

Pg. Jaroslav U h l í k , VŮHU :

ELEKTROMAGNETICKÁ METODA HLEDÁNÍ KUŘAVKOVÝCH VRTŮ

Úvod :

V dobývacích prostorech dolů SHR Mír, Kohinoor a Gottwald, M. J. Hus, Vrbenský, Šverma, Šmeral, Svornost a l. Máj se nacházejí v nadloží hnědo-uhelné sloje, jež je tvořeno v revíru převážně šedými jíly, rovněž polohy zvodnělých písků - kuřavek. Meziloží mezi slojí a vodonosnými pískami tvoří jíly, jejichž mocnost značně kolísá. Vzhledem ke generelnímu uložení zvodnělých vrstev a jejich nepropustnému nadloží je voda v kuřavkových vrstvách pod přetlakem několika kp/cm^2 .

Při nasycení písčitých vrstev vodou je porušení nepropustného nadloží i podloží hornickými pracemi (skrývkovým řezem, závalem porubů) riskantní, protože písek se prouděním vody dostává do pohybu a dokáže v krátké době zaplavit důlní díla nebo porušit stabilitu skrývkových řezů. Proto je nutno před prováděním báňských prací vrstvy kuřavky zbavit volné vody - odvodnit.

V současné době se kuřavky odvodňují na dolech Mír, Kohinoor, Gottwald a l. Máj pomocí spouštěných filtrů, zabudovaných ve vrtech, které jsou rozmístěny obvykle v pravidelné síti. Odvodňovací kolona filtrů prochází nadložím a v uhelné sloji je zacementována; před odvodňováním je vrt nafárán chodbou, kterou je při odvodňování voda samospádem sváděna k čerpadlům. Idealizovaný řez odvodňovacím vrtem ukazuje obr. č. 1.

Pro tento článek je další popis nepodstatný. Důležitý je jenom poznatek (důležitý při určování polohy vrtu), že udržení svislosti vrtu při vrtných pracích prováděných v kuřavkových oblastech SHR je věcí náhody. (Rozbor přesnosti vrtání, tj. velikosti odchylek a směrů os vrtů, je uveden dále.) Dále je pro uvedenou metodu důležité to, že vrty nejsou situovány ve skutečnosti příliš daleko od chodeb popisované sítě. Největší vzdálenosti nebývají větší než 30 - 40 m. Průměrná vzdálenost vrtů od chodeb činila v případech, ve kterých jsme měření prováděli, kolem 14 m. Další poznatek, který je důležitý pro geofyzikální měření je ten, že část vrtu vždy

prochází rovinou tvořenou chodbovým systémem, a to svou pažnicí neb jinou ocelovou armaturou. Konečně musíme vzít v úvahu také skutečnost, že chodbový systém je přibližně vodorovný, čili odpadají korekce na různost polohy vrtu vzhledem k ose prováděných záměrů, což ještě více zjednodušuje prováděná měření.

Poznámka : V případě svislého vrtu a úplné projekční totožnosti mapových podkladů na povrchu u důlních map navzájem, by geofyzikální průzkum vlastně odpadl, protože k načepování vrtu by stačilo vést chodby ze stávajícího systému chodeb. Prakticky je však nutno k stávajícímu vrtu razit cca 10 - 20 m chodeb zbytečně. Tento údaj je jenom přibližný a týká se vrtů, jež bylo nutno hledat geofyzikálně.

Většina vrtů vykazuje určitou odchylku od svislé osy. Byly zjištěny odchylky 10 - 15 m od osy vrtu při průměrné hloubce prováděných vrtů 100 - 120 m. Tudíž chyba činí 8 - 12 %. Inklinometrická měření tuto situaci jenom zlepšují, protože inklinometrická měření (fotoinklinometry, po případě novější elektroinklinometry karotážní služby) při shora popisovaných hloubkách určí odchylku kolem 2 - 6 m v případě, že směr výchylky vrtu je měřený se stejnou přesností jako odklon vrtu. Protože tomu tak většinou není, a to již z důvodů částečně či zcela zapaženého vrtu (tuto úlohu také s menší přesností řeší gyroinklinometr), je přesnost určení paty vrtu v praxi poněkud horší a činí mnohdy až 10 m.

Stručný přehled metody pro hledání kuřavkových vrtů :

Z rozboru možností a postupným aplikováním geofyzikálních metod byla logicky vyzkoušena nejdříve metoda geomagnetická. Tato metoda pro shora uvedené účely ovšem není novinkou (rovněž jako ostatní uvedené metody). Užití důlní geomagnetiky pro hledání vrtů se datuje od let 1920 - 1921, kdy Schmidt prováděl měření v obdobných podmínkách (větrací vrt). Měření byla prováděna magnetickými polními vahami. Na dolech SHR byl zkoušen geomagnetický průzkum na odvodňovací vrty v letech 1960 - 1962 také magnetickou polní vahou. Měření byla převážně vertikální magnetická intenzita. Místy, pokud to možnosti dovozovaly, byla přibrána i složka horizontální. Geomagnetický průzkum není náročný ani interpretačně ani organizačně. Měření prováděné do maximální vzdálenosti vrtu od chodby 20 m může spolehlivě směrově zachytit magnetický pól. Interpretujeme jej jako magnetický bod. V případě široké chodby lze určit i směr hledaného vrtu. Jinak určujeme jenom vzdálenosti, v podstatě ve

dvou od sebe odvrácených směrech, což v praxi postačuje.

Horizontální a vertikální intenzitu magnetického pole měříme podle vzorce

$$H = \frac{3 Mhx}{(R^2 + x^2)^{5/2}} \quad a \quad Z = \frac{M (2R^2 - x^2)}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

kde H = horizontální složka intenzity magnetického pole

Z = vertikální " " " "

M = magnetický moment vzatý z tabulek - neuvažujeme jej samotný, ale počítáme ve společné konstantě

R, (r) = vzdálenost středu pažnice od osy měření

x = souřadnice na ose měření

Z uvedených rovnic odvodíme vztahy (viz literaturu)

$$x_{4,5} = \pm R^2, \quad x_{2,3} = \pm 2R, \quad x_1 = 0$$

kde "x" jsou podle indexů body v místech maxima Z křivky a maxima a minima H křivky - současně inflexní body Z křivky, které naměříme v chodbě. Dále již postup nerozvádíme. Pro informaci uvádíme přesnost magnetického měření vrtů polní magnetickou vahou Schmidtova typu : Nejsou-li v blízkosti hledaného vrtu v chodbě, kde provádíme měření, žádné železné předměty, (jejichž výskyt je základní nevýhodou jinak vhodné metody hledání kuřavkových vrtů), lze určit vrt do 3 až 4 metrů s přesností $\pm 0,1 - 0,2$ m, do vzdálenosti 10 m s přesností $\pm 0,75$ m a přes 10 m (do 20 m) s přesností $\pm 1,5$ m. Kromě odstranění železných předmětů nutno odstranit jakýkoliv zdroj stejnosměrných proudů, a to do značné vzdálenosti a do bližší vzdálenosti (podle předpokládané vzdálenosti vrtu) i vodiče se střídavým proudem.

Poznámka : Stejnosměrné proudy z blokových zařízení ovlivňují mnohdy i do kilometrové vzdálenosti. Pro zesílení magnetického pole vrtu byly provedeny pokusy s indukčními cívkami na pažnici vrtu, ale při malých cívkách byl efekt nepatrný a metoda navíc pozbyla své hlavní přednosti - jednodu - chosti měření. Na obr. č. 2 je uveden příklad geomagnetického měření. Proto byly dále zkoušeny metody akustická a gravimetrická. Tyto metody však pro danou úlohu jsou značně nevýhodné, nejčastěji pro složitý postup interpre - tace v případě gravimetrie neb pro složitost indikátorů a složitější orga - nizaci v případě geoakustického měření. (V poslední době po vyřešení leh -

kých transistorových zařízení je tato metoda úspěšně zkoušena pro obdobné případy v SSSR - viz literaturu).

Po shledání nevýhod uvedených metod přikročeno k vyzkoušení elektrických metod. Vyzkoušená metoda potenciálů se ukázala rovněž vhodnou metodou pro hledání vrtů, ale tato metoda nebyla přímo aplikována v kuřavkové oblasti a proto ji blíže nepopisujeme - tato metoda je náročná na organizaci prováděného měření, k vlastnímu měření je potřeba početnějšího personálu a v podstatě selhává právě v těch podmínkách, ve kterých selhávala dále popisovaná metoda elektromagnetická, to znamená, kde dochází ke zkreslení silového pole. Zkušenosti z této metody jsou podrobně popsány v sovětské literatuře, kde je tato metoda součástí komplexu měřících metod v souvislosti s určováním dislokací a řízením kombajnů a pluhů v silovém elektrickém poli.

Metoda elektromagnetického hledání vrtů

Úvod a stručná teorie :

Jedna z nejstarších metod geoelektrického průzkumu je metoda rámové indukce ve spojení s metodou nabitého vodiče. V této variantě byla již tato metoda použita pro hledání vrtů z důlních chodeb, a to např. podnikem VEB-PKB Kohle Berlin. Protože hledané vrty, rovněž situované do uhelné sloje, nebyly hluboké, byly rovněž malé odklony vrtů od svislice. Nejvíce 5 - 6 m, nejčastěji 2 - 3 m. Je pochopitelné, že při tomto měření nevznikly problémy s přesností určení (k vrtům se razila chodba o šířce 2,5 m). S obdobnou metodou a nakonec i aparaturou prováděl pokusy inž. Kašpar na pracovišti MRD-Praha. Vzdálenost vrtů od osy chodby činila až 20 - 30 m. Úměrná této vzdálenosti byla i přesnost určení vrtu, navíc bylo prováděno měření v rudných dolech a podmínky pro elektromagnetickou metodu byly velmi výhodné. Popisovaná měření byla úspěšná.

Při zavádění elektromagnetické metody v kuřavkové oblasti SHR byly tyto zkušenosti částečně převzaty, ale praktické poznatky z měření byly známy jenom z povrchového měření. Již z počátku po prvních úspěších se ukázalo, že tato měření místy nejsou příliš přesná a místy zcela selhala. Tím vznikla nutnost provést pokusná měření a zevšeobecněním většího kvanta měření spolu s teorií vyřešit problém selhávání měření. Výsledkem pak jsou tabulky a grafy v obrazové části tohoto článku spolu s příklady shody i nepřesností lokalizace vrtů.

Stručná teorie :

U této metody je využito fyzikálního pole elektromagnetického vlnění na spodní hranici vyšší frekvence vytvořeného elektrickým dipólem. Jako všechny indukční metody je i tato založena na makroskopické teorii elektromagnetického pole tak, jak jej řeší systém Maxwellových rovnic, jež jsou zobecněním vzájemných závislostí základních vektorů elektromagnetického pole :

Užité jednotky základní :

$\vec{E}$... elektrické napětí - intenzita

$\vec{H}$... magnetické napětí - intenzita

$\vec{D}$... elektrická indukce

$\vec{B}$... magnetická indukce

Pomocné parametry :

ϵ ... elektrická permeabilita

μ ... magnetická permeabilita

δ ... hustota nábojů (proudu)

$\vec{j}$... vodivostní - hustotní proud

σ ... elektrovodivost = $\frac{1}{\rho}$

$$\vec{D} = - \epsilon \vec{H}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho$$

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\delta \vec{B}}{\delta t}$$

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{j} + \frac{\delta \vec{D}}{\delta t} + \vec{j}_{st}$$

$$\text{kde : } \text{div } (\vec{j} + \vec{j}_{st}) = \frac{\delta \rho}{\delta t}$$

Hraniční podmínky zde neuvažujeme.

Dále řešíme Helmholtzovými rovnicemi a Hopkinsonovým vztahem. Tento postup zde neuvádíme, protože řešení je příliš obšírné a konečně je uvedeno ve všech základních učebnicích (viz příslušnou literaturu). K výsledným upraveným vzorcům obecným uvedeme parametry, jež jsou používány v geofyzice a jež budeme pro další popis potřebovat. Především rovnice neřeší ještě závislost indukčního pole na frekvenci. Proto Maxwellovy rovnice uvedeme do diferenciálního systému 2. řádu. Tím dostaneme Helmholtzovu dynamickou rovnici.

Příklad pro intenzitu H , řešíme-li sekundární magnetické pole :

$$\Delta \vec{H} + k^2 \vec{H} = \text{rot } \vec{j}_{st}$$

$$\Delta \vec{H} = i \frac{\Delta H}{x} x + i \frac{\Delta H}{y} y + i \frac{\Delta H}{z} z \quad \text{v pravoúhlém systému}$$

$$\text{pak : } \vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot } \vec{A}$$

Další závislostí je pak poslední parametr - elektrické vlastnosti hornin. U indukční metody vedle obrácené hodnoty elektrického odporu - vodivosti musíme uvažovat dielektrickou a magnetickou permeabilitu (viz základní Maxwellovy rovnice). Tím lze dosadit do vztahů při určování vlnového čísla :

$$K = \sqrt{i\sigma_m \omega + \epsilon \mu \omega^2} = \omega \sqrt{\mu \epsilon} = \omega \sqrt{\mu (\epsilon + i\frac{\sigma}{\omega})} = |K| e^{i\varphi} = 2\pi f \sqrt{\mu \epsilon}$$

Tato hodnota slouží pro výpočet tvaru pole jako koeficient útlumu. A pro doplnění ještě výpočet intenzity magnetického pole na vzdálenost r od liniového vodiče, kdy postačí Biot-Savart-Laplaceův zákon :

$$\Delta H = K \frac{I \Delta l \sin \alpha}{r^2} \quad \text{kde } r \dots \text{vzdálenost měř. bodu od liniového vodiče}$$

$$\text{vektorově : } \Delta \vec{H} = K \frac{I \Delta l \times r}{r^2} \quad \Delta l \dots \text{volený element proudu (tento se stanoví z velikosti účinku H pole na rám jako optimální citlivost)}$$

$\Delta l \times r \dots$ vektorový součin

$\alpha \dots$ úhel průvodiče r s voleným prvkem pole

$$\text{a } \vec{H} = \sum \Delta \vec{H}$$

Celková intenzita pole je pak dána součtem všech $\Delta \vec{H}$ a je v souhlasu s předchozím řešením.

Příklad elektrických parametrů hornin :

hornina :	$\rho [\Omega \text{ m}]$	$\epsilon \text{ rel}$
pískovec	$1 - 10^3$	4 - 40
jíl	$1 - 50$	20
čedič	$5 \cdot 10^2 - 10^5$	6 - 12
voda	$10^4 - 10^5$	80
vzduch	∞	$\mu_0; \epsilon_0; \sigma_0 = 0$

Na obr. č. 3 je uveden příklad útlumu změřeného pokusně a vypočtené křivky útlumu podle uvedeného postupu.

Praktické závěry :

Primární vodič (kabel s elektrodou) napájený střídavým proudem o frekvenci 1 000 Hz je "obalen" střídavým magnetickým polem o intenzitě H (měřené horiz. složky H). Střídavé magnetické pole, které vytvoří v geologickém

vodiči střídavé elektrické pole, se měří přijímacím rámem - smyčka tvořená více závitů - a tato indukuje celkové střídavé magnetické pole, které se skládá z primárního pole (vytvořeného vodičem) a ze sekundárního, vybuze-
ného pole. Napětí střídavého magnetického pole měříme v mikrogausech. (Tento postup lze vyjádřit Faradayovým indukčním zákonem - jako Oerstedovy a Hop-
kinsonovy zákony ani tento neuvádíme - viz např. : Teoretická elektrotech-
nika Trnka 1. díl).

Elektromagnetická síla indukovaná v sekundárním závitě (mikrogauasy)
ampér je tvořena složkou danou primárním magnetickým polem, které je ve fázi
s primárním proudem a složkou indukovanou střídavým sekundárním polem geolo-
gického vodiče, které je však o 90° fázově posunuto proti primárnímu proudu.
Tento vektor $\vec{Z}$ lze rozložit na složky v různých směrech. V našem případě
je obvykle rovina rámu svislá, indukuje tudíž horizontální složku. V přípa-
dě vodorovné orientace indukuje se vertikální složka $\vec{V}$. Obě složky tvoří
vektorovou rezultantu $\vec{Z} = \sqrt{\vec{H}^2 + \vec{V}^2}$, což je naše odvozená veličina v teore-
tickém úvodu.

Z uvedených vztahů koeficientu útlumu logicky vyplývá užití středních
frekvencí. Čím vyšší frekvence, tím větší útlum, ale současně tím větší ne-
bezpečí naindukování cizími kovovými předměty. Nízká frekvence znamená užití
silnějších zdrojů buzení, navíc rušivé vlivy jdou hůře potlačit. Silový zdroj
tvoří kabel se zavěšenou elektrodou na spodku kabelu. Silové pole v případě
nepříliš vzdáleného rámu od zdroje může být projevem převážně galvanického
přenosu a induktivní přenos je pak zde podružný. Elektroda na povrchu země,
ať již nedaleko vrtu, neb přímo upevněna na pažnici, představuje druhý pól
elektrického dipólu. Ve statí o chybách rozebereme příčiny chyb, vzniklých
právě tímto zapojením.

Indikátorem elektromagnetického pole je indukční rám (cívka) o ploše
cca $0,4 \text{ m}^2$. Velikost rámu je omezena velikostí důlních prostor, ve kterých
měříme. Tento rám je otočný kolem horizontální i vertikální osy. Při provoz-
ním měření je výhodné justovat horizontální osu - rám je pak otočný pouze
kolem vertikální osy (měření H složky). Získaný indukční proud je veden od
zesilovače na indikační mikroampérmetr. Poloha rámu vzhledem k volené orien-
tační ose je dána úhloměrem připojeným k vertikální ose rámu. Obvyčným trub-
kovým průzorem se zjišťuje výchozí směr (obvykle osa chodby) a pak se rám
natáčí do polohy minima neb maxima příjmu. Při minimu příjmu je rám orientován

svou plochou rovnoběžně se siločarami pole, při maximu příjmu je rám na siločáry kolmo (Faradayův zákon). Vyhodnocení je prosté : Vektor směru silového zdroje je dán přímo polohou rámu. Stačí tudíž odečíst rozdíl natočení do původního směru a do minima příjmu, je-li průzor rovnoběžný s rovinou rámu. Výslednou hodnotu vyneseme graficky do plánu důlního díla. Výpočet je zbytečný, neprovádíme-li korekce (viz dále). Rozestup a počet zaměřovacích míst je libovolný, závislý na požadavku přesnosti. Pouze nutno dodržovat přijatý směr (nikoliv smysl směru).

Výsledky prováděných měření :

Pokusná a provozní měření byla konána již od roku 1961. Největší intenzita prací byla kolem roku 1965. Od tohoto roku počet měření klesá pro omezení vrtných prací a také proto, že část prací (oblast Kohinoor II) převzala provozní skupina měřičů DVÚZ.

Pozn. : Data za rok 1966 neudána pro neucelená hlášení zadavatelů.

Tabulka měřených a nalezených vrtů

Tab. č. 1

Roky	1961		1962		1963		1964		1965		Počet
Počet měření	14		20		31		46		66		177
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A' B
Vrty	11	100 %	14	100 %	16	100 %	22	100 %	37	100 %	100 100 %
Nalezeny na 1. pokus	6	55 %	7	50 %	8	50 %	11	50 %	16	43 %	48 48 %
Nalezeny na 2. pokus	2	18 %	3	21 %	2	12 %	4	18 %	8	22 %	19 19 %
Nalezeny na 3 a více pokusů	0	0 %	1	8 %	2	12 %	3	14 %	7	19 %	13 13 %
Nenalezeny vůbec	3	27 %	3	21 %	4	26 %	4	18 %	6	16 %	20 20 %
Počet nalezených	8	73 %	11	79 %	12	74 %	18	82 %	31	84 %	80 80 %

Poznámka : A = počet vrtů

B = počet vrtů vyjádřený v procentech

Z celkového počtu 100 proměřených vrtů bylo nalezeno 80 %. Rozebereme příčiny 20 % nenalezených vrtů. V letech 1961 bylo procento nenalezených vrtů celkem

23 %. Kromě roku 1963, kdy byla provedena měření v celkem obtížném terénu (procento nenalezených vrtů stouplo na 26 %), byla v následujících letech tendence klesající. Odráží se tu zejména větší zkušenost měřičů provádějících měření.

Nenalezené vrty a opakované vrty :

A/ Nahodilostní chyby, chyby ze strany zadavatele :

a/ Nejčastěji se vyskytující příčinou nenalezení vrtu vůbec bylo chybné lokalizování vrtů zadavatelem. Elektroda indikující kuřavkový vrt byla zapuštěna do jiného - vzdálenějšího vrtu (obvyklá vrtná síť 100 x 100 m je místy ještě hustší). Signál je v takovém případě rámem sice zachycen, ale při větším útlumu (viz křivku útlumu na obr. č. 3) je signál prakticky ve všech bodech rovnoměrný. Stejná hladina signálu se pak vektorově projeví jako paralelní řada vektorů (pole se vektorově sčítá). Postačí pak, aby se při opakovaném měření změnila hladina šumu a vektory, opět paralelní, změnil svůj směr. Viz příklad paralelního směru na obr. č. 8. Tuto chybu odstraníme dobrou organizační spoluprací se zadavatelem. Vyskytlo se 6 případů chybného určení vrtu vlivem chybného označení vrtu.

b/ Pata vrtu se nachází nad chodbou, ve které provádíme měření. Signál dobře slyšitelný, ale vektory mají rozházený charakter. Viz uváděný příklad č. 6. Použití horizontální polohy rámu nám postačí ukázat příčinu takového " rozházeného " měření a určit přibližně výšku paty vrtu nad chodbou. Obvykle je nejvýhodnější, dovolí-li to podmínky, zaměřit vrt geomagneticky měřením H a Z složky. Pak lze vrt určit přesněji - viz ukázkou geomagnetického měření. Tento případ se vyskytl celkem čtyřikrát.

B/ Zákonité chyby v určení vrtu :

a/ Vliv tvaru chodby a čelby chodby :

Koeficient útlumu v horninovém prostředí je značně odlišný od koeficientu útlumu ve vzduchu (viz tabulku elektrických hodnot vsorků). Tento případ lze zanedbat jen tehdy, když vrt je blízko rámu, kterým měříme. Jinak vektory intenzity pole mění velikost a směr při přechodu z prostředí se změněným dielektrikem a odporem. V případě zanedbatelných rozměrů důlního díla, neb je-li důlní dílo pravidelné a my měříme

s přihlédnutím k této pravidelnosti, je vektorový rozdíl malý a pravidelný a příliš měření neovlivňuje. Jinak je tomu v případě, že se chodba kavernovitě mění, neb lomí-li se pod větším úhlem. Viz příklady na ukázkách praktického měření, č. obr. 5. Obdobný je i vliv čelby vrtu. Na příkladech obr. č. 9, 10, 11 je patrná odchylka vektorů, je-li stanoviště situováno příliš blízko čelby vrtu. V praxi ze zkušenosti připouštíme pro důlní díla nejmenší vzdálenost od čelby vrtu kolem 5 m. Menší vzdálenost značně zkreslí výsledky měření. Korekce na vlivy chodby a čelby chodby je značně složitá. Do hodnot rovnic před úpravou do vektorového tvaru zavedeme dvojí hodnotu intenzity H v poměru vodivosti a permeabilit horniny a vzduchu. Složitost tkví také v empirickém odhadu geometrických tvarů důlního díla. Při provozním měření se výpočet této korekce nedoporučuje.

b/ Přesnost ustavení aparatury a měření :

Aparaturu - měřicí rám stavíme již ze shora uvedených důvodů do osy chodby, neb alespoň do stejné vzdálenosti od chodby. Odečítáme s přesností jednoho až půl stupně, po případě i méně. Nutná je úzkopásmovost a selektivita aparatury - zesilovače + rámu. V případě neostrého maxima či minima měříme tak, že hledáme při určitém stupni na indikátoru protistupěň, natočený přes maximum neb minimum. Tyto hodnoty jsou libovolné. Polovina celého rozkvyvu dvou protilehlých hodnot je hledané maximum či minimum. Měření opakujeme.

Ze souhrnu prováděného měření vyplývá přesnost měření na jednotlivém bodě : ve výhodných podmínkách (vrt blízko chodby, ne více než 3 - 5 m) je chyba asi 0,5 - 0,7 stupně. Za zhoršených podmínek a při větší vzdálenosti se zvětšuje chyba až na 1,2 - 2,5 stupně. Viz příklad na rozptyl měření v praktických ukázkách indikování vrtu. Chyby rostou, určíme-li vrt před čelbou chodby neb je-li vrt orientován kose k úseku chodby, ve kterém provádíme měření. Je-li vrt přímo v ose chodby, dále v čelbě, není možné vzdálenost určit vůbec.

c/ Pole rušená cizími vlivy :

Již v úvodu bylo řečeno, že značné chyby při měření vznikají deformací elektromagnetického pole, nalézají-li se v blízkosti záměrových bodů železné, po případě jiné rušivé předměty. Jsou-li to kratší kovové sou-

částí důlní výstroje, ruší tyto mnohdy více než dlouhé vodiče - např. potrubí, elektrovodiče bez proudu, koleje atd., zejména jsou-li dobře uzemněné. Dlouhé vodivé předměty (viz obr. č. 1 s ukázkami rušení pole elektrovodičem a potrubím - Spravočník geofizika tom III-1965), ruší obdobně jako mění pole dielektrikum chodby na rozhraní chodba - vzduch. Předměty orientované s osou chodby mají navíc menší indukci (kolmo na vrt) a tento vliv je i do jisté míry rovnoměrný. Největší potíž při měření vyvolávají kratší železné předměty, úseky žlabů, kolejnic atp. Podmínka správného měření : nutnost čisté chodby bez rušivých předmětů. Nelze-li odstranit tyto předměty, nutno se postarat o jejich dokonalé uzemnění.

d/ Rušení stejnosměrnými a střídavými proudy :

Tento vliv na měření je již popsán v úvodní kapitole. Důležitá je selektivita zesilovače, po případě vypnutí všech rušivých zdrojů po dobu měření. V případě vzdálenějšího vrtu je nutný větší příkon do uzemňovacích elektrod a postačující zisk měřicího zařízení.

e/ V úvodní kapitole byla učiněna zmínka o podmínce vodorovnosti důlních chodeb. Měříme-li totiž v různých výškách vzhledem k poloze měřicí elektrody (patě vrtu), naměříme jiné hodnoty již také proto, že magnetické pole nemá ve skutečnosti tvar válce (jak bylo dokázáno teoreticky), ale vlivem pažnic má pole tvar paraboloidu s ohniskem v místě elektrody v patě pažnice. Z geometrického názoru již dodatečně vyplývá, že v tomto případě, měříme-li v různých polohách výškových, nedostaneme průsečík vektorů v místě vrtu, ale vektory tvoří křivku připomínající kaustickou křivku. Viz ukázka na obr. č. 7. Při měření ve svážných nebo dovrchních chodbách nutně musíme provádět korekci, zejména je-li vrt poměrně vzdálený. Blízkých vrtů se korekce netýká, ovšem hledáme-li je v krátkém úseku chodby. Korekce je obtížná, protože předpokládá znalost tvaru pole.

f/ Tvar pole magnetického dipólu :

V předchozím je uvedeno, že pole má tvar rotačního paraboloidu. Tento poznatek musíme opravit tak, že ve větších vzdálenostech ani toto ne - platí a paraboloid je deformován na eliptický paraboloid, po případě na

tvár nepravidelný, a to v případě větší anizotropie hornin neb měříme-li blízko nízkoodporových vrstev, které také deformují tvár pole. Vliv vodivých vrstev lze částečně korigovat, známe-li jejich geoelektrické parametry. O deformaci vlivem tektoniky jsme se již zmínili. V tomto případě má pole rovněž tvár paralelně uspořádaných vektorů. Intenzita příjmu je však větší. Toto se týká jen případu, kdy má tektonická plocha vyplněná vodivým materiálem paralelní nebo blízký směr s osou měření a je-li poblíž hledaného vrtu. Tvár pole a jeho intenzita jsou rovněž ovlivněny způsobem upevnění elektrod dipólu vzhledem k celkovému uspořádání geologické struktury (makroanizotropie a tektonika). Toto se však všechno týká vzdálenější situovaného vrtu. Při upevnění elektrod na pažnici vrtu (viz obr. č. 1, varianta a) jsou mnohdy obtíže se stínícím účinkem pažnic a mnohdy v hlubších zapažených vrtech nelze takto měřit vůbec. Jinak v podstatě nezáleží na uspořádání elektrod, zvláště při nevelkých vzdálenostech vrt - chodba.

Přesnost měření :

Nejprve uvedeme jako příklad skutečné a naměřené polohy vrtů, jež byly vybrány ze skupiny vrtů nalezených na první pokus. (Poznámka : souřadnice jsou uvedeny zkrácené, plná hodnota souřadnic není nutná).

Vrt	Skutečná poloha vrtu		Naměřená (geof.) poloha /M/	
Hk 35	- 006,80	+ 001,50	- 007,40	+ 001,10
Bž 35	- 002,20	+ 075,30	- 003,90	+ 084,30
200	- 003,20	+ 071,50	- 003,20	+ 071,30
Jul60	- 002,00	+ 002,10	- 000,00	+ 001,80
Jul59	- 006,50	+ 005,20	- 005,50	+ 005,00
131	- 002,00	+ 008,40	- 000,90	+ 008,20
Hk 34	- 000,87	+ 000,43	- 000,74	+ 000,56
Hk 33	- 000,36	+ 000,19	- 000,47	+ 000,40
Hk 36	- 006,03	+ 003,88	- 007,41	+ 003,35

Z uvedených rozdílů vyplývá přesnost v souřadnicích $Y = + 0,05 \text{ m}$

$X = - 0,83 \text{ m}$

Přičteme-li vrty s opakovaným měřením a uvažujeme-li všechny vrty, tedy i ty, které byly nalezeny v obtížných podmínkách, vychází celková přesnost nalezených vrtů (tabulku zde již neuvádíme) $X = \pm 0,75 \text{ m}$

$Y = \pm 1,20 \text{ m}$

Závěr a zhodnocení :

Z uvedeného vyplývá reálnost použití elektromagnetické metody k hledání kuřavkových vrtů. Vyloučíme-li měření bez korekcí za podmínek, kdy je jistota velmi nepřesného výsledku (viz chyby pod Aa , Ab), zvýší se spolehlivost na 90 %. Zmíněná metoda je vhodná pro běžné provozní měření. Zaškolení pracovníků je rychlé a vyhodnocování, pokud se nepřihlíží ke korekčním opravám, je nenáročné a rychlé. Výsledky měření a srovnání polohy vrtů nalezených s polohou naměřenou provedli jednotliví zadavatelé, takže hodnoty jsou nestranné. V budoucnu by bylo vhodné provést pokusná měření v případě hlubokých vrtů a větších vzdáleností vrt - chodba, aby se zvýšila spolehlivost i v těchto případech.

Literatura :

- K. Loos : Elektrische Ortung von Bohrlöchern-VEB-PKG-Kohle (Berlin)
Kovařovič : Identifikace polohy ztracených vrtů - Rudy č. 7 - 8/1964
Gluzman : O okrajové úloze teorie elektrokarotáže - Geologija 5/1966
Moskva
Kaufman : Magnetické pole vertikálního magnetického dipólu - Geologija 5/65 Moskva
Frazier : Elektrické vlastnosti hornin - Geof. žurnál 1966 Moskva
: Geofizičeskij spravodnik tom. III. - Geolog. int. 1965
Trnka Zd. : Teoretická elektrotechnika I. díl - 1952

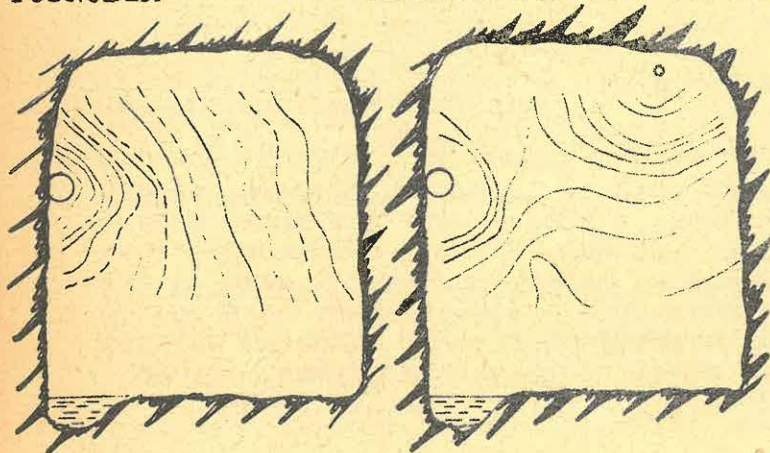
S h r n u t í

Tento článek se zabývá vedle popisu metodiky hledání kuřavkových vrtů elektromagnetickou metodou, hlavně příčinami selhání této metody ve speciálních podmínkách měření a přesností určení vrtů popisovanou metodou. Elektromagnetická metoda při použití elektrického dipólu (indukované pole měříme indukčním rámem) je prozatím nejspolehlivější metodou k hledání paty kuřavkových vrtů. Případy, kdy tato metoda selhává, jsou probrány s přihlédnutím k terénům, ve kterých se měření provádí.

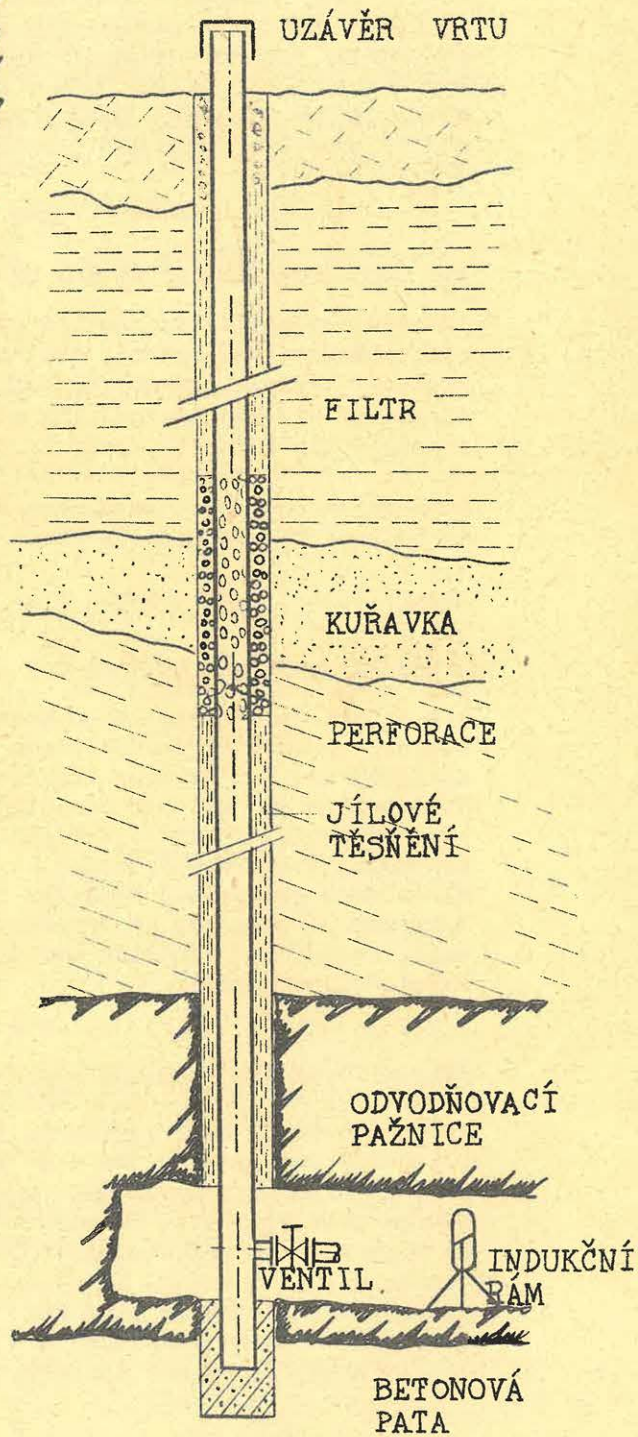
POLE RUŠENÉ

POTRUBÍM

POTRUBÍM A EL. VODIČEM

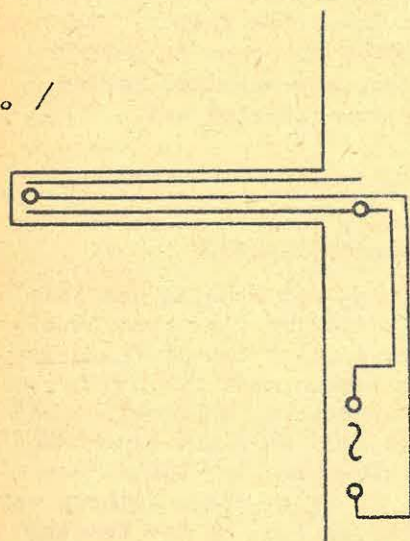


ODVODŇOVACÍ VRT

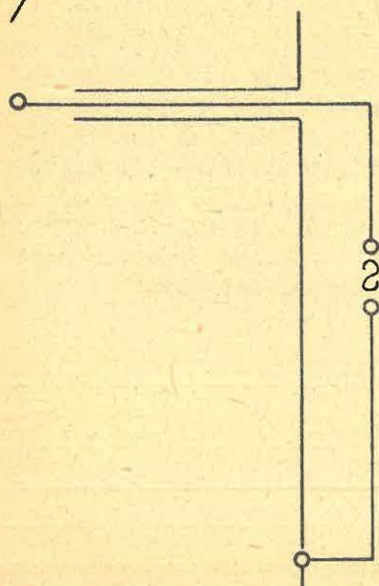


PŘÍKLADY SITUOVÁNÍ ELEKTROD

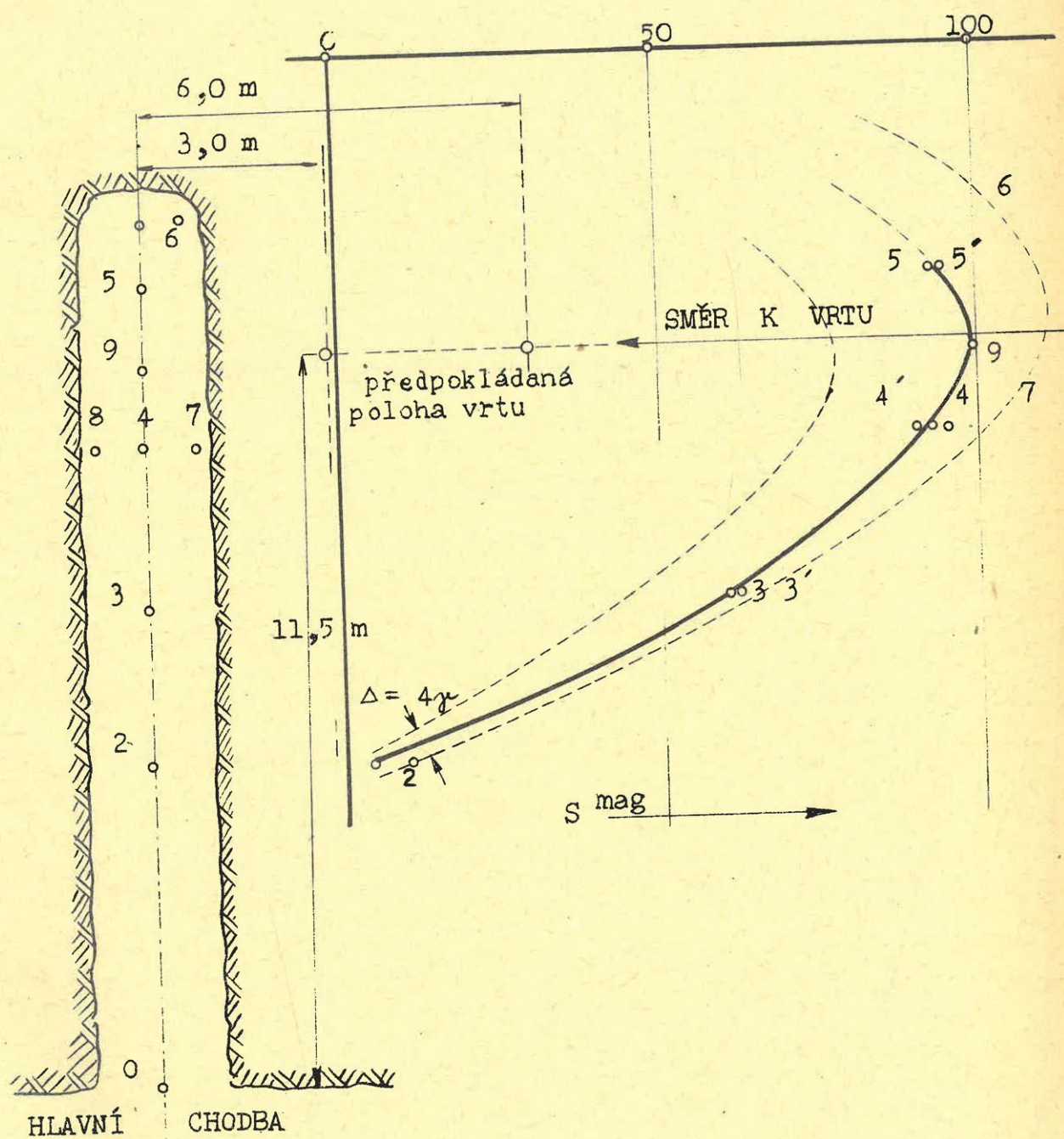
A. /



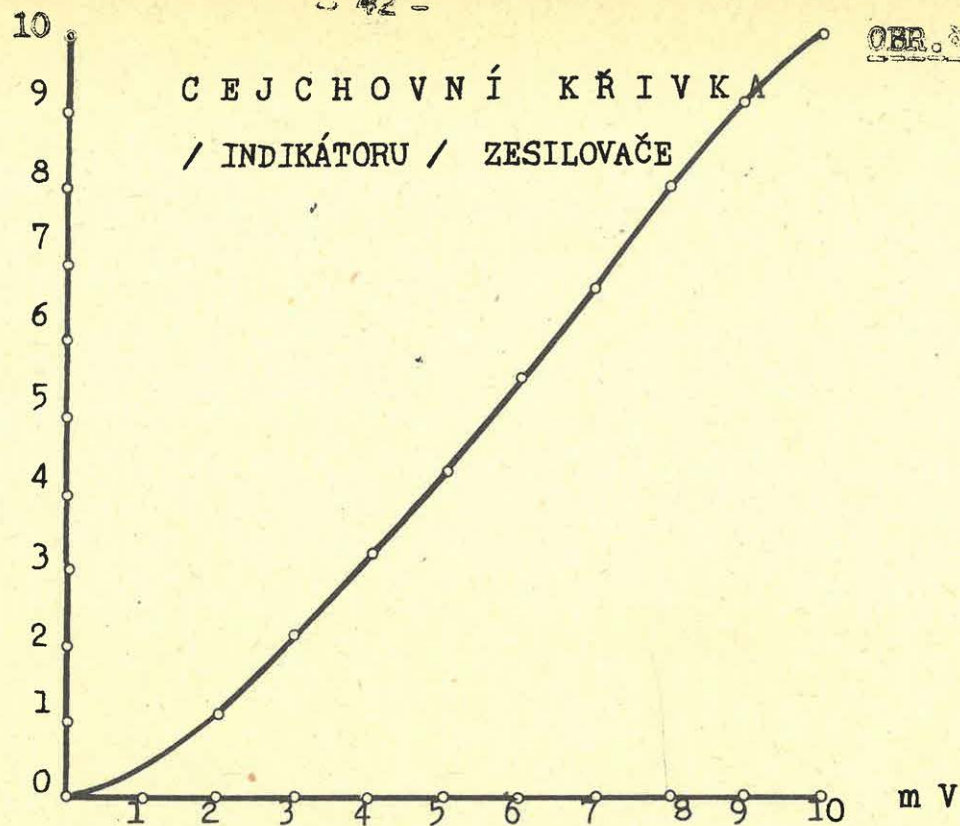
B. /



D Ů L M Í R
MAGNETICKÉ URČENÍ POLOHY VRTU Č. 98



ČEJCHOVNÍ KŘIVKA / INDIKÁTORU / ZESILOVAČE



$f = 1600 \text{ Hz}$ $i = 300 \mu\text{A}$

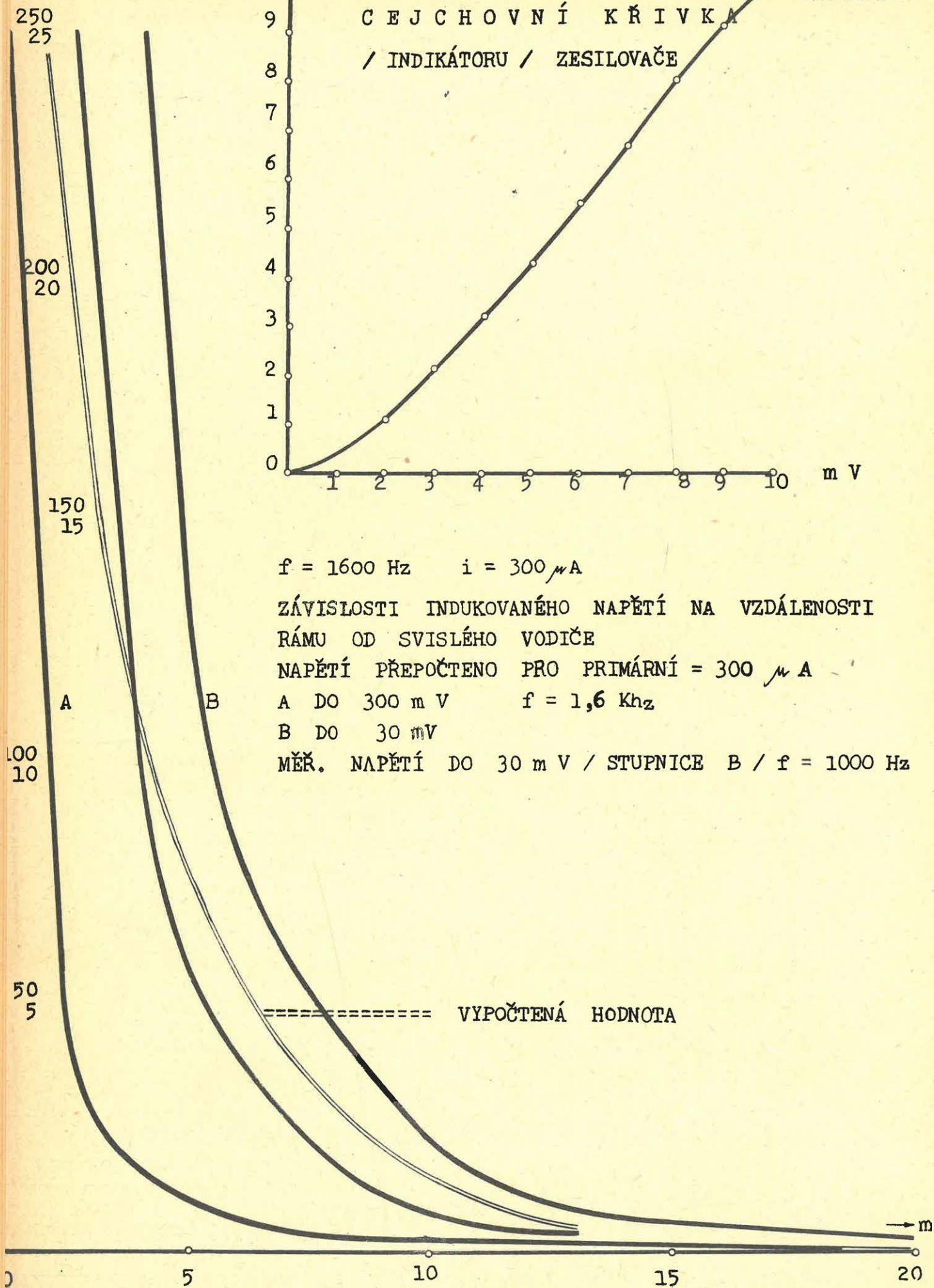
ZÁVISLOSTI INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ NA VZDÁLENOSTI
RÁMU OD SVISLÉHO VODIČE

NAPĚTÍ PŘEPOČTENO PRO PRIMÁRNÍ = $300 \mu\text{A}$

A DO 300 mV $f = 1,6 \text{ Khz}$

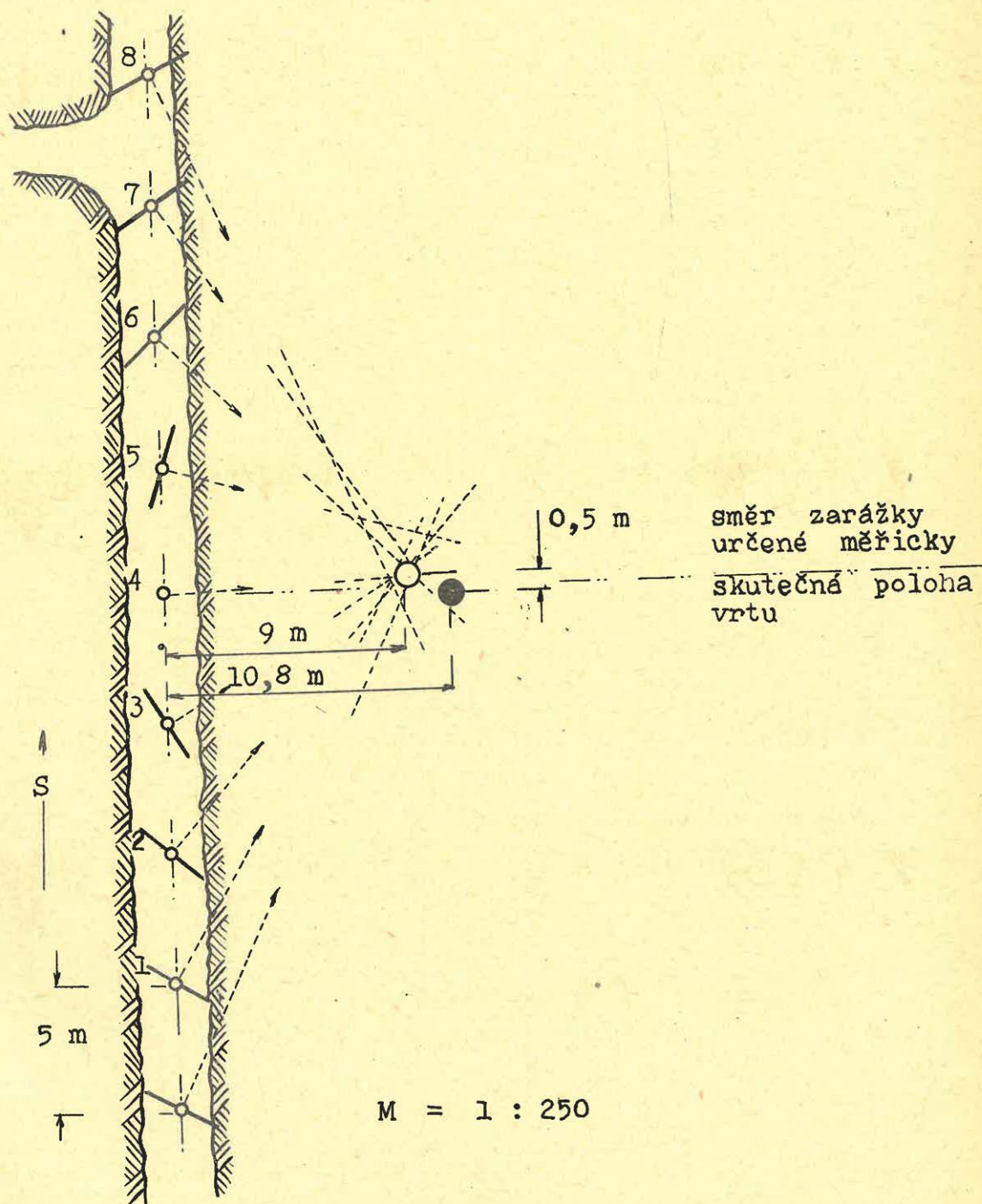
B DO 30 mV

MĚŘ. NAPĚTÍ DO 30 mV / STUPNICE B / $f = 1000 \text{ Hz}$

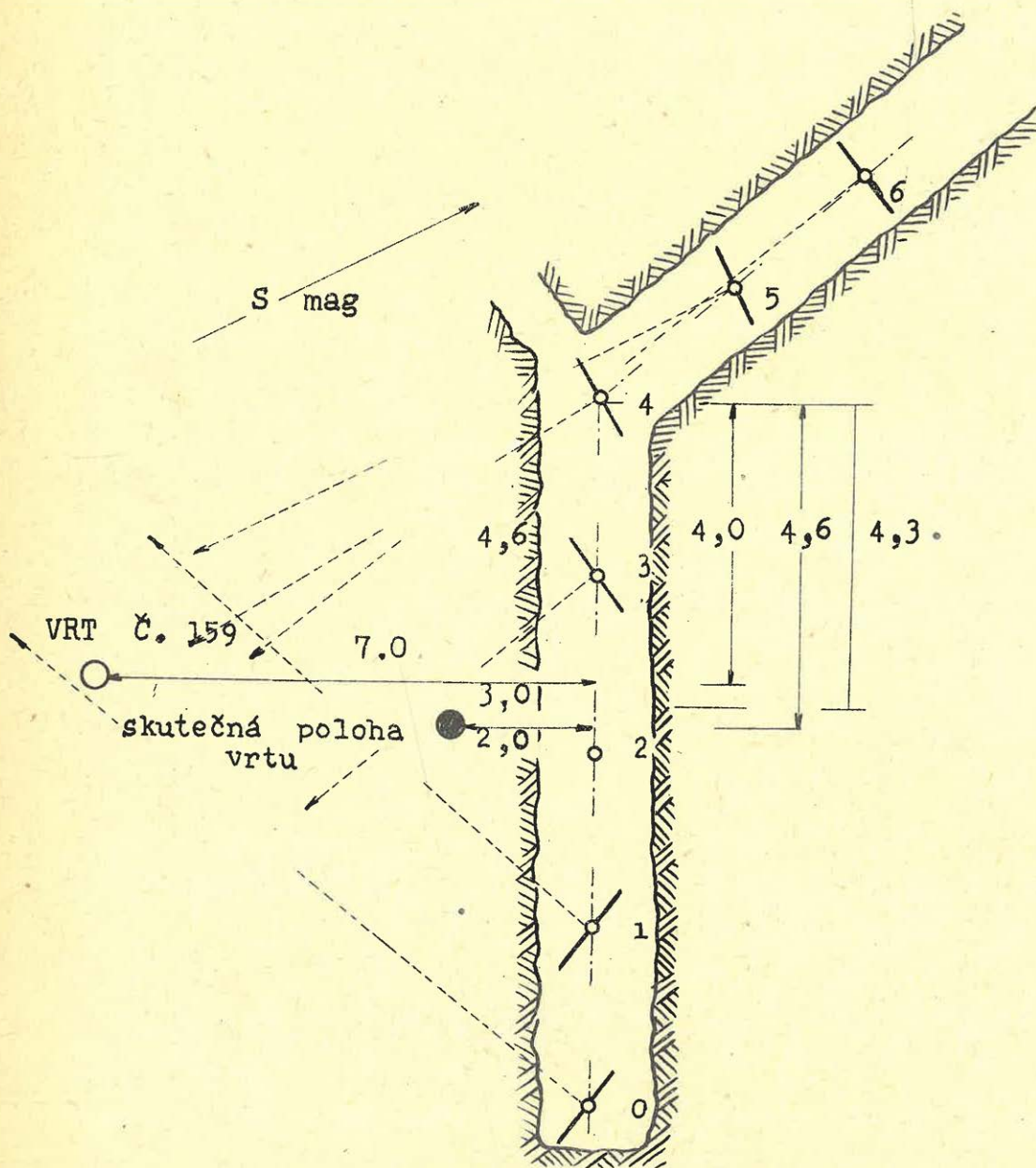


D Ů L M Í R

URČENÍ POLOHY ODVODŇOVACÍHO VRTU Č. 160



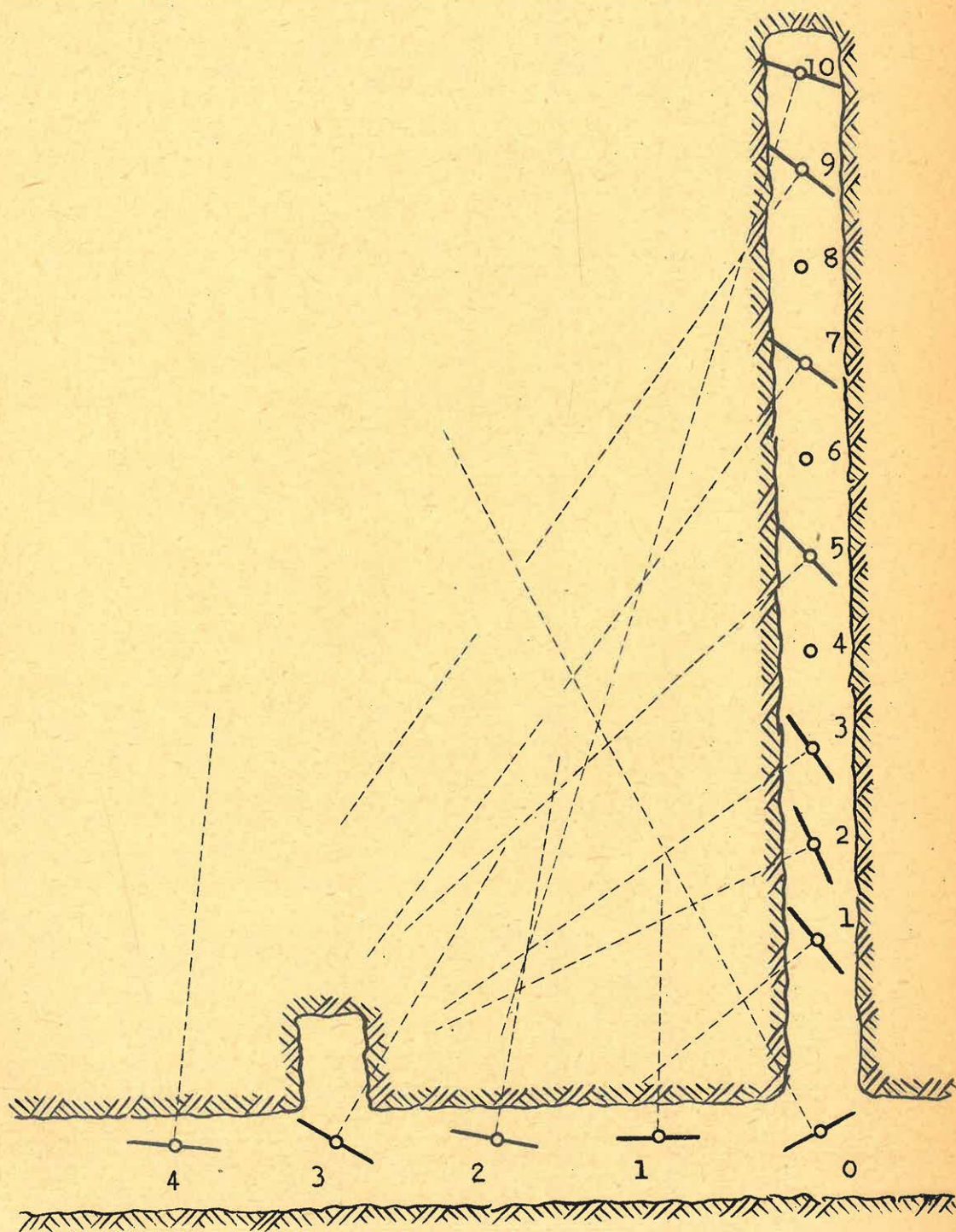
D Ů L M Í R
ODVODŇOVACÍ VRT Č. 159 .



DŮL KOHINOOR

M. RADČICE

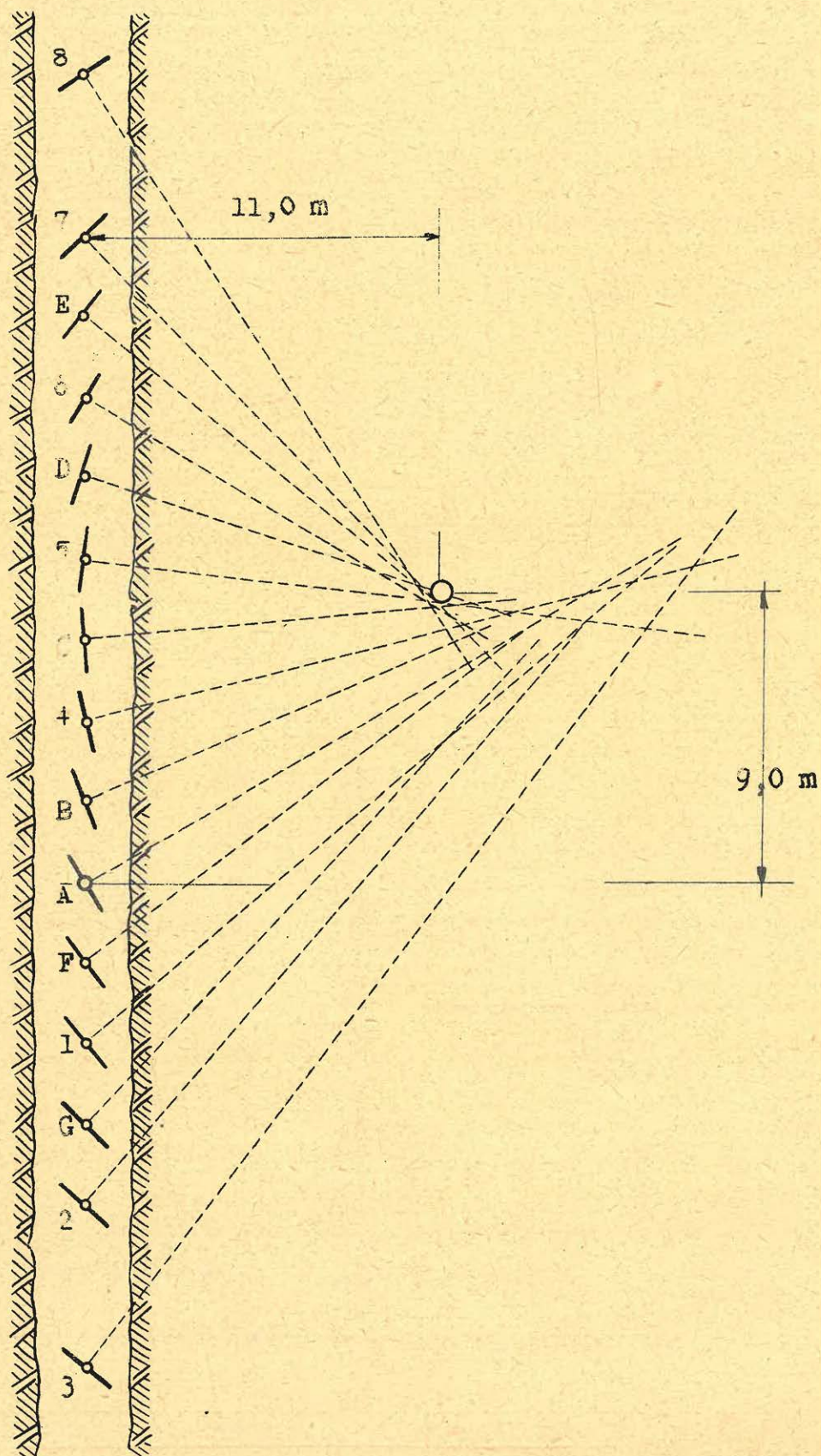
VRT Č. MR 36



M = 1 : 200

D Ů L M Í R

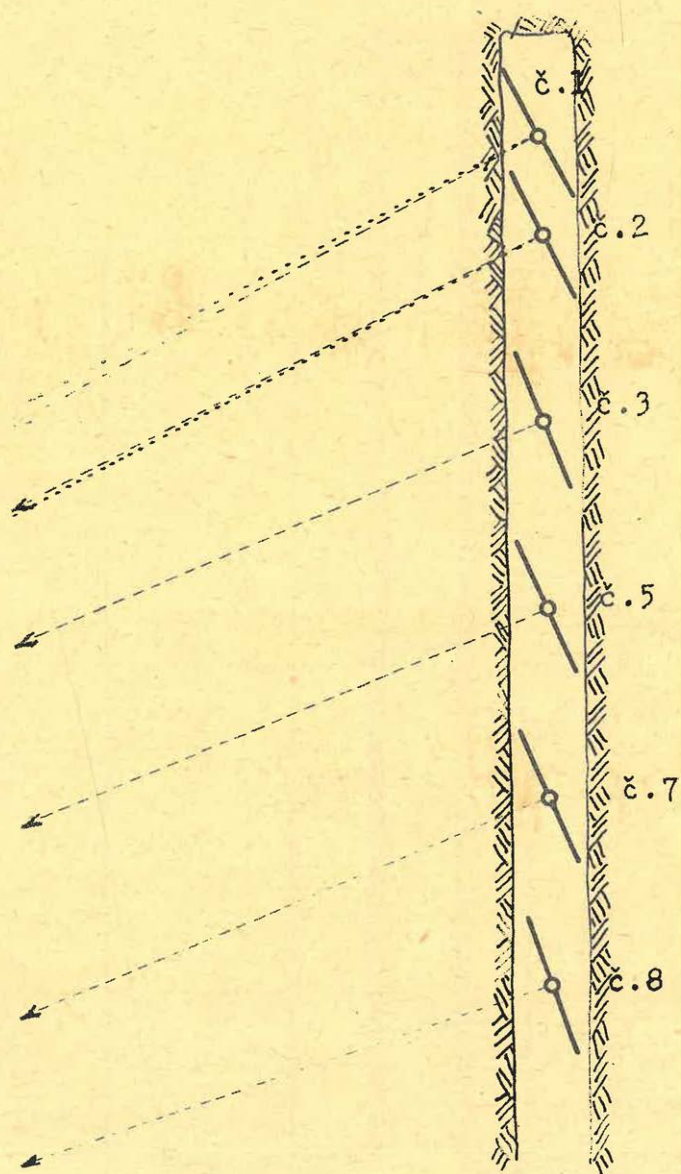
URČENÍ POLOHY ODVODŇOVACÍHO VRTU Č. 238



M = 1 : 200

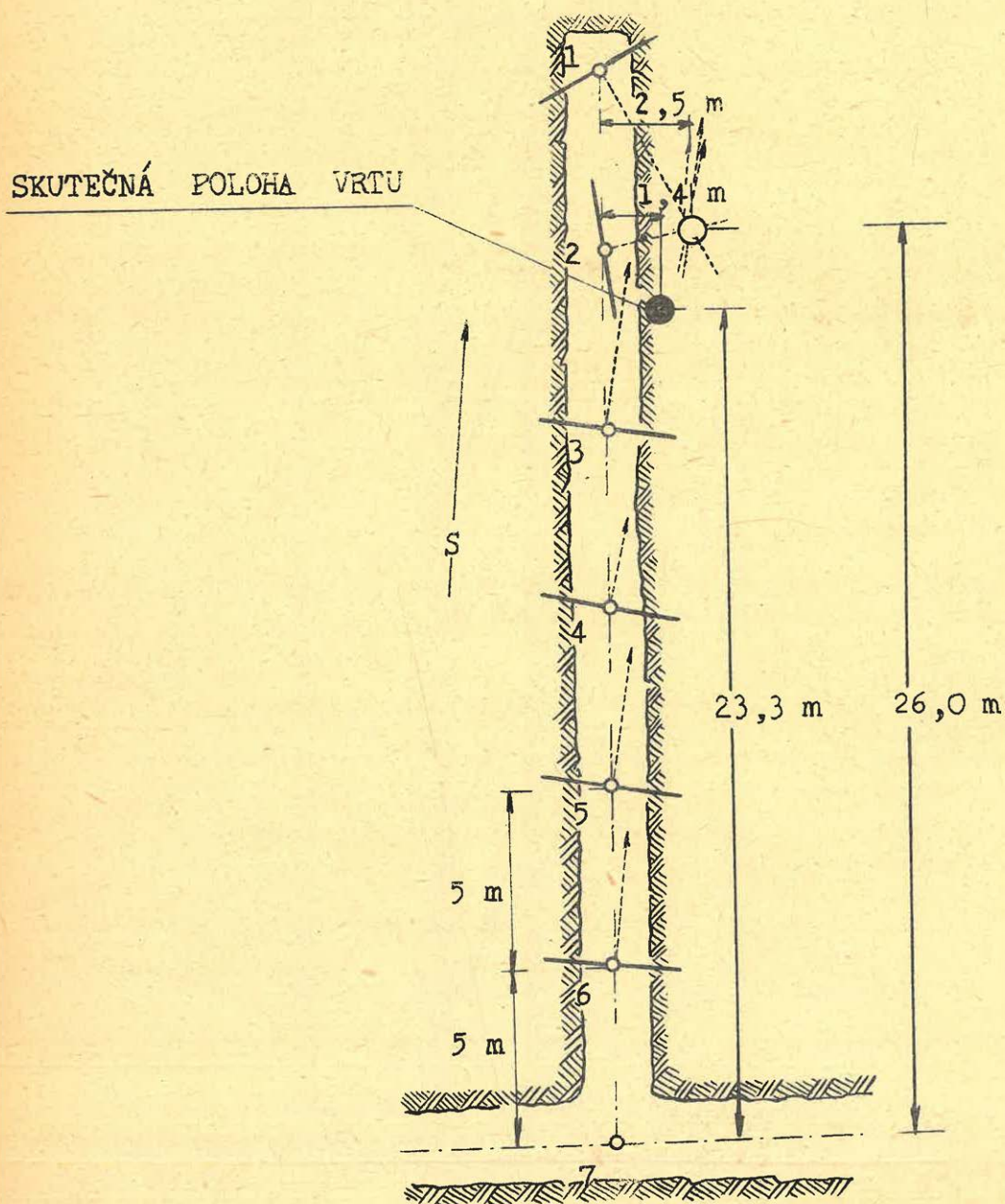
DŮL GOTTWALD
ELEKTROMAGNETICKÉ URČENÍ POLOHY ODVODŇOVACÍHO VRTU
vrtč.72

MĚŘ.: 1:200



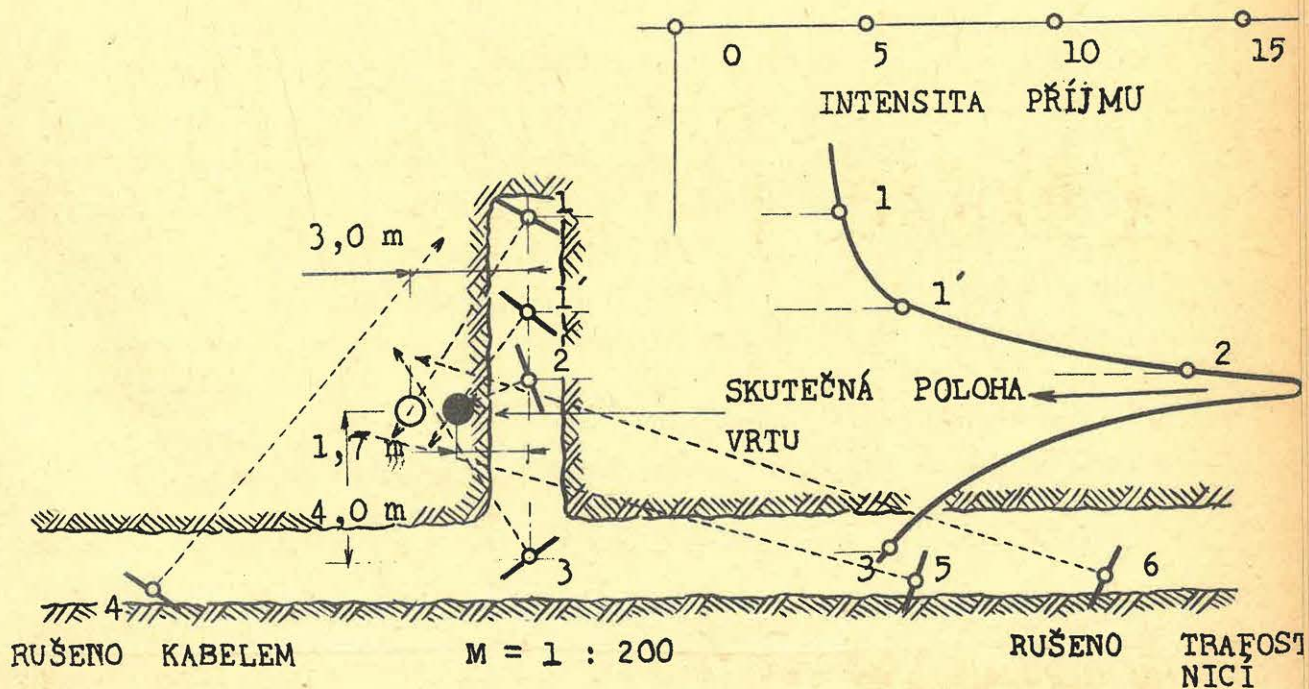
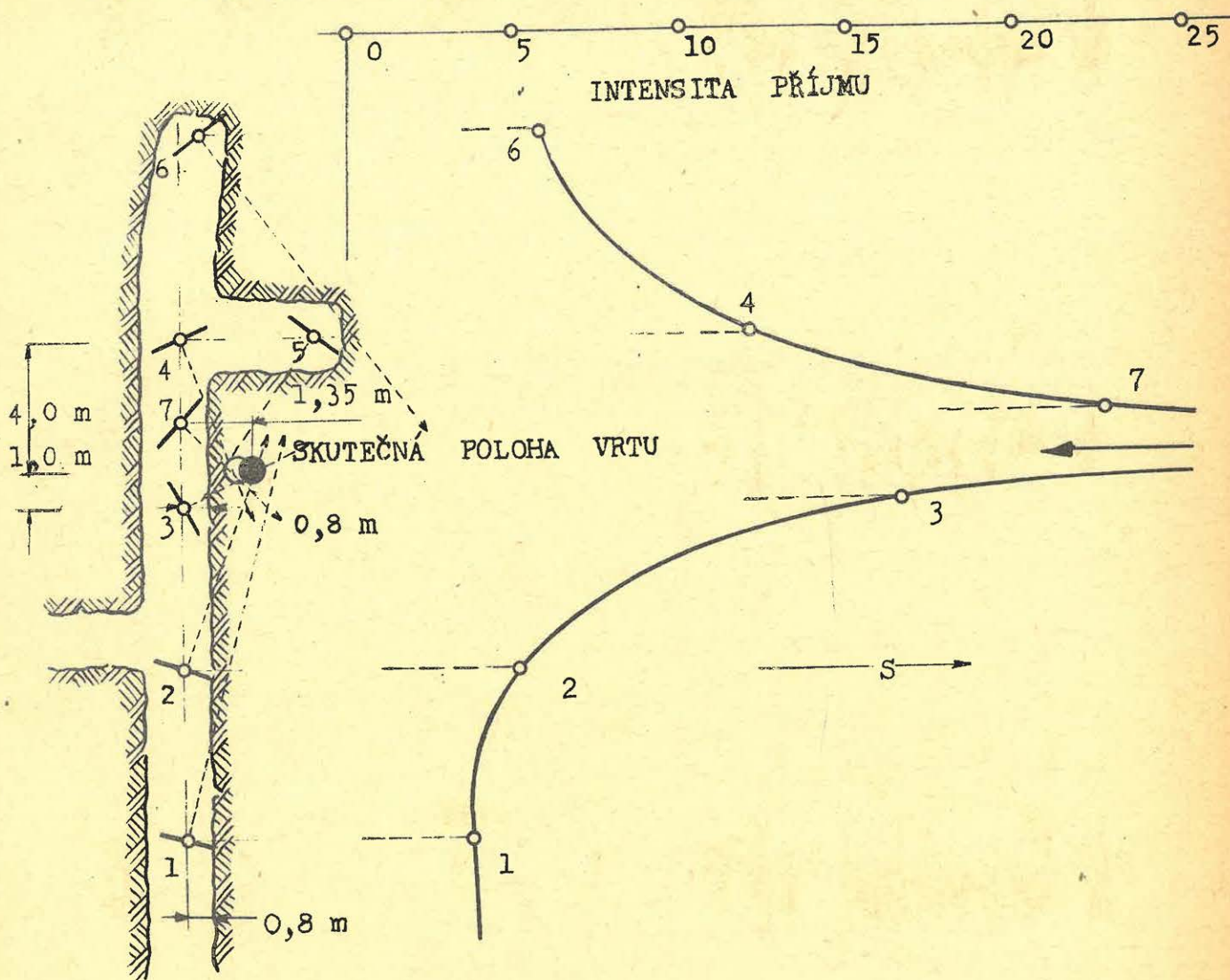
D Ů L M Í, R

GEOELEKTRICKÉ URČENÍ POLOHY ODVODŇOVACÍHO VRTU
č. 382



M = 1 : 200

URČENÍ POLOHY ODVODŇOVACÍCH VRTŮ - Č. 200 - Č. 203



D Ů L M Í R

URČENÍ POLOHY ODVODŇOVACÍHO VRTU
Č. 131

