

## PRIESKUM ZOSUVNÝCH ÚZEMÍ PRI VYUŽITÍ NIEKTORÝCH SPECIÁLNYCH METÓD A SKÚŠOK

(4 obr. v texte)

EGON FUSSGÄNGER — DANIEL JADROŇ\*

### Méthodes de recherche des glissements du terrain avec l'utilisation de quelques méthodes et épreuves spéciales

L'auteur traite les méthodes pour rechercher les glissements du terrain sur la base de ses expériences pratiques, il étudie l'utilisation des méthodes et des épreuves spéciales, telles que: tests de pénétration, épreuves pressiométriques et radionucléaires, mesures géoacoustiques, mesure de la tension horizontale résiduelle sur la surface du terrain et dans les puits de sondage, utilisation du périscope optique pour la documentation des forages et celle des appareils pour indiquer les surfaces de glissement dans les forages.

Geologickotektonická stavba a morfológia Slovenska sú príčinou častých svahových deformácií, najmä zosuvov. Svahové pohyby patria medzi najdôležitejšie problémy, ktoré rieši inžinierska geológia a hydrogeológia. Doneďavna sa svahové deformácie skúmali hlavne z inžinierskogeologickej stránky, a to len tie, ktoré ohrozovali technické objekty počas výstavby alebo po nej, resp. keď ich už zasiahla deštruktívna zosuvná činnosť.

Handlovský zosuv (1960—1961) bol impulzom pre mnohé praktické a teoretické práce o svahových deformáciách (registrácia zosuvov v ČSSR, klasifikácia zosuvných pohybov). Práce boli zamerané na podrobnejší prieskum zosuvnej problematiky. Komplexnejší inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum deformovaných svahov sa v praxi začal uplatňovať až v r. 1970. Jeho iniciátorom bol IGHP Žilina a SGÚ Bratislava. Vznikla úloha Sledovanie a zhodnocovanie významných zosuvov na území Slovenska, v rámci ktorej sa skúmalo 17 zosuvných území (z celkového vyhladeného počtu 92).

Pri výbere zosuvných území bolo základným národohospodárske hľadisko (ohrozené dôležité cestné a železničné komunikácie, hospodárske objekty a inžinierskogeologické a geologické útvary, resp. regióny s výskytom svahových deformácií).

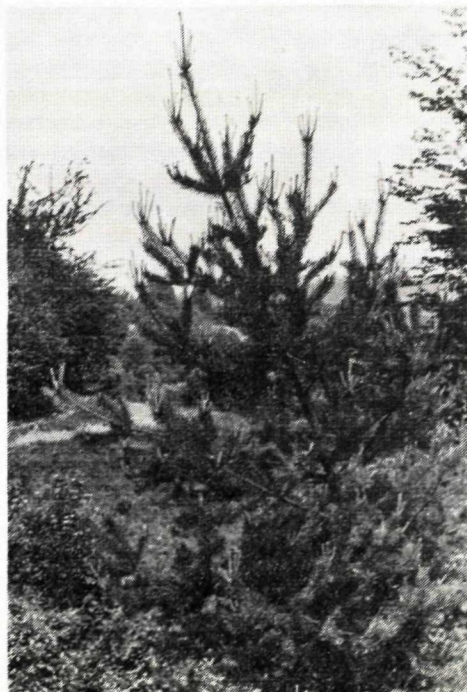
Na základe poznatkov získaných pri riešení úlohy Zosuvy Slovenska chceme stručne opísať použitý metodický postup prieskumných prác, ktorý je síce dosť známy, ale má v jednotlivých prípadoch isté špecifické črty. Dotkneme sa aj

\* Ing. Egon Fussgänger, P. g. Daniel Jadroň, IGHP, n. p., závod Žilina, Ražická cesta, 010 51 Žilina.

toho, ako možno použiť niektoré špeciálne skúšky, ktoré sa doteraz v zosuvných územiach bežne nerobili. Podotýkame, že zvolenú metodiku prieskumných prác ovplyvňuje účel, odlišné etapy prieskumu, vlastná geologická stavba jednotlivých zosuvných území, ako aj možnosti prieskumnej organizácie.

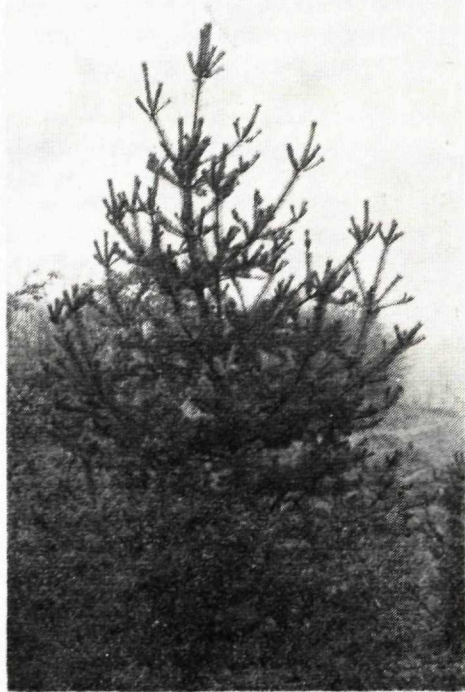
### Inžinierskogeologické mapovanie zosuvných území

Terénne mapovacie práce treba robiť v dvoch etapách. V prvej etape zmapovať zosuvné územie do topografického podkladu v mierke 1 : 10 000, príp. 1 : 5000 a položiť dôraz na geologickú stavbu širšieho okolia, najmä na grafické



Obr. 1. Typická geotropická reakcia mladých výhonkov vykrivenej borovice v zosuvnom území (Mostište pri Púchove), ktoré bolo aktivizované v januári 1974. Fotografované v júni 1974.

Fig. 1. Typical geotropical reaction of young shoots of a bended pine in the landslide area (Mostište near Púchov) having been activated in January 1974. (Photo made in June, 1974.)



Obr. 2. Geotropické narovnanie vrcholca tej istej borovice v novembri 1974. Podľa počtu výhonkov nad ohybom vykriveného kmeňa by sa mohlo nesprávne uvažovať o aktivácii zosuvu zhruba pred dvoma rokmi. Zosuvný pohyb však nastal len pred necelým rokom (v januári 1974).

Fig. 2. Geotropical straightening of the same pine top in November 1974. According to the number of shoots situated over the flecion of the bended tree trunk, the landslide activation time could be wrongly considered to have been about two years ago. In fact, the landslide movement, however, not a whole year ago took place only (in January, 1974).

znázornenie podpovrchových a povrchových svahových deformácií. ich generálneho vývoja, stupňa aktivity ap. Výsledkom sú tzv. mapy svahových deformácií, ktoré slúžia ako základné mapové podklady na rozmiestnenie technických a špeciálnych terénnych prác.

Pretože pri rozsiahlejších zosuvných územiach spravidla nemožno detailne prebádať celú plochu deformovaných svahov (napr. využitím sondážnych prác), podrobnejší prieskum sa sústreďuje na bezprostredné okolie ohrozeného objektu, resp. objektov. Preto treba vyhotoviť podrobnejší topografický podklad v mierke 1 : 1000, príp. 1 : 2000. Takéto podklady slúžia pri sondážnych prácach, ako aj neskôr na podrobnejšie mapovanie všetkých svahových deformácií. To už zodpovedá druhej etape inžinierskogeologického mapovania. Neslobodno zabúdať ani na zmapovanie hydrogeologických prvkov a rozmiestnenie pozorovacích hydrogeologických objektov na režimné pozorovanie (prepady, pramene, povrchové odvodnenie atď.).

Vyhotovenú mapu možno pokladať za „špeciálnu“. Sú v nej zhrnuté všetky výsledky inžinierskogeologického prieskumu zosuvného územia.

Dôležitým východiskovým podkladom pri mapovacích prácach zosuvných území sú letecké snímky. Dobrým pomocníkom pri mapovaní potenciálnych recentných aktívnych zosuvných území je aj špecifický rastlinný porast, ktorý indikuje charakter zemín a hornín v podloží (L. Sýkora 1961), ďalej skryté vývery podzemnej vody a zamokrené miesta. Vykrivený stromový porast, najmä ihličnatý, pomáha orientačne aj spätne zistiť s presnosťou asi 1–2 rokov obdobie posledných aktívnych zosuvných pohybov (obr. 1, 2).

### Režimné pozorovanie

Režimné pozorovanie hydrogeologických a klimatických pomerov je jednou z nevyhnutných úloh, ktoré treba pri komplexnom prieskume zosuvných území zaviesť čo najskôr. V rámci neho treba sledovať atmosferické zrážky (dažďové i snehové), teplotu a stav hladín podzemnej vody v zabudovaných vrtoch, ako aj stav a prietoknú výdatnosť prirodzených prameňov, tokov a po sanácii aj odvodňovacích prvkov (horizontálne vrty, podpovrchová drenáž, povrchové rigoly ap.). Pri kontinuálnom dlhodobejšom pozorovaní a jeho zhodnotení matematickou štatistikou možno zistiť aj vplyv atmosferických zrážok na stav hladín podzemnej vody v zosuvnom území. To pri znalosti zrážkových pomerov v minulosti umožňuje na základe spätnej analógie stanoviť aj maximálne (kritické) stavy hladiny podzemnej vody. Rovnako sa potom dajú aj do budúcnosti určiť a orientačne aj kvantitatívne charakterizovať kritické zrážky (mesačné a ročné), pri ktorých sa pravdepodobne vyskytnú svahové pohyby, resp. sa budú aktivovať. V neposlednom rade dáva režimné pozorovanie hydrogeologických pomerov dobrý obraz aj o účinnosti sanačných odvodňovacích opatrení, čo je pre zabezpečenie dostatočnej stability zosuvného územia veľmi dôležité.

Podľa praktických zistení možno pri prevažnej väčšine skúmaných zosuvov konštatovať, že na stav hladiny podzemnej vody, a teda aj na stabilitu zosuvných svahov nepriaznivejšie vplývajú zrážky v období jeseň–zima. Preto svahové pohyby vznikajú alebo sa aktivujú ešte v zime (pri jej teplejšom, len striedavo mrazivom charaktere), alebo častejšie až začiatkom teplejšieho jar-

ného obdobia. Potvrdzujú to aj zaznamenané katastrofálne zosuvy (napr. v roku 1960–1961 v Handlovej), ako aj výsledky štatistického spracovania ich výskytov (M. Špúrek 1973). V období zima—jar sú 4- až 6-násobne častejšie ako v období leto—jeseň.

### Geodetické sledovanie zosuvných území

Nevyhnutnosť geodetického sledovania vyplýva z potreby poznať presné hodnoty zosuvných pohybov, ich polohové a výškové zmeny. Pevné a pozorovacie body pri deformovaných svahoch rozmiestňuje geológ s meračom priamo v teréne. Konfigurácia terénu a požiadavky na presnosť merania ovplyvňujú spôsob osadenia (stabilizácie) geodetických bodov a voľbu najvhodnejšieho postupu merania. Výsledky geodetických meraní (Bytča, Lubietová, Turany, Okoličné, Harvelka) poukazujú na zmenu veľkosti pohybov v priestore a čase. Zvýšenú pozornosť treba venovať sledovaniu pohybov po vykonaní sanačných opatrení. Čas merania geodetických bodov sa musí koordinovať s režimným hydrogeologickým pozorovaním. Výsledky sú presnejšie a sledované zákonitosti sa prejavujú zreteľnejšie pri dlhodobejšom pozorovaní.

Okrem geodetického sledovania zosuvného územia možno veľkosť pohybov merať priamo v odľučných oblastiach zosuvov pomocou prístrojov MMP-120 a TM-71, orientačne aj pásmom na fixovaných bodoch za pomoci strunového minciara.

### Geofyzikálne práce

Z komplexu geofyzikálnych metód sa pri riešení úlohy Zosuvy Slovenska použili geoelektrické a seizmické metódy.

Z geoelektrických metód to bolo elektrické odporové profilovanie s dvojitém až trojitým hĺbkovým dosahom a vertikálna elektrická sondáž (VES). Výsledky meraní ukázali, že geofyzikálne treba svahové deformácie zisťovať aspoň v dvoch etapách (K. Müller 1973).

V prvej etape treba urobiť geofyzikálne merania (profilovanie + VES) v základných prešetrovaných geologických profiloch a použiť prvosledové vrtné práce ako porovnávacie vrty na overenie správnosti nameraných hodnôt.

V druhej etape treba geofyzikálne profily zahustiť, podrobnejšie preskúmať vyskytujúce sa geofyzikálne anomálie a dať návrh na dopĺňajúce prieskumné diela. Vzájomnými konzultáciami a spolupracou geofyzika, inžinierskeho geológa a geotechnika možno dosiahnuť dobré výsledky. Geofyzikálne metódy sa vo väčšom rozsahu použili na zosuvných územiach Turany a Harvelka, kde sa aj napriek fyzikálne málo odlišnému prostrediu dosiahli veľmi uspokojivé výsledky.

Geofyzikálne je komplexnejšie rozpracovaná úloha zosuvného územia Ružomberok, kde sa na základe výsledkov geofyzikálnych meraní rozvrhli technické prieskumné diela a ich predpokladaná hĺbka na overenie zistených anomálií.

Zo seizmických metód bolo na lokalite Turany použité tzv. seizmické prežarovanie vrto. Táto metóda je náročná na zabudovanie jednotlivých vrto

a na ich počet. Dobré sa dá použiť vo výrazne odlišných fyzikálnych horninových prostrediach.

### Technické terénne práce

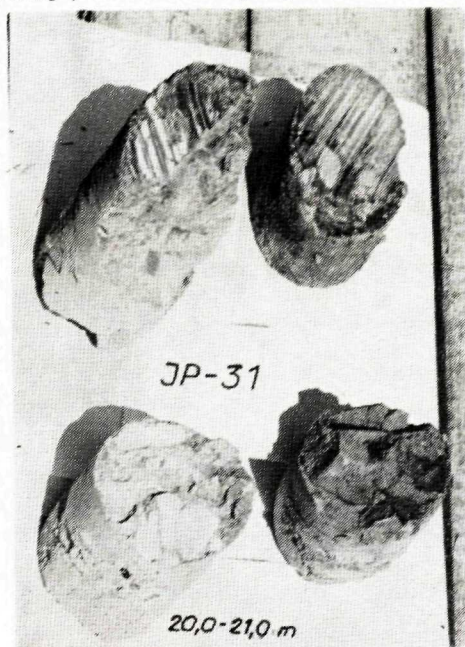
Okrem bežného geologicko-petrografického hodnotenia prieskumných diel (vrty, ryhy, šachtice) treba v prvom rade venovať pozornosť komplexnému využitiu prieskumných sond. Ich čiastkové výsledky sú nevyhnutné na podrobné vyšetrovanie zložitých inžinierskogeologických a hydrogeologických pomerov, mechaniky svahových pohybov a na získanie ostatných údajov potrebných na správny návrh a realizáciu sanačných opatrení.

V zosuvných územiach je najvhodnejšie používať strojné jadrové vrty. Hlavný dôraz treba pri ich realizácii dávať na maximálny výnos jadra a zaznamenávať údaje o narazených a ustálených hladinách podzemnej vody. Na základe dobrého výnosu jadra a jeho ovzorkovania možno zistiť šmykové zóny, resp. plochy (obr. 3). Realizované vŕtané sondy treba využiť na hydrogeologické účely, ako aj na špeciálne terénne skúšky.

Z prieskumných diel majú okrem vrtov významnú úlohu šachtice, kopané sondy a ryhy, ktorých počet sa pri výskume zosuvných pohybov zvyčajne redukuje, ale umožňujú priamu vizuálnu dokumentáciu a ľubovoľné vzorkovanie.

Ryhy a kopané sondy umožňujú priamo overovať a zisťovať skutočné úložné geologické pomery najmä v odlučných hranách zosuvných tvarov, ako aj mimo zosuvného územia.

Šachtice sú najdôležitejšími priamymi technickými prieskumnými dielami. Možno v nich podrobnejšie študovať porušenosť materiálov od zosuvných pohybov, priebeh šmykových zón, resp. plôch a ostatné všeobecné opisné geologicko-petrografické vlastnosti zosuvných materiálov a hornín podložia. Zároveň je veľmi vhodné robiť fotodokumentáciu stien šachtíc, pričom sa nesmie zabúdať ani na kvalitné vzorkovanie, hlavne prehnietych zosuvných materiálov. Šachtice možno využívať na meranie horizontálnej napätosti pomocou oceľových kotiev osadených v stenách. Šachtice sa dajú navyše využiť aj pri ich vyplnení štrkom ako sanačný prvok s väčším drenážnym účinkom v napojení na horizontálne odvodňovacie vrty.



Obr. 3. Charakter zosuvných materiálov s výraznými šmykovými plochami (ryhovanie), zosuv Okoličné.

Fig. 3. Charakter of landslide materials with conspicuous thrust planes (grooving), the Okoličné landslide.

## Špeciálne terénne práce a skúšky

Súčasný svetový vývoj v inžinierskej geológii smeruje k maximálnemu využitiu prieskumných diel (vrtov, šachtíc). Využívajú sa pritom dostupné a najnovšie špeciálne metódy a skúšky. Na zosuvných lokalitách boli použité tieto skúšky a merania:

### 1. Penetračné testovacie skúšky

Tieto skúšky sú zamerané hlavne na priebežné testovanie vrtných jadrových monolitov zo súdržných zemín a hornín, a to súčasne, resp. hneď po uskutočnení jadrových vrtov. Obdobne treba otestovať aj prevažnú väčšinu odobratých vzoriek zemín. Vlastné testovanie sme robili príručným penetrometrom zn. Clockhouse.

Uvedeným postupom a skúškami potom možno ľahko aj kvantitatívne určiť najmäkšie a najvlhkejšie (menej a viac pevné) polohy a zóny, ktoré prezdávajú dosah porušenia, resp. výskyt porušených a prehnietych šmykových zosuvných plôch a zón. Ak je známa hodnota penetrácie ( $P$ ) odobratých vzoriek zemín a hornín, na ktorých sa vykonali základné laboratórne skúšky ich fyzikálno-mechanických vlastností, možno pomerne jednoducho zostrojiť kalibračný diagram závislosti  $k$  zisteným hodnotám laboratórnych skúšok. Takým spôsobom možno zostrojiť funkčnú závislosť penetrácie od vlhkosti, konzistencie a šmykovej pevnosti — reprezentovanú pri hodnote  $\varphi_u = 0$  (ak  $S_r > 80\%$ ) totálnou kohéziou  $c_u$ , ktorá sa z mechanických vlastností dá najjednoduchšie zistiť skúškami v prostom tlaku;  $P = f(w_n)$ ,  $P = f(I_c)$  a  $P = f(c_u)$ . Pri väčšom počte neskreslených hodnôt efektívnej šmykovej pevnosti — vyjadrenej pri hodnote  $c' = 0,0 \text{ kpcm}^{-2}$  efektívnym uhlom vnútorného trenia  $\varphi'$ , pre daný typ zeminy možno získať aj závislosť  $P = f(\varphi')$ .

Celkove možno konštatovať, že penetračné testy sú jednoduché, veľmi vhodné a pomerne presne pomáhajú určiť výskyt najmäkších a zvyčajne najvlhkejších polôh zemín a hornín, čo je pri vrtnom prieskume zosuvných území veľmi dôležité. Z hľadiska použiteľnosti a správnej aplikácie však treba urobiť testy na „čerstvých“ vzorkách. To vyžaduje stálu prítomnosť geológa alebo kolektora pri vrtných prácach na lokalite. Preto by vrtné osádky mali byť okrem drilomera vybavené penetromermi.

### 2. Obhliadka vrtu optickým periskopom Bp-34

Optický periskop má vhodné technické parametre. Dá sa použiť vo vrtoch s priemerom 67 až 350 mm do hĺbky 30 metrov na vizuálne pozorovanie stien vrtných sond, pričom je možnosť fotodokumentácie (čiernobielej aj farebnej). Periskop sme použili na lokalite Okoličné a Harvelka v zosuvných materiáloch na spresnenie hĺbky porušenia, najmä v tých úsekoch vrtu, kde sa nedosahovali požadované výnosy vrtného jadra, a to aj na zistenie skutočných úložných pomerov súvrstvia (vrstvovitost). Na oboch lokalitách bolo najväčšou prekážkou úspešného použitia stláčanie stien vrtov a prítomnosť podzemnej vody s jemnou ílovitou suspenziou, ktorá znemožňovala vidieť steny vrtov. Periskop bol úspešný v netlačivých úsekoch vrtov a nad hladinou podzemnej vody. Preto má periskop v zosuvných územiach, ktoré sú budované najmä pelitickými

sedimentmi, obmedzené použitie. Problémy bude treba riešiť pomocou malých čerpadiel, prípadne koagulačného zrážadla ílovitých suspenzií.

### 3. Pressiometrické skúšky

Pressiometrické skúšky v zosuvných územiach umožňujú na základe rozdielnych pretvárných charakteristík (modulov) rozlíšiť svahovými deformáciami porušené a neporušené zeminy a horniny. Úlohou týchto skúšok je zistiť moduly pretvárnosti na základe zmeny objemu pressiometrickej bunky ( $\varnothing$  40, 60, 70 mm) zapustenej do predvrtaného otvoru ( $\varnothing$  45, 68, 78 mm) v požadovanej hĺbke pri patričnom zaťažovacom stupni s lineárnym priebehom  $\Delta p = f(\Delta V)$ . Potom sa pri nameraných hodnotách  $\Delta V$  a  $\Delta p$  a znalosti Piossonovho čísla  $\nu$  určí hodnota  $E$  (B. G r o m a 1969).

Pressiometrické skúšky sme urobili v praxi na zosuvných územiach Okoličné a Turany. Niektoré názorné výsledky z lokality Okoličné uvádzame:

Vrt Jp-23 (šmyková plocha v hĺbke 12,4 m):

$h = 8,4$  m rozložené a zosuvom porušené ílovce prevažne charakteru ílovitej hliny s úlomkami:

$$E = 65,9 \text{ kpcm}^{-2}$$

$h = 12,7$  m zvetrané ílovce:

$$E = 224 \text{ kpcm}^{-2}$$

$h = 17,4$  m navetrané ílovce:

$$E = 395 \text{ kpcm}^{-2}$$

Vrt Jp-26 (šmyková plocha v hĺbke 18–19 m):

$h = 10,0$  m ílovito-piesčitá hlina s úlomkami hornín, tuhá až mäkká, prehnietená

$$E = 34,9 \text{ kpcm}^{-2}$$

$h = 18$  m ílovito-piesčitá hlina s úlomkami mäkkej konzistencie

$$E = 27,4 \text{ kpcm}^{-2}$$

Podľa uvedených hodnôt  $E$  možno rozlíšiť porušený, resp. neporušený charakter zemín a hornín.

V zosuvných materiáloch s úlomkami s mocnosťou väčšou ako 15 m pod terénom je bežná pressiometrická skúška z technologického a praktického hľadiska už značne sťažená a komplikovaná. Spôsobujú to ťažkosti pri osadzovaní vlastnej bunky prístroja do prevrtaného úzkoprofilového otvoru v patričnej hĺbke, ktorý je len o málo širší ako vlastný priemer bunky. Prítomnosť pevnejších ostrohranných úlomkov hornín, ktorú často sprevádza aj zvýšená medzerovitosť, nedovoľuje použiť pri skúške vyšší medzný tlak, pretože hrozí prepichnutie — prerezanie gumovej membrány bunky. Z uvedeného vychodí, že pri vrtaní treba urobiť špeciálne úpravy (napr. cementáciu vrtného otvoru väčšieho priemeru a potom opätovným prevrtaním na menší priemer pre vlastnú skúšku s osadením bunky v patričnej hĺbke), alebo možno použiť bunku s ochrannou lamelovou bandážou alebo pažnicou. Tieto úpravy však podstatne zvyšujú náročnosť vlastnej skúšky a najmä čas a náklady na prípravné vrtné práce. Preto sme od väčšieho počtu skúšok na zosuvných územiach upustili, resp. na iných, obdobných lokalitách sme ich úplne vylúčili.

Pressiometrické skúšky sú pri geotechnickom charakterizovaní a bežnom posudzovaní stability zosuvných svahov (okrem metódy konečných prvkov)

zatiaľ len pomocnými, doplnkovými skúškami.

Pressiometrickými skúškami možno okrem opísaného bežného spôsobu zistenia pretváraných charakteristík aj orientačne zmerať horizontálnu napätosť v zosuvnom území. Postup je pri nich opačný ako pri bežných deformačných skúškach. Vychádza sa z poznatku, že po vyhlbení vrtného otvoru sa napätosť v jeho najbližšom okolí znižuje, čo možno zmerať v osadenej citlivej deformačnej bunke prístroja. Bunkou pressiometra sa najprv predopne zemina v zvolenej hĺbke na stenách vrtu (na vyvodenie približne pôvodného stavu pred vrtom) a potom sa pri uvoľnení tlaku až k nulovej hodnote sledujú deformačné (objemové) zmeny zeminy. Tieto skúšky sú však pri bežných pressiometroch dosť náročné a závisia najmä od dostatočnej citlivosti použitej deformačnej bunky prístroja a jeho manometrov.

Pre informatívny charakter týchto skúšok sa používajú len veľmi zriedkavo a v praxi IGHP Žilina sme ich preto doteraz nerobili. Možno ich však nahradiť inými, vhodnejšími skúškami, ako napr. tenzometrickými (systém VÚIS Bratislava, Maihak), piezoelektrickými sondami (systém UED Spool Gage — USA), hydraulickými (systém Glötz, VÚIS Bratislava) a fotoelastickými sondami.

#### 4. Rádionuklidové skúšky

Rádionuklidovými skúškami sa meria vertikálna rýchlosť prúdenia podzemnej vody v zabudovaných vrtoch pozorovacou trúbkou, resp. pažnicou s  $\varnothing \geq 76$  mm (s perforáciou 5–15 %) na základe zmerania pohybu vstreknutej rádioaktívnej látky (jódomusík NaJ 131) detektormi rozmiestnenými v rozličnej vzdialenosti vo vrte (asi 2X po 0,50 m nad i pod miestom vstreku; P. Peter — J. Hulla 1970).

Možnosť bližšieho určenia polohy šmykovej plochy z výsledkov meraní vertikálneho pohybu vo vrtoch vychádza z myšlienky, že dilatačné šmykové plochy sa môžu v určitých častiach zosuvného územia vyznačovať drenážnym účinkom. Môžu teda byť miestom, z ktorého voda intenzívne do vrtu vteká, alebo z neho vyteká. Polohy vrstiev priepustnejších zemín možno z tejto úvahy vyľúčiť, pretože tie sa zistia už pri vrtných prácach. Smerodajné sú len miesta porúch v zdanlivo nepriepustných zeminách, prípadne horninách. Takéto miesta sa v graficky spracovaných závislostiach vertikálneho prietoku ( $q_v$ ) prejavujú na hĺbke vodného stĺpca ( $h$ ) výraznou zmenou vertikálneho prietoku a platí pre ne:

$$\frac{\Delta q_v}{\Delta h} = \max.$$

Sú teda charakteristické pomerne výrazným maximom vtokovej alebo odtokovej rýchlosti. V praxi sa tieto skúšky s pozitívnym výsledkom vykonali len na lokalite Turany, pretože na ďalších lokalitách (Okoličné, Harvelka) sa pre obmedzené kapacitné možnosti subdodávateľa (Katedra geotechniky SvF ŠVŠT) doteraz ešte nerealizovali.

Pre úplnosť ešte dodávame, že rádionuklidovými skúškami sa dajú zistiť aj základné hodnoty hydrogeologických charakteristík, vrátane koeficientov filtrácie.

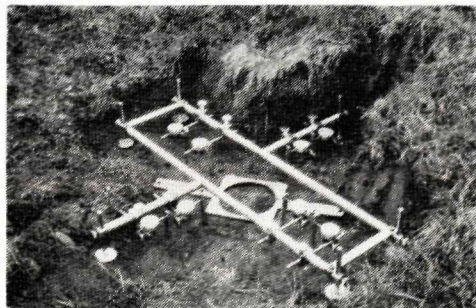
## 5. Geoakustické merania

Geoakustické merania možno robiť v špeciálne zabudovaných vrtoch plnými vodotesnými pažnicami (novodur, PVC, s priemerom 80–110 mm). Ich spojenie s okolitým prostredím musí byť dokonalé a sprostredkuje ho ílovito-cementová zálievka. Zosuvné materiály majú pri šmykovom namáhaní malé zvukové impulzy, ktoré sa odpočúvajú systémom geofónov v rozličnej hĺbke vrtu naplneného vodou a zosilnené sa zaznamenávajú na magnetofónový pás. Geoakustické merania umožňujú presnejšie vymedziť šmykové zóny (S. Novosad – P. Bláha 1972), resp. plochy. Vhodne sa dajú použiť pri aktívnych a čiastočne aj pri potenciálnych zosuvoch. Dobré výsledky boli na zosuve Turany. Na lokalite Okolíné rušila geoakustické impulzy premávka vlakových súprav po železnici.

## 6. Meranie horizontálnej reziduálnej napätosti na povrchu

Z hľadiska mechaniky svahových pohybov je známe, že na neporušených svahoch prevláda určitá tlaková napätosť, pričom na porušených svahoch je už napätosť pozmenená. V odlučných oblastiach (odtrhoch) je zemina namáhaná ťahom a v akumulčných a transportačných oblastiach naopak výraznejším tlakom. Ťahová oblasť pri svahoch postihnutých zosuvmi nie je ohraničená len ich odlučnou oblasťou so zjavnými zátrhmi, ale často ešte aj ďalšou uvoľnenou zónou s ťahovým napätím, siahajúcou niekoľko metrov, prípadne aj desiatky metrov vyššie nad porušený svah. Táto uvoľnená zóna je charakteristická pri retrogresívnom postupe porušenia svahov a predstavuje vždy potenciálne nebezpečenstvo vzniku nových zátrhov a zosuvných pohybov. Obdobne je často problémom presne vymedziť aj akumulčnú oblasť zosuvov s doznievajúcim zvýšeným tlakovým napätím v morfológicky nejasných prípadoch pri mapovacích prácach i pri vrtnom prieskume. Preto práve na pomerne presné ohraničenie spomínaných svahových deformácií na základe ťahových i zvýšených tlakových napätí je vhodná metóda priameho merania horizontálnych reziduálnych napätí na povrchu, ktorá sa zakladá na aplikácii metódy ostráňenia hmoty. Pochádza od G. Sachsa.

Vlastná metóda spočíva v meraní posunov  $\Delta r$  bodov umiestnených symetricky (v smere spádnice i vrstevnice svahu) okolo valcového otvoru s priemerom 15–20 cm a hlbokého 30–40 cm. Potom ak sú známe hodnoty Poissonovho čísla  $\nu$  a okamžitého modulu pretvárnosti  $E$  svahových zemín, možno vypočítať horizontálne napätie podľa známych vzťahov mechaniky zemín a hor-



Obr. 4. Celkový pohľad na inštalovaný prístroj (konštrukcie IGHP Žilina) na meranie horizontálnej napätosti na povrchu terénu pomocou 8 pozorovaných bodov osadených symetricky od stredu vo dvoch vzdialenostiach a smeroch.

Fig. 4. General view of the device installed (construction by IGHP Žilina) for measuring horizontal tension on the surface of the field at 8 observation points situated symmetrically from the centre on two sides and distances.

nín, ktoré uvádza aj V. Mencl (1966, 1969).

Túto metódu u nás prvýkrát v praxi aplikoval V. Mencl na viacerých zosuvných terénoch, ako napr. na vodnom diele Liptovská Mara, na záreze vlečky v Bánovciach nad Bebravou, kde okrem charakteristiky zosuvu umožnili skúšky na základe nameraných zvýšených horizontálnych napätí určiť aj veľkosť prekonsolidácie terciérneho ílu. Túto metódu uvádza aj vo svojich známych odborných publikáciách (V. Mencl 1966, Q. Záruha — V. Mencl 1969).

Podľa výsledkov merania povrchovej napätosti (obr. 4) na lokalitách zosuvov Bytča, Turany, Okoličné, Ľubietová, Harvelka sme mohli na základe týchto skúšok presne ohraničiť odlučné oblasti a v nich časti, kde možno predpokladať nové zátuchy. Ďalej sme na základe zvýšenej tlakovej napätosti oproti neporušeným svahom mohli v transportačnej a akumuláčnej oblasti určiť najviac namáhané „aktívne“ tlačené oblasti a ich dosah. To značí, že pri mozgnej aktivizácii zosuvu sa dá na základe zistenia predisponovaných miest predpokladať, kde a ktorým smerom bude smerovať vývoj opätovného zosuvného pohybu. Pri týchto skúškach v období pred prípadnou nevyhnutnou sanáciou zosuvného svahu a po nej je zistený pokles hlavných vodorovných napätí aj jedným z viacerých možných kontrolných ukazovateľov účinnosti sanačných opatrení. Z vykonaných skúšok na lokalitách s rozličným charakterom a vývojovým štádiom zosuvných pohybov vychodí, že čerstvé aktívne zosuvy majú po prebehnutí deštruktívneho svahového pohybu vždy menšiu horizontálnu napätosť. Je to spôsobené „vybitím“ potenciálnej aktivity zosuvu (a teda i jeho napätosti) vzniknutým svahovým kinetickým pohybom, ktorý navyše spôsobuje prehnietenosť a kyprost zosuvných materiálov (a teda aj na povrchu), čo sa prejavuje ich nízkou hodnotou  $E$  a často aj menšími nameranými hodnotami posunov  $\Delta r$ .

#### 7. Meranie horizontálnej napätosti v šachticiach

Meranie napätosti v šachticiach na zosuvných územiach umožňuje na základe veľkosti nameraných deformácií v rozličných hĺbkach, ale prevažne v súdržných zeminách, zistiť stupeň aktivity, resp. stability porušeného svahu. Ďalej v závislosti od postupu hĺbenia s časom sa dá tiež z najväčšej zmeny hodnoty pomeru prírastkov deformácie určiť aj hĺbkové dosiahnutie najvýraznejšej šmykovej porušenej zóny. Vlastné deformácie sa merajú kontaktným meradlom s presnosťou odčítania 0,01 mm vo vzájomne proti sebe osadených kotvách s dosahom do rozličnej vzdialenosti od stien šachtice (0,5 m—1,5 až 3,0 m).

Napätia možno vypočítať podľa rovnakých vzťahov ako pri povrchovej napätosti; pritom sa na zjednodušenie pri štvorcovej šachtici uvádza predpoklad, že zhruba zodpovedá šachtici s kruhovým prierezom.

Pre náročnosť osadzovania rozlične dlhých vzájomne pritiŕahlých kotiev ako pozorovacích bodov sa použitie týchto skúšok viaže prevažne len na homogénne polohy s minimálnym množstvom úlomkov hornín. Preto sa tieto merania v zosuvných územiach používajú v obmedzenej miere. I keď umožňujú poznať priebeh horizontálnej napätosti v okolí šachtice, ich výsledky podobne ako pri pressiometrických skúškach sa okrem metódy konečných prvkov v stabilných výpočtoch nedajú využiť.

## 8. Prístroje na indikáciu šmykových plôch a zón

Vŕtané sondy možno využiť aj na zabudovanie špeciálnych prístrojov SDT a SPV (vyvinuté ŮGI Brno), ktoré umožňujú zisťovať hĺbku šmykovej plochy, resp. jej zóny v aktívnych a potenciálnych zosuvných územiach (J. Martinec 1970).

Prístroj SDT (systém delených trúbok) indikuje podľa vychýlenia jednej, resp. viacerých trúbok z ich pôvodnej zvislej zostavy hĺbku šmykovej plochy, prípadne zóny. Vlastná zostava delených trúbok s profilom 90 mm z novoduru v ľubovoľnej dĺžke, vzájomne spojených oceľovými lankami, sa inštaluje do jadrových vrtov s priemerom 133 až 156 mm v obsype z triedeného drobného štrku s priemerom 5 mm, pričom je zhodnocovací prístroj s registračným zariadením osadený nad zemou v krycej pažnici. Presnosť indikácie šmykovej plochy závisí od zvoleného rozsahu dĺžky jednotlivých trúbok, asi 0,1–1,0 m. V praxi sa zvyčajne používajú kratšie trúbky v oblasti predpokladaného výskytu šmykovej plochy, asi 0,1–0,5 m, a mimo tejto oblasti dlhšie, asi 1 m. Prístroj SDT, ako aj SPV sa budú toho roku inštalovať v spolupráci IGHP a ŮGI Brno na lokalite aktívneho zosuvu Mostište pri Púchove.

Prístroj SPV (systém páskového vodiča) plní rovnakú funkciu ako SDT. Konštrukčne sa od neho odlišuje tým, že má osadené trúbky PVC s priemerom 21 mm do vrtu s priemerom 67 až 93 mm v cementovej tamponáži. Trúbka PVC s priemerom 21 mm má vo vnútri riedkym cementom zaliate krehké elektrické vodiče (drôty) spojené do okruhu s dosahom do rozličnej hĺbky vrtu. Všetky vodiče sú vyvedené k jednosmernému zdroju prúdu (batérii) v nadzemnej časti vrtu v ochrannej pažnici. Pri zosuvných pohyboch s posunom väčším ako 1–2 cm nastáva prestrihovanie okruhov elektrických obvodov tých vodičov, ktoré sú v hĺbke šmykovej plochy a pod ňou. Hodnotenie výsledkov sa robí z registračného záznamu prístroja.

Na rovnaký účel ako prístroje SDT a SPV slúžia inklinometry, ktorými sa šmyková plocha v zosuvných územiach zisťuje na základe najväčšej krivosti (zohnutia) zabudovanej trúbky PVC s priemerom 50–100 mm vo vrtoch s priemerom do 93–254 mm s obsypom z drobného štrku (M. Jakubowski 1971, 1974). Vhodné univerzálne inklinometry treba však zabezpečiť z dovozu, pretože sa v ČSSR nevyrábajú.

## Záver

Inžinierskogeologickému a hydrogeologickému prieskumu zosuvných území treba venovať náležitú pozornosť z hľadiska vhodnej metodiky a komplexnosti. Vo viacerých na seba nadväzujúcich etapách treba vykonať inžinierskogeologické mapovanie, geofyzikálne a technické (sondážne) terénne práce. V rámci prvosledových prác je nevyhnutné začať režimné hydrologické a hydrogeologické, ako aj geodetické pozorovania zosuvného územia. Medzi prácami druhého sledu je žiadúce použiť maximum dostupných (i najnovších) metód a skúšok.

Pri riešení úlohy Zosuvy Slovenska sme použili tieto špeciálne skúšky a merania: penetračné testovacie skúšky vrtných jadier a vzoriek, pressiometrické a rádionuklidové skúšky, geoakustické merania, merania horizontálnej napätosti v šachticiach a na povrchu, obhliadka vrtného otvoru optickým perisko-

pom s fotodokumentáciou a prístroje zabudované vo vrtoch na indikáciu recentných šmykových plôch. Z uvedených špeciálnych skúšok sa osvedčili penetračné testovacie skúšky, rádionuklidové skúšky, geoakustické merania a hlavne merania horizontálnej napätosti na povrchu.

Možno konštatovať, že pri prieskume zosuvných území je účelné využiť viaceré metódy a spôsoby. V takom prípade umožňujú komplexne a veľmi kvalitne zhodnotiť charakter zosuvu z hľadiska príčin jeho vzniku, mechaniky a genetiky vývoja, možnej aktivácie alebo stability a prípadne sanácie a jej účinku.

*Doručené 12. 2. 1975*

*Odporúčil J. Malgot*

#### LITERATÚRA

- Groma, B. 1969: Pressiometrické skúšky. [Súbor článkov a prekladov.] IGHP, n. p., Žilina.
- Martínek, J. 1970: Vývoj měřících a kontrolních metod a přístrojů pro trvalou kontrolu a registraci pohybů půdy. Ústav geologického inženýrství, Brno.
- Menci, V. 1966: Mechanika zemín a skalních hornin. Praha, Academia, s. 189, 245—248.
- Müller, K. 1973: Geofyzikální metody průzkumu sesuvů. In: Zbor. zo seminára o inžinierskogeologickom prieskume, stabilite svahov a metódach jej zabezpečovania. SVTS — Dom techniky Košice, s. 1—6.
- Nemček, A. — Baliak, F. — Mahr, T. — Malgot, J. 1970: Regionálny výskum zosuvných oblastí Slovenska. [Záverečná správa výskumnej úlohy III/3/11, 3.] Bratislava.
- Nemček, A. — Pašek, J. — Rybář, J. 1974: Dělení svahových pohybů. HIG, 11, ÚÚG Praha, s. 77—97.
- Novosad, S. — Bláha, P. 1972: Geoakustické sledování svahových pohybů. Ročenka, n. p., Geotest Brno.
- Peter, P. — Hulla, J. 1970: Zisťovanie parametrov pohybu podzemnej vody pomocou rádionuklidov. Vodohospodársky časopis, 18, 4, Bratislava.
- Sýkora, L. 1961: Fytoindikace sesuvných území v ČSSR. Rozpravy ČSAV, roč. 71, Praha.
- Špúrek, M. 1973: Cykličnosť vývoje sesuvných jevů. In: Zbor. zo seminára o inžinierskogeologickom prieskume, stabilite svahov a metódach jej zabezpečovania. SVTS — Dom techniky Košice, s. 1—18.
- Záruba, Q. — Menci, V. 1969: Sesuvy a zabezpečování svahů. Praha, Academia, s. 117—120, 128—129.
- Jakubowski, M. 1971: Odchylomierz oporowy do badania dynamiki osuwisk i wyznaczania powierzchni poślizgu. Technika poszukiwań 37, s. 48—52.
- Jakubowski, M. 1974: Wynikyzastosowania inklinometru w badaniach dynamiki osuwiska. Technika poszukiwań 3/51, s. 20—25.

## APPLIANCE OF SOME SPECIAL METHODS AND TESTS IN PROSPECTION METHODS IN SLUMP REGIONS

EGON FUSSGÄNGER — DANIEL JADROŇ

As regards methods proper and complexity, the engineering-geo-logic and hydrogeologic research of the slumps regions should be paid the respective attention. In two mutually connected stages — steps — it is necessary to carry out engineering geological mapping, geophysical and technical (sounding) field works. The initial work should comprise the regime of hydrogeological, hydrological and geodetic observation of the slump territory. In the second stage of the work it would be suitable to apply maximally available and the latest methods and tests, mostly exploiting the prospection operations. The authors of the article concerning the task „Landslides in Slovakia“, have applied the following special tests and measurements: penetration testing of boring cores and of samples, pressure-metric and radio-nucleid tests, geoacoustic measurements, measurements of horizontal tension in pits and on surface, examination of borehole by optical periscope and photodocumentation, devices constructed in the boreholes to indicate recent thrust planes. Positive results of all these special tests show that most suitable are penetration tests, geoacoustic measurements and particularly measurements of horizontal tension on the surface.

Generally we may conclude that it is very useful to apply more methods and ways of investigation of landslide areas. Proportionally to their quantity (optimally considered with respect to actual conditions), they facilitate complex and reliable evaluation of the nature of a landslide from the view of its origin, mechanism and genetic history, of its possible activation or stability, or protection and its effects.

*Preložila E. Jassingerová*