

NĚKTERÉ METODY MĚŘENÍ VE ŠPATNĚ PŘÍSTUPNÝCH DUTINÁCH A PODZEMNÍCH PROSTORÁCH

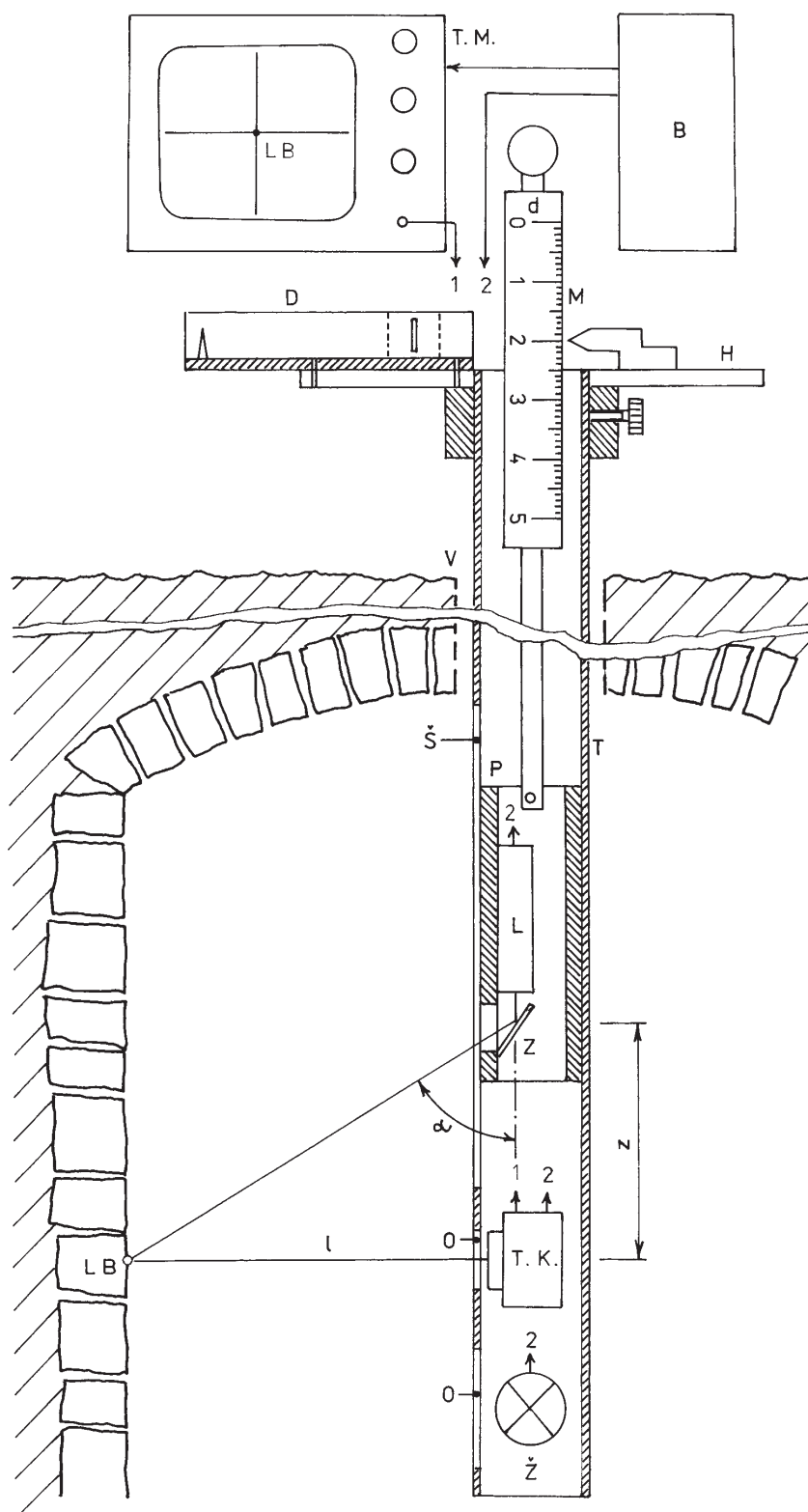
ANTONÍN MAJER

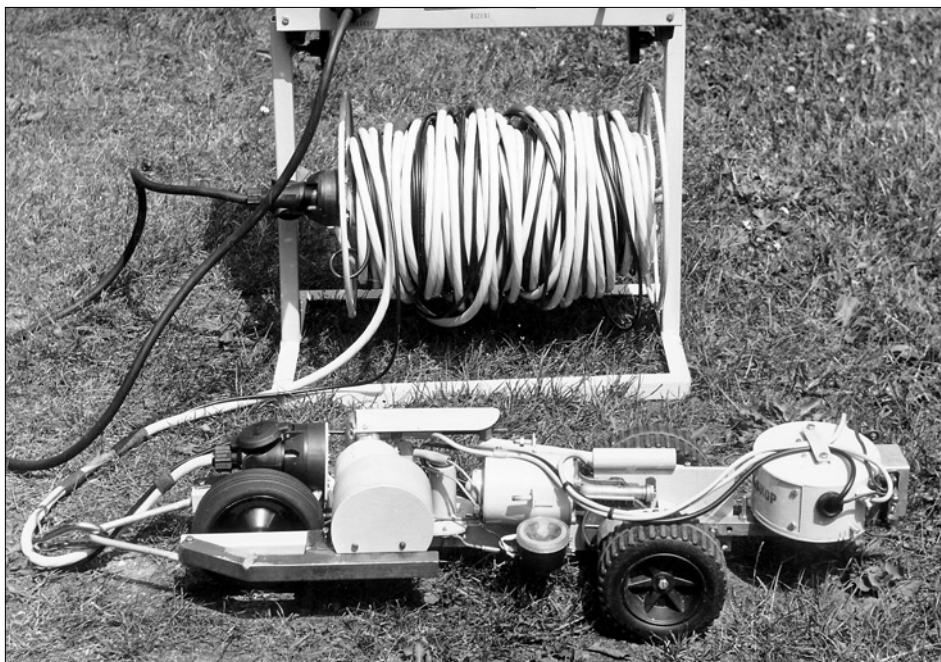
V úvodu tohoto článku budiž vzpomenu průkopnických prací italského továrníka Lericiho, který na počátku padesátých let 20. století sestrojil fotografickou sondu pro průzkum etruských hrobek a později vysoce světelný periskop s optickým dálkoměrem, jímž bylo možno navrtané podzemní prostory prohlížet a proměřovat. Je nesporné, že uvedené přístroje byly (nejen ve své době) náročnými mechanickými a optickými unikáty, a nemohly tedy dojít většího rozšíření, a to i přesto, že průzkum dutin se čas od času v archeologii vyskytuje, zejména při výzkumu středověkých a novověkých staveb. Autor proto vyvinul v letech 1999 až 2000 přístroje použitelné k měření v dutinách dosažitelných kolmým vrtem a dále pro dutiny vodorovné, zejména neprůlezné úseky starých kanalizací. Důležitým konstrukčním prvkem uvedených přístrojů je televizní kamera a různá pomocná zařízení, využívající geometrické a fyzikální principy.

Měření v dutinách přístupných vrtem ve stropu

V současné době je vyráběna miniaturní černobílá televizní kamera MC1 o rozměrech $16 \times 16 \times 14,5$ mm. Je patrné, že sonda obsahující takovou kameru může být značně úzká - v našem případě činí vnější průměr sondy 25 mm. Dotyčná kamera se napájí stejnosměrným napětím 5 V a odebírá proud 10 mA, má objektiv ohniskové vzdálenosti 4,9 mm při clonovém čísle 2,8 a úhel záběru 56×42 stupňů. Vytváří snímek o 240 řádcích, velmi ostrý obraz lze pozorovat na běžných monitorech průmyslové televize. Pokud je monitor TV soustavy opatřen na své obrazovce záměrným křížem a tyč se snímací kamerou také úhломěrným zaří-

Obr. 1: Měření v dutině přístupné vrtem. V - vrt, T - tubus přístroje, S - štěrbina, O - okénka, Z - žárovka, T. K. - televizní kamera, P - píst, L - laser, Z - rovinné zrcadlo, M - délkové měřítko, D - dioptr pro úhlové vytyčování, H - hlavice pro upevnění úhломěrných zařízení, L. B. - laserový bod, T. M. - televizní monitor, B - baterie, 1 a 2 - elektrické propojení, z - základna, l - měřená délka, dálkoměrný úhel, d - délky měřítka.





Obr. 2: Přístroj pro vodorovné dutiny.

zením (kompasem nebo děleným kruhem spolu s vhodným záměrným dioptrům pro určení směru záběru TV kamery), je vytvořen goniometrický přístroj obdobný přístrojům geodetickým, ovšem měřicí s trochu nižší přesností než běžné přístroje geodetické - přesnost zaměření na cíl je dána především rozlišovací schopností TV kamery a monitoru, viz níže uvedený rozbor. Pro praktické měření je vhodné, pokud televizní sonda je vybavena optickým dálkoměrem; potom může být sondou měřeno metodou polárních souřadnic. Podobně byl zařízen i periskop továrníka Lericiho.

Možností pro návrh optického dálkoměru je celá řada, naše sonda je vybavena dálkoměrem se základnou proměnné délky, z níž vychází do prostoru laserový paprsek pod stálým dálkoměrným úhlem. Dopadne-li paprsek laseru na překážku, například na stěnu podzemní dutiny, vytvoří zde zřetelně patrný bod, který je pozorovatelný kamerou a zobrazuje se na obrazovce monitoru. Změnou délky základny lze docílit, že laserový bod bude pozorován vždy na stejném místě obrazovky, nejlépe právě uprostřed, na narýsovaném záměrném kříži. Konstrukce celého zařízení je patrná z obr. 1 a je pochopitelná z popisu obrázku.

Naším cílem je vyšetřit přesnost měření takovým přístrojem a exaktně odvodit chyby, jichž se můžeme při měření v podzemí dopustit. Předpokládejme, že vrt do podzemí je přesně svislý a chybu nezanáší. V úvahu potom přichází chyba v určení směru a chyba v určení vzdálenosti. Pro tyto úvahy vycházíme z rozlišení snímací kamery, která rozkládá obraz na 240 řádků při úhlu záběru 42 stupňů. Taková kamera rozliší dva body ležící nejméně jeden řádek od sebe, v našem případě 10'30" od sebe. To je přesnost běžných vynášecích polárních koordinátografů užívaných v praxi pro zákres do plánů. Přesnost je zajisté vyhovující, uvážíme-li, že touto chybou povstává příčná odchylka 3 cm při záměře dlouhé 10 m.

Vyšetřeme nyní přesnost dálkoměru podle obr. 1 pro kameru výše uvedených parametrů a zvolený dosah dálkoměru do 5 m. Stanovme rovněž, že délka základny dálkoměru činí max. 0,5 m a může být odečítána na 1 mm přes-

ně pomocí měřítka, ležícího v přístupné poloze. Koincidujeme-li dálkoměr pomocí kříže na obrazovce s přesností na 10'30", pak chyba v měření vzdálenosti dosahuje proměnlivých hodnot, daných derivací trigonometrického vzorce dálkoměru. Pro dálkoměr platí, že

$$l = z \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Pohlížíme-li na řádkování TV systému jako na zdroj nejistoty 10'30" v úhlu čili $d\alpha$, dostáváme pro nejistotu vzdálenosti

$$dl = z \cdot (\operatorname{tg} \alpha)' d\alpha$$

odtud

$$dl = z \cdot d\alpha / \cos^2 \alpha$$

Chyba v měření vzdálenosti bude následně poloviční posledního vztahu, ovšem se znaménkem

+/- . Názornou představu o této chybě podává tabulka.

měřená délka [m]	chyba měření +/- [cm]
0,5	0,8
1,0	1,6
1,5	2,4
2,0	3,2
3,0	4,7
4,0	6,5
5,0	8,0

Z uvedeného rozboru vyplývá, že takové měření je srovnatelné s tachymetrií. Návrh dálkoměru je přizpůsoben průzkumu menších podzemních prostor, které lze v praxi většinou očekávat. Zvýšení přesnosti měření a délky dosahu je v zásadě možné dvěma způsoby: zvětšením délky základny dálkoměru a užitím TV kamery s objektivem delšího ohniska, a tudíž i menšího úhlového intervalu na jeden řádek televizního rozkladu.

Přesné měření vzdálenosti l je dáno mimo jiné i neproměnností sklonu zrcátka odražejícího paprsek laseru. Přesné nastavení úhlu jeho sklonu je technicky obtížné a vcelku i nepotřebné, vhodnější je dosáhnout sklonu blízkého vypočtenému a dálkoměr potom cejchovat změřením několika přesně vytyčených vzdáleností. Užitím vyrovnávacího počtu se následně stanoví dálkoměrný vzorec typu

$$l = k \cdot d + c$$

obdobně jako u dálkoměru podle Reichenbacha. Toto stanovení je ostatně nutné vždy, pokud se mění délka tyče, na jejichž koncích se základna a ústrojí pro měření její délky nalézají.

Výklad použité symboliky ve vzorcích

l - měřená vzdálenost

z - délka základny dálkoměru

α - dálkoměrný úhel

- tg - tangenta
 cos - cosinus
 dl - difference v měřené délce
 dα - difference v dálkoměrném úhlu vyjádřená
 v obloukové míře
 ()' - prvá derivace funkce
 k - násobná konstanta dálkoměru
 d - čtení na stupnici dálkoměru
 c - součtová konstanta dálkoměru

Měření v dutinách vodorovných

K průzkumu některých neprůlezných větví kanalizačního systému kláštera Kladruby u Stříbra byl v našem podniku roku 1999 konstruován dálkově řízený přístroj, který by tyto větve projížděl a proměřoval. Pod tímto si představujeme měření délkové, směrové a výškové, doplněné vizuální kontrolou zdiva. Samotný přístroj (bez měřidel) je uveden na obr. 2. Jedná se v podstatě o malý, leč těžký podvozek s elektrickým pohonem, dálkově ovládaný po kabelu. Podvozek nese otáčivou hlavici s kamerou průmyslové televize a osvětlením, zcela vpředu přístroje se nachází úchyt pro měřicí přístroje. Přístroj může vjíždět do otvoru širokého 25 cm a vysokého 20 cm, v případě uvážnutí v dutině jej lze vytáhnout zpět za ovládací kabel. Měření délková se provádějí běžným typem pásma připojeným k přístroji, k měření úhlovému slouží buzola a laser, jehož paprsek může být pozorován televizí. Niveláčnické měření v místě přístroje lze provádět na hydraulickém principu známými způsoby, od užití tzv. hadicové vodováhy až po měření založená na užití tlakoměrů, měřících hydrostatický tlak mezi místem měření a referenčním výškovým bodem.

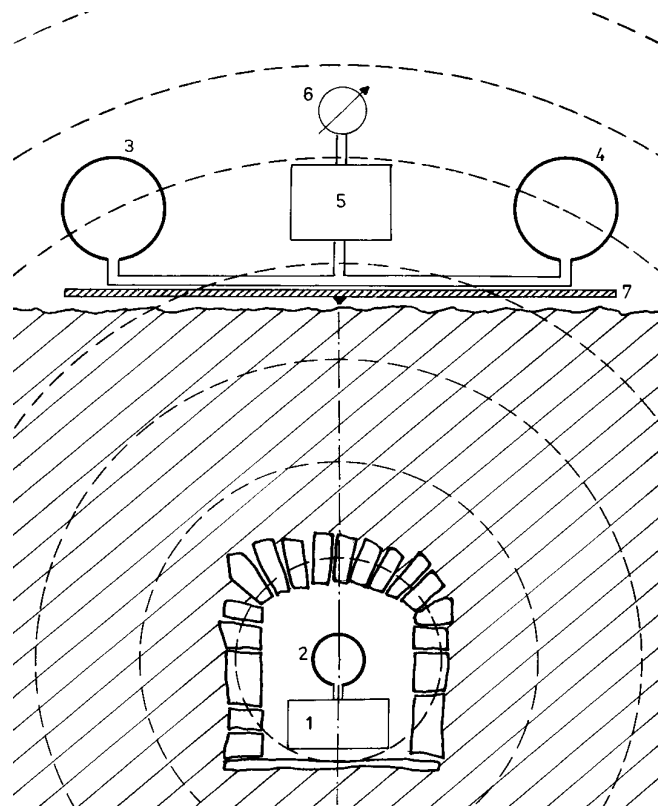
Pokud odvození polohy přístroje v dutině buzolním měřením nevyhovuje a žádáme přesnost vyšší, může být přístroj vybaven samoindukční vysílací cívkou a detekován na povrchu země soustavou cívek přijímacích.

S využitím uvedeného přístroje pro měření v Kladru-bech se uvažuje v roce 2000.

Upřesňovací elektromagnetická měření polohy

Běžné typy kompasů a buzol neumožňují obvykle dosáhnout vyšší přesnosti v určení směru než asi 2,5 stupně. Kromě toho může být magnetická strelka odchylována feromagnetiky obsaženými v horninách a železnými předměty, jejichž poloha nám při měření kompasem nemusí být ani známa. Důsledkem z toho plynoucím bývá nesoulad měření se skutečností. Ten může dosáhnout i značných hodnot uvážíme-li, že zmíněná úhlová chyba 2,5 stupně vyvolává příčnou odchylku 44 cm již při záměře dlouhé 10 m. Z toho důvodu je vhodné mít k dispozici prostředky použitelné k opravě směrového měření, požadujeme-li vyšší přesnost. Toto upřesnění je z ne příliš hlubokého podzemí možno provést metodou elektromagnetické indukce. K tomuto účelu byla konstruována níže popsána aparatura, zobrazená schématicky na obr. 3.

Samoindukční cívka vysílací (vinutá na feritovém jádře) se nalézá v dutině, kam byla přivezena přístrojem výše popsaným, nebo jinak zasunuta. Cívka je napájena střídavým nízkofrekvenčním proudem o frekvenci cca 1 kHz z generátoru o výkonu cca 1 W. Systém vytváří střídavé magnetické pole, jehož intenzita je přímo úměrná proudu pro-

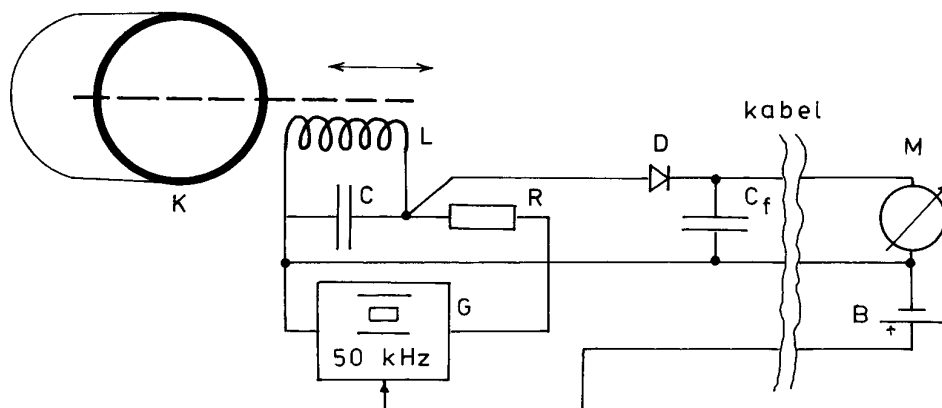


Obr. 3: Určení bodu v podzemí elektromagnetickou indukcí. 1 - nízkofrekvenční generátor, 2 - vysílací cívka, 3 a 4 - samoindukční cívky přijímací zapojené proti sobě, 5 - zesilovač, 6 - nulový indikátor, 7 - spojovací tyč nesoucí cívky.

cházejícímu cívkou a počtu závitů na cívce, nepřímou úměrnou pak vzdálenosti od cívky, ve které intenzitu měříme. Důležitým poznatkem pro nás použitelným je skutečnost, že izolinie intenzity pole (kolmo na cívku) mají tvar soustředných kružnic, v jejichž středu tato cívka leží. Poloha takové cívky může být na zemském povrchu určována měřením intenzity vytvářeného pole. K tomu lze s výhodou použít dvou identických přijímacích cívek většího průměru o velkém počtu závitů, zapojených proti sobě tak, aby se navzájem účinky jejich elektromagnetické indukce rušily. Pokud tyto cívky leží na stejné izolinii vytvořeného magnetického pole, potom na jejich výstupu nemáme žádné napětí a normála vedená ze středu spojníc cívek směřuje na střed cívky vysílací, tj. na hledaný bod. Pro praktické měření se užívá dvojice cívek montovaná na tyči a opatřená libelou, napětí snímané z cívek se zesiluje řádově desettisíckrát a indikuje se sluchátky a ručičkovým měřicím přístrojem. Měření samo vyžaduje přibližnou znalost polohy vysílací cívky (např. z předchozího buzolního měření). Přesnost v určení polohy vysílací cívky závisí mimo jiné na délce spojnice přijímacích cívek a na hloubce, do které měříme. Při spojnici 1,5 m dlouhé činí chyba měření několik cm pro hloubku 1 m a asi 2 dm pro hloubku 2,5 m. Princip metody je uveden na obr. 3.

Detekce kovových spojek dřevěných vodovodů

Pokud je průzkumem zachycen dřevěný vodovod se zachovalým a nezaneseným otvorem, umožňuje metoda elektromagnetické indukce určení jeho směru a hydraulická nivelace měření spádu. Z badatelského hlediska může být zajímavá i délka užitých dřevěných trub. Pokud bylo ke



Obr. 4: Schéma detektoru kovových spojek dřevěných vodovodů. K - kovová spojka, L - cívka na feritovém jádře, C - kapacita k dosažení rezonance, R - ohmický odpor (vytvářející s obvodem LC dělič napětí), G - stabilní vysokofrekvenční generátor, D - usměrňovač, C_f - filtrační kondenzátor, M - výhylkový voltmetr, B - napájecí zdroj (všechny kresby a fotografie autor, 2000).

spojení trub užito kovových spojek válcového tvaru, lze tyto spojky identifikovat na základě absorpce energie vyzářeného elektromagnetického pole. Přitom se vychází ze skutečnosti, že kovová spojka potrubí je vlastně kruhový závit spojený do krátka. Zasuneme-li do dutiny vodovodu vhodným zařízením cívku napájenou střídavým proudem, pak při jejím průchodu kovovou spojkou lze pozorovat zvýšení proudu, který cívku protéká. Tento nárůst proudu je velice výrazný a je pozorovatelný i bez užití náročné experimentální techniky. Měření také zaručuje, že nebudou detekovány jiné kovové předměty, například kovy v okolí vodovodního potrubí.

Praktické měření je proveditelné sondou podle obr. 4. Naše sonda má tvar válce o průměru 32 mm a je 40 cm dlouhá.

há. Do potrubí může být zasunuta například instalatérským pérem. Sonda obsahuje ve svém nitru přesný generátor pracující na frekvenci 50 kHz, tento generátor napájí měřicí cívku na feritovém jádře. Cívka tvoří spolu s paralelní kapacitou rezonanční obvod laděný na 50 kHz. Tento obvod je s generátorem spojen přes ohmický odpor, takže spolu s odporem vytváří dělič napětí. V případě absorpce energie vyzářené cívku a její přeměně v kroužku na Jouleovo teplo nastává na rezonančním obvodu pokles napětí. Napětí se po usměrnění a filtraci přivádí ka-

belem k měřicímu přístroji na stanovišti pozorovatele. Provedeme-li v okamžiku poklesu napětí značky na kabelu od sondy, lze po vytažení sondy tyto značky proměřit a polohu spojek rur identifikovat.

Závěr

Naším cílem bylo prezentovat některé měřicí metody vyvinuté naším podnikem a přiblížit jejich princip a možnosti zainteresovaným badatelům. Přitom se domníváme, že právě z obce badatelské mohou vycházet návrhy k řešení problematiky podobné a blízké a že problematika zmíněných návrhů může být řešena i v současné době, pro kterou bá-dání historické není právě přitažlivou oblastí investic.

EINIGE MESSMETHODEN FÜR SCHLECHT ERREICHBARE HOHL- UND UNTERIRDISCHE RÄUME

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit Methoden für die Messungen in den unerreichbaren Hohlräumen. Man beschreibt die optischen Methoden mit Anwendung der Bildübertragung mittels eines Fernsehsystems, mit Laseranwendung, ferner macht man auf die Vermessung des unterirdischen Ziels mit der elektromagnetischen Flußdichte aufmerksam. Zum Schluss beschreibt man die Konstruktion eines Detektors der Metallverbindungsstücke der Holzwasserrohre, mit dem die Messung innerhalb der Rohre durchgeführt und die Einzelrohrlänge abgemessen werden kann.

ABBILDUNGEN

Abb. 1: Messung in einem durch eine Bohrung erreichbaren Hohlraum. V - Bohrung, T - Tubus des Geräts, Š - Spalt, O - Fenster, Ž - Glühbirne, T. K. - Fernsehkamera, P - Kolben, L - Laser, Z - Planspiegel, M - Längen-

maßstab, D - Winkeltrassierungsdiopter, L. B. - Laserpunkt, T. M. - Fernsehmonitor, B - Batterie, 1 und 2 - elektrischer Anschluß, z - Grundgestell, l - Meßstange, a - telemetrischer Winkel, d - Teilstriche des Maßstabs.

Abb. 2: Gerät für waagerechte Hohlräume.

Abb. 3: Bestimmung eines Punktes unter der Erde durch die elektromagnetische Flußdichte. 1 - Niederfrequenzgenerator, 2 - Sendespule, 3 und 4 - Empfangsselbstinduktionsspulen in Kreuzschaltung, 5 - Verstärker, 6 - Nullindikator, 7 - spulentragender Verbindungsstab.

Abb. 4: Schema des Detektors der Holzwasserrohrverbindungsstücke. K - Metallverbindungsstück, L - Spule mit einem Ferritkern, C - Kapazität zum Resonanzerreichen, R - Widerstandskörper (mit einem LC - Kreis in Spannungsteilerschaltung), G - stabiler Hochfrequenzgenerator, D - Stromrichter, C_f - Siebkondensator, M - Ausschlagsvoltmeter, B - Stromquelle.

(Übersetzung J. Noll)