vil på nuværende stadi være vanskeligt at trække skarpe grænser mellem lovende og mindre lovende områder, idet lokale

temperaturanomali er og gunstige strukturelle forhold kan give muligheder i områder, hvor den regionale værdi af den geotermiske gradient er forholdsvis lav.

Områder med højtliggende grundfjeld. I det nordligste Jylland ved Frederikshavn og Skagen er der et mindre område med højtliggende grundfjeld. Mægtigheden af potentielle reservoirtjergarter er her stærkt reduceret. Samme forhold gør sig gældende på Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Den regionale værdi af den geotermiske gradient vurderes her at være omkring 25° C/km eller mindre. Mulighederne for at finde varmtvandsførende formationer med tilstrækkelig høj temperatur for en energimæssig udnyttelse er formentlig små i disse områder.

Det Nordtyske Bassin. Kalkstenslag fra Nedre Karbon kan rumme muligheder for indvinding af varmt vand. I boringen Ørslev 1 udgjorde den gennemborede del af Nedre Karbon 522 m. I boringen blev der foretaget to temperaturmålinger i dette niveau. I 2355 m's dybde blev der målt 63°C og i 2567 m 74°C.

Sandstenslagene i Rotliegendes, der er påvist i flere borerier syd for Højderyggen, må betegnes som potentielle reservoirtjergarter. I Rødby 2 blev der i denne del af lagserien målt 74°C i 2720 m's dybde og i Tønder 2 93°C i 3194 m.

Kalklagene i Zechstein kan rumme reservoirtjergarter. I Ørslev 1 blev der i kalken i en dybde af 1823 m målt 59°C. En test i ca. 1770 m's dybde viste, at lagene er vandførende. I Sønderjylland ligger lagene i 2–3 km's dybde. I Tønder 2 boringen blev der i den nedre del af evaporitserien i dybden 2968 m målt 82°C. Om der er muligheder for vandindvinding afhænger igen af lagenes reservoiregenskaber.

Syd for Højderyggen er aflejringerne i Buntsandstein tilsyneladende af en karakter, der er mindre lovende med hensyn til reservoirtjergarter. De i borerier påviste sandstenslag ligger relativt højt, er af begrænset mægtighed og tillige lerede. Den dybeste beliggenhed er kendt fra Tønder 2, hvor basis af Buntsandstein ligger i en dybde af lidt over 2400 m. Nær basis måltes en temperatur på 62°C.

Lag der er yngre end Buntsandstein ligger i den danske del af det Nordtyske Bassin sandsynligvis ikke dybt nok for en udnyttelse af geoter-

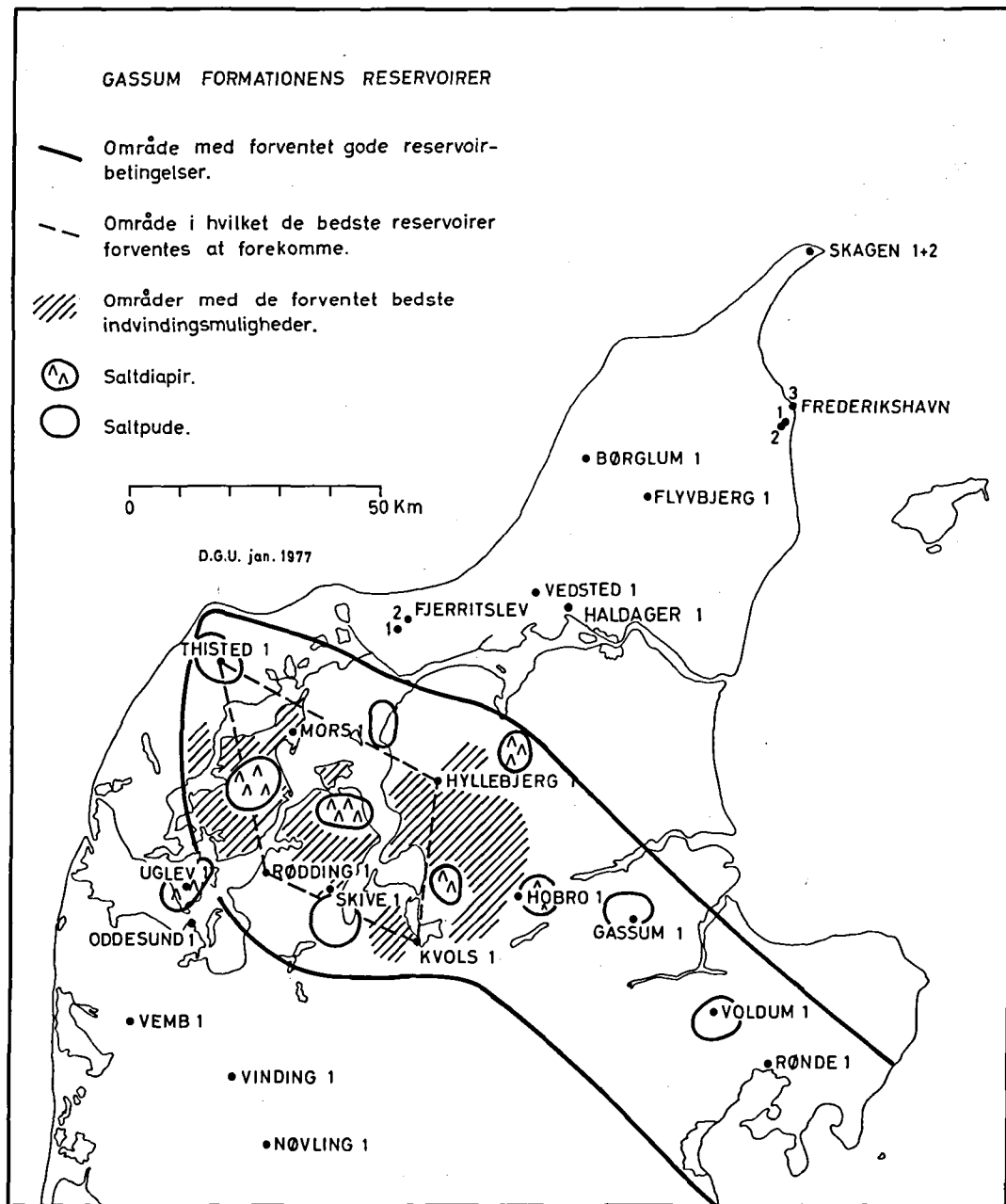


Fig. 5. Kort over indvindingsmuligheder fra Gassum Formationen. (Efter rapp. fra handelsministeriets arbejdsgruppe vedr. geotermisk energi, febr. 1977).

misk energi. Muligheder for indvinding af varmt vand fra undergrunden syd for Ringkøbing-Fyn Højderyggen skal ud fra den nuværende viden

formentlig søges i kalklagene fra Nedre Karbon og Zechstein samt i sandlag fra Rotliegendes.

(Foredrag i Dansk Geologisk Forening 17. nov. 1976, Århus og 2. maj 1977, København).

Litteratur

- Balling, N. P. 1976: *Rapport over geotermiske energiundersøgelser i dybdeboringen Oddesund-1*. Lab. for Geofysik, Århus Universitet. 16 pp.
- Balling, N. P. 1978: Geofysiske metoder til lokalisering af geotermiske energiressourcer. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1977*, 13-27.
- Bonnésen, E. P., Bøggild, O. B. & Ravn, J. P. J. 1913: Carlsbergfondets dybdeboring i Grøndals Eng ved København 1894-1907 og dens videnskabelige resultater, 37-48.
- Danm. geol. Unders., Prækvartærafld. 1976: *Geologisk vurdering af geotermisk energi i Danmark*. Danm. geol. Unders., ((fortrolig rapp.)). 73 pp.
- Kappelmeyer, O. & Haenel, R. 1974: Geothermics, with Special Reference to Application. *Geoexploration Monographs, Ser. 1, No. 4*. Gebrüder Borntraeger, Berlin. 238 pp.
- Larsen, G. 1966: Rhaetic-Jurassic-Lower Cretaceous sediments in the Danish Embayment. *Danm. geol. Unders., række 2, nr. 91*, 127 pp.
- Madsen, L. 1975: Approximate geothermal gradients in Denmark and the Danish North Sea sector: *Danm. geol. Unders., Årbog 1974*, 5-16.
- Michelsen, O. 1976: Preliminary report on the Jurassic lithostratigraphic nomenclature in the Danish North Sea area. *Danm. geol. Unders., Årbog 1975*, 105-116.
- Rapport fra handelsministeriets arbejdsgruppe vedr. geotermisk energi, febr. 1977: *Udnyttelse af geotermisk energi i Danmark*. 72 pp.
- Rasmussen, L. B. 1972: Oversigt over dybdeboringerne på dansk landområde 1965-68. *Dansk geol. Foren. Årsskrift for 1971*, 41-48.
- Rasmussen, L. B., Baartman, J. C., Henriksen, S. E., Kristoffersen, F. N., Dinesen, A., Bang, I., Stenestad, E., Buch, A., Christensen, O. B., Michelsen, O., Hansen, T. J. & Jacobsen, F. L. 1973: Dybdeboringen Nøvling nr. 1 i Midtjylland (Engl. summary). *Danm. geol. Unders., række 3, nr. 40*, 164 pp.
- Rasmussen, L. B., Dinesen, A., Henriksen, S. E., Bang, I., Stenestad, E., Buch, A., Christensen, O. B., Michelsen, O. & Jacobsen, F. L. 1971: Dybdeboringen Rønde nr. 1 på Djursland. (Engl. summary). *Danm. geol. Unders., række 3, nr. 39*, 123 pp.
- Sorgenfrei, T. 1966: Struktureologischer Bau von Dänemark. *Z. Geol.* 15, 641-660.
- Sorgenfrei, T. & Buch, A. 1964: Deep Tests in Denmark 1936-1959. *Danm. geol. Unders., række 3, nr. 36*, 146 pp.