

TEMPERATURER I DYPE BORHULL I FOSDALENS GRUVER

Temperatures in deep drillholes in the Fosdalen mines

Av

Ø. LOGN

Abstract. Measurements of temperatures in 4 deep diamond drillholes drilled from the deepest level of the Fosdalen mines in Trøndelag, Norway, are described. The deepest temperature measurement has been made 1190 meters under the mean surface. The temperature measured at this depth is about 25° C. Mean resiproke temperature gradients are determined for the intervals 30,5—305 meter and 30,5—1190 m. These two resiproke gradients are found to be 45,6 and 61,0 meters pr. °C, showing a depth-temperature curve that tends to be convex toward the depth axis.

Innledning

Temperaturfordelingen i de ytre deler av jordskorpen er kjent fra målinger i et stort antall borhull. Som naturlig er, befinner disse borhull seg vesentlig i oljedistrikter og gruveområder, og fordelingen på jordoverflaten er tilfeldig. En stor del av de kjente data stammer således fra USA. C. E. van Nostrand¹ har sammenstillet data fra omtrent 250 dype borhull, utvalgt blant et samlet kjent antall på ca. 1000 borhull. Ved gjennomgåelse av de oppstilte tabeller legger man merke til at Skandinavia overhodet ikke er representert i samlingen.

I forbindelse med undersøkelser over dypereleggende malmdannelser i Fosdalen, Malm i Nord-Trøndelag, har man fra gruvas nederste nivå diamantboret relativt dype borhull. For å belyse ventilasjonsproblemene ved den fremtidige gruvedrift, har man i 4 av de dypeste

¹ International Constitution of the Earth, edited by Beno Gutenberg, Chapter VI, by C. E. van Nostrand, 1951.

diamantborhull målt temperaturen i forskjellige dyp, og herved kunnet bestemme midlere temperaturgradier. Siden det fra Skandinavia ikke synes å foreligge publiserte data av betydning om temperaturfordelingen i jordskorpens ytterste del, antas det at det kan ha interesse å publisere resultatene fra denne undersøkelse.

Geologi

Fosdalens gruver ligger vest for Steinkjer ved den innerste del av Trondheimsfjorden. Gruvenes jernmalmforekomster ligger på den nordre skjenkel av den store Snåsa-Stjørna synklinal. Bunnformasjonen består av gneisgranitter overlatt av glimmerskifer. Jernmalmen er knyttet til overliggende lavabenker, bestående av vekslende lag kvartskeratofyr og grønskifer. Over lavabenkene finnes sandstener og kalkstener av mellomordovisisk alder.

Gruveområdets geologi er karakterisert ved ØNØ-WSW-lig strøk og steilt sydlig fall. I gruveområdets vestre del er fallet nordlig. Temperaturmålingene er utført i den østre del med sydlig fall.

Diamantborhullene er boret fra syd mot den steiltstående malmformasjon, som har fall ca. 70° S (fig. 1). Borhullene har gjennomskåret kvartskeratofyr og grønskifer av noe variabel sammensetning. Malmsonen er påtruffet mot slutten av borhullene. Denne består av magnetitmalm med ca. 5% svovelkis, og er knyttet til en bestemt kontakt mellom overliggende kvartskeratofyr og underliggende grønskifer. Svovelkisen forekommer i malmen som spredte korn, ofte i et båndaktig mønster.

Det regnes med at synklinalens bergarter ikke inneholder radioaktive mineraler av betydning, som kan gi anledning til varmeutvikling. Nevneverdig varmeutvikling f.eks. på grunn av oksydasjonsprosesser, er ikke kjent fra gruvedriften. I enkelte partier, særlig i de vestre deler av gruva, kan det forekomme atskillig vannutstrømning gjennom slepper, som kan gi muligheter for varmetransport. I de temperaturmålte borhull er det kun observert et ganske lite overskudd av vann. Utstrømningen er så liten at den antas ikke å ha betydning for målingene eller for temperaturfordelingen i undergrunnen.

Borprofilene

De 4 temperaturmålte borhull er boret fra nederste etasje i de 2 profiler 17 Ø og 26 V, som har innbyrdes avstand 4 km regnet langs strøkretningen (fig. 1). 2 borhull i hvert profil er målt. Som det fremgår, er borhullene i begge profiler avkilinger med felles løp ned til ca. 200 m dyp.

Borplassenes dyp under overflatens midlere nivå er henholdsvis 490 og 595 m. Borhullenes lengder varierer mellom 505 og 689 m, og når ned i 1030 til 1190 m under terrengoverflatens middel høyde.

Temperaturmålingene

Til målingene ble benyttet 2 maksimums-kvikksølvtermometre, idet man regnet med at temperaturen som normalt ville stige med økende dyp. Termometrene ble innsatt i hvert sitt vanntette rom, ett i hver ende av et 3 m langt borrhør. Borrhøret med innsatte termometre ble ved hjelp av et wirespill senket ned i borhullene til det sted der man ønsket temperaturen bestemt. For å sikre seg mot temperaturvariasjoner i borhullsvannet oppstått ved sirkulasjon under nedføring av borrhøret, lot man dette henge i ro i borhullet ca. 1 døgn før man heiste det opp igjen for avlesning av den målte maksimumstemperatur.

Temperaturavlesningene på de 2 termometre viste i alminnelighet differanser på ca. $\frac{1}{2}^{\circ}$, og de angitte resultater representerer middelverdier av de 2 avlesninger. Enkelte målepunkter viste større uoverensstemmelser, og måtte repeteres. Repetisjonene førte alltid til bedre overensstemmelse mellom temperaturene på de 2 termometre, og det ble antatt at feilmålingene berodde på oppvarming ved berøring under innsetting i borrhøret. Denne operasjon måtte utføres med stor forsiktighet.

Temperaturen ble bestemt med 100 m intervaller i borhullene. Som regel ble også målt temperaturen i bunnen av borhullene.

Målingene i borhullene gir ikke opplysninger om temperaturvariasjonene i området over 500 m dyp under overflaten. For å skaffe opplysninger i dette område, er det foretatt supplerende temperaturmålinger i kortere diamantborhull på 4 nivåer andre steder i gruva. Resultatene av disse målinger er antydnet på fig. 1. Ved beregning av dypene for disse målepunkter, er det gått ut fra terrengets midlere høyde på de respektive steder.

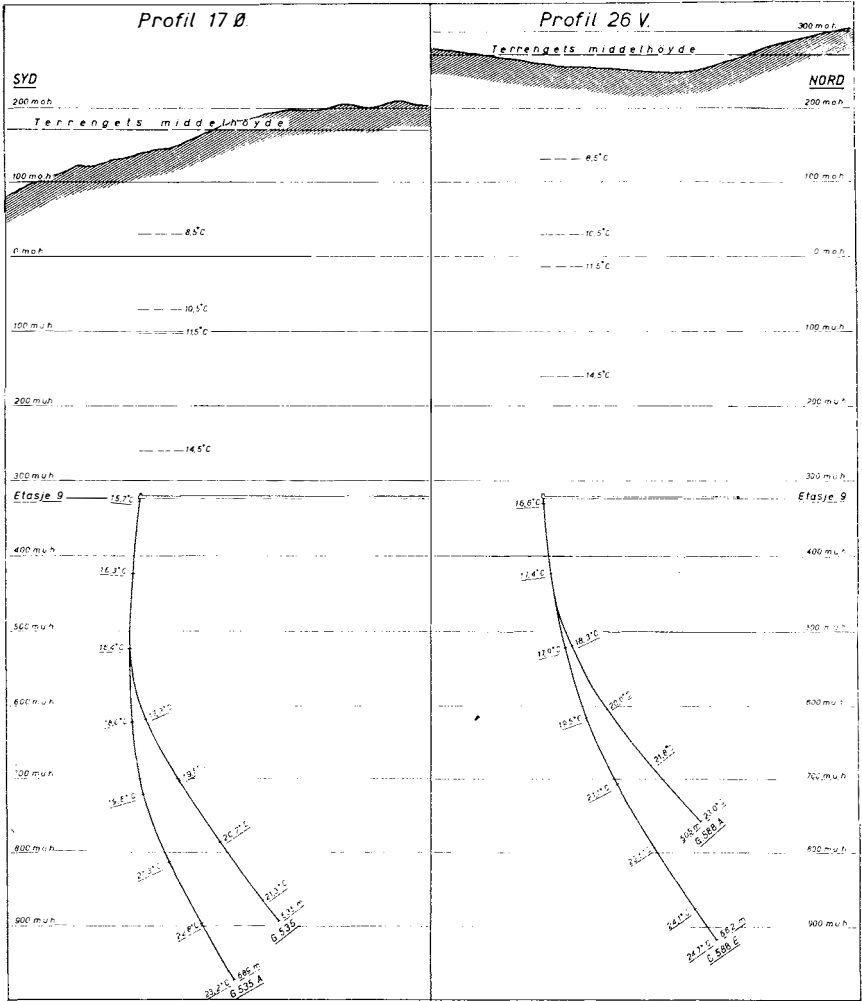


Fig. 1: Observerte temperaturer i 4 dype borhull. *Observed temperatures in 4 deep drillholes.*

Resultater

De observerte temperaturer er i fig. 1 påført de respektive borhull. Det fremgår at temperaturen er ca. 16° C omtrent 550 m under overflaten, og at den øker til ca. 25° C i 1200 m dyp. Det sees at temperaturene i tilsvarende dyp i de 2 borhull i de respektive profiler er noe

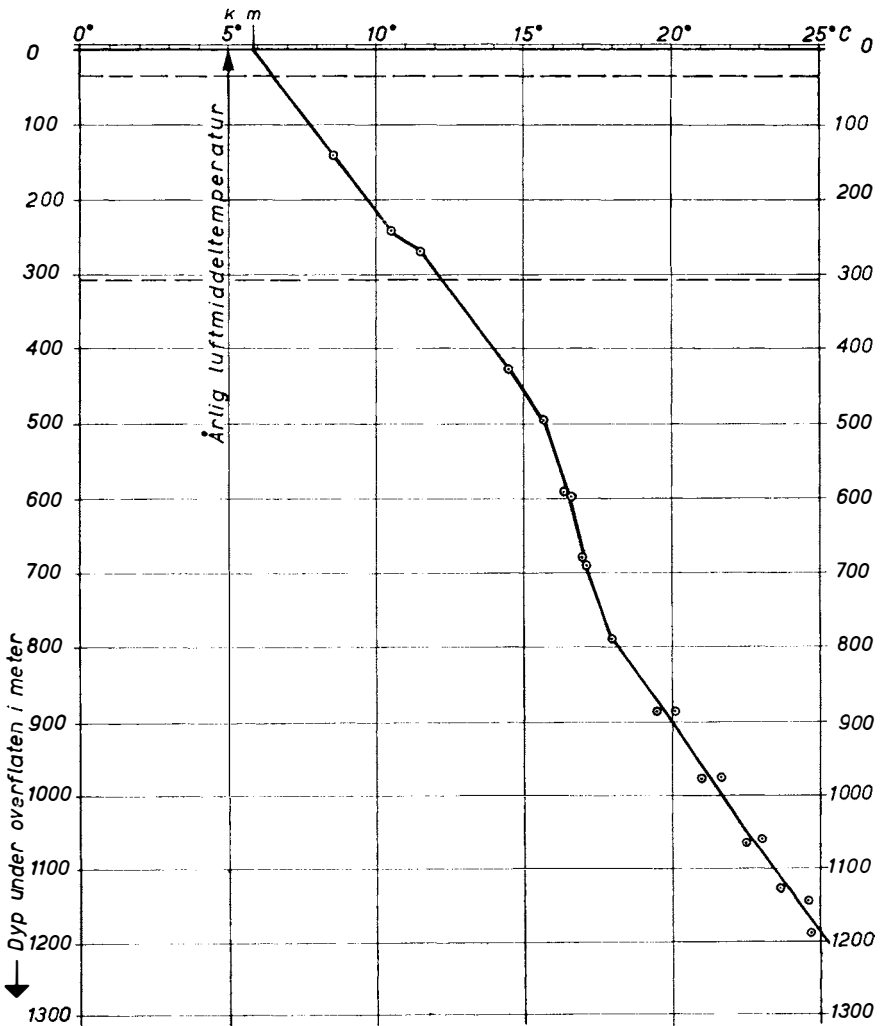


Fig. 2: Dybde-temperaturkurve. *Depth-temperature curve.*

forskjellig, hvilket skulle tyde på skråttliggende isogeotemer. Temperaturforskjellene er imidlertid ikke større enn at de kan sies å ligge innenfor målingenes nøyaktighet. Varmeledningsevnen av de av borhullene gjennomskårne bergarter kjennes ikke, men det antas at denne ikke varierer meget innen de 2 snitt. Det er derfor ikke grunn til å anta annet enn at isogeotermene forløper omtrent horisontalt.

Resultatene er sammenstillet i en dybde-temperaturkurve (fig. 2). Punktene på kurven er fremkommet ved beregning av middelverdier for temperatur og dyp for de 2 par borhull i hvert profil.

Temperaturkurven synes å angi en begynnelsestemperatur på ca. 6° C ved overflaten. Denne temperatur skulle være jordoverflatens årsmiddeltemperatur på stedet, som fremkommer etter at de årlige temperaturvariasjoner i overflaten er eliminert. Jordoverflatens middeltemperatur er ca. 1° C høyere enn årsmiddeltemperaturen for luften. Denne temperaturdifferens, som angir et mål for overflatens utstråling ut i verdensrommet på dette sted, er i god overensstemmelse med verdier angitt av van Nostrand for fuktig kystklima.

Temperaturkurven forløper noe uregelmessig, men synes grovt å antyde en konveksitet mot dybdeaksen. Det er også iflg. van Nostrand det mest alminnelige, idet en undersøkelse av 679 borhull viste at for 59% av disse var kurvene konvekse mot dybdeaksen, 36% konkave og bare 5% var rette linjer, som man skulle vente, hvis jorden oppfattes som en homogen kule utstrålende varme i verdensrommet.

Kurvens mulige konveksitet viser avtagende temperaturgradient med økende dyp. Hvis man med van Nostrand beregner midlere temperaturgradient og den resiproke gradient for henholdsvis intervallene 30,5 m (= 100 fot, d.v.s. et dyp hvor de årlige temperaturvariasjoner er minimale) og 305 m (= 1000 fot), og mellom 30,5 m og det største dyp hvor temperaturmåling er utført (= 1190 m), får man følgende resultat:

Dyp	Midlere temperaturgradient	Midlere resiproke temperaturgradient
30,5— 305 m	0,0219° C pr. m	45,6 m pr. °C
30,5—1190 m	0,0164° C pr. m	61,0 m pr. °C

Den midlere resiproke gradient øker fra 45,6 m pr. grad til 61,0 m pr. grad når dypets nedre grense økes fra 305 til 1190 m. Begge disse resiproke gradienter er betydelig større enn den vanligvis angitte middelverdi ca. 30 m pr. grad. Van Nostrands tabeller viser imidlertid at temperaturgradientene kan variere betydelig fra sted til sted, og man kan således komme til ganske feilaktige resultater ved å regne med denne middelverdi i et ukjent område. De resiproke gradienter angis å ligge i området fra mindre enn 10 til langt over 100 m pr. grad. Dog er det største antall beregnede resiproke gradienter

mindre enn 60 m pr. grad. Av 265 borhull, hvorav 168 er spredt over USA, og 97 på forskjellige steder ellers på jorden, er følgende antall observert med resiprok gradient større enn 60 m pr. grad:

- 1) I USA: 28 borhull, eller 16,7%.
- 2) Utenom USA: 47 borhull, eller 48,5%.

Årsaken til det relativt beskjedne antall borhull med høye resiproke gradienter i USA, er nok å finne i det faktum at det overveiende antall temperaturmålte borhull finnes i oljeførende distrikter med relativt unge sedimentære bergarter og ganske andre geologiske forhold enn de vi har på den skandinaviske halvøy. Den større prosentandel med høye resiproke gradienter i borhull ellers på jorden må antas å bero på at et forholdsvis større antall borhull er målt i gruvedistrikter under mere vekslende geologiske forhold enn i USA. Et relativt stort antall borhull er målt i Witwatersrand i Syd-Afrika og i Ontario i Canada. Begge disse steder har gjennomgående vist meget høye resiproke gradienter, i Witwatersrand helt opp til 148 m pr. grad. Både Witwatersrand og Ontario er som kjent karakterisert ved prekambriske bergarter.

I følgende borhull er det observert resiproke gradienter i nærheten av den i Malm observerte midlere verdi 61,0 m pr. grad:

- 1) I Brasil, Minaes Geraes 1 borhull, 64,5 m pr. °C
- 2) I Canada, Ontario 1 borhull, 65,0 m pr. °C.
- 3) I Russland, Karkov 1 borhull, 67,6 m pr. °C.
- 4) I Böhmen, Mähren, Přibram 2 borhull, 65,8—67,2 m pr. °C.
- 5) I Persia, Masjid-i-Sulaiman 3 borhull, 63,2—66,1 m pr. °C.
- 6) I USA, Keweenaw, Michigan 1 borhull, 64,4 m pr. °C.
- 7) I USA, Arizona 1 borhull, 64,7 m pr. °C.
- 8) I USA, Mississippi 1 borhull, 62,7 m pr. °C.
- 9) I USA, Oklahoma 3 borhull, 60—66,2 m pr. °C.
- 10) I USA, South Dakota 1 borhull 64,3 m pr. °C.
- 11) I USA, Texas 4 borhull 61,1—65,9 m pr. °C.

I alt 19 borhull av 265, herav 11 spredt over de midtre og nordre stater i USA.

Borhullene i Minaes Geraes, Keweenaw og Přibram er boret i gruveområder. Sannsynligvis er også borhullene i Ontario og Arizona

boret i gruveområder. Minaes Geraes og Ontario hører til prekambriske strøk. I Minaes Geraes finnes som kjent veldige områder med jernglimmerskifer og kvartsitt. Keweenaw hører med til en provins av alder yngre prekambrium til kambrium bestående av basiske lavaer og agglomerater. Forekomstene i Pribram består derimot av hydrotermale bly-sinkmalmer i tilknytning til diabasganger, d.v.s. det er yngre dannelser.

Gjennomgåelsen av det forhåndenværende materiale synes å antyde at i eldre bergarter ligger de resiproke gradienter fra ca. 60 m pr. grad og oppover til ca. 150 m pr. grad, mens i yngre formasjoner ligger de resiproke gradienter i området fra under 10 til ca. 60 m pr. grad.

Forfatteren vil få rette en takk til direktør T. Amdahl for tillatelse til å publisere disse data.

Godkjent til trykning januar 1964.

Trykt juni 1964.