

Pg. Jaroslav U h l í k , VÚHU:

PŘEHLED A PERSPEKTIVY GEOFYZIKÁLNÍHO PRŮZKUMU NA VÝSKYT PODZEMNÍCH DUTIN

Ú v o d

Metodika užitá geofyziky dovoluje použití několika specializovaných oborů k zjišťování dutin pod povrchem. Tyto metody pak dělíme na přímé a nepřímé. K přímým metodám patří např. gravimetrické metody, a to jak měření tíhového zrychlení, tak i metody druhé derivace tíže. Předem je nutno poznamenat, že tyto metody jsou vhodné jen v krajních případech zadané úlohy, tj. při hledání velkých dutin poměrně nehluboko uložených, nebo pro dutiny hlouběji uložené, ale rozsáhlých rozměrů – např. při měření v krasové oblasti. Všechny ostatní metody jsou zařazovány mezi metody nepřímé, tj. určuje se rozdíl fyzikálních parametrů, vyvolaný anomálií normálního pole a přítomností dutiny. Rozdíl je důležitý. Anomálie vytvořená nad terénem, může, ale nemusí být vyvolána dutinou. Např. při geoelektrickém měření vytváří anomálie při měření i vliv nerovností terénu, různý obsah vody, stav nadloží nad dutinou apod.

Ostatní metody tudíž využívají odlišných fyzikálních rozdílů – vzduchem vyplněné (nebo vodou vyplněné) podzemní prostory, např. rozdílů specifického elektrického odporu, dielektrické konstanty, permeability apod. proti obklopujícímu prostředí.

Použité metody nejsou většinou novinkou v podzemní užitá geofyzice. Nová je zde metodika měření, interpretace, popř. přizpůsobená aparatura (příklad: aparatura názkoušení ultrazvuku na vzorky adaptovaná na měření odrazem pod úhlem). Základní nevýhodou je relativně malá dutina proti velkému obklopujícímu prostředí. Tato nevýhoda vystupuje zejména u integrálních metod.

Přes všechny potíže byly vypracovány jednotlivé metody na průzkum dutin a stanoveny meze přesnosti té které metody a jejich hraniční podmínky pro určitý terén. Obsahem článku je jejich popis a zhodnocení pro praxi spolu s možností dalšího vývoje.

A. Gravimetrické metody

Pro využití na dolech SHR a v přilehlých oblastech, zejména poblíže výchozů, byly vyzkoušeny následující submetody.

Metoda měření statickým gravimetrem - měření první derivace tíhového zrychlení. Postup měření je následující: poměrně hustý krok měření (podle hloubky dutiny) až po dvaceti metrech. Několikanásobné opakování.

B. Geoelektrické metody

Metoda elektrického profilování a sondování

Tato klasická metoda je založena na principu rozložení elektrického pole v geologickém prostředí. Toto pole je vytvořeno párem proudových elektrod. Druhým párem elektrod se snímá potenciál tohoto pole. Zvětšením vzdáleností navzájem od sebe docílíme i větší hloubkový dosah pole. Pokud neměříme v homogenním a izotropním prostředí (teoretický předpoklad), měříme potenciálními elektrodami deformované pole. Tímto postupem lze spojitě zjišťovat inhomogenity pod zemským povrchem do libovolné hloubky. Prakticky je tato hloubka omezena možností rozestupu elektrod a dále přesností požadavků (kromě velikosti užitého proudu). Tato metoda byla specifikována na hledání dutin následovně: v měřicí metodě bylo použito stejnosměrného komutovaného proudu (tím byl odstraněn vliv bludných proudů nebo průmyslových proudů). Dále byly všechny elektrody situovány do jedné roviny a měněn jejich vzájemný rozstup, a to nejméně 5 x, tak aby tento rozstup zasahoval plochu nad dutinou, v rovině dutiny a v rovině pod předpokládanou dutinou. Dalším požadavkem je znalost geologického složení terénu. Obdobnou metodikou jako bylo popisováno, pouze s tím rozdílem, že elektrody posouváme symetricky od zvoleného středu, lze docílit určení inhomogenity pod povrchem v jednom bodě - tzv. elektrické sondování.

Další postup je již specifikovaný postup interpretační. Za tím účelem se provede srovnání odporů do křivek, tyto se porovnají s teoretickými a vykreslí se mapa izoohm. Z mapy izoohm se provede zpětně vykreslení inhomogenitních rozdílů a z rozdílů hodnot usuzujeme na možnost výskytu dutiny. Pokud je terén známý nebo lze-li se navázat na předem známou dutinu, odkud se získají potřebné interpretační údaje, je celý problém s interpretací zjednodušen. Přesto je tato metoda pracná, protože při průzkumu je nutno volit malý krok postupu všech elektrod (např. při průzkumu chodeb hluboko cca 5 - 7 m a velikosti chodeb 2 x 2,5 m je nutno zvolit krok nejméně 2 m nebo 2,5 m při různém rozestupu elektrod). Tato metoda nedává rovněž stoprocentní výsledky. Podle druhu horniny, stavu povrchu terénu a podle velikosti rušivých vlivů lze docílit hloubky průzkumu maximálně do 25 - 30 m při velikosti dutin kolem 4 m průměru dutiny nebo 10 - 15 m hloubkového údaje při velikosti dutin 2 x 2 m. Tyto údaje samozřejmě neplatí při ne-

rovném povrchu terénu, nebo při různorodém složení hornin v blízkosti nadloží předpokládané dutiny. V tomto případě se všechny shora uvedené údaje snižují na 50 %, případně i více. Rozhodujícím faktorem je možnost porovnání křivek získaných z modelového měření, nebo křivek vypočtených teoreticky a dále znalost terénu a zkušenosti z vyhodnocování obdobného terénu. U získaných křivek pro identifikaci rozhodují absolutní naměřené hodnoty a tvar (průběh změny specifického odporu) měření na jednotlivých bodech a soustavné navazování (několikanásobný step s navázáním) je nutné. Pro odlišení hloubkové účinnosti podložních vrstev je nutné měřit v různých výškových polohách (např. na řezech). Nejkomplikovanější překážkou je nutnost přesné topografické a kartografické korekce. Korekce na obklopující terén jsou natolik nepřesné, že tato metoda má omezený limit a navíc nelze použít progresivnější metody - měření druhé derivace tíhového zrychlení, kde vystupuje úloha korekcí ještě naléhavěji. Pokusné měření v hustém profilu se neosvědčilo.

Prakticky byly zachyceny dutiny nejvýše 10 x 10 x 10 m v hloubkách od 5 do 20 m, a to v optimálním terénu. Dutiny o malých rozměrech 2 x 2 x 2 m nelze zachytit vůbec, a to ani bezprostředně pod povrchem. V hloubkách kolem 50 m nelze zachytit dutiny ani sebevětších rozměrů. Tato fakta platí pro poměry SHR a HDBS.

Aplikace měření gradiometry lze aplikovat mimo oblast povrchových dolů pro omezené hloubky do 20 až 30 m podle velikosti anomální dutiny. Praktické výsledky pokusů určování polohy dutin gravimetrem jsou v závěru tohoto článku.

Metoda poměrů potenciálů a rozdílů fází

Tato metoda je přechodovou metodou k metodám střídavým o vyšší frekvenci (indukčním metodám). Rovněž u této metody se do země vhání proud pomocí kovových elektrod. Tyto jsou spojeny kabelem buď v podobě přímého vodiče, nebo v podobě úplné nebo částečné smyčky. Profily uvnitř elektrod jsou proměřovány trojicí elektrod zapojených tak, že měříme vždy jedním jejích párem. Střední elektroda v symetrickém systému uspořádání elektrod zastupuje vždy druhou elektrodu páru. Porovnávaná hodnota poměru potenciálu na elektrodách (označených buď M, O, N nebo A, O, B) se přepočte s ohledem na fázový posun systému a výsledná gradientová křivka pak v inflexních bodech zachytí vliv dutiny. Vyhodnocování kvalitativní je postupem stejné jako shora popisovaná metoda elektroprofilování, tj. srovnáváme naměřené hodnoty s teoretickými. Kvantitativní metoda užitá při tomto postupu měření, vypočítává závislosti poměrů odporů a potenciálů - tento postup je pracný a užívá se jenom jako opěrný pro další kvalitativní postup

interpretace. Tato metoda má malý hloubkový dosah. Praktické výsledky dávají možnost průzkumu do hloubek nejvýše 15 - 20 m při velikosti dutin od 3 x 3 m výše. Tato metoda je teprve ve zkušebním stadiu ve smyslu průzkumu na dutiny. Ukazuje se nutným vyzkoušet metodu pro různou frekvenci, zapojení elektrod, velikosti jejich rozpětí a vyřešení jednoduchého kvantového koeficientu pro srovnávání profilů mezi sebou (a to pro stejný i odlišný terén po stránce petrografické).

C. Metody indukční

Rovněž indukčních metod je několik desítek, vyvinutých během několika desetiletí. Četné metody jsou však specializovány již svým principem na dílčí problémy průzkumu (např. metody na hledání tektoniky, zlomů, zvodnění atd.). Na metodiku průzkumu podpovrchových inhomogenit - dutin byly vyzkoušeny následující metody: metoda TURAM - metoda dvou ráků v indukčním poli nekonečného přímého vodiče nebo smyčky (na rozdíl od popisované metody poměrů potenciálů je přenos energie jenom indukční), dále metoda Slingram (obdoba Haalčkovy metody) - metoda jednoho ráku v indukčním poli a dále metoda fázového poměru. Tyto metody se neosvědčily pro svou integrační podstatu (součtové pole indukované i sekundárně indukované). Proto bylo přikročeno ke konstrukci dvourákové metody s vlastním zdrojem energie. Tato metoda je výhodná tím, že jeden rák může být vysílací a druhý přijímací. Tím se odstraní vliv indukce celé oblasti, ve které se dutina nachází a která je jeho malou částí.

Postup měření je následující: vytvoří se potřebné indukční pole natažením kabelů buď ve tvaru smyčky, nebo přímého dlouhého vodiče, změří se příslušné parametry útlumu kteroukoliv obdobou indukční metody a poté se přikročí k vlastnímu měření tak, že jeden rák napájíme střídavým polem o vysoké frekvenci a druhým rákem přijímáme indukci ráku, primárního i sekundárního pole. Podle polohy ráku měříme buď horizontální nebo vertikální složku. Pokud nebývá určována hloubka předpokládané dutiny, není nutné měřit obě složky. Měří se obvykle složka vertikální (horizontální poloha ráků) a měření se tím zjednoduší. Zachováním stejné polohy ráků a jejich vzájemného uspořádání lze korigovat jejich vzájemnou indukční vazbu. Výpočtem se odstraní vliv primárního pole (pro výpočet) a sekundární složka představuje anomální průběh indukovaného pole nad prostředím s výskytem dutin. Uspořádání indukčních čidel - ráků - lze volit několika způsoby: např. měřicí cívky lze uspořádat za sebou, nebo lze umístit větší cívku jako rák pro cívku menší apod. Změnou uspořádání lze docílit zmenšení rušení průmyslovými proudy.

Při pokusném měření bylo docíleno hloubkové účinnosti do 15 - 20 m při výskytu jednotlivých komor (rozměry cca 8 x 10 x 8 m až 10 x 10 x 10 m) v poměrně nenarušeném terénu. V případě výskytu chodeb v hloubce 5 a více metrů tato metoda nebyla spolehlivá (účinnost 50 a méně procent).

Použití této metody rovněž není novinkou v geofyzikálním průzkumu, ale dosud byla aplikována jenom při průzkumu kovových ložisek, uložených v malých hloubkách, nebo při sledování tektoniky. Adaptace na průzkum dutin bude obtížná zejména při interpretaci výsledků, ale tato metoda má výhodu ve spojitosti měření, jednoduché indikaci výsledků a možné automatizaci celého měření. Rovněž tato metoda však nebude jedinou metodou a ve sporných nebo obtížných terénech musí se však nutně použít komplex metod tak, aby doplňující metodou byla metoda s odlišným fyzikálním parametrem. Příkladem takového uspořádání je metoda elektroprofilování (fyzikálním parametrem je specifický elektrický odpor) a popisovaná metoda indukční, kde přistupuje dielektrická konstanta a permeabilita.

D. Seismické metody

Tyto metody, sestávající rovněž z většího počtu submetod, byly užity pro průzkum na dutiny i na jiných geofyzikálních pracovištích. V závěru bude zmínka o praktických výsledcích.

Ze submetod jsou možné a užité pouze metody refrakční, reflexní (pokud užívá principu difrakce při vyhodnocování) a konečně seismické metody se střední či vyšší frekvencí metodou stínů. Z popisovaných metod pro průzkum z povrchu terénu není metoda stínů vhodná, a proto byly použity jen reflexní a refrakční metoda. Tyto metody jsou zatíženy základním nedostatkem seismické metody, tj. že k dokonalému zápisu průběhu seismické vlny je zapotřebí dlouhého vodorovného rozhraní a dále práce s krátkými časy, zejména pro malé hloubky. Je tudíž nasnadě, že malé dutiny pokud se neprojeví výraznou difrakcí, nemohou být indikovány při vícenásobném odrazu a naložení vln a časový odečet dutin o velikosti a hloubce popisované při předešlých metodách je tak nepatrný, že nutně vyžaduje oscilografický záznam. Proto byly výsledky interpretace jen dílčí. Lze zaznamenat dutiny o velikosti 3 x 3 m a větší pro hloubky kolem 5 a méně metrů. Protože však produktivita pro tento způsob jinak velmi produktivní metody je malá, není nutné touto metodou nahrazovat např. metodu elektroprofilování, nebo metodu poměrů potenciálů. Větších úspěchů doznala seismická metoda při průzkumu dutin přímo v prostředí důlních děl, čili pod povrchem. Pro průzkum dutin

s povrchu byla tato metoda opuštěna, alespoň do té doby, než se vyvine metoda užití krátkých a velmi krátkých vln.

E. Metoda velmi krátkých vln - impulsní

Tato metoda je přechodovou metodou seismickou, od které přejímá interpretaci, a metodou vysokofrekvenční, od které přejímá elektrickou energii. V podstatě jde o zdroj vysoké energie až centimetrových vln, vysílaných generátorem, např. magnetronem nebo klystronem, tak jako je uveden do země zdroj seismické energie, tj. výbuchem nebo vlněním (chvěním). Přijímaný odraz pod určitým úhlem se zesílí, filtruje a stabilizuje a podle sklonu vysílacího zařízení a podle vzdálenosti přijímač-vysílač lze usuzovat na hloubce působení. Tato metoda má ostré ohraničení odrazového prostředí a na rozdíl od seismické metody lze si v určitých mezích toto rozhraní volit. Lze volit odrazové prostředí v místech výskytu dutin a útlum na příjmu a ostré maximum přechodného zesílení příjmu nás upozorní na výskyt dutiny. Kdyby neexistoval efekt vzájemného rušení, rozptýlu, disperze a značného efektu útlumu, byla by tato metoda ideální, ale rozlišovací ostrost je těmito faktory natolik omezena, že opět hranice průzkumu nesahají hlouběji než do 15 - 25 m, samozřejmě opět pro příslušné velikosti dutin.

Kromě popisovaných metod lze se zmínit ve stručnosti jen o zkoušených metodách, které dosáhly jen malého hloubkového účinku a současně je nelze adaptovat ve stavu, ve kterém byly aplikovány na rozmanité podmínky průzkumu na dutiny, které by se mohly v prostoru SHD vyskytnout.

Kapacitní metoda

Tato metoda využívá změny kapacity kondenzátorového můstku, u něhož je jedno rameno tvořeno deskou, tyčí nebo jenom drátem, instalovaným pod povrchem a tvořící jednu desku kondenzátoru. Druhá deska téhož kondenzátoru je zastoupena zemí a její kapacitní inhomogenitou. Tato metoda byla zkoušena i v oblasti SHR a HDBS, ale s malými úspěchy. Kromě značného zkreslujícího vlivu rušením elektrickými proudy (trolejová doprava) má tato metoda malou hloubkovou účinnost a údaje jsou zkreslovány stavem povrchu, nad kterým je rozložena anténa (druhá deska kondenzátoru). Hloubkový účinek této metody nebyl větší než 2 - 3 m v ideálních podmínkách měření.

Indukční metoda

Indukční metoda je podobná metoda, která využívá změny indukce nad dutinou.

Naměřené hodnoty kolísají, hloubkový účinek je malý až nepatrný (do 1,5 m). Tato metoda byla zkoušena na dutiny firmou Schlumberger s negativním výsledkem. V současné době je tato metoda zdokonalena k hledání potrubí a elektrických vodičů pod proudem. U nás tato metoda nebyla zkoušena, proto není podrobněji popisována.

Metoda termometrická

Metoda termometrická využívá jevu, že každá podpovrchová inhomogenita ve sloji mění tepelný obraz sloje, ať již k vyššímu nebo k nižšímu stupni změny teploty. Tato metoda využívá buď přímé změny teploty, měřené teploměrem, nebo infrafotografického postupu měření (fotografie nebo kvantového měření). Měření teploměrem v místech možného výskytu dutin lze aplikovat po určitých úpravách terénu, tj. na urovnaných řezech, bez navážky apod. Možno zjistit dutiny až do hloubek kolem 4 - 5 m podle hloubky uložení teploměru, druhu teploměru a konečně podle stavu uhelné sloje, chodeb a terénu, na kterém se provádí měření. Tato metoda je poměrně neproduktivní. V dnešní době jsou podnikány rozsáhlé pokusy s infrafotografickým snímáním terénu. Nejčastěji z vojenských důvodů jsou výsledky až na ojedinělé zprávy utajené, ale z amerických pokusů jsou známy úspěšné snímky z archeologického průzkumu a konečně i z měření výchozů uhelné sloje. Největší výhodou této metody je pravděpodobně její vysoká produktivita. V našich poměrech byly podniknuty jen pokusy s měřením termometrickým pomocí termometru v můstkovém zapojení. Měření bylo podniknuto na indikaci hořící sloje (Modlany) a výchozů uhelné sloje (Vysoká Pec). V případě použití na dutiny lze očekávat jen malý hloubkový účinek (do 2 - 3 m) podle zkušeností s táním sněhu nad podzemními dutinami (muzeum Teplice).

Radiofyzikální metody

Metod radiofyzikálního měření je poměrně mnoho a jejich počet stále roste. Jiná otázka je užití těchto metod v průzkumu geofyzikálním a ještě omezenější je otázka použití při průzkumu na dutiny. V oblasti SHR a HDBS pokusy konány nebyly. Omezené pokusy byly konány pouze v zahraničí, a to metodami :

- metoda neutron-neutron sondou
- indikace jen do malých hloubek. Obtíže při korektuře na zvodnění
- metoda gama-defektoskopie
- opět metoda pro malé hloubky. Pokusně na průzkum dutin v betonové silnici a v opěrných silničních zdech

- metoda kosmických paprsků, spočívající v měření útlumu kosmického záření hmotou o známém koeficientu útlumu. Měří se tvrdá složka záření. Metoda užitá prakticky v důlních poměrech. Nutno užít přímo v komplexu chodeb. Metoda doporučená UNESCO k praktickému využití. V ČSSR dosud nezkoušena a pro odlišné požadavky určování dutin se podrobnější popis neuvádí.

Na závěr popisu jednotlivých metod lze shrnout výhody i nevýhody popisovaných metod do několika poznatků:

Hloubkový účinek jednotlivých metod se pro požadované parametry dosti shoduje. Hloubka účinnosti pro dutiny o rozměrech kolem 3×3 až 5×5 m končí ve 20 - 25 m. Větší dutiny lze indikovat i v hlubších partiích, ale přesnost určení tvaru i polohy klesá velmi rychle. Integrální metody pro popisovanou příčinu nejsou vhodné. Přesnost záměru není nikdy 100 %. Vždy existuje nějaký faktor, který zkreslí výsledky měření. Prakticky lze říci, že při homogenním povrchu terénu a při hloubkách 2 - 5 m a dutinách ne menších než $2 \times 2 \times 2$ m a konečně jsou-li dutiny od sebe vzdáleny nejméně na dvojnásobnou hloubku a délku, lze zajistit alespoň 90 procentní výsledek. Tento výsledek lze zlepšit až na 100 % již jen jediným postupem. Ověření naměřených hodnot vrtným průzkumem (postačí při použitých hloubkách jednoduché vrtací zařízení s možností zavedení periskopu). V zahraničí běžně používané zařízení a určitá praxe vyjádřená znalostí metody a terénu, která je nutná vlastně pro interpretaci všech popisovaných metodik.

Produktivita je značně rozdílná, ale zatím v protikladu k účinnosti metod. Výhodné jsou metody geoelektrického profilování, metoda poměrů fází a potenciálů a konečně i metoda dvourámové indukce, která je podle dosud získaných výsledků účinná, ale poměrně pracná, je-li měřeno v komplexním uspořádání.

Při konfrontaci požadavků na určování dutin kteroukoliv metodou s výsledky měření není situace příliš růžová a je nutno volit dvojí postup k zlepšení výsledků. Vzhledem k tomu, že účinnost dosavadních geofyzikálních metod je omezená v ideálních případech měření do 20 - 25 m, je nutno vypracovat nové metody pro větší hloubky situovaných dutin s tím, že nutně nestoupne přesnost určování dutin a pravděpodobnost odkrytí dutin bude nejvýše 50 %. Již při popisu základních měřících metod užívaných v prostorech lomů, tj. metody geoelektrické, poměrové a indukční, plyne zhoršování výsledků s rostoucí hloubkou. Přestože je tato závislost plynulá, lze rozdělit oblasti hloubkové účinnosti do několika skupin.

V případě optimálních podmínek, tj. lze-li rušení redukovat na minimum, dále při rovném terénu a při poměrně homogenním geologickém terénu a konečně v případě chodeb, vzdálených od sebe na několik svých šířek, lze učinit následující rozdělení:

Účinnost všech popisovaných metod do hloubky 2 - 3 m při použití více než dvou metod (alespoň jedna metoda jako kontrolní) lze zaručit 80 - 90 procentní jistotu určení polohy dutin. Konečná jistota by mohla být získána úzkoprofilovými kontrolními vrty spolu s periskopickým zařízením, jak již bylo popisováno.

Do hloubek od 2 - 3 m do 5 - 10 m volit jenom metody s kontrolou, to znamená metody geoelektrického profilování, poměrovou metodu, indukční metody s řízeným vysíláním energie a po případě seismické metody o vyšší frekvenci. U popisovaných metod (rovněž v optimálním prostředí), klesá přesnost určení dutiny na 70 - 75 %. Vyhodnocování je obtížnější a při výskytu různorodého terénu, ve kterém se měření provádí, a dále je-li komplex chodeb nepravidelně zastaven, uspořádan a rozložen, jsou-li chodby situovány blízko sebe (méně než 1/2 hloubky uložení dutiny) klesá přesnost až na 50 % a v případě nakupení všech popisovaných efektů i pod 50 %, což je ostatně logické.

Pro hloubku od 10 do 20 m lze v případě větších dutin a výhodném terénu užít metodu gravimetrickou, popř. geoelektrickou. Ostatní metody již ztrácejí účinnost. Pro menší dutiny (kolem 3 x 3 x 3 m pak prozatímne zůstává pouze metoda geoelektrická zejména proto, že ostatní metody nejsou ještě vyzkoušeny. V případě popisovaných znevýhodnění podmínek měření se průzkum na dutiny pod 25 m již nedoporučuje (to neplatí pro perspektivní možné metody) žádnou z uvedených metodik měření.

Další nutnou cestou pro zlepšování výsledků měření je cesta automatizace měření a vyhodnocování. Zatím se nepodařilo obě cesty spojit. Ze vhodných metod pro tuto cestu je metoda geoelektrického profilování a seismická metoda difrakčních stínů a dále pro menší hloubky metoda poměrová, spojená s dvourámovou metodou indukční. Perspektivně lze vidět zvýšení produktivity při dvourámové metodě, podaří-li se automatizovat měření i vyhodnocování současně.

Výsledky užití jednotlivých metod v oblasti SHR i ČSSR

Geoelektrická metoda určená k odkrytí podpovrchových dutin byla použita v revíru SHR v letech 1955 - 1967 prakticky jen na několika dolech a místech. Průzkum do hloubek 10 m - dutiny zde tvoří důlní chodby obvyklých rozměrů.

Měřeno nad sloji cca 2 m nadloží i ve sloji. Pro velkou hustotu chodeb všechny dutiny nenalezeny. V případě malé hustoty chodeb nalezeny téměř všechny dutiny. Pravděpodobnost kolem 80 - 85 %. Tento průzkum byl proveden na dole Merkur, Pokrok, Ležáky II, dále mimo doly v obci Modlany a v prostoru muzea Teplice.

Průzkum do hloubek kolem 15 m (hranice 20 m) na dolech Merkur, Pokrok a v prostoru pod teplickým divadlem byl veden s pravděpodobností určení maximálně 45 %. Výskyt dutin převážně o velikosti 2 x 2 x 2 m.

Metoda poměru potenciálů a rozdílů fází byla provedena zatím pokusně v prostoru dolu Pokrok a v prostoru muzea Teplice. Průzkum byl veden do hloubek kolem 5 m, výsledky se vyznačovaly 95 % přesností. Na dole Pokrok se vyskytovaly hloubky kolem 10 - 15 m, přesnost určení byla horší, kolem 50 %.

Indukční metoda - poměrně zkušebně - byla měřena pouze na dole Velkodůl Přátelství, Sokolov. Do hloubek kolem 10 - 15 m (v případě jednotlivých chodeb vzdálených od sebe kolem 10 - 20 m), byl vykonán celkem úspěšný průzkum - 75 až 80 %. Ověřeno malým počtem vrtů. Další pokusy nebyly prováděny.

Seismické metody - v omezeném rozsahu provedené v oblasti Modlan a na dole Pokrok. Pro hloubky kolem 3 - 5 m jsou výsledky určení dutin na 90 %. Nepřesná určení jsou zaviněna kratší praxí v interpretaci. Od 5 m níže je hloubkové určení již značně nepřesné - kolem 20 %, a to jen v ideálních poměrech geologického složení profilu a při nulovém rušení.

Gravimetrické metody - použity v prostoru Litvínova - oblast Lidového soudu a v prostoru tábora č. 23. Nejsou zachyceny jednotlivé chodby, ale tíňový celek dvou až tří chodeb. Hloubky chodeb jsou od 20 do 30 m. Obtížná interpretace. Pro praxi na dolech nelze doporučit. Komplex chodeb zachycen spolehlivě.

Ostatní popisované metody nebyly použity - kromě metody termometrické. Tato metoda byla vyzkoušena v oblasti Modlany na případ prohoření sloje. Na výskyt dutin vyzkoušena v oblasti Vysoké Pece u Drmal. Hloubky dutin byly kolem 4 až 5 m. V případě Modlan výsledek příznivě ovlivněn hořící slojí. Určení bylo velmi spolehlivé (60 - 70 %). Obtíže způsobily složité korekce na denní a další periodické tepelné variace. Hloubka uložení termometrů v zemi od 0,75 m do 1,0 m.

Podle dostupné literatury mimo oblast SHR a HDBS nebyly v ČSSR prováděny pokusy na určování dutin v oblasti sloje. V letech 1950 byly prováděny pokusy na krasových terénech (Macocha) gravimetricky i elektricky. Pro velké hloubky a složitost terénu se střídavým úspěchem. V poslední době je prováděn průzkum na dutiny v oblasti Severní město - Praha. Pro složitou situaci na povrchu a

pro rekultivované prostředí byly vyzkoušeny všechny základní geofyzikální zde popisované metody. V těchto měsících přechází průzkum pod povrch, měří se převážně geoelektrikou (profilování) a seismikou a povrchový průzkum jako nedostatečný je opuštěn.

V zahraniční literatuře není zmínky o provádění průzkumu na dutiny v oblastech výskytu uhelné sloje. Častěji je prováděn průzkum archeologický - geoelektrickými a indukčními metodami, a to do hloubek nejvíce 5 - 7 m. V poslední době se provádí pokusy s odkrýváním archeologických zbytků geoelektrickou metodou profilováním kombinovanými elektrodami a častěji pomocí infrafotografie a inframěření vůbec.

Pro další průzkum v severočeském hnědouhelném revíru bude patrně nutné zpřesnit výsledky měření tak, aby nebyla zhoršena produktivita měření. Dále bude nutné zavést metody s větším hloubkovým dosahem, provádět komplexní průzkum spolu i s orientačním a ověřovacím vrtáním a konečně zavést vysoce produktivní metody - nutné budou zejména pokusy indukčních metod a infrafotografie.

S h r n u t í

Článek pojednává o metodice hledání dutin. Popis jednotlivých užitých metod je ukončen přesností výsledků měření a možnostmi užití pro určité podmínky měření. Dále je uvedena hranice účinnosti měření a stručné výsledky měření v oblasti SHR, HDBS, dále v ČSSR a v cizině.

Р е з ю м е

ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ПО НАХОЖДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ

Статья описывает методику поисков полостей. Описание отдельных применяемых методов окончено приведением точности результатов измерений и возможностями использования для определенных условий измерений. Наконец приведены границы эффективности измерений и кратко описаны результаты измерений в областях северочешского и соколовского бассейнов, в других областях ЧССР и за границей.

S u m m a r y

A SURVEY AND PROSPECTS OF GEOPHYSICAL RESEARCH ON OCCURANCES OF UNDEGROUND CAVITIES

The article deals with methods of finding cavities. At the end of the description of every method are measuring results, giving the used precision and the possibility of their application in certain measuring conditions. Further the efficient