1 B 107 b

ZÁPADNÉ KARPATY

CS ISSN 0139—7583

SÉRIA

hydrogeológia a inžinierska geológia 7

GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA, BRATISLAVA 1989

VEDECKÝ REDAKTOR
Ing. EUGEN KULLMAN, DrSc.

REDAKČNÝ OKRUH
RNDr. VLADIMÍR HANZEL, CSc., Ing. EUGEN KULLMAN, DrSc., RNDr. IGOR MODLITBA,
RNDr. KAMIL VRANA, CSc.

Schválené na zasadnutí redakčného okruhu dňa 8. 1. 1986
Do redakcie dodané 24. 3. 1987
Do sadzby odovzdané 30. 11. 1987

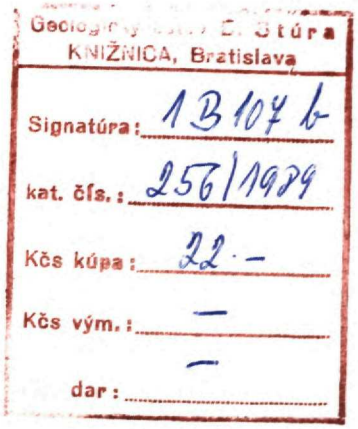
ZÁPADNÉ KARPATY

SÉRIA

hydrogeológia
a inžinierska geológia 7

Geologický ústav Dionýza Štúra
ODBOROVÉ INFORMAČNÉ STREDISKO
Mlynská dolina 1
817 04 BRATISLAVA

GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA, BRATISLAVA 1989


Geologický ústav D. Štúra
KNIŽNICA, Bratislava
Signatúra: 1B107b
kat. čís.: 256/1989
Kčs kúpa: 22.-
Kčs vým.: —
dar: —

© GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA, BRATISLAVA 1989

OBSAH — CONTENTS

MATULA, M.—WAGNER, P.: Inžinierskogeologické hodnotenie podmienok výstavby prečerpávacích vodných elektrární — Engineering-geological evaluation of conditions for construction of pumped storage plants 7

HRAŠNA, M.—MATULA, M.: Inžinierskogeologický prieskum a hodnotenie stavenísk jadrovoenergetických zariadení — Engineering-geological exploration and evaluation of sites for construction of nuclear power plants 37

MODLITBA, I.—VANČÍKOVÁ, I.: Svahové deformácie v Zázrivskej doline a ich vzťah k vlastnostiam flyšoidných hornín — Slope deformations in Zázrivská dolina valley and their relation to flyschoid rocks properties 55

VRANA, K.—BODIŠ, D.—LOPAŠOVSKÝ, K.—RAPANT, S.: Regionálno-hydrogeochemické zhodnotenie kvality snehovej pokrývky na území Slovenska — Regional hydrogeochemical evaluation of quality of snow pack in Slovakia 87

ZAKOVIČ, M.—BODIŠ, D.: Podzemné vody karbonátov mezozoika severozápadných svahov Západných Tatier — Groundwater of Mesozoic carbonates on NW slopes of Western Tatra Mts. 129

Západné Karpaty, hydrogeológia a inž. geol. 7, s. 7—35, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava 1989

MILAN MATULA—PETER WAGNER

Inžinierskogeologické hodnotenie podmienok výstavby prečerpávacích vodných elektrární

9 obr., 5 tab., angl. resumé

Abstract. Basing upon the evaluation of construction-technological demands for pumped storage plants, prospects for their further development, analyses of experience resulting from the engineering-geological exploration of several sites, the authors prepared a proposal concerning methods of engineering-geological exploration for the pumped storage plants construction. The methods comprise the latest data and demands for objective evaluation of the territory identification of geodynamic-stabilized rock block with possibly the highest homogeneity to be favourable for the entire system of a pumped storage plant. The application of the method is illustrated with the example of engineering-geological evaluation of some selected sites.

Obsah

Úvod
Všeobecná charakteristika PVE
  Podstata a účel hydraulickej akumulácie
  Princíp stavebno-technického usporiadania PVE a ich rozdelenie
  Perspektívy ďalšieho rozvoja výstavby PVE
Základné problémy inžinierskogeologického charakteru vplývajúce na realizáciu PVE
Metodika inžinierskogeologického prieskumu pre výstavbu PVE
Hodnotenie nerovnorodosti a fyzického stavu horninového prostredia v rôznych etapách prieskumu
  Taxonomická klasifikácia masívov skalných a poloskalných hornín
  Hodnotenie nerovnorodosti horninového prostredia v etapách orientačného a predbežného prieskumu
Záver
Literatúra
Anglické resumé

Prof. Ing. M. MATULA, DrSc.—Doc. RNDr. P. WAGNER, CSc., Katedra inžinierskej geológie PFUK, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava.

Úvod

V súvislosti so stálym rastom spotreby elektrickej energie a vzhľadom na postupnú prestavbu i perspektívne zloženie energetických zdrojov patrí k prvoradým úlohám nášho hospodárstva výstavba moderných energetických zariadení, predovšetkým jadrových elektrární, prevádzka ktorých je najefektívnejšia v súčinnosti s prečerpávacími vodnými elektrárňami. Z mimoriadnej náročnosti týchto zariadení z hľadiska výstavby i zabezpečenia dlhodobej bezporuchovej prevádzky vyplývajú aj náročné požiadavky na inžinierskogeologický prieskum, ktorý musí riešiť viacero „netradičných" problémov so stálym zreteľom na zložité funkčné závislosti jednotlivých objektov v rámci celého energetického zariadenia.

Napriek tomu, že v posledných rokoch sa „za pochodu" realizoval prieskum viacerých lokalít pre výstavbu jadrovoenergetických zariadení (JEZ) i prečerpávacích vodných elektrární (PVE), ba dokonca sa už ukončila, resp. práve prebieha výstavba niektorých z nich, metodické zásady náplne jednotlivých etáp inžinierskogeologického prieskumu sa včas nesformulovali, čo vo viacerých prípadoch viedlo k používaniu zbytočne nákladných prieskumných metód, ktoré neboli adekvátne stupňu projekčnej prípravy ani reálnym možnostiam výstavby.

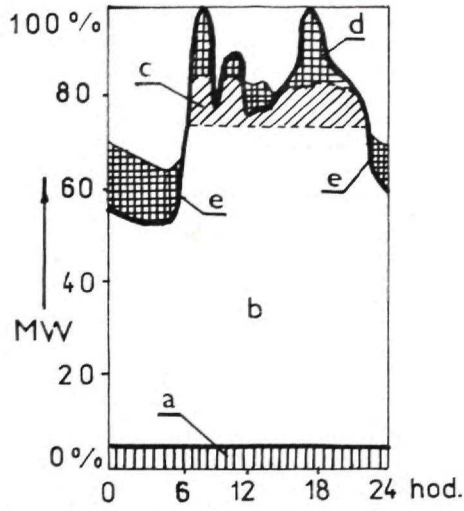
Na základe zhodnotenia zhromaždených skúseností, získaných pri prieskume, ale i pri samotnej výstavbe PVE u nás aj v zahraničí a zároveň vychádzajúc z rozboru technicko-ekonomických požiadaviek na realizáciu týchto zariadení, podávame ucelený návrh metodického postupu a obsahovej náplne inžinierskogeologického hodnotenia územia pre výstavbu PVE v jednotlivých prieskumných etapách. Vychádzame pritom z aplikácie najnovšej inžinierskogeologickej klasifikácie horninových masívov, ktorá je spracovaná v samostatnej časti príspevku, a jej praktické použitie ilustrujú príklady inžinierskogeologického hodnotenia vybraných lokalít.

Všeobecná charakteristika PVE

Podstata a účel hydraulickej akumulácie

Určitou nevýhodou najperspektívnejších veľkokapacitných energetických zariadení (predovšetkým jadrových) je skutočnosť, že najúčinnejšie pracujú pri veľkom a rovnomernom zaťažení. Avšak zaťaženie elektrickej siete sa v priebehu 24 hodín (ako aj v rámci dlhších cyklov, napr. týždenných, sezónnych) podstatne mení.

Preto je potrebné začleniť do elektrizačnej sústavy také energetické zariadenia, ktoré by prebytočnú energiu uskladňovali (akumulovali) a v dobe špičkovej spotreby ju opäť vracali do siete (Č. Štoll—S. Kratochvil—M. Holata 1977). Najosvedčenejšími sú systémy využívajúce hydraulickú akumuláciu, predovšetkým prečerpávacie vodné elektrárne.



Obr. 1 Krytie denného diagramu zaťaženia. a — prietočné vodné elektrárne, b — tepelné a jadrové elektrárne, c — akumulačné vodné elektrárne, d — PVE a elektrárne s plynovými turbínami, e — spotreba na čerpanie (podľa J. LENDEL 1976)

Podstata činnosti PVE v rámci jej začlenenia do elektrizačného systému je načrtnutá na obr. 1. PVE je schopná pracovať v dvoch základných režimoch:

— turbínovom — pri ktorom sa potenciálna energia vody, nahromadenej v hornej nádrži, mení pri jej prúdení turbínou na energiu kinetickú a slúži na generovanie cennej špičkovej energie,

— čerpadlovom — pri ktorom sa prebytočná elektrická energia, vyrobená inými elektrárňami (tepelnými, jadrovými), mení na potenciálnu (pohybovú) energiu vody, akumulujúcej sa vo vyššie položenej hornej nádrži.

Vďaka takémuto striedaniu dvoch režimov sa dosahuje určité vyrovnanie denného (alebo týždenného, resp. sezónneho) diagramu zaťaženia elektrickej siete.

Okrem najcharakteristickejšej vlastnosti, t. j. dodávky pohotovej špičkovej energie a celkovej kompenzačnej činnosti, majú PVE rad ďalších výhod. Predstavujú napr. veľmi pohotovú a operatívnu rezervu počas rôznych porúch elektrizačnej sústavy, ďalej kryjú špičkové zaťaženie, a tým zväčšujú ročné využitie tepelných elektrární, čím sa zmenšuje merná spotreba paliva (J. LENDEL 1976, J. ŽMURÁŇ 1969) atď.

Hlavným argumentom odporcov výstavby PVE je predovšetkým tvrdenie, že množstvo energie získanej z PVE je vždy menšie než množstvo energie, ktorú PVE spotrebuje. Uvedená stratovosť PVE je však iba zdanlivá, ak ju porovnáme s podstatnými úsporami paliva v rámci celého energetického systému (J. G. WARNOCK 1981), alebo ako vyplýva zo vzťahu ceny dodávanej a spotrebovanej elektrickej energie.

Princíp stavebno-technického usporiadania PVE a ich rozdelenie

Základnými prvkami stavebného usporiadania PVE sú (obr. 2):

— horná akumulačná nádrž s vtokovým objektom,

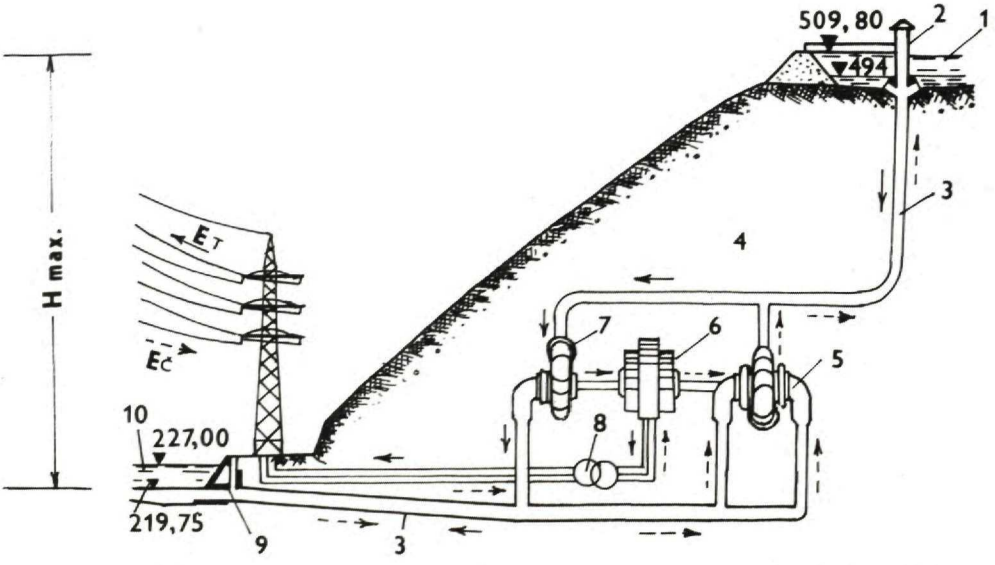
— tlakové privádzače s uzávermi,
— strojovňa elektrárne s turbínovými a čerpadlovými agregátmi,
— odpadové nízkotlakové zariadenia,
— dolná nádrž s výtokovým objektom.

Umiestnenie ďalších objektov (napr. vyrovnávacích komôr, transformátorov atď.) je individuálne pre každú schému hydraulického obvodu.

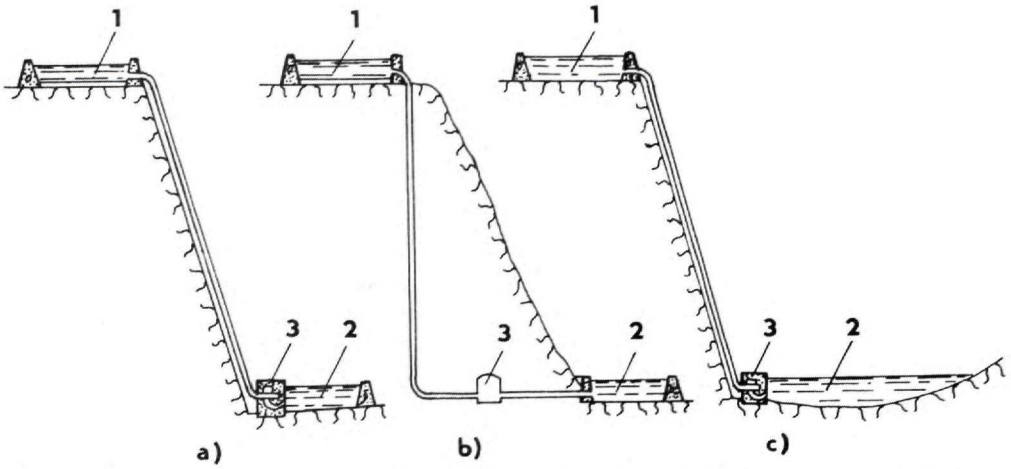
Rôznorodosť technických riešení PVE, ako aj špecifické problémy, týkajúce sa ich začlenenia a činnosti v rámci širších energetických komplexov, podmieňujú existenciu veľkého množstva kritérií, na základe ktorých môžeme PVE rozdeliť a klasifikovať. Najvšeobecnejším a najzákladnejším je rozdelenie PVE podľa základného usporiadania z hľadiska vodného režimu na:

1. *PVE so sekundárnou (umelou) akumuláciou,* nazývané tiež klasické alebo čisté. V nich je kolobeh vody medzi dolnou a hornou nádržou uzavretý, t. j. neexistuje žiadny prirodzený prítok do hornej akumulačnej nádrže. Klasické PVE sa používajú predovšetkým pre väčšie spády v snahe využiť maximálny výškový rozdiel medzi hornou a dolnou nádržou pri ich minimálnej vzájomnej vzdialenosti (L. A. KAROĽ 1975). Základné spôsoby usporiadania takýchto PVE sú znázornené na obr. 3. Príkladom klasického usporiadania je u nás PVE Čierny Váh a PVE Dlouhé Stráně, ktorá je v súčasnosti vo výstavbe.

2. *PVE so zmiešanou primárnou (prirodzenou) a sekundárnou (umelou) akumuláciou,* v ktorých hornou nádržou je vlastne priehradná nádrž na toku



Obr. 2 Základné objekty na PVE (na príklade PVE Vianden — Luxembursko). 1 — horná nádrž, 2 — vtokový objekt, 3 — privádzače, 4 — rozdeľovacie potrubie, 5 — čerpadlo, 6 — reverzný motorgenerátor, 7 — turbína, 8 — transformátor, 9 — výtokový objekt, 10 — dolná nádrž, H_{max} — maximálny spád PVE, E_T — el. energia vyrobená pri turbínovom režime, $E_č$ — el. energia potrebná na pohon čerpadiel (J. M. SAVVIN 1966)



Obr. 3 Základné typy PVE so sekundárnou umelou akumuláciou (klasické alebo čisté PVE). a) s umelou hornou i dolnou nádržou a povrchovým umiestnením objektov, b) s podzemným umiestnením objektov, c) s prirodzenou dolnou nádržou. 1 — horná nádrž, 2 — dolná nádrž, 3 — elektráreň (podľa L. B. ŠEJNMAN a kol. 1978)

s primárnou prirodzenou akumuláciou. Dolnú nádrž predstavuje obyčajne vyrovnávacia nádrž na toku s prietokovou vodnou elektrárňou (Č. ŠTOLL—S. KRATOCHVÍL—M. HOLATA 1977). PVE so zmiešanou akumuláciou je vhodné umiestňovať predovšetkým na väčších riekach, pričom sú zvyčajne súčasťou širších vodohospodárskych komplexov. Základné spôsoby usporiadania tohto typu PVE sú znázornené na obr. 4. K typu PVE so zmiešanou akumuláciou v ČSSR patria napr. v nedávnej dobe uvedené do prevádzky PVE Dalešice a Liptovská Mara.

PVE je možné ďalej rozdeliť aj podľa doby naplnenia a energetického využitia vody v akumulačnej nádrži, teda podľa dĺžky cyklu akumulovania na dve základné skupiny:

1. PVE s *krátkodobým* akumulačným cyklom (denným, týždenným)
2. PVE s *dlhodobým* akumulačným cyklom (sezónnym, niekoľkoročným).

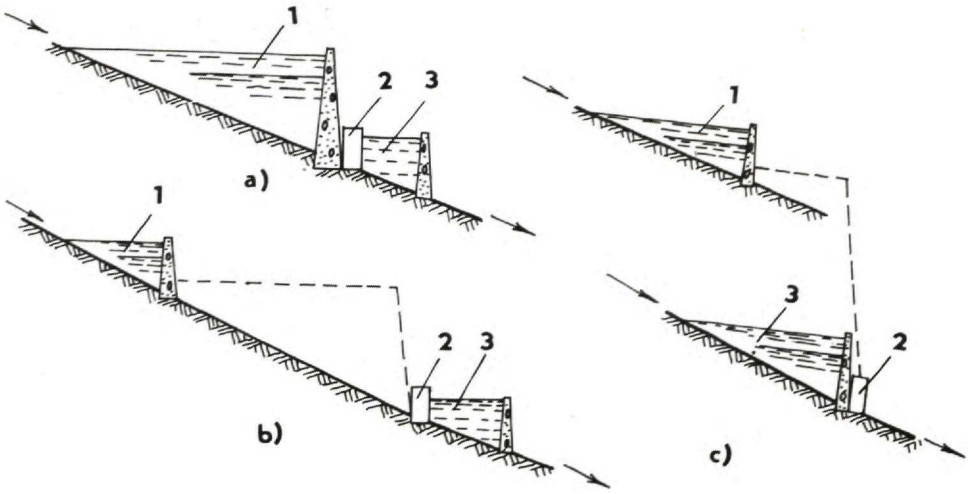
Najčastejšie používaným typom PVE s krátkodobým akumulačným cyklom sú klasické PVE s relatívne neveľkým objemom hornej akumulačnej nádrže. Avšak čoraz viac sa vyžaduje výstavba PVE práve s týždenným akumulačným cyklom, z čoho vyplývajú požiadavky na väčší objem akumulačnej nádrže, a teda aj náročnejšie problémy pri prieskume i vlastnej technickej realizácii (obr. 5).

Podobne ako hydroelektrárne možno aj PVE rozdeliť podľa veľkosti využívaného spádu na:

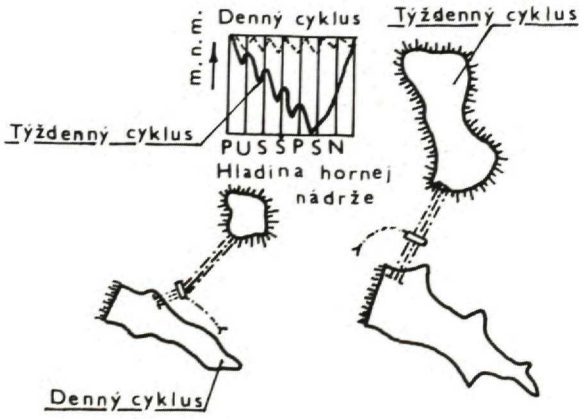
1. *nízkospádové* s prevýšením do 60 až 80 m
2. *strednospádové* s prevýšením od 80 do 300—350 m
3. *vysokospádové* s prevýšením nad 350 m.

Z ďalších kritérií, podľa ktorých rozdeľujeme PVE, treba spomenúť charakter

strojového vybavenia, vodohospodárske hľadiská atď. Odvážne projekty usporiadania systému PVE podmieňujú dokonca delenie podľa povrchového, resp. podzemného umiestnenia dolnej nádrže.



Obr. 4 PVE so zmiešanou akumuláciou. a) priehradná, b) derivačná, c) schéma prenosu spádu. 1 — horná nádrž, 2 — elektráreň, 3 — dolná nádrž (podľa L. B. ŠEJNMAN a kol. 1978)



Obr. 5 Porovnanie potrebných rozmerov nádrží pre denný a týždenný cyklus prečerpávania (podľa J. LENDEL 1976)

Perspektívy ďalšieho rozvoja výstavby PVE

Výstavba PVE má už pomerne bohatú, viac než storočnú históriu a v súčasnosti zaznamenáva prudký rozvoj v celosvetovom meradle. Dnešný výpočet všetkých činných, rozostavaných i projektovaných PVE vo svete s ich základnými technickými údajmi (inštalovaný výkon, spád) publikoval časopis Water Power and Dam Construction v roku 1981 (The World's pumped — storage plants 1981). Z realizácie PVE vyplývalo hromadenie stále nových poznatkov a skúseností, ktoré sa spracúvali, a tým zdokonaľovali celý technicko-ekonomický proces prípravy PVE. Tak napr. štúdia ekonomickej komisie OSN pre Európu (The Future Role ... 1968) zhrnula podmienky rozhodujúce o hospodárnosti výstavby PVE, a teda aj o jej perspektívach v rôznych krajinách do troch základných súborov kritérií:

1. prírodné podmienky a umiestnenie PVE vzhľadom na miesto zdroja i odberu energie
2. charakter energetického systému a perspektívy jeho rozvoja
3. úroveň a vývoj strojového vybavenia.

Najväčšie rezervy sú v optimálnom využívaní prírodných podmienok, t. j. pri návrhu umiestnenia základných objektov PVE. Treba si uvedomiť, že hodnota stavebných prác vo všeobecnosti predstavuje až 40—45 % celkovej ceny PVE (The Future Role ... 1968). K všeobecne platným základným požiadavkám na umiestnenie PVE z tohto hľadiska patria najmä:

— Výhodné topografické pomery terénu, dovoľujúce dosiahnuť čo najväčší spád s najmenšou dĺžkou privádzača a vytvoriť čo najväčší užitočný objem horných akumulačných nádrží. Prevádzkové skúsenosti ukázali, že z ekonomického hľadiska má byť pomer spádu H_b a dĺžky privádzača L číselne väčší než $\frac{H_b}{L} \geqslant 0{,}1$.

— Vhodné geologické pomery, pričom sa uplatňuje predovšetkým snaha umiestniť celý komplex PVE na litologicko-štruktúrne čo najrovnorodejšom a geodynamicky stabilizovanom bloku podložia. Z vhodných geologických pomerov vyplýva aj hospodárna stavebná realizácia celého zložitého komplexu PVE a jeho dlhodobá bezpečná prevádzka. Podceňovanie alebo zanedbanie geologického zhodnotenia územia perspektívnej výstavby PVE zapríčinilo už vo viacerých prípadoch veľké ekonomické straty a vyžiadalo si dodatočné nákladné technické opatrenia.

Súčasný vývoj smeruje predovšetkým k nasledovným riešeniam:

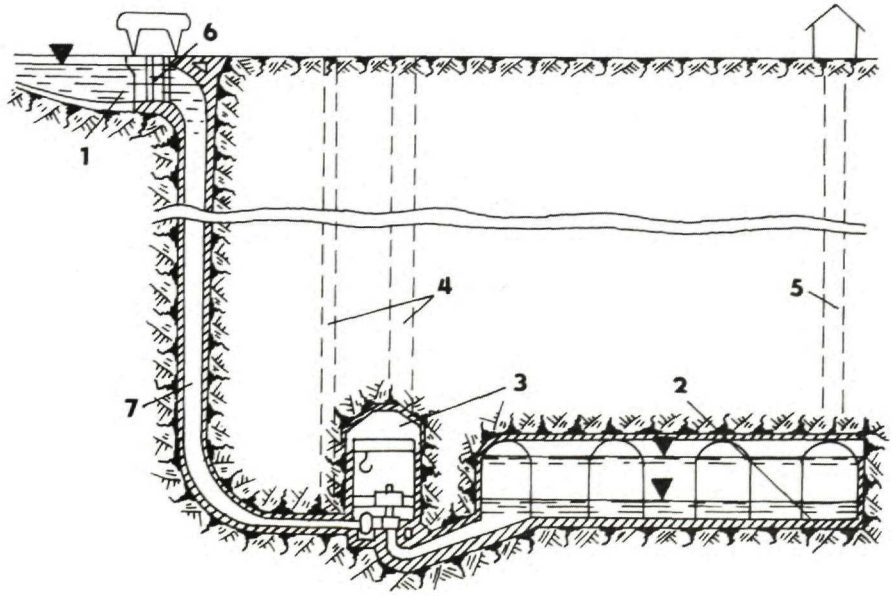
— Prevádzka viacerých špičkových PVE v posledných rokoch dokázala, že rast spotreby energie je natoľko intenzívny, že predpokladané cykly špičkového (turbínového) nasadenia sa predlžujú (dosiaľ predstavovali 3 až 6 hodín denne, v zahraničí až 9 hodín). Záujem energetikov sa preto v poslednom období sústreďuje predovšetkým na týždenný cyklus prečerpávania, z čoho vyplývajú zvýšené nároky na objem hornej akumulačnej nádrže (obr. 5).

— Najlacnejšie technické riešenia horných nádrží, využívajúce prirodzenú akumuláciu vody vo vyššie položených miestach (napr. vysokohorské jazerá) sú

vo väčšine krajín už využité, a dnes už dokonca množstvo energeticky rozvinutých krajín zápasí s nedostatkom vodnej energie. V takýchto prípadoch si treba uvedomiť, že PVE s vysokými spádmi aj pri menšom objeme použitej vody dokáže vyrobiť viac energie než nízkospádový systém s veľkým objemom vody v nádržiach. Preto sa najčastejšie realizujú projekty PVE s minimálnym objemom nádrží a s maximálnym spádom. Avšak vhodné miesta pre realizáciu projektov napr. umelých horných nádrží sú čoraz zriedkavejšie, a tak sa pozornosť začína zameriavať na výstavbu podzemných dolných nádrží (obr. 6). Konferencia v San Franciscu v roku 1982, zameraná na problémy výstavby podzemných dolných nádrží, poukázala na celý rad výhod ich realizácie — okrem energetického efektu (značné zvýšenie spádu) znižujú na minimum plochu územia postihnutého výstavbou, pričom samotná výstavba PVE je realizovateľná a efektívna aj v rovinných oblastiach (Developing pumped — storage 1982).

— Všeobecnou sa stáva tendencia umiestnenia strojovní elektrární i tlakových privádzačov v podzemí z obdobných príčin. Pri podzemnom umiestnení privádzačov nie je zanedbateľná ani úspora hrúbky oceľového panciera, ak sa využijú vhodné vlastnosti horninového prostredia, ktoré prevezme časť napätia pôsobiacej prúdiacej vody.

— Výstavba PVE vyžaduje spotrebu a premiestňovanie veľkých objemov vhodných stavebných materiálov. Snahou súčasných i budúcich riešení v tomto smere je maximálne možné šetrenie územia od premiestňovania vyťažených



Obr. 6 Schéma PVE šachtového typu s podzemným umiestnením dolnej nádrže. 1 — horná nádrž, 2 — dolná nádrž, 3 — elektráreň, 4 — prístupové šachty, 5 — vetracia šachta, 6 — vtokový objekt, 7 — privádzače (podľa L. A. KAROL 1975)

materiálov na miesta objektov vyžadujúcich ich akumuláciu. Maximálne využitie materiálových zdrojov v rámci staveniska PVE priamo súvisí s významným faktorom, ovplyvňujúcim možnosti rozvoja výstavby PVE, ktorým sa zvlášť v posledných rokoch stali otázky ochrany životného prostredia.

Hlavné perspektívy rozvoja PVE, zhrnuté v tab. 1, poukazujú na skutočnosť, že inžinierskogeologické podmienky v mieste projektovanej výstavby patria k najvýznamnejším kritériám, rozhodujúcim o realizácii PVE. Súčasne si však treba uvedomiť, že úplné ekonomické posúdenie vhodnosti a potreby výstavby PVE je veľmi zložité, zahrňuje ešte širší okruh kritérií, než sme v prehľade naznačili a jeho riešenia sa v súčasnosti vykonávajú cestou zložitých ekonomických analýz.

Základné problémy inžinierskogeologického charakteru vplývajúce na realizáciu PVE

Základné inžinierskogeologické problémy ovplyvňujúce realizáciu PVE nám vyplynuli z analýzy poznatkov získaných pri prieskume rôzneho stupňa podrobnosti na perspektívnych lokalitách výstavby PVE u nás i vo svete. Detailne sme preanalyzovali lokalitu PVE Čierny Váh, na ktorej sa už realizovala výstavba, ďalej tri lokality s ukončeným predbežným inžinierskogeologickým prieskumom (PVE Hrhov, Malá Vieska — ľavobrežný variant, Ipeľ) a osem lokalít posúdených rôznymi štádiami orientačného prieskumu. Podobne sme prehodnotili 28 lokalít na Slovensku, ktoré sú charakterizované inžinierskogeologickými rešeršnými štúdiami. Rozmiestnenie všetkých posudzovaných lokalít PVE sme znázornili na obr. 7. Získané poznatky sme doplnili analýzou aktuálnych lokalít v Čechách (napr. Dlouhé Stráně) i údajmi z publikovaných prác o skúsenostiach z výstavby a prevádzky PVE vo svete, napr. z Talianska, Rakúska, Poľska, NDR, ZSSR, USA a ďalších krajín (P. WAGNER et al. 1983).

Vzhľadom na to, že špecifické inžinierskogeologické problémy možno odôvodnene očakávať predovšetkým pri posudzovaní projektov klasického usporiadania PVE so sekundárnou akumuláciou, venovali sme sa predovšetkým tomuto typu. Prieskum pre PVE so zmiešanou akumuláciou by sa v podstate nemal výrazne odlišovať od prieskumu pre náročné vodohospodárske stavby, aj keď bude mať, prirodzene, svoje špecifické črty.

Stručné zhrnutie skúseností z prieskumu i výstavby PVE poukázalo na stále sa opakujúce problémy inžinierskogeologickej povahy, ktoré negatívne ovplyvňujú projekciu i realizáciu PVE.

Z prvkov inžinierskogeologického prostredia, vplývajúcich na celý systém PVE, najčastejšie vznikajú problémy v dôsledku prítomnosti významných tektonických porúch, častého striedania vrstiev hornín s výrazne odlišnými vlastnosťami, aktivity neotektonických pohybov, ktoré sú sprevádzané javmi zvýšenej seizmicity, dlhodobej nestability svahov a v karbonátových horninách aj rôzneho stupňa vývoja krasu.

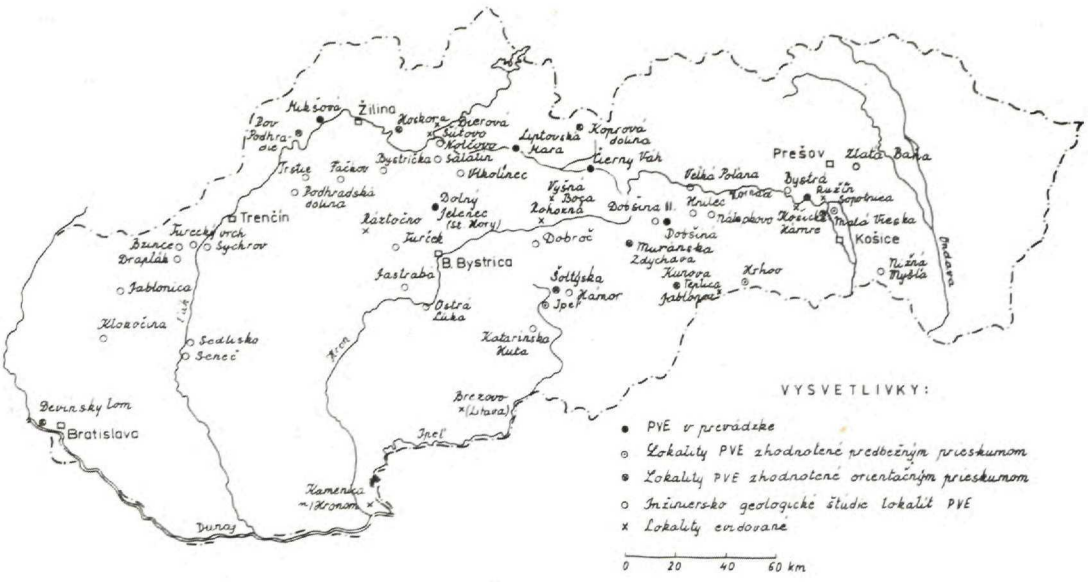
Výrazná *tektonická porušenosť* masívu hornín, reprezentovaná tektonickými

Tabuľka 1 Požiadavky na umiestnenie a parametre PVE a perspektívy ich ďalšieho rozvoja

Súbor kritérií rozhodujúcich o vhodnosti výstavby PVE	Základné požiadavky na umiestnenie a parametre PVE, ako aj na jej efektívnu činnosť v rámci energetického systému			Smery ďalšieho stavebno-technického a prevádzkového rozvoja PVE
Prírodné podmienky	Sústava PVE ako celok		— výhodné topografické pomery terénu ($Hb/L \geq 0{,}1$) — vhodné geologické pomery územia (litologicko-štruktúrne homogénny masív hornín)	1. Zvyšovanie výkonu a účinnosti systému PVE dosiahnuté: a) zväčšovaním hydraulického potenciálu — zväčšovanie objemu horných nádrží (týždňový a sezónny cyklus prečerpávania) s využívaním prirodzených zdrojov akumulácie vody b) zvyšovaním spádu — umiestnenie hydraulického obvodu v podzemí (skrátenie dĺžky privádzačov; úspora ocele na pancier privádzačov pri vhodnom spolupôsobení s horninou) — výstavba podzemných dolných nádrží c) vývojom technického usporiadania objektov, ktoré dosahuje v daných podmienkach maximálnu účinnosť (čerpaco-prečerpávacie schémy, kaskády PVE atď.) 2. Ochrana životného prostredia a minimalizácia negatívnych vplyvov výstavby a prevádzky PVE na životné prostredie: — plné využitie stavebných materiálov premiestňovaním v rámci staveniska PVE — umiestnenie prevažnej časti objektov v podzemí — viacúčelové využívanie jednotlivých objektov PVE — výstavba špeciálnych zariadení upravujúcich kvalitu i teplotu vody
	Jednotlivé objekty	Horná nádrž	— energetickým výpočtom určený potrebný objem — minimálna strata vody v dôsledku priesaku a vyparovania (nepriepustnosť dna a minimálna plocha nádrže pri potrebnom objeme) — dlhodobá stabilita objektu	
		Privádzače	— minimálna dĺžka — optimálny priemer a hrúbka oceľového panciera	
		Elektráreň	— optimálne umiestnenie z hľadiska energeticko-prevádzkového, zosúladené s geologickými podmienkami	
		Dolná nádrž	— energetickým výpočtom určený potrebný objem — dlhodobá stabilita objektu	

Pokračovanie tabuľky 1

Súbor kritérií rozhodujúcich o vhodnosti výstavby PVE	Základné požiadavky na umiestnenie a parametre PVE, ako aj na jej efektívnu činnosť v rámci energetického systému	Smery ďalšieho stavebno-technického a prevádzkového rozvoja PVE
Umiestnenie vzhľadom k miestu zdroja i odberu energie	— najmenšia možná vzdialenosť od ťažiska spotreby elektrickej energie pri špičkovom výkone i zdroja energie pri prečerpávaní (minimalizácia prenosových strát)	— energetická, polohová i funkčná náväznosť na zdroje stáleho základného výkonu (predovšetkým na jadrové elektrárne i vysokovýkonné tepelné elektrárne)
Charakter energetického systému a trendy jeho rozvoja	— veľmi rozdielne prírodné energetické zdroje — rozdielne úrovne zaťaženia siete bez možnosti vyrovnávania zvýšeným odberom alebo nerovnomernou výstavbou klasických elektrární	— vzhľadom na prestavbu charakteru energetických systémov rôznych krajín a stály intenzívny rast spotreby nevylučuje sa možnosť výstavby PVE v ľubovoľných energetických systémoch — plná automatizácia najefektívnejšieho zapájania PVE do procesu výroby a spotreby energie
Strojové vybavenie	— najvýhodnejší pomer hlavných parametrov inštalovaných strojov	— vývoj vysokovýkonných agregátov (prevažne dvoj- a troj- strojového usporiadania), využívajúcich extrémne vysoké spády — progres v technológii výroby agregátov so zreteľom na ich celkovú cenu



Obr. 7 Lokality PVE na Slovensku

poruchami rôzneho stupňa, sa negatívne prejavuje vo viacerých súvislostiach. Predovšetkým horninový materiál porúch sa vyznačuje podstatne zníženými pevnostno-deformačnými vlastnosťami; ide vlastne o poruchové pásma, ktorých rozsah môže byť značný (v závislosti od ich významnosti, tak napr. na lokalite PVE Čierny Váh porucha na trase privádzačov dosahovala šírku niekoľko desiatok metrov, na PVE Ipeľ je predpokladaná šírka porušených hornín tektonickej línie prvého stupňa až niekoľko sto metrov). Kvalitatívne zhoršenie vlastností hornín spôsobuje vážne problémy pri zakladaní povrchových objektov PVE (hrádza, vtokový i výtokový objekt hornej a dolnej nádrže, povrchové založenie elektrárne) vzhľadom na nízku únosnosť, veľkú stlačiteľnosť, resp. nerovnorodosť základovej pôdy. Zhoršené vlastnosti hornín majú ešte väčší dosah na realizáciu podzemných objektov. Pri razení privádzačov sa miesta tektonických porúch prejavujú zvýšenou stlačiteľnosťou a nadvýlomami, čo znamená zvyšovanie technických požiadaviek na zabezpečenie podzemného diela. Z hľadiska sťaženej realizácie podzemnej kaverny znamenajú často hlavný dôvod prechodu na povrchovú alternatívu (PVE Čierny Váh, Malá Vieska). Okrem zlej kvality horninového materiálu tektonické poruchy predstavujú buď bariéru pri prúdení podzemných vôd, alebo naopak, stávajú sa miestami zvýšených priesakov. Prieskum viacerých lokalít dokázal, že tektonické línie v karbonátových horninách sú súčasne miestami intenzívnejšieho vývoja krasových javov (PVE Malá Vieska, Čierny Váh). Všetky uvedené skutočnosti poukazujú na podstatný význam tektonickej stavby územia a prejavov tektonickej porušenosti hornín pri rozhodovaní o možnostiach výstavby PVE.

Analogické negatívne vplyvy na realizáciu prakticky všetkých objektov má

časté *striedanie litologicky výrazne odlišných hornín.* Z takejto stavby masívov vyplýva nerovnorodosť základových pôd, zložité hydrogeologické podmienky a veľmi problematická stabilita svahov na celom území. Prípadná realizácia podzemných objektov je veľmi náročná vzhľadom na súčasný vplyv viacerých negatívnych faktorov.

Aktívne neotektonické pohyby a prejavy zvýšeného stupňa *seizmicity* vplývajú predovšetkým na dlhodobú prevádzkovú funkčnosť i bezpečnosť celého systému PVE. Identifikácia neotektonickej aktivity určitých častí územia nie je jednoduchá a opiera sa vždy o viacero príznakov geologickej i geomorfologickej stavby územia, ktoré si vyžadujú komplexnú tvorivú interpretáciu už v etapách orientačného prieskumu. Jednoznačnejšie je posúdenie seizmicity. Keďže vychádzame z predpokladu, že ide o vplyv, ktorý môže vážne ohroziť funkciu celého systému PVE, už v úvodných štúdiách projekčnej prípravy je prirodzenou snahou vyhýbať sa územiam so zvýšeným stupňom seizmicity. Preto v rámci úvodných štádií orienačného prieskumu sa musí stupeň seizmicity územia seriózne zhodnotiť. Ak dosahuje vyššiu hodnotu než je 6° MCS (čo je dosť obvyklé vzhľadom na situovanie PVE v hornatých oblastiach), musí celý ďalší prieskum a výstavba brať túto skutočnosť do úvahy.

Stabilita svahu s hlavnými objektami PVE, posudzovaná z hľadiska súčasného stavu, jeho zmien v dôsledku výstavby i dlhodobých prognóz vzhľadom na bezporuchovosť a bezpečnosť prevádzky PVE, patrí k veľmi komplikovaným a rozhodujúcim problémom, ovplyvňujúcim realizáciu celého systému PVE. G. S. ZOLOTARJOV (1979, 1982) dokonca považuje riešenie stabilitných problémov za najpodstatnejšiu otázku, ktorú má prieskum pre PVE vyriešiť. Upozorňuje na skutočnosti, ktoré v súvislosti s výstavbou PVE výrazne znižujú stabilitu svahov — vzrastajúce zvodnenie hornín, vytvorenie hlbokých stavebných jám, často v exponovaných častiach svahu, zvýšené a nové rozdelenie napätí vo svahu v dôsledku hmotnosti betónových konštrukcií atď. Zdôrazňuje, že jediným správnym postupom pri analýze otázok stability je komplexné zhodnotenie vývoja a formovania svahu s použitím historicko-geologických a porovnávaco-geologických analýz a z toho vyplývajúcich prognóz jeho správania sa pri stavebných zásahoch i počas dlhodobej prevádzky PVE. Pre úplné vyriešenie tak širokého okruhu náročných problémov zvyčajne nevystačíme s tradičnými metódami, a preto sa využívajú náročné výpočty a metódy modelovania. J. NEŠVARA (1973) upozorňuje na skutočnosť, že vysoké svahy v dynamickom reliéfe majú všeobecne vyšší sklon, ako je sklon medzný, a preto v svahoch dochádza k prerozdeľovaniu napätí — vzniká zóna odľahčenia a ťahových napätí, zóna koncentrovaných napätí a zóna primárnych napätí, neovplyvnených eróznym vrezom. Preto pri projektovaní PVE rozhodne nie je možné počítať s tým, že na povrchu celého svahu je nulové napätie a že do hĺbky masívu platí rozdelenie napätí podľa hmotnosti priameho nadložia. Uvedené základné poznatky ilustrujú mimoriadnu zložitosť riešenej problematiky a poukazujú na to, že úplné a spoľahlivé zhodnotenie stability svahu vyžaduje komplexný prístup, ktorý by mal byť doplnený vo vyšších etapách prieskumu meraniami napätia in situ a výpočtovými i modelovými analýzami.

Fenomény krasu sú z hľadiska projekcie a výstavby PVE posudzované predovšetkým ako negatívny prvok v geologickej stavbe celého masívu (výrazné zhoršenie vlastností hornín, až po porušenie homogenity masívu), resp. ako oblasti s komplikovanými hydrogeologickými pomermi. Menej sa berie do úvahy dynamika a z nej vyplývajúca intenzita vývoja krasových javov. Vo všeobecnosti ešte donedávna prevládal názor, že karbonátové a skrasovatené horniny predstavujú nevhodnú základovú pôdu pre budovanie vodných diel (M. INGR—I. ŠARÍK 1976). Preto sa takýmto územiam radšej vyhýbalo. Avšak potreby vodohospodárskej výstavby podmienili intenzívne štúdium krasových oblastí (pozri napr. J. NEŠVARA 1979, I. ŠARÍK—M. INGR—J. NEŠVARA 1972), pri ktorom sa definovali základné negatívne vplyvy krasových fenoménov na realizáciu vodohospodárskych diel a súčasne sa sformulovali zásady najefektívnejšieho inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu krasových oblastí. Postupne však pribúdajú priame skúsenosti z výstavby vodných diel v krasovom prostredí, no napriek týmto nádejným predpokladom treba mať stále na zreteli všetky spomínané negatívne dôsledky prítomnosti krasových foriem, ako aj veľkú náročnosť ich inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu. Preto je často potrebný doplňujúci prieskum, na ktorý bezprostredne nadväzujú sanačné opatrenia (napr. horná nádrž PVE Čierny Váh: V. NEVICKÝ—A. KRAUS 1973, V. NEVICKÝ, 1985). V súvislosti s podzemnými objektami dochádza aj k principiálnym zmenám pôvodného projektu usporiadania systému PVE (napr. návrh zmeny podzemného umiestnenia elektrárne na povrchové pri PVE Malá Vieska — ľavobrežný variant, PVE Hrhov).

Rozborom prvkov inžinierskogeologického charakteru vplývajúcich na realizáciu jednotlivých objektov PVE dochádzame k nasledujúcim záverom:

Najčastejším problémom pri realizácii hrádze i objektov *hornej nádrže* je nerovnorodosť vlastností základovej pôdy. Spomínaná nerovnorodosť je však vo väčšine prípadov dôsledkom rozdielnosti litologickej stavby, existencie tektonických porúch, resp. prítomnosti rôznych krasových foriem. Veľké hrúbky kvartérnych sedimentov, prípadne elúvií, môžu byť podmienené neotektonickými pohybmi jednotlivých blokov masívu a rôznou odolnosťou hornín voči zvetrávaniu.

Veľká priepustnosť hornín, ktorá je súčasne najčastejším problémom pri vytvorení zátopy hornej nádrže, je v podstate podmienená rovnakými základnými prvkami (prítomnosť tektonických porúch, polohy nesúdržných sedimentov, kras). Napriek tomu ju považujeme za jav prvoradej dôležitosti. Úniky vody z hornej nádrže do masívu majú totiž ďalekosiahle stavebno-technické i prevádzkovo-ekonomické dôsledky pre celý systém PVE. Negatívne vplývajú na stabilitu celého svahu (G. S. ZOLOTARJOV 1982), ovplyvnením režimu podzemných vôd môžu ohroziť podzemné objekty a výrazne znižujú efektívnosť prečerpávania v dôsledku strát potenciálnej energie vody a pod. Preto sú nároky na utestnenie horných nádrží PVE a na nepriepustnosť ich obvodových hrádzí podstatne vyššie ako pri akumulačných nádržiach údolných priehrad.

Základným problémom *povrchového vedenia privádzačov* sú práve otázky súčasnej i dlhodobej stability svahu. Zložitosť tohto problému spôsobuje, že

často sa za spoľahlivejšiu (z hľadiska dlhodobej prevádzky PVE) považuje *podzemná trasa privádzačov* (aj vzhľadom na možnosti zmenšenia dĺžky trasy privádzačov a ekonomickejšieho dimenzovania panciera pri jeho spolupôsobení s horninou). Bezpečnosť a hospodárnosť podzemného variantu je teda ovplyvnená predovšetkým vlastnosťami horninového masívu (J. MENCL 1979). Tie sú závislé hlavne od geologickej stavby masívu; najpodstatnejší negatívny vplyv majú už spomínané pásma tektonických porúch. Z hľadiska tektonickej stavby by trasa privádzačov spolu s kavernou mali byť umiestnené v úsekoch charakterizovaných najjednoduchším tektonickým štýlom bez výskytu násunových línií rôznych tektonických jednotiek a v horninových typoch s minimálnym podielom mechanickej diskontinuity (S. POLÁŠEK 1968). Veľkú dôležitosť má aj posúdenie hydrogeologických pomerov masívu, hlavne so zreteľom na možnosti prienikov prívalových vôd, zvýšenie statického zaťaženia vyrúbaného priestoru s nutnosťou vytvárania drenáží, ako aj posúdenie kvality podzemných vôd (ich agresivity voči betónu, resp. železu). Zohľadniť sa musia tiež napätostné pomery v okolí výrubu, neotektonická aktivita jednotlivých častí masívu, možnosti seizmických otrasov, ako aj dlhodobá stabilita svahu. V podstate rovnaké faktory vplývajú i na realizáciu *podzemného variantu elektrárne*, pričom ich vplyv je úmerný rozmerom objektu. Dôležité je aj dostatočne hlboké umiestnenie kaverny vzhľadom na možnosť vytvorenia prirodzenej klenby v horninovom masíve. Pri *povrchovom umiestnení elektrárne* sa stretávame s problémami, rozbor ktorých je nutný pri realizácii ľubovoľného, veľmi náročného pozemného objektu. Všetky vplývajúce prvky prostredia sú v podstate opäť podmienené vyššie analyzovanými príčinami. Podobne aj pri rozbore prvkov prostredia, ktoré vplývajú na realizáciu hrádze, objektov i zátopy *dolnej nádrže*, sa opakujú všetky už spomínané v predošlých analýzach. Pri klasickom type PVE však treba upozorniť na niektoré mimoriadne dôležité otázky, v ktorých sa odráža určitá špecifičnosť prevádzky systému PVE. Ide predovšetkým o problémy stability svahov dolnej nádrže vzhľadom na vplyv kolísania vodnej hladiny. S touto otázkou úzko súvisí aj problematika pretvárania brehov pri režime kolísania hladiny dolnej nádrže. Zmeny budú zrejme intenzívnejšie a vytvorenie brehového profilu blízkeho rovnovážnemu stavu nastane skôr než pri priehradných nádržiach s normálnym ročným alebo niekoľkoročným režimom vodných hladín (O. HORSKÝ—L. WOZNICA 1973). Nakoniec veľmi dôležité je aj posúdenie zanášania nádrže na základe zistenia množstva unášaných splavenín a ich najvýznamnejších zdrojov v rámci povodia (tento problém teda úzko súvisí s náchylnosťou jednotlivých horninových typov na zvetranie).

Určité špecifické črty má v prípade PVE aj inžinierskogeologické hodnotenie *stavebných materiálov*. Predovšetkým pri umelo vyhĺbených horných nádržiach je nutné v maximálnej možnej miere zužitkovať takto získaný materiál pri stavbe obvodových hrádzí. Vysoké nároky na prirodzený tesniaci materiál dna a svahov zátopy hornej nádrže i na materiál do tesniaceho jadra hrádze dolnej nádrže si vyžadujú vykonávať špecializovaný vyhľadávací prieskum v najbližšom okolí územia výstavby.

V tabuľke 2 sme zhrnuli všetky prvky inžinierskogeologického prostredia,

ktoré významne ovplyvňujú realizáciu PVE. Najvýznamnejšie sú tie, ktorých vplyv má dosah na celý systém PVE. Z tohto dôvodu ich pri jednotlivých objektoch neopakujeme, iba ich dopĺňame. Jednotlivé prvky inžinierskogeologického prostredia sa však vzájomne prelínajú a podmieňujú, a tak vyberáme iba najtypickejšie, pričom ich počet nepovažujeme za vyčerpávajúci.

Tabuľka 2 Prvky inžinierskogeologického prostredia vplývajúce na realizáciu systému PVE a jeho jednotlivých objektov

Systém PVE ako celok	Geologická stavba a litologické zloženie Tektonické porušenie masívov Neotektonické pohyby a seizmicita Stabilita svahu s objektami PVE Prítomnosť krasových foriem
Horná nádrž a objekty s ňou súvisiace	Priepustnosť hornín Hrúbka kvartérnych pokryvov Stabilta svahov obvodovej hrádze Chemizmus podzemných vôd Vhodnosť použitia vyťažených materiálov do hrádzí
Podzemne vedené privádzače, resp. podzemne umiestnená elektráreň	Napätostné pomery masívov Charakter obehu podzemných vôd Chemizmus podzemných vôd
Dolná nádrž a objekty s ňou súvisiace	Priepustnosť hornín Hrúbka kvartérnych pokryvov Stabilita svahov nádrže Pretváranie brehov nádrže Zanášanie nádrže Chemizmus podzemných vôd Vhodnosť materiálov do hrádze

Navyše je potrebné mať na zreteli neustály vývoj v koncepcii PVE, vývoj technológií zemných a banských prác, ako aj rast ekonomického potenciálu krajín a nutnosť využívať stále väčšie plochy územia aj s nepriaznivými inžinierskogeologickými pomermi. Práve preto sa neustále menia názory na vhodnosť inžinierskogeologických podmienok a dochádza k prehodnocovaniu aj takých lokalít, ktoré boli už predtým označené ako nevyhovujúce.

Napriek našej snahe, vychádzajúc zo stáleho opakovania sa podobných inžinierskogeologických problémov na rôznych lokalitách PVE, poukázať na ich určité špecifikum (a teda aj špecifikum inžinierskogeologického prieskumu pre PVE), dochádzame k záveru, že by bolo nesprávne považovať inžinierskogeologický prieskum pre PVE za výnimočný a podstatne sa odlišujúci od metodiky inžinierskogeologického prieskumu pre iné stavebné diela. Najvýraznejšie špecifikum prieskumu pre PVE je podmienené podstatou usporiadania jednotlivých objektov, ktorá vyplýva zo zmyslu činnosti celého systému. Pri prieskume totiž musíme mať na zreteli, že každý zo základných objektov PVE kladie pod vplyvom svojej funkcie v celom systéme konštrukčného riešenia dosť odlišné

nároky na optimálne inžinierskogeologické pomery v mieste situovania. Je pravdepodobné, že ak by jednotlivé základné objekty stáli samostatne, bolo by ich potom možné na ploche vymedzeného záujmového územia situovať v optimálnych pomeroch. Objekty sú však spojené funkčnou súvzťažnosťou, ktorá vo väčšine prípadov umožňuje len relatívnu optimálnosť situovania celého hydrotechnického systému z inžinierskogeologického hľadiska.

Metodika inžinierskogeologického prieskumu pre výstavbu PVE

Pri zostavovaní metodiky inžinierskogeologického prieskumu pre výstavbu PVE sme vychádzali zo zovšeobecnených skúseností, získaných pri doterajšom prieskume i realizácii PVE, ďalej sme zohľadnili poznatky z prieskumu pre PVE Dlouhé Stráně (R. HEJDA—V. KOLÁŘ 1978) a ďalšie, v súčasnosti aktuálne lokality (napr. PVE Ipeľ — A. MATEJČEK 1984, 1985; PVE Hoskora — R. ONDRÁŠIK —A. HYÁNKOVÁ 1983 atď.). Možno teda konštatovať, že princípy predloženej metodiky a jej nadväznosť na štádiá projektovej prípravy a dokumentácie stavieb už v zásade preverila realizovaná výstavba a overujú sa ďalej na nových, perspektívnych lokalitách.

Ak berieme do úvahy, že navrhnutá metodika inžinierskogeologického prieskumu pre výstavbu PVE je ako celok publikovaná v samostatnej metodickej príručke (P. WAGNER—M. MATULA—R. ONDRÁŠIK 1985), potom stačí, ak uvádzame na tomto mieste iba jej zásadné princípy, spracované v stručnej tabuľkovej forme (tab. 3).

Okrem údajov zhrnutých v tabuľke považujeme za potrebné zdôrazniť nasledujúce špecifické črty prieskumu pre PVE:

1. Mimoriadna technická náročnosť ich výstavby a z toho vyplývajúca závažnosť správneho inžinierskogeologického zhotnotenia územia si vyžaduje prísne dodržanie etapovosti prieskumu, pričom žiadnu zo základných etáp nemožno vylúčiť, ani etapy vzájomne spájať.
2. Nevyhnutná je veľmi úzka a priebežná spolupráca inžinierskeho geológa s projektantom v celom procese prípravy i realizácie PVE. Vďaka nej možno obsah a rozsah jednotlivých etáp (podetáp) prieskumu upresňovať na základe nárokov príslušného stupňa projektovej prípravy.
3. Od inžinierskogeologického prieskumu pre realizáciu PVE sa v zásade požaduje také zhodnotenie územia, na základe ktorého je možné situovať celý systém PVE na litologicky a štruktúrne homogénnom a geodynamicky stabilizovanom bloku pevného podložia. Táto základná úloha sa rieši postupne na rôznej úrovni podrobnosti, zodpovedajúcej jednotlivým etapám prieskumu.
4. Náročnosť a početnosť problémov pri realizácii PVE, ako aj špecifičnosť ich prevádzky si vyžaduje vo všetkých etapách určitú predvídavosť pri posudzovaní zásadných otázok. Ich analýza môže potom náplňou predbiehať príslušnú etapu prieskumu (napríklad už v etape orientačného prieskumu treba venovať veľkú pozornosť otázkam priepustnosti masívu v miestach projektovanej hornej nádrže, dokonca i geotechnickej problematike utesnenia hornín pod nádržou).

Hodnotenie nerovnorodosti a fyzického stavu horninového prostredia v rôznych etapách prieskumu

Stručná tabuľková forma spracovania zásad inžinierskogeologického prieskumu pre výstavbu PVE nedovoľuje podrobnejšie vysvetliť spôsob hodnotenia tej črty horninového prostredia, ktorá azda v najpodstatnejšej miere rozhoduje o účelnom situovaní systému PVE v skúmanom prostredí. Ide o nerovnorodosť a fyzický stav horninového prostredia, ktoré sa klasifikujú na rôznych hierarchických úrovniach podrobnosti, zodpovedajúcich danej etape prieskumu. Takéto hodnotenie najlepšie umožňuje klasifikácia masívov skalných a poloskalných hornín (G. A. GOLODKOVSKAJA—M. MATULA—L. V. ŠAUMJAN 1982), vychádzajúca z podobnosti zloženia a stavby, ale i fyzického stavu masívov. Dovoľuje posudzovať nerovnorodosť horninového prostredia nielen z hľadiska litologického, ale aj z hľadiska tektonickej porušenosti. Ak v klasifikačnom systéme zohľadníme neotektonickú aktivitu jednotlivých častí územia (resp. identifikovaných zlomov), potom klasifikujeme územie z aspektu, ktorý je pre realizáciu PVE najdôležitejší a obsiahnutý je vo vytýčenej zásade, že všetky základné objekty treba umiestniť v horninovom bloku čo najvyššieho stupňa štruktúrnej i geodynamickej rovnorodosti.

Taxonomická klasifikácia masívov skalných a poloskalných hornín

V inžinierskej geológii i v geotechnike čoraz viac pociťujeme potrebu takých klasifikačných systémov, ktoré by umožňovali v prirodzenom horninovom prostredí vyčleňovať kvázihomogénne celky nielen na základe podobnosti zloženia, ale aj fyzického stavu masívov. Tu je treba okrem geneticko-litologických a geologicko-štruktúrnych atribútov brať do úvahy aj charakter fyzickej diskontinuálnosti, nerovnorodosti a anizotropie horninových celkov rôznych hierarchických úrovní (podľa odlišného účelu riešenia úloh — od prehľadného regionálneho výskumu až po podrobný prieskum stavenísk).

Takouto je *taxonomická klasifikácia masívov skalných a poloskalných hornín,* zostavená v spolupráci katedier inžinierskej geológie v Moskve a Bratislave (G. A. GOLODKOVSKAJA—M. MATULA—L. V. ŠAUMJAN 1982). Horninové masívy ako kvázistatické modelové systémy sa v klasifikácii triedia a opisujú predovšetkým v pojmoch:

— štruktúr a ich prvkov (rozmery a tvary elementárnych látkových zložiek masívov — úlomkov, blokov, vrstiev, komplexov a pod., ale aj prvkov diskontinuálnosti — puklín, dislokácií a zlomových porúch),

— štruktúrnotvorných vzťahov a väzieb medzi nimi,

— v pojmoch charakterizujúcich ich fyzický stav a vnútroštruktúrnu funkcionálnosť (podmienky pevnosti, deformability a priepustnosti).

V klasifikácii sa vyčleňujú *dve skupiny masívov,* ktoré sa principiálne odlišujú

Tabuľka 3 Metodika inžinierskogeologického prieskumu pre výstavbu PVE

Etapy inžinierskogeologického prieskumu							
Názov etapy prieskumu		Cieľ etapy	Náplň etapy (podetapy)	Stupeň poznania inžinierskogeologických podmienok	Metódy výskumu a prieskumu	Forma výstupných materiálov	Štádium projektovej prípravy a dokumentácie stavieb
Orientačný	I. podetapa	Zásadné posúdenie vhodnosti územia pre realizáciu PVE z geologického a inžinierskogeologického hľadiska Porovnanie s konkurenčnými lokalitami	Ucelené posúdenie geologickej stavby širšieho záujmového priestoru s rámcovým zhodnotením jeho kladov a záporov vo vzťahu k uvažovanej investícii. Porovnanie konkurenčných lokalít	Zostavenie základného geologického modelu územia obsahujúceho: — vyčlenenie regionálnych horninových masívov a masívov zložitých zlomových pásiem — spracovanie údajov o typoch podzemných vôd a ich režime — spracovanie všeobecných údajov o najvýznamnejších geodynamických javoch — zostavenie všeobecnej informácie o výskyte vhodných stavebných materiálov	— spracovanie a účelové prehodnotenie archívnych materiálov a starších mapových podkladov (topografických i geologických) — rešerš geofyzikálnych informácií — základné geologické mapovanie v mierke 1 : 25 000 až 1 : 10 000	— účelová geologická mapa širšieho územia lokality (1 : 25 000 až 10 000) s charakteristickými profilmi — záverečná správa charakteru účelovej geologickej štúdie — expertné posúdenie geologickej stavby lokality vo vzťahu k projektovanému dielu — zostavenie poradia lokalít podľa vhodnosti	Investičný zámer
	II. podetapa		Zhodnotenie geologickej stavby užšieho záujmového priestoru, vyúsťujúce do inžinierskogeologického posúdenia vhodnosti navrhovaných projekčných alternatív usporiadania PVE. Porovnanie konkurenčných lokalít	Zostavenie východiskového inžinierskogeologického modelu územia, obsahujúceho: — vyčlenenie regionálnych a lokálnych horninových masívov i zložitých a jednoduchých poruchových masívov, vyčlenenie častí územia s významnými mocnosťami kvartérnych sedimentov — spracovanie údajov o hĺbke hladiny podzemnej vody, o charaktere a režime zvodnenia masívov a o chemizme podzemných vôd — zistenie a spracovanie údajov o neotektonickom vývoji a o významných geodynamických javoch — orientačné vyčlenenie území s perspektívnymi výskytmi stavebných materiálov	— podrobné inžinierskogeologické mapovanie v mierke 1 : 10 000 až 1 : 5 000 — metódy historicko-geologických a geomorfologických analýz — metódy diaľkového prieskumu — geofyzikálne metódy — technicko-prieskumné diela v obmedzenom množstve — orientačná rozhodovacia analýza	— špeciálna inžinierskogeologická mapa užšieho záujmového územia v mierke 1 : 10 000 až 1 : 5 000 s charakteristickými profilmi — mapa rozčlenenia územia na kvázihomogénne celky s ich prehľadnou inžinierskogeologickou charakteristikou — tektonická mapa-schéma s profilmi — záverečná správa s odporúčaním jedného alebo niekoľkých najvhodnejších usporiadaní systému PVE — výber najvhodnejšej lokality	Prípravná dokumentácia štúdia súboru stavieb
Predbežný		Rozhodnutie o možnosti realizácie PVE v daných inžinierskogeologických podmienkach s odôvodneným odporúčaním najvhodnejšej alternatívy technickej kompozície diela, zodpovedajúcej daným inžinierskogeologickým podmienkam	Podrobná charakteristika inžinierskogeologických pomerov v miestach hlavných objektov skúmaných alternatív usporiadania PVE	Zostavenie inžinierskogeologických modelov vybraných častí územia, ktoré obsahujú: — vyčlenenie lokálnych horninových masívov, prípadne až litologicky rovnorodých masívov, masívov zlomových porúch a ich zón, ako aj mocnejších polôh kvartérnych sedimentov, s ich základnou inžinierskogeologickou charakteristikou — kvalitatívne a kvantitatívne zhodnotenie tých prvkov hydrogeologických pomerov a súčasných geologických procesov, ktoré priamo vplývajú na realizáciu a dlhodobú bezporuchovú prevádzku jednotlivých objektov PVE — kvantitatívne posúdenie zásob i kvality stavebných surovín vo vytypovaných častiach územia	— technické prieskumné diela — podrobné inžinierskogeologické mapovanie — geofyzikálne metódy prieskumu — laboratórne skúšky na určenie fyzikálnych a mechanických vlastností zemín a hornín — poľné geotechnické skúšky — metódy výpočtov a modelovania — metóda optimalizačnej analýzy — špeciálne metódy	— špeciálne inžinierskogeologické mapy častí územia s projektovanými hlavnými objektami PVE, doplnené charakteristickými inžinierskogeologickými profilmi — mapy rozčlenenia častí územia s projektovanými hlavnými objektami PVE na kvázihomogénne celky s ich prehľadnou charakteristikou — upresnená štruktúrno-tektonická mapa — čiastkové záverečné správy, hodnotiace inžinierskogeologické podmienky — súhrnná záverečná správa	Prípravná dokumentácia: Projektová úloha
Podrobný		Stanovenie kvantitatívnych hodnôt charakterizujúcich vlastnosti horninového prostredia, ktoré sú potrebné pre bezpečný a hospodárny návrh realizácie objektov vybranej alternatívy usporiadania PVE	Rozčlenenie horninového prostredia v dosahu vplyvu projektovaných objektov PVE na kvázihomogénne celky a ich podrobná inžinierskogeologická a geotechnická charakteristika	Zostavenie podrobných inžinierskogeologických a geotechnických modelov vybraných častí územia, ktoré obsahujú: — vyčlenenie litologicky rovnorodých masívov, prípadne až masívov rovnakej blokovitosti, masívov jednoduchých zlomových porúch, ich zón a podzón, ako aj významných akumulácií kvartérnych sedimentov s podrobnou inžinierskogeologickou a geotechnickou charakteristikou — návrh sanačných opatrení na zamedzenie negatívneho vplyvu podzemných vôd a geodynamických javov na projektované objekty PVE — návrh postupu ťažby a kvantitatívnych úprav požadovaných stavebných surovín	— špeciálne inžinierskogeologické podrobné mapy častí územia s projektovanými hlavnými objektmi PVE, doplnené charakteristickými inžinierskogeologickými profilmi — podrobné mapy rozčlenenia častí územia s projektovanými hlavnými objektami PVE na kvázihomogénne celky s ich prehľadnou charakteristikou — upresnená štruktúrno-tektonická mapa — čiastkové záverečné správy, hodnotiace inžinierskogeologické podmienky realizácie hlavných objektov PVE — súhrnná záverečná správa	— podrobné inžinierskogeologické a geotechnické profily podzákladím objektov PVE — podrobné inžinierskogeologické a geotechnické vyčlenenie a charakteristika masívu v miestach projektovaných podzemných objektov — súbor výpočtových hodnôt potrebných pre projekt zakladania jednotlivých objektov PVE — záverečné správy s podrobnou inžinierskogeologickou a geotechnickou charakteristikou častí horninového prostredia, v ktorých sa budú realizovať objekty PVE	Projektová dokumentácia: Úvodný projekt

Ostatné výkony					
Názov		Zameranie	Metódy výskumu a prieskumu	Forma výstupných materiálov	Štádium projektovej prípravy a dokumentácie stavieb
Doplňujúci prieskum		Vyplýva z požiadaviek odberateľa prieskumu, ktorý presne špecifikuje náplň i rozsah riešenej problematiky (zvyčajne ide o získanie doplňujúcich charakteristík vlastností horninového masívu)	Závisia od charakteru požiadaviek odberateľa prieskumu		Projektová dokumentácia: Vykonávací projekt
Inžinierskogeologické sledovanie	Pri výstavbe	Bezprostredné overenie a doplnenie výsledkov uskutočnených etáp prieskumu a kontrola postupu stavebných realizačných prác. Pohotové riešenie inžinierskogeologických a geotechnických problémov, vznikajúcich pri výstavbe	— dokumentácia dočasných odkryvov — odber kontrolných vzoriek a ich laboratórne spracovanie — poľné geotechnické skúšky v obmedzenom rozsahu — geofyzikálne metódy	— čiastkové správy o hlavných objektoch PVE — záverečná správa, komplexne hodnotiaca zistené skutočnosti a obsahujúca odporúčania pre technické závery	Výstavba PVE
	Počas prevádzky diela	Priebežné sledovanie zmien v horninovom prostredí počas prevádzky PVE	— periodické geodetické premeriavanie kontrolných meracích bodov — periodické vyhodnocovanie činnosti osadeného kontrolného systému — geofyzikálne metódy	— správy hodnotiace zaznamenané výsledky činnosti kontrolného systému s návrhom prípadných technických opatrení	Prevádzka PVE

geneticky i svojou podstatou: 1. litologicko-štruktúrne masívy a 2. masívy zlomových porúch.

Pod *litologicko-štruktúrnymi* masívmi chápeme geologické telesá, ktoré vytvárajú priestorovo individualizované štruktúry rôzneho rádu, ohraničené prvkami litologických alebo štruktúrnych diskontinuít.

Pod *masívmi zlomových porúch* chápeme geologické telesá, ktoré vytvárajú horninový obsah výrazných zlomových deformácií; majú zonálnu stavbu v dôsledku existencie zón rôzneho stupňa tektonického porušenia skalného masívu.

V klasifikačnej schéme (tab. 4) sa vydeľujú v horizontálnom smere masívy štyroch stupňov na základe *taxonomicky odlišného priestorového rozmeru geologických štruktúr* (litologicko-štruktúrne masívy — a) regionálne, b) lokálne, c) litologicky rovnorodé, d) rovnakej blokovitosti; masívy zlomových porúch — a) zložitých zlomových pásiem, b) jednoduchých zlomových porúch, c) poruchových zón, d) rovnakej porušenosti).

Pre každý z hierarchicky odlišných typov masívov uvádzame vo vertikálnom smere predovšetkým tieto klasifikačné atribúty:

a) znaky rovnorodosti vnútornej štruktúry masívu
b) hranice masívov
c) obvyklé rozmery masívov.

Podrobnejšia charakteristika horninových masívov rôznych úrovní je zhrnutá v už spomínanej metodickej príručke (P. WAGNER—M. MATULA—R. ONDRÁŠIK 1985).

Hodnotenie nerovnorodosti horninového prostredia v etapách orientačného a predbežného prieskumu

Názorným príkladom posúdenia nerovnorodosti masívu na úrovni orientačného prieskumu je štúdia pre realizáciu PVE Hoskora (R. ONDRÁŠIK—A. HYÁNKOVÁ 1983), výsledky ktorej boli spracované vo viacerých publikáciách (M. MATULA—R. ONDRÁŠIK 1985; M. MATULA—R. ONDRÁŠIK—P. WAGNER—R. HOLZER—A. HYÁNKOVÁ 1985). Príklad demonštruje tú skutočnosť, že na základe tvorivého zhodnotenia starších prác, vlastného podrobného inžinierskogeologického mapovania, vhodne doplneného výsledkami geomorfologických analýz a štúdia leteckých snímok možno už na úrovni 2. podetapy orientačného prieskumu vydeliť základné prvky rovnorodosti horninového prostredia. V danom prípade sa pozornosť sústredila predovšetkým na identifikáciu neotektonicky aktívnych zlomov, ktoré rozčleňujú skúmané územie na celky s jednotným neotektonickým režimom. Vyčlenené regionálne a lokálne masívy vyjadrujú základnú predstavu riešiteľov o zákonitostiach geologickej stavby územia a o rozložení inžinierskogeologicky kvázihomogénnych celkov vo vzťahu k požiadavkám projektu PVE. Tieto množstvom faktov podopreté modelové predstavy, vyúsťujúce do zhodnotenia projekčných alternatív kompozície PVE, s odporúčaním najvhodnejšej z nich, majú priamy praktický význam pre ďalší postup prieskumných prác i vlastnej projekčnej činnosti. Vyčleňovanie detail-

Tabuľka 4 Inžinierskogeologická klasifikácia masívov skalných a poloskalných hornín (zjednodušené podľa G. A. GOLODKOVSKAJA—M. MATULA—L. V. ŠAUMJAN 1982)

Klasifikačné znaky a charakteristiky	Rad a názov masívov			
	A. MASÍVY LITOLOGICKO-ŠTRUKTÚRNE (LŠM)			
	I. Regionálne masívy	II. Lokálne masívy	III. Litologicky rovnorodé masívy	IV. Masívy rovnakej blokovitosti
1. Kritériá rovnorodosti vnútornej štruktúry masívov	Rovnorodosť zloženia a stavby litologickej formácie (LF)	Rovnorodosť zloženia a stavby litologického komplexu (LK)	Rovnorodosť zloženia litologického typu horniny (LT)	Rovnaký typ blokovitosti horniny (rovnaký fyzický stav)
2. Hranice masívov	Hranice LF a hranice masívov zlomových pásiem a zlomových porúch	Hranice LK a hranice masívov zlomových porúch	Hranice LT alebo ich kombinácií; hranice zón zvetrávania; lokálne zlomové poruchy	Zmeny typu blokovitosti
3. Obvyklé rozmery masívov	n. 1 000 m—n. 100 m	n. 100 m—n. 10 m	n. 10 m—n. 1 m	n. 1 m
	B. MASÍVY ZLOMOVÝCH PORÚCH (MZP)			
	I. Masívy zložitých zlomových pásiem	II. Masívy jednoduchých zlomových porúch	III. Masívy poruchových zón	IV. Masívy rovnakej porušenosti
1. Kritériá rovnorodosti vnútornej štruktúry masívov	Zložitá zonálna stavba s viacerými zlomovými poruchami (a šmykovými plochami)	Jednoduchá zonálna stavba s jednou šmykovou plochou a priliehajúcimi zónami porušenia	Rovnaký charakter dynamometamorfného pretvorenia hornín	Rovnaký stupeň a charakter mechanického porušenia hornín
2. Hranice masívov	Vonkajšie obmedzenie veľkých regionálnych zlomových pásiem so zložitou stavbou	Vonkajšie obmedzenie jednotlivých zlomových porúch s jednoduchou zonálnou stavbou	Hranice jednotlivých zón rovnakého látkového pretvorenia	Zmeny typu mechanického porušenia
3. Obvyklé rozmery (mocnosť) masívov	(n. 1 000 m)—n. 100 m	(n. 100 m)—n. 10 m	(n. 10 m)—n. 1 m	n. 1 m—n. 0,1 m

nejších úrovní kvázihomogénnych celkov je totiž viazané na podstatne bohatšiu informáciu o charaktere horninového prostredia, ktorú môžeme získať iba prostredníctvom technických prieskumných prác.

Práve uvedenú skutočnosť ilustruje príklad podrobného členenia masívu na kvázihomogénne celky na trase novej odvodňovacej štôlne Voznica — Banská Štiavnica, zodpovedajúci etape predbežného prieskumu. Napriek tomu, že príklad nesúvisí priamo s prieskumom pre PVE, je prakticky aplikovateľný vo všeobecnosti pri prieskume pre podzemné objekty PVE. Pri hodnotení horninového prostredia na trase prieskumných diel (štôlní) pre podzemné objekty sa totiž dosahuje možnosť najväčšej detailnosti rozčlenenia na kvázihomogénne celky, ktoré sú charakterizované hodnotami najdôležitejších inžinierskogeologických a geotechnických vlastností. Na takto spracované výsledky prieskumu nadväzuje projekcia technického riešenia podzemných objektov.

Nová odvodňovacia štôlňa (NOŠ) Voznica — Banská Štiavnica má zaistiť odvedenie podzemných vôd zo štiavnicko-hodrušského revíru v dostatočnom množstve pre plánovaný rozvoj geologicko-prieskumných a dobývacích prác. Jej projektovaná dĺžka dosahuje 13 830 m. Razená je vo veľmi pestrých geologických podmienkach. V prvom úseku (metráž 0—5 650) od západu na východ prechádza štôlňa nasledujúcimi základnými geologicko-štruktúrnymi komplexmi (obr. 8):

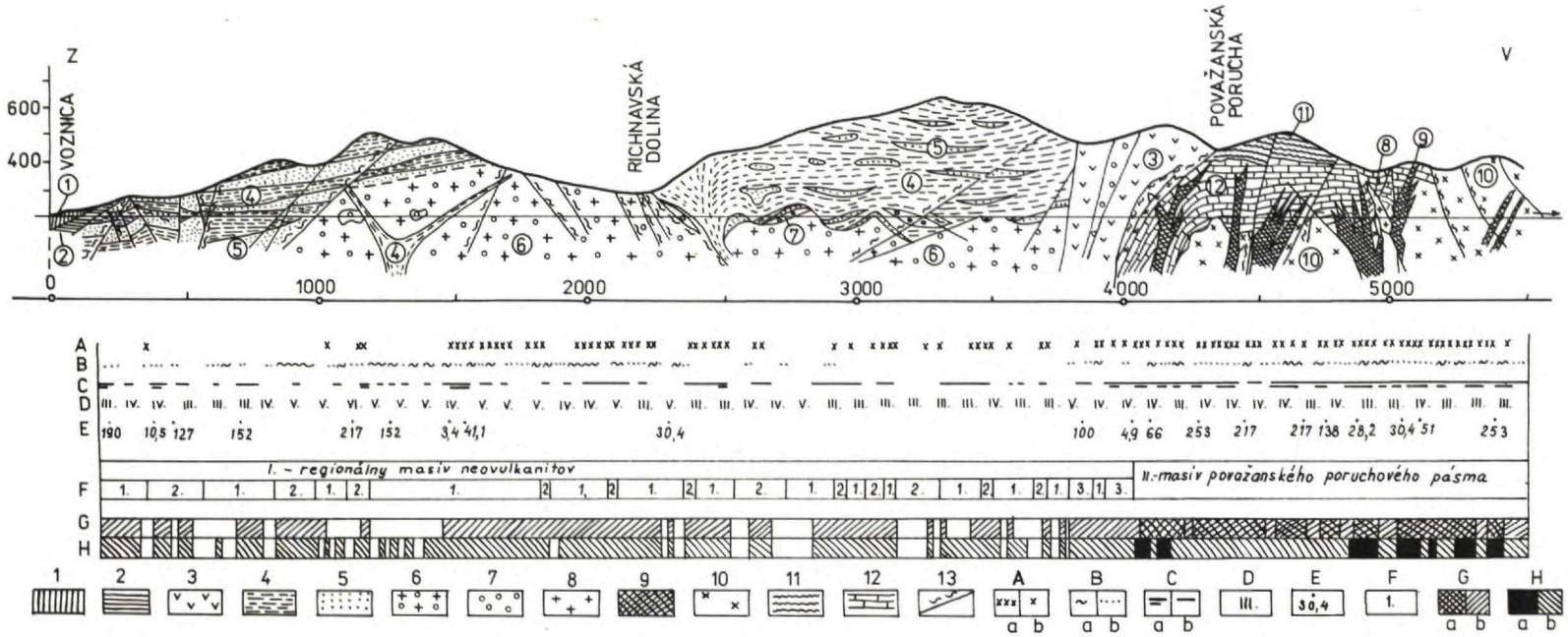
— Od ústia po 4 020 m je to neogénny vulkanický komplex, tvorený pyroxénickými a pyroxén-amfibolickými andezitmi s ich autoklastikami a ryolitmi.

— Od 4 020 m po 4 700 m prechádza trasa predneogénnym podložím, reprezentovaným stredno- až vrchnotriasovými kryštalickými dolomitmi s vložkami rohovcov, sadrovcami, pestrými pieskovcami a bridlicami (celý komplex patrí ku krížňanskej jednotke).

— Triasový sedimentárny komplex je od neogénneho vulkanického komplexu oddelený staršou považanskou zlomovou poruchou vertikálneho priebehu, pozdĺž ktorej došlo k výzdvihu východnej časti a poklesu západnej časti územia. Ryolitové masy, ktoré poruchu vypĺňajú, extrudovali až po výzdvihu východnej (centrálnej) časti, pretože nejavia znaky tektonického porušenia.

— Od 4 700 m až po koniec prvého úseku (5 650 m) prechádza trasa neogénnym hodrušským intruzívnym komplexom, reprezentovaným granodioritmi, aplitmi a kremenno-dioritovými porfýrmi.

Prvoradým problémom pri realizácii NOŠ z inžinierskogeologického a geotechnického hľadiska bolo navrhnúť takú obmurovku štôlne, ktorá by spĺňala kritériá dlhodobého bezporuchového zabezpečenia výrubu, a jej technické riešenie by bolo súčasne čo najekonomickejšie. V tejto súvislosti sa uskutočnila podrobná inžinierskogeologická dokumentácia štôlne, zameraná predovšetkým na zhodnotenie litologicko-štruktúrneho charakteru, tektonického porušenia, puklinovitosti a hydrogeologických pomerov; podrobné hodnotenie bolo doplnené súborom ďalších prieskumných metód (poľné geotechnické skúšky, laboratórne spracovanie vzoriek, meranie odrazovej tvrdosti hornín Schmidtovým kladivom, seizmické profilovanie). Materiál získaný z celého komplexu prieskumných metód dovolil rozčleniť trasu štôlne na kvázihomogénne úseky podľa



Obr. 8 Geologický profil novej odvodňovacej štôlne v úseku Voznica—šachta Mayer II. (podľa J. BURIAN—P. MOŠKO 1983 upravil L. HUDEC 1984) s inžinierskogeologickým a geotechnickým zhodnotením (podľa materiálov Geotestu, n. p., Brno upravil P. WAGNER 1984).
1 — svahové sedimenty, 2 — tufitický íl, 3 — ryolit, 4 — pyroxénický andezit, 5 — lávoklastická brekcia pyroxénického andezitu (efuzívne autoklastická), 6 — pyroxén-amfibolický andezit, 7 — extruzívne autoklastiká a hrubozrnné brekcie pyroxén-amfibolického andezitu, 8 — žulový aplit, 9 — kremenno-dioritový porfýr (dacit), 10 — granodiorit, 11 — pestré pieskovce a bridlice (keuper), 12 — kryštalický dolomit s vložkami rohovcov, 13 — dislokácie vyplnené mylonitom. Dokumentácia štôlne (0—188 m — definitívna obmurovka): A — výpadky horniny zo stropu: a) veľkého rozsahu, b) malého rozsahu; B — hydrogeologické pomery: a) po stene tečie voda, b) stena štôlne je vlhká, mokrá; C — puklinovitosť: a) veľká až veľmi veľká (priemerná vzdialenosť puklín 2—20 cm), b) stredná až malá (priemerná vzdialenosť puklín 20—200 cm); D — koeficient pevnosti podľa Protodjakonova (vypočítaný na základe laboratórne zistených hodnôt pevnosti v prostom tlaku a korelačných vzťahov z meraní odrazovej tvrdosti horniny Schmidtovým kladivom); E — miesta vykonania zaťažovacích skúšok a zistené hodnoty modulu deformácie v MPa . 100 (pre interval napätia 0—3,6 MPa, ľavá stena štôlne). Inžinierskogeologická klasifikácia masívov: F — vyčlenené lokálne masívy: 1 — andezitov, 2 — ich tufov, 3 — ryolitov. Geotechnické klasifikácie: G — raziteľnosť (podľa J. STRAKU): a) II. stupeň, b) I. a II.—I. stupeň, bez šrafy 0. a 0.—I. stupeň. H — geotechnické rozčlenenie štôlne podľa Geotestu: a) podrajón δ (vyžadujúci ťažký typ obmurovky), b) zlúčené podrajóny γ, β (vyžadujúce definitívny výstroj s funkciou obkladnou až ťahkou nosnou), bez šrafy — úseky možno ponechať bez definitívneho výstroja

rôznych kritérií (V. HORÁK 1983, I. VATRAS 1983). Inžinierskogeologickú klasifikáciu nerovnorodosti a stavu hornín (podľa G. A. GOLODKOVSKAJA—M. MATULA—L. V. ŠAUMJAN 1982) sme aplikovali nasledujúcim spôsobom:

a) celý skúmaný úsek štôlne sa rozdelil na dva principiálne odlišné typy masívov 1. rádu, ktorých styk (teda najexponovanejšie miesto štôlne) ilustruje úsek spracovaný podrobne na obr. 9 a v tab. 5.

I — litologicko-štruktúrny regionálny masív neovulkanitov (metráž 0—4 020),

II — masív zložitého poruchového pásma — považanského zlomu (metráž 4 020—5 650).

Ďalšie členenie do celkov s detailnejšou úrovňou rovnorodosti 2. a 3. rádu sa vykonalo v rámci takto vyčlenených základných typov masívov:

b) v časti I sú to litologicko-štruktúrne lokálne masívy, vyznačujúce sa rovnorodosťou na úrovni litologických komplexov (LK): odlišené sú masívy andezitov (A), ich pyroklastík (B) a masív ryolitov (C):

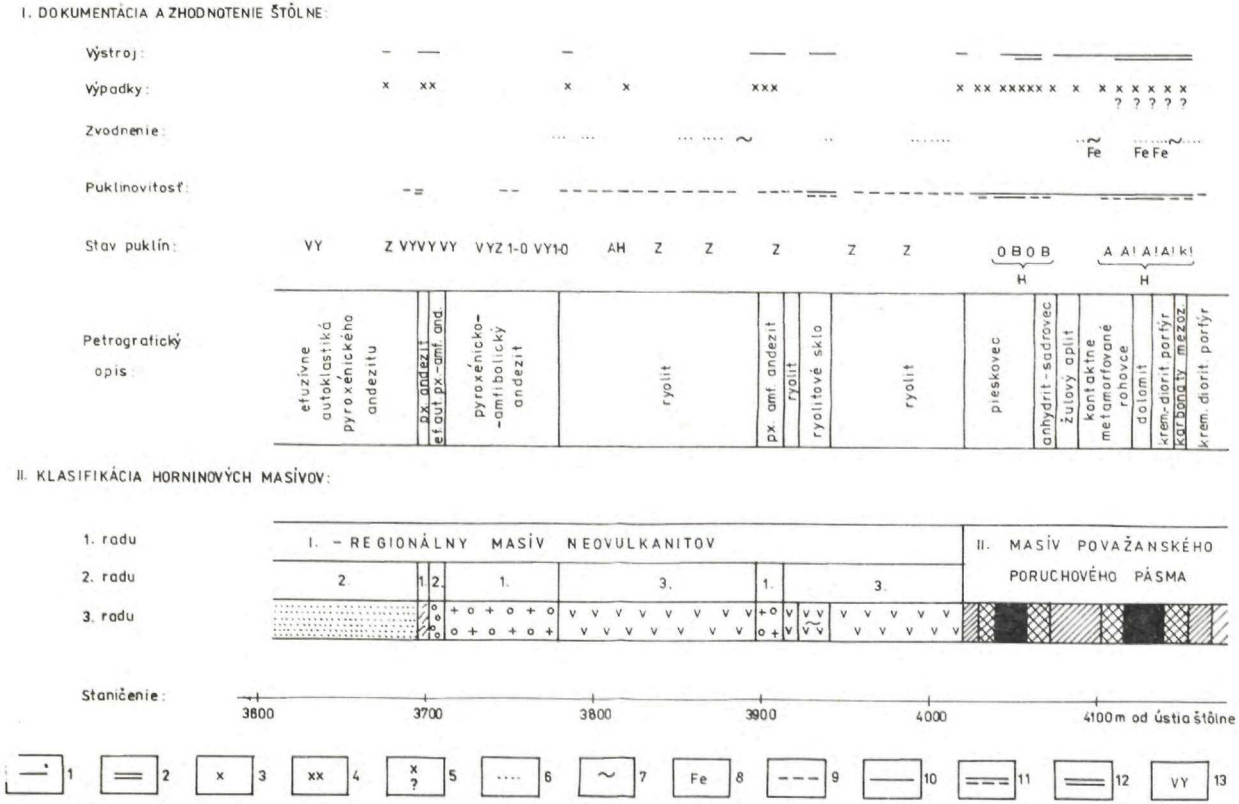
c) na ďalšej, podrobnejšej úrovni sa vyčleňujú masívy litologicky rovnorodé, v ktorých sa dosahuje rovnorodosť minerálneho zloženia, štruktúry a textúry jednotlivých litologických typov (LT) vulkanických hornín: pyroxénických andezitov, pyroxénicko-amfibolických andezitov atď.

Podstatne zložitejší bol výber kritérií pre vyčleňovanie kvázihomogénnych celkov v časti II — v masíve zlomového pásma. Úroveň dokumentácie posudzovaného geologického prostredia nedovolila vyčleniť masívy jednoduchých zlomových porúch s osobitnými šmykovými zónami. Masívy poruchových zón až rovnakej porušenosti sa vyčlenili na základe kritéria rovnakej intenzity puklinovitosti a rozdrobenia horninového materiálu.

Nedostatkom tohto príkladu je, že z rôznych dôvodov (predovšetkým vzhľadom na nasýtenosť pôvodnej dokumentácie) neboli vyčlenené masívy 4. rádu, t. j. masívy s rovnakou blokovitosťou a iba čiastočne masívy rovnakej porušenosti. V príklade naznačená problematika súčasne ilustruje značnú komplikovanosť aplikácie inžinierskogeologickej klasifikácie masívov skalných a poloskalných hornín, najmä pri posudzovaní masívov zlomových porúch.

Okrem spomínanej inžinierskogeologickej klasifikácie sa v trase štôlne aplikovala tiež kategorizácia úsekov podľa rôznych geotechnických klasifikácií (napr. RSR, O_{TS}, NGI — pozri M. FABIAN 1984) a podľa raziteľnosti. Rozčlenenie horninového prostredia na kvázihomogénne inžinierskogeologické masívy dovoľuje uskutočniť konečné podrobné rozdelenie trasy na úseky, charakterizované kvantitatívnymi hodnotami najdôležitejších inžinierskogeologických a geotechnických vlastností.

Načrtnutá metodika hodnotenia území pre výstavbu PVE sa aplikovala aj na lokalite prieskumu pre PVE Ipeľ.



Obr. 9 Príklad aplikácie inžinierskogeologickej klasifikácie masívov skalných a poloskalných hornín na vybranom úseku NOŠ.
I. — Dokumentácia a zhodnotenie štôlne (podľa V. Horák 1983): 1 — provizórny výstroj, 2 — zosilnený provizórny výstroj, 3 — výpadky horniny menšieho rozsahu, 4 — veľkého rozsahu, 5 — pravdepodobné (v zapažených úsekoch), 6 — stena vlhká až mokrá, 7 — výtok vody, 8 — výtok vody s Fe, 9 — puklinovitosť malá (priemerná vzdialenosť puklín 60—200 cm), 10 — stredná (20—60 cm), 11 — veľká (6—20 cm), 12 — veľmi veľká (2—6 cm), 13 — veľkými písmenami je označený stav puklín a ďalšie charakteristiky: VY — vyhojené, Z — zovreté, O — otvorené, 1 — počet puklín, A — alterovaná hornina, B — výpadky horniny z bokov profilu, K — kaverny, H — hydrotermálne premeny, ! — charakteristika veľmi výrazná.
II. — Klasifikácia horninových masívov je vysvetlená v tab. 5.

Tabuľka 5 II. Inžinierskogeologická klasifikácia masívov skalných a poloskalných hornín na vybranom úseku NOŠ

I. Masívy litologicko-štruktúrne			II. Masívy zlomových porúch		
Názov masívu	Rovnorodosť na úrovni	Označenie	Názov masívu	Rovnorodosť na úrovni	Označenie
a) Regionálny masív	litologickej formácie	Masív neovulkanitov	a) Masív zložitých zlomových pásiem	stavby regionálnej zlomovej poruchy	Považanské poruchové pásmo
b) Lokálne masívy	litologického komplexu	1. masív andezitov 2. masív pyroklastík a autoklastík andezitov 3. masív ryolitov	b) Masív jednoduchých zlomových porúch		
c) Masívy litologicky rovnorodé	litologického typu	masív pyroxénického andezitu masív klastík px-andezitu masív pyrox.-amf. andezitu masív klastík px-amf. andezitu masív ryolitu masív ryolitového skla	c) Masívy poruchových zón až rovnakej porušenosti	rovnakej intenzity puklinovitosti	veľmi malej puklinovitosti zóna zvýšenej (malej a strednej) puklinovitosti zóna veľkej až veľmi veľkej puklinovitosti zóna rozdrobených hornín

Záver

V príspevku predkladáme náčrt súčasného stavu, výhod a možností vo výstavbe PVE, vychádzajúc z energetických potrieb spoločnosti, z našich geologických podmienok i z pripravenosti inžinierskej geológie riešiť zložité problémy, súvisiace s takouto výstavbou. V návrhu metodiky inžinierskogeologického prieskumu sme zohľadnili náročnosť i špecifičnosť požiadaviek týchto mimoriadne komplikovaných hydrotechnických diel vo svetle najnovších metodologických i metodických poznatkov inžinierskej geológie. Aplikovali sme pritom novú inžinierskogeologickú klasifikáciu masívov skalných a poloskalných hornín pre charakteristiku rôznych úrovní nerovnorodosti a stavu hornín, ktorá zodpovedá jednotlivým štádiám hodnotenia územia perspektívnych lokalít PVE.

Napriek rôznym momentálnym technicko-ekonomickým ohraničeniam výstavby PVE u nás sme odôvodnene presvedčení, že inžinierska geológia sa musí v dostatočnom časovom predstihu zaoberať predovšetkým problematikou výstavby unikátnych diel, ktorých budúce požiadavky nás nesmú zastihnúť nepripravených. K takýmto dielam nesporne patria aj sústavy PVE. Okrem toho riešenie naznačeného rozsahu problémov podnecuje tiež všeobecný rozvoj celého vedného odboru.

Literatúra

Developing pumped storage, 1982. Water Power and Dam Construction. — October (redakčný článok).

FABIAN, M. 1984: Realizácia podzemných diel z hľadiska štruktúry masívov. — Dipl. práca. Manuskript-archív KIG, PFUK, Bratislava.

GOLODKOVSKAJA, G. A.—MATULA, M.—ŠAUMJAN, L. V. 1982: Classification of rock masses. — Proc. IV. Congr. IAEG, II, 1, New Delhi.

HEJDA, R.—KOLÁŘ, V. 1978: Průzkum pro PVE Dlouhé Stráně. — In: Geotechnický průzkum pro tunely a navrhování tunelových ostění. Zborník referátov konferencie ČSVTS, Dom techniky, Košice.

HORÁK, V. 1983: Závěrečná zpráva o geotechnickém průzkumu pro návrh definitivního statického zabezpečení na stavbě Nové odvodňovací štoly Banská Štiavnica. — Manuskript-archív Geotestu, n. p., Brno.

HORSKÝ, O.—WOZNICA, L. 1973: Problematika prognózy břehových změn v režimu kolísání hladiny údolních nádrží PVE. — In: Sborník referátů Přehradní dny, Ostrava.

INGR, M.—ŠARÍK, I. 1976: Poznatky z inžinierskogeologického prieskumu pre vodné diela v krasovom prostredí. — Miner. slov., 1, Bratislava.

KAROĽ, L. A. 1975: Gidravličeskoje akkumulirovanie energii. — Izd. Energija, Moskva.

LENDEL, J. 1976: Vodné elektrárne. II. časť — Prečerpávacie vodné elektrárne. — Vysokošk. skriptá SVŠT, Strojnícka fakulta, Bratislava.

MATEJČEK, A. 1984: PVE Ipeľ — dolná nádrž. Správa o inžinierskogeologickom prieskume. — Manuskript-archív IGHP, n. p., Žilina.

MATEJČEK, A. 1985: PVE Ipeľ. — Prehľadná správa. Manuskript-archív IGHP, n. p., Žilina.

MATULA, M.—ONDRÁŠIK, R. 1985: Analýza inžinierskogeologických podmienok výstavby komplexov prečerpávacích vodných elektrární. — In: Zborník referátov z celoštátnej konferencie Inženýrská geologie a energetická výstavba, Dům techniky ČSVTS, Brno.

MATULA, M.—ONDRÁŠIK, R.—WAGNER, P.—HOLZER, R.—HYÁNKOVÁ, A. 1985: Regional evaluation of rock mass conditions for pumped — storage plants. — Bulletin of the IAEG, 31, Paris.
MENCL, J. 1979: Geologický prieskum pre privádzače prečerpávacích vodných elektrární. — Odb. inform. stredisko VTEI — VÚIS, Bratislava.
NEŠVARA, J. 1970: Inžinierskogeologická typizácia a rajonizácia krasu na Slovensku. — Výsk. správa úlohy III-3-11/2, Geofond, Bratislava.
NEŠVARA, J. 1973: Problematika výzkumu stability svahů z hlediska řešení koncepce PVE. — In: Sborník referátů Přehradní dny, Ostrava.
NEVICKÝ, V.—KRAUS, A. 1973: Inžinierskogeologický prieskum hornej nádrže PVE Čierny Váh. — In: Sborník referátů Přehradní dny, Ostrava.
NEVICKÝ, V. 1985: Poznatky z prieskumu a geologického dozoru prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh. — Miner. slov., 17, 2, Bratislava.
ONDRÁŠIK, R.—HYÁNKOVÁ, A. 1983: PVE Hoskora — posúdenie vhodnosti výstavby. — Manuskript-archív KIG, PFUK, Bratislava.
POLÁŠEK, S. 1968: Inžinierskogeologické podmienky výstavby prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh. — Kand. dizert. práca. Manuskript-archív Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava.
SAVVIN, J. M. 1966: Gidroakkumulirujuščije elektrostanciji. — Energija, Moskva—Leningrad.
ŠARÍK, I.—INGR, M.—NEŠVARA, J. 1972: Inžinierskogeologický prieskum krasových oblastí so zameraním na stavbu vodných diel v Západných Karpatoch. — Manuskript-archív IGHP, Žilina.
ŠEJNMAN, L. B. a kol. 1978: Gidroakkumulirujuščije elektrostanciji. — Energija, Moskva.
ŠTOLL, Č —KRATOCHVIL, S.—HOLATA, M. 1977: Využití vodní energie. — SNTL, Praha.
The future role of pumped-storage schemes for peak-load hydroelectric supply, 1968. Economic Commission for Europe. — United Nations, New York.
The world's pumped-storage plants, 1981. Water Power and Dam Construction. — January.
VATRAS, I. 1983: Seismické profilování na stavbě Nové odvodňovací štoly Banská Štiavnica. — Manuskript-archív Stavební geologie, n. p., Praha.
WAGNER, P.—MATULA, M.—ONDRÁŠIK, R.—HOLZER, R.—GAJDOŠ, V. 1983: Inžinierskogeologické hodnotenie podmienok výstavby prečerpávacích vodných elektrární. — Čiastková správa výskum. úlohy. — Manuskript-archív KIG, PFUK, Bratislava.
WAGNER, P.—MATULA, M.—ONDRÁŠIK, R. 1985: Metodika inžinierskogeologického prieskumu pre výstavbu PVE. — Metodická príručka 29, IGHP n. p., Žilina.
WARNOCK, J. G. 1981: Still more potential for pumped storage. — Water Power and Dam Construction, January.
ZOLOTARJOV, G. S. 1979: Plotiny, GAES i ustojčivosť vysokich sklonov. — Sb. trudov „Problemy povyšenija effektivnosti i kačestva izyskanij dľa gidrotechničeskogo strojiteľstva", Moskva.
ZOLOTARJOV, G. S. 1982: Inženerno-geologičeskije problemy strojiteľstva GAES. — Trudy Gidroprojekta, Moskva.
ŽMURÁŇ, J. 1969: Palivový efekt prečerpávacích vodných elektrární. — Kand. dizert. práca. Manuskript-Výskumný ústav energetický, Bratislava.

M. MATULA—P. WAGNER

Engineering-geological evaluation of conditions for construction of pumped storage plants

Summary

Pumped storage hydro-plants exploit hydraulic accumulation of surplus energy to be returned back to electrical network in case of peak demand and thus compensate the load diagram (Fig. 1). They represent an operative reserve in case of disturbances in electrical network, regulate frequency at sudden increase of load, and cover the peak load to increase the annual exploitation of coal-fired

plants. In the time of construction of nuclear power plants with regular electric energy production the pumped storage plants are inevitable for thus oriented energetic systems.

The function of these plants controls the construction-technological resolution of the entire system (Fig. 2). Most frequent are compositions of classical pumped storage plants with the secondary accumulation and characteristic closed water circulation between the lower and upper reservoirs (Fig. 3) and plants with mixed primary and secondary accumulations (Fig. 4).

Particular realization — and functional demands of the hydro-plants control many criteria (natural conditions, situation in respect of the place of the source and current drain, character of the energetic system, machinery equipment), deciding about the pumped storage plant construction at the selected locality. The criteria and the latest trend of development of these hydro-plants (with a weekly compensating cycle — Fig. 5, hydro-plants with underground lower reservoir — Fig. 6 a.o.) are given in Table 1. Objective evaluation of engineering-geological conditions is most significant. From this view several localities of exploration and hydro-plant construction in Slovakia are revised (Fig. 7) and the engineering-geological problems identified by exploration are pointed out. The complex analysis of these problems affecting realization of the entire system of pumped storage hydro-plants (heterogeneous lithologic composition, tectonic disturbances of massifs, active neotectonic movements, seismic conditions, stability of slopes, karst forms) and their basical objects is performed in a separate part and presented in Table 2. The conclusions of the analysis, revision of experience from various stages of exploration at localities in various rock environment result in a proposal of a complex method of engineering-geological evaluation of areas for construction of pumped storage plants.

The methods are presented in the Table 3, including characteristics of the purpose and programme of single exploration stages, the state of information on the engineering-geologic conditions, recommended methods of investigation and exploration and the form of the resulting data. The exploration stages are linked with the stages of project preparation, documentation of constructions in accordance with official proclamations.

Detailed evaluation of the rock environment is based on classification of rocks massifs (G. A. GOLODKOVSKAJA—M. MATULA—L. V. ŠAUMJAN 1982), whose principles are presented in the last chapter (Table 4) with application of the exploration methods proposed at individual localities. A significant, formerly underestimated stage of preliminary exploration is illustrated with the example of the evaluation of the site for the projected pumped storage plant Hoskora. Evaluation of heterogeneity of rock environment in the stage of the preliminary exploration, applied first of all on underground objects of the hydro-plant is illustrated with the example of a new drainage gallery Voznica-Banská Štiavnica (Fig. 8) where of massif was divided except the 3rd order units (Fig. 9, Table 5).

Although the real prospects for the pumped storage plants construction are economically limited, the complex and pretentious problems to be solved in advance by the engineering-geology contribute markedly to the development of this branch of science.

Explanation of text-figures

Fig. 1 Covering of daily load diagram a — discharge hydroplants, b — coal fired and nuclear power stations, c — accumulation hydroplants, d — pumped storage plants and plants with gas turbines, e — consumption for pumping (after J. LENDEL 1976)

Fig. 2 Basical objects of pumped storage hydro-plants (on the examples of the hydro-plant Vianden — Luxemburg) 1 — upper reservoir, 2 — inflow plant, 3 — penstocks, 4 — dividing pipeline, 5 — pump, 6 — reverse motor-generator, 7 — turbine, 8 — transformer, 9 — outflow-plant, 10 — lower reservoir, H_{max} — maximum head of pumped storage plant, E_T — electrical energy produced at turbine regime, $E_č$ — electrical energy for drive of pumps (J. M. SAVVIN 1966)

Fig. 3 Basical types of pumped storage plants with secondary accumulation (classical or pure hydroplants) a) with artifical upper and lower reservoirs and surface-placed plants, b) with underground- placed plants, c) with natural lower reservoir, 1 — upper reservoir, 2 — lower reservoir, 3 — electric power plant (according to L. B. ŠEJNMAN et al. 1978)

Fig. 4 Pumped storage plants with mixed accumulation, a) dam hydroplants, b) derivation plant, c) scheme of inclination migration, 1 — upper reservoir, 2 — power plant, 3 — lower reservoir (according to L. B. ŠEJNMAN et al. 1978)

Fig. 5 Compared dimensions of reservoir for daily and weekly pumping cycles (according to J. LENDEL 1976)

Fig. 6 Scheme of pumped storage shaft-type hydro-plant with underground situation of lower reservoir, 1 — upper reservoir, 2 — lower reservoir, 3 — power plant, 4 — access shafts, 5 — vent shaft, 6 — inflow plant, 7 — penstocks (according to L. A. KAROL 1975)

Fig. 7 Localities of pumped storage plants in Slovakia

Fig. 8 Geological cross-section of a new drainage shaft in the segement between Voznica and shaft Mayer II (according to J. BURIAN—P. MOŠKO 1983), modified by L. HUDEC 1984), with engineering-geological and geotechnical evaluation (according to material of Geotest Brno modified by P. WAGNER 1984).
1 — slope sediments, 2 — tuffaceous clay, 3 — rhyolite, 4 — pyroxene andesite, 5 — lavaclastic breccia od pyroxene andesite (effusive autoclastics), 6 — pyroxene — hornblende andesite, 7 — extrusive autoclastics and coarse-grained breccia of pyroxene — hornblende andesite, 8 — granite aplite, 9 — quartz-diorite porphyry (dacite), 10 — granodiorite, 11 — variegated sandstones and shales (Keuper), 12 — crystalline dolomite with chert intercalations, 13 — dislocations filled with mylonite.
Drift documentation (0—188 m — definite lining): A — drop-out of rocks from ceiling: a) large, b) small, B — hydrogeologic conditions: a) water flowing down walls, b) damp drift wall, C — jointing: a) great to extremely great (average joints space 2—20 cm), b — medium to small (average joints spacing 20—200 cm), D — strength coefficient after Protodiakonov (calculation based on laboratory — proved strength in simple pressure and on correlations resulting from measurements of reflexion hardness by Schmidt hammer); E — places of load tests and values of deformation modul in MPa . 100 (for stress range 0—3.6 MPa, left wall of drift). Engineering-geological classification of massifs: F — local massifs distinguished: 1 — andesites, 2 — their tuffs, 3 — rhyolites
Geotechnical classifications:
G — driving possibility (after J. STRAKA) a) 2nd grade, b) 1st, 2nd—1st grade, without hachure 0. and 0.—1 grade, H — geotechnical division of drift according to Geotest: a) subzone δ (demanding heavy lining), b) compound subzones γ, β (demanding definite lining equipment with walling and supporting function), without hachure — the segments may be without definite lining equipment

Fig. 9 Example of applying engineering-geological classification of rock and semirock massifs in a selected segment
I — Documentation and evaluation of drift (after V. HORÁK 1983): 1 — provisional lining equipment, 2 — reinforced provisional lining equipment, 3 — smaller drop out of rocks, 4 — larger drop out of rocks, 5 — probable drop out of rocks (in lagged segments), 6 — damp wall, 7 — water outflow, 8 — water outflow with Fe, 9 — small jointing (average joints spacing 60—200 cm), 10 — medium jointing (20—60 cm), 11 — extensive jointing (6—20 cm), 12 — extremely extensive jointing (2—6 cm), 13 — capital letters denote the state of joints and other characteristics: VY — healed, Z — pinched, O — open, 1 — number of joints, A — altered rock, B — rock dropping out from flanks of profiles, K — caverns, H — hydrothermal alterations, ! — distinct characteristics
II — Classification of rock massifs is in Table 5.

Translation: E. Jassingerová

Západné Karpaty, hydrogeológia a inž. geol. 7, s. 37—54, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava 1989

MIROSLAV HRAŠNA—MILAN MATULA

Inžinierskogeologický prieskum a hodnotenie stavenísk jadrovoenergetických zariadení

5 tab. v texte, angl. resumé

Abstract. The autors discuss problems, programme and proceeding of engineering-geological exploration for the construction of nuclear power plants. Increased attention is paid to tectonic and seismic conditions of the area studied, to quality of foundation soils and their homogeneity. The problems studied are illustrated by the examples of the selection of sites for the nuclear power plants construction in Slovakia.

Obsah

Úvod
Odporúčaná metodika inžinierskogeologického prieskumu pre jadrovoenergetické zariadenia
  Úlohy a etapovosť inžinierskogeologického prieskumu pre JEZ
  Náplň prieskumných prác
Hlavné problémy inžinierskogeologického prieskumu pre jadrovoenergetické zariadenia
  Zlomy z hľadiska JEZ
  Celistvý geologický blok
  Seizmické ohrozenie JEZ
Záver
Literatúra
Anglické resumé

Úvod

Rozvoj výstavby jadrovoenergetických zariadení (JEZ), ku ktorému v súlade s celosvetovým trendom dochádza v poslednom období aj v ČSSR, okrem mnohých stavebno-technologických problémov prináša so sebou aj problémy súvisiace so zaistením jadrovej bezpečnosti a ochranou životného prostredia. Tieto otázky bezprostredne súvisia s možnosťou ohrozenia stavieb JEZ prírodnými faktormi, v našich pomeroch najmä geologickými a seizmickými. Riešením uvedenej problematiky sa zaoberá niekoľko odborov, medzi ktorými významné postavenie zaujíma inžinierska geológia.

RNDr. M. HRAŠNA, CSc.,—Prof. Ing. M. MATULA, DrSc., Katedra inžinierskej geológie PFUK, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava.

Vzhľadom na to, že metodika inžinierskogeologického prieskumu pre tento náročný druh stavieb nebola doteraz u nás dostatočne rozpracovaná, do plánu výskumných úloh Katedry inžinierskej geológie PFUK bola zaradená aj téma Hodnotenie a výber stavenísk jadrových elektrární, riešená v rámci hlavnej úlohy štátneho plánu RVT S-52-547-109 — Inžinierskogeologický výskum pre energetickú výstavbu, koordinovaná GÚDŠ Bratislava.

V rámci riešenej témy sa vypracovali inžinierskogeologické štúdie pre výber stavenísk JEZ na východnom, západnom a južnom Slovensku a návrh metodiky inžinierskogeologického prieskumu pre JEZ, ktorý tu zároveň s komentárom k najdôležitejším, resp. doteraj nejednotne riešeným problémom tohto prieskumu predkladáme odbornej verejnosti. V závere príspevku podávame stručný prehľad hlavných problémov výstavby JEZ na území SSR.

Odporúčaná metodika inžinierskogeologického prieskumu pre jadrovoenergetické zariadenia

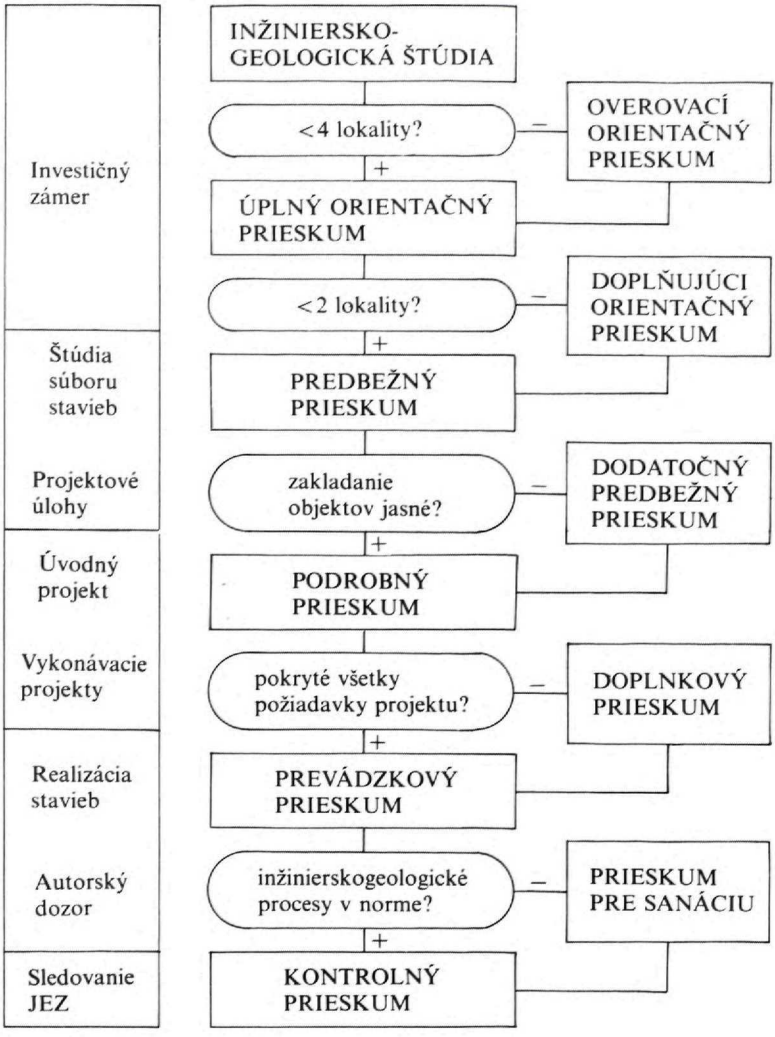
Úlohy a etapovosť inžinierskogeologického prieskumu pre JEZ

Podľa uznesenia Predsedníctva vlády ČSSR č. 174 zo dňa 8. X. 1981 je potrebné určiť konkrétne miesto výstavby JEZ už v priebehu prípravy investičného zámeru. Tým sa líši obsah prvých štádií dokumentácie stavieb JEZ od dokumentácie iných druhov stavieb, pri ktorých stačí definitívne stanoviť ich umiestnenie až v štádiu projektovej úlohy, resp. štúdie súboru stavieb (Vyhláška č. 105/81 FMTIR). Vychádzajúc z tohto aspektu, ako aj z technicko-ekonomickej náročnosti stavieb JEZ i prípadných možných dopadov na životné prostredie v prípade ich havárie, je v porovnaní so Smernicou č. 45 SGÚ (1976) potrebné rozšíriť inžinierskogeologický prieskum pre predprojektovú prípravu o etapu inžinierskogeologickej štúdie a podstatne rozšíriť etapu orientačného prieskumu. Z uvedených dôvodov je nutné sledovať i stabilitu geologického prostredia a charakter jeho deformácií v dôsledku inžinierskych zásahov nielen počas výstavby, ale aj v priebehu využívania JEZ.

Pri výstavbe JEZ nejde vždy iba o sledovanie a dokumentáciu, ale často aj o vykonávanie prieskumných prác. Preto príslušné etapy v schéme etapovosti inžinierskogeologického prieskumu pre JEZ (tab. 1) nie sú označené ako „sledovanie", ale ako prevádzkový a kontrolný prieskum. Schéma zohľadňuje rôzne situácie, ktoré môžu nastať pri hodnotení geologického prostredia v jednotlivých štádiách predprojektovej a projektovej prípravy, ale aj v období výstavby a využívania JEZ. Vlastný postup prác nie je pritom jednoznačne viazaný na vykonanie všetkých podetáp prieskumu. V závislosti od zložitosti inžinierskogeologických pomerov a miery preskúmanosti možno (za predpokladu splnenia stanovených cieľov) niektoré z nich vynechať.

Po ukončení každej etapy, resp. podetapy prieskumu sa podáva záverečná

Etapovosť inžinierskogeologického prieskumu pre jadrovoenergetické zariadenia Tabuľka 1



správa. V etapách vykonaných po schválení investičného zámeru je účelné podávať aj spresňujúce správy pre jednotlivé objekty, ktoré sa vyhotovujú spravidla na žiadosť objednávateľa.

Náplň prieskumných etáp

Cieľom etapy *inžinierskogeologickej štúdie* je vytypovať v oblasti vymedzenej na situovanie JEZ z energetického hľadiska územné celky (lokality) vhodné pre

výstavbu JEZ z hľadiska inžinierskogeologického. Východiskovým podkladom pre spracovanie štúdie sú archívne materiály a rekognoskácia územia, najmä však geologickotektonické, seizmologické, geomorfologické a geodetické štúdie, ktoré sa pre daný účel pripravujú obyčajne paralelne s inžinierskogeologickou štúdiou.

Prvý okruh problémov, ktorý treba v rámci inžinierskogeologickej štúdie riešiť (tab. 2), sa týka vymedzenia území s geologickými faktormi v zmysle Výnosu č. 4 ČSKAE (1979) jednoznačne vylučujúcimi možnosť umiestniť na nich stavby JEZ.

Druhý okruh problémov v zmysle uvedeného Výnosu sa týka vylučujúcich kritérií druhého stupňa, ktoré spôsobujú podmienečnú využiteľnosť územia pre výstavbu JEZ, t. j. za predpokladu ekonomicky prijateľného vyriešenia nepriaznivých územno-technických podmienok, resp. za predpokladu udelenia výnimky z platných predpisov alebo po prehodnotení priorít využívania územia.

Z celospoločenského hľadiska je najvhodnejšie situovať stavby JEZ v územiach s optimálnymi alebo aspoň prijateľnými základovými pomermi (tab. 2, časť 3), mimo územia vymedzené v časti 1 a 2,tab. 2.

Za základové pôdy vhodné pre výstavbu JEZ možno považovať pevné horniny a štrkovité zeminy, prípadne aj uľahnuté piesky a súdržné zeminy tvrdej konzistencie (s únosnosťou nad 0,2—0,5 MPa). Ostatné typy základových pôd sú podmienečne vhodné a nevhodné.

Cieľom inžinierskogeologickej štúdie je vytypovanie viacerých (5—10) vhodných lokalít, ktorých počet sa ďalej znižuje na základe iných obmedzení, resp. potenciálov krajinného prostredia (klimatické pomery, rekreačno-zdravotnícke požiadavky a pod.).

Ak po takomto výbere zostanú na ďalšie posúdenie 2—3 lokality, vykoná sa na nich úplný orientačný prieskum. V opačnom prípade je ekonomicky výhodnejšie urobiť najprv overovací orientačný prieskum, a to najmä na tých lokalitách, ktoré boli vytypované iba na základe geologických máp a ďalších podkladov regionálneho charakteru.

V podetape *overovacieho orientačného prieskumu* treba spravidla overiť predpoklad o neprítomnosti aktívnych zlomov, významnejších svahových alebo krasových deformácií, vysoko položenej hladiny podzemnej vody alebo významnejších geopotenciálov umožňujúcich iný spôsob využitia územia. Okrem toho treba potvrdiť predpokladaný výskyt vhodných základových pôd dostatočnej hrúbky v prijateľnej hĺbke z technicko-ekonomického hľadiska, t. j. v hĺbke do 10 m pod povrchom územia (tab. 3).

Prieskum sa vykonáva na základe dôkladnej analýzy všetkých zložiek inžinierskogeologického prostredia, ako aj obmedzeného rozsahu vrtných, banských a geofyzikálnych prác. V maximálnej miere je nutné využívať práce regionálneho charakteru a archívne materiály o skúmanom území, a to nielen geologické, ale aj geomorfologické, geodetické a seizmologické, vrátane historických záznamov o geodynamických javoch a poruchách stavieb.

Úplný orientačný prieskum sa vykonáva na 2—3 lokalitách vybraných v predchádzajúcom štádiu prieskumu. Jeho cieľom je zhodnotenie všetkých geofakto-

Tabuľka 2 Inžinierskogeologická štúdia pre výstavbu JEZ

Rozsah územia	Mierka máp	Náplň a postup prác
Oblasť vymedzená na situovanie JEZ z energetického hľadiska (200—1 000 km²)	1 : 200 000—1 : 50 000	(1) Vymedzenie a vylúčenie území: — s regionálnou seizmicitou ≥ 8° MSK a území v blízkosti potenciálnych seizmoaktívnych štruktúr i tektonických zlomových porúch s recentnou aktivitou — s nevhodným reliéfom z hľadiska situovania staveniska, prístupových ciest a možností získania úžitkovej vody — s intenzívnym rozvojom svahových deformácií a krasu — poklesávajúcich v dôsledku poddolovania, ťažby nerastov podzemným skvapalňovaním alebo splynovaním, prípadne ťažby ropy, zemného plynu alebo podzemnej vody — dobývacích priestorov ložísk dôležitých nerastných surovín — ochranných pásiem I. a II. stupňa prírodných liečivých zdrojov a pitnej vody — vyhlásených národných parkov
		(2) Vymedzenie území: — ohrozených záplavami v dôsledku inundácie alebo havárie vodných nádrží — s významnými zásobami podzemných vôd a povodí vodárenských tokov — s ložiskami dôležitých nerastných surovín — s výskytom exogénnych geodynamických javov (svahové gravitačné pohyby, erózia a pod.) — štátnych prírodných rezervácií, chránených krajinných oblastí a prírodných výtvorov — s kvalitnými poľnohospodárskymi pôdami
	1 : 25 000 (30—50 km²)	(3) Výber alternatívnych lokalít: — s predpokladanými vhodnými základovými pôdami s dostatočnou únosnosťou a stabilitou — s hladinou podzemnej vody pod predpokladanou úrovňou zakladania alebo aspoň 2 m pod súčasnou úrovňou terénu — s lokálnou seizmicitou ≤ 7° MSK — s predpokladaným výskytom dostatočne veľkého celistvého geologického bloku

rov ovplyvňujúcich situovanie staveniska a inžinierskogeologické podmienky výstavby JEZ, najmä stability územia, únosnosti a stlačiteľnosti základových pôd a lokálnych hydrogeologických, seizmických a tektonických pomerov. Dôležitou úlohou prieskumu je vyhľadanie celistvých geologických blokov (pozri ďalej), potrebných na situovanie hlavných objektov JEZ.

Okrem údajov, ktoré požadujú smernice (SGÚ, 1970), sa na inžinierskogeologických mapách zobrazujú všetky geofaktory obmedzujúce výstavbu JEZ, ako aj prípadné alternatívne polohy staveniska. Pre vyčlenené horninové typy sa stanovujú fyzikálne vlastnosti na základe štatisticky vyhodnotených laboratórnych rozborov, prípadne i orientačne realizovaných penetračných alebo presiometrických skúšok. Na zostavenie takejto mapy je potrebné použiť 15 až

Tabuľka 3 Orientačný inžinierskogeologický prieskum pre JEZ

Podetapa		Mierka máp	Počet lokalít	Náplň a hlavné ciele podetáp
Orientačný prieskum	overovací	1:25 000—1:10 000	4—7	Spresnenie údajov o: — priebehu aktívnych zlomov — rozsahu a intenzite geodynamických javov — hĺbke (tlakovej výške) podzemných vôd — základových pôdach — lokálnej seizmicite územia — ložiskách nerastných surovín — zásobách a ochranných pásmach podzemných vôd a prírodných liečivých zdrojov — iných geopotenciáloch územia Zostavenie inžinierskogeologických máp vybratých lokalít. Vytypovanie 1—3 lokalít na ďalší prieskum a hodnotenie
	úplný	1:10 000—1:5 000	1—3	Okrem vyššie uvedených údajov tiež: — vymedzenie pásiem s možnosťou tvorby nových povrchových zlomov — seizmické mikrorajónovanie územia — zistenie premenlivosti úrovne podzemných vôd, ich chemizmu a agresivity — vyčlenenie litologických typov hornín, štruktúrne nestabilných typov zemín a nestálych typov poloskalných hornín — zistenie a štatistické spracovanie fyzikálno-mechanických vlastností hornín — zhodnotenie všetkých geofaktorov obmedzujúcich výstavbu JEZ — posúdenie stability územia, únosnosti a stlačiteľnosti základových pôd — vymedzenie celistvých geologických blokov — výber 1—2 lokalít
	doplňujúci		1—2	Spresnenie údajov o inžinierskogeologických podmienkach výstavby JEZ za účelom definitívneho určenia najvhodnejšej lokality a komplexného spracovania investičného zámeru

20 dokumentačných bodov na km^2, z ktorých aspoň polovica by mala zasahovať do hĺbky 20—25 m, prípadne pod úroveň povrchu nezvetraných pevných hornín. Pri vhodných geologických podmienkach možno časť prieskumných prác nahradiť hospodárnejšími geofyzikálnymi metódami. Pre overenie geologickej stavby, stability a tektonických, prípadne i hydrogeologických pomerov je potrebné vyhĺbiť aj niekoľko oporných vrtov do hĺbky 150—200 m.

Doplňujúci orientačný prieskum sa vykonáva v prípade, ak na základe úplného orientačného prieskumu nie je možné jednoznačne dokázať výhodnosť niektorej z alternatívnych lokalít, alebo ak inžinierskogeologická dokumentácia horninového prostredia na lokalite, ktorá je zvolená k ďalšiemu posudzovaniu, neumožňuje komplexné vypracovanie investičného zámeru.

Predbežný prieskum sa vykonáva na lokalite definitívne vybratej na situovanie JEZ. Počet prieskumných diel sa v ňom dopĺňa tak, aby bolo možné vyčleniť inžinierskogeologické typy hornín v rámci všetkých geneticko-litologických komplexov. Preto je potrebné okrem laboratórnych skúšok vlastností hornín v dostatočnom rozsahu vykonať aj poľné skúšky, najmä penetračné a presiometrické, ale aj geofyzikálne merania, umožňujúce priestorovú extrapoláciu bodových hodnôt. Pre spresnenie údajov o geologickej stavbe a hydrogeologických pomeroch je potrebné vyhĺbiť aj oporné vrty do hĺbky 100—200 m. Časť z nich je vhodné vybaviť ako pozorovacie vrty na sledovanie deformácií horninového prostredia a podzemných vôd v rôznych horizontoch počas prípravy, výstavby i využívania JEZ.

Výsledky skúmania štruktúry a vlastností geologického prostredia je v tejto etape najvhodnejšie zobraziť na špeciálnych syntetických inžinierskogeologických a geotechnických mapách. Vhodné je zostaviť aj rôzne analytické mapy, napr. mapy izolínií modulu pretvárnosti pre rôzne hĺbkové úrovne a pod. (tab. 4).

Ak výsledky predbežného prieskumu nie sú postačujúce pre zodpovedný návrh rozmiestnenia a spôsobu zakladania všetkých objektov JEZ, vykoná sa na lokalite podetapa *dodatočného predbežného prieskumu*. Jeho obsahom môže byť aj návrh špeciálneho spôsobu zakladania alebo zlepšenia vlastností základových pôd.

Náplňou etapy *podrobného prieskumu* je stanovenie výpočtových hodnôt všetkých charakteristík vlastností základovej pôdy, potrebných pre bezpečný a hospodárny návrh stavebných konštrukcií. Okrem odberu a štatistického spracovania vzoriek dopĺňajú sa aj poľné penetračné a presiometrické skúšky, prípadne i skúšky zaťažovacou doskou. Ak je to potrebné, vykonáva sa aj pokusné zlepšenie základových pôd (napr. injektážou) alebo pokusná realizácia základových prvkov (napr. pilót), ako aj skúšky ich funkčnej spôsobilosti (tab. 4).

Ak výsledky podrobného prieskumu nie sú postačujúce pre bezpečný a ekonomický návrh všetkých stavebných konštrukcií, resp. ak dôjde k čiastkovým zmenám v koncepcii projektovaného zámeru, vykonáva sa pre vypracovanie úvodného projektu alebo vykonávacích projektov aj podetapa *doplnkového prieskumu*.

Náplň etapy *prevádzkového prieskumu* spočíva najmä v kontrolnej, dokumentačnej a konzultačnej činnosti počas výstavby JEZ, prípadne sa vykonávajú aj špeciálne práce a *prieskum pre sanáciu* nežiadúcich inžinierskogeologických procesov (porušenie svahov výkopov a násypov, nadmerná alebo nerovnomerná deformácia základových pôd a pod.).

Úlohou etapy *kontrolného prieskumu,* vykonávaného v priebehu využívania JEZ, je najmä kontrola, či prírodné alebo stavbou vyvolané geodynamické javy neprekračujú medze, ktoré predpokladá projekt, resp. inžinierskogeologický prieskum. Týka sa to najmä seizmicity a deformácií horninového prostredia, zapríčinených výstavbou JEZ, a znečisťovania podzemných vôd.

Tabuľka 4 Predbežný a podrobný inžinierskogeologický prieskum pre JEZ

Etapa	Mierka máp	Hlavné technické a geologické práce
Predbežný prieskum	1 : 5 000—1 : 2 000	— vrty na overenie geologickej stavby a hydrogeologických pomerov (hĺbka 150—200 m) — vrty v sieti 100 × 100 až 50 × 50 m (hĺbka 15—30 m) — odber vzoriek hornín a vody — vyčlenenie inžinierskogeologických typov hornín — štatistické spracovanie výsledkov laboratórnych skúšok pre vyčlenené horninové typy — penetračné a presiometrické skúšky a skúšky zaťažovacou doskou — upresnenie priestorového priebehu vrstiev a vlastností hornín geofyzikálnymi meraniami — charakteristika dynamických vlastností základových pôd — posúdenie dynamickej stability svahov — návrh špeciálneho spôsobu zakladania alebo zlepšenia vlastností základových pôd — zostavenie špeciálnych a analytických inžinierskogeologických máp
Podrobný prieskum	1 : 2 000—1 : 500	— doplnenie vrtov a skúšok hornín pre jednotlivé objekty — poľné skúšky, najmä v úrovni maximálnych priťažení od objektov — stanovenie výpočtových hodnôt charakteristík fyzikálno-mechanických vlastností základových pôd (vrátane dynamických) — pokusné zlepšovanie vlastností základových pôd — pokusná realizácia prvkov špeciálneho zakladania (skúšky ich funkčnosti) — pokusná ťažba v lomoch a zemníkoch — stanovenie maximálnych náloží (ich rozmiestnenia) pri odstreloch v lome a na stavenisku — pokusné hutnenie hornín a skúšky kameniva do betónu — zostavenie špeciálnych inžinierskogeologických a geotechnických máp

Hlavné problémy inžinierskogeologického prieskumu pre jadrovoenergetické zariadenia

Popri dôkladnom preverení kvality horninového prostredia, hydrogeologických i morfologických pomerov, ale aj existencie, príp. možnosti vzniku exogénnych geodynamických javov pri prieskume pre jadrovoenergetické zariadenia (JEZ) je potrebné prešetriť najmä stupeň seizmického ohrozenia lokality ich výstavby, prítomnosť seizmoaktívnych zlomov, zlomov s recentnou aktivitou a možnosť tvorby nových zlomov pri zemetrasení. V súvislosti s tým treba preveriť aj možnosť výstavby hlavných objektov JEZ na celistvom geologickom bloku, t. j. na čiastkovom horninovom masíve, v ktorom je vylúčená možnosť diferencovaných pohybov podľa predisponovaných línií, či už v dôsledku priťaženia stav-

bou v súvislosti so zemetrasením alebo v dôsledku hypergénneho uvoľňovania napätí.

Nakoľko metodika hodnotenia uvedených javov nie je doteraz uspokojivo doriešená, zaoberáme sa ňou ďalej podrobnejšie.

Zlomy z hľadiska JEZ

Zlom (resp. zlomová porucha) je tektonická štruktúra, v ktorej došlo k relatívnemu pohybu dvoch susedných častí zemskej kôry. K takýmto pohybom dochádza buď pozdĺž výraznej zlomovej plochy, alebo pozdĺž niekoľkých, približne rovnobežných zlomových plôch, vzdialených od seba niekoľko centimetrov až stoviek metrov, vytvárajúcich zlomové pásmo určitej šírky. Smerom k zemskému povrchu v zlomovom pásme zvyčajne pribúda počet zlomov a jeho hrúbka sa zväčšuje.

Súčasťou zlomovej poruchy (zlomového pásma) okrem zlomových plôch sú aj priľahlé porušené časti horninových masívov (tzv. masívy zlomových porúch), v ktorých boli horniny tektonickými, ale aj ďalšími procesmi v rôznom stupni a rôznym spôsobom porušené (M. MATULA 1981).

Z hľadiska JEZ sú významné najmä súčasne, resp. potenciálne (prognózne) *aktívne* zlomy, ktoré môžu spôsobiť značnú, prípadne nerovomernú deformáciu povrchu staveniska JEZ, alebo vyvolať na stavenisku seizmické otrasy. V literatúre sú takéto zlomy často označované tiež ako „zlomy schopné pohybu" (capable faults).

Definíciu aktívneho zlomu, ktorá bola prevzatá do predpisov mnohých iných štátov, podáva Federálny zákon USA (1973). Za *zlom schopný pohybu* považuje taký zlom, pri ktorom sa prejavila jedna z nasledujúcich vlastností:

1. Pohyb na povrchu alebo v jeho blízkosti najmenej raz v priebehu posledných 35 000 rokov alebo opakovaný pohyb počas posledných 500 000 rokov.
2. Makroseizmicita, stanovená pomocou prístrojov s dostatočne presnými záznamami, aby bolo možné preukázať priamy vzťah ku zlomu.
3. Štruktúrny vzťah k zlomu schopnému pohybu podľa charakteristík (1) alebo (2), ktorý umožňuje predpokladať, že pohyb jedného zlomu bude sprevádzaný pohybom druhého zlomu.

Podľa niektorých autorov je zisťovanie aktivity zlomov týmto spôsobom príliš náročné, resp. nie vždy možné (nedostatok geologických dôkazov alebo inštrumentálne podchytených zemetrasení). Za potenciálne aktívne odporúčajú preto považovať všetky zlomy aktívne počas kvartéru alebo v období od miocénu, t. j. zlomy s preukázanou neotektonickou aktivitou. Výhrady sú však aj voči jedoznačnému spájaniu aktivity zlomov so seizmicitou, nakoľko pohyby pozdĺž zlomov môžu mať pomalý (creepový) charakter bez výraznejších seizmických prejavov.

Bezpečnostné predpisy IAEA (1979) odporúčajú na posúdenie aktivity zlomov v širšom okolí staveniska JEZ obdobný postup ako vyššie uvedený zákon USA s tým, že v bode 1. uvažujú aspoň s jedným pohybom počas štvrtohôr

a v bode 2. okrem inštrumentálne podchytených zemetrasení aj vzťah zlomu k zemetrasnej aktivite, dokázaný podľa historických záznamov. Z hľadiska možnosti pohybu pozdĺž zlomov na stavenisku a v jeho blízkom okolí treba podľa predpisov IAEA považovať zlom za aktívny, ak:

a) sú dokázané opakované pohyby na povrchu alebo v jeho blízkosti v priebehu posledných 500 000 rokov,

b) je dokázaný taký štruktúrny vzťah k aktívnemu zlomu, že pohyb pozdĺž neho môže zapríčiniť pohyb pozdĺž skúmaného zlomu.

Súčasne sa predpokladá, že aj seizmická aktivita niektorých zlomov môže byť sprevádzaná ich pohybovou aktivitou.

V súlade s vyššie uvedenými poznatkami môžeme v geologicko-tektonických pomeroch územia SSR považovať za *„zlomy schopné pohybu"* všetky tie, pri ktorých sa preukázala aktivita v období mindel—halocén, ako aj zlomy, ku ktorým je podľa historických záznamov viazaná seizmická aktivita. Možnosť súčasných pohybov pozdĺž ostatných zlomov s dokázanou neotektonickou aktivitou treba posúdiť v závislosti od konkrétnych geologicko-tektonických a seizmických pomerov.

Pri situovaní staveniska JEZ treba zohľadniť hrúbku celého zlomového pásma (nie iba čiastkový zlom prebiehajúci v blízkosti staveniska), ako aj možnosť vzniku nových povrchových zlomových deformácií.

Zistiť polohu aktívnych zlomov je dôležité najmä pre určovanie ich seizmických vplyvov na JEZ a pre správne situovanie hlavných objektov JEZ na celistvom geologickom bloku. Na ich identifikáciu je potrebné využiť všetky dostupné metódy, najmä geologické, geomorfologické, historické, seizmologické, geodetické a geofyzikálne, ako aj rôzne metódy diaľkového prieskumu zeme.

Celistvý geologický blok

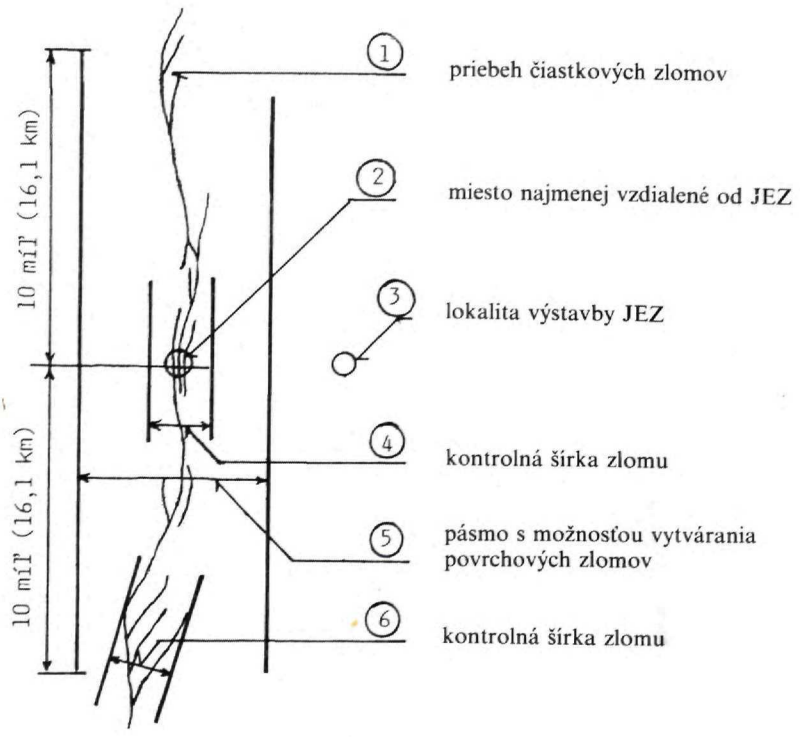
Za celistvý geologický blok možno považovať *geologické teleso* (G. K. BONDARIK 1971), resp. horninový masív, v ktorom mechanické diskontinuity majú taký charakter a rozsah, že pri namáhaní tektonickými, gravitačnými alebo seizmickými silami zostáva zachovaná jeho celistvosť (M. HRAŠNA 1984). Nakoľko takto vymedzený pojem nepredpokladá jednotné litologické zloženie ani jednotnú stavbu, nie je celkom správne označiť ho za „jednotný geologický blok", ako sa to niekedy stáva v literatúre i v prieskumných správach.

Pri vymedzovaní celistvého geologického bloku treba posúdiť najmä *možnosť pohybu pozdĺž existujúcich zlomov* a iných predisponovaných štruktúr (puklinových zón, polôh hornín s nižšou pevnosťou a pod.) v dôsledku zemetrasenia a hypergénneho uvoľňovania napätí, prípadne zmeny v napätí v dôsledku inžinierskej činnosti, ako aj možnosť tvorby nových povrchových zlomov pri zemetrasení.

Pre empirické stanovenie šírky pásma, v ktorom je možné pozdĺž aktívnych zlomov predpokladať vytváranie nových povrchových zlomov, možno použiť postup uvedený v citovanom Federálnom zákone USA z roku 1973 (tab. 5).

Tabuľka 5

Magnitúdo (M)	Intenzita (° MSK)	Šírka pásma s možnosťou vytvárania povrchových zlomov
<5,5	<7	1 × kontrolná šírka
5,5—6,4	7—8	2 × kontrolná šírka
6,5—7,5	9—10	3 × kontrolná šírka
>7,5	>10	4 × kontrolná šírka



Za kontrolnú šírku sa považuje maximálna vzdialenosť čiastkových zlomových plôch (naprieč priebehu zlomu), zistená v úseku dĺžky 10 míľ (16,1 km). V prípade, ak šírka pásma, stanovená podľa tabuľky 5, je menšia než 0,5 míle, uvažuje sa so šírkou 0,5 míle (805 m). V tomto pásme treba podľa citovaného zákona vykonať podrobný výskum možnosti ohrozenia JEZ novými povrchovými zlomami.

Seizmické ohrozenie JEZ

Seizmicita územia je jedným z hlavných geofaktorov ovplyvňujúcich výstavbu JEZ. V prvých štádiách prieskumu rozhoduje o situovaní staveniska JEZ v pod-

robnejších štádiách o spôsobe konštrukcie jednotlivých stavebných objektov a spôsobe ich zakladania. Podľa Výnosu č. 4 ČSKAE (1979) sa výstavba JEZ nepovoľuje na území so seizmicitou 8° MSK a vyššou, sovietska norma VSN 15-78 nepovoľuje výstavbu JEZ v lokalitách so seizmicitou 9° a vyššou. Táto zdanlivá nezrovnalosť vyplýva zrejme z aplikácie pojmu regionálnej seizmicity (pre úroveň PZ*) v prípade Výnosu ČSKAE a lokálnej seizmicity (pre úroveň MVZ*) v prípade VSN 15-78. Z dôvodu jadrovej bezpečnosti i z ekonomických dôvodov je vzhľadom na inžinierskogeologické pomery SSR výhodnejšie uvažovať s výstavbou JEZ na územiach s lokálnou seizmicitou (pre úroveň PZ) maximálne 7° MSK. Takýto postup bol doteraz aplikovaný pri výbere stavenísk všetkých plánovaných JEZ na území ČSSR.

Na území SSR zaberajú oblasti s regionálnou úrovňou seizmicity 7° a 6° MSK veľké územné celky. V týchto oblastiach je potrebné zistiť, či prírastky intenzity v dôsledku miestnych inžinierskogeologických (základových a seizmotektonických) pomerov na predpokladaných lokalitách výstavby JEZ nemôžu spôsobiť jej zvýšenie na 8° (9°) MSK.

V podrobnejších etapách prieskumu je nutné túto možnosť overiť inštrumentálne (geofyzikálnymi metódami seizmickej mikrorajonizácie). V počiatočných štádiách prieskumu je vhodné posúdiť ju aspoň podľa základových pomerov. V oboch prípadoch je okrem toho potrebné posúdiť aj možnosť zvýšenia seizmicity v blízkosti zlomov.

Základové pomery, ktoré spôsobujú zvýšenie seizmickej intenzity o 1° MSK, tvoria nasledovné horniny (M. HRAŠNA et al. 1984):

— poloskalné horniny s pevnosťou v prostom tlaku do 15 MPa a modulom pretvárnosti v masíve do 50 MPa,

— štrkovité, piesčité i súdržné zeminy pri hĺbke hladiny podzemnej vody do 6 m (neuvažujú sa súdržné zeminy mäkkej a kašovitej konzistencie, zvodnené jemnozrnné a prachovité piesky ani organické zeminy, násypy a presadavé spraše, ktoré sú pre zakladanie objektov JEZ nevhodné).

Naopak, skalné horniny s vyššou pevnosťou a menšou stlačiteľnosťou, ako aj uľahnuté štrkovité zeminy pri hĺbke hladiny podzemnej vody nad 10 m znižujú intenzitu seizmicity o 1° MSK.

Vplyv blízkosti zlomov na seizmicitu územia, resp. priamo na umiestňovanie stavieb s JEZ sa v odbornej literatúre i v predpisoch a normách rôznych štátov hodnotí nejednotne.

L. C. VALLEJO—B. O. SKIPP—R. A. WHITTLE (1978) odporúčajú vzhľadom na možné seizmické účinky pozdĺž aktívnych zlomov, resp. zlomov, ktoré prechádzajú epicentrálnou oblasťou zemetrasenia, situovať JEZ minimálne 8 km od hlavných zlomov, resp. 5 km od všetkých menších zlomov. Minimálne do vzdialenosti 5 míľ (8 km) od zlomu schopného pohybu odporúča situovať JEZ aj Komisia pre nukleárne účinky ASCE (1979).

Sovietska norma VSN 15-78 odporúča na zníženie seizmických vplyvov

* PZ — projektové zemetrasesnia; MVZ — maximálne výpočtové zemetrasenie — pozri ďalej

a zbytkových deformácií základovej pôdy posunúť lokalitu výstavby JEZ od aktívnych zlomov a iných potenciálnych seizmoaktívnych štruktúr minimálne do vzdialenosti:

50 km pri energii zemetrasenia >7,7 M
25 km pri energii zemetrasenia 6,6—7,7 M
15 km pri energii zemetrasenia 5,6—6,5 M
5 km pri energii zemetrasenia 4,6—5,5 M

Vo vymedzených pásmach nie je možné situovať JEZ, pokiaľ sa podrobným seizmologickým prieskumom nezistí skutočný rozsah vplyvu uvedených seizmotektonických štruktúr na úroveň lokálnej seizmicity.

Týmto ustanovením sa sovietsky prístup v podstate približuje predpisom IAEA (1979) i predpisom USA (Federálny zákon 1973), ktoré z hľadiska prípadných seizmických vplyvov aktívnych zlomov v blízkosti staveniska JEZ neobmedzujú jeho situovanie žiadnou pevne stanovenou vzdialenosťou, ale vyžadujú pomerne presný opis rozsahu a tvaru zlomov, histórie pohybov i seizmických otrasov viazaných na ne a v prípade potreby aj návrh vhodného inžinierskeho riešenia na zamedzenie ich nebezpečných účinkov na JEZ.

S prihliadnutím na vyššie uvedené i ďalšie zahraničné pramene, ako aj historické záznamy zemetrasení na území SSR možno *v našich seizmotektonických pomeroch* v etape štúdie a skráteného orientačného prieskumu uvažovať o zvýšení seizmickej intenzity o 1° MSK v blízkosti aktívnych, resp. seizmoaktívnych zlomov do vzdialenosti:

1 km pri regionálnej seizmicite 6° MSK,
5 km pri regionálnej seizmicite 7° MSK,
8 km pri regionálnej seizmicite 8° MSK,
10 km pri regionálnej seizmicite 9° MSK.

V podrobnejších etapách prieskumu sa seizmické ohrozenie JEZ stanovuje v pojmoch projektového zemetrasenia (PZ) a maximálneho výpočtového zemetrasenia (MVZ), ktorých stanovenie je náplňou seizmologického prieskumu. Ich definícia i možné spôsoby stanovenia sú uvedené v mnohých publikáciách (napr. V. SCHENK—Z. SCHENKOVÁ—V. KÁRNIK 1978; P. ŠIMÚNEK 1981 a i.).

Záver

Skúsenosti z vyhľadávania a prieskumu stavenísk pre výstavbu JEZ na území SSR ukazujú, že popri problémoch s určovaním *seizmického ohrozenia lokalít* je hlavným problémom prieskumu zisťovanie zlomov a ich aktivity a v súvislosti s tým i vymedzovanie celistvého geologického bloku.

Ak berieme do úvahy rozmery stavieb JEZ a nároky ich hlavných objektov na únosnosť a pravidelnosť sadania podložia, na území SSR často býva prekážkou ich situovania aj nedostatok vhodných základových pôd v oblastiach s inak vhodnými inžinierskogeologickými pomermi.

Dostatočne pevné a málo stlačiteľné skalné a poloskalné horniny vytvárajú

obvykle členitý reliéf so strmými svahmi a okraje horských masívov, ktoré budujú, sú často porušené svahovými deformáciami. Vyššie časti týchto masívov sú zväčša komunikačne nedostupné (ide najmä o ich napojenie na železničnú sieť), alebo sú tu problémy so získaním prevádzkovej vody.

Určitú výnimku tvoria pyroklastické horniny, ktoré na styku vulkanických pohorí s okolitými geomorfologickými jednotkami vytvárajú miestami pozvoľný, zaoblený reliéf. Ich nevýhodou je však značná litologická nerovnorodosť, podmieňujúca inžinierskogeologickú, resp. fyzikálno-mechanickú nerovnorodosť.

Z nespevnených sedimentov poskytujú pre výstavbu JEZ vhodné základové pôdy uľahnuté až stmelené piesky a súdržné zeminy tvrdej konzistencie egeru—bádenu, predovšetkým však štrkovité sedimenty oboch neogénnych stupňov i kvartéru.

Nakoľko štrkovité sedimenty väčších údolných nív sú zvyčajne významným zdrojom podzemných vôd, treba sa pri vyhľadávaní lokalít vhodných pre výstavbu JEZ orientovať v kvartéri najmä na štrkovité sedimenty starších terás alebo na sedimenty proluviálne. Tieto sa však nie všade vyskytujú v dostatočnej rozlohe a hrúbke.

Pri ďalšom výskume danej problematiky bude potrebné orientovať sa na zvýšenie úrovne inžinierskogeologickej dokumentácie pre projekciu a výstavbu JEZ, najmä na metodiku zostavovania špeciálnych inžinierskogeologických a geotechnických máp, ako aj rôznych tektonicko-diskontinuálnych modelov horninového prostredia. Zvýšenú pozornosť bude potrebné venovať tiež dynamickým vlastnostiam základových pôd a v spolupráci so seizmológmi aj zdokonaľovaniu spôsobov stanovenia výpočtových parametrov seizmického ohrozenia JEZ. Preto bude v prvom rade potrebné rozčleniť geologické prostredie územia SSR na základné seizmotektonické provincie a rajóny charakteristické výskytom zemetrasení s určitou energiou a intenzitou.

Na základe kvantifikovanej dokumentácie rôznych vlastností geofaktorov ovplyvňujúcich výstavbu JEZ bude možné spracovať aj metódy inžinierskogeologickej optimalizačnej analýzy pre situovanie stavenísk i jednotlivých objektov JEZ v rámci vybratých stavenísk.

Literatúra

Baroš, D. et al. 1983: Kecerovce — jadrová elektráreň. — Záverečná správa z rozšíreného orientačného prieskumu. IGHP, Košice.

Bondarik, G. K. 1971: Osnovy teorii izmečivosti inženerno-geologičeskich svojstv gornych porod. — Nedra, Moskva, 269.

Československá komisia pre atómovú energiu 1979: Výnos č. 4 o všeobecných kritériách zaistenia jadrovej bezpečnosti pri umiestňovaní stavieb s jadrovo-energetickým zariadením.

Federálny zákon USA — 38 FR 31279, čiastka 100, Kritériá pre umiestňovanie reaktorov 1973. Príl. A.: Kritériá pre umiestňovanie jadrových elektrární z hľadiska seizmicity a geológie — Washington.

Federálne ministerstvo pre technický a investičný rozvoj 1981: Vyhláška č. 105 o dokumentácii stavieb. — Praha.

HAŠKO, J. et al. 1981: Geologicko-seizmotektonická štúdia širšieho okolia JE Severné Slovensko. — Výskumná správa, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 66.
HRAŠNA, M. et al. 1982: Hodnotenie a výber stavenísk jadrových elektrární. — Čiastková výsk. správa za roky 1981—82. KIG PFUK Bratislava, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 72.
HRAŠNA, M. et al. 1984: Metodika inžinierskogeologického prieskumu a hodnotenia stavenísk jadrovoenergetických zariadení. — Záverečná výsk. správa za roky 1981—84, KIG PFUK Bratislava, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava.
International Atomic Energy Agency (IAEA) 1979: Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Sitting. — A safety Guide, Wien, 69.
MATULA, M. 1981: Metodologické problémy inžinierskogeologického štúdia a klasifikácie horninového prostredia. — In: Zb. prednášok z celošt. konfer. ČSVTS Inžinierskogeologické problémy horninového a krajinného prostredia v investičnej výstavbe, Štrbské Pleso.
RYŠKA, J. et al. 1982: Východné Slovensko — JE I. etapa. Rozšírený orientačný prieskum. — Geol. prieskum, Ostrava.
Slov. geol. úrad 1976: Vykonávacie predpisy k pokynu č. 1 riaditeľa SGÚ o inžinierskogeologickom mapovaní. — Bratislava, 16.
Slov. geol. úrad 1976: Smernica č. 45. Príprava, vykonávanie a vyhodnocovanie prác inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu. — Bratislava, 28.
SCHENK, V.—SCHENKOVÁ, Z.—KÁRNIK, V. 1980: Analysa seizmického ohrožení lokality. — Zb. zo 7. celošt. konf. geofyziky. Sekcia S-1 — seismika, Gottwaldov, 25—30.
ŠAFRÁNEK, V. 1983: Správa o výsledkoch seizmického mikrorajónovania na projektovanom stavenisku JE V. Slovensko — Žehňa a Kecerovce. — Geofyzika, Brno.
ŠIMŮNEK, P. 1981: Směrnice pro provádění geologických a inženýrskoseismologických průzkumů pro potřeby projektové přípravy JE v ČSSR. — Energoprojekt, Praha, 55.
Task Comitee on Nuclear Effects of ASCE 1979: Nuclear Facilities Sitting. — Journal of the Engineering Division. Proceedings of the ASCE, 105, EE3, USA, 443—501.
VALLEJO, L. C.—SKIPP, B. O.—WHITTLE, R. A. 1978: Engineering Geological and Seismological Criteria for Nuclear Power Plant Site Selection and Classification. — Zb. III. medzinár. kongr. IAEG, I, 2, Madrid, 195—200.
VASS, D. et al. 1982: Geologicko-seizmotektonická štúdia — jadrová elektráreň Východné Slovensko. — Výsk. správa, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 135.
VASS, D. et al. 1984: Geologicko-seizmotektonická štúdia — JE Rimavská kotlina. — Výsk. správa, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 142.
VAŠKOVSKÝ I. et al. 1983: Geologicko-seizmotektonická štúdia JE Bratislava. — Výsk. správa, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 216.
Usnesení Předsednictva vlády ČSSR č. 174 ze dne 8. X. 1981 o zabezpečení průzkumu a výběru lokalit pro jaderná energetická zařízení a jejich sledování při výstavbě a provozu. — Praha.
VSN 15-78, 1979: Dočasná norma pre projektovanie jadrovoenergetických výrobní pre seizmické oblasti. — Minergo, ZSSR, Moskva.

M. HRAŠNA—M. MATULA

Engineering-geological exploration and evaluation of sites for construction of nuclear power plants

Summary

The main task of engineering geology during the exploration concerning the construction of nuclear power plants is to situate the building sites so as to prevent the unfavourable geologic and seismic influences. These represent the most dangerous natural factors under the physical-geographical conditions on the Czechoslovak territory. Another important task is qualitative determination of properties of the geologic environment, particularly the components of engineering-geologic con-

ditions, decisive for the situation of the nuclear plants, their foundation, construction, ground works. When treating these problems, we must first of all consider:

— intensity, activity and energy of seismic shakes,

— seismoactive faults, faults with recent activity, possible formation of new faults during earthquakes,

— possible subsidence of the area, resulting from disturbances of underground areas of various origin (karst, mining plants, a. o.), from oil and gas mining, or from groundwater exploitation,

— character, extent and activity of geodynamic phenomena (gravity slope movements, erosion and accumulation water activity, soil collapsibility, a. o.), and possible new phenomena resulting from the construction of nuclear power plants,

— possible inundation of areas owing to intense rainfall, inundation and soaking by streams, or due to damage on water reservoirs,

— morphological conditions — particularly in respect of the demanded extent of ground work to form a building site and accessibility of the site, its possible connexion to railway network,

— quality of foundation soils, their bearing capacity, compressibility, permeability, seismic properties,

— groundwater level depth beneath the surface, its changes, including those following the surface adaptation and the nuclear power plant construction.

The first five issues comprise the main natural and antropogenic geodynamic phenomena which — in case of intensive development — may exclude the locality as favourable for the construction of the nuclear power plant.

In other cases it is necessary to judge the economic acceptability of technological solution which may eliminate consequences of unfavourable influence of natural environment upon the nuclear power plant. The judgement must be based upon the present state of the development of geodynamic phenomena and on the prognosis of their further development, including possible anthropogenic influence and the influence of the nuclear power plant upon geologic environment. It is also necessary to consider other factors, like potentials of the geologic environment to reveal the possibility of other utilization of the site. Then the site should be judged in respect of the occurrences of:

— protective zones of mineral and potable waters sources and of areas with significant groundwater reserves,

— protective zones of surface sources of potable and service water and waterworks flows drainage basins,

— areas with deposits of economically significant mineral raw materials, areas with mining segments,

— areas with good-quality agricultural soils,

— areas of national parks, national nature reservations, protected landscape and natural formations.

According to the Act 4 CsKAE (1979) it is not allowed to construct nuclear power plants in declared protective zones of raw-material deposits and in national parks. In other cases it is only allowed on the basis of exception from the Act or after a re-evaluation of the area in question.

Engineering-geological exploration for nuclear power plants in Czechoslovakia is performed in accordance with the scheme presented in Table 1, considering various situations which may occur in the stages of pre-project and project preparation of nuclear power plant construction. The proceeding works need not be strictly dependant upon all substages of the exploration. Some may be left out in respect of the complicated engineering-geological conditions and degree of exploration (if the purposes are realized).

The purpose of the stage of engineering-geological study which has rather the character of regional engineering-geological research than exploration is to find sites suitable for nuclear power plant constructions in respect of engineering-geology and environment. All the above mentioned factors and climate must also be considered.

If then 2—3 localities remain for further judgement a complete reconnaissance exploration is performed to reveal the decisive engineering-geological conditions (stability, seismic conditions, bearing capacity, a. o.) for the construction. In a reversed case it is more econmical to perform first the proving reconnaissance exploration based on limited drilling, mining and geophysical works.

Complementary reconnaissance exploration is performed when the complete orientational

exploration does not show unambiguously the advantages of one locality or when the engineering-geological documentation of the rock environment at a locality sellected for further judgement is insufficient for complex investment intention.

Preliminary exploration is performed at a locality selected for nuclear power plant construction with a ready investment intention.

In this stage of exploration the rock environment properties inevitable for its division into approximately homogenous complexes (beds, partial rock massifs) are determined. They serve as basis for the proposal of the distribution of nuclear power plants and the manner of their foundation.

The stage of detailed exploration for the introductory project comprises quantitative determination of rock properties necessary for the proposal of individual parts of nuclear power plants, particularly strength, compressibility and dynamic stability of foundation soils.

If the results of detailed exploration are insufficient for secure and economical proposal of all building constructions or when there are partial changes in the concept of the project, then for the executive project a substage of complementary exploration is necessary.

For the building sites of nuclear power plants also service — and control explorations are required in respect of their extent, signifficance and posible danger for environment.

The stage of service exploration comprises checking of the results of preceding stages, in consultation activity in the course of construction, suggestion for protective works in cases of undesirable egineering-geological processes (disturbances of slopes in excavations and cuts, excessive deformation of foundation soils a. o.).

The stage of checking exploration concerns the time of utilization of constructions. Its purpose is to check whether the natural geodynamic phenomena and rock deformations due to the construction and operation of nuclear power plants correspond to the limits presumed in the project. In a reverse case it is necessary to find their possible negative influence upon nuclear power plants and suggest technical measures to prevent their detrimental effects.

Experience in prospection and exploration of building sites for nuclear power plants construction in Slovakia shows that besides problems, concerning determination of seismic danger for the localities the main problem of the exploration is finding out of faults, their activity, delimitation of the compact geologic block without differentiated movements along some predisposed plain or zone.

In respect of the dimensions of nuclear power plants construction and demands for the bearing capacity and regularity of the basement setting down the lack of favourable foundation soils in areas with otherwise suitable engineering-geologic conditions is a frequent obstacle of nuclear power plants construction in Slovakia.

Rigid and slightly compressible rocks usually form a dissected relief with steep slopes; and margins of mountain massifs consisting of theses rocks, are frequently disturbed by slope deformations. Higher parts of the massifs are usually inaccessible (mainly in respect of their connexion to railway network) or there are problems with service water.

Volcanoclastic rocks on the contact of volcanic mountain ranges with adjacent geomorphologic units from a mild, rounded relief represent an exception. Their lithologic heterogeneity also causes engineering-geologic and physical-mechanical heterogeneity and this is their disadvantage.

Among unconsolidated sediments the Egerian-Badenian compact and cemented sands and cohesive soils of hard consistence, first of all Neogene and Quaternary gravelly sediments offer foundation soils suitable for the nuclear power plants construction.

Since the gravelly sediments of larger fluvial plains usually represent a significant source of groundwater, the selection of building sites for nuclear power plants in the Quaternary formation should be concentrated on gravelly sediments of older terraces or proluvial sediments. But they are not sufficiently extensive and thick everywhere.

Tables

Table 1 Stages of engineering-geological exploration for nuclear power plants

Table 2 Engineering-geological study for nuclear power plants construction

Table 3 Reconnaissance engineering-geological exploration for nuclear power plants

Table 4 Preliminary and detailed engineering-geological exploration for nuclear power plants

Table 5 Scheme: 1 — course of partial faults, 2 — place least distant from nuclear power plant, 3 — building site of nuclear power plant, 4 — checking breadth of fault, 5 — zone with possible formation of faults, 6 — checking breadth of fault

Západné Karpaty, hydrogeológia a inž. geol. 7, s. 55—86, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava 1989

IGOR MODLITBA—INGE VANČÍKOVÁ

Svahové deformácie v Zázrivskej doline a ich vzťah k vlastnostiam flyšoidných hornín

13 obr., 4 tab. v texte, 1 mapová príloha, angl. resumé

Abstract. There are many slope deformations in wider surroundings of the village Zázrivá. The slope deformations occupy 37.8 % od the entire area studied. They are mostly associated with Paleogene sandstone-claystone formation of the Magura nappe where 93 % of all slope deformations occur. Less slope deformations occur in the area consisting of Mesozoic sandstones and marlstones of the Manín Group (5.3 %) and least deformations (4.7 %) are on Paleogene sandstones of the Magura nappe and on Mesozoic rocks of the Klippen Belt (limestones, marlstones, a. o.) (Table 2). The most intense development of slope deformations proceeded on geologic structures, mostly in the so-called consequent and insequent structures typical of the flysch facies. Most deformations are associated with slopes of 10—22° dip. The slope deformations in the area of Zázrivá are mostly caused by decreased shear strength of clayey earths owing to changing humidity and hydrogeologic conditions controlled by intense and long lasting rains.

A map of probable slope deformations was based on the synthesis of the data obtained.

Obsah

Úvod
Geologické pomery
Výskyt svahových deformácií
Zosuvné geologické štruktúry
Príčiny vzniku svahových deformácií
Záver
Literatúra
Anglické resumé

Úvod

Získané výsledky registrácie svahových deformácií v rokoch 1962—1964 a z roku 1984 (I. MODLITBA—M. KOVÁČIK 1984), ako aj výsledky základného geologického mapovania (M. POTFAJ 1974, J. HAŠKO—M. POLÁK 1979) a ďalšie údaje z odbornej literatúry (A. NEMČOK 1982, Atlas SSR 1980) zaraďujú Zázrivskú dolinu a jej okolie medzi oblasti, pre ktoré je charakteristické značné znehodnotenie životného prostredia svahovými deformáciami.

RNDr. I. MODLITBA, RNDr. I. VANČÍKOVÁ, Geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava.

Svahové deformácie tu poznamenávajú takmer 37,8 % plochy územia. Mnohé z nich vzhľadom na svoj charakter a rozmery museli mať v čase vzniku katastrofálne následky, znehodnotili najmä lesné porasty a poľnohospodársku pôdu. Vývoj svahových deformácií v Zázrivskej doline prebieha i v súčasnej dobe hlavne vďaka nadmerným zrážkam a nevhodným zásahom človeka do prírodného prostredia.

V poslednom desaťročí bol evidovaný pohyb svahových sedimentov napr. na lokalite Sihla (R. RENTKA 1975), nad osadou Veľká Havrania (V. JÁNOVÁ—M. KOVÁČIK—I. MODLITBA 1985), v osade Kozinská a na ďalších menších lokalitách. Svahová deformácia nad osadou Veľká Havrania spôsobila značnú hospodársku i ekologickú škodu a vzhľadom na jej rozsah sme oprávnení zaradiť ju medzi najväčšie svahové deformácie na Slovensku.

Geologické pomery

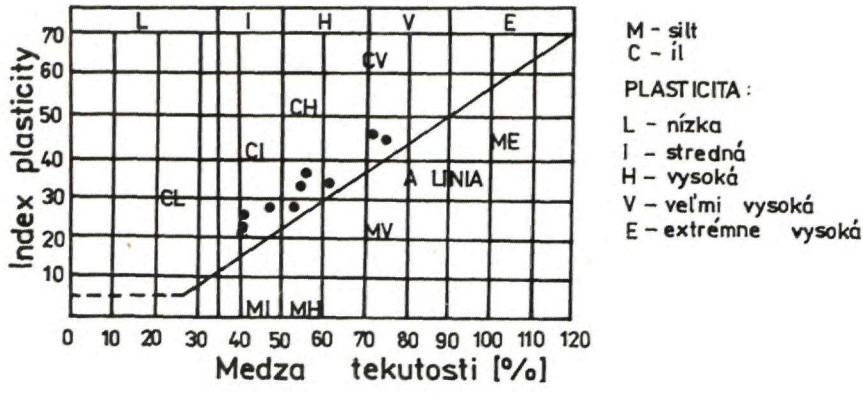
Podľa údajov M. POTFAJA (1974), J. HAŠKU—M. POTFAJA (1976) a J. HAŠKU—M. POLÁKA (1979) v oblasti Zázrivej vystupujú:

— *Horniny bradlového pásma Kysuckých vrchov* — vo vývoji kysuckej, oravskej, čertezickej a manínskej série. V prvých troch sériách, t. j. kysuckej, oravskej a čertezickej sa vyskytujú súvrstvia tvorené prevažne rôznymi varietami vápencov a slieňov s typickými znakmi bradlového pásma. Naproti tomu pre manínsku sériu je typický flyšový vývoj, v ktorom prevládajú jemno- alebo stredozrnné vápnité pieskovce s vložkami sivých bridličnatých slieňov. Pomer pieskovcov a vložiek slieňov je 5 : 1 až 10 : 1.

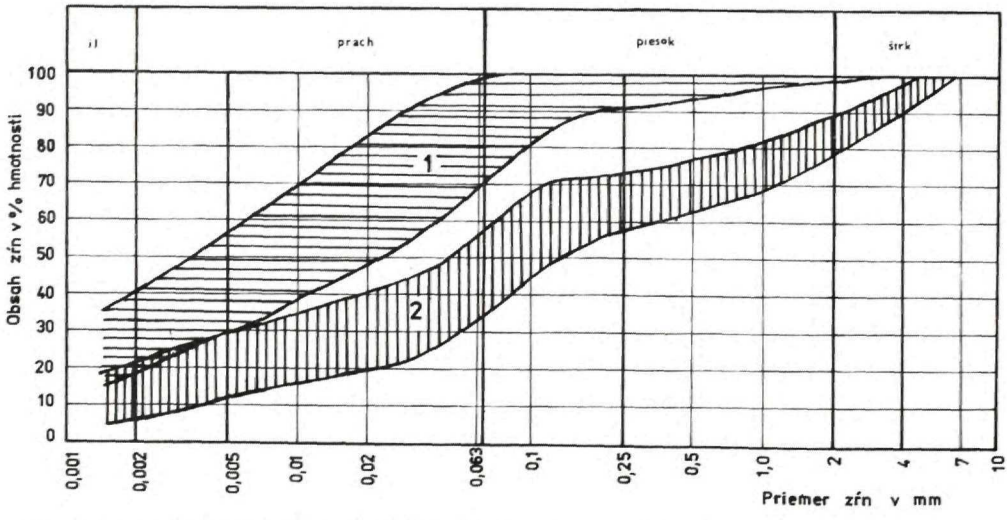
— *Horniny paleogénu Kysuckých vrchov* oravsko-magurskej jednotky tvoria opäť flyšové súvrstvie, v ktorom sa striedajú vápnité ílovce s pieskovcami, pričom pomer pieskovcov k ílovcom je asi 4 : 1. V tejto oblasti sa vyskytuje aj súvrstvie, v ktorom výrazne prevládajú ílovce, alebo naopak výrazne prevládajú pieskovce. Pieskovcové súvrstvie sa nachádza v hrebeňových zónach kót Javorníky, Paráč, Príslopec, Minčol a tvorí spravidla nadložie pieskovcovo-ílovcovému súvrstviu oravsko-magurskej jednotky.

Územie budované flyšovým súvrstvím je pokryté svahovými hlinitokamenitými a kamenitohlinitými sedimentmi. Kamenitý materiál je tvorený hlavne ostrohrannými doskovitými až blokovitými balvanmi pieskovca. Objemový podiel pieskovcových úlomkov sa spravidla pohybuje v rozmedzí od 10 do 60 % a je vertikálne i horizontálne značne premenlivý. V niektorých lokalitách, napr. južne od kóty Paráč, západne od Bzinskej hole a Hole, bol zistený aj výskyt výlučne pieskovcového, kamenitého materiálu s charakterom kamenných morí.

Jemné frakcie svahových sedimentov majú charakter ílov, ílovitých hlín a hlinitých pieskov. V zmysle klasifikácie IAEG ich možno označiť ako íly so strednou až veľmi vysokou plasticitou (obr. 1). Obsahujú 7—40 % frakcie pod 0,002 mm, 12—54 % frakcie pod 0,005 mm, 30—67 % frakcie od 0,002 mm do 0,063 mm a 3—65 % frakcie nad 0,063 mm (obr. 2). Konzistencia svahových



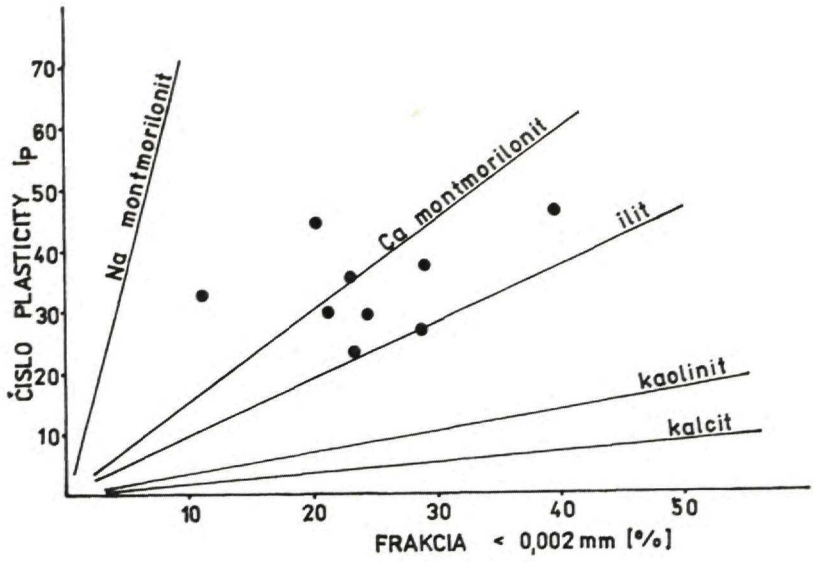
Obr. 1 Diagram plasticity jemných frakcií svahových sedimentov



Obr. 2 Obalové čiary kriviek zrnitosti jemných frakcií svahových sedimentov
1 — íly, ílovité hliny, 2 — hlinité piesky s prímesou štrkovitej frakcie

sedimentov je rôzna a závisí hlavne od blízkosti zvodneného horizontu, kde býva spravidla mäkká až kašovitá. Väčšinou však prevláda pevná až tvrdá konzistencia. Medza tekutosti sa pohybuje od 40 do 75 % a číslo plasticity od 22 do 46. Jemné frakcie majú premenlivý obsah uhličitanov, ktorý sa pohybuje od 0 do 56,3 %. Hodnota aktivity ílovitých zemín A_i poukazuje na prevládajúci obsah Ca-montmorilonitu a ilitu. Hodnota A_i sa pohybuje od 0,9 do 2,15 (obr. 3).

Vychádzajúc z uvedeného charakteru svahových sedimentov je možné analogicky predpokladať, že pre ne budú charakteristické nízke hodnoty šmykovej



Obr. 3 Aktivita ílovitých zemín A_i — svahových sedimentov

pevnosti. Podľa I. MODLITBU (1972) možno pri vysokoplastických typoch zemín tuhej až mäkkej konzistencie predpokladať hodnoty $\varphi_R = 6—10°$ a $c_R = 0{,}00$ MPa. Hodnoty efektívnej i totálnej pevnosti súdržného materiálu, ktorý je v danom prípade pre vznik svahových deformácií rozhodujúci, budú pravdepodobne v rozmedzí:

$$\varphi' = 20—27{,}9° \qquad c' = 0{,}0—0{,}021 \text{ MPa}$$
$$\varphi_u = 0—6° \qquad c_u = 0{,}014—0{,}122 \text{ MPa}$$

Pri íloch a ílovitých hlinách možno predpokladať pomerne vysokú schopnosť fyzikálne viazať vodu, veľké objemové zmeny vplyvom zmien vlhkosti (napúčanie, zmrašťovanie) a výrazné znižovanie šmykovej pevnosti vplyvom zvyšovania vlhkosti. Okrem toho za priaznivý faktor vzniku svahových deformácií možno považovať intenzívne aktivovanie pórových tlakov a vztlakových síl pri zmene pomerov napätia a hydrogeologických pomerov v horninovom masíve.

V oblasti vápencovo-slienitého vývoja hornín bradlového pásma je hrúbka kvartérnej vrstvy z hľadiska vývoja svahových deformácií zanedbateľná. Väčšinou má charakter kamenitých a hlinito-kamenitých suťových sedimentov. Obsah kamenitého materiálu je spravidla nad 50 % objemu, pričom ide prevažne o vápencový materiál. Úlomky sú ostrohranné, s maximálnym priemerom asi 30 cm. Veľmi často vytvárajú suťové kužele, ktoré majú na päte svahu hrúbku 2—3 m. V horných častiach svahu sú spravidla drobnokamenité, v spodných častiach prevažne hlinitokamenité. Charakter hlinitých frakcií nie je plasticitou v podstate odlišný od hlinitého materiálu na flyšovom podklade. Ich obsah,

vyjadrený v percentách objemu, je však podstatne nižší, najmä u ílovitých frakcií. Prevažujú frakcie nad 0,005 mm. Podľa aktivity ílovitých zemín obsahujú prevažne ilit alebo Na-montmorilonit.

V údolí potokov sa vyskytujú fluviálne sedimenty typu piesčitých štrkov s hrúbkou do 2,5 m, ktoré sú však z hľadiska vývoja svahových deformácií bezvýznamné.

Výskyt svahových deformácií

Pri registrácii svahových deformácií v roku 1984 bolo v okolí Zázrivej evidovaných 56 lokalít devastovaných pohybom svahových sedimentov. Z nich sedem zaberá plochu nad 1 km^2. Vyskytujú sa v záveroch dolín západne od kóty Javorinka (2,98 km^2), juhovýchodne od kóty Okrúhlica (1,33 km^2 a 1,29 km^2), južne od kóty Minčol (1,65 km^2), v okolí Rohole (1,27 km^2) a nad osadou Kozinská pod kótou Pavláškova Skalka (1,08 km^2). Štyri deformácie zaberajú plochu nad 0,5 km^2. Ide o lokality nachádzajúce sa juhovýchodne nad osadou Veľká Havrania (0,79 km^2), východne od centra obce Zázrivá pod kótou Kamenitá (0,69 km^2), východne pod kótou Hoľa nad osadou Kozinská (0,68 km^2) a severne od osady Veľká Havrania pod kótou Hoľa (0,64 km^2). Osemnásť svahových deformácií je menších ako 0,5 km^2 a zvyšok nedosahuje plochu 0,1 km^2. Jednotlivé lokality svahových deformácií sú znázornené na mape pravdepodobnosti vzniku svahových deformácií a stručne charakterizované v tab. 1.

Prevažná väčšina svahových deformácií (asi 49 % lokalít) je viazaná na svahy, ktorých generálny sklon sa pohybuje v rozmedzí od 10° do 18°. Na svahoch so sklonom nižším ako 10° sa vyskytujú deformácie len sporadicky (7,2 % lokalít). Pomerne často sa vyskytujú i na svahoch so sklonom od 18° do 24° (27,2 % lokalít). Na strmších svahoch, t. j. so sklonom nad 24°, je však výskyt deformácií opäť menší. Na svahoch so sklonom v rozmedzí 24—32° bol evidovaný výskyt 11 % lokalít a na svahoch so sklonom nad 32° sa nachádza len 5,6 % lokalít. Maximálny sklon svahu, na ktorom bola evidovaná svahová deformácia, dosahoval 60° (svahová deformácia č. 1 v osade Kozinská). Histogram početnosti lokalít svahových deformácií vo vzťahu ku sklonu svahov je znázornený na obr. 4.

Početnosť svahových deformácií v Zázrivskej doline je výrazne viazaná na geologickú stavbu svahu, t. j. na litologický charakter hornín, ich úložné pomery, rozvoľnenosť, fyzikálny stav a pod. Ich najväčší rozsah bol evidovaný na svahoch, v ktorých sa vyskytujú *paleogénne horniny magurského príkrovu,* a to ílovce spodného až stredného eocénu a pieskovce vo flyšovom vývoji. Toto súvrstvie sa vyskytuje na ploche približne 30,8 km^2 (t. j. 57,2 % z celkovej plochy skúmaného územia), z čoho je až 61,4 % plochy zreteľne postihnutej pohybom svahových sedimentov. Až 90,5 % z celkovej plochy svahových deformácií v Zázrivskej doline pripadá na územia budované uvedenými horninami.

Svahové deformácie vyvinuté na pieskovcovo-ílovcovom súvrství magurské-

Tabuľka 1 Charakteristika svahových deformácií v Zázrivskej doline

1 Číslo svah. def.	2 Tvar	3 Typ	4 Aktivita	5 Geologická stavba svahu	6 Sklon svahu (°)
1	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Mkoc	60
2	plošný	zosúvanie, tečenie	potenciálny	RS/Ppi + Mkoc	15
3	prúdový	tečenie	aktívny	RS/Ppi	20
4	prúdový	tečenie	aktívny	RS/Ppi	18
5	prúdový	tečenie	potenciálny	RS/Ppi	21
6	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Ppi	23
7	plošný	zosúvanie, tečenie	potenciálny	RS/Pp	16
8	plošný	zosúvanie	potenciálny (aktívny)	RS/Ppi	16
9	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi	11
10	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi	16
11	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi	15
12	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi	15
13	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi	9
14	plošný	zosúvanie, tečenie	potenciálny	RS/Pp	16
15	prúdový	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi	21
16	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi + Mkoc	12
17	prúdový	zosúvanie	potenciálny (aktívny)	RS/Ppi	15
18	plošný	zosúvanie, tečenie	potenciálny	RS/Ppi	9
19	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Ppi + Mkoc	38
20	prúdový	zosúvanie, tečenie	aktívny	RS/Ppi + Mkoc	8
21	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Ppi + Mkoc	11
22	plošný	zosúvanie	potenciálny	UJ/Mm	26
23	plošný	zosúvanie	potenciálny (aktívny)	UJ/Mm	38
24	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Ppi + Mkoc	
25	plošný	zosúvanie	potenciálny (aktívny)	RS/Ppi + Mkoc	15
26	plošný	zosúvanie, tečenie	potenciálny	RS/Ppi + Mkoc	14
27	plošný	zosúvanie, tečenie	potenciálny	RS/Ppi + Pp	9
28	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi + Pp	12
29	plošný	zosúvanie, tečenie	potenciálny	RS/Ppi + Mkoc	14
30	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Mm	17
31	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Mm	20
32	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Mm	11
33	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Mm	
34	prúdový	tečenie	potenciálny	RS/Ppi	11
35	plošný	zosúvanie	potenciálny (aktívny)	RS/Mm	20
36	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Mm	19
37	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi	11
38	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Mm	
39	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Mm	14
40	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi + Mkoc	11

7 Prevýšenie svah. deform. m	8 Plocha svahovej deform. (km^2)	9 Využitie terénu	10 Ohrozené objekty	11 Pôsobenie hlavných faktorov
25	0,0015	les, úhor	lesná cesta	podkopanie svahu
200	0,7900	polia, pasienky	obytné stavby	klimatické, podzemná voda
260	0,1870	les	cesta	klimatické, podkopanie svahu
220	0,1090	les	—	klimtické, podzemná voda
125	0,0250	les	—	klimatické
110	0,0675	les	cesta	erózia, podkopanie svahu
150	0,1670	les	—	klimatické, erózia
190	0,2560	pasienky	obytné stavby cesta	klimatické, erózia
50	0,0650	pasienky, polia	obytné stavby	klimatické, erózia
50	0,0900	pasienky, polia	obytné stavby	klimatické, erózia
100	0,0970	polia, pasienky	obytné stavby	klimatické, podzemná voda
280	0,3400	pasienky	obytné stavby cesta	klimatické, podzemná voda
30	0,1780	lúky, polia	—	klimatické, podzemná voda
150	0,1510	les	—	klimatické, podz. voda, erózia
250	0,2390	les	—	klimatické, podz. voda, erózia
150	0,4980	les	—	klimatické, erózia
200	0,2670	les	cesta	klimatické, podzemná voda podkopanie svahu
325	1,3280	les	—	klimatické, erózia, podz. voda
200	0,0480	lúky	elektrické vedenie	klimatické, erózia, podz. voda
185	0,4890	lúky	obytné stavby elektrické vedenie	klimatické, podzemná voda
150	0,6900	lúky	—	klimatické, podzemná voda
75	0,0780	lúky	cesta, obytné stavby	klimatické, erózia, podz. voda
100	0,021	lúky	—	klimatické, erózia
	0,0015	lúky	—	klimatické, podzemná voda
125	0,2550	les, lúky	cesta, obytné stavby	klimatické, neotektonické pohyby?
125	0,6840	les	—	klimatické, podzemná voda
300	1,6500	les	—	klimatické, neotekt. pohyby?
400	1,2680	les	—	klimatické, podzemná voda
225	1,0810	pasienky, les	obytné stavby	klimatické, podzemná voda
160	0,3870	lúky	cesta	klimatické
175	0,1300	pasienky	—	klimatické
100	0,2840	pasienky	—	klimatické, podzemná voda
	0,0015	pasienky	cesta	klimatické
30	0,0120	lúky, úhor	—	klimatické, podzemná voda
185	0,1310	lúky	—	klimatické, podzemná voda
120	0,2180	lúky	—	klimatické, podzemná voda
50	0,1560	lúky	cesta	klimatické, podzemná voda
	0,0015	lúky	—	klimatické
50	0,0250	lúky	elektrické vedenie	klimatické, podzemná voda
40	0,0520	lúky	obytné stavby	klimatické, podzemná voda

Pokračovanie tabuľky 1

1 Číslo svah. def.	2 Tvar	3 Typ	4 Aktivita	5 Geologická stavba svahu	6 Sklon svahu (°)
41	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Ppi	14
42	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Mm	15
43	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Mm	26
44	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Mm	30
45	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Mm	
46	plošný	zosúvanie, tečenie	aktívny	RS/Ppi + Pp	10
47	plošný	zosúvanie, rútenie blokový posun	potenciálny	RS/Ppi	28
48	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi + Mkoc	25
49	plošný	zosúvanie, tečenie rútenie	potenciálny (aktívny)	RS/Ppi	30
50	prúdový	tečenie, zosúvanie	potenciálny (aktívny)	RS/Ppi + Mkoc	23
51	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi	20
52	plošný	zosúvanie	potenciálny (aktívny)	RS/Ppi + Pp	10
53	plošný	zosúvanie	aktívny	RS/Ppi + Pp	17
54	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Pp	19
55	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Pp	
56	plošný	zosúvanie	potenciálny	RS/Ppi + Mkoc	

Vysvetlivky:
a) pohybujúci sa materiál je tvorený:
RS — ílovitými a úlomkovitými nespevnenými horninami v nadloží skalných a poloskalných hornín
UJ — úlomkovité nespevnené horniny v nadloží ílovitých slabo spevnených hornín

ho príkrovu majú prevažne plošný, menej prúdový tvar. Charakter pohybu svahových sedimentov plošných deformácií je typický pre zosúvanie. Pri prúdových tvaroch najmä v horných častiach svahu boli zistené stopy po rýchlejšom pohybe, ktorý možno klasifikovať až ako tečenie. Šmykové plochy majú spravidla zložený priebeh: v odlučnej časti sledujú rotačnú plochu, v strednej časti sú planárne a v spodnej časti majú opäť charakter rotačných plôch s menej výrazným zakrivením. Sledujú prevažne styk deluviálno-eluviálnych sedimentov s rozvoľnenou zónou podložia. Ich hĺbka je závislá od hrúbky zóny rozvoľnenia skalného podložia, resp. hrúbky deluviálno-eluviálnych sedimentov. Predpokladáme, že pohyb svahových sedimentov sa aktivizuje hlavne v období, resp. tesne po období maximálnych alebo dlhodobejších zrážok, ktoré vyvolávajú výrazné zvyšovanie vlhkosti ílovitých hornín v zóne možného vzniku šmykovej plochy, pričom spôsobujú aktivizovanie vztlakových síl podzemnou vodou. Na lokalitách sa svahové deformácie vyskytujú v rôznych vývojových

7 Prevýšenie svah. deform. m	8 Plocha svahovej deform. (km^2)	9 Využitie terénu	10 Ohrozené objekty	11 Pôsobenie hlavných faktorov
50	0,0280	lúky	—	klimatické, podzemná voda
70	0,0350	lúky, polia	—	klimatické, podzemná voda
5	0,0015	lúky	—	klimatické, podzemná voda
30	0,0015	úhor	—	klimatické
	0,0015	úhor	—	erózia
325	2,9510	lúky, les	obytné stavby, les	klimatické, podzemná voda
275	1,2900	les	—	klimatické, podzemná voda
120	0,2950	lúky, les	obytné stavby	klimatické, podzemná voda
225	0,6400	les	cesta	klimatické, podzemná voda seizmicita?
135	0,2650	polia, les	obytné stavby cesta	klimatické, podz. voda, erózia
215	0,0940	les	—	klimatické, podz. voda, erózia
45	0,0230	lúky	—	klimatické, podzemná voda
45	0,0350	lúky	—	klimatické, podzemná voda
80	0,0450	lúky	—	klimatické, podzemná voda
	0,066	lúky, les	—	klimatické, podzemná voda
	1,031	lúky, les	—	klimatické, podzemná voda

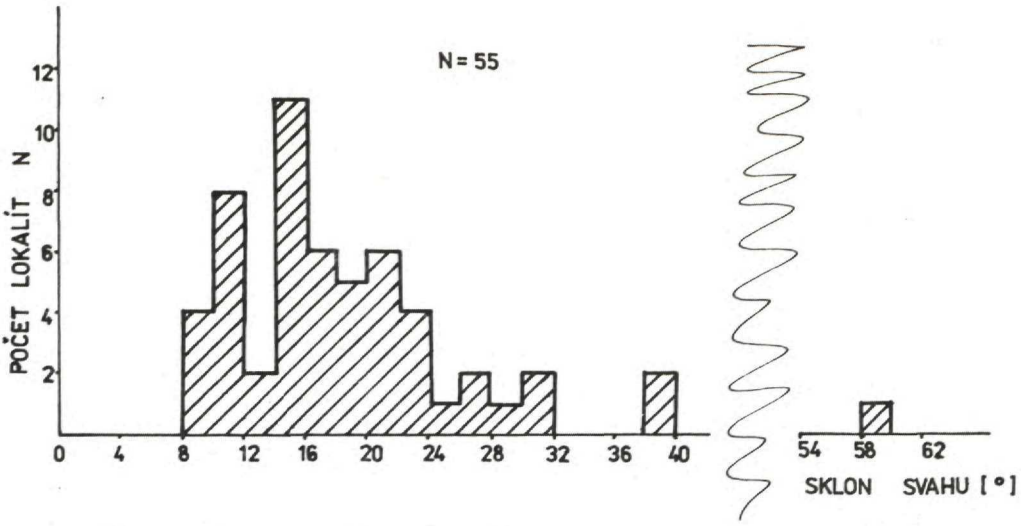
b) v podloží pohybujúcich sa sedimentov vystupujú:

Ppi — paleogénne ílovce a pieskovce
Pp — hlavne paleogénne pieskovce
Mkoc — horniny kysuckej, oravskej a čertezickej série, bradlového pásma
Mm — horniny manínskej série

štádiách. Ich vývoj nie je teda spontánny, ale lokálny, závislý od miestnej intenzity pôsobenia jednotlivých faktorov deformácie svahu.

Výskyt svahových deformácií na svahoch budovaných inými geologickými jednotkami je v porovnaní s pieskovcovo-ílovcovým súvrstvím magurského príkrovu podstatne menší. Horniny *mezozoika manínskej série*, t. j. súvrstvie prieskovcovo-slieňovcové (koňak—santón), budujú približne 13,7 % plochy skúmaného územia, pričom je na ne viazaný výskyt len 5,3 % z celkovej plochy svahových deformácií. Svahové deformácie v nadloží hornín manínskej série sa vyskytujú na ploche, ktorá tvorí 15,1 % z celkovej plochy výskytu týchto hornín.

Charakter deformácií svahov budovaných horninami manínskej série je podobný svahovým deformáciám, ktoré sa vyskytujú na svahoch s pieskovcovo-ílovcovým súvrstvím magurského príkrovu. Je zaujímavé, že aj keď litologický charakter hornín magurského príkrovu a manínskej série je veľmi podobný



Obr. 4 Histogram početnosti lokalít svahových deformácií vo vzťahu ku sklonu svahov

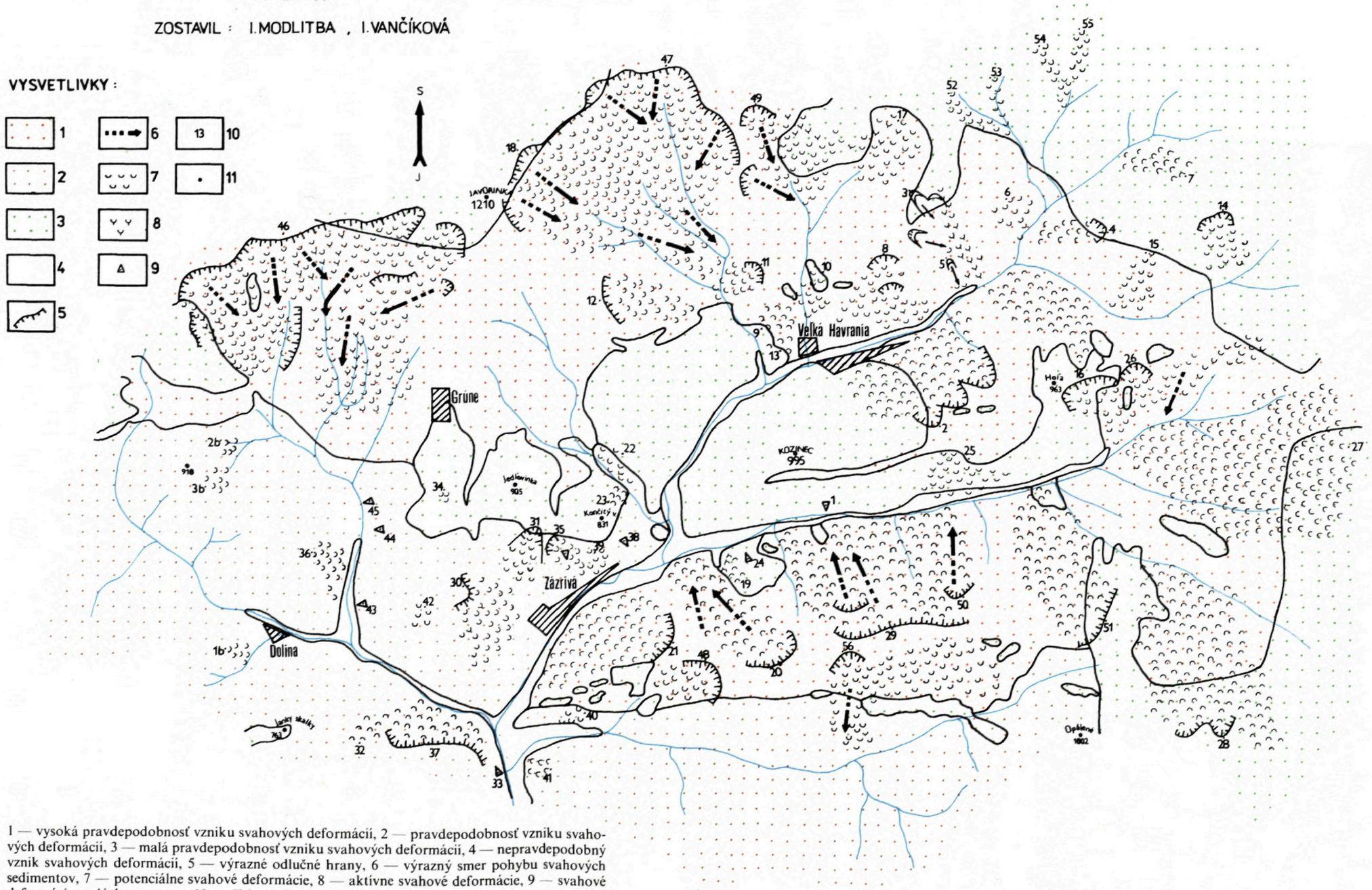
— obe jednotky sú vyvinuté vo flyšovom vývoji — vývoj svahových deformácií sa v nich odlišuje početnosťou. Zdá sa, že rozhodujúci vplyv na vývoj menšieho počtu svahových deformácií v manínskej sérii má vyšší podiel pieskovcových vrstiev a vyššia litifikácia slieňovcov. Z celkovej rozlohy hornín magurského príkrovu (8,96 km^2) je len 7,9 % plochy postihnutej svahovými deformáciami. Minimálny výskyt svahových deformácií je viazaný na geologické jednotky, v ktorých prevládajú skalné horniny typu pieskovcov alebo vápencov až slienitých vápencov. V pieskovcovom súvrství magurského príkrovu zaberajú svahové deformácie plochu len 0,7 km^2, čo je 3,4 % z celkovej plochy sledovaného územia. Svahové deformácie majú spravidla charakter blokových pohybov, skalných zrútení alebo „skalných prúdov", ktoré vznikajú v korytách potokov s väčším spádom toku. Obyčajne je výrazne vyvinutá odlučná stena v pieskovcoch a pod ňou sa nachádza rozsiahle „skalné pole" s balvanmi až blokmi pieskovcov. Svahové deformácie sú väčšinou viazané na okraje pieskovcového súvrstvia. Ich transportná a akumulačná časť sa spravidla nachádza na podložnom pieskovcovo-ílovcovom súvrství magurského príkrovu. Vznik svahových deformácií v pieskovcovom súvrství súvisí s vytváraním vhodných systémov diskontinuít v pieskovcoch dôsledkom nerovnomernej konsolidácie podložia (pieskovcovo-ílovcové súvrstvie magurského príkrovu), tektonických pohybov a seizmických otrasov.

Výskyt svahových deformácií v oblastiach budovaných *mezozoickými skalnými horninami kysuckej, oravskej a čertezickej série* typu vápencov, slienitých vápencov a slieňov je výnimočný. Z celkovej plochy výskytu hornín uvedených sérií je len 2,8 % plochy postihnutej zosúvaním, čo predstavuje len 0,83 % z celkovej plochy skúmaného územia. V záujme objektívnosti je potrebné uviesť,

MAPA PRAVDEPODOBNOSTI VZNIKU SVAHOVÝCH DEFORMÁCIÍ

1 : 25 000

ZOSTAVIL : I. MODLITBA , I. VANČÍKOVÁ



1 — vysoká pravdepodobnosť vzniku svahových deformácií, 2 — pravdepodobnosť vzniku svahových deformácií, 3 — malá pravdepodobnosť vzniku svahových deformácií, 4 — nepravdepodobný vznik svahových deformácií, 5 — výrazné odlučné hrany, 6 — výrazný smer pohybu svahových sedimentov, 7 — potenciálne svahové deformácie, 8 — aktívne svahové deformácie, 9 — svahové deformácie malých rozmerov, 10 — číslo svahovej deformácie, 11 — označenie kót

že až na svahovú deformáciu č. 1 v osade Kozinská (príl. 1, mapa pravdepod. vzniku svahových deformácií), ktorá má minimálne rozmery, ich ďalšie výskyty sú na uvedených jednotkách problematické. Spravidla sa jedná len o časti svahových deformácií, vyskytujúcich sa na rozhraní geologických jednotiek.

Svahová deformácia č. 1 v osade Kozinská je vyvinutá na pestrých škvrnitých slienitých vápencoch, v hlinitokamenitých suťových sedimentoch, ktoré lokálne prekrývajú slienité vápence. Pohyb suťových sedimentov nastal v r. 1983 v dôsledku necitlivého podkopania päty svahu do výšky asi 3 m pri ťažbe svahových sedimentov. Šmyková plocha sa vytvorila pravdepodobne na styku sutí a podložia. Sklon svahu sa pohybuje okolo 60°, čo v podmienkach Zázrivskej doliny je extrémom. Svahová deformácia má plošný tvar, pohyb je pomerne pomalý, typický pre zosúvanie. Vzhľadom na to, že technológia ťažby naďalej nerešpektuje vzniknutú svahovú deformáciu, nie je vylúčené ďalšie rozšírenie plochy deformácie. V lete roku 1984 bola postihnutá plocha asi 0,0015 km^2.

Výskyt svahových deformácií na ďalších geologických jednotkách nebol evidovaný. Údaje o závislosti deformácií od geologickej stavby svahov sú prehľadne uvedené v tab. 2.

Tabuľka 2 Výskyt svahových deformácií vo vyčlenených geologických jednotkách

1	2 km^2	3 %	4 km^2	5 %	6 %
Mezozoikum manínskej série, pieskovce a slieňovce (koňak—santón)	7,3855	13,7	1,1120	5,31	15,1
Mezozoikum kysuckej, oravskej a čertezickej série, vápence, slienité vápence, slieňovce (jura—krieda)	6,1210	11,4	0,1736	0,83	2,8
Paleogén magurského príkrovu, pieskovcovo-ílovcové súvrstvie (spodný—stredný eocén)	30,8120	57,2	18,9241	90,47	61,4
Paleogén magurského príkrovu, pieskovcové súvrstvie (magurský pieskovec, spodný, stredný eocén)	8,9690	16,7	0,7077	3,38	7,9
Kvartérne riečne sedimenty	0,5780	1,07	0	0	
Σ	53,8650	100,0	20,9174	100,0	

Označenie stĺpcov: 1 — názov vyčlenenej geologickej jednotky, 2 — plocha výskytu geologickej jednotky (P_J) v km^2, 3 — percentuálny pomer plochy geologickej jednotky (P_J) k celkovej ploche študovaného územia (P), 4 — plocha postihnutá svahovými deformáciami v rámci vyčlenenej geologickej jednotky (P_Z), 5 — percentuálny pomer plochy postihnutej svahovými deformáciami (P_Z) k celkovej ploche deformácií v rámci študovanej oblasti (ΣP_Z), 6 — percentuálny pomer plochy svahových deformácií (P_Z) k ploche vyčlenenej geologickej jednotky (P_J) P = 53,8650 km^2.

Zosuvné geologické štruktúry

V oblasti Zázrivej je výskyt svahových deformácií viazaný na päť zosuvných geologických štruktúr, ktoré sme podľa charakteristických znakov označili ako:

1. Konsekventné
2. Insekventné
3. Diskontinuitné
4. Konjuktívne
5. Asekventné

Všetky vyčlenené štruktúry sa vyznačujú istými vlastnosťami, ktoré podmieňujú ich náchylnosť na zosúvanie. Sú to:

— vysoký stupeň rozvoľnenosti skalného masívu,

— prítomnosť horniny, ktorá citlivo reaguje na zmeny vlhkosti (pod vplyvom zmien vlhkosti je hornina výrazne objemovo nestála a v širokom rozsahu mení konzistenciu a pevnosť),

— existencia zón, resp. plôch so zníženou pevnosťou v pokryvných útvaroch alebo v rozvoľnenej zóne skalného masívu, ktorých priebeh je vhodný pre vznik šmykových plôch,

— priaznivý hydrogeologický režim, v ktorom sa zvodnenie uplatňuje ako faktor vztlaku a hydrodynamického tlaku na horniny alebo ako faktor zmien fyzikálneho stavu hornín.

Vyčlenené štruktúry vytvárajú podmienky pre vznik tzv. povrchových porúch v zmysle členenia A. NEMČOK—J. RYBÁŘ (in A. NEMČOK 1982).

Konsekventná štruktúra (obr. 5) je tvorená striedaním ílovcov (príp. slieňov, slieňovcov) a pieskovcov, pričom ich smer sklonu vrstiev zhruba súhlasí so smerom sklonu svahu. Vyskytuje sa najčastejšie v oblastiach budovaných paleogénnymi horninami magurského príkrovu alebo horninami manínskej série bradlového pásma.

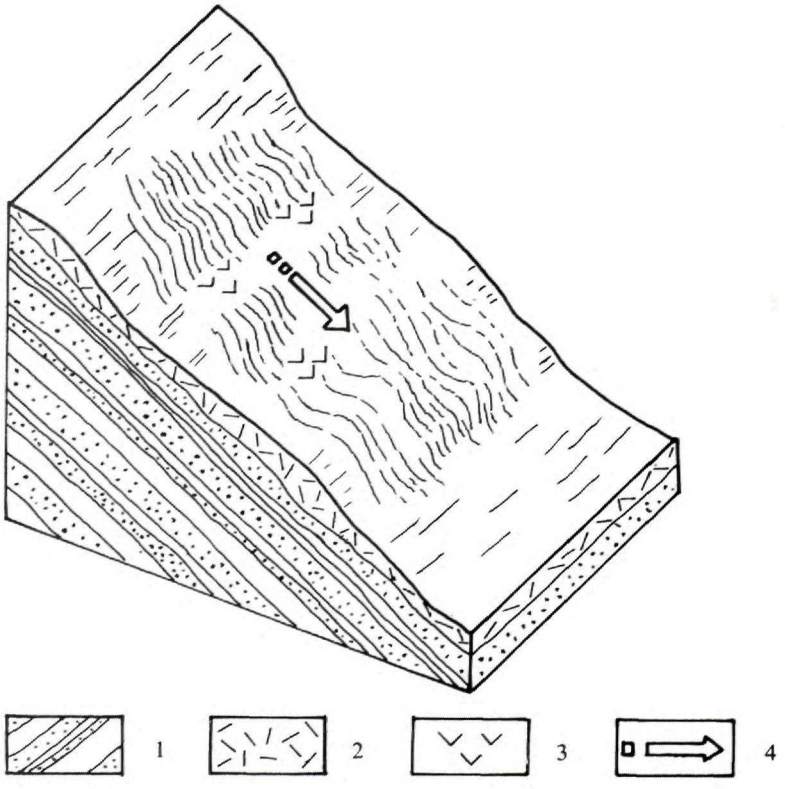
Skalné podložie je prekryté pomerne hrubou (2—5 m) vrstvou deluviálnych hlín, ktoré majú výrazne ílovitý charakter. Často obsahuje väčšie balvany alebo úlomky pieskovcov. Vývoj svahových deformácií sa v takýchto štruktúrach uplatňuje najmä pri výskyte hrubších ílovitých vrstiev v blízkosti rozhrania delúvia a skalného podložia. Avšak v prípade, že v tejto pozícii sa vyskytuje hrubšia pieskovcová vrstva, svah je menej náchylný na zosúvanie. Potom majú deluviálne a eluviálne sedimenty piesčitejší charakter a tvoria menšie hrúbky. Rozvoľnenosť najvyššej pieskovcovej vrstvy je pomerne nízka. Puklinové systémy nie sú husto členené a priebežné sú len v rámci vrstvy. Pre prúdenie podzemnej vody a ako kolektory podzemných vôd sú málo významné.

Hromadenie podzemnej vody býva časté hlavne v deluviálnych, prípadne eluviálnych sedimentoch, na rozhraní skalného masívu a pokryvných útvarov, prípadne v piesčitejších polohách pokryvu. Často sa „zvodnené" horizonty prejavujú len zvýšenou vlhkosťou hornín, avšak práve tieto bývajú rozhodujúce pre vznik svahových deformácií. Vytvárajú zóny nízkej pevnosti hornín, ktoré sú vhodné pre vznik šmykových plôch.

Svahové deformácie vyvinuté na konsekventnej štruktúre zasahujú spravidla

len pokryvné útvary, pričom šmyková plocha vzniká na rozhraní skalného podložia a svahových sedimentov. Podľa morfológie svahových deformácií sa dá usudzovať, že pohyb svahových sedimentov prebieha po rozsiahlej šmykovej zóne vcelku planárneho tvaru, ktorú tvoria lokálne dielčie šmykové plochy, spravidla s rotačným priebehom. Podľa čerstvosti morfologických tvarov je možné dôjsť k záveru, že pohyb nebýva spontánny, ale aktivizuje sa len lokálne, pričom pohyb v jednej časti svahu vytvára predpoklady pre následné oživenie pohybu v tesnej blízkosti. Vývoj svahových deformácií v takejto geologickej štruktúre je nerovnomerný v čase i priestore. Výstižnejšie možno tento typ vývoja označiť ako vývoj „per partes". Pohyb jednotlivých častí deformácie môže mať charakter klasického zosúvania alebo plazenia. Ojedinele bolo možné pozorovať vytváranie lokálnych prúdov s menšími rozmermi.

Morfologický prejav pohybu sedimentov na povrchu terénu býva v porovnaní so svahovými deformáciami iných geologických štruktúr nevýrazný. Prejavuje sa hlavne nerovnomerným zvlnením povrchu terénu, pričom sa vytvárajú



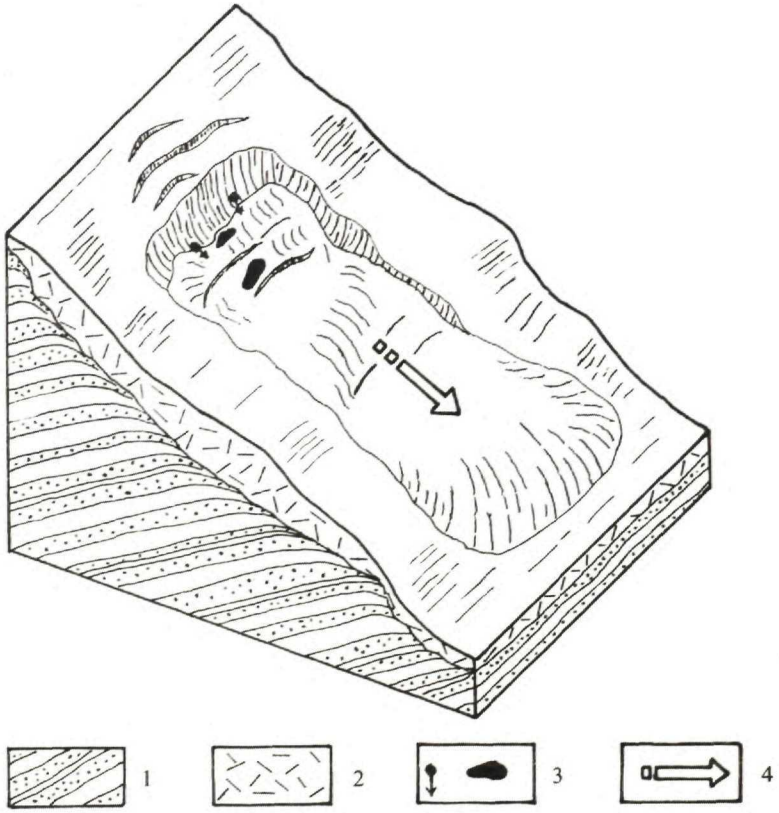
Obr. 5 Model konsekventnej zosuvnej štruktúry
1 — striedanie pieskovcov a ílovcov — flyšový vývoj, 2 — svahové sedimenty, 3 — zamokrené plochy, 4 — smer pohybu svahových sedimentov

často zamokrené bezodtokové depresie. Odlučné časti sa vo väčšine prípadov prejavujú nevýraznými terénnymi stupňami, rovnobežnými s vrstevnicami svahu, alebo deformácia postupne prechádza do stabilného svahu bez výraznej odlučnej časti. Oproti tomu akumulačné časti bývajú výraznejšie zvlnené a vypuklé.

Zosuvné štruktúry konsekventného typu vrátane typických prejavov zosúvania sa vyskytujú hlavne v južnej a východnej časti územia, v okolí kóty Janky skalky, Bôrik, južne od osád Plešivá a Kozinská, ako aj východne od osady Veľké Havranie.

Insekventná štruktúra (obr. 6) je taktiež viazaná na flyšový vývoj hornín, t. j. na striedanie pieskovcov a ílovcov. Ich sklon vrstiev zviera so sklonom svahu (spádnicou) tupý uhol.

Vhodné podmienky pre vznik svahových deformácií sa v tejto štruktúre vytvárajú hlavne v dôsledku intenzívneho rozvoľnenia skalného podložia pôso-



Obr. 6 Model insekventnej zosuvnej štruktúry
1 — striedanie pieskovcov a ílovcov — flyšový vývoj, 2 — svahové sedimenty, 3 — pramene a zamokrené plochy, 4 — smer pohybu svahových sedimentov

bením činiteľov zvetrávania, ako aj uvoľňovaním reziduálnych napätí v skalnom masíve eróziou. V dôsledku toho sa na svahoch vytvárajú pomerne mohutné svahové sedimenty hlinito-balvanitého charakteru s vysokým obsahom ílovitej frakcie (do 40 %). Ich hrúbka dosahuje často 5—8 m, najmä v spodných častiach svahu. Rozvoľnenie skalného masívu napomáha vhodná expozícia vrstiev skalného masívu, ktorá umožňuje relatívne intenzívnejšiu infiltráciu zrážkových vôd po dislokáciách a vrstevných plochách. Infiltrovaná voda pôsobí nielen ako faktor zvetrávania, ale mení i fyzikálny stav ílovcov, ktoré sú veľmi citlivé na obsah vody. So zvyšovaním obsahu fyzikálne viazanej vody zväčšujú svoj objem, pričom v nich vzniká značné napätie, najmä v smere kolmom na plochy vrstevnatosti. Výsledkom je potom vznik systému dislokácií v povrchových zónach skalného masívu. Dislokácie tohto pôvodu majú priebeh kolmý na plochy vrstevnatosti. Ílovcové vrstvy sú spravidla systémom dislokácií len nevýrazne porušené, ale dynamický (cyklický) charakter ich objemových zmien vyvoláva ich čriepkovitý rozpad.

Dislokačný systém spôsobený objemovými zmenami ílovcov je kombinovaný dislokáciami, ktorých pôvod treba hľadať v uvoľňovaní reziduálnych napätí. Tieto dislokácie majú obyčajne hlbší priebeh a sú spojité v celom súvrství. V miestach koncentrácie dislokácií sa skalný masív balvanovite rozvoľňuje, balvany sa pod vplyvom gravitácie posúvajú po svahu a premiešavajú sa s hlinitým materiálom. V odkryvoch sa tento proces prejavuje ako výrazné hákovanie vrstiev. V rozvoľnenej zóne, vďaka zvýšenej puklinovitosti skalného masívu a väčšej pórovitosti svahových sedimentov v ťahových, resp. v piesčitejších zónach, sa vytvárajú horizonty podzemnej vody. Podzemná voda sa opäť uplatňuje ako faktor znižovania šmykovej pevnosti ílovitých hornín, zvyšovania vztlaku a hydrodynamického tlaku na horninové prostredie.

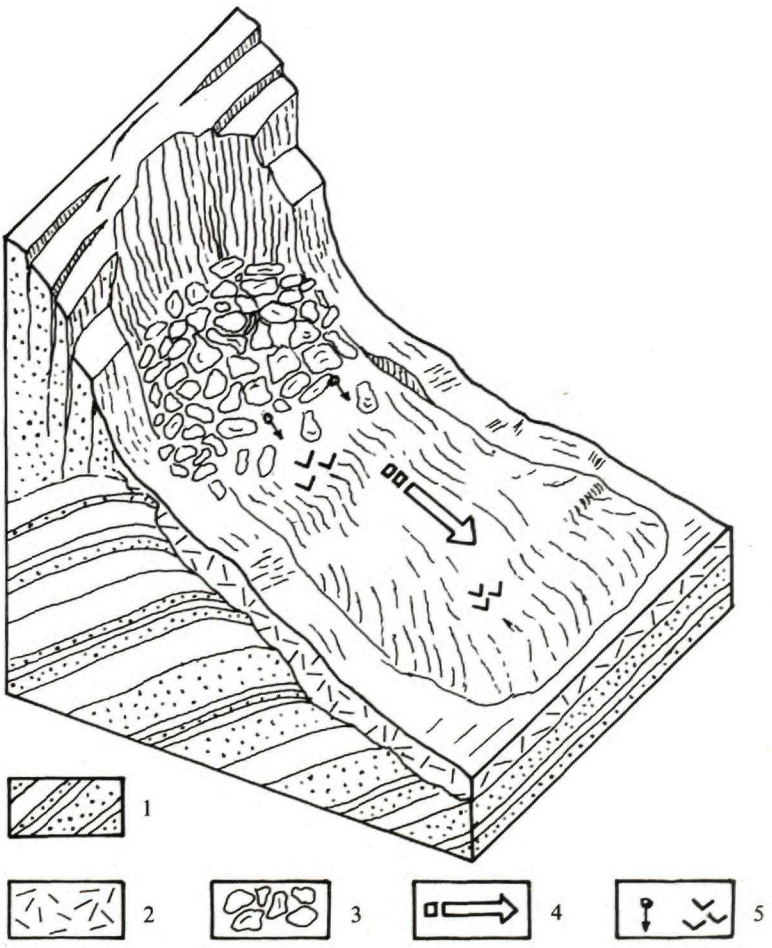
Svahové deformácie v insekventných štruktúrach vznikajú hlavne v lokalitách, kde sú vyvinuté hrubé polohy svahových sedimentov a prejavuje sa vysoký stupeň rozvoľnenia skalného podložia. Pre vznik šmykových plôch sú vhodné podmienky najmä na rozhraní medzi svahovými sedimentmi a menej rozvoľneným skalným podložím, v ílovitých polohách v blízkosti prevlhčenej, resp. zvodnenej zóny alebo v systéme diskontinuít skalného podložia. Šmykové plochy majú zväčša tzv. zložený priebeh, t. j. v odlučných a akumulačných častiach majú rotačný priebeh a v stredných častiach planárny. V porovnaní s konsekventnou štruktúrou šmyková plocha zasahuje podstatne hlbšie pod povrch.

Morfológia povrchu svahových deformácií je výrazná, a to aj pri starších, ustálených deformáciách. V odlučnej časti sú vytvorené výrazné odlučné hrany, v ktorých sú často odkryté horniny skalného podložia. Pod odlučnými hranami sa vytvárajú zamokrené bezodtokové depresie. Ojedinele, napr. v zosuvnej oblasti juhozápadne pod kótou Hoľa nad osadou Malá Havrania, vznikajú v tejto časti svahovej deformácie malé jazierka. Celkove má odlučná časť deformácie stupňovitý povrch, pričom nezriedka sú stupne tvorené blokmi extrémne rozvoľnených hornín podložia. Výraznú morfológiu má aj akumulačná časť, ktorá má zreteľne vypuklý, konvexný tvar s ostrým ohraničením voči

stabilnému podložiu. Pohyb svahových sedimentov býva spravidla nerovnomerný, ale spontánny. Má charakter buď zosúvania alebo až tečenia. V iniciálnych štádiach vývoja svahovej deformácie sú pohyby na povrchu málo zreteľné a majú charakter plazenia.

Štruktúry tohto typu sa vyskytujú napr. severne od osady Ráztoky, Grúne, severozápadne od Veľkej a Malej Havranej, (hlavne spodná a stredná časť svahu), severne od osady Kozinská, Plešivá atď.

Diskontinuitná štruktúra (obr. 7). Jej charakteristickým znakom je mohutná poloha pevných, ale pomerne krehkých hornín, ktoré ležia na flyšovom súvrství



Obr. 7 Model diskontinuitnej zosuvnej štruktúry
1 — striedanie pieskovcov a ílovcov — flyšový vývoj, 2 — svahové sedimenty, 3 — „skalné moria", 4 — smer pohybu sedimentov, 5 — pramene a mokrade

s významným podielom mäkších plastických hornín typu ílovcov až ílov. Je viazaná prevažne na paleogénne horniny, a to na magurské pieskovce v nadloží pieskovcovo-ílovcového súvrstvia magurského príkrovu.

Zvlášť vhodné podmienky pre vznik svahových deformácií sa tvoria vtedy, ak sa nadložné pevné horniny nachádzajú na hrebeňoch. Svojou hmotnosťou spôsobujú napätie v podložnom, relatívne plastickejšom podloží, ktoré nerovnomerne konsoliduje. Konsolidácia na okrajoch skalného masívu — na svahoch — je vďaka možnosti rýchlejšieho odvodnenia a výraznejšieho horizontálneho pretvorenia väčšia ako vo vnútri skalného masívu. Horizontálne pretvorenie je zvýrazňované aj uvoľňovaním reziduálnych napätí na svahu. Výsledným efektom je rozvoľnenie nadložných pevných hornín systémom dislokácií, ktoré majú generálny smer približne rovnobežný so svahom a vyznačujú sa strmým zvislým sklonom. Vzniknutý systém dislokácií a spôsob rozvoľnenia skalného masívu vytvára vhodné podmienky pre vznik šmykových plôch.

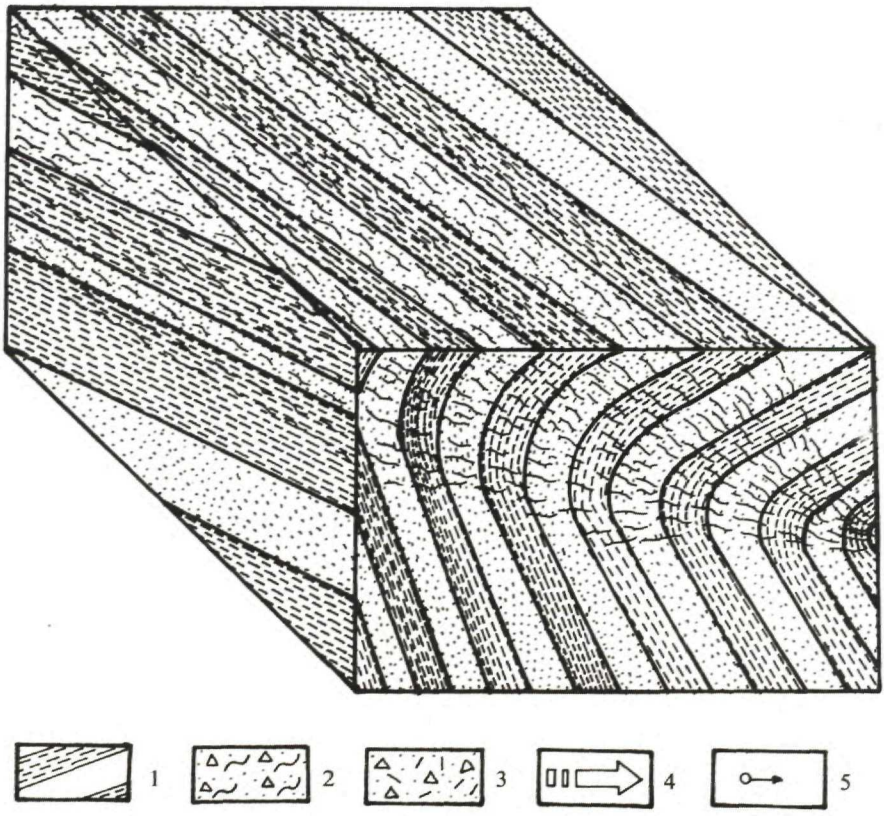
Pri vzniku šmykových plôch sa významne uplatňujú i hydrogeologické pomery. Z tohto hľadiska sú významné akumulácie podzemnej vody v puklinových systémoch, vytvorených v nadložných pevných horninách. Priebeh dislokácií umožňuje vnikať podzemnej vode hlbšie do podložných flyšových hornín, v ktorých sa uplatňuje ako faktor znižovanie pevnosti a objemových zmien ílovcových a ílových hornín, a zároveň ako faktor hydrodynamického a hydrostatického tlaku. Možno predpokladať zvlášť významné uplatnenie podzemnej vody ako faktora tlakov najmä v spodných a stredných častiach svahu.

Charakteristickým znakom svahových deformácií, vyvinutých na zosuvných štruktúrach tohto typu, je výrazná odlučná stena, ktorú tvorí pieskovec. Stena je prevažne rovinná, ale napr. na svahoch severne od osady Malá Havrania je vyvinutá i vo forme širokoroztvoreného „amfiteátru", prípadne je i girlandovite členená. Výška steny dosahuje až niekoľko desiatok metrov s veľmi strmým sklonom. Pod úpätím steny sa obyčajne vytvára rozsiahla terénna plošina, tvorená balvanmi pieskovca. Na povrchu má typické tvary tzv. „skalných morí". Balvany dosahujú napr. na lokalite severozápadne pod kótou Hoľa (severne od Malej Havranej) objem až 2,5 m^3. Pri špecifických priebehoch dislokácií je povrch pod úpätím odlučnej steny nepravidelne stupňovitý a má celkový vzhľad podobný blokovému zosúvaniu. Ďalším typickým znakom odlučnej oblasti je jej výrazné zvodnenie, ktoré sa prejavuje početnými mokrinami a prameňmi, prípadne i neveľkými jazierkami. Vznik výverov podzemnej vody v danej časti svahovej deformácie je podmienený rozhraním priepustnejších nadložných pieskovcov a nepriepustných ílovcových vrstiev v podloží.

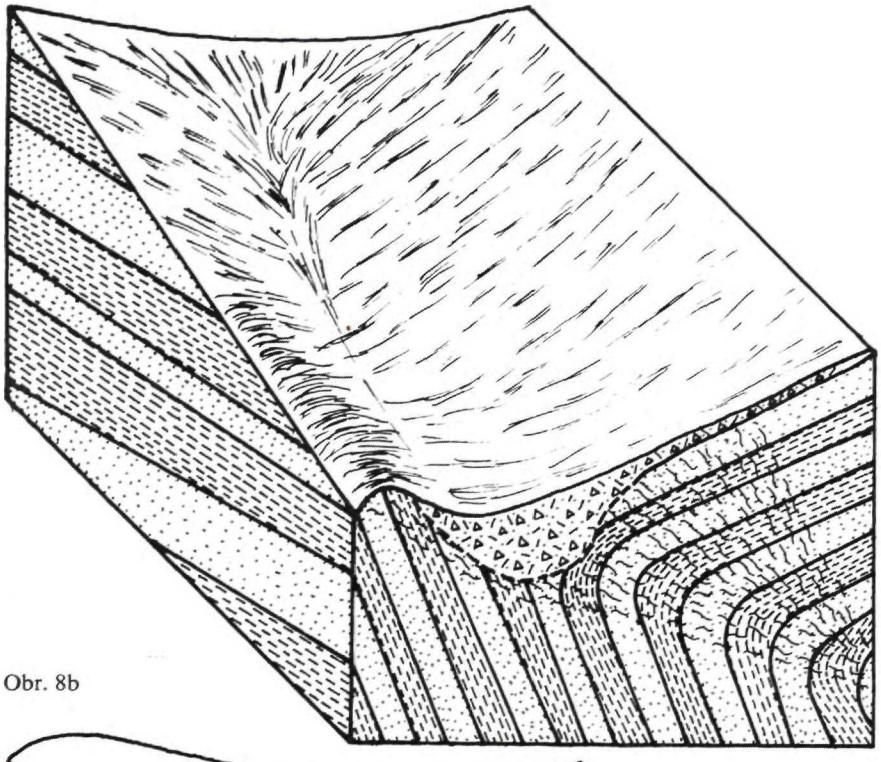
Vytvorením kamenných morí alebo posunom blokov od pôvodného skalného masívu, dochádza k priťaženiu svahových sedimentov v nižších častiach svahu. V dôsledku vyvolaných zmien napätia vo svahu sa svahové sedimenty dajú do pohybu, ktorý má charakter zosúvania. Morfologicky je táto časť svahovej deformácie menej výrazná a často preerodovaná vodným tokom. Typickým znakom týchto tokov je ich nevyrovnaná spádová krivka. V toku sa striedajú úseky s minimálnym spádom a pomerne širokým bahnitým riečiskom s úsekmi väčšieho spádu, kde je tok hlboko zaerodovaný vo svahových sedimen-

toch. Erózne úseky sú typické hlavne pre akumulačné časti svahových deformácií. Úseky, v ktorých prebieha sedimentácia, sú naopak častejšie v stredných častiach. Takýto typický vývoj vodných tokov a svahových deformácií možno sledovať v uzávere doliny severne a severozápadne nad osadami Malá a Veľká Havrania.

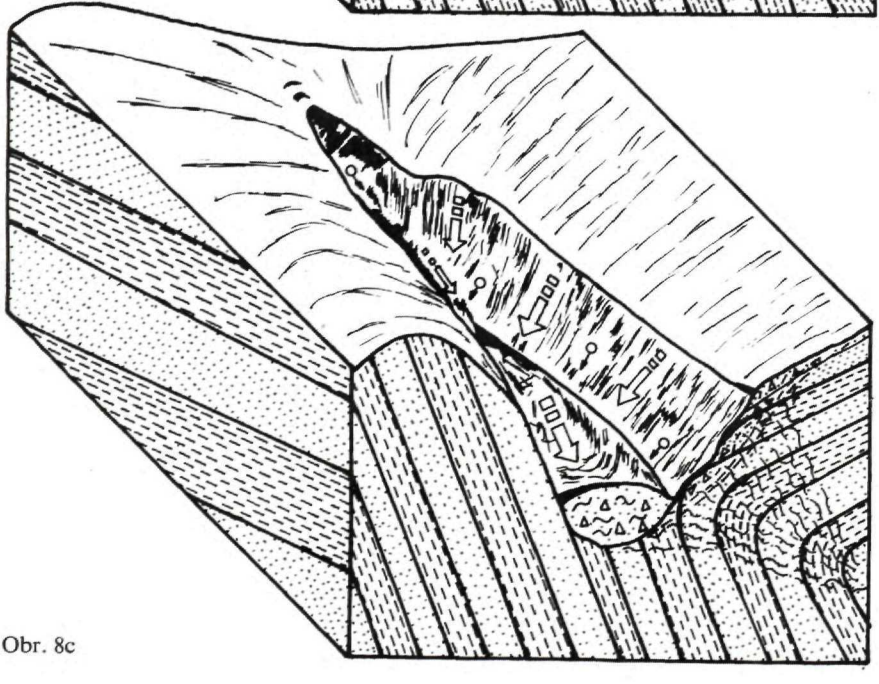
Z celkovej morfológie svahových deformácií tohto typu sa dá usudzovať, že šmyková plocha bude mať špecifický priebeh. Možno v nej vymedziť dve časti. Prvá časť sa nachádza v odlučnej oblasti deformácie a je predurčená systémom diskontinuít. Spočiatku má veľmi strmý rovinný priebeh, ktorý v oblasti kontaktu nadložných pieskovcových hornín s pieskovcovo-ílovcovým flyšovým súvrstvím prechádza do rotačnej plochy. Druhá časť má typický planárny priebeh. Vyskytuje sa pod transportnou a akumulačnou oblasťou svahovej deformácie a najčastejšie sleduje rozhranie medzi svahovými sedimentmi a flyšoidným podložím.



Obr. 8a, b, c Model vývojových štádií konjuktívnej zosuvnej štruktúry
1 — striedanie pieskovcov a ílovcov — flyšový vývoj, 2 — svahové sedimenty, 3 — svahové sedimenty v pohybe, 4 — smer pohybu svahových sedimentov, 5 — pramene



Obr. 8b



Obr. 8c

Konjuktívna štruktúra (obr. 8 a b c). Jej typickým znakom je vrásový ohyb v súvrství ílovcov (slieňovcov) a pieskovcov magurského príkrovu.

Vhodné podmienky pre vznik svahových deformácií vznikajú hlavne v antiklinálnom ohybe, kde dôsledkom koncentrácie ohybových napätí a priestorového pretvorenia nastáva maximálne rozvoľňovanie masívu pozdĺž systému diskontinuít (obr. 8a). Ich priebeh je prevažne kolmý na vrstevnatosť. Diskontinuity vznikajú najmä v pieskovcoch, ktoré sú krehké. Oproti tomu v ílovcoch, ktorých vlastnosti sú blízke plastickému materiálu, sa rozvoľnenie prejavuje intenzívnym čriepkovitým alebo lupienkovitým rozpadom, zreteľným najmä pri dehydratácii ílovcov. V daných podmienkach sa intenzívne uplatňujú procesy mechanického i chemického zvetrávania. Výsledným produktom procesov rozvoľňovania a zvetrávania je hlinitokamenitý horninový materiál s polohami pieskov a ílov. (obr. 8b). Kumulácia podzemnej vody v rozvetranej a rozvoľnenej zóne pôsobí negatívne na šmykovú pevnosť hornín a ich konzistenciu, ktorá v miestach výskytu zvodnených horizontov dosahuje až kašovitý stav. Vznikajú tak zóny oslabenia, vhodné pre vznik šmykových plôch.

Svahové deformácie, vyvinuté na konjuktívnej zosuvnej štruktúre, boli identifikované hlavne severne od osady Veľká Havrania, z ktorých sa svahová deformácia č. 17 aktivizovala na jar roku 1984 (MODLITBA et al. 1985).

Ich typickým znakom je nesymetrický, ostro ohraničený žľab tvaru písmena V, ktorého jeden svah sleduje vrstevné plochy štruktúry a protiľahlý svah dislokačné systémy (obr. 8c). Sklon svahu, predurčeného vrstevnatosťou, je veľmi strmý (60—80°) a plochý, bez výverov podzemnej vody. Vystupujú v ňom spravidla vrstevné plochy ílovcov, ktoré sú v čerstvom stave výrazne lesklé a badať na nich stopy po zosúvaní. Svah podmienený dislokačnými systémami má miernejší sklon a je výrazne konkávny. Je tvorený hlinitokamenitým sedimentom s veľkým obsahom balvanov pieskovcov, pričom v ňom vystupujú viaceré, relatívne výdatné vývery podzemných vôd.

Dno žľabu, ktoré sa v smere svahu mierne rozširuje, je hlavne v hornej časti bez zosunutých hornín a je vo veľkej miere rozbahnené. Horninový materiál svahovej deformácie má kamenitohlinitý charakter, v čerstvom stave je mäkký až kašovitý. Akumuluje sa obyčajne až mimo žľabu, veľmi často v stredných častiach svahu, kde podobne ako v diskontinuitnom type zosuvnej štruktúry priťažuje strednú a spodnú časť svahu, takže pohyb horninového materiálu sa rozširuje na celú dĺžku svahu.

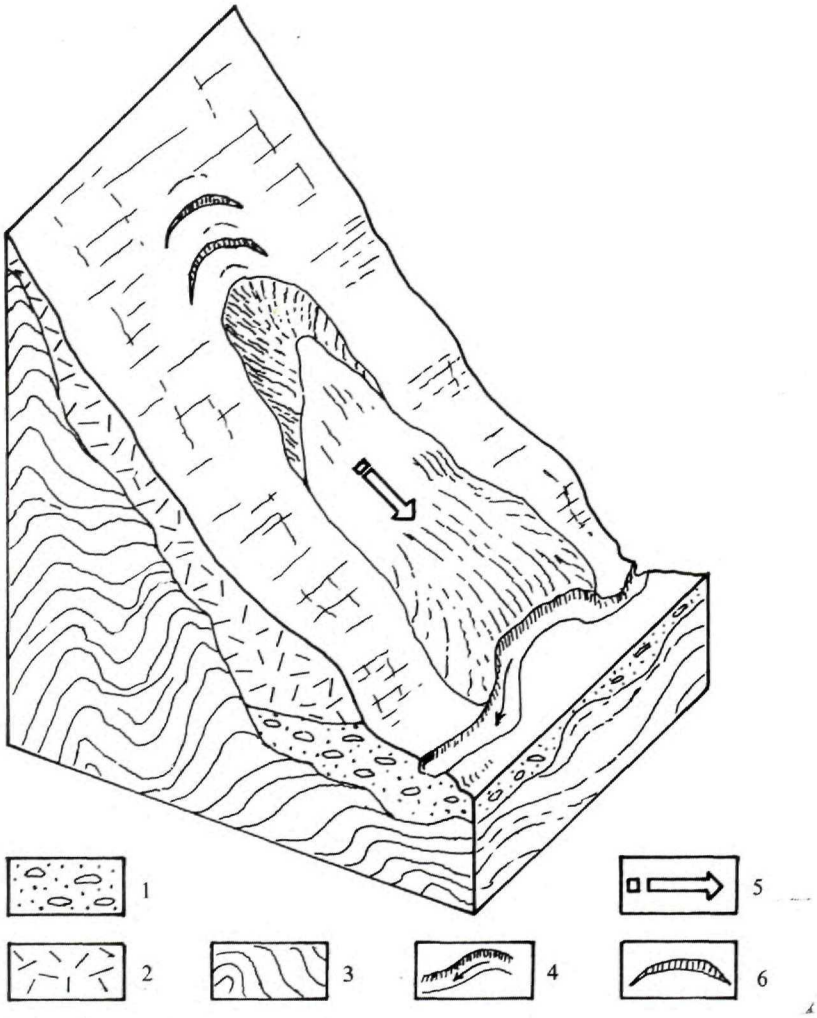
Pohyb horninového materiálu v horných častiach svahovej deformácie, t. j. v oblasti žľabu a tesne pod ním, je veľmi rýchly a spontánny. Naopak, v spodnej časti má charakter zosúvania.

Priebeh šmykovej plochy v pozdĺžnom profile je takmer rovinný, s výrazným konkávnym zaoblením v odlučnej stene. V priečnom profile má tvar nesymetrického písmena „v". V mieste akumulovania vytečených hornín vychádza na povrch pôvodného terénu.

Pre morfológiu takejto svahovej deformácie je typický práve popísaný žľab. Svoj pôvodný charakter si zachováva po dlhú dobu a je zreteľný aj pri deformáciách pomerne starých. Akumulačná časť starších deformácií býva premo-

delovaná svahovou modeláciou a jej identifikácia v celom rozsahu nie je jednoznačná.

Výskyt svahových deformácií na popísanej zosuvnej štruktúre je v okolí Zázrivej zriedkavejší ako u predchádzajúcich štruktúr. Zistili sa hlavne v oblasti severne od osád Malá a Veľká Havrania, kde bolo možné túto štruktúru a jej podiel na vývoji svahovej deformácie detailne skúmať v okolí svahovej deformácie č. 17.



Obr. 9 Model asekventnej zosuvnej štruktúry
1 — striedanie pieskovcov a ílovcov — flyšový vývoj, 2 — svahové sedimenty, 3 — vápence, slieňovce, pieskovce, bradlové pásmo, 4 — potok, 5 — smer pohybu svahových sedimentov, 6 — odlučné steny

Asekventná štruktúra (obr. 9). Je viazaná na strmé sklony svahov (nad 45°) a na výskyt tvrdých, pevných hornín typu vápencov, slienitých vápencov a slieňov, prípadne aj pieskovcov, ktoré sa nachádzajú v bradlovom pásme v kysuckej, oravskej a čertezickej sérii a sú prekryté sedimentmi typu sutí.

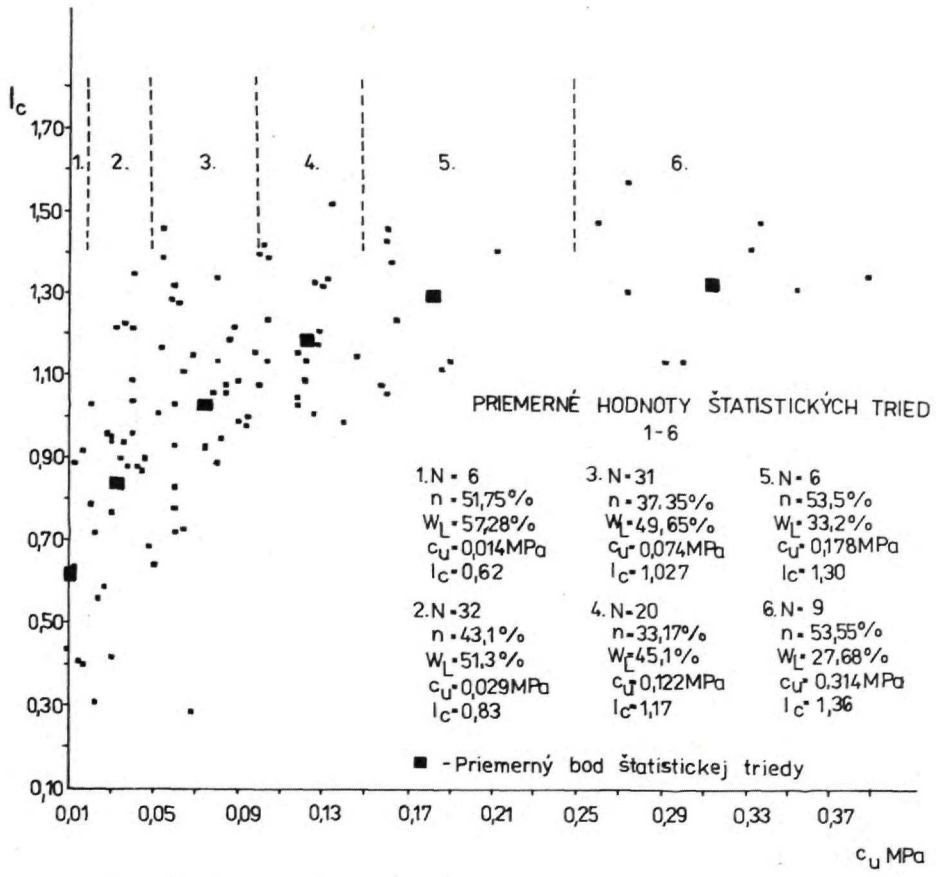
V tejto štruktúre dochádza k pohybu výlučne suťových sedimentov, ktoré majú charakter hlinitokamenitých zemín a bývajú nepravidelne lokálne zvodnené. Šmyková plocha vzniká buď na báze zvodnených zón, alebo sleduje povrch skalného podložia. Príčinou vzniku pohybu býva odľahčenie päty svahu eróziou alebo zemnými prácami.

Typický výskyt takejto štruktúry, vrátane aktívneho pohybu suťových sedimentov, sa zistil na pravom svahu Kozinského potoka v osade Kozinská, kde koncom roku 1983 v dôsledku ťažby sutí vznikla svahová deformácia na päte svahu na ploche asi 150 m^2 (na mapovej prílohe deformácia č. 1). Sute v mieste svahovej deformácie sú tvorené prevažne nepravidelnými ostrohrannými úlomkami vápencov s priemerom do 20—30 cm, s 10—15 % obsahom hlinitej frakcie vysokej plasticity (w_L — 61 %) a s mimoriadne vysokým obsahom uhličitanov (O_u — 56 %). Obsah hlinitej frakcie v smere proti svahu výrazne klesá. Pohyb sutí má charakter zosúvania. Ďalšie podobné štruktúry boli zistené v doline Havranského potoka, pod osadou Malá a Veľká Havrania a v okolí Plešivej.

Príčiny vzniku svahových deformácií

Svah sa považuje za stabilný, ak tzv. pasívne a aktívne sily zosúvania sú v rovnováhe, prípadne ak pasívne sily prevládajú nad aktívnymi. Ak prevládajú aktívne sily zosúvania, svah je nestabilný a horniny na svahu sa pohybujú. Veľkosť oboch skupín síl sa mení v čase i priestore a závisí od intenzity a doby pôsobenia zosuvných faktorov. Prevaha aktívnych síl sa prejaví v porušení hornín šmykom v oblasti šmykovej plochy, ktorá predstavuje zónu oslabenia v horninovom masíve. Šmyková pevnosť horninového masívu v zóne možného vzniku šmykovej plochy je teda limitujúcim faktorom pasívnych síl. V porovnaní s inými faktormi zosúvania je výrazne dynamickým faktorom, ktorý sa môže relatívne rýchle meniť v dôsledku rozvoľňovania skalného masívu alebo zvetrávania, prípadne pri zeminách pod vplyvom zmeny fyzikálneho stavu.

V podmienkach skúmaného územia je intenzita pôsobenia iných zosuvných faktorov, ako je napr. erózia, tektonické pohyby, seizmicita, atď., relatívne malá, a preto nevytvárajú predpoklady pre vznik svahových pohybov. Napriek tomu tu existujú zvlášť vhodné podmienky pre zmeny šmykovej pevnosti najmä ílovitých zemín, ktoré tvoria podstatnú časť svahových sedimentov v okolí Zázrivej. Okrem vlastností samotných zemín a ílovcov, k zmenám šmykovej pevnosti nepriamo prispievajú i pomerne výdatné zrážky. Z hľadiska zrážok možno skúmané územie označiť ako oblasť, v ktorej v ročných priemeroch niekoľkonásobne prevláda množstvo zrážok nad výparom. Nadmerné zrážky vyvolávajú zmeny v ustálenom hydrogeologickom režime, čo sa prejavuje zvýšením vztlakov a hydrodynamického tlaku, narastaním pórových tlakov a zme-

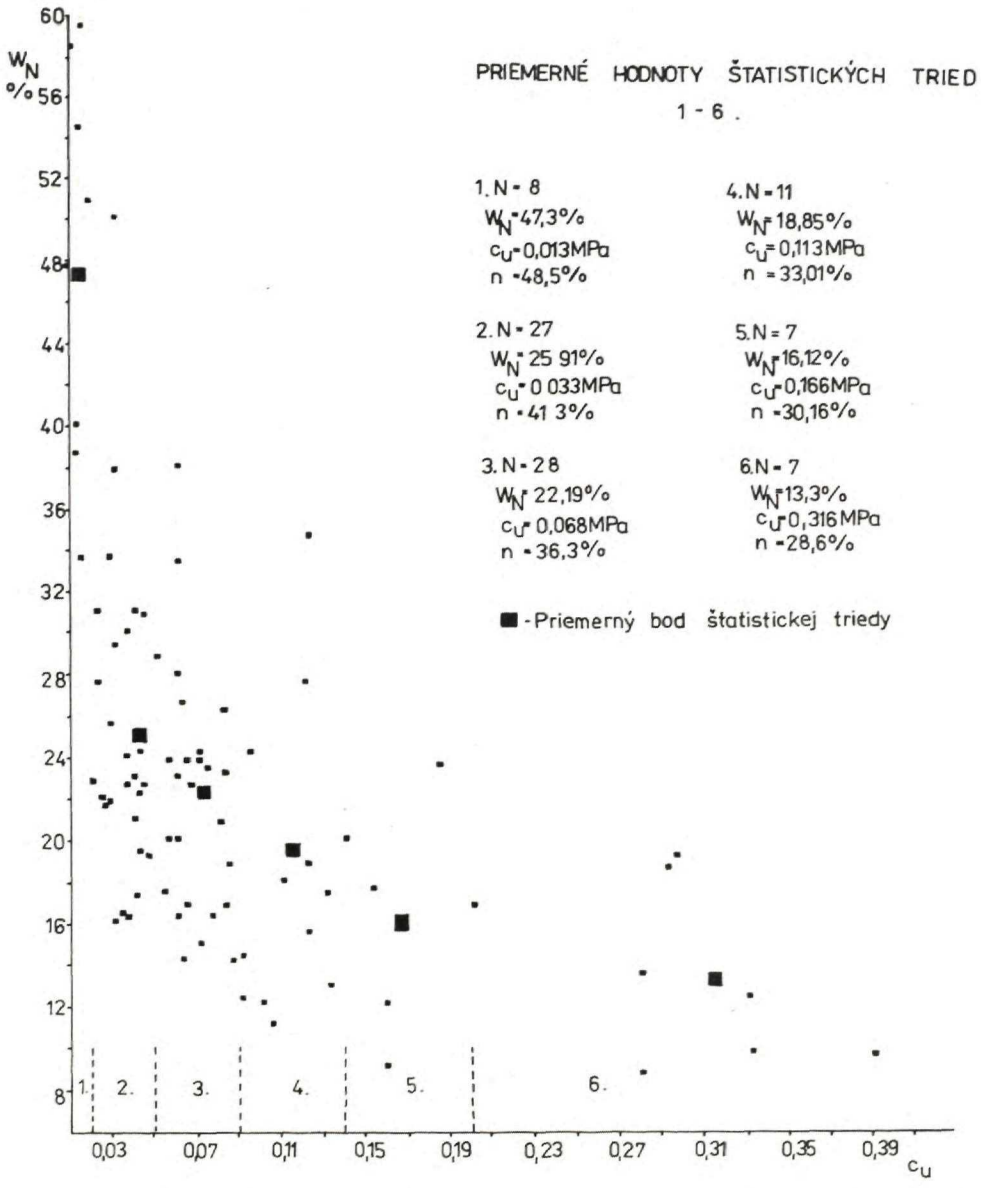


Obr. 10 Závislosť totálnej súdržnosti c_u od čísla konzistencie I_C. N — počet prvkov v štatistickej triede, n — pórovitosť, w_L — medza tekutosti

nou fyzikálneho stavu ílovitých zemín a skalných hornín. Ílovité zeminy a horniny zvýšením obsahu vody znižujú stupeň konzistencie, a teda aj svoju šmykovú pevnosť.

Pri horninách typu ílov, ílovcov, slieňov a slieňovcov je znižovanie pevnosti zapríčinené výlučne zvyšovaním vlhkosti a pôsobením zvetrávania. Vzhľadom na to, že spomínané svahové sedimenty obsahujú veľké množstvo ílovitých minerálov, sú zeminy a poloskalné horniny schopné fyzikálne viazať dostatočné množstvo vody, ktorá znižuje účinky síl pôsobiacich medzi štruktúrnymi jednotkami horniny. Zmenou obsahu fyzikálne viazanej vody menia konzistenciu, vykazujú pomerne veľké objemové zmeny a zmeny pevnostných charakteristík. Pre ilustráciu vplyvu zmien vlhkosti horninového materiálu na jej pevnosť uvádzame grafy závislosti súčiniteľa efektívneho uhla šmykovej pevnosti $\mathrm{tg}\,\varphi'$ a totálnej súdržnosti c_u od obsahu vody v zemine, vyjadrenom prirodzenou vlhkosťou alebo konzistenciou.

Grafy sú uvedené na obr. 10 až 13. Obsahujú 150 hodnôt oboch pevnostných charakteristík, ktoré boli stanovené v laboratóriách mechaniky zemín IGHP, n. p., Žilina v rámci prieskumov svahových deformácií na lokalitách Harvelka



Obr. 11 Závislosť totálnej súdržnosti c_u od prirodzenej vlhkosti w_N, N — počet prvkov v štatistickej triede, n — pórovitosť

(46,6 % hodnôt), Oravský Podzámok (16,1 % hodnôt) a Bytča (37,3 % hodnôt). Skúšobné vzorky, na ktorých sa stanovili pevnostné a fyzikálne vlastnosti, reprezentujú deluviálne a eluviálne sedimenty na flyšových horninách, ako aj samotné ílovce a zvetralé slieňovce z flyšových súvrství. Väčšinou sa jedná o horninový materiál postihnutý svahovým pohybom. Genéza, regionálny výskyt, charakter skalného podložia a fyzikálny stav nás oprávňuje predpokladať ich podobnosť s deluviálnymi a eluviálnymi sedimentmi, ako aj s ílovcovými a slieňovcovými horninami flyšových súvrství v skúmanej oblasti. Pre úplnosť uvádzame, že reprezentatívny súbor analyzovaných vzoriek má priemernú hodnotu medze tekutosti $w_L = 48{,}16$ %, pričom väčšina hodnôt sa pohybuje od 39 do 60 %. Podľa klasifikácie IAEG sú to stredne- až vysokoplastické zeminy. Pre uvedený súbor je charakteristické široké rozpätie hodnôt pórovitosti n. Pohybuje sa od 19 do 70 %. Asi 75 % hodnôt pórovitosti sa však nachádza v rozpätí 29—47 %, pričom maximálne sústredenie hodnôt je okolo 38 %.

Na grafe, ktorý vyjadruje závislosť totálnej súdržnosti c_u od čísla konzistencie I_C (obr. 10), body prislúchajúce ílovcom sa nachádzajú v hornej časti grafu a sú pre ne typické nízke pórovitosti. V strednej časti sa nachádzajú body vzoriek deluviálno-eluviálnych sedimentov a body v spodnej časti grafu sú typické pre deluviálne sedimenty s vysokou pórovitosťou. Na grafe závislosti totálnej súdržnosti c_u od prirodzenej vlhkosti w_N (obr. 11) sú hodnoty zodpovedajúce ílovcom prevažne v spodnej časti grafu a hodnoty zo vzoriek delúvií sa nachádzajú v hornej časti grafu.

Z grafov (obr. 10 a 11) je zrejmé, že závislosť hodnoty totálnej súdržnosti c_u od prirodzenej vlhkosti w_N a čísla konzistencií I_C má priebeh, ktorý možno vyjadriť parabolickou krivkou. Krivka znázornená na grafe vyjadruje priebeh typický pre priemerné hodnoty štatistických tried, definovaných rozpätím hodnoty totálnej súdržnosti c_u v rozsahoch 0,01—0,02 MPa, 0,02—0,05 MPa, 0,05—0,1 MPa, 0,1—0,15 MPa, 0,15—0,25 MPa a hodnoty vyššej ako 0,25 MPa. Priemerné hodnoty medze tekutosti, pórovitosti, čísla konzistencie, resp. vlhkosti a totálnej súdržnosti pre vzorky jednotlivých tried (obr. 10 a 11) sú uvedené v tabuľke 3 a 4.

Tabuľka 3 Priemerné hodnoty štatistických tried pre graf závislosti totálnej súdržnosti c_u od čísla konzistencie I_C

c_u (MPa)	0,014	0,029	0,074	0,122	0,178	0,314
I_C	0,62	0,89	1,03	1,17	1,30	1,36
w_L (%)	57,3	51,3	49,6	45,1	53,5	53,5
n (%)	51,7	43,1	37,3	33,1	33,2	27,7

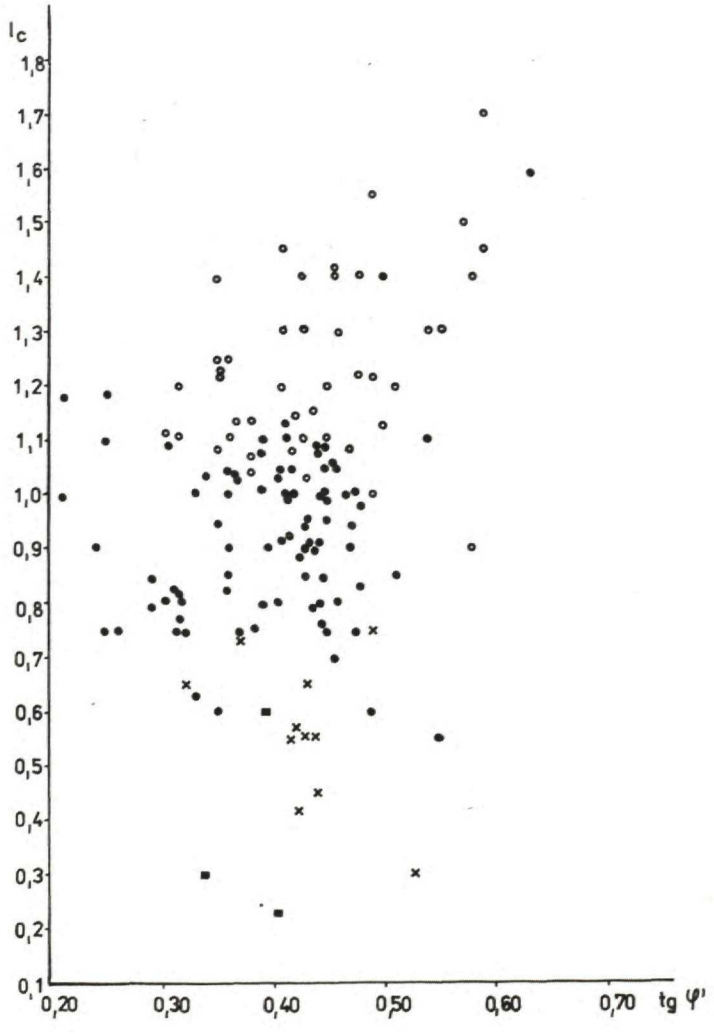
Tabuľka 4 Priemerné hodnoty štatistických tried pre graf závislosti totálnej súdržnosti c_u od prirodzenej vlhkosti w_N

c_u (MPa)	0,013	0,034	0,068	0,114	0,167	0,316
W_N (%)	47,3	25,9	22,2	18,9	16,1	13,3
n (%)	48,5	41,3	36,3	33,3	30,2	28,6

Z priebehu závislostí priemerných hodnôt c_u, I_C a w_N v štatistických triedach vyplýva, že pokles hodnoty c_u výrazne závisí od obsahu vody v zemine. Pre závislosť totálnej súdržnosti c_u prirodzenej vlhkosti w_N (obr. 11) je priebeh krivky definovaný funkciou:

$$y = A + \frac{B}{x}$$

keď: A = 13,82
B = 4,359



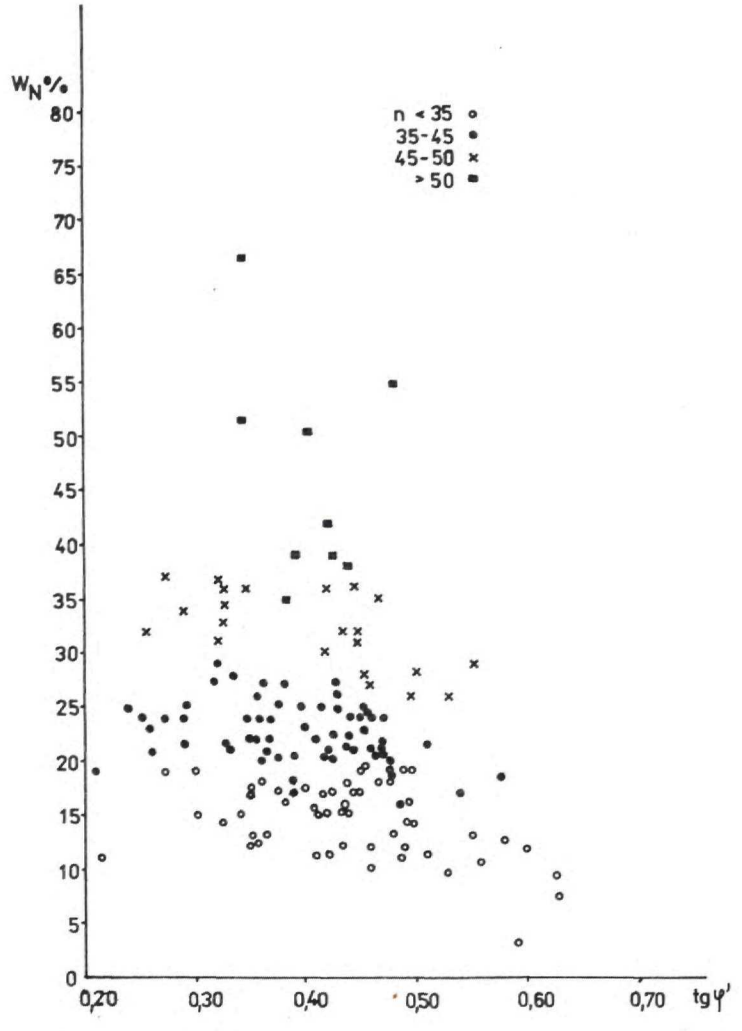
Obr. 12 Závislosť súčiniteľa efektívneho uhla vnútorného trenia tgφ' od čísla konzistencie I_C

a priebeh závislosti hodnoty c_u na I_C (obr. 10) vyjadruje najpresnejšie funkcia:

$$\frac{1}{y} = A + \frac{B}{x}$$

keď: A = 0,476
B = 0,416

Podobné závislosti šmykovej pevnosti hornín a ich obsahu fyzikálne viazanej vody možno ukázať i na grafoch vyjadrujúcich vzťah súčiniteľa efektívneho uhla



Obr. 13 Závislosť súčiniteľa efektívneho uhla vnútorného trenia tg φ′ od prirodzenej vlhkosti w_N, n — pórovitosť v %

vnútorného trenia $tg\varphi'$ k číslu konzistencie I_C a k prirodzenej vlhkosti w_N (obr. 12 a 13). Ich závislosť je však málo výrazná, nakoľko nie sú k dispozícii údaje o fyzikálnom stave horniny po jej skonsolidovaní v šmykovom prístroji. Údaje uvádzané v pôvodných prameňoch sa týkajú fyzikálneho stavu pred skonsolidovaním skúšobných vzoriek a nezodpovedajú podmienkam zisťovania efektívnej šmykovej pevnosti.

Podotýkame, že problém znižovania šmykovej pevnosti hornín je potrebné chápať jednak ako dlhodobé a relatívne pomalé znižovanie pevnosti v dôsledku pôsobenia procesov zvetrávania, a jednak ako „kolísanie" šmykovej pevnosti pod vplyvom sezónnych procesov, najmä zrážok, topenia snehu a pod. Typickým znakom pôsobenia procesov zvetrávania je kontinuálne dlhodobé a nezvratné znižovanie pevnosti z hľadiska času (ak vylúčime vplyvy litifikácie). Naopak, klimatické procesy vyvolávajú relatívne krátkodobé zmeny pevnosti, ale sú intenzívne a zvratné. Oba procesy pôsobia obyčajne súčasne, ale za rozhodujúci z hľadiska vzniku svahových deformácií považujeme vplyv sezónnych procesov.

Pri skalných horninách, napr. pieskovcoch, nastáva zníženie pevnosti v dôsledku rozvoľnenia horninového masívu pozdĺž dislokácií, ktorých pôvod je treba hľadať v uvoľňovaní reziduálnych napätí eróziou alebo v pôsobení tektonických napätí, prípadne aj v mechanickom zvetrávaní. Vznik dislokácií je možný aj pod vplyvom nerovnomernej deformácie ílovcových vrstiev v podloží pieskovcov (napr. magurský pieskovec), prípadne „vytláčaním" ílovcov do svahu pôsobením hmotnosti nadložia.

Záver

Na základe získaných poznatkov z terénneho výskumu bola zostavená z okolia Zázrivej mapa pravdepodobnosti vzniku svahových deformácií, v mierke 1 : 25 000, v ktorej okrem lokalizácie svahových deformácií sú vyčlenené rajóny združujúce územia s rôznou intenzitou vývoja svahových deformácií. Vzhľadom na to, že súčasnú intenzitu vývoja svahových deformácií možno považovať aj za prejav náchylnosti územia k vzniku svahových deformácií, možno jednotlivé rajóny považovať za územia s rovnocennou pravdepodobnosťou (rizikom) vzniku deformácií.

Ako kritériá pre vyčlenenie rajónov boli použité:

— geologická stavba,

— veľkosť plochy postihnutej svahovým pohybom vo vyčlenených geologických jednotkách,

— morfologické pomery územia.

Na mape sú vyčlenené tieto rajóny:

Rajón svahových deformácií vymedzuje územie s najväčším výskytom svahových deformácií. Pomer medzi plochou svahových deformácií v rámci vyčleneného rajónu (P_Z) a plochou rajónu (P_j), t. j. súčiniteľ svahových deformácií SSD

je 0,614. Rajón zaberá územie budované paleogénnym pieskovcovo-ílovcovým súvrstvím magurského príkrovu (spodný, stredný eocén) s pomerne mohutným prekrytím deluviálno-eluviálnymi sedimentmi typu ílov, ílovitých hlín a piesčitých hlín s úlomkami pieskovcov. Svahové deformácie tu vznikajú hlavne na konsekventných a insekventných zosuvných štruktúrach. Celé územie rajónu je potrebné považovať za nestabilné. Možnosť vzniku alebo oživenia svahových pohybov je veľmi pravdepodobná najmä pri narušení prirodzenej stability svahu zemnými a stavebnými prácami (aj v minimálnom rozsahu), v dlhotrvajúcom a výdatnom zrážkovom období (najmä jarné mesiace) a pri umelom zásahu do hydrogeologického režimu.

Rajón pravdepodobného výskytu svahových deformácií je vymedzený územím, ktoré budujú mezozoické horniny manínskej série, t. j. pieskovce a sliene vo flyšovom vývoji (koňak—santón). Skalný masív je prekrytý opäť ílovitými, ílovito-hlinitými alebo hlinitopiesčitými deluviálno-eluviálnymi sedimentmi s prímesou úlomkov pieskovca. Hrúbka pokryvných útvarov je menšia ako v predchádzajúcom rajóne. Súčiniteľ svahových deformácií SSD dosahuje hodnotu 0,151 a poukazuje na podstatne menší výskyt svahových deformácií ako v predchádzajúcom rajóne. Výskyt svahových deformácií je viazaný hlavne na časti rajónu s početnejším výskytom slienitých a slieňovcových vrstiev, na konsekventné a insekventné zosuvné štruktúry. V častiach rajónu s prevahou pieskovcov je pravdepodobnosť vzniku svahových deformácií malá. Možnosť vzniku nových svahových deformácií alebo oživenie svahových pohybov je i v tomto rajóne pravdepodobné najmä tam, kde sú vyvinuté mohutnejšie kvartérne pokryvy a kde prevládajú pelitické sedimenty. Príčinou vzniku svahového pohybu môžu byť hlavne zemné a stavebné práce, vykonávané necitlivo vzhľadom na stabilitu svahu, dlhotrvajúce a výdatné dažde a umelý zásah do hydrogeologických pomerov.

Rajón s podmieneným výskytom svahových deformácií zaberá územie budované paleogénnymi horninami tzv. pieskovcového súvrstvia magurského príkrovu (spodný a stredný eocén). Kvartérny pokryv dosahuje pomerne malú hrúbku a má prevažne piesčito-kamenitý charakter. Súčiniteľ svahových deformácií SSD je len 0,079 a dokumentuje sporadický výskyt svahových deformácií. Vyskytujú sa poväčšine na okrajoch rajónu na styku pieskovcov s podložným pieskovcovo-ílovcovým súvrstvím. Do rajónu zasahujú len odlučnými oblasťami. Vznikajú v diskontinuitných zosuvných štruktúrach. Možnosť vzniku nových alebo oživenia starších pohybov je v tomto rajóne málo pravdepodobná. Istým nebezpečím pre stabilitu svahu môžu byť zemné práce väčšieho rozsahu (výkopy) v tesnom podloží pieskovcov v oblasti vymedzených hraníc rajónu.

Rajón s náhodným výskytom svahových deformácií bol vymedzený v oblastiach budovaných mezozoickými horninami kysuckej, oravskej a čertezickej série bradlového pásma s nepatrným lokálnym prekrytím svahovými sedimentmi typu sutí. Výskyt svahových deformácií v tomto rajóne možno považovať za náhodný, viazaný výlučne na sute. V rajóne sa však častejšie môžeme stretnúť s prejavmi opadávania balvanov zo skalných stien. Súčiniteľ svahových deformácií SSD je len 0,028. Z hľadiska geologickej stavby možno rajón označiť ako

nevhodný pre vznik svahových deformácií. Výnimku tvoria jedine sute, zvlášť ak obsahujú hlinitú prímes. Ich pohyb môže byť vyvolaný necitlivými zemnými prácami (odkopy v päte svahu) alebo eróziou.

Rajón bez svahových deformácií tvoria iba riečne náplavy miestnych tokov, kde nie sú vhodné geologické ani geomorfologické podmienky pre vznik svahových deformácií.

Literatúra

Atlas Slovenskej socialistickej republiky. — 1980, SAV, Bratislava, 1—269.

HAŠKO, J.—POTFAJ, M. 1976: Vysvetlivky k základnej geologickej mape ČSSR 1 : 25 000 M-34-99-A-b (Zázrivá). — Geofond, Bratislava, 1—50.

HAŠKO, J.—POLÁK, M. 1979: Vysvetlivky ku geologickej mape Kysuckých vrchov a kivánskej Malej Fatry 1 : 50 000. — Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 1—145.

JÁNOVÁ, V.—KOVÁČIK, M.—MODLITBA, I. 1985: Svahové deformácie na lokalite Zázrivá—Veľká Havrania. — Západ. Karpaty, Sér. Hydrogeol. inž. Geol. 6, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 154—174.

MODLITBA, I. 1972: Príspevok k poznaniu reziduálnej pevnosti zemín. Problémy inžinierskej geológie a hydrogeológie. — Zb. prác absolventov k 20. výročiu výuky inžinierskej geológie a hydrogeol., OBIS, Žilina, 73—100.

MODLITBA, I.—KOVÁČIK, M. 1984: Register svahových deformácií pre oblasť Bielych Karpát, Javornikov, Strážovskej hornatiny, časť Štiavnických vrchov a Javoria, Malej Fatry (oblasť Vrícka) a Oravskej Magury (oblasť Zázrivej). — Archív Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 1—36.

NEMČOK, A. 1982: Zosuvy v slovenských Karpatoch. — Veda, Bratislava, 1—318.

POTFAJ, M. 1974: Geologická stavba územia severne od Zázrivej. — Dipl. práca, Geofond, Bratislava, 1—50.

RENTKA, R. 1975: Zásuvné územie Sihla. — Geofond, Bratislava, 1—3.

I. MODLITBA—I. VANČÍKOVÁ

Slope deformations in Zázrivská dolina valley and their relation to flyschoid rocks properties

Summary

The area of Zázrivá is characterized by many slope deformations. According to recent records 37.8 % of the entire area are devastated by slope sediments movements. There are 56 localities affected by slope movements. At most localities movements of cover formations were recorded. Their grain size distribution corresponds to clays, clayey loams and sandy loams with variable content of sandstone clasts. According to the classification by NEMČOK—RYBÁŘ (in A. NEMČOK 1982) the slope deformations have the character of surface disturbances. Shear planes are likely to be on the contact between the rock basement and cover formations or in the loosening zone of the rock massif. They have areal or current character. The movements correspond to sliding, partly to flowing and exceptionally to rock fall.

Frequent slope deformations are controlled by favourable geologic and geomorphologic conditions. Most favourable conditions are represented by Paleogene sandstone and claystone formations of the Magura nappe where 61.4 % of the area are affected by slope movements. Many slope

deformations were also recorded on the sandstone-marlstone formation of the Manín Group (Coniacian-Santonian). There are only sporadical slope deformations in the area consisting of the Magura nappe sandstones and of the rocks of the Klippen Belt of the Orava, Kysuca and Czertezica Groups (limestones and marlstones).

In most cases the decreasing shear strength of clayey rocks due to increasing humidity — documented by changes in values of the effective strength $\mathrm{tg}\,\varphi'$ and total cohesion C_u coefficient controlled by natural humidity and consistence — is regarded as the cause of slope sediments movements (Figs. 10—13). In this area the slope deformations are largery controlled by rainfall. Intense and long lasting rains cause substantial changes in physical state of clayey rocks and in hydrogeologic regime. Dip changes resulted from ill-considered operations associated with unloading or surplus loading of slope parts.

In this area the slope deformations are associated with five geologic slide structures (Figs. 5—9). Consequent and insequent structures (Figs. 5, 6) offer the most favourable conditions. They are characterized by flysch facies. In the case of a consequent structure the bed dip is identic with the slope gradient-curve dip and in the case of an insequent structure the bed dip forms an angle with the slope gradient-curve dip. The courses of bed dip and gradient curve are identic. Other structures — the discontinuous conjuctive and asequent — offer less favourable conditions for slope deformations. The above mentioned slide structures are favourable to the so-called surface deformations.

Slope sediments movements proceed mostly on slopes with the gradient curve dip 10—18°. No such movements were recorded on slopes with the dip below 8° whereas they are frequent on slopes with the dip 18—24°. On steep slopes the deformations are sporadical (Fig. 4).

On the basis of the evaluation of geologic conditions, frequency of slope deformations and morphologic conditions a map of propable occurrence of slope deformations has been compiled. The map shows localization of deformations, zones of frequency and probability (risk) of slope deformations.

The zone of slope deformations occupies the area consisting of the sandstone-claystone formation of the Magura nappe. This is the zone of the greatest frequency of slope deformations and there is an extremely high probability of their occurrence due to surface operations or to long lasting and intense rains.

The zone of probable slope deformations occurrence consists of the Manín Group rocks (sandstones, marlstones; Coniacian—Santonian). The occurence and probability of slope deformations are much lower than in the preceding zone. The slope sediments movements may be caused by surface operations and building works disturbing the slope stability in combination with long-lasting rains of extreme intensiveness.

The zone of conditional occurrences of slope deformations occupies an area consisting of the Magura nappe sandstone formation. Frequency of slope deformations is very low in this zone. Only its margins are favourable to slope deformations because of the softer basement of the sandstone — claystone character. This is why probability of slope deformations is very low in this zone.

A zone of random occurrence of slope deformations is represented by the area consisting of the rocks of the Orava, Kysuca and Czertezica Groups (limestones, marlstones) of the Klippen Belt. The conditions for slope deformations are unfavourable, their occurrence is exceptional.

A zone without slope deformations is represented by the area of river plains without geologic and geomorphologic conditions for slope deformations.

Explanation of text-figures

Fig. 1 Diagram of plasticity of slope sediments fine fractions

Fig. 2 Envelope curves of grain size curves of slope sediments fine fractions
1 — clays, clayey loams, 2 — loamy sands with gravelly fraction admixture

Fig. 3 Clay earths activity A_i — of slope sediments

Fig. 4 Frequency histogram of slope deformations localities in relation to slopes dips

Fig. 5 Model of consequent slide structure; 1 — alternation of sandstones and claystones — flysch facies, 2 — slope sediments, 3 — damp areas, 4 — course of slope sediments movements

Fig. 6 Model of insequent slide structure; 1 — alternation of sandstones and claystones — flysch facies, 2 — slope sediments, 3 — springs and damp areas, 4 — course of slope sediments movements

Fig. 7 Model of discontinuous slide structure
1 — alternation of sandstones and claystones — flysch facies, 2 — slope sediments, 3 — "felsenmeers", 4 — course of sediments movement, 5 — springs and fens

Fig. 8a, b, c Model of evolutionary stages of conjuctive slide structure
1 — alternation of sandstones and claystones — flysch facies, 2 — slope sediments, 3 — moving slope sediments, 4 — course of slope sediments movements, 5 — springs

Fig. 9 Model of asequent slide structure
1 — alternation of sandstones and claystones — flysch facies, 2 — slope sediments, 3 — limestones, marlstones, sandstones, Klippen Belt, 4 — brook, 5 — course of slope sediments movements, 6 — main scarps

Fig. 10 Relation of total cohesion C_u to consistence index I_c, N — number of elements in statistical class, n — porosity, W_L — liquid limit

Fig. 11 Relation of total cohesion C_u to natural humidity W_N, N — number of elements in statistical class, n — porosity

Fig. 12 Relation of coefficient of effective angle of internal friction $\mathrm{tg}\,\varphi'$ to consistence index I_c

Fig. 13 Relation of coefficient of effective angle of internal friction $\mathrm{tg}\,\varphi'$ to natural humidity W_N, n — porosity in %

Map 1 : 25 000 of frequency of slope deformations
1 — high probability of slope deformations, 2 — probability of slope deformations, 3 — low probability of slope deformations, 4 — improbability of slope deformations, 5 — conspicous main scarps, 6 — conspicuous course of slope sediments movements, 7 — potential slope deformations, 8 — active slope deformations, 9 — small-size slope deformations, 10 — number of slope deformations, 11 — bench marks symbols

Translation: E. Jassingerová

Západné Karpaty, hydrogeológia a inž. geol. 7, s. 87—128, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava 1989

KAMIL VRANA—DUŠAN BODIŠ—KAMIL LOPAŠOVSKÝ—STANISLAV RAPANT

Regionálno-hydrogeochemické zhodnotenie kvality snehovej pokrývky na území Slovenska

11 obr., 2 tab., angl. resumé

Abstract. The authors evaluate the results of the years' (1976—1985) study of snow pack quality at 44 localities in Slovakia. The following components were evaluated in details: Na, K, NH_4, Mg, Ca, Cl, NO_3, SO_4, SiO_2, Sr, Mn, Fe, Al, Zn, Cu, Pb. T.D.S. of snows varied from 3.70 to 162.76 mg.l^{-1}. 68.0 % of samples (n = 417) had T.D.S. 10—30 mg.l^{-1}. In the most part of the Slovak territory the snow pack shows chemical composition (equivalent ratios) of the Ca > NH_4 > > Mg or SO_4 > Cl > NO_3 type. The fact that 49.4 % of snow samples showed pH < 4.4, and more than 10 % of snow samples had pH > 4.0 is ecologically singificant. In the areas of intense industry and agriculture the potential deposition of salts from precipitation in the winter season (X—III) is 7.0—10.0 g.m^{-2} and in some places even more. In the rest of the Slovak territory the amounts do not exceed 7.0 g.m^{-2}.

Obsah

Úvod
Metodika výskumu
Chemické zloženie snehovej pokrývky
  Celková mineralizácia, makrochemizmus a acidita snehov
  Vedľajšie zložky a stopové prvky
Potenciálny prínos solí zrážkami v zimnom polroku na území Slovenska
Záver
Literatúra
Anglické resumé

Úvod

V rámci regionálneho hydrogeologického výskumu územia Slovenska, ktorý sa systematicky uskutočňuje na Geologickom ústave Dionýza Štúra v Bratislave, sa podrobne hodnotia aj hydrogeochemické pomery jednotlivých regiónov. Takéto komplexné štúdium kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov je

RNDr. K. VRANA, CSc.—RNDr. D. BODIŠ—K. LOPAŠOVSKÝ—RNDr. S. RAPANT, Geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava.

nevyhnutným predpokladom poznania celkového mechanizmu vytvárania zásob a formovania kvality podzemných vôd a zároveň je podkladom pre uvážené zásahy do prírodného prostredia.

Tvorba chemického zloženia podzemných vôd je zložitým procesom. Uskutočňuje sa v niekoľkých fázach, charakterizovaných špecifickým súborom pôsobiacich faktorov a interakcií. Východiskový stav tohto procesu predstavuje chemické zloženie zrážkových vôd, ktoré je v svojej podstate jedným z produktov samočistiacich mechanizmov, pôsobiacich v atmosfére. Jeho hlavnými fázami sú interakcie zrážkových vôd s vegetáciou, pôdou a horninovým prostredím. Zlúčeniny a soli antropogénneho pôvodu vstupujú do tohto procesu vo všetkých jeho fázach, počnúc atmosférou a končiac horninovým prostredím (S. GAZDA 1983).

Z celkového hodnotenia klimatických a hydrologických pomerov Slovenska vyplýva, že pre tvorbu zásob podzemných vôd majú veľký význam zimné zrážky, hlavne vo forme snehu, pretože v zimnom a v skorom jarnom období sú relatívne najvhodnejšie podmienky pre doplňanie zásob podzemných vôd. Zrážkové vody sú v podstate vždy do určitej miery mineralizované a po dopade na zem začínajú pôsobiť ako viac či menej agresívne činidlo, pričom ich chemické zloženie sa do značnej miery metamorfuje už vo vegetačnom a pôdnom pokryve. Tá časť zrážkových vôd, ktorá po infiltrácii dosiahne hladinu podzemných vôd, prispieva svojim soľným obsahom k ich celkovej mineralizácii.

Z vyššie uvedeného vyplýva i veľký význam skúmania chemického zloženia zrážkových vôd pri hydrogeochemickom hodnotení nášho územia. Preto bol na Geologickom ústave Dionýza Štúra v roku 1976 započatý regionálno-hydrogeochemický výskum chemického zloženia snehovej pokrývky. Cieľom tohto výskumu je poznanie chemického zloženia vodných roztokov, ktoré vznikajú pri topení snehovej pokrývky (vrátane zachyteného prašného spádu prírodného a antropogénneho pôvodu), po infiltrácii sa podieľajú na tvorbe chemického zloženia podzemných vôd a počas jarného topenia ovplyvňujú kvantitatívne i kvalitatívne povrchové vody. Keďže minerálny obsah zrážkových vôd má v zásade dvojaký pôvod (prirodzený a antropogénny), sledovanie chemického zloženia zrážkových vôd dáva informáciu aj o stave znečistenia ovzdušia a jeho celkovom vplyve na utváranie kvality podzemných vôd.

Čiastkové výsledky uvedeného výskumu boli zhodnotené v prácach S. GAZDA—D. BODIŠ—S. RAPANT—K. VRANA (1980) a S. GAZDA—K. LOPAŠOVSKÝ (1983). V predkladanej práci podávame regionálno-hydrogeochemické zhodnotenie kvality snehovej pokrývky na území Slovenska za desaťročné obdobie (1976—1985). Práca bola započatá pod vedením Ing. Stanislava Gazdu, CSc., ktorý koncipoval zameranie tohto výskumu a koordinoval odberové, analytické a interpretačné práce do roku 1982. Na odberoch vzoriek sa v priebehu celého obdobia najviac podieľali K. Lopašovský, S. Rapant, D. Bodiš, A. Bachorec, v menšej miere tiež S. Gazda, K. Vrana a P. Vyskočil. Analytické práce v hydrochemickom laboratóriu GÚDŠ Bratislava vykonal K. Lopašovský v spolupráci s H. Jiráskovou a D. Kyselovou.

Metodika výskumu

Výskum chemického zloženia snehovej pokrývky sa robil v rokoch 1976—1985 na 44 lokalitách územia Slovenska (obr. 1). Počet meraní na jednotlivých lokalitách je zrejmý z údajov tab. 1 a špecifikovaný pri popise lokalít (obr. 1).

Pri výbere lokalít bola zohľadnená výšková diferenciácia terénu (lokality vysokohorské, stredohorské, nížinné) s prednostnou orientáciou na horské oblasti, v ktorých sa formujú hlavné zásoby vodohospodársky využiteľných podzemných a povrchových vôd; geologická stavba — prednostná orientácia na územia budované z hľadiska infiltrácie hydrogeologicky priaznivými horninami; prevládajúce cyklonálne a anticyklonálne situácie v zimnom období (a s nimi spojené prevládajúce smery prúdenia vzdušných más) a lokalizácia niektorých významných zdrojov znečisťovania atmosféry (oblasť Bratislavy, Horné Ponitrie, Vojany vo Východoslovenskej nížine a pod.).

Vzorky boli odoberané koncom zimného obdobia (v druhej polovici januára až koncom februára) z celého profilu snehovej pokrývky tak, aby charakterizovali chemické zloženie vodných roztokov, vznikajúcich pri jarnom topení snehovej pokrývky. Sneh sa odoberal do polyetylénových sáčkov, viackrát dôkladne prečistených pred odberom vzorkovaným snehom. Bezprostredne po prirodzenom topení snehu boli vzorky homogenizované tak, že sa zliali do jedného sáčku, pričom priamo v teréne bolo v roztoku stanovené pH, alkalita a acidita potenciometrickou titráciou, resp. boli fixované všetky nestále zložky kyselinou soľnou, dusičnou a sírovou. Vzorky boli dopravované do hydrochemického laboratória v polyetylénových fľašiach, do ktorých boli bez filtrácie odliate z homogenizovaného celkového objemu roztopeného snehu a komplexne analyzované štandardnými analytickými metódami (JAM, ÚÚG Praha), upravenými pre nízkomineralizované vody.

Atómovo-absorpčnou spektrofotometriou sa stanovovali Na, K, Ca, Mg, Sr, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb a Al. Meď, olovo a zinok pri koncentráciách pod 0,01 mg . l^{-1} boli stanovované z prekoncentrovaných roztokov, získaných odparením 500 ml vzorky, okyslenej HNO_3, resp. HCl, na objem 25 ml. Kontrola bola robená vytrepávaním chelátov uvedených prvkov s pyrolidínditiokarbamínanom amónnym do metyl-izobutylketónu pri pH 3,7 a vstrekovaním oddelenej organickej fázy priamo do plameňa. Výsledky získané oboma metódami boli prakticky identické. Výsledky stanovenia hliníka v plameni acetylén-oxid dusný, resp. grafitovou kyvetou, boli kontrolované spektrofotometrickou metódou s chromazurolom S.

Štandardnými spektrofotometrickými metódami boli stanovené dusitany, dusičnany, ortofosforečnany, amónium a oxid kremičitý. Chloridy boli stanovené pomocou iónselektívnej elektródy a kolorimetricky, hydrogénuhličitany potenciometrickou titráciou do pH 4,5 a sírany gravimetricky.

Reprodukovateľnosť analytických metód pre tieto veľmi nízko mineralizované roztoky bola kontrolovaná interne, v rokoch 1984—1985 i v rámci medzinárodného programu kontrólnych analýz prírodných vôd (vrátane roztokov



Obr. 1 Lokalizácia odberov vzoriek snehov

Lokalizácia odberových miest (v zátvorke časový sled odberov):
1 — Bratislava — pri n. p. Slovnaft, 150 m n. m. (1979—81, 1983—85), 2 — Bratislava-Železná studienka, 250 m n. m. (1976—85), 3 — Pernek — 4 km vjv. od obce, 100 m nad cestou Pernek—Pezinok, 540 m n. m. (1976—85), 4 — Skalica — 4 km vjv. od severného okraja obce pri Zlatníckom potoku, 280 m n. m. (1976—85), 5 — Starý Hrozenkov — 1,6 km sz. od obce, 500 m n. m. (1976—85), 6 — Trenčianske Jastrabie — 1,4 km j. od obce pri ceste na Dubodiel, 500 m n. m. (1976—85), 7 — Homôlka — 5 km sz. od Valaskej Belej, 770 m n. m. (1976—85), 8 — Nitra — 400 m. s. od mesta pod sedačkovou lanovkou na Zobor, 520 m n. m. (1976—85), 9 — Patince — 600 m v. od obce pri dunajskej hrádzi, 130 m n. m. (1976—81, 1983—85), 10 — Opavská hora — 2,5 km sz. od Opavy, 520 m n. m. (1977, 1979—85), 11 — Banský Studenec — 1,5 km vjv. od obce, 680 m n. m. (1976—85), 12 — Lehôtka pod Brehy — 200 m j. od obce, 300 m n. m. (1977—85), 13 — Handlová-Nová Lehota — 500 m z. od obce, 600 m n. m. (1978—85), 14 — Podhradie pri Novákoch — 50 m sv. od obce, 570 m n. m. (1976—85), 15 — Martinské hole — 3,5 km jz. od Vrútok, 770 m n. m. (1976—77, 1979—85), 16 — Vrátna dolina — 3,5 km j. od Terchovej, 650 m n. m. (1976—85), 17 — Oščadnica — 1 km v. od obce, 875 m n. m. (1976—85), 18 — Lokca — 1 km sv. od obce, 750 m n. m. (1977—85), 19 — Ružomberok — 100 m nad stanicou lanovky na Malinô Brdo, 550 m n. m. (1976—85), 20 — Ľupčianska dolina — rázcestie P. Ľupča—Železnô, 830 m n. m. (1976—85), 21 — Donovaly — 500 m j. od hotela Šport, 970 m n. m. (1976—85), 22 — Horný Tisovník — 750 m ssz. od obce, 470 m n. m. (1976—85), 23 — Chopok-Srdiečko, 1110 m n. m. (1976—85), 24 — Čertovica — 150 m jjv. od motela, 1260 m n. m. (1976—85), 25 — Chopok-Jasná, 1180 m n. m. (1976—85), 26 — Štrbské pleso — 100 m s. od hotela FIS, 1400 m n. m. (1976—77, 1979—85), 27 — Muránska planina — 2,5 km zsz. od Muránskej Huty, 880 m n. m. (1976—85), 28 — Hajnáčka — 500 m vsv. od obce, 330 m n. m. (1977—85), 29 — Plešivec — 4 km j. od obce, 350 m n. m. (1976—85), 30 — Rochovce — 500 m jz. od obce, 400 m n. m. (1977—85), 31 — Dobšiná — 3,5 km s. od obce, 850 m n. m. (1976—85), 32 — Pusté Pole — 500 m z. od želez. zastávky Vernár, 950 m n. m. (1976—85), 33 — Tatranská Lomnica — pri stanici kabínkovej lanovky, 900 m n. m. (1976—85), 34 — Skalnaté pleso — 1751 m n. m. (1976—85), 35 — Lomnický štít — 2632 m n. m. (1976—79, 1981—85), 36 — Červený Kláštor — 1,8 km jjv. od obce, 560 m n. m. (1976—85), 37 — Branisko — nad pamätníkom, 770 m n. m. (1976—85), 38 — Zádielska dolina, 1 km s. od Zádielskych Dvorníkov, 570 m n. m. (1977—85), 39 — Slanec — 1,8 km jz. od obce, 450 m n. m. (1978—85), 40 — Zlatá Baňa — 1,5 km vjv. od obce, 670 m n. m. (1976—85), 41 — Dukla — pri pamätníku, 480 m n. m. (1976—85), 42 — Remetské Hámre — 4 km ssv. od obce, 500 m n. m. (1976—85), 43 — Vojany — 1,2 km z. od obce, 120 m n. m. (1976, 1978—79, 1981—85), 44 — Cejkov — pri Kráľovskom Chlmci, 1,8 km. zjz. od obce, 200 m n. m. (1976, 1978—79, 1981—85).

z roztopeného snehu), ktorý poriadal U.S. Geological Survey za účasti desiatok laboratórií z celého sveta. Medze dokazovateľnosti pre jednotlivé zložky boli nasledovné: Na, K, Mg 0,005 mg.l^{-1}; Ca, Cl 0,05 mg.l^{-1}; NH_4 0,03 mg.l^{-1}; SiO_2 0,1 mg.l^{-1}; SO_4 0,5 mg.l^{-1}; Sr, Zn, Cu 1 μg.l^{-1}; Mn, Pb 2 μg.l^{-1}; Fe 5 μg.l^{-1}; Al 10 μg.l^{-1}. Hodnoty uvedené v ďalšom texte ako 0 sú pod týmito limitnými hodnotami.

Chemické zloženie snehovej pokrývky

Pri hodnotení chemizmu zrážok existujú dva prístupy. *Prvý (meteorologický)* hodnotí kvalitu zrážok na základe skúmania samočistiacich procesov atmosféry so všetkými nadväznými problémami interpretácie. *Druhý (hydrochemický)* sa zaoberá hlavne vplyvom atmosferických zrážok na tvorbu chemizmu povrchových a podzemných vôd. V našom prípade pri súbornom hodnotení nazhromaždeného rozsiahleho analytického materiálu vychádzame z pozície hydrogeochemického štúdia, t. j. iba v minimálne potrebnej miere sa zaoberáme hodnotením mechanizmu a fyzikálno-chemickej podstaty javov podmieňujúcich tvorbu chemizmu zrážkových vôd v atmosfére. Dôraz sa kladie na poznanie a regionálne zhodnotenie kvalitatívnych vlastností snehovej pokrývky vo vzťahu k tvorbe chemizmu podzemných vôd.

Rozpustené a koloidné (suspendované) látky obsiahnuté v zrážkových vodách pochádzajú všeobecne zo štyroch základných zdrojov: 1. z rozpúšťania vzdušných plynov prírodného pôvodu (ide hlavne o rozpúšťanie CO_2 v zrážkovej vode), 2. z aerosolu morského pôvodu, 3. z terigénneho prachu, 4. z produktov antropogénnej činnosti. Táto variabilita zdrojov sa odráža vo veľkej premenlivosti chemického zloženia zrážkových vôd v priestore a čase.

V našich geograficko-klimatických podmienkach sú rozdiely v chemizme zrážok podmienené v zásade nasledujúcimi faktormi (B. MOLDAN 1980):

— pôvodom vzdušných más (hmôt),
— synoptickou situáciou,
— množstvom zrážok,
— zdrojmi znečisťovania ovzdušia.

Pri hodnotení chemizmu snehových roztokov, získaných pomocou vyššie popísanej metodiky, musíme zobrať do úvahy aj skutočnosť, že chemizmus zahrňuje i rozpustný podiel zložiek pôvodom z atmosferickej depozície v období pred odberom vzorky. Toto obdobie depozície „polygenetického prachu" však nebolo pri odbere vzoriek vždy rovnaké, výsledkom čoho je určitá „sekundárna heterogenita" vzorkového materiálu. Preto získané výsledky, ktoré majú veľký význam pre hydrogeochémiu, musia byť citlivo posudzované z hľadiska hodnotenia čistoty ovzdušia. Ako však ukážeme ďalej, výsledkom snahy odobrať vzorky snehov na jednotlivých lokalitách za približne rovnakých podmienok (v rovnakom časovom období, vylúčenie období s anomálnym vývinom snehovej pokrývky na území Slovenska) bolo, že pri celkovom hodnotení kvality

snehov sa zistili i niektoré špecifické črty chemického režimu ovzdušia na území Slovenska v zimnom období.

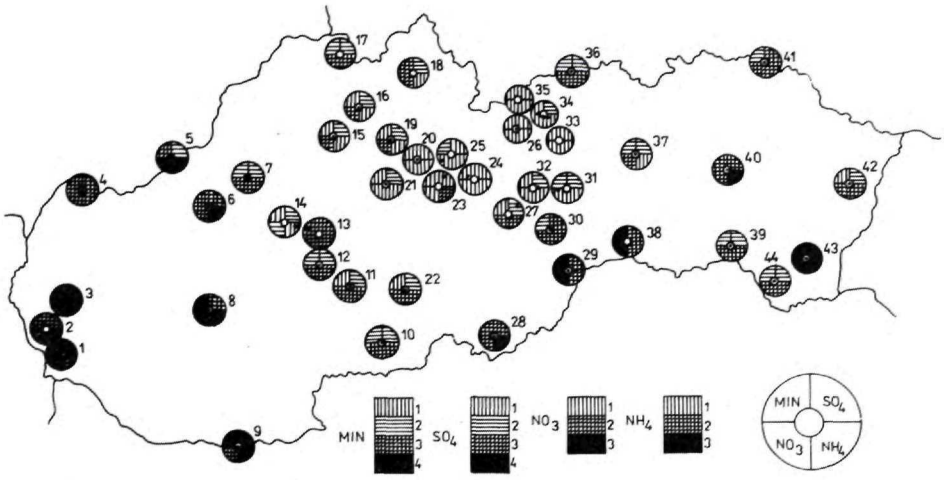
Celková mineralizácia, makrochemizmus a acidita snehov

Priemerné chemické zloženie snehovej pokrývky na území Slovenska, zistené na základe výsledkov 10-ročného pozorovacieho obdobia (1976—1985) na 44 lokalitách, uvádzame v tabuľke 1.

Celková mineralizácia snehov na území Slovenska sa za uvedené obdobie pohybovala v rozmedzí 3,70—162,76 mg.l^{-1}, pričom prevažná časť vzoriek (68 %) mala mineralizáciu v rozmedzí 10—30 mg.l^{-1}. Pomerne často (16 %) sa vyskytovala najnižšia mineralizácia (pod 10 mg.l^{-1}). Mineralizáciu 30 až 50 mg.l^{-1} malo 11 % vzoriek a celkovú mineralizáciu nad 50 mg.l^{-1} vykazovalo iba 5 % odobratých vzoriek snehov.

Distribúcia hodnôt celkovej mineralizácie na území Slovenska, vyjadrená na základe priemerných hodnôt mineralizácie snehov z jednotlivých lokalít, je uvedená na obr. 2. Je zjavné, že najnižšie priemerné hodnoty celkovej mineralizácie sa viažu na horské oblasti (napr. lokality Skalnaté pleso — 10,25 mg.l^{-1}, Ľupčianska dolina — 12,12 mg.l^{-1}, Čertovica — 12,87 mg.l^{-1}, Chopok-Srdiečko — 13,02 mg.l^{-1}, Lomnický štít — 13,04 mg.l^{-1}, Vrátna dolina — 13,88 mg.l^{-1}), kde bola zistená i najnižšia celková mineralizácia 3,70 mg.l^{-1} na lokalite Čertovica v Nízkych Tatrách. Najvyššie priemerné hodnoty celkovej mineralizácie sa naopak viažu na oblasti nížin (napr. lokalita Vojany — 39,12 mg.l^{-1}, Bratislava-Slovnaft — 38,57 mg.l^{-1}, Patince — 35,04 mg.l^{-1}, Skalica — 28,88 mg.l^{-1}), resp. na niektoré stredohorské a kotlinové lokality (Pezinská Baba — 45,15 mg.l^{-1}, Zádielska dolina — 39,07 mg.l^{-1}, Plešivec — 36,16 mg.l^{-1}, Nitra-Zobor — 30,98 mg.l^{-1}, Trenčianske Jastrabie — 28,98 mg.l^{-1}, Handlová-Nová Lehota — 27,97 mg.l^{-1}, Lokca — 27,14 mg.l^{-1}). V oboch prípadoch ide o prejav výrazného vplyvu osídlenia, priemyslu a poľnohospodárstva na kvalitu ovzdušia aj zrážkových vôd v blízkosti uvedených lokalít, čo sa výrazne negatívne prejavuje hlavne v okolí veľkých priemyselných centier (bratislavská aglomerácia, horné Ponitrie, Vojany, atď.). Najvyššia celková mineralizácia bola zistená v snehu na lokalite Pezinská Baba (162,76 mg.l^{-1}), ktorá však predstavuje ojedinelý extrém, pretože druhá najvyššia mineralizácia (106,17 mg.l^{-1}) sa zistila na lokalite Zádielska dolina. Obe lokality sa zároveň vyznačujú vysokou variabilitou hodnôt celkovej mineralizácie (variačný koeficient 98,5 % — Pezinská Baba, resp. 79,2 % — Zádielská dolina). K lokalitám s vysokou variabilitou hodnôt celkovej mineralizácie patria tiež (v zátvorke variačný koeficient v %): Chopok-Jasná (97,7), Lomnický štít (91,9), Skalica (88,5), Nitra-Zobor (88,0), Trenčianske Jastrabie (79,9) a Štrbské pleso (68,7). Naopak, pomerne nízka variabilita týchto hodnôt sa zistila v prípade lokalít Chopok-Srdiečko (28,5), Remetské Hámre (28,6), Horný Tisovník (30,1), Vrátna dolina (30,1) a Martinské hole (31,2).

Celková mineralizácia snehov je v našich geograficko-klimatických podmienkach výrazne závislá od nadmorskej výšky lokality, čo dokumentuje obr. 3.



Obr. 2 Distribúcia priemerných hodnôt celkovej mineralizácie a koncentrácie síranov, dusičnanov a amónia v snehoch na území Slovenska

Vysvetlivky:

T.D.S.	1	< 16,0	SO_4	1	< 4,0
(mg . l^{-1})	2	16,0—23,0	(mg . l^{-1})	2	4,0—7,0
	3	23,1—30,0		3	7,1—10,0
	4	> 30		4	> 10
NO_3	1	< 2,0	NH_4	1	< 0,70
(mg . l^{-1})	2	2,0—4,0	(mg . l^{-1})	2	0,70—1,40
	3	> 4,0		3	> 1,40

Uvedená zákonitosť však pravdepodobne súvisí s rozmiestnením zdrojov znečisťovania hlavne v nižšie položených oblastiach a s charakterom rozptylu vzdušných hmôt v zimnom období. Nižšie situované lokality, umiestnené spravidla v blízkosti väčších zdrojov znečisťovania, sú viac-menej výrazne antropogénne ovplyvnené, hlavne väčším podielom zložiek pochádzajúcich zo suchej depozície. Smerom do vyšších polôh sa prašné znečistenie postupne rozptyľuje a celková mineralizácia snehov klesá. Uvedený predpoklad potvrdzuje obr. 4, na ktorom je znázornená závislosť obsahu zjavne terigénnych, resp. antropogénnych zložiek (Ca, NH_4, Al, Fe) od nadmorskej výšky lokality. Je vidieť, že k relatívne „čistým" z tohto hľadiska patria hlavne oblasti s nadmorskými výškami nad 800 m.

Dôležité poznatky však poskytuje analýza chemizmu snehových roztokov. Ukazuje sa totiž, že i v prípade lokalít s najnižšími mineralizáciami (horské, relatívne čisté oblasti) v celkovom chemizme snehov dominujú zložky odrážajúce antropogénne vplyvy. Práve v tomto prostredí, kde už nie je k dispozícii dostatok neutralizujúcich zložiek (prachov a úletov), dochádza v dôsledku rozpúšťania a následnej hydratácie SO_2 a NO_x antropogénneho pôvodu k acidifikácii zrážok, ktoré spôsobujú najväčšie ekologické škody.

Tabuľka 1 Priemerné chemické zloženie snehovej pokrývky na území Slovenska za obdobie r. 1976—1985

Lok. č. (n)	p	pH	M	SiO_2	Na	K	NH_4	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	Sr	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Pb
			$mg.l^{-1}$										$\mu g.l^{-1}$						
Bratislava-Slovnaft																			
1 (6)	$\bar{x}$	5,79	38,57	1,02	1,18	0,29	1,38	0,94	4,95	6,47	5,14	11,14	27	35	652	720[2)]	85	7	17
	S	0,92	16,54	0,29	0,93	0,06	0,42	0,58	2,73	6,01	2,04	3,98	18	32	717	777	63	3	13
	Min.	4,40	15,37	0,60	0,23	0,24	0,62	0,30	1,10	1,30	1,90	3,70	12	7	73	110	33	4	5
	Max.	6,70	60,55	1,35	2,49	0,40	1,80	2,00	8,30	17,37	7,30	15,12	60	97	2050	2200	200	12	34
Bratislava-Železná studienka																			
2 (10)	$\bar{x}$	4,48	24,89	0,96[4)]	0,38	0,27	2,07	0,25	2,73	3,81	4,12	7,97	19	21	205	320[2)]	82	4	25
	S	0,43	9,06	0,39	0,21	0,13	0,97	0,10	1,70	2,14	1,19	4,35	12	22	112	277	98	2	18
	Min.	3,90	11,80	0,50	0,06	0,08	1,24	0,12	0,50	0,45	2,02	2,25	6	4	40	44	24	2	6
	Max.	5,15	44,65	1,70	0,76	0,54	4,50	0,41	5,25	6,70	5,75	16,46	45	79	360	800	350	10	65
Pezinská Baba																			
3 (10)	$\bar{x}$	4,61	45,15	1,07[4)]	0,70	0,47	4,74	0,35	3,76	3,79	7,87	19,18	25	23	217	551[2)]	114	5	35
	S	0,44	44,47	0,60	0,50	0,45	6,70	0,32	3,94	2,08	8,41	22,07	24	20	163	489	145	4	27
	Min.	3,90	16,70	0,45	0,15	0,14	0,54	0,11	0,30	0,80	2,30	3,70	2	4	15	60	23	2	7
	Max.	5,15	162,76	2,20	1,59	1,62	23,20	1,20	13,40	8,30	30,60	78,63	80	77	490	1400	510	15	75
Skalica pri Zlatnickom potoku																			
4 (10)	$\bar{x}$	5,03	28,88	0,90[4)]	0,33	0,19	1,04	0,54	4,01	3,24	3,00	7,22	31	16	340	387[2)]	52	7	35
	S	1,19	25,56	0,39	0,30	0,09	0,32	0,90	5,67	2,05	1,02	3,01	23	6	422	500	29	8	52
	Min.	3,95	14,48	0,50	0,16	0,11	0,35	0,14	1,05	1,15	1,10	4,12	4	8	66	66	18	0	4
	Max.	7,75	99,22	1,60	1,15	0,38	1,40	3,08	19,85	8,15	4,50	13,20	70	27	1500	1500	110	23	160
Starý Hrozenkov																			
5 (10)	$\bar{x}$	4,53	23,96	0,93	0,93	0,23	1,45	0,39	2,23	3,97	4,64	6,47	25	18	205	729[2)]	97	43	22
	S	0,58	9,49	0,25	0,77	0,10	0,82	0,37	1,72	1,73	0,98	2,76	18	4	111	819	110	25	11
	Min.	4,15	15,29	0,50	0,25	0,11	0,66	0,10	0,80	1,30	3,40	4,12	3	12	12	46	29	0	10
	Max.	6,16	43,20	1,20	2,40	0,44	3,42	1,30	5,50	6,74	6,70	12,76	65	25	340	2500	380	70	35

Lok. č. (n)	p	pH	M	SiO_2	Na	K	NH_4	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	Sr	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Pb
			$mg.l^{-1}$										$\mu g.l^{-1}$						
Trenčianske Jastrabie																			
6 (10)	x̄	4,95	28,98	0,75	0,67	1,16	1,45	0,62	3,15	4,44	3,94	7,62	24	68	223	252[2)]	57	33	18
	S	0,97	23,14	0,30	1,06	2,93	1,07	0,66	3,66	5,27	2,05	5,54	18	149	165	215	57	19	11
	Min.	4,00	10,97	0,40	0,14	0,10	0,42	0,16	0,92	0,60	1,25	2,67	4	5	38	82	10	0	2
	Max.	7,07	72,09	1,25	3,65	9,50	3,72	2,20	13,00	18,31	8,00	20,94	55	490	470	700	210	70	40
Valaská Belá-Homôlka																			
7 (10)	x̄	4,50	16,35	0,93	0,31	0,26	1,18	0,18	1,39	2,39	2,87	5,15	35	10	143	233	33	64	13
	S	0,43	6,98	0,48	0,19	0,22	1,04	0,09	1,27	1,48	1,74	3,15	59	7	79	164	20	12	79
	Min.	4,10	9,66	0,40	0,09	0,08	0,36	0,08	0,48	0,60	0,50	2,60	2	0	30	37	0	0	7
	Max.	5,25	30,24	1,85	0,70	0,81	3,15	0,33	4,70	5,35	5,70	12,19	200	24	280	460	65	390	19
Nitra-Zobor																			
8 (10)	x̄	4,86	30,98	0,88	0,32	0,42	1,54	0,29	4,16	2,85	4,21	9,13	16	42	157	354	134	49	3
	S	1,29	27,26	0,32	0,23	0,36	1,16	0,10	6,34	1,30	2,55	6,85	14	52	99	257	123	35	34
	Min.	3,90	9,00	0,45	0,07	0,06	0,22	0,17	0,54	1,00	0,70	2,25	6	2	16	80	17	2	5
	Max.	8,25	103,60	1,35	0,70	1,20	3,80	0,46	22,00	4,61	8,80	20,55	55	160	350	770	400	30	110
Patince																			
9 (9)	x̄	5,67	35,04	1,24	0,45	0,42	1,70	0,47	4,50	4,56	3,42	11,07	36	17	485	1473[1)]	51	4	16
	S	1,06	18,73	1,32	0,40	0,38	0,87	0,38	3,21	3,49	2,32	7,68	23	16	569	1372	62	3	14
	Min.	4,00	11,20	0,45	0,15	0,12	0,53	0,19	1,25	0,55	0,92	3,75	12	5	110	68	13	2	5
	Max.	7,20	64,99	4,70	1,44	1,30	3,44	1,37	10,60	12,41	6,95	28,10	75	58	1830	3700	210	12	44
Opavská hora																			
10 (8)	x̄	4,32	17,07	0,88	0,43	0,17	0,90	0,21	0,95	3,20	3,26	5,52	14	15	203	439[2)]	46	5	16
	S	0,22	7,41	0,48	0,35	0,09	0,66	0,17	0,85	3,41	1,71	2,93	11	16	192	505	59	3	10
	Min.	4,00	8,88	0,30	0,10	0,07	0,30	0,05	0,35	0,85	1,40	2,06	3	6	35	85	13	2	5
	Max.	4,70	29,05	1,50	1,00	0,30	2,10	0,52	2,80	8,70	5,70	10,84	30	54	550	1500	190	10	33

Lok. č. (n)	p	pH	M	SiO_2	Na	K	NH_4	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	Sr	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Pb
			mg.l^{-1}										µg.l^{-1}						
Banský Studenec																			
11 (10)	x̄	4,34	14,82	0,67	0,32	0,31	0,82	0,15	1,10	2,64	2,18	4,80	18	14	121	254[2)]	344	9	54
	S	0,30	6,57	0,43	0,21	0,38	0,62	0,07	1,01	1,63	1,22	2,97	17	11	64	180	883	18	110
	Min.	3,90	7,18	0,20	0,08	0,00	0,12	0,07	0,35	0,55	0,40	1,03	3	2	30	38	14	1	7
	Max.	4,90	24,23	1,50	0,70	1,05	2,05	0,26	3,60	4,96	3,85	11,50	65	36	210	530	2850	60	320
Lehôtka p. Brehy																			
12 (9)	x̄	4,68	21,38	0,93	0,61	0,23	1,01	0,23	1,43	2,99	3,15	6,93	14	27	471	1375[2)]	64	8	15
	S	0,43	8,15	0,37	0,35	0,14	0,37	0,08	0,87	2,25	2,28	4,02	9	23	320	1025	42	5	10
	Min.	4,05	9,41	0,40	0,24	0,07	0,30	0,13	0,65	0,95	1,23	2,25	4	3	54	110	24	2	5
	Max.	5,30	35,42	1,36	1,10	0,50	1,58	0,31	3,50	7,44	8,50	16,05	30	74	950	2740	170	15	34
Handlová-Nová Lehota																			
13 (8)	x̄	4,64	25,27	1,50	0,42	0,35	0,95	0,57	2,18	3,94	3,74	9,03	25	28	862	1250[1)]	43	4	19
	S	0,38	17,25	1,38	0,32	0,44	0,54	0,63	1,31	3,52	1,23	8,18	19	20	1256	1320	21	3	18
	Min.	4,10	11,07	0,30	0,10	0,00	0,54	0,12	0,55	0,70	1,55	3,09	3	10	71	24	27	2	4
	Max.	5,30	54,12	4,50	1,15	1,40	2,14	2,05	4,20	12,02	7,25	28,60	60	73	3500	3690	85	10	50
Podhradie pri Novákoch																			
14 (10)	x̄	4,39	15,50	0,76	0,28	0,14	0,62	0,22	1,60	2,86	2,67	5,05	21	19	159	362[2)]	52	7	10
	S	0,52	5,54	0,20	0,23	0,09	0,35	0,15	1,25	1,57	0,97	2,56	18	11	84	306	60	11	7
	Min.	4,00	8,49	0,40	0,09	0,06	0,04	0,10	0,56	0,85	1,18	2,65	4	6	73	15	10	0	3
	Max.	5,80	23,25	1,00	0,70	0,36	1,20	0,59	4,35	5,74	4,20	10,29	50	37	310	950	200	39	25
Martin-Priekopa-Martinské hole																			
15 (9)	x̄	4,58	15,27	0,96	0,19	0,19	0,61	0,23	1,08	2,72	2,42	4,99	14	35	169	500[2)]	35	4	12
	S	0,62	4,76	0,32	0,19	0,16	0,34	0,09	0,57	1,86	1,69	2,54	14	21	119	314	27	4	7
	Min.	3,80	8,96	0,60	0,06	0,07	0,15	0,09	0,55	0,89	0,00	1,85	0	10	70	180	7	0	4
	Max.	5,65	22,73	1,70	0,69	0,52	1,32	0,42	2,25	6,21	5,75	9,05	50	85	460	990	92	5	24

Lok. č. (n)	p	pH	M	SiO_2	Na	K	NH_4	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	Sr	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Pb
			$mg.l^{-1}$										$\mu g.l^{-1}$						
Vrátna dolina																			
16 (10)	$\bar{x}$	4,27	13,88	0,56	0,28	0,23	0,66	0,16	0,97	2,41	2,41	4,46	28	51	161	277[2)]	54	4	16
	S	0,25	4,18	0,38	0,17	0,16	0,22	0,05	0,91	1,39	1,80	1,98	40	43	109	204	44	2	10
	Min.	3,90	5,97	0,15	0,10	0,00	0,38	0,07	0,35	0,66	0,00	1,03	0	3	7	45	14	0	5
	Max.	4,70	21,40	1,35	0,60	0,56	0,98	0,22	3,50	5,10	5,60	7,16	120	140	350	630	160	6	31
Oščadnica																			
17 (10)	$\bar{x}$	4,26	16,70	0,79	0,28	0,26	0,88	0,21	1,31	3,27	3,21	5,11	16	21	199	370[2)]	54	5	24
	S	0,21	6,06	0,46	0,09	0,13	0,40	0,11	1,17	1,95	1,75	1,99	15	12	115	239	37	2	14
	Min.	3,95	9,23	0,35	0,16	0,12	0,34	0,06	0,25	1,40	1,55	2,70	3	2	59	110	22	2	12
	Max.	4,50	28,38	1,94	0,45	0,55	1,56	0,36	4,25	7,58	6,90	8,46	50	42	430	710	110	7	53
Lokca																			
18 (9)	$\bar{x}$	5,01	27,14	1,46	0,39	0,28	0,70	0,86	3,84	4,40	3,30	6,35	90	1006	290	1353[2)]	115	3	14
	S	0,99	16,43	0,87	0,33	0,13	0,45	0,99	5,02	3,31	2,27	3,70	166	1889	257	2152	213	1	9
	Min.	4,20	11,51	0,55	0,12	0,11	0,32	0,18	0,70	1,15	1,23	1,65	12	71	42	51	22	0	3
	Max.	7,10	64,69	2,90	1,11	0,50	1,66	3,02	16,40	11,08	8,40	12,10	530	6000	800	6100	680	4	34
Ružomberok																			
19 (10)	$\bar{x}$	4,42	15,87	0,83	0,26	0,16	0,67	0,20	1,48	3,24	2,39	4,83	41	61	212	575[2)]	64	4	16
	S	0,32	6,37	0,36	0,14	0,07	0,47	0,10	1,34	1,90	2,08	2,04	55	54	141	498	51	1	10
	Min.	3,90	5,74	0,35	0,13	0,08	0,26	0,09	0,74	0,89	0,00	1,57	8	4	40	110	14	2	8
	Max.	5,05	29,66	1,45	0,59	0,30	1,85	0,44	5,15	6,74	5,95	8,37	150	180	460	1300	190	5	38
Ľupčianska dolina																			
20 (10)	$\bar{x}$	4,42	12,12	0,52[4)]	0,25	0,18	0,60	0,15	1,00	2,55	1,73	3,60	17	81	125	163[2)]	68	3	11
	S	0,34	5,05	0,28	0,19	0,10	0,39	0,07	0,86	1,63	1,54	1,81	12	59	112	218	111	1	6
	Min.	3,90	6,84	0,20	0,05	0,06	0,15	0,06	0,38	0,95	0,00	1,70	3	4	32	46	13	2	4
	Max.	5,05	22,14	1,10	0,77	0,40	1,43	0,31	3,30	6,22	5,75	7,18	35	160	410	650	380	6	20

Lok. č. (n)	p	pH	M	SiO_2	Na	K	NH_4	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	Sr	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Pb
			$mg.l^{-1}$										$\mu g.l^{-1}$						
Donovaly																			
21 (10)	$\bar{x}$	4,36	15,29	0.60	0.41	0,19	0,63	0,49	2,15	2,82	1,93	4,19	23	94	251	122[2)]	94	6	14
	S	0,41	8,94	0,39	0,32	0,19	0,25	1,10	3,93	2,36	1,14	1,50	27	220	436	165	99	7	4
	Min.	3,90	8,81	0,20	0,08	0,07	0,16	0,07	0,29	0,85	0,00	2,41	2	7	33	23	22	1	9
	Max.	5,15	37,71	1,45	1,05	0,70	0,93	3,60	13,00	9,12	4,15	7,30	90	720	1450	490	310	15	20
Horný Tisovník																			
22 (10)	$\bar{x}$	4,50	15,07	0,79[4)]	0,26	0,28	0,98	0,23	1,06	2,34	2,68	4,79	35	33	183	296[2)]	39	3	17
	S	0,63	4,53	0,48	0,17	0,29	0,56	0,11	0,67	1,25	1,25	2,32	60	69	165	199	46	2	11
	Min.	4,00	9,14	0,30	0,11	0,00	0,30	0,30	0,30	0,65	1,15	1,03	3	3	31	22	8	0	8
	Max.	6,20	20,78	1,90	0,70	1,00	1,85	1,85	2,55	4,14	4,60	8,25	200	23	550	590	160	70	35
Chopok-Srdiečko																			
23 (9)	$\bar{x}$	4,76	13,02	0,57	0,38	0,22	0,88	0,15	0,94	2,54	1,91	3,89	20	43	197	155[2)]	52	2	12
	S	0,86	3,71	0,56	0,20	0,09	0,30	0,08	0,67	0,90	0,90	1,04	20	29	266	91	34	2	9
	Min.	3,95	8,59	0,18	0,20	0,11	0,43	0,08	0,40	1,10	0,60	2,37	5	9	40	26	18	0	2
	Max.	6,45	18,35	1,95	0,74	0,42	1,47	0,34	2,30	3,55	3,20	5,41	55	94	880	300	110	5	25
Čertovica																			
24 (10)	$\bar{x}$	4,69	12,87	0,42[2)]	0,50	0,18	0,62	0,17	1,06	2,79	1,59	3,74	23	17	138	197[2)]	49	3	16
	S	0,99	6,39	0,29	0,53	0,11	0,40	0,09	0,93	1,90	0,95	1,64	29	13	119	203	45	1	10
	Min.	4,00	3,90	0,11	0,09	0,05	0,08	0,04	0,24	0,55	0,15	1,05	3	4	19	10	6	2	4
	Max.	7,40	23,90	0,98	1,70	0,44	1,32	0,32	3,30	5,67	3,75	5,76	100	38	340	600	150	5	30
Chopok-Jasná																			
25 (10)	$\bar{x}$	4,51	16,69	0,71[2)]	0,28	0,32	0,56	0,58	2,74	2,37	1,52	3,59	106	951	109	1452[2)]	43	3	13
	S	0,59	16,15	0,54	0,35	0,62	0,34	1,28	6,15	1,48	0,67	1,73	242	2695	119	3594	57	1	7
	Min.	4,00	6,07	0,20	0,02	0,03	0,26	0,06	0,26	0,44	0,83	1,30	3	12	25	30	6	2	5
	Max.	6,05	60,05	2,05	1,25	2,10	1,17	4,20	20,00	4,13	3,15	7,51	780	8620	420	9600	200	5	25

Lok. č. (n)	p	pH	M	SiO_2	Na	K	NH_4	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	Sr	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Pb
			$mg.l^{-1}$										$\mu g.l^{-1}$						
Štrbské pleso																			
26 (9)	x̄	4,83	14,70	0,59	0,15	0,11	0,54	0,36	1,71	2,61	1,58	3,45	10	13	74	103	58	7	7
	S	1,66	10,10	0,42	0,09	0,06	0,39	0,53	2,67	1,68	1,01	1,28	9	7	49	96	96	11	2
	Min.	3,70	7,16	0,20	0,03	0,01	0,21	0,02	0,23	0,65	0,15	0,72	0	4	19	18	6	1	5
	Max.	9,18	39,45	1,45	0,33	0,20	1,44	1,30	8,50	5,39	2,75	4,84	25	28	150	300	310	35	10
Muránska planina																			
27 (10)	x̄	4,94	15,09	0,52[4)]	0,14	0,12	0,75	0,65	1,23	2,13	2,38	4,88	15	10	129	124[2)]	34	3	12
	S	0,91	5,71	0,24	0,08	0,06	0,43	0,44	0,89	1,33	1,46	2,64	13	5	72	62	32	1	13
	Min.	4,10	9,49	0,30	0,02	0,04	0,36	0,24	0,50	0,45	1,25	1,35	1	5	48	40	8	2	1
	Max.	6,60	27,32	1,10	0,27	0,25	1,83	1,55	3,40	3,90	5,08	10,84	30	16	250	200	120	5	44
Hajnáčka																			
28 (9)	x̄	4,85	25,22	1,28	0,65	0,17	1,77	0,58	1,80	3,13	3,14	8,71	21	26	787	905[2)]	85	6	23
	S	0,74	12,45	0,87	1,12	0,08	1,32	0,25	0,98	2,75	1,75	4,05	15	21	730	790	87	3	17
	Min.	4,20	11,58	0,50	0,09	0,07	0,56	0,22	0,63	0,85	1,00	4,21	2	10	56	56	10	3	5
	Max.	6,15	48,04	3,25	3,60	0,28	4,60	0,95	3,70	9,54	6,40	15,50	50	80	2250	2250	250	12	48
Plešivec																			
29 (10)	x̄	5,32	36,16	0,94[4)]	0,37	0,24	1,38	0,63	5,89	3,52	4,22	9,88	48	34	373	427[2)]	44	7	18
	S	1,44	23,17	0,51	0,24	0,17	1,13	0,46	4,64	2,91	2,79	5,92	82	26	427	508	47	5	19
	Min.	4,00	9,79	0,40	0,09	0,06	0,17	0,16	0,80	0,40	1,40	2,45	4	7	55	55	10	2	4
	Max.	8,66	87,68	1,70	0,85	0,62	3,84	1,55	15,40	9,11	10,75	23,07	280	90	1300	1300	150	20	56
Rochovce																			
30 (9)	x̄	5,01	21,59	0,55	0,13	0,12	0,85	2,01	0,90	2,56	2,79	8,78	16	24	445	253	30	8	15
	S	1,04	8,42	0,24	0,07	0,07	0,60	1,59	0,40	1,95	1,93	5,35	13	14	274	154	24	15	9
	Min.	3,80	11,72	0,30	0,02	0,03	0,28	0,28	0,36	0,45	0,70	2,26	0	6	120	26	5	2	3
	Max.	6,80	33,62	1,00	0,28	0,20	2,32	3,40	1,60	5,39	6,60	17,55	40	45	880	530	90	48	31

Lok. č. (n)	p	pH	M	SiO_2	Na	K	NH_4	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	Sr	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Pb
			mg.l^{-1}										µg.l^{-1}						
Dedinky																			
31 (10)	x̄	5,23	16,63	0,67[4)]	0,27	0,11	0,69	0,56	1,56	2,13	1,84	5,65	17	19	263	264[2)]	41	4	13
	S	1,28	7,26	0,38	0,26	0,06	0,61	0,44	0,87	1,08	1,52	3,49	21	10	319	384	45	2	7
	Min.	4,10	6,55	0,20	0,01	0,01	0,12	0,06	0,46	0,60	0,00	1,00	0	3	60	25	5	0	3
	Max.	7,90	31,48	1,45	0,85	0,22	2,04	1,30	2,95	3,55	5,00	12,65	65	31	1100	1090	160	7	22
Pustė pole																			
32 (9)	x̄	4,84	15,17	0,69	0,19	0,15	0,43	0,38	1,52	2,39	1,58	4,29	14	26	209	319[2)]	28	3	9
	S	0,71	9,63	0,36	0,16	0,12	0,25	0,33	1,46	1,99	1,51	2,20	11	42	162	492	21	1	5
	Min.	4,10	5,19	0,20	0,02	0,03	0,24	0,07	0,25	0,45	0,00	0,85	4	4	43	30	7	1	3
	Max.	6,10	35,47	1,45	0,43	0,40	1,06	1,10	4,20	6,21	5,20	7,54	95	140	580	1400	65	4	19
Tatranská Lomnica																			
33 (10)	x̄	4,57	14,69	0,57	0,31	0,20	0,59	0,25	1,47	2,93	1,55	4,36	15	56	178	140	96	5	15
	S	0,77	7,17	0,34	0,29	0,25	0,37	0,34	1,67	2,17	1,14	2,29	11	91	277	80	109	5	13
	Min.	3,90	4,86	0,20	0,03	0,01	0,16	0,06	0,30	0,55	0,00	1,80	4	3	26	40	10	2	3
	Max.	6,45	24,56	1,20	0,90	0,86	1,39	1,20	4,90	6,74	3,40	9,20	40	310	950	260	290	18	42
Skalnaté pleso																			
24 (10)	x̄	4,44	10,25	0,37	0,32	0,09	0,40	0,14	0,81	2,51	1,32	3,15	10	10	114	170	70	7	6
	S	0,45	4,32	0,24	0,41	0,03	0,35	0,08	0,95	1,96	1,03	0,96	10	11	112	230	82	13	4
	Min.	3,90	5,55	0,18	0,03	0,05	0,00	0,03	0,25	0,50	0,00	1,85	0	2	25	30	7	1	3
	Max.	5,40	18,34	1,00	1,28	0,15	1,24	0,28	3,40	5,80	3,15	4,86	30	39	350	640	250	44	13
Lomnický štít																			
35 (9)	x̄	4,70	13,04	0,52	0,52	0,10	0,37	0,36	1,56	4,80	0,68	2,45	14	6	92	110	76	3	9
	S	0,78	11,98	0,34	1,01	0,09	0,31	0,71	2,19	7,85	0,73	1,52	16	5	90	130	103	2	5
	Min.	3,80	4,96	0,11	0,03	0,02	0,07	0,04	0,20	0,40	0,00	0,41	3	2	16	30	3	2	4
	Max.	6,45	43,72	1,10	3,20	0,26	1,06	2,25	7,20	25,09	0,29	4,94	45	20	250	350	320	6	18

Lok. č. (n)	p	pH	M	SiO_2	Na	K	NH_4	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	Sr	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Pb
			mg.l^{-1}										µg.l^{-1}						
Červený kláštor																			
36 (10)	x̄	4,55	18,15	1,47[4]	0,39	0,27	0,86	0,26	1,93	2,97	2,80	4,98	22	27	200	185[2]	65	3	19
	S	0,59	7,84	1,47	0,50	0,25	0,66	0,21	1,80	1,55	1,86	3,51	22	19	176	143	101	2	15
	Min.	4,00	9,21	0,30	0,07	0,08	0,00	0,08	0,43	1,10	0,00	1,65	3	2	30	30	9	0	0
	Max.	5,55	32,36	4,30	1,60	0,96	2,48	0,67	6,20	5,80	7,10	14,30	70	65	520	400	350	7	50
Branisko																			
37 (10)	x̄	4,74	17,10	0,67[4]	0,57	0,57	0,66	0,50	1,85	3,21	2,12	4,56	16	18	313	254[2]	93	18	22
	S	0,65	5,87	0,35	0,75	0,95	0,45	0,50	1,59	1,77	0,72	1,47	15	12	237	311	64	19	16
	Min.	4,10	7,62	0,25	0,02	0,02	0,26	0,04	0,35	0,90	0,40	2,95	4	4	30	0	24	4	6
	Max.	6,10	24,25	1,25	2,10	2,82	1,53	1,74	5,80	5,80	3,15	7,20	40	40	750	900	200	69	50
Zádielska dolina																			
38 (9)	x̄	6,51	39,07	1,71	0,24	0,17	1,25	0,32	6,82	3,03	4,86	8,48	19	82	484	644[2]	83	12	56
	S	2,06	30,95	1,26	0,20	0,11	1,01	0,24	7,52	1,99	3,38	5,54	19	133	470	745	87	15	25
	Min.	4,05	12,81	0,40	0,03	0,03	0,49	0,08	0,60	0,85	1,30	2,78	3	5	28	18	15	3	5
	Max.	9,42	106,17	4,50	0,70	0,39	3,34	0,80	24,20	7,05	9,30	20,58	65	43	1480	2100	280	51	80
Slanec																			
39 (8)	x̄	4,62	16,61	0,73	0,23	0,12	1,04	0,26	1,54	2,89	3,31	4,87	21	24	226	369[3]	50	5	19
	S	0,63	6,69	0,48	0,20	0,07	0,56	0,10	0,83	2,12	1,97	2,90	20	21	130	242	54	3	11
	Min.	4,00	12,02	0,17	0,08	0,03	0,56	0,13	0,60	0,89	1,60	2,00	5	6	42	95	17	3	5
	Max.	6,00	29,70	1,55	0,70	0,24	1,90	0,44	3,35	7,05	6,80	11,23	70	75	380	800	180	11	41
Zlatá Baňa																			
40 (9)	x̄	4,48	23,39	1,29[3]	0,35	0,22	1,51	0,64	2,03	3,32	3,38	8,23	14	34	413	473[1]	89	17	27
	S	0,64	10,26	1,13	0,32	0,11	0,63	0,77	1,16	1,63	1,95	4,90	15	28	554	297	82	30	13
	Min.	4,00	14,79	0,60	0,13	0,09	0,78	0,14	0,84	1,00	0,20	3,81	0	12	8	180	24	3	11
	Max.	6,10	40,62	3,90	1,16	0,43	2,67	2,60	4,40	5,32	7,50	19,75	45	100	1850	980	290	110	44

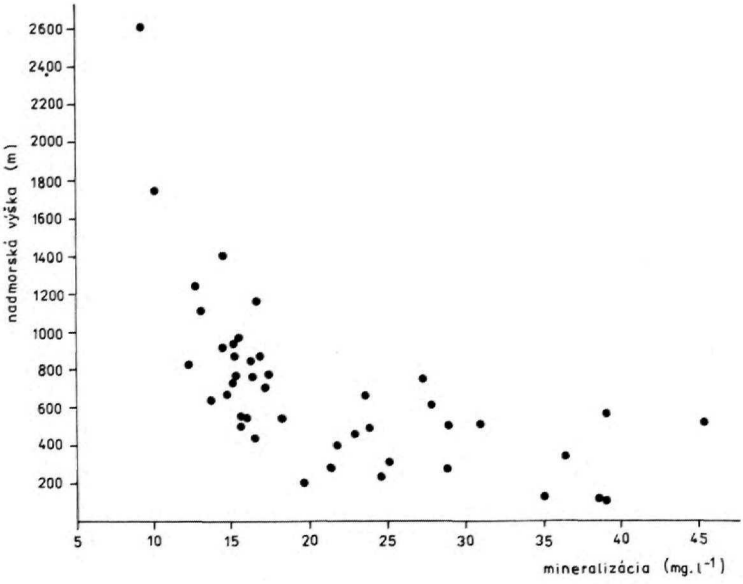
Lok. č. (n)	p	pH	M	SiO_2	Na	K	NH_4	Mg	Ca	Cl	NO_3	SO_4	Sr	Mn	Fe	Al	Zn	Cu	Pb
			$mg.l^{-1}$										$\mu g.l^{-1}$						
Dukla																			
41 (10)	$\bar{x}$	4,43	22,93	1,43[4]	0,41	0,28	1,25	0,29	1,59	3,42	3,88	7,62	21	27	517	902[2]	54	7	28
	S	0,64	11,66	1,00	0,43	0,29	0,63	0,22	1,22	2,33	1,77	4,40	16	30	779	823	32	5	26
	Min.	3,90	10,40	0,60	0,03	0,05	0,48	0,03	0,45	1,05	1,40	3,55	4	4	30	170	14	1	10
	Max.	6,10	41,98	3,10	1,35	1,03	2,42	0,60	3,95	8,30	6,80	18,41	50	90	2600	2400	100	16	90
Remetské Hámre																			
42 (10)	$\bar{x}$	4,47	15,56	0,69[4]	0,29	0,21	1,10	0,25	0,86	2,69	3,30	4,62	15	10	197	432[2]	82	5	24
	S	0,65	4,45	0,32	0,41	0,25	0,50	0,21	0,29	1,53	1,73	1,95	12	4	135	325	147	2	13
	Min.	3,90	9,79	0,30	0,07	0,10	0,37	0,09	0,40	0,80	0,00	1,34	4	5	50	68	15	2	6
	Max.	6,10	22,99	1,35	1,45	0,92	2,10	0,80	1,40	5,39	6,30	8,10	40	21	480	920	500	10	40
Vojany																			
43 (8)	$\bar{x}$	5,16	39,12	1,51[2]	1,05	0,36	1,85	0,45	4,15	4,94	6,21	14,02	36	32	690	1813[1]	80	24	27
	S	0,89	18,20	1,09	1,64	0,31	0,86	0,26	2,88	3,17	3,07	10,73	27	26	722	984	73	33	18
	Min.	4,10	22,61	0,79	0,13	0,01	0,65	0,17	1,03	1,20	1,25	4,10	6	6	70	1000	13	3	10
	Max.	6,80	70,39	3,65	5,00	0,91	3,12	0,81	10,40	9,54	9,85	27,76	90	88	2300	3720	240	90	55
Cejkov																			
44 (8)	$\bar{x}$	4,84	19,58	0,89[2]	0,29	0,23	1,32	0,23	1,90	2,95	2,89	5,86	18	36	421	393[1]	51	5	18
	S	0,71	7,68	0,41	0,20	0,16	0,95	0,13	1,40	2,12	1,32	2,13	20	38	530	332	56	4	12
	Min.	4,25	11,04	0,50	0,03	0,07	0,50	0,07	0,50	0,75	1,40	2,95	3	14	60	140	10	2	4
	Max.	6,34	33,43	1,55	0,70	0,52	3,50	0,48	4,85	6,20	4,55	9,16	65	130	1680	950	180	13	33

Vysvetlivky:

x — aritmetický priemer
s — smerodajná odchýlka

1) n = 6
2) n = 7
3) n = 8
4) n = 9

min. — minimálna hodnota
max. — maximálna hodnota
M — celková mineralizácia



Obr. 3 Závislosť celkovej mineralizácie snehov od nadmorskej výšky lokalít

Vychádzajúc z priemerných hodnôt, uvedených v tab. 1, môžeme pestrosť chemizmu a relatívne zastúpenie základných zložiek sumárne vyjadriť na základe valových pomerov nasledujúcou schémou:

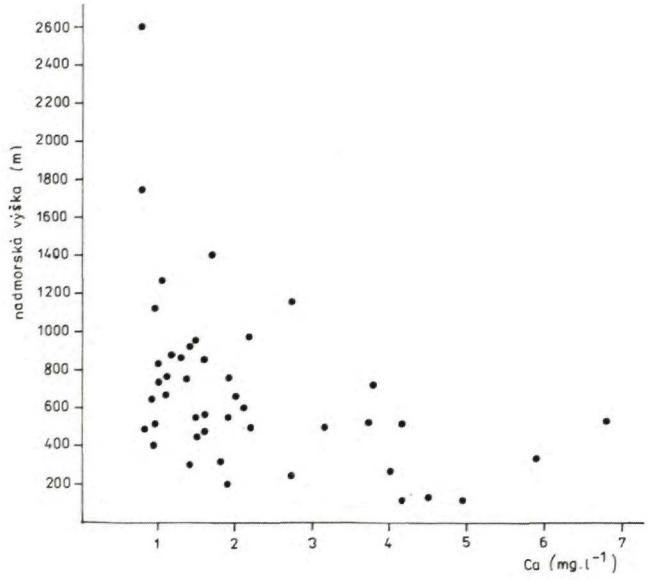
katióny:	$Ca > NH_4 > Mg > Na > K$	(č. lok. 2, 4, 6—9, 13—17, 19, 20, 26, 29, 33, 36, 38—41, 44)
	$Ca > Mg > NH_4 > Na > K$	(č. lok. 1, 18, 21, 25, 27, 31, 32, 35, 37)
	$Ca > NH_4 > Na > Mg > K$	(č. lok. 5, 11, 12, 24, 34, 43)
	$NH_4 \geqslant Ca > Na \geqslant Mg > K$	(č. lok. 3, 10, 22, 23, 28, 42)
	$Mg > NH_4 > Ca > Na > K$	(č. lok. 30)
anióny:	$SO_4 > Cl > NO_3$	(č. lok. 1, 2, 4—17, 22, 27—32, 36, 38—44)
	$SO_4 = Cl > NO_3$	(č. lok. 18—21, 25, 33, 37)
	$Cl > SO_4 > NO_3$	(č. lok. 24, 26, 34, 35)
	$SO_4 > NO_3 > Cl$	(č. lok. 3)

V priebehu celého pozorovacieho obdobia boli pre jednotlivé zložky zistené nasledujúce rozmedzia hodnôt (údaje okrem pH v $mg.l^{-1}$):

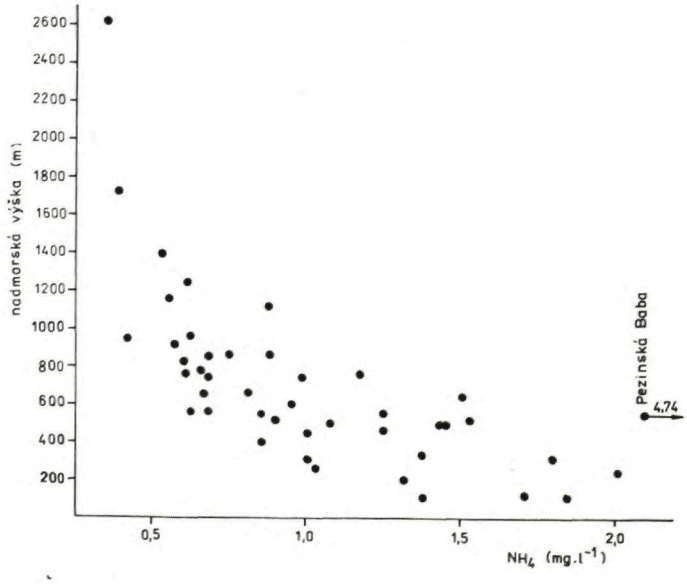
Ca	0,20—24,20	SO_4	0,41—78,63
NH_4	0,00—23,20	Cl	0,40—25,09
Mg	0,02— 4,20	NO_3	0,00—30,60
Na	0,01— 5,00	pH	3,70— 9,40
K	0,00— 9,50		

Vcelku možno konštatovať, že v katiónovej oblasti bola zistená oveľa väčšia heterogenita chemizmu ako v oblasti aniónovej, kde regionálne zistený NO_3—Cl—SO_4 charakter chemizmu snehov je iba lokálne narušaný (ako napr. na lokalite Pezinská Baba, kde sa zistili v priemere zvýšené obsahy dusičnanov).

Určitú výnimku v tomto smere predstavujú lokality z oblasti Oravy, Nízkych Tatier, Braniska a Vysokých Tatier, situované v najväčších nadmorských výškach, kde bol zistený relatívne vysoký podiel chloridov na celkovom chemizme snehov. V niektorých prípadoch (hlavne vo vyšších polohách v oblasti Vysokých Tatier) sa chloridy stávajú až dominujúcou zložkou medzi aniónmi. Väčšia heterogenita chemizmu snehov v katiónovej oblasti je výsledkom hlavne roz-

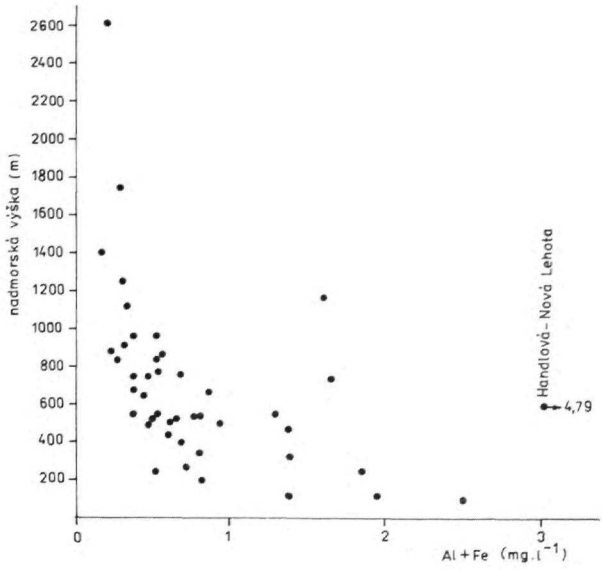


Obr. 4a



Obr. 4b

Obr. 4c



Obr. 4 Závislosť obsahu vápnika (a), amónia (b), hliníka a železa (c) od nadmorskej výšky lokalít

dielneho stupňa a charakteru znečistenia ovzdušia na jednotlivých lokalitách. V zásade však možno konštatovať, že prakticky na celom území Slovenska majú snehy Ca—NH_4 charakter a iba v niektorých horských oblastiach, hlavne v Slovenskom rudohorí, možno hovoriť o Ca—Mg charaktere chemizmu snehov.

Vzťahy medzi základnými zložkami chemizmu snehov sú vyjadrené formou korelačnej matice nasledovne (n = 417):

MIN	1,000								
Na	0,558	1,000							
K	0,340	0,374	1,000						
NH_4	0,610	0,228	0,179	1,000					
Mg	0,476	0,315	0,458	0,053	1,000				
Ca	0,733	0,377	0,443	0,174	0,726	1,000			
Cl	0,620	0,631	0,293	0,268	0,426	0,439	1,000		
NO_3	0,326	0,110	0,279	0,367	0,187	0,188	0,100	1,000	
SO_4	0,674	0,251	0,189	0,661	0,159	0,289	0,137	0,611	1,000

Zistený tesný korelačný vzťah medzi celkovou mineralizáciou MIN a zložkami Ca, NH_4, SO_4 a Cl je v súlade s ich dominantným zastúpením v chemickom zložení snehov. Relatívne vysoký stupeň tesnosti korelačného vzťahu môžeme pozorovať medzi Mg—Ca (r = 0,726), Na—Cl (r = 0,631), NH_4—SO_4 (r = 0,661) a NO_3—SO_4 (r = 0,611). Tieto vzájomné vzťahy indikujú pravdepodobný spoločný zdroj jednotlivých zložiek, v literatúre interpretovaný ako antropogénny (exhaláty oxidov SO_2 a NO_x) s výnimkou Na—Cl, ktorý je morského pôvodu. Prenos zložiek Na—Cl z morského aerosolu, resp. „morského sprayu" z oblasti oceánov a morí vzdušnými prúdmi však pravdepodobne ovplyvňuje a mení pô-

vodný pomer týchto iónov, ktorý je rovnaký ako v morskej vode (rNa/rCl = = 0,86), zrejme dotáciou Cl zo zdrojov antropogénneho pôvodu, o čom sa zmienime neskôr.

Ak považujeme hodnoty z Lomnického štítu za „pozaďové", (fónové) (s vylúčením extrému nameraného 5. 3. 1981), potom môžeme naše výsledky porovnať s „pozaďovými" hodnotami priemerného zloženia zrážkovej vody z Hrádku v Čechách (B. MOLDAN 1985), hoci tu ide o tzv. čisté zrážky, odoberané bez prašného spadu:

Zložka	„Pozaďová" oblasť		Zložka	„Pozaďová" oblasť	
	ČSR 1979—84	SSR 1976—85		ČSR 1974—84	SSR 1976—85
Na	0,09	0,19	SO_4	4,38	2,14
K	0,08	0,08	Cl	0,30	2,26
Mg	0,05	0,12	NO_3	2,47	0,48
Ca	0,45	0,85	pH	4,36	4,70
NH_4	0,95	0,29			

Poznámka: Údaje okrem pH sú uvedené v $mg.l^{-1}$

Je vidieť, že v katiónovej oblasti sú výsledky z oboch lokalít veľmi blízke (ale čo sa týka relatívneho zastúpenia s opačným vzťahom Ca—NH_4), pomerne veľké sú však rozdiely medzi aniónmi (hlavne chloridmi a dusičnanmi) a v acidite oboch lokalít. Pre porovnanie uvádzame aj priemerné zloženie zrážkovej vody z Chopku v Nízkych Tatrách (2002 m n. m.), zistené na základe kumulovaných mesačných vzoriek za roky 1977—1981 (M. CEROVSKÝ 1983):

Zložka $mg.l^{-1}$	Rok				
	1977	1978	1979	1980	1981
Na	0,31	0,29	0,32	0,27	0,31
K	0,21	0,19	0,26	0,19	0,27
NH_4	1,15	1,56	2,00	0,94	1,53
Mg	0,16	0,14	0,22	0,07	0,08
Ca	0,93	0,96	1,55	0,43	0,51
Cl	0,42	0,81	0,68	0,55	0,58
NO_3	2,43	3,14	3,50	1,95	2,17
SO_4	6,62	8,35	10,24	5,54	6,05
pH	4,47	4,18	4,35	4,19	4,33

Podobne aj tieto údaje pozorovacej stanice SHMÚ sa líšia podstatnejšie hlavne v aniónovej oblasti predovšetkým vyššími obsahmi síranov a dusičnanov a nižšími obsahmi chloridov v porovnaní s údajmi, ktoré sme zistili my.

Z uvedených rozdielov sa ako najanomálnejší javí regionálne zistený relatívne vysoký obsah chloridov v snehoch na Slovensku. Priemerné obsahy chloridov sa pohybovali na jednotlivých lokalitách v rozmedzí 2,13 (Muránska plani-

na a Dobšiná) až 6,47 mg.l^{-1} (Bratislava-Slovnaft). K lokalitám s vysokým priemerným obsahom chloridov patria tiež Vojany (4,94 mg.l^{-1}), Trenčianske Jastrabie (4,44 mg.l^{-1}) a Lokca (4,40 mg.l^{-1}). Vo vysokopoložených lokalitách Vysokých a Nízkych Tatier dosahujú koncentrácie chloridov v snehoch priemerné hodnoty 2,40—2,90 mg.l^{-1}, pričom v snehu na Lomnickom štíte bola nameraná i najvyššia a ojedinelá koncentrácia chloridov 25,09 mg.l^{-1} (po vylúčení tohto extrému priemerná koncentrácia chloridov v snehoch z nadmorskej výšky nad 2600 m za uvedené obdobie dosiahla hodnotu 2,26 mg.l^{-1}).

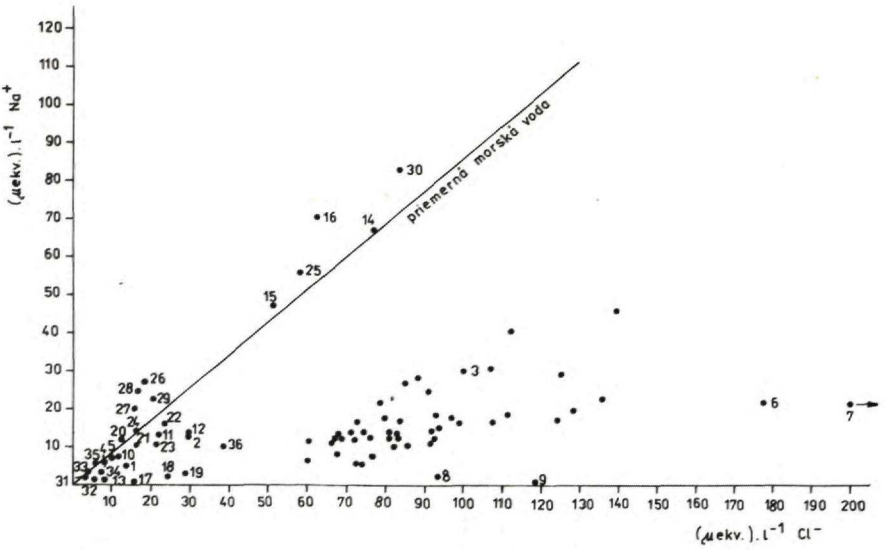
Na obr. 5 uvádzame porovnanie obsahu chloridov a sodíka v zrážkach z rôznych oblastí. Je vidieť, že chemické zloženie zrážok sa vo viacerých prípadoch (ale najvýraznejšie v snehoch na Slovensku a z oblasti Mníchova a Lainbachtalu, NSR) vyznačuje relatívne vysokým obsahom chloridov, ktoré musia byť (vzhľadom na odklon od pomeru Na/Cl v morskej vode) produkované sekundárnymi zdrojmi. Vzhľadom na to, že v poslednom čase sa zistili v zrážkových vodách v Čechách vysoké koncentrácie halogenidov (hlavne chloridov a fluoridov) pôvodom pravdepodobne zo spaľovania uhlia (V. JIŘELE, ústne oznámenie), bude potrebné otázku koncentrácie halogenidov v zrážkach na našom území preštudovať podrobnejšie, pretože je ekologicky veľmi závažná.

Významné výsledky poskytlo dlhodobé sledovanie aj z hľadiska poznania acidity snehových roztokov. Problematika je spoločensky závažná, lebo negatívne ekologické vplyvy vzrastajúcej acidity zrážok sú známe z mnohých oblastí sveta, klasicky z oblasti Škandinávie. V ČSSR je táto problematika podrobne skúmaná v súvislosti s odumieraním lesov hlavne v oblasti severných a severozápadných Čiech.

V našom prípade sme zistili široké rozmedzie hodnôt pH v snehových roztokoch (3,70—9,40), avšak vodohospodársky a ekologicky závažným je hlavne zistenie, že takmer polovica (49,4 % vzoriek, n = 413) mala pH 4,4 a menej, t. j. roztoky obsahovali voľné minerálne kyseliny, pričom viac ako 10 % vzoriek malo pH menšie ako 4,0. Celková distribúcia hodnôt pH bola nasledovná:

pH	Početnosť výskytu hodnôt (%)
< 4,0	10,2
4,0—4,4	39,2
4,4—5,6	37,5
5,6—7,0	9,9
> 7,0	3,2

Najnižšia hodnota pH 3,7 bola nameraná v snehu na lokalite Štrbské pleso, pH 3,8 na lokalitách Martinské hole, Rochovce, Lomnický štít, ale pH 3,9 už na pomerne veľkom množstve lokalít (Bratislava-Železná studienka, Pezinská Baba, Nitra-Zobor, Banský Studenec, Vrátna dolina, Ružomberok, Ľupčianska dolina, Donovaly, Tatranská Lomnica, Skalnaté pleso, Dukla a Remetské Hámre).



Obr. 5 Porovnanie obsahu chloridov a sodíka v zrážkach z rôznych oblastí

1 — G. E. LIKENS et al. (1977), Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire (USA), vážený ročný priemer koncentrácie zložiek za obdobie 1963—1974, 2 — O. P. BRICKER et al. (1968), Pond Branch, Piedmont Province, Maryland (USA), priemer zo 7 analýz zrážok (III. 1966—III. 1967), 3 — L. ŠKVARKA et al. (1983), chemická analýza zrážok z oblasti Salaman, Irak, 4, 5 — T. PAČES—B. MOLDAN (1979), priemerné koncentrácie v čistých zrážkach (4) a v zrážkach vrátane suchej depozície (5) z oblasti Pacova (Českomoravská vrchovina), 6, 7, 8, 9 — A. HERRMANN (1975), chemické analýzy čerstvo napadaného snehu z oblasti Mníchova (6, 7) a Lainbachtalu (8, 9), NSR, 10, 11, 12 — B. MOLDAN (1980), priemerné zloženie čistých zrážok za obdobie IX. 1977—VIII. 1978 z oblasti Čiech, čistá oblasť (10), okraj priemyselnej oblasti (11), centrum priemyselnej oblasti (12), 13, 14 — J. G. OGDEN (1980), priemerné chemické zloženie zrážok zo sv. oblasti USA (Nova Scotian), kontinentálne zrážky (13), zrážkové udalosti ovplyvnené morskými prúdmi (14), 15, 16 — W. A. H. ASMAN—J. SLANINA (1980), chemické analýzy zrážok kontinentálnej periódy z oblasti Holandska, 17 — chemická analýza zrážkovej vody (okamžité zrážky) z oblasti Železnô, Nízke Tatry, materiál GÚDŠ Bratislava, 18, 19 — chemická analýza nového (18) a starého (19) snehu z Jánskej doliny, Nízke Tatry, materiál GÚDŠ Bratislava, 20, 21, 22, 23 — J. ŠANTROCH (1985), priemerné chemické zloženie zrážkových vôd z oblasti Čiech, 20 — Hradec Králové, 21 — Přísečnice—Krušné Hory, 22 — Jizerka—Jizerské Hory (za rok 1983), 23 — Přimda—Český les (za obdobie IX.—XI. 1983), 24 — M. CEROVSKÝ (1983), priemerné chemické zloženie zrážok z Chopku, Nízke Tatry, za rok 1981, 25 — N. CHRISTOPHERSEN—H. M. SEIP (1982), priemerné chemické zloženie zrážok z povodia Birkenes (Nórsko), zóna maximálnej depozície kyslých zložiek, 26, 27 — D. W. FISHER (1968), priemerné chemické zloženie zrážok z oblasti východnej Severnej Karolíny a juhovýchodnej Virgínie (USA) za obdobie VII. 1962—VI. 1963 (26) a VII. 1963—VI. 1964 (27), 28 — A. W. GAMBELL—D. W. FISHER (1966), priemerné chemické zloženie zrážok z oblasti východnej Severnej Karolíny a juhovýchodnej Virgínie za obdobie VIII. 1962—VI. 1963, 29, 30 — E. GJESSING et al. in R. F. WRIGHT—H. DOVLAND (1977), priemerné chemické zloženie snehov v Nórsku (1973—1976), lokality 4—88 (29) a 89—207 (30), 31—36 — chemické analýzy vzoriek snehov z merného objektu ÚHH SAV Bratislava (Jasná pod Chopkom, Nízke Tatry), jar 1986, materiál GÚDŠ Bratislava.

Neočíslované body reprezentujú priemerné hodnoty chemických analýz snehov publikované v tejto práci.

Extrémne vysoké hodnoty pH boli namerané hlavne na lokalitách priamo ovplyvnených alkalickými úletmi (Zádielska dolina, maximálna hodnota pH 9,4; Plešivec, max. pH 8,7; Dedinky, max. pH 7,9), resp. na niektorých lokalitách v nížinách (Nitra-Zobor, max. pH 8,2 a Skalica, max. pH 7,8). Treba však zdôrazniť, že väčšina lokalít sa vyznačovala relatívne veľkou variabilitou hodnôt pH, čo možno dokumentovať aj tým, že i na vysokotatranskej lokalite Štrbské pleso bola ojedinele zistená hodnota pH 9,2.

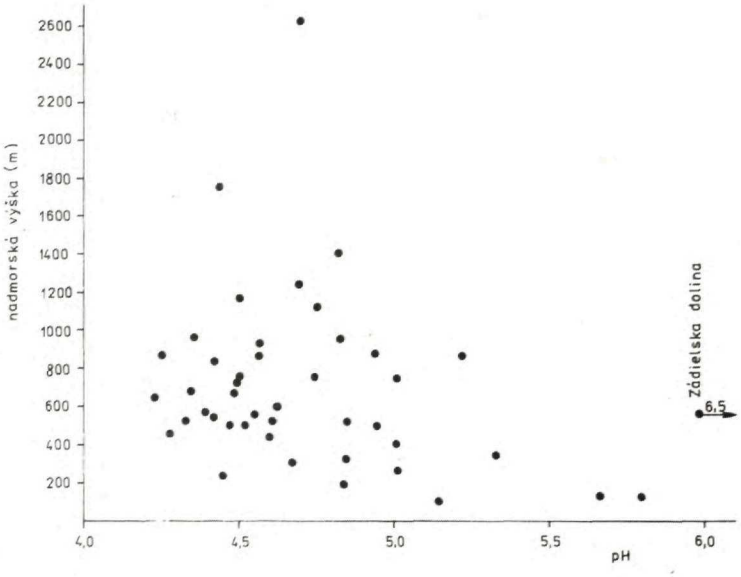
Medzi lokality s najvyššou variabilitou hodnôt pH patria: Zádielska dolina (variačný koeficient 31,7 %), Plešivec (27,0 %), Nitra-Zobor (26,5 %) a Skalica (23,7 %). Naopak, najmenšia variabilita hodnôt pH bola zistená na lokalitách Ľupčianska dolina (variačný koeficient 2,8 %), Oščadnica (5,0 %), Opavská hora (5,1 %), Vrátna dolina (5,9 %) a Banský Studenec (7,0 %). Približne rovnakým spôsobom sa diferencujú lokality aj podľa priemerných hodnôt pH:

Lokality s najnižším priemerným pH		Lokality s najvyšším priemerným pH	
Oščadnica	4,26	Zádielska dolina	6,51
Vrátna dolina	4,27	Bratislava-Slovnaft	5,79
Opavská hora	4,32	Patince	5,67
Banský Studenec	4,34	Plešivec	5,32
Donovaly	4,36	Dedinky	5,23
Podhradie p. N.	4,39	Vojany	5,16
Ružomberok	4,42	Skalica	5,03
Ľupčianska dolina	4,42	Rochovce	5,01
Dukla	4,43	Lokca	5,01

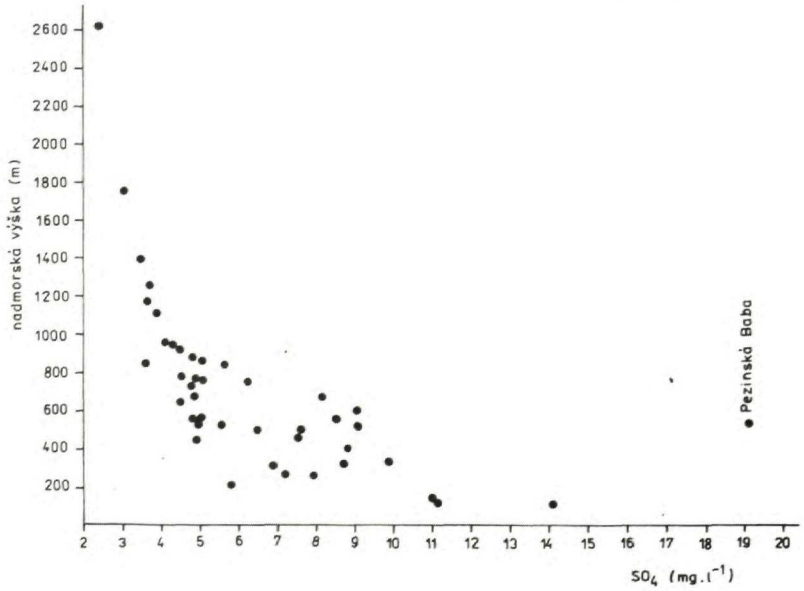
Zaujímavé údaje poskytuje porovnanie závislosti priemerných hodnôt pH a hlavných acidifikujúcich zložiek SO_4, NO_3 a Cl od nadmorskej výšky (obr. 6). Pokles koncentrácie síranov, dusičnanov a chloridov v stúpajúcej nadmorskej výške je evidentný a súvisí s „vyčisťovaním" ovzdušia smerom hore, ale v prípade pH takáto závislosť neexistuje. Ukazuje sa, že najväčšia acidita snehov sa viaže na stredohorské oblasti (400—850 m n. m.), relatívne málo kontaminované prašným spádom, prejavom čoho sú i veľmi nízke celkové mineralizácie snehov na týchto lokalitách. Výnimku tvoria tie, ktoré sa nachádzajú v tesnej blízkosti väčších zdrojov znečisťovania. Naopak, na väčšine vyššie položených lokalít v horských oblastiach (približne nad 850 m n. m.) pozorujeme relatívny pokles acidity snehov (pH približne 4,7—5,1), čo je dobre dokumentované na obr. 7. Uvedený jav je pravdepodobne odrazom toho, že prachové častice vo väčších nadmorských výškach majú už prevažne terigénny charakter, a teda celkove alkalizujúci účinok na snehové roztoky. Priaznivú úlohu tu zohráva aj samotná geologická stavba Západných Karpát, kde v jadrových pohoriach na magmatických a metamorfovaných silikátových horninách sú uložené karbonátové horniny, čo vytvára prirodzené predpoklady pre produkciu alkalizujúcich prachových častíc v dôsledku mechanického zvetrávania hornín. Výraznú alkalizáciu snehových roztokov v najnižšie položených lokalitách, nachádzajúcich sa najbližšie k väčším zdrojom znečisťovania ovzdušia, spôsobuje rozpúšťanie prachových častíc zväčša antropogénneho pôvodu za súčasného výrazného

zvyšovania celkovej mineralizácie týchto roztokov. Odrazom uvedených zákonitostí je charakteristická plošná distribúcia chemizmu (obr. 2) a hodnôt pH v snehoch na území Slovenska (obr. 8).

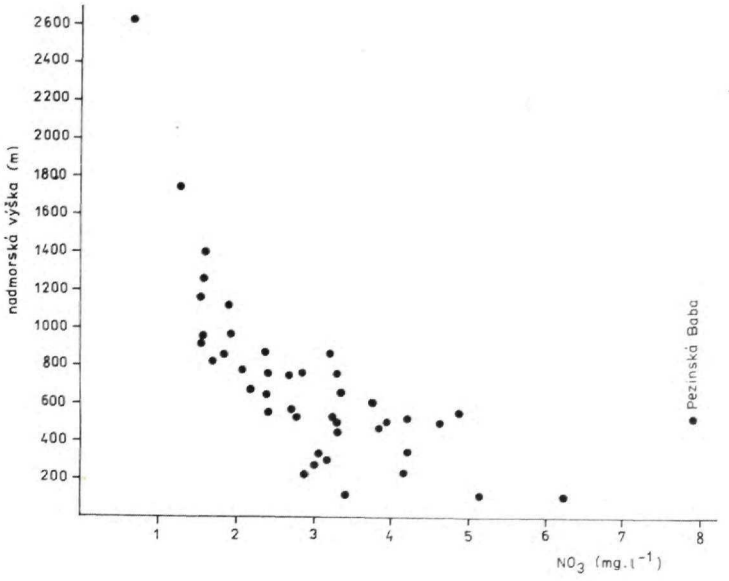
Z dosiaľ uvedeného vyplýva, že plošná i vertikálna distribúcia chemizmu snehov je do veľkej miery odrazom celkového chemického režimu ovzdušia na území Slovenska, pričom sa výrazne uplatňujú antropogénne vplyvy. Na celkový charakter chemického zloženia zrážok má však určitý vplyv aj ich celkové



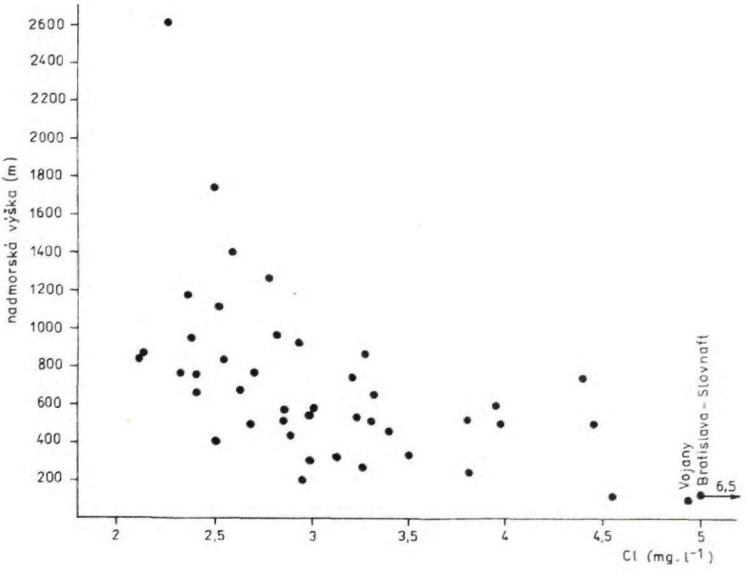
Obr. 6a



Obr. 6b

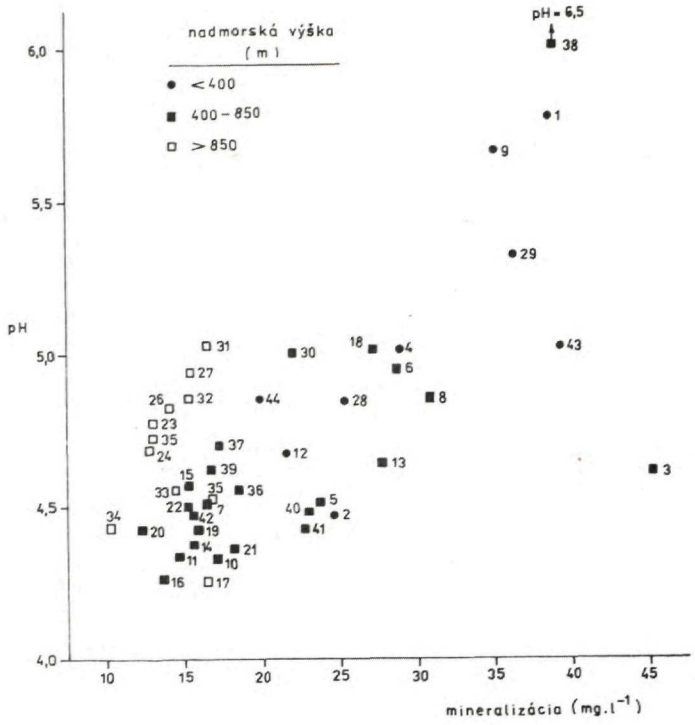


Obr. 6c

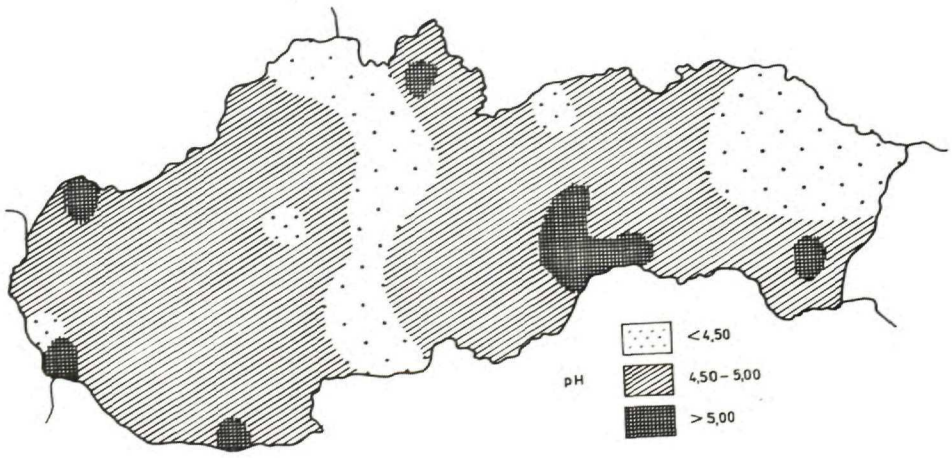


Obr. 6d

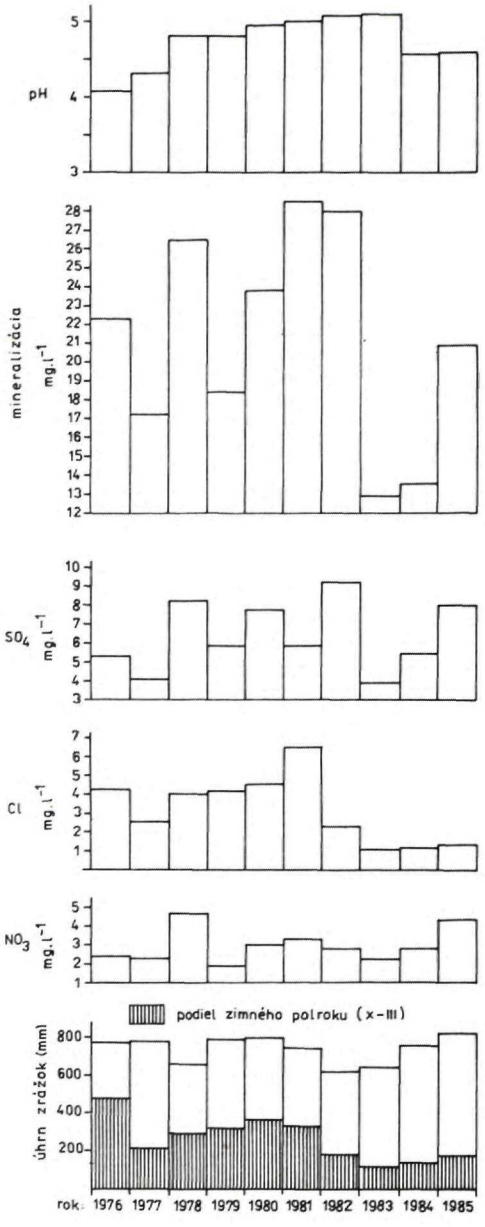
Obr. 6 Porovnanie závislosti priemerných hodnôt pH (a) a koncentrácie hlavných aniónov SO_4 (b), NO_3 (c) a Cl (d) od nadmorskej výšky lokalít



Obr. 7 Závislosť priemerných hodnôt pH od celkovej mineralizácie snehov a nadmorskej výšky lokalít



Obr. 8 Plošná distribúcia hodnôt pH v snehoch na území Slovenska



Obr. 9 Závislosť priemerných hodnôt pH, celkovej mineralizácie, síranov, dusičnanov a chloridov od úhrnu zrážok (1976—1985)

množstvo za určité obdobie. Táto zákonitosť, ak zoberieme do úvahy iba množstvo zrážok pripadajúce na zimný polrok, sa potvrdila i v našom prípade, čo je dokumentované na obr. 9. Je vidieť, že takmer vždy so zvyšovaním úhrnu zrážok za dané obdobie dochádza zároveň k zvýšeniu celkovej priemernej mineralizácie snehov a hlavných aniónov. Nápadná je predovšetkým zhoda v časovom vývoji množstva zimných zrážok a priemernej koncentrácie chloridov zo všetkých lokalít pre dané obdobie.

Keďže procesy tvorby a padania zrážok predstavujú zároveň samočistiace procesy v atmosfére, potom celkové množstvo zrážok za dané obdobie potenciálne podmieňuje kvantitatívnu stránku uvedených procesov. K tomu navyše pristupuje variabilita cyklonálnych a anticyklonálnych situácií v jednotlivých rokoch, rozdiely v stupni znečisťovania ovzdušia a rozdielnosť vývoja snehovej pokrývky v jednotlivých zimných obdobiach. Zdá sa, že bude účelné preštudovať tieto zákonitosti v budúcnosti podrobnejšie, pretože môžu prispieť k objasneniu ekologických dôsledkov a súvislostí, ktoré z nich vyplývajú.

Vedľajšie zložky a stopové prvky

Okrem vyššie uvedených zložiek boli v snehoch stanovované tiež SiO_2, Sr, Mn, Fe, Al, Zn, Cu a Pb. Prehľadné údaje o týchto prvkoch sú uvedené v tab. 1. Pri väčšine z uvedených zložiek sme zistili veľkú variabilitu koncentrácií na jendotlivých lokalitách i na území celého Slovenska. Keďže variabilita môže byť čiastočne zapríčinená tiež podmienkami vzorkovania, čo sme ozrejmili v metodickej časti, podávame iba stručné zhodnotenie týchto údajov.

Hodnoty SiO_2 v snehoch za uvedené obdobie sa pohybovali v rozmedzí 0,11—4,70 $mg.l^{-1}$, pričom boli charakteristicky zvýšené na lokalitách v blízkosti väčších zdrojov znečisťovania (Vojany, v priemere 1,51 $mg.l^{-1}$ SiO_2; Handlová-Nová Lehota 1,50 $mg.l^{-1}$; Lokca 1,46 $mg.l^{-1}$). Systematicky zvýšené obsahy SiO_2 boli namerané tiež v sv. oblasti Slovenska (Červený Kláštor, v priemere 1,47 $mg.l^{-1}$ SiO_2; Dukla 1,42 $mg.l^{-1}$; Zlatá Baňa 1,29 $mg.l^{-1}$). Najnižšie koncentrácie SiO_2 boli zistené v snehoch z oblasti Nízkych Tatier (v priemere 0,50—0,80 $mg.l^{-1}$) a vo Vrátnej doline (0,56 $mg.l^{-1}$).

Najvyššie koncentrácie stroncia sa zistili na lokalitách Chopok-Jasná (max. 780 $\mu g.l^{-1}$ Sr), Lokca (max. 530 $\mu g.l^{-1}$), Plešivec (max. 280 $\mu g.l^{-1}$) a Homôlka (max. 200 $\mu g.l^{-1}$). Na týchto lokalitách boli zväčša pozorované aj zvýšené priemerné koncentrácie Sr (Chopok-Jasná 100 $\mu g.l^{-1}$, Lokca 90 $\mu g.l^{-1}$, Plešivec 48 $\mu g.l^{-1}$), obdobne ako na niektorých lokalitách nížinného charakteru (Skalica 31 $\mu g.l^{-1}$, Patince a Vojany 36 $\mu g.l^{-1}$). V priemere najnižšie koncentrácie stroncia (10 až 16 $\mu g.l^{-1}$) boli zistené v snehoch na lokalitách vo Vysokých Tatrách, v Slovenskom rudohorí a v oblasti stredoslovenských neovulkanitov (Opavská hora, Lehôtka p. Brehy).

Koncentrácia Mn v snehoch sa pohybovala v širokom rozmedzí (0 až 8,62 $mg.l^{-1}$). Extrémne vysoké hodnoty (8,62 $mg.l^{-1}$ a 6,00 $mg.l^{-1}$) boli namerané v snehoch na lokalitách v oblasti Chopok-Jasná, resp. Lokca, ďalej na Donovaloch (max. 720 $\mu g.l^{-1}$), v Trenčianskom Jastrabí (max. 490 $\mu g.l^{-1}$), v Zádiel-

skej doline (max. 430 $\mu g.l^{-1}$) a v Tatranskej Lomnici (max. 310 $\mu g.l^{-1}$). Sú to zároveň lokality s najvyššími priemernými koncentráciami Mn (56—94 $\mu g.l^{-1}$), pričom v Lokci bola zistená priemerná koncentrácia Mn až 1,01 $mg.l^{-1}$. K uvedeným lokalitám sa ďalej pridružuje Ľupčianska dolina (v priemere 80 $\mu g.l^{-1}$ Mn), Ružomberok (61 $\mu g.l^{-1}$), Vrátna dolina (51 $\mu g.l^{-1}$) a Chopok-Srdiečko (40 $\mu g.l^{-1}$). Ide teda o prekvapujúce zistenie, že vysoké priemerné koncentrácie Mn nachádzame nielen v prípade zjavne kontaminovaných lokalít (napr. Lokca), ale tiež v mnohých tzv. „čistých" horských oblastiach. Naopak, v priemere najnižšie koncentrácie Mn (10 až 18 $\mu g.l^{-1}$) nachádzame buď v snehoch z „nížinných" lokalít jz. Slovenska a z oblasti stredoslovenských neovulkanitov (Skalica, St. Hrozenkov, Homôlka, Patince, Opavská hora, Banský Studenec) alebo v najvyššie situovaných lokalitách Vysokých a Nízkych Tatier, resp. Slovenského rudohoria (6—13 $\mu g.l^{-1}$ Mn).

Veľká variabilita koncentrácií v snehoch bola zistená tiež v prípade železa (0,007 až 3,50 $mg.l^{-1}$), pričom extrémne vysoké koncentrácie Fe boli namerané hlavne na lokalitách v blízkosti väčších zdrojov znečisťovania (Handlová-Nová Lehota max. 3,50 $mg.l^{-1}$ Fe; Vojany max. 2.30 $mg.l^{-1}$; Bratislava-Slovnaft max. 2,05 $mg.l^{-1}$), ale ojedinele aj na iných lokalitách (Dukla max. 2,60 $mg.l^{-1}$; Hajnáčka max. 2,25 $mg.l^{-1}$; Cejkov max. 1,68 $mg.l^{-1}$ a pod.). Je nápadné, že na východoslovenských lokalitách (Zlatá Baňa, Dukla, Vojany a Cejkov) dosahovali priemerné koncentrácie Fe systematicky zvýšené hodnoty (413 až 690 $\mu g.l^{-1}$ Fe). V priemere vysoké koncentrácie Fe (373 až 789 $\mu g.l^{-1}$) boli zistené i na lokalitách patriacich do zóny ovplyvnenej alkalickými úletmi na južnom Slovensku (Hajnáčka, Plešivec, Rochovce, Zádielska dolina). Sem patria i lokality ovplyvnené priemyslom na hornom Ponitrí (Handlová-Nová Lehota, v priemere 862 $\mu g.l^{-1}$ Fe), Pohroní (Lehôtka p. Brehy 471 $\mu g.l^{-1}$) a v Podunajskej nížine (Bratislava-Slovnaft 652 $\mu g.l^{-1}$ a Patince 485 $\mu g.l^{-1}$ Fe). Na oravskej lokalite Lokca bola zistená priemerná hodnota Fe 290 $\mu g.l^{-1}$. Najnižšie priemerné koncentrácie Fe (70—180 $\mu g.l^{-1}$) boli zistené na horských lokalitách Stredoslovenského kraja.

Rozmedzie koncentrácií hliníka sa pohybovalo od 0 do 20 $mg.l^{-1}$ (ojedinelá hodnota nameraná na lokalite Handlová-Nová Lehota, kde bola zistená i najvyššia priemerná koncentrácia Al — 3,93 $mg.l^{-1}$). Celkove hodnoty koncentrácií Al vykazujú podobnú distribúciu ako v prípade železa.

Taktiež pri kovových prvkoch Zn, Cu a Pb pozorujeme vysokú variabilitu hodnôt ich koncentrácie v snehoch. Je podmienená najmä tým, že boli analyzované aj so zachyteným prašným spadom. U jednotlivých prvkov boli zistené nasledujúce extrémne hodnoty (v $\mu g.l^{-1}$):

	min.	max.
Zn	0	680 (Lokca)
Cu	0	390 (Homôlka)
Pb	0	320 (Banský Studenec)

V prípade Zn je zaujímavé, že v priemere nízke koncentrácie (40—60 $\mu g.l^{-1}$) sa vyskytujú rovnako na západoslovenských lokalitách i lokalitách stredoslovenských neovulkanitov (Opavská hora, Lehôtka p. Brehy, Handlová-Nová Lehota), ako aj vo vyššie situovaných lokalitách Nízkych Tatier, Malej Fatry a Oravy (s výnimkou lokality Lokca). V priemere oveľa vyššie hodnoty (70—96 $\mu g.l^{-1}$) boli zistené na vysokotatranských lokalitách a vo Východoslovenskej nížine (80—90 $\mu g.l^{-1}$) a najvyššie na lokalitách Banský Studenec (344 $\mu g.l^{-1}$), Nitra-Zobor (134 $\mu g.l^{-1}$), Lokca (115 $\mu g.l^{-1}$) a Pezinská Baba (114 $\mu g.l^{-1}$). Najvyššie priemerné koncentrácie medi (33—64 $\mu g.l^{-1}$) nachádzame na lokalitách Starý Hrozenkov, Trenčianske Jastrabie, Homôlka, Nitra-Zobor a najnižšie (2—3 $\mu g.l^{-1}$) na nízkotatranských a vysokotatranských lokalitách. V prípade olova, podobne ako u Zn, bola najvyššia priemerná koncentrácia (54 $\mu g.l^{-1}$) nameraná na lokalite Banský Studenec a celkove zvýšené koncentrácie Pb (27—35 $\mu g.l^{-1}$) tiež na lokalitách Pezinská Baba, Skalica, Zlatá Baňa a Vojany. Najnižšie priemerné koncentrácie Pb (3—13 $\mu g.l^{-1}$) boli opäť zistené v oblasti Nízkych a Vysokých Tatier, ako aj na lokalitách Homôlka, Nitra-Zobor, Podhradie pri Novákoch, Martinské hole a Pusté Pole.

Potenciálny prínos solí zrážkami v zimnom polroku na území Slovenska

Podzemné vody, tak ako všetky prírodné vody, majú tendenciu priblížiť sa chemickej rovnováhe s komponentmi geologického a biologického prostredia. Prostredníctvom infiltrovaných zrážkových vôd sú bezprostredne ovplyvňované aj procesmi prebiehajúcimi na zemskom povrchu a v atmosfére, pričom hlavne v plytkopodpovrchových podmienkach veľmi rýchlo a citlivo odrážajú zmeny, ktoré v tomto vonkajšom prostredí nastávajú. Je známe, že v posledných desaťročiach tu ide hlavne o negatívne antropogénne vplyvy.

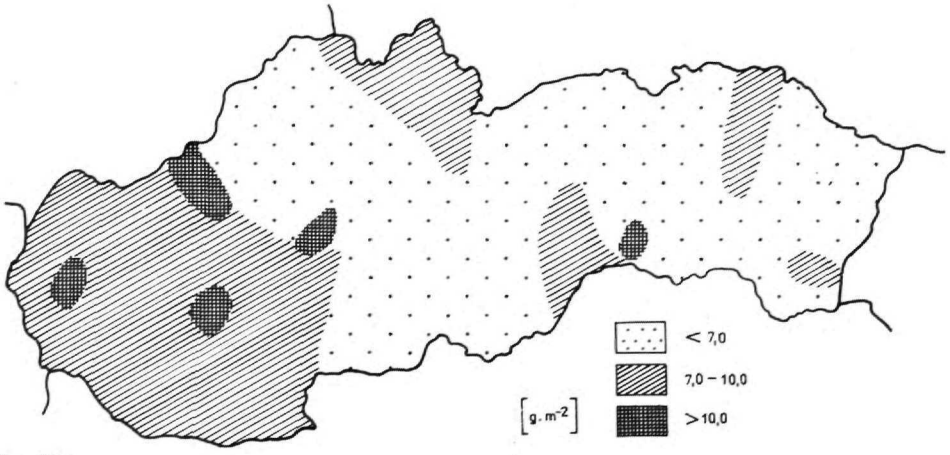
Pri hydrogeochemickom hodnotení vzťahu zrážky—podzemná voda musíme vziať do úvahy všetky procesy ovplyvňujúce tvorbu chemizmu podzemných vôd, t.j. tie procesy, v dôsledku ktorých sú do podzemných vôd vnášané rozmanité komponenty, často negatívne ovplyvňujúce kvalitatívne parametre vôd. Z nich za najdôležitejšie môžeme považovať nasledovné:

1. Prínos plynov a aerosolov (prirodzeného i antropogénneho pôvodu), ktoré sú extrahované z atmosféry zrážkovými vodami.
2. Dotácia rozpustených látok zo suchej depozície.
3. Prínos látok nadobudnutých infiltrujúcimi vodami počas ich interakcie s vegetačným a pôdnym pokryvom a s horninami v infiltračnej zóne.

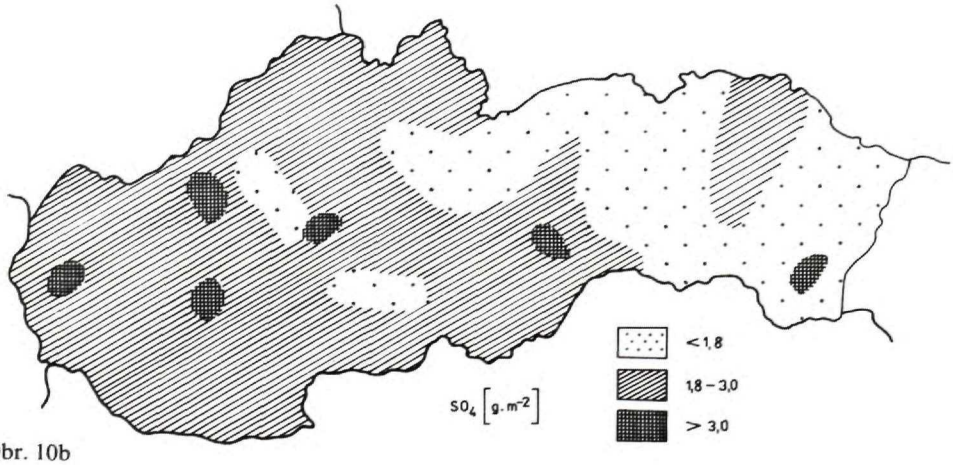
V našom prípade pri kvantifikácii výsledkov chemických analýz snehov, pri zohľadnení metodiky odberu a spracovania vzoriek podávame prehľad o celkovom množstve vo vode rozpustených solí, ktoré sa po roztopení snehovej pokrývky potenciálne môže dostať do podzemných vôd (viď bod 1 a 2 v predchádzajúcim texte). Je však zrejmé, že v skutočnosti sa iba určitá časť z uvedeného množstva solí môže podieľať na tvorbe chemizmu podzemných vôd. V zásade teda ide o hodnoty blízke hodnotám tzv. celkovej depozície solí (suchej i mokrej)

atmosferického pôvodu. Vzhľadom na uvedené fakty však nemôžeme tieto hodnoty stotožňovať. Pri ich výpočte sme vychádzali z priemerného chemického zloženia snehov na jednotlivých lokalitách a z dlhodobých (1931—1960) úhrnov zrážok za chladný polrok (X—III) podľa Atlasu SSR (SAV Bratislava, 1980), resp. z priemerných úhrnov zrážok v zime (XII—II) taktiež za obdobie 1931—1960) (M. LUKNIŠ et al. 1972). Lokality boli zaradené do príslušného intervalu zrážkového úhrnu, pričom pri výpočte množstva solí, resp. zložiek, sa bral do úvahy stred príslušného intervalu. Vypočítané hodnoty potenciálneho celkového prínosu solí (a vodohospodársky najdôležitejších zložiek zvlášť) zrážkami za zimný polrok (X—III) a zimný štvrťrok (XII—II) sú uvedené v tab. 2. Graficky sú hodnoty za zimný polrok (X—III) prezentované na obr. 10a—d.

Z vypočítaných údajov vyplýva, že v priemyselne a poľnohospodársky exponovaných územiach Slovenska (Západoslovenský kraj, horné Ponitrie, Orava,

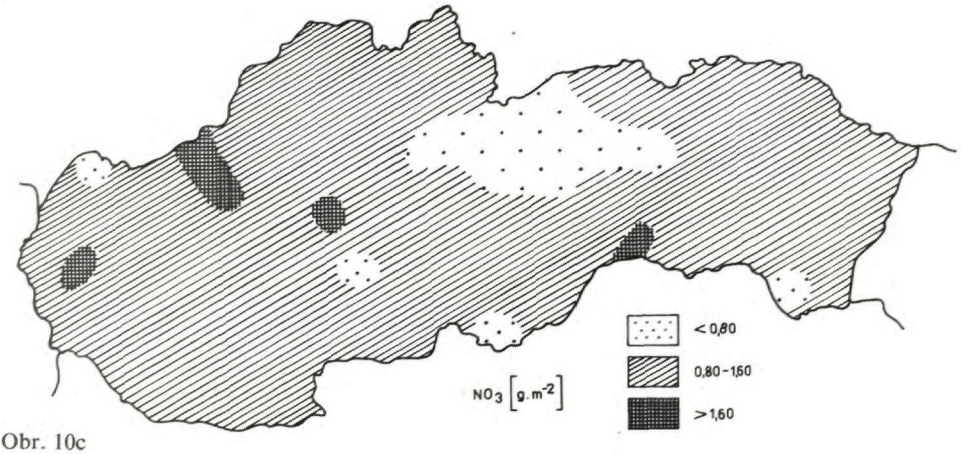


Obr. 10a

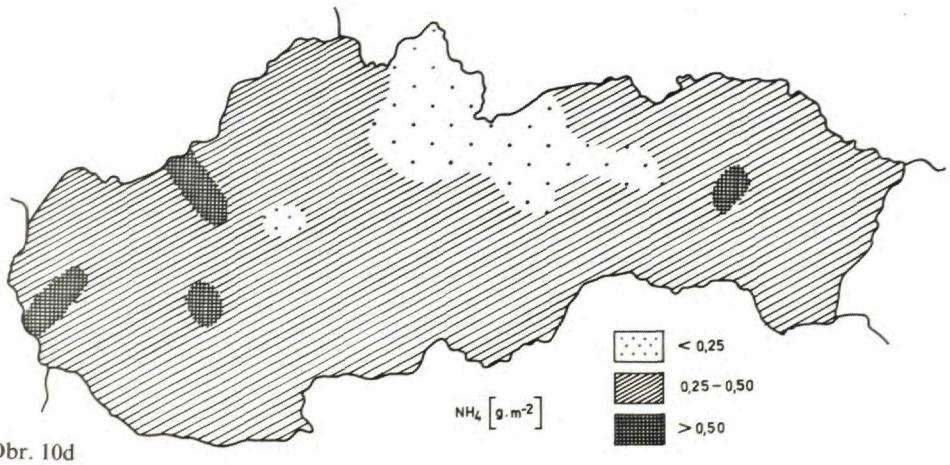


Obr. 10b

oblasť magnezitiek a veľkolomov na južnom Slovensku, košicko-prešovská oblasť a okolie Vojan vo Východoslovenskej nížine) predstavuje potenciálny prínos solí zrážkami v zimnom polroku (X—III) 7,0 až 10,0 $g.m^{-2}$ (t.j. 7 až 10 $t.km^{-2}$), lokálne i viac. Pritom je charakteristické, že vypočítané hodnoty prínosu solí za zimný polrok a zimný štvrťrok navzájom dobre korešpondujú, hoci pritom vyjadrujú určité diferencie, vyplývajúce z lokálne rozdielnych úhrnov zrážok v zimnom štvrťroku. Najvýraznejšie sa tieto rozdiely prejavujú vo vyššie situovaných lokalitách Vysokých a Nízkych Tatier, kde sa kvôli rozloženiu zrážkových úhrnov celkový prínos solí za zimný štvrťrok blíži k uvedeným



Obr. 10c



Obr. 10d

Obr. 10 Grafické znázornenie potenciálneho prínosu solí zrážkami v zimnom polroku (X—III) na území Slovenska

a — celkový prínos solí
b — prínos síranov
c — prínos dusičnanov
d — prínos amónia

Tabuľka 2 Vypočítané hodnoty potenciálneho celkového prínosu solí a jednotivých zložiek SO_4, Cl, NO_3 a NH_4 zrážkami za zimný polrok (X—III) a zimný štvrťrok (XII—II)

Čís. lok.	Lokalita	Ročné obdobie	MIN	SO_4	Cl	NO_3	NH_4	N-celk.
			$g.m^{-2}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Bratislava-Slovnaft	X.—III.	9,64	2,79	1,62	1,29	0,35	0,56
		XII.—II.	4,34	1,25	0,73	0,58	0,16	0,26
2	Bratislava-Železná studienka	X.—III.	8,71	2,79	1,33	1,45	0,73	0,90
		XII.—II.	3,42	1,10	0,52	0,57	0,29	0,35
3	Pezinská Baba	X.—III.	20,32	8,63	1,70	3,54	2,13	2,45
		XII.—II.	7,90	3,36	0,66	1,38	0,83	0,96
4	Skalica pri Zlatnickom potoku	X.—III.	7,22	1,81	0,81	0,75	0,26	0,37
		XII.—II.	3,25	0,81	0,36	0,34	0,12	0,17
5	Starý Hrozenkov	X.—III.	10,78	2,91	1,79	2,09	0,65	0,98
		XII.—II.	4,19	1,14	0,69	0,82	0,25	0,38
6	Trenčianske Jastrabie	X.—III.	13,04	3,43	2,00	1,77	0,65	0,91
		XII.—II.	5,08	1,33	0,78	0,69	0,25	0,35
7	Valaská Belá--Homôlka	X.—III.	5,72	1,80	0,84	1,00	0,41	0,54
		XII.—II.	2,86	0,90	0,42	0,50	0,21	0,28
8	Nitra-Zobor	X.—III.	10,84	3,19	1,00	1,47	0,54	0,75
		XII.—II.	3,49	1,03	0,32	0,48	0,17	0,24
9	Patince	X.—III.	8,76	2,77	1,14	0,86	0,43	0,53
		XII.—II.	3,94	1,25	0,51	0,38	0,19	0,23
10	Opavská hora	X.—III.	5,97	1,93	1,15	1,14	0,32	0,51
		XII.—II.	2,99	0,97	0,58	0,58	0,16	0,26
11	Banský Studenec	X.—III.	5,19	1,68	0,92	0,76	0,29	0,40
		XII.—II.	2,59	0,84	0,46	0,38	0,14	0,20
12	Lehôtka p. Brehy	X.—III.	7,48	2,42	1,05	1,10	0,35	0,52
		XII.—II.	2,94	0,96	0,41	0,43	0,14	0,21
13	Handlová-Nová Lehota	X.—III.	11,58	4,06	1,77	1,68	0,43	0,71
		XII.—II.	4,86	1,58	0,69	0,65	0,17	0,28
14	Podhradie pri Novákoch	X.—III.	5,42	1,77	1,00	0,93	0,22	0,38
		XII.—II.	2,72	0,89	0,50	0,47	0,11	0,19
15	Martin-Priekopa--Martinské hole	X.—III.	6,87	2,24	1,22	1,09	0,27	0,46
		XII.—II.	3,88	1,25	0,68	0,61	0,15	0,25
16	Vrátna dolina	X.—III.	6,25	2,01	1,08	1,08	0,30	0,48
		XII.—II.	3,77	1,12	0,60	0,61	0,17	0,27
17	Očšadnica	X.—III.	7,51	2,30	1,47	1,45	0,40	0,64
		XII.—II.	2,93	0,86	0,57	0,56	0,16	0,25
18	Lokca	X.—III.	9,50	2,22	1,54	1,15	0,24	0,45
		XII.—II.	4,75	1,11	0,77	0,58	0,13	0,23

Pokračovanie tabuľky 2

Čís. lok.	Lokalita	Ročné obdobie	MIN	SO_4	Cl	NO_3	NH_4	N-celk.
			$g.m^{-2}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	Ružomberok	X.—III.	5,56	1,69	1,13	0,84	0,23	0,37
		XII.—II.	2,78	0,85	0,57	0,42	0,12	0,19
20	Ľupčianska dolina	X.—III.	4,24	1,26	0,89	0,60	0,21	0,30
		XII.—II.	2,12	0,63	0,45	0,31	0,11	0,16
21	Donovaly	X.—III.	6,88	1,88	1,27	0,87	0,28	0,41
		XII.—II.	3,83	1,05	0,71	0,49	0,16	0,23
22	Horný Tisovník	X.—III.	5,27	1,68	0,82	0,94	0,34	0,48
		XII.—II.	2,64	0,84	0,41	0,47	0,18	0,25
23	Chopok-Srdiečko	X.—III.	5,86	1,75	1,14	0,86	0,40	0,51
		XII.—II.	3,91	1,17	0,76	0,57	0,26	0,33
24	Čertovica	X.—III.	5,79	1,68	1,26	0,68	0,28	0,37
		XII.—II.	3,86	1,12	0,84	0,48	0,19	0,26
25	Chopok-Jasná	X.—III.	7,51	1,62	1,07	0,68	0,25	0,35
		XII.—II.	5,01	1,08	0,71	0,46	0,17	0,24
26	Štrbské pleso	X.—III.	6,62	1,55	1,17	0,71	0,24	0,35
		XII.—II.	4,41	1,04	0,78	0,47	0,16	0,23
27	Muránska planina	X.—III.	6,79	2,20	0,96	1,07	0,34	0,51
		XII.—II.	2,64	0,86	0,37	0,42	0,13	0,20
28	Hajnáčka	X.—III.	6,30	2,18	0,78	0,79	0,44	0,52
		XII.—II.	3,47	1,20	0,43	0,43	0,25	0,29
29	Plešivec	X.—III.	9,04	2,47	0,88	1,05	0,35	0,51
		XII.—II.	4,07	1,12	0,40	0,48	0,16	0,23
30	Rochovce	X.—III.	7,55	3,07	0,90	0,98	0,30	0,45
		XII.—II.	2,97	1,22	0,35	0,39	0,12	0,18
31	Dedinky	X.—III.	7,48	2,54	0,96	0,83	0,30	0,42
		XII.—II.	2,91	0,99	0,37	0,33	0,12	0,17
32	Pusté pole	X.—III.	6,83	1,93	1,08	0,71	0,19	0,31
		XII.—II.	3,79	1,08	0,60	0,40	0,12	0,18
33	Tatranská Lomnica	X.—III.	6,61	1,96	1,32	0,70	0,27	0,37
		XII.—II.	4,41	1,31	0,88	0,47	0,18	0,25
34	Skalnaté pleso	X.—III.	4,61	1,42	1,13	0,59	0,18	0,27
		XII.—II.	3,08	0,95	0,75	0,40	0,12	0,18
35	Lomnický štít	X.—III.	5,87	1,10	2,16	0,31	0,17	0,20
		XII.—II.	3,91	0,74	1,44	0,20	0,11	0,13
36	Červený Kláštor	X.—III.	6,35	1,74	1,04	0,98	0,30	0,45
		XII.—II.	2,50	0,69	0,41	0,39	0,12	0,18

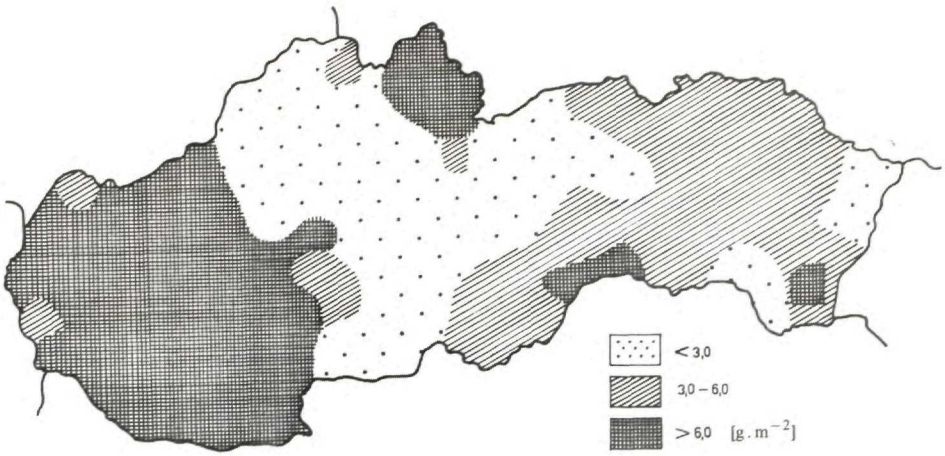
Pokračovanie tabuľky 2

Čís. lok.	Lokalita	Ročné obdobie	MIN	SO_4	Cl	NO_3	NH_4	N-celk.
			$g.m^{-2}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
37	Branisko	X.—III.	5,99	1,60	1,12	0,74	0,24	0,37
		XII.—II.	1,93	0,52	0,36	0,24	0,08	0,12
38	Zádielska dolina	X.—III.	13,68	2,97	1,06	1,70	0,44	0,73
		XII.—II.	4,40	0,96	0,34	0,55	0,15	0,24
39	Slanec	X.—III.	4,15	1,22	0,72	0,83	0,26	0,39
		XII.—II.	1,87	0,55	0,33	0,37	0,12	0,18
40	Zlatá Baňa	X.—III.	8,19	2,88	1,16	1,18	0,53	0,68
		XII.—II.	4,10	1,44	0,58	0,60	0,27	0,35
41	Dukla	X.—III.	8,02	2,67	1,20	1,08	0,44	0,59
		XII.—II.	3,16	1,05	0,47	0,54	0,18	0,26
42	Remetské Hámre	X.—III.	5,44	1,62	0,94	1,15	0,38	0,56
		XII.—II.	2,72	0,81	0,47	0,58	0,20	0,27
43	Vojany	X.—III.	9,78	3,50	1,23	1,55	0,46	0,71
		XII.—II.	4,40	1,58	0,56	0,70	0,21	0,32
44	Cejkov	X.—III.	4,90	1,47	0,74	0,72	0,33	0,42
		XII.—II.	2,21	0,66	0,33	0,33	0,15	0,19

hodnotám za celý zimný polrok. Na ostatnom území, predstavujúcom hlavné infiltračné oblasti zrážkových vôd, sa pohybujú tieto množstvá pod 7,0 $g.m^{-2}$ za zimný polrok.

Distribúcia hodnôt potenciálneho prínosu jednotlivých zložiek (SO_4, NO_3, NH_4, obr. 10 b, c, d) ukazuje, že napriek už preukázaným regionálnym rozdielom v ich absolútnych koncentráciach dochádza v tomto prípade v dôsledku rozloženia zrážkových úhrnov na našom území k eliminácii týchto rozdielov. Vypočítané hodnoty potenciálneho prínosu uvedených zložiek zrážkami za zimný polrok sa na väčšine územia Slovenska pohybujú nasledovne: sírany 1,8—3,0 $g.m^{-2}$, dusičnany 0,80—1,60 $g.m^{-2}$, amónium 0,25—0,50 $g.m^{-2}$. V prepočte na celkový dusík to predstavuje pre prevažujúcu časť nášho územia 0,40 až 0,60 $g.m^{-2}$.

Ako sme už uviedli, priemerné hodnoty chemizmu snehov z Lomnického štítu môžeme považovať za „pozaďové" pre územie Slovenska, hoci i tu je zjavný určitý podiel zložiek antropogénneho pôvodu. Ak porovnáme potenciálny prínos solí zimnými zrážkami na tejto lokalite s obdobnými hodnotami na ostatných lokalitách Slovenska (obr. 11), dostávame charakteristický obraz o relatívnom zaťažení územia atmosferogénnymi soľami, čo zároveň indikuje relatívnu intenzitu kontaminácie územia. Vyššie prezentované výsledky predstavujú východiskový materiál pre exaktnejšiu bilanciu solí v systéme zrážky—podzemné vody. Obdobné výskumy, zohľadňujúce špecifiká hydrologických



Obr. 11 Relatívne zaťaženie územia Slovenska atmosferogénnymi soľami. Číselné hodnoty predstavujú „prebytky" potenciálneho prínosu solí zimnými zrážkami (X—III) vo vzťahu k „pozaďovej" lokalite č. 35 (Lomnický štít, 2632 m n. m.)

a hydrogeologických pomerov jednotlivých geologických útvarov, sú známe z viacerých regiónov (napr. G. H. WAGNER—K. F. STEELE 1985, B. I. PISARSKIJ—A. P. CHAUSTOV 1981), pričom umožňujú špecifikovať podiel atmosferogénnych solí na chemickom zložení podzemných vôd prvého zvodneného horizontu. Výsledky týchto výskumov pre územie Západných Karpát budú publikované v blízkej budúcnosti.

Záver

Desaťročné pozorovanie (1976—1985) kvality snehov na 44 lokalitách územia Slovenska prinieslo tieto základné poznatky:

— Celková mineralizácia snehov za uvedené obdobie na území Slovenska sa pohybovala v rozmedzí 3,70—162,76 mg . l^{-1}, pričom prevažná časť vzoriek (68 %) mala mineralizáciu v rozmedzí 10—30 mg . l^{-1}. Hodnoty celkovej mineralizácie snehov v našich geograficko-klimatických podmienkach výrazne závisia od nadmorskej výšky lokality. V priemere najnižšie hodnoty (pod 15 mg . l^{-1}) sa viažu na horské oblasti a najvyššie (nad 30 mg . l^{-1}) nachádzame v nížinných oblastiach, resp. na niektorých stredohorských a kotlinových lokalitách. Táto zákonitosť úzko súvisí s rozmiestnením zdrojov znečisťovania, hlavne v nižšie položených oblastiach, a s charakterom rozptylu vzdušných hmôt v zimnom období.

— Aj v prípade lokalít s najnižšími priemernými mineralizáciami v celkovom chemizme snehov dominujú zložky odrážajúce antropogénne vplyvy. Na prevažnej časti územia Slovenska má snehová pokrývka chemické zloženie typu $Ca > NH_4 > Mg$, resp. $SO_4 > Cl > NO_3$. Vplyv väčších zdrojov znečisťovania sa špecificky odráža v chemizme snehov v okolí zdroja. K takýmto zdrojom patria napríklad:

— *rafinérie*, výrazne zvyšujúce hlavne obsahy Na a Cl v snehoch,

— *tepelné elektrárne*, zvyšujúce v snehoch hlavne obsahy Na, SO_4, NO_3, Cl, Al, Fe, Mg,

— *magnezitky a kameňolomy* (napr. širšia oblasť Rožňavskej kotliny a Slovenského krasu), výrazne ovplyvňujúca chemizmus snehov alkalickými úletmi (zvýšené obsahy Ca, Mg a Al),

— *hutnícky priemysel*, ktorý produkuje úlety, zvyšujúce v snehoch obsahy Al, Fe, Ca, Mg, Cl a pod.

— Významným poznatkom je regionálne zistený vysoký obsah chloridov v snehoch na území celého Slovenska. Ich priemerné obsahy sa pohybovali na jednotlivých lokalitách v rozmedzí 2,13 (Muránska planina a Dobšiná) až 6,47 mg . l^{-1} (Bratislava-Slovnaft).

— Dlhodobé sledovanie poskytlo významné výsledky aj z hľadiska poznania acidity snehových roztokov. Hoci sa zistilo pomerne široké rozmedzie hodnôt pH snehových roztokov (3,70—9,40), z vodohospodárskeho a ekologického hľadiska je najvážnejší poznatok, že takmer polovica (49,4 % vzoriek, n = 413) mala pH < 4,4, pričom viac ako 10 % vzoriek malo pH < 4,0. Zistilo sa, že najvyššia acidita snehov na Slovensku sa viaže na tie stredohorské oblasti (400—850 m n. m.), ktoré sú relatívne málo kontaminované prašnou depozíciou.

— Na celkový charakter chemického zloženia snehov má určitý vplyv i úhrnné množstvo zrážok za príslušné časové obdobie. Tento jav je potrebné preštudovať podrobnejšie, pretože môže prispieť k objasneniu ekologických dôsledkov a súvislostí, ktoré z toho vyplývajú.

— Pri väčšine vedľajších a stopových zložiek bola zistená veľká variabilita hodnôt ich koncentrácií v časovom i plošnom vyjadrení. Hodnoty koncentrácie jednotlivých zložiek sa pohybovali v týchto rozmedziach: SiO_2 0,11—4,70 mg . . l^{-1}; Sr 10 až 780 μg . l^{-1}; Mn 0—8,62 mg . l^{-1}; Fe 0,007 až 3,50 mg . l^{-1}; Al 0 až 20 μg . l^{-1}; Zn 0—680 μg . l^{-1}; Cu 0—390 μg . l^{-1} a Pb 0—320 μg . l^{-1}.

— Výpočty ukázali, že v priemyselne a poľnohospodársky exponovaných územiach Slovenska (Západoslovenský kraj, horné Ponitrie, Orava, oblasť magnezitiek a veľkolomov na južnom Slovensku, košicko-prešovská oblasť a okolie Vojan vo Východoslovenskej nížine) predstavuje potenciálny prínos solí zrážkami v zimnom polroku (X—III) 7,0—10,0 g . m^{-2}, lokálne aj viac. Na ostatnom území sa pohybujú tieto množstvá pod 7,0 g . m^{-2} za zimný polrok. Pri vodohospodársky významných zložkách sa uvedené hodnoty pohybujú v nasledujúcich rozmedziach: sírany 1,8—3,0 g . m^{-2}, dusičnany 0,80—1,60 g . m^{-2} a amónium 0,25—0,50 g . m^{-2}.

Výsledky prezentované v tejto práci sú významné z troch hľadísk:

a) Priniesli nové poznatky o chemickom zložení snehov, ktoré spolu s poznatkami iných inštitúcií (ÚÚG Praha, Stavební geologie Praha, ČHMÚ, SHMÚ) umožňujú z tohto hľadiska ucelene zhodnotiť celé územie ČSSR a zároveň presnejšie začleniť územie Slovenska do známych schém distribúcie chemického zloženia zrážok v Európe.

b) Predstavujú východiskový materiál pre exaktnejšiu bilanciu solí v systéme zrážky—podzemné vody pre územie Slovenska.

c) Priniesli celý rad poznatkov cenných z hľadiska lepšieho poznania chemického režimu ovzdušia v zimnom období na území Slovenska, čo možno účelne využiť pri rozmanitých ekologických štúdiách.

Literatúra

ASMAN, W. A. H.—SLANINA, J. 1980: Meteorological Interpretation of the chemical composition of precipitation and some results of sequential rain sampling. — In: Ecological impact of acid precipitation. Proc. of Int. Conf., Sandefjord, Norway, March 11—14, 1980, edit. D. Drabløs and A. Tollan.

Atlas SSR 1980, SAV, Bratislava.

BRICKER, O. P.—GODFREY, A. E.—CLEAVES, E. T. 1968: Mineral-water interaction during the chemical weathering of silicates. — In: Trace Inorganics in Water. Advances in Chemistry Series 73, Am. Chem. Soc., 128—142.

CEROVSKÝ, M. 1983: Meranie znečistenia ovzdušia na Chopku a zrážok v Bratislave. — In: Hydrogeochemické problémy znečisťovania prírodných vôd. Konferencie—Sympóziá—Semináre, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 73—80.

FISHER, D. W. 1968: Annual variations in chemical composition of atmospheric precipitation, eastern North Carolina and south-eastern Virginia. — U.S. Geol. Survey Water-Supply, Paper 1535-M, 21.

GAMBELL, A. W.—FISHER, D. W. 1966: Chemical composition of rainfall eastern North Carolina and south-eastern Virginia. — U.S. Geol. Survey Water-Supply, Paper 1535-K, 41.

GAZDA, S. 1983: Znečisťovanie prírodného prostredia a podzemné vody — vzájomné vzťahy a problémy. — In: Hydrogeochemické problémy znečisťovania prírodných vôd. Konferencie—Sympóziá—Semináre, Geol. ústav D. Štúra, Bratislava, 9—19.

GAZDA, S.—BODIŠ, D.—RAPANT, S.—VRANA, K. 1980: Rozpracovanie metód ochrany podzemných vôd pred znečistením. Manuskript, archív Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 52.

GAZDA, S.—LOPAŠOVSKÝ, K. 1983: Chemické zloženie zrážok na území Slovenska. — In: Hydrochemické problémy znečisťovania prírodných vôd. Konferencie—Sympóziá—Semináre, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 63—71.

HERRMANN, A. 1975: Chemical composition of a polluted snow cover. — In: Isotopes and impurities in snow and ice. Proc. of the Grenoble Symp., Aug./Sept. 1975, 121—126.

CHRISTOPHERSEN, N.—SEIP, H. M. 1982: A model for streamwater chemistry at Birkenes, Norway. — Water Resources Research, 18, 4, 977—996.

LIKENS, G. E.-BORMANN, H.—PIERCE, R. S.—EATON, J. S.—JOHNSON, M. 1977: Biogeochemistry of a forested ecosystem. — Springer-Verlag, New York—Heidelberg—Berlin, 146.

LUKNIŠ, M. et al. 1972: Slovensko—Príroda. — Obzor, Bratislava, 917.

MOLDAN, B. 1980: The analysis of atmospheric precipitation in Czechoslovakia. — In: Ecological impact of acid precipitation. Proc. of Int. Conf., Sandefjord, Norway, March 11—14, 1980, edit. D. Drabløs and A. Tollan.

MOLDAN, B. 1985: Kyselá atmosferická depozice a její důsledky (Úvod). — Sb. z prac. semin. — Praha 16. 4. 1985, edit. J. Černý, 1—6.

OGDEN, J. G. 1980: Comparative composition of continental and Nova Scotian precipitation. — In: Ecological impact of acid precipitation. Proc. of Int. Conf., Sandefjord, Norway, March 11—14, 1980, edit. D. Drabløs and A. Tollan.

PAČES, T.—MOLDAN, B. 1979: Geochemie současných přírodných procesů. — In: Sb. předn. Seminář k 60. výročí založení Ústředního ústavu geologického. Ústř. Úst. geol., Praha, 67—76.

PISARSKIJ, B. I.—CHAUSTOV, A. P. 1981: The role of precipitation in the formation of saline groundwater runoff from rivers in the Baikal area. — Water Quality Bulletin, 67, 1, 24—25.

ŠANTROCH, J. 1985: Sledování kvality srážek a mokré depozice. — In: Kyselá atmosferická depozice a její důsledky. Sb. z prac. semin. — Praha 16. 4. 1985, edit. J. Černý, 11—14.

ŠKVARKA, L. et al. 1983: Hydrogeologické pomery juhozápadnej časti Iraku, Block 1, 2, 3, Bagdad.

WAGNER, G. H.—STEELE, K. F. 1985: Use of rain and dry deposition compositions for interpreting groud-water chemistry. — Ground Water, 23, 5, 611—616.
WRIGHT, R. F.—DOVLAND, H. 1977: Regional surveys of the chemistry of the snowpack in Norway late winter 1973, 1974, 1975 and 1976. — Research report 12/77, SNSF, A. Tollan, Oslo, 29.

K. VRANA—D. BODIŠ—K. LOPAŠOVSKÝ—S. RAPANT

Regional hydrogeochemical evaluation of quality of snow pack in Slovakia

Summary

In 1976 the regional — hydrogeochemical study of chemical composition of the snow pack started on the Slovak territory. The purpose of the study is to get information about chemical composition of water solutions resulting form the thawing snow pack (including dust deposition of natural and anthropogenic origin) and after infiltration participating in chemical composition of groundwaters. Since the mineral content of precipitation waters has a double origin (natural and anthropogenic), the study of precipitation water chemical composition also results in information about the pollution of atmosphere and about its influence upon groundwater quality.

In 1976—1985 the study of the snow pack chemical composition was performed at 44 localities in Slovakia (Fig. 1). The number of measurements at single localities is seen in Table 1 and specified in the description of localities (Fig. 1).

Samples were taken at the end of the winter season in the second half of January and at the end of February from the entire profile of the snow pack so as to characterize chemical composition of water solutions resulting from the spring snow thawing. Snow was taken into polyethylene bags cleaned thoroughly before sampling. Immediately after natural melting the snow samples were homogenized and all unstable component were determined or fixed in the field. The samples were transported to the hydrochemical laboratory in polyethylene bottles filled without filtration and analyzed by standard methods (JAM, ÚÚG Prague). Na, K, Ca, Mg, Sr, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Al were determined by atomic-absorption spectrophotometry. Copper, lead and zinc in concentrations below 0.01 mg.l^{-1} were determined from re-concentrated solutions obtained by vaporization of 500 ml sample acidized by HNO_3 or HCl to 25 ml. Checking was made by extraction out these elements with ammonium pyrolidinditiocarbamine into methylizobutylketon at pH 3.7 and by injecting the separated organic phase into flame. The results obtained by both methods were practically identic. The results of determination of Al in flame acetylene — N_2O or by the ETA were checked by the spectrophotometric method with chromazurol S.

Nitrites, nitrates, ammonium and silica were determined by standard spectrophotometric methods. Chloride were determined by ionselective electrode and by colorimetry; bicarbonates by pontentiometric titration up do pH 4.5; sulphates by gravimetry.

The values presented in the text as 0 were below following detections limits: Na, K, Mg 0.005 mg.l^{-1}; Ca, Cl 0.05 mg.l^{-1}; NH_4 0.03 mg.l^{-1}; SiO_2 0.1 mg.l^{-1}; SO_4 0.5 mg.l^{-1}; Sr, Zn, Cu 1 μg.l^{-1}; Mn, Pb 2 μg.l^{-1}; Fe 5 μg.l^{-1}; Al 10 μg.l^{-1}.

The average chemical composition of snow pack in Slovakia determined on the basis of results of 10 years' study (1976—1985) at 44 localities is given in Table 1. The T.D.S. of snows in this period varied within 3.70—162.76 mg.l^{-1}. Most samples (68 %) showed T.D.S. 10—30 mg.l^{-1}. In 16 % the T.D.S. was below 10 mg.l^{-1} 11 % of samples had T.D.S. 30—50 mg.l^{-1} and 5 % snow samples had T.D.S. above 50 mg.l^{-1}.

The distribution of T.D.S. values on the Slovak territory based on the average T.D.S. values of snows from single localities is given in Fig. 2 and 3. It is evident that the lowest average T.D.S. values are associated with mountain areas (for instance the localities Skalnaté pleso 10.25 mg.l^{-1}, Ľupčianska dolina 12.12 mg.l^{-1}, Čertovica 12.87 mg.l^{-1}, Chopok-Srdiečko 13.02 mg.l^{-1}, Lomnický štít 13.04 mg.l^{-1}, Vrátna dolina 13.88 mg.l^{-1}) and th highest values are associated with the lowlands areas (Vojany 39.12 mg.l^{-1}, Bratislava-Slovnaft 38.57 mg.l^{-1}, Patince 35.04 mg.l^{-1}, Ska-

lica 28.88 mg.l^{-1}) or to some midmountain and depression localities (Pezinská Baba 45.15 mg.l^{-1}, Zádielska dolina 39.07 mg.l^{-1}, Plešivec 36.16 mg.l^{-1}, Nitra-Zobor 30.98 mg.l^{-1}, Trenčianske Jastrabie 28.98 mg.l^{-1}, Handlová-Nová Lehota 27,97 mg.l^{-1}, Lokca 27,14 mg.l^{-1}). This regularity is associated with the distribution of contamination sources in lower-situated areas and with the character of dispersion of air masses in the winter season. Lower situated localities, usually near larger contamination sources more-or-less suffer from anthropogenic influence, mostly the components originating from dry deposition. Towards higher localities the dust contamination is gradually dispersing and T.D.S. values of snow are decreasing. This is also documented by Fig. 4 showing the relation of the content of terrigenous or anthropogenic components to altitude of the locality above sea level.

The analysis of chemical composition of snowpack solutions shows that also in the case of localities with the lowest T.D.S. (mountain areas, relatively clean) the components reflecting anthropogenic influence dominate in the general chemical composition of snows. In the most part of Slovakia the snow pack shows chemical composition of the $Ca > NH_4 > Mg$ or $SO_4 > NO_3$ type (equivalent ratios). The influence of larger contamination sources has its specific reflection in chemical composition of snows near the source. Regional investigations revealed high content of chlorides in snows from entire Slovakia. Their average contents in single localities varied from 2.13 (Muránska planina, Dobšiná) to 6.47 mg.l^{-1} (Bratislava-Slovnaft). The long-lasting study also resulted in significant data concerning snow solutions acidity. Although the range of pH values is rather wide (3.70—9.40), in respect of water management and ecology most significant is the fact that almost a half of samples (49.4 % of samples, n = 413) showed pH < 4.4 and more than 10 % samples had pH < 4.0. The highest snow acidity is characteristic of the mindmountain areas (400—850 m above sea level), relatively less contaminated with dust deposition (Fig. 6, 7, and 8).

The results of the 10 years' study show that the character of chemical composition of snow is also affected with the total precipitation for the respective period (Fig. 9). This phenomenon should be studied more thoroughly because it may facilitate explanation of ecological consequences.

Minor and trace components show great variability of the values of their concentration in time and areal terms. The concentration values of individual components varied as follows: SiO_2 0.11—4.70 mg.l^{-1}, Sr 10—780 mg.l^{-1}, Mn 0—8.62 mg.l^{-1}, Fe 0.007—3,50 mg.l^{-1}, Al 0—20 mg.l^{-1}, Zn 0—680 mg.l^{-1}, Cu 0—390 mg.l^{-1}, Pb 0—320 mg.l^{-1}.

Quantification of the results of chemical analyses of snowpack is associated with information about the total salt content recharging into groundwater after snow thaw. The calculated data (Tab. 2, Fig. 10) show that in areas of more intensive industry and agriculture the potential deposition of salt by precipitation in winter season (X—III) may be 7.0—10.0 g.m^{-2} and in places even more. On the rest of the territory mainly in infiltration areas of precipitation water the salt amounts do not exceed 7.0 g.m^{-2}. In case of components interesting from the view of water management the values vary as follows: sulphates 1.8—3.0 g.m^{-2}, nitrates 0.80—1.60 g.m^{-2}, ammonium 0.25—0.50 g.m^{-2}. Relative loading of the Slovak territory with atmospherogenic salts is given in Fig. 11. The numeric values represent "surpluses" of potential deposition of salt amounts by winter precipitation (X—III) in relation to the "background" locality Lomnický štít (Nr. 35, 2632 m above sea level).

The results presented in this paper are significant for three reasons:

a. New information about chemical composition of snows. The data together with information of other institutions enable a complex evaluation of the Czechoslovak territory and a more exact ranging of Slovakia into the known schemes of the distribution of chemical composition of precipitation in Europe.

b. The data represent a basis for more exact balance of salts in the precipitation — groundwater system.

c. The data are significant for more exact information about chemical regime of atmosphere in the winter season in Slovakia, hence they are also interesting for ecology.

Explanation of text-figures and tables 1, 2

Fig. 1 Localization of snow sampling
Localization of sampling locaties (chronology of sampling is in brackets):
1 — Bratislava near Slovnaft, 150 m above sea level (1979—81, 1983—85), 2 — Bratislava-Železná Studnička, 250 m above sea level (1976—85), 3 — Pernek — 4 km ESE of the village, 100 m above the road from Pernek to Pezinok, 540 m above sea sevel (1976—85), 4 — Skalica — 4 km ESE of the northern periphery of the village, near Zlatnícky potok brook, 280 m above sea level (1976—85), 5 — Starý Hrozenkov — 1.6 km NW of the village, 500 m above sea level (1976—85), 6 — Trenčianske Jastrabie — 1.4 km S of the village, at the road to Dubodiel 500 m above sea level (1976—85), 7 — Homôlka — 5 km NW of Valaská Belá, 770 m above sea level (1976—85), 8 — Nitra 400 m N of the town, below the cable-car to Zobor hill 520 m above sea level (1976—85), 9 — Patince 600 m E of the village, near the Danube dam, 130 m above level (1976—81, 1983—85), 10 — Opavská hora — 2.5 km NW of Opava, 520 m above sea level (1977, 1979—85), 11 — Banský Studenec — 1.5 km ESE of the village, 680 m above sea level (1976—85), 12 — Lehôtka pod Brehy — 200 m S of the village, 300 m above sea level (1977—85), 13 — Handlová-Nová Lehota — 500 m W of the village, 600 m above sea level (1978—85), 14 — Podhradie pri Novákoch — 50 m NE of the village, 570 m above sea level (1976—77), 15 — Martinské hole — 3.5 km SW of Vrútky, 770 m above sea level (1976—77, 1979—85), 16 — Vrátna dolina — 3.5 km S of Terchová, 650 m above sea level (1976—85), 17 — Oščadnica — 1 km E of the village, 875 m above sea level (1976—85), 18 — Lokca — 1 km NE of the village, 750 m above sea level (1977—85), 19 — Ružomberok — 100 m above the cable-car station to Malinô Brdo, 550 m above sea level (1976—85), 20 — Ľupčianska dolina — cross-roads P. Ľupča—Železnô, 830 m above sea level (1976—85), 21 — Donovaly — 500 m S of Hotel Šport, 970 m above sea level (1976—85), 22 — Horný Tisovník — 750 m NNW of the village, 470 m above sea level (1976—85), 23 — Chopok-Srdiečko — 1110 m above sea level (1976—85), 24 — Čertovica — 150 m SSE of motel, 1260 m above sea level (1976—85), 25 — Chopok-Jasná — 1180 m above sea level (1976—85), 26 — Štrbské pleso — 100 m N of Hotel FIS, 1400 m above sea level (1976—77, 1979—85), 27 — Muránska planina — 2.5 km WNW of Muránska Huta, 880 m above sea level (1976—85), 28 — Hajnáčka — 500 m ENE of the village, 330 m above sea level (1977—85), 29 — Plešivec — 4 km S of the village, 350 m above sea level (1976—85), 30 — Rochovce — 500 m SW of the village, 400 m above sea level (1977—85), 31 — Dobšiná — 3.5 km N of the village, 850 m above sea level (1976—85), 32 — Pusté Pole — 500 m W of the railway station Vernár, 950 m above sea level (1976—85), 33 — Tatranská Lomnica — at the cable-car station, 900 m above sea level (1976—85), 34 — Skalnaté pleso — 1751 m above sea level (1976—85), 35 — Lomnický štít — 2632 m above sea level (1976—79, 1981—85), 36 — Červený Kláštor — 1.8 km SSE of the village, 560 m above sea level (1976—85), 37 — Branisko — at the monument, 770 m above sea level (1976—85), 38 — Zádielska dolina, 1 km N of Zádielské Dvorníky, 570 m above sea level (1977—85), 39 — Slanec — 1.8 km SW of the village, 450 m above sea level (1978—85), 40 — Zlatá Baňa — 1.5 km ESE of the village, 670 m above sea level (1976—85), 41 — Dukla — at the monument, 480 m above sea level (1976—85), 42 — Remetské Hámre — 4 km NNE of the village, 500 m above sea level (1976—85), 43 — Vojany — 1.2 km W of the village, 120 m above sea level (1976, 1978—79, 1981—85), 44 — Cejkov near Kráľov. Chlmec, 1.8 km WSW of the village, 200 m above sea level (1976, 1978—79, 1981—85).

Fig. 2 Distribution of average values of T.D.S. and concentrations of sulphates, nitrates and ammonium in snow in Slovakia
Explanation:

T.D.S.	1	< 16,0	SO_4	1	< 4,0
($mg.l^{-1}$)	2	16,0—23,0	($mg.l^{-1}$)	2	4,0—7,0
	3	23,1—30,0		3	7,1—10,0
	4	> 30		4	> 10
NO_3	1	< 2,0	NH_4	1	< 0,70
($mg.l^{-1}$)	2	2,0—4,0	($mg.l^{-1}$)	2	0,70—1,40
	3	> 4,0		3	> 1,40

Fig. 3 Relation of T.D.S. of snows to altitude of localities above sea level

Fig. 4 Relation of Ca-content (a), ammonium (b), Al- and Fe (c) contents to altitude of localities above sea level

Fig. 5 Comparison of content of chlorides and Na in precipitation of different areas
1 — G. E. LIKENS et al. (1977), Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire [USA], weighted annual mean of components concentration for the period 1963—74, 2 — O. P. BRICKER et al. (1968), Pond Branch, Piedmont Province, Maryland (USA), the average of 7 precipitation analyses (III. 1966—II. 1967), 3 — L. ŠKVARKA et al. (1983), chemical analyses of precipitation from the area of Salaman, Iraq, 4, 5 — T. PAČES—B. MOLDAN (1979), average concentrations in precipitation alone (4) and precipitation including dry deposition (5) from the area of Pacov (Českomoravská vrchovina upland), 6, 7, 8, 9 — A. HERRMANN (1975), chemical analyses of fresh snow from the area of Munich (6, 7) and Lainbachtal (8, 9), W. Germany, 10, 11, 12 — B. MOLDAN (1980), average composition of precipitation alone for the period IX. 1977—VIII. 1978 from Bohemia, clean area (10), periphery of industrial area (11), centre of industrial area (12), 13, 14 — J. G. OGDEN (1980), average chemical composition of precipitation from NE part of the USA (Nova Scotia), continental precipitation (13), precipitation events influenced by sea currents (14), 15, 16 — W. A. H. ASMAN—J. SLANINA (1980), chemical analyses of precipitation of the continental period from the area of the Netherlands, 17 — chemical analyses of precipitation water (fresh precipitation) from the area of Želenzô, Nízke Tatry Mts., material of GÚDŠ Bratislava, 18, 19 — chemical analyses of fresh (18) and old (19) snows from Jánska dolina, Nízke Tatry Mts, material of GÚDŠ Bratislava, 20, 21, 22, 23 — J. ŠANTROCH (1985), average chemical composition of precipitation water from Bohemia, 20 — Hradec Králové, 21 — Přísečnice—Krušné Hory, 22 — Jizerka—Jizerské hory (for 1983), 23 — Přimda—Český les (for IX—XI 1983), 24 — M. CEROVSKÝ (1983) average chemical composition of precipitation from Chopok—Nízke Tatry Mts. (for 1981), 25 — N. CHRISTOPHERSEN—H. M. SEIP (1982), average chemical composition of precipitation from Birkenes river basin (Norway), zone of maximum deposition of acid components, 26, 27 — D. W. FISHER (1968) average chemical composition of precipitation from eastern North Carolina and SE Virginia (USA) for VII. 1962—VI. 1963 (26) and VII. 1963—VI. 1964 (27), 28 — A. W. GAMBELL—D. W. FISHER (1966) average chemical composition of precipitation from eastern North Carolina and SE Virginia for VIII. 1962—VI. 1963, 29, 30 — E. GJESSING et al. in R. F. WRIGHT —H. DOVLAND (1977), average chemical composition of snow in Norway (1973—1976), localities 4—88 and 89—207 (30), 31—36 chemical analyses of snow samples from monitoring station of HMÚ SAV Bratislava (Jasná pod Chopkom, Nízke Tatry Mts.), spring 1986, material of GÚDŠ Bratislava.
Points without numerals represent average values of chemical analyses of snow, published in this paper.

Fig. 6 Comparison of relation of average pH values (a) and main anions SO_4 (b), NO_3 (c), Cl (d) to altitude of localities above sea level

Fig. 7 Relation of average pH values to T.D.S. of snow and altitude of localities above sea level

Fig. 8 Areal distribution of pH values in snows in Slovakia

Fig. 9 Relation of average pH values, T.D.S., sulphates, nitrates, chlorides to total annual precipitation (1976—1985)

Fig. 10 Graphical illustration of potential deposition of salts by precipitation in winter season (X—III) in Slovakia
a — total deposition of salts, b — deposition of sulphates, c — deposition of nitrates, d — deposition of ammonium

Fig. 11 Relative loading of Slovak territory with atmospherogenic salts. Numeric values represent "surpluses" of potential deposition of salts by winter precipitation (X—III) in relation to "background" locality Nr. 35 (Lomnický štít, 2632 m above sea level)

Table 1 Average chemical composition of snowpack in Slovakia for 1976—1985
Explanation:
X — arithmetic mean 1/n = 6 min. — minimum value 3/n = 8
s — standard deviation 2/n = 7 max. — maximum value 4/n = 9

Table 2 Calculated values of potential total deposition of salts and individual components SO_4, Cl, NO_3 and NH_4 by precipitation for the winter half of the year (X—III) and the winter quarter of the year (XII—II)

Translation: E. Jassingerová

Západné Karpaty, hydrogeológia a inž. geol. 7, s. 129—155, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava 1989

MICHAL ZAKOVIČ—DUŠAN BODIŠ

Podzemné vody karbonátov mezozoika severozápadných svahov Západných Tatier

2 obr., 12 tab. v texte, 1 mapová príloha, angl. resumé

Abstract. The authors present results of hydrogeological investigation in Mesozoic carbonate formations on NW slopes of the Western Tatra Mts. On the basis of general hydrogeologic conditions the authors distinguished five separate hydrogeologic structures and evaluated them in respect of the drainage mode, results of hydrogeologic balance, hydrogeochemical conditions and quantities of utilizable groundwater.

Obsah

Úvod
Geografická a klimatická charakteristika územia
Geologická stavba územia
Hydrogeologická a hydrogeochemická charakteristika územia
  Hydrogeologická charakteristika
  Hydrogeochemická charakteristika
Vymedzenie hydrogeologických štruktúr a ich bilančné zhodnotenie
  Karbonáty obalovej jednotky
  Karbonáty krížňanského príkrovu
  Karbonáty chočského príkrovu
Orientačné zhodnotenie kvantitatívnych možností využitia podzemných vôd územia
Literatúra
Anglické resumé

Úvod

Narastajúca potreba pitných a úžitkových vôd kladie vysoké nároky na zabezpečovanie nových vodohospodársky využiteľných zdrojov podzemných vôd. V posledných rokoch sa pri vyhľadávaní takýchto zdrojov venuje zvýšená pozornosť pohoriam, najmä ich vápencovo-dolomitickým komplexom, ktoré sú významnou zásobárňou puklinovo-krasových vôd.

RNDr. M. ZAKOVIČ—RNDr. D. BODIŠ, Geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava.

Takéto sú i severozápadné svahy Západných Tatier, kde Geologický ústav Dionýza Štúra urobil hydrogeologický výskum so zameraním na zhodnotenie využiteľných zdrojov podzemných vôd.

Predkladaná práca podáva súbor doterajších hydrogeologických poznatkov o tomto pohorí. Vychádza zo zhodnotenia geologických pomerov pohoria vo vzťahu k hydrogeológii a zo základného hydrogeologického a hydrogeochemického mapovania, z riešenia vzťahov podzemných a povrchových vôd a z režimného pozorovania významných prameňov.

Geografická a klimatická charakteristika územia

Západné Tatry patria k rozsiahlejším slovenským pohoriam. Ich vysoký chrbát sa tiahne západo-východným smerom. Skúmaná časť územia patrí k severnej časti Západných Tatier. Na východe je ohraničená štátnou hranicou s PĽR a na západe dolinou Pribisko. Na severe je morfologicky výrazná hranica s podtatranskou brázdou, južné obmedzenie tvorí vedľajší hrebeň Tatier s najvyššími kótami Bobrovec a Javorina.

Západné Tatry predstavujú popaleogénnu megaantiklinálu, vytvorenú z hornín kryštalinika a mezozoika rozdielneho litologického charakteru, čo sa výrazne odráža na morfologickom charaktere územia, ktoré má veľmi pestrý reliéf. V mäkkých mezozoických horninách, ako sú ílovcové súvrstvia keuperu, slienito-vápencové a bridličnaté súvrstvia kriedy, sú údolia prevažne široké a svahy mierne modelované. V tvrdých horninách, hlavne vo vápencoch a čiastočne i v dolomitoch, majú údolia tvar zovretých až kaňonovitých dolín so strmými svahmi.

Podstatná časť územia klimaticky patrí do mierne chladnej oblasti a hlavný hrebeň Západných Tatier do chladnej až studenej horskej oblasti. Teplota vzduchu klesá so stúpajúcou nadmorskou výškou. Dlhodobý priemer (1901—1950) ročnej teploty vzduchu je 4 °C. Zrážky sú na území rozložené nerovnomerne, pribúdajú v smere od severu na juh v zhode s morfologickými pomermi. Dlhodobý priemerný ročný úhrn zrážok na úpätí pohoria je 1 200 mm a vo vrcholových častiach 1 600 mm. Maximum zrážok spadne vo vegetačnom období v mesiacoch máj až august.

Pri analýze zrážkových pomerov dôležitú úlohu hrá zmena zrážkových úhrnov vo vzťahu k nadmorskej výške. Rozloženie zrážkových úhrnov v horských oblastiach závisí od nadmorskej výšky a orientácie polohy voči prevládajúcim poveternostným vplyvom prinášajúcim zrážky. V dôsledku toho sú západne a severne exponované svahy pri tej istej nadmorskej výške bohatšie na zrážky než južné alebo východné polohy. Priemerné ročné úhrny zrážok v mm v rozličných výškových pásmach Tatier udáva tabuľka 1.

Skúmané územie patrí do povodia Oravy. Od východu smerom na západ je odvodňované Juráňovým potokom, Bobroveckým potokom, čiastočne Studeným potokom a Sivým potokom. Vodnatosť a hydrologický režim povrchových

Tabuľka 1 Priemerné ročné úhrny zrážok v mm v rozličných výškových pásmach Tatier

Nadmorská výška v m	Orientácia svahov		Priemer
	k SZ	k JV	
800	1 080	725	900
900	1 240	840	1 040
1 000	1 380	940	1 160
1 100	1 450	1 015	1 230
1 200	1 520	1 090	1 305
1 300	1 580	1 160	1 370
1 400	1 620	1 230	1 425
1 500	1 660	1 300	1 480
1 600	1 700	1 370	1 535
1 700	1 740	1 440	1 590
1 800	1 780	1 510	1 645

tokov závisí od vlastností povodia, ktoré značne ovplyvňujú odtok podzemných vôd. Maximum vodnatosti tokov v priebehu roka pripadá na mesiac apríl—máj, pričom hlavným zdrojom vody je topiaci sa sneh. V letných mesiacoch niekedy vznikajú podružné maximá ako dôsledok dlhotrvajúcich bohatších zrážok. Vyskytujú sa najčastejšie v júli a v auguste. Najmenej vodnaté mesiace sú január—február, keď sa zrážky hromadia vo forme snehovej pokrývky. Hlavným zdrojom vodnatosti tokov v tomto období sú predovšetkým podzemné vody z karbonátových komplexov mezozoika.

Geologická stavba územia

Západné Tatry predstavujú mohutnú popaleogénnu megaantiklinálu, vytvorenú z kryštalického jadra, na ktorom je uložený mezozoický obal, a to vo forme autochtónnej obalovej jednotky a vo forme krížňanského a chočského príkrovu.

Na zložení kryštalického jadra sa podieľajú granitoidné horniny a kryštalické bridlice, pozostávajúce prevažne z pararúl, migmatitov a amfibolitov.

S kryštalickým jadrom je geneticky spätá obalová jednotka, ktorá je vyvinutá v procese označovanom ako „vývoj Osobitej" (M. MAHEĽ 1967). Je charakterizovaná pestrým vývojom stredného triasu, prítomnosťou krinoidových vápencov v liase, limburgitov v titóne a zvláštnou fáciou neokómu. Má monoklinálnu stavbu s úklonom 60—70° na sever.

Horniny krížňanského príkrovu vystupujú na povrch v súvislom páse medzi kótami Bobrovec a Mihulčie. Stratigraficky patria k strednému triasu až albu.

Sedimenty chočského príkrovu vytvárajú lokálne vrásy, zapadajúce monoklinálne smerom na sever pod sedimenty vnútrokarpatského paleogénu. Tvoria ich stredno- až vrchnotriasové dolomity a lumachelové vápence rétu.

Hydrogeologická a hydrogeochemická charakteristika územia

Hydrogeologická charakteristika

Hydrogeologický režim podzemných vôd je výsledkom súboru činiteľov, z ktorých najvýznamnejšie sú litologické, tektonické a klimatické podmienky.

V tejto kapitole bližšie rozoberieme litologickú charakteristiku hornín a tektonické pomery vo vzťahu k hydrogeológii.

Rozhodujúcim činiteľom pri zvodnení hornín kryštalinika je predovšetkým charakter puklín, hlavne ich roztvorenie. Kryštalinikum bolo v období po svojom vzniku intenzívne tektonicky porušené. Sieť puklín, ktorá vznikla, podmieňuje obeh podzemných vôd v týchto horninách. Vzhľadom na rozdiely medzi fyzikálnymi vlastnosťami granitoidných hornín a kryštalických bridlíc sa obe skupiny odlišujú charakterom rozpukania, a tým aj zvodnenia.

Väčšiu časť skúmaného územia budujú granitoidné horniny, v ktorých sa pukliny a trhliny postupne spájajú so vzrastajúcou hĺbkou. Otvorené pukliny sú zväčša vyplnené sekundárnymi produktmi zvetrávania. Puklinové pramene, ktoré z nich vyvierajú, majú výdatnosť prevažne menšiu ako 0,5 $l.s^{-1}$. Väčšiu výdatnosť dosahujú iba vtedy, keď je puklinový systém dopĺňaný vodami z rozsiahlych pokryvných útvarov.

Väčšia časť zrážok v oblasti kryštalinika infiltruje do pokryvných útvarov (kamenné moria, svahové sute, glaciálne sedimenty), ktoré sú miestami veľmi rozsiahle a vďaka petrografickému zloženiu a nevytriedenosti materiálu sú veľmi dobrým prostredím pre infiltráciu. Časť zrážok v nich infiltrovaných vyteká na povrch vo forme suťových prameňov s výdatnosťami do 5,0 $l.s^{-1}$ (L. MELIORIS 1980).

Mezozoikum obalovej série vystupuje v južnej časti skúmaného územia. Jej najspodnejším členom je spodnotriasové súvrstvie kremencov, ktoré vytvárajú viac-menej súvislý pás. Tvrdé lavice kremencov sú intenzívne tektonicky porušené, preto tu nachádzame množstvo puklín a otvorených trhlín, podmieňujúcich ich priepustnosť, ktorá sa zvyšuje aj intenzívnym zvetrávaním hornín do hĺbky asi 30 m. Z týchto hornín vyviera mnoho puklinových prameňov s výdatnosťou do 0,2 $l.s^{-1}$. Kremence sú na viacerých miestach prikryté dobre priepustným zvetralinovým plášťom, odkiaľ vyvierajú pramene s výdatnosťou do 5,0 $l.s^{-1}$.

Nadložné verfénske súvrstvia, hrubé okolo 100 m, majú flyšoidný charakter. Tvoria nepriepustné podložie a usmerňujú obeh podzemných vôd v nadložných karbonátoch, na ktoré sú v podstatnej miere viazané podzemné vody územia.

Triasové karbonáty obalovej jednotky vystupujú v hodnotenom území v jeho strednej a západnej časti. Tvorí ich komplex hornín, ktorý v spodných polohách začína bridličnatými dolomitmi, smerom do nadložia prechádzajúcimi do celistvých dolomitov a sivých vápencov. Celý komplex je odvodňovaný puklinovými a vrstevnými prameňmi, nachádzajúcimi sa vo vnútri komplexu alebo na styku s nepriepustnými spodnotriasovými sedimentmi.

Jura je transgresívna a tvoria ju celistvé krinoidové vápence prevažne sivej a ružovej farby. Vytvára súvislý pás východo-západného smeru. Najväčšiu

hrúbku dosahuje v Bobroveckej doline, kde z vápencov liasu vyviera viac prameňov, z ktorých najväčšiu výdatnosť dosahuje dnes už vodohospodársky využívaný prameň Bobrovecká dolina (prameň č. 10).

Kriedové súvrstvie je z hľadiska zvodnenia málo významné. Odvodňované je niekoľkými suťovými prameňmi s výdatnosťou do 0,3 $l.s^{-1}$.

Na sedimentoch obalovej jednotky v tektonickej pozícii ležia sedimenty krížňanského príkrovu. Na povrch vystupujú v súvislom páse medzi kótami Bobrovec a Mihulčie. Stratigraficky patria k strednému triasu až albu. Z hľadiska stupňa zvodnenia majú najväčší význam stredno- až vrchnotriasové dolomity. Vytvárajú dve hydrogeologické štruktúry, oddelené od seba nepriepustným keuperským súvrstvím. Odvodňované sú vrstevnými a puklinovými prameňmi vnútri komplexu alebo na styku s nepriepustnými sedimentmi jury.

Súvrstvie karpatského keuperu, ktoré dosahuje hrúbku asi 200 m, obsahuje okrem pestrých ílovitých a slienitých bridlíc aj hrubšie polohy dolomitov. Vyviera z nich niekoľko suťových prameňov s výdatnosťou do 0,2 $l.s^{-1}$.

Vo východnej časti územia a v oblasti kóty Veľká Furkaska ležia v nadloží keuperského súvrstvia sedimenty jury a kriedy. Tvoria ich slienité vápence, ktoré sa rytmicky striedajú s tmavými slienitými bridlicami. Vyššie polohy sú zastúpené súvrstvím rádiolaritov a rádioláriových vápencov dogeru a malmu. Na styku týchto hornín s karpatským keuperom a vo vnútri vlastného komplexu vyviera niekoľko suťových a vrstevných prameňov, ktorých výdatnosti sa pohybujú od 0,01 do 0,5 $l.s^{-1}$.

Horniny chočského príkrovu vytvárajú lokálne vrásy, zapadajúce monoklinálne pod strmým uhlom smerom na sever pod sedimenty vnútrokarpatského paleogénu. Reprezentujú ho sivé zrnité dolomity a tmavé lumachelové vápence rétu. Karbonáty sú v dôsledku svojho rozpukania a čiastočného skrasovatenia vo vnútri komplexu takmer bez prameňov. Spolu s nadložnou bazálnou litofáciou vnútrokarpatského paleogénu tvoria dve hydrogeologicky významné štruktúry, odvodňované formou pretekavých prameňov na styku s ílovcovou litofáciou.

Hydrogeochemická charakteristika

Hydrogeochemické pomery skúmanej oblasti sú veľmi pestré. Vyskytujú sa tu vody výrazného $Ca(Mg)HCO_3$ typu, $Ca(Mg)SO_4$ typu a prechodné typy medzi nimi. V závislosti od toho, ktoré z mineralizačných procesov sa v konkrétnych podmienkach skúmaného územia uplatňujú, rozlišujeme vody karbonátogénne, karbonáto-sulfátogénne a karbonáto-sulfáto-silikátogénne. Pre triasové karbonáty obalovej jednotky je charakteristický výskyt karbonáto-sulfátogénnych, resp. karbonáto-sulfáto-silikátogénnych vôd v prípade prestupu vôd z kryštalinika do mezozoika. Pre triasové karbonáty krížňanského príkrovu sú charakteristické karbonáto-sulfátogénne vody. Typické karbonátogénne vody sú viazané na triasové karbonáty chočského príkrovu, ale aj tu môžeme pozorovať v prípade prestupu vôd z kryštalinika karbonáto-silikátogénny typ vôd.

Formovanie chemického zloženia podzemných vôd severozápadných svahov Západných Tatier je zložitý proces, ktorý prebieha v niekoľkých fázach, charakterizovaných špecifickým súborom rôznych faktorov interakcií. Počiatok vlastne reprezentuje chemické zloženie zrážkových vôd, ktoré reflektuje terigénny, resp. morský pôvod solí a hlavne antropogénne zaťaženie atmosféry. Hlavnými fázami tohto procesu je metamorfóza pôvodných zrážkových vôd pri ich styku s vegetáciou, pôdnym pokryvom a horninovým prostredím. Prevažujúci kyslý charakter zrážkových vôd je v prostredí mezozoických karbonátov pomerne rýchlo eliminovaný, a preto nehrozí tzv. „kyslý šok", charakteristický pre horninové prostredie kryštalinika v našich podmienkach (G. BABIAKOVÁ—D. BODIŠ 1986).

Priestorová variabilita chemického zloženia vôd je determinovaná hlavne geologickou stavbou a časová variabilita predovšetkým zmenami klimatických pomerov. Zmeny chemického zloženia vôd v závislosti od času môžeme pozorovať zároveň so zmenami výdatnosti na príklade prameňa č. 4 — Teplý žľab, kde je ovplyvnený jeho hydrochemický a genetický typ.

Vymedzenie hydrogeologických štruktúr a ich bilančné zhodnotenie

Na základe zhodnotenia vplyvu faktorov podmieňujúcich výskyt a obeh podzemných vôd v danom geologickom prostredí môžeme v jednotlivých tektonických jednotkách vyčleniť 5 hydrogeologických štruktúr. Sú to:

— Karbonáty obalovej jednotky, tvoriace s horninami priľahlého kryštalinika jednu hydrogeologickú štruktúru.

— Karbonáty krížňanského príkrovu, tvoriace dve hydrogeologické štruktúry.

— Karbonáty chočského príkrovu, tvoriace dve hydrogeologické štruktúry.

Karbonáty obalovej jednotky

Triasové a jurské karbonáty obalovej jednotky vystupujú na povrch v súvislom páse medzi Bobroveckou dolinou na východe a kótou Okulík na západe. Spolu s priľahlými svahmi budovanými horninami kryštalinika a spodného triasu, tvoria hydrogeologickú *štruktúru Osobitá* s celkovou rozlohou 8,7 km^2 (príl. 1). Táto štruktúra sa smerom na sever ponára pod nepriepustné sliene a slienité vápence spodnej kriedy. Generálnemu úklonu súvrstvia zodpovedá smer prúdenia podzemných vôd i odvodňovanie územia povrchovými tokmi na sever. Výnimku tvorí západná časť, oblasť Teplého žľabu, kde k odvodňovaniu dochádza smerom na západ. Uvedená hydrogeologická štruktúra je odvodňovaná prameňmi a sčasti povrchovými tokmi. Povrchové toky popri povrchových vodách odvádzajú priamo podzemné vody prestupujúce do nich a vody prameňov vystupujúcich vo vnútri hydrogeologickej štruktúry.

Sumárny výstup podzemných vôd v podobe prameňov bol podrobne hodnotený v júli a auguste 1969. V štruktúre bolo dokumentovaných spolu 31 prame-

ňov s celkovou výdatnosťou 270,9 $l.s^{-1}$, z čoho na horniny kryštalinika a spodného triasu pripadá 25 prameňov s celkovou výdatnosťou 30,8 $l.s^{-1}$ a na karbonáty stredného triasu až jury 6 prameňov s celkovou výdatnosťou 240,1 $l.s^{-1}$.

Z prameňov tejto hydrogeologickej štruktúry boli najvýznamnejšie dva — prameň č. 4 Teplý žľab a prameň č. 10 — Bobrovecká dolina — sústavne sledované Slovenským hydrometeorologickým ústavom v Bratislave. Časový priebeh zmien výdatnosti prameňa Bobrovecká dolina za hydrologické roky 1964—1969 je znázornený na obr. 1.

Sústavné meranie prameňov (tab. 2 a 3) dokumentuje, že podľa klasifikácie stálosti ich výdatnosti, vychádzajúcej z pomeru ich maximálnej a minimálnej výdatnosti (O. DUB 1957), prameň Bobrovecká dolina má charakter stáleho prameňa (pomer maximálnej a minimálnej výdatnosti je 1,7 : 1 až 2 : 1) a prameň Teplý žľab charakter nestáleho (2,1 : 1 až 49,5 : 1).

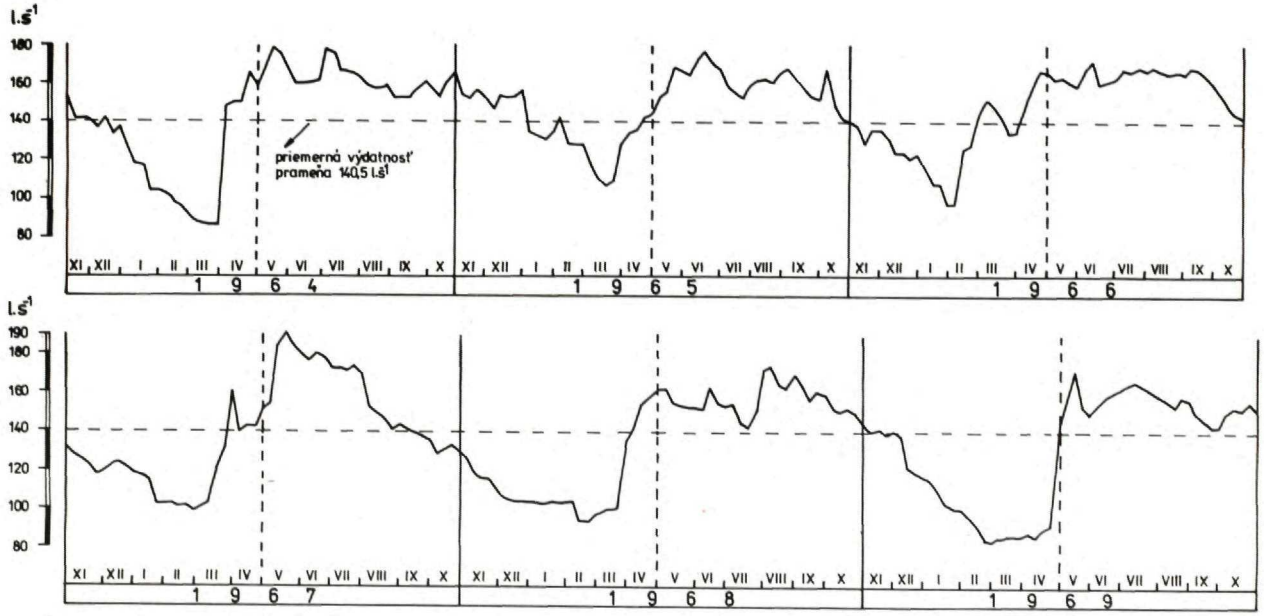
Priemerná výdatnosť prameňa Bobrovecká dolina za pozorované obdobie je 140,5 $l.s^{-1}$.

Tabuľka 2 Minimálne a maximálne výdatnosti sústavne meraného prameňa Bobrovecká dolina

Hydrologický rok	Prameň č. 10 Bobrovecká dolina		
	Q min. $l.s^{-1}$	Q max. $l.s^{-1}$	Pomer $\frac{Q\ max.}{Q\ min.}$
1964	86,3	179	2 : 1
1965	107	177	1,7 : 1
1966	96,7	169	1,8 : 1
1967	99,2	191	1,9 : 1
1968	93	170	1,8 : 1
1969	84,4	166	2 : 1

Tabuľka 3 Minimálne a maximálne výdatnosti sústavne meraného prameňa Teplý žľab

Hydrologický rok	Prameň č. 4 Teplý žľab		
	Q min. $l.s^{-1}$	Q max. $l.s^{-1}$	Pomer $\frac{Q\ max.}{Q\ min.}$
1974	3,6	48,7	13,5 : 1
1975	6,4	40,5	6,3 : 1
1976	3,0	48,4	16,1 : 1
1977	4,8	27,1	5,6 : 1
1978	3,3	45,6	13,8 : 1
1979	4,8	27,1	5,6 : 1
1980	4,1	47,9	11,6 : 1
1981	5,3	40,3	7,6 : 1
1982	5,2	48,9	9,4 : 1
1983	4,7	47,0	10,0 : 1
1984	3,0	39,9	13,3 : 1
1985	1,2	59,5	49,5 : 1

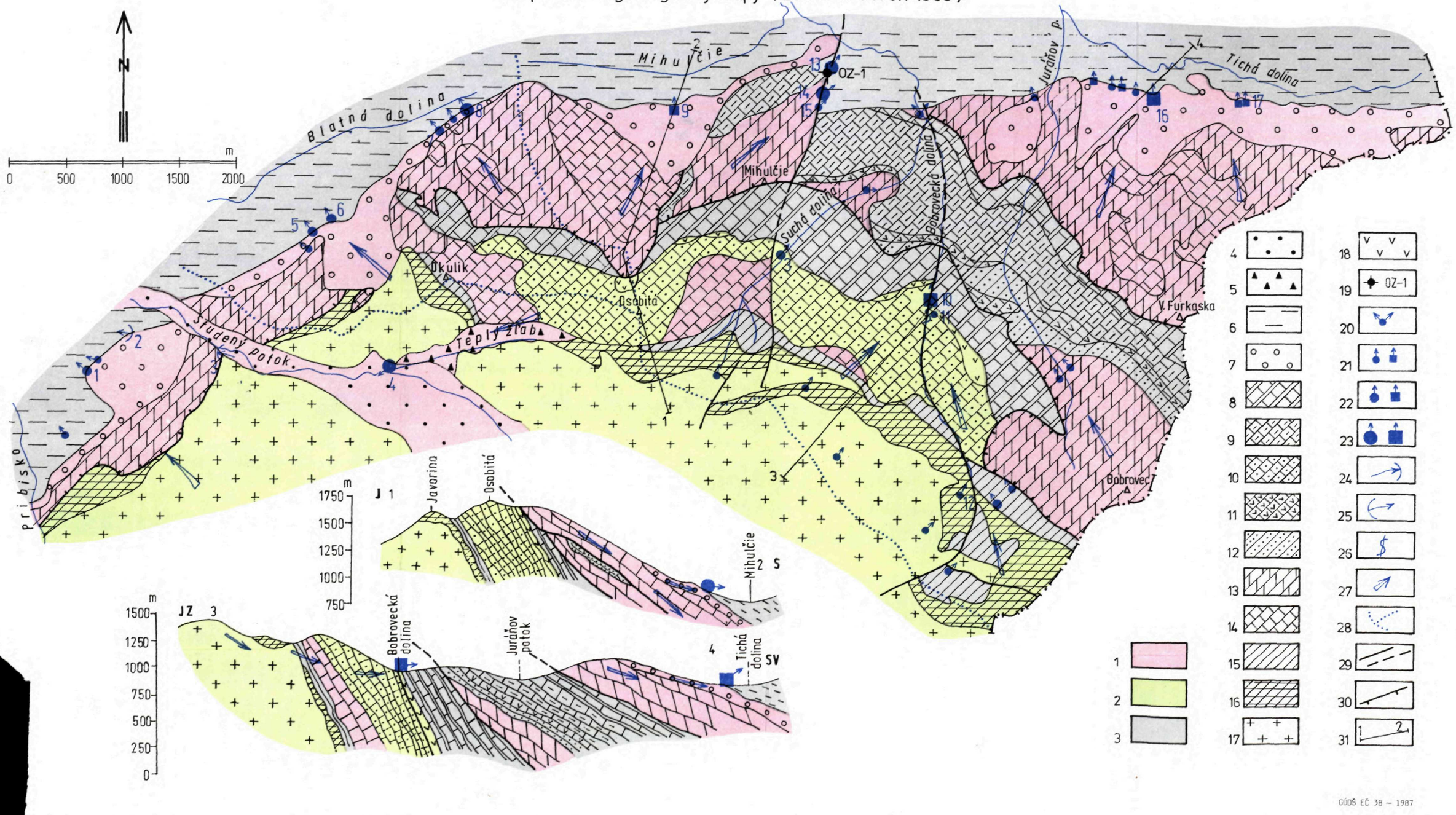


Obr. 1 Časový priebeh zmien výdatnosti prameňa č. 10 Bobrovecká dolina (podľa meraní SHMÚ Bratislava)

SCHEMATICKÁ HYDROGEOLOGICKÁ MAPA MEZOZOIKA SZ SVAHOV ZÁPADNÝCH TATIER

ZOSTAVIL M. ZAKOVIČ 1986

(s použitím geologickej mapy 1:25000 A. Gorek 1965)



GÚDŠ EČ 38 – 1987

Interpretácia čiar vyprázdňovania prameňa Bobrovecká dolina

Prameň Bobrovecká dolina bol sústavne meraný v období od 1. XI. 1964 do 31. X. 1969 (obr. 1). Z meraní boli vyhodnotené štyri čiary vyprázdňovania s dlhodobým trvaním, dostatočne reprezentujúce charakter vyprázdňovania podzemných vôd z infiltračnej a akumulačnej oblasti prameňa (tab. 4). Vyhodnotenie a interpretáciu urobil E. KULLMAN (1986).

Tabuľka 4 Prehľad vyhodnotenia čiar vyprázdňovania prameňa Bobrovecká dolina

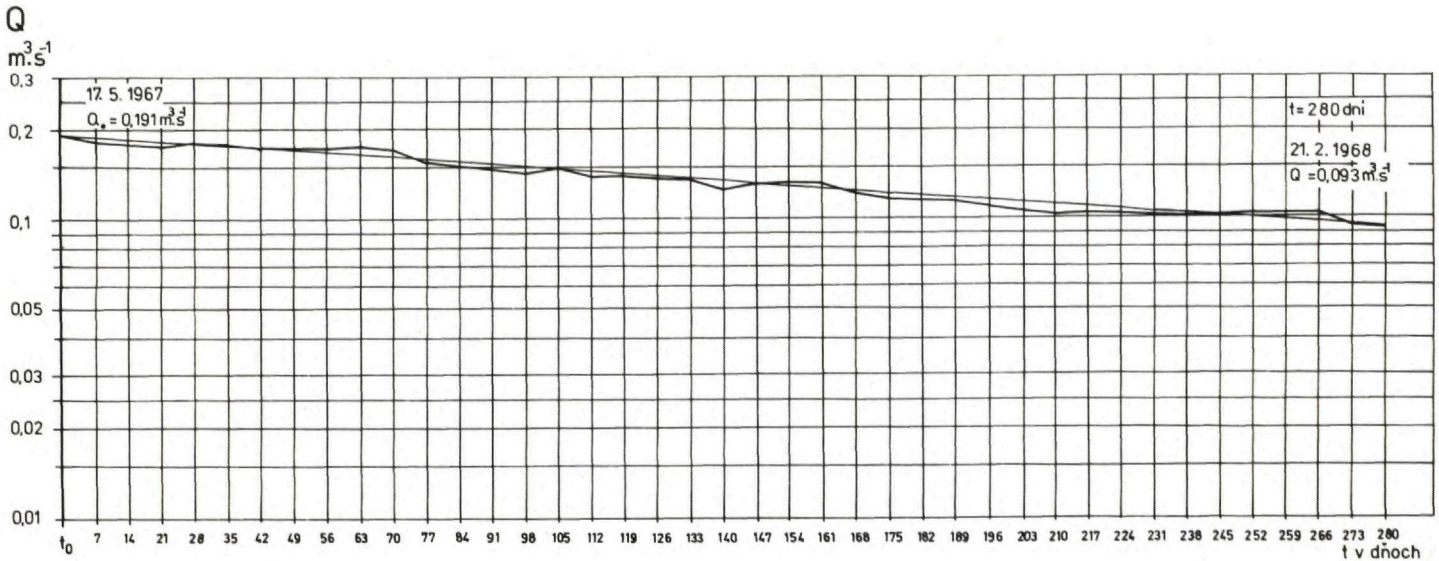
Dátum od—do	Počet dní	Qo ($m^3 . s^{-1}$)	Qt ($m^3 . s^{-1}$)	α
6. 11. 63—25. 3. 64	140	0,154	0,086	$4{,}13654 . 10^{-3}$
6. 10. 65—2. 2. 66	119	0,159	0,097	$4{,}15283 . 10^{-3}$
17. 5. 67—21. 2. 68	280	0,191	0,093	$2{,}57023 . 10^{-3}$
7. 8. 68—26. 3. 69	231	0,175	0,086	$3{,}07042 . 10^{-3}$

Všetky vybraté čiary dokumentovali vyprázdňovanie podzemných vôd podľa jednoduchej exponenciálnej rovnice v podobe $Q_t = Q_o e^{-\alpha t}$ s nízkymi hodnotami koeficientu α, ktorý sa pohyboval v hraniciach $2{,}57023 . 10^{-3}$—$4{,}15283 . 10^{-3}$.

Zákonitosti vyprázdňovania podľa jednoduchej exponenciálnej rovnice, nízke a medzi jednotlivými čiarami málo variabilné koeficienty vyprázdňovania α, ako aj dlhodobé trvania jednotlivých čiar vyprázdňovania dokumentujú, že po hydrogeologickej stránke je prameň viazaný na priepustnú tektonickú poruchu, vyplnenú pravdepodobne homogénnym znosovým materiálom z kryštalinika, ktorá má veľký hydraulický dosah. Výstup vôd v prameni podmieňujú nepriepustné slienité vápence a bridlice spodnej kriedy (príl. 1). Režim podzemných vôd v poruche má jednoduché laminárne prúdenie. Drvený materiál významne vplýva na vyprázdňovanie podzemných vôd z horninového prostredia a v značnej miere stiera výkyvy spôsobené občasným doplňovaním podzemných vôd v priebehu ich celkového vyprázdňovania.

Chemické zloženie podzemných vôd hydrogeologickej štruktúry Osobitá

Predstavu o chemickom zložení podzemných vôd v hydrogeologickej štruktúre Osobitá na príklade vybraných prameňov, resp. povrchového toku, nám dokumentuje tabuľka 5 a 6. Formovanie chemického zloženia podzemných vôd jednotlivých prameňov je pomerne komplikované. Jeden z najvýznamnejších prameňov tejto hydrogeologickej štruktúry, prameň Bobrovecká dolina, ako už bolo uvedené, z hľadiska hydrologickej klasifikácie výdatnosti patrí medzi stále. Tento charakter prameňa potvrdzuje aj chemické zloženie vôd zo vzoriek, ktoré sa odobrali počas vysokej (v období jarného topenia snehov) a nízkej výdatnosti. Hodnoty koncentrácie jednotlivých iónov sa odlišujú veľmi málo, pričom najrozdielnejšie (do 3 %) sú hodnoty obsahov hydrogénuhličitanov, ktoré sú najlabilnejšou zložkou karbonátovej rovnováhy a ich hodnota sa mení hlavne



Obr. 2 Čiara vyprázdňovania prameňa č. 10 Bobrovecká dolina (17. 5. 1967—22. 2. 1968)

s parciálnym tlakom CO_2. Podzemné vody sú nevýrazného kalciovo-magnéziovo-hydrogénuhličitanového typu s pomerne výrazným zastúpením kalciovo-sulfátovej zložky. Hodnota celkovej mineralizácie kolíše s malým rozptylom okolo 230 mg . l^{-1}. Vychádzajúc z uvedených faktov môžeme hodnotiť podzemné vody prameňa Bobrovecká dolina ako vody s rýchlym plytkopodpovrchovým obehom, v ktorom je kontakt s horninovým prostredím pomerne krátkodobý, a z toho dôvodu aj celkový kvantitatívny efekt interakcií hornina—voda pomerne nízky. Dôkazom toho je aj nedosýtenosť vôd oproti kalcitu, dolomitu i sadrovcu. Infiltračnú oblasť prameňa netvoria iba karbonátové horniny (viď hodnoty A_2 v tab. 5), spodnotriasové bridlice a pieskovce s rozptýleným sadrovcom obalovej série (viď zvýšené obsahy síranov a $S_2(SO_4)$ v tab. 5 a 6), ale sú čiastočne dotované aj z kryštalinika, čomu nasvedčuje v priemere nižšia mineralizácia, ako aj hodnota koeficientu (Na + K)/(Mg + Ca), ktorá sa pohybuje v rozmedzí 0,016—0,018. Podľa S. RAPANTA (in E. KULLMAN a kol. 1985) hodnota tohto koeficientu pre karbonátogénne vody je pod 0,01 s priemerom 0,006 a v silikátogénnych vodách je výrazne vyššia (nad 0,1). Pri prameni č. 12, ktorý vyviera z kremencov, je táto hodnota 0,119. V chemickom zložení vôd prechodných typov, ako napríklad v tomto prípade, kedy karbonáty drénujú vody z kryštalinika, má proces rozpúšťania karbonátov, resp. sadrovca (anhydritu), vyšší kvantitatívny účinok, a preto pomerne rýchlo metamorfuje ich pôvodné chemické zloženie. Pre lepšiu ilustráciu postupnosti metamorfózy môžeme porovnať chemické zloženie vôd z prameňa č. 12 (výver z kremencov, horninové prostredie podobné kryštaliniku) s mineralizáciou 63,25 mg . l^{-1}, ktoré možno teoreticky pokladať za východiskové; ďalej chemické zloženie vody z povrchového toku nad prameňom č. 10 Bobrovecká dolina s mineralizáciou 95,7 mg . l^{-1}, teda už čiastočne metamorfované prechodom do karbonátového prostredia, a nakoniec samotný prameň č. 10 Bobrovecká dolina. Chemické zloženie vôd prameňa č. 11 je ovplyvnené pretekaním vôd z povrchového toku (ich pomer je asi 1,5 : 1), čo dokumentuje aj porovnanie ich celkových mineralizácií.

Veľmi zaujímavé je chemické zloženie vôd prameňa č. 4 Teplý žľab, ktorý vyviera z deluviálnych sedimentov. Na rozdiel od prameňa Bobrovecká dolina má prameň Teplý žľab z hľadiska klasifikácie hydrologickej stálosti nestály charakter (tab. 3), ktorý potvrdzujú aj zmeny chemického zloženia vôd v obdobiach minimálnej a maximálnej výdatnosti (tab. 5 a 6). Zmeny hodnôt celkovej mineralizácie sú úmerné zmenám výdatnosti prameňa. Nestály hydrologický charakter prameňa sa však odráža i v jeho chemickom zložení až do takej miery, že sa mení chemický typ vody z nevýrazného kalciovo-magnéziovo-hydrogénuhličitanového typu pri vyššej výdatnosti na nevýrazný kalciovo-magnéziovo-sulfátový typ pri nižšej výdatnosti (tab. 5, 6). Najväčším zmenám podliehajú ióny vápnika, horčíka a síranov. Podstata tohto hydrogeochemického javu je odrazom hydrogeologických pomerov v infiltračnej a vývervej oblasti prameňa Teplý žľab. Deluviálne kvartérne sedimenty, tvorené kamenitými suťami, drénujú vody z kryštalinika a tiež vody zo spodno- a strednotriasových sedimentov obalovej série. Povodie Teplého žľabu je počas väčšej časti roka bez povrchové-

Tabuľka 5 Chemické zloženie podzemných vôd hydrogeologickej štruktúry Osobitá

Názov prameňa	T_v (°C)	pH	M ($mg.l^{-1}$)	Li^+	Na^+	K^+	NH_4^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Sr^{2+}	Mn^{2+}	Fe^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2+}	HCO_3^-
Bobrovecká dolina prameň č. 10	5,5	7,3	227,96	0,004	0,70	0,65	0,0	11,00	40,50	0,50	0,004	0,030	3,19	2,65	51,85	112,28
Bobrovecká dolina prameň č. 10	6,5	7,3	234,68	0,003	0,95	0,55	0,0	11,10	41,50	0,51	0,004	0,018	2,13	2,80	52,65	117,16
Bobrovecká dolina prameň č. 11	5,5	7,4	143,89	0,002	0,90	0,55	0,11	7,30	23,50	0,20	0,002	0,015	1,77	1,40	19,75	82,99
Bobrovecká dolina odber z potoka	6,0	7,0	95,70	0,003	0,95	0,60	0,0	5,40	14,00	0,12	0,004	0,029	1,06	4,70	11,10	55,53
Teplý žľab prameň č. 4	6,0	7,2	229,48	0,004	1,15	0,60	0,0	7,40	46,00	0,58	0,002	0,050	3,19	1,70	60,90	101,90
Teplý žľab prameň č. 4	5,0	7,4	300,82	0,002	1,05	0,75	0,0	11,00	62,00	0,58	0,004	0,028	3,19	3,45	109,45	103,12
Bobrovecká dolina prameň č. 12	2,9	6,7	63,35	0,004	0,65	0,75	0,0	4,00	7,50	0,18	0,002	0,018	1,77	5,20	9,45	31,12

Poznámka: hodnoty koncentrácie jednotlivých iónov sú udané v $mg.l^{-1}$

Tabuľka 6 Základná hydrogeochemická charakteristika podzemných vôd hydrogeologickej štruktúry Osobitá

Názov prameňa	pCO_2 (MPa)	$S_2(SO_4)$	A_2	Mg/Ca	CO_4/M	$Sr/Ca.10^3$	I_c	K_s	K_d
Bobrovecká dolina prameň č. 10	$4,44.10^{-4}$	35,34	60,24	0,45	0,18	5,64	−1,04	−6,52	−18,63
Bobrovecká dolina prameň č. 10	$4,70.10^{-4}$	35,12	61,48	0,44	0,18	5,60	—0,99	−6,50	—18,55
Bobrovecká dolina nad prameňom č. 11	$2,65.10^{-4}$	22,29	73,72	0,51	0,11	3,84	−1,27	−7,12	−19,04
Bobrovecká dolina odber z potoka	$4,53.10^{-4}$	18,53	72,87	0,64	0,09	3,86	—2,04	−7,56	−20,48
Teplý žľab prameň č. 4	$5,11.10^{-4}$	41,49	54,59	0,27	0,21	5,75	−1,12	−6,39	−19,02
Teplý žľab prameň č. 4	$3,17.10^{-4}$	55,38	41,05	0,29	0,28	4,27	−0,84	−6,05	−18,39
Bobrovecká dolina prameň č. 12	$4,88.10^{-4}$	23,39	60,58	0,88	0,12	10,69	−2,93	−7,87	−22,04

Poznámka: Rovnovážna hodnota pri t = 25 °C a p = 0,1 MPa pre $K_s = -4,62$, pre $K_d = -16,7$

ho odtoku. V bezzrážkovom období dotujú prameň Teplý žľab predovšetkým triasové karbonáty, ktoré majú väčšiu akumulačnú schopnosť ako horniny kryštalinika. Tieto vody majú kalciovo-magnéziovo-sulfátový charakter a sú v dlhšom kontakte so spodnotriasovým súvrstvím, ktoré sa nachádza v oblasti kóty Okulík a prechádza až k eróznej báze povodia Teplý žľab. Napriek tomu, že vody nedosahujú rovnováhu s kalcitom, dolomitom a sadrovcom, sú k nim bližšie ako v období s vyššou výdatnosťou. Naopak, vody prameňa Teplý žľab citlivo reagujú zmenou svojho chemického zloženia v zrážkovom období, resp. počas jarného topenia snehov, pretože deluviálne sedimenty drénujú aj infiltrujúce vody z kryštalinika a mezozoika z celého povodia. Z genetického hľadiska možno povedať, že na hydrogeochemickom režime vôd prameňa Teplý žľab sa v rôznej miere v závislosti od hydrogeologických a hydrologických podmienok podieľajú procesy rozpúšťania karbonátov, sadrovca a miešania.

Hodnotenie vzťahu povrchových a podzemných vôd v hydrogeologickej štruktúre Osobitá

Hydrogeologická štruktúra je povrchovo odvodňovaná tromi povrchovými tokmi, a to *Bobroveckým potokom, Suchou dolinou* a *Teplým žľabom.*

O povrchovom odvodňovaní máme výsledky z expedičných meraní prietokov na týchto tokoch, realizovaných v rámci základného hydrogeologického výskumu v auguste r. 1969.

V ďalšej časti podávame výsledky meraní a porovnanie povrchového odtoku s odtokom prameňov v jednotlivých povodiach hodnotených potokov.

Bobrovecký potok

Potok dlhý 3 km so svojimi prítokmi v úseku 2 km drénuje horniny kryštalinika a v úseku 1 km sedimenty mezozoika. V úseku budovanom horninami kryštalinika a spodného triasu bol jeho prietok 67,8 $l.s^{-1}$. Z toho 25,5 $l.s^{-1}$ tvorí dotácia zo 17 prameňov, vystupujúcich v povodí potoka a doplňujúcich povrchový tok povodia. Prestup podzemných vôd priamo do toku predstavuje hodnotu 42,3 $l.s^{-1}$. Tieto vody sú viazané na zvetralinový plášť i na zónu zvetrania a odľahčenia hornín kryštalinika a spodného triasu. V úseku budovanom karbonátmi triasu a jury až po severné ohraničené štruktúry, t. j. po styk s nepriepustnými slieňmi a slienitými vápencami spodnej kriedy, dochádza k zvýšeniu prietoku zo 67,8 $l.s^{-1}$ (merný profil pred vstupom do mezozoika) na 290,3 $l.s^{-1}$. Z tohto množstva 210,1 $l.s^{-1}$ vystupuje na povrch v štyroch prameňoch na kontakte s kriedovým súvrstvím a na skrytý prestup do povrchového toku pripadá 12,4 $l.s^{-1}$.

Suchá dolina

Povrchový tok Suchá dolina v dĺžke 1,5 km odvodňuje územie budované spod-

notriasovými kremencami, bridlicami a karbonátmi triasu a jury. V hornej časti povodia v spodnotriasovom súvrství sa nachádza 8 prameňov, ktoré dotujú povrchový tok s celkovou výdatnosťou 5,3 $l.s^{-1}$. Voda sa pri vstupe do triasových karbonátov postupne stráca v suti a na povrch potom vyviera v prameni č. 3 s výdatnosťou 10 $l.s^{-1}$ na styku s nepriepustným kriedovým súvrstvím. To znamená, že z karbonátov triasu skryto priteká 4,7 $l.s^{-1}$ podzemnej vody.

Teplý žľab

Západná časť hodnotenej hydrogeologickej štruktúry je odvodňovaná do povodia Teplého žľabu. Uvedené povodie je počas väčšej časti roka bez povrchového odtoku. Infiltrované zrážkové vody obyčajne odtekajú v kamenitých sutiach a potom dotujú prameň č. 4 Teplý žľab s výdatnosťou od 1,2 do 59,5 $l.s^{-1}$ (tab. 3).

Hodnotenie prírodných zdrojov podzemných vôd hydrogeologickej štruktúry Osobitá

Skúmaná hydrogeologická štruktúra s rozsahom 8,7 km^2 a vhodnými infiltračnými podmienkami má v celom pohorí z hľadiska zdrojov a zásob podzemných vôd najväčší význam. Je odvodňovaná, ako už bolo uvedené, na sever povrchovými tokmi, narezávajúcimi štruktúru, do ktorých sa odvodňujú aj podzemné vody vystupujúce v prameňoch vo vnútri štruktúry. Štruktúra je zo severu uzavretá nepriepustnými kriedovými sedimentmi, takže nie je predpoklad skrytého odvodňovania smerom na sever.

Ako ukázali hydrometrické merania v roku 1969 (11.—20. august), celkový evidovaný odtok povrchových a podzemných vôd dosahoval hodnotu 330,3 $l.s^{-1}$, čo predstavuje špecifický odtok povrchových a podzemných vôd 37,9 $l.s^{-1}.km^{-2}$. Celková výdatnosť prameňov štruktúry a skrytých prestupov do povrchových tokov na základe jednorazových meraní júl—august 1969 bola 251,3 $l.s^{-1}$, čo predstavuje špecifický odtok podzemných vôd (28,8 $l.s^{-1}.km^{-2}$). Meranie sa uskutočnilo v období, kedy odtoky podzemných vôd boli o 14,2 % vyššie ako priemerná výdatnosť (140,5 $l.s^{-1}$) najvýdatnejšieho prameňa Bobrovecká dolina za hydrologické roky 1964—1969 (obr. 1). Pri znížení celkového odtoku podzemných vôd o 14,2 %, t. j. na 215,6 $l.s^{-1}$, priemerný špecifický odtok podzemných vôd predstavuje hodnotu 24,8 $l.s^{-1}.km^{-2}$.

Karbonáty krížňanského príkrovu

Na základe geologickej stavby môžeme v krížňanskom príkrove vyčleniť dve hydrogeologické štruktúry, a to *štruktúru Bobrovec* a *štruktúru Mihulčie*, ktoré sú oddelené nepriepustným súvrstvím karpatského keuperu.

Hydrogeologická štruktúra Bobrovec

Štruktúru Bobrovec tvoria strednotriasové dolomity krížňanského príkrovu, ktoré vystupujú na povrch na priľahlých svahoch kóty Bobrovec a v súvislom páse prechádzajú na územie Poľska. Majú úklon na sever a ležia na nízko zvodnenom kriedovom súvrství obalovej jednotky. Na našom území majú rozlohu 1,8 km^2, odkiaľ odteká celkom 7,3 l.s^{-1}, z toho v prameňoch 1,4 l.s^{-1} a 5,9 l.s^{-1} predstavuje skrytý prestup do povrchového toku. Na území Poľska zaberajú plochu 3,8 km^2 a odtok vôd, či už v prameňoch alebo skryte do povrchového toku, nie je nám známy. Pre presné hydrologické bilančné hodnotenie podzemných vôd štruktúry nám chýbajú dlhodobé hodnoty členov bilančnej rovnice. Pre bilančné hodnotenie štruktúry Bobrovec, ktorá má podobný klimatický a sčasti aj geologický charakter ako štruktúra Osobitá, sme použili hodnotu podzemného špecifického odtoku 24,8 l.s^{-1}.km^{-2}.

Podľa tejto metódy by z bilancovaného územia s rozlohou 5,6 km^2 malo odtekať asi 138 l.s^{-1}. Na základe jednorázového merania (august 1969) na našom území z tejto štruktúry odtekalo 7,3 l.s^{-1}. Znamená to, že 131 l.s^{-1} sa podieľa na hlbinnom obehu, alebo vystupuje na území PĽR (viď ďalej).

Hydrogeologická štruktúra Mihulčie

Hydrogeologickú štruktúru Mihulčie tvoria vrchnotriasové dolomity, ktoré vystupujú na povrch na priľahlých svahoch kóty Mihulčie. Ich rozloha je 0,8 km^2. Ležia na nepriepustných sedimentoch karpatského keuperu s úklonom na sever pod nadložné slienité vápence liasu a litofácie vnútrokarpatského paleogénu. Na ich severovýchodnom okraji sa nachádzajú tri pramene so zvýšenou teplotou vody (tab. 7).

Tabuľka 7 Teplé pramene v Oraviciach

Názov prameňa	Výdatnosť za roky 1963—1978 (l.s^{-1})			Teplota vody °C
	max.	min.	priemer	
Uhličitý prameň č. 13	15,3	7,8	9,6	16,5—18,5
Teplica prameň č. 14	20,5	8,3	10,5	13,0—17,0
Prameň č. 15	asi 0,5	asi 0,2	asi 0,3	15,2

Na overenie výverovej oblasti prameňov bol odvŕtaný hydrogeologický vrt OZ-1 Oravice, hlboký 600 m (M. ZAKOVIČ 1981). Vrt dokumentoval výdatnosť 35 l.s^{-1} (voľný preliv) s teplotou 28,5 °C, čiže celkove na sv. okraji tejto štruktúry vyviera 55,4 l.s^{-1} vody a podľa orientačnej bilancie analogicky by z nej malo odtekať približne 12,4 l.s^{-1} vody. Toto množstvo približne predstavuje priemernú výdatnosť prameňov č. 14 — Teplica a č. 15 (10,8 l.s^{-1}), takže vrchnotriasové dolomity severných svahov kóty Mihulčie sú odvodňované uvedenými prameňmi. Termálne vody z vrtu OZ-1 (35 l.s^{-1}) a z prameňa č. 13 — Uhličitý

(9,6 l. s^{-1}) pochádzajú z ďalšej infiltračnej oblasti. Predpokladáme, že ju tvoria strednotriasové karbonáty štruktúry Bobrovec. Tento názor potvrdzujú hlavne výsledky získané hydrogeologickým vrtom OZ-1, a to rozdielne hydraulické pomery vývierovej oblasti, rozdielne fyzikálno-chemické vlastnosti vôd a tiež výsledky orientačnej hydrologickej bilancie.

Vrtom OZ-1 boli do hĺbky 21,0 m navŕtané tmavosivé slabo škvrnité vápence liasu (sinemúr — toark), od 21,0 do 278,0 m svetlé celistvé, miestami brekciovité dolomity s puklinami vyplnenými tektonickým ílom, kalcitom a asfaltom. Stratigraficky patria k vrchnému triasu (norik). V hĺbke 278,0—292,5 m sa nachádza súvrstvie karpatského keuperu. Tvoria ho tmavosivé ílovité dolomitické brekcie, tmavosivé ílovité dolomitické bridlice a piesčité dolomity s obsahom detritického kremeňa a sericitu. V hĺbke 292,5 m až do konečnej hĺbky 600 m sú sivé celistvé, miestami silne popukané až skrasovatené ramsauské dolomity veku ladin—karn (A. BUJNOVSKÝ 1980). Celý komplex prevŕtaných hornín patrí ku krížňanskému príkrovu.

Hydraulické pomery vývierovej oblasti

Všeobecne sa predpokladalo, že podzemná voda vo vrte OZ-1, ktorý má kótu 856,9 m, bude v hydraulickej spojitosti s vodou v prameňoch ležiacich približne v nadmorskej výške 850 m (prameň č. 13 — Uhličitý), 870 m (prameň č. 14 — Teplica) a 873 m (prameň č. 15). Do hĺbky 340 m bolo navŕtaných viac prítokov vody s malou výdatnosťou (do 3,7 l. s^{-1}) a s ustálenou hladinou 7,0—7,5 m pod terénom (na úrovni kóty prameňa Uhličitý). Na týchto prítokoch sa v priebehu vŕtania robili overovacie čerpacie skúšky. Skúšky overili hydraulickú spojitosť iba s prameňom Uhličitý, ktorý sa nachádza najbližšie k vrtu a má najnižšiu nadmorskú výšku, hoci by sme predpokladali, že najprv budú ovplyvnené pramene č. 14 a č. 15, ktoré sú polohove vyššie.

Hlavný prítok termálnej vody bol navŕtaný v hĺbke 412—436 m s výdatnosťou 25,0 l. s^{-1}, ktorá sa do konečnej hĺbky 600 m zvýšila na 35 l. s^{-1}. Teplota vody je 28,5 °C, ustálená hladina vody je 45 m nad terénom.

Podzemné vody prameňa Uhličitý a z vrtu OZ-1 majú podobné chemické zloženie (tab. 8, 9). Hodnoty celkovej mineralizácie sa pohybujú od 708,2 mg. l^{-1} do 766,8 mg. l^{-1}, pričom vody sú nevýrazného kalciovo-magnéziovo-sulfátového typu. Ich chemické zloženie od infiltračnej oblasti až po oblasť vývierovú vzniká v podmienkach hlbšieho obehu v strednotriasových dolomitoch a v súvrství karpatského keuperu, kde sa rozpúšťaním prítomného sadrovca dostávajú do roztoku ióny Ca^{2+} a SO_4^{2-}, ktoré dominujú v aniónovom zložení vôd. Odpovedá tomu vyššia teplota, vyššia mineralizácia a vyšší obsah síranov, čo sa prejavuje aj vo vyššej hodnote koeficientu SO_4/M (0,32—0,34). Napriek tomu, že hodnoty koeficientu Mg/Ca (0,5—0,6) poukazujú na obeh vôd v horninovom prostredí s približne rovnakým zastúpením vápencov a dolomitov, skutočnosť je iná. Tieto hodnoty sú výrazne ovplyvnené prítomnosťou sadrovca v horninovom prostredí obehu termálnych vôd, pri rozpúšťaní ktorého sa uvoľňuje do roztoku veľké množstvo iónov vápnika, znižujúcich hodnotu koeficientu

Mg/Ca (D. BODIŠ 1980). Z uvedeného potom vyplýva, že obeh termálnych vôd sa realizuje predovšetkým v dolomitoch.

Vrt OZ-1 a prameň Uhličitý sú situované na mieste križovania sa priečneho sj. zlomu s predpokladaným zlomom vz. smeru. Ich vzájomnú spojitosť dokumentujú hydraulické pomery a chemické zloženie vôd.

Podzemné vody — teplice prameňov č. 14 Teplica a č. 15 sú prechodného magnéziovo-sulfátovo-hydrogén-uhličitanového typu. Ich chemické zloženie sa formuje v podmienkach plytšieho obehu vo vrchnotriasových dolomitoch, v podloží ktorých je súvrstvie karpatského keuperu. Zodpovedá tomu nižšia teplota vody, nižšia celková mineralizácia, nižší obsah síranov, čo sa prejavuje aj v nižšej hodnote koeficientu SO_4/M (0,25—0,26). Hodnoty koeficientu Mg/Ca (0,57—0,59) pri už uvažovanom znížení jeho hodnoty časťou vápnika, uvoľneného pri rozpúšťaní sadrovca, poukazujú na obeh vôd v prostredí s podielom dolomitov. Tieto pramene sú situované na priečnom sj. zlome na styku s ílovcovou litofáciou vnútrokarpatského paleogénu, čomu nasvedčujú aj zvýšené obsahy sodíka a draslíka v ich katiónovom zložení.

Na základe celkovej analýzy výsledkov získaných hydrogeologickým vrtom OZ-1 môžeme vysloviť názor, že hydrogeologická štruktúra Mihulčie je odvodňovaná prameňmi č. 14 Teplica a č. 15. Svedčia o tom výsledky hydrologickej bilancie, hydraulických pomerov výverovej oblasti a chemického zloženia vôd. Podľa hydrologickej bilancie by malo zo štruktúry Mihulčie odtekať zhruba 12,4 $l.s^{-1}$ podzemných vôd. Toto množstvo predstavuje približne celkovú výdatnosť prameňov Mihulčie a Teplica (10,8 $l.s^{-1}$).

Prameň Uhličitý, hoci sa nachádza v štruktúre Mihulčie, má samostatný hlbší obeh, vody prameňov č. 14 Teplica a č. 15 — samostatný plytší obeh. Hydraulická spojitosť vrtu OZ-1 bola zistená iba s prameňom Uhličitý, ktorého kóta je o 7,0 m nižšie než kóta vrtu. Pramene Teplica a Mihulčie, hoci sú polohovo o 13, resp. 16 m vyššie než vrt, neboli ním vôbec ovplyvnené. Z chemického hľadiska vody prameňa Uhličitý a z vrtu OZ-1 sú nevýrazného $S_2(SO_4)$ typu s celkovou mineralizáciou 708,2—766,8 $mg.l^{-1}$. Rozdielnosť v teplote vody z vrtu a z prameňa Uhličitý je spôsobená postupným ochladzovaním vody pri jej prenikaní do prameňa. Vody prameňov Teplica a Mihulčie sú prechodného A_2 — $S_2(SO_4)$ typu s celkovou mineralizáciou 534,0—535,2 $mg.l^{-1}$ a teplotou vody 13—17 °C.

Podľa orientačnej hydrologickej bilancie by zo štruktúry Bobrovec malo odtekať 138 $l.s^{-1}$. Z toho vo vnútri štruktúry na našom území podľa jednorázového merania v priemernom klimatickom období odtekalo 7,3 $l.s^{-1}$. Ďalšia časť infiltrovaných vôd prestupuje do hlbinného obehu, na povrch podľa vyššie uvedených výsledkov vystupuje v podobe prameňa Uhličitý (9,6 $l.s^{-1}$) a vo vrte OZ-1 (35 $l.s^{-1}$). Zostávajúcich 86,1 $l.s^{-1}$ podzemných vôd prestupuje skryte pod paleogénne sedimenty Skorušinských vrchov, alebo vystupuje v prameňoch na území PĽR.

Karbonáty chočského príkrovu

Na základe poznatkov geologického a hydrogeologického výskumu môžeme

Tabuľka 8 Chemické zloženie podzemných vôd karbonátov krížňanského príkrovu

Názov prameňa	Tv (°C)	pH	M ($mg.l^{-1}$)	Li^+	Na^+	K^+	NH_4^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Sr^{2+}	Mn^{2+}	Fe^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
Hydrogeologická štruktúra Bobrovec																
Uhličitý prameň č. 13	19,4	7,25	708,2	0,039	16,20	5,65	0,0	40,6	110,0	2,38	0,009	0,150	5,32	3,65	298,7	209,3
Vrt OZ-1 (412—545 m)	28,7	7,12	766,8	0,040	17,80	6,55	0,0	40,0	127,5	3,00	0,008	0,130	4,96	0,45	348,1	200,1
Hydrogeologická štruktúra Mihulčie																
Teplica prameň č. 14	15,3	7,3	534,0	0,02	8,80	3,15	0,0	30,75	85,0	1,60	0,003	0,150	4,25	5,00	175,30	209,3
prameň č. 15	15,8	7,2	535,2	0,02	8,50	3,10	0,0	30,00	86,0	1,50	0,004	0,038	5,67	5,10	182,3	203,20

Poznámka: Hodnoty koncentrácie jednotlivých iónov sú udané v $mg.l^{-1}$

Tabuľka 9 Základná hydrogeochemická charakteristika podzemných vôd karbonátov krížňanského príkrovu

Názov prameňa	pCO_2 (MPa)	$S_2(SO_4)$	A_2	Mg/Ca	CO_4/M	$Sr/Ca.10^3$	I_c	K_s	K_d
Hydrogeologická štruktúra Bobrovec									
Uhličitý prameň č. 13	$9,07.10^{-4}$	56,43	34,67	0,608	0,317	9,59	−0,13	−5,52	−17,09
Vrt OZ-1 (412—545 m)	$1,14.10^{-3}$	60,39	30,64	0,517	0,339	10,68	−0,97	−5,41	−17,19
Hydrogeologická štruktúra Mihulčie									
Teplica prameň č. 14	$8,17.10^{-4}$	46,42	47,01	0,596	0,250	8,58	−0,26	−5,79	−17,24
prameň č. 15	$9,99.10^{-4}$	44,56	45,18	0,570	0,260	7,76	−0,36	−5,78	−17,46

v karbonátoch chočského príkrovu vymedziť dve hydrogeologické štruktúry so samostatným režimom a obehom podzemných vôd. Sú to:

— *štruktúra Furkasky* — vápence, dolomity triasu a bazálna litofácia vnútrokarpatského paleogénu medzu Juráňovou dolinou a štátnou hranicou s PĽR

— *štruktúra medzi dolinou Mihulčie na východnej strane a dolinou Pribisko na západnej strane* — vápence, dolomity triasu a bazálna litofácia vnútrokarpatského paleogénu.

Hydrogeologická štruktúra Furkasky

Vymedzená štruktúra tvorí časť východného okraja pohoria. Budujú ju hlavne vrchnotriasové dolomity, vápence a karbonátové zlepence vnútrokarpatského paleogénu. Na našom území majú rozlohu 4,9 km^2 a v súvislom páse prechádzajú na územie PĽR. Štruktúra je z juhu a juhozápadu ohraničená nepriepustným spodnokriedovým súvrstvím krížňanského príkrovu. Smerom na sever sa ukláňa pod ílovcovú litofáciu vnútrokarpatského paleogénu. Štruktúra sa odvodňuje pri svojom severnom okraji v pretekavých — bariérových prameňoch na styku s ílovcovým súvrstvím paleogénu a tiež skrytým prestupom do Juráňovho potoka, ktorý ju narezáva v sj. smere.

Jednorázovým meraním (júl, august 1969) sa zistilo, že celkový odtok podzemných vôd zo štruktúry je 72,5 $l.s^{-1}$, z čoho v prameňoch vyviera 56,5 $l.s^{-1}$ a 16 $l.s^{-1}$ predstavuje skrytý prestup do Juráňovho potoka, ktorý je v dĺžke asi 1,1 km zarezaný do vrchnotriasových dolomitov, kde vytvára kaňón, hlboký miestami až 30—40 m. Ostatné povrchové toky — Čepelovka, Furkaska a Bratrancov potok — majú povrchový odtok iba v čase vyššej zrážkovej činnosti. Počas nášho výskumu boli bez povrchového odtoku, to znamená, že zo štruktúry na našom území odtekalo celkove 72,5 $l.s^{-1}$ podzemných vôd, čo v prepočte na plochu (4,9 km^2) predstavuje špecifický odtok 14,8 $l.s^{-1}.km^{-2}$. Táto hodnota je relatívne blízka hodnote špecifického odtoku 15,5 $l.s^{-1}.km^{-2}$, ktorá bola vypočítaná vo východnej časti Chočských vrchov na základe sústavného režimového merania (E. KULLMAN—M. ZAKOVIČ 1975). Najvýznamnejším prameňom v tejto štruktúre je prameň č. 16 Tichá dolina s výdatnosťou 16,8 až 32,7 $l.s^{-1}$ (podľa údajov SHMÚ Bratislava za hydrologický rok 1974).

Hydrogeologická štruktúra medzi dolinami Mihulčie a Pribisko

Uvedená hydrogeologická štruktúra je budovaná vrchnotriasovými dolomitmi, vápencami a bazálnou litofáciou vnútrokarpatského paleogénu. Tvorí súvislý pás vz. smeru s celkovou rozlohou 5,7 km^2. Povrchový tok Studený potok ju rozdeľuje na dve časti, a to na východnú a západnú.

Východná časť leží na spodnokriedových slienitých vápencoch a spodnotriasových kremencoch obalovej jednotky. Má rozlohu 4,6 km^2 a je odvodňovaná do povodia Blatnej. Hydrogeologickým mapovaním (júl—august 1969) tu bolo

zdokumentovaných 15 prameňov s celkovou výdatnosťou 50,5 $l.s^{-1}$, z ktorých dva pramene majú výdatnosť 10 $l.s^{-1}$, resp. 16 $l.s^{-1}$, dva 6 $l.s^{-1}$ a ostatné okolo 1 $l.s^{-1}$. Pramene sú bariérového typu a voda v nich vyviera na styku s ílovcovou litofáciou vnútrokarpatského paleogénu.

Orientačné bilančné zhodnotenie tejto štruktúry môžeme urobiť iba na základe analógie so susednými Chočskými vrchmi, kde bol stanovený špecifický podzemný odtok na základe sústavného merania odtoku podzemných vôd (E. KULLMAN—M. ZAKOVIČ 1975). Ak je rozloha tejto štruktúry 4,6 km^2 a podzemný špecifický odtok dosahuje 15,5 $l.s^{-1}.km^{-2}$, malo by z nej odtekať 71 $l.s^{-1}$ podzemnej vody. Jednorázovým meraním bol zistený odtok podzemných vôd 50,5 $l.s^{-1}$, čo by znamenalo, že rozdiel 21 $l.s^{-1}$ skryto prestupuje pod paleogénne sedimenty Skorušinských vrchov.

Najvýznamnejším prameňom v tejto čiastkovej štruktúre je prameň č. 9 Mihulčie s výdatnosťou 10,8 až 44,9 $l.s^{-1}$ (za pozorované obdobie 1978—1983) a prameň č. 8 Blatná dolina s výdatnosťou do 0,0 do 50,8 $l.s^{-1}$ (za pozorované obdobie 1975—1983). Údaje sú uvedené podľa SHMÚ Bratislava.

Západná časť tejto štruktúry leží na kremencoch obalovej jednotky a granitoidných horninách kryštalinika. Tvoria ju stredno- a vrchnotriasové karbonáty, ktoré spolu s bazálnou litofáciou paleogénu dosahujú rozlohu 1,1 km^2. Karbonáty sú silne rozpukané a skrasovatené. Na ich styku s podložnými granitmi na ľavej strane Studeného potoka vytvorili nízko mineralizované vody z kryštalinika — ponor č. 3, v ktorom sa stráca časť povrchových vôd Studeného potoka (v závislosti od výšky hladiny). Ďalšia časť prestupuje skryte z povrchového toku. Tieto vody potom vystupujú na povrch v prameni č. 2 Števkovský potok, ktorého výdatnosť sa za pozorované obdobie (rok 1983) pohybovala v rozmedzí 19,9—244 $l.s^{-1}$. Podzemný tok v dĺžke asi 800 m je sprevádzaný niekoľkými závrtmi, hlbokými 3—5 m a širokými 4—5 m. Celková mineralizácia ponárajúcich sa vôd Studeného potoka je 57,8 $mg.l^{-1}$ a teplota vody je 5,8 °C. Mineralizácia vôd vystupujúcich v prameni Števkovský potok predstavuje 98,6 $mg.l^{-1}$ a teplota vody je 6,2 °C (22. 9. 1976). Pri porovnaní celkovej mineralizácie ponárajúcich sa a vyvierajúcich vôd zistíme, že na dotácii prameňa sa okrem vôd kryštalinika čiastočne podieľajú aj podzemné vody karbonátov triasu. Ďalšia časť podzemných vôd z tejto čiastkovej štruktúry vyviera v piatich bariérových prameňoch na styku s ílovcovou litofáciou vnútrokarpatského paleogénu. Ich celková výdatnosť je 14,5 $l.s^{-1}$ (z toho dva pramene majú výdatnosť 5, resp. 7 $l.s^{-1}$). Podľa celkovej mineralizácie podzemných vôd uvedených prameňov, ktorá sa pohybuje okolo 140—150 $mg.l^{-1}$, usudzujeme, že sú v prevažnej miere dotované nízko mineralizovanými vodami kryštalinika, ktoré skryte prestupujú do karbonátov triasu. Pri celkovej rozlohe tejto čiastkovej štruktúry 1,1 km^2 a použití špecifického odtoku 15,5 $l.s^{-1}$ (bol stanovený na základe sústavného merania odtoku podzemných vôd v susedných Chočských vrchoch, E. KULLMAN—M. ZAKOVIČ 1975), by z nej malo odtekať 17,0 $l.s^{-1}$ podzemných vôd. Jednorázovým meraním (august 1969) bol zistený celkový odtok z tejto štruktúry 266 $l.s^{-1}$. Znamená to, že rozdiel 249 $l.s^{-1}$ predstavu-

jú vody, ktorých infiltračná oblasť sa nachádza južne od spomínanej štruktúry — v kryštaliniku. Podstatná časť je však dotovaná z povrchového toku Studený potok cez ponor č. 3.

Chemické zloženie podzemných vôd

Hydrogeochemické pomery hydrogeologickej štruktúry Furkasky a štruktúry medzi dolinami Mihulčie na východnej strane a dolinou Pribisko na západnej strane sú podobné a pomerne monotónne. Absolútne prevládajúce vody výrazného kalciovo-magnéziovo-hydrogénuhličitanového typu s mineralizáciou, ktorá sa pohybuje v rozmedzí 257,16 mg . l^{-1} až 311,43 mg . l^{-1} (tab. 10). Ich obeh je realizovaný v plytkopodpovrchových podmienkach vo vápencovo-dolomitickom prostredí. Mineralizácia týchto karbonátogénnych vôd je ovplyvnená členitosťou reliéfu, nadmorskou výškou infiltračných oblastí a typom hydrogeologickej štruktúry. Hydrogeologická štruktúra určuje hlavne priestorové relácie obehu, odrazom ktorého je jeho hĺbka. Podzemné vody skúmaných štruktúr sú nedosýtené voči kalcitu i dolomitu (tab. 11). Vo vzťahu k sadrovcu sú taktiež výrazne nedosýtené, čo dokumentuje prevažujúcu izolovanosť ich obehových ciest od významnejších akumulácií sadrovca. Odrazom tejto závislosti sú aj nízke hodnoty obsahu sulfátov (max. hodnota je 21,0 mg . l^{-1}) a podobne aj nízke hodnoty koeficientu Sr/Ca . 10^3 v porovnaní s podzemnými vodami hydrogeologických štruktúr karbonátových komplexov obalovej jednotky a krížňanského príkrovu, v ktorých sa vody dostávajú do styku s verfénskym, resp. keuperským súvrstvím. Tieto súvrstvia obsahujú okrem sadrovca aj celestín. Rozpúšťaním spomenutého minerálu sú potom vo vodách vyššie obsahy stroncia a následne aj vyššie hodnoty koeficientu Sr/Ca . 10^3.

Podzemné vody prameňa č. 1 a prameňa č. 2 Števkovský potok predstavujú zmiešané karbonátogénne vody karbonátov triasu, do ktorých prestupujú silikátogénne vody kryštalinika. Výsledkom toho je „zriedenie" karbonátogénnych vôd, ktoré majú potom nižšiu hodnotu celkovej mineralizácie.

Orientačné zhodnotenie kvantitatívnych možností využitia podzemných vôd územia

Na základe predchádzajúcich hodnotení možno podať súhrn vodohospodársky využiteľných zásob podzemných vôd iba v hydrogeologickej štruktúre Osobitá. Ostatné štruktúry môžeme komplexne hodnotiť len orientačne, pretože časť z nich sa nachádza na území PĽR. Vzhľadom na to, že náš výskum bol urobený v období (júl—august 1969), kedy výdatnosti prameňov boli o 14 % vyššie ako priemerná výdatnosť dlhodobo pozorovaného prameňa Bobrovecká dolina (obr. 1), pre kvantitatívne zhodnotenie využitia podzemných vôd nameraný odtok vôd znížime o vyššie uvedené percentá.

a) *Hydrogeologická štruktúra Osobitá* je odvodňovaná 25 prameňmi z kryštalinika s celkovou výdatnosťou 30,8 l . s^{-1} a 6 prameňmi z mezozoika s celkovou výdatnosťou 240 l . s^{-1}. Ďalej je štruktúra odvodňovaná skrytým prestu-

Tabuľka 10 Chemické zloženie podzemných vôd karbonátov chočského príkrovu

Názov prameňa	Tv (°C)	pH	M ($mg.l^{-1}$)	Li^+	Na^+	K^+	NH_4^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Sr^{2+}	Mn^{2+}	Fe^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
Hydrogeologická štruktúra Furkasky																
Tichá dolina prameň č. 16	6,0	7,3	298,46	0,003	0,40	0,30	0,0	14,20	54,00	0,11	0,001	0,011	1,42	4,90	18,50	203,20
Tichá dolina prameň č. 17	6,0	7,3	283,59	0,002	0,45	0,30	0,0	16,20	45,50	0,26	0,001	0,006	2,48	2,65	18,90	194,04
Hydrogeologická štruktúra medzi dolinami Mihulčie a Pribisko																
Zuberec prameň č. 1	5,8	6,9	140,77	0,002	1,60	0,35	0,0	6,10	22,5	0,07	0,001	0,012	1,77	1,70	16,46	82,99
Blatná dolina prameň č. 8	5,3	7,1	293,60	0,002	0,35	0,15	0,0	16,90	49,00	0,005	0,001	0,008	1,77	3,90	17,70	203,20
Blatná dolina prameň č. 7	6,5	7,1	311,43	0,001	0,35	0,20	0,0	14,70	55,00	0,07	0,001	0,009	3,19	0,0	14,00	222,11
Blatná dolina prameň č. 5	7,0	7,1	295,24	0,002	0,55	0,30	0,0	15,20	49,00	0,09	0,001	0,015	1,77	2,65	16,90	206,25
Blatná dolina prameň č. 6	6,6	7,2	275,97	0,003	0,80	0,35	0,0	14,20	47,00	0,08	0,001	0,009	2,48	2,70	19,75	184,89
Mihulčie, prameň 9	4,0	7,3	257,16	0,001	0,40	0,20	0,0	9,40	50,00	0,10	0,001	0,010	2,48	5,70	21,00	166,58

Poznámka: Hodnoty koncentrácie jednotlivých iónov sú udané v $mg.l^{-1}$

Tabuľka 11 Základná hydrogeochemická charakteristika podzemných vôd karbonátov chočského príkrovu

Hydrogeologická štruktúra Furkasky									
Názov prameňa	pCO_2 (MPa)	$S_2(SO_4)$	A_2	Mg/Ca	SO_4/M	Sr/Ca . 10^3	I_c	K_s	K_d
Tichá dolina prameň č. 16	$8{,}05 . 10^{-4}$	10,04	86,83	0,43	0,05	0,89	−0,66	−6,86	−17,89
Tichá dolina prameň č. 17	$7{,}69 . 10^{-4}$	10,67	86,26	0,59	0,05	2,56	−0,75	−6,92	−17,94
Hydrogeologická štruktúra medzi dolinami Mihulčie a Pribisko									
Zuberec prameň č. 1	$8{,}43 . 10^{-4}$	18,97	76,35	0,48	0,09	1,25	−1,78	−7,21	−20,12
Blatná dolina prameň č. 8	$1{,}26 . 10^{-3}$	9,67	87,35	0,57	0,05	0,04	−0,92	−6,92	−19,27
Blatná dolina prameň č. 7	$1{,}40 . 10^{-3}$	7,25	90,50	0,44	0,04	0,51	−0,80	−6,98	−18,17
Blatná dolina prameň č. 5	$1{,}32 . 10^{-3}$	9,19	88,35	0,51	0,05	0,82	−0,87	−6,94	−18,26
Blatná dolina prameň č. 6	$9{,}34 . 10^{-4}$	11,57	85,22	0,49	0,06	0,78	−0,84	−6,88	−18,20
Mihulčie prameň č. 9	$6{,}34 . 10^{-4}$	13,13	81,91	0,31	0,07	0,88	−0,83	−6,82	−18,31

pom (asi 60 l.s^{-1}) do povrchového toku Bobrovecký potok a Suchá dolina. Pri znížení celkového odtoku z tejto štruktúry o 14 % priemerný odtok podzemných vôd je 284 l.s^{-1}. Z tohto množstva je overených 164 l.s^{-1} (priemerná výdatnosť prameňov Bobrovecká dolina a Teplý žľab), čiastočne overených 120 l.s^{-1} a vodohospodársky využívaných 140 l.s^{-1} (prameň Bobrovecká dolina). Ostatné pramene (okrem prameňa Teplý žľab) vzhľadom na ich rozptýlenosť a ťažko prístupný horský terén nebude možné vodohospodársky využívať.

b) *Karbonáty krížňanského príkrovu* sú odvodňované len prameňmi a pravdepodobne skrytým prestupom pod litofácie vnútrokarpatského paleogénu alebo prameňmi na území PĽR (spresnenie treba urobiť v spolupráci s PĽR). Podľa bilančného hodnotenia by malo z nášho územia odtekať 150 l.s^{-1} podzemných vôd. V skutočnosti v prameňoch a z vrtu OZ-1 odteká 62 l.s^{-1}. Znamená to, že zvyšok (88 l.s^{-1}) buď prestupuje skryte pod paleogén Skorušinských vrchov, alebo vyviera v prameňoch na území PĽR. Z týchto štruktúr zatiaľ nie je vodohospodársky využívaný žiadny zdroj podzemnej vody. Sústavným meraním výdatnosti boli overené tri zdroje, a to prameň Uhličitý s priemernou výdatnosťou 9,6 l.s^{-1}, prameň Teplica — 10,5 l.s^{-1} a vrt OZ-1 — 35 l.s^{-1}. Ostatná časť podzemných vôd vzhľadom na malé výdatnosti a rozptýlenosť v teréne nie je vhodná pre vodohospodárske využitie.

c) *Karbonáty chočského príkrovu* sú tiež odvodňované prevažne vo forme prameňov, nachádzajúcich sa na styku s ílovcovou litofáciou vnútrokarpatského paleogénu. Vo východnej časti územia v štruktúre Furkasky bol zdokumentovaný odtok podzemných vôd s celkovou výdatnosťou 72,5 l.s^{-1}, z čoho v prameňoch vyvieralo 56,5 l.s^{-1} a 16 l.s^{-1} predstavoval skrytý prestup podzemných vôd do Juráňovho potoka. Pri znížení celkového odtoku o 14 % je priemerné množstvo podzemných vôd sledovanej štruktúry 62 l.s^{-1}, z toho overených je 37 l.s^{-1} (priemerné výdatnosti prameňov Tichá dolina 1 až 4), čiastočne overených 25 l.s^{-1} a vodohospodársky využívaných 34 l.s^{-1}.

V západnej časti územia v hydrogeologickej štruktúre medzi dolinami Mihulčie a Pribisko bol zdokumentovaný odtok podzemných vôd s celkovou výdatnosťou 316 l.s^{-1}. Z toho vo vyvieračke č. 2 Števkovský potok, ktorá je v podstatnej miere dotovaná nízko mineralizovanými povrchovými vodami zo Stude-

Tabuľka 12 Prehľad prognóznych zdrojov podzemných vôd v l.s^{-1}

Hydrogeologická štruktúra	Overené	Prognózne			Celkové množstvo podzemných vôd
		čiastočne overené	neoverené	z nich využité	
Osobitá	164	120	—	140	284
Bobrovec a Mihulčie	55	7	88	—	150
Furkaska	37	25	—	34	62
medzi dolinami Mihulčie a Pribisko	39	13	19	4	71
Celkové množstvo	295	165	107	178	567

ného potoka, 251 $l.s^{-1}$ jej dotácií prichádza cez ponor č. 3. Zvyšok (65 $l.s^{-1}$) pripadá na pramene infiltrujúce v oblasti karbonátov mezozoika. Pre vodohospodárske využívanie sú vhodné len vody pochádzajúce z mezozoických sedimentov, z ktorých podľa orientačného bilančného hodnotenia by malo odtekať 88 $l.s^{-1}$. Celkové priemerné množstvo podzemných vôd v tejto štruktúre je 71 $l.s^{-1}$, z toho overených je 39 $l.s^{-1}$, čiastočne overených 13 $l.s^{-1}$, neoverených 19 $l.s^{-1}$ a zatiaľ vodohospodársky využívaných 4 $l.s^{-1}$.

Literatúra

BABIAKOVÁ, G.—BODIŠ, D. 1986: Accumulation and evolution of sulphate and nitrate levels in snow. — IAHS, 155.

BODIŠ, D. 1980: Chemické zloženie navŕtaných vôd. — In: M. Zakovič et al. 1980: Hydrogeologický vrt OZ-1, záverečná správa. Geofond, Bratislava.

BUJNOVSKÝ, A. 1980: Geologická charakteristika navŕtaného komplexu. — In: M. Zakovič et al. 1980: Hydrogeologický vrt OZ-1, záverečná správa. Geofond, Bratislava.

DUB, O. 1957: Hydrogeológia, hydrografia, hydrometria. — Slov. vyd. techn. lit., Bratislava, 1—526.

GOREK, A. et al. 1965: Záverečná správa — základné geologické mapy, listy Nižná a Bystrá (1 : 50 000). — Geofond, Bratislava.

KULLMAN, E.—ZAKOVIČ, M. 1975: Hydrogeológia Chočského pohoria. — Západ. Karpaty, Sér. Hydrogeol. a inž. Geol., 1, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 65—114.

MAHEĽ, M. 1967: Regionální geológie ČSSR. — II — Západní Karpaty, 1, ČSAV, Praha, 1—495.

MELIORIS, L. 1980: Hydrogeológia kryštalinika Západných Karpát. — Doktorská dizert. práca, Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava.

RAPANT, S. in KULLMAN, E.—KULLMANOVÁ, A.—RAPANT, S. 1985: Zhodnotenie hydrogeologických pomerov mezozoika Slovenského raja s overením prognóznych prírodných zdrojov a prognóznych využiteľných množstiev podzemných vôd. — Manuskript-archív Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava.

ZAKOVIČ, M. 1969: Základný hydrogeologický výskum masívu Osobitej. — Ročná správa, archív Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava.

ZAKOVIČ, M. et al. 1980: Hydrogeologický vrt OZ-1 Oravice. — Záverečná správa, Geofond, Bratislava.

ZAKOVIČ, M. 1981: Termy a Teplice v Oraviciach. — Geol. Práce, Spr. 75, Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 133—154.

M. ZAKOVIČ—D. BODIŠ

Groundwater of Mesozoic carbonates on NW slopes of Western Tatra Mts.

Summary

The authors present results of hydrogeological investigation of Mesozoic sediments on NW slopes of the Western Tatra Mts.

Geologic structure of the area studied comprises an envelope unit including Lower Triassic—Albian lithostratigraphic members. The envelope unit rests in monoclinal position upon the crystalline core consisting of granitoid rocks. The envelope unit is overlain by the Krížna nappe in an overthrust position, with Middle Triassic—Albian lithostratigraphic members, and by Middle—Upper

Triassic carbonates of the Choč nappe submerging beneath the basal and claystone lithofacies of the Inner—Carpathian Paleogene.

As regards aquosity — most significant are Middle—Upper Triassic carbonates of all the three tectonic units. On the basis of general hydrogeologic conditions in the area studied, five separate hydrogeologic structures with their regimes and groundwater circulation have been distinguished.

The Osobitá hydrogeologic structure (see Schem. map) extends on 8.7 sqkm and it is drained by springs and by hidden overflow into surface flows. The spring Nr. 10 Bobrovecká dolina has the greatest yield. Its average yield for the period of observation is 140.5 $l.s^{-1}$ (Fig. 1). Interpretation of depletion curves of this spring (Fig. 2) and of its geologic position shows that the spring is associated with a permeable tectonic disturbance with a great aquosity. It is presumed that the disturbance is filled with homogeneous material originating from crystalline complexes. Ascent of groundwater in the spring is controlled by a barrier formed by an impermeable Albian formation. Average groundwater discharge is 215.6 $l.s^{-1}$. In recalculation to the average specific runoff it is 24.8 $l.s^{-1}.km^{-2}$. Chemical composition of groundwater in this structure is Ca—Mg—HCO_3 (Table 5 and 6). Further two hydrogeologic structures (Bobrovec and Mihulčie) consist of Middle—Upper Triassic dolomites and limestones of the Krížna nappe. According to the balance evaluation the outflow should be about 150 $l.s^{-1}$ but the actual outflow was 28 $l.s^{-1}$. So there is hidden overflow of the rest of groundwater beneath the Inner Carpathian Paleogene sediments or they issue in spring on the Polish territory. To check the assumption, the hydrogeological well OZ-1, 600 m deep was situated in the discharge area of the springs Uhličitý and Teplica. The borehole catched part of overflowing water at the depth 412—436 m with the yield 35 $l.s^{-1}$ and temperature 28.5 °C. The hydrogeological well proved that there is no hydraulic link between the water of the Uhličitý spring, the well OZ-1 and the higher Teplica spirng and the spring No. 15. The fact is also proved by different chemical composition of groundwater in the well OZ-1 the spring Uhličitý on the one hand and the spring Teplica on the other hand, and by the results of hydrogeologic balance. Groundwater of the Uhličitý spring and hydrogeological well OZ-1 represent the calcium—magnesium—sulphate type, with T.D.S. 0.708—0.884 $g.l^{-1}$. Groundwater of the Teplica spring and spring Nr. 15 represents the transitional calcium—magnesium—sulphate type, with T.D.S. 0.534—0.535 $g.l^{-1}$. The results of hydrogeological balance have proved that groundwaters of the well OZ-1 and of the Uhličitý spring originate from Middle Triassic dolomites of the Bobrovec structure, and groundwaters of the spring Teplica and Nr. 15 — from Upper Triassic dolomites of the structure Mihulčie.

The hydrogeologic structures Furkaska and the area between the valleys Mihulčie—Pribisko consist of the Choč nappe Upper Triassic dolomites and limestones and the Inner Carpathian Paleogene basal lithofacies. In the eastern part of the area they overlie Cretaceous formations of the envelope unit and of the Krížna nappe. In the western part they overlie crystalline complexes and Lower—Triassic quartzites of the envelope unit.

The Furkaska structure occupies 4.6 sqkm and extends in a continuous belt to Poland. Total groundwater runn-off from the structure on our territory is 72.5 $l.s^{-1}$. It is 14.8 $l.s^{-1}$ when recalculated to the underground specific runoff.

In the western part of the territory the hydrogeologic structure between the valley Mihulčice on the east and the valley Pribisko on the west occupies 5.7 sqkm. It is mostly drained by springs on the contact with the Inner Carpathian Paleogene claystone lithofacies. Total groundwater runoff from this structure is 316 $l.s^{-1}$ — of which 251 $l.s^{-1}$ is from the exsurgence Nr. 2 Ševkovský potok brook recharged by surface waters from the Studený potok brook. Waters of the calcium—magnesium—bicarbonate type with T.D.S. 257.1—311.4 $mg.l^{-1}$ (Table 10) are absolutely dominant.

Total yield of groundwater in the area studied is 567 $l.s^{-1}$, checked yield is 295 $l.s^{-1}$ (systematical measurings of springs), partly checked yield is 165 $l.s^{-1}$ unchecked 107 $l.s^{-1}$ of which 178 $l.s^{-1}$ (Table 12) are utilized in water management.

Explanation of text-figures

Fig. 1 — Yield changes in time of spring 10 Bobrovecká dolina (measured by SMHÚ Bratislava)

Fig. 2 — Depletion curve of spring 10 Bobrovecká dolina (17. 5. 1967—22. 2. 1968)

Schematical hydrogeological map of Mesozoic on NW slopes of Western Tatra Mts. (see p. 136—137)
Compiled by M. ZAKOVIČ 1968 (based on geological map 1 : 25 000, Gorek 1965)
Explanation:
1—3 Aquosity of rocks: 1 — highly aqueous rocks with fissure — and fissure-karst permeability, 2 — medium—aquosity rocks with fissure permeability, 3 — low-aquosity rocks with fissure permeability, 4—5 Quaternary: 4 — fluvial and glacifluvial sediments of the Studený potok brook, 5 — deluvial sediments, 6—7 Inner Carpathian Paleogene: 6 — claystone lithofacies, 7 — basal lithofacies, 8—16 Mesozoic: 8 — marly limestones and shales (Tithonian—Cenomanian), 9 — radiolarites, radiolarian limestones, spotty limestones and marlstones (Dogger—Malmian), 10 — sandy limestones, crinoidal limestones (Liassic), 11 — grey limestones (Rhaetian), 12 — variegated shales (Norian—Carpathian Keuper), 13 — dolomites (Middle—Upper Triassic), 14 — limestones (Middle—Upper Triassic), 15 — shales, sandstones (Lower Triassic), 16 — quartzites (Lower Triassic), 17 — granitoids (crystalline complexes), 18 — limburgites, 19 — hydrogeologic well, 20 — mineral water spring, 21—23 normal water springs non-catched, catched, 21 — with yield 1—5 l . s^{-1}, 22 — with yield 5—10 l . s^{-1}, 23 — with yield above 10 l . s^{-1}, 24 — ponor, 25 — exsurgence, 26 — aqueous tectonic line, 27 — groundwater flow course, 28 — groundwater divide, 29 — faults established, inferred, 30 — overthrust line, 31 — section line.

Tables

Tab. 1 Average annual totals of precipitation in mm in various altitude zones of the Tatras

Tab. 2 Minimum and maximum yields of systematically measured spring Bobrovecká dolina

Tab. 3 Minimum and maximum yields of systematically measured spring Teplý žľab (Tž)

Tab. 4 Evaluation of depletion curves of Bobrovecká dolina spring

Tab. 5 Chemical composition of groundwater in hydrogeologic structure Osobitá

Tab. 6 Hydrogeochemical characteristics of groundwater of hydrogeologic structure Osobitá

Tab. 7 Thermal springs in Oravice

Tab. 8 Chemical composition of groundwater in Krížna nappe carbonates

Tab. 9 Hydrogeochemical characteristics of groundwater in Krížna nappe carbonates

Tab. 10 Chemical composition of groundwater in Choč nappe carbonates

Tab. 11 Hydrogeochemical characteristics of groundwater in Choč nappe carbonates

Tab. 12 Prognostic groundwater sources in l . s^{-1}

Vysvetlivky ku schematickej hydrogeologickej mape:
1—3 Zvodnenie hornín: 1 — vysoko zvodnené s puklinovou, puklinovo-krasovou priepustnosťou, 2 — stredne zvodnené s puklinovou priepustnosťou, 3 — nízko zvodnené s puklinovou priepustnosťou, 4—5 Kvartér: 4 — fluviálne a glacifluviálne sedimenty Studeného potoka, 5 — deluviálne sedimenty, 6—7 Vnútrokarpatský paleogén: 6 — ílovcová litofácia, 7 — bazálna litofácia, 8—16 Mezozoikum: 8 — slienité vápence a bridlice (titón—cenoman), 9 — rádiolarity, rádioláriové vápence, škvrnité vápence a slieňovce (doger—malm), 10 — piesčité vápence, krinoidové vápence (lias), 11 — sivé vápence (rét), 12 — pestré bridlice (norik—karpatský keuper), 13 — dolomity (stredný—vrchný trias), 14 — vápenec (stredný—vrchný trias), 15 — bridlice, pieskovce (spodný trias), 16 — kremence (spodný trias), 17 — granitoidy (kryštalinikum), 18 — limburgity, 19 — hydrogeologický vrt, 20 — prameň minerálnej vody, 21—23 pramene obyčajnej vody (nezachytené—zachytené): 21 — s výdatnosťou 1—5 l . s^{-1}, 22 — s výdatnosťou 5—10 l . s^{-1}, 23 — s výdatnosťou nad 10 l . s^{-1}, 24 — ponor, 25 — vyvieračka, 26 — zvodnená tektonická línia, 27 — smer prúdenia podzemných vôd, 28 — rozvodnica, 29 — zlomy (zistené—predpokladané), 30 — presunová línia, 31 — línia rezov

ZÁPADNÉ KARPATY
séria

hydrogeológia a inžinierska geológia 7

Vydal Geologický ústav Dionýza Štúra vo vydavateľskom oprávnení Vedy, vydavateľstva Slovenskej akadémie vied v Bratislave roku 1989.

Vedecký redaktor: Ing. Eugen Kullman, DrSc.
Zodpovedná redaktorka: Irena Bročková
Jazyková úprava: Miriam Ghaniová
Technická úprava: Gabriela Šipošová
Preklad do angličtiny: Edita Jassingerová

Vytlačili ZT, z. p., závod Svornosť, Bratislava v roku 1989. Prvé vydanie. Náklad 650 kusov. Povol. SÚKK 1823/I-1985. Tem. skup. 03/9. Rozsah AH 11,74, VH 11,96, cena brož. Kčs 22,—