

P.g. Jaroslav U h l í k, VÚHU

D.t. Jaroslav H a n z í k, VÚHU

Aplikace povrchové geotermiky při hledání nezavalených dutin po důlním dobývání v malých hloubkách

Nebezpečí nezavalených důlních prostor pro postup velkostrojů a jiné dobývací techniky je natolik známé, že jej není třeba popisovat. Hledání vhodných metod pro jejich odkrytí s dostatečným časovým předstihem před vlastní těžbou probíhá již od konce šedesátých let a metodika ustrnula na klasickém, již dávno známém neekonomickém a vcelku málo účinném postupu, odvrtávání nebezpečného úseku v síti 5 x 5 m do hloubek 4 - 10 m, podle typu vrtné soupravy.

Geofyzikální metodika pro určování polohy dutin vyčerpala všechny své základní metody a submetody a lze konstatovat, že i když lze aplikovat tu kterou metodu, pro provoz ve velkolomech se žádná neukazuje jako vhodná pro svou těžkopádnost, časovou náročnost na měření a vyhodnocení a své poslání pro indikaci dutin splňuje jen okrajově - tedy v případech, kdy není časový stress, jedná-li se o malé hloubky v nesložitém terénu, nebo je-li nutné určit individuální dutinu i za cenu značných časových nároků, resp. při značných ekonomických nákladech.

Složitost aplikování problematiky geofyzikálních metod na hledání dutin ilustruje ta skutečnost, že i velké geofyzikální ústavy (Geophysik Leipzig, Bergakademie Freiberg, Geofyzika n.p. Brno) nedospěly k určení spolehlivé metodiky pro určení dutin v hloubkách pod 3 - 4 m.

Protože nelze čekat mnoho let než se objeví první návrhy na aplikování nových metod při hledání nezavalených dutin, nutno řešit uvedenou problematiku dvojí cestou. Mechanizováním a automatizováním dosud úspěšně aplikovaných

metod (metoda středního gradientu a odporová profilově sondážní metoda) a hledáním nových rychlých metod pro malé hloubky (do 6 - 8 m) nebo aplikováním metodiky měření ve vrtech, kde bychom se přiblížili k dutinám touto cestou.

Jednou z metod umožňujících rychlé proměření zájmové plochy bez velkých nároků na čas a obslužný personál je perspektivní metoda povrchové geotermiky, která se úspěšně rozvíjí v inženýrské geofyzice, zejména při detekování inhomogenit malého objemu a působení. Citlivost aparatur vzrostla na 10^{-2} °C, setrvačnost měření klesla na 1/20. Metoda je perspektivní zejména svými možnostmi automatizace a mechanizace měření při minimálních nárocích na interpretaci. I když tato metoda není určena pro větší hloubky než 8 - 10 m (podle velikosti a charakteru objektu) vyplní mezeru mezi hloubkovými metodami a mezi dosud aplikovanými klasickými metodami, které předčí svou produktivitou a jednoznačnější interpretací.

Povrchová geotermika - stručný popis metody

Geotermická metoda lokalizuje podpovrchové tepelné zdroje oddělením tohoto zdroje od celkového teplotního fónu, dále od součtu frekvenčních tepelných zdrojů (variací) nebo lokalizuje anomálie vzniklé odstraněním variačních složek a odstíněním od celkového generelního teplotního fónu. Je zřejmé, že teorie je platná pro oba případy bezvýtku. Složitý je jenom postup odstranění variačních rušivých jevů, složitý proto, že se jedná o působení tepelných složek v povrchové vrstvě zeminy (do hloubek cca 3 m), kde probíhají tepelné změny z denních, sezonních a jiných periodických změn teplot. Rovněž hloubka 2 - 3 m je hraniční pro ekonomický postup termometrického měření, provádějí-li se měření ve vrtaných či ražených sondách.

Vyčlenění anomálního efektu

Tepelné pole má proměnný charakter jak časový, tak hloubkový. Pro vyčlenění anomálního efektu v měřeném bodě, pro kterýkoliv druh termometrie, je nutné provést korekce uvedených rušivých jevů:

I. zóna připovrchových te-

plot - denní amplituda - kolísání až 10° ... 0,2-0,4 m
kolísání do 1° ... 0,75 m

Pozn. aperiodický charakter

kolísání do 0,1 ... 1 m
kolísání do 0,001 ... 2 m

II. zóna proměnných te-

plot - sezonní změny kolísání do $1 - 3^{\circ}$... 2 m
teplot - kolísání od 0,1 ... 4 m

Pozn. aperiodický charakter až periodický charakter

kolísání do 0,001 ... 10 m

III. zóna skoro ustále-

ných teplot - roční kolísání do 1° ... 4 - 6 m
amplitudy - kolísání do 0,1 ... 10 m

Pozn. periodický charakter

kolísání do 0,01 do 30 m

IV. inverzní pásmo - obrácení toku tepla zdola nahoru - též zvané neutrální zóna.

V. zóna ustálených teplot - podle velikosti stupně teploty cca 30 - 40 m - tato zóna je mimo dosah působnosti povrchové termometrie.

Pro periodický charakter tepelné vlny jak vlny pronikající zdola nahoru (dlouhodobá perioda), tak i vln vyvolaných solarizací uvedených period (krátké a střední periody) lze aplikovat základní rovnice tepelného šíření jako periodický jev a tudíž řešitelný Fourierovou transformací. Základní rovnice podle Ingersolla:

$$T_p = T_0 \exp(-x\sqrt{\pi/aP}) \sin \sqrt{\pi/aP} \omega t - x\sqrt{\pi/aP} + \varphi + T \dots$$

lze řešit z okrajových podmínek F rovnic (viz blíže /1/, /2/.

Pro stručnost se teorie dále nerozvádí a odkazuje se na /3/, kde je prakticky pojednáno o vlivu periodicity a časových faktorů umožňujících přesné měření teplot i za poměrů velkého střídání teplot na povrchu země. V článku /3/ je rovněž uvedena tabulka užitých fyzikálních veličin.

Pro zpoždění tepelné vlny (čela vlny) a pro určení hloubky proniku slouží jednoduché nomogramy (viz přílohy).

Výsledná rovnice určení teplotního stupně na jednom bodě je po přihlédnutí k periodickým korekcím a ke korekcím na topografii a charakteru terénu (nerovnosti, zatravnění anebo povrchové horniny) následující:

$$T = T_R - /T_N + T_r + T_S + T_A/ \dots\dots\dots / ^\circ K/$$

kde: T ... hledaná relativní veličina

T_N ... normální složka - roční variace

T_r ... reliéfní korekce (různé druhy odrazu)

T_S ... stacionární složka anomálií nehomogenosti tepelného pole

T_A ... anomální složka

K uvedenému nutno propočítat korekce na různou výšku měření a potřebný časový chod. Tento další postup bude popsán v metodice měření.

Užitá aparatura

V současné době jsou k dispozici pro geotermický průzkum tři typy termometrických aparatur:

- a) termistorové kontaktní teploměry do citlivosti 0,01 a přesnosti 0,06 - 0,1 $^\circ C$ (pro velkou setrvačnost jsou zcela nevhodné rtuťové a odporové můstkové teploměry).

Pro zachování přesnosti nutno měřit pouze ve vytloukaných nebo vyvrtaných otvorech do hloubek kolem 2 metrů. Z uvedeného důvodu jsou velmi málo produktivní.

- b) bezkontaktní IFR termometry pro bodový záznam. Přesnost 0,02 - 0,03, citlivost kolem 0,01 °C.

Dosud poruchové a choulostivé v provozu. Pro dosažení uvedené citlivosti nutná speciální metodika měření: (viz metodika měření),

- c) bezkontaktní plošné snímače typu AGA s nižší citlivostí, ale s velkou pohotovostí měření. Vhodné zejména pro měření v terénu bez porostů a s jednotvárným albedem hornin.

První typy byly vyzkoušeny v celé oblasti SHD. Kromě indikace podpovrchových důlních požárů (Modlany, DNT aj.) byly uvedené přístroje pod a) a b) zkoušeny na indikaci zvodnělé tektoniky (VMG), zvodnělých partií (Drmaly, dál Keněv) a jako primární zkušební měření na objektech podpovrchových nezavalených dutin po důlních pracích a sklepech.

Přístroje uvedené pod skupinou c) byly jenom okrajově zkoušeny na možnost dálkové indikace požárů v uhelných řezech bez viditelné optické indikace. Na dutiny dosud zkoušeny nebyly. Předpokládá se vyzkoušení i této uvedené skupiny v případě kladných výsledků přístroji typu b).

Perspektivně se uvažuje o vyzkoušení přístrojů o třídě citlivosti 0,001 a přesnosti 0,003-0,005 °C s nepřímou indikací teploty, ale pro uvedenou přesnost nebyla dosud vypracována ekonomická metodika vhodná pro provozy velkolomů.

Protože zkoušené termistorové teploměry (resp. odporové teploměry) vyžadují nutně měření v hloubkách 1,5 až 2 m a při nutné setrvačnosti (až 1/2 h podle požadované přesnosti) nelze docílit perspektivní produktivity při požadovaném plošném měření. Individualita chování termistorových teploměrů (proměnná citlivost, různá citlivost jed-

notlivých teploměrů) nedovoluje nasazení více přístrojů při požadavku vysoké přesnosti. Přístroje jsou vhodné jenom pro orientační měření.

Proto byl učiněn přechod na IFR bodový teploměr. Ve spolupráci s Ústavem pro výzkum rud byl provozně zkoušen přístroj konstruovaný v Bergakademii Freiberg (spolu s VEB Carl Zeiss Jena a VEB Kombinat Albert Funk), typ ISR-2 a proměřeny lokality s výskytem dutin ověřovaných vizuálně či vrty.

Metodika měření bezkontaktními teploměry

Teploměr infračerveného záření IRS-2 je určen pro bezdotekové měření povrchové teploty měřeného objektu. Výpočtem Ingersollovy rovnice pro konvenční tepelný tok (viz nomogram) lze předběžně určit velikost tepelné anomálie dutiny na povrchu. Z předchozích zkušeností lze očekávat dvojí druh anomálií (kladný a záporný) a tím se metodika měření specifikuje na dvě submetody:

- a) měření za předpokladu stíněného tepelného pole dutinou (netýká se měření v uhelné sloji);
- b) měření přírůstkového tepla vyvolaného oxidační zónou podpovrchových objektů (nepočítá se samozřejmě s vlivem důlních požárů, kdy je indikace jednoznačná i bez zavádění korekcí).

Protože metodika potřebná pro specifický případ uvedený pod a) je odlišná od následující metodiky (uvedené pod b)) bude popsán jenom stručně její odlišný postup (měření uvedených objektů nespadá do tématiky článku: Hledání nezavalených dutin v SHR).

Metodika a)

Nad předpokládanými objekty se vytýčí síť profilů. Není-li známa orientace důlních děl provede se vytýčení

pravouhlé síti. Nastaví se konstantní vzdálenost sondy od povrchu, určí se základní a vztažný pomocný bod, pokud možno o stálé tepelné hodnotě a mimo měřené pole. Při předběžném určení velikosti hledané anomálie (v uvedeném případě pro dutiny do hloubek 4 m) nepřevyšší hodnota $-0,3^{\circ}\text{C}$ a minimum je dáno přesností aparatury a regionálního fónu (prakticky $0,05^{\circ}\text{C}$), se určí počet opakovaných bodů na profilu - step měření. Zpravidla se z důvodů ekonomických, pro uvedenou metodiku doporučuje dvojnásobný step s navazováním. Z profilů a z izoterm plošné sestavy profilů se po odstranění rušivých položek provede interpretace pro konvenční hloubku. Doporučuje se měřit v době inverze (tepelného zvratu tj. v podvečer a při svítání pro odstranění shora popisovaného vlivu solarizace).

Metodika b)

Konvekce tepelného proudu je vzestupná, anomálie jsou kladné (kromě případu indikování otevřeného systému chodů), kdy přistupuje odvětrávání, intenzivnější než jsou oxidační pochody. Měření se opět provádí v síťovém modu, vhodném i pro strojovou interpretaci naměřených hodnot, ale na rozdíl od předchozího postupu je nutné provést alespoň na části profilů gradientové měření. Nejlépe je ovšem provést gradientové měření po celé ploše. Protože sonda nemá dvojí čidlo (u teploměru IRS-2) provede se měření obvyklým postupem. Navazování měření nejlépe pro každý profil nebo určitou časovou etapu. Místo stepu je vhodnější zpětné opakování profilu. Interpretace je opět obvyklá, tj. provede se odpočet korekcí, podle základních bodů pro časové vyrovnání v případě zavedeného stepu pak vyrovnání na jednotlivé body a profily.

Vypočtené difference na profilech a mapě izoterm určují nezavalené prostory pro konvenční hloubku. Z praxe zjištěná velikost anomálií: prostý potenciál $0,2 - 0,25^{\circ}\text{C}$

max. při dutinách v hloubce max. 4 m. Gradientový rozdíl max. 30 % - 45 % při stejných hloubkových hodnotách. Při zachování popisovaného postupu lze měřit i mimo tepelné inverze, jak je tomu v případě metodiky a). Anomální hodnoty jsou však blízko prahu regionálního fónu, nemluvě o nemožnosti hledání dutin v hloubkách větších než 4 - 5 metrů. Pro zvýšení citlivosti metody je nevyhnutelné provádět měření se sondou těsně při povrchu. Při měření v době intenzivního slunečního svitu je nutno měřit ve vyvrtaných nebo vyražených dírách o hloubce cca 1 - 1,5 m. Postup se ovšem značně zpomalí. Měřit při nárazovém větru nebo střídavém slunečním svitu je bezpředmětné (toto se netýká měření v děrách).

Ve všech případech se doporučuje, aby časový odstup z navázání nepřekročil 5 minut (cca 10 - 20 změřených bodů).

Vyhodnocení není principiálně složité. Vždy lze brát v úvahu rozdíl nestacionárního průběhu rušivých složek a stacionárnost základního tepelného pole a v případě indikování důlních dutin i stacionárnost parazitního pole, které je předmětem průzkumu. Za tím účelem je vhodné provádět opakovaná měření i pro delší časová údobí. Na vlastní produktivitu měření to nemá tak velký nárok, protože vlastní rychlost snímání bodů je velmi vysoká, cca 150 - 200 za jednu hodinu, podle rozestupů bodů a profilů. Tento časový efekt využívá i zmíněný patent NDR 119881, podle něhož lze spolehlivě rozlišit mezi anomálií způsobenou dutinou a anomálií způsobenou jinou nehomogenitou, např. horninou. Časový rozdíl lze opět určit Ingersollovou rovnicí za předpokladu známého koeficientu tepelné vodivosti, meze přesnosti měření a rozdílu teplot.

Na závěr metodiky lze konstatovat, že jako u jiných geofyzikálních metod je vhodné provést měření podle známého srovnávacího normálu. Spolehlivost interpretace se tím značně zvýší.

Praktické příklady měření

Pro první etapu vyzkoušení vhodnosti termometrického průzkumu na dutiny byly určeny následující limitující faktory:

Měření i mimo inverzní termíny, s vyloučením větrných dnů a dnů se střídanou solarizací. Vyloučeny dny s vysokou teplotou a dny deštivé. Měření nad dutinami jejichž polohu lze bezpodmínečně ověřit. Hloubka dutiny nemá převýšit 6 m. Měření i na okraji (hraně) řezu i v hloubce řezu pro určení vlivu okraje řezu a vlivu změn teplot v ústí chodeb. Velikost dutin - obvyklý rozměr důlní chodby. Měření provést na uhelné sloji i mimo uhelnou oblast pro srovnání anomálních hodnot.

Nalezení vhodného modelu je obtížné pro splnění všech uvedených podmínek. Nicméně se podařilo provést měření v typických oblastech revíru SHD, tj. na dole Chabařovice, VMG I., důl Fučík, důl Obránců míru, důl Jan Šverma a důl Březno. Jako srovnávací pokusný terén mimo oblast dolů sloužily staré sklepní chodby v teplické Zámecké zahradě. Z uvedených terénů je vybráno několik typických příkladů. Lze konstatovat, že ve všech případech byly anomálie nad dutinami indikovatelné, ovšem jedná se o hloubky do 4 - 6 metrů. Pro větší hloubky bude nutné změnit metodiku měření tak, aby byla zajištěna spolehlivost průzkumu.

Z dosud provedeného měření termometrickou metodou nad dutinami lokalizovanými v hloubkách ne větších než 6 metrů lze usuzovat, že termometrická metoda s IFR zařízením je perspektivní metodou pro určování dutin v malých hloubkách. Lze se domnívat, že uvedená metoda doplní komplex metod pro určování dutin a uplatní se tam, kde není požadavek na velkou hloubku. Metoda je perspektivní, tzn. že vhodnou metodikou a vhodným typem aparatury lze provádět průzkum do hloubek max. 10 metrů, ovšem za cenu znatelného snížení produktivity. V uvedeném případě bude nutno hledat dutiny

s termometrickou diferencí na povrchu kolem $0,01 - 0,05^{\circ}\text{C}$ a vzhledem ke zvýšení vlivu inhomogenosti terénu na měření bude nutno kompletovat termometrické měření s jinou metodou, např. radiometrickou, která se pro tyto účely již úspěšně zkouší. Není problémem zvýšit citlivost termometru na $0,001^{\circ}\text{K}$, tedy o jeden řád. Ve světě již podobné aparatury pracují. Bude však nutno přikročit k vývrtům. Přesto lze konstatovat z předběžného ekonomického rozpočtu, že denní postup při hledání dutin na ploše $50 \times 50 \text{ m}$ je reálný a zůstává ekonomicky výhodný i za předpokladu doplnění například radiometrickým měřením a kontrolním přehledovým snímkem plošnou IFR metodou.

Přístrojové vybavení i interpretační materiály jsou v současné době k dispozici.

Literatura

- /1/ L. R. Ingersoll: Heat conduction with Engineering geological (překlad), 1954
- /2/ D. Dědková: Geotermika při prospekci min. vod, Praha 1968
- /3/ J. Uhlík: Termometrie pro malé hloubky, VÚHU Most 1968
- /4/ J. Müllerová - Müller: Použití geotermické metody při sesuvu Oravský Podzámok, 1978

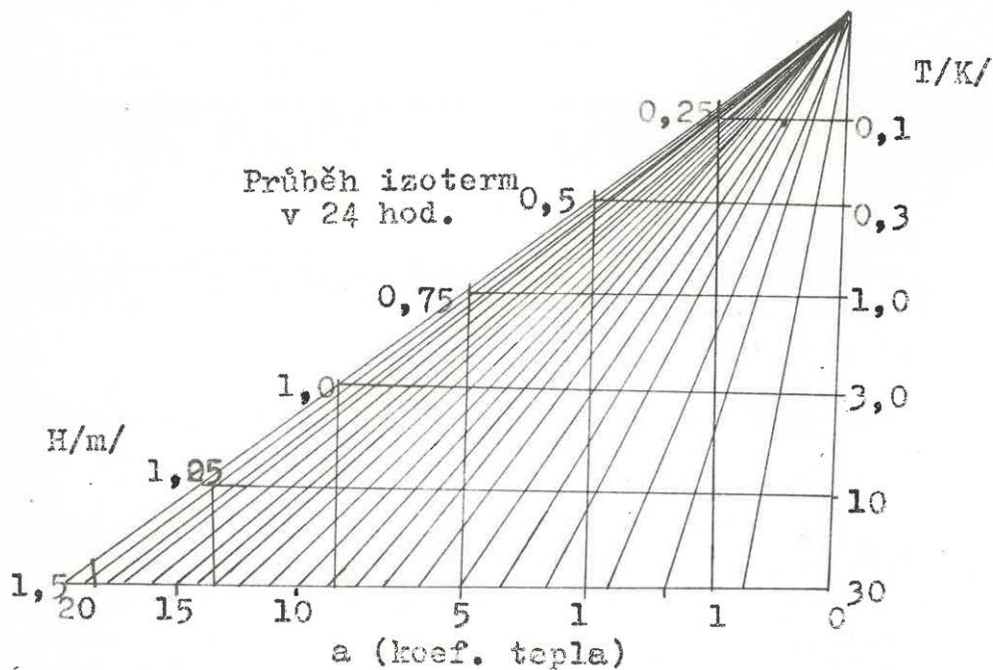
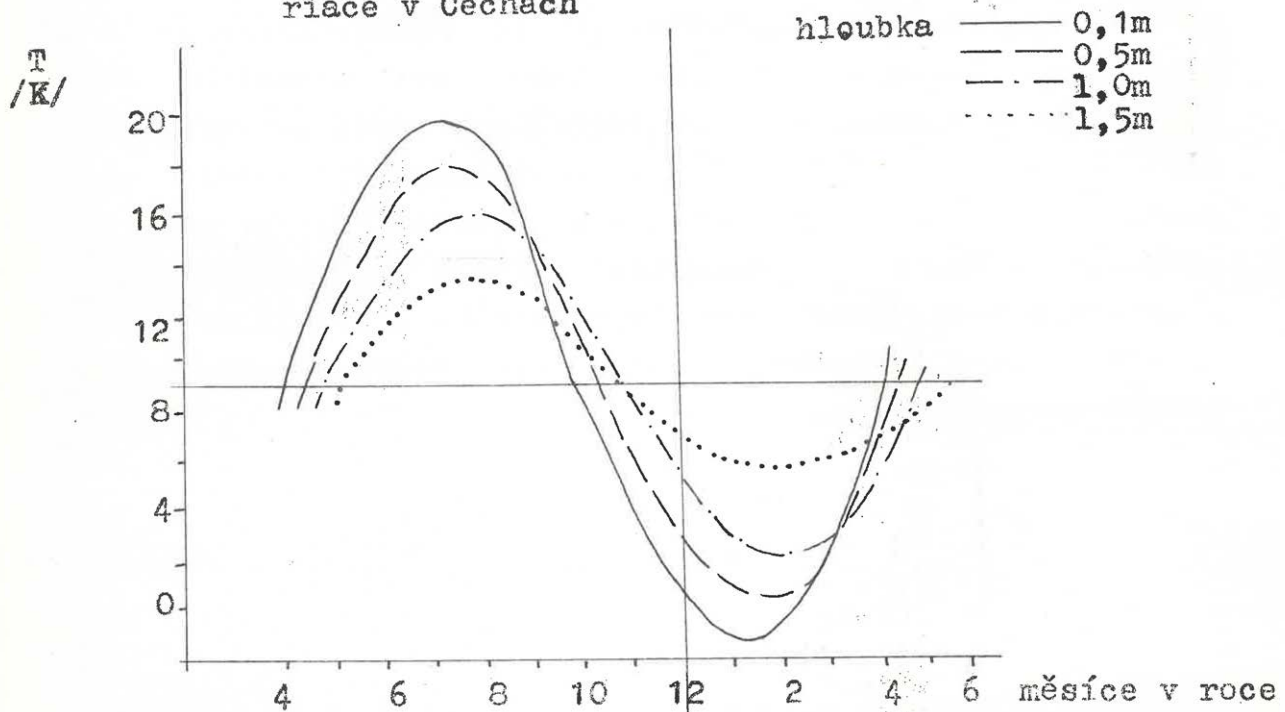
Recenzoval: Dr. Václav Plzák, OHMG GR SHD

S h r n u t í

Aplikace povrchové geotermiky při hledání nezavatených dutin po důlním dobývání v malých hloubkách

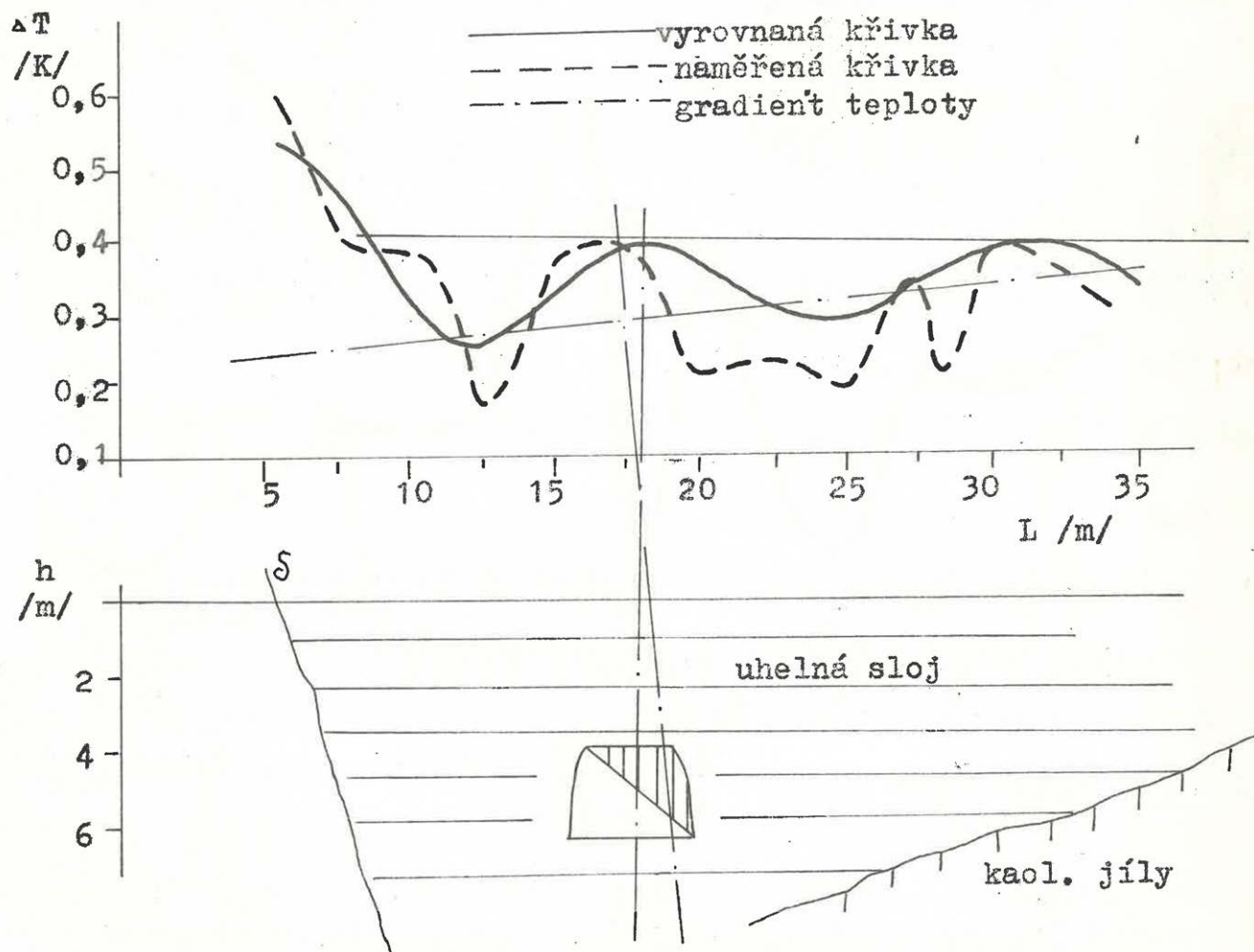
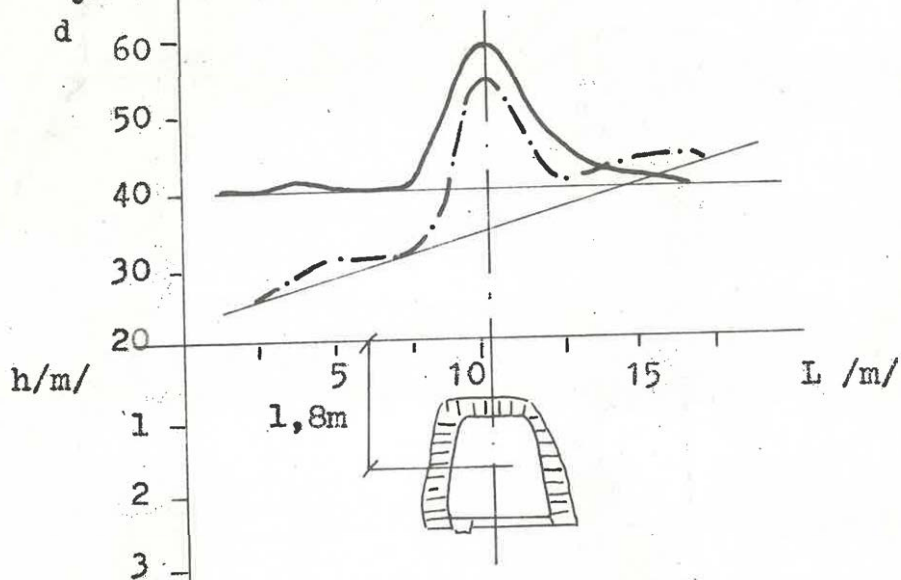
V rámci aplikace nových metod na hledání dutin geofyzikálním měřením byla vyzkoušena termometrická metoda.

obr. 1 Průběh izoterm v roce pro danou hloubku h jako průměrná roční variace v Čechách



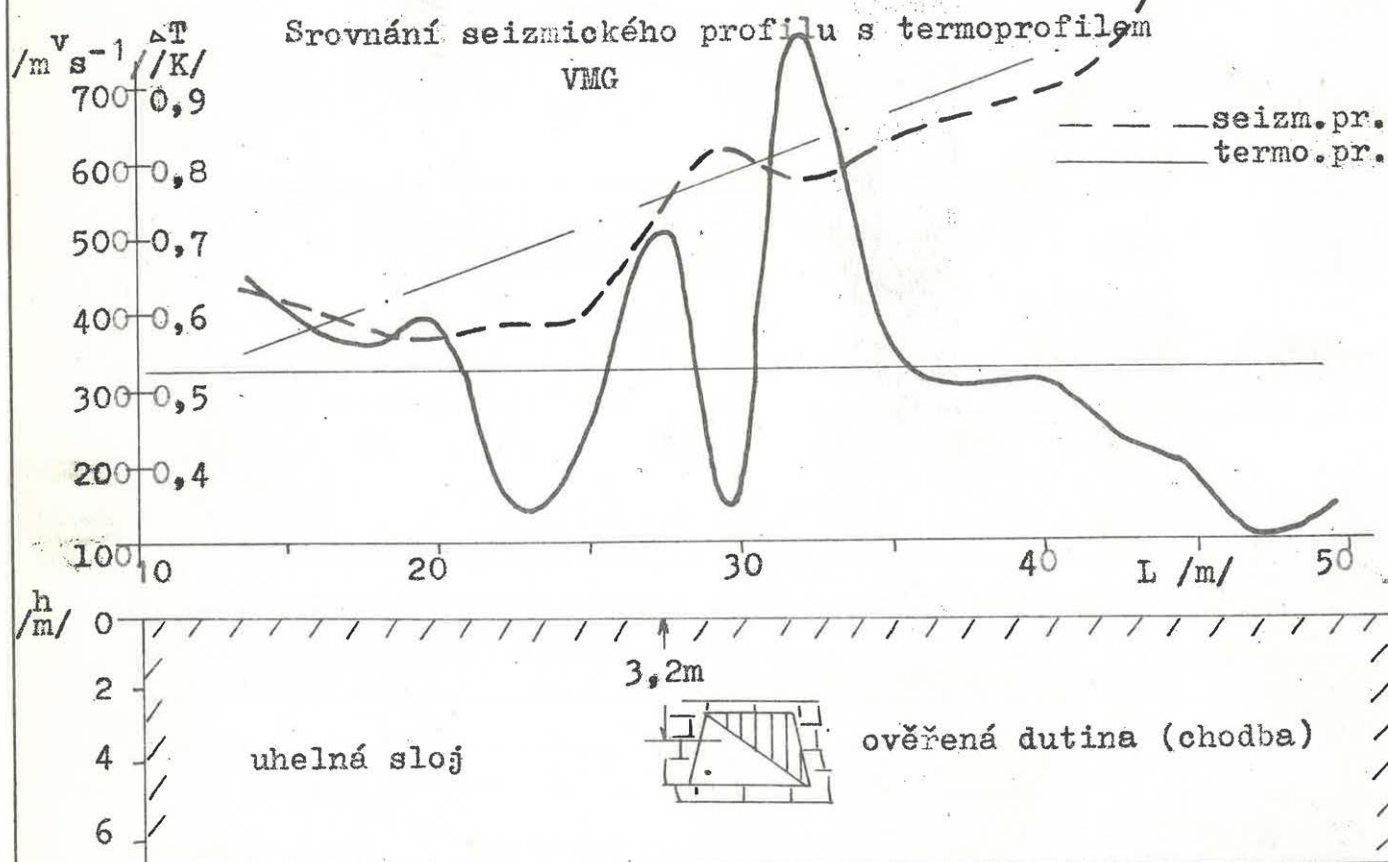
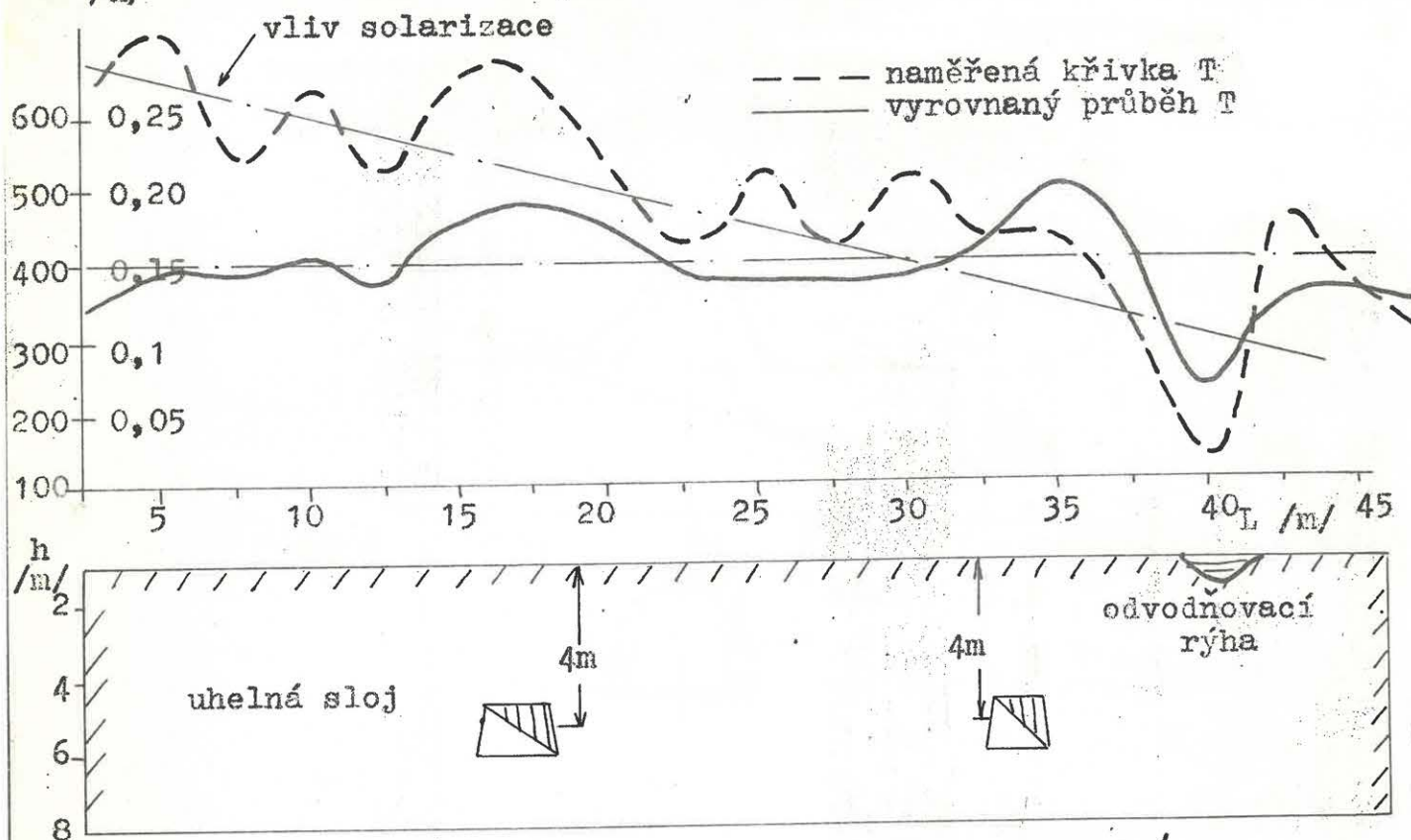
obr. 2 Závislost teploty, hloubky a koeficientu prostupu tepla pro výpočet hloubky tepelné vlny. Výpočet podle rovnice Ingersolla upraveno dle a (koeficientu) - Dědková 1970. Dalším doplňkem nomogramu je nomogram pro pásmo působení a pro dobu průchodu tepelné vlny zájmovou hloubkou. Těmito nomogramy se určuje hloubka děr a nerušená doba měření.

obr.3 Příklad určení dutiny termometrickou metodou pro hloubku 1,8m, v prostoru zámecké zahrady u muzea v Teplicích. Kromě vyhodnocené křivky je uvedena i naměřená křivka bez korekce na vyrovnání měření.



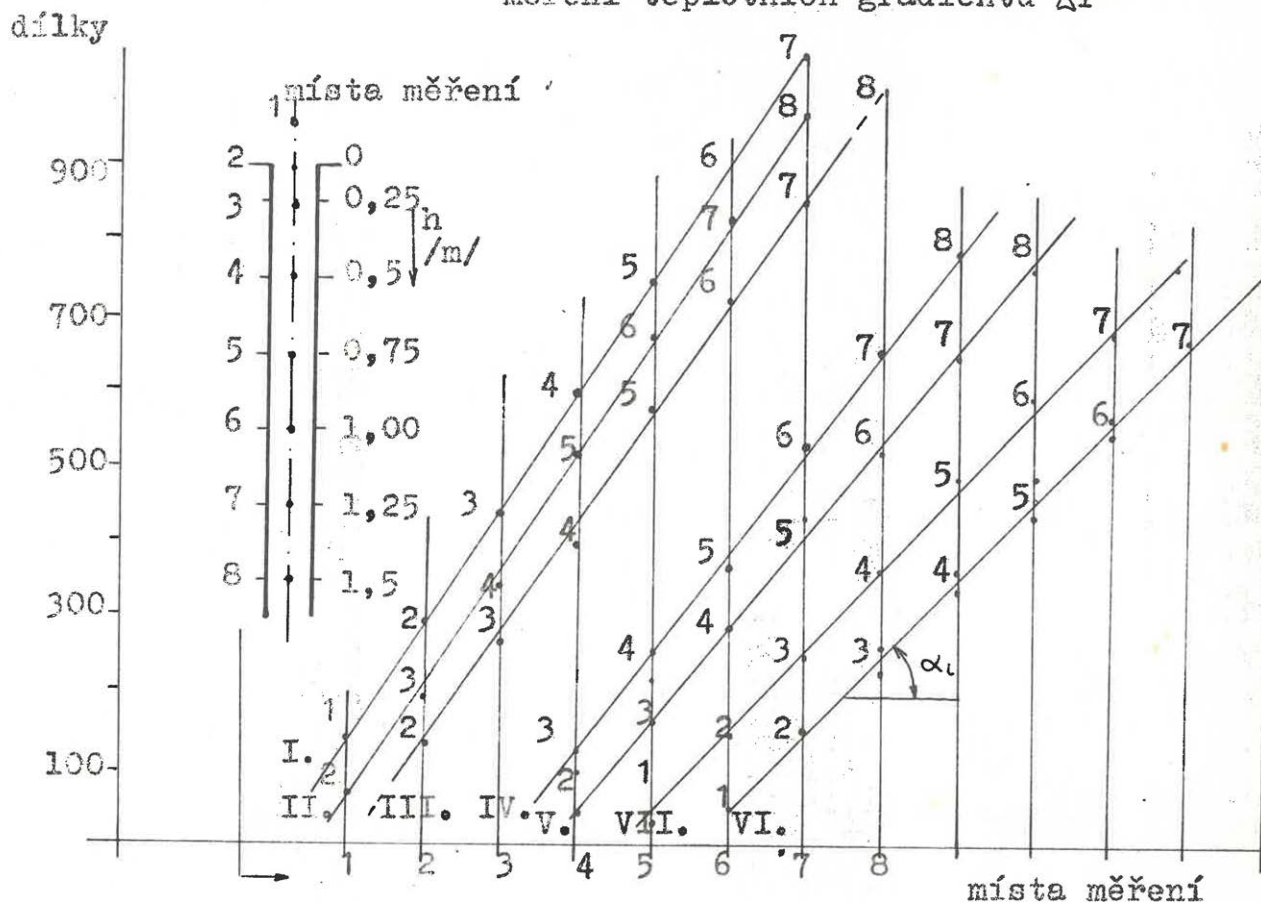
obr.4 Příklad z dolu Jan Šverma. Měřeno v blízkosti dislokace

d ΔT obr.5 Ukázka indikace dutiny na dole VMG
/K/ (měřeno v nevhodném klimatu)



obr. 6 Ukázka komplexního měření - termometrie a seizmiky
(krokové profilování).
Dutinu reprezentuje chodba s věřejovou vyzdívkou
protipožární ochrany, za kterou se chodba lomí.

Měření teplotních gradientů ΔT

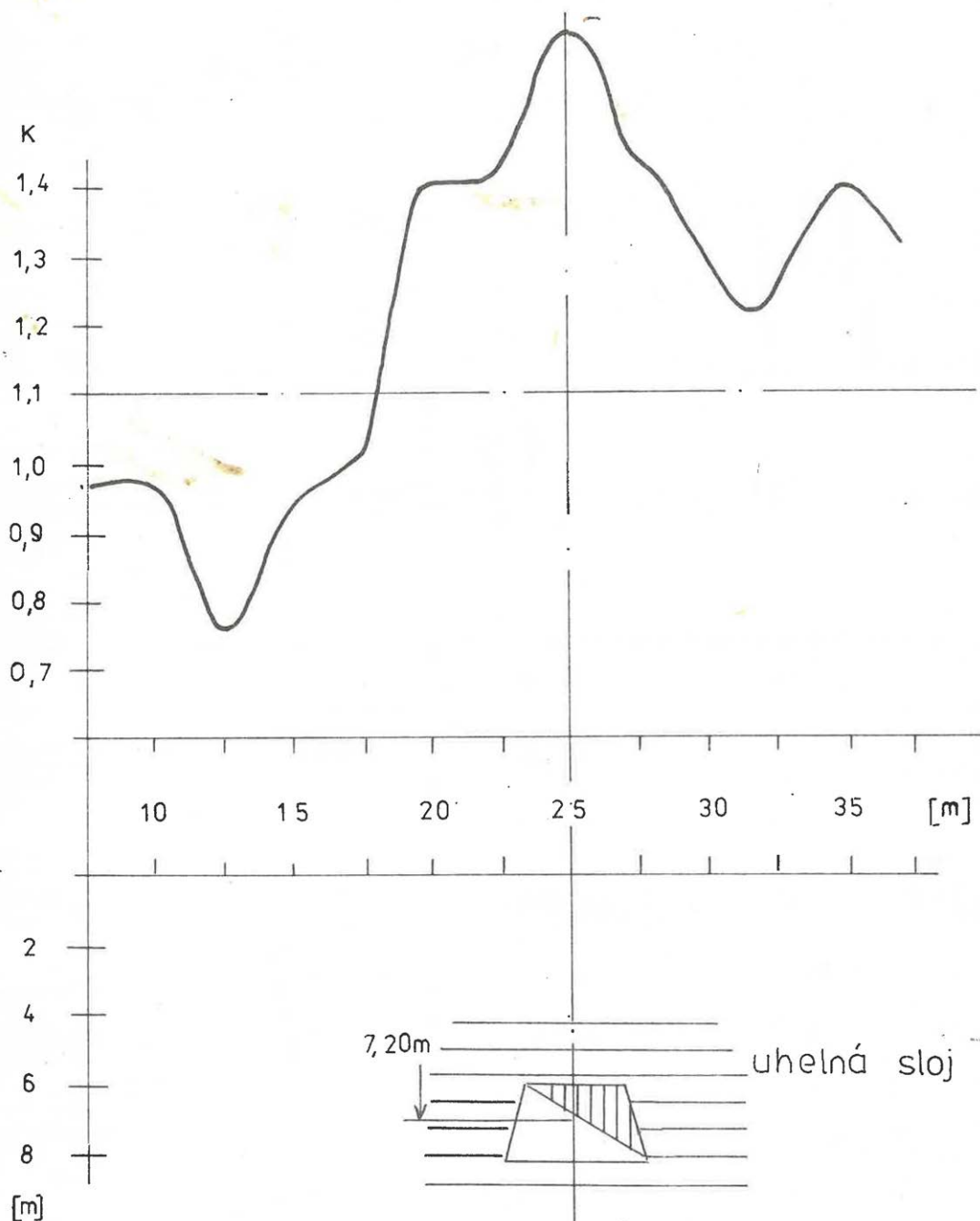


vrt	α	$\sin \alpha$	grad d/m	grad $^{\circ}/m$	P
I	58	0,848	570	5,7	X
II	56	0,829	600	6,0	X
III	54,5	0,814	530	5,3	OX
IV	54	0,809	540	5,4	XO
V	51	0,777	500	5,0	O
VI	46	0,719	420	4,2	O
VII	46,9	0,713	440	4,4	O
P: X vrt nad dutinou O vrt mimo dutinu					

obr. 7 Měření teplotních gradientů v mělkých vrtech a to nad dutinami i mimo dutiny. Dutiny se projevují změnou gradientového spádu. Anomální gradienty označeny křížkem. V případě III. a IV. vrtu vliv blízkosti dutiny. Hodnoty gradientu uvedeny v tabulce.

obr.8 Příklad indikace dutiny v hloubce větší než nomitativní, při první fázi pokusného termometrického měření. Pokles na počátku křivky vyvolán průsakovým zvodněním. Skutečná difference anamálie méně než 0,2 K.

důl Obránců míru



obr. 8