

Zosuvné svahy v úseku Hlohovec — Sereď

JÁN OTEPKA, OLGA MENZELOVÁ, MIROSLAV MESKO

IGHP, závod Bratislava, Geologická 18, 825 64 Bratislava

(13 obr., 9 foto a 3 tab. v texte)

Doručené 11. 7. 1984

Оползневые склоны на участке Глоговец-Сереď

Левобережные склоны реки Ваг на участке между городами Сereď и Глоговец подвержены крупным оползням на площади приблизительно 10 км². Оползни неблагоприятно действуют при использовании реки Ваг для пострек водных сооружений. Инженерногеологическая разведка в 1978—1983 годах показала потенциальную активность большей части оползней. Определяющими факторами для образования оползней является боковая эрозия реки Ваг, действия подземных вод и понижение прочности скольжения глинистых неогенных осадков. Из целого ряда проектных вариантов при использовании энергетического потенциала реки Ваг на данном участке, ввиду больших капиталовложений для восстановления оползней, был выбран канальный вариант.

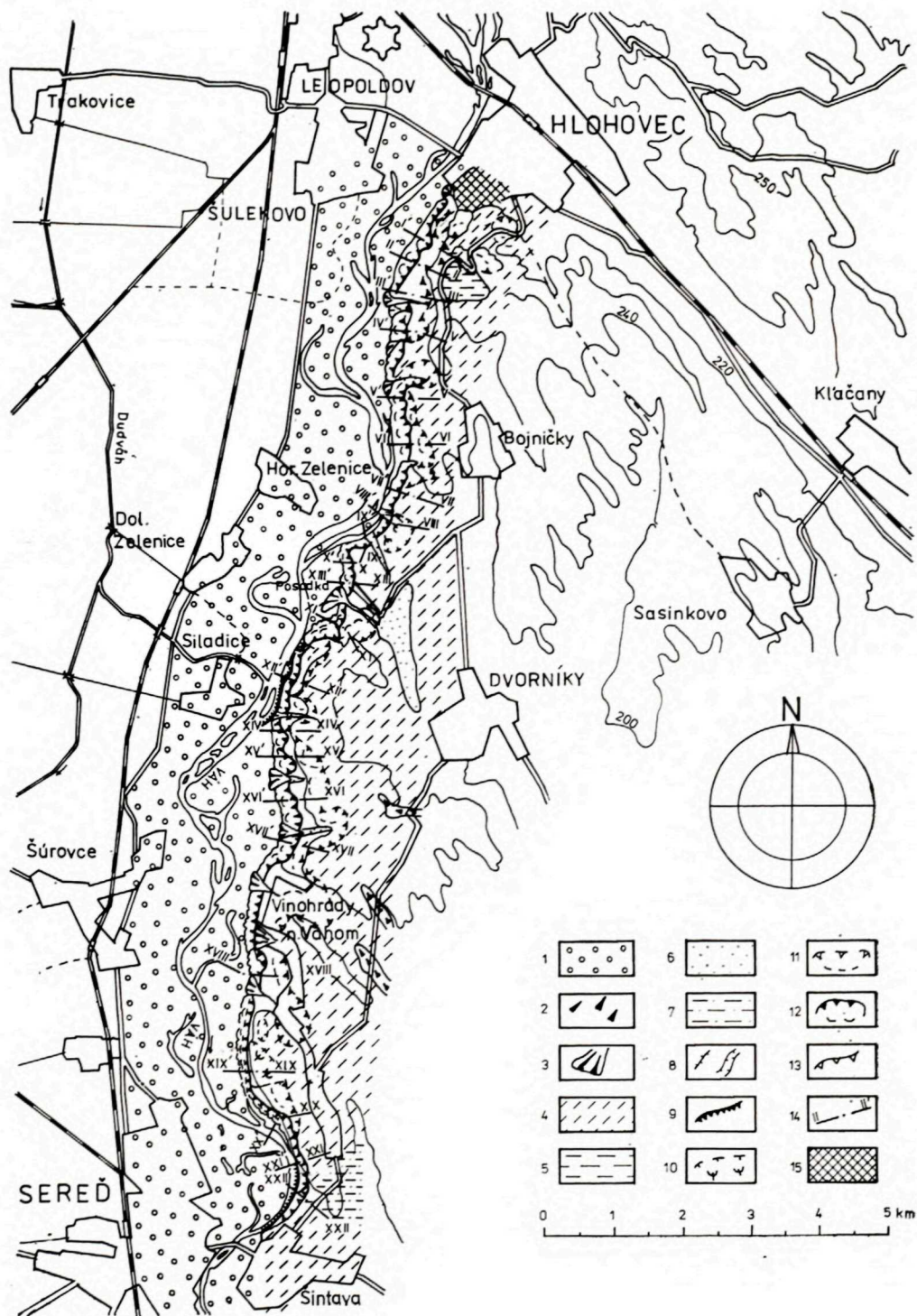
Slide slopes in the Hlohovec — Sereď section

The left-bank slopes of Váh river between Hlohovec and Sereď are affected by extensive slides covering the area of about 10 km². The slides make the full utilization of water work impossible. It has been shown by engineering-geological survey, realized between 1978—1983, that there is a potential activity of the most parts of the slides. Determining factors of the formation of slides have been a lateral erosion of Váh river, upward pressures of underground water and exceeding of the shear resistance of the Neogene clay sediments. From amongst many different projected alternatives of energy utilization of the potential of Váh river in this section, regarding the existence of slides and high expenditures for their reconditioning it has been recommended that a channel variant would be the best solution.

Západný okraj Zálužianskej pahorkatiny, ktorý tvorí ľavobrežné svahy Váhu, je medzi Hlohovcom a Sereďou postihnutý rozsiahlymi svahovými poruchami rôzne-

ho tvaru a rozličného stupňa aktivity v dĺžke okolo 15,5 km a v celkovej rozlohe približne 10 km² (obr. 1).

Svahovými pohybmi v tomto území sa



už zapodievali viacerí autori. M. Lukniš (1951) v práci viac-menej opisnogeografickej charakterizoval zosuvné územie, uviedol hlavné príčiny zosuvov a opísal hospodárske následky zosúvania. Prieskumom zosuvného územia vo Vinohradoch nad Váhom a návrhom sanačných opatrení sa zaoberal J. Buroš (1966). V rámci inžinierskogeologického prieskumu sa v súvislosti s prípravou alternatív vodných diel na Váhu v území Hlohovec — Šaľa zosuvnej problematike venoval V. Broďáni (1956, 1958), B. Groma (1959) a C. Mach (1960). Zosuvné územie komplexne zhodnotil B. Leško — Š. Tichý (1963).

Svahové pohyby v skúmanom území komplikujú možnú výstavbu vodného diela na Váhu a sú prekážkou vhodného využitia tohto územia aj v iných smeroch. Preto sa v rokoch 1978—1983 vykonal orientačný inžinierskogeologický prieskum (Otepka et al., 1983) s cieľom komplexne zhodnotiť územie z hľadiska možnosti výstavby vodného diela a celkového využitia a ochrany krajinného prostredia.

Podmienky vzniku svahových porúch

Podmienky vzniku svahových pohybov sú v prostredí, v ktorom prebiehajú. Ide najmä o geologicko-tektonické, hydrogeo-

logické, geomorfologické a klimatické pomery, ako aj vlastnosti hornín (Nemčok, 1977).

Geologicko-tektonická stavba

Na geologickej stavbe územia sa zúčastňujú sedimenty pliocénu a kvartéru.

Neogén — pliocén. Sedimenty pliocénu sú vyvinuté v celom území. V oblasti Záľužianskej pahorkatiny vystupujú v hĺbke 0,3—7,0 m pod povrchom a v údolnej nive Váhu v hĺbke 8,0—20,0 m pod terénom. V odlučných hranách zosuvov vystupujú pliocénne sedimenty až na povrch územia. Tvorí ich mohutné súvrstvie ílu a piesku s polohami a šošovkami pieskovca, ojedinele piesčitého štrku, príp. zlepenca.

Íl vytvára súvislé polohy mocné niekoľko, často až desiatky metrov alebo vrstvičky mocné niekoľko cm. Je pestrôfarebný, s hojnými limonitovými zátekmi, vápnitými polohami a konkréciami. Obsahuje premenlivú prímes piesčitej frakcie. Mineralogicky je íl zo zmesi illitu, montmorillonitu a kaolinitu.

Piesok je prevažne jemnozrnný až strednozrnný, zriedka hrubozrnný a má sivú, sivožltú až žltú farbu. Tvorí ho zrnká kremeňa a často obsahuje variabilnú prímes ílovitej alebo prachovitej frakcie. Vytvára aj súvislé polohy mocné niekoľ-

Obr. 1. Schematická mapa svahových porúch v území medzi Hlohovcom a Sereďou. 1 — fluválne náplavy, 2 — hlinito-piesčité prolúviá, 3 — náplavové kužele, 4 — eolicko-deluviálne a deluviálne sedimenty (1—4 — kvartér), 5 — íl, piesčitý a prachovitý íl, 6 — piesok, ílovitý piesok, 7 — striedanie piesčitých a ílovitých sedimentov (5—7 — neogén), 8 — erózne ryhy, 9 — bočná erózia Váhu, 10 — povrchové plazenie, 11 — zosuvy I. a II. generácie, 12 — zosuvy III. generácie, 13 — zemné zrútenia, 14 — línia inžinierskogeologických rezov, 15 — násypy, návažky

Fig. 1. Schematic map of slope failures in the territory between Hlohovec and Sereď. 1 — fluvial deposits, 2 — piedmont soil-sandy deposits, 3 — alluvial cones, 4 — eolitic-deluvial and deluvial sediments (1—4 — Quaternary), 5 — clay, sandy and dusty clay, 6 — sand, clayey sand, 7 — alternation of sandy and clayey sediments (5—7 — Neogene), 8 — erosion runnels, 9 — side erosion of Váh river, 10 — surface crawling, 11 — slides of Ist and IInd generation, 12 — slides of IIIrd generation, 13 — soil collapse, 14 — line of engineering-geological sections, 15 — fills, made-up grounds

ko m, lokálne 20—50 m, alebo menšie šošovky v íle. Je v subhorizontálnej polohe a má sklon do 5° na JV až V. Lokálne možno v piesku pozorovať krížové zvrstvenie. Pieskovec tvorí v íle a v piesku lavice mocné 30—50 cm, zriedka viac ako 1 m. Tmel pieskovca je prevažne vápnitý, redšie vápnito-ílovitý.

Íl a piesok sa v horizontálnom aj vertikálnom smere nepravidelne a v nerovnakom pomere striedajú, a to vytvára priaznivé podmienky na vznik svahových porúch.

Kvartér. Kvartérne sedimenty sú zastúpené fluvialnými náplavami Váhu, eolicko-deluvialnými a proluvialnými sedimentmi. Úrodnú nivu Váhu tvoria fluvialne sedimenty rieky. Na povrchu územia je nesúvislá vrstva nivnej hliny mocná 0,3—4,0 m. V jej podloží je vrstva piesku rozličnej zrnitosti, často s obsahom obliakov štrku premenlivej mocnosti (0,4—4,0 m). Prevažnú časť údolných náplavov tvoria štrkopiesčité sedimenty. V okolí Hlohovca ich mocnosť dosahuje 5—7 m a smerom na J sa zvyšuje na 10—15 m. Petrograficky je obliakový materiál z granitu, kremeňa, pieskovca, melafýru a kryštalickej bridlice. Obliaky sú dokonale opracované, poväčšine majú priemer do 12 cm, iba zriedka 15—20 cm.

Eolicko-deluvialné sedimenty sú v oblasti Zálužianskej pahorkatiny. Zastupuje ich prevažne spraš a sprašová hlina, v menšej miere viaty piesok. Vážné eolické sedimenty nemajú povahu typickej spraše. Ide o polygenetické sedimenty, často so zvýšeným obsahom ílovej frakcie. Piesok je prevažne strednozrnný a ostrohranný. Lokálne (severne od Posádky) sa v sedimentoch vyskytujú typické hrance z kremeňa priemeru do 3—4 cm. Mocnosť eolicko-deluvialných sedimentov na väčšine územia dosahuje 1,0—4,0 m, iba lokálne do 10,0 m.

Deluvialné sedimenty zastupuje hnedá

hlina. Tvorí nesúvislé a plošne nerozšiahle polohy mocné do 1,5 m.

Proluvialné sedimenty sú vyvinuté na okrajoch údolnej nivy pri vyústení eróznych rýh vo forme náplavových kuželov. V Zálužianskej pahorkatine sú rozsiahle prolúviá v dnách širokých úvalinových dolín, kde vznikli ako produkt plošnej erózie prívalovej vody.

Tektonika. Tektonický charakter stavby územia určuje syngenetická poklesová tektonika. Hlavnou tektonickou líniou je vážsky zlom smeru S—J, oddeľujúci Zálužiansku pahorkatinu a dolnovážsku nivu (Leško — Tichý, 1963). Na tento smer sú kolmo alebo diagonálne orientované zlomové poruchy. Z. Adam a M. Dlabáč (1961) pokladajú údolie medzi Posádkou a Dvorníkmi a medzi Bojničkami a Dvorníkmi za priekopové priepadliny široké 100—500 m. Priečne poruchy sú výrazné aj morfológicky, lebo sa na ne viažu asymetricky vymodelované údolia smerujúce do doliny Nitry.

Hydrogeologická charakteristika

Neporušené a zosunuté časti územia majú rozdielny hydrogeologický režim.

V neporušenom území možno vyčleniť dva stratigraficky odlišné hydrogeologické komplexy. Neogénne sedimenty zo súvrstvia ílu a piesku sa nepravidelne a v rozličnom pomere striedajú. V tomto súvrství má hydrogeologický význam najmä piesok, príp. ílovitý piesok. Uzatvára ho nepriepustné podložie a nadložie a podzemná voda, ktorá sa v ňom akumuluje, má napätú (artézsku) hladinu. Prieskum do hĺbky 30—100 m zistil 2—3 zvodnené horizonty nad sebou. Hladina podzemnej vody po jej navrtaní vystúpila vo väčšine prípadov o 2—3 m, iba zriedka o 5—10 m. Piesok možno hodnotiť ako slabo priepustný (Matula — Hrašna, 1977), s hodnotami

koeficienta filtrácie priemerne $9 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ — $3 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Zdrojom zásob podzemnej vody neogénnych sedimentov sú hlavne atmosferické zrážky, najmä v oblasti Zálužianskej pahorkatiny. V údolnej nive Váhu sa neogénna voda dopĺňa prevažne zo štrkových fluviálnych náplavov. Podzemná voda neogénnych sedimentov má výrazný kalciovo-magnéziovo-bikarbonátový typ chemizmu. Má slabo alkalickú reakciu s hodnotou pH 7,1—8,2. Výrazným znakom je vysoký obsah minerálnych látok, prevažne 700—1000 mg/l, ale často aj vyše 1000 mg/l (Roháčiková in Otepka et al., 1983).

Hydrogeologický význam kvartérnych sedimentov závisí najmä od ich granulometrického zloženia. V oblasti Zálužianskej pahorkatiny kvartér zastupujú najmä súdržné sedimenty charakteru ílovitej hliny, resp. spráše, lokálne hlinitého piesku. Je to veľmi slabo priepustná zemina, spravidla s nižším koeficientom filtrácie ako $10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

V údolnej nive Váhu sa podzemná voda akumuluje v štrkopiesčitých náplavoch, ktoré sú jej dobrým kolektorom. Voda má voľnú, iba ojedinele mierne napätú hladinu. Štrkopiesčité náplavy údolnej nivy Váhu možno charakterizovať ako silne priepustné (Matula — Hrašna, 1977), s hodnotou koeficienta filtrácie $6 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ až $2 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Zásoba podzemnej vody sa dopĺňa najmä z Váhu, v menšej miere atmosferickými zrážkami a prestupom z priepustných neogénnych súvrství Zálužianskej pahorkatiny.

V zosunutých častiach územia je súvislý obeh podzemnej vody narušený. Zvodnené horizonty sú porušené a voda z vážskych náplavov sa mieša s vodou v pliocénnych sedimentoch. Voda presakuje do spodných častí zosunutých kryh, podmáča ich, nadľahčuje a jemné častice vyplavuje. Skryté vývery prenikajú do zosunutých mäs a spôsobujú zmenu ich konzistencie. Dolné

časti odlučných stien a akumulačné časti zosuvov sú na vodu oveľa bohatšie ako stabilné územie.

Geomorfologické pomery

Zálužianska pahorkatina a údolná niva Váhu tvoria dva odlišné geomorfologické celky. Svahová modelácia tu závisí od geologicko-tektonickej stavby, úložných pomerov a petrograficko-litologického zloženia sedimentov.

Pre vznik svahových porúch má podstatný význam to, že Zálužianska pahorkatina je oproti údolnej nive Váhu výrazne vyššia. Pri Hlohovci je relatívne prevýšenie 120—150 m, smerom na J klesá a pri Šintave je už len 15—20 m. Prevýšenie je pravdepodobne podmienené tektonicky, aj keď sa predpokladaný zlom nepotvrdil (Otepka et al., 1983). Veľký vplyv na morfológický vývoj územia majú recentné pohyby. Územie medzi Hlohovcom a Bojničkami má najvyšší gradient recentných pohybov poklesového charakteru ($\text{grad. } v = 15 \cdot 10^{-8} \text{ rok}^{-1}$) a ich rýchlosť dosahuje —3 až —4 mm · rok⁻¹ (Marčák in Vaškovský et al., 1981).

V geomorfologickom vývoji územia možno rozlíšiť dve charakteristické formy, a to erózne a akumulačné, ako aj deformačné.

Erózne a akumulačné formy. Svahy Zálužianskej pahorkatiny sú z mäkkých, slabo spevnených sedimentov neogénu a kvartéru, ktoré sú voči eróznym činiteľom málo odolné. Výrazne sa tu uplatňuje zrážková aj riečna vodná erózia (terminológia erózných javov podľa Zachara, 1980). Zrážková erózia najmä v plošnej forme postihuje celé územie od Hlohovca po Sereď a pôsobí hlavne v častiach územia, v ktorých sa na povrchu vyskytujú jemnozrnné prachovité a piesčité sedimenty.

Ryhovú eróziu vyvoláva prúdový tlak vody. Pôsobí najmä pri jarnom topení sa

snehu a pri letných lejakoch (foto 1).

J. Košťálik (1965) zistil, že kubatúra erózných rýh v území Hlohovec — Seereď — Sasinkovo je $1\,091\,378\text{ m}^3$, čo je asi $7\text{ m}^3/\text{ha}$. Podľa D. Zachara (1980) je to stredná intenzita erózie.

Z vlastných pozorovaní uvádzame iba dva prípady. Južne od Hlohovca je ryha dlhá 150 m, široká 3—5 m a hlboká 2—12 m. Vyviera z nej prameň, ktorý bol zachytený a upravený ako merný objekt. Akumulačná časť prameňa je vybetónovaná a má objem asi 7 m^3 . Po letnej búrke 16. 6. 1979, keď napršalo až 70 mm, sa celý akumulčný priestor prameňa zanesol zeminou v priebehu asi 3 hodín (foto 2).

V blízkosti osady Paradiče sme v roku 1978 realizovali vrt HSJ-94 a DT-11. Vrty boli situované asi 20 m od hrany svahu. Vo svahu bola novovytvorená erózna ryha dlhá a široká 3 m a hlboká 2 m. Retrográdne sa rozširovala, zničila poľnú cestu a na jar 1982 aj vrt HSJ-94 a DT-11. V súčasnosti je ryha hlboká 10 m, široká 15 m, dlhá 25 m a jej čelo má polkruhový tvar (foto 3).

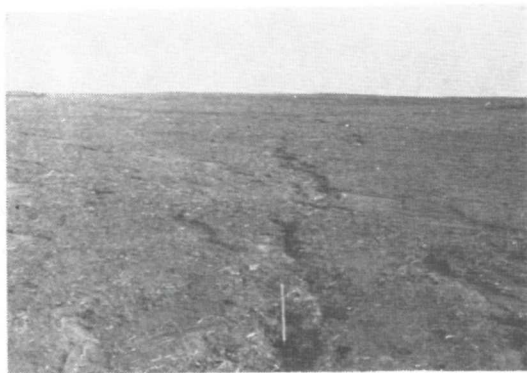


Foto 1. Vinohrady nad Váhom — osada Paradiče. Výrazná plošná a stružková erózia na svahu so sklonom $3,5^\circ$

Photo 1. Vinohrady nad Váhom — community Paradiče. Expressive areal and rill erosion in slope with $3,5^\circ$ gradient



Foto 2. Akumulačná časť merného objektu zaplnená splavenou zeminou pri letnej búrke 16. 6. 1979

Photo 2. Accumulation part of measured object filled with soil washed down during summer storm on June 16, 1979

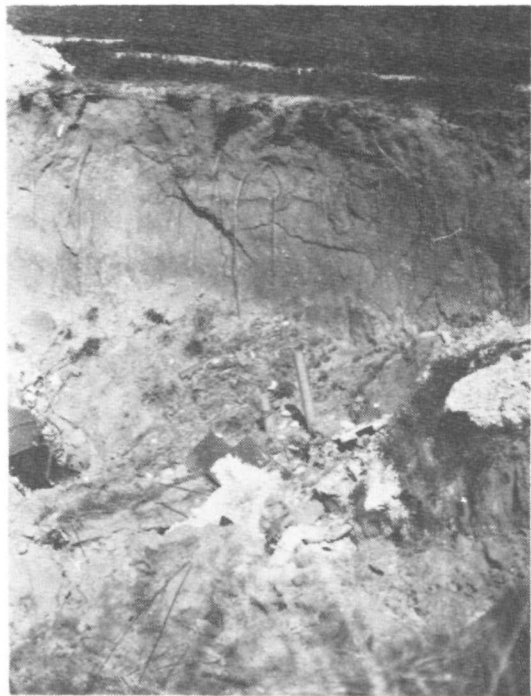


Foto 3. Erózna ryha pri osade Paradiče so zničeným vrtom HSJ-94

Photo 3. Erosion runner close to community Paradiče with damaged bore hole HSJ-94

Riečna erózia podmieľa brehy a svahy. Pri bočnej erózii sa zhoršujú stabilitné podmienky svahov, nastáva odnos materiálu a vznikajú zosuvy. M. Lukniš (1951) uvádza, že roku 1860 Váh erodoval okraj Zálužianskej pahorkatiny v dĺžke 7,2 km a roku 1951 v dĺžke 4,6 km. V súčasnosti sa bočná erózia Váhu obmedzuje približne na 2 km dlhý úsek (južne od Posádky a pri Šintave).

Akumulačnú formu predstavuje predovšetkým údolná niva Váhu, ktorú tvoria fluvialne náplavy. V Zálužianskej pahorkatine sú akumulácie v dnách dolín a starších erózných rýh vo forme proluviálnych sedimentov, ale na okraj údolnej nivy Váhu sa prevažne vyplavujú vo forme náplavových kužeľov.

Deformačné formy. Najvýznamnejšiu úlohu pri morfológickom formovaní územia majú svahové pohyby. Svahové poruchy tvoria súvislý pás dlhý približne 15,5 km. V podstate majú povahu zosuvov frontálneho tvaru, ale tento makroreliéf je z množstva čiastkových zosuvov rozličného tvaru, veľkosti aj aktivity.

Klimatické pomery

Územie patrí do teplej klimatickej oblasti, okrsku A1, ktorý sa charakterizuje ako teplý, suchý s miernou zimou a dlhším slnečným svitom (Klimatické a fenologické.... 1968).

Z klimatických činiteľov sú najvýznamnejšie teplotné a zrážkové pomery.

Veľké rozdiely teploty v mesačnom a ročnom priemere nepriaznivo vplyvajú najmä na povrchové väzné sedimenty. Tie zásluhou vysokej teploty v letných mesiacoch rýchlo vysychajú a zmršťujú sa. Vytvárajú sa v nich otvorené exikačné trhliny, tie umožňujú rýchle vsakovanie zrážkovej vody do masy zeminy, čo zhoršuje jej pevnosť, a tým aj stabilitné podmienky (foto 4).

Zrážková činnosť má v záujmovom území mimoriadny význam. Množstvo spadnutých atmosferických zrážok, ich intenzita, časové rozdelenie, príp. striedanie suchých a vlhkých období podstatne ovplyvňujú stav zeminy a jej správanie.

Vplyv atmosferických zrážok sa prejavuje v podstate dvojako. Zrážky sústredené do letného obdobia sú krátkodobé, ale veľmi intenzívne, a preto majú vzhľadom na litológiu a spevnenosť sedimentov značnú eróznú schopnosť. Podmieňujú silnú plošnú eróziu a vznik hlbokých erózných rýh (foto 5). Prejavujú sa rýchlym povrchovým odtokom.



Foto 4. Detail exikačnej trhliny vytvorenej v letných mesiacoch 1978. Dĺžka trhliny 30 m, šírka 5—15 cm, otvorená hĺbka 20—45 cm

Photo 4. Detail of dessication crack formed in summer months of 1978. Length of crack 30 m, width 5—15 cm, open depth 20—45 cm

Dlhotrvajúce zrážky s menšou výdatnosťou čiastočne odtekajú po povrchu, ale prevažne postupne vsakujú do hlbších polôh, spôsobujú zmeny konzistencie a reaktivizáciu zosuvov.

Fyzikálno-mechanické vlastnosti zemín

Z pôdomechanického hľadiska budujú územie dva základné typy zeminy:

- a) súdržná zemina zastúpená ílom, ílo-



Foto 5. Erózna ryha vo vinohrade južne od Hlohovca vytvorená pri jarnom topení sa snehu v marci 1978

Photo 5. Erosion runner in vineyard south of Hlohovec formed by spring snow melting in March 1978

vitou hlinou, ílovito-piesčitou hlinou až piesčitou hlinou,

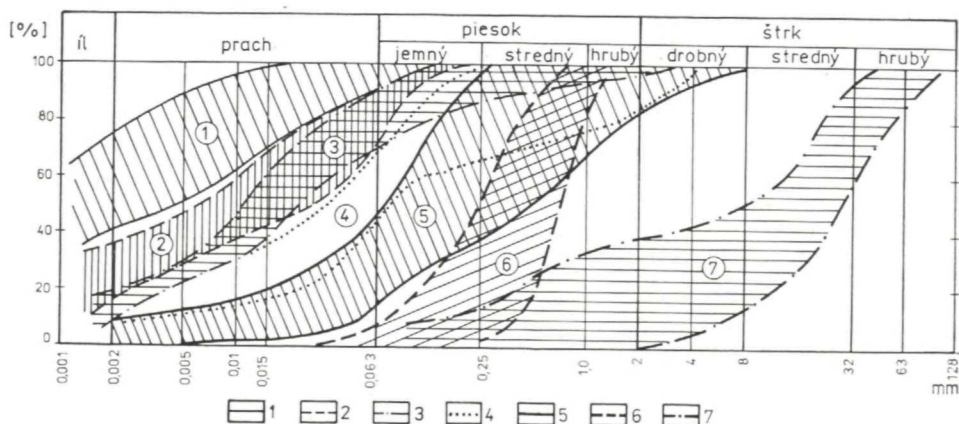
b) piesčitá zemina — piesok, hlinito-ílovitý piesok, miestami s prímiesou štrku.

Tieto typy sedimentov sa nepravidelne striedajú a vytvárajú polohy s nerovnakou mocnosťou. Obalové krivky zrnitosti

zemín spracované v zmysle ČSN 721001 a ČSN 721002 sú na obr. 2.

Súdržné zeminy. Rozdeľujú sa podľa veku, granulometrického zloženia a plastických vlastností do piatich súborov (v tab. 1 sú opisné a fyzikálne vlastnosti týchto zemín, ich priemerná hodnota a interval hodnôt). V zmysle ČSN 736824 (Malé vodné nádrže) sa zeminy klasifikujú aj podľa hodnoty plastických vlastností, čo dokumentuje diagram plasticity na obr. 3.

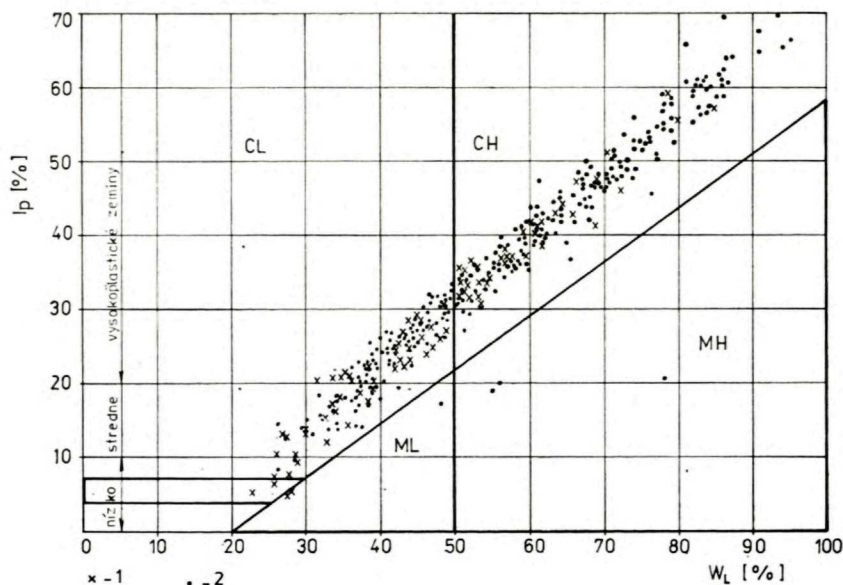
Kvartérne súdržné zeminy majú vyššiu prirodzenú vlhkosť a sú pórovitejšie, čo sa prejavuje zníženou hodnotou objemovej hmotnosti sušiny. Podľa počtu analyzovaných vzoriek zeminy a výsledkov laboratórnych skúšok možno konštatovať, že v záujmovom území prevládajú vysoko-plastické súdržné zeminy ($I_p > 20\%$). Potvrdzuje to aj diagram plasticity (obr. 3). Ide prevažne o vysokoplastické ílovité zeminy s vysokým obsahom ílovej frakcie (zrná $\varnothing < 0,002\text{ mm}$), a to o ílovitú hlinu 20–35 % a íl 40–75 %. Miestami obsahujú prímies jemného a strednozrnného piesku (10 až 30 %) a nadobúdajú charak-



Obr. 2. Obalové krivky zrnitosti zemín. 1 — íl, 2 — ílovitá hlina, 3 — hlina, 4 — piesčitá hlina, 5 — hlinitý piesok, 6 — piesok, 7 — štrk s pieskom
Fig. 2. Envelope curves of the grain distribution of soils. 1 — clay, 2 — clayey loam, 3 — loam, 4 — sandy loam, 5 — clayey sand, 6 — sand, 7 — sandy gravel

ter ílovito-piesčitej hliny a piesčitého ílu. Celý komplex súdržných zemín je prevažne pevnej, na styku so zvodnenými pies-

čitými polohami až tuhej konzistencie a miestami nadobúda až mäkkú konzistenciu. Okrem piesčitých prímiesí obsahujú



Obr. 3. Diagram plasticity. 1 — kvartér, 2 — neogén

Fig. 3. Diagram of the plasticity. 1 — Quaternary, 2 — Neogene

Fyzikálne a opisné vlastnosti súdržných zemín
Physical and index properties of cohesive soils

Tab. 1

VEK	KVARTÉR						NEOGÉN								
Charakteristika súboru	I. súbor $I_p < 20 \%$ piesčité hliny, hliny, hlinitý piesok			II. súbor $I_p > 20 \%$ hliny ílovité, íl, ílovito-piesčité hliny			III. súbor $I_p < 20 \%$ piesčité hliny, hliny			IV. súbor $I_p > 20 \%$ $w_L < 50 \%$ ílovito-piesčité hliny, ílovité hliny			V. súbor $I_p > 20 \%$ $w_L > 50 \%$ ílovité hliny, íl		
Vlastnosť	max x_i	min x_i	priemer $\bar{x}$	max x_i	min x_i	priemer $\bar{x}$	max x_i	min x_i	priemer $\bar{x}$	max x_i	min x_i	priemer $\bar{x}$	max x_i	min x_i	priemer $\bar{x}$
Interval hodnôt	30,60 21,50	7,10 9,0	14,60 14,20	31,40	11,50	19,71	22,30	5,70	15,09	26,20	7,40	16,31	29,10	10,40	19,419
Vlhkosť w [%]															
Objemová hmotnosť pri w [tn ⁻³]	2,17	1,33	1,761	2,180	1,590	1,938	2,170	1,790	2,025	2,400	1,920	2,089	2,250	1,60	2,066
Objemová hmotnosť sušiny ρ_s [tn ⁻³]	1,99	1,24	1,53	1,910	1,180	1,613	1,980	1,550	1,763	2,170	1,540	1,797	2,010	1,230	1,732
Merčná hmotnosť ρ [tn ⁻³]	2,73	2,65	2,698	2,77	2,60	2,705	2,740	2,650	2,707	2,760	2,66	2,714	2,82	2,58	2,742
Medza tekutosti w_L [%]	39,60	23,60	31,40	85,00	33,70	52,07	42,50	25,70	34,33	49,90	35,70	43,48	102,70	50,0	66,42
Index plasticity I_p [%]	18,30	7,6	13,36	59,40	20,30	32,95	19,80	7,80	16,202	33,50	20,30	26,20	77,10	20,0	45,12

súdržné zeminy veľké množstvo vápna (4–30 ‰), a to vo forme konkrécií rozličnej veľkosti (0,5–3,0 cm) alebo v práškovej podobe. Vápňité a piesčité prímеси spôsobujú narastanie hodnôt mechanických vlastností súdržných zemín a zvyšujú ich priepustnosť.

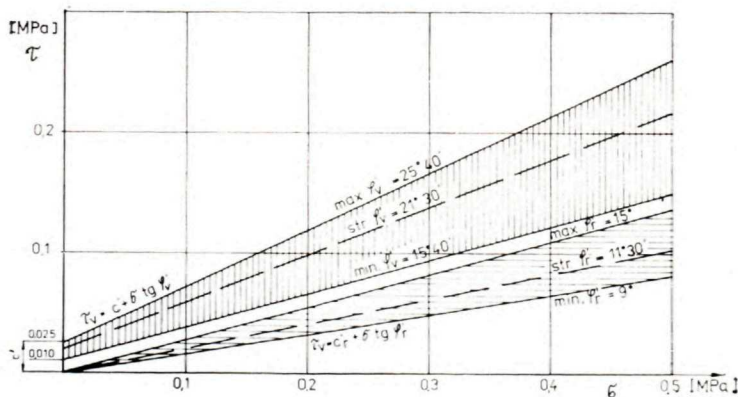
Vysokoplastické ílovité zeminy sú objemovo nestále. Zmrašťiteľnosť a napučavosť ílovej zeminy spôsobujú pokles hodnôt jej mechanických vlastností. Hodnoty pomerného objemového zmraštenia ΔV a pomerného zvislého napučania $\Delta h/h$ závisia od obsahu a druhu ílovitých minerálov a od fyzikálneho stavu zeminy (zmrašťiteľnosť $\Delta V = 4–22$ ‰, napučavosť charakterizovaná $\Delta h/h = 4–26$ ‰).

Z hľadiska priepustnosti možno súdržné zeminy pokladať za veľmi slabo priepustné. Orientačne uvádzame priemerné hodnoty koeficienta filtrácie zemín k_f získané z laboratórnych skúšok priepustnosti: íl, ílovitá hlina $k_f = 7,0 \cdot 10^{-8}$ m/s, ílovito-piesčitá hlina $k_f = 3,5 \cdot 10^{-7}$ m/s, piesčitá hlina $k_f = 1,3 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Pri určovaní mechanických vlastností zemín sa hlavný dôraz kládol na zistenie parametrov šmykovej pevnosti súdržných zemín, pretože pri riešení stabilitných úloh sú to rozhodujúce vstupné údaje. Parametre efektívnej šmykovej pevnosti sa

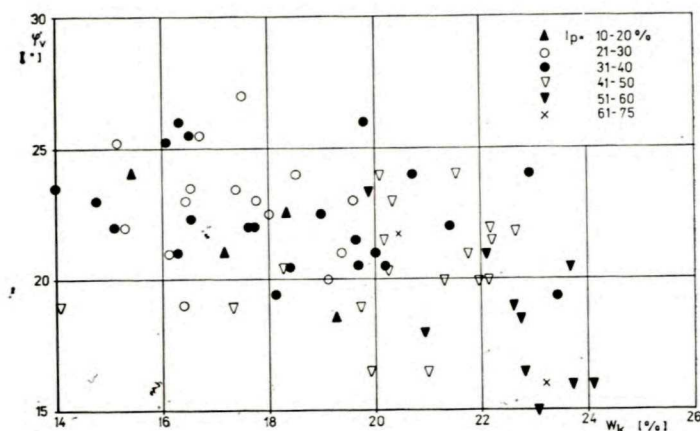
určovali konsolidovanými odvodnenými čelustovými šmykovými skúškami. Rýchlosť posunu spodnej čeluste prístroja, t. j. rýchlosť vyvodzovania vodorovnej šmykovej deformácie na vzorke, sa v závislosti od granulometrického zloženia zeminy volila od 0,01–0,002 mm/min pri zvislom normálovom napätí $\sigma = 0,05–0,5$ MPa. Určili sa parametre efektívnej šmykovej pevnosti, a to vrcholová šmyková pevnosť charakterizovaná uhlom pevnosti v šmyku ϕ_v' a súdržnosť c' , reziduálna šmyková pevnosť vyjadrená reziduálnym uhlom ϕ_r' a reziduálnou súdržnosťou c_r' . Reziduálna šmyková pevnosť sa zisťovala reverzibilnou metódou v čelustovom šmykovom prístroji. Na obr. 4 sú medzné čiary vrcholovej a reziduálnej pevnosti. Charakterizuje ich rovnica $\tau_v = c' + \sigma' \cdot \operatorname{tg} \phi_v'$, resp. $\tau_r = c_r' + \sigma' \cdot \operatorname{tg} \phi_r'$.

Vrcholová šmyková pevnosť zemín sa aktivizuje pri malých šmykových pretvoreniach zemín a charakterizuje vnútorný odpor zemín nenarušených svahovými pohybmi. Na obr. 5 je závislosť vrcholového uhla pevnosti v šmyku od vlhkosti zeminy a jej plastických vlastností vyjadrených hodnotou I_p . Reziduálna šmyková pevnosť zodpovedá vnútornému odporu súdržných zemín porušených svahovými pohybmi, kde došlo k značným šmykovým deformáciám zemín po vytvorenej šmykovej ploche.



Obr. 4. Šmyková pevnosť súdržných zemín — konsolidované odvodnené skúšky zemín, σ = normálové napätie, τ = tangenciálne napätie

Fig. 4. Shear strength of the cohesive soils — consolidated drained tests, σ = normal stress, τ = tangential stress

Obr. 5. Vplyv vlhkosti w_k na uhol šmykovej pevnosti φ_v Fig. 5. Influence of the water content w_k on the shear strength angle φ_v 

Na obr. 6 je naznačená závislosť reziduálneho uhla φ'_r od obsahu ílovitých zŕn a od plastických vlastností zemín vyjadrených hodnotou I_p .

Na zistenie celkovej šmykovej pevnosti zeminy pri rýchlom priťažovaní (proces priťažovania zeminy prebieha rýchlejšie ako jej konsolidácia) sa vykonali triaxiálne nekonsolidované neodvodnené skúšky súdržných zemín. Dosiahnuté parametre totálnej šmykovej pevnosti — totálny uhol pevnosti v šmyku φ_u a totálna

súdržnosť c_n — ovplyvňuje granulometrické zloženie zeminy, jej plastické vlastnosti a fyzikálny stav, ktorý sa najčastejšie vyjadruje číslom konzistencie I_c . Výsledky šmykovej pevnosti súdržných zemín prevažne pevnej konzistencie stručne hodnotí tab. 2.

Deformačné charakteristiky súdržných zemín sa určovali oedometrickými skúškami stlačiteľnosti. Počiatočný zafažovací stupeň sa rovnal veľkosti geostatického tlaku pôsobiaceho na vzorku zeminy v da-

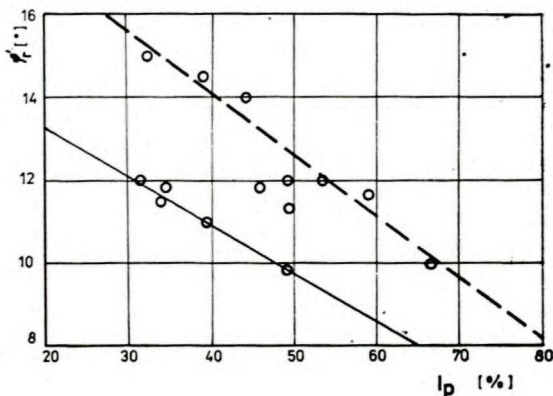
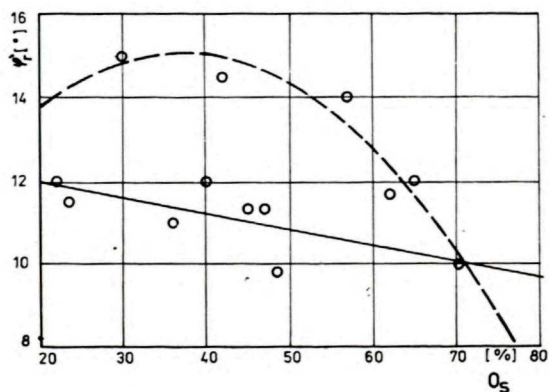
Obr. 6. Vplyv obsahu ílovitých zŕn a indexu plasticity od hodnoty φ_r . O_s — obsah ílovitých zŕn < 0,002 mm, I_p — index plasticity, φ_r' — reziduálny uhol šmykovej pevnosti

Fig. 6. Influence of the clay fraction content and the plasticity index on values φ_r . O_s — clay particles content 0,002 mm, I_p — index of plasticity, φ_r' — angle of the residual shear strength

Parametre šmykovej pevnosti súdržných zemín
Parameters of the shear strength of the cohesive soils

Tab. 2

	Typ zeminy	íly, ílovité hliny	ílovito-piesčité hliny piesčité hliny
efektívne parametre pevnosti	vrcholový uhol pevnosti v šmyku φ'_V	21° 30' – 15° 40'	26° – 21° 30'
	vrcholová súdržnosť c' [MPa]	0,03 – 0,01	0,035 – 0,01
	reziduálny uhol pevnosti v šmyku φ'_r	12° – 9°	15° – 12°
	reziduálna súdržnosť c'_r [MPa]	0,0	0,05 – 0,0
totálne parametre	totálny uhol pevnosti v šmyku φ_u	0°	12° – 6° 30'
	totálna súdržnosť c_u [MPa]	0,19 – 0,10	0,17 – 0,07

nej hĺbke. Určené oedometrické moduly stlačiteľnosti M_0 závisia od typu zeminy a jej fyzikálneho stavu, ako aj od úrovne normálových napätí σ . Priemerné hodnoty M_0 súdržných zemín pevnej konzistencie neporušených svahovými pohybmi uvádza tab. 3.

Vzorky zeminy odobraté z prehnetených zón vykazovali vyššiu stlačiteľnosť. Prejavilo sa to v poklese hodnôt $M_0 = 5,8$ až 10,8 MPa pri zvislom napätí σ v intervale prifaženia 0,40 až 0,80 MPa. Pri určovaní fyzikálnych vlastností zemín po skúške sa vo vzorkách identifikovali lesklé šmykové zrkadlá s rozličnou orientáciou šmykových plôch. Hodnoty mechanických vlastností súdržných zemín závislé od ich fyzikálnych a opisných vlastností sú v literatúre (Menzelová in Otepka et al., 1983).

Piesčité zeminy. Ide prevažne o jemnozrnný a strednozrnný hlinitý až ílovitý piesok s premenlivým obsahom ílovitých a prachovitých zŕn 10–45 % (zrná $\varnothing < 0,063$ mm). Polohy čistého piesku sú

ojedinelé. Ide o vrstvy malej mocnosti, často s prímiesou obliakov štrku. Obalové krivky zrnitosti piesčitých zemín uvádza obr. 2. Piesčité zeminy sú nositeľmi podzemnej vody pochádzajúcej zo zrážok. Z hlinitého piesku so zvýšeným obsahom prachových zŕn sa nám podarilo odobrať čiastočne neporušené vzorky a z nich sme určili základné fyzikálno-mechanické vlastnosti zemín.

Šmykovú pevnosť hlinitého piesku sme určovali jednak z odobratých neporušených vzoriek, ktoré sme v čelustvom šmykovom prístroji dohutnili tlakom rovnajúcim sa geostatickému tlaku. Ďalej sme z odobratých porušených vzoriek hlinitého piesku nahutnili vzorky priamo do šmykového čelustového prístroja na objemovú hmotnosť piesku získanú odbernými valcami v teréne. Určovali sme parametre šmykovej pevnosti zahlineného piesku pri prirodzenej vlhkosti a pri jeho nasýtení vodou.

Podľa výsledkov laboratórnych skúšok a ČSN 731001 uvažujeme nasledujúce hodnoty fyzikálno-mechanických vlastností prirodzene vlhkého zahlineného piesku: objemová tiaž γ [kNm^{-3}] : 17,20—17,60, efektívny uhol vnútorného trenia φ' : 28°—30°, efektívna súdržnosť c' [MPa] : 0,0, modul pretvárnosti E_0 [MPa] : 8,0—15,0, koeficient filtrácie k_f [ms^{-1}] : $5 \cdot 10^{-5}$.

Piesok pod hladinou podzemnej vody, t. j. nasýtený vodou, vykazuje nižšie hodnoty parametrov šmykovej pevnosti a modulov pretvárnosti, a to uhol vnútorného trenia φ' : 25°—26° a modul pretvárnosti E_0 [MPa] : 5,2—10,0.

Hodnoty parametrov mechanických vlastností zahlineného piesku ovplyvňuje množstvo a typ ílovitej a prachovitej frakcie zŕn.

Charakteristika svahových porúch

Svahové poruchy lemujú západný okraj Zálužianskej pahorkatiny od Hlohovca až po Sereď v súvislom pruhu. Podľa klasifikácie svahových pohybov (Nemčok — Pašek — Rybář, 1974) sme v skúmanom území vyčlenili tieto typy svahových porúch (obr. 1): povrchové plazenie, zosuvy a zemné prúdy, zemné zrútenia.

Povrchové plazenie

Predstavuje pomalý pohyb v povrchových zónach, podmienený najmä litologickým zložením sedimentov a sezónnymi zmenami klimatických činiteľov. Postihuje prevažne pokryvné útvary a vrchné časti pliocénnych sedimentov do maximálnej hĺbky 3—4 m. Morfológicky sa prejavuje nepravidelným zvlnením terénu bez otvorených trhlin. Vyskytuje sa iba lokálne, najmä v strednej, menej často v hornej časti svahu.

Zosuvy a zemné prúdy

Sú v celom záujmovom území a majú plošné, prúdové aj frontálne tvary. V zmysle použitej klasifikácie (Nemčok — Pašek — Rybář, 1974) ich hodnotíme ako prirodzené recentné periodické zosuvy s retrográdnym postupom. Podľa aktivity a morfológických znakov sme vyčlenili tri generácie zosuvov.

I. generáciu predstavujú najstaršie zosuvné poruchy. Sú takmer v celom území. Viazu sa na vyššiu eróznú bázu a vyvinuli sa už do záverečného štádia, keď sa svah vo vzťahu k pôdnej eróznej báze stabilizoval. Morfológické tvary zosuvov sú zastreté a

Oedometrické moduly pretvárnosti ílovitých zemín
Oedometric deformation modulus of the clayey soils

Tab. 3

Typ zeminy	Interval zvislého napätia σ' [MPa]	Oedometrický modul pretvárnosti M_0 [MPa]
vysokoplastické ílovité hliny	0,05 - 0,30	8,30 - 11,80
íly	0,40 - 0,60	13,00 - 14,50
ílovito piesčité hliny	0,30 - 0,60	14,70 - 20,00
piesčité íly s obsahom konkrécií CaCO_3	0,60 - 0,80	17,90 - 25,40

nevýrazné. Ich terajší povrch má priemer-
ný sklon 8°. Zosuvmi I. generácie sú po-
stihnuté aj hlbšie časti pliocénnych sedi-
mentov a zasahujú do väčšej ako 30 m
hlbky (Otepka et al., 1983). Svahové po-
hyby sa prejavujú vznikom rozsiahlych
šmykových zón mocných niekoľko m. Zo-
suvy tejto generácie sú stabilizované. Geo-
detické merania pri nich nezistili nijaký
svahový pohyb, resp. zaregistrovali len
pohyb v rámci chýb merania (do 9 mm;
Abelovič in Otepka et al., 1983).

Zosuvy druhej generácie predstavujú
oživenie zosuvnej činnosti na svahoch
porušených zosuvmi prvej generácie. Sú
v pokročilom až záverečnom štádiu vývo-
ja. Reliéf zosuvov čiastočne zotrela agro-
technická činnosť, odlučné hrany premo-
delovala ronová činnosť a zosuvy sú málo
výrazné. Hĺbka zosuvov druhej generácie
zasahuje maximálne do 20 m. Pohyby sa
vo väčšine prípadov prejavujú ešte súvis-
lými šmykovými zónami mocnými 1–3 m,
zriedka šmykovými plochami mocnými
0,3–0,5 m. Zosuvy sú aj podľa geodetic-
kých meraní potenciálne až pokojné. Ma-
ximálna veľkosť pohybov zistená v poten-
ciálnych zosuvoch je 26–32 mm za rok
(Abelovič in Otepka et al., 1983).

Tretiu generáciu tvoria zosuvy viažúce
sa na dnešnú úroveň eróznej bázy. Sú to
aktívne až potenciálne prirodzené recent-
né periodické zosuvy v počiatočnom až
pokročilom štádiu vývoja. Regresívne sa
rozširujú smerom do svahu. Morfologicky
sú zreteľne ohraničené. Výrazné sú najmä
odlučné hrany (foto 6), akumulčné valy
a pri prúdových zosuvoch aj transportačné
časti (foto 7). Odlučné hrany sú strmé až
zvislé a často vytvárajú aj niekoľko stup-
ňov nad sebou (foto 8). Ich výška kolíše
od 2 do 20 m. Zosuvy tretej generácie sia-
hajú prevažne do hĺbky 10–15 m, ale
časté sú aj šmykové plochy v hĺbke
20–30 m. Hlboké šmykové plochy sa ove-
rili aj geoakustickými meraniami (Bláha



Foto 6. Výrazné odlučné hrany zosuvov tretej
generácie južne od Hlohovca
Photo 6. Expressive parting edges of third
generation slides to the south of Hlohovec

in Otepka et al., 1983). Šmykové plochy sú
rotačné, rotačno-planárne alebo kombino-
vané. Sústreďujú sa do úzkych polôh moc-
ných 0,30–0,60 m a iba zriedka sa vysky-
tujú šmykové zóny mocné 1–2 m.

Charakteristickou formou zosuvov sú
zosuvy „blokového“ tvaru. Sú takmer
v celom území. Vytvárajú typický stupňo-
vitý reliéf s výškou stupňov 5–10 m,
lokálne až 15–20 m. Najväčší rozsah majú
v severnej časti územia medzi Hlohovcom



Foto 7. Aktívny prúdový zosuv so zreteľnou
transportačnou časťou a akumulčnými valmi
Photo 7. Active stream slide with evident
transportation part and accumulation ramps

a Bojničkami a v strednej časti medzi Posádkou a Vinohradmi nad Váhom.

V zosuvoch tretej generácie možno rozlíšiť niekoľko stupňov vývoja. Kým akumulačné časti prvého stupňa sú už relatívne stabilné, horný stupeň je aktívny a zosuvy sa regresívne rozširujú do svahu.

Zemné zrútenia

Sú typicky vyvinuté v južnej časti územia v okolí Šintavy v nárazovom brehu Váhu. Vytvárajú kolmé steny vysoké 8—12 m, ktoré pod vplyvom bočnej erózie Váhu opadávajú a postupne sa rozširujú (foto 9). Kombinujú sa so zosuvmi „blokového“ tvaru menších rozmerov. Brehová čiara tu ustupuje rýchlosťou 1—2 m za rok (Otepka et al., 1983).

Geotechnické zhodnotenie územia a posúdenie stability svahov

Celé zosuvné územie od Hlohovca po Sereď sa rozdeľuje na menšie úseky, charakterizované geologickými priečnymi profilami I — XXII (obr. 1). Z hľadiska morfo-

lógie svahu a aktivity zosuvných procesov ich možno rozdeliť na tri základné typy.

Predpoklady a vstupné parametre výpočtov stability svahov

Pri posudzovaní stability svahov sledovaného územia sme prijali nasledujúce východiská:

1. Ide o svahové pohyby po plochách predurčených geologickými podmienkami.

2. Tvar šmykovej plochy — polygónová šmyková plocha premenlivej krivosti — je určený výskytom zmäkčených súdržných zemín na styku so zvodnenými piesčitými polohami, zistenou úrovňou hladiny podzemnej vody a výskytom polôh prehnetých vysokoplastických súdržných zemín.

3. Stabilita svahov bola vypočítaná klasickou prúžkovou metódou podľa Pettersona (Jesenák, 1979) a zovšeobecnenou prúžkovou metódou podľa N. Janbua (1973). Výpočet stupňa stability F podrobne opisuje literatúra (Janbu, 1973; Jesenák 1979).

4. Do výpočtu vnútorných síl odporu zeminy proti ušmyknutiu pôsobiace na



Foto 8. Stupňovité odlučné hrany aktívnych zosuvov tretej generácie južne od Hlohovca
Photo 8. Stepped parting edges of active slides of third generation south of Hlohovec



Foto 9. Aktívne zemné zrútenia v nárazovom brehu Váhu severne od Šintavy
Photo 9. Active earth collapse in concave bank of Váh river north of Šintava

šmykovej ploche zavádzame nasledujúce parametre šmykovej pevnosti vysokoplastických súdržných zemín:

— Vo svahoch s výraznou odlučnou oblasťou zosuvu tvorenou strmými stenami, kde nastal presun zeminy po šmykovej ploche, charakterizujeme vnútorný odpor zeminy reziduálnou šmykovou pevnosťou s parametrami φ_r' , c_r' pôsobiacimi po celej dĺžke šmykovej plochy. Ide o dočasne pokojné zosuvy po uvažovaných šmykových plochách. Ich aktivizácia závisí od zmeny pôsobenia faktorov vyvolávajúcich zosuv, hlavne od kolísania hladiny podzemnej vody.

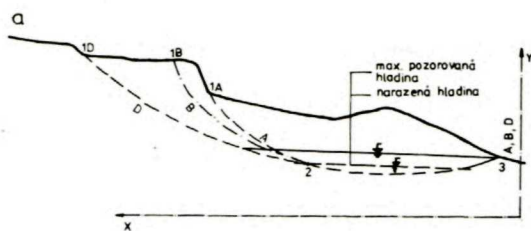
— Pri šmykových plochách zosuvov prebiehajúcich v súčasnosti, resp. prognózach nasledujúcich deformácií svahov, kde sú pozdĺžne trhliny a deformácie vznikajúce v odlučnej oblasti malých rozsahov, v časti aktívnej zóny uvažujeme pôsobenie vnútorného odporu zemín charakterizovaného hodnotami parametrov vrcholovej šmykovej pevnosti φ_v' , c' .

5. Pre veľkú vzdialenosť medzi prieskumnými sondami (150—200 m) je ťažké diferencovane určovať hodnotu φ_r' , c_r' súdržných zemín pôsobiacich na jednotlivých úsekoch šmykovej plochy. Preto sa výpočet stability svahu vykonal formou parametrickej štúdie. Predpokladáme, že šmyková plocha v súdržných zeminách rovnakého typu prebieha po celej dĺžke. Pri alternatívnom riešení stability svahu postupne dosadzujeme priemerné hodnoty parametrov reziduálnej šmykovej pevnosti $\varphi_r' = 11,5^\circ$, $c_r' = 0$ až po hodnoty max. $\varphi_r' = 14^\circ$, $c_r' = 0,5$ kPa a priemerné hodnoty parametrov vrcholovej šmykovej pevnosti $\varphi_v' = 21^\circ$, $c' = 20$ kPa po hodnoty min. $\varphi_v' = 16^\circ$ min, $c' = 10$ kPa podľa zásad uvedených v bode 4. Takto vypočítané stupne stability svahu pre jednotlivé šmykové plochy predstavujú uzavretý interval a skutočný stupeň stability F sa pohybuje medzi týmito hodnotami.

6. Úroveň hladiny podzemnej vody sa v geologických profiloch uvažuje v stabilných výpočtoch ako stav, ktorý bol v čase vykonávania terénnych vrtných prác charakteristický narazenou a ustálenou hladinou podzemnej vody, a stav, ktorý simuluje maximálnu hladinu podzemnej vody pod terénom určený na základe porovnania kolísania hladín podzemnej vody v jednotlivých prieskumných sondách.

Posudzovanie stability svahov

Stabilitu svahov sme hodnotili vo VÚIS Bratislava podľa programu STABIL (prevzatého z Katedry gotechniky SVŠT) na minipočítači PDP-8, ktorý obsahuje obidve prúžkové výpočtové metódy stability svahov s polygónovými šmykovými plochami premenlivej krivosti. Program STABIL používa postup GPS (Generalized Producers of Slices), ktorý publikoval N. Janbu roku 1973, a program STABILITA SVAHU podľa Staněka (1977). Vstupné údaje programu definujú geometriu povrchu svahu šmykovej plochy, hladiny podzemnej vody a fyzikálno-mechanické charakteristiky zemín v jednotlivých úsekoch polygónovej šmykovej plochy. Výsledkom výpočtu stability svahov sú vnútorné normálové a tangenciálne sily (resp. aj medziprúžkové sily pri metóde podľa N. Janbua) pôsobiace v úsekoch šmykovej plochy a vypočítaný stupeň stability svahu F. Na obr. 7 je príklad vstupných údajov na výpočet stability svahu v profile II—II' pre šmykové plochy A, B a D. Geometria povrchu svahu, šmykovej plochy a hladiny podzemnej vody je definovaná x, y — súradnicami zvolených bodov. Na obr. 8 sú vypočítané stupne stability svahu v závislosti od zvolených vstupných údajov. Premenným prvkom je úroveň hladiny podzemnej vody a parametre šmykovej pevnosti súdržných zemín. Na obr. 9 sú graficky zná-



ŠMYKOVÁ PLOCHA		PARAMETRE ZEMÍN			
znak	úsek	užka úseku [%a]	uhol pevnosti v šmyku [°]	súdržnosť c' [kPa]	objemová tiaž [kNm ³]
A	1A-3	100	$\varphi_r = 14$	$0 \leq c_r \leq 10$	20,5
B	1B-2	30	$\varphi_v = 21$	$c' = 20$	20,6
	2-3	70	$11,5 \leq \varphi_r \leq 14$	$0 \leq c_r \leq 5$	
D	1D-2	63	$\varphi_v = 21$	$c' = 20$	20,6
	2-3	47	$\varphi_r = 11,5$	$c_r = 0$	

Obr. 7. Vstupné údaje pre stabilitné výpočty — geologický profil II—II'. a — schematický náčrt profilu, b — tabuľka vstupných parametrov zemín

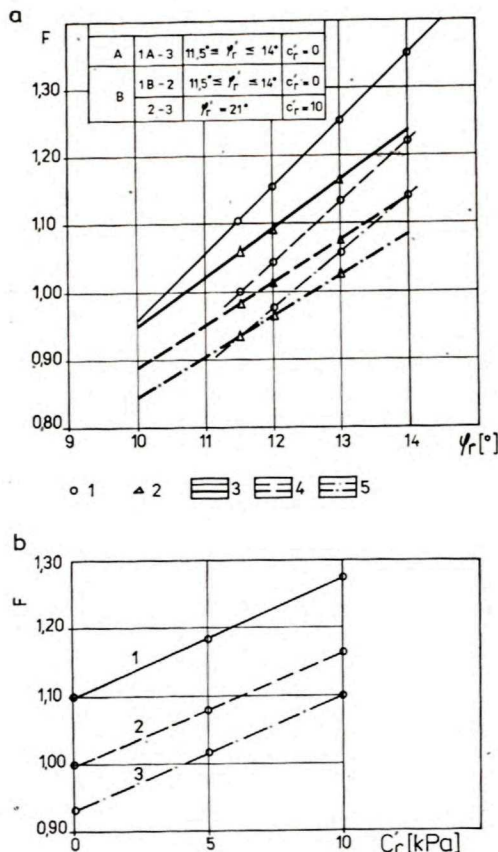
Fig. 7. Input data for the stability calculations — geological profile II—II'. a — schematic outline of the profile, b — table of the input parameters of soils

zornené výsledky stabilitných výpočtov pre šmykovú plochu A a B a uvedená závislosť vypočítaného stupňa stability F od parametrov šmykovej pevnosti φ_r , c_r pri jednotlivých uvažovaných hladinách podzemnej vody. Ako vychodí z uvedených výsledkov, úroveň hladiny podzemnej vody má na stabilitu svahu značný vplyv. Hodnoty $F < 1,0$ dokumentujú, že v relatívne stabilnom svahu sa pri zvýšení hladiny podzemnej vody aktivizujú svahové pohyby. Prognózu vývoja svahových porúch vyjadrenú hodnotami F pri uvažovaných šmykových plochách v profile II—II' naznačuje obr. 10. Do výpočtu sme zaviedli priemerné hodnoty parametrov šmykovej pevnosti súdržných zemín. Takýmto spôsobom sa zhodnotili všetky vybrané geologické profily zastupujúce tri

typy svahových porúch územia. Ďalej sa v profile IV—IV' na šmykovej ploche B simulovali vplyvy vyčerpávania šmykovej pevnosti na hodnoty stupňa stability svahu F . Výsledky výpočtov sú na obr. 11. Šmyková plocha B sa skladá z úseku 1B-2, pri ktorom je vnútorný odpor zeminy vyjadrený parametrami vrcholovej šmykovej pevnosti φ_v , c' , a úseku 2-3B, v ktorom po ploche pôsobí reziduálna šmyková pevnosť zemín. Vyčerpávaním šmykovej pevnosti v úseku 1B-2 z priemerných hodnôt φ_v , c' cez hodnoty min. φ_v min. c' na hodnoty φ_r a c_r klesá stupeň stability F pri jednotlivých uvažovaných úrovniach hladiny podzemnej vody tak, ako uvádza obr. 11. Pri uvažovaní stavu s ustálenou hladinou

ŠMYKOVÁ PLOCHA	HLADINA PODZEMNEJ VODY	DĹŽKA ŠMYK. PLOCHY PRE UVED. ÚSTUP.	VSTUPNÉ ÚDAJE			STUPEŇ STABILITY		F AK SVAH JE BEZ PODZ. VODY
			UHUL [°]	SÚDRŽNOSŤ c' [kPa]	OBJEM. TIAŽ γ [kN/m ³]	PRE PODMIENKY V BODE 2		
						podľa Petersona	podľa Janbuja	
A	narazená H _{5,7} = 11 15,7-12 m n.m.	100%	11,5	20,5	20,6	0,997	8	1,106
			12,0	20,5	20,6	1,042		1,155
			13,0	20,5	20,6	1,132		1,256
			14,0	20,5	20,6	1,222		1,356
			15,5	20,5	20,6	1,083		1,193
			16,5	20,5	20,6	1,169		1,279
A	max. pozorová- ná: H _{5,7} = 11 16,62 m n.m.	100%	11,5	20,5	20,6	0,932		
			12,0	20,5	20,6	0,974		
			13,0	20,5	20,6	1,058		
			14,0	20,5	20,6	1,142		
			15,5	20,5	20,6	1,018		
			16,5	20,5	20,6	1,104		
B	narazená hladina	30/26%	21,0	20,6	20,6			1,058
		69/72%	11,5	20,6	20,6	0,979		
		30/26%	21,0	20,6	20,6	1,010		1,093
		69/72%	12,0	20,6	20,6			
		30/26%	21,0	20,6	20,6	1,074		1,164
		69/72%	12,0	20,6	20,6			
B	max. pozorovaná hladina	30/26%	21,0	20,6	20,6	0,934		1,058
		69/72%	11,5	20,6	20,6			
		30/26%	21,0	20,6	20,6	0,984		1,093
		69/72%	12,0	20,6	20,6			
		30/26%	21,0	20,6	20,6	1,023		1,164
		69/72%	13,0	20,6	20,6			
D	narazená hladina	52/85%	21,0	20,6	20,6	1,161	1,180	1,202
		47/15%	11,5	20,6	20,6			
		52/85%	21,0	20,6	20,6	1,184	1,20	1,226
		47/15%	11,5	20,6	20,6			
D	max. po- zorovaná hladina	52/85%	21,0	20,6	20,6	1,133	1,150	1,202
		47/15%	11,5	20,6	20,6			
		52/85%	21,0	20,6	20,6	1,156	1,170	1,226
		47/15%	11,5	20,6	20,6			

Obr. 8. Výsledky stabilitných výpočtov v profile II—II'.
Fig. 8. Results of the stability analysis for the profile II—II'

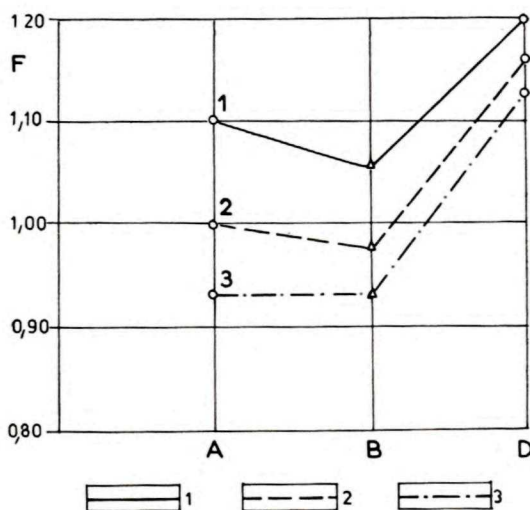


Obr. 9. Vplyv parametrov šmykovej pevnosti zemín na hodnotu stupňa stability F v profile II—II'. a — vplyv uhla šmykovej pevnosti φ_r na hodnoty F , 1 — šmyková plocha A, 2 — šmyková plocha B, 3 — svah bez vody, 4 — svah s narezanou hladinou vody, 5 — svah s maximálnou hladinou vody, b — vplyv súdržnosti c_r na hodnoty F pre šmykovú plochu A, 1 — svah bez vody, 2 — svah s narezanou hladinou vody, 3 — svah s maximálnou hladinou vody

Fig. 9. Influence of the shear strength parameters on the value of the factor of safety F for the profile II—II'. a — influence of the shear strength angle φ_r on the values F , 1 — slip surface A, 2 — slip surface B, 3 — dry slope (no water), 4 — slope with pierced ground water level, 5 — slope with maximum observed ground water level; b — influence of the cohesion c_r on the values F for shear surface A, 1 — slope with no water, 2 — slope with pierced ground water level, 3 — slope with maximum observed ground water level

je svah aj pri poklese šmykovej pevnosti z hodnôt φ_v , c' na hodnoty φ_r , c_r relatívne stabilný — je v stave medznej rovnováhy. Pri zvýšení hladiny podzemnej vody klesá stupeň stability F pod medznú hodnotu, a tak nastáva deformácia svahu po ploche B. Obr. 12 zachytáva vývoj svahových porúch v profile XI—XI', pri ktorých sú charakteristické viaceré vývojové štádiá, a to šmyková plocha A až F. Sú na ňom uvedené vypočítané stupne stability svahu F v závislosti od zvolených vstupných údajov.

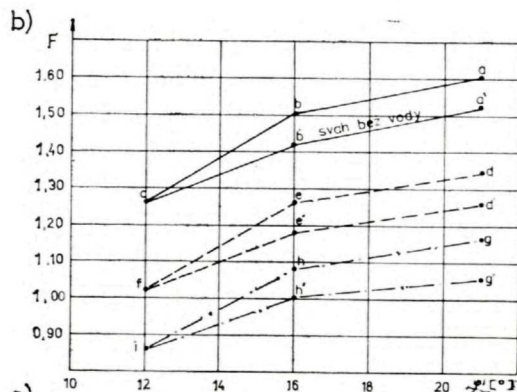
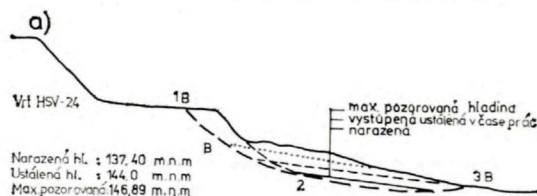
Na základe výpočtov stability možno vyčleniť oblasti s relatívne stabilnými svahmi



Obr. 10. Vývoj svahových porúch a stupňa stability F v profile II—II'. 1 — svah bez vody, 2 — svah s narezanou hladinou vody, 3 — svah s maximálnou hladinou vody, F — stupeň stability, A, B, D — šmykové plochy; poznámka: Výpočet F je vykonaný pre parametre $\varphi_v = 21^\circ$, $c' = 20$ kPa, $\varphi_r = 11.5^\circ$, $c_r = 0$, $\gamma = 20.6$ kNm $^{-3}$

Fig. 10. Development of the slope failures and the factor of safety F in the profile II—II'. 1 — slope with no water, 2 — slope with pierced ground water level, 3 — slope with maximum observed ground water level, F — factor of safety, A, B, D — slip surface. Remark: Calculation of F is done for the parameters $\varphi_v = 21^\circ$, $c' = 20$ kPa, $\varphi_r = 11.5^\circ$, $c_r = 0$, $\gamma = 20.6$ kNm $^{-3}$

a oblasti živých, aktívnych zosuvov. Pre najstabilnejšie svahy je charakteristický stupňovitý reliéf, akým je napr. profil XI—XI' na obr. 12. Najaktívnejšie zosuvy majú slabo vyvinutú akumuláciu, resp. akumulčný val tvoria strmé steny (obr. 13), čo v mnohých prípadoch spôsobuje bočná erózia Váhu. Vypočítané stupne stability svahu F pri tomto type, nezávislé od úrovne hladiny podzemnej vody, sú $F < 1,0$. Podzemná voda je jedným z hlavných činiteľov vyvolávajúcich svahové pohyby. Vypočítané stupne stabi-



c)

hladina	OZNAČENIE BODU NA GRAFE	ÚSEK ŠMYKOVEJ PLOCHY	VSTUPNÉ ÚDAJE			F
			φ [°]	c [kPa]	p [kN/m²]	PETTERSON
ustálená	d	1B - 2	21,0	20,0	0	1,345
	d'	2 - 3	11,5	0	20,6	1,260
	e	1B - 2	21,0	10,0	0	1,261
	e'	2 - 3	11,5	0	20,6	1,177
	f	1B - 3	11,5	0	20,6	1,021
	g	1B - 2	21,0	20,0	0	1,162
max. pozorovaná	g'	2 - 3	11,5	0	20,6	1,078
	h	1B - 2	21,0	10,0	0	1,089
	h'	2 - 3	11,5	0	20,6	1,004
	i	1B - 3	11,5	0	20,6	0,857

lity svahov F dokazujú, že stúpanie hladiny podzemnej vody aktivizuje aj dočasné pokojné zosuvy. Kolísanie hladiny podzemnej vody (v priemere 3—5 m — rozdiel medzi maximálnou pozorovanou a narazenou hladinou) sa prejavilo poklesom stupňa stability $\Delta F = 0,05—0,23$.

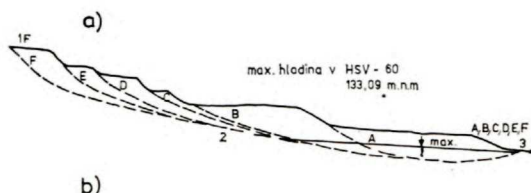
Po vybudovaní vodného diela Veľká Sereď, s maximálnou hladinou v nádrži na kóte 141,50 m n. m., možno očakávať zvýšenie hladiny podzemnej vody vo svahoch. Tento stav sa vzal do úvahy vo výpočtoch stability vo vybranom profile VI a XV, kde sa zásluhou zvýšenia hladiny podzemnej vody prejavil pokles stupňa stability F o hodnotu $\Delta F = 0,15—0,32$. Tým sa zaktivizujú aj oblasti relatívne stabilných svahov. Z hľadiska vplyvu vodného diela na stabilitu svahov územia, a tým aj z ekonomického hľadiska, sa javí ako výhodná kanálová alternatíva s nádržou Zelenice s vodným stupňom Sereď. Vytvorením ľavobrežnej hrádze pozdĺž nádrže sa vylúči negatívny vplyv vodného diela na okolité svahy.

Sanačné opatrenia

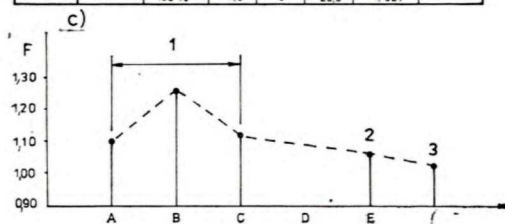
Úlohou sanácie je vylúčiť zosuvnú činnosť, a teda vyvolať zmenu podmienok pôsobenia faktorov vyvolávajúcich svahové

Obr. 11. Vplyv poklesu šmykovej pevnosti na hodnoty stupňa stability F na šmykovej ploche B v profile IV—IV'. a — schematický náčrt profilu b — závislosť hodnôt F od parametrov šmykovej pevnosti; poznámka: úsek 1B-2 je 23,9 % z dĺžky šmykovej plochy, úsek 2-3B je 76,1 % z dĺžky šmykovej plochy, c — výsledky stabilitných výpočtov v profile IV—IV' — šmyková plocha B

Fig. 11. Influence of the shear strength decrease on the values of the factor of safety F for the slip surface B in the profile IV—IV'. a — schematic outline of the profile, b — dependence of the values F on the parameters of shear strength. Remark: section 1B-2 is 23,9 % of the slip surface length, section 2-3B is 76,1 % of the slip surface length, c — results of the stability calculations for the profile IV—IV'

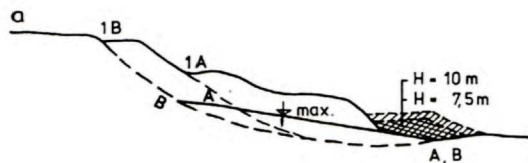


ŠMÝKOVÁ PLOCHA	HLADINA PODZEMNEJ VODY	Dĺžka šmykovej plochy	VSTUPNÉ ÚDAJE			STUPEŇ STABILITY F	
			φ [°]	c' [kPa]	τ [kN/m]	PODĽA PETERSSONA	PODĽA JANBU
A	max. pozorovaná	100 %	11,5	0	20,6	1,10	1,16
			11,5	5,0	20,6	1,25	1,25
B	max. pozorovaná	100 %	11,5	0	20,6	1,206	
			11,5	5,0	20,6	1,306	
C	max. pozorovaná	100 %	11,5	0	20,6	1,121	1,14
			11,5	5,0	20,6	1,210	1,23
E	max. pozorovaná	100 %	11,5	0	20,6	1,43	1,17
			11,5	5,0	20,6	1,064	1,09
F	max. pozorovaná	100 %	11,5	0	20,6	1,187	
			31,35 %	21,0	20,0		
F	max. pozorovaná	100 %	68,65 %	11,5	0	20,6	1,586
							1,027



Obr. 12. Vývoj svahových porúch v profile XI—XI'. a — schematický náčrt profilu, b — výsledky stabilitných výpočtov, c — grafické znázornenie vývoja stupňa stability F na jednotlivých šmykových plochách; 1 — I. a II. etapa svahových pohybov, 2 — III. etapa v súčasnosti prebiehajúcich zosuvov, 3 — prognóza vzniku nových šmykových plôch
Fig. 12. Development of slope failures in the profile XI—XI'. a — schematic outline of the profile, b — results of the stability calculations, c — graphical depiction of the development of the factor of safety for individual slip surfaces. 1 — first and second stages of the slope failures, 2 — third stage of the presently active slope movements, 3 — expected development of the new slip surfaces

vé pohyby. Aktivne činitele zosuvu možno obmedziť znížením negatívneho účinku podzemnej vody, úpravou svahu znížiť hmotnosť zeminy v aktívnej zóne zosuvu alebo zvýšiť účinnosť pasívnych síl priťažovaním päty svahov. Pretože zásobu pod-



šmyková plocha	hladina podzemnej vody	dĺžka šmykovej plochy	vstupné údaje			stupeň stability F podľa Pettersona		výška prísypu H [m]
			φ [°]	c' [kPa]	τ [kN/m]	súčasný stav svah. vody	sanačný prísyp bez vody	
A	max. pozorovaná	100%	14,0	0,0	20,6	0,85	1,05	1,08
								1,30
B	max. pozorovaná	100%	14,0	0,0	20,6	0,90	1,11	1,20
								1,43
								1,10
								1,28
								1,23
								1,42
								7,5
								10,0

Obr. 13. Výsledky výpočtov stability svahu v profile VII—VII' s uvažovaním sanačných prísypov
Fig. 13. Results of the slope safety factor analysis for the profile VII—VII' considering the stabilizing berms

zemnej vody výrazne dotujú zrážky, povrchovou úpravou terénu a povrchovým odvodnením treba vodu zo svahu rýchlo stiahnuť. Povrchová úprava terénu spočíva v zaplnení trhlín v odlučnej oblasti, erózných rýh, vo vyplnení depresí a úprave povrchu akumulačných valov. Rozsah plošnej a hĺbkovej erózie svahov možno znížiť vhodnou vegetáciou. Negatívny účinok podzemnej vody sa dá obmedziť odvodnením svahu horizontálnymi odvodňovacími vrtmi. Zosuvy s málo vyvinutou akumulačnou oblasťou a so strmými stenami akumulačného valu treba zabezpečiť priťažovací násypom v päte svahu. Účinok takéhoto sanačného prvku sa overil v geologickom profile VII—VII' (obr. 13). Vo výpočte sa uvažovali dve alternatívne riešenia v závislosti od výšky prísypu, a to $h = 7,5$ a 10 m. Účinok zvýšenia pasívnych síl sa prejavil rastom stupňa stability $\Delta F = 0,12—0,20$ pri výške prísypu $h = 7,5$ m a $\Delta F = 0,2—0,30$ pri výške $h = 10$ m pri uvažovaných šmykových plochách A, B (obr. 13).

Ďalším možným sanačným prvkom je úprava svahu v odlučnej oblasti zosuvov, ale je veľkým zásahom do svahu. Úpravou nemožno vytvárať vysoké stupne, a tak úpravy zasahujú ďaleko do svahu a zemné práce majú značný rozsah. Účinok tohto sanačného prvku treba ešte overiť.

Recenzoval J. Malgot

LITERATÚRA

- Adam, Z. — Dlabač, M. 1961: Nové poznatky o tektonice československé časti Malé dunajské nížiny. *Věst. Ústř. úst. geol.*, 36, 3.
- Broďani, V. 1956: Prieskum geomorfologický, geologický, pôdomechanický, ako aj prieskum podzemných a povrchových vôd na vodnom diele Hlohovec — Šaľa. *Manuskript — Geofond Bratislava*. 79 s.
- Buroš, J. 1966: Inžinierskogeologický prieskum — zosuv pôdy Vinohrady nad Váhom. *Manuskript — IGHP Bratislava*. 12 s.
- Groma, B. et al. 1959: Vodné dielo Zelenice, GP Žilina. *Manuskript — Geofond Bratislava*. 87 s.
- Janbu, N. 1973: Slope Stability computations in Embankment engineering. *New York, John Wiley and Sons*, pp. 47—86.
- Jesenák, J. 1979: Mechanika zemín. *Bratislava, SVŠT*, 419 s.
- Klimatické a fenologické pomery Západoslovenského kraja. 1968. *Bratislava, HMÚ*, 335 s.
- Košťálik, J. 1965: Príspevok ku štúdiu erózie pôd v katastrálnom území Bojničky a Dvorníky. *Geograf. čas.*, 4, s. 301—318.
- Leško, B. — Tichý, S. 1963: Inžiniersko-geologický prieskum ľavobrevia Váhu medzi Hlohovcom a Sereďou. *Manuskript — Geofond Bratislava*. 56 s.
- Lukniš, M. 1951: Zosuvné územie na ľavom brehu Váhu medzi Hlohovcom a Šintavou. *Zemepis. zbor.*, 3, s. 53—87.
- Mach, C. et al. 1960: Komplexný prieskum pre zadávací projekt vodné dielo Hlohovec — Sereď. *Manuskript — Geofond Bratislava*. 47 s.
- Matula, M. — Hrašna, M. 1977: Kvantitatívna klasifikácia hornín na inžiniersko-geologických mapách. [Etapová výskumná správa za roky 1976—1977.] *Manuskript KIG PvF UK Bratislava*.
- Mesko, M. 1983: Formy erózie a jej vplyv na morfológiu svahov západného okraja Nitrianskej pahorkatiny. In: *Súčasný poznatky sledovania a hodnotenia svahových pohybov*, s. 9—13.
- Nemček, A. — Pašek, J. — Rybář, J. 1974: Dělení svahových pohybů. *Sbor. geol. věd, ř. HIG*, 11, s. 77—93.
- Nemček, A. 1977: Geological-tektonical units. On essential condition for genesis and evolution of slope movement. *Eng. Geol. (Krefeld)*, 16, pp. 127—130.
- Otepka, J. et al. 1983: Hlohovec — Sereď, prieskum a sanácia zosuvov. *Manuskript — IGHP Bratislava*, 109 s.
- Vaškovský, I. et al. 1981: Geologicko-tektonická štúdia z územia Trnavskej pahorkatiny a v jej okolí (pre potreby JE v Jaslovských Bohuniciach). *Manuskript — GÚDŠ Bratislava*, 86 s.
- Zachar, D. 1980: Erózia pôdy. *Bratislava, Veda, SAV*. 470 s.
- Záruba, O. — Mencl, V. 1969: Sesuvy a zabezpečování svahů. *Praha, Academia*. 220 s.

Slide slopes in the Hlohovec — Sereď section

JÁN OTEPKA — OLGA MENZELOVÁ — MIROSLAV MESKO

The western border of Nitra hilly country forming left bank slopes of Váh river is affected between Hlohovec and Sereď by extensive slope failures of slide type extending about 15.5 km and covering the area of about 10 km² (Fig. 1).

Slope movements complicate the possibility of Vah water work construction and are also

a serious obstacle even for current utilization of this area. During the years 1978—83 the engineering-geological surveying was carried out with the objective to evaluate the territory in a complex manner both from the viewpoint of the possible construction of water work, and from the viewpoint of total utilization and environmental protection as well.

Conditions for the origin of slope failures

Suitability of terrain for slope failures to develop is formed by natural, i. e. geological-tectonic, hydrogeological, geomorphological and climatic conditions including properties of rocks (Nemčok, 1977).

Geologic-tectonic structure

Sharing on the geological structure of territory are sediments of Pliocene and Quaternary.

Pliocene sediments are developed in the whole territory. They are formed of massive strata of clay and sand with positions and lenses of sandstone, solitarily sandy gravel and/or cobbles.

Clay and sand alternate in various ratio and irregularly both in vertical and horizontal directions thereby forming favourable conditions for slides to develop.

Quaternary sediments are represented by fluvial water sediments of Váh river, aeolian sediments, deluvial and proluvial deposits.

The tectonic character of territory structure is given by depressed tectonics. The main tectonic line is the Váh fault in N—S-direction, separating the Nitra hilly country from Trnava basin (Leško — Tichý, 1963). Oriented perpendicularly or diagonally to this direction are depression faults which are expressive even morphologically, because asymetrically modelled valleys are linked to them.

Hydrological characteristic

In intact territory it is above all Pliocene sand and/or clayey sand that has a hydrological significance. It forms closed positions and lenses, and the ground water that accumulates takes a confined level. Sandy sediments form 2—3 aquiferous (water) horizons one above the other. The source of underground water reserves of Neogene sediments are primarily atmospheric precipitations, particularly, in the area of Nitra hilly country. In the flood plain of Váh river the Neogene strata are completed above all from gravel fluvial sediments.

In Quaternary sediments the underground water accumulates chiefly in gravel-sand sediments of Váh river which are a good collector of underground water. The water has a free surface and is only sporadically under pressure. Underground water is replenished above all through infiltration from Váh river,

in a lesser extent from atmospheric precipitations and water transfer from permeable Neogene strata of Nitra hilly country.

In the faulted parts of territory the continuous circulation of underground water is impaired. Water-bearing horizons are interrupted. Water extends into the lower parts of faulted terrain, waters it, lightens and washes fine particles out. The lower parts of parting walls and accumulations parts of slides are substantially richer in water than stable territory.

Geomorphology

The Nitra hilly country and Váh flood plain form two different morphological wholes.

Of substantial significance for the origin of slope failures is the fact that Nitra hilly country is substantially superelevated against the flood plain of Váh river. In Hlohovec this superelevation reaches 120—150 m, towards the south it decreases, and close to Sintava it is only 15—20 m. Recent movements have a considerable effect on morphologic development of territory. After Marčák (in Vaškovičský et al., 1981) the territory between Hlohovec and Bojničky has the highest gradient of recent movements of depressive character ($\text{grad. } v = 15.10^{-8} \text{ year}^{-1}$).

The slopes of Nitra hilly country are formed of soft, slightly consolidated sediments of Neogene and Quaternary. That is why water erosion and precipitation and river erosion are asserting themselves in an expressive manner (photos 1, 2, 3).

Climatic conditions

Out of climatic factors the most expressive are temperature and precipitation conditions.

Temperature effects manifest themselves chiefly in surface binding soils. These, due to high temperatures during summer months, dry up and shrink, thereby creating conditions for the development of cracks (photo 4) that provide for a rapid infiltration of precipitation waters into the mass of soils resulting in the deterioration of their strength.

The effect of atmospheric precipitations makes itself felt basically in two ways. Summer precipitations are of short term character but are of high intensity and are very erosive. They condition an inclined areal erosion and cause deep erosion runnels (photo 5).

Long term precipitations with lower abundance run partially down the surface but mostly infiltrate into deeper positions causing changes in consistence of soils and reactivation of slides.

Physical-mechanical properties of soils

Territories are built of two basic types of soils — mostly coherent plastic soils and sandy soils. These types of sediments alternate irregularly and form positions of various thickness. Coherent soils are, as dependent on their age, of granulometric composition and have plastic properties. They are divided into five sets (Table 1).

Prevailing are high-plastic clayey soils up to clays with $I_p = 20-70\%$, mostly $30-50\%$. They contain a fair quantity of lime, $4-30\%$ and sandy admixtures, and have mostly a solid consistence; at the contact with water bearing layers take solid consistence, are unstable volumetrically, which is evidenced by volumetric shrinkage $\Delta V = 5-22\%$ and by one-line swelling — mostly $10-25\%$. From the viewpoint of permeability these are evaluated as less permeable with average permeability coefficient $k_f = 1.3 \cdot 10^{-6}$ m/s depending on sandy admixtures.

In determining mechanical properties of soils the main stress used to be placed on the specification of parameters of effective shear strength, namely, the peak and residual strength. The slide strength of soils was determined with the aid of jaw-type slide apparatus. Fig. 4 shows the mentioned lines of peak and residual shear strength determined on the basis of measured values τ_f at the selected vertical stress σ on intact soil samples.

Figs. 5 and 6 show the determined dependences of the angle of internal friction ϕ_v , ϕ_r on plasticity I_p , humidity and content of clay grains. Total parameters of shear strength were determined in triaxial apparatus without consolidation and sample dewatering during the test.

Table 2 indicates the determined parameters of total and effective shear strength of cohesive soils.

The deformation parameters of soils were determined with the aid of oedometric tests of compressibility. The average values of oedometric compressibility moduli M_0 of cohesive soils are given in Table 3.

Sandy soils are represented by fine up to mean-grained sands, mostly by slightly soily up to clayey sands. Sandy soils bear under-

ground water supplied by filtered precipitations. The envelope curves of granularity of sandy soils are shown in Fig. 2. The shear strength of soiled sands was determined partly from intact soil samples that were additionally compacted in the jaw-type shear apparatus by static pressure equalling the geostatic pressure. Then, from disrupted samples of sands, samples were compacted into the apparatus to the volumetric sand pull $17.2-17.6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ and parameters of effective shear strength were determined, while $\phi' = 28^\circ-30^\circ$.

Characteristic of slope movements

According to the classification of slope movements (Nemčok — Pašek — Rybář, 1974) the following types of slope movements were singled out (Fig. 1): surface crawling, slides and earth flows, earth falls.

Surface crawling

Represents a slow movement of surface zones conditioned by lithological composition of sediments and seasonal changes in climatic factors. It reaches up to maximum depth of $3-4 \text{ m}$, occurs only locally, mainly in central and in a lower extent in lower parts of slopes.

Slides and earth flows

They are developed on the whole territory, take an areal, stream and frontal forms. These are natural recent slides, periodic with retrograde progression.

According to activity of morphologic symptoms three generations of slides were singled out.

Ist generation slides represent a reactivation. These are bound to higher erosion basis. They are developed to the conclusive stage when the slope stabilized to the original erosion layer. They reach deeper than 30 m . At the present time they are already stabilized.

IInd generation slides represent a activation of sliding activity on the slopes disrupted by the slides of Ist generation. They are at least in advanced up to final stages of development and reach up to the depths of 20 m max. The slides are potentially almost stabilized. Maximum size of movements determined geodetically in potential slides is $26-32 \text{ mm/year}$.

IIIrd generation is formed of slides bound to the present level of erosion basis, are active or naturally potential in the initial up to advanced stage of development.

Morphologically they are distinctly marked off (photos 6, 7). Jointing edges often form several stages one upon the other (photo 8) 2—20 m high. The slides of third generation reach mostly up to 10—15 m depth. In the slides of third generation several stages of development can be differentiated. While the accumulative parts of the first stage are already relatively stable, the upper stage is active and the slides keep regressively expanding into the slope.

Earth falls

Typically developed in the southern part of territory close to Šintava in concave bank. They form steep walls 8—12 m high that, due to side erosion of Váh river, fall down and keep expanding (photo 9).

Geologic evaluation of territory and stability of slopes

The whole slide territory in the area from Hlohovec to Sereď is divided into certain sections that are characterized by geological transversal profiles I—XXII (Fig. 1). From the viewpoint of slope morphology, way and activity of slide processes, these are divided into three basic types that are represented in selected geological profiles for the purpose of evaluation of stability of slopes of the territory.

In the evaluation of slope stability the following principles were accepted:

- slope movements along surfaces predetermined by geological conditions;

- shape of thrust plane — polygonal thrust plane of variable curvature determined on the basis of occurrence of soft cohesive soils at the interface of cohesive — sandy soil and occurrence of ground water table;

- calculation of slope stability is carried out by classical strip method after Peterson and by generalized strip method after Jaubua with the aid of program STABIL on mini-computer PDP-8;

- in the calculation of internal forces of soil resistance against shear, variable values of parameters of effective peak strength for slopes or part of slopes in parting area not

affected by slope deformations are introduced into calculations; introduced into calculations of internal forces in slopes with expressive slope deformations are the values of residual shear strength of soils;

- the calculation of stability is carried out in the form of parametric study, where the angle of internal friction is a free parameter φ_v and/or φ_r' ;

- the calculation is carried out at two levels of ground water, namely, for tapped stabilized underground water level in the time of field activities, and for highest observed under-ground water level.

Results of calculations are documented in the geological profile II—II' for determined shear surfaces in Table 5 and in Figs. 7 and 8. The prognoses of slope movement development based on the achieved degrees of stability F is given in Fig. 10. Also mentioned are the results of calculations of slope stability in profile IV—IV' (Fig. 11), in profile XI—XI' (Fig. 12).

As it follows from the mentioned results at given geological conditions and physical-mechanical properties of soils, one of the main factors causing sliding processes is underground water. Increase in ground water level makes itself felt by decrease of forces of internal resistance of soils, which results in a decrease in degree of stability through the values $F = 0.05—0.23$ and activation of sliding activity in the given territory.

By constructing water work Velká Sereď with maximum water level at the elevation of 141.50 m above sea level, an increase in ground water level in slopes can be expected, which will result in activation of relatively stable slopes. That is why suitable channel alternative of the water work Sereď with the reservoir Zelenice and suitable stage Sereď seems to be a solution. Construction of left-bank dam along the reservoir will eliminate the negative effect of water from the reservoir on the neighbouring slopes.

As suitable reconditioning provisions to reduce the range of sliding activity, the surface modification and draining of slopes was recommended together with a decrease in ground water level in the slope with the aid of horizontal bore holes and in case of slopes within less developed accumulation area and modification of slope foot with stabilization filling was recommended.

Preložil O. Šimr