

1 B 19 b

617/03

1B 19
Mudry 106 b

GEOLOGICKÉ PRÁCE

ISSN 0433-4795

SPRÁVY

106

Ústredná geologická knižnica SR
ŠGÚDŠ



3902001016656

**GEOLOGICKÉ
PRÁCE
SPRÁVY 106**

Vedecký redaktor

RNDr. Ladislav Šimon, PhD.

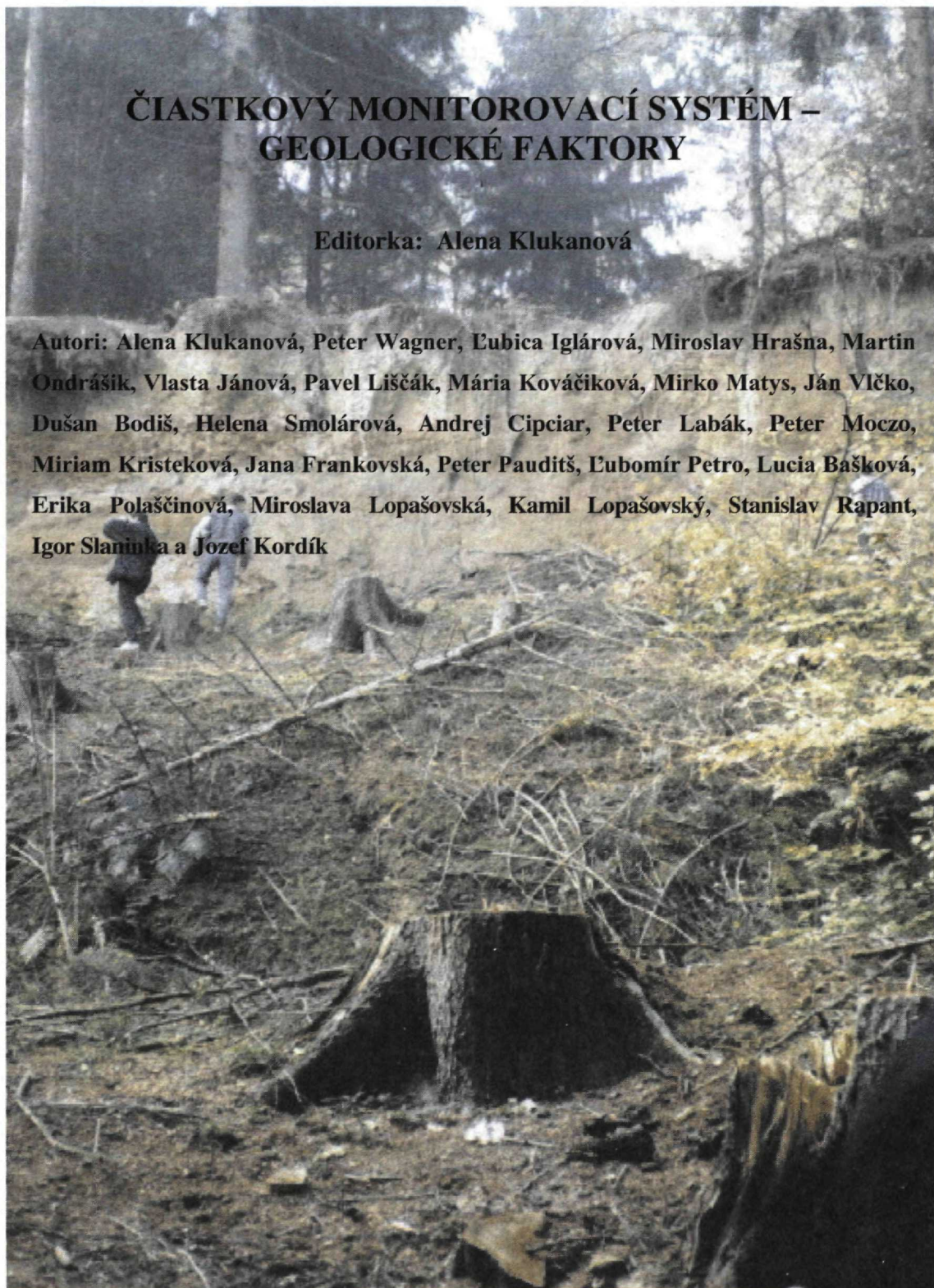
Členovia redakčnej rady

RNDr. K. Fordinál, PhD., RNDr. J. Hók, CSc., Ing. J. Janočko, CSc., RNDr. A. Klukanová, CSc., RNDr. P. Liščák, CSc., RNDr. P. Malík, CSc., RNDr. A. Nagy, CSc., RNDr. P. Šiman, RNDr. J. Zuberec, CSc.

ČIASTKOVÝ MONITOROVACÍ SYSTÉM – GEOLOGICKÉ FAKTORY

Editorka: Alena Klukanová

Autori: Alena Klukanová, Peter Wagner, Ľubica Iglárová, Miroslav Hrašna, Martin Ondrášik, Vlasta Jánová, Pavel Liščák, Mária Kováčiková, Mirko Matys, Ján Vlčko, Dušan Bodiš, Helena Smolárová, Andrej Cipciar, Peter Labák, Peter Moczo, Miriam Kristeková, Jana Frankovská, Peter Pauditš, Ľubomír Petro, Lucia Bašková, Erika Polaščinová, Miroslava Lopašovská, Kamil Lopašovský, Stanislav Rapant, Igor Slaninka a Jozef Kordík



Na titulnej strane je odlučná hrana svahovej deformácie Martin – Močiar. Foto: A. Klukanová.

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra
KNIŽNICA, Bratislava

Signatúra: 1B196

Inv. čís.: 676/03

Sk.: 62r

Získané: PV

Prílohy: -

Obsah

<i>Klukanová, A.</i> : Predslov _____	7
<i>Klukanová, A.</i> : Čiastkový monitorovací systém Geologické faktory ako súčasť monitorovacieho systému životného prostredia Slovenskej republiky _____	9
<i>Iglárová, L.</i> a <i>Pauditš, P.</i> : Parciálny informačný systém geofaktorov životného prostredia _____	15
<i>Wagner, P.</i> , <i>Iglárová, L.</i> , <i>Petro, L.</i> a <i>Scherer, S.</i> : Monitorovanie zosuvov a iných svahových deformácií _____	21
<i>Ondrášik, M.</i> : Monitoring erózných procesov – hodnotenie výmoleľovej erózie z leteckých meračských snímok _____	43
<i>Jánová, V.</i> a <i>Liščák, P.</i> : Monitorovanie procesov zvetrávania _____	53
<i>Klukanová, A.</i> a <i>Frankovská, J.</i> : Objemovo nestále zeminy a ich vlastnosti _____	61
<i>Klukanová, A.</i> : Vplyv ťažby nerastov na životné prostredie _____	69
<i>Matys, M.</i> : Zmeny antropogénnych sedimentov v odkaliskách _____	81
<i>Vlčko, J.</i> , <i>Petro, L.</i> , <i>Bašková, L.</i> a <i>Polaščinová, E.</i> : Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi _____	89
<i>Kováčiková, M.</i> : Pochované antropogénne sedimenty _____	97
<i>Hrašna, M.</i> : Monitorovanie tektonickej a seizmickej aktivity územia Slovenska _____	103
<i>Bodiš, D.</i> , <i>Lopašovská, M.</i> , <i>Lopašovský, K.</i> a <i>Rapant, S.</i> : Monitoring chemického zloženia snehovej pokrývky _____	115
<i>Cipciar, A.</i> , <i>Labák, P.</i> , <i>Moczó, P.</i> a <i>Kristeková, M.</i> : Monitorovanie seizmických javov Národnou sieťou seizmických staníc _____	123
<i>Bodiš, D.</i> , <i>Rapant, S.</i> , <i>Slaninka, I.</i> a <i>Kordík, J.</i> : Monitorovanie chemického zloženia riečnych sedimentov _____	133
<i>Smolárová, H.</i> : Monitorovanie radónu v geologickom prostredí _____	139

Predslov

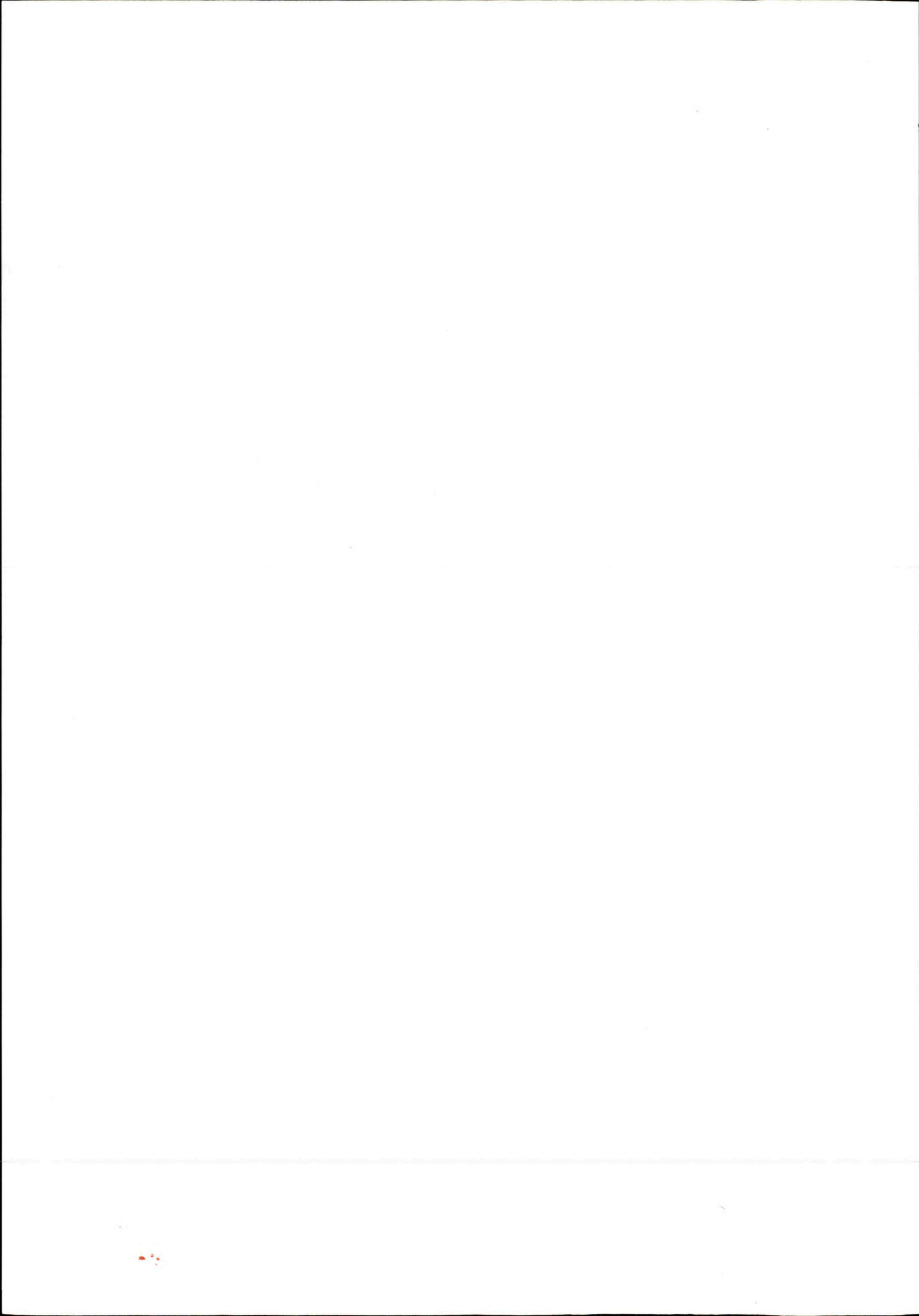
Tvorba monitorovacieho systému životného prostredia vyplýva zo značného množstva dohôd, dohovorov a medzinárodných požiadaviek vyplývajúcich predovšetkým zo vstupu Slovenskej republiky do Európskej únie. Systém monitorovania a informačný systém chápeme ako jeden z najdôležitejších nástrojov na zabezpečenie ochrany a tvorby životného prostredia SR. Je zároveň základom rozhodovania o súčasných aktivitách a perspektívnych zámeroch v oblasti životného prostredia. Monitoring životného prostredia je systematické, v čase a priestore definované pozorovanie presne určených charakteristík zložiek životného prostredia alebo ich vplyvov pôsobiacich naň (spravidla v bodoch tvoriacich monitorovaciu sieť), ktoré s určitou mierou výpovednej schopnosti reprezentujú sledovanú oblasť a v súhrne potom väčší územný celok. Monitorovanie slúži na objektívne poznanie charakteristík životného prostredia a hodnotenie ich zmien v sledovanom priestore.

Výber zložiek životného prostredia do monitorovacieho systému vyžaduje individuálny prístup každej krajiny, a to najmä z dôvodov rozdielnych prírodných (klimatických, hydrologických, geologických a pod.), demografických i socioekonomických podmienok. Sledované parametre budú v Holandsku, Dánsku, Švajčiarsku a na Slovensku rozdielne. V hornatých krajinách z geologických faktorov prevládajú svahové deformácie, v prímorských ústup pobrežnej čiary, v geologicky aktívnych oblastiach ide o zemetrasenia a vulkanizmus.

Koncepcia čiastkového monitorovacieho systému *Geologické faktory* vychádza z celkovej koncepcie monitorovania životného prostredia na území Slovenskej republiky. Monitoring je účelovo zameraný na tie geologické faktory a na takú formu výstupov, ktoré sa javia ako vhodné vstupné údaje pri riešení problémov ochrany životného prostredia a optimalizácie využívania geopotenciálov krajiny. Je zameraný najmä na tzv. geologické hazardy, t. j. škodlivé prírodné alebo antropogénne geologické procesy, ktoré ohrozujú prírodné prostredie a v konečnom dôsledku človeka.

V tejto publikácii sme sa zamerali na hodnotenie monitorovania vybraných geologických faktorov formou samostatných príspevkov. Monitoring sledovaných faktorov je na rôznej úrovni. Monitorovanie niektorých faktorov je na úrovni prvého merania, kde identifikujeme výskyt daného faktora, stanovujeme monitorovacie parametre a kroky merania. Také sú napríklad pochované antropogénne sedimenty alebo tektonická aktivita územia. V subsystéme objemovo nestálych sedimentov sú navrhnuté monitorovacie parametre, kroky a frekvencia merania a monitorovanie sa vykonáva už niekoľko rokov. Súbežne prebieha identifikácia ich ďalšieho výskytu, ako aj charakterizovanie ich vlastností. V monitoringu svahových deformácií sa podľa spoločenskej dôležitosti upravujú kroky aj frekvencia meraní. Väčšina subsystémov má navrhnutý stály dizajn, napr. seizmické javy, kvalita riečnych sedimentov, kvalita snehovej pokrývky a pod.

Editorka



Čiastkový monitorovací systém Geologickej faktory ako súčasť monitorovacieho systému životného prostredia Slovenskej republiky

ALENA KLUKANOVÁ

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Abstract. The article describes the origin of the project "Monitoring of the Environment of the Slovak Republic". The monitoring system consists of the following subsystems: Air, Meteorology and climatology, Water, Geological factors, Soil, Biota (fauna and flora), Forests, Waste, Extraneous substances in human and animal food, Radioactivity of the environment.

The part Geological Factors is characterized in detail in this article. Recently it consists of 13 subsystems: Erosion processes, Weathering processes, Volume unstable soils, Impact of mining activities upon the Environment, Anthropogene sediments changes, Stability of rock massif under historical objects, Anthropogene buried sediments, Tectonic and seismic land activity, Monitoring of snow pack quality, Monitoring of seismic activity on the area of the Slovak Republic, Monitoring of the active stream sediments, Monitoring of the volume activity of radon in the geological environment.

The article describes relations to the other Partial Monitoring Systems, the internal relation among the parts of the Monitoring of the Geological Factors and it compares the Monitoring of the Geological Factors with monitoring in other EU countries.

Keywords: Environment monitoring of the Slovak Republic, Partial monitoring system of the geological factors, comparison with EU and USA

Úvod

Ekologický akčný program pre strednú a východnú Európu prijatý na konferencii ministrov v Lucerne v roku 1990 označil za jeden z predpokladov realizácie ekologickej politiky rozvoj ekologických monitorovacích a informačných systémov. Vychádzal z týchto skutočností:

- Proces zavádzania prístupov uplatňovaných v krajinách Európskeho spoločenstva do štátov strednej a východnej Európy prináša požiadavku zabezpečiť získavanie kvalitných údajov o životnom prostredí na národnej úrovni, spracúvať ich do systému informácií a vzájomne si informácie vymieňať.
- Zabezpečenie trvalo udržateľného rozvoja si vyžaduje, aby ekologicky orientované činnosti boli založené na objektívnych a porovnateľných ekologických informáciách.

Vláda Slovenskej republiky vo svojom uznesení č. 623 z 21. 12. 1990 konštatovala, že na Slovensku nie je vybudovaný ucelený monitorovací systém životného prostredia. Vtedajšiemu predsedovi SKŽP (Slovenská komisia

pre životné prostredie) uložila v spolupráci s príslušnými ministrami vypracovať koncepciu monitorovania životného prostredia pre územie Slovenskej republiky vrátane organizačného, technického a finančného zabezpečenia.

Široká spolupráca odborníkov z mnohých oblastí, ktorá bola nevyhnutná na realizáciu uceleného systému monitorovania životného prostredia, sa uplatnila už vo fáze prípravy koncepčných materiálov. Začala sa tak rozsiahla odborná diskusia, na základe ktorej vznikla koncepcia schválená vládou Slovenskej republiky uznesením č. 449 z 26. mája 1992. Týmto uznesením uložila príslušným ministrom realizovať celoplošný monitorovací systém územia Slovenskej republiky a čiastkové monitorovacie systémy podľa spracovaných projektov. Ministrom životného prostredia uložila úlohu informovať vládu o postupe realizácie monitorovacieho a informačného systému o životnom prostredí, a to každoročne do 30. marca. Uznesenie vlády SR č. 620/93 uložilo MŽP SR, MP SR a MZ SR zabezpečiť výkon funkcie stredísk čiastkových monitorovacích systémov a prostredníctvom nich koordinovať vlastnú realizáciu čiastkových monitorovacích systémov a parciálnych informačných systémov.

V *Agende 21*, základnom dokumente UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) prijatom v júni 1992 v Rio de Janeiro, v kapitole 6, v programovej oblasti E pod písmenom k (6.41.k), je uvedená povinnosť zriadiť environmentálny monitorovací systém na nepretržité sledovanie kvality životného prostredia (Klinda, 1996).

S monitorovacím systémom úzko súvisí informačný systém. Na základe zákona NR SR č. 261/1995 Z. z. o štátnom informačnom systéme (ďalej ŠIS) bola v roku 1996 na MŽP SR vypracovaná *Koncepcia rezortného informačného systému* (ďalej RIS). Rozdelila informačné systémy rezortu na 18 projektov (SAŽP, 1997), čo bol dôsledok nového informačného pohľadu na rezort životného prostredia.

Systém monitorovania a informačný systém je potrebné chápať ako jeden z dôležitých nástrojov na zabezpečenie ochrany a tvorby životného prostredia SR, ktorý je súčasne základom rozhodovania o súčasných aktivitách a perspektívnych zámeroch v oblasti životného prostredia.

Fungujúci informačný systém, založený predovšetkým na účelnom, koordinovanom a metodicky zjednotenom



monitorovacím systéme, je základným predpokladom fungovania systému riadenia starostlivosti o životné prostredie. Z tohto pohľadu je dôležité dobudovať celoplošný monitoring životného prostredia Slovenska, založený na relatívne stabilnom monitorovacom systéme pokrývajúcom územie SR, zameranom na zisťovanie stavu životného prostredia na základe poznania vývoja jednotlivých zložiek.

Vlastná realizácia celoplošného monitorovacieho systému životného prostredia SR bola založená na organizačnom a metodickom zjednotení v rámci jednotlivých čiastkových monitorovacích systémov a ich vzájomnej harmonizácii, pričom limitujúcim faktorom bolo aj jej finančné zabezpečenie. Harmonizáciou jednotlivých monitorovacích aktivít, realizovaných v rámci disponibilných zdrojov, je možné urobiť podstatný krok vpred v kvalite poznania stavu a trendov životného prostredia územia Slovenskej republiky.

Uznesenie vlády č. 7 zo dňa 12. 1. 2000 prináša koncepciu dobudovania komplexného monitorovacieho a informačného systému v životnom prostredí. Táto koncepcia vychádza z dvoch základných ideí, a to: z uvedenia si reálneho stavu plnenia doterajších úloh, ktoré sa realizujú v zmysle *Koncepcie monitorovania životného prostredia a Koncepcie integrovaného informačného systému o životnom prostredí SR* z roku 1992 a z požiadaviek, ktoré pre Slovenskú republiku vyplývajú z prípravy na vstup do európskych štruktúr.

Monitorovací systém životného prostredia SR

Koncepcia monitorovacieho systému životného prostredia SR a Koncepcia integrovaného informačného systému o životnom prostredí SR definujú monitoring životného prostredia ako systematické, v čase a priestore definované pozorovanie presne určených charakteristík (atribútov) zložiek životného prostredia alebo ich vplyvov pôsobiacich naň (spravidla v bodoch tvoriacich monitorovaciu sieť), ktoré s určitou mierou výpovednej schopnosti reprezentujú sledovanú oblasť a v súhrne potom väčší územný celok. V zmysle § 2 zákona č. 17/1992 Zb. o životnom prostredí zložkami životného prostredia sú: ovzdušie, voda, horniny, pôda a organizmy.

Hlavným cieľom monitoringu je teda sledovanie určitého javu alebo parametra v presne definovaných časových a priestorových podmienkach. Monitorovanie slúži na objektívne poznanie charakteristík životného prostredia a hodnotenie ich zmien v sledovanom priestore. Základom monitorovacej činnosti je pozorovanie a následné hodnotenie stavu životného prostredia v súlade s čl. 35 *Listiny základných práv a slobôd* (Ústavný zákon č. 23/1991 Zb.).

V súčasnosti monitorovací systém životného prostredia pozostáva z nasledujúcich čiastkových systémov:

	Garant	Stredisko
a) Ovzdušie	MŽP SR	SHMÚ Bratislava
b) Meteorológia a klimatológia	MŽP SR	SHMÚ Bratislava
c) Voda	MŽP SR	SHMÚ Bratislava
d) Geologické faktory	MŽP SR	ŠGÚDŠ Bratislava
e) Pôda	MP SR	VÚPOP Bratislava
f) Biota (fauna a flóra)	MŽP SR	SAŽP B. Bystrica
g) Lesy	MP SR	LVÚ Zvolen

h) Odpad	MŽP SR	SAŽP B. Bystrica
i) Cudzorodé látky v požívatinách a krmivách	MP SR	VÚP Bratislava
j) Rádioaktívna životného prostredia	MŽP SR	SHMÚ Bratislava

Cieľom monitorovania životného prostredia je dobudovať čiastkové monitorovacie systémy tak, aby tvorili homogénny previazaný celok schopný podať čo najobjektívnejšiu výpoveď o stave životného prostredia.

V prvej etape realizácie monitoringu životného prostredia SR (do roku 2004) sa uplatňujú tieto koncepčné prístupy:

- monitoring životného prostredia sa chápe ako viac-zložkový, integrovaný, otvorený, z hľadiska štruktúry a funkcie pružný systém;
- na realizácii a prevádzke čiastkových monitorovacích systémov sa priamo zúčastňuje garant jednotlivých rezortov;
- monitorovací systém životného prostredia koordinuje Ministerstvo životného prostredia SR;
- koordinátor zabezpečuje koordináciu metód, používaných metód, technického vybavenia a vyhodnocovacích postupov s dôrazom na kvalitu a porovnateľnosť údajov;
- monitorovací systém je východiskový, relatívne samostatný systém vo vzťahu k informačnému systému o životnom prostredí SR.

Koordináčno-metodickú funkciu monitorovacieho systému životného prostredia SR zabezpečuje Ministerstvo životného prostredia SR predovšetkým prostredníctvom koordináčnej rady monitoringu životného prostredia (ďalej len KRMŽP). Tvoria ju odborní a riadiaci pracovníci z oblastí životného prostredia, zastupujúci jednotlivé rezorty vo funkcii garantov čiastkových monitorovacích systémov. Jednotliví členovia koordináčnej rady sú zároveň vedúci pracovných odborných skupín. Odborná skupina posudzuje realizáciu projektov čiastkových monitorovacích systémov aj z hľadiska ich medzirezortnej previazanosti a navrhuje úpravy systémov v procese budovania a prevádzky príslušného čiastkového monitorovacieho systému.

Realizačnú funkciu monitorovacieho systému životného prostredia SR zabezpečujú garanti jednotlivých čiastkových monitorovacích systémov, t. j. rezorty, v ktorých pôsobnosti je oblasť záujmu čiastkového monitorovacieho systému (ďalej len ČMS). Vlastný výkon a koordináciu monitorovacích aktivít vnútri ČMS zabezpečujú strediská.

Funkciou stredísk ČMS sú poverené už existujúce organizácie, ktoré majú najväčšie skúsenosti s doteraz vykonávanými monitorovacími aktivitami a majú odborné i organizačné predpoklady na to, aby mohli plniť úlohy strediska ČMS. Hlavnou úlohou stredísk ČMS je koordinovať jednotlivé monitorovacie aktivity v rámci ČMS, metodicky ich zjednocovať a sústreďovať údaje do jednotnej databázy. Strediskom ČMS *Geologické faktory* je Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.

Čiastkový monitorovací systém Geologické faktory

Koncepcia ČMS *Geologické faktory* vychádza z celkovej koncepcie monitorovania životného prostredia pre



územie Slovenskej republiky. Účelovo je zameraný na tie geologické faktory a na takú formu výstupov, ktoré sú vhodné ako vstupné údaje pri riešení problémov ochrany životného prostredia a optimalizácie využívania geopotenciálov krajiny. Zamerali sme sa najmä na tzv. geologické hazardy, t. j. škodlivé prírodné alebo antropogénne geologické procesy, ktoré ohrozujú prírodné prostredie a v konečnom dôsledku človeka. Monitoring slúži na sledovanie a vyhodnocovanie mechanizmu negatívnych zmien v geologickom prostredí.

Odborným garantom ČMS *Geologické faktory* je sekcia geológie a prírodných zdrojov MŽP SR. Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov v súčasnosti tvorí 13 samostatných podsystemov. Jeho štruktúra je zobrazená v tab. 1.

23. júla 1993 bol schválený projekt geologickej úlohy *Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR*. Pozostával z 9 podsystemov. Dňa 4. augusta 1995 bola schválená prvá zmena projektu, ktorá sa týkala zaradenia dvoch podsystemov, a to Monitorovanie kvality snehovej pokrývky a Monitorovanie seizmických javov na území Slovenskej republiky.

21. júla 1997 bola schválená 2. zmena projektu, ktorá sa týkala všetkých podsystemov – zmeny doby riešenia, zmeny počtu monitorovacích lokalít i zmeny sledovaných prvkov. Úloha bola doplnená o 12. podsystem, a to monitorovanie aktívnych riečnych sedimentov. Niektoré postu-

py uvádzané v pôvodnom projekte sa ukázali ako nevhodné a problematické boli aj zmenené cenové relácie. Preto sa projekt úplne prebudoval.

27. 8. 1997 bola schválená 3. zmena projektu, ktorá sa týkala zaradenia 13. podsystemu – *Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky*.

V súčasnosti ČMS *Geologické faktory* tvorí 13 samostatných podsystemov, pre ktoré charakteristickým odlišujúcim znakom je pôsobenie špecifického geologického procesu aktivovaného prírodnými alebo antropogénnymi faktormi. K riešeniu každého podsystemu pristupujeme samostatne. Optimálnym riešením je však vzájomné prepojenie častí monitoringu geologických faktorov tak, aby jednotlivé merania sa navzájom dopĺňali a podávali ucelený obraz o stave geologického prostredia ako celku. Tejto základnej myšlienke je podriadený výber monitorovacích miest, frekvencia odberu vzoriek a zberu údajov, ako aj spôsoby spracovania vzoriek hornín, a najmä spôsob získavania údajov (Klukanová et al., 1998, 2000).

Štruktúra čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov je zobrazená v tab. 1. Na obr. 1 sú zobrazené monitorované lokality.

Vonkajšie väzby na iné ČMS

Na monitorovanie geologických faktorov sú potrebné vstupy z iných čiastkových monitorovacích systémov.

Tab. 1 Štruktúra jednotlivých subsystémov v rámci ČMS GEOLOGICKÉ FAKTORY.

Číslo subprojektu	Názov subprojektu	Riešiteľská organizácia	Zodpovedný riešiteľ
01	Zosuvy a iné svahové deformácie	Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava	doc. RNDr. Peter Wagner, CSc.
02	Erózne procesy	Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava	Mgr. Martin Ondrášik
03	Procesy zvetrávania	Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava	RNDr. Pavel Liščák
04	Objemovo nestále zeminy	Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava	RNDr. Alena Klukanová, CSc.
05	Vplyv ťažby nerastov na životné prostredie	Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava Od 31. 12. 1997 preberanie údajov od Geocomplexu, a. s., Bratislava	RNDr. Alena Klukanová, CSc.
06	Zmeny antropogénnych sedimentov	Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, Katedra inžinierskej geológie	doc. Ing. Mirko Matys, CSc.
07	Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi	Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, Katedra inžinierskej geológie	RNDr. Ján Vlčko, CSc.
08	Pochované antropogénne sedimenty	Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava	RNDr. Mária Kováčiková
09	Tektonická a seizmická aktivita územia	Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, Katedra inžinierskej geológie	doc. RNDr. Miroslav Hrašna, CSc.
10	Monitorovanie kvality snehovej pokrývky	Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava	RNDr. Dušan Bodiš, CSc.
11	Monitorovanie seizmických javov na území Slovenskej republiky	Geofyzikálny ústav SAV Bratislava	doc. RNDr. Peter Moczo, CSc.
12	Monitorovanie aktívnych riečnych sedimentov	Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava	RNDr. Dušan Bodiš, CSc.
13	Monitoring objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí na území Slovenskej republiky	Štátny geologický ústav D. Štúra, Regionálne centrum Spišská Nová Ves	RNDr. Helena Smolárová

Medzi najdôležitejšie faktory vzniku zosunov v našich podmienkach patria zrážkové a teplotné anomálie. Preto podsystem *Zosuny a iné svahové deformácie* je bezprostredne prepojený s ČMS *Voda, Meteorológia a klimatológia* a *Ovzdušie*. Pri analýzach príčin vzniku svahových pohybov aplikuje aj výsledky ČMS *Voda* (vplyv prietoku riek na rozvoj erózie brehov, ktorá predstavuje zosuvotvorný faktor).

Podsystemy *Erózne procesy, Procesy zvetrávania* a *Objemovo nestále zeminy* sú prepojené s monitorovacími systémami *Ovzdušie* a *Meteorológia a klimatológia*, pretože klimatické podmienky sú dôležitým faktorom vplývajúcim na intenzitu týchto procesov.

Podsystemy *Zmeny antropogénnych sedimentov* a *Pochované antropogénne sedimenty* súvisia s ČMS *Odpad*, pretože predmet záujmu – odkaliská a skládky odpadu – je pre obidva systémy spoločný.

Poznanie potenciálneho prínosu atmosférických solí roztokov vzniknutých topením snehovej pokrývky za určité časové obdobie prispieva k poznaniu zaťaženia atmosféry (previazanosť podsystemu *Monitorovanie kvality snehovej pokrývky* a ČSM *Ovzdušie*). Zhodnotenie chemického zloženia snehovej pokrývky v oblasti Slovenska predstavuje základný predpoklad poznania mechanizmu vytvárania zásob a procesov tvorby chemického zloženia podzemných vôd (ČSM *Voda*).

Riečne sedimenty predstavujú tak nosné médium, ako aj zdroje vo vodnom systéme, ktoré môžu mať rôzne vplyvy na kvalitu prírodných vôd (podzemných aj povrchových – ČSM *Voda*) a poľnohospodárske produkty v prípade väčšieho rozšírenia sedimentov povodňovými vlnami (ČSM *Pôda*). Výrazným spôsobom dopĺňajú informáciu o stave kontaminácie povrchových tokov, kde okrem vodnej zložky ju tvoria látky v znose a riečne sedimenty. Monitorovanie kvality aktívnych riečnych sedimentov má priamu nadväznosť na monitorovanie kvality povrchových tokov, na kvalitu podzemných vôd, najmä aluviálnych sedimentov, a na kvalitu sedimentov vstupujúcich do vodných nádrží. Hodnotenie zloženia aktívnych riečnych sedimentov sa využíva pri štúdiu mechanizmov prenosu prvkov/zložiek do biologických systémov a na hodnotenie environmentálneho vplyvu. V niektorých prípadoch je možné prispieť k hodnoteniu mortality bioty a nepriaznivých zdravotných účinkov na človeka prostredníctvom potravinového reťazca.

Monitorovanie objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí priamo súvisí s ČMS *Rádioaktivita životného prostredia*, kde sa monitoruje dávkový príkon žiarenia gama v ovzduší a celková aktivita alfa vo vodách.

Požadované údaje sa môžu získavať:

- priamou spolupracou medzi jednotlivými strediskami čiastkových monitorovacích systémov,
- prostredníctvom informačnej centrály monitorovacieho systému.

Vnútorne väzby čiastkového monitorovacieho systému

Vzájomné prepojenie monitorovania jednotlivých javov vnútri ČMS geologických faktorov je dané predovšetkým výberom spoločných lokalít.

V rámci vnútorného členenia ČMS *Geologické faktory* je podsystem *Zosuny a iné svahové deformácie* úzko prepojený na podsystemy *Erózne procesy* a *Procesy zvetrávania*. Uvedené podsystemy monitorujú geodynamické javy, ktoré bezprostredne súvisia a ich prejavy sa vzájomne dopĺňajú a ovplyvňujú. Vo vybraných okruhoch problémov je podsystem *Zosuny a iné svahové deformácie* prepojený na podsystemy *Vplyv ťažby nerastov na životné prostredie* – problematika ovplyvňovania stability svahov antropogénnymi zásahmi pri podzemnej i povrchovej ťažbe nerastov – a *Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi* – monitorovanie predovšetkým plazivých deformácií identifikovaných v priestore historických objektov, napríklad lokality Spišský hrad, Skalka a ďalšie. Priame prepojenie na podsystem *Tektonická a seizmická aktivita územia* vyplýva zo skutočnosti, že k významným zosuvotvorným faktorom patria aj seizmické otrasy.

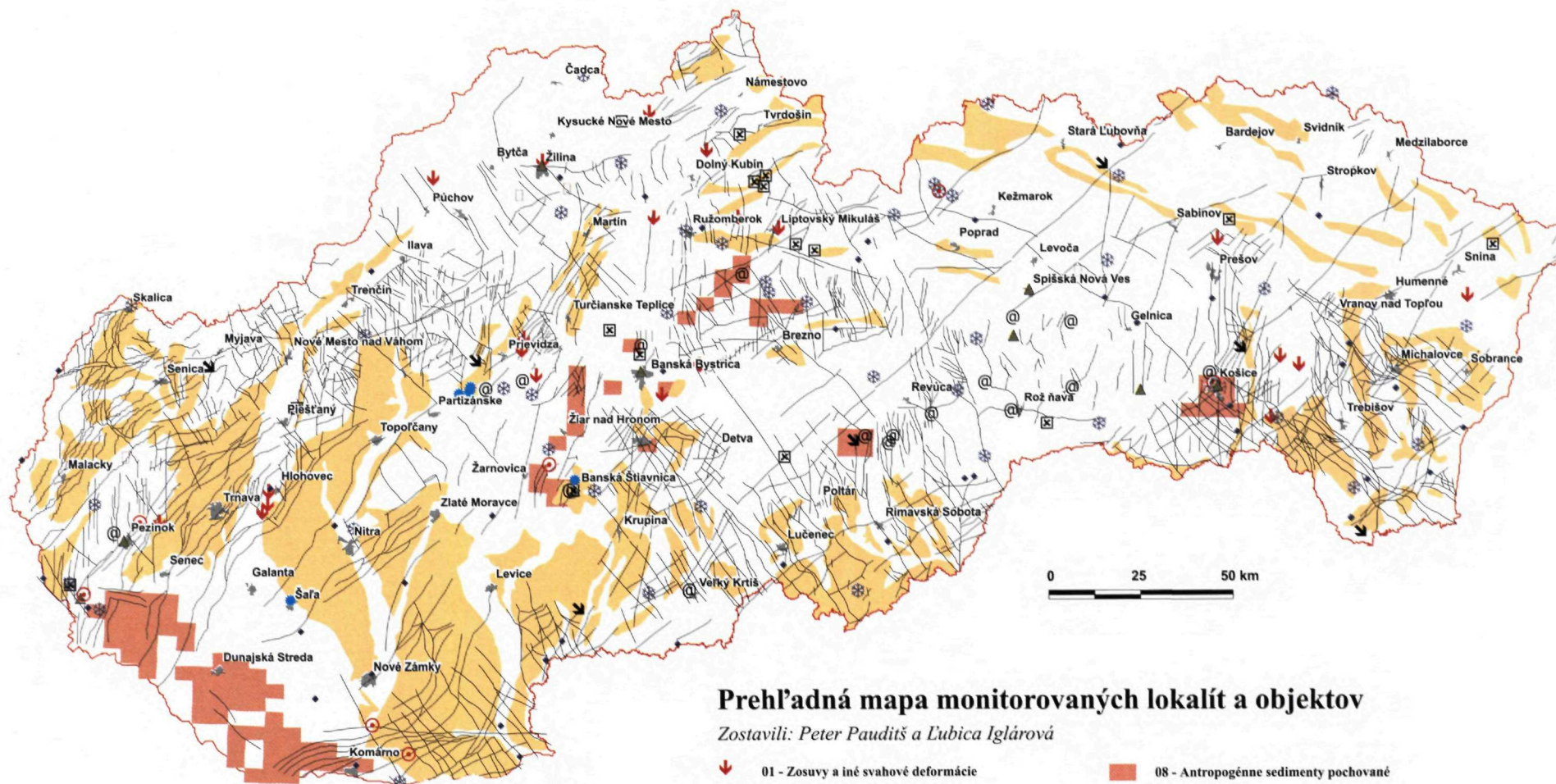
Komplexný prístup k hodnoteniu jednotlivých lokalít sledovaných v rámci podsystemu *Procesy zvetrávania* sa prepája s podsystemom *Procesy erózie*. Procesy erózie, zvetrávania a odnosu majú priamu nadväznosť na kvalitu aktívnych riečnych sedimentov. V minulosti sa chemické analýzy riečnych sedimentov úspešne využívali ako jedna z prospekčných metód vyhľadávania ložísk nerastných surovín.

Monitorovanie kvality snehovej pokrývky a aplikácia výsledkov majú veľké uplatnenie najmä pri riešení problémov kyslých zrážok v procesoch chemického zvetrávania a odnosu látok. Množstvo a kvalita roztokov vzniknutých topením snehovej pokrývky majú vplyv na vlastnosti objemovo nestálych sedimentov, na zosúvanie a podobne.

Porovnanie ČMS *Geologické faktory* s krajinami EÚ

Výber zložiek životného prostredia do monitorovacieho systému vyžaduje individuálny prístup každej krajiny najmä pre rozdielne prírodné podmienky (klimatické, hydrologické, geologické a pod.), demografické a socioekonomické podmienky. Sledované parametre v Holandsku, Dánsku, Švajčiarsku, Francúzsku, Grécku a na Slovensku budú značne rozdielne. V hornatých krajinách z geologických faktorov prevládajú svahové deformácie, v prímorských sledovanie ústupu pobrežnej čiary, v geologicky aktívnych oblastiach do popredia záujmu vystupuje zemetrasenie a vulkanizmus. V poslednom čase sa čoraz častejšie objavuje problém záplav. Na to, aby sme spoľahlivo vedeli predpovedať výskyt určitého nebezpečného javu a vybudovali varovný a bezpečnostný systém, je nevyhnutné vybudovať funkčný monitorovací systém. Najrozšírenejším problémom je sledovanie a následné odstraňovanie kontaminácie prostredia. Staré ekologické záťaž – ich identifikácia, hodnotenie a sanácia – sa v krajinách EÚ riešia tak v oblasti právnej, ako aj praktickej. SR môže využívať bohaté skúsenosti, ktoré jednotlivé krajiny nadobudli. Ako ukazujú aktivity MŽP SR, využívanie skúseností v oblasti prípravy právneho predpisu v SR sa už realizuje.

V rámci problematiky sledovania výskytu objemovo nestálych sedimentov a následných nepriaznivých vplyvov sa pripravuje zostavenie mapy Európy s výskytom



Prehľadná mapa monitorovaných lokalít a objektov

Zostavili: Peter Paudiš a Ľubica Iglárová

- | | | | |
|---|---|---|--|
| ↓ | 01 - Zosuvy a iné svahové deformácie | ■ | 08 - Antropogénne sedimenty pochované |
| ↘ | 02 - Erózne a abrazné procesy | ⚡ | 09 - Tektonická a seizmická aktivita územia |
| ☒ | 03 - Procesy zvetrávania | ❄ | 10 - Monitorovanie kvality snehovej pokrývky |
| ■ | 04 - Výskyt sedimentov náchylných k objemovým zmenám | ⊙ | 11 - Monitorovanie seizmických javov |
| @ | 05 - Vplyv ťaž by nerastov | ◆ | 12 - Aktivita riečnych sedimentov |
| ● | 06 - Zmeny antropogénnych sedimentov | ▲ | 13 - Monitorovanie objemovej aktivity radónu v geologickom prostredí |
| □ | 07 - Stabilita horninových masív pod historickými objektami | | |

sedimentov náchylných na kolaps. Mapa bude zostavená pod záštitou INQUA Loess Commission.

V krajinách EÚ sa systematicky monitorujú tak seizmické javy, ako aj pohyby povrchu územia a v súvislosti s tým aj tektonické javy. Niektoré seizmické stanice slovenskej národnej siete sú súčasťou medzinárodnej siete. Slovensko sa podieľa na štandardnej medzinárodnej výmene údajov zo seizmických staníc v rámci celosvetovej seizmickej siete. Zo seizmických staníc sa zasielajú údaje, získavajú sa údaje zo seizmických staníc okolitých štátov a rýchle predbežné, neskôr spresnené lokalizácie väčších zemetrasení z medzinárodných centier. Získané údaje sa spätne využívajú na ďalšiu analýzu seizmických záznamov zo slovenských staníc. Proces analýzy údajov o zemetrasení je teda interaktívny. Dvakrát týždenne sa zasiela tzv. *seismo report* do medzinárodných centier – U. S. Geological Survey National Earthquake Information Center (USGS NEIC, USA), Centre Seismologique Euro-Méditerranéen (CSEM, Francúzsko) a 9 inštitúcií v iných európskych štátoch. *Seismo report* obsahuje čas príchodu identifikovaných fáz, amplitúdy a periódy vybraných fáz, lokálne magnitúdy a predbežné epicentrálne vzdialenosti pre jednotlivé zaregistrované zemetrasenia. Na základe týchto informácií medzinárodné centrá vykonávajú predbežné rýchle lokalizácie zemetrasení, ktoré sa spätne zasielajú do jednotlivých štátov. V národných centrách sa potom záznamy zemetrasení reinterpretujú a spresnené údaje sa zasielajú do medzinárodného centra International Seismological Centre (ISC, Veľká Británia) vo forme tzv. staničných mesačných bulletinov. Po spracovaní týchto údajov ISC vydáva tzv. mesačný bulletin ISC, ktorý obsahuje definitívne lokalizácie a údaje o zemetraseniach. Mesačný bulletin ISC je k dispozícii s 2,5-ročným oneskorením. Na základe neho sa seizmické záznamy znovu reinterpretujú a údaje sa spresňujú a dopĺňajú.

V krajinách EÚ a USA sa realizujú prípadové štúdie a cielený monitoring aktívnych riečnych sedimentov (stream sediment). Vo väčšine prípadov je hlavným cieľom zistiť mieru kontaminácie riečnych sedimentov. V súčasnosti monitorovanie kvality aktívnych riečnych sedimentov a hodnotenie jej zmien sa sústreďuje na hodnotenie distribúcie prvkov/zložiek na identifikáciu zdrojov kontaminácie, štúdie mechanizmov prenosu prvkov/zložiek do biologických systémov a na hodnotenie environmentálneho dosahu. Uvedená orientácia výskumu a hodnotenia sedimentov vyplývala z narastajúceho trendu ich kontaminácie (najmä v oblastiach delt, morských a jazerných sedimentov a riečnych sedimentov najmä Rýna, Temže, Labe a pod.). V krajinách EÚ sa veľká pozornosť venuje hodnoteniu rizík z kontaminovaných sedimentov vodných tokov, prírodných a umelých nádrží a estuárií.

Pomerne široko je koncipované sledovanie kontaminovaných sedimentov v USA. US EPA v súčasnosti kompletizuje informácie o kontaminovaných sedimentoch prakticky z celého územia USA. V princípe sa sleduje 1 270 povodí z kategórie „bezvýznamných“, 56 povodí stredného významu a 40 povodí s tzv. vysokým stupňom záujmu. Súčasťou tohto monitoringu sú aj údaje z individuálnych monitoringov sledovania toxicity sedimentov

a tkanív rýb. Súčasťou monitoringu kvality vôd povrchových tokov v USA (NASQAN) je aj sledovanie chemického zloženia riečnych sedimentov. Realizátorom uvedeného monitoringu je Geologická služba Spojených štátov (USGS). Monitorovanie a hodnotenie riečnych sedimentov sa na Slovensku realizuje na porovnateľnej úrovni ako v členských krajinách EÚ.

Podobne by bolo možné rozobrať aj ďalšie riešené podsystémy. Podrobnejšie sa uvádzajú v projekte *Čiastkového monitorovacieho systému Geologické faktory* (Klukanová a Iglárová, 2000).

Záver

Parciálnemu informačnému systému sa venuje samostatný príspevok. Nasledujúce príspevky predstavujú výsledky riešenia jednotlivých podsystémov v poradí, ako sa uvádza v tab. 1.

Záverom by som sa chcela poďakovať všetkým, ktorí aktívne prispeli k vydaniu tohto monotematického čísla.

Rovnako úprimne vyslovujem vďaka všetkým, ktorí sa v priebehu 8 rokov podieľali na tvorbe a realizácii tohto projektu.

Literatúra

- Klinda, J.: Agenda 21 a ukazovatele trvalo udržateľného rozvoja. Bratislava, MŽP SR 1996. 520 s.
- Klukanová, A., Wagner, P., Iglárová, L., Ondrášik, M., Jánová, V., Liščák, P., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Frankovská, J., Rapant, S., Jelínek, R., Pauditš, P., Petro, L., Poláščinová, E., Kováčik, M., Scherer, S., Kristeková, M., Labák, P., Dananaj, I., Spišák, Z., Jadroň, D., Vybíral, V., Holzer, R., Malgot, M., Baliak, F., Jánoš, J., Gajdoš, V., Letko, V. a Míka, R.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, stav k 31. 12. 1997. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1998. 420 s.
- Klukanová, A., Iglárová, L., Wagner, P., Ondrášik, M., Jánová, V., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Smolárová, H., Antal, J., Ayele, T., Cipciar, A., Dananaj, I., Durmeková, T., Frankovská, J., Helma, J., Holzer, R., Jadroň, D., Jelínek, R., Kišová, M., Maas, P., Matejček, A., Míka, R., Labák, P., Letko, V., Liščák, P., Pauditš, P., Petro, L., Poláščinová, E., Rapant, S., Rozimant, K., Scherer, S., Slaninka, I., Socha, I., Vanko, J., Vybíral, V. a Záhorová, L.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, stav k 31. 12. 1999. Čiastková záverečná správa. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 2000.
- Klukanová, A. a Iglárová, L.: Projekt Čiastkového monitorovacieho systému Geologické faktory. Projekt prác podľa ZoD 152/2000/7.2. Bratislava, MŽP SR 2000.
- Koncepcia dobudovania komplexného monitorovacieho a informačného systému v životnom prostredí. Dokumenty, Bratislava, MŽP SR 2000, s. 28.
- Uznesenie vlády SR č. 449 z 26. mája 1992 ku koncepcii monitorovania životného prostredia pre územie Slovenskej republiky a koncepcii integrovaného informačného systému o životnom prostredí Slovenskej republiky.
- Uznesenie vlády SR č. 620 zo 7. septembra 1993 k návrhu na realizáciu monitorovacieho systému životného prostredia a integrovaného informačného systému o životnom prostredí.
- Uznesenie vlády SR č. 7/2000 z 12. januára 2000 ku koncepcii dobudovania komplexného monitorovacieho a informačného systému v životnom prostredí.
- Zákon č. 17/1992 Zb. o životnom prostredí v znení neskorších predpisov. Zákon NR SR č. 261/1995 Z. z. o štátnom informačnom systéme.

Parciálny informačný systém geofaktorov životného prostredia

ĽUBICA IGLÁROVÁ a PETER PAUDITŠ

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Abstract. Monitoring system of the Slovak Republic is a part of the State information system of the environment of the Slovak Republic environment. It serves for observation and evaluation of the negative alterations mechanisms of the environment. The Partial information system of geological factors (PIS GF) is based on 3 information centres that collect the primary data. PIS GF is consists of 2 levels. The Detailed level includes the spatial data about the situation at the individual localities, which are mainly of primary data character. The tabular level provides an the information about achieved results of the monitoring the results gained by processing of the primary data at the individual localities. The general information on PMS GF and PIS are available also on the Internet page. The storage of the monitoring results in GIS form is a prerequisite for better lucidity and utilisation of the data.

Úvod

Parciálne informačné systémy sú neoddeliteľnou súčasťou čiastkových monitorovacích systémov životného prostredia. Ich nadstavbou je *Informačný systém monitoringu* (ISM), ktorý slúži na riešenie vnútorných a vonkajších väzieb medzi čiastkovými monitorovacími systémami, ako aj v ich samostatných subsystémoch (Benko, 1999). ISM je zároveň súčasťou *Rezortného informačného systému životného prostredia* (RIS) a spĺňa požiadavky *Štátneho informačného systému*. Rezortný informačný systém zastrešuje 18 projektov informačných systémov, medzi ktorými prebieha tok informácií a vzájomné využívanie údajov. *Informačný systém monitoringu* (ISM) je predovšetkým úzko previazaný s údajmi, ktoré sú obsahom *Informačného systému o životnom prostredí SR* (ISŽP), *Informačného systému o území* (ISÚ), *Metainformačného systému* a *Informácií o stave životného prostredia*.

Parciálny informačný systém ČMS – Geologické faktory

Parciálny informačný systém geologických faktorov (PIS GF) slúži na zber a archivovanie komplexných informácií o monitorovaných lokalitách. Na základe jednotného prístupu k spracúvaniu údajov vo forme geografického informačného systému (GIS) vytvára ucelený súbor informácií o vývoji negatívnych vplyvov geologických faktorov na životné prostredie. PIS GF okrem archivácie údajov *Čiastkového monitorovacieho systému* je nástro-

jom na riešenie priestorového zobrazenia vplyvu monitorovaných procesov na životné prostredie a vyhodnotenie výsledkov monitorovania pomocou mapových výstupov. Tie sa postupne spracúvajú do digitálnej formy na báze GIS.

PIS ČMS GF pozostáva z dvoch úrovní:

- podrobnej (mierky 1 : 10 000 až 1 : 2 000),
- prehľadnej (mierky 1 : 200 000 až 1 : 50 000).

Podrobná úroveň PIS zahŕňa priestorové údaje o situácii konkrétnych monitorovacích prvkov na jednotlivých lokalitách (t. j. lokalizácia meracích prístrojov, vrty, geodetické body, erózne ryhy, porušené stavebné objekty, skládky a pod.). Údaje priradené k nim v tabuľkách sú konkrétnymi údajmi získanými na základe monitorovacích aktivít v jednotlivých cykloch monitorovania (Klukanová a Wagner, 2000; Gregor a Bartoš, 1996). Informácie sú doplnené údajmi, ktoré slúžia na podrobnejšiu charakteristiku horninového prostredia a faktorov ovplyvňujúcich kvalitu a zraniteľnosť environmentálnej stability územia. Podrobnejšia charakteristika rozdelenia primárnych vstupných údajov získaných monitorovaním je uvedená v tab. 1.

Okrem súhrnnej informácie v rámci tejto úrovne PIS v jednotlivých subsystémoch ČMS GF sú vytvorené užívateľské moduly aplikačného softvérového produktu na vkladanie, prehľadávanie a editovanie údajov. Na základe jednotného ukladania a spracúvania údajov v digitálnej forme je zabezpečená ich vzájomná využiteľnosť, preprijateľnosť a rýchla orientácia v archivovaných dátach.

PIS pomocou identifikácie základných charakteristík geologického a krajinného prostredia slúži ako údajová základňa a východisko pre prognózy a identifikáciu kritických stavov pri vývoji negatívnych následkov geologických činiteľov na životné prostredie (Wagner et al., 1997; Klukanová a Liščák, 1998).

V *prehľadnej úrovni* parciálny informačný systém poskytuje prehľadné informácie o dosiahnutých výsledkoch monitorovania, ako aj o výsledkoch získaných spracovaním primárnych vstupných dát v jednotlivých lokalitách (obr. 1 úvodného článku tejto publikácie – *Čiastkový monitorovací systém Geologické faktory* ako súčasť monitorovacieho systému životného prostredia; Klukanová, 2002).

Lokalizácia je prevažne zobrazená bodovou formou, ktorá je znázornením monitorovanej lokality v rámci celého územia Slovenska. K jednotlivým bodom sú prirade-

Tab. 1 Štruktúra údajov PIS podľa subsystémov ČMS GF.

Názov meranej veličiny	Meraná veličina	Použitá metóda merania	Priestorová identifikácia v teréne	Frekvencia merania
Subsystém 01: Zosuvy a iné svahové deformácie				
Povrchové pohyby				
zmena polohy meraného bodu v priestore	mm	geodetické zameranie	geodetická sieť na lokalitách	1x ročne
reziduálna napätosť	mm	metóda odľahčeného otvoru	meračské profily na lokalitách	1x ročne
Podpovrchové pohyby				
vektor posunu	mm, azimut	inklinometrické meranie	sieť pozorovacích vrtov na lokalitách	1x ročne
nepriame meranie napätosti	impulzy za sekundu	geofyzikálne meranie	sieť pozorovacích vrtov na lokalitách	2x ročne
Režimové pozorovania				
stavy hladiny podzemnej vody	cm	pásmom	pozorovacie sondy	3x ročne, kontinuálne merania (4 lokality)
výtok z horizontálnych vrtov	l/s	zachytenie do odmernej nádoby	sieť vrtov (vybr. lokality)	3x ročne, 1x týžd. (2 lokality)
teplota vody z horizontálnych vrtov	°C	teplomerom	sieť vrtov (vybr. lokality)	3x ročne, 1x týžd. (2 lokality)
Stabilita horninového masívu				
pohyb horninových blokov	mm	pozemná fotogrametria	vybrané lokality	1x ročne
rozvoľňovanie masívu	mm	opticko-mechanický dilatometer TM-71	vybrané lokality	1x ročne
Subsystém 02: Erózne procesy				
Erózna ryha				
dĺžka eróznych rýh	m	analýza leteckých snímok, porovnávacie analýzy	územie vybraných mapových listov	letecké snímky rok 1949, 1992
plocha eróznej ryhy	m ²			
vetvenie	počet			
charakter hlavy erózneho výmoľa	kód. údaj			
výška hlavy	m			
vzdialenosť hlavy od hrebeňa	m			
výška ústia	m			
vzdialenosť ústia od päty svahu	m			
voda	kód. údaj			
vegetácia	kód. údaj			
Svah				
morfolometrické údaje	m, m ² , °, kód. údaj	analýza leteckých snímok, porovnávacie analýzy	územie vybraných mapových listov	letecké snímky rok 1949, 1992
geológia podložia	kód. údaj			
geológia pokryvných útvarov	kód. údaj			
iné vplyvy	kód. údaj			
Subsystém 03: Procesy zvetrávania				
Horninový masív				
mikronivelačné zmeny povrchu	mm	mikronivelačné meradlo, pozemná fotogrametria	vybrané lokality v rôznych typoch hornín	2x ročne
objem sutinových kužeľov	m ³	geodeticky, výpočtom z terénnych meraní	doplnkové merania na vybraných lokalitách	2x ročne
stupeň zvetrania	bezrozm. stupnica 1 – 10	Schmidt. kladivo, Poind Load test, klasifikačná hodnota, metóda	doplnkové merania na vybraných lokalitách	1x za 3 roky
Modelovanie na vzorkách hornín				
rozpadavosť	g	vážením straty hmotnosti	vzorky hornín, odberové miesta z celého územia SR	1x ročne
mikromorfológia povrchu vzoriek	kód. údaje	vizuálne hodnotenie	vybrané vzorky	doplnkové merania

Subsystém 04: Presadanie zemín v základových pôdach				
Poruchy objektov				
rozmer poruchy	cm	porovnávacie meranie	poruchy objektov v typických lokalitách	1x ročne
počet porúch	bezrozmerné	vizuálne	poruchy objektov v typických lokalitách	1x ročne
Charakteristika presadavých zemín				
stupeň presadavosti	kód. údaj	laboratórne skúšky	odbery v okolí registr. objektov	priebežné dopĺňanie informácií
Subsystém 05: Vplyv ťažby nerastných surovín na životné prostredie				
Povrchové pohyby				
zmena polohy meraného bodu	mm	geodetické zameranie	geodetická sieť na lokalitách	1x ročne
Banská voda, priesak z odkalísk a hald				
Na, K, Ca, Mg, NH ₄ , Fe, Mn, Al, Cl, NO ₂ , NO ₃ , SO ₄ , HPO ₃ , HCO ₃ , Hg, Sn, Zn, Pb, As, Sb, Se, Ni, Cd, Co, Cu, Cr, Ag, Ba, Min, pH	mg/l, bezrozmerné	chemická analýza	monitorovacie body na lokalitách	1x ročne
Riečne sedimenty				
Cr, Cu, Pb, Zn, Co, Cd, Hg, Sn, As, Sb, Se, Al, Fe, Mn, Ti, Ni, Sr, Li, Ca, Mg, Na, K, Bi	ppm	chemická analýza	monitorovacie body na lokalitách	1x ročne
alkalita	mmol/l			
acidita	mmol/l			
Subsystém 06: Zmeny v antropogénnych sedimentoch				
Terénne skúšky				
medza presiometrického tlaku	MPa	presiometrická skúška	vybrané lokality	1x za 3 roky
presiometrický modul	MPa	presiometrická skúška		
uhol vnútorného trenia		presiometrická skúška		
N ₁₀	počet úderov /10 cm	dynamické penetračné skúšky		
Inžinierskogeologické vlastnosti				
zrnitosté zloženie zeminy	%	laboratórne skúšky	vybrané lokality	jednorazovo
vlhkosť hmoty sušiny	%			
medza tekutosti	%			
medza plasticity	%			
Subsystém 07: Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi				
Stabilita horninového masívu				
pohyb horninových blokov	mm	dilatometer TM-71	vybrané lokality	2x ročne
Subsystém 08: Pochované antropogénne sedimenty				
Charakteristika PAS				
lokalizácia	kód. údaj	porovnávací analýza topograf. podkladov	vybrané okresy	priebežná analýza
rozmer skládky	m ² , m ³	porovnávací analýza topograf. podkladov	vybrané okresy	priebežná analýza
vek skládky	kód. údaj	archívne a reprodukované informácie	vybrané okresy	priebežná analýza
charakt. materiálu skládky	kód. údaj			
Horninové prostredie úložiska				
IG charakteristika podložia	kód. údaj	analýza archívnych informácií	vybrané okresy	priebežné dopĺňanie záznamov
priepustnosť	kód. údaj			
hladina podzemnej vody	kód. údaj			
vzťah skládky k povrch. vode	kód. údaj			
Vplyv na ŽP				
vhodnosť geolog. prostredia na skládku	kód. údaj	analýza archívnych informácií	vybrané okresy	priebežné dopĺňanie záznamov
kontaminácia podzemnej vody	kód. údaj			

kontaminácia povrchovej vody	kód. údaj			
kontaminácia ovzdušia	kód. údaj			
aplikácia prieskumu a sanácie	kód. údaj			
Subsystém 09: Tektonická a seizmická aktivita územia				
<i>Tektonická aktivita</i>				
zmeny úrovne povrchu územia	mm	presná nivelácia	nivelačná sieť územia SR	1x za 3 roky
<i>Seizmická intenzita</i>				
seizmická intenzita územia	°MSK	seizmologické merania	seizmologické stanice	priebežne
Subsystém 10: Monitorovanie kvality snehovej pokrývky				
Chemické zloženie				
Na, K, NH ₄ , Mg, Ca, Sr, Mn, Fe, Al, Zn, Cu, H, Cl, F, NO ₃ , SiO ₂ , Min	mg/l	chemická analýza	nepravidelná sieť monitorovacích bodov, pokrýva celé územie SR	1x ročne
pH	bezrozm.			
alkalita	mmol/l			
acidita	mmol/l			
Iné údaje				
výška sneh. pokrývky (starý sneh)	cm	dĺžkové meradlo	nepravidelná sieť monitorovacích bodov, pokrýva celé územie SR	1x ročne
výška sneh. pokrývky (nový sneh)	cm	dĺžkové meradlo		
teplota vzduchu	°C	teplomer		
teplota snehu	°C	teplomer		
Subsystém 11: Monitorovanie seizmických javov na území SR				
seizmický pohyb pôdy	m, m/s	meranie seizmometrom	sieť 7 stálych seizmických staníc	nepretržite
Subsystém 12: Monitorovanie kvality riečnych sedimentov				
Chemické zloženie				
Na, K, Mg, Ca, Sr, Mn, Fe, Al, Zn, Cu, Si, Ti, Pb, Cd, As, Sb, V, Se, S, Ni, Co, Hg	ppm	chemická analýza	nepravidelná sieť monitorovacích bodov, pokrýva celé územie SR	1x ročne
Subsystém 13: Monitorovanie kvality riečnych sedimentov				
Zvýšené radónové riziko vybraných miest				
objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu	kBq/m ³	geofyzikál. merania, scintilačná metóda v luc. komorách	referenčné plochy na lokalitách	1x ročne, 1 lokalita 8x ročne
Radón v tektonicky porušených zónach				
objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu	kBq/m ³	geofyzikál. merania, scintilačná metóda v luc. komorách	profily na lokalitách	1x ročne
Radón a rádium vo vodných zdrojoch				
objemová aktivita radónu	Bq/l	geofyzikál. merania, scintilačná metóda v luc. komorách	pozorovacie zdroje (prameň, vrt)	2x ročne, 1 lokalita 1x za mes., 1 lokalita 1x za 2 mes.

né tabuľky s uloženými údajmi o monitorovanej lokalite ako celku. Sú to:

- lokalizácia monitorovaných lokalít,
- charakteristika geologickej stavby lokality,
- súhrn monitorovaných faktorov, ktoré vplyvajú na degradáciu životného prostredia,
- prehľad monitorovacích aktivít za časový interval,
- vyhodnotenie a semikvantitatívna analýza vybraných monitorovaných dát za časový interval z údajov PIS.

Záujemcom z radov širokej verejnosti sú prezentované informácie o postupe monitorovacích aktivít čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov na internetovej stránke s adresou:

http://dionysos.gssr.sk/ig_home/cms_gf. Touto formou je zabezpečený prístup k základným poznatkom o stave životného prostredia, ktoré sú získané procesmi monitorovania geologických faktorov. Vytvorená štruktúra stránky kvôli prehľadnosti a jednoduchšej orientácii v poskytnutých údajoch je rozčlenená na ucelené bloky:

- *základná charakteristika monitorovacieho systému* zahŕňa informácie o spôsobe a forme organizácie ČMS GF, o jeho zámeroch a cieľoch, predmete pôsobnosti, kontaktných adresách a o možnostiach prístupu k informačným zdrojom ČMS GF;
- *štruktúra ČMS GF* prezentuje jednotlivé subsystémy monitorovania geologických faktorov, ich riešiteľskú organizáciu a riešiteľa;

- *monitorované lokality* – zobrazená je ich lokalizácia na mape v rámci subsystémov, kritériá výberu reprezentatívnych lokalít, zdôvodnenie ich výberu na monitorovacie aktivity z pohľadu celospoločenskej významnosti a charakteristika geologického prostredia lokality;
- *metódy monitorovania* – informácie o používaných metódach v jednotlivých subsystémoch;
- *štruktúra dátovej základne PIS* – definuje informácie parciálneho informačného systému, ako sú vlastné vstupy, vstupné údaje z iných zdrojov a výstupná forma spracovaných dát; merané veličiny sú charakterizované názvom, identifikátorom, meracou metódou, na základe ktorej je veličina získaná, priestorovou identifikáciou v teréne a frekvenciou merania;
- *publikované práce s tematikou monitorovania geologických faktorov* – obsahujú citácie publikovaných aj nepublikovaných informácií o výsledkoch monitoringu; v niektorých prípadoch je zabezpečený aj prístup na ich úplné znenie.

Informácie tejto kategórie sa zverejňujú na základe naplnenia zákona 171/1998 Z. z. o prístupe k informáciám o životnom prostredí.

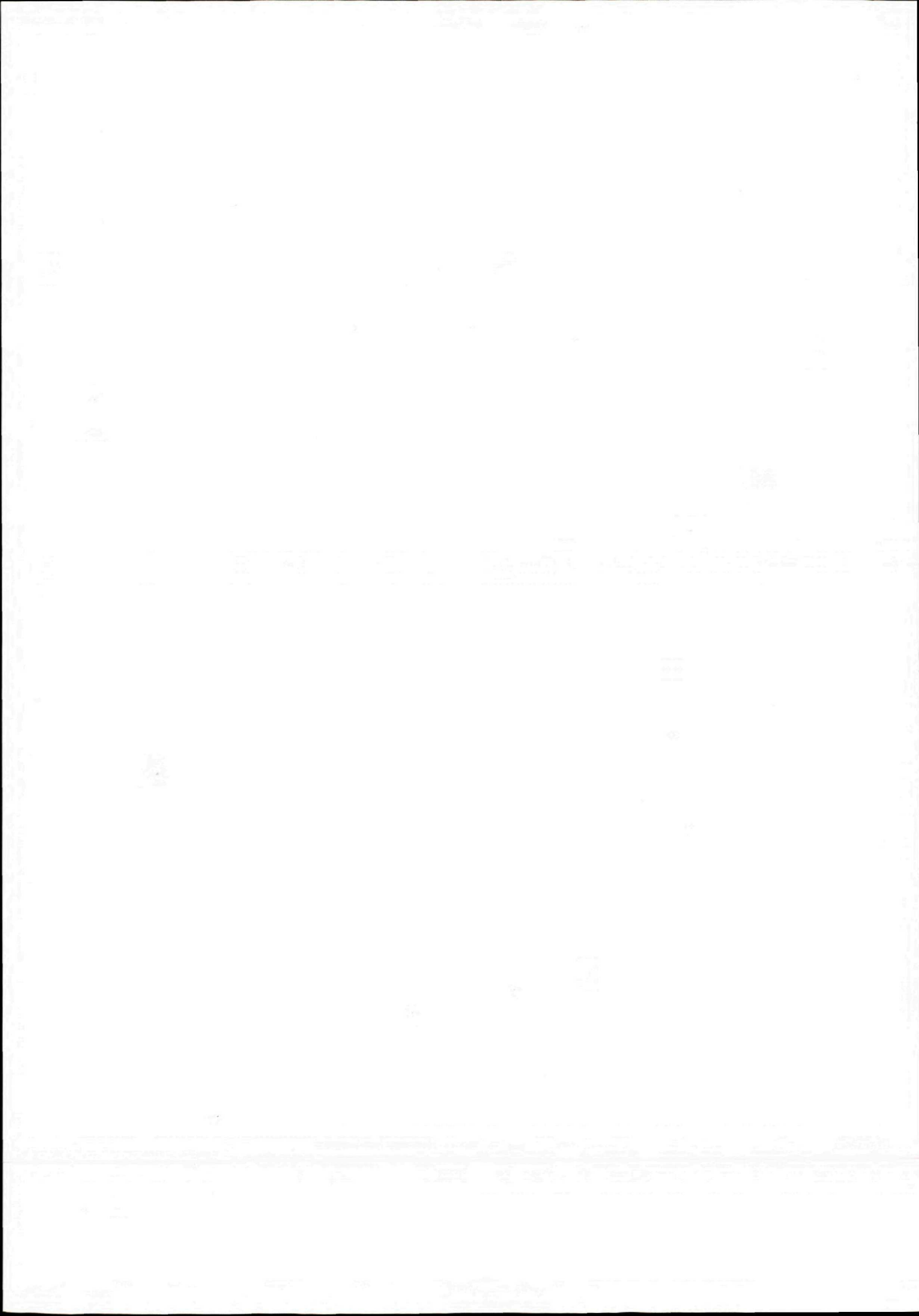
Záver

Súbor informačných systémov rezortu životného prostredia vytvára dobré podmienky na fungovanie na-

vzájom prepojeného celoštátneho informačného systému, ktorý podáva objektívnu výpoveď o stave a vývoji životného prostredia. Parciálny informačný systém ČMS GF patrí k súčasťi RIS ŽP. Sprístupňuje priebežne získavané komplexné informácie a výsledky monitorovacích aktivít v jednotlivých subsystémoch. Jednotlivé informačné úrovne PIS sa poskytujú v odlišnej miere spracovania podľa kategórie užívateľov. Použitá forma GIS je predpokladom lepšej prehľadnosti a využiteľnosti údajov.

Literatúra

- Benko, V.: Informačný systém monitoringu. Projekt SAŽP, Banská Bystrica, 1999.
- Gregor, V. a Bartoš, P.: Použitie moderných geodetických a fotogrametrických metód pri prieskume zosuvov. In: Zborník Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku, Nitrianske Rudno, 1996, s. 84 – 89.
- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of geological hazards of Slovak Republic. In: Moore and Hungr: Proceedings of 8th IAEG Congress, Vol. 2, 1998, Balkema, Rotterdam.
- Klukanová, A. a Wagner, P.: Monitoring zosuvov a iných svahových deformácií Slovenska. In: Enviromagazín, roč. 5, 2000, č. 3.
- Wagner, P., Vybíral, V., Andor, L. a Szabo, Š.: Monitoring of landslides in Slovakia. In: Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens 23. – 27. June 1997, Vol. 1, 1997, pp. 1 131 – 1 137.



Monitorovanie zosuvov a iných svahových deformácií

PETER WAGNER¹, ĽUBICA IGLÁROVÁ¹, ĽUBOMÍR PETRO² a SVETOZÁR SCHERER¹

¹Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

²Štátny geologický ústav D. Štúra, Jesenského 8, Košice

Abstract. Slope movements negatively influence the quality of the environment in Slovakia. The problem of these processes monitoring is systematical solved since 1993. In the first stage the selection of representative localities, development of the monitoring methodology and monitoring data processing were carried out. The paper deals with these problems and brings some results of monitoring observations from the selected most important localities.

Úvod

V podmienkach slovenských Karpát svahové deformácie predstavujú najrozšírenejšiu geologickú bariéru, ktorá obmedzuje, v niektorých prípadoch až znemožňuje racionálne využívanie geologického prostredia na Slovensku. Podľa posledných údajov (Liščák a Caudt, 1997) ich bolo na území Slovenska do roku 1997 zaregistrovaných takmer 15 000. Predstavuje to cca 3,7 % celkovej rozlohy krajiny. V niektorých oblastiach (predovšetkým v prostredí karpatského flyšu a okrajov neogénnych vulkanitov) svahové deformácie porušujú 40 až 60 % povrchu územia.

Stála aktivizácia starších svahových pohybov v dôsledku pôsobenia rozličných faktorov, či už prírodných alebo antropogénnych, ako aj vznik nových svahových pohybov si okrem registrácie samotného javu vyžadujú aj odvodenie preventívneho prístupu k jeho poznaniu a ovládnutiu. Na pochopenie zákonitostí dynamiky svahových pohybov je najvhodnejšie dlhodobé monitorovanie významných vplyvujúcich faktorov, ako aj výsledných zmien stabilného stavu zosúvajúcich sa materiálov. Konečným cieľom takýchto dlhodobých meraní a pozorovaní je odvodenie a spresňovanie kritických stavov, pri ktorých môže dôjsť k významným porušeniam stability horninového prostredia. Dlhodobé monitorovanie má nezastupiteľnú úlohu aj pri posudzovaní efektívnosti uskutočnených sanačných opatrení.

Monitorovanie svahových deformácií sa postupne hodnotilo v prácach: Klukanová a Liščák (1995, 1998), Klukanová (1998), Wagner et al. (1996, 1997, 2000) a Klukanová a Wagner (2000).

Metodika riešenia

Metodický postup pri monitorovaní a spracúvaní výsledkov meraní pozostáva z dvoch na seba naväzujúcich etáp:

- bodový monitoring vybraných reprezentatívnych lokalít na takej úrovni podrobnosti, ktorá je adekvátna významu lokality z celospoločenského hľadiska,
- extrapolácia získaných poznatkov na širšie územné celky s analogickou geologickou stavbou a klimatickými pomermi.

Prvý okruh riešenej problematiky z metodického hľadiska zahŕňa otázky zásad výberu reprezentatívnych lokalít, optimálnych spôsobov monitorovania rôznych typov svahových deformácií a problematiku zberu, spracovania a prezentácie získaných informácií.

K druhému okruhu problémov sa na úrovni terajšieho stavu riešenia ešte nemožno dostatočne vyjadriť. Predpokladáme, že problematika sa súborne posúdi po získaní väčšieho množstva informácií vyjadrujúcich dlhodobé trendy rozvoja svahových pohybov na typových lokalitách.

Výber reprezentatívnych lokalít

Výber reprezentatívnych lokalít na monitorovanie svahových pohybov vychádzal z viacerých kritérií, ktorých váha a vzájomný vzťah sa postupne vyvíjali. Ako zásadné možno pri výbere lokalít uviesť nasledujúce kritériá:

- a) typologické kritérium, podmieňujúce zastúpenie základných typov svahových pohybov v rámci súboru pozorovaných lokalít. Na dlhodobé monitorovanie sú vhodné iba svahové pohyby typu plazenia a zosúvania. Monitorovanie príznakov rútenia je nepriamo zohľadnené v rámci pozorovania stability skalných svahov zárezov komunikácií;
- b) regionálnogeologické kritérium, z ktorého vyplýva situovanie reprezentatívnych lokalít do základných inžinierskogeologických regiónov Západných Karpát v súlade s inžinierskogeologickou rajonizáciou Slovenska (Matula a Pašek, 1986);
- c) ekonomické kritérium, podmieňujúce výber takých reprezentatívnych lokalít, ktorých monitorovanie je z celospoločenského hľadiska najdôležitejšie. Vzhľadom na finančnú náročnosť zriadenia siete monitorovacích objektov je do ekonomických kritérií zahrnutý aj prednostný výber lokalít s už existujúcim súborom monitorovacích zariadení.

Pri konečnom výbere lokalít sa prednostne vychádzalo z typologického kritéria – rôzne typy svahových pohybov totiž vyžadujú principiálne odlišné metódy monitorovania.

Ďalšie rozdelenie najväčšej skupiny zosuvných lokalít podľa regionálneho inžinierskogeologického členenia nie je, žiaľ, v niektorých prípadoch celkom jednoznačné a z účelového hľadiska najvhodnejšie. Preto sme pri ňom vychádzali z kritéria približne rovnakej geologickej stavby územia, účelovo posudzovanej z hľadiska stabilitných podmienok svahov. Na základe takto definovaného kritéria bolo možné zosuvné lokality rozdeliť na tri skupiny – lokality v neogénnych vulkanitoch a v prostredí ich kontaktu s paleogénnymi a neogénnymi sedimentmi, lokality v horninovom prostredí flyšového charakteru a lokality v neogénnych sedimentoch.

V rámci skupín plazenia a hodnotenia stability skalných zárezov boli vybrané aj lokality z prostredia mezozoických horninových masívov patriacich do regiónu jadrových pohorí slovenských Karpát.

Pomerne komplikovaná je aplikácia ekonomického kritéria, ktoré v značnej miere odôvodňuje účelnosť a dôležitosť riešenej problematiky. Úvodné rozdelenie lokalít podľa ich celospoločenskej dôležitosti je preto iba orientačné a vystihuje stav aktuálny pre počiatočné obdobie systematického monitorovania (teda roky 1993 až 1998), keď boli lokality rozdelené na veľmi významné, významné a menej významné (tab. 1). Aj v tomto prípade však treba upozorniť na niektoré výnimky z prijatých kritérií:

- z praktických dôvodov boli všetky havarijné zosuvy Hornej Nitry zaradené do prostredia neovulkanitov a ich kontaktu s paleogénnymi a neogénnymi sedimentmi, hoci lokality Bojnice a Diviaky nad Nitricou z geologického hľadiska patria do horninového prostredia flyšového charakteru,
- pri lokalitách nachádzajúcich sa v blízkosti kontaktov dvoch rozdielnych geologických útvarov sa účelovo zohľadňovali prevládajúce črty geologickej stavby (napr. lokality Dolná Mičiná, Ľubietová, Oravský Podzámok).

V tabuľke 1 sú monitorované lokality rozdelené podľa typu svahového pohybu, podľa geologickej stavby a podľa celospoločenskej dôležitosti. Na obr. 1 úvodného článku *Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov vo vzťahu k monitorovaciemu systému životného prostredia Slovenskej republiky* (Kľukanová, 2002) tohto tematického čísla sú znázornené sledované lokality.

Zaradenie lokalít podľa celospoločenského významu však nie je nemenné a vyvíja sa v závislosti od priebežných výsledkov monitorovania, ako aj zmien stupňa dôležitosti ohrozených objektov. Aktuálny stav z hľadiska významnosti monitorovaných lokalít zodpovedajúci obdobiu na konci roku 2000 je vyjadrený v tab. 4.

Metódy monitorovania zosuvov a iných svahových deformácií

Metódy monitorovania rôznych typov svahových pohybov sú rozdielne. Z veľkého množstva existujúcich

monitorovacích metód uvádzame v tabuľke 2 tie, ktoré boli pri riešení aplikované, a teda sú v našich podmienkach technicky i ekonomicky prístupné.

Všetky z uvedených metód monitorovania však iba zaznamenávajú vývoj deformácií, resp. okamžitý napätostný stav v pozorovaných bodoch zosuvu. Príčiny vzniku a vývoja zosuvného pohybu však možno zvyčajne identifikovať iba na základe výsledkov dlhodobých režimových pozorovaní. Vzhľadom na dôležitosť týchto pozorovaní a niektoré nové spôsoby vyjadrovania ich výsledkov sa metodike režimových pozorovaní venujeme podrobnejšie.

Podstatný vplyv na zmeny stabilitného stavu svahových deformácií v čase majú periodické klimatické zmeny (ročné i dlhodobejšie), ktoré výrazne ovplyvňujú obeh a režim podzemných vôd. Výsledné pôsobenie klimatických vplyvov sa prejavuje veľkosťou a časovou distribúciou zrážkových úhrnov a evapotranspirácie a tým aj veľkosťou a časovou distribúciou zdrojových vôd na infiltráciu do horninového prostredia svahových deformácií. Pri monitorovaní je preto účelné vykonávať nasledujúce režimové pozorovania:

Pozorovania veľkosti a časovej distribúcie zdrojových vôd na infiltráciu do svahových deformácií. – Voda akumulovaná v horninovom prostredí svahových deformácií má v prevažnej miere zrážkový pôvod. Veľkosť aj časový priebeh zrážkových úhrnov možno približne získať z meraní Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) na zrážkomerných staniciach. Priemerný ročný zrážkový úhrn na Slovensku sa pohybuje cca od 500 do 1 200 mm, extrémne až 2 000 mm. Veľkosť a časovú distribúciu evapotranspirácie možno približne vyrátať na základe meraní z niektorých meteorologických staníc SHMÚ (hodnoty skutočnej priemernej ročnej evapotranspirácie sa pohybujú na území Slovenska od cca 400 do 500 mm). 100 mm efektívnych zrážok predstavuje zdroj vody na celkový priemerný odtok z jedného kilometra štvorcového $3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ počas celého roka. Z toho vyplýva, že priemerné ročné 0 do 700 mm, a teda aj priemerné množstvo zdrojových vôd je od 0 do $21 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Množstvo a časová distribúcia zdrojových vôd sú podstatné činitele, ktoré podmieňujú stabilitný stav svahových deformácií. Na základe veľkosti plochy infiltračného územia, ktoré sa vyčlení z geomorfologickej, resp. odhadnutej hydrogeologickej rozvodnice, je možné odhadnúť veľkosť zdrojových vôd.

Pozorovanie kolísania hladiny podzemnej vody v prostredí svahovej deformácie. – Efektívne zrážky otekajú povrchom, resp. vsakujú do horninového prostredia. Vsiaknutá voda vstupuje do zóny aerácie, časť z nej dosiahne hladinu podzemnej vody a dopĺňa jej zásoby. Podstatná časť infiltrovanej povrchovej vody sa sústreďuje a prúdi v miestach s nižším hydraulickým odporom v relatívne priepustnejších "kanáloch". V menej rozvolnených horninových "blokoch" je priepustnosť nižšia a obeh je pomalší. Kolísanie hladiny podzemnej vody je teda podmienené charakterom horninového prostredia, geomorfologickými pomermi a časovou distribúciou zdrojových vôd. Významný vplyv má aj veľkosť akumulovaných zásob podzemných vôd v svahovej deformácii. Hĺbka hladiny podzemnej vody vo vrtoch je rela-

Tab. 1 Rozdelenie monitorovaných lokalít podľa rôznych kritérií.

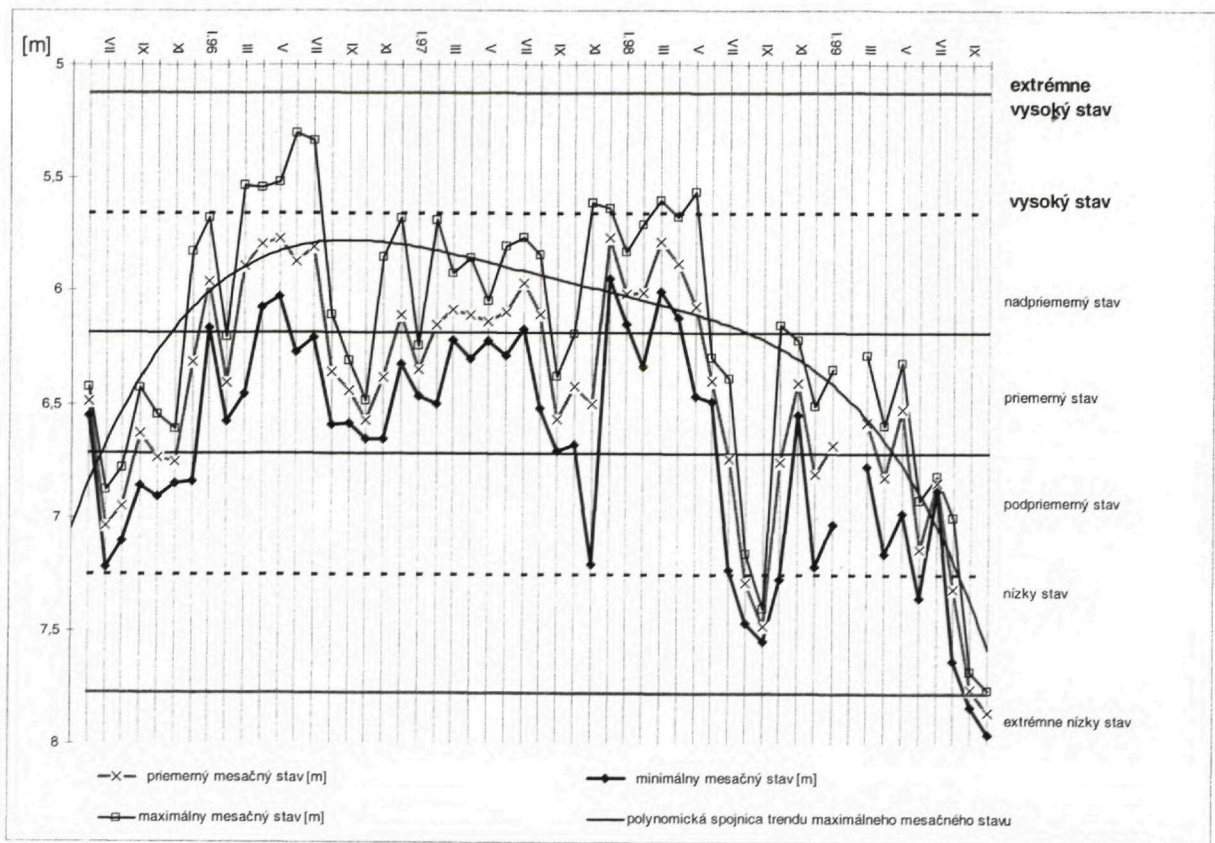
Typ svahového pohybu	Geologická stavba	Celospoločenská dôležitosť	Lokality	
zosúvanie	neogénne vulkanity a ich kontakt s paleogénnymi a neogénnymi sedimentmi	veľmi významná	1. Veľká Čausa 2. havarijné zosuvy Hornej Nitry (A – Malá Čausa, B – Bojnice, C – Diviaky n. Nitricou)	
		významná	3. Handlová 4. Dolná Mičiná 5. Ľubietová 6. Fintice 7. Slanec	
	horninové prostredie flyšového charakteru	veľmi významná	8. Okoličné	
		významná	9. Liptovská Mara 10. Žilina – Dubeň	
		menej významná	11. Oravský Podzámok 12. Harvelka 13. Klieštiná	
	neogénne sedimenty	významná	14. Hlohovec	
		menej významná	15. Vištuk	
	plazenie	neogénne vulkanity	významná	16. Veľká Izra 17. Sokoľ 18. Košícký Klečenov
		mezozoické horniny	významná	19. Ľubochňa – Havran
	rútenie	neogénne vulkanity	významná	20. Banská Štiavnica
horninové prostredie flyšového charakteru		významná	21. Demjata 22. Huty	
mezozoické horniny		významná	23. Harmanec	

Tab. 2 Metódy monitorovania svahových pohybov.

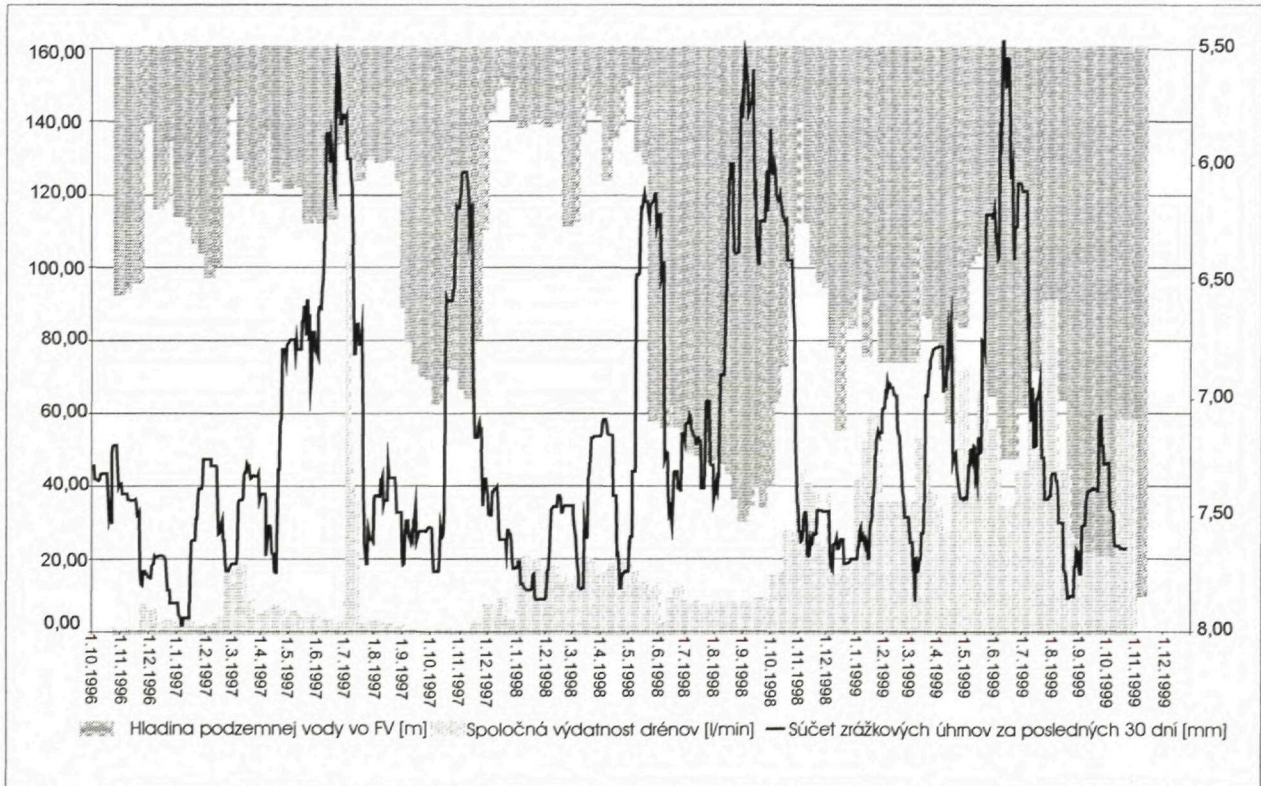
Typ svahového pohybu	Metódy monitorovania	
rútenie (stabilita skalných zárezov komunikácií)	fotogrametrické merania	<ul style="list-style-type: none"> metóda konvergentného snímkovania metóda časovej základnice
	podrobná dokumentácia, merania tyčovým dilatometrom a meradlom posuvov	
plazenie	merania opticko-mechanickým dilatometrom TM-71	
zosúvanie	povrchové merania	<ul style="list-style-type: none"> detailné mapovanie geodetické merania merania povrchových reziduálnych napätí
	podpovrchové merania	<ul style="list-style-type: none"> merania priechodomermi merania metódou presnej inklinometrie meranie poľa pulzných elektromagnetických emisií (PEE)
	režimové pozorovania	<ul style="list-style-type: none"> merania zmien úrovne hladiny podzemnej vody (vrátane použitia automatických hladinomerov) merania výdatnosti, teploty a chemizmu vody

tívne číslo, no porovnávaním jeho zmien v čase možno charakterizovať stav hladiny podzemnej vody v telese zosuvu. Na havarijných zosuvoch Hornej Nitry a v Okoličnom sme na posúdenie stavu hladiny podzemnej vody v zosuve zaviedli vlastnú metodiku hodnotenia. Podľa veľkosti rozkvyv medzi maximálnou a minimálnou hladinou podzemnej vody v referenčnom časovom období je možné určiť jej strednú hodnotu. Na báze tohto údaja možno vyčleniť priemerný ($\pm 10\%$ od strednej hodnoty), nadpriemerný a podpriemerný (± 10 až 30%) a nízky

a vysoký stav podzemnej vody (± 30 až 50%). Aby bolo možné charakterizovať zosuv ako celok, zaviedol sa stav hladiny podzemnej vody vo fiktívnom vertikálnom vrte (FV), ktorý vznikne ako súčet stavov hladín podzemnej vody v rovnakom čase vo vybraných piezometroch (Scherer, 1999). Ako príklad možno uviesť časový priebeh hladiny podzemnej vody vo fiktívnom vrte na zosuve Veľká Čausa (obr. 1). Vstupné údaje tvoria priemerné i extrémne mesačné stavy hladiny podzemnej vody vo fiktívnom vrte v priebehu rokov 1995 až 1999.



Obr. 1 Stav hladiny podzemnej vody pod terénom vo fiktívnom vrte na zosuve Veľká Čausa v rokoch 1995 až 1999. Fiktívny vrt je zostavený z priemerných hodnôt stavu podzemnej vody vo vrtoch VČ-1, 4, 5, 6, 7, SŠ-1, 2, J-107 a 112. (Zostavil S. Scherer.)



Obr. 2 Časový priebeh hodnoty spoločnej výdatnosti drenážnych prvkov, hĺbky hladiny podzemnej vody vo fiktívnom vrte na zosuve Veľká Čausa a veľkosti zrážok nameraných na stanici SHMÚ Prievidza. (Zostavil S. Scherer.)

Význam zobrazenia extrémnych stavov spočíva v tom, že stabilita svahových deformácií je ovplyvnená okrem hĺbky aj rýchlosťou zmeny hladiny podzemnej vody. Pokles hladiny podzemnej vody, schematicky znázornený polynomicou spojnicou trendu, preukazuje úspešnosť sanačných opatrení, ktoré na lokalite v rokoch 1996 až 1999 realizovala firma INGEO, a. s., Žilina (Jadroň et al., 1999). Kritické stavy signalizujúce porušenie stability a nevyhnutnosť realizácie sanačných opatrení sa zvyčajne odvodzujú z tzv. kritickej úrovne hladiny podzemnej vody vo svahu, pri ktorej nadľahčovací efekt vody so súčasným znížením šmykových parametrov zeminy vyúsťuje do stavu, pri ktorom je suma pôsobiacich aktívnych síl väčšia ako suma síl pasívnych.

Pozorovanie výdatnosti drenážnych sanačných prvkov a ich účinnosti v čase. – Po určitej dobe zdržania vody sa horninové prostredie svahovej deformácie odvodňuje a akumulovaná voda odteká skrytým podpovrchovým a podzemným odtokom, resp. priamo do povrchového toku. Výdatnosť drenážnych prvkov je reálna hodnota a výstižne charakterizuje, ako sa v čase znižujú akumulovalé zásoby podzemnej vody. Údaje o výdatnosti drenážnych prvkov je účelné spracovať tak, aby bolo možné pozorovať zmeny výdatnosti a jej extrémov v čase. Zrátaním výdatnosti jednotlivých drenážnych prvkov dostaneme spoločnú výdatnosť drénov, ktorá v čase dokumentuje vlastnosti sanačných drenážnych opatrení v celom zosuvnom území (Scherer, 1999). Ako príklad uvádzame priebeh spoločnej výdatnosti drenážnych prvkov spolu so stavom hladiny podzemnej vody vo fiktívnom vrte na zosuve Veľká Čausa v čase od októbra 1996 do novembra 1999 (obr. 2). Graf je zostavený z údajov z meraní, ktorých hustota sa merala raz za týždeň. Nové drenážne prvky s najväčšou výdatnosťou sa realizovali v júli 1997 (VV-107 až 109) a v októbri 1998 sa dokončil drenážny horizontálny vrt VV-110. Spôsobil to zvýšenie spoločnej výdatnosti sanačných prvkov, a teda pokles zásob podzemnej vody, ako aj pokles stavu hladiny podzemnej vody v zosuve. Kolísanie hladiny podzemnej vody a výdatnosti odvodňovacích opatrení je doplnené meraniami zrážok zo stanice SHMÚ Prievidza vo forme súčtu zrážkových úhrnov za posledných tridsať dní s krokom jeden deň.

Vzhľadom na to, že pri režimových pozorovaniach ide o zaznamenávanie javu s výraznou dynamikou v čase, jeho správne pochopenie a interpretácia sú podmienené čo najhustejšou frekvenciou meraní. Merania v intervale redšom ako mesiac sú z hľadiska dlhodobej analýzy vývoja hydrogeologického režimu nepoužiteľné a majú skôr iba overovací charakter. Ideálnym (ale ekonomicky náročným) spôsobom získania úplnej informácie je inštalácia automatických zariadení (hladinomery, prietokomery) vo vybraných objektoch (pri vlastnom riešení išlo o inštaláciu automatických hladinomero v dvoch objektoch na lokalite Veľká Čausa a v dvoch objektoch na lokalite Okoličné). Kontinuálny záznam ich merania umožňuje zachytiť zmeny, ktoré by sa aj pri pravidelnom týždennom meraní mohli prehliadnúť a majú zásadný význam napríklad pri hodnotení efektívnosti odvodňovacích vrtov. Príklad takéhoto detailného hodnotenia zmien úrovne hladiny podzemnej vody počas realizácie odvod-

ňovacieho vrtu na lokalite Veľká Čausa je na obr. 3. Záznam hladinomeru sa porovnáva s dennými zrážkovými úhrnmi. Časový priebeh hĺbky hladiny podzemnej vody na obr. 3 ukazuje, že po vybudovaní drenážneho vrtu VV-109 je režim odvodnenia zmenený a stúpanie a pokles hladiny sú výrazne rýchlejšie ako pred jeho realizáciou.

Pri posudzovaní výsledkov monitorovacích pozorovaní chceme zdôrazniť zásadný rozdiel medzi podstatou jednotlivých meraní. Kým geodetické a inklinometrické merania zaznamenávajú presne a objektívne v dĺžkových merných jednotkách (mm, cm) zmeny polohy pozorovacích objektov (premiestnenia geodetických bodov, veľkosť deformácie pažnice vrtu), ktoré v pozorovanom zosuve už prebehli za určitý časový interval, podstata meraní reziduálnych napätí a PEE je iná. Výsledkom merania povrchových reziduálnych napätí je informácia o veľkosti a charaktere napätí pôsobiacich v povrchových častiach zosuvu v danom bode a v danom okamihu merania. Veľkosť a charakter napätí sú premenlivé v čase a iba porovnanie s predchádzajúcim meraním môže naznačiť trend vývoja napätostného stavu v danej časti zosuvného územia. Podobne aj merania PEE zachytávajú napätostný stav zosuvného masívu v okolí premeriavaného vrtu v okamihu merania. Zistené hodnoty koncentrácie napätí v určitej hĺbke však prognosticky naznačujú miesta, v ktorých napätostná anomália môže v budúcnosti vyústiť do deformácie horninového prostredia.

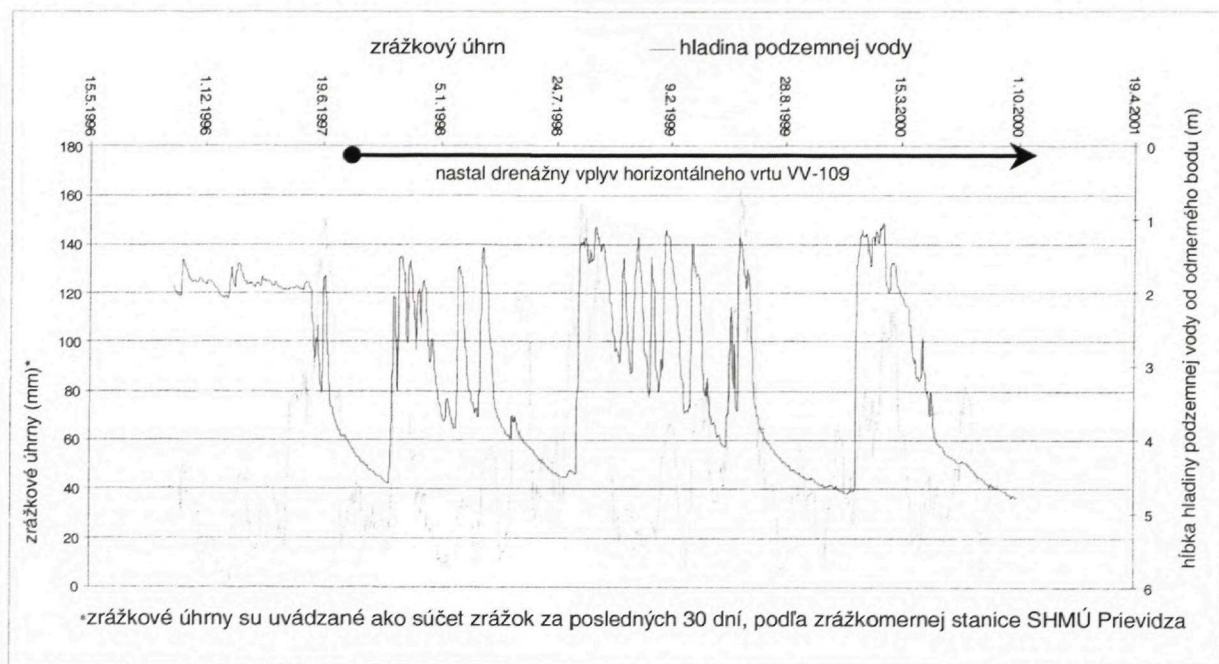
Geodetické, geotechnické (t. j. inklinometrické) merania povrchových reziduálnych napätí a priechodnosti sond) a geofyzikálne (PEE) merania teda ukazujú skutočnosti, ktoré v masíve nastali v intervale medzi meraniami (geodézia, inklinometria, priechodnosť sond), ktoré v súčasnosti prebiehajú (reziduálne napätia, PEE), resp. ktoré môžu prebehnúť (merania PEE).

Principiálne odlišná je podstata režimových pozorovaní, ktoré zaznamenávajú zmeny v pôsobení najvýznamnejšieho zosuvotvorného faktora – podzemnej vody. Kým predchádzajúce merania a pozorovania ukazujú existujúci stav masívu a zaznamenávajú zmeny, ktoré v ňom prebehli, z výsledkov režimových pozorovaní v rozhodujúcej miere vyplýva vysvetlenie príčin týchto zmien.

Zber a spracovanie získaných informácií

Rozsah, komplexnosť a frekvencia zberu údajov z monitorovania na jednotlivých lokalitách sú prednostne podmienené ich celospoločenským významom a aktuálnosťou riešenej problematiky. V skupine z tohto hľadiska najdôležitejších lokalít sa aplikovalo viacero monitorovacích metód, pričom frekvencia meraní vychádzala z reálnych ekonomických možností riešenia (náročnejšie metódy monitorovania – geodetické, resp. inklinometrické merania – sa používali zvyčajne iba jedenkrát ročne). V snahe zabezpečiť komplexnosť monitorovacích meraní sa na viacerých lokalitách skomplextovala monitorovacia sieť (Fintice), resp. sa začal cyklus meraní novou monitorovacou metódou (Hlohovec – Posádka).





Obr. 3 Závislosť hĺbky hladiny podzemnej vody (registrovanej automatickým hladinomerom, inštalovaným vo vrte VČ-8) od zrážkových úhrnov a od postupu sanačných prác na zosuve vo Veľkej Čause. Číslo stanice automatického hladinomera je 5 000, odmerný bod je v nadmorskej výške 336,8 m a vo výške 0,6 m nad úrovňou terénu. (Zostavil S. Scherer.)

Z vlastného zmyslu monitorovania (dlhodobé zaznamenávanie zmien pozorovaných javov) vyplynula nevyhnutnosť zostavenia databázy umožňujúcej nielen systematické a cieľavedomé zhromažďovanie údajov, ale aj zhotovovanie výstupov požadovaných závislostí v jednotlivých časových úsekoch.

Priebežné výsledky monitorovania na vybraných lokalitách

Zosuvné lokality

Priebežné výsledky monitorovania ilustrujeme na vybraných lokalitách, ktoré sú v súčasnosti z ekonomického hľadiska najdôležitejšie, a teda aj rozsah monitorovacích aktivít na nich bol najrozsiahlejší. Výsledky monitorovania prezentujeme rôznymi spôsobmi – od jednoduchších spôsobov analytickej prezentácie v plošnom zobrazení a v reprezentatívnom reze (lokality prúdových zosuvov Fintice a Okoličné) cez zobrazenie doplnené výsledkami režimových pozorovaní s odvodením limitných stavov hladiny podzemnej vody (lokality Dolná Mičiná) až po syntetické vyjadrenie všetkých výsledkov monitorovacích meraní formou rajonizačnej mapy aktivity svahového pohybu (lokality Veľká Čausa).

Lokalita Fintice

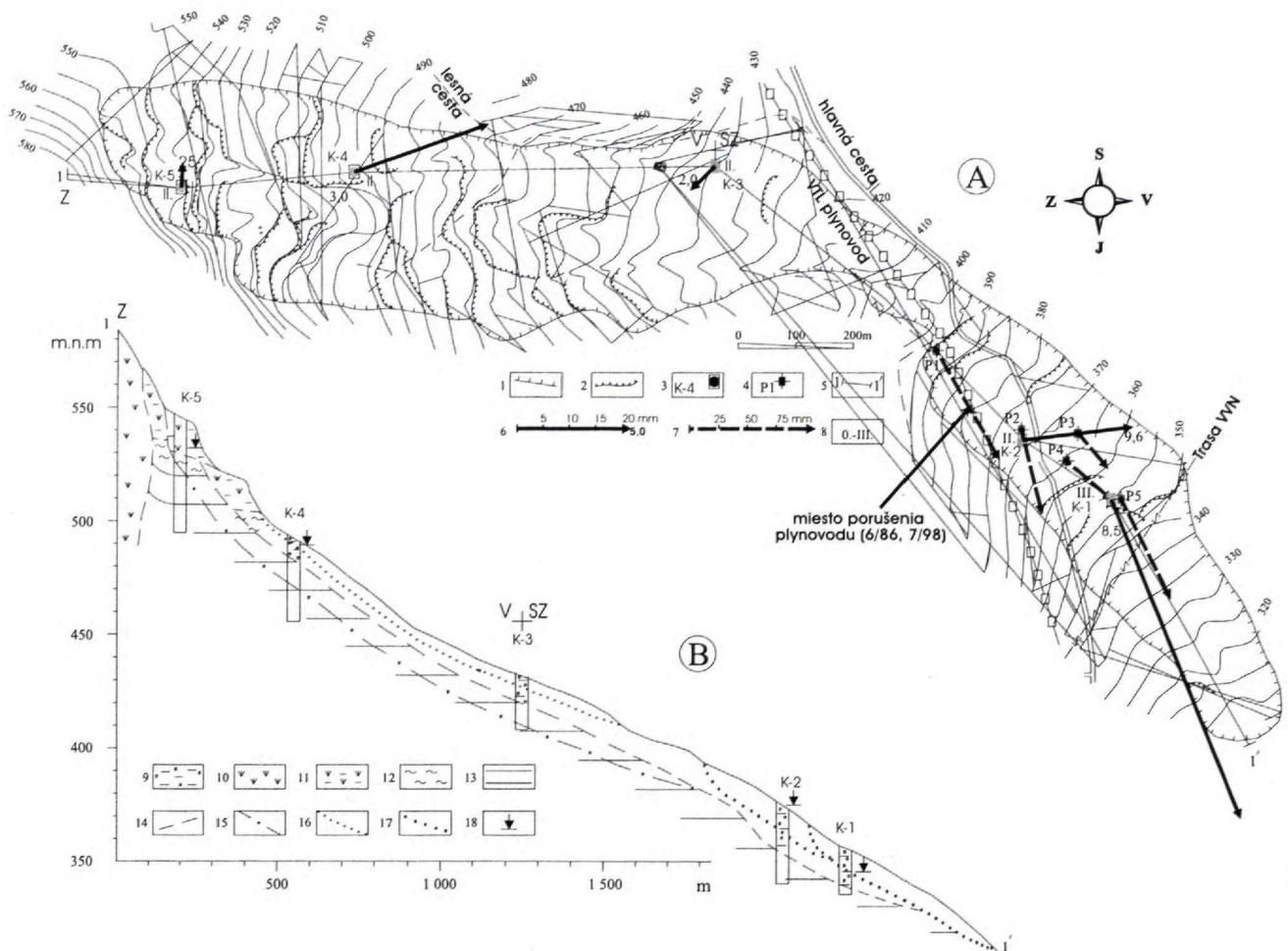
Lokalita Fintice sa nachádza vo východnej časti územia Slovenska, asi 40 km na sever od Košíc. Vlastný prúdový zosuv sa aktivoval v starom zosuvnom území asi 500 m sz. od okraja obce. Celková dĺžka zosuvu je 2 280 m, šírka 120 až 500 m, najvyšší bod má nadmorskú výšku 565 m, najnižší 300 m n. m. Priemerný sklon svahu je 7°. Viacero šmykových plôch rôzneho veku

a stupňa aktivity sa nachádza v hĺbkovom intervale 8 až 20 m. Každá nová reaktivácia zosuvu spôsobuje v poslednom období značné materiálne škody. V roku 1986 sa pretrhol vysokotlakový plynovod (3MPa) v spodnej, aktívnej časti zosuvu (obr. 4). Potrubie sa muselo vymeniť. Cestná komunikácia sa opravuje takmer každoročne. Ohrozované sú aj stožiare veľmi vysokého napätia. Napriek viacerým upozorneniam sa na lokalite dosiaľ nevykonali žiadne sanačné opatrenia.

Z hľadiska geologickej stavby je zosuvné územie situované na sz. okraji neovulkanitov Slanských vrchov, resp. na ich styku s flyšovým súvrstvom vnútrokarpatského paleogénu a neogénnymi sedimentmi. Celé územie je tektonicky silno porušené. Zlomy ohraničujú morfológicky výraznú eleváciu. V jej centre vystupujú extruzívne andezitové telesá, ktoré prenikli cez flyšové i neogénne sedimenty.

Hlavné príčiny vzniku zosuvného pohybu sú prirodzené (oslabenie pevnosti hornín, seizmická aktivita územia – 6° MSK, vztlak podzemnej vody, priťaženie svahu dažďovou vodou a svahovými sedimentmi, zmena sklonitosti svahu v dôsledku recentného výzdvihu okolitých extruzívnych telies, hlboká erózia sedimentov na svahoch) a antropogénne (trhacie práce v minulosti v dvoch blízkych kameňolomoch a vibrácie od ťažkej dopravy po komunikácii).

Monitorovacie pozorovania na lokalite sa sústredili do reprezentatívneho profilu s viacúčelovo zabudovanými vrtmi, ktoré sa realizovali v roku 1991. Vzhľadom na to, že niekoľko cyklov monitorovacích pozorovaní rôzneho charakteru potvrdilo prakticky stabilný stav hornej a strednej časti prúdového zosuvu a naopak, zvýšenú aktivitu v jeho akumuláčnej časti, reprezentatívny profil v roku 1996 sa práve v tejto časti doplnil geodetickými bodmi (5 pozorovacích a 1 pevný bod).



Obr. 4 Čiastkové výsledky monitorovania prúdového zosuvu pri obci Fintice.

A) geomorfologická pozícia zosuvu, rozmiestnenie monitorovacích objektov a výsledky niektorých monitorovacích meraní, B) reprezentatívny profil zosuvu. 1 – morfologická hranica zosuvu, 2 – odlučné steny, 3 – inklinometrický vrt, 4 – geodetický bod, 5 – línia geologického rezu, 6 – vektor celkovej deformácie zistený inklinometrickými meraniami za obdobie 11/1991 – 11/1999 (pre vrt K-1 do 10/1996, pre vrt K-2 od 10/1996 do 10/1997, číslo vyjadruje hĺbku deformácie od povrchu), 7 – vektor celkového posunu geodetického bodu za obdobie 8/1996 – 11/1999, 8 – stupeň aktivity podľa PEE za obdobie 6/1998 – 11/1999: II. – pomerne nízky a stredný, III. – pomerne vysoký a vysoký, 9 – ílovito-úľomkovité sedimenty (kvartér), 10 – andezitová extrúzia (neogén), 11 – andezitové bloky s ílovcami, 12 – plastická deformácia predkvartérnych hornín, 13 – ílovce a prachovce (paleogén), 14 – hranica geologickej jednotky, 15 – predpokladaná šmyková plocha potenciálnej časti zosuvu, 16 – preukázaná šmyková plocha potenciálnej časti zosuvu, 17 – aktívna šmyková plocha, 18 – hĺbka hladiny podzemnej vody. (Upravené podľa Petra, L., Wagnera, P. a Polaščinovej, E., 2001.)

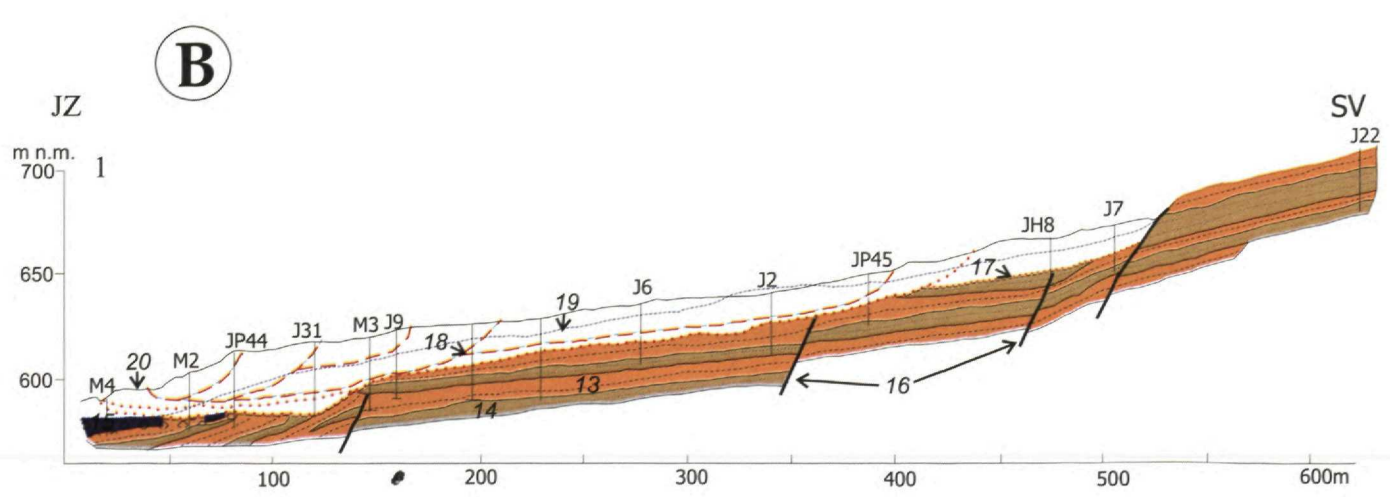
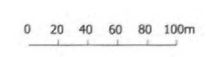
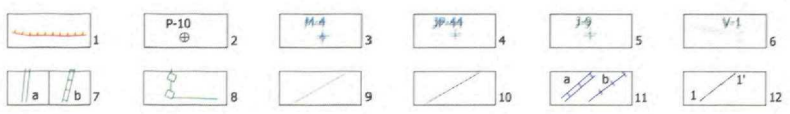
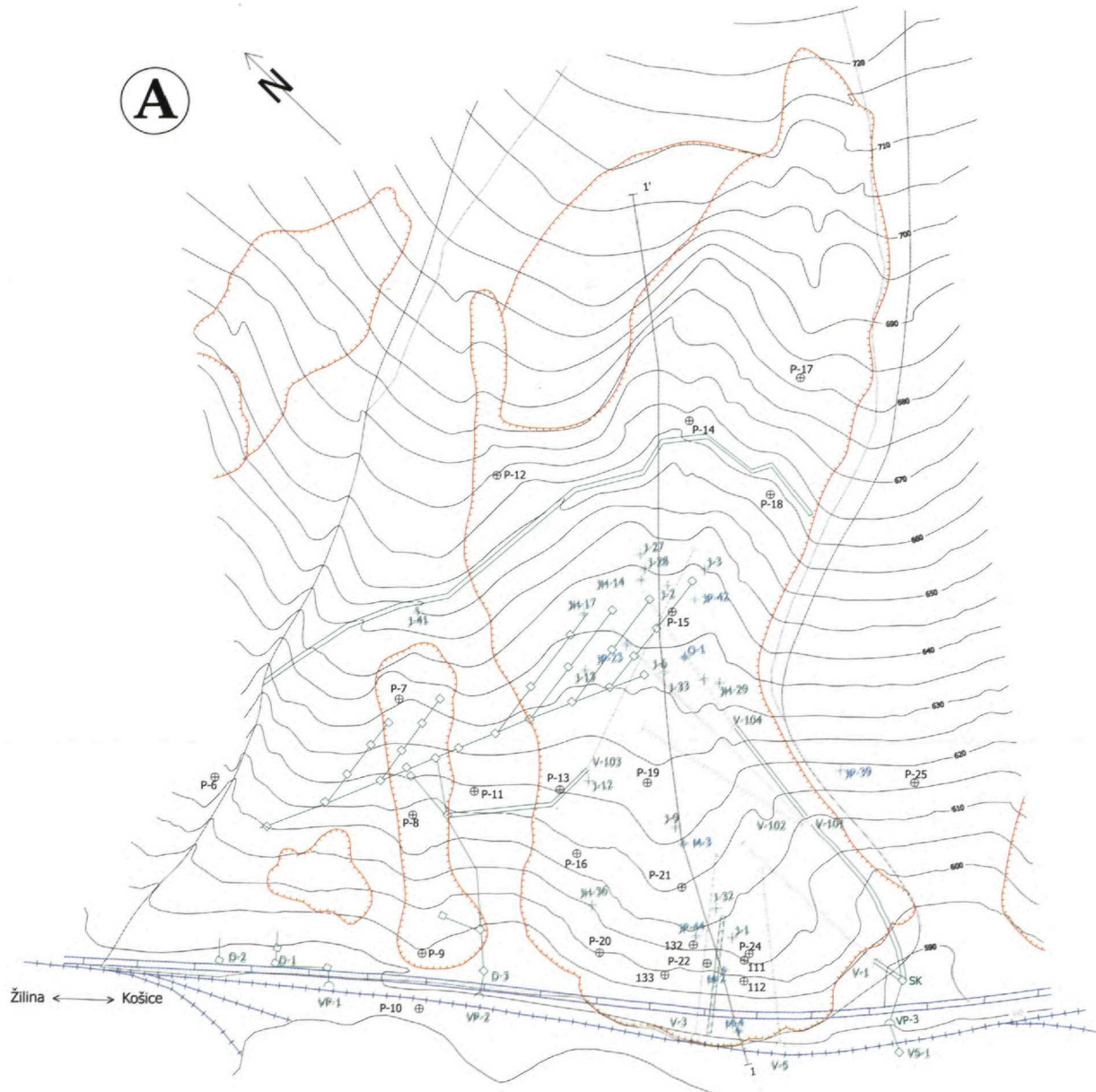
Zo zhrnutia výsledkov monitorovacích meraní za obdobie do jesene 2000 vyplývajú tieto skutočnosti:

Podľa výsledkov inklinometrických meraní sa najvýraznejšia deformácia zaznamenala vo vrte K-1 v hĺbke 8,5 m. Ide o aktívny posun hmôt po šmykovej ploche, pričom rýchlosť pohybu dosahovala v rokoch 1991 až 1994 cca 1,5 cm ročne, v rokoch 1994 až 1996 sa pohyb zvýraznil (priemerná rýchlosť dosahovala cca 2,5 cm ročne). Výsledkom pohybu hmôt bolo ustrihnutie vrtu v hĺbke 8,5 m (od roku 1997 je vrt od tejto hĺbky nepriechodný). Smer deformácie zistený vo vrte K-1 bol jednoznačne po spádnicí (obr. 4). V roku 1999 sa od hĺbky 9 m stal nepriechodným aj vrt K-2. Vo vrtoch v strednej a hornej časti svahu sa výraznejšie deformácie nezaznamenali (výnimkou je iba výrazná deformácia v hĺbke 2,5 m, zaznamenaná vo vrte K-4, zachytávajúca pravdepodobne posun kvartérnych povrchových sedimentov).

Merania PEE v zásade potvrdili predstavu získanú inklinometrickými meraniami. Upozorniť treba aj na veľmi premenlivý charakter podľa PEE vo vrte K-5 v najvyššej časti zosuvného prúdu.

Geodetické merania v spodnej časti zosuvu potvrdili a spresnili predstavy získané podpovrchovým monitorovaním. Najväčšie posuvy sa zistili pri bodoch P1 a P2. Výrazná je aktivizácia pohybu bodu P1, ktorá v roku 1998 presiahla priemernú rýchlosť 3 cm ročne (Petro, Polaščinová a Wagner, 1999; Petro, Wagner a Polaščinová, 2001).

Z meraní zrážok v najbližšej ombrometrickej stanici (Kapušany) vyplýva, že za posledné roky sa mierne zvyšuje zrážková činnosť (do roku 1994 boli ročné zrážkové úhrny menšie ako 600 mm s výnimkou roku 1992, od roku 1995 sú úhrny nad 600 mm, v roku 1998 dokonca nad 700 mm). Je pravdepodobné, že nárast zrážok sa spolupodieľal na výraznejšej aktivácii spodnej časti zosuvu.



Z výsledkov monitorovania zosuvného svahu vyplýva, že z hľadiska súčasného stavu možno zosuvný svah rozdeliť na tri oblasti – spodnú, strednú a vrchnú. V spodnej, aktívnej časti svahu sa horninový materiál zosúva po šmykovej ploche v hĺbke cca 8 až 10 m pod povrchom (vrty K-1 a K-2). Horná časť zosuvu (vrt K-5) je v stave potenciálnej nestability, spôsobenej gravitačným creepovým pohybom blokov hornín a prejavmi tektonického nepokoja na kontakte dvoch rôznych geologických útvarov. Stredná, morfológicky plochá časť zosuvu je v stave dočasného upokojenia a tvorí akúsi prirodzenú „hrasť“ medzi jeho spodnou a hornou časťou.

Vzhľadom na aktivitu pohybu v spodnej, aktívnej časti zosuvu (rýchlosť pohybu hmôt 2 až 3 cm ročne) a jeho progresívny vývoj možno ohrozenie technických objektov (plynovod, cesta a VVN) v telese zosuvu považovať za akútne. Za základné sanačné opatrenie v danom geologickom prostredí považujeme odvodnenie spodnej časti svahu. Uvedomujeme si však, že v dôsledku hlboko situovanej šmykovej plochy (cca 8,5 m) prebiehajúcej v málo priepustných fľoch ide o pomerne komplikovaný technický problém.

Na základe priebežného hodnotenia výsledkov monitoringu sme každoročne upozorňovali na progresívny charakter zosuvnej aktivity dolnej časti svahu. Až opätovné pretrhnutie plynovodu v dolnej časti zosuvu v lete roku 1998 však vyvolalo záujem jeho majiteľa o prieskum a prípadnú sanáciu svahu. Havarijný stav si vynútil vypracovanie odborného inžinierskogeologického posudku lokality (Petro a Stercz, 1998), ktorý v plnej miere zohľadnil výsledky monitorovania. Vzhľadom na finančnú náročnosť sanačných opatrení sa predbežne navrhlo preloženie trasy plynovodu do strednej (najvyššej), momentálne neaktívnej časti zosuvu v kombinácii s povrchovým odvodnením, resp. mimo spodnej, aktívnej časti zosuvu jej obídením.

Monitorovaním lokality Fintice sa potvrdili niektoré predstavy o komplikovanom vývoji svahových deformácií na styku mladých vulkanických extrúzií s paleogénnymi sedimentmi, ktoré možno aplikovať v analogických geologických prostrediach. Efektívnosť pokračujúceho monitoringu je v značnej miere podmienená sfunkčnením, resp. vybudovaním nových monitorovacích objektov v spodnej, aktívnej časti zosuvu.

Lokalita Okoličné

Zosuvný svah sa nachádza v intraviláne mesta Liptovský Mikuláš, na jeho sv. okraji. Úpätím porušeného svahu prechádza hlavný železničný ťah Košice – Žilina a paralelne s ním vedená železničná vlečka do priemyselných objektov (obr. 5).

Zosuv prúdového charakteru sa aktivizoval v starom zosuvnom území v dôsledku nesprávneho antropogénneho zásahu. Pri zdvojkolajňovaní železničnej trate v roku 1949 sa rozšíril pôvodný odrez a s tým súvisiace odľahčenie päty svahu vyvolalo reaktivizáciu starších a vývoj nových svahových porúch. Odvtedy zosuv permanentne ohrozuje prevádzku na hlavnej železničnej trati.

Svahová porucha má rozlohu cca 0,16 km² a celkovú dĺžku 750 m pri výškovom rozdieli 130 m (590 až 720 m n. m.). Jej akumulčná oblasť je morfológicky výrazná, má bochníkový tvar šírky 260 m a relatívne prevýšenie 15 až 20 m nad aluviálnou nivou Váhu. Stredná, transportačná oblasť je najužšia (okolo 170 m), málo členitá, s miernym sklonom (cca 6 až 7°). Odľučná oblasť zosuvu je pomerne široká (240 m) a vytvorila sa kombináciou viacerých typov porúch – creepom porušených blokov hornín a zosúvaním (Fussgänger et al., 1976).

Zosuvné územie sa nachádza v horninovom prostredí vnútrokarpatského paleogénu, tvoreného prevažne ílovcami s vložkami pieskovcov. K základným podmienkam vzniku svahových pohybov patrí práve geologická stavba a komplikované hydrogeologické pomery (prítomnosť tlakových horizontov podzemnej vody, vysoký hydraulický spád, filtračná heterogenita horninového prostredia). Základným faktorom zosúvania bola v minulosti erózna činnosť rieky, ktorej výsledkom bol vznik niekoľkých štádií zosuvných deformácií. Zosuvné hmoty sú presunuté do vzdialenosti až 60 m cez fluvialne sedimenty Váhu (obr. 5), ktoré pôsobia ako drenáž pre spodnú akumuláciu zosuvu (Jadroň, 1980).

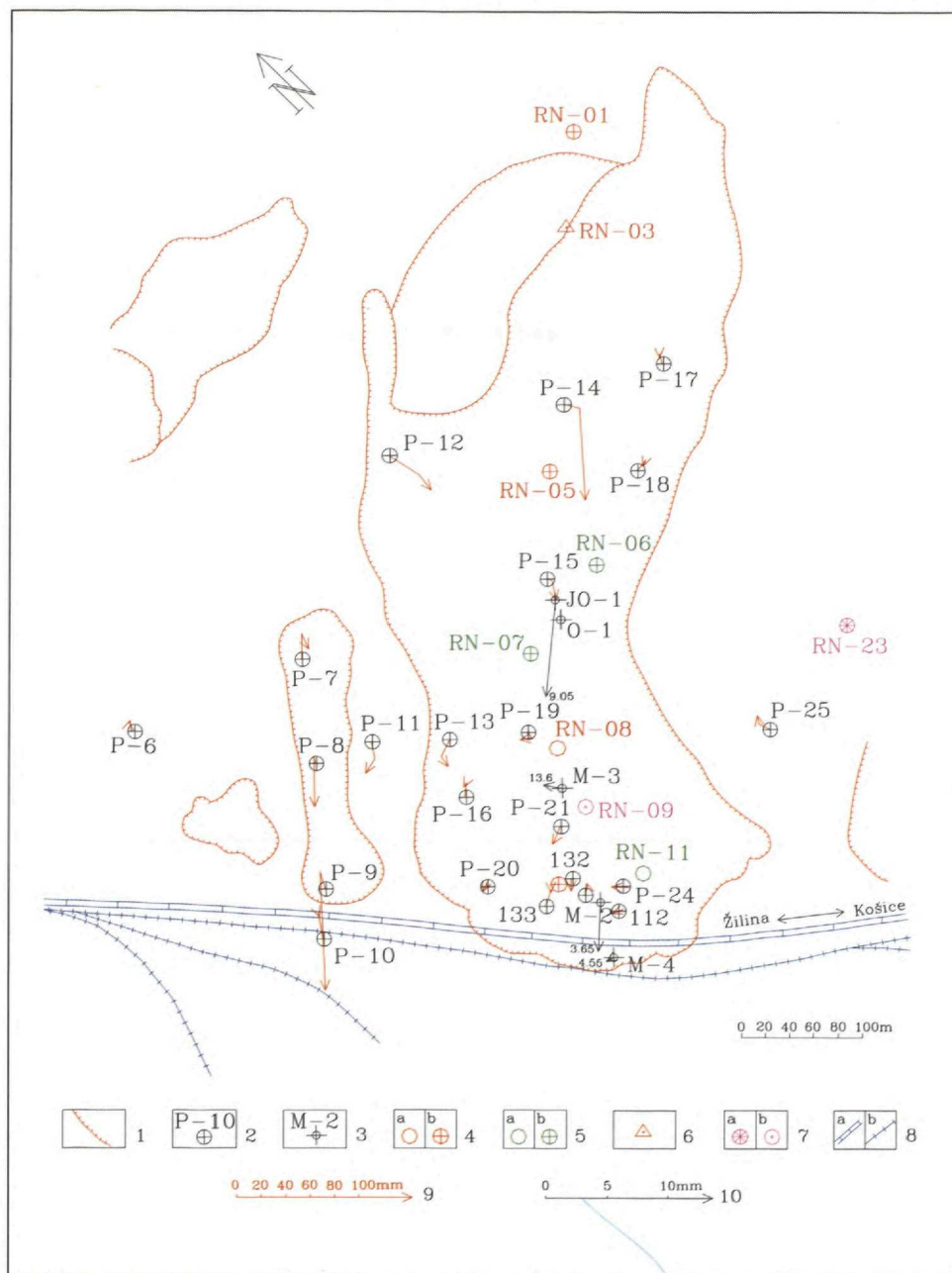
Zo sanačných opatrení (zameraných predovšetkým na povrchové i hĺbkové odvodnenie zosuvného svahu) je podpovrchový drenážny systém z roku 1952 prakticky nefunkčný. Z novších horizontálnych vrtov (obr. 5) sú funkčné iba niektoré. V zlom technickom stave sú aj povrchové odvodňovacie rigoly. Stálym opatrením proti aktivovaniu svahového pohybu je limitovaná rýchlosť vlakových súprav v kritickom úseku, ktorá však aktívne neprispieva k stabilizácii svahu.

Monitoring lokality v predchádzajúcich desaťročiach sa vykonával nepravidelne. Systematicky sa realizuje od roku 1993. Využívajú sa staršie zachované monitorovacie objekty, ku ktorým v jednotlivých etapách sanácie svahu pribudol celý rad novších. Za unikátne možno považovať geodetické merania premiestnení pozorovacích bodov, ktoré sa uskutočňujú v pravidelných intervaloch od roku 1971. Na jeseň roku 2000 sa vykonala už 46. etapa merania.

Priebežné výsledky monitorovania celým komplexom metód poukazujú na to, že na svahu prebieha komplikovaný pohyb creepového charakteru. Aktivita pohybu sa prenáša z vyšších partii do nižších s postupným dotváraním.

Obr. 5 Monitoring zosuvu Okoličné.

A) situácia sanačných a monitorovacích objektov, B) reprezentatívny profil zosuvu (zjednodušený podľa Fussgängera, E., Jadroň, D. a Litvu, J., 1976). 1 – morfológické ohraničenie zosuvu, 2 – geodetické pozorovacie body, 3 – inklinometrické vrty, 4 – vrty na špeciálne merania, 5 – piezometrické vrty (funkčné), 6 – horizontálne odvodňovacie vrty, 7 – odvodňovacie a stabilizačné objekty: a) povrchové rigoly, b) kamenné rebro, 8 – podpovrchový drenážny systém, 9 – geomorfologická rozvodnica, 10 – hydrogeologická rozvodnica, 11 – železničná trať: a) hlavný ťah Žilina – Košice, b) priemyselná vlečka, 12 – línia geologického rezu, 13 – ílavec, 14 – pieskovce (13, 14 – eocén), 15 – fluvialne náplavy Váhu (prevažne piesčité štrky), 16 – tektonické zlomy, 17 – šmykové plochy starších generácií zosuvov, 18 – recentné aktívne šmykové plochy, 19 – úroveň hladiny podzemnej vody, 20 – násyp železničnej trate.



Obr. 6 Čiastkové výsledky monitorovania zosuvu Okoličné v rokoch 1999 až 2001. 1 – morfológické ohraničenie zosuvu, 2 – geodetické pozorovacie body, 3 – inklinometrické vrty, 4 – povrchové tlakové reziduálne napätia (RN) (porovnanie výsledkov meraní z 10/2000 s meraniami z 11/1999): a) mierny vzrast, b) vzrast, 5 – tlakové RN: a) mierny pokles, b) pokles, 6 – ťahové RN: vzrast, 7 – RN: zmeny charakteru napätia: a) z tlaku na ťah, b) z ťahu na tlak, 8 – železničná trať: a) hlavný ťah Žilina – Košice, b) priemyselná vlečka, 9 – mierka vektorov priebehu premiestnení geodetických bodov za obdobie 10/1998 – 10/1999 – 10/2000, 10 – mierka vektorov deformácie zistených inklinometrickým meraním za obdobie 11/1999 až 10/2000 (číslo označuje hĺbku deformácie od povrchu terénu v m).

ním telesa zosuvu (Wagner et al., 1997, 2000). Vďaka režimovým pozorovaniam vykonávaným raz týždenne (na dvoch objektoch – vrt J-1 v akumuláčnej časti a vrt JH-29 v transportačnej časti zosuvu – sú navyše inštalované automatické hladinomery zaznamenávajúce úroveň hladiny podzemnej vody každú hodinu) bolo možné aspoň približne riešiť vodnú bilanciú zosuvnej štruktúry. Z jej riešenia vyplýva, že v dôsledku nefunkčnosti drenážneho podpovrchového systému časť vody zachytenej

drenážnymi prvkami infiltruje sekundárne späť do telesa zosuvu a permanentne zhoršuje stabilné pomery svahu. V súvislosti s tým sa navrhol najjednoduchší spôsob odvedenia vôd vytekajúcich z prelivových vrtov JH-14 a JH-17 (majú najväčšiu výdatnosť) povrchovým rigoľom mimo zosuvu (Scherer a Wagner, 1997).

Monitorovanie zosuvu v Okoličnom v nasledujúcom období (roky 1998 a 1999) potvrdilo predchádzajúce predstavy o potenciálne nestabilnom stave svahu, preja-

vujúcom sa creepovým dotváraním jednotlivých častí svahu, prerozdeľovaním napätí a nevýraznými prejavmi deformácií povrchu.

Opakované upozornenia na potenciálnu nestabilitu svahu nadobudli konkrétny charakter pri vyhodnocovaní výsledkov monitorovacích meraní uskutočnených na jeseň roku 2000. Merania povrchových reziduálnych napätí preukázali na svahu prevažne nárast tlakových napätí okrem jeho strednej, transportačnej časti (skúšky RN-06 a 07), kde bol zaznamenaný pokles tlakového napätia. Táto skutočnosť môže súvisieť s lokálnym posuvom (a teda uvoľnením napätí) v strednej časti zosuvného svahu. Z inklinometrických meraní bolo výrazné oživenie pohybovej aktivity v hĺbke cca 9 až 11 m od povrchu, zaznamenané vo vrte JO-1 nachádzajúcom sa taktiež v transportačnej časti väčšieho zosuvu (deformácia 8,06 mm v hĺbke 9,05 m za obdobie jedného roka). Ešte varovnejšie vyznievajú výsledky geodetických meraní z októbra 2000. Signalizujú významnú aktivizáciu menšieho prúdového zosuvu, ktorá môže vyústiť do bezprostredného ohrozenia železničnej trate (obr. 6). Preukázali sa povrchové pohyby bodov P-9 (98,4 mm) a P-8 (41 mm) za obdobie jedného roka (od merania v októbri 1999). Aktivitu zosuvného pohybu v hornej časti hlavného zosuvu signalizuje premiestnenie pozorovacieho bodu P-14 (76,5 mm za rok). Na kritický stav zosuvného územia boli opakovane upozornené kompetentné orgány (OÚ v Liptovskom Mikuláši a Generálne riaditeľstvo Železníc Slovenskej republiky).

Zosuv pri Okoličnom patrí k veľmi komplikovaným prípadom svahového pohybu. Jeho súčasný stav i prognóza vývoja na základe priebežných výsledkov monitorovania naznačujú, že v prípade rôznych prírodných či antropogénnych vplyvov sa môže porušiť stabilita svahu a spôsobiť vážne problémy (ohrozenie železničnej trate prvoradého významu).

Lokalita Dolná Mičina

Zosuv v intraviláne obce Dolná Mičina (cca 10 km j. od Banskej Bystrice) sa aktivoval na sklonku roku 1994 v priestore staršieho zosuvného územia. Ohrozil štátnu cestu, miestne komunikácie a niekoľko obytných domov s príľahlými pozemkami. Po vyhlásení havarijného stavu (v decembri 1994) organizácia INGENIO, a. s., Žilina vykonala prieskumno-sanačné práce (v období január až máj 1995). Ich výsledky viedli k návrhu a realizácii defínitívnej sanácie zosuvného svahu (uskutočnila sa v lete 1996). Výsledky prieskumných prác a návrh sanácie zosuvu boli zhrnuté vo viacerých prácach (Jadroň a Fussgänger, 1995; Jadroň a Fussgänger et al., 1996; Jadroň, 1997).

Vlastný aktívny zosuv atypického tvaru zaberá plochu 220 x 200 m pri výškovom rozdieli cca 40 m (390 až 430 m n. m.). Najhlbšia šmyková plocha prebieha až 27,5 m pod úrovňou terénu.

Zosuv vznikol v prostredí neogénnych pyroklastických hornín charakteru tufitov a tufov, pričom v bezprostrednej blízkosti zosuvného telesa prebieha tektonický styk s mezozoickými dolomitickými vápencami a dolomitmi. Kvartérny pokryv tvoria svahové ílovito-piesčité hliny až íly. Striedanie nepriepustných ílovitých tufitov

s priepustnejšími piesčito-populovými tufmi podmieňuje existenciu viacerých výrazných horizontov podzemnej vody v neogénnom podloží územia. Uvedené komplikované hydrogeologické pomery, možnosť stálej dotácie zosuvu zrážkovými vodami, ako aj kontakt odlišných geologických útvarov a erózne pôsobenie Mičinského potoka podmienili skutočnosť, že celé študované územie už v minulosti postihli svahové deformácie. Tie sa periodicky (zvyčajne pri zrážkových anomáliách) aktivovali (Jadroň, Wagner a Jelínek, 1998).

V rámci sanačných opatrení sa na lokalite použilo hĺbkové odvodnenie svahu siedmimi subhorizontálnymi vrtmi a priťažovací prísyp v spodnej časti zosuvu v kombinácii oporných a zárubných gravitačných múrov, vyhotovených z prírodného andezitového kameniva formou drôteno-kamenných ekokošov (obr. 7).

Od počiatku prieskumných prác až po súčasnosť sa stabilitný stav svahu hodnotí na základe výsledkov súboru monitorovacích metód (geodetických, merania reziduálnych napätí, inklinometrických a PEE). Na obr. 7 sú znázornené výsledky celého komplexu monitorovacích pozorovaní uskutočnených v druhej polovici roku 1997. Merania celkovo preukázali upokojený stav svahového pohybu po uskutočnení sanačných opatrení. V nadväznosti na to sa v ďalšom období redukoval rozsah aj frekvencia monitorovacích meraní (základnou overovacou metódou na zistenie stavu lokality zostalo meranie poľa PEE, ktoré sa dopĺňa meraniami povrchovej reziduálnej napätosti na ohraničenom počte bodov). Výrazne sa znížila aj frekvencia režimových pozorovaní, ktorými sa overuje predovšetkým úroveň hladiny podzemnej vody vo vzťahu k limitným úrovňam odvodeným zo stabilitného výpočtu (pre stupeň stability 1,2).

Napriek celkovo uspokojivým výsledkom monitorovacích meraní v rokoch 1998 až 2000 treba upozorniť na to, že merania PEE zachytili pravdepodobne proces dotvarovania zosuvných hmôt po uskutočnenej sanácii (zaznamenaná aktivita vo vrtoch na okrajoch zosuvného územia, naznačujúca prenos napätí eliminovaných zárubným múrom do s. a j. okraja zosuvu). Aj režimovými pozorovaniami sa v niektorých vrtoch zachytilo prekročenie limitnej hladiny podzemnej vody. Išlo však iba o krátkodobé stúpnutia (obr. 8). Svedčí to o tom, že odvodňovacie zariadenia sú schopné v pomerne krátkom čase svah odvodniť. Výsledky meraní poľa PEE a režimových pozorovaní podmieňujú potrebu pokračujúceho monitorovania stabilitného stavu zosuvu v ohraničenom rozsahu.

Lokalita Veľká Čausa

Zosuvné územie na južnom okraji Veľkej Čausy (asi 5 km v. od Prievidze) permanentne ohrozuje obec. Aktivuje sa v nepravidelných intervaloch, zvyčajne v súvislosti s výskytom anomálnych zrážok (Otepka, 1976; Mesko a Otepka, 1985). Posledná zrážková anomália zvýraznená topením snehu bola zaznamenaná v období od konca januára do konca marca 1995. Vyvolala svahový pohyb, ktorý ohrozil viacero obytných aj hospodárskych budov, cestu aj miestne komunikácie. V období od marca 1995 až do leta 1998 sa na lokalite uskutočnilo viacero etáp prieskumných a sanačných prác.

Monitorovaný zosuv má plošný až frontálny charakter (ak uvažujeme iba spodnú, aktívnu časť svahu). Plocha zosuvnej poruchy je 550 x 300 m a nachádza sa v nadmorskej výške 305 až 340 m n. m. Priemerný sklon svahu je mierny – okolo 6°. Hĺbka aktívnych šmykových plôch sa v spodnej časti zosuvu pohybuje v rozmedzí 5,6 až 8,3 m, v hornej časti 3,5 až 6 m a v úrovni starších zosuvov až v hĺbke od 11,5 do 17 m (Fussgänger, Smolka a Jadroň, 1996).

Zosuvné územie sa vyvinulo v zložitom geologickom prostredí severného okraja neovulkanického pohoria Vtáčnik. V hornej časti svahov sa nachádzajú rigidné vulkanické horniny, ktoré ležia na slabo spevnenom súvrství fľov, fľovcov a siltovcov s vložkami tuftických pieskovcov. Toto neogénne súvrstvie, označované ako šlírové (burdigal), je subhorizontálne a diskordantne uložené na paleogénnych flyšových horninách, značne porušených zlomovou tektonikou. Z geologickej stavby vyplývajú komplikované hydrogeologické pomery s výskytom niekoľkých tlakových horizontov podzemnej vody. Materiály premiestnené staršími svahovými pohybmi sú presunuté na vzdialenosť 80 až 120 m na terasové štrkové sedimenty rieky Handlovky (obr. 9). V súčasnosti vytvárajú prirodzenú drenáž a prispievajú k stabilizácii zosuvu.

Niekoľko etáp sanačných opatrení (roky 1969 – 1976 – 1985 – 1995) sa orientovalo na zvýšenie stability svahu jeho povrchovým (dláždené rigoly a dočasné zemné odvodňovacie priekopy) a podpovrchovým odvodnením (horizontálne vrty, stabilizačné a drenážne rebrá). Vlastné monitorovanie sa vykonávalo iba etapovite – v rokoch 1974 až 1975 počas prieskumných a mapovacích prác a v roku 1985. V súvislosti s tým, že monitorovacie objekty bez stálej údržby postupne starnú a strácajú funkčnosť, prevažná časť monitorovacích aktivít sa sústredila na objekty vybudované pri prieskume a sanácii v rokoch 1995 až 1997.

Vzhľadom na to, že sieť monitorovacích objektov, ako aj frekvencia meraní od roku 1995 je na lokalite pomerne hustá, pokúsili sme sa súborne spracovať získané výsledky a prezentovať ich vo forme syntetickej mapy, vyčleňujúcej rajóny s rôznou intenzitou pohybovej aktivity. Týmto spôsobom boli spracované dve štádiá vývoja zosuvného pohybu – stav pred uskutočnením sanačných opatrení (do júla 1996) a stav po ich realizácii (do decembra 1997).

Hodnotenie vychádza zo zistenia existujúceho napätostno-deformačného stavu monitorovaného svahu, ktorý sa zaznamenal súborom meraní v danej časovej etape

a bodovým ohodnotením váhy jednotlivých meraní. Hoci zostavená škála hodnotenia (tab. 3) je zaťažená značnou subjektivitou, predstavuje prvý pokus o komplexné spracovanie a interpretáciu výsledkov monitorovania. Po skúsenostiach z viacerých lokalít bude možné pristúpiť k vypracovaniu univerzálnej hodnotiacej škály (tab. 3).

V prípade, ak sa dve alebo viaceré merania realizovali v jednom monitorovacom objekte (napríklad inklinometrické merania a merania PEE v rovnakom vrte), pri komplexnom hodnotení sa bral do úvahy výsledok, ktorý je z hľadiska stabilizácie stavu nepriaznivejší.

Po uvedenom zhodnotení výsledkov monitorovacích meraní získavame množinu čísel, ktoré charakterizujú stav (stupeň aktivity) hodnoteného zosuvu v mieste príslušného monitorovacieho objektu v určitom časovom okamihu (v porovnaní so stavom, aký sa zistil v predchádzajúcej etape merania). Vzhľadom na to, že jednotlivé meracie objekty sú nepravidelne rozmiestnené na ploche zosuvu, pri spracovaní údajov možno použiť niektorú z interpolačných metód (Jadroň a Wagner et al., 1998).

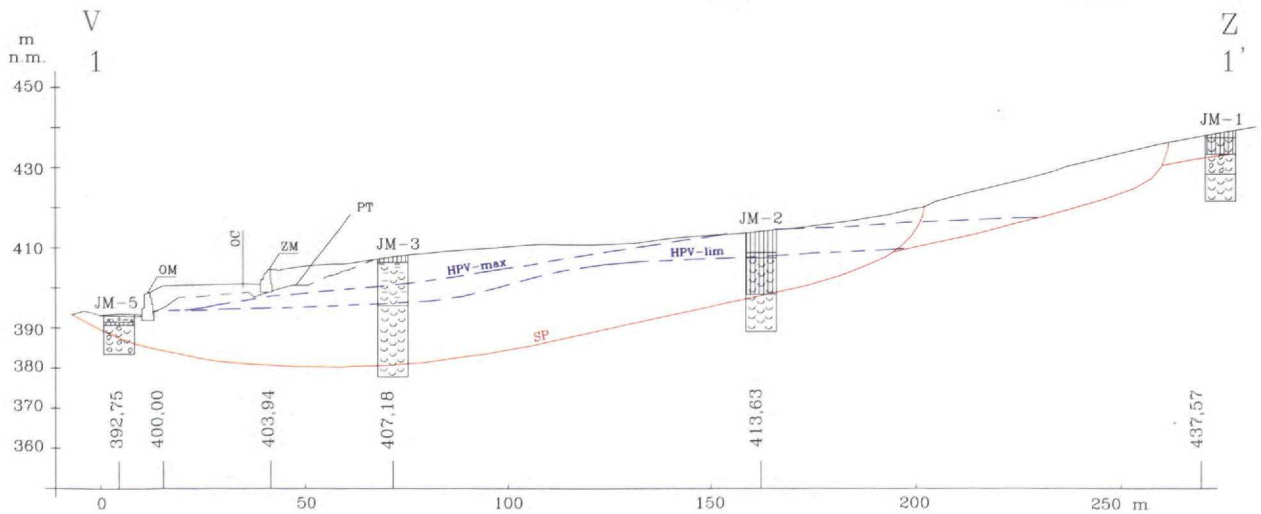
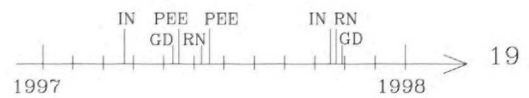
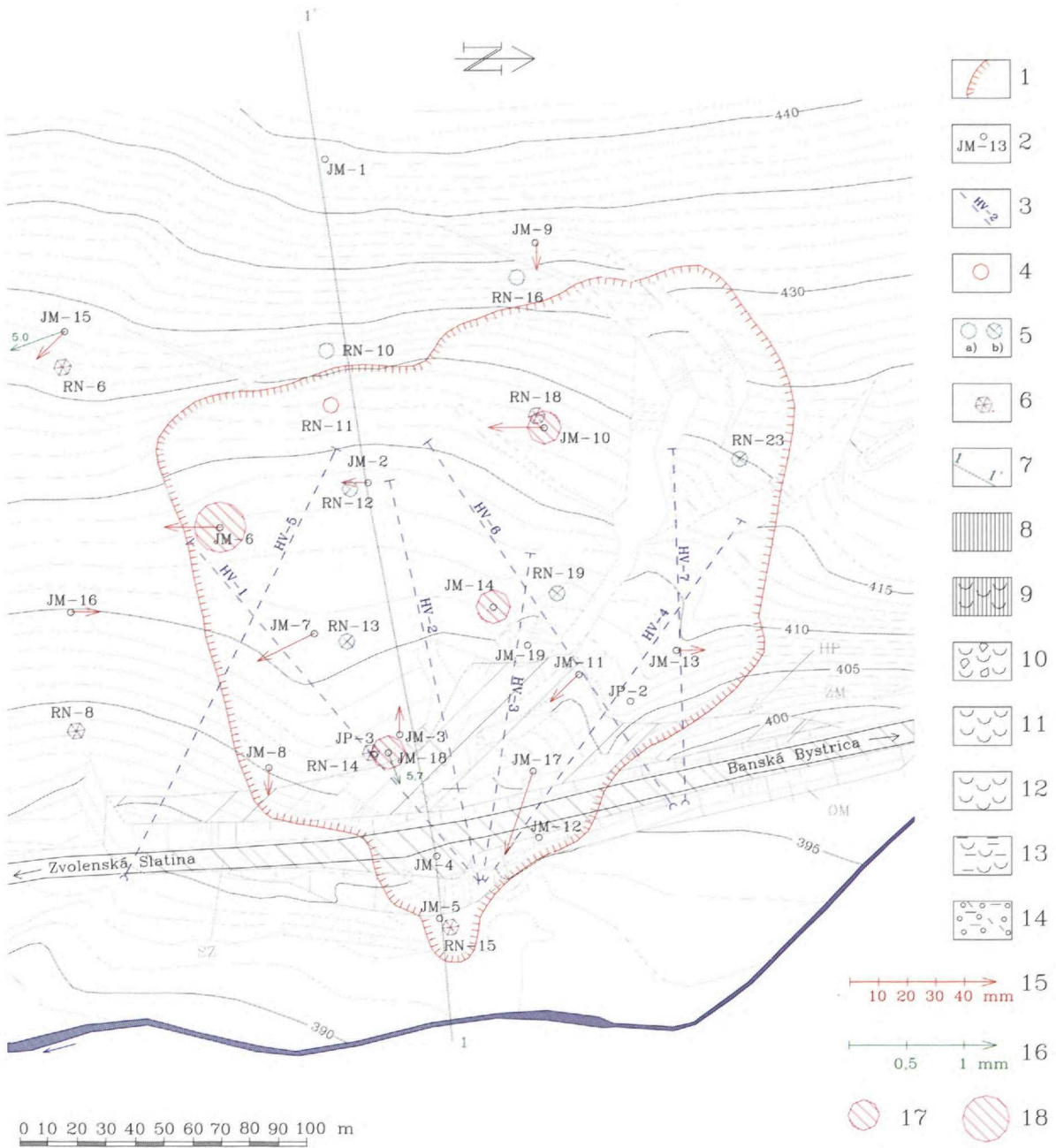
V snahe vyjadriť výsledné hodnotenie čo najjednoduchším a najprehľadnejším spôsobom sa vyčlenilo päť kategórií aktivity zosuvného prejavu. Ich farebné znázornenie zodpovedalo zaužívanému „semaforovému“ spôsobu vyjadrenia – zelená farba predstavuje neaktívny stav, žltá miernu aktivitu a červená poukazuje na výraznú aktivitu príslušnej časti zosuvu. Uvedené základné farby sú doplnené prechodnými farebnými odtieňmi.

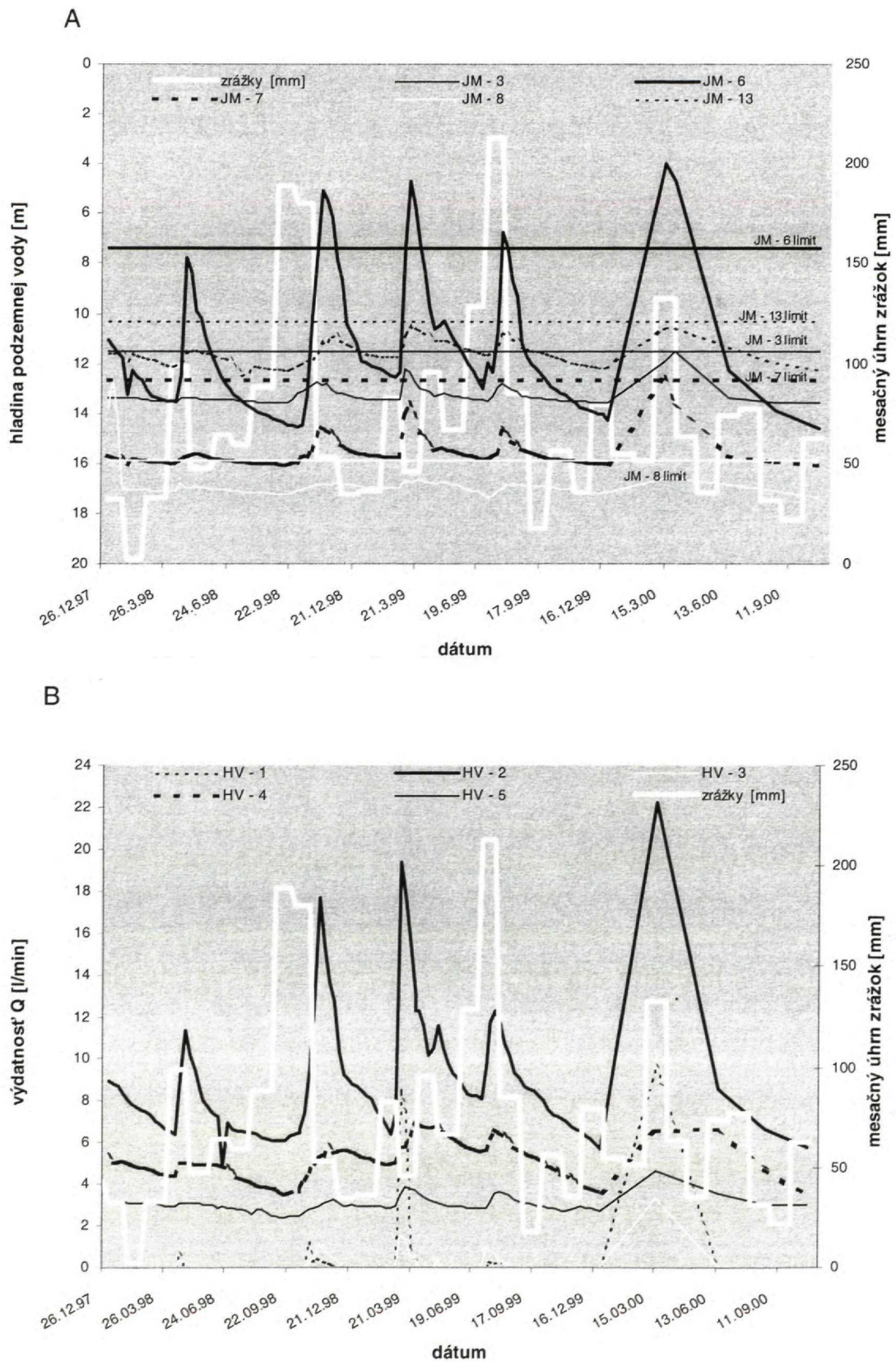
Výsledky monitorovacích pozorovaní pred uskutočnením sanačných opatrení preukázali výraznú aktivitu v západnej časti zosuvu (obr. 10). V tejto časti územia boli najzávažnejšie porušené obytné domy. Po uskutočnení rozsiahleho komplexu sanačných opatrení aktivita zosuvného územia ako celku výrazne poklesla. Napriek tomu niektoré merania (predovšetkým metódou PEE) preukázali určitý stupeň aktivity, ktorej ohniská sa presunuli do východnej časti zosuvného územia. Uvedené výsledky hodnotenia monitorovacích meraní boli jedným z podkladov na situovanie dopĺňujúcich sanačných opatrení (3 horizontálne odvodňovacie vrty realizované v roku 1997 a vrt VV-110 v lete 1998) práve do tejto časti územia (Jadroň et al., 2000, 2001).

Výsledky monitorovacích pozorovaní sme komplexne spracovali aj v ďalšom období (Klukanová a Wagner, 2000). Vykonané hodnotenia charakterizovali postupné dotváranie svahu s prenosom napätí do jeho rôznych častí. V roku 1998 sa aktívne prejavy výraznejšie sústredili opäť v západnej časti územia, v roku 1999 sa táto aktívna zóna rozpadla na niekoľko samostatných ohnisk.

Obr. 7 Čiastkové výsledky monitorovania lokality Dolná Mičiná.

A) situácia zosuvu, rozmiestnenie siete monitorovacích objektov a výsledky niektorých monitorovacích meraní do roku 1998, B) reprezentatívny profil zosuvu. 1 – ohraničenie zosuvu, 2 – prieskumné jadrové vrty, 3 – subhorizontálne odvodňovacie vrty, 4 – povrchové tlakové reziduálne napätia (RN) (porovnanie výsledkov meraní z roku 1997 s meraniami z rokov 1995 a 1996): mierny vzrast, 5 – tlakové RN: a) mierny pokles, b) pokles, 6 – RN: zmena tlaku na mierny ťah, 7 – línia geologického rezu, 8 – humusovitá hlina, 9 – tuftické íly, 10 – tufy s klastickou zložkou, 11 – tufy, 12 – silno piesčité tufy, 13 – prevažne fľovité tufy, 14 – silno zahľinený štrk, 15 – vektory premiestnení pozorovacích bodov (GD) za obdobie od 5/1997 do 10/1997, 16 – vektory deformácií zistené presnou inklinometriou (IN) za obdobie od 3/1997 do 10/1997 (číslom je označená hĺbka najväčšej deformácie), 17 – stupeň aktivity podľa výsledkov merania metódou PEE – pomerne nízky až stredný, 18 – stredný až pomerne vysoký, 19 – časová postupnosť monitorovacích meraní, SZ – stabilizačný zásyp, HP – hranica stabilizačného prísypu, ZM – zárubný múr, OM – oporný múr, PT – pôvodný terén, OC – os cesty. (Upravené podľa Jadroňa, D., Wagnera, P. a Jelínka, R., 1998.)





Obr. 8 Hydrogeologický monitoring na lokalite Dolná Mičiná. A) merania hĺbky hladiny podzemnej vody v piezometrických vrtoch, B) merania výdatností odvodňovacích vrtoch. Zrážkové úhrny sú zo zrážkomernej stanice Banská Bystrica. Symbolom limit sú označené limitné hladiny podzemnej vody vyrátané pre stupeň stability 1,2. (Zostavili J. Helma a M. Ondrášik.)

Tab. 3 Škála klasifikačného hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní.

Geodetické merania		Merania povrchovej reziduálnej napätosti		Inklinometrické merania		Merania PEE vo vrtoch	
premiest. bodov (mm/rok)	hodnotenie	$(\sigma_x/\sigma_{x-1}) \cdot 100 - 100$ (%)**	hodnotenie	veľkosť deformácie (mm/rok)++	hodnotenie	stupeň aktivity+++	hodnotenie
do hodnoty σ^*	1	pokles napätia a zmeny do 20***	1	do 2 mm	1	BP, NZ	1
σ až 3σ	3	vzrast 20 až 100****	2	2 až 5 mm	3	PN, ST	3
nad 3σ	5	vzrast nad 100+	4	nad 5 mm	5	PV, VV	4

- * Ide o hodnotu strednej polohovej a výškovej chyby merania (zvyčajne 15 alebo 20 mm). Hodnota premiestnenia je prerátaná na časovú jednotku 1 roka.
- ** Porovnávajú sa hodnoty nameraného napätia σ_1 s hodnotami z predchádzajúcej etapy merania.
- *** Uvažuje sa o poklese tlakového aj ťahového napätia všeobecne alebo o vzraste napätia do 20 %.
- **** Uvažuje sa o vzraste hodnôt tlakového alebo ťahového napätia a zmenách charakteru napätia, ktorých rozdiel v absolútnej hodnote nepresahuje 3 kPa.
- + Výrazný vzrast tlakového alebo ťahového napätia a zmena charakteru napätia (presahujúca v absolútnej hodnote 3 kPa).
- ++ Uvažujú sa absolútne hodnoty deformácie v mm, ktoré sa zaznamenali za obdobie od predchádzajúcej etapy merania, a sú prerátané na časovú jednotku 1 roka.
- +++ Vychádza sa zo semikvantitatívneho hodnotenia meraní podľa zaužívej škály. (Aktivita: BP – bez prejavov aktivity, NZ – náznaky, PN – pomerne nízka, ST – stredná, PV – pomerne vysoká, VV – veľmi vysoká).

V roku 2000 inklinometrické merania preukázali mierny pokles pohybovej aktivity v čele zosuvnej akumulácie. Stále sa však zaznamenávajú pomerne výrazné deformácie na hlbšej šmykovej ploche v blízkosti odľučnej oblasti zosuvu (vrty VČ-4 a 8). Geodetickými meraniami sa preukázal najvýraznejší pohyb v hornej časti svahu (bod P-17, posun 26,25 mm za 1 rok). Rozdielny režim v odľučnej, strednej a akumuláčnej časti preukázali aj merania PEE. Ich výsledky naznačujú aj výrazné pôsobenie druhotného zdroja energie na lokalite (môže ísť o súčasnú aktivitu pozdĺž zlomových líní).

Z výsledkov pozorovaní vyplýva vcelku priaznivý stabilný stav v spodnej časti zosuvného územia. V hornej časti svahu sa však stále zaznamenáva preskupovanie napätia vyúsťujúce do pokračujúcej pohybovej aktivity zosuvného telesa, aj keď intenzita zmien je podstatne nižšia než pred uskutočnením sanačných opatrení (obr. 10).

Napriek vcelku pozitívnemu konštatovaniu úspešnosti sanácie svahu veľmi zložitý mechanizmus svahových pohybov vo Veľkej Čause si naďalej vyžaduje dostatočnú pozornosť. Existujúci komplex sanačných opatrení je potrebné okrem ich stálej dôslednej údržby doplniť technicko-melioračnými úpravami terénu v odľučných častiach zosuvného územia.

Súčasne treba konštatovať, že komplexný spôsob zhodnotenia a prezentácie výsledkov monitorovania v prípade použitia väčšieho množstva meraní na celospoločensky dôležitých lokalitách považujeme za najprehladnejší a najperspektívnejší.

Lokalita svahových pohybov charakteru plazenia

Monitorovanie pomalých plazivých pohybov sa dosiaľ vykonávalo na 4 lokalitách (tab. 1). Lokalita Veľká Izra, Sokol a Košický Klečenov sú situované v prostredí budovanom neogénnymi vulkanitmi (Slanské vrchy). Na lokalite Havran pri Lubochni vystupujú mezozoické horniny. Pri výbere lokalít sa brala do úvahy ich celospoločenská dôle-

žitosť, vhodnosť morfológických parametrov trhlín (šírka a úklon), resp. ich dostupnosť v teréne.

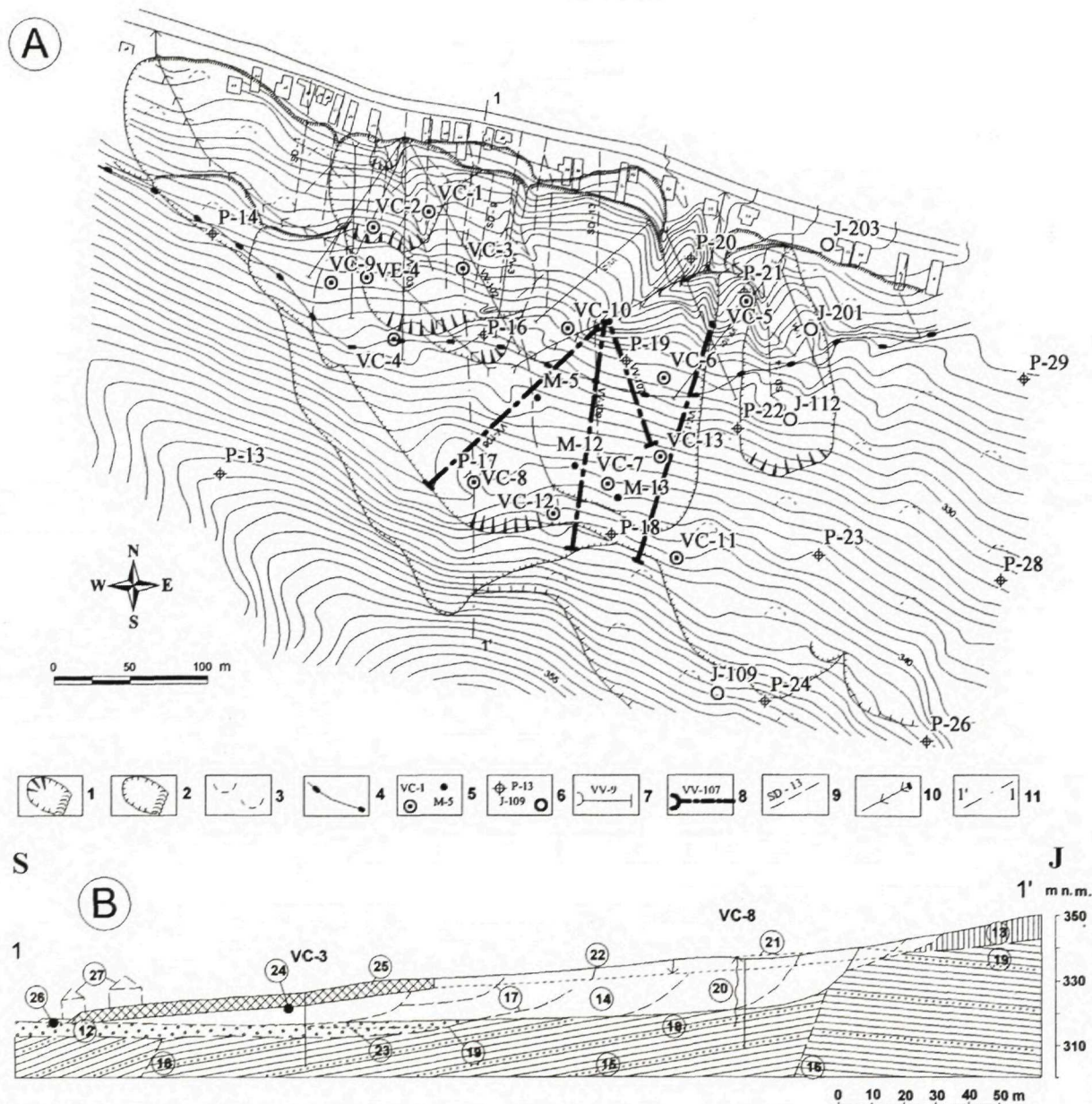
Dôležitosť prvých dvoch uvedených lokalít vyplýva zo skutočnosti, že ležia v chránenom území (prírodná pamiatka Miličská skala, národná prírodná rezervácia Bačkovský potok). Lokalita Košický Klečenov je situovaná v priestore predpokladaného priebehu významnej neotektonickej línie. Lokalita Havran je dôležitá z teoretického (rozvoľňovanie vrcholových partií chočského príkrovu) i praktického aspektu (nachádzala sa v trase jedného z variantov novej výstavby diaľničného tunela). Na lokalitách Veľká Izra a Sokol sa nachádzajú typické blokové rozpadliny. Pevné andezity lávových prúdov ležiace na plastických podložných sedimentoch alebo silno hydrotermálne premenených (propylitizovaných) horninách sa porušujú a rozpadajú. Doterajšie merania na obidvoch lokalitách jednoznačne preukázali plazivý pohyb. Ide o otváranie trhlín medzi andezitovými blokmi a pokles okrajového bloku oproti bloku položenému vyššie (bližšie k masívu). Pohyb je nerovnomerný a jeho priemerná rýchlosť dosahuje 0,5 až 1,0 mm za rok (Petro et al., 1999). Na lokalite Veľká Izra sa nameralo otvorenie trhliny až 6,3 mm za obdobie od roku 1991 do konca roku 2000, čo je v priemere 0,7 mm za rok.

Dilatometer umiestnený na lokalite Havran, presnejšie v hrebeňovej časti masívu budovaného dolomitmi chočského príkrovu, bol osadený v roku 1996. Vzhľadom na krátky čas merania a malý počet uskutočnených odčítaní hodnôt nie je možné odvodzovať zásadné závery. Celková pozícia bloku vo svahu, t. j. jeho tvar, veľkosť a priebežnosť či dosah trhliny, dosiaľ získané výsledky, ťažká prístupnosť lokality a skutočnosť, že aktualizovaná trasa tunela bola premiestnená, odôvodňujú návrh inštalovať prístroj na inú, vhodnejšiu lokalitu.

Na lokalite Košický Klečenov vystupuje andezitový lávový prúd, ktorý leží na plastických zvetraných redponovaných pyroklastikách a tufoch. V minulosti tu boli osadené dva dilatometre TM-71 (KK-1 v roku 1990 a KK-2 v roku 1994). Sú umiestnené v dvoch paralelných

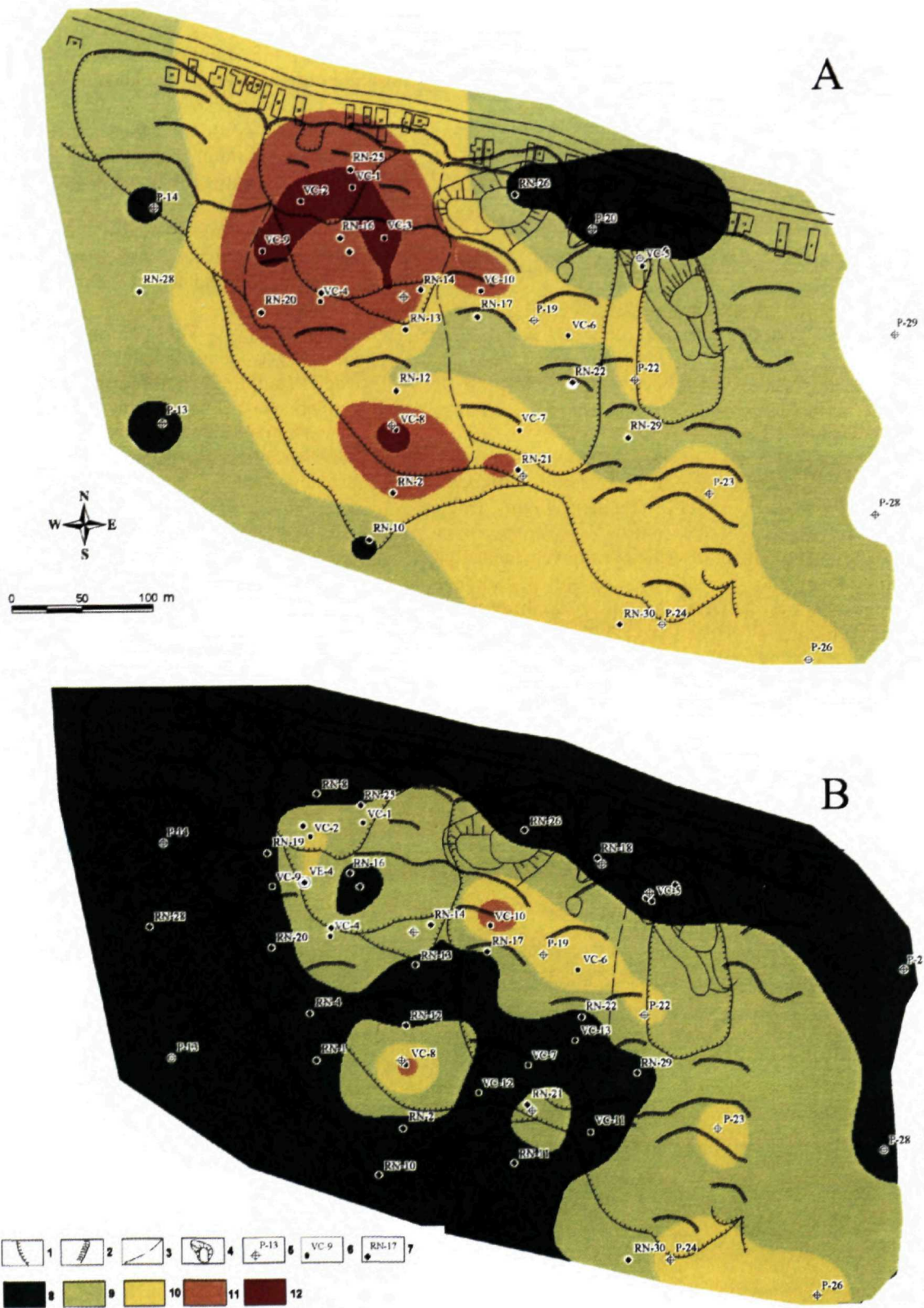
trhlinách na okraji lávového prúdu v hornej časti deformácie, ktorá má charakter blokovej rozpadliny. Rozpadlina smerom na západ postupne prechádza do blokového poľa a zosuvu (Wagner et al., 2000). Paralelne s okrajom vulkanitov prechádza neotektonická zlomová porucha s.-j. smeru s preukázanou aktivitou v období kvartéru (Janočko, 1989).

Výsledky meraní pohybu blokov obidvomi prístrojmi sú zaujímavé. Preukázal sa prevládajúci šmykový pohyb blokov v zvislom smere, t. j. v smere osi z. Prístrojom KK-1 bol nameraný celkový pohyb viac ako 4 mm od roku 1990, ktorý sa výrazne zrýchlil po roku 1998. Prístroj KK-2 zaznamenal od roku 1994 celkový vertikálny posun 1,6 mm. Pohyb blokov pri obidvoch



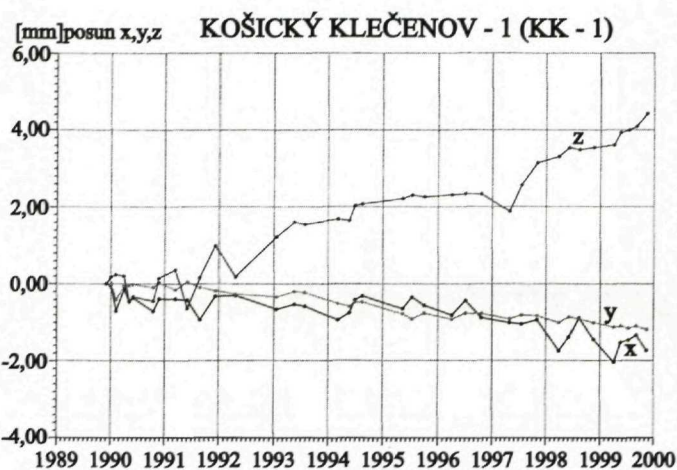
Obr. 9 Monitoring zosuvu vo Vel'kej Čause.

A) situácia monitorovacích objektov a sanačných opatrení, B) reprezentatívny profil zosuvu. 1 – aktívne formy zosuvov (1995 až 1996), 2 – postupná aktivácia čiastkových zosuvov a zátrhov, 3 – potenciálne zosuvné územie, 4 – interpretovaný okraj štrkovej akumulácie (nízka terasa – báza 309,0 až 310,0 m n. m.), 5 – inklinometrické (VC) a pozorovacie (M) vrty, 6 – geodetické pozorovacie body (P) a vrty zo starších prieskumov (J), 7 – prieskumno-sanačné odvodňovacie vrty, 8 – nové odvodňovacie vrty (VV-107, 108, 109 realizované v roku 1997, VV-110 realizovaný v roku 1998), 9 – stabilizačné a odvodňovacie rebrá, 10 – povrchové odvodňovacie rigoly a zberná kanalizácia, 11 – línia geologického rezu, 12 – fluviaľne štrky nízkej terasy rieky Handlovky, 13 – deluviálne sedimenty (íly s úlomkami, hlinité sutiny), 14 – zosuvné delúvium (íly, fľovce, siltovce), 15 – šľirové súvrstvie – fľovce, siltovce, íly, piesčité íly, fľové piesky, resp. štrky (neogén – burdígál), 16 – zlomové tektonické poruchy, 17 – aktívne recentné šmykové plochy, 18 – šmykové plochy, resp. zóny, 19 – predpokladaná hranica kvartérnych a neogénnych sedimentov, 20 – vztlakové horizonty podzemnej vody pred sanáciou, 21 – hladina podzemnej vody v čase aktivácie zosuvu na jar roku 1995, 22 – hladina podzemnej vody po uskutočnených sanačných prácach (1997, 1998), 23 – maximálna hladina podzemnej vody v terasových štrkoch, 24 – horizontálne odvodňovacie vrty (priemet), 25 – stabilizačné drény s odvodnením čela zosuvu (SD-1 až SD-16), 26 – podpovrchový drén, napojený do miestnej kanalizácie, 27 – porušené domy v čele zosuvu. (Upravené podľa Jadroňa, D., Wagnera, P., Pauditša, P. a Vybírala, V., 1998.)



Obr. 10 Komplexné hodnotenie aktivity zosuvu vo Veľkej Čause.

A) štádium pred realizáciou sanačných opatrení (výsledky monitorovacích meraní za obdobie od apríla 1995 do júla 1996), B) štádium po realizácii sanačných opatrení (výsledky monitorovacích meraní za obdobie od januára do decembra 1997). 1 – morfologické ohraničenie zosuvu, 2 – zosuvné akumulácie, 3 – aktívne trhliny, 4 – premiestnené bloky hornín, 5 – geodetické body, 6 – inklinometrické vrty, 7 – miesta merania povrchových reziduálnych napätí, 8 – stabilné časti zosuvného územia, 9 – časti územia s náznakmi aktivity, 10 – mierne aktívne časti územia, 11 – aktívne časti územia, 12 – výrazne aktívne časti zosuvného územia. (Podľa Jadroňa, D., Wagnera, P., Pauditša, P. a Vybírala, V., 1998).



Obr. 11 Záznam merania plazivého pohybu dilatometrom TM-71 na lokalite Košický Klečenov (prístroj KK-1). x, y, z – prístrojom zaznamenaný posun (v mm) v osiach x, y, z. (Zostavili L. Petro a E. Polaščinová.)

trhlinách je plynulý, s čiastočným spomalením v rokoch 1996 až 1998 a pokračuje rýchlosťou asi 0,4 mm ročne (obr. 11).

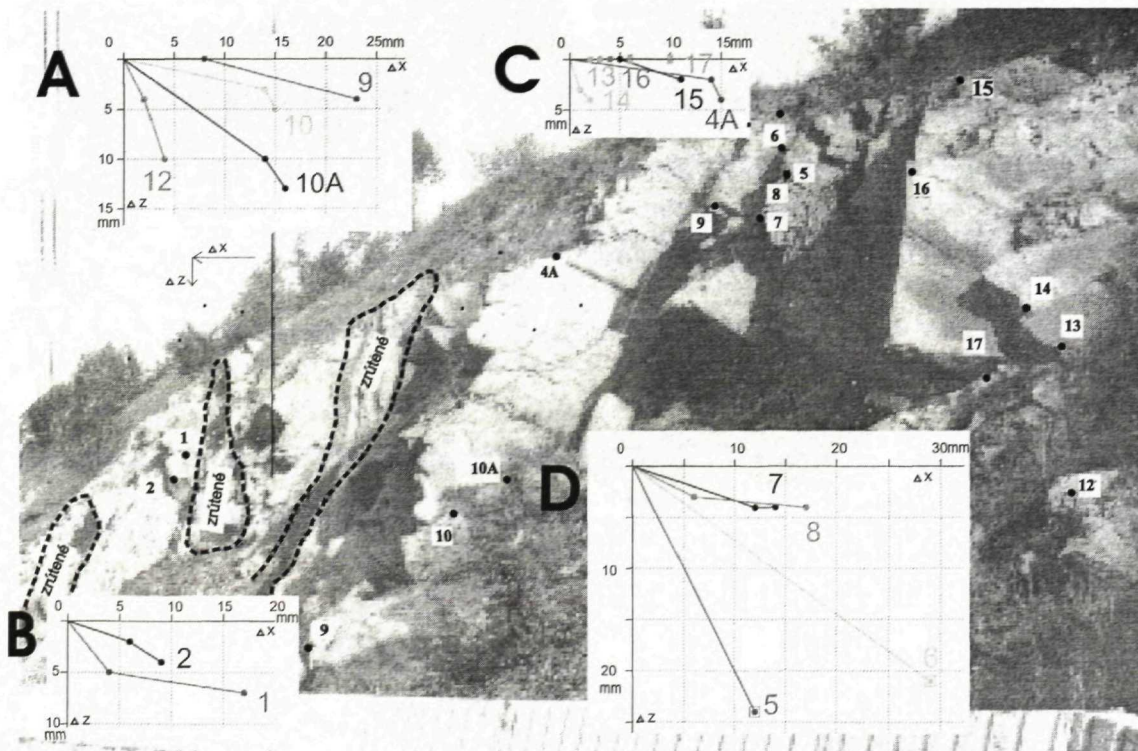
Výzdvihový pohyb obidvoch okrajových andezitových blokov možno vysvetliť horizontálnym tlakom z vnútra masívu, vyvolaným celkovým výzdvihom masívu Slanských vrchov (Petro et al., 1999). Nejde tu teda o klasický gravitačný pokles, ale zdroj pohybu treba hľadať v súčasnej tektonickej aktivite oblasti. Ide o prvé podobné zistenie takéhoto mechanizmu pohybu blokov na území Slovenska pomocou merania dilatometrom.

Lokality zárezov komunikácií

Z tabuľky 2 vyplýva, že základnými metódami monitorovania vývoja stability skalných zárezov sú metódy pozemnej fotogrametrie. Aplikáciou týchto metód možno vytvoriť stereoskopický model lokality pomocou stereopáru snímok, ktorý slúži na fotogrametrické výpočty polohy plôch diskontinuit, na merania vytýčených profilov a perspektívny záznam vrstevníc. Na určenie posunov skalných blokov alebo vypadávanie skál možno zasa využiť jednosnímkovú metódu časovej základnice. Uvedené metódy sa aplikovali na všetkých vybraných lokalitách. Metóda časovej základnice sa opakovala s jednoročnou frekvenciou.

Na lokalite Huty – Veľké Borové bol vo vrcholových častiach odkryvu identifikovaný vplyv gravitačného rozvoľňovania (toppling) horninového bloku s objemom niekoľko m³. Na základe nášho upozornenia Slovenská správa ciest zabezpečila geotechnické posúdenie stability a následnú sanáciu skalnej steny (Slivovský et al., 1997).

Na lokalite Demjata boli vyčlenené kvázihomogénne zóny s prejavmi tektonického porušenia, v ktorých je horninový masív rozčlenený na bloky malých rozmerov. Stabilitu horninových blokov v nich v značnej miere ovplyvňujú procesy erózie a zvetrávania, ktoré podporujú rozvoľňovanie masívu a následné vypadávanie blokov malých rozmerov zo skalnej steny. Posuny blokov hornín pozdĺž predisponovaných šmykových plôch boli overené v zónach s rôznou úrovňou blokovitosti (obr. 12). Na základe výsledkov monitorovania bolo možné perspektívne naznačiť, ktoré časti bude potrebné v budúcnosti



Obr. 12 Čiastkové výsledky monitorovania zárezu cestnej komunikácie pri obci Demjata za obdobie 1998 a 1999. A) gravitačný posun a vypadávanie ojedinelých blokov, B) posun a vypadávanie blokov a úlomkov vo výrazne tektonicky porušenej zóne, C) pozvoľné gravitačné rozvoľňovanie blokov veľkých rozmerov, D) rozvoľňovanie v zóne intenzívneho selektívneho zvetrávania. (Zostavila L. Iglárová.)

Tab. 4 Súborný prehľad výsledkov monitorovania.

Lokalita (úroveň významnosti)	Hlavné výsledky monitorovania
1. Veľká Čausa (III.)	Preukázanie úspešnosti odvodnenia svahu. Pravdepodobne v dôsledku zníženia hladiny podzemnej vody prerodzenie napätí a postupné vytváranie nového rovnovážneho stavu. Najväčšia aktivita prostredia zaznamenaná v jv. a sz. časti územia. Potreba realizácie povrchových terénnych úprav.
2A. Malá Čausa (II.)	V dôsledku neúplnosti sanácie podzemná voda stále vystupuje nad povrch terénu v jv. časti väčšieho zosuvu. Dotváranie materiálu menšieho zosuvu s prejavmi deformácií v povrchovej vrstve.
2B. Bojnice (II.)	V súčasnosti preukázaný upokojený stav svahovej deformácie. Zo spracovania režimových pozorovaní vyplýva pomalý priebeh odvodnenia svahu, čo podmieňuje málo priaznivú stabilitnú prognózu.
2C. Diviaky nad Nitricou (0. – I.)	Spracovaním režimových pozorovaní preukázaná schopnosť sanačných opatrení zabezpečiť rýchle odvodnenie svahu. Z uvedených dôvodov priaznivá stabilitná prognóza.
3. Handlová (II.)	Preukázaný celkovo stabilný stav svahu s prejavmi koncentrácie napätia v odľučnej oblasti zosuvu.
4. Dolná Mičíná (I. – II.)	Preukázaný celkovo stabilný stav sanovaného svahu s prejavmi dotvárania materiálu zosuvu. Výsledky meraní PEE a režimových pozorovaní podmieňujú potrebu ďalšieho monitorovania.
5. Ľubietová (II.)	Na základe výsledkov monitorovania a stabilného výpočtu preukázaná potenciálna nestabilita svahu. Potreba sfunkčnenia odvodnenia.
6. Fintice (III.)	Monitorovacie merania preukázali aktívny pohyb spodnej, akumuláčnej časti zosuvu. Stredná časť sa nachádza v upokojenom stave a v hornej časti badať prejavy potenciálnej nestability.
7. Slanec (0.)	Zhodnotenie režimových pozorovaní preukázalo mierne stúpajúci trend úrovne hladiny podzemnej vody a klesajúcu výdatnosť odvodňovacích vrtov.
8. Okoličné (III.)	Súborom meraní preukázaná potenciálna nestabilita svahu s vyčlenením jeho kritických oblastí. Doplňujúcimi technickými opatreniami je nevyhnutné zamedziť sekundárnej infiltrácii vytekajúcej vody z existujúcich objektov do zosuvných hmôt. Geodetické merania z jesene 2000 preukázali kritický stav menšieho prúdového zosuvu, ktorý môže bezprostredne ohroziť železničnú trať.
9. Liptovská Mara (II.)	Na základe zhodnotenia výsledkov meraní konštatovaný stabilný stav zosuvu. Objektívnosť ďalších pozorovaní závisí v značnej miere od skompletizovania siete geodetických bodov.
10. Žilina – Dubeň (0.)	Monitorovanie metódou PEE skončené k 31. 12. 1997.
11. Oravský Podzámok (I. – 0.)	Na základe pochôdzkovania konštatovaná potenciálna nestabilita svahu. Na overenie tejto skutočnosti potreba obnovenia monitorovacej siete.
12. Harvelka (0. – I.)	Na základe pochôdzkovania a meraní hydrogeologických parametrov konštatovaná nestabilita častí svahu. Z celospoločenského hľadiska nie je monitoring lokality odôvodnený.
13. Klieština (0. – I.)	Na základe pochôdzkovania konštatovaná potenciálna nestabilita niektorých častí svahu. Z celospoločenského hľadiska nie je monitoring lokality odôvodnený.
14. Hlohovec – Posádka (II.)	Opakovanými meraniami preukázaná potenciálna nestabilita svahu, ako aj vplyvy ďalších faktorov na napätostný stav masívu. Spresnenie niektorých predstáv o stavbe zosuvných svahov v danom prostredí.
15. Vištuk (I.)	Meraniami preukázané sezónne zmeny napätostného stavu a lokálna aktivizácia čiastkových zosuvných pohybov, prejavujúca sa aj na objektoch technosféry.
16. Veľká Izra (II.)	Meraniami preukázané otváranie trhlín a odvalovanie spodného bloku od masívu, ktoré môže v budúcnosti viesť až k jeho zrúteniu.
17. Sokol (II.)	Preukázaný bol typický gravitačný pohyb (pokles) bloku na okraji rozsiahlej svahovej deformácie, odklápanie a čiastočné pootočenie bloku.
18. Košícký Klečenov (II.)	Zhodnotenie výsledkov meraní potvrdilo výrazný trend pohybu blokov vo vertikálnom smere, spôsobený pravdepodobne tektonickými pohybmi.
19. Ľubochňa – Havran (I.)	V pozorovanej trhline sa zatiaľ prejavujú predovšetkým vplyvy klimatických cyklov. Zachytený bol náznak zužovania trhliny.
20. Banská Štiavnica (II.)	Merania preukázali pokračujúcu selektívnu dezintegráciu odkrytej skalnej steny cestného zárezu.
21. Demjata (II.)	Vyhodnotenie výsledkov umožnilo skalný zárez rozdeliť na celky s rôznym stavom stabilitných pomerov a naznačiť, ktoré časti bude potrebné zabezpečiť sanačnými opatreniami.
22. Huty (0.)	Po sanácii zárezu sa monitorovanie lokality v roku 1997 skončilo.
23. Harmanec	Meraniami sa zachytil proces dezintegrácie skalnej horniny, jej uvoľňovanie a postupná zmena konfigurácie steny zárezu.

zabezpečiť dopĺňujúcimi sanačnými opatreniami. Skutočnosti zistené fotogrametrickými meraniami sa budú overovať ďalšími metódami (po osadení meracích bodov v roku 2000 údajmi z meraní tyčovým dilatometrom a meradlom posuvov).

Monitorovacie pozorovania na lokalite Banská Štiavnica preukázali pokračujúcu dezintegráciu odkrytej skalnej steny cestného zárezu, ktorá má odlišný charakter v prostredí relatívne pevných a v prostredí hydrotermálne premenených andezitov. V nadväznosti na to sa preukázal veľmi odlišný stupeň stability v rôznych častiach pozorovaného odkryvu. V extrémnych prípadoch sa zaznamenalo úplné uvoľnenie blokov, resp. ich posuny dosahujúce hodnotu až 20 mm za rok. Po osadení pevných bodov na jeseň roku 2000 bude možné aj na tejto lokalite fotogrametrické merania dopĺňať údajmi z meraní tyčovým dilatometrom a meradlom posuvov.

Na lokalite Harmanec vzhľadom na extrémnu rozpadavosť dolomitov a z toho vyplývajúcu spornú interpretáciu fotogrametrických meraní sa monitorovacie aktivity sústredili na detailné pozorovanie vývoja eróznej ryhy, zvetrávanie horninového materiálu, jeho opadávanie a zosúvanie. Intenzita vývoja týchto procesov a v dôsledku toho celková zmena konfigurácie svahu je v prostredí dolomitov miestami až prekvapivá. Výsledky uskutočnených meraní sa v prevažnej miere vyhodnocujú v rámci analýzy vývoja procesov zvetrávania v danom horninovom prostredí.

Možno konštatovať, že na základe doterajších skúseností s aplikáciou fotogrametrických metód je možné odvodzovať a spresňovať kritické stavy porušenia stability horninového prostredia a v určitej miere aj prognózovať vývoj stabilitného stavu zárezov. Objektívnosť monitorovania sa zvýši po aplikácii ďalších monitorovacích metód.

Zhrnutie výsledkov a návrh ďalšieho postupu monitorovania

Súbornú charakteristiku výsledkov monitorovacích pozorovaní uskutočnených do konca roku 2000 na všetkých lokalitách monitorovania uvádzame v tabuľke 4. V tabuľke je súčasne uvedená aktuálna úroveň významnosti jednotlivých lokalít zodpovedajúca stavu z konca roku 2000 (s odstupňovaním: úroveň III – celospoločensky najdôležitejšie lokality s požadovaným komplexným monitoringom, II – významné lokality s odporúčaným čiastočným monitoringom, I – lokality, ktorých význam poklesol a odporúča sa zachovať iba udržiavací charakter monitoringu, 0 – lokality odporúčané zo súboru pozorovaných svahových pohybov vyradiť s tým, že všetky získané informácie zostanú v databáze a monitorovacie pozorovania možno v prípade potreby obnoviť).

Treba však zdôrazniť, že súbor monitorovaných lokalít predstavuje dynamický systém, do ktorého možno ďalšie aktuálne lokality doplniť, resp. monitorovanie niektorých pozastaviť (tak, ako je to naznačené v tab. 4).

Záver

Hoci sú čiastkové výsledky monitorovania zhrnuté v súbornej tabuľke, chceli by sme zdôrazniť nasledujúce skutočnosti:

V priebehu etapy v rokoch 1993 až 2000 sa odvodil a prakticky vykonával systematický zber informácií s ich cieľavedomým ukladaním do databázy. Takáto forma zberu a uloženia údajov umožňuje uskutočniť širokú škálu analýz a spracovaní a odvodzovať a spresňovať vzťahy medzi monitorovanými javmi.

V uvedenej etape sa postupne zvyrazňovalo ekonomické kritérium, uprednostňujúce podrobnejšie monitorovanie celospoločensky najvýznamnejších lokalít. V súvislosti s tým sa obmedzil rozsah monitorovania viacerých tradičných zosuvných lokalít, ktorých význam v súčasnosti poklesol.

Práve vzhľadom na celospoločenský význam boli do súboru monitorovaných lokalít aktuálne zaradené niektoré aktívne sa rozvíjajúce a sanované zosuvy (napríklad zosuvné územia na Hornej Nitre, zosuv Dolná Mičiná), resp. zosuvné svahy, ktoré môžu ovplyvniť prevádzku (Liptovská Mara), výstavbu (Žilina – Dubeň), alebo prípravu (Hlohovec – Posádka) významných technických diel. O stave zosuvných svahov na základe priebežných výsledkov monitorovania boli informované príslušné prevádzkové a projektové organizácie.

V priebehu riešenia úlohy sa dosiahli niektoré praktické výsledky. V rámci monitorovania zosuvu Okoličné sa konštatoval veľmi nepriaznivý stav zosuvného svahu, na čo boli opakovane upozornené Železnice Slovenskej republiky a navrhli sa optimálne opatrenia na zlepšenie stabilitných pomerov. Upozornenia na kritický stav akumulácie časti zosuvu vo Finticiach viedli k vypracovaniu expertného posudku na preloženie trasy vysokotlakového plynovodu. Na kritický stav skalného zárezu lokality Huty bola upozornená Slovenská správa ciest, čo v konečnom dôsledku viedlo k realizácii sanačných opatrení. Nepriaznivý stav sanačných opatrení s nutnosťou ich opráv a údržby sa konštatoval na lokalitách Ľubietová a Oravský Podzámok. Boli o tom upovedomené príslušné orgány.

Významný progres sa dosiahol aj pri riešení teoreticko-metodických otázok monitorovania. Ide predovšetkým o návrh metodiky hodnotenia stabilitného stavu zosuvných území na základe analýzy hydrogeologických pomerov zistených pri režimových pozorovaniach. Vypracovaný postup sa overoval na modelových lokalitách zosuvov v Okoličnom, Veľkej Čause a Dolnej Mičinej. Množstvo získaných skúseností umožnilo vypracovať metodiku hodnotenia výsledkov meraní PEE na podstatne vyššej kvalitatívnej úrovni. Aj spôsob spracovania výsledkov merania povrchových reziduálnych napätí bol vypracovaný na vyššej, semikvantitatívnej úrovni. Práve všeobecný trend ku kvantifikácii výsledkov monitorovacích meraní umožnil spracovať návrh postupu komplexného hodnotenia výsledkov monitorovania.

Po zhromaždení dostatočného množstva vstupných údajov a odvodení lokálnych zákonitostí rozvoja svahových pohybov bude možné vypracovať základné metodické postupy na regionálnu extrapoláciu získaných výsledkov monitorovania.

Literatúra

Fussgänger, E., Jadroň, D. a Litva, J.: Okoličné – zosuv. Záverečná správa z inžinierskogeologického prieskumu. Manuskript. Žilina, IGHP, 1976.

- Fussgänger, E., Smolka, J. a Jadroň, D.: Stabilizácia havarijných zosuvov hornej Nitry. In: Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku. Nitrianske Rudno 1996.
- Jadroň, D.: Svahové poruchy – Okolice (okres Liptovský Mikuláš). Rigorózna práca. Manuskript. Bratislava, PriF UK, Katedra inž. geológie, 1980.
- Jadroň, D. a Fussgänger, E.: Inžinierskogeologický prieskum aktívneho zosuvu v Dolnej Mičinej. In: Geotechnické problémy životného prostredia. Bratislava, STU 1995.
- Jadroň, D., Fussgänger, E., Turovský, F. a Hošek, S.: Inžinierskogeologický prieskum a sanácia zosuvu na ceste v Dolnej Mičinej. In: Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku. Nitrianske Rudno 1996.
- Jadroň, D.: Dolná Mičina – havarijný zosuv. Záv. správa. Manuskript. Žilina, INGEO, 1997.
- Jadroň, D., Wagner, P. a Jelínek, R.: Monitoring sanovaného zosuvu v Dolnej Mičinej. In: Geológia a životné prostredie. Eds.: Wagner, P. a Durmeková, T. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1998.
- Jadroň, D., Wagner, P., Paudiš, P. a Vybíral, V.: Evaluation of slope movement activity based on the results of monitoring. Proceed. 8th Int. IAEG Congress. Vancouver, A. A. Balkema, Rotterdam 1998.
- Jadroň, D., Mokrá, M. a Fussgänger, E.: Havarijný zosuv Hornej Nitry a Stredného Považia. Manuskript. Žilina, INGEO, 1999.
- Jadroň, D., Mokrá, M. a Wagner, P.: Practical applications of monitoring results of an active landslide. Proceedings of 8th Conference on Landslides. Landslides in research, theory and practice. Cardiff, Thomas Telford, London 2000.
- Jadroň, D., Mokrá, M., Wagner, P. a Fussgänger, E.: Sanácia aktívneho zosuvu vo Veľkej Čause. In: Geológia a životné prostredie 2. Eds.: Klukanová, A. a Wagner, P. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 2001.
- Janočko, J.: Vplyv kvartérnej tektoniky na vývoj územia v severnej časti Košickej kotliny. In: Miner. Slov., 21, 1989, č. 5.
- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of geological factors of the environment. In: XV. Congress of the KBGA, 17. – 20. September 1995. Athens, Greece 1995.
- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of geological hazard of the Slovak Republic. 8th International Congress IAEG. Vancouver, 1988.
- Klukanová, A.: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. In: Zborník referátov z I. konferencie Geológia a životné prostredie. Eds.: Wagner, P. a Durmeková, T. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1998.
- Klukanová, A. a Wagner, P.: Monitoring zosuvov a iných svahových deformácií Slovenska. In: Enviromagazín, 5, 2000, č. 3.
- Klukanová, A.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov vo vzťahu k monitorovaciemu systému životného prostredia Slovenskej republiky. Geol. Práce, Spr., 2002, č. 106.
- Liščák, P. a Caudt, L.: Atlas máp stability svahov územia Slovenska. Návrh projektu. Manuskript. Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra 1997.
- Matula, M. a Pašek, J.: Regionálna inžinierska geológia. Bratislava, Alfa, SNTL 1986.
- Mesko, M. a Otepka, J.: Veľká Čausa – prieskumno-sanačné práce. Záv. správa. Manuskript. IGHP, závod Bratislava, 1985.
- Otepka, J.: Veľká Čausa – prieskum a sledovanie zosuvov. Manuskript. Bratislava, IGHP, 1976.
- Petro, L., Polaščinová, E. a Wagner, P.: Evaluation of stream-like landslide activity based on the monitoring results. In: Proceed. of the Int. Symp. on Slope stability engineering – IS – Shikoku, 1999.
- Petro, L., Wagner, P. a Polaščinová, E.: Výsledky dlhodobého monitoringu prúdového zosuvu pri Finticiach. In: Geológia a životné prostredie 2. Eds.: Klukanová, A. a Wagner, P. Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra, Vyd. D. Štúra 2001.
- Petro, L. a Stercz, M.: Inžinierskogeologické posúdenie lokality Fintice. Odborný posudok. GS SR, reg. centrum Košice 1998.
- Petro, L., Košťák, B., Polaščinová, E. a Spišák, Z.: Monitoring blokových pohybov v Slanských vrchoch. In: Miner. Slov., 31, 1999, č. 5 – 6.
- Scherer, S. a Wagner, P.: Analýza dlhobohkej funkčnosti odvodňovacích sanačných opatrení. In: Zb. z 3. geotechnickej konferencie Interakcia stavieb a hominového prostredia. Bratislava, STU, 1997.
- Scherer, S.: Metodika hydrogeologického monitoringu na zosuvoch. In: Podzemná voda, 1999, č. 2.
- Wagner, P., Krippel, M. a Jelínek, R.: Monitorovanie svahových pohybov na vybraných lokalitách Slovenska. In: Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku. Nitrianske Rudno, 1996.
- Wagner, P., Vybíral, V., Andor, L. a Szabo, Š.: Monitoring of landslides in Slovakia. In: Proceedings Int. Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens. Balkema, Rotterdam/Brookfield, 1997.
- Wagner, P., Iglárová, L. a Petro, L.: Methodology and some results of slope movement monitoring in Slovakia. In: Miner. Slov., 32, 2000, č. 4.

Monitoring of landslides and other slope deformations

Summary

Slope movements are the most wide-spread geological hazard in Slovakia negatively influencing the quality of the environment. Systematic monitoring of slope movements is realized through a project of geological hazard monitoring which has been carried out since 1993 (Klukanová and Liščák, 1995, 1998; Klukanová, 1998; Wagner et al., 1997, 2000; Klukanová and Wagner, 2000).

The main goals of the systematic monitoring may be divided into two main stages:

- initial stage, when the representative slope movement localities are selected and the system of monitoring and data processing is created,
- advanced stage, when the obtained information from selected localities is extrapolated for areas with similar stability conditions.

The partial results of the initial stage of problem solving, together with the practical results of monitoring of several selected localities are discussed in the paper.

The selection of representative localities is based on the type of slope movements (only creep and sliding can be long-term monitored; monitoring of road cuttings is concerned with prevention of rock falls), location of slope failures in basic geological structures and economic significance of the localities. A review an characterization of selected localities is summarized in Tab. 1 and 4.

The creation of a monitoring system includes selection of suitable monitoring methods and the frequency of data collection.

The methods of monitoring are summarized in Tab. 2. The well-known methods (like a photogrammetry for rock cuts stability monitoring, measurements by a crack gauge for creep movements, geodetic measuring, measuring of surface residual stresses, inclinometric drill logging and geophysical measurements of pulsed electromagnetic emissions for sliding) are described very shortly with reference to literature sources. More interest is given to regime measurements which help to recognize the causes of slope movement activation. As a result the time course of ground water level changes in "fictive borehole" (which express an average values of measurements from several boreholes localized on the whole landslide area) is shown on Fig. 1. The time course of the discharge of the changes of the drainage elements together with the changes of ground water level and precipitations are shown on Fig. 2. Comparison between ground water level changes (registered by the automatic water stage indicators), precipitations and discharge changes of horizontal borhole is shown on Fig. 3. All examples are from the landslide area Veľká Čausa.

The frequency of monitoring observations depends on economic importance and stage of activity of monitored slope failure.

Various methods of monitored data processing are illustrated on the partial results of the monitoring of the selected most important localities.

A stream-like landslide near Fintice village, situated on the margin of neovolcanics and their contact with Paleogene flysch and Neogene sediments, affecting gas pipeline and road. The results of monitoring show instability of the landslide toe (Fig. 4).

The landslide Okolice is situated in flysch rocks of the Central Carpathian Paleogene and constitutes a threat to the

main railway line (Fig. 5). The last monitoring results from the end of 2000 (especially geodetic measurements) show activation of the slope movement in the toe of smaller stream-like landslide and in the upper part of the main landslide (Fig. 6).

The landslide in the Dolná Mičiná village endanger the road and a part of village. It is situated on the contact of volcanic and Mesozoic rocks. After creation of complete corrective measures (deep dewatering and construction of overload banks combined drainage with gravitational walls) the slope seems to be stable (Fig. 7). Continuing monitoring shows short-time exceeding of critical ground water levels during extreme precipitations (Fig. 8).

Active landslide near the village Veľká Čausa endangere houses in the all southern part of village and local road. The landslide area is situated on the margin of neovolcanic mountains. On the basis of the results of the engineering geological investigation (in 1995), the corrective measures were realized (in 1996 – Fig. 9). The stability of the slope was evaluated by the complex of monitoring measurements. Their results were

classified (Tab. 3) and expressed in zoning map of landslide activity before and after corrective measures realization (Fig. 10). The results of monitoring were a base for project of additional corrective measures realization.

An example of regular measurements of creep movement by crack gauge TM-71 is shown on Fig. 11. On the locality Košícký Klečenov the displacement in axis z indicates the vertical movement of the rock block. It may be interpreted as a neotectonic uplift of the periphery of the neovolcanic mountain.

The results of a long-term monitoring by aerial photogrammetry enable to subdivide the rock cut near Demjata village into parts of various intensity of blocks movements and, as follows, different degree of stability (Fig. 12).

The results of the initial stage of the monitoring of the all selected localities are summarized in Tab. 4. The results of monitoring bring not only much valuable scientific information about the development of various types of slope deformation, but also helps to solve practical problems in a slope stabilization.

Monitoring erózných procesov – hodnotenie výmoľovej erózie z leteckých meračských snímok

MARTIN ONDRÁŠIK

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Abstract. Water erosion is a significant natural phenomenon forming the Earth surface and influencing the environment. Within the framework of the project *Partial Monitoring System of the geological factors* also gully erosion, as part of water erosion, was monitored. A special methodology based on two sets of air-bound photographs was used. One set of pictures was taken in 1949 and the second set in 1987 i. e. there is a 38-year time span between taking the pictures. Both sets of pictures were orthorectified and subsequently the length and area of gullies was measured for the time when the pictures were taken. The comparison of the two sets of pictures from the locality Plaveč revealed that during the mentioned time span the growth of the total gully area was from $0.029 \text{ km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$ to $0.046 \text{ km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$ and the growth of the total gully length was from $1.33 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ to $1.49 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$.

Úvod

Súčasťou monitorovania geologických faktorov životného prostredia je aj monitorovanie erózných procesov. Zamerali sme sa najmä na jeho geologickú a inžiniersko-geologickú stránku. Je koncipované ako monitorovanie rozvoja (resp. zániku) výmoľovej erózie na území Slovenska za obdobie 38 – 45 rokov na vybraných monitorovaných lokalitách (v rôznych štruktúrno-tektonických jednotkách Západných Karpát) vo vzťahu k inžiniersko-geologickým vlastnostiam hornín. Časovou zložkou monitorovania je rekonštrukcia stavu erózie v roku 1949 a jeho porovnanie so súčasnosťou (s obdobím posledného leteckého fotografovania územia, t. j. v rokoch 1987 až 1994).

Metodika

Metodika riešenia sa opiera o topografické mapy v mierke 1 : 10 000, letecké meračské fotografie robené s odstupom cca 43 rokov v mierke cca 1 : 12 000 až 1 : 30 000, o geologické a inžiniersko-geologické mapy a archívne údaje. Vychádza aj z pokroku zberu a spracúvania údajov pomocou výpočtovej techniky a z vysokej preskúmanosti povrchu Slovenska a jeho geologickej stavby. Dôležitým zdrojom informácií sú aj terénne mappovacie práce.

Stupeň erodovateľnosti územia sa posudzuje na základe prítomnosti erózných rýh a ich rozvoja či zániku. Posudzuje sa ich dĺžka a plocha pripadajúca na jednotku

plochy územia (dĺžka výmoľov v kilometroch na štvorcový kilometer územia a plocha výmoľov v štvorcových kilometroch na štvorcový kilometer územia). Priebeh erózie v čase a priestore sa monitoruje na základe porovnávania dvoch sád leteckých meračských snímok (LMS) urobených v časovom odstupe 38 – 45 rokov.

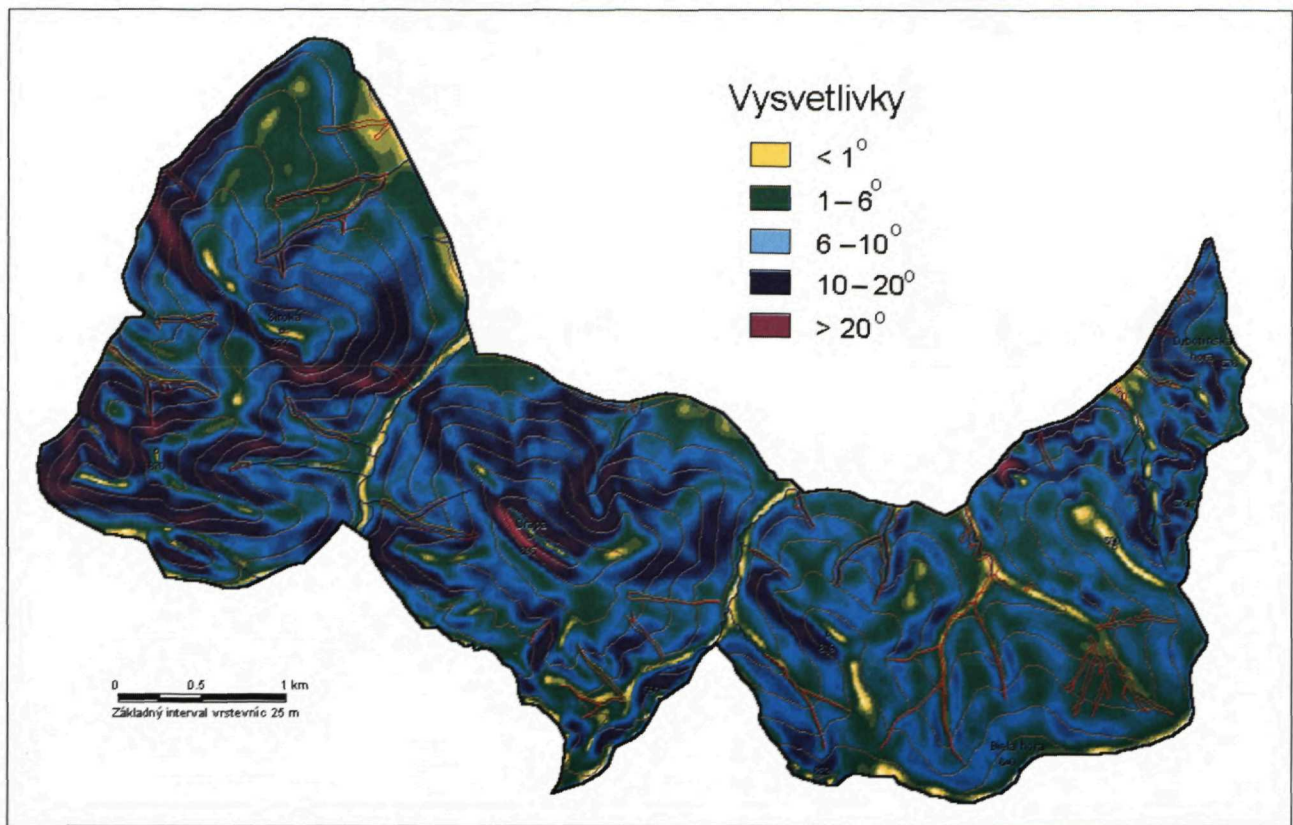
LMS sa vyhodnocujú na stereo interpretoskope (INTERPRETOSKOP – C Carl Zeiss Jena, DDR) a digitálne v prostredí GIS, GRASS 4.1 a MapInfo 4.1. Interpretoskop slúži na identifikáciu výmoľov pomocou 3D náhľadu. Digitálne spracovanie slúži na ortorektifikáciu LMS a na získanie parametrov ako dĺžka a plocha výmoľov, prevýšenie a sklon svahov, orientácia svahov, krivka svahov po spádnici a po vrstevnici, dĺžka svahu a veľkosť špecifických prispievajúcich plôch.

Ortorektifikáciou LMS sa odstraňuje deformácia LMS vzniknutá priemetom trojrozmerného povrchu územia na dvojrozmernú plochu fotografie. Podkladom na ortorektifikáciu LMS je digitálny model reliéfu (DMR), ktorý sa urobil na základe zdigitalizovaných topografických máp monitorovaných lokalít v mierke 1 : 10 000.

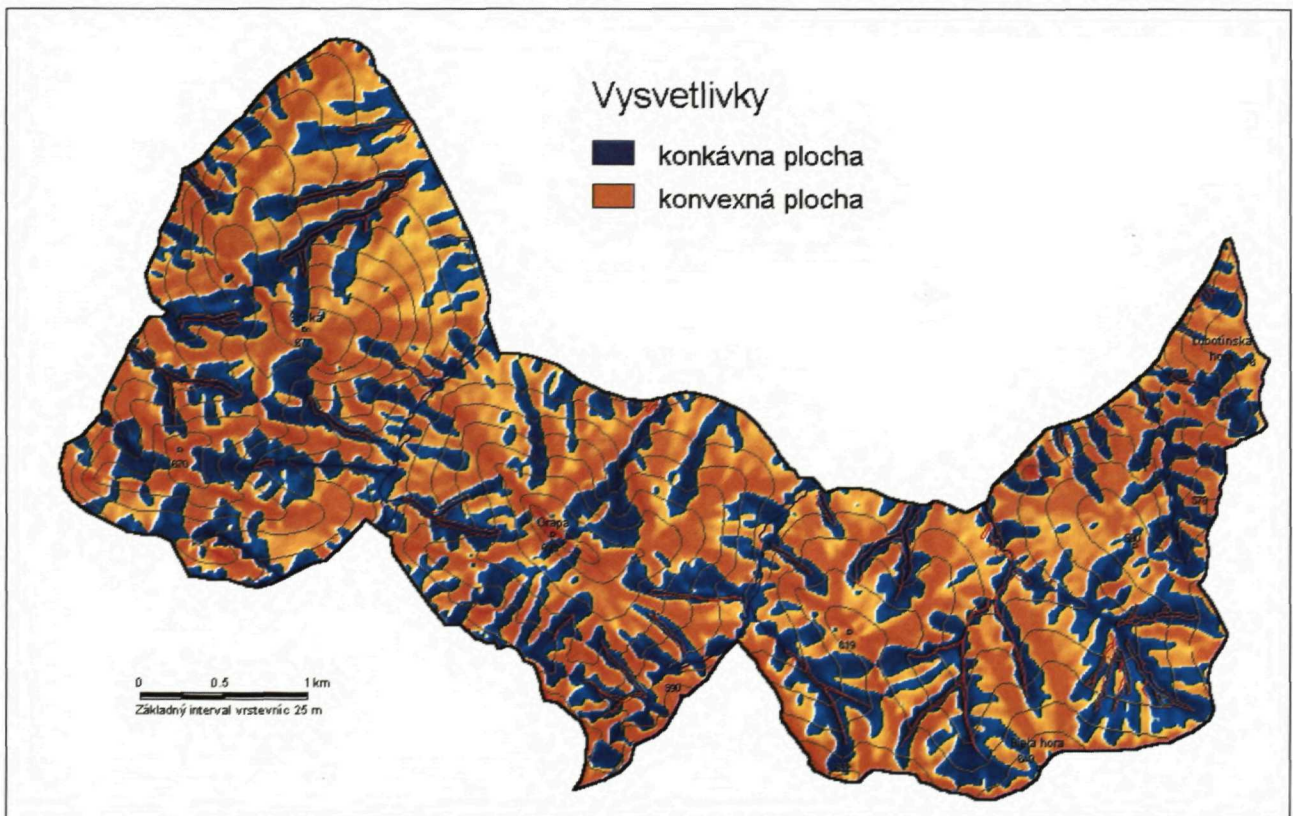
Prvým krokom tvorby modelov je interpolácia – prepočet na pravidelnú rastrovú sieť (grid). Použitou interpolačnou funkciou je regularizovaný *splajn* s voliteľným parametrom tenzie a vyhladenia (Mitášová a Hofierka, 1993), implementovaný v prostredí GRASS. Táto funkcia je pre tvorbu DMR výhodná okrem svojej presnosti aj kvôli možnosti priameho výpočtu topických morfometrických parametrov pri výpočte DMR. Tým je možné DMR interpretovať jednak ako diskrétné bodové pole nadmorských výšok, jednak ako spojité gradientové pole s možnosťou znázornenia vlastností vektora gradientu priamo vo forme mapového výstupu.

Výškový *digitálny model* predstavuje farebne odstupňovanú škálu nadmorských výšok získanú interpoláciou. Veľkosť a orientácia vektora gradientu sú znázornené na modeloch *sklonov svahov* (obr. 1) a *expozície svahov vzhľadom na svetové strany*. Z topických morfometrických parametrov sú prezentované ešte modely *normálovej krivosti v smere gradientovej línie* a *horizontálnej krivosti* (obr. 2). Parametre krivosti sú dôležitými faktormi determinujúcimi smer a rýchlosť toku vody po povrchu (konvergencia, divergencia, spomaľovanie, zrýchľovanie).

Na výpočet chorických morfometrických parametrov v prostredí GRASS ako podklad slúžil výškový model



Obr. 1 Model sklonitosti územia lokality Plaveč (digitálne spracovanie P. Pauditš).



Obr. 2 Model krivosti terénu lokality Plaveč (v smere vrstevnic), (digitálne spracovanie P. Pauditš).

a model expozície svahov vzhľadom na sever. Zo získaných modelov sú prezentované dĺžka svahov a hustota gradientových línií (spádových kriviek). Oba modely sú konštruované s narastaním hodnôt proti smeru gradientu s konvergenciou spádových kriviek v údolniciach. Parameter *dĺžky svahu* je cenný pri určovaní kinetickej energie vodného toku počas eróznej činnosti. Mapa *špecifických prispievajúcich plôch* (obr. 3) priamo určuje veľkosť plochy (mikropovodia), z ktorej steká voda do daného bodu, na jednotku dĺžky vrstevnice. Všetky uvedené modely slúžia ako podklad pre vstupné údaje na vyhodnotenie vývoja erózie na monitorovanom území, ku ktorým ako parametre vstupujú aj ďalšie údajové vrstvy (inžinierskogeologická mapa, pôdna mapa, vegetačný kryt a iné).

Informácie o inžinierskogeologických (IG) vlastnostiach hornín sú získané z údajov uložených v archívoch ŠGÚDŠ. V obmedzenej miere sa počíta aj s laboratórnymi skúškami na zisťovanie základných údajov o fyzikálno-mechanických vlastnostiach zemín. Hydrometeorologické údaje sa opierajú o údaje z SHMÚ.

Terénnym mapovaním, robeným v obmedzenej miere, sa spresňuje rozsah, hrúbka a kvalita kvartérnych pokryvných útvarov. Odbermi vzoriek zemín sa zeminy zatriedujú podľa inžinierskogeologických typov a stanovujú sa ich základné fyzikálno-mechanické vlastnosti. Pre každý zaregistrovaný erózný výmolu sa na základe získaných údajov zostavuje banka údajov, ktorá sa štatisticky analyzuje.

Presnosť použitej metodiky

Presnosť zvolenej metodiky je podmienená rozlíšením analógových a digitálnych LMS, s ktorými sa pracuje, presnosťou, s ktorou sa ortorektifikujú LMS, a presnosťou identifikácie okraja eróznej ryhy.

Rozlíšenie analógových LMS v mierke 1 : 25 000 je niekoľko decimetrov (dajú sa rozlíšiť deliace čiary na vozovkách). Rozlíšenie digitálnych obrázkov závisí od rozlíšenia použitého pri skenovaní LMS. V snahe zachovať manipulovateľnú veľkosť rastrových súborov a ich dostatočnú rozlíšiteľnosť sme zvolili veľkosť jedného pixla na jeden meter, t. j. jeden pixel predstavuje plochu jedného štvorcového metra. Raster s týmto rozlíšením sa používa pri ortorektifikácii LMS pomocou programu GRASS a pri digitalizácii údajov z LMS pomocou programu MapInfo.

Presnosť ortorektifikácie LMS závisí od kvality použitého digitálneho modelu územia, z ktorého sú LMS, a od hustoty a presnosti identifikácie referenčných bodov na modeli a LMS (križovatky, rohy domov, súpky tokov a pod.). Pri nepresnej ortorektifikácii možno získať aj niekoľkometrové chyby. Tie sa najviac prejavujú pri líčovaní starých a nových LMS.

Ďalším zdrojom chýb je nepresnosť identifikácie okrajov eróznych rýh. Identifikujú sa pomocou stereo párov LMS, ktoré sa vyhodnocujú v stereoskopickom zariadení s možnosťou veľkého optického zväčšenia snímok. Okraje rýh sa dajú identifikovať na odkrytom území. Územie zarastené vysokou vegetáciou (les) zakrýva ryhy a tie sa nedajú identifikovať ani pomocou stereo párov. Takéto ryhy potom nie sú zahrnuté do vyhodnocovania prírastku

plochy a dĺžky eróznych rýh. Sú však identifikované z topografického podkladu a sú zahrnuté do všeobecných údajov charakterizujúcich územie.

Výber lokalít

Výber lokalít monitoringu eróznych procesov sa robil s ohľadom na zvolenú metodiku porovnávania dvoch rád LMS robených s odstupom 38 – 45 rokov. Zvolené monitorované územia sa vybrali tak, aby každé z nich spĺňalo nasledujúce kritériá:

- územie postihnuté intenzívnou výmoluovou eróziou; podľa *Mapy výmoluovej erózie na Slovensku* (Bučko a Mazúrová, 1958) monitorované územie predstavuje 4. – 6. stupeň intenzity erózie (zo 6-stupňovej škály);
- pre každé územie existuje geologická mapa a mapa inžinierskogeologického rajónovania v mierke 1 : 50 000 alebo v podrobnejšej mierke;
- pre každé monitorované územie je dostupná sada topografických máp z roku 1990 alebo novšia;
- pre každé monitorované územie existuje sada leteckých fotografií z roku 1949 a z roku 1987 alebo novšie;
- monitorované územie je málo pokryté lesným porastom;
- vybrané monitorované územie leží v oblasti ovplyvnenej zásahom človeka (poľnohospodárska činnosť, odlesňovanie a pod.);
- monitorované územia ležia v rozdielnych štruktúrno-tektonických a geomorfologických jednotkách Západných Karpát.

Lokalita Osrblie bola pridaná dodatočne na základe požiadavky MŽP SR. Príčinou bola hrozba vývoja akcelerovanej erózie na území postihnutom v roku 1996 prírodnou kalamitou, pri ktorej bol úplne odstránený prirodzený vegetačný porast. Spôsob monitorovania na tejto lokalite nie je založený na LMS a v tomto článku sa ním nezaobráame.

Na základe uvedených kritérií sa vybralo sedem lokalít na monitorovanie eróznych javov (obr. 1 úvodného článku tejto publikácie: *Čiastkový monitorovací systém, geologické faktory ako súčasť monitorovacieho systému ŽP*, Klukanová, 2001).

Výsledky hodnotenia vývoja výmoluovej erózie

Vyhodnocovanie vývoja erózie pomocou starých a nových leteckých snímok monitorovaných lokalít sa robí postupne na jednotlivých lokalitách. Sumárne vyhodnotenie a porovnanie výsledkov získaných z jednotlivých lokalít sa urobí až po spracovaní výsledkov zo všetkých lokalít. V tomto článku prezentujeme výsledky vývoja výmoluovej erózie na lokalite Plaveč.

Stručná charakteristika územia Plaveč

Lokalita Plaveč sa nachádza na južnom okraji vonkajšieho flyšového pásma (čergovsko-beskydský flyš), kde v tesnej blízkosti susedí s bradlovým pásmom a vnútrokarpatským paleogénom. Je súčasťou Lubotínskej pahorkatiny Spišsko-šarišského medzihoria (Mazúr a Lukniš, 1980) s mierne zvlneným reliéfom, budovaným väčšinou

Tab. 1 Prehľadná tabuľka monitorovaných lokalít.

Lokalita	Geomorfologický celok	Štruktúrne-tektonická oblasť	Plocha [km ²]	Monitorované obdobie [rok]	Dĺžka erózy [km.km ⁻²]
1. Brezová pod Bradlom	Myjavská pahorkatina	bradlové pásmo	11,58	43	2,00
2. Nováky	Hornonitrianska kotlina	vnútrokarpatské panvy a kotliny	26,53	43	2,74
3. Dudince	Krupinská planina	neovulkanity	42,98	42	2,04
4. Klenovec	Stolické vrchy	veporské pásmo	30,53	42	0,17
5. Plaveč	Spišsko-šarišské medzihorie	vonkajšie flyšové pásmo	14,42	38	1,49
6. Varhaňovce	Prešovská kotlina	vnútrokarpatské panvy a kotliny	12,65	46	1,10
7. Osrbľie	Veporské vrchy	veporské pásmo	0,06		

Tab. 2. Priemerný úhrn zrážok zo zrážkomernej stanice Orlov z obdobia 1931 – 1960 [mm] a priemerná teplota vzduchu z pozorovacej stanice Plaveč z obdobia 1931 – 1960 [°C].

Mesiac	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Σ
Zrážky	35	29	37	42	69	101	111	89	53	49	46	35	696
Teplota	-5,5	-3,6	0,9	6,9	12,2	15,6	17,4	16,5	12,7	7,5	2,5	-2,2	6,7

Tab. 3 Plocha inžinierskogeologických rajónov na lokalite Plaveč.

Rajón	Plocha rajónov	
	km ²	%
Fh – rajón náplavov horských tokov	0,161 033	1,1
P – rajón proluviálnych sedimentov	0,050 125	0,3
D – rajón deluviálnych zemín	6,316 860	43,8
D/Ft – rajón deluviálnych zemín a sedimentov riečnych terás	0,256 051	1,8
Dz – rajón zosuvného delúvia	1,323 040	9,2
Sf – rajón flyšoidných hornín	5,798 700	40,2
Si – rajón ílovcovo-prachovcových hornín	0,079 987	0,6
Sv – rajón vápencových hornín	0,136 011	0,9
Sz – rajón pieskocovo-zlepencových hornín	0,299 579	2,1
Spolu	14,421 386	100,0

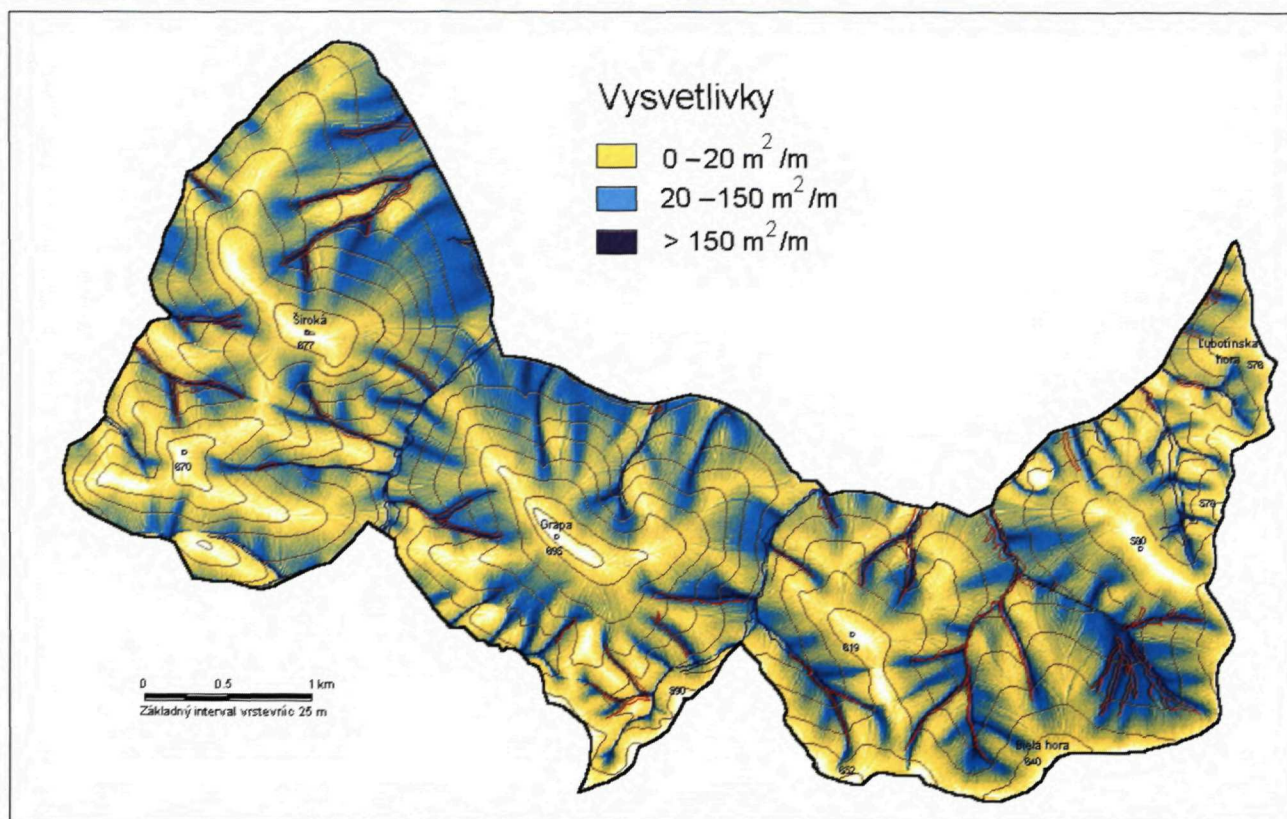
flyšovými súvrstviami, ktoré spestrujú len vápencové bralá. Prevýšenie okolitých svahov od údolnej nivy rieky Poprad je okolo 120 – 290 m a priemerný sklon svahov je 7°. Nadmorská výška na hrebeňoch je v rozmedzí 600 až 770 m n. m., nadmorská výška údolnej nivy je 480 m n. m. Monitorované územie patrí do mierne teplej vlhkej oblasti (Atlas SSR, 1980) s priemernou ročnou teplotou vzduchu 6,7 °C a priemerným ročným zrážkovým úhrnom 696 mm (stanovené na základe pozorovaní v období 1931 – 1960). V tab. 2 sú rozpísané zrážkové úhrny a teplota vzduchu v jednotlivých mesiacoch.

Na ovplyvňovaní vývoja výmolevej erózie sa významnou mierou podieľajú aj tektonické pomery. V oslabených zónach pozdĺž zlomov nastáva intenzívnejšie zvetrávanie podložja, čím sa predurčujú línie, pozdĺž ktorých vznikali erózne ryhy. Na monitorovanom území sa nachádzajú dve významné tektonické línie (Nemčok, 1982). Prvá má smer SZ – JV, čo je smer násunových línii a prešmykových tektonických porúch. Druhá má smer SV – JZ, ktorý ohraničuje poruchové zóny poklesového a posunového charakteru.

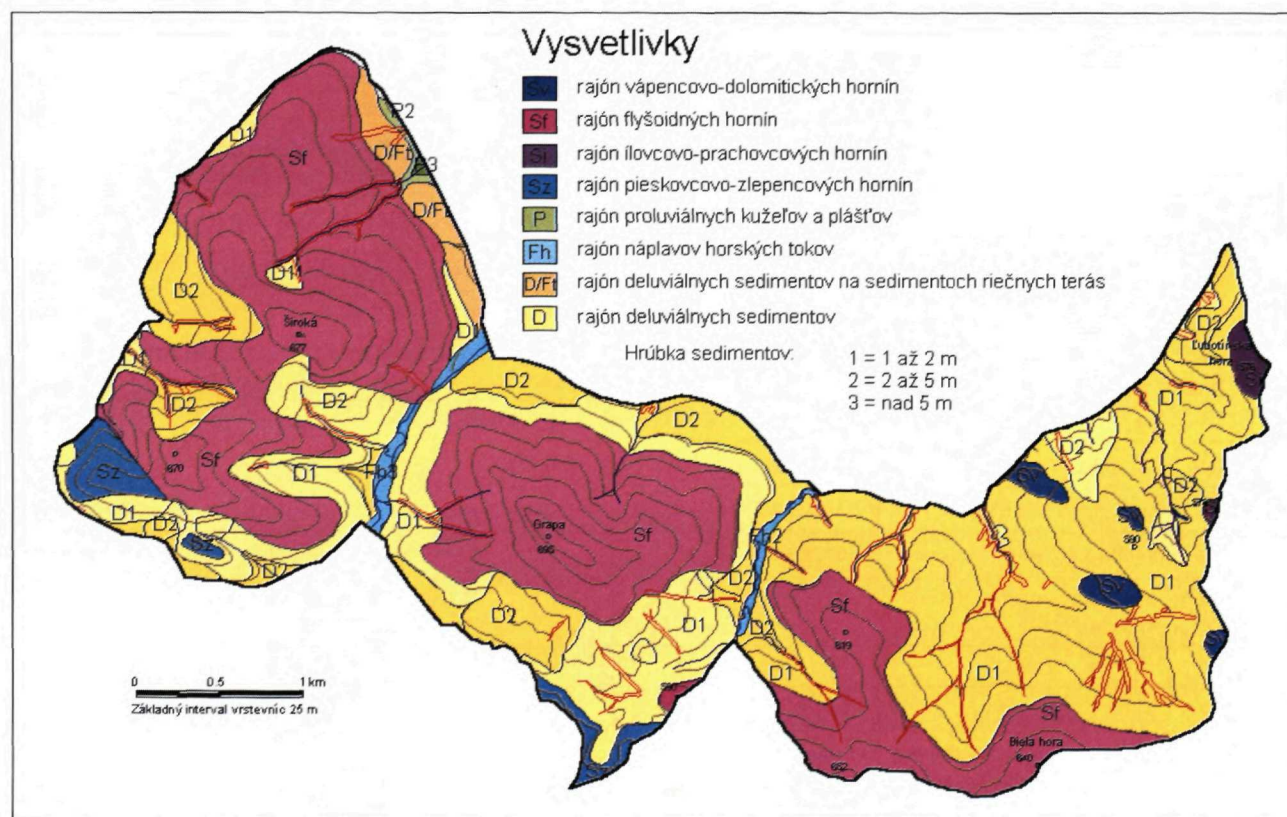
Pri inžinierskogeologickom mapovaní Kováčik (1988) na študovanom území vyčlenil celkove deväť

rajónov (tab. 3, obr. 4): rajón vápencovo-dolomitických hornín, flyšoidných hornín, ílovcovo-prachovcových hornín, pieskocovo-zlepencových hornín, proluviálnych kužeľov a plášťov, náplavov horských tokov, deluviálnych sedimentov na fluviálnych terasových akumuláciách, deluviálnych sedimentov a rajón zosuvných deluviálnych sedimentov.

Najväčšie plošné rozšírenie majú rajóny deluviálnych sedimentov a flyšoidných hornín (obr. 4). Rajón deluviálnych sedimentov sa nachádza väčšinou na miernych svahoch, zriedkavejšie aj na strmých svahoch budovaných vápencami jurského a kriedového veku, prípadne na pieskococh magurského flyšu. Z litologického hľadiska ide najmä o ílovité hliny, menej často aj prachovité a piesčité. Podiel ostrohranných úlomkov pieskocov, vápencov a ílovcov je premenlivý, v rozmedzí 5 – 40 %. Hrúbka hlin nie je veľmi veľká, najväčšie plochy zaberajú územia s hrúbkou do 2 m, menej časté sú do 5 m. Väčšia hrúbka (do 10 m) je výnimočná a vyskytuje sa len v prípade rozsiahlejších svahových deformácií. Ílovité deluviálne sedi Menty sú často porušované výmolevou eróziou a svahovými deformáciami, ktoré zasahujú až do najvrchnejšej časti skalného podložja.



Obr. 3 Model špecifických prispievajúcich plôch (digitálne spracovanie P. Pauditš).



Obr. 4 Schematická mapa inžinierskogeologickej rajonizácie lokality Plaveč (upravené podľa M. Kováčika et al., 1988).

Tab. 4 Využívanie monitorovaného územia Plaveč v rokoch 1949 a 1987 (podľa LMS).

Spôsob využitia krajiny	1949		1992	
	km ²	%	km ²	%
lesný porast	1,81	12,5%	1,70	11,8
nízky porast a ojedinelé stromy	0,39	2,7%	1,09	7,5
lúky a pasienky	2,53	17,6%	3,96	27,4
osady a záhrady	0,12	0,9%	0,19	1,3
obrábané polia	9,56	66,3%	7,49	51,9
Spolu	14,42	100,0%	14,42	100,0

Tab. 5 Totálna dĺžka a plocha erózných rýh na lokalite Plaveč rekonštruovaná na základe LMS z rokov 1949 a 1987.

Erózne ryhy	1949				1987			
	Dĺžka		Plocha		Dĺžka		Plocha	
	km	%	km ²	%	km	%	km ²	%
rozvetvené erózne ryhy	14,093	73,00	0,292 4	69,000	15,600	73,00	0,465 4	70,000
nerozvetvené erózne ryhy	5,091	27,00	0,130 3	31,000	5,860	27,00	0,203 4	30,000
Spolu	19,184	1,33	0,422 7	0,029	21,441	1,49	0,669 0	0,046

Tab. 6 Plocha a dĺžka erózných rýh identifikovateľných na LMS z rokov 1949 a 1987 na lokalite Plaveč.

Erózne ryhy	1949			1987		
	Počet	Plocha	Dĺžka	Počet	Plocha	Dĺžka
	n	km ²	km	n	km ²	km
kontinuálne ryhy	71	0,419 8	19,019	71	0,638 7	20,094
pohltené ryhy	0	0,000 0	0,000 0			
zaniknuté ryhy	2	0,002 9	0,165			
nové erózne ryhy				13	0,030 1	1,347
Spolu	73	0,422 7	19,184	84	0,668 8	21,441

Tab. 7 Plocha erózných rýh v jednotlivých inžinierskogeologických rajónoch na lokalite Plaveč.

Rajón	Plocha 1948			Plocha 1989		
	km ²	%	km ² .km ⁻²	km ²	%	km ² .km ⁻²
Fh – rajón horských tokov	0,000 0	0,0	0,000 0	0,000 0	0,0	0,000 0
P – rajón proluviálnych sedimentov	0,001 5	0,3	0,029 7	0,003 5	0,5	0,069 0
D – rajón deluviálnych zemín	0,253 8	59,0	0,040 2	0,404 7	59,7	0,064 1
D/Ft – rajón deluviálnych zemín na sedimentoch riečnych terás	0,007 0	1,6	0,027 2	0,012 3	1,8	0,047 9
Dz – rajón zosuvného delúvia	0,070 0	16,3	0,052 9	0,100 0	14,8	0,075 6
Sf – rajóny flyšoidných hornín	0,098 0	22,8	0,016 9	0,152 3	22,5	0,026 3
Si – rajón ílovovo-prachovcových hornín	0,000 0	0,0	0,000 0	0,000 0	0,0	0,000 0
Sv – rajóny vápencových hornín	0,000 0	0,0	0,000 0	0,000 0	0,0	0,000 0
Sz – rajóny pieskovo-zlepencových hornín	0,000 0	0,0	0,000 0	0,005 1	0,8	0,017 0
Spolu	0,430 2	100,0	0,029 9	0,677 8	100,0	0,047 0

Rajón flyšoidných hornín tvoria ílovcovo-pieskovcové sedimenty (šambronské vrstvy). Tvoria ich sivé ílovce, rytmicky sa striedajúce s jemnozrnnými nevápnitými a homogénnymi pieskovecami. Sedimenty tvoria mierne sklonité územie ($5 - 17^\circ$). Vcelku mätko modelovaný reliéf je často porušovaný výmoľovou eróziou a svahovými deformáciami (zosuvmi a zemnými prúdmi). Šambronské vrstvy sú na styku s bradlovým pásmom značne zvrásnené. Smerom na juh intenzita zvrásnenia klesá. Ílovce sú málo odolné proti zvetrávaniu, rozpadajú sa už po krátkom vystavení zvetrávacím činiteľom.

Celé študované územie je v súčasnosti intenzívne využívané človekom, ktorý tu vykonáva predovšetkým poľnohospodársku, stavebnú a ťažobnú činnosť. Charakter činnosti človeka na území lokality Plaveč sa za obdobie medzi rokmi 1949 a 1987 výraznejším spôsobom nezmenil (tab. 4), ale podstatne sa zmenil spôsob jej vykonávania. Na obr. 5 vidno stovky drobných súkromných políčk. Brázdy na týchto políčkach sú robené v prevažnej väčšine po vrstevniciach a pri orbe sa nepoužívala ťažká kolesová mechanizácia. Obrázok 6 dokladá, že spôsob poľnohospodárstva sa po kolektívizácii slovenských dedín výrazne zmenil. Malé súkromné políčka nahradili veľké lány obrábané ťažkou kolesovou mechanizáciou, brázdy sú robené po spádnici.

Charakter výmoľovej erózie na lokalite Plaveč

Výmoľová erózia na monitorovanom území sa prejavuje množstvom plytkých a hlbokých erózných rýh, ktoré sú výrazným morfológickým prvkom. Uplatňujú sa predovšetkým na svahoch budovaných vrchnokriedovými a paleogénnymi ílovcami, slieňovcovými a flyšovými súvrstviami, prekrytých deluviálnymi sedimentmi.

Celková rozloha lokality Plaveč je $14,42 \text{ km}^2$. Zaevidovalo sa tu 37 erózných rýh, z ktorých je 20 rozvetvených a 17 nerozvetvených. Rozvetvené rýhy sa vetvia na 67 jednoduchých rýh, t. j. spolu sa zaevidovalo 84 rýh. Tieto erózne rýhy dovedna drénujú povrchovú vodu z plochy $6,283 \text{ km}^2$, čo predstavuje 44 % z celkovej monitorovanej plochy. Z celkového počtu 84 rýh len dvadsiatimi rýhami preteká trvalý vodný tok. Z toho v 17 rýhách tento vodný tok pramení, a to vo všetkých prípadoch v hlave eróznej rýhy.

Erózne rýhy dosahujú nezriedka stometrovú dĺžku. Najčastejšia dĺžka rýh je v intervale 60 – 190 m, pričom priemerná dĺžka je 280 m. Najdlhšia zaznamenaná erózna rýha ma dĺžku 1,17 km. 61 % erózných rýh zaberá plochu do $10\,000 \text{ m}^2$ a 44 % rýh zaberá plochu do $5\,000 \text{ m}^2$. Vznikajú najmä na ílovcovom podloží pri vhodnej konfigurácii, dĺžke a sklone svahu. Priemerný sklon svahu, na ktorom vznikajú rýhy, je $7,3^\circ$. Priemerný sklon rýh je o máličko menší, $6,8^\circ$. Najfrekvencovanejší sklon svahu, na ktorom sú zaznamenané erózne rýhy, je v intervale $4 - 12^\circ$. Vizualne to možno hodnotiť aj na obr. 1 (mapa sklonitosti územia lokality Plaveč). Najväčšia plocha monitorovaného územia má priemerný sklon v intervale $1 - 10^\circ$. Strmší sklon, v intervale 10 až 20° , sa nachádza najmä na západnej polovici územia a na týchto svahoch je len 10 erózných rýh, čo je 12 % z celkového počtu.

Mapa krivosti terénu po vrstevnici (obr. 2) rozdeľuje územie monitorovanej lokality na územie s konvexnou, konkávnou a prechodnou krivosťou po vrstevnici. Tento geomorfologický parameter je dôležitým ukazovateľom sústredenosti odtoku zrážkových vôd po svahu. Obrázok, na ktorom sú zakreslené aj erózne ryhy, ukazuje jednoznačný trend, že erózne ryhy vznikli len na miestach s konkávnou krivkou terénu. Pre analýzu vývoja výmoľovej erózie na monitorovanom území je dôležitý model špecifických prispievajúcich plôch (obr. 3). Na modeli vidno, že takmer všetky zaregistrované erózne ryhy lícujú s najväčším prietokom zrážkovej vody na jednotku dĺžky vrstevnice, čo svedčí o presnosti a užitočnosti tohto modelu. Drobné nepresnosti v lícovaní sú spôsobené nepresnosťou použitej interpolačnej metódy pri zostavovaní digitálneho modelu reliéfu a chybou v presnosti ortorektifikácie LMS.

Na základe analýzy ortorektifikovaných LMS z roku 1949 a 1987 sa stanovili plochy a dĺžky erózných rýh z rokov 1949 a 1987 (tab. 5). Z nameraných údajov je zrejme, že na monitorovanom území bola v roku 1949 dĺžka erózných rýh $1,33 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ a plocha erózných rýh bola $0,029 \text{ km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$. V roku 1987 bol zaznamenaný nárast plochy a dĺžky všetkých erózných rýh. Ich dĺžka narástla na $1,49 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ a plocha na $0,046 \text{ km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$.

Vyhodnocovanie erózných rýh na dvoch sadách leteckých fotografií viedlo k ich rozdeleniu na štyri skupiny podľa ich výskytu na jednej aj druhej LMS. Prvú skupinu tvoria kontinuálne rýhy. Ide o rýhy, ktoré existujú na oboch sadách LMS. Druhou skupinou sú pohltene rýhy. Ide o rýhy, ktoré boli v priebehu 38 rokov pohltene inými rýhami, spravidla tými, z ktorých sa vetvili. Takéto rýhy sa však na lokalite Plaveč nenachádzajú. Tretia skupina erózných rýh sú rýhy, ktoré v priebehu monitorovaných 38 rokov zanikli. Príčinou ich zániku bola vo všetkých prípadoch činnosť človeka. Poslednou, štvrtou skupinou rýh sú nové rýhy, ktoré vznikli v priebehu 38 monitorovaných rokov. Namerané hodnoty plochy a dĺžky pre jednotlivé skupiny rýh sú uvedené v tab. 6. Z nej je zrejme, že na lokalite Plaveč väčší počet rýh vznikol ako zanikol.

V rámci vyhodnocovania vývoja erózných rýh sme hodnotili aj ich výskyt v jednotlivých inžinierskogeologických rajónoch (tab. 7). Najväčšia plocha erózných rýh sa nachádza v rajóne budovanom deluviálnymi hlinami (D) a rajóne zosuvných deluviálnych hlin (Dz). Dovedna sa na ich území nachádza až 74 % celkovej plochy rýh. Rovnako nadpriemerné sú aj hodnoty vzťahujúce sa na jednotku plochy monitorovaného územia, a to aj napriek tomu, že deluviálne zeminy pokrývajú najväčšie percento monitorovaného územia (tab. 3). Nadpriemerná hodnota výskytu erózných rýh je aj na území rajónu flyšoidných hornín. Rajón flyšoidných hornín, pokiaľ ide o plochu, je druhý najväčší. Vzhľadom na to hodnoty plochy rýh vzťahujúce sa na jednotku plochy monitorovaného územia nie sú také vysoko nadpriemerné, ako to bolo v prípade deluviálnych zemín. Percentuálne zastúpenie erózných rýh na území rajónov deluviálno-terasových (D/Ft) a proluviálnych (P) sedimentov a pieskovcovo-zlepcových hornín (Sz) je veľmi nízke, hoci plochy rýh na jednotkovú plochu rajónov sú vysoké. Je to spôsobené malou plochou týchto troch rajónov.

Vývoj výmoluovej erózie na lokalite Plaveč

Z tabuliek 5, 6 a 7 možno vyrátať zmenu dĺžky a plochy erózných rýh na lokalite Plaveč. Za obdobie 38 rokov na monitorovanom území Plaveč pribudlo celkovo 2,3 km erózných rýh s celkovou plochou 0,2461 km². Ak sa

východiskový stav z roku 1949 zoberie ako jednotkový základ, tak za obdobie 38 rokov sa erózne ryhy na monitorovanom území predĺžili o 12 % a ich plocha sa zväčšila až o 58 %. Rozvetvené erózne ryhy sa zväčšili o plochu 0,173 km².



0 0,5 1 km
Základný interval vrstevníc 25 m

Obr. 5 Výrez ortorektifikovanej leteckej fotografie severozápadnej časti lokality Plaveč. Na fotografii je stav krajiny v roku 1949.



0 0,5 1 km
Základný interval vrstevníc 25 m

Obr. 6 Výrez ortorektifikovanej leteckej fotografie severozápadnej časti lokality Plaveč. Na fotografii je stav krajiny v roku 1987.

Tab. 8 Prírastok plochy a dĺžky erózných rýh za obdobie 38 rokov, medzi rokmi 1949 a 1987, stanovený na základe LMS.

Prírastok erózných rýh	Plocha		Dĺžka	
	km ²	%	km	%
prírastok na kontinuálnych ryhách	0,218 9	52	1,075	5
nové – zaniknuté	0,027 2	6	1,182	6
celkový prírastok	0,246 1	58	2,257	11

Percentá sa vzťahujú na celkovú plochu a dĺžku rýh v roku 1949.

Tab. 9 Prírastok erózných rýh za obdobie 38 rokov v jednotlivých rajónoch na lokalite Plaveč.

Rajón	A (km ²)	B (%)	C (%)
Fh – rajón horských tokov	0,000 0	0,0	0,0
P – rajón prolúviálnych sedimentov	0,002 0	0,8	132,5
D – rajón deluviálnych zemín	0,150 9	60,9	59,5
D/Ft – rajón deluviálnych zemín na sedimentoch riečnych terás	0,005 3	2,1	76,3
Dz – rajón zosuvného delúvia	0,030 0	12,1	42,9
Sf – rajóny flyšoidných hornín	0,054 3	21,9	55,4
Si – rajón ílovcovo-prachovcových hornín	0,000 0	0,0	0,0
Sv – rajóny vápencových hornín	0,000 0	0,0	0,0
Sz – rajóny pieskovcovo-zlepencových hornín	0,005 1	2,1	100,0
Spolu	0,246 1	100,0	57,6

A – rozdiel plôch v rokoch 1992 a 1949,

B – podiel prírastkov v jednotlivých rajónoch vzhľadom na celkovú plochu prírastku,

C – relatívny prírastok plochy vzhľadom na pôvodnú plochu erózných rýh v jednotlivých rajónoch.

a predĺžili o 1,5 km. Predstavuje to nárast plochy o 59 % a nárast dĺžky o 11 %. Nerozvetvené erózne ryhy sa zväčšili o plochu 0,073 km² a predĺžili o 0,765 km. Predstavuje to nárast plochy o 56 % a nárast dĺžky o 15 % oproti stavu v roku 1949. Vo väčšine prípadov ide o ryhy kontinuálne, len 6 % rýh sú ryhy vzniknuté za obdobie monitorovaných 38 rokov (tab. 8).

Z nameraných výsledkov vidieť, že nárast plochy erózných rýh výrazne prevyšuje nárast ich dĺžky. Výsledky v prípade rozvetvených a nerozvetvených rýh sú podobné, ale predsa len v prípade nerozvetvených rýh možno pozorovať nepatrne väčšie predĺženie a menšie plošné zväčšenie rýh. Tento rozdielny nárast plochy a dĺžky rýh možno vysvetliť výskytom svahových deformácií, ktoré sú vo flyšových územiach častým javom. Tie, či už sa vyskytujú v hlave rýhy alebo na jej stenách, v konečnom dôsledku viac prispievajú k nárastu plochy rýhy ako jej dĺžky. Rozvetvené ryhy vznikajú na miestach, kde sú na to geomorfologicky a geologicky priaznivé podmienky. Naopak, nerozvetvené ryhy zase vznikajú na miestach, kde geomorfológia terénu a jej geológia neumožňujú vývin vetiev hlavnej rýhy. Takýmto danosťami terénu sa dá vysvetliť trend väčšieho rastu do dĺžky nerozvetvených rýh ako rozvetvených. Na podloženie takýchto záverov je potrebné urobiť rozsiahlejšie analýzy za použitia údajov aj z iných monitorovaných lokalít.

V porovnaní s celkovou plochou a dĺžkou erózných rýh v monitorovanom území rozvetvené ryhy prispeli k nárastu plochy rýh 70 % a k nárastu dĺžky rýh 65 %. Nerozvetvené ryhy prispeli 30 % a 35 %. Nárast plochy rozvetvených aj nerozvetvených rýh zodpovedá podielu plochy, ktorú pred-

stavujú z celkovej plochy všetkých rýh, t. j. 70 % a 30 %. Táto rovnováha nie je zachovaná v prípade nárastu dĺžky. Je to však v súlade s predstavou, že nerozvetvené ryhy sa vyvíjajú najmä na miestach, kde sú podmienky na rast dĺžky rýh, a nie na zväčšovanie ich plochy.

V tab. 9 sú uvedené prírastky dĺžky a plochy erózných rýh v jednotlivých vyčlenených inžinierskogeologických rajónoch. Percentuálne najväčší prírastok je v rajónoch deluviálnych hĺn (D), zosuvných delúvií a rajóne flyšoidných hornín (Sf). Tieto tri rajóny majú na monitorovanom území najväčšie plošné rozšírenie. Aj litologické zloženie hornín a ich inžinierskogeologické vlastnosti sú priaznivé pre vývoj erózie a malých zosunov na okrajoch erózných rýh. Ostatné rajóny sú budované horninami odolnými proti eróznym činiteľom, alebo ich prevládajúce geomorfologické pomery nie sú priaznivé pre rast erózných rýh (napr. nízka energia reliéfu).

Najväčší relatívny nárast plochy erózných rýh je v rajónoch prolúviálnych hĺn (P) a pieskovcovo-zlepencových hornín (Sz). Tento výrazný nárast je však pravdepodobne spôsobený chybou vzniknutou pri ortorektifikácii LMS, ktorá sa relatívne zväčšuje najmä pri malých plochách, ako je to v tomto prípade. Významné nárasty sú zaznamenané aj v prípade deluviálnych rajónov (D, Dz, D/Ft) a rajónu flyšoidných hornín (Sf). Príčinu veľkého prírastku plochy rýh v rajóne D/Ft treba asi tiež hľadať v chybe presnosti ortorektifikácie LMS, ako to bolo v prípade rajónov P a Sz. Prírastky v rajónoch D, Dz a Sf sú dostatočne veľké na to, aby chyba spôsobená chybou presnosti ortorektifikácie sa eliminovala. Najvýznamnejší relatívny prírastok plochy je v prípade rajónu deluviálnych hĺn, a to aj napriek tomu, že

plocha rýh v tomto rajóne je najväčšia. Svedčí to o tom, že horniny tohto rajónu sú najviac náchylné na vývoj výmoľovej erózie.

Záver

Na základe výsledkov získaných z monitorovanej lokality Plaveč možno konštatovať, že výmoľová erózia v danej lokalite je stále silnejúci fenomén. Za obdobie posledných 38 rokov sa na lokalite Plaveč zväčšila plocha erózných rýh z $0,029 \text{ km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$ na $0,046 \text{ km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$, čo je v porovnaní s východiskovým stavom nárast o 56 %. Za rovnaké obdobie sa dĺžka erózných rýh predĺžila z $1,33 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ na $1,49 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$. Pozorovali sme rozdiel medzi rastom dĺžky a plochy rozvetvených a nerozvetvených erózných rýh. Nerozvetvené ryhy majú percentuálne väčší prírastok dĺžky ako rozvetvené. Porovnanie prírastkov plochy erózných rýh na jednotlivých rajónoch neprineslo očakávané výsledky v prípadoch rajónov s malou plochou. Chyba spôsobená nepresnosťou ortorektifikácie je veľká. Výsledky v prípade rajónov s veľkou plochou sú uspokojivé. Dokladajú, že v monitorovanom území najväčší prírastok plochy erózných rýh má rajón deluviálnych hĺn spolu s rajónmi zosuvných delúvií a flyšoidných hornín.

Literatúra

- Atlas SSR, Bratislava, Slov. Akad. Vied 1980.
- Bučko, M. a Mazúrová, V.: Výmoľová erózia na Slovensku. In: Vodná erózia na Slovensku (zborník). Bratislava, Slov. Akad. Vied 1958, s. 68 – 102.
- Klukanová, A.: Čiastkový monitorovací systém, geologické faktory ako súčasť monitoringu životného prostredia SR. In: Geol. Práce, Spr., 2002, č. 106.
- Kováčik, M., Kováčiková, M., Gajdoš, V. a Zát'ko, M.: Špeciálna inžinierskogeologická mapa M 1 : 10 000 údolia rieky Poprad (úsek Stará Lubovňa, štátna hranica s PER). Čiastk. záver. spr. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 1988.
- Mitášová, H. a Hofierka, J.: Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modelling and Surface Geometry Analysis. In: Mathematical Geology, 1993, no. 25, pp. 657 – 671.
- Nemček, J.: Vysvetlivky k listu 27-411 (Stará Lubovňa). Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1982.

Monitoring of erosion processes – Evaluation of gully erosion from air photos

Summary

A monitoring of the erosion is also a part of the project *Monitoring of geological factors of the environment*; it is an independent sub-project. We have focused mainly on its geo-

logical and engineering geological aspects. Also methodology and selection of monitoring sites are adjusted to this approach. The sub-project is composed as monitoring of development (or cessation) of the gully erosion on the territory of Slovakia during the 38 – 45 time span on the selected sites (of various structural – tectonic settings of the Western Carpathians) in the relationship to engineering geological soil properties. The methodology is based on the backward reconstruction of the erosion state in 1949 (the year when the first sets of air-bound photographs were taken) and its comparison with the present state (with the state when the last air-bound photographs were taken – 1987 – 1994). The degree of sensitiveness of the area to the erosion is judged according to presence of the gullies and their development (or cessation). The judged parameters are gully length and area related to the area unit of the land.

The methodology relies upon topographical maps at scale 1 : 10 000, air-bound photographs taken from the same locality with time span about 43 years at scale from 1 : 12 000 to 1 : 30 000, geological and engineering geological maps and abundant geological data archived in ŠGÚDŠ archive (former Geofond). The air-bound photographs are processed as stereo pairs (with Interpretoskop – C Carl Zeiss Jena) and digitally with software GRASS 4.1. The stereo pairs are for 3D evaluation and the digital processing is for orthorectification of the photographs, for gathering such parameters as gully lengths and areas, slope relief, inclination and orientation of slopes, slope curvatures and length, and areas of specific contribution zones and for creation of digital models of the sites.

Selection of sites for the monitoring of the erosion was made with respect to the methodology. The selected monitored sites were selected such a way, that each monitored site meets the following criteria: 1. the sites are affected by an intensive gully erosion, 2. for each site there exist geological and engineering geological map at scale 1 : 50 000 or more detail, 3. for each site there are available sets of air-bound photographs from 1949 and recent ones, 4. the sites are minimally afforested, 5. the sites are located in the areas affected by man activities (agriculture, deforestation, tourism etc.), 6. each site is located in different geological – tectonic and geomorphologic units of the Western Carpathians. Based on these criteria seven sites were selected (Tab. 1).

Based on the results from the locality Plaveč we can state that the gully erosion is still strong phenomenon of our environment. During the 38 years time period the area of gullies increased from $0,029 \text{ km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$ to $0,046 \text{ km}^2 \cdot \text{km}^{-2}$, what is 58 % increase in comparison with the original state. During the same time period the gully length was increased from $1,33 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ to $1,49 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$. There was observed difference in length growth rate of branched and non-branched gullies. Non-branched gullies show length increase greater than branched ones. Gullies that are cut into deluvial soils and flysch have the greatest increase of the area.

Monitorovanie procesov zvetrávania

VLASTA JÁNOVÁ¹ a PAVEL LIŠČÁK²

¹Ministerstvo životného prostredia SR, Námestie Ľ. Štúra 1, 811 02 Bratislava

²Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Abstract. Monitoring of the weathering processes is a subsystem of the Partial monitoring system of geological factors of the Slovak Republic. It comprises observation of weathering both in natural and artificial conditions, it means at natural and artificial outcrops. Special device measuring microleveling changes has been stationed at several sites, and the method is supported by a complex of standard field (geodetic observations, jointing and blockiness of massif, PLT test, Schmidt hammer test) and laboratory measurements (physical properties and durability of rock material). Selected samples of semisolid rocks collected from deeper boreholes have been examined in laboratory conditions to assess their durability and degree of weathering. All the above mentioned methods provide an overall picture about the physical state of the monitored massif and succeeding changes.

Úvod

Všetky horniny na zemskom povrchu podliehajú prirodzeným procesom zvetrávania, vplyvom ktorých sa postupne rozpadajú a rozkladajú. Pri nevhodnom antropogénnom zásahu do hornín s nízkou odolnosťou proti zvetrávaniu môžu byť procesy rozpadu a rozkladu pomerne rýchle a vtedy z ekonomického hľadiska predstavujú závažný problém. Priame a nepriame škody spôsobené nežiaducimi procesmi zvetrávania v niektorých oblastiach Slovenska stavajú problém do stredu záujmu pri hodnotení geologických faktorov životného prostredia.

Realizácia monitorovania procesov zvetrávania, predovšetkým na lokalitách ovplyvnených antropogénnou činnosťou, umožní v širokom rozsahu:

- prehliadť poznatky o podmienkach vzniku a zákonitostiach vývoja tohto fenoménu,
- aplikovať získané poznatky pri prognózovaní zmien, ktoré môžu v geologickom prostredí nastať v dôsledku technických zásahov.

Údaje získané systematickým monitorovaním procesov zvetrávania, predovšetkým na lokalitách, kde sú odkryté horniny s nízkou odolnosťou proti zvetrávaniu umožnia orientovať plánované antropogénne zásahy do prírodného prostredia takým spôsobom, aby dochádzalo k čo najmenšej degradácii odkrytých horninových komplexov a následne k čo najmenšiemu ohrozeniu stability svahov a projektovaných technických diel. Získané údaje je možné použiť aj pri hodnotení ťažiteľnosti hornín, resp. ich potenciálu ako lokálnych materiálových zdrojov.

Základné metodické prístupy

Použili sme kombináciu viacerých jednoduchých terénnych a laboratórnych metód a nenáročných meracích zariadení. Výber metód (Jánová, 1997) bol podriadený trom základným cieľom, ktoré monitorovanie procesov zvetrávania sleduje. Dôraz sme kládli predovšetkým na:

- určovanie stupňa zvetrania a vymedzovanie zón zvetrávania,
- sledovanie dynamiky vývoja zvetrávacích procesov,
- klasifikáciu odolnosti hornín proti zvetrávaniu.

Určovanie stupňa zvetrania hornín a vymedzenie jednotlivých zón zvetrávania predstavuje štartovaciu čiaru monitorovania procesov zvetrávania. Na stanovenie východiskového stavu procesov zvetrávania sme použili metódy semikvantitatívneho a kvantitatívneho hodnotenia horninového masívu a horninového materiálu, detailne sme hodnotili porušenosť skalných zárezov diskontinuitami. Laboratórne metódy boli zamerané na sledovanie fyzikálno-mechanických vlastností hornín a produktov ich zvetrávania.

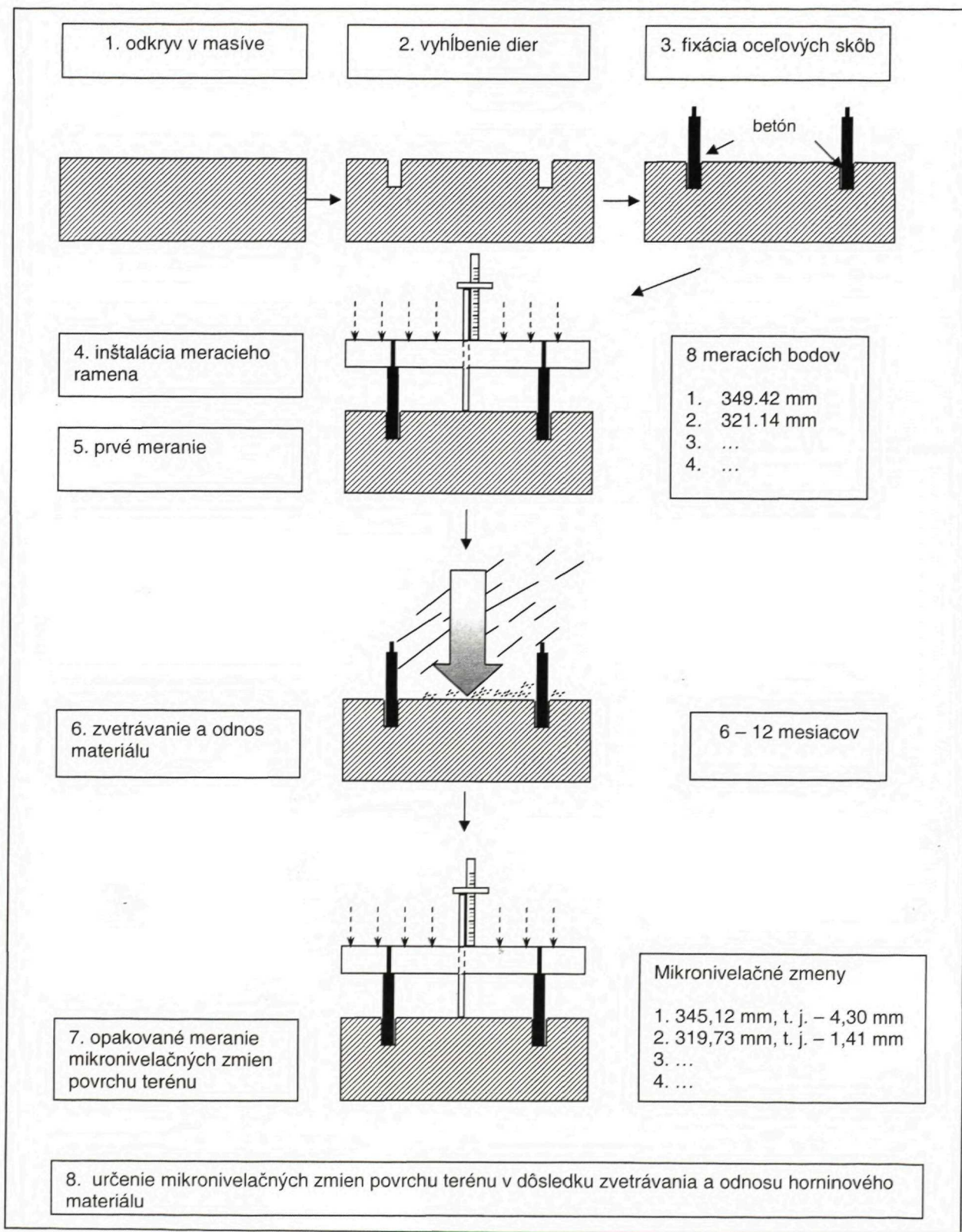
Sledovanie rýchlostí zvetrávacích procesov, t. j. zmeny stupňa zvetrania za určitú časovú jednotku je prvoradou úlohou monitorovania. Čas potrebný na zaznamenanie výsledkov merateľných dostupnou meracou technikou a prístrojmi je pre rôzne typy hornín rôzny. Pozornosť sme sústredili predovšetkým na poloskalné horniny, pretože zvetrávajú pomerne rýchlo a ich sledovanie má teda pre prax väčší význam.

Z terénnych metód boli zaujímavé výsledky dosiahnuté použitím merača mikronivelačných zmien povrchu terénu (Jánová a Liščák, 1998). Zariadenie slúži na priame meranie mikronivelačných zmien povrchu terénu (s presnosťou na stotiny mm), ktoré sú spôsobené postupným zvetrávaním a odnosom horninového materiálu (obr. 1). Na aplikáciu merača sú najvhodnejšie čerstvo odkryté poloskalné horniny alebo alterované skalné horniny, pri ktorých je predpoklad získania merateľných hodnôt v relatívne krátkom čase, t. j. 2 – 3 roky. Merania sa opakujú v ľubovoľných intervaloch, najlepšie na jar a na jeseň, čo umožňuje odlíšiť podiel mrazového zvetrávania. Pevne zabudované skoby umožňujú merať vždy presne v tých istých bodoch profilu. Merania možno robiť na každom odkryve v ľubovoľnom počte profilov, rôzneorientovaných vzhľadom na vrstvosť a bridličnosť, prípadne svetové strany.

Z ďalších metód sa použili morfometrické a volumetrické metódy. Morfometrické metódy slúžia na meranie rozmerov takých foriem reliéfu, ktoré vznikajú akumuláciou alebo eróziou horninového materiálu v dôsledku zvetrávania a odnosu. Napríklad opakovaným meraním dĺžky, šírky, výšky a sklonu sutinových kužeľov možno získať údaje o priemernej rýchlosti ich rastu, čo umožňuje

nepriamo hodnotiť priemernú rýchlosť zvetrávania hornín. Hodnoverné údaje poskytuje táto metóda najmä na lokalitách, kde boli horniny čerstvo odkryté, napr. pri budovaní zárezov alebo odrezov ciest a pod.

Volumetrické metódy sú zamerané na meranie objemu akumulovaného materiálu. Meria sa predovšetkým objem sutinových kužeľov, osypov, materiálu nahroma-



Obr. 1 Princíp terénneho merača mikronivelačných zmien povrchu terénu.

Tab. 1 Monitorované lokality.

Lokalita	Typ odkryvu	Hornina	Jednotka	Vek
Málinec	zárez cesty	granodiorit, mylonit	kohútske pásmo	Pz
Ducové	stena lomu	dolomit	chočský príkrov	T 2 – 3
Podbiel	železničný odrez	slienité bridlice	bradlové pásmo	K 3 (alb)
Liptovský Hrádok	odrez cesty	pieskovce, ílovce (lunzké vrstvy)	chočský príkrov	T 3 (karn)
Podtureň	stena lomu	pieskovce, ílovce (lunzké vrstvy)	chočský príkrov	T 3 (karn)
Banská Štiavnica	zárezy cesty	andezit		Ng
Liptovské Matiašovce	odrez cesty	pieskovce, ílovce (lunzké vrstvy)	chočský príkrov	T 3 (karn)
Huty	odrez cesty	piesčité vápence	CKP	Pg
Nová Bystrica	zaviazanie hrádze	ílovce, pieskovce (flyš)	flyšové pásmo	Pg
Harmanec	odrez cesty	dolomit	chočský príkrov	T 2 – 3
Lipovník	odrez cesty	slienité bridlice	silicikum	T 1
Starina	zárez cesty	pieskovce, ílovce (flyš)	flyšové pásmo	Pg
Demjata	zárez cesty	ílovce, pieskovce (flyš)	flyšové pásmo	Pg
Banská Bystrica – Jakub	odrez cesty	slienité vápence	krížňanský príkrov	K 1
Huty II	odrez cesty	ílovce, pieskovce, (flyš)	CKP	Pg
Železná studienka	železničný zárez	granodiorit	bratislavský masív	Pz

deného v obvodových priekopách komunikácií, prípadne za opornými múrmi. Uprednostňujú sa čerstvé odkryvy. Nevýhodou morfometrických a volumetrických metód používaných v cestných zárezoch a odrezoch je fakt, že v rámci údržby okrajov komunikácií sa akumulovaný materiál odstraňuje, čím sa môže pravidelné sledovanie tvarov reliéfu narušiť.

Z fotogrametrických metód boli aplikované dve metódy, metóda stereofotogrametrie a metóda časovej základnice. Spomedzi geodetických metód to bola najmä metóda opakovaných výškopisných a polohopisných meraní vybraných prvkov reliéfu.

Laboratórne metódy boli orientované na stanovenie fyzikálno-mechanických vlastností monitorovaných hornín, ich minerálneho zloženia a na zrýchlené laboratórne testy simulujúce hypergénne podmienky.

Netradičný prístup k riešenej problematike predstavuje expozícia vzoriek v prírodnom laboratóriu a sledovanie ich zmien v dôsledku zvetrávania. Metóda je vhodná pre rýchlo zvetrávajúce horniny, ktoré poskytujú merateľné výsledky už po relatívne krátkom čase. Schéma experimentu je znázornená na obr. 2. Z celého územia Slovenska sa odobralo 40 vzoriek rozličných poloskálnych hornín zo zárezov a odrezov ciest, lomov, prirodzených odkryvov, vrtov a pod. Odoberali sme najmä zdravé vzorky, aby sa minimalizoval vplyv rôzneho stupňa zvetrania na sledované vlastnosti hornín. Vzorky reprezentujú celú škálu poloskálnych hornín veku od paleozoika až po neogén. Z petrografického hľadiska sú zastúpené ílovce, pieskovce, tufy, fylity, vápence, dolomity, bridlice a iné. Testovali sa aj alterované andezity a mylonitované granitoidy. Vzorky sa podrobili laboratórnym testom, štandardným spôsobom sa stanovila ich merná hmotnosť, objemová hmotnosť, stupeň nasýtenia, pórovitosť, nasiakavosť a pod. Pevnosť v prostom tlaku sa stanovila prostredníctvom metódy Point Load Test. Z vybraných lokalít sa urobil podrobný mineralogicko-petrografický rozbor, ako aj DTA a RTG analýzy a štúdium morfoló-

gie minerálnych fáz v skenovacom elektrónovom mikroskope (SEM).

Vzorky hornín sa pred expozíciou pripravili rovnakým spôsobom, ako sa pripravujú na testovanie odolnosti horniny proti rozpadu (Slake durability test). Sledovala sa tým možnosť porovnania dosiahnutých výsledkov. Desiat' úlomkov každej horniny s celkovou hmotnosťou cca 500 g sa umylo, vysušilo na ustálenú hmotnosť a presne zvažilo. Následne sa situovali do „prírodného laboratória“ v areáli ŠGÚDŠ. Tu boli počas piatich rokov vystavené pôsobeniu poveternostných činiteľov a v pravidelných intervaloch sa sledovali úbytky z pôvodnej hmotnosti vzoriek. Sledovali sa aj spôsoby a rýchlosť rozpadu a rozkladu vzoriek.

Výber lokalít a jeho zdôvodnenie

Pri výbere lokalít sa kládol dôraz na prepojenie sledovanej problematiky s problémami stability svahov a jej nepriaznivými hospodárskymi dôsledkami (Jánová a Liščák, 1998). Vo väčšine prípadov ide o zárezy a odrezy líniových stavieb, najmä ciest a železníc, ktoré predovšetkým v jarných mesiacoch negatívne ovplyvňuje intenzívne zvetraný materiál uvoľnený z nechránených, resp. nedostatočne chránených skalných stien.

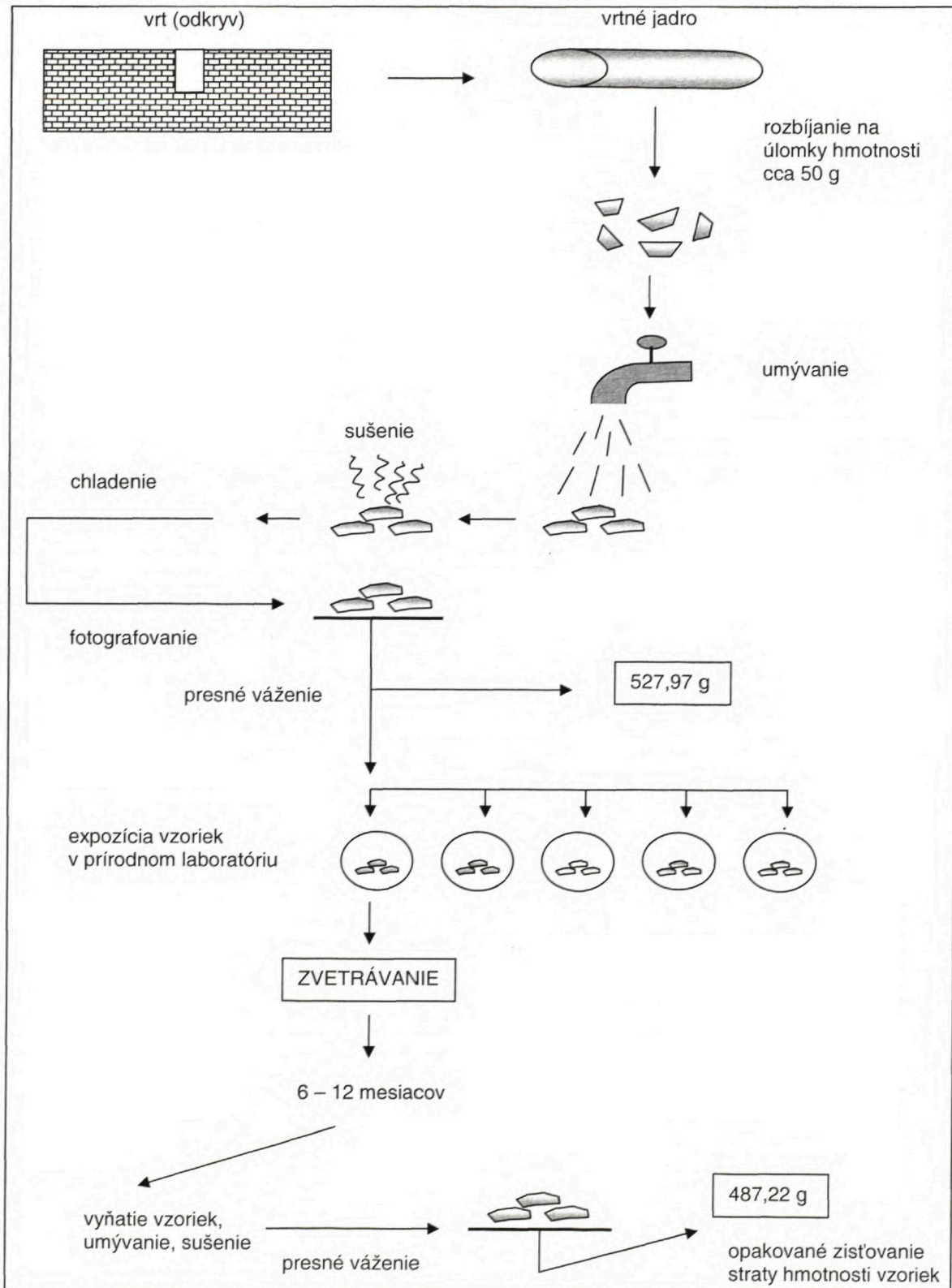
Vybrali sa také lokality, kde sú odkryté horniny s nízkou, prípadne strednou odolnosťou proti zvetrávaniu, pri ktorých je dynamika procesu merateľná už v priebehu niekoľkých rokov. Zoznam monitorovaných lokalít je uvedený v tab. 1 a zobrazený na obr. 1 úvodného článku tejto publikácie (Klukanová, A., 2002: Čiastkový monitorovací systém Geologické faktory ako súčasť monitorovacieho systému životného prostredia Slovenskej republiky).

Dosiahnuté výsledky

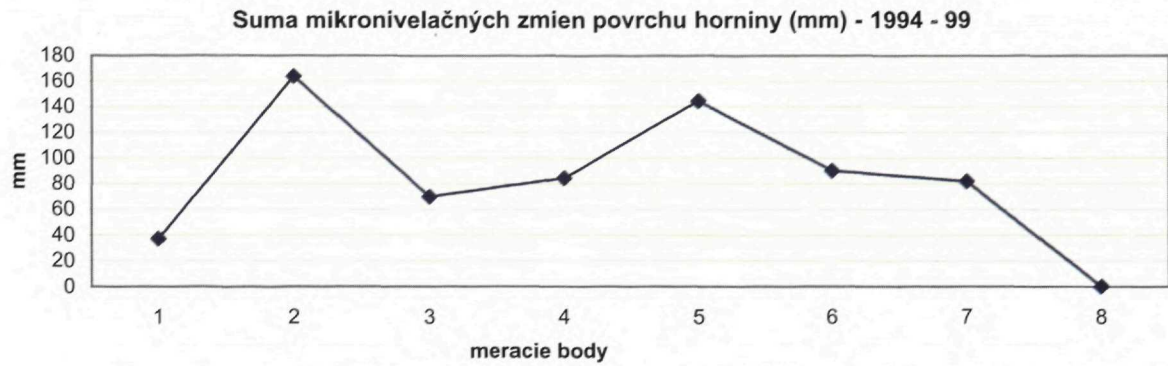
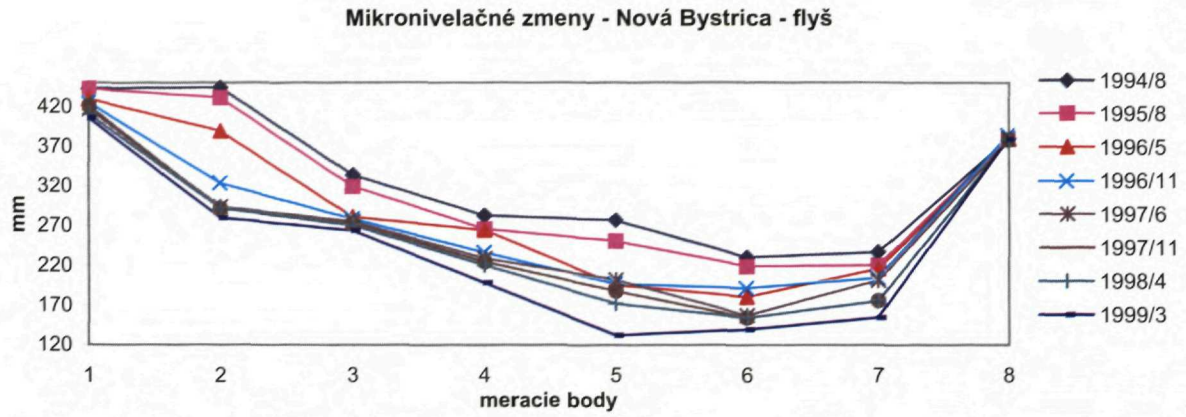
Monitorovanie procesov zvetrávania vo vybraných cestných a železničných zárezoch stále pokračuje. Riešenie problematiky už prinieslo množstvo nových údajov,

ktoré poskytujú široké možnosti použitia. Merač mikro-nivelačných zmien povrchu terénu bol dosiaľ zabudovaný na 15 lokalitách. S presnosťou na stotiny milimetra sa sledovali úbytky materiálu z monitorovanej skalnej steny, resp. zárezu v dôsledku rozvoľňovania povrchu, ktorého príčinou boli procesy zvetrávania a tektonickej porušenia. Rádovo najvyššie hodnoty zmien povrchu horni-

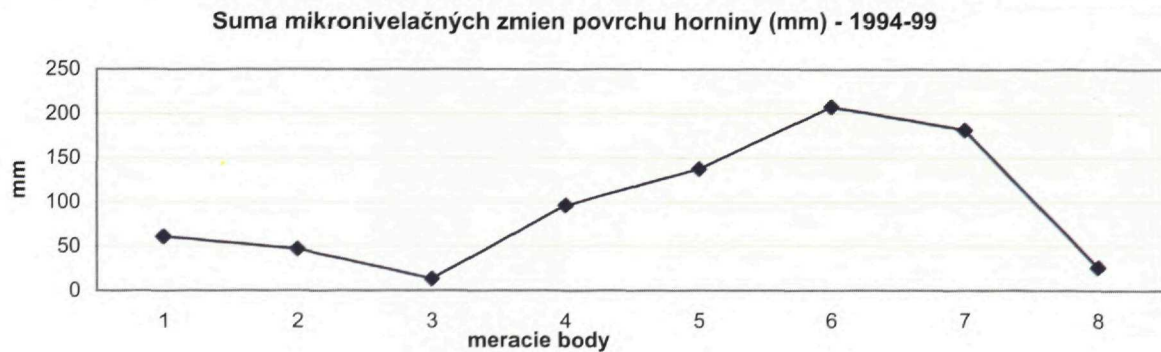
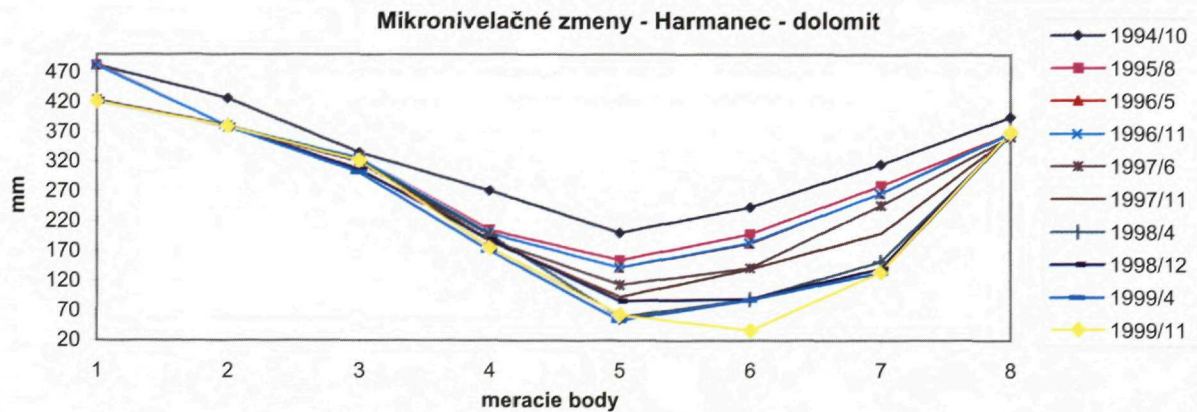
nového masívu boli namerané vo flyšových ílovcoch (eocén) na lokalite Nová Bystrica – až 55,1 mm ročne (obr. 3) – a v bridliciach lunzkých vrstiev (karn) na lokalitách Liptovské Matiašovce – 49 mm ročne – a Podtureň. Vysoké hodnoty, až 66 mm ročne, sa našli na lokalite Harmanec v stredotriasových dolomitoch chočského príkrovu. Na tejto lokalite sa však na znižovaní povrchu



Obr. 2 Schéma expozície vzoriek hornín v prírodnom laboratóriu.



Obr. 3 Mikronivelačné zmeny povrchu horniny na lokalite Nová Bystrica.



Obr. 4 Mikronivelačné zmeny povrchu horniny na lokalite Harmanec.

terénu v strednej časti meraného profilu podieľa aj erózia. Pomerne vysoké hodnoty sa namerali v granodioritoch a mylonitoch kohútskeho pásma veporského kryštalinika na lokalite Málinec – granodiority 0,2 – 24 mm ročne, mylonity 0,42 až 18,06 mm ročne. Porovnateľný rozsah hodnôt znižovania povrchu bol zaznamenaný v slienitých bridliciach (alb) bradlového pásma na lokalite Podbiel (1 – 26 mm ročne) a vo flyšových ílovcach duklianskej jednotky na lokalite Starina (1,8 – 13 mm ročne). Nižšie hodnoty vykazujú slienité vápence (skýt) silicika Slovenského krasu na lokalite Lipovník (0,45 – 6,46 mm ročne). Najnižšie hodnoty sa podľa očakávania namerali vo flyšových pieskovcoch (eocén) na lokalite Nová Bystrica (0,24 až 0,74 mm ročne) a Starina (0,8 – 3 mm ročne).

Počas viacročného pozorovania uvedených lokalít najvyššie sumárne zmeny povrchu horninového masívu sa zaznamenali na lokalitách Nová Bystrica (163 mm za 5 rokov) a Harmanec (181 mm za 5 rokov; obr. 4). Aplikácia merača mikronivelačných zmien povrchu terénu sa ukazuje ako veľmi perspektívna.

Morfometrické a volumetrické merania použité predovšetkým na sledovanie rýchlosti rastu sutinových kužeľov odhalili potrebu kombinácie týchto meraní s ročným pohybom zrážok. Zistilo sa, že na lokalitách s akumuláciou jemného materiálu sa tento materiál nielen postupne navrhuje, ale občas sa aj splavuje prívalovými vodami pri abnormálnych zrážkach. Vtedy sa rozmery akumulácií redukovujú, a teda proces ich vývoja nie je vždy jednoduchý a jednoznačný. Maximálna rýchlosť rastu sutinových kužeľov sa namerala v strednotriasových dolomitoch na lokalite Ducové (15 – 45 cm ročne), v lunzkých vrstvách (karn) na lokalite Liptovské Matiašovce (8 – 10 cm ročne) a v mylonitoch na lokalite Málinec (30 – 120 cm ročne). Zdá sa, že na týchto lokalitách hlavnú úlohu zohráva rýchly rozpad horniny na drobné úlomky, ktoré potom vypadávajú zo steny odkryvu, najmä v jarnom období po nakyprení povrchovej vrstvy predchádzajúcim striedaním procesov mrznutia a roztápania vody prítomnej v puklinách odlučnosti.

Použitie metód pozemnej fotogrametrie sa ukázalo ako veľmi efektívne najmä na lokalite Harmanec, kde sa detailne monitorovala erózna ryha v strednej časti cestného odrezu a priľahlý povrch odkrytého horninového masívu. Počas troch rokov vzrástla hĺbka ryhy o 9 až 40 cm a jej šírka o 6 – 18 cm. Zmeny povrchu horninového masívu mimo eróznej ryhy sa, bohužiaľ, pohybovali v rozmedzí chýb, ktorými sú stereofotogrametrické merania zaťažené.

Expozícia vzoriek v prírodnom laboratóriu

Jedným z cieľov, ktoré monitorovanie procesov zvetrávania sleduje, je experimentálne štúdium dynamiky vývoja zvetrávacích procesov v laboratórnych podmienkach. Účelom tohto štúdia je klasifikácia hornín z hľadiska ich odolnosti proti zvetrávaniu. Štúdium sa orientuje predovšetkým na poloskalné horniny, prípadne na degradované skalné horniny, ktoré v otvorených zárezoch, stavebných jamách a pod. vykazujú veľmi rozdielne správanie pri pôsobení poveternostných činiteľov.

Porovnaním výsledkov získaných zrýchlenými laboratórnymi testami, predovšetkým skúškou rozpadavosti (Slake

ke durability test) a výsledkov z prírodného laboratória, sa zistili značné disproporcie v rýchlosti rozpadu a rozkladu hornín. Z výsledkov skúšky rozpadavosti vyplýva, že väčšina testovaných hornín (25) má po dvoch skúšobných cykloch stratu hmotnosti menšiu ako 10 %, t. j. ich rozpadavosť je veľmi nízka. Najväčšie straty hmotnosti (30 až 50 %) sa sledovali v prípade neogénnych ílov, ílovcov a tufov. Pri porovnaní týchto výsledkov s exponovanými vzorkami sa zistila značná disproporcija v úbytku hmotnosti jednotlivých vzoriek. Dost' prekvapivé bolo zistenie, že už po prvom roku expozície sa 13 vzoriek zo 40 úplne rozpadlo a v prípade ďalších štyroch vzoriek bola strata hmotnosti väčšia ako 50 %. Pri zisťovaní vzájomných vzťahov medzi jednotlivými charakteristikami bolo možné konštatovať, že najtesnejší korelačný vzťah vykazujú skúšky Point Load Test a Slake Durability Test ($R = 0,72$; lineárna závislosť).

Na základe analýzy doterajších údajov sme dospeli k nasledujúcim poznatkom:

- Jedna skupina vzoriek vykazuje veľmi podobné percentuálne straty hmotnosti pri skúške rozpadavosti aj pri dlhodobej expozícii. Do tejto skupiny patria napr. paleogénne pieskovce a ílovce, neogénne tufy a andezity, slienité bridlice, dolomity, fylity a iné.
- Pre druhú skupinu vzoriek sú charakteristické malé percentuálne straty hmotnosti pri skúške rozpadavosti (do 10 %) a pomerne veľké straty počas expozície – napr. šlíry, tufy, ílovce a bridlice z lunzkých vrstiev.
- Opačne sa správajú horniny tretej skupiny. Vyznačujú sa vyššími stratami hmotnosti pri skúške rozpadavosti a nízkymi stratami pri dlhodobej expozícii – napr. paleogénny ílovec a neogénny tufit.
- Pri viacerých horninách s veľmi podobnými charakteristikami rozpadavosti sme pozorovali veľmi rozdielne správanie počas dlhodobej expozície – napr. andezity, íly a ílovce.

Napriek tomu, že testovanie vzoriek stále pokračuje, doterajšie výsledky umožňujú vysloviť tieto závery:

- Expozícia vzoriek hornín v prírodnom laboratóriu je síce metóda časovo náročná, no dáva reálnejší obraz o správaní poloskalných hornín než zrýchlené laboratórne testy.
- Skúška rozpadavosti má obmedzené použitie, pretože nedáva vierohodné prognózne charakteristiky pre všetky typy poloskalných hornín.
- Skúška rozpadavosti je vhodný test pre horniny, ktoré podliehajú rýchlym zmenám na styku s vodou.
- Pri niektorých typoch hornín nemajú fyzikálne vlastnosti ako napr. pórovitosť a nasiakavosť vplyv na výsledky skúšky rozpadavosti, ale majú vplyv na dlhodobú odolnosť hornín proti zvetrávaniu.
- Vzhľadom na časovú náročnosť monitorovania vzoriek v prírodnom laboratóriu a vlastne nereálnosť jeho použitia v stavebnej praxi odporúčame porovnávať výsledky zrýchlených laboratórnych testov s prejavmi procesov zvetrávania v testovaných horninách priamo v teréne.

Záver

Údaje získané systematickým monitorovaním procesov zvetrávania, predovšetkým v horninách málo odol-

ných proti zvetrávaniu, umožnia orientovať plánované antropogénne zásahy do prírodného prostredia takým spôsobom, aby dochádzalo k čo najmenej degradácii odkrytých horninových komplexov a následne k čo najmenšiemu ohrozeniu stability svahov a projektovaných technických diel.

Význam systematického monitorovania nechránených cestných a železničných zárezov vybudovaných v horninách s nízkou odolnosťou proti zvetrávaniu sa potvrdil nevyhnutnosťou sanácie lokalít Liptovské Matiašovce a Huty, kde sme na zlý stav stability svahu upozornili príslušné inštitúcie. Sanáciou lokalít sa síce na jednej strane znemožnil ich ďalší monitoring, no na druhej strane sa tým potvrdila opodstatnenosť ich výberu.

Literatúra

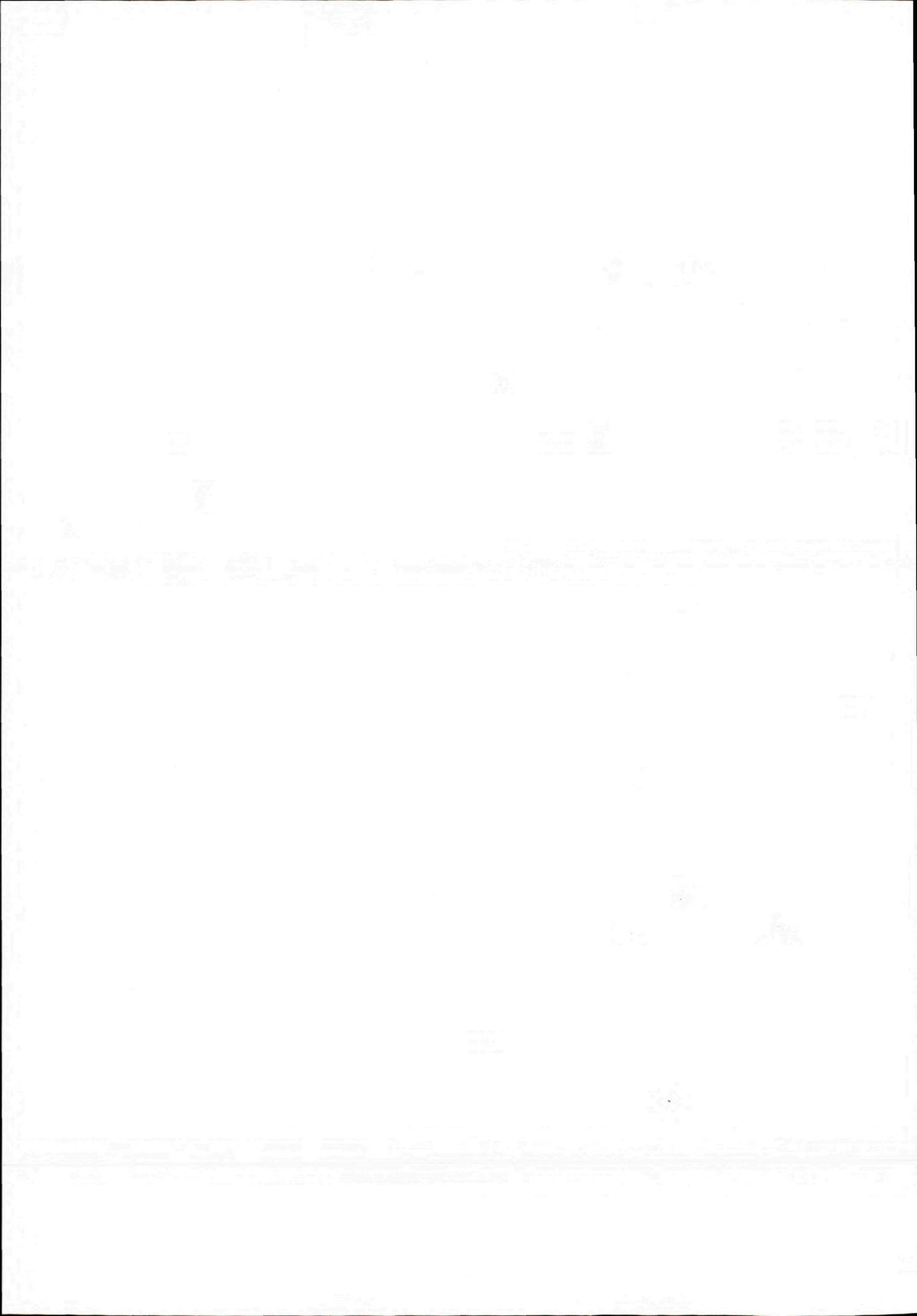
Jánová, V.: Sledovanie dynamiky vývoja zvetrávacích procesov v poldskalných horninách. In: Zborník prednášok z 3. geotechnickej konferencie. Bratislava, STU 1997.

Jánová, V. a Liščák, P.: Monitoring procesov zvetrávania na vybraných cestných a železničných zárezoch. In: Zborník referátov z 1. konferencie Geológia a životné prostredie, 25. – 26. november 1998, Bratislava. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1998.

Monitoring of weathering processes

Summary

Systematic monitoring of the weathering processes, especially when dealing with rocks with low resistance weathering, against enable to direct anthropogeneous interventions into natural environment with minimum deleterious effect on rock complexes. Five to eight years of monitoring of rock mass weathering at several sites like railway- and road-cuts provided some new interesting data on behaviour of essential rock types throughout the Slovakia. Its importance has been underlined in cases like Liptovské Matiašovce and Huty sites, where respective institutions were warned due to perilous state of the slope stability. Although due to remedial measures, a continuation of the monitoring has been made impossible, legitimacy of their selection has been proved.



Objemovo nestále zeminy a ich vlastnosti

ALENA KLUKANOVÁ a JANA FRANKOVSKÁ

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Abstract. Volumetric unstable soils are a part of soils with the metastable structure. The change of their properties before and after disturbing of structure and also their volume changes are significant. A description of volumetric unstable soils in Slovakia is presented.

Úvod

Zeminy, ktorých vlastnosti sa pred porušením vnútornej štruktúry a po jej porušení výrazne líšia, alebo počas zmeny štruktúry nastávajú výrazné objemové zmeny, označujeme ako metastabilné. Časť z nich, pri ktorých je rozhodujúca objemová stabilita, označujeme ako objemovo nestále zeminy. Objemová nestabilita sa prejavuje buď znížením objemu, označovaným ako presadenie, alebo zväčšením objemu, označovaným ako napúčanie.

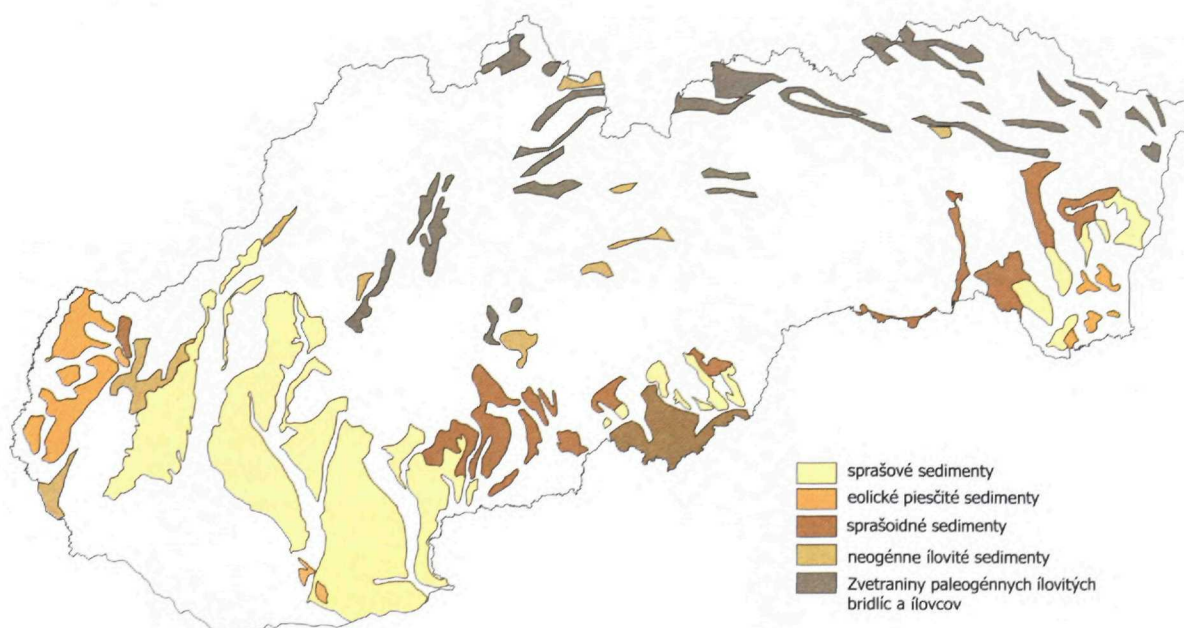
Termín metastabilná štruktúra ako prvý použil Terzaghi v roku 1955 (Terzaghi a Peck, 1967) ako názov štruktúry náchylnej na kolaps. Feda rozlišuje lokálnu a totálnu metastabilitu štruktúry, pri ktorej malá zmena zaťaženia alebo zmena stavu vyvolá značné posuny pevných častíc (Feda, 1977). Reprezentantmi metastabilných zemín sú spraše a senzitívne íly, v ktorých sa kolaps štruktúry vyvolá zmenou zaťaženia. Ďalšími reprezentantmi sú disperzné zeminy, kypré zvodnené piesky a silno prekon-

solidované íly (s nízkou vlhkosťou, ktoré sú navyše náchylné na napúčanie).

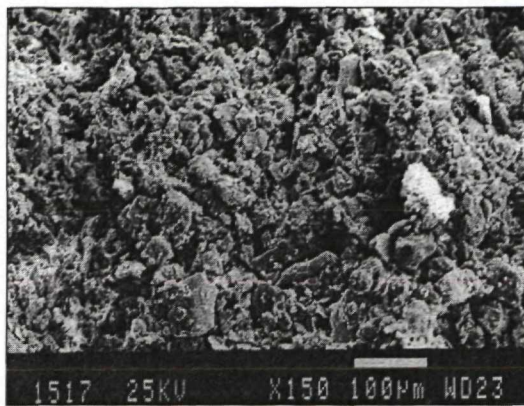
Objemovo nestále zeminy na Slovensku tvoria presadavé zeminy (kvartérne eolické sedimenty), napúčavé íly (neogénne alebo kvartérne íly) a silno prekonsolidované fľovitité zeminy charakteru fľovitých bridlíc, fľovcov a pod. Na obr. 1 sú schematicky znázornené územia s pravdepodobným výskytom objemovo nestálych zemín na Slovensku. Podkladom na zostavenie tejto schémy boli mapa genetických typov kvartérnych sedimentov (Klukanová in Bodiš et al., 1999) a schéma Jemnozrné sedimenty na Slovensku (Letko a Hrašna in STN 83 8106).

Charakteristika objemovo nestálych sedimentov

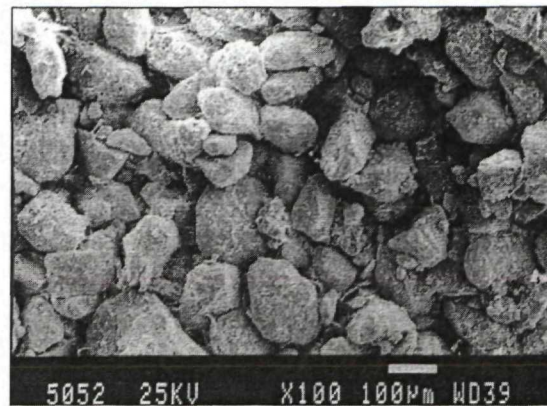
Inžinierskogeologické vlastnosti zemín sa stanovujú na porušených a neporušených vzorkách zemín a hornín odoberaných z vrto, kopaných šachtíc alebo prirodzených odkryvov v blízkosti porušených objektov. Laboratórne práce sa vykonávajú v laboratóriu inžinierskej geológie ŠGÚDŠ Bratislava. Ide predovšetkým o stanovenie fyzikálnych vlastností. Okrem toho sa sleduje minerálne a chemické zloženie a vnútorná stavba, najmä jej zmeny spôsobené presadavosťou, napúčaním a zmrásto-



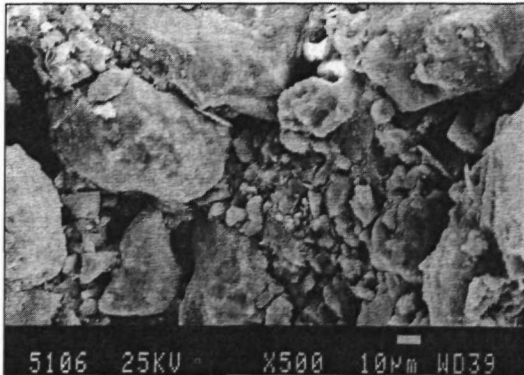
Obr. 1 Schematické znázornenie území s pravdepodobným výskytom objemovo nestálych zemín.



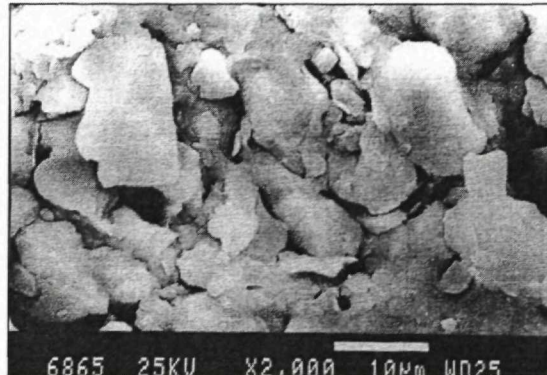
a



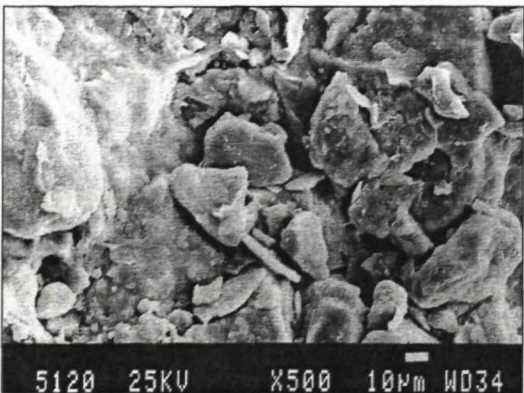
b



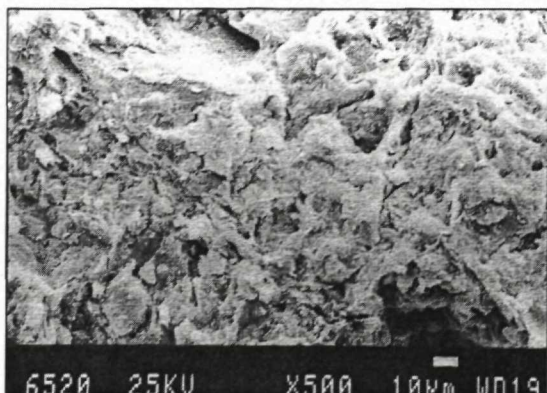
c



d



e



f

Obr. 2 Mikrografy vnútornej stavby presadavých sedimentov.

vaním pomocou skenovacieho elektrónového mikroskopu (ďalej len SEM). Monitoruje sa aj proces presadania, napúčania a zmršťovania zemín v laboratórnych podmienkach (oedometrické a iné skúšky).

Presadavé zeminy

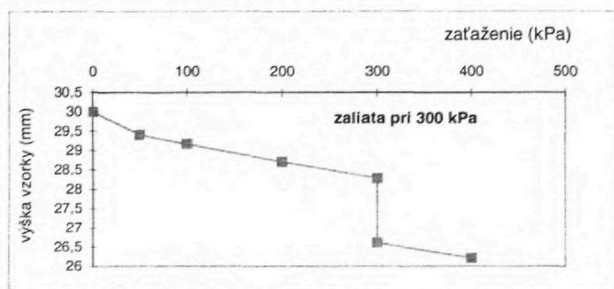
Presadavé zeminy rozdeľujeme na dve skupiny (Klukanová a Frankovská, 1995): *veľmi presadavé zeminy* a *presadavé zeminy*.

Medzi *veľmi presadavé zeminy* zaraďujeme typické a piesčité spraše. Typické spraše sú charakteristické tým, že sú nevrstvovité, primárne vápnité, majú kapilárnu pórovitosť, sú vcelku suché, žltej až tmavožltej farby, s viditeľne prevládajúcim zrnitostným zložením pohybujúcim sa v medziach 20 – 63 μm . Typ mikroštruktúry je skeletálny (obr. 2a). Fyzikálne vlastnosti sú v tab. 1. Na obr. 3 je priebeh presadania stanovený laboratórnou skúškou v oedometri.

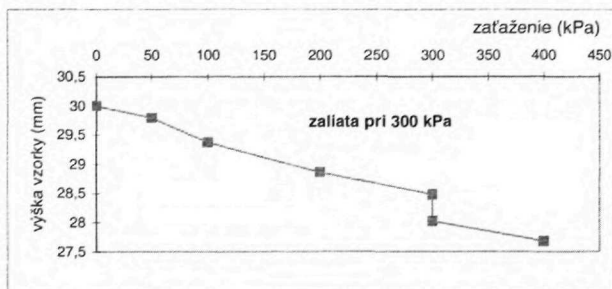
Piesčité spraše sú najčastejšie nevrtvovité, alebo sa v nich vyskytuje jemné zvrstvenie. Zvyčajne sú slabo vápnité, menej pórovité ako typické spraše, pričom farbu majú podobnú. Tento typ spraší je charakteristický zmesou zŕn veľkosti 20 – 60 μm a 200 – 500 μm . Zemina taktiež vznikla eolickým transportom, ale znosovou oblasťou boli územia s iným horninovým zložením ako typické spraše. Medzi *presadavé zeminy* zaraďujeme eolické piesky, ílovité spraše a sprašoidné sedimenty, ktoré majú prevládajúcu prachovitú zrnitostnú frakciu. Eolické piesky sú strednozrnité, typické veľmi dobrým vytriedením a opracovaním kremenných zŕn, niekedy aj karbonátov. Typ mikroštruktúry je tiež skeletálny (obr. 2c). Fyzikálne vlastnosti sú v tab. 1. Ílovité spraše sú nevrtvovité, málo pórovité, obsah uhličitánov a farba sú podobné typickým sprašiam. Najväčšie percentuálne zastúpenie majú častice zrnitostného zloženia 20 až 60 μm , z čoho 25 – 30 % má zrnitosť menšiu ako 2 μm .

Tab. 1 Priemerné hodnoty niektorých fyzikálnych vlastností reprezentantov objemovo nestálych zemín

Vlastnosť zeminy	Rozmer	Typické spraše	Piesčité spraše	Eolické piesky	Ílovité spraše	Sprašoidné sedimenty	Ílové sedimenty – Devínska N. Ves	Ílové sedimenty – Lastovce
Vlhkosť zeminy	%	9,955	4,404	8,078	11,81	9,02	27,77	36
Zrnitostná frakcia < 0,002 mm	%	10,72	6,453	4,91	28,14	16,01	42,75	61,25
Zrnitostná frakcia 0,002 ÷ 0,06 mm	%	68,226	37,73	26,01	50,485	61,75	53,09	30,8
Objemová hmotnosť, prirodzená	kgm ⁻³	1 456,4	1 680	1 807	1 939	1 945	1 867	2 476
Objemová hmotnosť, suchá	kgm ⁻³	1 378,8	1 615	1 627	1 734	1 765	1 450	1 821
Zdanlivá hustota pevných častíc	kgm ⁻³	2 695,6	2 729,5	2 692,5	2 741	2 645	2 758	2 760
Medza plasticity	%	24,044	21,032	19,9	22,66	17,1	26,79	42,5
Medza tekutosti	%	30,833	24,196	24,7	42,541	27,988	68,52	81,8
Pórovitosť	%	46,9	37,7	39,573	35,899	31,3	44,33	34,04
Stupeň nasýtenia	%	24,039	17,80	33,21	55,72	54,9	89,12	92,56
Obsah uhličitanov	%	13,828	9,081	4	1		15	



Obr. 3 Časový priebeh presadania presadavých sedimentov.



Obr. 4 Časový priebeh presadania presadavých sedimentov.

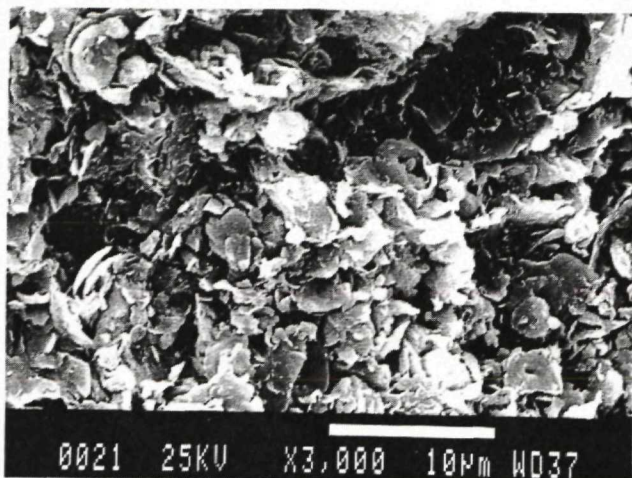
Ílovité spraše majú matricovú, skeletálno-matricovú až matricovo-laminárnu mikroštruktúru. Presadavé sú však iba tie, ktoré majú skeletálno-matricový typ mikroštruktúry (obr. 2d) (Klukanová, 1995). Fyzikálne vlastnosti týchto zemín sú v tab. 1. Na obr. 4 je priebeh presadania, stanovený laboratórnou skúškou v oedometri. Koeficient presadavosti dosiahol hodnotu 1,94 %. Sprašoidné sedimenty reprezentuje veľká skupina zemín s rôznym minerálnym a zrnitostným zložením. Niektoré fyzikálne vlastnosti sú v tab. 1. Ide o eolický materiál, ktorý bol resedimentovaný počas rôznych sekundárnych procesov (alochtonné sprašoidné sedimenty), alebo bol pozmenený in situ (autochtónne sprašoidné sedimenty), resp. neolický materiál, v ktorom prebehol proces zosprašovania. Namiesto zosprašovania často na nich prebiehal proces zahlinenia alebo oglejenia. Najdôležitejšie sekundárne

procesy, ktoré pôsobili pri resedimentácii, sú: deluviálne, fluviálne, proluviálne a eluviálne procesy, rôzne pedogenetické procesy, ako aj zmeny spôsobené kryoturbáciou. Sprašoidné sedimenty sa mohli vytvoriť buď z typických, piesčitých spraší, alebo ílovitých spraší. Ich pórovitosť je menšia ako v prípade pôvodného materiálu. Čo sa týka obsahu uhličitanov, je badateľná veľká zmena. Niektoré neobsahujú uhličitan. Líšia sa aj farebne. Náchylné na presadanie sú však iba tie, ktoré majú skeletálny a skeletálno-matricový typ mikroštruktúry (obr. 2e, f) (Klukanová, 1995).

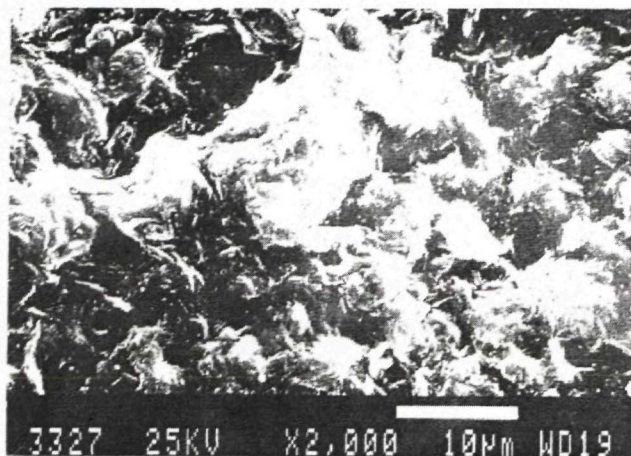
Objemovo nestále íly a ílovité zeminy

Podľa normy STN 72 1001 sa ako íl označujú jemnozrnné zeminy, v ktorých podstatnú časť tvorí tzv. ílovitá frakcia s veľkosťou zŕn menšou ako 2 μm . Íly a ílovce vzniknuté ich spevnením sú tvorené najmä ílovými minerálmi (kaolinit, hallozít, dompassit, antigorit, illit, mastelec, saponit, stevensit, vermikulit, montmorillonit, beidellit, palygorskít, alofán) a prísadami (kremeň, živce, sludy, rutíl, turmalín, amfibol, kalcit, opál, pyrit, oxidy Fe a Mn, organické zvyšky atď.). Napúčanie a plasticita sú vlastnosti ílových minerálov, ktoré závisia od typu väzby a typu medzivrstvového kationu. Najvýraznejšie napúčajú montmorillonitické íly s voštinovou mikroštruktúrou (obr. 5) (Klukanová et al., 1992), kde vymeniteľné kationy držia spolu základné vrstvy len elektrostatickými silami. Ióny sa v medzivrství hydratujú a v dôsledku toho íl napúča. Najväčšiu plasticitu majú montmorillonitové íly aktivované iónmi Na, kaolínové, beidellitové a hydrosľudové íly. Plasticitu zvyšujú aj humínové látky. Z hľadiska objemovej nestálosti najproblematickejšie sú bentonity a smektity. Ako príklad uvádzame ílové sedimenty Devínskej Novej Vsi a Lastoviec.

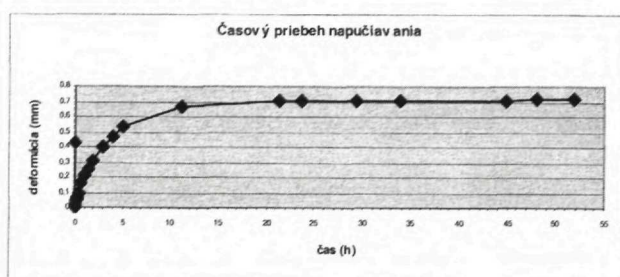
Laboratórnym stanovením napúčania získame indexovú hodnotu, ktorá nám umožní porovnávať jednotlivé zeminy z hľadiska ich schopnosti napúčať. Skúškou v podstate modelujeme proces prevlhčenia odkrytej horniny. Zvlášť pri odkrytí silno prekonsolidovaných ílovitých zemín (charakteru ílovitých bridlic, ílovcov) nastáva intenzívne



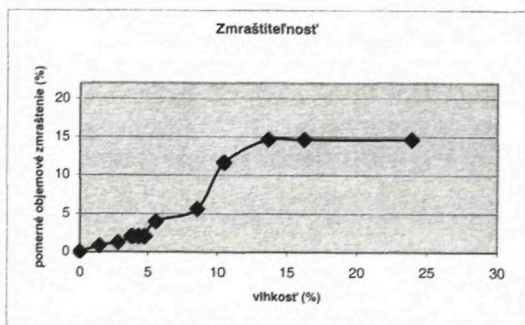
Obr. 5 Mikrograf voštinovej mikroštruktúry montmorillonitických ílov.



Obr. 6 Mikrograf vnútornej stavby zmrastenej zeminy.



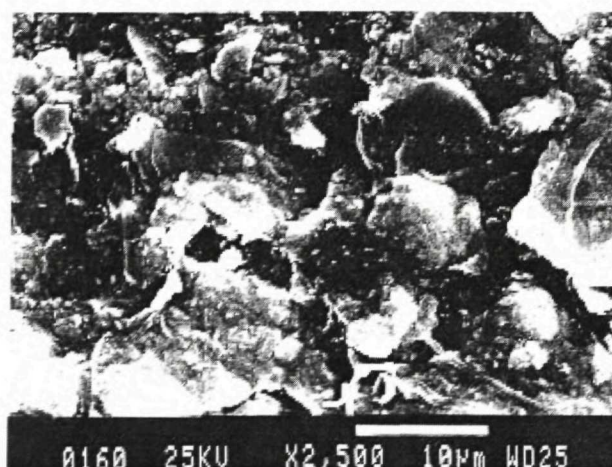
Obr. 7 Graf časového priebehu napučania vzorky ílu z Devínskej Novej Vsi.



Obr. 8 Časový priebeh zmrastovania vzorky ílu z Devínskej Novej Vsi.

nasávanie vzdušnej vlhkosti. Vzniká napúchací tlak, ktorý dosahuje hodnotu 150 kPa aj viac. Táto jednoduchá skúška nepriamo podáva informáciu o obsahu ílových minerálov v skúšanej hornine a veľmi orientačne aj o povahe týchto minerálov. Napučanie sa stupňuje v rade kaolinit – illit – montmorillonit. Podobne modelujeme aj procesy vysychania odkrytých zemín. Zmrašťovanie zemín ako jav, ktorý často spôsobuje poruchy stavieb, modelujeme laboratórnou skúškou zmrastovania na neporušených vzorkách. Hodnotia sa pritom ich zmeny v čase čo do množstva a veľkosti. Zmrašťovanie je dané nielen spôsobom konsolidácie, ale aj počiatočným stupňom nasýtenia. Na obr. 6 je mikrograf zobrazujúci vnútornú stavbu zmrastenej zeminy.

Na základe zrnitostných analýz môžeme povedať, že íly z Devínskej Novej Vsi sa vyznačujú vysokým obsahom



Obr. 9 Mikrograf zeminy s matricovým typom mikroštruktúry.



Obr. 10 Mikrograf zeminy s voštinovým typom mikroštruktúry.

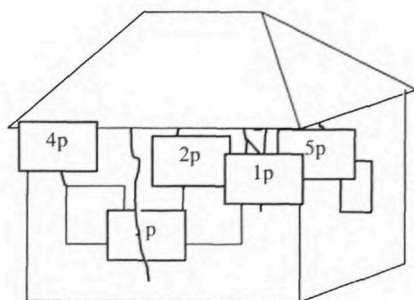
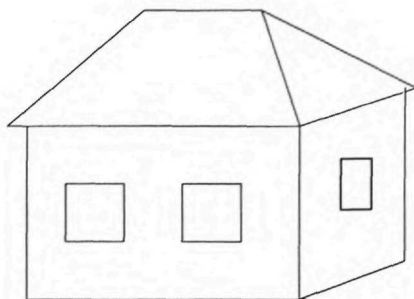
ílovej (43 – 50 %) a prachovitej frakcie (54 – 62 %) a nízkym obsahom piesčitej frakcie (4 – 10 %). Pre tento druh zemín je typická pomerne vysoká prirodzená vlhkosť. Pohybuje sa od 26 do 30,8 %. Schopnosť viazať vodu je závislá od obsahu ílových častíc, ktoré vďaka svojej povahe a veľkosti špecifického povrchu viažu prevažnú časť fyzikálne viazanej vody v zemine. Medza tekutosti ako citlivý ukazovateľ obsahu ílových minerálov

Poruchy na objektoch – záznamový list

Geomorfologická jednotka: **Gabčíkovská panva**

Okres **NZ** Obec **Bruty** Ulica Číslo **342** Druh objektu **rodinný dom**

Nákres – foto **22,23 K5**



Opis poruchy

Porušenie celého domu – neobývateľný, odlomenie pravej bočnej steny. Dom situovaný v blízkosti svahu, predpokladaná príčina. Podmývanie, konštrukčná chyba.

Hladina podzemnej vody

predpokladaná

navrtná – narazená:
ustálená: 5,3 m

Profil základovej pôdy

0,0 – 0,3 m – humusová pôda – ornica
0,3 – 4,2 m – stredne plastický íl, subjekt konzistencie s obsahom CaCO_3
4,2 – 6 m – stredne plastický íl bez obsahu CaCO_3

Spôsob založenia

podpivničený

Hĺbka **0,8 m**

Priebeh porúch

Dátum	Typ zmeny	Strana	Sklon	Šírka	Dĺžka	Príčina	Vplyv na okolie
2. 6. 1999	1 p	predná	90	15 cm	3 m	podmývanie	žiadny
	2 p	predná	90	0,2 cm	0,6 m		
	3 p	predná	90	0,2 cm	2,3 m		
	4 p	predná	70	0,2 cm	0,7 m		
	5 p	bočná	90	4 cm	0,7 m		

Obr. 11 Registračný list porušeného objektu.

je tiež vysoká (63,7 až 72 %). Podľa hodnoty medze tekutosti tieto zeminy klasifikujeme ako veľmi vysoko plastické, tuhej konzistencie. Fyzikálne vlastnosti sú v tab. 1. RTG a DTA analýzami sa stanovilo minerálne zloženie: illit, montmorillonit, kaolinit, kremeň, kalcit, málo dolomitu a živcov, ako aj organické látky. Na obr. 7 je graf časového priebehu napúčania vzorky. Časový priebeh zmršťovania je na obr. 8. Prevládajúcim typom mikroštruktúry je matricová (obr. 9) až voštinová mikroštruktúra (obr. 10). Montmorillonitový íl z lokality Lastovce je reprezentantom štruktúrne najnestálejších ílovitých zemín. Podľa zrnitostných analýz sa vyznačuje vysokým obsahom ílovej frakcie (58 – 65 %), obsah prachovitej frakcie je v rozmedzí 27 až 32 % a piesčitej 7 – 10 %. Prírodná vlhkosť sa pohybuje od 35 do 48 %, čo zodpovedá stupňu nasýtenia (S_r) 78 – 95 %. Medza tekutosti je vysoká a dosahuje priemernú hodnotu 85,02 %. Priemerná hodnota medze plasticity je 42,5 %. Niektoré fyzikálne vlastnosti sú v tab. 1. Prevládajúcim typom mikroštruktúry je voštinová mikroštruktúra (obr. 5).

Registrácia porušených objektov a príčiny porúch na objektoch

Pri registrovaní porušených objektov na území Východoslovenskej nížiny sa zistilo, že poruchy na objektoch nie sú zapríčinené len presadavosťou základových pôd, ale aj ich napúčaním a zmršťovaním. Preto sme podsystem monitorovania presadavých sedimentov v roku 1999 rozšírili na podsystem objemovo nestálych sedimentov. Registrácia sa vykonávala na území Podunajskej a Východoslovenskej nížiny do špeciálneho registračného listu. Na obr. 11 je vzor vyplneného registračného listu z oblasti dolného Hrona.

Na území Podunajskej nížiny boli registrované porušené objekty v 72 obciach, na území Východoslovenskej nížiny v 54 obciach. V ďalšom období predpokladáme štvrtú etapu registrácie v sledovaných obciach a novú registráciu v obci Kuzmice.

Príčiny porúch na objektoch

Deštrukcia podzákladia a deformácie objektov môžu nastať najmä:

- presadavosťou, ktorá vznikla prevlhčením podzákladia. V dôsledku toho zemina stráca pevnosť a vznikajú nadmerné a nerovnomerné sadania. Rozhodujúci podiel v tomto prípade má prevlhčenie vodou.
- rôznou veľkosťou a hmotnosťou plošných základových konštrukcií. Napätie pod väčšími konštrukciami sa prenáša do väčšej hĺbky a zasahuje aj staršie súvrstvia.
- dotatočným sadaním, keď vznikajú zmeny zaťaženia základovej pôdy. Deje sa to obyčajne pri prístavbe či postavení nového objektu v blízkosti staršieho.
- namŕzavosťou sedimentov a tým aj zmenou ich mechanických vlastností.
- zmršťovaním a napúčaním objemovo nestálych zemín, najmä vysoko plastických ílov.

To sú hlavné príčiny deformácií. Pri bližšom pohľade však zisťujeme, že popri týchto prioritných príčinách sú dôležité aj niektoré ďalšie, ktoré sú buď spolupôsobiacim, alebo rozhodujúcim činiteľom.

Veľkú časť deštrukcií na presadavých zeminách spôsobujú neodborné či nevedomé ľudské zásahy, napr. hĺbenie základov, neodborné odvedenie vody z odkvapových rúr, netesná podzemná kanalizácia či vodovodné potrubie. Hladký povrch kanálových rúr navyše slúži ako „privilegované“ cesty prúdiacej vody, ktorá na ich obvode môže vytvoriť aj podzemné priestory a kaverny. V dôsledku toho môže nastať prepadnutie územia. V menšej miere spôsobujú deštrukcie aj neodborne uskutočnené vrty, sondy a pod. Hlavné príčiny presadavosti sú vyvolané:

- zvýšením vlhkosti,
- zvýšením zaťaženia – statického či dynamického,
- zvýšením vlhkosti aj zaťaženia.

Zvýšenie vlhkosti

Voda môže vnikáť do základovej pôdy rôznymi spôsobmi:

- pri budovaní novej cesty,
- prasknutím či neinštalovaním odkvapovej rúry,
- zrážkovou vodou z vyššie položených svahov,
- haváriou vodovodného alebo kanalizačného potrubia,
- vybudovaním zavlažovacieho kanála v blízkosti stavebných diel,
- vyhlbením základovej jamy v susedstve budov.

Zvýšenie zaťaženia

Statické zaťaženie:

- prístavba objektu,
- koncentrácia zaťaženia preneseného z priľahlého objektu.

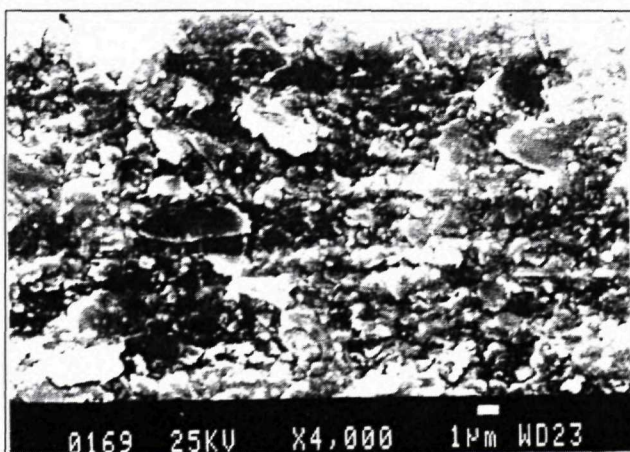
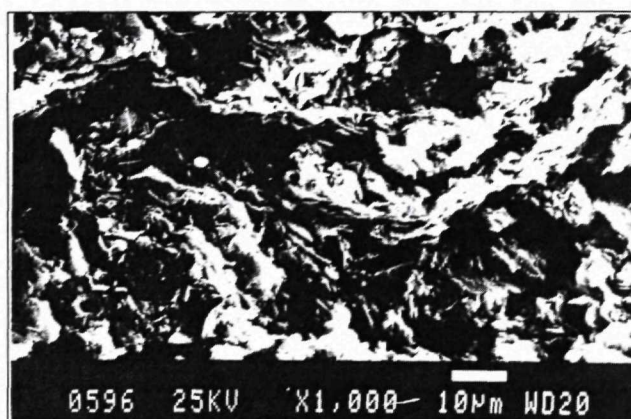
Dynamické zaťaženie:

- otrasy zo zvýšenej intenzity premávky.

Zmršťovanie objemovo nestálych zemín je najčastejšou príčinou vzniku trhlin na nízkopodlažných stavbách. Povrch terénu sa intenzívne vysušuje pôsobením slnka a v prípade nepodpivničených budov dochádza k zmršťovaniu a deformáciám základov a následne k nerovnomerným sadaniam a poruchám stavieb. Vysušovanie zemín môže nastávať aj v dôsledku odsávania vlhkosti zeminy koreňmi stromov. V prípade bentonitov pri strate vody sa postupne zblížujú štruktúrne vrstvy – nastáva zmršťovanie, pričom vznikajú povrchové napätia. Tie majú za následok „potrhanie povrchu“, ak ťahové napätia sú väčšie ako sily súdržnosti zeminy. Na povrchu územia vznikajú zmršťovacie trhliny hexagonálneho (voštinovitého) tvaru, ktorý najviac zodpovedá minimálnej práci pri pretváraní povrchu. Na obr. 12 je zmršťovanie ílových zemín v prírodných podmienkach. Rozmery a čiastočne aj tvar zmršťovacích puklín v zemi závisia od mnohých faktorov, najmä však od minerálneho zloženia bentonitu a od klimatických podmienok (teplota, zrážky atď.). Akékoľvek zmeny hneď spôsobujú zmenu vnútornej stavby, často aj zmenu typu mikroštruktúry. Pretvárne vlastnosti bentonitových ílov sú teda zložitými funkciami nielen napätia, veľkosti deformácie, rýchlosti pretvárania, ale aj vlhkosti, stupňa nasýtenia vodou, pórového tlaku a mnohých ďalších faktorov, najmä však času pôsobenia týchto faktorov na zeminu. Pri napúčaní bentonitov je povrch montmorillonitov výraz-



Obr. 12 Zmrašťovanie ílovej zeminy v prírodných podmienkach.



Obr. 13 Mikrografy zeminy.

a) v prirodzenom zložení, b) v deformovanej pošmykovej skúške.

ne hydratovaný, ich väzba je slabá a málo stabilná, a teda aj ich šmyková pevnosť je malá. Stačí malá zmena napätia a môže sa porušiť štruktúra týchto zemín. Častosť výskytu takýchto porušení je zrejme z registrácie porušených objektov, ktorá sa realizuje v rámci monitoringu objemovo nestálych zemín (Klukanová et al., 2000). Na obr. 13 sú mikrografy zeminy: a) v prirodzenom uložení, b) v deformovanej pošmykovej skúške.

Trhliny na budovách majú rôznu šírku, ktorá je závislá od deformačných podmienok. Šírka sa pohybovala od 5 mm do 200 mm. Vyčlenili sme 6 stupňov deštrukcií:

- pukliny do 5 mm, neaktívne,
- trhliny 5 – 10 mm, neaktívne,
- trhliny 10 – 30 mm, aktívne, oprava je žiaduca,
- trhliny 30 – 70 mm, aktívne, oprava je nutná,
- trhliny 70 – 150 mm, aktívne, hrozí deštrukcia,
- trhliny väčšie ako 150 mm, aktívne, nutná sanácia objektu, hrozí deštrukcia.

Najviac postihnuté boli okenné otvory, rohy obvodových stien, vstupné brány a portály.

Z uvedeného vyplýva, že hlavnou príčinou porúch na objektoch je infiltrácia vody do podzákladia objektov a s ňou súvisiace zhoršovanie vlastností, ako aj zníženie únosnosti základovej pôdy, nárast nerovnomerného sadania základov po preťažení podložia a možnosť presadnutia zeminy od zvislého napätia v prípade, keď zemina je nasýtená vodou na kritickú vlhkosť presadnutia w_{pr} . Preťaženie podložia vyvoláva vznik trhlín na budovách od lokálneho výskytu nadmerných šmykových napätí spôsobených v základoch i v nosných horných častiach budov. Môže ho zapríčiniť malá šírka plošných základov vlastnej budovy, prípadne koncentrácia zaťaženia preneseného z príslušného objektu napríklad so statickými účinkami z výškovej budovy alebo s dynamickými účinkami z cesty alebo železnice, po ktorej často, prípadne občasne intenzívne premávajú ťažkotnážne vozidlá.

Rozsah deformácií ovplyvňujú fyzikálno-mechanické vlastnosti zeminy a konštrukčných materiálov, hodnota a smer pôsobenia statickej a dynamickej hodnoty zaťaženia. Prvé trhliny základových a nosných konštrukcií vrchnej stavby budovy vznikajú v mieste, kde pôsobí maximálne šmykové napätie. Trhliny sú orientované v smere plochy pôsobenia tohto napätia a roztvárajú sa v smere kolmom na smer ich pôsobenia.

Pri určovaní vzniku trhlín sa pri návrhu a posudzovaní prierezov konštrukčných prvkov uplatňuje teória medzného stavu únosnosti a medzného stavu deformácie (pretvorenia), ako aj teória pružnosti a teória plasticity, čiže prechod najviac namáhaných prierezov konštrukcie z pružného do plastického správania materiálu. Popri uvedených faktoroch pôsobiacich na veľkosť deformácií a šírenie porúch rozhoduje aj časový faktor, v ktorom sa zaťažovací proces uskutočňuje. Je teda nutné zohľadniť reologické správanie konštrukčných materiálov i podložia, hľadať určujúce vzájomné vzťahy medzi časovo závislými veličinami a časovým faktorom, vyjadriť zákonitosti interakcie konštrukcií, základov a podložia v priebehu životnosti stavby.

Záver

Objemovo nestále zeminy tvoriace základovú pôdu sú z inžinierskogeologického hľadiska nebezpečné. V mnohých prípadoch vyvolávajú porušenie podzákladia a havárie základových konštrukcií alebo objektov postavených na nich. Preto objemovo nestále zeminy zaradujeme k nespoľahlivým základovým pôdam. Presadenie, zmrašťovanie a napúčanie sú vlastnosti zemín spôsobujúce objemovú nestabilitu vedúcu k nežiaducim zmenám základovej pôdy.

Návrh nevhodných metód zakladania v objemovo nestálych zeminách je často ovplyvnený nedostatočnou znalosťou fyzikálnych a mechanických vlastností zemín tvoriacich podzákladie alebo nedostatočnou znalosťou procesov a zmien v prírodnom prostredí.

Literatúra

- Bodiš, D., Rapant, S., Khun, M., Klukanová, A., Lexa, J., Mackových, D., Marsina, K., Pramuka, S. a Vozár, J.: Geochemický atlas Slovenskej republiky, časť VI: Riečne sedimenty. Bratislava, Ministerstvo životného prostredia SR, GS SR 1999. 146 s.
- Feda, J.: Základy mechaniky partikulárnych látok. Praha, Academia 1977. 348 s.
- Klukanová, A., Modlitba, I. a Iglárová, L.: Atlas mikroštruktúr zemín Východoslovenskej nížiny. Čiastková záverečná správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1992.
- Klukanová, A. a Frankovská, J.: Monitoring of collapsible soils in Slovakia. In: Slovak Geol. Mag. (Eds.: Klukanová, A. and Vozár, J.), Vol. 1, 1995, no. 3, pp. 179 – 190.
- Klukanová, A., Iglárová, L., Wagner, P., Ondrášik, M., Jánová, V., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Smolárová, H., Antal, J., Aycle, T., Cipciar, A., Danaňaj, I., Durmeková, T., Frankovská, J., Helma, J., Holzer, R., Jadroň, D., Jelínek, R., Kišová, M., Maas, P., Matejček, A., Míka, R., Labák, P., Letko, V., Liščák, P., Pauditš, P., Petro, L., Polaščinová, E., Rapant, S., Rozimant, K., Scherer, S., Slaninka, I., Socha, I., Vanko, J., Vybíral, V. a Záhorová, L.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, stav k 31. 12. 1999. Čiastková záverečná správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 2000.
- STN 73 100: Zakladanie stavieb. Základová pôda pod plošnými základmi.
- STN 83 8106: Skládkovanie odpadov. Tesnenie skládok, navrhovanie, zhotovovanie, kontrola, technické požiadavky.
- Terzaghi, K. a Peck, R. B.: Soil mechanics in engineering practice. New York, Wiley 1967. 730 s.

Volumetrically unstable soils and their properties

Summary

From engineering geological point of view, volumetrically unstable soils are very dangerous foundation soils. In many cases they cause damage of subsoil and foundation constructions or objects built on them. Therefore volumetrically unstable soils belong to unreliable foundation soils. Collapsibility, shrinkage and swelling are properties causing volumetric instability leading to changes of foundation soils.

Design of unsuitable foundation methods in volumetrically unstable soils is often influenced by inadequate information of physical and mechanical of soils creating subsoil, or by unsatisfactory knowledge of processes and changes of environment.

The article deals with the volumetrically unstable soils in Slovakia. A description and characterization of collapsible soils and swelling clays are given. Properties of volumetrically unstable soils such as collapsibility, swelling and shrinkage are very dangerous for foundations and environment. These properties cause damage of foundations, buildings and other geotechnical constructions.

Collapsible soils are divided into two groups: highly collapsible and collapsible soils. Their microstructure, engineering geological properties and process of collapse are described in the article.

The structure of two types of swelling soils from locality Lastovce and locality Devínska Nová Ves is given and process of swelling and shrinkage is analyzed. Monitoring of volumetrically unstable soils is focused on changes of properties of unstable soils in time and measurement of the size of fractures on the buildings.

Vplyv ťažby nerastov na životné prostredie

ALENA KLUKANOVÁ

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Abstract. The effect of mining activities on the environment in the Banská Štiavnica – Hodruša metal ore district and the Handlová – Cigeľ brown coal district are presented. Waters drained freely from the mines transport large amounts of toxic elements into surface stream which contaminate broader surroundings. Slope movements, landslides and other slope failures caused by subsurface mining are particularly dangerous in the Handlová – Cigeľ brown coal district.

Úvod

Slovensko je krajina, v ktorej sa banské aktivity tradujú už od stredoveku. Nadmerná exploatacia ložísk nerastných surovín, ich úprava a spracúvanie majú za následok výrazné zásahy do prírodného prostredia. O značné zhoršenie životného prostredia sa výrazne pričínilo najmä zvyšovanie ťažby a nekvalitné spôsoby úpravy. Útlm baníctva v posledných rokoch, predovšetkým rudného, zdanlivo zamedzil ďalším negatívnym dosahom na životné prostredie. Nie je to však celkom pravda, pretože pozostatky týchto činností budú ovplyvňovať naše životné prostredie ešte mnohé desaťročia. Nebezpečenstvo predstavujú aj oblasti so skončenou či prerušenou ťažbou. Medzi najvýraznejšie zmeny patria zmeny reliéfu, zmeny hydrogeologického režimu podzemných vôd, zmeny chemického zloženia pôd a vôd, degradácia pôd, vznik výsypiek, odvalov, odkalísk a prašný spád na rozsiahlych plochách v okolí ložísk a úpravárenských zariadení.

Medzi najväznejšie dôsledky ťažby patrí vytvorenie veľkých vydobytých priestorov v podzemí aj na povrchu. S tým sú spojené prejavy podrúbania – sadanie a prepádanie územia, vytváranie bezodtokových depresíí, aktivácia geodynamických javov, predovšetkým svahových deformácií. Ďalšími nepriaznivými dosahmi na životné prostredie sú: odvodňovanie horninových komplexov, zníženie výdatnosti využívaných zdrojov, vytvorenie veľkých vyrúbaných priestorov, či už na povrchu alebo v podzemí, nahromadenie veľkého množstva zostatkových materiálov s obsahom kontaminantov na haldách a odkaliskách. S tým súvisí kontaminácia povrchových a podzemných vôd. Do povrchových tokov sa z týchto zdrojov dostávajú nebezpečné látky v rozpustnom aj pevnom stave. Usadzujú sa v korytách potokov a postupne sa uvoľňujú, čo spôsobuje dlhodobé zvýšenie obsahu nežiaducich látok. Značné nebezpečenstvo spôsobuje najmä zvetrávanie sulfidov. Vtedy nastáva acidifikácia pôd

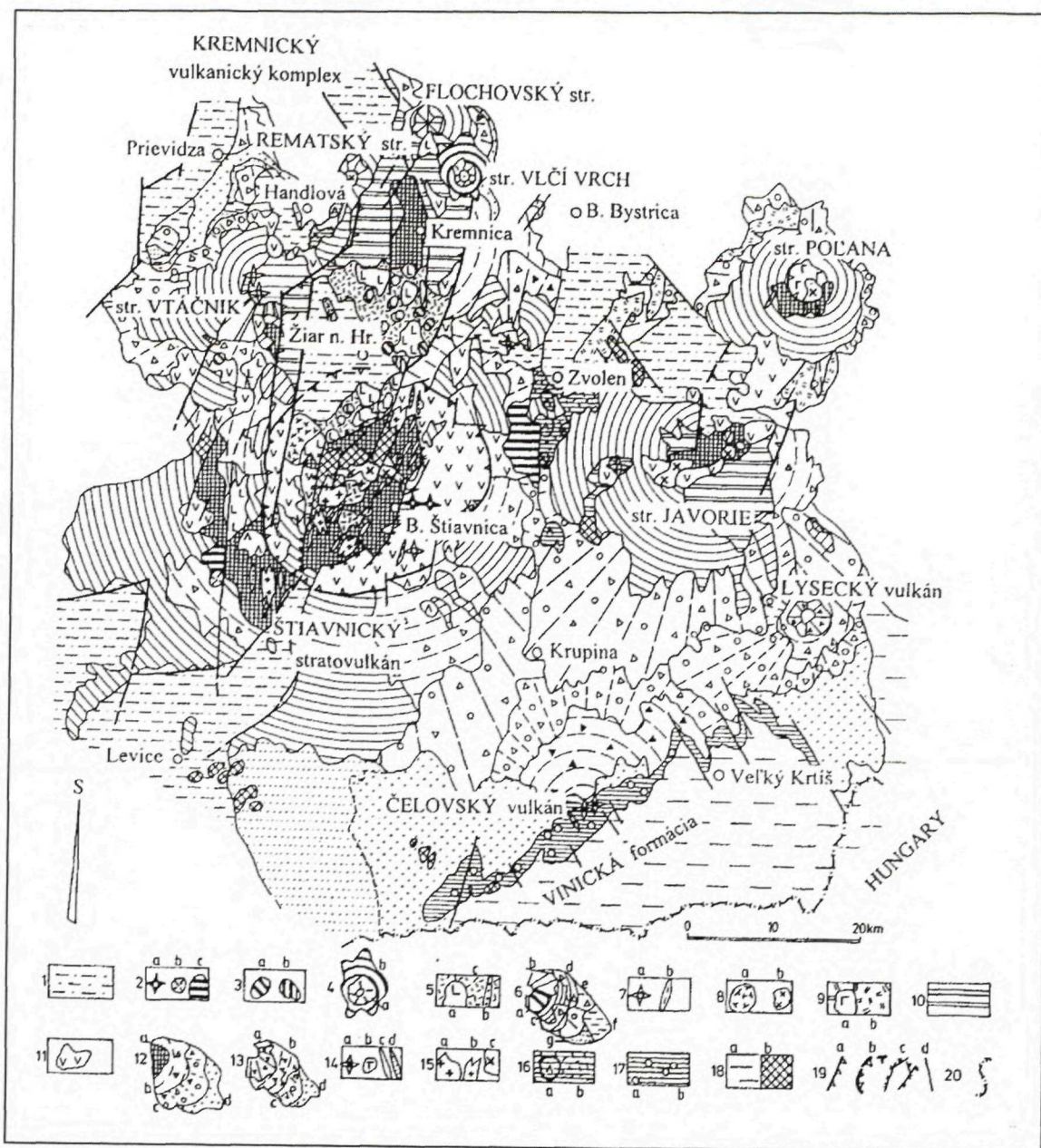
a vôd. Tieto prejavy možno pozorovať aj vo väčších vzdialenostiach od ložiskovej oblasti v aluviálnych náplavoch riek a potokov. Uvedené zmeny prebiehajú nepravidelne, v rôznych časových úsekoch po skončení ťažobnej činnosti, a ich negatívne vplyvy sa môžu prejavovať náhle a katastroficky. Možno ich preto označiť ako chemické časované bomby. Banskou činnosťou sa aj premiestňujú horniny z podzemia, mnohokrát s vyššou prírodnou rádioaktivitou. Vytekajúce banské vody môžu mať zvýšenú rádioaktivitu a aj to má vplyv na životné prostredie.

Negatívne vplyvy na životné prostredie spojené s ťažobnou a úpravárenskou činnosťou sú teda najmä:

- zmeny konfigurácie zemského povrchu v dôsledku vyťaženia a premiestnenia značného množstva horninového materiálu; sú spojené so vznikom puklín, trhlín, lievikov, poklesových a bezodtokových depresíí, s nerovnomerným sadaním, prepadaním, narušením stability horninových masívov a aktiváciou geodynamických javov,
- zmeny hydrogeologického režimu vôd v podrúbanom území a jeho širšom okolí,
- zmeny chemizmu vôd a pôd v okolí banských a úpravárenských prevádzok,
- kontaminácia povrchových a podzemných vôd a pôd z výluhov hald, odkalísk, výsypiek a odvalov a výtokov zo štôlní,
- narušenie stability hrádzí odkalísk,
- vznik prejavov hĺbkovej a plošnej erózie spojených s narušením vegetačného krytu na haldách a odkaliskách, ako aj pri povrchovej ťažbe nerastných surovín,
- poruchy na stavebných objektoch.

Metodika práce

Na základe poznania uvedených skutočností boli vybrané lokality na sledovanie. Vytypovali sa predovšetkým ložiská a ich širšie oblasti, kde vznikajú nebezpečné až havarijné situácie spôsobujúce veľké škody na majetku a zdraví obyvateľstva. Zamerali sme sa na zistenie východiskového stavu životného prostredia územia ovplyvneného ťažobnou činnosťou a na porovnanie parametrov pozadia a postihnutých oblastí. Sledovanie vplyvu banskej činnosti pozostávalo z týchto krokov:



Obr. 1 Štruktúrna schéma stredoslovenských neovulkanitov (panón až kvartér).

1 – sedimenty intravulkanických depresí, 2 – produkty vulkanizmu alkalických bazaltov: a) neky, b) troskový kužeľ, c) lávové prúdy a pokryvy; panón: 3 – lávové prúdy a sily afanitických bazaltov až bazaltických andezitov (a) a pyroxenických andezitov (b), 4 – stratovulkán porfyrických bazaltov až bazaltických andezitov: a) pyroklastický kužeľ, b) komplex lávových prúdov; stredný až vrchný sarmat: 5 – ryolitové vulkanity jastrabskej formácie: a) extrúziívne dómy a prúdy, b) dajky, c) vulkanoklastiká (najmä tufy); spodný až stredný sarmat: 6 – andezitové vulkanity: a) efuzívne kužele, b) stratovulkanické kužele, c) stratovulkanické komplexy proximálnej zóny, d) epiklastické vulkanické brekcie proximálnej zóny, e) epiklastické vulkanické brekcie a konglomeráty proximálnej až distálnej zóny, f) epiklastické pieskovce a konglomeráty distálnej zóny, g) tufitické sedimenty, 7 – andezitové neky (a) a dajky (b), 8 – extrúzie andezitov (a) a intrúzie dioritových porfýrov (b), 9 – ryodacitové vulkanity strelníckej formácie: a) extrúziívne dómy a prúdy, b) vulkanoklastiká (najmä tufy); vrchný bádén: 10 – andezitové efuzívne komplexy s hyaloklastitmi a freatickými pyroklastikami vo výplni grabenov, 11 – komplexy extrúziívnych dómov a prúdov diferencovaných andezitov vo výplni grabenov; spodný až vrchný bádén: 12 – andezitové stratovulkány: a) propylitizované komplexy andezitov a andezitových porfýrov, b) stratovulkanické komplexy proximálnej zóny, c) epiklastické vulkanické brekcie a konglomeráty proximálnej až distálnej zóny, d) epiklastické pieskovce a konglomeráty distálnej zóny, 13 – andezitové pyroklastické vulkány: a) pyroklastický kužeľ, b) pyroklastické komplexy proximálnej zóny, c) epiklastické brekcie a konglomeráty proximálnej až distálnej zóny, d) epiklastické vulkanické pieskovce a konglomeráty distálnej zóny, 14 – andezitové neky (a), sily krematodioritových porfýrov (b), dajky krematodioritových porfýrov (c), dajky andezitov (d), 15 – subvulkanické intrúzie: a) granodioritu, b) granodioritových porfýrov, c) dioritu a dioritových porfýrov; spodný bádén: 16 – komplexy andezitov s granátom v kontinentálnom prostredí: a) extrúziívne dómy, b) sprievodné brekcie, 17 – andezitové extrúziívne dómy (a) a vulkanoklastiká (b) vinickej formácie; podložie vulkanitov: 18 – a) sedimenty spodného miocénu, b) horniny mezozoika a kryštalinika; zlomy: 19 – a) okrajové zlomy vulkanotektonických grabenov, b) kalderové zlomy, c) okrajové zlomy vulkanotektonických hrastí, d) ostatné zlomy, 20 – štátna hranica s Maďarskom (podľa V. Konečného et al., 2001).

- zmeny kvality podzemných a povrchových vôd (kontaminácie bankskými vodami a výluhmi z hald a odkalísk),
- zmeny kvality aktívnych riečnych sedimentov,
- terénne zmeny vzniknuté podrúbaním, a to:
- vertikálne – poklesy, prepادلiská, javy spôsobujúce vznik močiarov, poruchy na stavbách,
- horizontálne – rôzne druhy povrchových deformácií.

V tomto príspevku hodnotíme vplyv ťažby na príklade oblasti štíavnicko-hodruškého rudného obvodu a handlovsko-cigeľského hnedouhoľného revíru.

Štíavnicko-hodrušký rudný obvod

Štíavnicko-hodrušký rudný obvod predstavuje jednu z najrozsiahlejších rudných oblastí na Slovensku s veľkým množstvom štôlní. Je situovaný v centrálnej zóne veľkého andezitového stratovulkánu, ktorý zahŕňa kalderu s mladším výzdvihom hrasti a rozsiahlym subvulkanickým komplexom (obr. 1). Rudnému obvodu dominuje rozsiahly systém drahokovových a polymetalických epitermálnych rudných žíl, skarnovo-porfýrové Cu ± Au mineralizácie, Mo mineralizácie, magnetitové skarny a bezrudné telesá sekundárnych kvarcítov sprevádzané rozsiahlou pyritizáciou (Onačila et al., 1995).

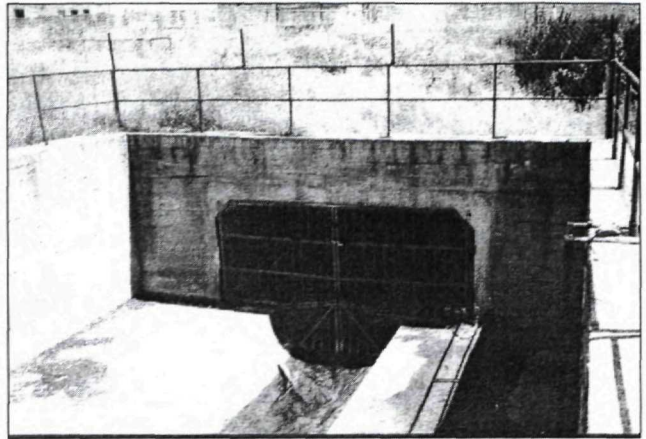
Prvé písomné zmienky o banskej činnosti v tejto oblasti sú známe z roku 1217. Ročná ťažba striebra vtedy dosiahla 600 kg. Maximálna produkcia drahých kovov z tejto oblasti bola dokumentovaná v roku 1740. Predstavovala 680 kg zlata a 25 830 kg striebra. Ťažba zlato-strieborných rúd pokračovala až do roku 1947. Na základe archivovaných údajov sa odhaduje, že celková produkcia drahých kovov predstavuje 80 t zlata a 4 000 t striebra. Ťažba polymetalických rúd rapídne vzrástla v 19. storočí pri otvorení hlbších častí rudných žíl a dominovala v 20. storočí. Celková produkcia polymetálov predstavovala približne 70 000 t zinku, 55 000 t olova a 8 000 t medi.

Takmer tisícročná banská činnosť je v súčasnosti prakticky skončená. Ťažba polymetalických rúd sa skončila v roku 1992. V posledných rokoch sú banské aktivity v tomto obvode zamerané na ťažbu zlata. Stáročia pretrvávajúca rozsiahla banská činnosť viedla nielen k vedeckému, technickému a kultúrnemu rozvoju, ale zanechala za sebou veľké množstvo hald, štôlní, odkalísk, porušených zón, prepادلísk a znečistené vody a pôdy. Nastali výrazné zmeny v kvalite životného prostredia. Medzi najpodstatnejšie patria zmeny hydrogeologických pomerov, kontaminácia prírodných vôd a sedimentov a zmeny povrchu územia spôsobené podrúbaním, či už priamo alebo nepriamo.

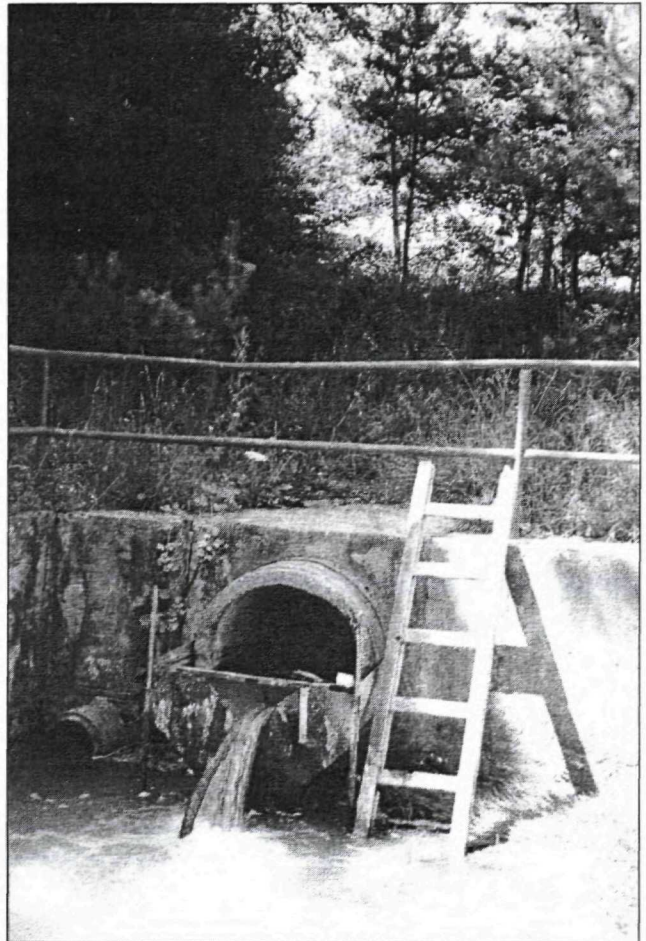
Vzhľadom na veľký historický význam daného územia bol v dňoch 27. – 29. 6. 2001 v Banskej Štíavnici usporiadaný zjazd Slovenskej geologickej spoločnosti. Pri tejto príležitosti bolo vydané špeciálne číslo časopisu *Mineralia Slovaca* (editori: Šimon, L., Konečný, V. a Lexa, J., 2001).

Vplyv banskej činnosti na prírodné vody

Vplyvom rozsiahlej banskej činnosti v celom revíre (viac než sto štôlní) nastali výrazné zmeny prírodného režimu podzemných a povrchových vôd – jeho značné od-



Obr. 2 Výtok z Novej odvodňovacej štôlne.



Obr. 3 Výtok z odkaliska v Hodruši.

vodnenie, pokles hladiny podzemných vôd, zánik prírodných prameňov a potokov a výrazný pokles prietochného množstva vo vodách povrchových tokov. Prakticky celý rudný revír odvodňuje Voznická dedičná štôlnia (VDŠ), ktorá drénuje prírodné vody oblasti do miestnej eróznej bázy – rieky Hron. Priemerné množstvo bankských vôd drénované VDŠ je okolo $250 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Výdatnosť ostatných štôlní, s výnimkou Novej odvodňovacej štôlne (NOŠ), len zriedkavo presahuje $10 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Časť z nich sa vodo-hospodársky využíva. Ich využitie je však často obmedzené zvýšeným obsahom kovov, najmä Fe, Mn, Al, Cd a iných.

Vplyv banskej činnosti na vodnú zložku prírodného prostredia, najmä jeho kontaminácia chemickými látkami prostredníctvom vystupujúcich banských vôd a banských sedimentov, sa sledoval v troch štôlniach – VDS, NOŠ (obr. 2) a štôlni Zlatý stôl – a v súčasnosti jedinom aktívnym odkaliskom v Hodruši (obr. 3).

Keď to prírodné pomery jednotlivých lokalít umožnili, odoberali sa vzorky vôd a aktívnych riečnych sedimentov v potoku nad a pod štôľňou či odkaliskom. Takto navrhnuté monitorovanie vôd umožnilo okrem charakterizovania banských vôd a sedimentov posúdiť vplyv znečistenia vynášaného vodami zo štôlní, resp. z odkaliska na prírodné prostredie. Vzorky vôd a sedimentov sa odoberali 3x ročne. Chemické analýzy vôd a sedimentov sa analyzovali štandardnými analytickými metódami v laboratóriu ŠGÚDŠ Bratislava.

Za prírodné podmienené chemické zloženie vôd a sedimentov možno považovať Hodrušský potok nad štôľňou Zlatý stôl. Ide tu o povrchovú vodu, nízko mineralizovanú, prechodného $A_2-S_2(SO_4)$ až nevýrazného $S_2(SO_4)$ typu, s mineralizáciou okolo $200 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Podzemná voda zo štôľne Zlatý stôl vytekajúca do Hodrušského potoka sa vyznačuje v priemere 4x vyššou mineralizáciou (nad $800 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Nárast spôsobujú najmä sírany a hydrogénuhličitaný alkálií a alkalických kovov. Z kovových prvkov pozorujeme približne o rád zvýšený obsah Fe, Mn a Al a približne 2 – 5x je zvýšený obsah zinku. Obsah ostatných toxických kovov je relatívne nízky a nepozorujeme pri nich výraznejší nárast. V Hodrušskom potoku pod štôľňou môžeme pozorovať vplyv vody zo štôlní, ktorý je úmerný pomeru miešania vôd (výdatnosť zo štôlní $5 - 10 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, prietok potoka 30 až $100 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$). Vidno to najmä na hodnote celkovej mineralizácie a síranov. Pozorujeme ich nárast približne o 30%. Z výsledkov chemických analýz sedimentov pozorujeme hlavné rozdiely, t. j. nárast v obsahu Mn, a to približne 20x, Fe približne 5 – 8x a menej aj v obsahu As, Hg a Co, približne 2 – 3x.

Vplyv odkaliska z Hodruše na vody v Hodrušskom potoku sa sledoval pod odkaliskom a nad odkaliskom. S výnimkou zvýšeného obsahu K (10x) celkovo spomedzi kovových prvkov pozorujeme len zvýšený obsah Fe a Mn (2 – 5-násobne). Obdobne aj v sedimentoch odkaliska pozorujeme mierny, nie však pravidelný nárast v obsahu Fe, Mn, K, Zn, Pb, Cu a Cr.

Najvyšší výnos chemických prvkov, makro- i mikrokomponentov, sme pozorovali vo vode z výtoku z VDS. Hodnoty celkovej mineralizácie v porovnaní s prírodným fónom oblasti sú v priemere 6x vyššie. Z makrokomponentov je najmarkantnejší nárast v prípade síranov (8x). Viac než 100-násobný je obsah Fe a Mn a najvyšší nárast, viac než 1 000-násobný, sme zistili v prípade Zn. Obsah Zn sa pohyboval od $2,7$ do $9,69 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Priemerný ročný výnos Zn vodami VDS je v súčasnosti okolo 75 ton. Približne o rád je zvýšený obsah prakticky všetkých sledovaných prvkov – Cu, As, Cd, Pb, Hg, Co a Ni. Ich obsah sa však rádovo pohybuje v stotínach až tisícinách $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Obdobne aj v prípade sedimentov najvyšší obsah sledovaných kovových prvkov sa zaznamenal v sedimentoch VDS. Z makrokomponentov v nich najväčší podiel predstavuje Fe, viac než 20%. Zo stopových toxických kovov tu bol najvýraznejšie akumulovaný Zn s približne 200x vyšším

obsahom, než je fónový (do 9%). V prípade Cd je obsah vyšší 100x a v prípade As, Sb, Co, Cu a Pb je vyšší 5 – 10x.

Približne trojnásobné hodnoty celkovej mineralizácie a obsahu síranov v porovnaní s prírodným fónom pozorujeme vo vode z NOŠ, a to aj pri jej vyústení a pri jej výtoku do Hrona. Zo stopových prvkov pozorujeme najvyšší nárast, obdobne ako vo VDS, v prípade Zn. Keďže voda z NOŠ tečie v regulovanom koryte bez výraznejšieho vplyvu okolitých vôd, vplyvom zmenených fyzikálno-chemických podmienok tu možno pozorovať pokles obsahu stopových prvkov. Aj keď rozdiely medzi jednotlivými porovnaniami nie sú vždy pravidelné, na dĺžke cca 1 000 m pozorujeme zníženie obsahu prakticky všetkých sledovaných toxických kovov približne o polovicu, hoci v základnom chemickom zložení vôd (makrokomponentoch) nepozorujeme prakticky žiadne rozdiely. O veľmi rýchlom vypadávaní kovov z kvapalnej fázy svedčia relatívne vysoké rozdiely v sedimentoch pri ústí NOŠ a v mieste vyústenie do Hrona. Tam sa zistil najväčší pokles hodnôt – v prípade Mn (cca 100x), Zn, Sb, Cd a Co (10x) a Cu, Pb a Fe približne 2x (Rapant in Klukanová et al., 1988).

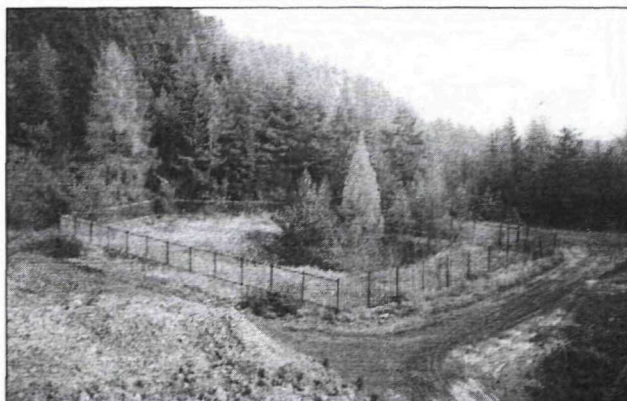
Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že banské vody lokality vynášajú chemické prvky v koncentrácii väčšinou mnohonásobne prevyšujúcej ich prírodné podmienený obsah. Z hľadiska makro-, ale aj mikrokomponentov je geochemický režim počas sledovania relatívne stabilný.

Vplyv banskej činnosti na povrch územia

O prejavoch podrúbania na povrchu územia, resp. jeho účinkoch na povrchové objekty nie je veľa dokladov. Chýbajú najmä historické údaje. Z ústneho podania obyvateľstva je známych viacero prípadov porušenia budov v minulosti. Boli registrované poruchy na objektoch (najmä v oblasti Štiavnických Baní, Banskej Belej a v Banskej Štiavnici). Pri mnohých poruchách však priamou príčinou nie je len podrúbanie, ale kombinácia prírodných a antropogénnych faktorov. Faktor podrúbania je len jeden z nich. Podľa hĺbky podrúbania sú vymedzené tri kategórie územných celkov: I. kategória 70 až 120 m, II. kategória 40 – 70 m, III. kategória 0 – 40 m (Vereš a Bayer in Vlčko, 1992). Z hľadiska inžinierskeho využitia územia a z hľadiska stability povrchových objektov je najdôležitejšia III. kategória – oblasť veľmi nebezpečná pre povrchové objekty. Je zaregistrovaných 80 porušených objektov. Niektoré objekty sú zbúrané, niektoré sú opravené. Jednoznačný vplyv banskej činnosti však nie je možné preukázať.

Významné sú aktívne prejavy subsidencie povrchu územia, napr. na žile Terézia. Vplyvom zrútenia stropov banského diela vedeného v blízkosti povrchu územia tam došlo k tragickej udalosti. Podobný jav sme pozorovali aj tristo metrov jv. od rybníka Ottergrund, ako aj na komunikácii vedúcej od rybníka Červená studňa smerom k rybníku Ottergrund. V týchto miestach permanentne vznikajú poklesy, ktoré sú dôsledkom banskej činnosti v plytkých horizontoch podrúbania. Na obr. 4 je prepaldisko po starej šachte pod štôľňou Weiden. Na obr. 5 je terénna trhlina nad žilou Terézia pod Tanádom.

Vážnym problémom sú antropogénne sedimenty, ktoré vytvárajú nesúvislé až nevýrazné akumulčné formy starých banských hald a výsypiek dosahujúce niekoľko desiatok metrov (obr. 6). Materiál hald je značne rôznorodý. Prevažujú ostrohranné úlomky vulkanických hornín rôzneho petrografického zloženia. Úlomky na haldách sú značne navetrané. Uľahnutosť hald je rôzna.



Obr. 4 Prepadlisko pod štôľňou Weiden.

Významné geodynamické javy oblasti

V súvislosti s možnými prejavmi banskej činnosti a jej identifikáciou je potrebné poznať aj rozvoj geodynamických javov v širšom okolí. Ide predovšetkým o svahové pohyby, eróziu, procesy alterácie hornín a s ňou súvisiace objemové zmeny, ako aj zmeny vlastností.

V štiavnicko-hodrušskej oblasti sú zosuvy charakteristické pre oblasti intenzívnych hydrotermálnych premien. Tam vznikli argilitizované zóny (Pivovarská dolina, svahy nad Dolným a Horným Hodrušským rybníkom, s. svah pod Kalváriou pri Banskej Štiavnici). Pri Banskej Štiavnici v podloží komplexu efuzívnych hornín sú vyvinuté vulkanosedimentárne komplexy (tzv. červenostudnianske súvrstvie) a v rámci efuzív sú vyvinuté (vertikálne i laterálne) rozsiahle pásma degradovaných hornín typu argilitov. Oba typy geologickej štruktúry sú predpokladom vývoja svahových deformácií blokového typu. Vyskytujú sa v blízkosti Cukmantla, na úpäť Paradajsu a na západných svahoch Šobova. Z typologického hľadiska vývoja svahových deformácií blokového typu môžeme hovoriť o iniciálnom štádiu vývoja blokových polí. Reprezentujú ich morfológicky výrazné separované bloky vulkanických hornín. Veľkosť blokov je 100 až 150 m, hrúbka asi 12 m. V predpolí separovaných blokov sú vyvinuté zosuvy, v ktorých „plávajú“ bloky vulkanických hornín prekryté ťlovitou hlinou v hrúbke 2 – 4 m. Najväčší plošný a jediný aktívny zosuv s dĺžkou takmer 1 km a šírkou 400 m je na S od Kalvárie. Ďalší výrazný plošný, dočasne pokojný zosuv je na západných svahoch Šobova. Jeho šírka je takmer 800 m, dĺžka 400 m, hrúbka zosunutých mäs je asi 15 – 20 m. Šmykové plochy sú veľmi nezreteľné. Podobný charakter má aj zosuv na východných svahoch Cukmantla. Na styku oboch opísaných zosuvov je vyvinuté pásmo povrchového plazenia svahových (deluviálnych) hlien. Hrúbka gravitačne posunutých mäs je asi 2 – 4 m. Podobný charakter má aj nevýrazné pásmo posunu svahovín (typu plazenia) nad kótou



Obr. 5 Terénna trhlina nad žilou Terézia pod Tanádom.



Obr. 6 Banské haldy.

Špitálske, 300 m z. od sídliska Drieňová. Bezprostrednou príčinou vzniku zosuvných procesov, najmä iniciálneho štádia vývoja blokových polí, je tak neotektonický režim spojený s rozvojom riečnej siete a s formovaním dolín, ako aj silná degradácia podložných vulkanických hornín.

Najvhodnejšie podmienky na rozvoj výmoľovej a plošnej erózie tejto oblasti sú v tých častiach územia, kde sú svahy tvorené málo priepustnými horninami s nízkou odolnosťou proti rozmývaniu tečúcou vodou. Sú to predovšetkým zeminy eluviálno-deluviálneho charakteru, silno degradované amfibolicko-biotitické andezity a pásma s vývojom argilitov, prípadne vulkanosedimentárnych hornín. Sústredený povrchový odtok ako prvo-

radý faktor vzniku výmolinej erózie je v študovanom území podmienený sčasti tektonicky, sčasti činnosťou človeka.

Pri výdatných zrážkach v centrálnej mestskej zóne Banskej Štiavnice je intenzívny plošný splach z príľahých svahov. Materiál sa kumuluje v najnižšie položených častiach územia a po dehydratácii spôsobuje prašnosť. Plošná erózia vzniká v dôsledku nesprávne orientovanej a nedostatočne funkčnej kanalizačnej siete a v dôsledku nesprávneho trasovania (smerovo i sklonovo) komunikácií. Svoju úlohu zohráva aj intenzívne asfaltovanie komunikácií bez kanalizačnej siete v morfológicky exponovanej časti územia, čo podmieňuje zvýšenú rýchlosť povrchovej vody a iniciuje rozvoj plošnej erózie.

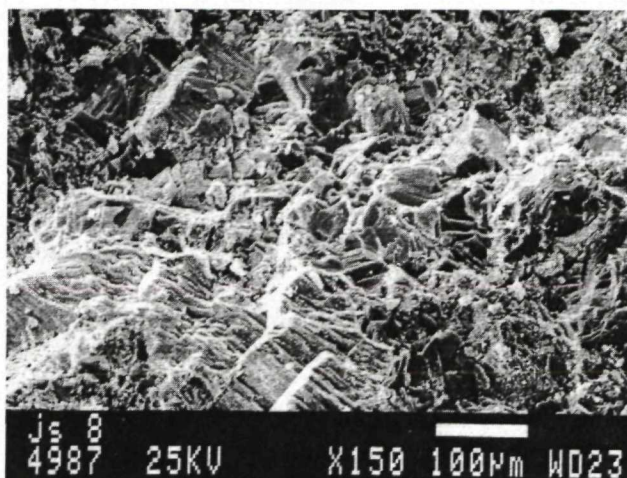
Pod pojmom alterácia hornín rozumieme všetky typy regresívnych zmien hornín (okrem metamorfózy). Postihuje takmer všetky neovulkanické horninové komplexy. Najrozšírenejšie typy hydrotermálnej premeny sú propylitizácia, argilitizácia, karbonatizácia a pod. Alterácia vulkanických hornín spôsobuje zníženie kvality základovej pôdy. Kvalitný stavebný materiál nadobúda z hľadiska použiteľnosti odlišné vlastnosti. Silno alterované typy hornín charakteru argilitov pri styku s vodou nadobúdajú charakter vysoko plastických hĺn. Uvedené horniny po odkrytí veľmi rýchlo zvetrávajú, pri styku s vodou napúčajú, rozbahňujú sa a strácajú pevnosť. Pevnosť sa pohybuje od 150 MPa (zdravý andezit) po 1,5 MPa (argilit). Po vysušení sa zmrašťujú a na ich povrchu vznikajú hlboké praskliny. Tie uľahčujú prístup vode a vzduchu hlbšie do masívu. Na obr. 7 sú mikrofotografie vnútornej stavby zdravého (a), navetraného (b) a argilitizovaného andezitu (c).

Handlovsko-cigeľský hnedouhoľný revír

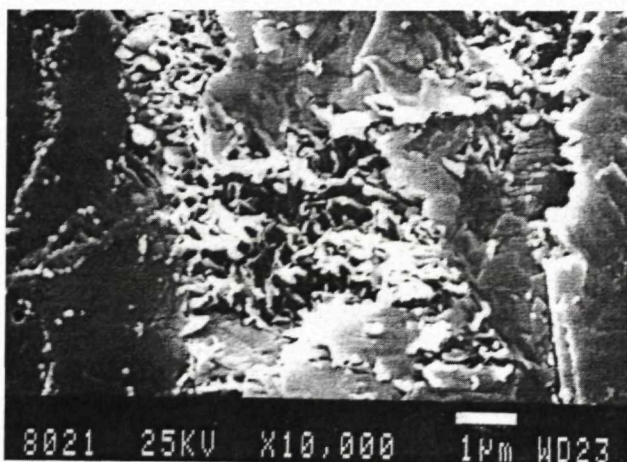
Kvalitné hnedé uhlie na handlovskom ložisku začali v malom množstve ťažiť už koncom 18. storočia. Až v roku 1900 však bojnický gróf Pálffy dal urobiť podrobnejší geologický prieskum. V roku 1909 vznikla Západoeurópska kamenouhoľná banská účastinná spoločnosť, ktorá sa rozhodla postaviť v Handlovej ťažobný závod s projektovanou kapacitou 600 000 ton uhlia za rok. Projektu sa ťažba priblížila v roku 1935. Maximálna ťažba bola v roku 1977, a to 1 672 131 ton. V rokoch 1995 až 1997 dosahovala hodnotu 886 000 – 891 000 ton.

Baňa Cigeľ je najmladšia. Začala sa budovať v roku 1957 s cieľom exploatacie uhoľných zásob časti handlovského ložiska v katastri obce Cigeľ na základe potreby zvyšovania ťažby uhlia na Slovensku. Prvé tony sa vyťažili v roku 1962, maximum v roku 1979 v objeme 2 095 000 ton. Ťažba za roky 1995 – 1997 sa pohybovala v rozmedzí 866 000 až 922 000 ton.

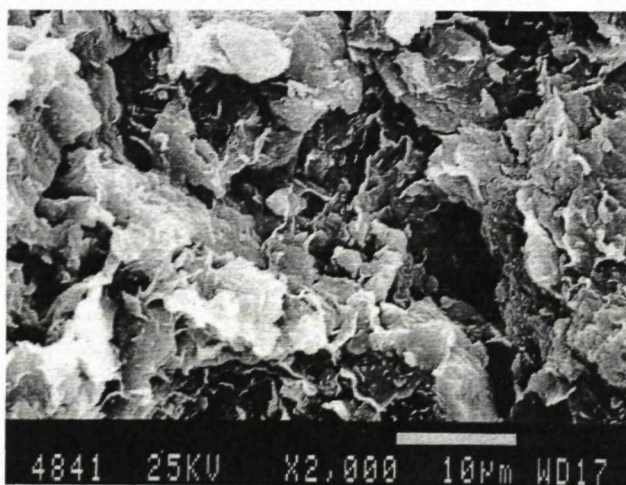
Ťažobný priestor patrí do oblasti Slovenského stredohoria. Tvoria ho dve navzájom odlišné morfológické jednotky: vulkanické pohorie Vtáčnik a Hornonitrianska kotlina (Mazúr a Lukniš, 1980). Vulkanity Vtáčnika reprezentujú relikt sarmatského vtáčnického stratovulkánu, ktorý je v nadloží rozptýlených vulkanitov a vulkanicko-sedimentárnych súvrství bádenu až spodného sarmatu, nadväzujúcich na výplň Hornonitrianskej kotliny. Súčasťou kotliny je Handlovská kotlina a bojnický paleogén. Paleogén predstavuje podložie molasovej výpl-



Obr. 7a Vnútorná stavba zdravého andezitu.



Obr. 7b Vnútorná stavba navetraného andezitu.



Obr. 7c Vnútorná stavba zvetraného andezitu – rozpadnutého až na argilit.

ne kotliny. Súčasťou výplne sú handlovské a novácke uhľonosné vrstvy. Geologická stavba územia je pomerne komplikovaná v dôsledku zlomovej tektoniky a je charakterizovaná neogénnou hrast'ovo-prepadlinovou stavbou. Zlomy s veľkou vertikálnou amplitúdou rozčleňujú región na hlavné bloky, zvyčajne naklonené (rotované), ktoré sú zlomami s menšou vertikálnou amplitúdou ďalej rozčlenené na segmenty (Šimon et al., 1997).

Banská činnosť výrazne ovplyvnila prírodný hydrogeologický režim oblasti. Na jednej strane sa zaznamenali prejavy odvodňovania a na druhej strane sa na životnom prostredí nepriaznivo prejavuje aj produkcia banských vôd.

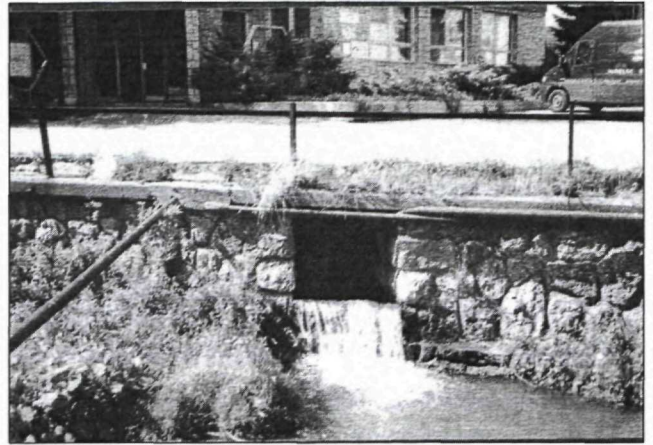
Z hľadiska bezpečnosti ťažby uhlia je nevyhnutné bane odvodňovať. Úroveň odvodňovania na základe priemerných prítokov v roku 1997 dosiahla v Bani Cigel' 159,6 l . s⁻¹ a v Bani Handlová 141,8 l . s⁻¹. V roku 1962 táto úroveň bola len 11,2 l . s⁻¹ (Baňa Cigel'), resp. 43 l . s⁻¹ (Baňa Handlová) (Lauková et al., 1998). Vplyvom odvodňovania výrazne poklesla hladina podzemných vôd, o 50 – 150 m, a znížil sa aj prietok povrchových tokov. Týka sa to najmä potoka Moštenica, Krivého potoka, potoka Ťakov a Ciglianka, pričom Krivý potok a Ciglianka sú v súčasnosti dlhšiu časť roka suché a do Ciglianky, Moštenice a Krivého potoka sa vypúšťajú banské vody. V prípade Krivého potoka sa banskou vodou nahrádza strata vody v potoku spôsobená banskou činnosťou. Časť banských vôd sa využíva pri mokrej úprave uhlia. Ide o banskú vodu, ktorá vyteká z podzemia Hlavnou štôľňou (v roku 1997 to bolo 237 017 m³) a vypúšťajú sa cez odkalisko pod závodom Bane Cigel'.

Vplyv banskej činnosti na prírodné vody

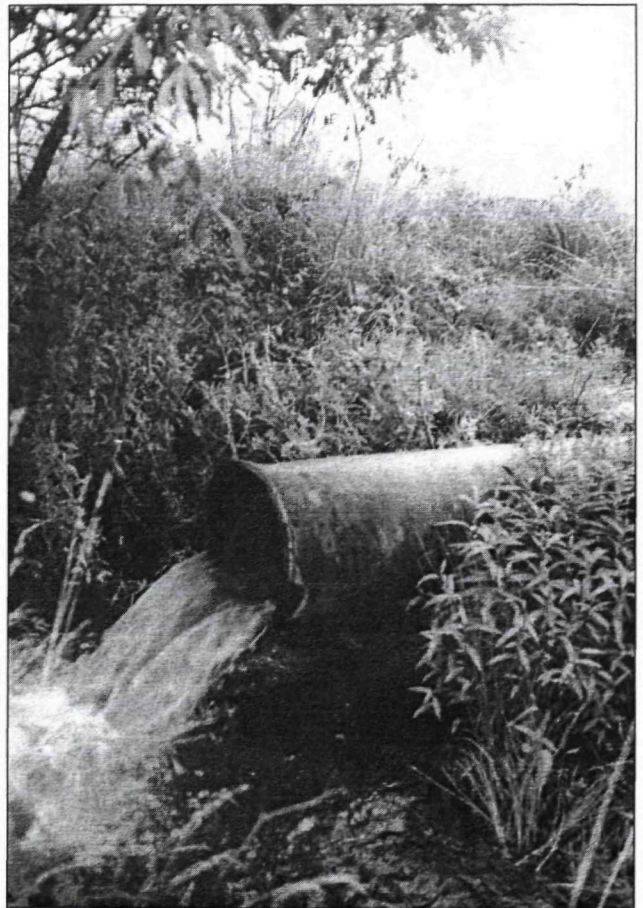
Vplyv banskej činnosti na kvalitu prírodných vôd sa sledoval v štyroch ústiach banských štôľní, a to prostredníctvom vzoriek vôd a sedimentov. Vzorky sa odoberali 3x ročne rovnakou metódou ako v štiavnicko-hodrušskom rudnom obvode. Vzorky sa odoberali z výtokov zo štôľní a z povrchových vôd nad vyústením (cca 1 km) a pod (cca 1 km) vyústením štôľní.

Na území Bane Cigel' sa sledovala Hlavná štôľňa, ktorá ústí pri závode Cigel'. Podľa meraní Bane Cigel' jej priemerná výdatnosť v roku 1997 bola 80,21 l . s⁻¹ a výdatnosť potoka nad Hlavnou štôľňou cca 0,5 – 5 l . s⁻¹. Sledovala sa aj odvodňovacia štôľňa 921-0, ktorá ústí v Malej Lehote, s priemernou výdatnosťou v roku 1997 65,44 l . s⁻¹ a potok cca 1 000 m pod ústím štôľne s priemernou výdatnosťou 80 – 150 l . s⁻¹. Na území Bane Handlová sa sledovala štôľňa, ktorá ústí v Handlovej pri Rybe (obr. 8) (priemerná výdatnosť za rok 1997 bola 15 l . s⁻¹), a rieka Handlovka nad štôľňou a cca 2 500 m pod štôľňou. Skúmala sa aj štôľňa v Hlbokej doline (obr. 9) (výdatnosť 2 – 3 l . s⁻¹) a potok Hlboké cca 1 000 m pod vyústením štôľne, kde tiekla prakticky len voda z vyústenia štôľne. Ako prírodný fón oblasti neovplyvnený banskou činnosťou slúži monitorovací bod v potoku nad Hlavnou štôľňou.

Chemické analýzy vôd a sedimentov sa analyzovali štandardnými analytickými metódami v laboratóriu ŠGÚDŠ Bratislava. Na základe chemických analýz vôd a sedimentov možno konštatovať, že v prípade Hlavnej štôľne pod závodom Cigel' v porovnaní s povrchovou vodou v potoku nad štôľňou pozorujeme nárast hodnôt celkovej mineralizácie v priemere o 150 – 200 mg . l⁻¹. Je spôsobený najmä nárastom obsahu síranov. Tento trend čiastočne pozorujeme aj v potoku pod štôľňou, kde však už prestupujú aj vody z odkaliska. Najvyšší nárast vidno v obsahu železa (z desiatín až stotín mg . l⁻¹ až na mg . l⁻¹).



Obr. 8 Výtok z banskej štôľne v Handlovej.



Obr. 9 Výtok zo štôľne Baňa Cigel' v Hlbokej doline.

Podobne je to aj v prípade obsahu mangánu. Z toxických kovov je vo vodách zo štôľne približne 10-násobný obsah As (rádovo stotiny mg . l⁻¹) a kadmia (rádovo tisícinny mg . l⁻¹). Obsah ostatných toxických kovov je zvýšený len mierne. Spomedzi toxických prvkov je v banských sedimentoch v porovnaní s referenčnými hodnotami najvýraznejšie zvýšený obsah S a As (do 10x), Fe a Ni (3x) a približne dvojnásobne je zvýšený obsah Zn, Cu, Cd a Cr. Voda v štôľni v Malej Lehote mala 3 – 4-krát vyššiu hodnotu celkovej mineralizácie – nad 2 000 mg . l⁻¹. Zapríčinil to najmä nárast obsahu síranov (5 – 10x) s maximálnou hodnotou 893 mg . l⁻¹ a tomu zodpovedajúci nárast prítomnosti alkálií (3 – 4x) a alkalických kovov (2x).

Hodnoty pH tejto vody vyjadrujú jej kyslosť. V bode cca 1 km pod štôľňou sa prejavuje čiastočná neutralizácia týchto vôd (pH väčšinou nad 7), síranový typ vôd však pretrváva. Pre tieto vody je charakteristický zvýšený obsah chloridov a dusičnanov. To však môže mať súvis so skládkou TKO nachádzajúcou sa v danej oblasti. Z obsahu toxických kovov vidno len mierny pokles obsahu prakticky všetkých sledovaných prvkov. Podobný trend, približne polovičný pokles obsahu (najmä v prípade Mn, Ni, Co, As a S), je zrejmy aj v sedimentoch. Aj vo vodách systému štôľní ústiacich pri Rybe sa zaznamenali najvyššie hodnoty celkovej mineralizácie v porovnaní s vodami rieky Handlovky. Keďže však rieka Handlovka je antropogénne kontaminovaná, je ťažké určiť podiel kontaminácie spôsobený banskou činnosťou. Vody vytekajúce zo štôľne sa opäť vyznačujú zvýšeným obsahom síranov, NH_4 , Fe, Mn, Al a zo stopových prvkov najmä As. V sedimentoch zo štôľne v porovnaní so sedimentmi v rieke Handlovke sa zistil približne 2–3-násobne vyšší obsah Fe, Pb, Zn, Cu, As a S.

Výsledky chemickej analýzy vody v systéme štôľne ústiacej v Malej Lehote a v potoku pod štôľňou v Hlbokej doline sú podobné. Priemerná mineralizácia týchto vôd ($600 - 700 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) je približne o tretinu vyššia a v prípade síranov viac než dvojnásobná ($200 - 300 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) ako prírodne podmienené hodnoty. Z kovových prvkov sú zvýšené hodnoty obsahu Fe a Mn a zo stopových prvkov najmä As. V sedimentoch z potoka v porovnaní s banskými sedimentmi sa opäť zaznamenal približne polovičný pokles obsahu prakticky všetkých sledovaných toxických kovov, najmä Fe, Mn, Co, Pb, Zn, V, As, a S.

Na základe vyhodnotenia chemickeho zloženia podzemných vôd z cigel'sko-handlovského banského revíru môžeme konštatovať, že vody vytekajúce z baní sa vyznačujú výrazným nárastom hodnôt celkovej mineralizácie. V porovnaní s prírodne podmieneným obsahom je často až niekoľkonásobný. Tento nárast je spôsobený najmä zvýšením podielu síranov. Z kovových prvkov je markantne zvýšený najmä obsah Fe, Mn a Al, a to v priemere o 1 rád. Spomedzi toxických prvkov je to najmä obsah As (Rapant in Klukanová et al., 1998).

Vplyv banskej činnosti na povrch územia

Územie handlovsko-cigel'ského hnedouhoľného revíru je porušené sústavou poklesov založených na poruchách gravitačno-tektonického pôvodu. V dôsledku priaznivej geologickej stavby, fyzikálno-mechanických vlastností hornín a vhodných hydrogeologických pomerov vznikla na svahoch Vtáčnika typická gravitačná deformačná štruktúra. V nej ležia relatívne rigidné vulkanické horniny na relatívne plastických ílovitých a slienitých sedimentárnych a vulkanicko-sedimentárnych horninách paleogénneho až neogénneho veku (obr. 10a, b). Na túto štruktúru sú viazané svahové gravitačné pohyby rôzneho charakteru, veku, vývojového štádia a rôznej aktivity. Vznik a vývoj svahových deformácií je výrazne ovplyvnený aj podzemnou ťažbou uhlia. Medzi gravitačnými deformáciami svahov a ťažbou uhlia vzniká komplikovaná vzájomná väzba. Na jednej strane gravitačné poruchy vplývajú na ťažbu uhlia, na druhej strane ťažba aktivuje už existujúce svahové deformácie.

Uhoľné sloje dosahujú hrúbku 2 – 12 m a po vyťažení priestoru nastáva jeho pozvoľné zavalovanie. Sprievodným javom tohto procesu sú deformácie na povrchu územia. Závalové procesy nemajú pravidelný priebeh. Na starých šmykových plochách sa nadmerne koncentruje napätie, ktoré často vyvoláva havárie nielen na stenových poruboch, ale aj na základných horizontálnych banských dielach. Extrémny tlak vo vyťažovaných priestoroch zodpovedá extrémnym rozmerom vyvolaných svahových pohybov. Zníženie tlakových prejavov je preto možné len vhodne voleným postupom ťažby. Možno očakávať, že v prípade postupu ťažby z centra Vtáčnika smerom k jeho okraju sa budú podmienky ťažby na nižšie položených kryhách zlepšovať. Poklesom nadložia na vyššie položených svahoch sa zredukuje horizontálne napätie a tým sa aj celkove zmierni tlak vo vyťažovaných priestoroch na nižšie položených kryhách (Malgot a Baliak, 1991).

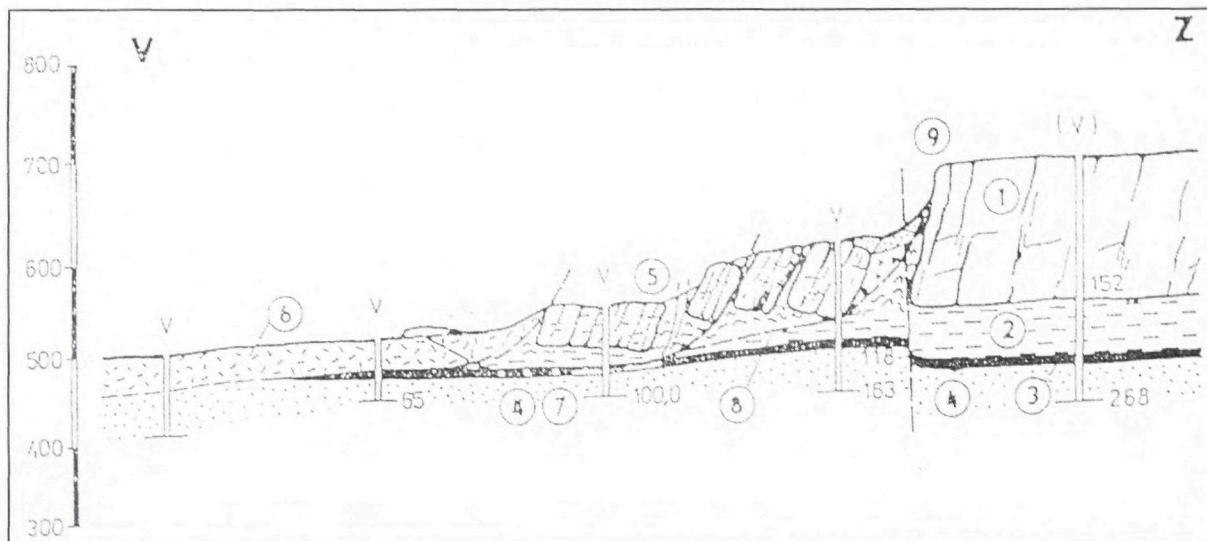
Aktivácia pohybov gravitačných porúch vyvolaná vplyvom ťažby závisí aj od priestorového usporiadania medzi postupom ťažby uhlia a sklonom svahov. Ak je podrúbaná päta svahu, nastáva najintenzívnejšie a najrozsiahlejšie porušenie povrchu (Malgot et al., 1973). Svahové pohyby vyvolané podrúbaním sa odlišujú od prirodzených zosuvov. Pohyb je pomerne rýchlo spomalený odporom zosadnutej časti, ktorá sa postupne mobilizuje ako pasívna časť zosuvu. Výslednému zosuvu zvyčajne chýba akumulácia. Takýto zosuv v roku 1978 zničil časť obce Podhradie. Pri ťažbe v horných častiach svahov je rozsah vyvolaných pohybov na povrchu podstatne menší. Pri podrúbaní miernych svahov sa takmer plasticky prehnú povrchové vrstvy a vzniknú väčšie ploché, nedokonalé drénované depresie. Iba ojedinele sa na povrchu prejavujú výraznejšie trhliny (obr. 11a, b).

Z hľadiska ďalšieho rozvoja svahových pohybov sú nebezpečné sekundárne vplyvy podrúbania ako napr. postupná degradácia vlastností zemín tvoriacich teleso zosuvu. Zeminy sa pohybom nakypria, sú porušené trhlínami a namáhané dlhodobo pôsobiacimi ťahovými napätiami. Nakyprenie zvyšuje ich infiltračnú schopnosť. To má za následok zmenu konzistencie a zníženie šmykovej pevnosti. Na svahu sa tak podstatne zhoršujú odtokové pomery, vznikajú bezodtokové depresie (napr. územie sv. od Novák) a celkove sa výrazne zmenia hydrogeologické pomery. Na celom území sa znehodnotí poľnohospodárska pôda v dôsledku zmeny vodného režimu. Pozemky sú trvale podmáčané, mení sa pH pôdy, a tým aj jej fyzikálno-mechanické vlastnosti.

Ťažba hnedého uhlia v sledovanom území sa prejavuje rôznymi formami porušenia povrchu v závislosti od geologickej stavby nadložia. Prejavy ťažby na povrchu sú zreteľné. Možno ich rozdeliť na nasledujúce typy:

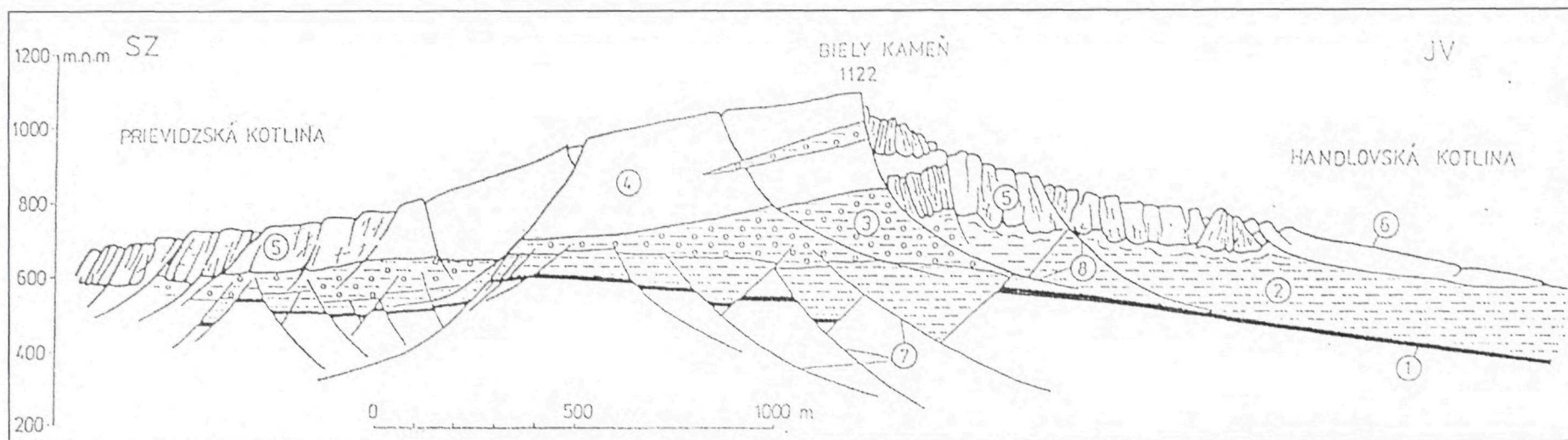
a) Vertikálne prejavy ťažby na povrchu možno sledovať najmä v kotlinovej časti územia (ploché svahy, malá hrúbka nadložia). Vznikajú bezodtokové depresie. Zvláštnym prípadom sú kruhové lievikovité prepádky, spravidla vyplnené zrážkovou vodou (napr. sv. od Novák, vznik separačných poklesových trhlín v počiatočnej fáze v júni 1978 na Podhradí).

b) Ťahové deformácie povrchu možno sledovať vo vyšších častiach svahov nad vyťažovacími priestormi, v miestach maximálneho horizontálneho napätia. Preja-



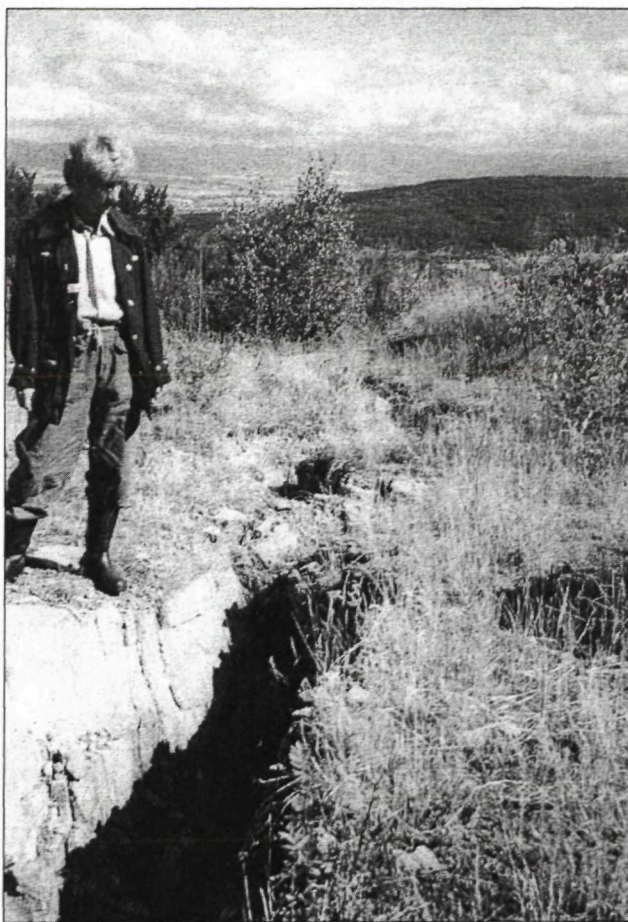
Obr. 10a) Profil zosuvu vyvolaného ťažbou uhlia s. od obce Podhradie (podľa Fussgängera et al., 1985).

1 – andezity, 2 – nadložné tufitické íly, 3 – uhoľný sloj (1 – 3 – sarmat), 4 – podložné tufity (báden), 5 – aktivizovaný zosuv, 6 – teleso potenciálneho zosuvu, 7 – prieskumné vrty, 8 – šmykové plochy, 9 – odlučná stena zosuvu.

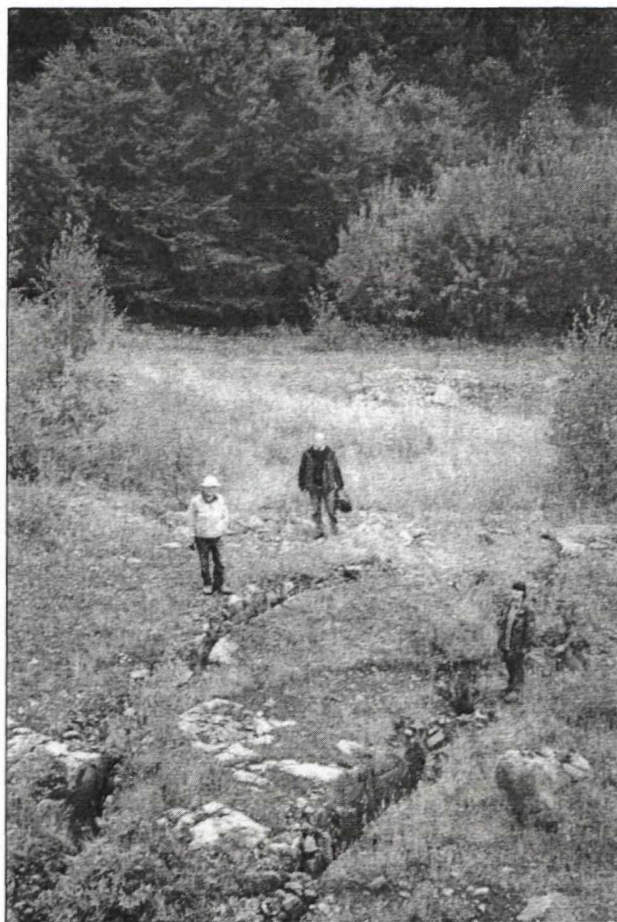


Obr. 10b) Profil hrebeňa Vysokého Vtáčnika (upravené podľa Šimečka in Nemček, A., 1982).

1 – uhoľný sloj, 2 – íly, prachovce (1 – 2 – tortón), 3 – štrky, piesky, íly a tufity, 4 – andezity a aglomeratické tufy (3 – 4 – sarmat), 5 – blokové rozpadliny a blokové polia, 6 – zosuvy, 7 – šmykové plochy v podloží vulkanitov, 8 – šmykové plochy pretínajúce hlboké podložie a vulkanický príkrov.



Obr. 11a, b Trhlíny na povrchu nad podrúbaným územím.



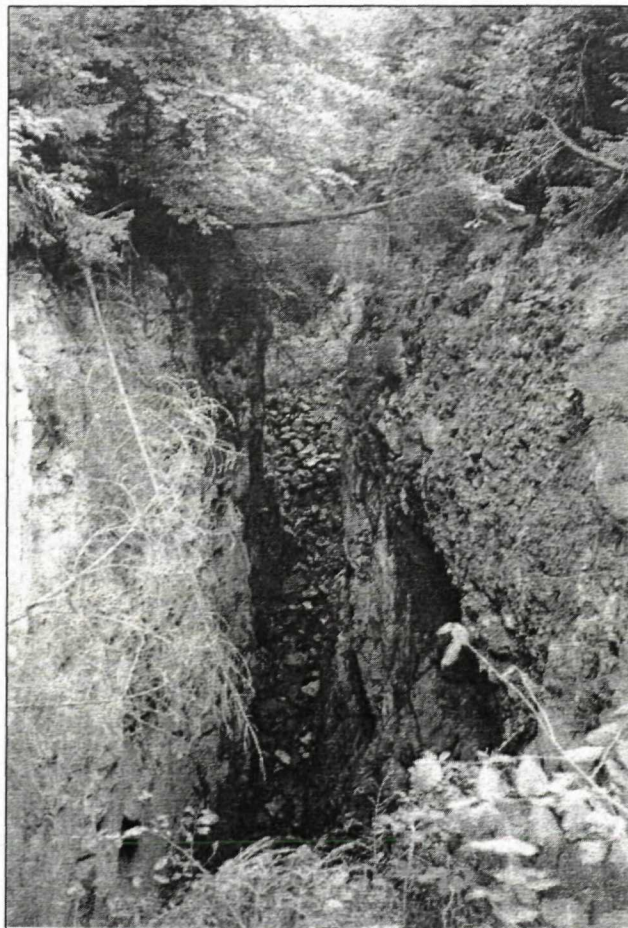
Obr. 11b

vujú sa vznikom širokých rozvetvených trhlín rôznej šírky, od niekoľko desiatok centimetrov až niekoľko metrov. Väčšinou zodpovedajú systému diskontinuit a v podstate sú rovnobežné so svahom. Napríklad hlavná trhlina západne od Englišovho lomu sv. od Cigľa dosahuje dĺžku až 100 m, šírku 2 – 10 m a hĺbku 5 – 15 m (obr. 12).

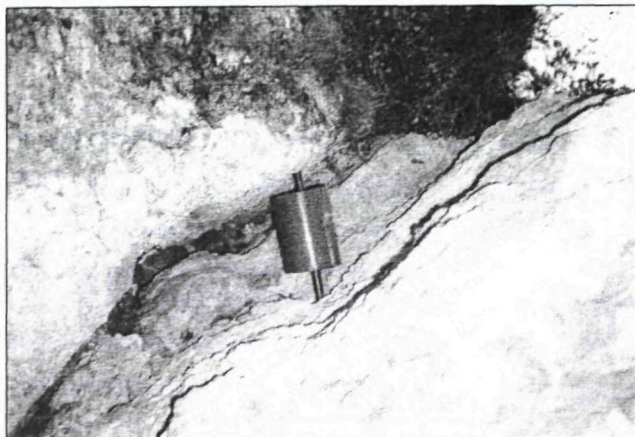
c) Tlakové deformácie povrchu možno sledovať v podobe hrubých povrchových valov na dne poklesových depresíí. Vznikajú vtedy, ak je zosunuté väčšie množstvo horniny, než je objem vyťaženého priestoru. Sú vyvinuté ďaleko pod vyťaženými priestormi pri obci Podhradie, južne a východne od obce Cigľa.

Plazivé pohyby horninových blokov sa zaznamenávajú terčovým meradlom TM-71 s presnosťou 0,1 mm za rok, pričom odčítanie hodnôt sa vykonáva 3x ročne.

V Englišovom lome neďaleko Cigľa, na mieste, kde sa ťažba skončila takmer pred 10 rokmi, bol do trhlíny osadený takýto prístroj (obr. 13). Vzájomný pohyb dvoch skalných blokov vykazuje pohyb v horizontálnej rovine 3 až 6,2 mm za obdobie medzi dvoma meraniami, t. j. 2 cm za rok. Hodnotíme to ako rýchly pohyb. Posun skalných blokov je spôsobený jednak podrúbaním, jednak vhodnými geologickými, geomorfologickými a hydrogeologickými podmienkami.



Obr. 12 Hlavná trhlina západne od Englišovho lomu. ▶



Obr. 13 Zabudované terčové meradlo TM-71.



Obr. 14 Vyústenie horizontálnych odvodňovacích vrtov do studne v Handlovej.

Na vzdialenejšom mieste, kde sa ťažba práve začína, sa zmeny povrchu merajú geodetickými metódami ako pohyb pozorovacích bodov bodového poľa. Merania sa robili 4x. Namerané pohyby sú minimálne

Voda sa do zosuvov dostáva jednak infiltráciou zrážok, jednak výdatnými bariérovými prameňmi, ktoré vyvierajú väčšinou pod blokovými poľami – v odľučnej časti budúcich zosuvov. Voda má na stabilitu svahov veľmi nepriaznivé vplyvy: pôsobí vztlakom, vlastnou hmotnosťou. Potom stačí malý impulz (nadmerné zrážky, seizmické otrasy, necitlivý zásah človeka) a vzniká zosuv.

Nepriaznivým faktorom je výstavba nových komunikácií a obytných štvrtí v nestabilných územiach. Na stabilitu územia veľmi nepriaznivo vplývajú nesprávne trasované komunikácie a kanalizácie a sú hrozbou potenciálnych zosuvov. Výstavba nových objektov na zosuvoch môže podstatne zhoršiť ustálené pomery na viacerých miestach (Handlová – morovniansky oblúk, Kunešovská cesta a pod.). Na obr. 14 vidno vyústenie horizontálnych odvodňovacích vrtov do studne v Handlovej.

Na porušených svahoch, ktoré sa vyznačujú značnou citlivosťou aj na minimálne zásahy do stabilného režimu, ležia Malá a Veľká Lehôtka, Cigel' a Podhradie. Na vývoj zosuvov v okolí obcí vplýva ľudská činnosť. Nebezpečné situácie nastávajú v prípade podrezania alebo priťaženia zosuvných svahov.

Pri ťažbe hnedého uhlia vznikajú haldy so skrývkovým materiálom, hlušinou a výsypkami. Tieto akumulácie dosahujú v okolí Handlovej hrúbku až niekoľko desiatok metrov. Materiál je veľmi rôznorodý, rôzneho granulometrického zloženia. Z hald ho vietor a voda transportujú do širokého okolia.

Pri prevádzke elektrárne v Handlovej vzniká problém ukladania odvalového materiálu a popolčeka. Ukladajú sa na telesá potenciálnych zosuvov, ktoré sa postupným priťažovaním znova aktivujú.

Záver

V rámci Čiastkového monitorovacieho systému *Geologické faktory*, podsystemu 05 *Vplyv banskej činnosti na životné prostredie*, bol v tomto príspevku preukázaný pomerne veľký vplyv banskej činnosti na kvalitu prírodných vôd a sedimentov, ako aj na jej povrchové prejavy.

Dokumentovali sme to na príklade dvoch rozdielnych oblastí, štiavnicko-hodrušského rudného obvodu a handlovsko-cigel'ského hnedouhoľného revíru. V oblasti štiavnicko-hodrušského rudného obvodu prevládajú vplyvy na prírodné vody a sedimenty a prejavujú sa ich značnou kontamináciou. V handlovsko-cigel'skom hnedouhoľnom revíre prevládajú vplyvy na povrch terénu.

Štiavnicko-hodrušský rudný obvod predstavuje región s dlhodobou ťažbou drahokovových a polymetalických rúd. Ťažba sa realizovala zväčša podzemným spôsobom. Jej výsledkom sú desiatky chodieb a vydobytých priestorov žilných štruktúr. Ťažba sa koncentrovala do dvoch oblastí – štiavnickej a hodrušskej. V štiavnickej oblasti je stupeň banského otvorenia podzemia koncentrovaný do oblasti priebehu hlavných žilných štruktúr – Bieber, Špitáler, Terézia, Grüner, Ján a Belianske žily.

Stáročnou ťažbou v regióne vznikol celý rad prepadlísk a lievikov, hlbokých miestami až 50 m. Negatívne sa prejavuje aj v širšom okolí, najmä v acidifikácii vôd, kontaminácii pôdy a sedimentov z rozplavených hald, ale aj v aluviálnych sedimentoch.

Hlavné environmentálne problémy a dosahy:

- mobilizácia ťažkých kovov v pôdach a v aktívnych riečnych sedimentoch, v povrchových a podzemných vodách,
- kvalitatívne a kvantitatívne zmeny podzemných a povrchových vôd,
- kontaminácia zemín v celom rudnom regióne od hald a odkalísk,
- kontaminácia aktívnych riečnych sedimentov,
- výskyt zvýšeného množstva radónu v meste Banská Štiavnica,
- prejavy podrúbania, závaly a prepadliská.

Handlovsko-cigel'ský hnedouhoľný revír tvorí jeden priestorový celok a má prakticky rovnaké geologické pomery. Uhoľné sloje sú neogénneho veku, uložené v hĺbke 100 – 400 m. V plytších, okrajových častiach je už ložisko vyťažené. Celé ložisko sa nachádza nad miestnou erozívnou základňou a je odvodňované samospádom. Vulkanity Vtáčnika v jeho nadloží i za jeho okrajom vytvárajú blokové polia.

Ťažba hnedého uhlia vyvolala v okolí ložiska výrazné zmeny reliéfu, geologických a hydrogeologických pome-

rov, stability svahov, hydrologické zmeny a zmeny v kvalite ovzdušia. Väčšina týchto zmien veľmi negatívne ovplyvňuje životné prostredie človeka.

Hlavné environmentálne problémy:

- vertikálne a horizontálne zmeny povrchu, poklesávanie a zosuvy,
- zmeny hydrogeologických pomerov,
- kontaminácia pôdy a povrchových a podzemných vôd,
- aktivácia svahových pohybov.

Vzhľadom na vážnosť danej problematiky vláda SR schválila uznesenie (uznesenie vlády SR č. 661 z 5. septembra 1995) o surovínovej politike SR v oblasti nerastných surovín. Z tohto uznesenia vyplynula úloha vypracovať systém zisťovania a monitorovania škôd na životnom prostredí vznikajúcich banskou činnosťou. Schválenie takéhoto materiálu značne ovplyvnilo riešenie tohto podsystemu po obsahovej aj finančnej stránke. Na riešenie úlohy sa urobilo výberové konanie, ktoré vyhral Geocomplex, a. s. Práce na tomto podsysteme sa skončili 31. 12. 1997. Vstupné údaje do informačného systému *Čiastkového monitorovacieho systému – Geologické faktory* – sa budú preberať od riešiteľskej organizácie, Geocomplexu, a. s.

Literatúra

- Fussgänger, E., Andor, L. a Mahr, T.: Poznatky z inžinierskogeologického prieskumu katastrálnej svahovej poruchy v Podhradí. In: Geotechnické problémy ťažby uhlia a urbanistického rozvoja Hornej Nitry, Nitrianske Rudno 1985.
- Klukanová, A., Wagner, P., Iglárová, L., Ondrášik, M., Jánová, V., Liščák, P., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczso, P., Frankovská, J., Rapant, S., Jelínek, R., Paudiš, P., Petro, L., Poláščinová, E., Kováčik, M., Scherer, S., Kristeková, M., Labák, P., Dananaj, I., Spišák, Z., Jadroň, D., Vybíral, V., Holzer, R., Malgot, M., Baliak, F., Jánoš, J., Gajdoš, V., Letko, V. a Míka, R.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, stav k 31. 12. 1997. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1998, 420 s.
- Konečný, V., Lexa, J., Šimon, L. a Dublan, L.: Neogénny vulkanizmus stredného Slovenska. In: Miner. Slov., 33, 2001, č. 3, s. 159 – 178.
- Lauková, I., Slabejová, S., Bogdan, P., Uhlár, T., Tomášiková, E., Schi-ko, K., Greschner, E. a Michalík, J.: Environmentálna správa HBP, a. s., Hornonitrianske bane Prievidza, a. s., 1998.
- Malgot, J., Baliak, F. a Mahr, T.: Mapa svahových porúch Vtáčnika. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1973.
- Malgot, J. a Baliak, F.: Regionálne hodnotenie stability svahov. In: Zb. z vedeckej konferencie Inžinierska geológia, výskum a prax. Bratislava 1991, s. 88 – 92.
- Mazúr, E. a Lukniš, M.: Regionálne geomorfologické členenie. Bratislava, Geol. Úst. D. Štúra 1980.
- Nemčok, A.: Zosuvy v slovenských Karpatoch. Bratislava, Veda 1982.
- Onačila, D., Lexa, J., Marsina, K., Rojkovičová, L., Káčer, Š., Hojst-ričová, V., Žáková, E., Štohl, J., Konečný, V., Nemčok, M., Koděra, P., Konečný, P., Repčok, I., Hurai, V., Háber, M., Jeleň, S., Maťo, L., Sasváry, T., Smidt, R., Zvara, I. a Grant, T.: Metalogenetický model a prognóza zhodnotenie centrálnej zóny štiavnického strato-vulkánu. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1995.
- Šimon, L., Elečko, M., Lexa, J., Kohút, M., Halouzka, R., Gross, P., Pristaš, J., Konečný, V., Mello, J., Polák, M., Vozárová, A., Vozár, J., Havrila, M., Köhlerová, M., Stolár, M., Jánová, V., Marcin, D. a Szalaiová, V.: Vysvetlivky ku geologickej mape Vtáčnika a Hor-nonitrianskej kotliny, M 1 : 50 000. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1997. 281 s.
- Šimon, L., Konečný, V., Lexa, J. (eds.): Miner. Slov., 33, 2001, č. 3, s. 159 – 312.
- Vlčko, J. et al.: Účelová inžinierskogeologická mapa Banskej Štiavnice. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1992.

Impact of mining activities upon the Environment

Summary

Slovakia is a country with an extensive mining activities lasting from the Middle Age. It is a known fact that mining of industrial minerals inflicts considerable damages to the environment. The environmental conditions inadequately worsen mainly due to boosted exploitations and inappropriate processing technologies. Although the latest general reduction of mining activities has apparently curtailed propagation of negative effects, still, the remnants of mining operations will likely be felt in our environment for the decades to come. We are recently engaged in a research into the impacts of mining on the environments, especially in those areas with declining mining activities and/or in the surroundings of abandoned mineral deposits.

Dewatering of large rock complexes and subsequent reduction in yields of the water sources, large mined-out areas left at the surface, or vast undermined grounds and accumulations of large amounts of contaminated materials in dams, or tailings, are probably the most serious hazards. Secondary processes, such as vertical and/or horizontal movements and following landscape changes, land subsidence, warpings and landslides go hand in hand with the mining activities.

Contamination of surface and ground waters through mining with highly mineralised mine waters, or with compounds leached from the mine dams, or tailings, pose another problem. Harmful contaminants, derived from such sources, enter the surface streams in a soluble, or insoluble form. These settle out at the stream beds, dissolve gradually and enter the environment in a form of increased contents of hazardous substances over long periods of time. These substances may be identified in the stream sediments. Underground mining often involves stockpiling at the surface of the rock materials, characterised by increased natural radioactivity, therefore, potentially hazardous to the environment.

Monitoring of the impacts mining activities upon the environment is one part of Slovak national monitoring network of Environment. Its result are suitable tool applied to find most effective solutions, or a balance between the exploitation of industrial materials and the damage to the environment. This method should be maintained to prevent further serious damages on account of mining, its inadequate prolongation, or inappropriate and chaotic closure of mining activities.

In the paper there will be presented one case history on a basemetal mine – Banská Štiavnica ore district and one case history on a underground coal mine in Slovakia, Handlová – Cigel' brown coal region.

Banská Štiavnica precious and base metal ore district is one of the largest in the Carpathian arc. It is situated in the central zone of a large andesite stratovolcano, including a caldera, resurgent horst and an extensive subvolcanic intrusive complex. Extensive precious and base metal epithermal vein system dominantes, but also barren high sulfidation systems, magnetite skarns and skarn/porphyry Cu ± Au, Mo, and disseminated base metal mineralizations are present too. The first written record of mining is from the year 1217. Long lasting extensive mining activity contributed towards a large number of dumps, tailing ponds, excavated spaces and polluted streams and soils.

Handlová – Cigel' region represents Neogenous undeground brown coal mine. Coal seams lie at depths ranging from 100 to 400 m. They are overlain by a complex of volcanisedimentary rocks. The deposit as a whole is situated above the local erosional base. It is entered by horizontal galleries and gravitationally dewatered. The mining activity has been started at the beginning of the century. The annual production of brown coal is approximately 1 mil. ton per year. The coal contents high concentrations of toxic elements, especially As, Cd, Hg, F and a sulphur.

Zmeny antropogénnych sedimentov v odkaliskách

MIRKO MATYS

PriF UK, Katedra inžinierskej geológie, Mlynská dolina, pavilón G, 842 15 Bratislava

Abstract. A long-term monitoring of changes of anthropogenic sediments is going on at 7 different setting ponds (energetic and chemical producers, flotation sludge of ore mines). The paper describes the results of changes of properties of flyash of the Power plant Nováky at 3 setting ponds for a period of 4 to 20 years.

Úvod

Jemnozrnný materiál ukladaný do odkalísk plavením si aj napriek drenážnym opatreniam zachováva dlho po skončení skládkovania vysokú vlhkosť a pri nepriaznivých podmienkach (intenzívne zrážky, seizmické účinky a pod.) môže stratiť svoju vnútornú stabilitu. To môže vyústiť až do ekologických havárií aj dlhodobo opustených odkalísk.

Cieľom monitorovania je overiť teoretické predpoklady zmien vlastností antropogénnych sedimentov odkalísk, zistiť skutočný vývoj a prognózovať možný vývoj zmien ich vlastností v čase, najmä fyzikálnych a mechanických vlastností (vlhkosť, pórovitosť, deformačné a pevnostné vlastnosti), prípadne minerálneho zloženia.

Výber odkalísk

Prieskumné práce sa realizovali na odkaliskách rôzneho charakteru:

- a) popolček z tepelných elektrární na lokalitách Elektrárne Nováky (ENO):
 - č. 1 – pôvodné (havarované) odkalisko ENO v Zemianskych Kostol'anoch,
 - č. 2 – dočasné odkalisko ENO Bystričany – Chalmová,
 - č. 3 – definitívne odkalisko ENO v Chalmovej;
- b) jemnozrnný sediment – flotačné kaly z ťažby a spracovania rúd na lokalite Banská Štiavnica:
 - č. 4 – odkalisko Sedem žien,
 - č. 5 – odkalisko Lintich;
- c) priemyselné kaly z chemickej fabriky Duslo, a. s., Šaľa:
 - č. 6 – odkalisko Amerika I,
 - č. 7 – odkalisko RSTO.

Pri výbere lokalít sme predpokladali, že správanie týchto troch rôznych antropogénnych sedimentov a zmeny ich vlastností v čase budú rôzne. V tomto príspevku sa budeme podrobnejšie venovať odkaliskám popolčeka

z tepelnej elektrárne v Novákoch. Využili sme aj naše predchádzajúce pozorovania a merania na dočasnom odkalisku č. 2, ktoré sa realizovali v roku 1980, a východiskové merania na odkaliskách č. 2 a 3, realizované v roku 1995.

Metodika prác

Monitorovanie sleduje zmeny:

- uľahnutosti materiálu,
 - fyzikálnych vlastností,
 - mechanických vlastností,
 - minerálneho zloženia sedimentov.
- Najvhodnejším krokom monitorovania vlastností sú roky, a to týmito metódami a meraniami:
- zmena vodivosti prostredia [Ωm] – geofyzikálnymi odporovými metódami,
 - uľahnutosť [N_{10}] – ťažkou dynamickou penetračnou súpravou,
 - fyzikálne vlastnosti – vlhkosť [%], objemová hmotnosť [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$] – laboratórnymi skúškami na vzorkách odobraných z vrtovej,
 - mechanické vlastnosti – presiometrický modul E_p [MPa], medza presiometrického tlaku p_{lim} [MPa], uhol vnútorného trenia ϕ_{ef} – presiometrickými skúškami,
 - minerálne zloženie metódou RTG, DTA,
 - sledovanie zmien vnútornej stavby.

Vzhľadom na značnú nerovnorodosť plaveného popolčeka v odkaliskách sme na základe geofyzikálnych meraní vyčlenili kvázihomogénne vrstvy a efektívnejšie navrhli miesta prieskumných vrtovej a terénnych skúšok. Použili sa tieto geofyzikálne merania: odporové profilovanie (VES) a metóda spontánnej polarizácie (SP). Realizovali sa na Katedre environmentálnej a aplikovanej geofyziky PriF UK v Bratislave.

V roku 1998 sme na odkaliskách č. 2 a 3 odvrátili 30 m jadrových vrtovej s odberom 9 porušených a 8 neporušených vzoriek popolčeka a vykonali 35 presiometrických skúšok. V blízkosti vrtovej sme robili dynamické penetračné skúšky (spolu 80 m) ťažkou dynamickou penetračnou súpravou. Štruktúra antropogénnych sedimentov a podložia bola stanovená v troch vertikálnych geofyzikálnych rezoch vedených telesom a svahmi okrajových hrádzí do hĺbky cca 50 m.

V roku 1999 sme na odkaliskách č. 1 a 3 odvrátili spolu 35 m jadrových vrtoch a odobrali sme po 9 neporušených a 20 porušených vzoriek popolčeka. Na oboch odkaliskách sa urobili geofyzikálne merania. Vo vrtoch na oboch odkaliskách sa urobilo 40 presiometrických skúšok a v blízkosti vrtoch 60 m kontinuálnych dynamických penetračných skúšok ťažkou dynamickou penetračnou súpravou.

Laboratórne skúšky na zistenie fyzikálnych vlastností popolčeka (vlhkosť, zrnitosť, objemová hmotnosť, merná hmotnosť) sa vykonávali v laboratóriu inžinierskej geológie ŠGÚDŠ a v laboratóriu Katedry inžinierskej geológie PriF UK. Niektoré špeciálne skúšky ako napr. RTG fázovej analýzy a difrakčnej analýzy DTA a sledovanie vnútornej stavby pomocou skenovacieho elektrónového mikroskopu (SEM) sa vykonali v ŠGÚDŠ, GÚ PriF UK a na Katedre mineralógie a petrológie PriF UK.

Stručná charakteristika lokalít

Pôvodné (havarované) odkalisko Zemianske Kostoľany

Nachádza sa v pravostrannom údolí na zvyškoch pôvodného odkaliska, havarovaného v roku 1965. V podloží sú bridlice, pieskovce a kremence s melafýrmi. Na jz. a sz. okraji údolia sa oblúkovite ťahne pás dolomitov a vápencov. Terciér buduje 1 až 12 m hrubá vrstva ílov a hlinito-kamenitej sutiny hrúbky 0,4 – 4,0 m, obsahujúca úlomky melafýrov, ktoré sa striedajú s polohami jemnozrnného až prachovitého piesku. Svahy a dno údolia sú pokryté fluvialno-deluviálnymi hlinito-kamenitými sedimentmi.

Zvyšok starej hrádze je začlenený do novej, ktorá pozostáva z dvoch menších hrádzí vzdialených 50 m. Priestor medzi nimi je vyplnený škvarou. Dno údolia je na kóte cca 250 m n. m. Predpokladá sa zvýšenie hrádzí na kótu 315 m n. m. Nad touto kótou až po kótu 360,0 m n. m. v zóne pri hrádzi sa plánuje ukladanie stabilizátora (ide o zmes popolčeka a sadry) a súčasne plavenie hydromesi v zázemí. Objem odkaliska má byť 5,1 mil. m³, životnosť je odhadnutá do roku 2003.

Dočasné odkalisko ENO

Odkalisko je umiestnené v údolnej nive rieky Nitry, ktorú tvoria sedimenty inundačného územia. Vrstva hlín má hrúbku 1 až 3 m, hlbšie sa nachádzajú piesčité a zahlienené štrky alebo piesčité štrky hrúbky 1 – 8 m. Miestami sa vyskytujú aj sedimenty mŕtvych ramien. Pod nimi sa nachádzajú neogénne íly, od mezozoických porušených dolomitov a vápencov oddelené zlomami. Dno údolia je na kóte 218,5 m n. m., maximálna výška hrádze je 256,0 m n. m. Priemerný sklon vzdušného svahu je 1 : 4. Maximálny objem odkaliska je 14,5 mil. m³. Územie charakterizuje 6° MSK seizmickej aktivity. Plavenie sa skončilo v roku 1990. V súčasnosti sa na rekultivovaný pláň ukladá popolček vo forme stabilizátora.

Definitívne odkalisko ENO

Nachádza sa v pravostrannom údolí. Dno údolia má kótu 237,85 m n. m. Uvažuje sa maximálna výška zvýšenia 310 m n. m. Podložie tvoria dobre priepustné kar-

bonáty pokryté nesúvislými polohami hlín. Geologicko-tektonická stavba územia je komplikovaná pásmom veľmi porušených dolomitov a vápencov s puklinami vyplnenými dolomitickými „múčkami“, ktorým sa odvádza značné množstvo podzemných vôd. Na dne údolia sú tieto horniny prekryté vrstvou fluvialno-deluviálnych sedimentov tvorených zahlienenými sutinami či hlinami. Na svahoch sú hlinito-kamenité sutiny. Na terénnych stupňoch v profile hrádze sa zistili zvyšky neogénnych ílov s polohami ílovitých štrkov a pieskov. Priemerný sklon vzdušného svahu je 1 : 3,5. Územie charakterizuje 6° MSK seizmickej aktivity. Životnosť odkaliska sa odhaduje minimálne do roku 2003, objem na 15 mil. m³ popola. Na odkalisko sa plaví popolček po spaľovaní nováčkeho hnedého uhlia a prachu.

Zhodnotenie doterajších výsledkov

Podrobnejšie výsledky sú v správach Klukanová et al. (1998, 2000). Niektoré výsledky boli publikované v článkoch Klukanová a Liščák (1995, 1998) a Klukanová (1998).

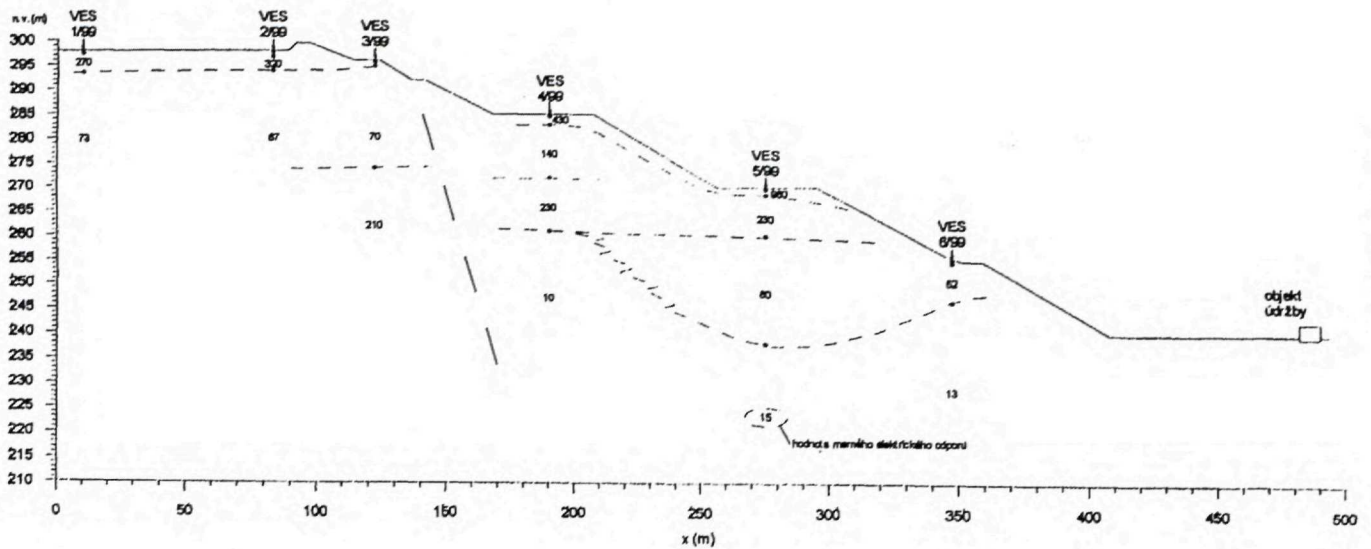
Pôvodné (havarované) odkalisko ENO

Z výsledkov geofyzikálnych prác bol zostavený štruktúrny model antropogénnych sedimentov (obr. 1), ktorý naznačuje isté rozdelenie sedimentov na kvázihomogénne celky. Povrchové vrstvy čerstvo plaveného popolčeka a zvodnené vrstvy popolčeka vykazujú nízke hodnoty merného odporu, cca 20 – 50 Ωm. Suchý až vlhký popolček vykazuje vysoké hodnoty merného odporu, 200 až 530 Ωm a viac. V meraniach a interpretácii geofyzikálnych meraní sa pokračuje najmä v súvislosti s nameranou diskontinuitou medzi VS3 a VS4.

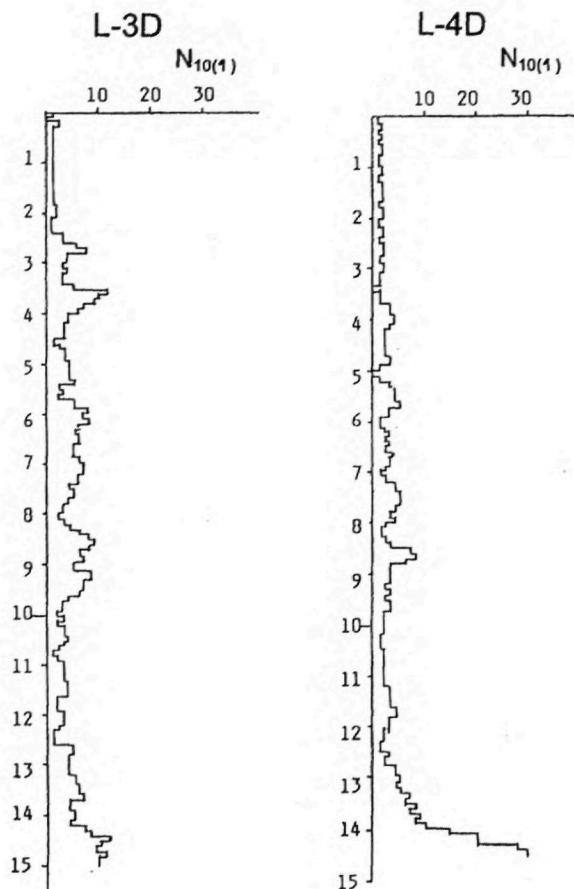
Uľahnutosť popolčeka sa zisťovala ľahkou dynamickou penetračnou súpravou (hmotnosť barana 0,5 kg, výška pádu 0,5 m) do hĺbky 2,7 m. V roku 1999 sme vykonali dynamické penetračné skúšky ťažkou súpravou pri vrtoch L-3 a L-4. Z výsledných záznamov týchto skúšok (obr. 2) vyplýva nehomogenita plaveného popolčeka a jeho rôzna uľahnutosť, od kyprých polôh až po uľahnuté.

Na základe výsledkov presiometrických skúšok (hodnoty presiometrických modulov E_p a medzi presiometrického tlaku p_{lim}) možno uviesť, že čerstvo plavený popolček mal priemernú hodnotu $\phi_{ef} \cong 22^\circ$, $\gamma_n \cong 11 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$, konsolidovaný popolček po 4-ročnom uložení $\phi_{ef} \cong 31,4^\circ$. Hodnota medzného presiometrického tlaku vzrástla z hodnoty $p_{lim} = 0,2 \text{ MPa}$ na hodnotu 0,93 MPa. Hodnota presiometrického modulu $E_p = 2 \text{ MPa}$ vzrástla na 12,95 MPa. Na porovnanie uvádzame aj hodnoty namerané na 30-ročnom popolčeku vo vrtoch EH1 a EH2, kde sa namerali PS výrazne lepšie hodnoty p_{lim} , E_p a ϕ_{ef} . Hodnota p_{lim} vzrástla za 30 rokov cca z $p_{lim} \cong 0,3 - 0,5 \text{ MPa}$ na hodnotu $p_{lim} \cong 1,2 - 1,3 \text{ MPa}$, $E_p \cong 4 - 8 \text{ MPa}$ vzrástla na hodnotu $E_p \cong 32 - 60 \text{ MPa}$ a hodnota $\phi_{ef} \cong 25 - 28^\circ$ na $\phi_{ef} \cong 33^\circ$.

Podľa zrnitosti možno popolček priradiť do triedy piesčitých zemín S2, symbol SP až S3, symbol S-F. Objemová tiaž (γ_n) sa pohybuje od 7,7 do 12,8 kN · m⁻³, hustota pevných častíc je od 1 790 do 2 180 kg · m⁻³, pórovitosť $n \cong 50$ až 60 % a vlhkosť 15 – 68,5 %.



Obr. 1 Pôvodné (havarované) odkalisko ENO – štruktúrny model antropogénnych sedimentov.



Obr. 2 Pôvodné (havarované) odkalisko ENO – dynamické penetračné skúšky ťažkou súpravou pri vrtoch L-3 a L-4.

Minerálne zloženie popolčeka sa zisťovalo RTG štúdiom vzoriek pripravených separáciou podľa magnetických vlastností. Feromagnetická frakcia sa separovala permanentným magnetom, paramagnetická a diamagne-

tická frakcia sa získala separáciou na elektromagnetickom separátore Cook. Vo feromagneticknej frakcii prevláda magnetit, v paramagnetickej sú kremeň a živce s malým až vysokým zastúpením amorfnej fázy, v diamagnetickej frakcii sú kremeň a živce s malým až dominantným zastúpením amorfnej fázy (L-4 h = 9 m).

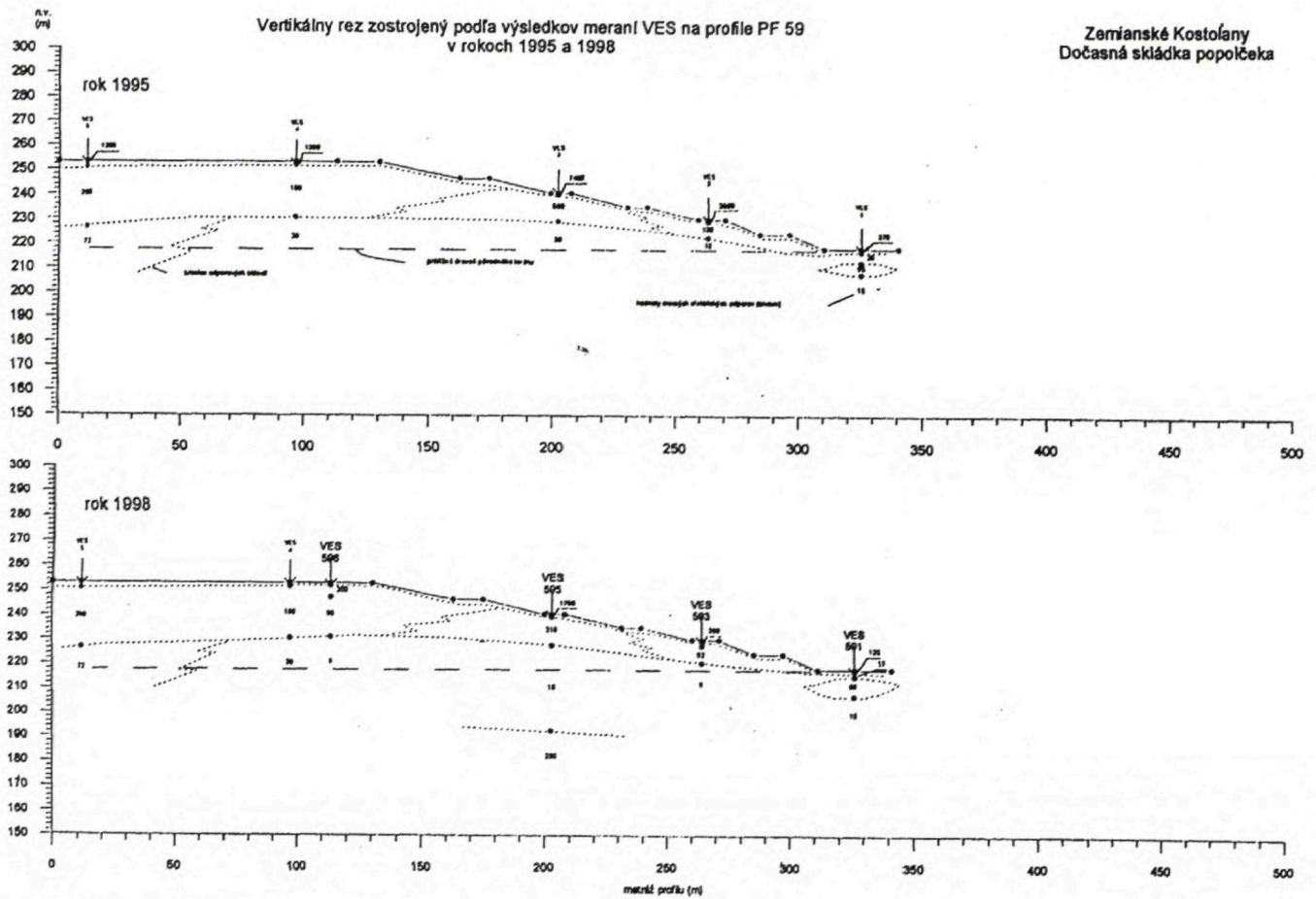
Podľa orientačných stabilitných výpočtov stupne stability svahov odkaliska sú prevažne $s > 1,5$. Na šmykových plochách (stav v roku 1995) sú aj po definitívnom zvýšení $s \approx 1,3$. Z dôvodu zlepšovania mechanických vlastností popolčeka v čase nie sú obavy o celkovú stabilitu odkaliska opodstatnené.

Dočasné odkalisko ENO

Na tomto už uzavretom odkalisku po konzultácii s projektantom a vlastníkom odkaliska sme sa zamerali na geofyzikálne merania v dvoch profiloch. Zeminy s vysokým odporom (500 až cca 1 200 Ωm , lokálne extrémny až do 7 400 Ωm) v profile 59 pri VES3 (obr. 3) sú interpretované ako navážky spevnenia svahu. Vlhkejší a už čiastočne skonsolidovaný popolček má merný odpor od cca 75 do cca 200 Ωm . Hlbšie je trvalo prevlhčený popolček alebo podložné zeminy s merným odporom od 8 do cca 60 Ωm .

Z presiometrických a plytkých dynamických penetračných skúšok vyplýva, že popolček v povrchových častiach odkaliska je už čiastočne alebo úplne skonsolidovaný, má dobré mechanické vlastnosti, $p_{lim} \approx 0,45$ až 1,2 MPa i viac, $E_p \approx 3,0 - 14$ MPa i viac, $\phi_{ef} \approx 27 - 33^\circ$ i viac. Výsledky presiometrických skúšok z roku 1995 a 1998 (tab. 2) poukazujú na mierne zlepšovanie vlastností popolčeka v čase.

Na základe laboratórnych rozborov ide o popolček, ktorý z hľadiska zrnitosti má charakter piesčitých zemín triedy S3, symbol S-F až S5, symbol SC. Objemová tiaž dosahuje hodnoty 7,2 – 11,4 $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$, ojedinele aj viac. Hustota pevných častíc sa pohybuje v rozpätí 2 100 až



Obr. 3 Dočasné odkalisko ENO – geofyzikálne merania v profile 59 pri VES3.

$2\,360\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pórovitosť je vysoká, $n \cong 40 - 64\%$. Vlhkosť $w = 16 - 79,3\%$.

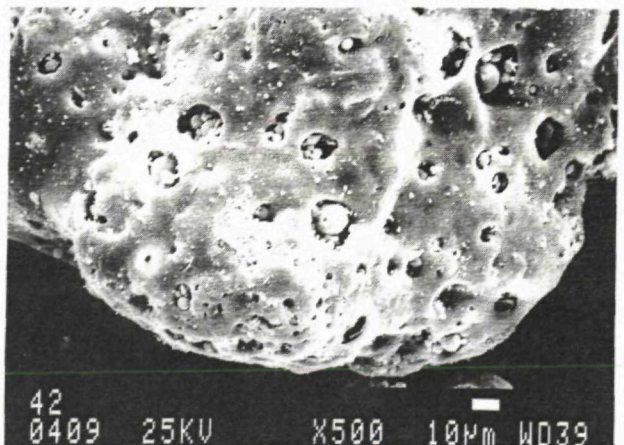
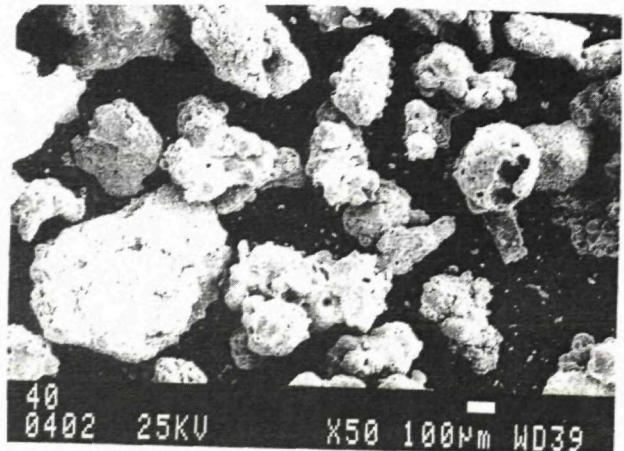
Na dočasnom odkalisku sa na niektorých vzorkách urobili aj skúšky RTG a DTA. Na základe RTG analýzy možno konštatovať prítomnosť troch fáz:

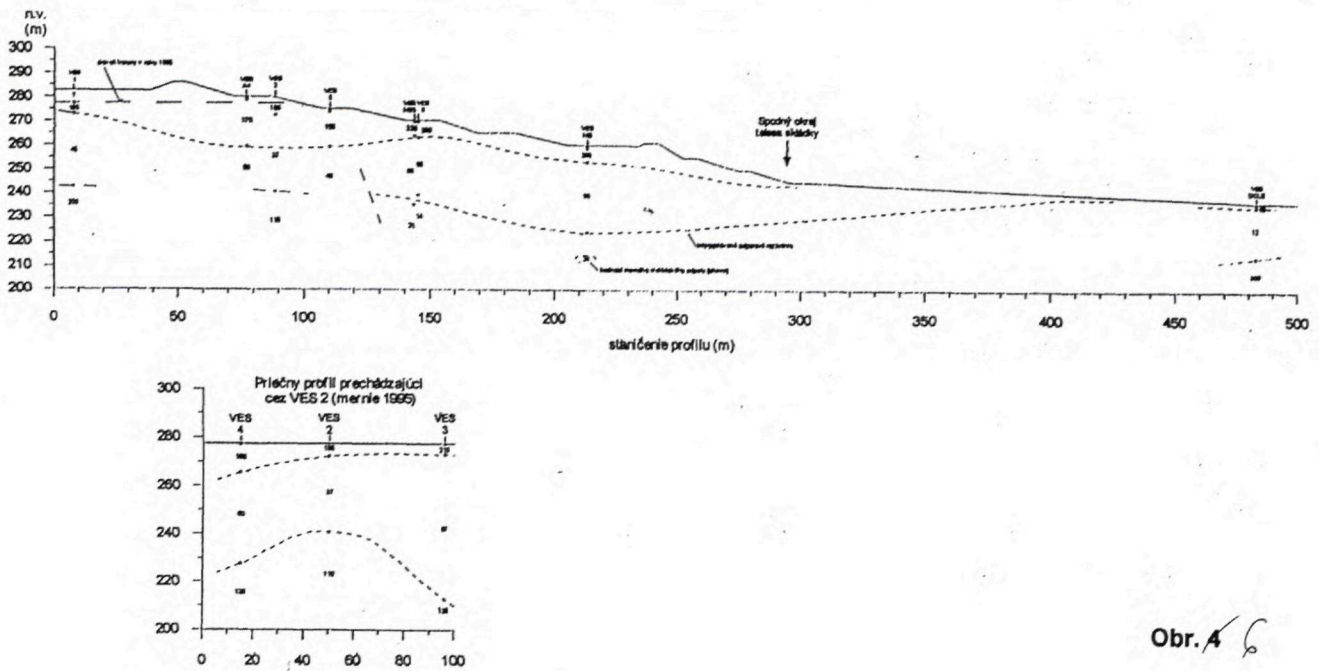
- fázy s vysokým obsahom: kremeň, živce (zmes), illit, muskovit, rodonit, maghemit, tridymit, cristobalit, hematit, grafit;
- fázy s nízkym obsahom: mullit, illit-montmorillonit, zeolity, smektity, hematit, dolomit, kaolinit, kalcit;
- možné fázy: pyrit, siderit, sadrovec, zmes rozličných síranov, tridymit.

Pri DTA sa zistili straty žiňaním prevažne do 10% , jedna vzorka vykázala stratu $24,9\%$. Strata žiňaním ukazuje na pomerne vysoký obsah nespálených uhoľných častíc v popolčeku. To bolo aj v minulosti dokumentované jednak vizuálne, jednak vtedy používaným žiňaním vzoriek v mufľovej peci.

Mikrografy popolčeka v profile 59 dokazujú, že popolček nemá charakter prírodnej zeminy a pozostáva zo spečených, voľne uložených zrn a agregátov (obr. 4 a 5). Zrná obsahujú značné množstvo vzduchových pórov, sú krehké a drvia sa. Chýbajú akékoľvek vzájomné väzby, ktoré možno očakávať iba pri najjemnejších frakciách materiálu odkaliska (Švasta, 1996).

Obr. 4 a obr. 5 Dočasné odkalisko ENO – mikrografy popolčeka v profile 59.





Obr. 4

Obr. 6 Definitívne odkalisko ENO Chalmová – rozhranie vrstiev vyčlenené na základe geofyzikálnych meraní.

Tab. 1 Výsledky presiometrických skúšok – Zemianske Kostolany – č. 1: pôvodné odkalisko.

Vrt	Nadmorská výška [m n. m.]		P _{Lim} [MPa]		φ _{ef} [°]		E _p [MPa]	
	1995	1999	1995	1999	1995	1999	1995	1999
L-3		298,0		0,403		27,0		5,60
		297,4		0,707		30,0		12,16
		296,8		1,267		33,3		17,03
		295,5		0,478		28,0		4,44
		294,3		1,062		32,5		15,05
VES-5-1	293,1	293,6	0,102	0,777	18,9	30,5	0,20	5,60
VES-5	292,5	292,3	0,252	1,020	23,8	32,0	5,49	14,98
	291,8	291,3	0,276	1,263	24,3	33,5	2,68	22,80
L-4		298,3		0,410		27,0		4,25
		297,6		0,357		26,0		3,55
		296,6		0,357		26,0		3,79
		295,6		0,407		27,0		4,76
		294,6		0,477		28,0		3,75
	293,6		0,587		28,5		7,17	
VES-4	292,6	292,9	0,240	0,654	23,6	29,5	1,63	9,81
	291,9	292,1	0,133	0,952	19,9	31,5	0,30	11,57
	291,3		0,780		30,5		9,82	
L-6		297,3		0,442		27,5		3,26
		296,3		0,282		25,0		3,08

Orientačné stabilitné výpočty preukázali najnižší stupeň stability $s = 2,3$. To zaraďuje odkalisko k najstabilnejším odkaliskám zo všetkých monitorovaných odkalísk ENO.

Definitívne odkalisko ENO Chalmová

Na základe geofyzikálnych meraní (obr. 6) možno vyčleniť vrstvu suchého popolčeka s merným odporom od cca 300 do 775 Ωm, vlhký popolček s merným odporom cca 100 až 200 Ωm a zvodnený popolček s merným odporom cca 35 až 70 Ωm.

Kypré polohy čerstvo plaveného popolčeka majú na základe presiometrických skúšok hodnoty od $p_{lim} \approx 0,25$ do cca 0,33 MPa, $E_p \approx 3 - 4$ MPa, $\phi_{ef} \approx 24 - 25^\circ$. Čiastočne skonsolidovaný popolček (zabudovaný cca 4 roky a viac) má podstatne lepšie mechanické vlastnosti (tab. 3). Na základe výsledkov laboratórnych skúšok možno popolček zrnitostne charakterizovať ako piesčité zeminy triedy S3, symbol S-F, menej S2, symbol SP. Objemová tiaž sa pohybuje od 8,9 do 11,9 kN · m⁻³, hustota pevných častíc je od 1 750 do 2 100 kg · m⁻³, pórovitosť $n = 42$ až 62 %.

Tab. 2 Výsledky presiometrických skúšok – Zemianske Kostofany – č. 2: dočasné odkalisko.

Vrt	Nadmorská výška [m n. m.]			P _{Lim} [MPa]			φ _{er} [°]			E _p [MPa]			
	1980	1995	1998	1980	1995	1998	1980	1995	1998	1980	1995	1998	
ED-14		232,65	232,55		0,499	0,624		28,0	29,3		7,054	7,45	
		231,55	231,55		0,439	0,939		27,5	31,7		8,742	13,14	
		230,55	230,55		0,438	1,299		27,5	33,5		4,866	25,34	
		229,95	229,95		0,585	0,765		29,0	30,5		4,398	10,88	
		228,95	228,95		0,770	0,604		30,5	29,0		10,030	7,40	
		227,95			1,283			33,5	–		11,046		
		227,45	227,65		1,128	1,338		33,0	33,8		13,341	21,17	
	226,45	226,15		1,213	1,263		33,2	33,5		7,896	9,81		
ED-14A		239,69			0,679			30,0	–		11,733		
		238,89	238,79		0,550	0,595		28,5	29,0		5,858	8,97	
		238,09	237,79		0,705	0,480		30,0	27,8		8,569	7,83	
		236,89	236,79		0,580	1,170		29,0	32,8		4,325	14,94	
		236,30	236,29	236,30	0,435	0,837	0,710	27,5	31,2	30,0	4,0	14,300	8,94
			235,29	235,29		0,790	0,685		30,7	29,8		12,096	7,95
				234,09			0,747		–	30,5			10,26
ED-59		238,98			0,515			28,3	–		6,476		
		238,50	238,18	238,08	0,375	0,451	0,507	26,7	27,5	28,0	3,50	3,231	6,09
			237,28	237,28		0,926	0,910		31,7	31,5		12,203	11,72
		236,60	236,48	236,28	0,425	1,009	0,735	27,3	32,0	30,5	4,25	13,628	15,37
		235,70	235,48	235,28	0,625	0,522	0,705	29,5	28,5	30,0	5,47	2,663	9,92
			234,48	234,08		0,420	0,637		27,2	29,5		2,770	7,06
			233,48			0,610			29,2	–		4,377	
ED-59A		245,27	244,47		0,476	0,400		27,8	26,8		4,021	6,45	
		243,57	243,97		0,801	0,360		31,0	26,5		7,217	10,84	
		242,47	242,67		0,721	0,403		30,2	26,8		5,075	8,22	
		241,97	241,97		0,691	1,200		30,0	33,0		7,480	17,20	
ED-59B		251,99	251,99		0,403	0,535		27,0	28,3		3,946	8,06	
		250,89	250,99		0,504	0,625		28,0	29,5		3,776	11,16	
		249,99	249,99		0,431	1,115		27,5	32,5		4,202	14,44	
		249,09	248,99		0,648	0,845		29,5	31,2		6,023	13,91	
		248,09	247,99		0,601	0,715		29,0	30,0		4,003	16,20	
		246,59	245,99		1,199	0,905		33,0	31,5		10,424	10,98	
		244,59	244,39		0,978	0,861		32,0	31,2		9,393	13,17	
ED-59C		223,33	223,13		0,605	0,497		29,0	28,0		6,202	12,00	
			222,53			0,468		–	27,7			7,32	
			221,53	221,83		0,235	0,360		24,0	26,2		2,928	4,23
			220,83	221,13		0,539	1,117		28,5	32,5		4,721	24,36
				220,33			0,725		–	30,5			14,68
			219,53	219,53		0,706	1,533		30,0	34,5		7,851	41,14
		218,83			1,727			35,5			29,653		

V roku 1999 sme pri vrtoch L-1 a L-2 urobili aj východiskové dynamické penetračné skúšky. Výsledky taktiež poukázali na veľkú heterogenitu naplaveného popolčeka. Po opakovaných meraniach bude možné určiť nárast dynamického odporu a skontrolovať zmenu vlastností popola v čase.

Na základe RTG štúdia popolčeka možno konštatovať, že vo feromagnetickú frakciu prevláda magnetit, v menšej miere je prítomný aj hematit. Amorfná fáza nie je prítomná. V paramagnetickej frakcii prevláda kremeň a živce. Amorfná fáza sa vyskytuje v rozsahu od svojho zvýšeného podielu (L-1, L-2, hĺbka 1,5 m) až po ne-

prítomnosť (L-2, hĺbka 3 m). V diamagnetickej frakcii sú kremeň a živce. Amorfná fáza sa vyskytuje v rozsahu od neprítomnosti až po jej zvýšený podiel.

V sledovanej časti profilu sa podrobne prešetrila aj stabilita celého odkaliska. Stupeň stability v prevažnej časti odkaliska $s > 1,5$. Iba pre čiastkové plochy v päte alebo pri zvyšovacích skládkach vyšiel stupeň stability o niečo nižší ako všeobecne požadovaný $s = 1,5$. Vzhľadom na zistenú skutočnosť, že popolček z ENO so zvyšujúcim sa časom od zabudovania vykazuje zlepšenie mechanických vlastností, obava o stabilitu odkaliska nie je opodstatnená.

Tab. 3 Výsledky presiometrických skúšok – Zemianske Kostofany – č. 3: definitívne odkalisko.

Vrt	Nadmorská výška [m n. m.]		P _{Lim} [MPa]		φ _{ef} [°]		E _p [MPa]	
	1995	1999	1995	1999	1995	1999	1995	1999
CH-1	275,8		0,512		28,0		6,84	
	274,8		0,506		28,0		5,94	
L-1		274,5		1,380		33,5		16,50
		273,8		0,935		31,5		9,95
		273,1		0,742		30,5		7,37
		272,4		0,629		29,0		4,07
		271,7		0,496		28,0		4,69
		270,9		0,624		29,0		6,33
		270,2		1,341		33,5		18,20
		269,5		1,420		33,5		18,50
		268,4		0,729		30,0		10,16
		268,0		1,310		33,0		19,10
L-2		278,4		0,469		27,5		5,90
		277,7		1,196		33,0		13,30
		277,2		2,103		37,0		37,10
		276,5		2,120		37,0		21,35
		275,9	275,4	0,304	1,331	25,0	33,5	2,94
EP VES-2		274,6		–		–		–
		273,6		0,827		31,0		9,51
		272,5		0,958		31,5		12,05
		271,5		0,778		30,5		11,02
		276,1	283,8	0,275	0,365	24,5	26,0	4,01
L-5	275,1	283,1	0,614	0,332	29,0	25,0	6,71	2,58
	274,2		0,457		27,0		6,94	
EP VES-1	275,8		0,241		23,5		3,53	
	274,9		0,330		25,5		5,12	
EPVES-3	275,8		0,271		24,5		2,72	
	274,9		0,740		30,0		7,76	

Literatúra

- Klukanová, A., Wagner, P., Iglárová, L., Ondrášik, M., Jánová, V., Liščák, P., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Frankovská, J., Rapant, S., Jelínek, R., Pauditš, P., Petro, L., Poláščinová, E., Kováčik, M., Scherer, S., Kristeková, M., Labák, P., Dananaj, I., Spišák, Z., Jadroň, D., Vybíral, V., Holzer, R., Malgot, M., Baliak, F., Jánoš, J., Gajdoš, V., Letko, V. a Míka, R.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, stav k 31. 12. 1997. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1998, 420 s.
- Klukanová, A., Iglárová, L., Wagner, P., Ondrášik, M., Jánová, V., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Smolárová, H., Antal, J., Ayele, T., Cipcjar, A., Dananaj, I., Durmeková, T., Frankovská, J., Helma, J., Holzer, R., Jadroň, D., Jelínek, R., Kišová, M., Maas, P., Matejček, A., Míka, R., Labák, P., Letko, V., Liščák, P., Pauditš, P., Petro, L., Poláščinová, E., Rapant, S., Rozimant, K., Scherer, S., Slaninka, I., Socha, I.,

Vanko, J., Vybíral, V. a Záhorová, L.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, stav k 31. 12. 1999. Čiastková záver. správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 2000.

- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of Geological Factors of the Environment. In: Zborník XV. Congress of the KBGA, 17. – 20. September 1995, Athens, Greece 1995, pp. 1 034 – 1 037.
- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of geological hazard of the Slovak Republic. In: 8th International Congress IAEG, Vancouver, Canada 1988, pp. 1 113 – 1 120.
- Klukanová, A.: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. In: Zborník referátov z I. konferencie Geológia a životné prostredie, Bratislava, 25. a 26. november 1998. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1998, s. 123 – 126.
- Švasta, J.: Geotechnické problémy odkalísk. Diplomová práca. Manuskript. Bratislava, KIG PriF UK 1996.
- STN 72 1032 Dynamická penetračná skúška.
- STN 72 1004 Presiometrická skúška.

Changes in Anthropogenic Deposits in Settling Ponds

Summary

We have made basic measurements on 7 selected sites during years 1994 – 2001. On some settling ponds we made also repeating monitoring measurements. Our attention was focused on compactness, selected physical and mechanical properties and mineralogical composition of the deposits. For measurements we used geophysical resistance measurements, dynamic penetration test, drilling works with sampling, laboratory tests

(grain size distribution, bulk density, moisture content, etc.), pressiometric test (p_{lim} , E_p , ϕ_{ef}) and some special RTG and DTA tests.

The most complex monitoring of changes of anthropogenic deposits (fly ash) so far, we have done on three settling ponds of the Power Plant Nováky. The first monitoring measurements and result comparing released that in the case of the fly ash,

which is not secondarily polluted by chemical compounds, the properties are slightly improved already after three years. Energetic fly ash, which is chemically polluted, does not show any property improvement (locality n. 6, RSTO Šaľa).

It is assumed, that the gradual property improvement is caused by their gradual consolidation and hydration. Important role can be played also by changes of their mineralogical composition. According to preliminary findings by Dr. Šamajova and doc. Fejdi (Faculty of Natural Sciences of Comenius University, Bratislava) the identified crystalline phases (mainly magnetite, quartz and calcite) are stable and do not undertake time changes. The non-crystalline phase, mostly consisting of diamagnetic fraction, has tendency to re-crystallize (as any amorphous matter). If it will be confirmed also by repeated RTG tests, we can exactly prove also influence on engineering geological properties of the anthropogenic deposits.

The obtained experiences proved that the methodology and techniques used for measurement of changes in anthropogenic deposits were selected properly. Electro-resistance method, which in detail scans heterogeneity of the background of the settling ponds, seems to be especially perspective. The samples for RTG tests are recommended to be separated on ferromagnetic, paramagnetic and diamagnetic phase and these then selectively test for more accurate determination of the phase, which re-crystallizes and has the largest influence on changes of the engineering geological properties of the anthropogenic deposits.

Also partial informational system and special database, which enable prognoses of development of the properties of anthropogenic deposits of similar character, will be created.

Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi

JÁN VLČKO¹, ĽUBOMÍR PETRO², LUCIA BAŠKOVÁ¹ a ERIKA POLAŠČINOVÁ²

¹Katedra inžinierskej geológie, Prírodovedecká fakulta UK, Mlynská dolina 1, pavilón G, 842 15 Bratislava

²Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Jesenského 8, 040 01 Košice

Abstract. Slovak Republic belongs to countries with a great number of historic sites like castles and manor-houses. Reconstruction of many historic structures includes also their static safety and usually follows a detailed engineering geological investigation. Finding a total rock massif disruption and proposal of effective measurements to ensure a structure stability represent the main objective of the investigation. Monitoring of the relevant geological factors is one of way to observe of changes in tectonized rock blocks causing the instability of the subgrade as well as the structure. Creep movements of rock blocks at some selected sites (e. g. castles Spiš, Strečno, Orava and Hlohovec, Skalka Monastery) are monitored nearly 10 years. The measurements at the medieval Spiš Castle which is under the Patrimony of UNESCO since 1993 continue 20 years. These works are covered by the project entitled *Partial monitoring system of geological factors of the environment in Slovakia – stability of the rock massifs under historic structures* which is financed from the budget of the Ministry of the environment of the Slovak Republic. For the measuring are used dilatimeters of two types – mechanical-optical crack gauge TM-71 using moiré technique and demountable mechanical strain gauge SOMET which are situated inside tectonic cracks and/or fissures. Accuracy of measurements after the temperature correction is very high and reaches $\leq 0,1$ mm. Robustness against the climatic impacts and simple maintenance are the most advantages of the both devices.

The monitoring results have confirmed dynamic changes in the subgrade of historic structures at some mentioned sites. These results together with the results of detailed engineering geological investigation can be applied to planning of remedial works as well as control of their effectiveness in future.

Úvod

Súčasťou rekonštrukcie historických objektov je aj ich statické zabezpečenie, ktorému vo väčšine prípadov predchádza inžinierskogeologický prieskum. Ten je v mnohých prípadoch spojený s monitorovaním významných geologických faktorov, ktoré spôsobujú nestabilitu podzákladia historického objektu. Monitorovanie je optimálne vykonávať tak v etape predrekonštrukčnej, ako aj postrekonštrukčnej, kde cieľom monitorovania je zhodnotenie účinnosti sanačných opatrení.

Historické objekty sú väčšinou situované na strmých svahoch, ktoré veľmi často podliehajú svahovým gravitačným javom. V dôsledku gravitačného rozvoľnenia svahov vznikajú na objektoch ťahové trhliny, ktoré sú iniciálnym

štádiom progresívnejšej formy vývoja svahových deformácií (toppling, skalné zrútenie). Spolu s ďalšími faktormi, najmä zvetrávaním a procesmi krasovatenia, nepriaznivo vplyvajú na stabilné pomery. Na mnohých miestach diskontinuity rôzneho rádu a genézy prechádzajú priamo z horninového prostredia do muriva historických objektov a výrazne znižujú jeho stabilitu. Pri progresívnom vývoji porúch v podzákladi často dochádza k deštrukcii, ba až k zrúteniu celých stavebných častí historických objektov. Treba si uvedomiť aj fakt, že stabilita najmä vysokých skalných brál, na ktorých je postavený veľký počet historických objektov, neovplyvňuje len stabilitu vlastného historického objektu, ale často aj iné inžinierske diela, nachádzajúce sa v ich blízkosti (cesty, železnice, sídla a pod.). Aj z tohto pohľadu treba k danej problematike pristupovať komplexne a zodpovedne.

Cieľom je monitorovanie zmien v podzákladi historických objektov, a to najmä takých, ktoré sú späté s pohybom creepového charakteru. Z pohľadu do minulosti je zrejmé, že problematika monitorovania podzákladia historických objektov nie je nová. Jej počiatky siahajú približne do 80. rokov, keď v otvorených trhlinách na južnej a severnej strane hradnej skaly Spišského hradu, resp. v otvorenej trhline porušeného hradného múru boli po prvýkrát osadené tri opticko-mechanické dilatometre typu TM-71 (Fussgänger, 1985). Táto hradná lokalita bola aj počiatkom 90. rokov predmetom inžinierskogeologického prieskumu (Malgot et al., 1992). Jedným z jeho odporúčaní bolo spracovať návrh dlhodobého monitorovania pomalých plazivých pohybov okrajových blokov celého telesa hradnej skaly. Ďalším momentom, ktorý zohral významnú úlohu pri zaradení tohto subsystému do čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov, boli poznatky získané pri riešení úlohy *Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov na území SR* (Vlčko et al., 1998), ako aj výsledky inžinierskogeologického prieskumu na lokalitách Oravský hrad (Sikora et al., 1986) a hrad Strečno (Malgot et al., 1983). Do pôvodnej monitorovacej siete sa vybrali také lokality, na ktorých bol urobený orientačný inžinierskogeologický prieskum a kde sa zistili výrazné statické poruchy. Ich vznik je s najväčšou pravdepodobnosťou spätý s geologickým, resp. horninovým prostredím a geodynamickými procesmi, ktoré v ňom prebiehajú.

Súčasťou monitorovacej siete sú tieto lokality: Spišský, Strečniansky, Oravský, Uhrovský a Lietavský hrad, kláštorň komplex Skalka pri Trenčíne, kostolík v Kostolčanoch pod Tribečom a kaštieľ v Hlohovci. Výber lokalít môžeme považovať za reprezentatívny, pretože sa nachádzajú v rozdielnych typoch geologického prostredia s takými typmi svahových gravitačných javov, ktorých prejavy môžeme monitorovať prístrojovým vybavením, ktoré máme k dispozícii. Článok nadväzuje na publikované práce Klukanová a Liščák (1995, 1998) a Klukanová (1998) o monitorovaní geologických faktorov.

Metodika prác

Monitorovanie porušených častí horninového masívu, resp. rozličných foriem svahových gravitačných javov či ich výsledných foriem prostredníctvom opticko-mechanických alebo mechanických meradiel možno v poslednom období považovať za jednu z významných inštrumentálnych metód, ktoré sa používajú v inžinierskej geológii. Monitorovaním možno v čase a priestore relatívne spoľahlivo interpretovať prejavy svahových gravitačných procesov (pohyb či posun skalných blokov, deformácia zemín v základovej pôde), ktoré môžu ohroziť historický objekt.

Od výsledkov monitorovania zmien v dôsledku pôsobenia rozličných geologických procesov v podzákladi horninových masívov pod historickými objektmi možno očakávať:

- zhodnotenie súčasnej aktivity,
- objasnenie mechanizmu pohybu (kinematiky),
- prognózu ďalšieho vývoja,
- prognózu vzniku možného porušenia historického objektu,
- overenie účinnosti sanačných opatrení.

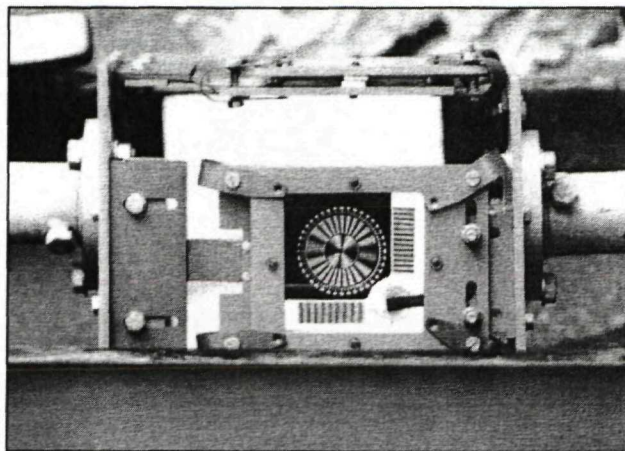
Meradlo TM-71

Vychádzajúc z charakteru monitorovaných svahových deformácií sa doterajšie merania realizovali pomocou terčových meradiel TM-71, ktorými je možné zachytiť aj veľmi pomalé posuny, t. j. $\leq 0,1$ mm. Meradlo TM-71 (obr. 1) pracuje na mechanicko-optickom princípe (Košťák, 1977). Relatívny pohyb dvoch priľahlých blokov pozdĺž pozorovanej poruchy sa registruje vzájomným posunom dvoch meracích jednotiek (terčov) vybavených optickými mriežkami, ktoré sú orientované v dvoch na seba kolmých rovinách. Zo vzájomnej interferencie mriežok sa posun vyhodnocuje ako excentricita terčov. Pohyby registrované týmto meradlom indikujú posuny pozdĺž súradnicových osí prístroja x , y , z a rotácie pozdĺž roviny xy a xz . Os x je vždy v horizontálnej rovine a súhlasí s osou prístroja. Spravidla býva kolmá na smer poruchy (trhliny). Aj os y leží v horizontálnej rovine a je kolmá na os x . Os z je vertikálna. Takto udávané posuny možno vo všeobecnosti interpretovať takýmto spôsobom:

x – zmena šírky trhliny (extenzia, kontrakcia),

y – horizontálny šmyk blokov v smere poruchy (trhliny),

z – vertikálny šmyk (pokles alebo výzdvih) jedného z blokov pozdĺž poruchy (trhliny).



Obr. 1 Mechanicko-optický dilatometer (terčové meradlo) TM-71.

Okrem posunov možno sledovať a merať aj pootočeniu (rotáciu) blokov, a to okolo vertikálnej osi z , teda v rovine xy , resp. horizontálnej osi y , teda v rovine xz .

Meradlo SOMET

Napriek spoľahlivosti získaných výsledkov pomocou meradiel TM-71 sme v poslednom období na monitorovanie deformácií v dôsledku pôsobenia rôznych geologických procesov v podloží historických objektov začali využívať pomerne nenáročnú a lacnú metódu. V rámci nej používame prenosné meradlo SOMET (názov je podľa výrobcu v ČR, v anglicky hovoriacich krajinách podobné typy meradiel označujú ako Demountable Mechanical Strain Gauge alebo Crack Gauge).

Použitie prenosného meradla je vhodné na takých lokalitách, resp. pre také trhliny, kde TM-71 nemožno inštalovať pre vysokú mieru rizika jeho poškodenia (veľké finančné straty) alebo menšiu šírku trhliny než 50 cm.

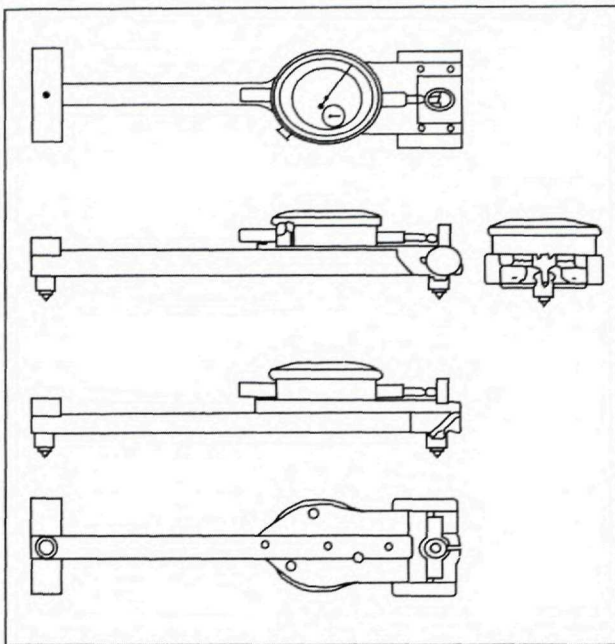
Prenosné meradlo SOMET (obr. 2) je zostavené z invarovej tyče s lokalizovanými výstupmi pre osadené pevné body. Jeden výstup je fixný, druhý prenáša zmenu vzdialenosti pevných bodov na meracie zariadenie. Dĺžka tyče je nastaviteľná v závislosti od použitej tyče, napr. 25, 50 a 75 cm, takže je možné ním merať posuny pozdĺž trhlín rôznej šírky. Meracie zariadenie pozostáva z indikačných hodiniek CU 60 a 40 s delením 0,01 mm. V praxi sa bežne osadzujú tri meracie body po oboch stranách trhliny (poruchy, diskontinuity), a to tak, že dva body sú na kvázi stabilnom bloku a tretí na bloku, kde sa očakáva pohyb.

Takéto rozmiestnenie meracích bodov umožňuje zmerať translačný pohyb, t. j. relatívnu zmenu vzdialenosti medzi bodmi 1, 2 a 3, resp. 3' podľa vzťahu (obr. 3):

- $\Delta x = 0,577 * (\Delta b + \Delta c)$,
- $\Delta y = \Delta c - \Delta b$;

Δx – pohyb v smere osi x (zmena šírky trhliny od bodu 3 po bod 3'),

Δy – pohyb v smere osi y (vertikálny šmyk v smere od bodu 3 po bod 3').



Obr. 2 Schéma prenosného meradla SOMET.

Hodnoty Δb a Δc sú zmeny relatívnej vzdialenosti medzi bodmi 1 – 3' a 2 – 3'. Pokiaľ sú merania presné, vzdialenosť medzi bodmi 1 – 2 ostáva nezmenená.

V blízkej budúcnosti sa sústreďíme aj na meranie rotačnej zložky pohybu. Tu je však potrebné nainštalovanie štvrtého meracieho bodu.

Monitorovanie pohybu pomocou meradla SOMET s ohľadom na charakterizovanie horninového prostredia umožňuje získať výsledky porovnateľné s meradlom typu TM-71 za predpokladu, že pohyb aj rotácia nastali v tej istej rovine. Navyše, aplikácia nedeštruktívnej formy osadenia meracích bodov (napr. lepením) umožňuje jeho využitie v interiéroch historických objektov.

Výsledky monitorovania na jednotlivých lokalitách

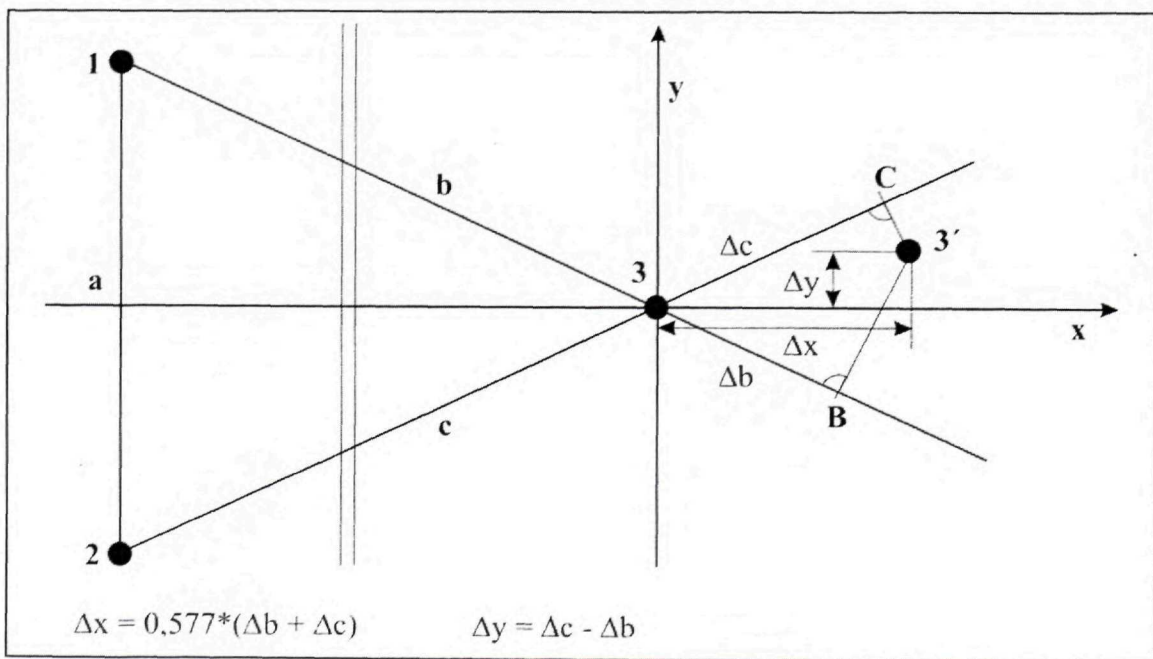
V tejto časti príspevku prezentujeme výsledky z tých lokalít, kde sa merania vykonávajú kontinuálne, to znamená od počiatku riešenia úlohy, resp. výsledky získané ručným meradlom s minimálne dvomi spoľahlivými meraniami za uplynulý rok. Neuádzame výsledky meraní z Oravského hradu, ktoré publikovali Košťák a Sikora v roku 2000.

Spišský hrad

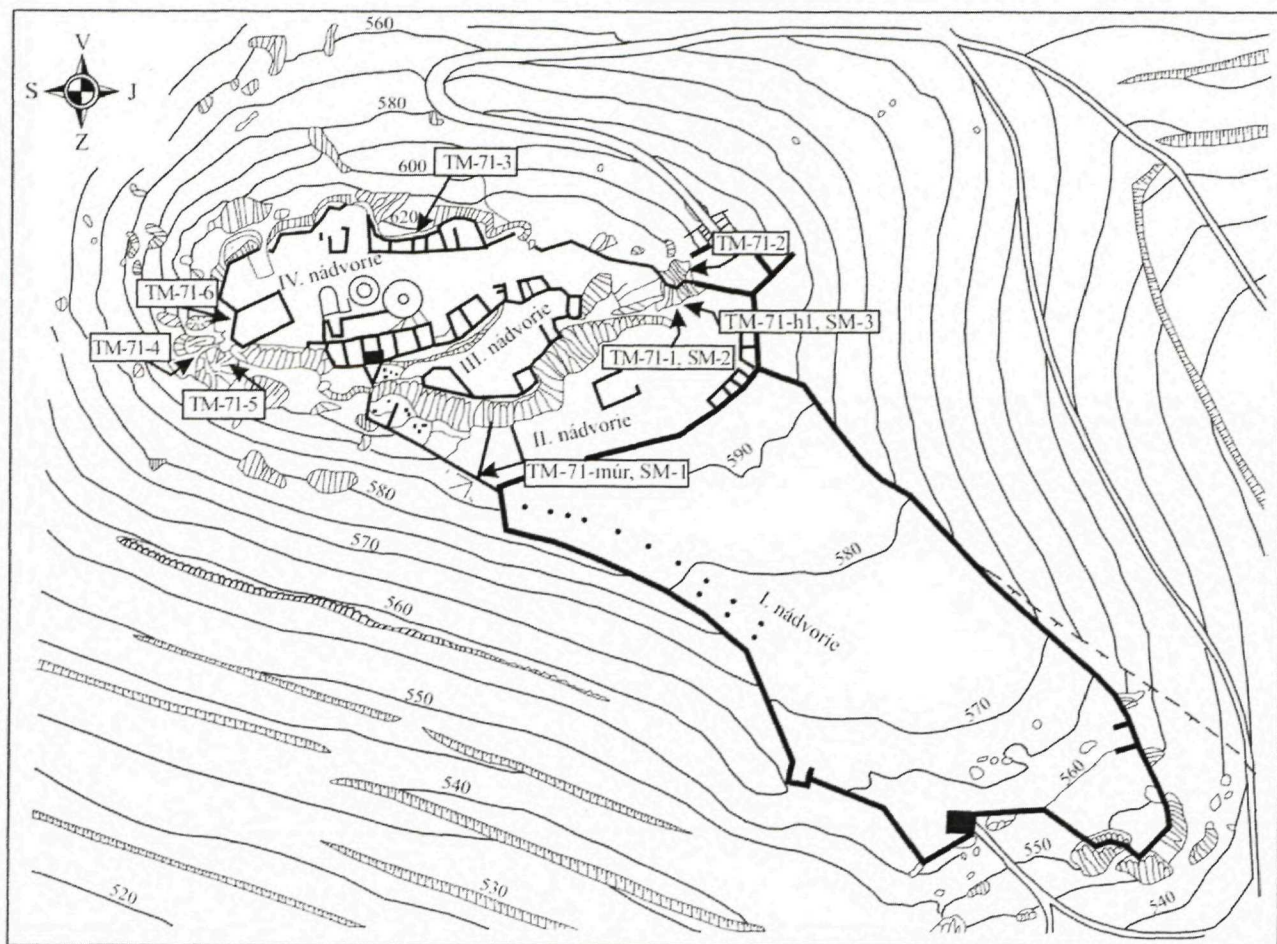
Spišský hrad je situovaný na travertínovej kope nachádzajúcej sa v Hornádskej kotline. Výrazná a silno členená travertínová akumulácia hradného vrchu tvorí dnes iba denudačnú trosku pôvodne rozsiahlej travertínovej kopy, ktorej deštrukciu spôsobili gravitačné deformácie blokového charakteru.

Hradný vrch je po obvodu zo SZ, S, SV a JV ohraničený strmými skalnými stenami vysokými 15 až 22 m s priemerným sklonom 70 – 80°. Miestami je sklon skalných stien až 90°. Častý je aj výskyt previsov, ktoré najmä vtedy, ak sa nachádzajú bezprostredne pod základmi objektov hradu, predstavujú staticky veľmi oslabené miesta (napr. Románsky palác).

Travertínové teleso Spišského hradu je silno porušené systémom tektonických línií, puklín a trhlín s rozdielnym priestorovým dosahom. Najvýraznejší zlomový systém má orientáciu v smere SZ – JV. Uvedený systém sa v priestore hradu niekoľkokrát opakuje, pričom v severnej časti hradu prechádza cez Románsky palác a tvorí predisponovanú šmykovú plochu. Pozdĺž nej došlo k rozvoľneniu blokovej rozpadliny a podklznutiu blokov smerom na S. V centrálnej časti hradu sa zlomová porucha roz-dvojuje. Jedna časť prechádza cez kaplnku a cisternu, druhá popod objekt kruhovej veže a viaže sa na ňu vznik



Obr. 3 Schéma rozmiestnenia meracích bodov pozdĺž trhliny.



Obr. 4 Rozmiestnenie dilatometrov TM-71 a stanovišť meracích bodov SM na Spišskom hrade.

tzv. Temnej jaskyne (Vlčko et al., 1998). Podľa speleologického prieskumu (Cebecauer a Líška, 1972) je jaskyňa priechodná do dĺžky 60 m a do výšky 30 – 35 m. Na tento systém je viazaný aj vznik Podhradskej jaskyne, ktorá sa nachádza neďaleko vstupného predbránia. Vstup do jej priestorov je za tzv. Perúnovou skalou. Má dĺžku 20 m a miestami dosahuje výšku 1,70 m. Podiel na jej vzniku majú aj prejavy deformácií okrajov travertínovej akumulácie.

Ďalším významným systémom sú poruchové línie orientované približne s.-j. smerom. Ich výskyt sa niekoľkokrát opakuje. Najvýznamnejšia diskontinuita tejto orientácie prebieha pozdĺž celého hradného vrchu a je pozorovateľná tak na severnom okraji, kde pozdĺž nej došlo k rozvoľneniu blokov, ako aj v priestore horného hradu. Významná je línia prebiehajúca paralelne s obvodovými múrmi, ktoré oddeľujú Prvé románske predhradie a dolné nádvorie (Vlčko et al., 1998).

V súčasnosti sú na Spišskom hrade funkčné 4 prístroje typu TM-71 a tri stanovišťa (SM-1, SM-2 a SM-3), kde sa realizujú merania prenosnými meradlami SOMET (obr. 4).

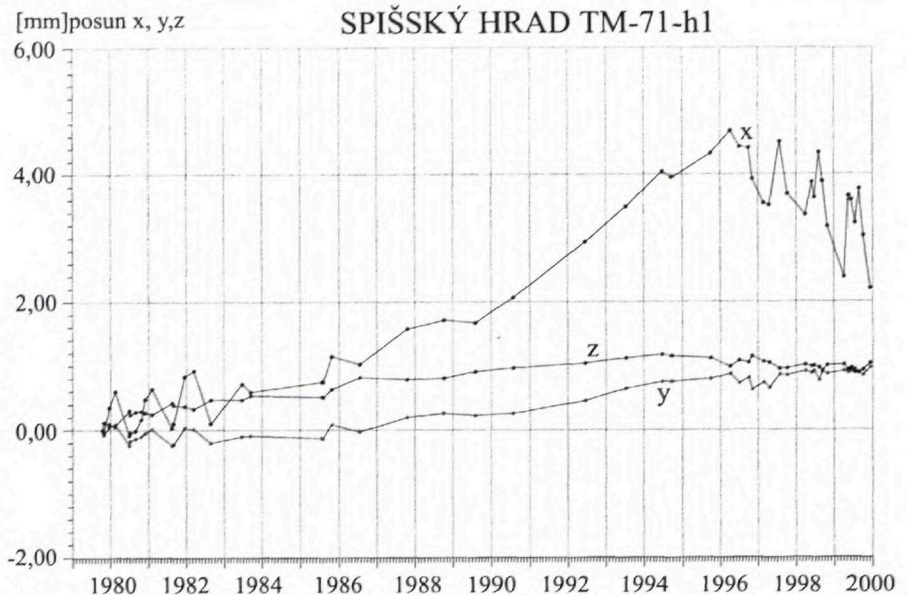
- Stanovište SM-1 je umiestnené v okolí dnes zamurovanej trhliny na dolnom nádvorí, nad prístrojom TM-71-múr.
- Stanovište SM-2 je umiestnené na dolnom nádvorí, na vnútornej strane Perúnovej skaly, nad prístrojom TM-71-1.

- Stanovište SM-3 je umiestnené na dolnom nádvorí v trhlíne, ktorá bola postupne zamurovaná, nad prístrojom TM-71-h1.
- Prístroj TM-71-1 je umiestnený na dolnom nádvorí, na vnútornej strane Perúnovej skaly, v otvorenej trhlíne, ktorá má šírku 62 cm, azimut 10° a výšku 1,5 m.
- Prístroj TM-71-2 je umiestnený pred vstupom do hradu, pri vstupe do tzv. Perúnovej skaly (jaskyne), v otvorenej trhlíne širokej 90,5 cm s azimutom 20° .
- Prístroj TM-71-h1 je umiestnený na dolnom nádvorí na mieste v trhlíne, ktorá bola postupne zamurovaná.
- Prístroj TM-71-múr je situovaný na zamurovanej trhlíne hradného múru, na dolnom nádvorí v priestore západných obvodových hradieb.

TM-71-h1

Od roku 1980, keď sa začali prvé merania, sa trhlina progresívne otvárala až do roku 1997. Za toto obdobie sa trhlina otvorila o 5,0 mm. Pohyby v osiach y a z dosiahli hodnotu 1 mm. Výrazné rozšírenie trhliny možno interpretovať v súvislosti s dotláčaním mohutného skalného bloku smerom do priestoru Podhradskej jaskyne. Istú úlohu tu zohrali aj rekonštrukčné práce, ktoré spočívali v zamurovaní trhliny. V roku 1997 sa deformovalo jedno z ramien prístroja. Bol demontovaný a nahradený novým. Odtedy sa trhlina postupne zatvára, pričom charakter zmien je výrazne oscilačný. Nadväznosť výsledkov mera-

Obr. 5 Výsledok meraní pohybu blokov prístrojom TM-71-h1 (Spišský hrad).



ni oboch prístrojov prezentovaná v jednom grafe (obr. 5) nie je celkom jasná vzhľadom na dosiaľ neznámy pôvod deformácie staršieho z nich. Napriek tomu možno z meraní usúdiť, že zmeny pokračujú aj naďalej, no v menšej intenzite ako do roku 1997. Pohyb v smere osi y a z je minimálny.

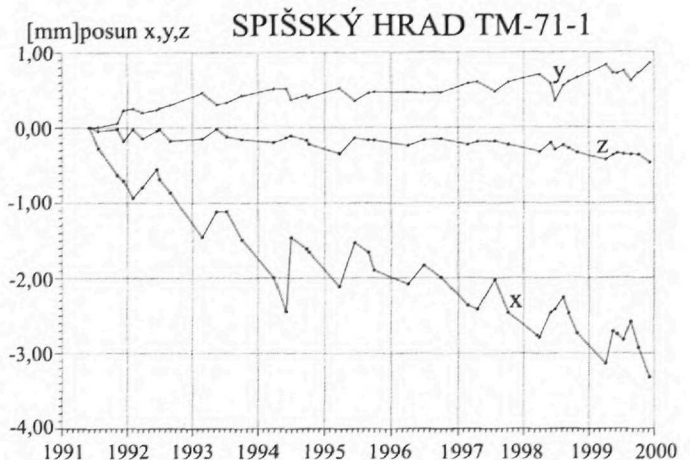
TM-71-1

Od polovice roku 1992 do októbra 1995 prebiehalo výrazné otváranie trhliny v smere osi x a nevýrazný šmykový posun (asi o 0,6 mm) v smere osi y (obr. 6). Vzhľadom na orientáciu trhliny (10°) a záporné hodnoty v smere osi x možno povedať, že okrajový blok sa od masívu oddeľuje smerom na JV. Tieto posuny sú progresívne. Pohyb v osi z je nepatrný. Trhlina sa v lete 1995 náhle zúžila o 1 mm, čo môže byť dôsledkom intenzívnejšieho oteplenia s nevratným účinkom. Od tohto obdobia až do konca roku 2000 sa trhlina opäť otvára rýchlosťou 0,2 mm za rok. Pootočenia nie sú významné a dosahujú asi 0,1 mm za rok. Celková hodnota pohybu je cca 3,4 mm. Po odstrele balvana koncom roku 2000 sa trhlina otvorila, čo spôsobilo posunutie trŕňov na meranie tyčovým dilatometrom.

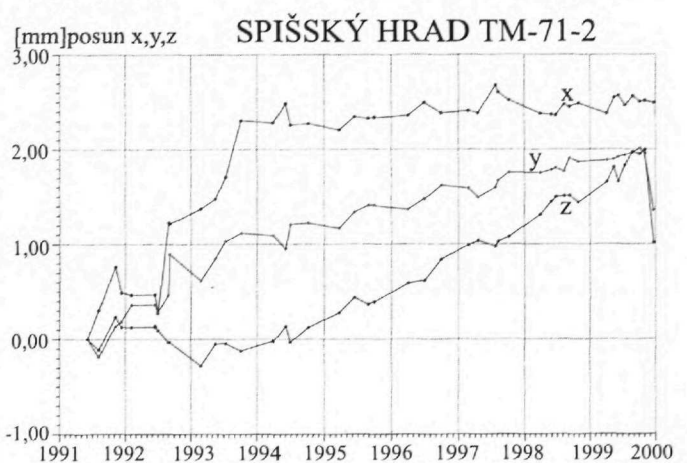
TM-71-2

Od polovice roka 1992 do konca roka 1994 sa trhlina otvorila (posun v smere osi x) o 2,4 mm (obr. 7). Od tohto obdobia pohyb ustal. Dôvodom môže byť to, že v otvorenej ťahovej trhline, ktorá je súčasne vstupom do Podhradskej jaskyne, bol zakliesnený balvan ako dočasná prekážka pohybu v smere osi x. Celkový pohyb v osi y do konca roku 2000 je progresívny a dosiahol už 2 mm. To znamená, že blok situovaný južnejšie (oddelený od Perúnovej skaly) sa vzhľadom na skalu pohybuje relatívne na V. Od roku 1994 do roku 2000 sa objavili rastúce šmykové napätia vertikálnej zložky v smere osi z indikujúce pokles južnejšie situovaného horninového bloku v priemere o 0,3 mm za rok.

Ak by sme teda mali vyjadriť sumárny pohyb monitorovaného horninového bloku tzv. Perúnovej skaly, je zrejme, že sa vykláňa smerom na JV, pričom z vnútornej strany porušuje murivo dolného paláca (známa fotografia z obalu knihy A. Nemčoka). Z exteriérovej strany blok svojím relatívne intenzívnym poklesom deformuje balvan pred vstupom do Perúnovej jaskyne, pričom sa horninový tlak prenáša aj na už opravené murivo predhradia. V rámci realizácie sanačných prác koncom roku 2000 sa trhacími prácami balvan odstránil. Meradlo TM-71-2

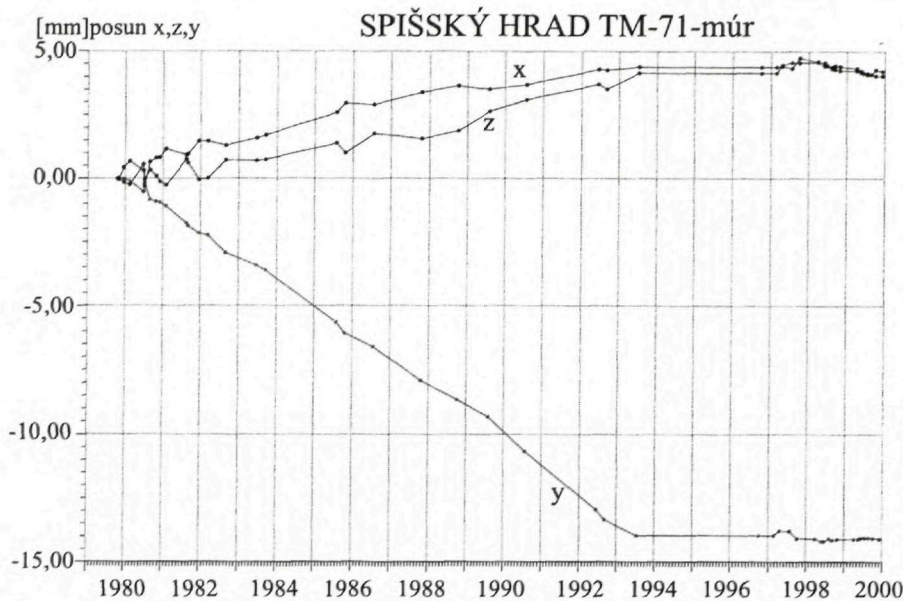


Obr. 6 Výsledok meraní pohybu blokov prístrojom TM-71-1 (Spišský hrad).



Obr. 7 Výsledok merania pohybu blokov prístrojom TM-71-2 (Spišský hrad).

sa pre možné poškodenie muselo pred odstrelením demontovať. Pri jeho opätovnej inštalácii sa zistilo vychýlenie konzol prístroja o 1,5 cm a museli sa rekonštruovať. Nasledujúce meranie potvrdilo zmenu doterajšieho trendu



Obr. 8 Výsledok meraní pohybu blokov prístrojom TM-71-múr (Spišský hrad).

pohybu v smere osi y a z . Vzhľadom na známu kinematiku bloku tzv. Perúnovej skaly sa predpokladá, že po odstránení balvana nastane intenzifikácia pohybov.

TM-71-múr

Monitorovanie pohybu v okolí trhliny v múre možno rozdeliť na tri obdobia:

- 1980 – 1994: V tomto období sa výrazná otvorená trhlina v priečnom múre nádvoria monitorovala starým typom meradla TM-71. Výsledky meraní sa považovali za jednoznačný dôkaz blokových deformácií na Spišskom hrade (Fussgänger, 1985). Z grafu na obr. 8 je zrejmé, že celkové rozšírenie trhliny dosiahlo hodnotu 4,3 mm, horizontálny šmyk v smere osi y 14 mm a pohyb v smere osi z (pokles) 4 mm.
- 1994 – 1997: V polovici roku 1994 bola trhlina počas realizácie sanačných prác zamurovaná. V dôsledku toho sa pôvodný prístroj demontoval a merania sa prerušili.
- 1997 – 2000: Po opätovnej inštalácii, tentokrát nového typu dilatometra TM-71, a to na lomených konzolách pozdĺž zamurovanej trhliny, sa merania obnovili. Z obrázka 8 je zrejmé, že pohyby sa prakticky zastavili. Túto skutočnosť možno interpretovať ako dôsledok sanačných prác (zmonolitnenie múru).

Po zhodnotení doterajších výsledkov meraní, ako aj výsledkov podrobného inžinierskogeologického prieskumu z roku 1992 (Malgot et al.) sme dospeli k záveru, že pohyb v otvorenej trhlina múru pravdepodobne nebol vyvolaný pohybom horninových blokov v podloží, ale len jeho vykláňaním smerom na Z . Toto vysvetlenie sa zdá reálne, pretože ak by sme prijali staršie interpretácie citované aj v tejto práci (Fussgänger, 1985), t. j. pohyb podložného skalného bloku smerom na západ, muselo by sa v dôsledku tohto pohybu rovnako porušiť murivo západných obvodových hradieb. Tento jav sme nepozorovali ani v minulosti, ani v súčasnosti. Na spoľahlivé objasnenie tohto javu je potrebné vykonať merania minimálne v rozsahu niekoľkých ďalších rokov.

Prenosné meradlo SOMET

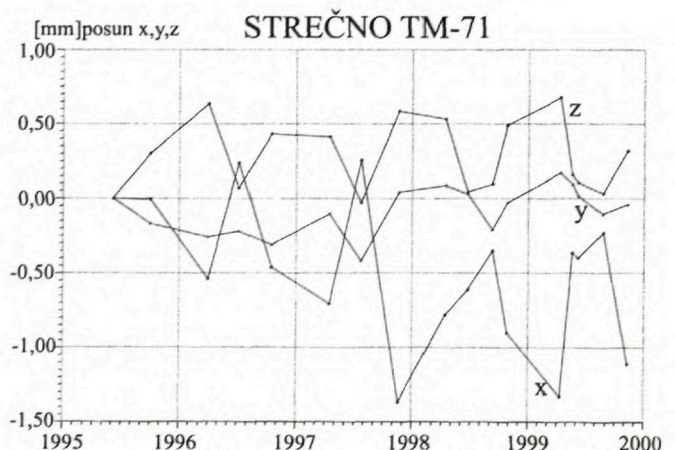
Keďže meracie body SM-1, SM-2 a SM-3 boli osadené iba v lete minulého roka, výsledky získané krátkym monitorovacím obdobím, prirodzene, nemožno zatiaľ korelovať s výsledkami získanými dilatometrami TM-71.

Hrad Strečno

Je situovaný na severnom okraji pohoria Malej Fatry, na brale, ktoré má relatívnu výšku 103 m nad údolnou nivou Váhu. Celú hradnú skalu tvoria horniny chočského príkrovu. Po litologickej stránke ju tvoria pestré karbonátové komplexy vápencov gutensteinského typu a sivých vápencov, ktoré sa striedajú s dolomitickými vápencami a dolomitmi. Celé hradné bralo má charakter zlomového pásma s výrazným prejavom gravitačného rozvoľnenia. Obzvlášť nebezpečné sú úseky, kde v dôsledku rýchlejšieho zvetrávania rozdrvených dolomitických polôh vznikajú previsy. Tie sa postupne rozvoľňujú, až v konečnom dôsledku sa zrúti. Zo statického hľadiska je nebezpečná východná strana hradného brala, kde je celý rad takýchto previsov ohrozujúcich stabilitu viacerých objektov hradu. Meracie zariadenie TM-71 je umiestnené pod kaplnkou.

Výsledky meraní od roku 1996 (obr. 9) potvrdili trend pohybu v osi x . Celkové otvorenie trhliny dosiahlo 1,2 mm. Predstavuje pohyb okrajového bloku smerom na JV. Z grafu je zrejماً výrazná oscilácia pohybov, tá je však odrazom klimatických zmien. V osi y a z sú pohyby minimálne a nepresahujú klimatické výkyvy.

Výsledky meraní od roku 1996 (obr. 9) potvrdili trend pohybu v osi x . Celkové otvorenie trhliny dosiahlo 1,2 mm. Predstavuje pohyb okrajového bloku smerom na JV. Z grafu je zrejماً výrazná oscilácia pohybov, tá je však odrazom klimatických zmien. V osi y a z sú pohyby minimálne a nepresahujú klimatické výkyvy.



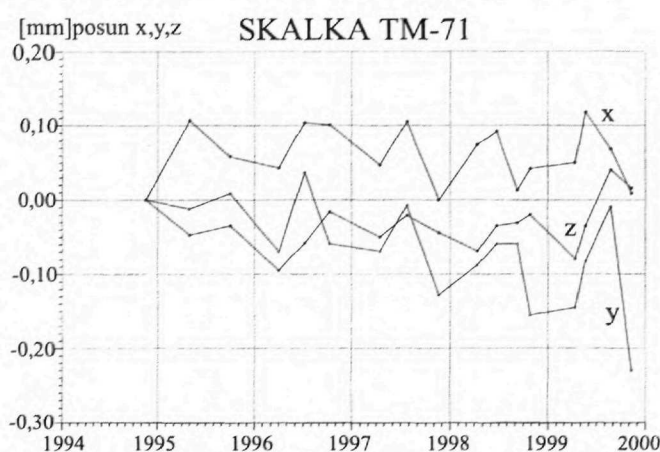
Obr. 9 Výsledok meraní pohybu blokov prístrojom TM-71 (Strečno).

Kláštor Skalka

Jezuitský kláštor Skalka založený v 11. storočí sa nachádza severne od Trenčína pri obci Zamarovce. V súčasnosti sa z pôvodne rozsiahleho komplexu sakrálnych stavieb zachovala kaplnka so sakristiou a vstupný objekt s opevnením a strážnou vežou. Skalné podložie tvoria

slienité a rohovcové vápence (titón – neokóm), ktoré sú súčasťou manínskej jednotky. Horninový masív je výrazne tektonicky porušený. Pozdĺž najvýraznejšieho poruchového systému orientovaného približne v smere SV až JZ sa vyvinul jaskynný systém, ktorý je súčasne interiérom kaplnky a tvorí súčasť komplexu sakrálnych stavieb. Výrazné statické poruchy v kaplnke spôsobili deštrukciu strešnej časti objektu a obvodových múrov. Okrem statických porúch v objekte kaplnky z hľadiska zabezpečenia stability historického objektu je potrebné venovať pozornosť poruchám horninového masívu, ktoré vymedzujú kvázi nestabilný blok v priestore od vchodu do jaskyne až po schodisko do sakristie.

Merania od konca roku 1995 naznačujú nemennosť šírky trhliny (obr. 10). Určitý trend reprezentuje posun v smere osi y, ktorý je minimálny. Celkový posun do konca roku 1999 dosiahol 0,15 mm. V roku 2000 sa pohyb zrýchlil a celkový posun narástol na 0,23 mm.



Obr. 10 Výsledok meraní pohybu blokov prístrojom TM-71 (Skalka).

Kostolík v Kostol'anoch pod Tribečom

Študované územie geomorfologicky prináleží do fatransko-tatranskej oblasti, celku Tribeč, oddielu Jelenec, časti Kostolianska kotlina (Mazúr, 1980). Po geologickej stránke toto územie budujú horniny mezozoika a iba najvrhnejšiu časť tvoria kvartérne sedimenty. Vystupujú v neširokom údolí miestneho potoka a na príľahlých terasovitých svahoch.

Z mezozoických hornín sú najviac zastúpené horniny tzv. tribečskej série (spodný trias). Spodnú časť tejto série tvorí prevažne kremencové súvrstvie, vo vyšších polohách pribúda bridlačnato-pieskovcový vývoj.

Kostolík patrí k najstarším sakrálnym pamiatkam na Slovensku. V súčasnosti vznikajú výrazné trhliny na veži kostolíka. Podľa ústnej informácie sa trhliny začali prejavovať po zavedení elektrického ovládania zvona. Navyše, pod podlahou sa nachádza krypta, čo môže spolu s dynamickými otrasmí staticky spolupôbiť na stabilitu veže.

Na tejto lokalite vykonávame merania pomocou meradla SOMET a prvé výsledky sú pomerne prekvapujúce. Pokles veže kostolíka len za posledný štvrtrok 2000 dosiahol 3,03 mm. Je možné, že tieto údaje bude potrebné po ďalších meraniach na základe zistenia vplyvu teplot-

ných zmien na stavbu korigovať s meraním v interiéri, a najmä realizovať ďalšie merania, pretože na presnú interpretáciu je potrebné mať priemer minimálne troch meraní.

Záver

V ďalšom období bude potrebné spresniť metodiku merania prenosným meradlom SOMET, korelovať výsledky meraní pomocou terčových meradiel TM-71 s väčším počtom meraní získaných prenosným meradlom SOMET, využiť výsledky z dlhodobých meraní na modelovanie kinematiky sledovaných geologických procesov a posúdiť prognózu ich vývoja vzhľadom na zabezpečenie stability historického objektu.

Literatúra

- Atlas SSR. Mazúr, E. (ed.), Vyd. Slov. Akad. Vied 1980.
- Cebecauer, I. a Liška, M.: Príspevok k poznaniu krasových foriem Spišských travertínov a ich kryhových zosunov. In: Slov. Kras, X, 1972, č. 72, s. 47 – 61.
- Fussgänger, E.: Poznatky z terénneho výskumu plazivých svahových pohybov travertínových blokov na Spišskom hrade. In: Miner. Slov., 17, 1985, s. 15 – 24.
- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of Geological Factors of the Environment. In: Zborník XV. Congress of the CBGA 17. – 20. September 1995, Athens, Greece, pp. 1 034 – 1 037.
- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of geological hazard of the Slovak Republic. In: 8th International Congress IAEG, 1998, Vancouver, Canada, pp. 1 113 – 1 120.
- Klukanová, A.: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. In: Zborník referátov z I. konferencie: Geológia a životné prostredie, Bratislava, 25. a 26. november 1998. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1998, s.123 – 126.
- Košťák, B.: Terčové mēřidlo TM 71 a jeho užití pro měření pomalých pohybů na poruchách a trhlinách. In: Inženýrské stavby, 1977, č. 25, s. 213 – 218.
- Košťák, B. a Sikora, J.: Ověření účinnosti sanačních opatření na Oravském hradě. In: Geotechnika, 2000, č. 3, s. 8 – 10.
- Malgot, J., Baliak, F., Mahr, T., Ondrášik, R., Sikora, J. a Šajgalík, J.: Inžinierskogeologický prieskum pre rekonštrukciu hradu Strečno. In: Geol. Průzk., 25, 1983, s. 161 – 165.
- Malgot, J., Baliak, J., Bartók, J. a Vlčko, J.: Inžinierskogeologický prieskum a geotechnické opatrenia Spišského hradu. In: Zb. Zakládání staveb. Brno, ČSVTS 1992, s. 11 – 17.
- Nemček, A.: Zosuvy v Slovenských Karpatoch. I. vyd. Bratislava, Veda, Vyd. Slov. Akad. Vied 1982. 318 s.
- Sikora, J., Bitterer, I., Frnčo, M., Slivovský, M. a Fašiangová, M.: Oravský zámok – ochrana, orientačný inžinierskogeologický prieskum. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1986.
- Vlčko, J., Petro, L. a Košťák, B.: Monitorovanie pohybov skalných blokov na Spišskom hrade. In: Zbor. referátov z I. konferencie Geológia a životné prostredie. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1998, s. 102 – 104.

Stability of the rock massifs under historic structures

Summary

Slovakia possesses a great number of historic sites, dating mainly from the Middle Ages. There are about 130 castles (many of them in a state of ruin), over 2000 churches and more than 35 historic town centres that are under the state protection. Great number of historic sites is located at steep high ranging slopes or cliffs with rather complicated geologic structure. Action of weathering and karst processes within the subgrade accompanied with different types of landslides (toppling, lateral spreading, sliding, etc.) cause failures and serious damage to historic structures. In recent years the monitoring of long lasting slow displacements within the subgrade of historic structure is

carried out. Monitoring should be applied in the pre-constructional phase of historic structure preservation, when a dynamics of geological environment is studied as well as in post-reconstructional phase, when the effect of remedial measures reducing the landslide risk is monitored. When studying the danger bringing the risk to historic structure it is necessary to know the triggering mechanism, kinematics, character of movement, time span and the relationship between the displacement of the subgrade and failures in the upper structure i. e. historic monument. The experience gained during the investigation at several medieval castles (Malgot et al., 1983; Sikora et al., 1986; Malgot et al., 1992; Vlčko et al., 1998) proved that creep displacements are one of the most endangering factors influencing the stability of historic site and that is why a research programme focussed at monitoring has been set up. The project is entitled *Partial monitoring system of geological factors of the environment in Slovakia – stability of the rock massifs under historic structures* and is financed from the budget of the Ministry of the environment of the Slovak Republic. Within this programme a monitoring net inside Castle Spiš (UNESCO monument), Orava, Strečno, Lietava, Hlohovec as well as Skalka Monastery and Romanesque church in Kostofany pod Tribečom was established. For the measuring are used crack gauges of two types – extensometer TM-71 (Fig. 1) working on the principle of mechanical interference – moiré, which records displacement as a fringe pattern on superposed optical grids mechanically connected with the opposite walls or crack faces and demountable mechanical strain gauge SOMET (Fig. 2) consisting of an invar rod with variable lengths (25, 50, 70 and 110 cm). The instrument comprises a lever and dial gauge arrangement mounted on an invar main beam and two or three locating fixed points. Depending upon their location it is possible to estimate the translational displacement (Fig. 3) or rotation when the arrangement of four fixed points consists. Accuracy of measurements of both types of crack gauges after the temperature correction is very high and reaches ≤ 0.1 mm. The advantage of a latter one is its possible usage even in the interiors.

Long-term measurements at Spiš Castle proved that within the period of 1980 – 1994 the most intensive displacement was observed in the eastern part of the Lower courtyard (Fig. 4) in an open crack separating the transversal and the outer defence walls. The total displacement along axis y recorded by TM-71-múr (Fig. 8) reached 14 mm. Another noticeable displacement at Spiš Castle was observed at the SE part of the Lower Courtyard in a travertine block near by the entrance to the castle. Because of failures recorded from the past there were chosen three observation points. One in a 74 cm wide tension crack forming an entrance to the Podhradská jaskyňa

Cave and the other two from the opposite side located at Courtyard II. The crack with a rate of $0.57 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$ was progressive, the crack opening reaching 2.4 mm within the period of 1992 – 1994. Since that time the displacements were gradually decreasing and it can be seen that further tendency to extension is not so evident even though the increase of 0.3 mm was recorded. In the last two years the seasonal effect of temperature and precipitation was evident. Data obtained from the crack gauges TM-71-h1 (Fig. 5) and TM-71-1 (Fig. 6) located at the opposite side of the same travertine block recorded lateral compression reaching between 1992 – 2000 the rate of displacement 3.4 mm (TM-71-1) while at the nearby situated crack gauge an extension of about 5.0 mm within period 1980 – 1997 was recorded. Since that time a sudden change in the trend of displacement can be found. A very clear trend to compression with a rate $0.57 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$ was recorded. The reason of the change in the trends of displacement might be a huge travertine boulder which fell from the upper part of the slope directly into the crack and thus formed a barrier for further extension of both measured cracks. The progressive cracking and fissuring of the boulder was the evidence of constant lateral pressure from the travertine cliff. The direct evidence of constant creep movements resulted also the first slight fissures which occurred in the already repaired masonry walls. The latter ones forced the building company which is carried out the restoration works to remove the boulder from the open crack using explosives. The first measurements after explosion proved the lateral displacement of about 0.8 mm. It is assumed that this circumstance may accelerate the lateral pressure at the minimum rate of displacement which correspond to those one recorded within the period 1992 – 1994.

The displacements recorded at Strečno Castle reached extension 1.2 mm (Fig. 9). At sites Lietava and Skalka Monastery (Fig. 10) any remarkable displacements were recorded. Due to the fact that the locations for portable strain gauge were selected only in year 2000 the recording time is too short for estimating any trends of displacements.

The monitoring data we gained during our investigation proved the validity of the research work. In the future we will concentrate to extend the methodology of measuring (thermal effects) using demountable strain gauge as well as to comparison of data recorded by both different types of crack gauges. The data about the rate of displacement will form input data for simulating the kinematics and the time scale for potential ongoing failures and thus a "warning" system for the specialists involved in the branch dealing with preservation and restoration of historic monuments will be developed.

Pochované antropogénne sedimenty

MÁRIA KOVÁČIKOVÁ

Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Abstract. Buried anthropogenic deposits represent soils, rocks and other materials, which were deposited by man into the rock environment during his living. The imprints of these deposits are extinguished by activities of man or by influence of natural impacts. Today these places are hidden, no signs of authentic deposits are obvious. Their influence on groundwaters, surface waters, soils or air depends on their content and character on the environment, but usually can be very negative. From this viewpoint, the identification and assessment of sites with buried anthropogenic deposits is an integral part of the Partial monitoring of the environment of Slovak Republic.

The paper describes the aim of the monitoring, its background and methodology in chosen areas – in Bratislava, Žitný ostrov area. Košice and in several parts of Central and Northern Slovakia. A detailed database of these deposits serves as a source data for an information system. A particular part of the assessment of localities is an assessment of their risk on the groundwaters and surface waters, soils and air. These can serve as a basis for their mitigation.

Kľúčové slová: pochované antropogénne sedimenty

Úvod

Pochované antropogénne sedimenty sú sedimenty vznikajúce v dôsledku činnosti človeka, ktoré ukladal do horninového prostredia. Jeho činnosťou alebo prírodnými procesmi boli zakryté, zavezené, zarastené, tak, že sa stávajú súčasťou prírodného prostredia. Najčastejšie sú to staré skládky odpadu, staré haldy a iné banské diela, areály priemyselných podnikov, ale aj centrá historických miest plné „kultúrnych“ vrstiev ako prejav životná našich predkov. Opäť na „scénu“ sa dostávajú až obnovením stavebných aktivít na miestach ich pôvodného uloženia, kde komplikujú a predražujú zakladanie stavieb, resp. s prejavmi ich kontaminácie sa stretávame v monitorovacích vrtoch pod-zemných a povrchových vôd.

Medzi prírodným prostredím a uloženými antropogénnymi materiálmi existuje vzťah vzájomného ovplyvňovania. Jeho intenzita je podmienená najmä materiálovým zložením uložených sedimentov a vlastnosťami prostredia. Štúdium tohto vzťahu značne sťažuje absencia základných údajov a zastretie pôvodných charakteristík a črt tak prostredia, ako aj uložených materiálov. Uvedené faktory boli východiskom stanovenia postupných krokov riešenia úlohy s cieľom vytvoriť súbor údajov, ktoré približujú reálny stav. Formulované sú takto:

- vyhľadanie pochovaných antropogénnych sedimentov (ďalej len PAS),
- dokumentovanie vývoja reliéfu,

- charakteristika PAS a ich podložia,
- hodnotenie možného vplyvu na životné prostredie,
- výber lokalít na ďalšie sledovanie,
- monitorovanie vplyvu vybraných lokalít na všetky zložky životného prostredia,
- vypracovanie parciálneho informačného systému.

Optimálny stav riešenia tohto podsystému predpokladá zodpovedajúce finančné prostriedky. Ich redukcia bola dôvodom na korekciu prác, najmä tých, ktoré sú finančne náročné (napr. vybudovanie monitorovacích systémov). Hodnotenie PAS ako súčasti *Čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky* sa urobilo v prácach Klukanová a Liščák (1998) a Klukanová (1998).

Impulzom na systematické sledovanie PAS boli prvé registrácie skládok na území veľkej Bratislavy a príľahlom území Malých Karpát (Kováčiková a Kováčik, 1986). Pri systematickej registrácii skládok v tomto území sa zaznamenal výskyt lokalít, ktoré nejavili vizuálne znaky bežných skládok odpadu. Z podrobnejšieho štúdia ich histórie bolo zrejmé, že skládkami boli v minulosti, následne sa upravovali a začleňovali do krajiny. Charakteristickou skupinou sedimentov mesta Bratislavy (vyčleňovaných aj na geologických a inžiniersko-geologických mapách) sú antropogénne sedimenty centra mesta vznikajúce od najstarších čias osídlenia, v centrálnej časti dosahujúce až 10 metrov. Tvoria podložie mestskej zástavby a s ich priamym odhalením sa stretávame len pri zakladaní stavieb. Podobne typickým sedimentom s pôvodom v minulosti sú materiály a odpad v areáloch priemyselných podnikov, kde sa často ukladal aj nebezpečný odpad. Takúto situáciu umožňovala absencia právnych predpisov, ktoré by regulovali celý proces nakladania s odpadom.

Systematická registrácia skládok odpadu (pre celé územie SR v rokoch 1992 až 1997) ako súčasť zostavovania máp vhodnosti územia na skládky odpadu poukázala na pomerne veľký počet zakrytých skládok vznikajúcich v terénnych depresiách po ťažbe najmä štrkov a pieskov. Výsledky registrácie skládok v okrese Dunajská Streda v roku 1990 poukázali na cca jednu štvrtinu zakrytých skládok z ich celkového počtu (Kováčiková, 1990). V roku 1997 počet zakrytých skládok v tomto okrese predstavoval už cca jednu polovicu (Kováčiková et al., 1997). Prekrývanie skládok bude mať aj naďalej stúpajúci trend. Dôkazom toho je aj program odpadového hospodárstva okresu zostavený v r. 1997. Ako jednu z rozhodujúcich metód likvidácie neriadených skládok v Dunajskej Strede určuje ich zavezenie a začlenenie do prostredia.

Podobný trend prekryvania je možné pozorovať v prípade antropogénnych sedimentov s pôvodom z povrchovej a podpovrchovej ťažby, resp. z úpravy a spracovania vyťažovaných nerastov, z ukladaných kalov a pod. Uvedené sedimenty staršieho veku sú po zarastení vegetáciou takmer neodlíšiteľné od okolitého prostredia. Novšie lokality sa sanačnými úpravami a rekultivačnými prácami vedome začleňujú do okolitého prostredia. Sú opísané v správach orientovaných na hodnotenie surovínových zdrojov Slovenska alebo na iný významný aspekt ich prítomnosti – potenciálny alebo skutočný vplyv na jednotlivé zložky životného prostredia.

Rozdelenie PAS a ich identifikácia na území SR

Východiskom stanovenia metodických postupov monitorovania PAS boli praktické poznatky z ich reálneho výskytu na území SR, ktoré boli podkladom na ich základné rozčlenenie. Zohľadnením genézy a materiálového zloženia sedimentov sa vyčlenili nasledujúce skupiny:

- zakryté skládky odpadu,
- sedimenty v centrách miest ako výsledok dlhodobého osídlenia (pracovne nazvané mestské sedimenty),
- priemyselné sedimenty v areáloch veľkých priemyselných podnikov (alebo v ich blízkosti),
- antropogénne sedimenty ako dôsledok povrchovej a podpovrchovej ťažobnej činnosti (pracovne nazvané banské sedimenty),
- produkty energetických a spaľovacích zariadení, zariadení na úpravu alebo vedľajší produkt spracovania (pracovne nazvané zakrytá škvara, popol a kaly).

Na sledovanie PAS boli vybrané nasledujúce územia:

- oblasť mesta Bratislavy z hľadiska najväčšieho výskytu vyčlenených skupín PAS, a to zakrytých skládok, mestských sedimentov, priemyselných sedimentov, menej banskej a zakrytej škvary a popola,
- oblasť Žitného ostrova vzhľadom na vysoký počet zakrytých skládok odpadu,
- oblasť mesta Košice pre predpokladaný výskyt všetkých vyčlenených skupín,
- oblasť stredného Slovenska s výskytom najmä banských a priemyselných sedimentov,
- oblasť severného Slovenska s výskytom banských sedimentov.

Charakteristika vybraných území z hľadiska výskytu PAS

Územie mesta Bratislavy

Dĺžka osídlenia tohto územia a hospodárske aktivity obyvateľstva podmienili výskyt širokého spektra antropogénnych sedimentov. Vekom najstaršie, plochou a hrúbkou najväčšie a značne heterogénne sú mestské sedimenty typické pre centrum starého mesta, resp. staršie časti mesta. Vznikali od najstarších čias osídlenia územia mesta alebo v dôsledku väčších stavebných aktivít (napr. po druhej svetovej vojne, v čase industrializácie, pri výstavbe sídlisk a pod.). Tvoria oblasti so súvislým výskytom s hrúbkou až do 10 m napr. v oblasti starého mesta, pod hlavnou železničnou stanicou či na nábreží Dunaja.

Vzhľadom na väčšiu koncentráciu obyvateľstva, sústredenie výrobných kapacít a neriadenej proces ukladania odpadu v minulosti je na území mesta Bratislavy veľký počet skládok komunálneho a priemyselného odpadu, často zmiešaného charakteru. Taká je napr. bývalá verejná skládka medzi Devínskou Novou Vsou a Záhorskou Bystricou alebo zavezené skládky v okolí Slovnaftu. Územie Petržalky bolo v minulosti miestom vyvážania odpadu z celej Bratislavy. Po rozhodnutí vybudovať nové panelové sídlisko na tomto území bolo nutné časť odpadu odstrániť. Na území mesta ako pozostatok po výstavbe panelových sídlisk sa vyskytuje aj stavebný odpad a premiestnená zemina. Zaberajú pomerne veľké plochy atraktívnych území a znižujú ich stavebnú hodnotu. Príkladom takej skládky je územie na konci Dúbravky za otcou električiek.

Vo veľkých areáloch podnikov na území mesta sa veľmi často ukladal aj nebezpečný priemyselný odpad, tvoriaci miestami súvislý pokryv. Typickým príkladom takeého podniku je Istrochem. Tento podnik ukladal nebezpečný odpad z výroby aj do starého ramena Malého Dunaja.

V západnej časti mesta (okolie Devína) sa v minulosti ťažil aj v súčasnosti sa ťaží stavebný kameň. V súvislosti s jeho ťažbou vznikali uloženy skryvky v blízkosti ťažobných miest. Tieto banské sedimenty sa v porovnaní s predchádzajúcimi skupinami vyskytujú v menšom počte.

Novým materiálom, ktorý mesto produkuje v súvislosti so spaľovaním domového odpadu vo veľkom množstve, je škvara zo spaľovne na jz. okraji Slovnaftu. Na začiatku činnosti spaľovne pred cca dvadsiatimi rokmi nebolo vybrané miesto na ukládanie škvary. Škvara sa živelné vyvážala do najbližších terénnych depresí a najbližšieho okolia spaľovne, väčšinou v okolí podniku Slovnaft.

Súčasný stav lokalít s PAS na území mesta je dokumentovaný niekoľkými fotografiami.

Územie Žitného ostrova

Územie Žitného ostrova má niekoľko charakteristických črt významných z hľadiska výskytu PAS. Horninové prostredie budujú vysokopriepustné fluválne štrky a piesky, ktoré sa tu ťažili a ťažia sa aj v súčasnosti. V tomto prostredí existuje veľký počet vyťažovaných priestorov. Časť z nich, ktorá je predmetom nášho záujmu, je zavezená odpadom, vyrovnaná a začlenená do okolitého prostredia. Počet zakrytých skládok predstavuje viac ako jednu polovicu z celkového množstva skládok. Ich počet prudko stúpa najmä v dôsledku skončenia platnosti osobitných podmienok skládok a tlaku na ich rekultiváciu.

Materiálové zloženie odpadu je odrazom hospodárskej činnosti. Potenciál územia je výrazne orientovaný na poľnohospodársku produkciu a spracovanie produktov. V mestečkách a dedinách existujú okrem toho miestne prevádzky a služby. Podobný výrobný potenciál malo územie aj v minulosti. Z toho sa dá usudzovať na zloženie odpadu, ktorý je uložený na zakrytých skládkach. Ako problematické sa javia veľké skládky odpadu, na ktoré sa sústreďovalo ukládanie domového odpadu z väčších regiónov, resp. z existujúcej priemyselnej výroby. Taká je napr. v súčasnosti už opustená mestská skládka

Foto 1 Súčasný stav skládky severne od Devínskej Novej Vsi pri ohybe železničnej trate.



Foto 2 Bývalá skládka škvary zo spaľovne odpadu v Bratislave, lokalizovaná vedľa Malého Dunaja, v súčasnosti výrobný-skladovací areál.



Foto 3 Zavezená mestská skládka medzi areálom Volkswagenu a Záhorskou Bystricou.



v južnej časti mesta Dunajská Streda. Ako ukazujú výsledky monitoringu skládok odpadu z územia dotknutého vodným dielom Gabčíkovo (Adamková, 1997) alebo práca zameraná na hodnotenie starých záťaží v okrese Dunajská Streda (Kováčiková et al., 1997; Bodiš et al., 2000), takéto zakryté skládky predstavujú lokálny zdroj kontaminácie podzemnej vody.

Oblasť mesta Košice

Predstavuje územie, na ktorom sa nachádzajú takmer všetky vyčlenené skupiny PAS. Podľa výsledkov vrtných prác mestské sedimenty majú inertné zloženie, dosahujú malú hrúbku (0,2 až 1 m) a tvoria nesúvislé plochy. Preto boli vyradené z hodnotenia.

Najmä v južnej časti územia mesta sú často zakryté skládky domového odpadu umiestnené v štrkovitých náplavoch nížinných tokov s predpokladanou hladinou podzemnej vody v kontakte s materiálom. Na týchto skládkach sa ukladal aj odpad z výroby VSŽ Košice. Tieto skládky predstavujú potenciálne nebezpečenstvo pre podzemné vody.

V južnej časti územia sa nachádzajú lokality zavezené len vápenato-horečnatým kalom z výroby vo VSŽ Košice. V severnej časti hodnoteného územia sa nachádzajú zakryté haldy skrývky z ťažby magnezitu.

Oblasť stredného a severného Slovenska

Územie je charakteristické výskytom banských sedimentov na väčšine historicky doložených lokalít s ťažbou rúd v rudných banských revíroch a s ťažbou nerudných surovín. Priemyselné sedimenty predstavujú materiály vznikajúce űpravárenskou a hutníckou činnosťou. Pretože táto činnosť v minulosti úzko súvisela s baníckou činnosťou, často ide o zmiešaný bansko-priemyselný typ sedimentov. Ostatné priemyselné sedimenty zahŕňajú rozličné druhy trosky, kamienky, škvary, popol, materiál z mechanicky a chemicky upravenej suroviny na výrobu kovov (odkaliská), zvyšky z výroby dreveného uhlia a výroby po destilácii uhlia zahŕňajúce fenoly a dechty. Posledné spomínané sedimenty sú viazané na miesta, kde bolo potrebné tepelné spracovanie – űprava vytŕažených rúd, koncentrátov a nerudných surovín (tehelne).

Do skupiny sedimentov škvary a popola sú zahrnuté veľké, vo väčšine prípadov ešte využívané depónie odpadu z energetického využitia fosílnych palív. Ide o depónie – skládky škvary – ukladané klasickým spôsobom (skládkovaním) a depónie, pri ktorých sa využívala hydraulická doprava – odkaliská. Produkcia týchto materiálov je viazaná na teplárne, resp. priemyselné podniky (Nováky, Žiar nad Hronom).

Identifikácia jednotlivých lokalít

Východiskom identifikácie jednotlivých lokalít v rámci hodnotených území boli dovtedajšie práce prieskumného a výskumného charakteru uskutočnené vo vybraných územiach.

Nevyhnutným doplnkom identifikácie bolo aktívne vyhľadávanie dovtedy neznámych lokalít. Účinnou metódou vyhľadávania nových lokalít je porovnávanie starších

topografických podkladov s novými, najlepšie totožnej mierky. Pri pozornom porovnávaní takýchto máp je možné objaviť miesta, ktoré boli v minulosti terénnymi depresiami (vytŕažené priestory, staré ramená riek, erózne ryhy) a v súčasnosti sa ako depresie nejavia. Podobne je možné nájsť na nových topografických podkladoch terénne elevácie, ktoré v minulosti neexistovali. Je pochopiteľné, že taký postup vyhľadávania je možné zvoliť v územiach, kde predpokladáme ich výskyt.

Vyhľadanie lokalít s PAS je možné uskutočniť aj štúdiom iných podkladov – ústnych informácií od zainteresovaných osôb, zo správ v archívoch (napr. odbor informatiky ŠGÚDŠ, archívy podnikov) a využitím informácií v rozličných databázach (napr. databáza odkalísk).

Charakteristika jednotlivých lokalít

Charakteristika jednotlivých lokalít je zameraná na sústredenie všetkých dostupných relevantných údajov o prostredí lokality a jej náplni v *záznamovom liste*. Na doplnenie (spresnenie) údajov sa realizovali:

- geofyzikálne práce,
- rešeršné spracovanie údajov v prípade lokalít s rozsiahlymi prieskumnými prácami,
- využitie niektorých metód diaľkového prieskumu Zeme.

Záznamový list PAS

Na charakteristiku jednotlivých lokalít bol vypracovaný záznamový list vo viacerých verziách. Prvá verzia je spracovaná pre potreby vyplnenia základných údajov spracovateľom v teréne. Druhá verzia je výstupom z databázy o PAS spracovanej v systéme Db4, na ktorú nadväzuje výstup z informačného systému (ďalej len IS). Časť je venovaná zobrazeniu údajov o lokalite v štyroch blokoch – poloha lokality, materiál, prostredie a ohrozenie prostredia. Informácie v záznamovom liste sú rozdelené na informačné bloky:

- identifikačné údaje,
- základné zaradenie do vyčlenených skupín,
- časové údaje o vzniku,
- charakteristika, plocha a objem uloženého materiálu,
- charakteristika horninového podložia, jeho priepustnosť, hladina podzemnej vody, vzťah k povrchovej vode,
- prieskum na lokalite, výsledky monitoringu,
- poloha lokality vo vzťahu k mape vhodnosti územia na skládky odpadu,
- hodnotenie vplyvu na životné prostredie (odhad),
- navrhovaný ďalší postup monitoringu,
- navrhovaný spôsob sanácie (ideový návrh, odhad),
- fotodokumentácia,
- dokumentácia stavu reliéfu pred vyplnením, resp. zavezením,
- dokumentácia súčasného stavu reliéfu.

Charakteristickým znakom vyplňania údajov v jednotlivých blokoch je možnosť vkladania súvislých textov vzhľadom na obmedzujúci charakter predpísaných možností.

Záznamové listy boli vyplnené za všetky identifikovateľné lokality a sú podkladom na vytvorenie informačného systému o PAS.

Geofyzikálne práce

Vybrané charakteristiky lokalít s PAS sú často neznáme alebo odhadované s veľkou neurčitou. V prípade lokalít, ktoré boli po prvýkrát identifikované až v rámci moni-torovania PAS (keď chýbali akékoľvek relevantné údaje, pričom indicie získané zo štúdia mapových podkladov ukazovali na významné kvalitatívne a kvantitatívne parametre lokality), sa použili aj geofyzikálne merania, napr. na:

- novoidentifikovanej lokalite severne od Devínskej Novej Vsi, za štátnym majetkom, v tesnej blízkosti oblúka železničnej trate (lokalita Nové diely),
- skládke bývalých Chemických závodov Juraja Dimitrova vo Vrakuni.

Výsledky geofyzikálnych prieskumov spresnili materiálové zloženie odpadu (stanovením častí skládok budovaných organickým materiálom, kovovým odpadom, stavebným odpadom a zeminou, resp. chemicky znečisteným odpadom), hrúbku odpadu a pravdepodobné smery šírenia znečistenia podzemnej vody. V prípade budovania monitorovacích vrtov výsledky geofyzikálnych prieskumov umožnia ich správnu lokalizáciu.

Rešeršné práce na jednotlivých lokalitách

V tejto etape sa sústredili všetky dostupné relevantné informácie o identifikovaných lokalitách, ktoré sa uložili do databázy o PAS. Využili sa archivované údaje odboru informatiky ŠGÚDŠ, najmä obsah databázy inžinierskogeologických, hydrogeologických a ložiskových správ, ale aj informácie od jednotlivých pôvodcov odpadu a ústne informácie od realizátorov inžinierskogeologických prieskumov veľkých sídlisk na území mesta Bratislavy. Údaje sú zaznamenané ako jedna z možných, vopred stanovených možností záznamového listu alebo ako obsah poznámky k príslušnému bloku záznamového listu, nelimitovaný dĺžkou textu.

Vyskytli sa prípady, keď vzhľadom na rozsah údajov o lokalite bolo možné uskutočniť aj určité závery obsahujúce hodnotenia vplyvu na životné prostredie. Takou lokalitou bolo územie bývalých Chemických závodov Juraja Dimitrova v Bratislave. O tejto lokalite bola spracovaná súhrnná štúdia hodnotiaca hydrochemické prieskumy realizované na území areálu Istrochem Bratislava a skládky chemického odpadu CHZJD vo Vrakuni.

Využitie metód diaľkového prieskumu Zeme

Jednou z doplnkových metód identifikácie PAS bolo využitie leteckých meračských snímok na porovnanie situácie na snímke s topografickými podkladmi rôzneho veku a mierky. Vzhľadom na ich súčasné ceny sa využili už existujúce staršie snímky od rozličných inštitúcií (niekedy datované len približne). Takto sa využili čiernobiele letecké meračské snímky mierky cca 1 : 10 000 približne z územia okresu Dunajská Streda.

Na dokumentáciu súčasného stavu reliéfu a súčasného využitia lokalít budovaných PAS sa využili družicové snímky KFA 3000, spracované firmou Data Image, s. r. o., Bratislava v roku 1996 z originálnych údajov World-map International Ltd. a Príroda z roku 1993. Snímky sa zväčšili do mierky 1 : 10 000 a vytlačili podľa listokladu topografických máp mierky 1 : 10 000. Do týchto „máp“ boli vykreslené lokality PAS z územia mesta Bratislavy.

Hodnotenie možného vplyvu na životné prostredie

Hodnotenie možného vplyvu na podzemnú vodu, povrchovú vodu, pôdu a ovzdušie vychádza zo všetkých vstupných údajov, ktoré sú k dispozícii o jednotlivých lokalitách v záznamovom liste. Spôsob hodnotenia je závislý od podrobnosti údajov, ich hodnovernosti a presnosti. V etape orientačného prieskumu má často charakter len veľmi približného odhadu. V prípade existencie dôveryhodných výsledkov monitorovania vplyvu na životné prostredie sa úroveň hodnotenia značne zvyšuje.

V reálnych podmienkach monitorovacieho systému PAS je veľmi nevyrovnaná hladina presnosti, hodnovernosti a podrobnosti jednotlivých vstupných údajov. Existujú lokality s pomerne dobre známymi charakteristikami, napr. areál Istrochemu v Bratislave, ktoré umožňujú hodnotenie vplyvu na životné prostredie. Veľká väčšina lokalít nedosahuje úroveň vstupných údajov tejto lokality.

Pre všetky lokality sa v úvode riešenia úlohy zvolil jednotný spôsob hodnotenia vplyvu na životné prostredie stanovením možnosti šírenia kontaminácie do podzemnej a povrchovej vody, pôdy a ovzdušia. Hodnotenie má povahu odborného odhadu a vychádza zo všetkých údajov o lokalite, najmä o zložení materiálu a geologických pomeroch.

Spôsob hodnotenia vplyvu na životné prostredie bol modifikovaný formou hodnotenia rizikovosti lokality pre povrchovú a podzemnú vodu, ovzdušie a pôdu. Ako rozhodujúci faktor ovplyvňujúci uvedené riziká sa stanovila hodnota rizikovosti materiálu uloženého na skládke. Riziká sa hodnotia v päťstupňovej škále (nízke, nízke až stredné, stredné, stredné až vysoké a vysoké riziko).

Záver

Doterajšie práce sa orientovali na identifikáciu lokalít, zber existujúcich a archivovaných údajov o všetkých parametroch lokalít podľa záznamového listu, ich terénnu obhliadku, fotodokumentáciu a hodnotenie vplyvu na životné prostredie, ktoré vychádza zo zaznamenaných údajov.

Významným poznatkom získaným v priebehu riešenia tejto úlohy je záver o nutnosti hodnotenia lokalít z hľadiska rizikovosti zameranej na vybrané prvky životného prostredia a potreba sústredenia všetkých získaných údajov o lokalitách do geografického informačného systému.

Literatúra

- Adamková, J.: Monitorovanie vplyvu skládok odpadov na kvalitu podzemných vôd na území dotknutom výstavbou VD Gabčíkovo. Záverečná správa. Manuskript. Bratislava – archív SHMÚ, 1997.
- Bodíš, D., Klukanová, A., Klaučo, S. a Kováčiková, M.: Staré záťaže. Čiastková záv. správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 2000.

- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of geological hazard of the Slovak Republic. In: 8th International Congress IAEG, Vancouver, Canada, 1998, pp. 1 113 – 1 120.
- Klukanová, A.: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. In: Zborník referátov z I. konferencie Geológia a životné prostredie, Bratislava, 25. a 26. november 1998. Ed. Wagner, P. a Klukanová, A. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1998, s. 123 – 126.
- Kováčiková, M., Mikuláš, M., Klaučo, S., Ondrášik, M., Tylčer, J., Orel, F. a Fiala, Z.: Hodnotenie starých záťaží a ostatných zdrojov znečistenia v okrese Dunajská Streda. Záverečná správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1997.
- Kováčiková, M.: Registrácia skládok odpadov. Čiastková záv. správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1990.
- Kováčiková, M.: Antropogénne uloženiny Bratislavy. Čiastková záv. správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1987.
- Kováčiková, M. a Kováčik, M.: Inžinierskogeologické hodnotenie podlžia skládok. Čiastková záv. správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1986.

Buried man-made deposits

Summary

Partial monitoring system – Buried anthropogenic deposits is focused on deposits originated by activity of man, which were deposited into the rock environment in the past. They were hidden by human activity or by action of nature. At present time these deposits are the part of the environment.

For the needs of this work, the deposits were distinguished into several groups:

- buried landfills,
- historic deposits in central parts of cities,
- industrial deposits in areas of industrial enterprises,
- deposits resulted from excavation or mining,
- deposits developed in incineration plants, during processing of raw materials (slags, ashes, slugs, etc.).

The mentioned groups of deposits (sediments) are studied in areas where they are frequent. These areas are: towns Bratislava and Košice, the area of the Žitný ostrov – the area with protected

sources of groundwater, and selected areas in Central and Northern Slovakia with mining activity since Medieval age. The localisation of several study sites, even hidden, was not necessary, because they have been well known from archived records. Some other sites had to be identified by the aid of series of indirect attributes. A standard method has been the comparison of topographic maps of different age. Depression of various origins can be identified. Very often, these depressions are filled by anthropogenic materials and had been implemented into the topography. Some other renders are taken into account for identification – archive data, old databases, oral information of local people, etc.

The identified localities are described in an inventory sheet. This sheet contents:

- identification data,
- classification into basic groups,
- time data about the origin,
- basic characteristics, surface and volume of deposited material,
- characteristics of underlying rocks/soils, its permeability, groundwater level, relation to surface water,
- records about the geological survey on the site and results of monitoring (if any),
- the location of site in respect to the Map of the suitability to landfills 1 : 50 000,
- assessment of the influence on the environment (estimation),
- suggestion for the further action in monitoring,
- suggestion of mitigation,
- photographic documentation,
- documentation of the topography before infilling,
- documentation of present topography.

Data of the inventory sheet are implemented into a geographic information system which work under standard PC based Windows system. The GIS allows to put, add, correct, archive, print and plot in text, graphic, chart and map form.

Monitorovanie tektonickej a seizmickej aktivity územia Slovenska

MIROSLAV HRAŠNA

Prírodovedecká fakulta UK, Katedra inžinierskej geológie, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava

Abstract. The seismotectonic analysis of the Western Carpathians was performed taking into account their geological- tectonic structure, vertical movements of the surface and movements along faults, as well as the observed seismic intensities. A catalogue of faults and a new map of seismotectonic zoning were compiled. The territory of Slovakia was dissected according to tendency and velocity of vertical movements into some areas and zones. Predictions of occurrence and earthquake intensities were made for the next future.

Úvod

Monitorovanie aktivity tektonických a seizmických javov má charakter celoplošného monitorovania územia Slovenska. Jeho predmetom je sledovanie pohybovej aktivity geologických štruktúr a relatívnych pohybov pozdĺž zlomov, ktoré môžu mať charakter pomalých (krípových) pohybov alebo rýchlejších pohybov sprevádzaných seizmickými otrasmi. Oba typy pohybovej aktivity, ako aj seizmické otrasy môžu mať priamy nepriaznivý vplyv na stavby i krajinné prostredie alebo nepriamy vplyv prostredníctvom aktivizácie iných geodynamických javov (zosuvy, presadenie, sťahovanie a i.).

V doterajšej praxi sa uvedené javy sledovali viac- menej izolovane. Dôsledkom toho bola znížená kvalita ich interpretácie a prognózy ich vplyvov na životné prostredie. Zámerom riešenia úlohy je komplexné štúdium pohybovej aktivity vrchnej časti zemskej kôry na základe sledovania vertikálnych pohybov zemskeho povrchu, seizmickej aktivity územia a aktivity pohybov pozdĺž zlomov. Cieľom monitorovania je vymedzenie území s rovnakou tendenciou a rýchlosťou pohybov, ako aj území s rovnakou prognózovanou seizmickou intenzitou. Vzhľadom na relatívnu pomalosť tektonických pohybov a dlhodobú návratnosť silnejších zemetrasení nie je možné úplne dosiahnuť tento cieľ počas ich relatívne krátkodobého monitorovania. Predpokladá sa preto permanentná aktualizácia výstupov vo forme seismotektonických máp s predpokladanou dobou inovácie päť rokov. Permanentné hodnotenie uvedených javov a ich korelácia s geologickou stavbou územia vytvárajú potrebné predpoklady na spresnenie vymedzenia seizmických oblastí, území so zvýšenou aktivitou vertikálnych pohybov povrchu, ako aj tektonických línii s recentnou pohybovou aktivitou.

Aktivita pohybov pozdĺž zlomov

Aktivita recentných tektonických pohybov pozdĺž zlomov sa doteraz na území Slovenska systematicky nesledovala. Pri spracúvaní jednotlivých geologických regiónov a zostavovaní geologických máp je obvykle dokumentovaný celý geologicko-tektonický vývoj, prípadne neotektonické pohyby (od bádenu, resp. panónu), menej často aj pohyby počas kvartéru alebo holocénu. Mladé tektonické pohyby sú pritom dokumentované spravidla len z oblasti nížin a kotlín. Podrobnejšie boli tieto pohyby pre celú oblasť Podunajskej nížiny a časť Malých Karpát a Záhorskej nížiny dokumentované v rámci medzinárodného projektu DANREG, pre oblasť Východoslovenskej nížiny a príľahlé časti pohorí v rámci projektu TIBREG. O systematickú evidenciu zlomov neogénnych tektonických depresí sa pokúsili pracovníci bývalého GÚDŠ (Vass et al., 1973). Tá však nebola dokončená a spracovaná databáza ani jej programové zabezpečenie už nie sú k dispozícii.

Riešenie problematiky vzťahu vertikálnych pohybov povrchu a pohybov pozdĺž zlomov, najmä však seizmicity územia Slovenska, si v prvej etape monitorovania vyžiadalo spracovanie databázy zlomov v prehľadnej mierke. Všetky zlomové poruchy prevzaté z geologických máp rôznych mierok sa zakreslili do topografického podkladu mierky 1 : 200 000. Následne sa v tabuľkovej forme vytvoril katalóg zlomov a program na manipuláciu s grafickými i textovými údajmi.

Každý zlom je v katalógu evidovaný číslom mapového listu 1 : 200 000 a poradovým číslom v rámci príslušného listu. Okrem toho sa v katalógu uvádza zdroj, odkiaľ bol zlom prevzatý, jeho pôvodné označenie a názov (ak boli uvedené). Uvádza sa aj obdobie vzniku, najstaršie a najmladšie prejavy aktivity, dĺžka a hĺbkový dosah zlomu, jeho sklon a maximálna výška skoku. Tieto údaje však boli uvedené iba v prípade časti zlomov a bude potrebné postupne ich doplniť. Posledný stĺpec katalógu (označený ako významnosť) bude obsahovať údaj o významnosti zlomu z hľadiska recentnej pohybovej aktivity a z hľadiska seizmicity. Obsah a usporiadanie údajov v katalógu dokumentuje tab. 1.

Programové zabezpečenie umožňuje vykreslenie máp rôznych mierok, pričom na mapách malej mierky sa zakresľuje iba priebeh stopy zlomov. Na mapách mierky

Tab. 1 Katalóg zlomov slovenských Západných Karpát – Catalogue of Slovak Western Carpathians' faults.

Č. mapy	Č. zlomu	Názov zlomu	Index zlomu	Sklon (°)	Max. výška skoku (m)	Hĺbkový dosah (m)	Dĺžka zlomu (km)	Autor, rok	Mierka mapy	Archívne číslo	Čas vzniku	Najstaršie prejav	Najmladšie prejav	Geologická jednotka	Významnosť
Map number	Fault number	Name of fault	Index of fault	Dip (°)	Max. displ. (m)	Depth (m)	Length (km)	Author, year	Scale of map	Archival number	Time of origin	Oldest motion	Youngest motion	Geological unit	Importance
38	1	lipnický	E1	46 – 60		300 – 500	10 – 20	Vass, D. et al., 1982	1 : 100 000	52 087	< N	eg	k	Košická kotlina, priečne zlomy čelovskej depresie	
38	2	šebastovský	E9	46 – 60		1 000 – 2 000	10 – 20	Vass, D. et al., 1982	1 : 100 000	52 087	eg	eg	k	Košická kotlina, varhaňovský zlomový systém	
38	3	rudabanský	K3					Nemček, J. et al., 1971	1 : 200 000	33 582				východoslovenské flyšové pásmo	
38	4	zlatnícky	E32	50		6 000 <	1 – 5	Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173	< N	eg	k	Košická kotlina	
38	5							Vass, D. et al., 1982	1 : 100 000	52 087				Košická kotlina	
38	6		K6					Nemček, J. et al., 1971	1 : 200 000	33 582				východoslovenské flyšové pásmo	
38	7	zámutovský z.	E33	50	100 – 300	2 000 – 4 000	1 – 5	Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173	b ₃	b ₃	s	Košická kotlina	
35	8	zámutovský v.	E34	50	100 – 300	2 000 – 4 000	5 – 10	Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173	b ₃	b ₃	s	Košická kotlina	
38	9	petrovský	E35	46 – 60	100 – 300	2 000 – 4 000	20 <	Vass, D. et al., 1982	1 : 100 000	52 087	b ₃	b ₃	s	Košická kotlina, zlomy michalovskej hrasti	
38	10							Vass, D. et al., 1982	1 : 100 000	52 087				Košická kotlina, zlomy michalovskej hrasti	
38	11	hričovský	E39	50		1 000 – 2 000	1 – 5	Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173	< N	eg	k	Košická kotlina	
38	12	čaklovský	E40	50		1 000 – 2 000	5 – 10	Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173	< N	eg	k	Košická kotlina	
38	13							Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173	< N	eg	k	Košická kotlina	
38	14	čaklovský v.	E41	50		1 000 – 2 000	1 – 5	Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173	< N	eg	k	Košická kotlina	
38	15	vranovský	E42	50		1 000 – 2 000	1 – 5	Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173	< N	eg	k	Košická kotlina	
38	16							Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173				Košická kotlina	
38	17	čičavský	E38	46 – 60		1 000 – 2 000	10 – 20	Vass, D. et al., 1982	1 : 100 000	52 087				Košická kotlina, zlomy michalovskej hrasti	
38	18	hencovský	E43	50		1 000 – 2 000	5 – 10	Rudinec, R. a Cvečko, J., 1974	1 : 100 000	33 173	< N	eg	k	Košická kotlina	
38	19	mačiansko-topliansky	E36	46 – 60	300 – 600	2 000 – 4 000	20 <	Vass, D. et al., 1982	1 : 100 000	52 087	b ₃	b ₃	s	Košická kotlina, zlomy michalovskej hrasti	
38	20		K20					Nemček, J. et al., 1971	1 : 200 000	33 582				východoslovenské flyšové pásmo	
38	21	vihorlatský	K21					Nemček, J. et al., 1971	1 : 200 000	33 582				východoslovenské flyšové pásmo	

Vysvetlivky – Explanations:

pl	– pliocén	– Pliocene	k	– karpát	– Karpatian
pt	– pont	– Pontian	ot	– otnang	– Ottnangian
pa	– panón	– Pannonian	o ₃	– vrchný otnang	– Late Ottnangian
s	– sarmat	– Sarmatian	eg	– egenburg	– Eggenburgian
b	– báden	– Badenian	er	– eger	– Egerian
b ₁	– spodný báden	– Early Badenian	ki	– kišcel	– Rupelian
b ₂	– stredný báden	– Middle Badenian	lu	– lutét	– Lutetian
b ₃	– vrchný báden	– Late Badenian	N	– neogén	– Neogene
pa + pl	– počas pa a pl	– withit pa & pl	Q	– kvartér	– Quaternary

<	– pred stratigrafickou jednotkou	<	– before a stratigraphic unit
>	– po stratigrafickej jednotke	>	– after a stratigraphic unit
38	– číslo mapy 1 : 200 000	38	– number of map 1 : 200 000
index zlomu	– označenie na pôvodnej mape	Index of fault	– indication in original map
archívne číslo	– registračné číslo v Geofonde	Archival number	– archival number of the source

1 : 200 000 a väčších mierok sa pri každom zlome uvádza aj poradové číslo, pod ktorým je evidovaný v kataľógu. Ukážka mapy zlomov (v zmenšenom liste mapy 1 : 200 000) je na obr. 1.

Oproti predchádzajúcej etape, keď sa zlomové poruchy dokumentovali najmä s cieľom zostaviť seizmotektonickú mapu v mierke 1 : 1 000 000, v súčasnosti vo vybraných územiach Slovenska sa vytvára podrobnejšia databáza zlomov s presnosťou mapy mierky 1 : 50 000. Výber území bol orientovaný na širšie okolie epicentrálnych oblastí, v ktorých sa zaznamenala intenzita zemetrasenia nad 6° MSK.

Okrem aprobovaných geologických máp mierky 1 : 50 000 sú zdrojom údajov tvorby databázy aj novšie mapové geologické podklady vytvorené v rámci rôznych úloh (napr. úloha DANREG, Hlbinné úložisko RAO, Mapy geofaktorov životného prostredia a i.), ako aj rozličné ďalšie geologické podklady priamo dokumentujúce výskyt mladých zlomových porúch alebo významné zmeny hrúbky kvartérnych sedimentov.

Táto databáza zlomov sa využije jednak na spresnenie hraníc seizmických oblastí a hraníc geologických štruktúr s rovnakou tendenciou a rýchlosťou pohybov, jednak na objasnenie mechanizmu vzniku a šírenia seizmických vln v geologickom prostredí.

Vertikálne pohyby povrchu

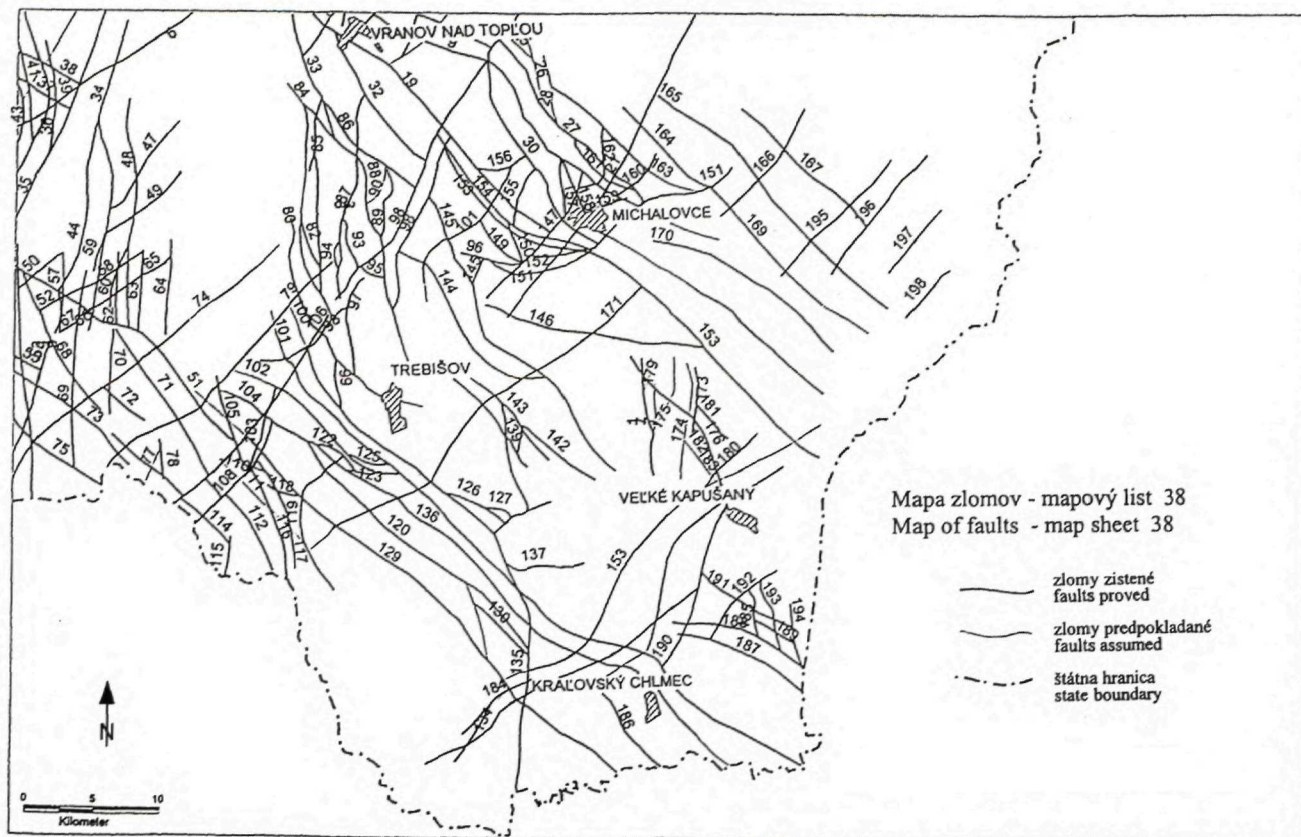
Na sledovanie recentných vertikálnych pohybov zemského povrchu Západných Karpát na území SR slúži celoštátna nivelačná sieť, ako aj lokálne nivelačné siete, označované aj ako zvláštne nivelačné siete.

Celoštátna nivelačná sieť (CNS) na území SR bola vybudovaná v rámci Jednotnej česko-slovenskej nivelačnej siete v rokoch 1947 – 1960, pričom sa rozlišujú časti siete prvého, druhého a tretieho rádu. Pri prvom opakovanom meraní v rokoch 1961 – 1972 sa táto sieť sčasti prebudovala a zahustila (tzv. 1. opakovaná nivelácia). Tým sa vytvorili predpoklady na presnejšie stanovenie vertikálnych pohybov Západných Karpát na území Slovenska (Vanko, 1988). Časť tejto siete bola opätovne

zameraná v rámci medzinárodného programu bývalých európskych socialistických štátov v rokoch 1973 – 1978. Obnova a modernizácia časti siete 2. rádu sa skončila v roku 1985, časť siete 3. rádu sa obnovila v roku 1995. Vertikálne pohyby zemského povrchu na základe výsledkov meraní v CNS vyhodnocuje Výskumný ústav geodézie a kartografie Bratislava (VÚGK). Po roku 1985 sa intenzita geodetických meraní znížila a vyhodnocovanie pohybov sa nevykonávalo. Ich vyhodnocovanie sa obnovilo až v roku 1994 v rámci monitorovania geofaktorov životného prostredia SR.

Zvláštne nivelačné siete (ZNS) sa vybudovali v územiach so zvýšenou pohybovou aktivitou, a to v Podunajskej nížine (1962 – 1965), Východoslovenskej nížine (1985 – 1986), Bratislave (1987) a Košiciach (1989). S cieľom sledovať pohyby a zmeny tiažového poľa sa v rokoch 1970 – 1973 vybudoval aj Geodynamický polygón Bratislava, ktorého trasa vedie z Bratislavy cez Senec do Pezínka a naprieč Malými Karpatmi (cez Babu) do Perneka, Malaciek, Stupavy a Bratislavy. Okrem toho sa vybudovali ZNS s cieľom sledovať pohyby vyvolané antropogénnou činnosťou, a to na podrúbaných územiach Nováky – Handlová – Cigel' (1969 – 1970) a Modrý Kameň – Pôtor – Veľký Krtíš (1987), v oblasti ťažby ropy a zemného plynu Gbely – Malacky – Vysoká pri Morave (1992) a na lokalitách výstavby Jadrovej elektrárne Mochovce (1982), Jaslovské Bohunice (1983) a Kecerovce (1984). Výsledky meraní v týchto sieťach budú pre pomerne krátkodobé monitorovanie pohybov, ako aj kvôli porovnateľnosti meraní zahrnuté do databázy monitorovania v ďalšej etape.

Na základe vyhodnotenia meraní v CNS bolo v minulosti publikovaných niekoľko máp vertikálnych pohybov povrchu územia. Zobrazujú rýchlosť pohybov pomocou izolínií, ktoré však nerešpektujú významné geologické štruktúry ani priebeh tektonických prvkov a neobsahujú seizmické ani tektonické údaje. Tieto mapy však pozmenili predchádzajúce predstavy o pretrvávajúcom poklesávaní nížin a kotlín a stúpajúcej tendencii pohorí. Podľa nich stúpajúci, resp. stabilný trend vykazuje iba stredná časť Slovenska, zatiaľ čo západná a východná



Obr. 1 Mapa zlomov – mapový list 38.

časť (vrátane pohorí) poklesávajú. Výnimkou je územie na S a SV od Žiliny a sv. okraj Slovenska, ktoré majú stabilný, resp. sčasti stúpajúci trend.

O koreláciu tektonických a seizmických javov s pohybovou aktivitou povrchu územia sa pokúsili Kvitkovič a Plančár (1975, 1977), Kvitkovič a Vanko (1972, 1990) a Kvitkovič (1993). V týchto prácach sa však vzťah uvedených javov hodnotí iba verbálne a neobsahujú ich priestorovú ani časovú prognózu.

Na základe doteraz poslednej mapy vertikálnych pohybov povrchu, zostavenej Vankom v roku 1994 (in Klukanová et al., 1998), na hodnotenie a grafické spracovanie sa vybrali úseky nivelačných tratí z územia s predpokladanou vyššou rýchlosťou pohybov. Pri ich lokalizácii sa prihliadalo aj na primerané regionálne zastúpenie a seizmickú aktivitu územia. Doteraz sa zhodnotilo spolu 44 úsekov nivelačných tratí. Výsledky meraní čiastočne dokumentuje obr. 2. Sú v ňom zvýraznené úseky nivelačných tratí, v ktorých poklesy alebo výzdvihy dosiahli priemernú rýchlosť vyššiu než 0,5 mm za rok.

Seizmická aktivita územia

V období od roku 1400 doteraz bolo na území Slovenska dokumentovaných vyše 500 zemetrasení s makroseizmickými účinkami, z toho 21 malo intenzitu 7° MSK a viac. Najsilnejšie zemetrasenie (s epicentrálnou intenzitou 8 – 9° MSK) bolo zaznamenané v roku 1763 v Komárne. Spôsobil smrť 63 ľudí a vyše 100 ľudí bolo zranených. Silno poškodených bolo 780 domov, zničených 280 domov a 7 kostolov. V roku 1858 zemetrasenie s epicentrom

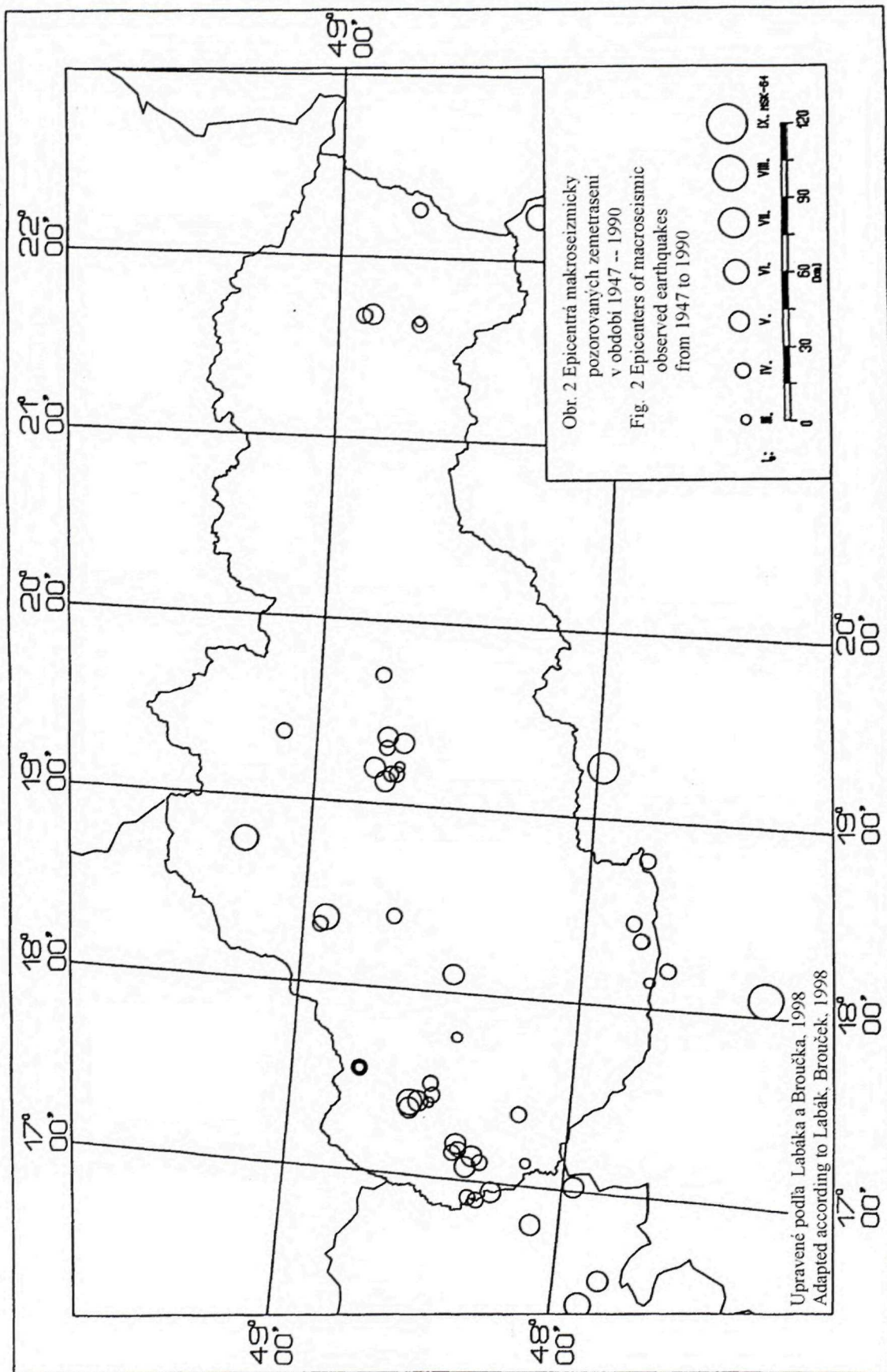
v blízkosti Žiliny (7 – 8° MSK) poškodilo v Žiline takmer všetky domy a v roku 1906 zemetrasenie pri Dobrej Vode (8° MSK) zničilo časť domov a spôsobilo vytvorenie trhlin v pôde. Silné zemetrasenie s intenzitou 8 – 9° MSK (v roku 1443) uvádzajú niektoré historické pramene a katalógy aj z oblasti stredného Slovenska, v niektorých katalógoch však takéto zemetrasenie nie je zaznamenané. Podľa najnovšieho prehodnotenia historických údajov (Labák, 1996) epicentrum tohto zemetrasenia s intenzitou 8° MSK bolo v blízkosti Banskej Štiavnice.

Okrem uvedených ohniskových oblastí sú na území Slovenska ďalšie štyri, v ktorých epicentrálna intenzita dosiahla 7° MSK:

- Pernek – Modra (Pernek, Kuchyňa, Jabloňové, Stupava, Modra, Pezinok, Svätý Jur),
- stredné Slovensko (Banská Bystrica, Slovenská Ľupča, Kremnica),
- Kežmarok – Spišská Stará Ves (úzka oblasť od Popradu k hranici s Poľskom),
- východné Slovensko (Prešov, Vranov nad Topľou, Humenné),

a ohnisková oblasť v okolí Trenčianskych Teplíc a Valaskej Belej s epicentrálnou intenzitou do 6° MSK. (Podľa starších historických záznamov je ohnisková oblasť s rovnakou intenzitou aj v oblasti Košíc.)

Priestorové rozloženie seizmickej aktivity vyjadrujú mapy epicentier zemetrasení a mapy pozorovanej (resp. očakávanej) intenzity zemetrasení. Na území Slovenska ich zostavovali doteraz výlučne seizmológovia. K najznámejším patrí *Mapa seizmických oblastí a hlavných zemetrasení pozorovaných v ČSR v období 1756 až 1956*



Obr. 2 Epicentrá makroseizmicky pozorovaných zemetrasení v období 1947 – 1990.
Upravené podľa Labáka a Broučka, 1988.

(Dvořák, 1956). Novšie verzie máp boli publikované v *Atlase ČSR* (Kárník, 1960), v Nakladateľstve Poľskej akadémie vied (Procházková, Brouček et al., 1978) a v *Atlase SSR* (Brouček, 1980). Až do roku 1997 sa u nás oficiálne používala *Mapa seizmických oblastí na území ČSSR*, publikovaná v prílohe k ČSN 73 0036 Seizmické zaťaženie stavieb (1973).

Na niektorých doteraz zostavených seizmologických mapách je vykreslený aj priebeh zlomových línií, iné mapy zlomy neobsahujú. Všetky tieto mapy však boli zostavené iba na základe seizmoštatistických údajov a kontúry zobrazených seizmických oblastí spravidla nerešpektujú seizmologicky významné geologické štruktúry ani priebeh tektonických prvkov.

S cieľom porovnať seizmickú aktivitu s vertikálnymi pohybmi povrchu územia bola v prvej etape zostavená *Mapa epicentier makroseizmicky pozorovaných zemetrasení za obdobie 1947 – 1990* (Labák a Brouček in Klukanová et al., 1998). Následne bola zostavená *Seizmotektonická mapa Slovenska* (Hrašna, 1997) a na záver prvej etapy monitorovania sa vykonala analýza a korelácia seizmických a geodetických údajov (Hrašna in Klukanová et al., 2000).

Z porovnania *Mapy epicentier zemetrasení zaznamenaných na území Slovenska v rokoch 1947 až 1990* s *Mapou epicentier zemetrasení na území Slovenska a jeho blízkom okolí* publikovanou v novej STN 73 0036 (1997) vidieť, že ich rozloženie v sledovanom období sa nelíši od rozloženia epicentier zemetrasení zaznamenaných na Slovensku od roku 1870. Vtedy sa na našom území začalo systematické sledovanie zemetrasení.

Najviac zemetrasení v rokoch 1947 až 1990 sa zaznamenalo v epicentrálnych oblastiach na západnom Slovensku (Pernek – Modra a Dobrá Voda) a na strednom Slovensku (Banská Bystrica – Slovenská Lupča). V sledovanom období sa na území Slovenska zaznamenalo spolu 48 zemetrasení s makroseizmickými účinkami (z toho 42 epicentier bolo na Slovensku), pričom polovica z nich bola v rokoch 1967 – 1978. Z uvedeného počtu zemetrasení 21 malo epicentrálnu intenzitu vyššiu než 4° MSK a 12 dosiahlo intenzitu 5° MSK a viac. Zemetrasenia s intenzitou 6° MSK boli zaznamenané v roku 1947 v okolí Žiliny, v roku 1964 v epicentrálnej oblasti Pernek – Modra, v roku 1967 v epicentrálnej oblasti Dobrá Voda (až 6,5° MSK) a v roku 1988 v okolí Hornej Poruby a Valaskej Belej.

Ak porovnáme *Mapu recentných vertikálnych pohybov Západných Karpát* (Vanko in Klukanová et al., 1998) s *Mapou epicentier makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenska za obdobie 1947 až 1990*, vidieť, že seizmicky najviac aktívne sú územia s najvyššou súčasnou aktivitou pohybov povrchu. Dokumentujú to aj vyznačené úseky nivelačných tratí, v ktorých priemerná rýchlosť pohybov bola vyššia než 0,5 mm za rok, zobrazené na mape na obr. 2.

Na tejto mape stojí za povšimnutie náhla zmena orientácie pohybov v blízkosti 19. poludníka, zakreslená na základe výsledkov merania vertikálnych pohybov v úseku nivelačnej trate č. 3. – medzi Hornými a Dolnými Mladonicami, ktorá indikuje pohyb na zlome aj možnosť vzniku zemetrasenia.

Jedným zo základných problémov seizmológie je stanovenie opakovateľnosti zemetrasení. Na jej výpočet sa vypracovalo niekoľko teoretických aj empirických závislostí obsahujúcich rôzne regionálne konštanty zohľadňujúce heterogenitu horninového prostredia, veľkosť napätia v zemskej kôre, plochu postihnutej oblasti a i. Pre územie Slovenska v minulosti rôzni autori vypočítali rôzne periódy návratnosti zemetrasení. Vyjadrujú ich intervaly návratnosti uvedené v tab. 2.

Tab. 2 Návratnosť zemetrasení na území Slovenska.

Intenzita (°MSK)	Návratnosť (rok)	Intenzita (°MSK)	Návratnosť (rok)
4	1 – 3	7	50 – 120
4,5	3 – 8	7,5	80 – 160
5	7 – 15	8	120 – 220
5,5	2 – 25	8,5	170 – 270
6	20 – 40	9	230 – 350
6,5	35 – 70	9,5	300 – 500

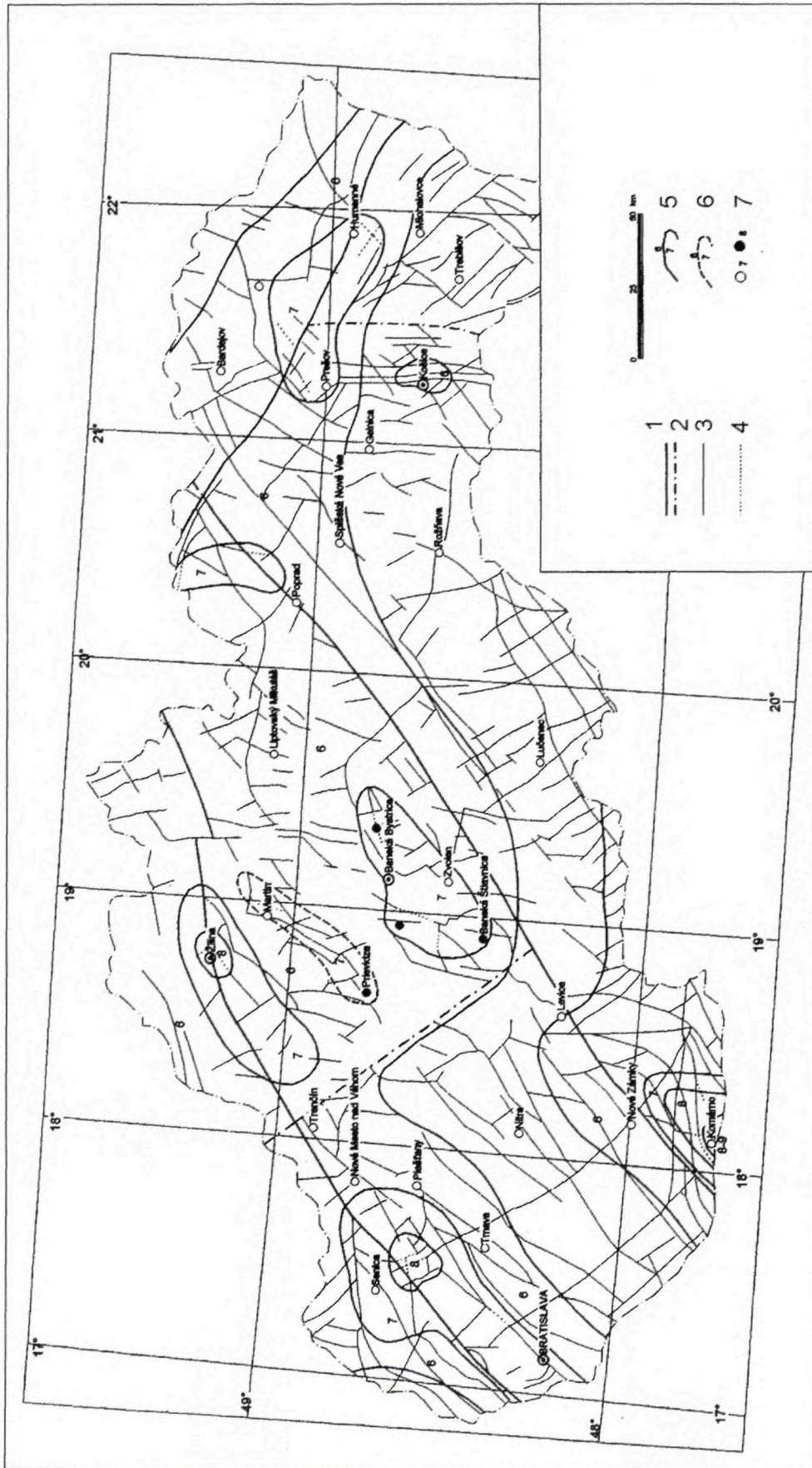
Podľa toho by sa malo zopakovať silné zemetrasenie v Komárne do roku 2030, v Dobrej Vode do roku 2150 a v Žiline do roku 2020, stredne silné zemetrasenie v oblasti Pernek – Modra do roku 2035, v oblasti stredného Slovenska do roku 2015, v oblasti severne od Popradu do roku 2020 a v oblasti východného Slovenska do roku 2040.

Seizmotektonická mapa Slovenska

Jedným z najvýznamnejších výsledkov dosiahnutých v prvej etape riešenia úlohy bolo zostavenie *Seizmotektonickej mapy Slovenska* v mierke 1 : 1 000 000 (obr. 3), ktorá bola prevzatá aj do novej STN 73 0036 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií (1997). Mapa zobrazuje priebeh významnejších, geofyzikálne a geologicky dokumentovaných tektonických línií a seizmické oblasti s predpokladanou maximálnou intenzitou zemetrasenia 6 až 9° MSK.

Z tektonických línií sa do mapy prevzali hlbinné tektonické poruchy zasahujúce do spodnej časti zemskej kôry, ktoré vymedzujú základné tektonické bloky Západných Karpát (Ibrmajer, Plančár a Fusán, 1985). Ostatné tektonické línie zobrazené na mape predstavujú prevažne zlomové poruchy, pozdĺž ktorých v neotektonickom období nastali pohyby. K najvýznamnejším z nich patria zlomy oddeľujúce geologicko-tektonické jednotky s rozdielnou tendenciou, resp. s rozdielnou rýchlosťou pohybov počas mladšieho neogénu a kvartéru. Zdrojom ich výberu bola *Geologická mapa SR 1 : 500 000* (Geologická služba SR, 1996), ale aj ďalšie mapové podklady, z ktorých sa na Katedre inžinierskej geológie PriF UK spracovala databáza zlomov Slovenska. Vzhľadom na mierku mapy nebolo možné prevziať do nej všetky zlomy. Prevzali sa seizmologicky významnejšie zlomy, t. j. zlomy väčšieho rozsahu (dĺžky), ktoré majú väčší seizmický potenciál než zlomy menšieho rozsahu.

Pri vymedzovaní seizmických oblastí okrem epicentier zemetrasení a údajov o pozorovaných účinkoch zemetrasenia v rôznych sídlach na území Slovenska sa zohľadnila aj geologicko-tektonická stavba územia a priebeh neotektonicky aktívnych zlomov. Obalové čiary ohraničujú na



Obr. 3 Seizmotektonická mapa Slovenska
 1 – overené hlbinné tektonické poruchy, 2 – predpokladané hlbinné tektonické poruchy, 3 – významnejšie zlomové poruchy, 4 – predpokladané seizmoaktívne časti zlomov, 5 – hranice seizmických oblastí ("MSK), 6 – rajón s predpokladanou zvýšenou seizmickou intenzitou ("MSK), 7 – osamelé pozorovania seizmických otrasov s intenzitou 7 a 8 "MSK

mape všetky doteraz zaznamenané intenzitné body príslušnej intenzity. Výnimkou sú osamelé historické pozorovania vyššej intenzity, ktoré neboli dostatočne dokumentované.

Najvýznamnejšie seizmotektonické pásmo na území Slovenska sa tiahne pozdĺž hlbinného peripieninského lineamentu, od Záhoria cez Trenčín, Žilinu a južné Poľsko až k Humennému a k hranici s Ukrajinou (sledujúci prakticky priebeh bradlového pásma). V západnej časti tohto pásma sa vyskytujú zemetrasenia s epicentrálnou intenzitou do 8° MSK (Dobrá Voda, Žilina), vo východnej časti s intenzitou do 7° MSK (Prešov – Humenné). Ich epicentrá sa vyskytujú najmä na križovaní lineamentu s priečnymi zlomami.

Na západnom i východnom Slovensku priebeh tohto pásma obojstranne sleduje aj obalová čiara intenzity 6° MSK. Na strednom Slovensku sa však jej priebeh odkláňa južným smerom. Je to spôsobené výskytom epicentier s intenzitou až 7° MSK spojenou s recentnou aktivitou zlomov s.-j. smeru v stredoslovenskom zlomovom pásme. Na zlomoch rovnakého smeru je založená aj menšia epicentrálna oblasť pri Košiciach (hornádsky zlomový systém) a pravdepodobne aj epicentrálna oblasť pri Kežmarku. Severné a sz. ohraničenie oblasti s intenzitou 6° MSK je ovplyvnené epicentrami na Morave a v Poľsku, takže obalová čiara 6° MSK nesleduje v týchto častiach spomínané pásmo.

Priebeh južnej obalovej čiary vymedzujúcej územie s maximálnou očakávanou intenzitou zemetrasenia 6° MSK – od Malých Karpát cez stredoslovenské neo-vulkanity až po Prešov – súhlasí približne s líniou okraja subdukčne podsunutej severoeurópskej platformy pod karpatský blok (Grecula a Roth, 1978). Jedným zo zdrojov tektonickej a seizmickej aktivity v tomto priestore sú zrejme dôsledky subdukcie, resp. spätného pohybu kôrových segmentov v extenznom režime. Týka sa to najmä fatransko-tatranského bloku, vymedzeného hlbinnými tektonickými poruchami v úseku Trenčín – Banská Štiavnica a Levice – Poprad. V oblasti Malých Karpát ako ďalší zdroj seizmotektonickej aktivity pristupuje subhorizontálna duktilná zóna, zistená geofyzikálnymi metódami v hĺbke 12 až 15 km (Šefara, 1987).

Vo východnej časti uvedeného seizmotektonického pásma seizmická oblasť 6° MSK sleduje peripieninský lineament, pričom epicentrálne oblasti Prešov a Humenné s výskytom zemetrasení s intenzitou do 7° MSK sú založené na križovaní tohto lineamentu s priečnymi zlomami. Medzi Popradom a Prešovom a východne od Humenného síce neboli v historickom období zaznamenané zemetrasenia s intenzitou 6° MSK, no vzhľadom na seizmotektonickú situáciu a dlhodobú opakovateľnosť zemetrasení je aj tu možné takúto intenzitu predpokladať.

Osobitnou seizmotektonickou zónou je okolie Komárna, kam zasahuje okraj seizmotektonického pásma z Maďarska približne s.-j. smeru (Szeidovitz, 1986). Zemetrasenia v tomto pásme dosahujú intenzitu 6 až 9° MSK. Najsilnejšie sa vyskytujú práve v okolí Komárna, kde sa križujú zlomové systémy rôznych smerov. Seizmická aktivita v tomto pásme súvisí zrejme s významnými poklesmi v Panónskej panve, ktoré sú dôsledkom tektonických procesov na styku karpatského a panónske-

ho bloku, ako aj dôsledkom kolapsu plášťového diapíru v panónskej oblasti. Významnú úlohu tu zrejme zohrávajú spätné pohyby na násunovej línii Ráb – Hurbanovo – Diósjenő (Hók et al., 2000).

Seizmotektonická rajonizácia územia

Na základe vykonaného zhodnotenia tektonických a seizmických javov bola zostavená *Mapa seizmotektonickej rajonizácie*. Je uvedená na obr. 4. Rajonizácia vychádza zo základného členenia Západných Karpát na vnútorné Karpaty, vonkajšie Karpaty a bradlové pásmo, ktoré sa odlišujú rozdielnym geotektonickým vývojom a majú zrejme rozdielny tektonický režim aj v súčasnosti.

Pri ďalšom členení na jednotky nižšieho rádu bola kritériom jednak orientácia vertikálnych pohybov (podľa nej boli vyčlenené oblasti), jednak rýchlosť pohybov (podľa nej boli vyčlenené časti). Hranice medzi vyčlenenými územnými jednotkami tvoria spravidla významné zlomy, resp. zlomové pásma.

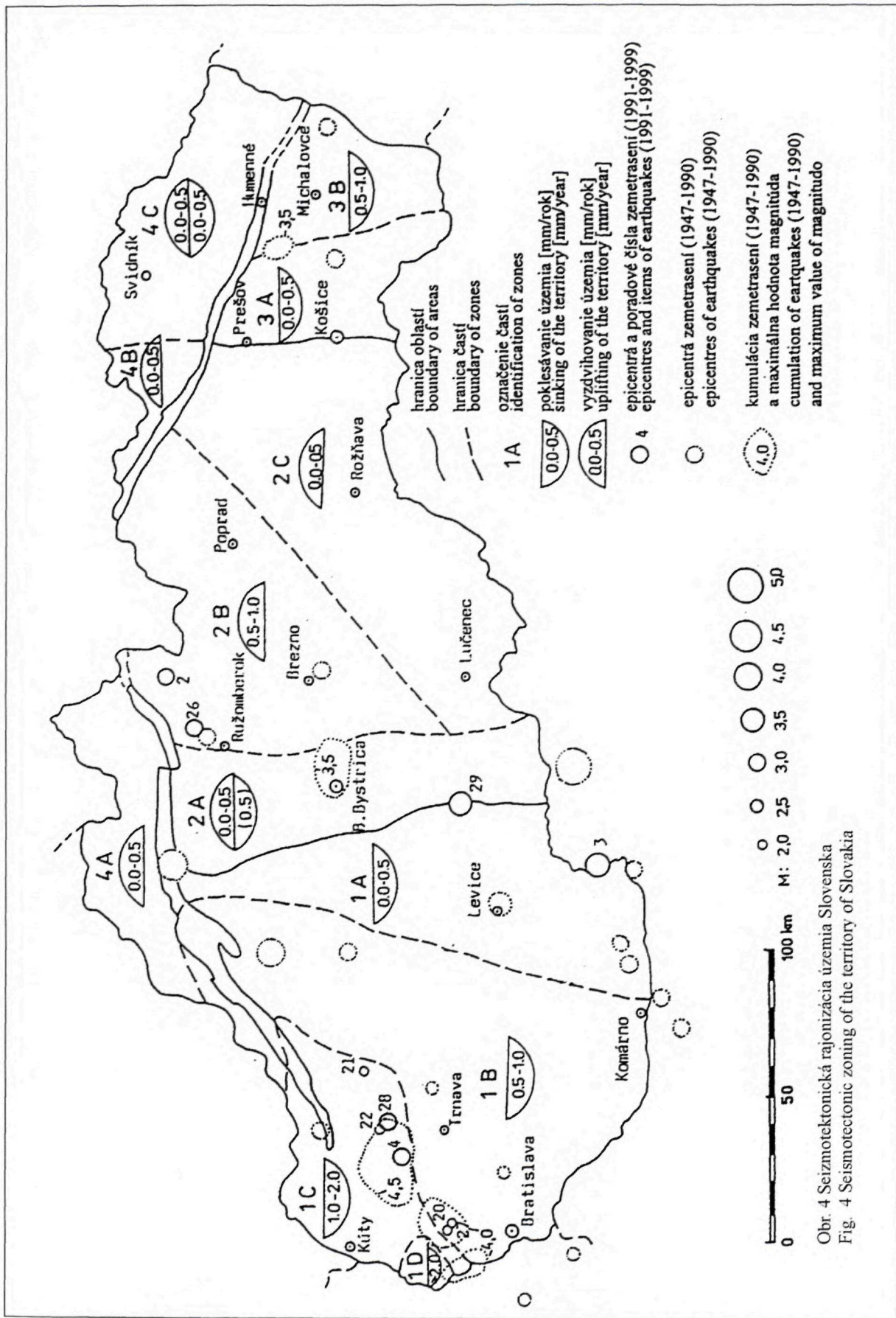
S cieľom korelovať vertikálne pohyby povrchu so seizmickou aktivitou boli na mapu zakreslené aj epicentrá zemetrasení, a to osobitne pre roky 1947 – 1990 a osobitne pre roky 1991 – 1999.

Vnútorné Západné Karpaty

Územie vnútorných Západných Karpát je rozčlenené na tri oblasti, pričom oblasť západného aj východného Slovenska vykazujú poklesy a medziľahlá (centrálna) oblasť má stúpajúcu tendenciu, prípadne je viac-menej stabilná.

Zatiaľ čo východný okraj centrálnej oblasti je pomerne striktno ohraničený hornádským zlomovým systémom, jej západný okraj nie je možné jednoznačne definovať. Na mape sme ho vymedzili líniou prechádzajúcou od Žiliny naprieč Malou Fatrou a ďalej cez stredoslovenské zlomové pásmo okolo Kremnice a Krupiny až k maďarským hraniciam. Táto línia prakticky v celom rozsahu prechádza územím s nulovými pohybmi, resp. s nepatrnými pohybmi v oboch smeroch. Najvýraznejšie rozdiely v pohyboch sa zaznamenali tam, kde táto línia križuje nivelačnú trať č. 3, t. j. medzi Hornými a Dolnými Mladonicami. Výzdvihy s rýchlosťou 0,5 mm za rok sa tam náhle menia na poklesy s rýchlosťou 1 mm za rok. V uvedených obciach bolo v októbri 1999 makroseizmicky zaznamenané zemetrasenie (č. 29) s intenzitou 5° MSK.

Západná časť centrálnej oblasti (2A) priliehajúca k tejto línii má prechodný charakter. Prevládajú v nej výzdvihy s rýchlosťou do 0,5 mm za rok. Miestami má stabilný charakter a miestami sa zistili aj poklesy s rovnakou rýchlosťou ako výzdvihy. Paradoxom je, že v tejto časti, v Banskej Bystrici a jej bezprostrednom okolí, sa zistila najvyššia rýchlosť výzdvihov (až 1,8 mm za rok) z celej centrálnej oblasti. Severná časť centrálnej oblasti (2B) sa vyznačuje výzdvihovaním s rýchlosťou v rozmedzí 0,5 až 1,0 mm za rok. Juhovýchodná časť centrálnej oblasti (2C) je sčasti stabilná, sčasti sa v nej zaznamenali výzdvihy s rýchlosťou do 0,5 mm za rok. Hranicu medzi týmito dvomi časťami tvorí muránsky zlom.



Obr. 4 Seizmotektonická rajonizácia územia Slovenska.

Fig. 4 Seismotectonic zoning of the territory of Slovakia

Poklesávajúca oblasť východného Slovenska je podľa intenzity pohybov rozdelená na dve časti. V časti priľahlej k hornádskeму zlomovému systému (3A) prevládajú poklesy s rýchlosťou do 0,5 mm za rok. Niektoré úseky nivelačných tratí však vykazujú oscilácie okolo nulovej rýchlosti a ojedinele sa zistili aj poklesy s rýchlosťou až 0,8 mm za rok. V časti 3B sa v nivelačných tratiach zistili poklesy prevažne s rýchlosťou 0,5 až 1,0 mm za rok.

V oblasti západného Slovenska boli podľa prevládajúcej rýchlosti poklesávania vyčlenené štyri územné celky.

V časti priľahlej k hranici s centrálnou oblasťou (1A) sa zistili poklesy prevažne s rýchlosťou v rozmedzí od nuly do 0,5 mm za rok. Stredná časť opisovanej oblasti (1B) podľa výsledkov geodetických meraní poklesáva prevažne rýchlosťou 0,5 až 1,0 mm za rok. Jej východné ohraničenie prebieha od Komárna dolinou Žitavy až po Zlaté Moravce a ďalej na sever, kde pretína Tribeč a pokračuje západným okrajom Hornonitrianskej kotliny. V ďalšom priebehu pokračuje cez Fačkov a južnú časť Rajeckej kotliny, pretína Súľovské vrchy a pri Bytči sa stáča na JZ a pokračuje až po štátnu hranicu (v tomto úseku už pretína bradlové pásmo aj časť flyšového pásma).

Najintenzívnejšie poklesávajúca časť západného Slovenska (1C) zaberá severnú časť Malých Karpát a priľahlé časti Podunajskej a Záhorskej nížiny. Jej severná časť taktiež presahuje rámec opisovanej oblasti a zaberá aj časť bradlového pásma a flyšového pásma. V nivelačných tratiach prechádzajúcich týmto územím boli dokumentované poklesy s rýchlosťou 1 – 2 mm za rok. V území okolo Závodu, Malaciek, Plaveckého Štvrtka a Záhorskej Vsi sa zistili poklesy s rýchlosťou nad 2 mm za rok (max. až 6 mm za rok). Toto územie bolo vyčlenené ako samostatná časť – 1D.

Vonkajšie Západné Karpaty

Vonkajšie Západné Karpaty (flyšové pásmo) s výnimkou sz. a sv. okraja sa vyznačujú zdvihovými pohybmi. Na mape sú podľa geografickej polohy a rýchlosti pohybov rozdelené na tri časti.

V časti 4A a 4B sa zistilo vyzdvihovanie územia prevažne rýchlosťou do 0,5 mm za rok (v časti 4A miestami až do 1,0 mm za rok). V území jz. od Bytče bola príslušná časť flyšového pásma vtiahnutá do poklesávajúcej oblasti západného Slovenska (časť 1B, 1C). Časť 4C je od časti 4B oddelená líniou s.-j. smeru, ktorá je pokračovaním hornádskeho zlomového systému smerom na sever. Vyznačuje sa premenlivou tendenciou pohybov – poklesmi a výzdvihmi územia prevažne s rýchlosťou do 0,5 mm za rok.

Bradlové pásmo

Bradlové pásmo na východnom Slovensku východne od hornádskeho zlomového systému vykazuje mierne poklesy (okolo 0,3 – 0,4 mm za rok), západne od tohto systému výzdvihy s rýchlosťou do 0,5 mm za rok. Na sz. Slovensku v úseku od Oravskej kotliny po Bytču sa územie bradlového pásma vyzdvihuje rovnakou rýchlosťou ako v predchádzajúcom úseku (jz. od časti 4B). V úseku od Bytče až po

západné ukončenie je však podobne ako flyšové pásmo vtiahnuté do poklesávajúcej oblasti západného Slovenska s rýchlosťou pohybov do 1 mm, resp. až 2 mm za rok.

Korelácia tektonických a seizmických javov

Z porovnania rozloženia epicentier zemetrasení pozorovaných od roku 1947 do súčasnosti s vertikálnymi pohybmi povrchu vidieť, že seizmická aktivita sa v tomto období sústreďovala najmä v blízkosti línií, pozdĺž ktorých sa menila tendencia alebo intenzita pohybov, sčasti aj v blízkosti bradlového pásma.

Najviac seizmickej energie vyprodukovali tektonické pohyby v blízkosti línie obmedzujúcej územie s najvyššou rýchlosťou poklesov na západnom Slovensku. Značná seizmická energia sa uvoľnila aj v území stredoslovenského zlomového pásma (SZP). Žiadne zemetrasenie za uvedené obdobie sa nezaznamenalo v oblasti flyšového pásma. Svedčí to skôr o jeho celkovom plošnom vyzdvihovaní než o diferencovaných pohyboch pozdĺž zlomov. (Rozdielne pohyby zistené v oblasti 4C sú z tohto pohľadu buď nepresnosti geodetických meraní, alebo prejavom kríповých pohybov pozdĺž zlomov bez zreteľného makroseizmicky pozorovateľného ohlasu).

Najsilnejšie zemetrasenia (M 4,1 – 4,5; I 5,5 – 6,5° MSK) od roku 1947 sa zaznamenali v Žiline, vsv. od Trenčína a v Malých Karpatoch. Epicentrum zemetrasenia pri Žiline leží na križovaní bradlového pásma a línie oddeľujúcej stúpajúcu centrálnu oblasť od poklesávajúcej západoslovenskej oblasti. Na tejto línií leží aj epicentrum už spomínaného zemetrasenia pri Mladoniciach. Treba dodať, že pri Mladoniciach nešlo o jednorazové otrasy, ale o otrasy opakované v období od 28. 10. 1999 do 12. 11. 1999. Podľa údajov seizmických staníc (Klukanová et al., 2000) tu bolo zaznamenaných v tomto období 17 zemetrasení, z ktorých prvé dosiahlo intenzitu 5° MSK a ostatné 3° MSK. Všetky boli zaznamenané južne od stredoslovenskej epicentrálnnej oblasti východne od Krupiny. Najčastejšie sa pozorovali v obciach Horné a Dolné Mladonice a Čekovce, kde sa zaznamenala najvyššia intenzita zemetrasenia. V tomto prípade na základe záznamov seizmickej stanice Železná studienka bola stanovená hodnota magnitúdo na 3,2. Pozoruhodné je, že v tomto území sa podľa historických záznamov nevyskytlo v minulosti žiadne makroseizmicky pozorované zemetrasenie. Najbližšie od tohto územia sa v minulosti zaznamenalo už spomínané pomerne silné zemetrasenie v r. 1443 v Banskej Štiavnici.

V období od r. 1947 do roku 1999 sa pozorovala pomerne vysoká seizmická aktivita s viacerými zemetraseniami s intenzitou do 6° MSK v okolí Banskej Bystrice. Obdobné zemetrasenia sa zaznamenali v tomto období aj sv. od Ružomberka. V dôsledku toho v tejto časti územia zrejme pokleslo napätie, ktoré sa začalo mobilizovať v južnejších zónach a aktivizovať pohyby sprevádzané otrasmi v okolí Krupiny. V súvislosti s tým je potrebné spresniť predstavy o priebehu s.-j. zlomov v strednej časti územia Slovenska. Tieto zlomy zrejme zaberajú širšie pásmo než 20 – 25 km – tak, ako je v súčasnosti vymedzené stredoslovenské zlomové pásmo. Zlomy tohto smeru sú zrejme vyvinuté aj východnejšie, kde v minulosti

tvorili prírodné cesty na výstup stredoslovenských neovulkanitov (Štohl, 1976). Na základe prejavov v reliéfe, vertikálnych pohybov a seizmickej aktivity možno predpokladať šírku tohto s.-j. zlomového pásma v severnej časti cca 35 km (Martin – Ružomberok) a v južnej časti cca 60 km (Želiezovce – Bušince).

Najsilnejšie zemetrasenie v sledovanom období ($M = 5$, $I = 7^\circ$ MSK) s otrasmi zaznamenanými aj na území Slovenska malo epicentrum v pokračovaní SZP na maďarské územie neďaleko štátnej hranice.

Záver a úlohy na ďalšie obdobie

Doteraz vykonané monitorovanie seizmických a tektonických javov preukázalo spätosť vertikálnych pohybov povrchu a seizmickej aktivity územia, ako aj ich väzbu na základné geologicko-tektonické jednotky Západných Karpát a mladé tektonické pohyby pozdĺž zlomov.

Z analýzy seizmických javov vyplýva, že seizmická aktivita sa v posledných päťdesiatich rokoch sústreďovala najmä do širšej oblasti Malých Karpát. Významne sa však aktivizovali aj seizmotektonické javy v oblasti stredného Slovenska. V tejto oblasti, najmä v južnej časti širšie definovaného stredoslovenského zlomového pásma možno zrejme očakávať zvýšenú seizmickú aktivitu aj v ďalšom období.

Uvedená návratnosť zemetrasení v jednotlivých ohniskových oblastiach na území Slovenska má iba orientačnú platnosť. Z doterajších poznatkov totiž vyplýva, že priestorovo-časovú dráhu prerozdelenia napätí a s tým spojenú aktivitu pohybov pozdĺž zlomov a seizmickú aktivitu územia nie je možné prognózovať iba na základe štatistických údajov o zemetraseniach, ale bude potrebné vypracovať komplexnú metodiku hodnotenia a prognózovania seizmotektonických javov. To však značne presahuje rámec ich monitorovania.

V najbližšom období v rámci monitoringu uvedených javov okrem celoplošného sledovania seizmotektonickej aktivity na území Slovenska sa sústreďíme na podrobné hodnotenie vertikálnych pohybov povrchu a seizmickej aktivity v širšej oblasti južnej časti Malých Karpát. V tomto území možno využiť údaje o vertikálnych pohyboch povrchu sledovaných v rámci *Geodynamického polygónu Bratislava*, ako aj pomerne spoľahlivé údaje o monitorovaní zemetrasení zo seizmickej stanice Železná studienka. Zhodnotenie tohto územia bude východiskom seizmotektonickej analýzy ďalších ohniskových oblastí na území Slovenska.

Literatúra

- Brouček, I.: Maximálna intenzita zemetrasení. Mapa 1 : 2 000 000. In: Atlas SSR. Bratislava, Slov. Akad. Vied a SÚGK 1980.
- Dvořák, A.: Mapa seizmických oblastí a hlavných zemetrasení pozorovaných v ČSR v období 1756 – 1956. Praha, Ústř. Úst. geol. 1956.
- Grecula, P. a Roth, Z.: Kinematický model Západných Karpát v súbornom fezu. In: Sbor. geol. Věd. Geol., 32, 1978, s. 49 – 71.
- Hók, J., Bielik, M., Kováč, P. a Šujan, M.: Neotektonický charakter územia Slovenska. In: Miner. Slov., 32, 2000, č. 5, s. 459 – 470.
- Hrašna, M.: Seizmotektonická mapa Slovenska. In: Miner. Slov., 29, 1997, č. 6, s. 427 – 430.
- Ibrmajer, J., Plančár, J. a Fusán, O.: Základné prvky hlbínnej stavby Západných Karpát. Mapa mierky 1 : 500 000. Bratislava, Geol. Úst. D. Štúra 1985.

- Kárník, V.: Seismika – zemětřesní činnost. Mapa 1 : 2 000 000. In: Atlas ČSR, 1960.
- Klukanová, A., Wagner, P., Iglárová, L., Ondrášik, M., Jánová, V., Liščák, P., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Frankovská, J., Rapant, S., Jelínek, R., Pauditš, P., Petro, L., Polaščinová, E., Kováčik, M., Scherer, S., Kristeková, M., Labák, P., Dananaj, I., Spišák, Z., Jadroň, D., Vybíral, V., Holzer, R., Malgot, M., Baliak, F., Jánoš, J., Gajdoš, V., Letko, V. a Míka, R.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, stav k 31. 12. 1997. Čiastková záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 1998, 420 s.
- Klukanová, A., Iglárová, L., Wagner, P., Ondrášik, M., Jánová, V., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Smolárová, H., Antal, J., Ayele, T., Cipciar, A., Dananaj, I., Durmeková, T., Frankovská, J., Helma, J., Holzer, R., Jadroň, D., Jelínek, R., Kišová, M., Maas, P., Matejček, A., Míka, R., Labák, P., Letko, V., Liščák, P., Pauditš, P., Petro, L., Polaščinová, E., Rapant, S., Rozimant, K., Scherer, S., Slaninka, I., Socha, I., Vanko, J., Vybíral, V. a Záhorová, L.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, stav k 31. 12. 1999. Čiastková záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 2000.
- Kvitkovič, J. a Plančár, J.: Analýza morfoštruktúr z hľadiska súčasných pohybových tendencií vo vzťahu k hlbínnej geologickej stavbe Západných Karpát. In: Geogr. Čas., 27, 1975, s. 309 – 323.
- Kvitkovič, J. a Plančár, J.: Recentné vertikálne pohyby zemskej kôry vo vzťahu k zemetraseniam a seizmoaktívnym zlomom v Západných Karpatoch. In: Geogr. Čas., 29, 1977, s. 239 – 251.
- Kvitkovič, J. a Vanko, J.: Recent crustal movements in the region of eastern Slovakia. In: Geogr. Čas., 24, 1972, s. 151 – 160.
- Kvitkovič, J. a Vanko, J.: Recentné vertikálne pohyby Západných Karpát pre epochu 1951 – 1976. In: Geogr. Čas., 42, 1990, s. 345 – 356.
- Kvitkovič, J.: Intenzita vertikálnych tektonických pohybov zemskej kôry v nížinách Slovenska v holocéne. In: Geogr. Čas., 45, 1993, s. 213 – 232.
- Labák, P.: Reinterpretácia zemetrasenia 5. 6. 1443 na strednom Slovensku. In: Kaláb, Z. (ed.): Analýza dat v seismológii a inženýrskej geofyzice. Ostrava-Poruba, Ústav geoniky AVČR 1996, s. 83 – 93.
- Procházková, D., Brouček, I., Guterch, B. a Lewandowska-Marciniak, H.: Map and List of the Maximum Observed Macroseismic Intensities in Czechoslovakia and Poland. Warszawa – Lodź, Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, PWN 1978, 75 s.
- STN 73 0036: Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, 1997.
- Szeidovitz, G.: Earthquakes in the Region of Komárno, Mór and Várpalota. In: Geophysical Transactions, Vol. 32, 1986, no. 3.
- Šefara, J.: Štruktúrno-tektonická mapa vnútorných Západných Karpát pre účely prognózovania ložísk – geofyzikálne interpretácie. Manuskript. Bratislava – archív Geocomplex, 1987.
- Štohl, J.: The ores of the Central Slovak neovolcanics related to the Central Carpathian lineament. In: Západ. Karpaty, Sér. Mineral. Petrogr. Geochém. Lož., 1976, č. 7, s. 7 – 40.
- Vanko, J.: Mapa recentných vertikálnych pohybov Západných Karpát na Slovensku pre epochu 1952 – 1972. In: Geodetický a kartografický obzor, 1988, č. 9, s. 216 – 222.
- Vass, D., Bílek, K., Gaža, B., Cverčko, J., Hupka, M. a Elečko, M.: Klasifikácia zlomov neogénnych panví. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 1973.

Monitoring of tectonic and seismic activity of the territory of Slovakia

Summary

The research of the seismotectonic activity of the territory of Slovak Republic is based on the monitoring of movements along faults, vertical movements of the surface and the seismic intensity. The goal of the research is to locate individual segments of the territory with the same tendency and velocity of the movements as well as the areas with the same expected level of seismic intensity. In the course of monitoring a catalogue of faults, the new seismotectonic map of Slovakia and

the map of seismotectonic zoning of the territory of Slovakia were compiled.

The catalogue of faults comprises map sheets at a scale of 1 : 200 000 with delineated faults and the record sheets with data on individual faults. The data content in record sheets is visible from Tab. 1. A sample of the faults map is in Fig. 1. Sources for the map compiling were mainly certificated geological maps at the scale 1 : 50 000 and some other authentic geological graphic materials.

The vertical movements of the surface were evaluated following the repeated levellings of the Slovak territory (since 1945). These measurements have changed the conventional conception of onward rising of all mountains and sinking of all basins. According to them upward (or partly stabile) trend has only central part of Slovakia while the west and east parts of the territory (including mountains) sink. Results of repeated levellings are partly illustrated in Fig. 2. This figure also contains the epicentres of earthquakes macroseismic observed in the same period as the repeated levellings were performed. As man can see the seismic activity was released mainly near the lines along which the tendency or velocity of the movements were changed.

The seismotectonic map of Slovakia depicts seismic areas and the significant faults, especially those which were active in neotectonic period. The most important seismotectonic belt on the territory of Slovakia spreads along the Peripienean lineament, from the Záhorská nížina lowland on the west up to Trenčín and Žilina towns and through southern Poland as far as Humenné and the state boundary with Ukraine (Fig. 3). The

maximum epicentral seismic intensities reach here 8° MSK on the west and NW parts of Slovakia and 7° MSK on the north and NE parts of Slovakia.

The isoseismal line of 6° MSK follows this belt from south only in the western and eastern Slovakia. In the central part of Slovakia, in a neotectonic active zone of faults, the occurrence of epicentres with the intensity of 7° MSK deflects its course to the south. In that manner its course is on the whole conformable to the margin of the subduction zone at the contact of the North European platform with the Carpathian block (Grecula & Roth, 1978).

The second significant seismotectonic zone on the territory of Slovakia occurs in the vicinity of Komárno with the epicentral intensities to 9° MSK. It represents the north margin of the seismotectonic belt of the N-S direction extending to Slovakia from the territory of Hungary (Szeidovitz, 1987). Along the faults of the same direction (so-called Hornád fault system) is based also the small epicentral zone near the town of Košice with epicentral intensities to 6° MSK.

The map of seismotectonic zoning (Fig. 4) locates the territorial units with the same tendency and velocity of the vertical movements of the surface. At the same time it allows to evaluate the relation of vertical movements and seismicity of the territory. The most seismic energy was released in the west part of Slovakia with the highest velocity of sinking in time of monitoring. Though, recently in the central part of Slovakia, mainly in the zone 1A and 2A, the tectonic movements and seismic events are recorded in a high degree.

Monitoring chemického zloženia snehovej pokrývky

DUŠAN BODIŠ, MIROSLAVA LOPAŠOVSKÁ, KAMIL LOPAŠOVSKÝ a STANISLAV RAPANT

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Abstract. The paper presents results of the monitoring of the chemical composition of the snow pack from 44 sampling sites in Slovakia. The evaluation is focused on the generation and snow solution chemism variability. The division of the monitoring sites according to the altitude zones, in which the time evolution of mineralization is assessed, is based on the relationships between mineralization, nitrate content, sulfides and pH values and the altitude of the sampling site.

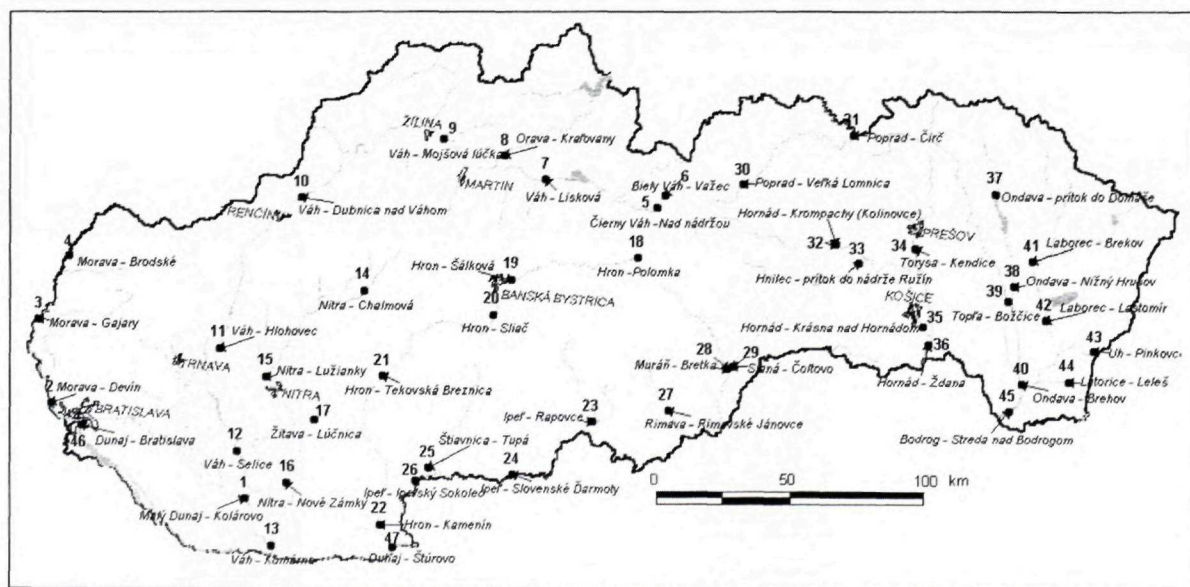
Úvod

Snehová pokrývka je významným médiom, ktoré odráža stav a kvalitu životného prostredia. Charakter a zmeny jej chemického zloženia v čase sú dôležitou vstupnou informáciou najmä pre environmentálno-geochemické hodnotenie vplyvov atmosférickej depozície na prírodné prostredie a kvalitu podzemnej vody. Monitorovanie snehovej pokrývky na území Slovenskej republiky v regionálnom meradle sa začalo v zimnom období 1976/1977 v Geologickom ústave Dionýza Štúra v základnej sieti 44 odberových miest. V súčasnosti je k dispozícii 25-ročný cyklus pozorovania, ktorý sa postupne hodnotil v prácach: Gazda a Lopašovský (1983), Vrana et al. (1989), Vrana et al. (1994), Rapant, Vrana a Bodiš (1996), Klukanová a Liščák (1995, 1998) a Klukanová (1998). Pôvodne sa tieto práce realizovali v rámci hydrogeologického a hydrogeochemického výskumu. Od roku 1996 sa zaradili do

Monitorovacieho systému geologických faktorov životného prostredia SR (Klukanová et al., 1998). Súhrn informácií z 25-ročných výsledkov monitorovania s dôrazom na štatistické spracovanie celého obdobia bol zhodnotený v práci Bodiš a Lopašovská et al. (2000). Z hľadiska komplexnej informácie o celom čiastkovom monitorovacom systéme je aj do tejto publikácie zaradený príspevok doplnený o časový vývoj mineralizácie a vybraných zložiek.

Hlavným cieľom monitorovania a následnej geochemickej interpretácie je zhodnotenie chemického zloženia snehovej pokrývky v oblasti Slovenska, ktorý je zameraný na:

- poznanie mechanizmu vytvárania zásob a procesov tvorby chemického zloženia podzemných vôd,
- uváženie zásahy do prírodného prostredia z hľadiska acidifikácie prírodných receptorov (prírodná voda, pôda, horniny, biomasa a pod.),
- monitorovanie vplyvu zmien množstva a kvality roztokov vzniknutých topením snehovej pokrývky na priebeh procesov zvetrávania, presadavosti, zosúvania a pod.,
- poznanie potenciálneho prínosu atmosférických solí za časové obdobie a poznanie zaťaženia atmosféry,
- poznanie stupňa a charakteru znečistenia životného prostredia s možnosťou vytvoriť model vývoja na základe dlhodobého (historického) radu pozorovaní.



Obr. 1 Lokalizácia odberových miest snehu.

Metodika monitoringu

Pri výbere lokalít sa zohľadnila výšková diferenciácia terénu (vysokohorské a nížinné lokality) 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 vzduchových hmôt) a lokalizácia niektorých významných zdrojov znečisťovania atmosféry (oblasť Bratislavy, Horné Ponitrie, Vojany vo Východoslovenskej nížine a pod.). Výber lokalít sa snažil o zachytenie globálnych a lokálnych zdrojov, ich identifikáciu a následný vplyv.

Prvotné informácie reprezentujú chemické analýzy snehových roztokov z monitorovacej siete. Údaje sa získavajú expedičným odberom vzoriek v 44 stabilných odberových miestach (obr. 1) z celého profilu snehovej pokrývky. Lokality sú prakticky fixnými miestami, okrem odberového miesta Starý Hrozenkov (Česká republika), ktoré sa po vzniku Slovenskej republiky premiestnilo o cca 1,5 km.

Po pozvoľnom roztopení vzorky a homogenizácii sa robí chemická analýza upravenými štandardnými metódami (Gazda a Lopašovský, 1983) s aplikáciou princípov správnej analytickej praxe. Interval pozorovania je raz za zimné obdobie.

Takto získané prvotné analytické údaje spolu s príslušnou dokumentáciou sa ukladajú do štruktúry databázy, ktorú je možné selektovať a vizualizovať v prostredí MapInfo.

Východiskový stav celého systému tvorby chemického zloženia podzemných vôd predstavuje chemické zloženie atmosférických vôd. Atmosféru možno z energetického hľadiska látkovej výmeny pokladať za otvorený systém, v ktorom je ustálená rovnováha geochemických cyklov prvkov a látok. Zdrojom týchto buď prírodných, alebo antropogénnych látok môže byť rozpúšťanie vzdušných plynov prírodného pôvodu, aerosóly morského pôvodu, terigénny prach a produkty antropogénnej činnosti.

Z celkového hodnotenia klimatických a hydrologických pomerov Slovenska vyplýva, že veľký význam pre tvorbu zásob podzemných vôd majú zimné zrážky uložené na zemskom povrchu v podobe snehovej pokrývky, pretože v čase jarného topenia sú hlavným zdrojom doplnenia zásob podzemných vôd, najmä v horských oblastiach. Preto sa pri hodnotení chemického zloženia zrážkových vôd uplatňujú výsledky 25-ročného monitorovania kvality snehovej pokrývky. Reprodukateľnosť týchto údajov sa v požadovanej miere zabezpečila porovnaním s hodnotami mokrej a suchej depozície za niekoľko zimných polrokov na zrážkomernej stanici EMEP Chopok (Babiaková et al., 1987).

Vyhodnotenie výsledkov

Chemické zloženie snehovej pokrývky na Slovensku stanovené na základe výsledkov monitorovania v nepravidelnej sieti 44 odberových miest je veľmi variabilné.

Hodnota celkovej mineralizácie sa pohybuje od $3,9 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ do $162,8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Najnižšie hodnoty sú dokumentované v oblasti Vysokých Tatier, Nízkych Tatier a Veľkej Fatry. Najvyššie hodnoty mineralizácie sa viažu na nížinné oblasti a medzihorské depresie, kde sa sústreďuje osídlenie, priemysel a poľnohospodárske aktivity. Všeobecne však možno povedať, že maximálne hodnoty sú viazané priamo na veľké mestské a priemyselné aglomerácie ako Bratislava a Košice, resp. na veľké bodové zdroje znečistenia atmosféry a podobne.

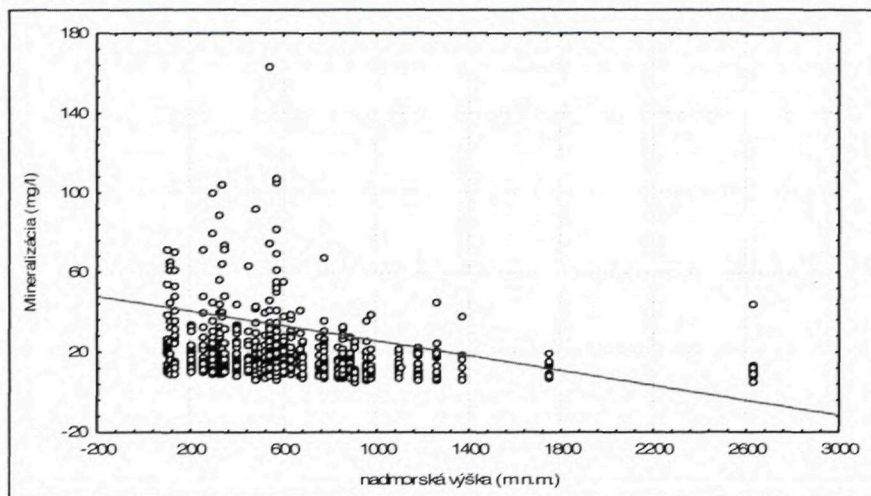
V našich geograficko-klimatických podmienkach variabilita chemického zloženia snehovej pokrývky odráža predovšetkým pôvod vzduchových hmôt, synoptickú situáciu, množstvo zrážok (v prípade snehovej pokrývky jej vodnú hodnotu), globálne, regionálne a lokálne znečistenie atmosféry, charakter suchého spádu (morská, terestrická a antropogénna emisia), dĺžku trvania snehovej pokrývky a režim teploty vzduchu.

Významné sú zistenia o značne nízkom pH roztoku z roztopeného snehu, ktorý následne reaguje najskôr s vegetačným a pôdnym pokryvom a potom s horninovým prostredím. Jeho chemické zloženie sa značne metamorfuje a nastávajú negatívne zmeny najmä v pôdnom profile (napr. znižovanie obsahu bázičných kationov a nutričov). Dôsledky týchto zmien postihujú najmä vegetáciu, ale aj iné prírodné receptory. Takéto procesy sú aktuálne najmä v oblastiach budovaných granitoidnými horninami (ako napr. v Tatrách), teda v prostredí, ktoré má najmenšiu hydrolytickú kapacitu. Z tohto hľadiska je významný fakt, že za doterajšie obdobie pozorovania takmer polovica vzoriek (46,9 %) má hodnotu $\text{pH} < 4,4$ a viac ako 10 % vzoriek hodnotu $\text{pH} < 4,0$. Na druhej strane sa vyskytujú prípady s pH v rozmedzí hodnôt 9 – 10, čo je zapríčinené alkalickými úletmi najmä v blízkosti cementárni a magnezitového priemyslu (typickým príkladom je odberové miesto Zádielska dolina, kde sa hodnoty pH pohybovali v rozmedzí 3,92 – 9,42).

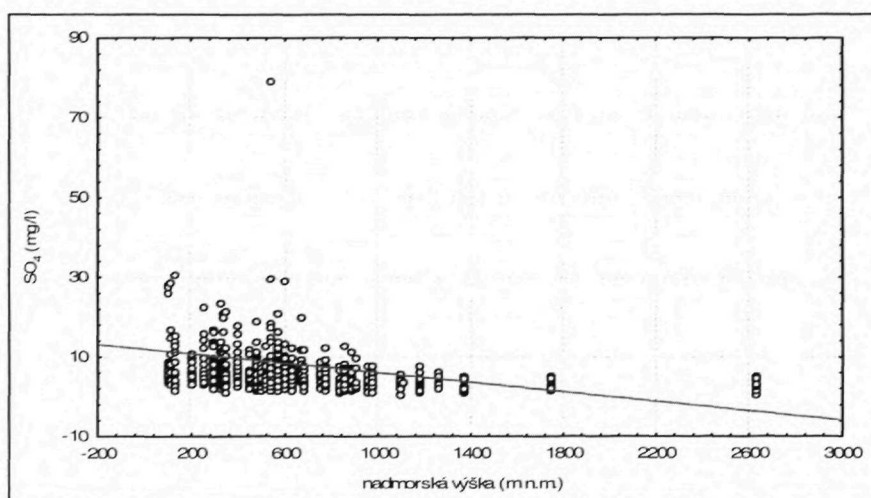
Základné štatistické parametre chemického zloženia snehovej pokrývky v jednotlivých pozorovaných lokalitách za 25 rokov monitorovania sú uvedené v práci Bodíš a Lopašovská et al. (2000) a na internetovej stránke ŠGÚDŠ (www.gssr.sk). Z hľadiska vývoja celkovej mineralizácie, ktorá predstavuje sumárnu charakteristiku chemického zloženia snehu, možno povedať, že najväčšie prekročenie priemerných hodnôt sa zistilo na lokalitách v peziinskej Babe, Patinciach, Zádielskej doline, Vojanoch, Bratislave-Slovnafte, Plešivci, Ružomberku a Hajnáčke. V uvedených oblastiach má najväčší vplyv lokálna kontaminácia atmosféry pochádzajúca prevažne z priemyselných emisií alkalického a kyslého charakteru.

Ako referenčná oblasť bol vyčlenený výškový profil vo Vysokých Tatrách (Lomnický štít – Skalnaté pleso – Tatranská Lomnica) s hodnotami pomeru celoslovenských priemerných koncentrácií k reálnym hodnotám v intervale 0,57 – 0,62. Pri týchto lokalitách, ale aj všeobecne, možno sledovať znižovanie hodnôt pH v závislosti od zvyšovania nadmorskej výšky odberového miesta.

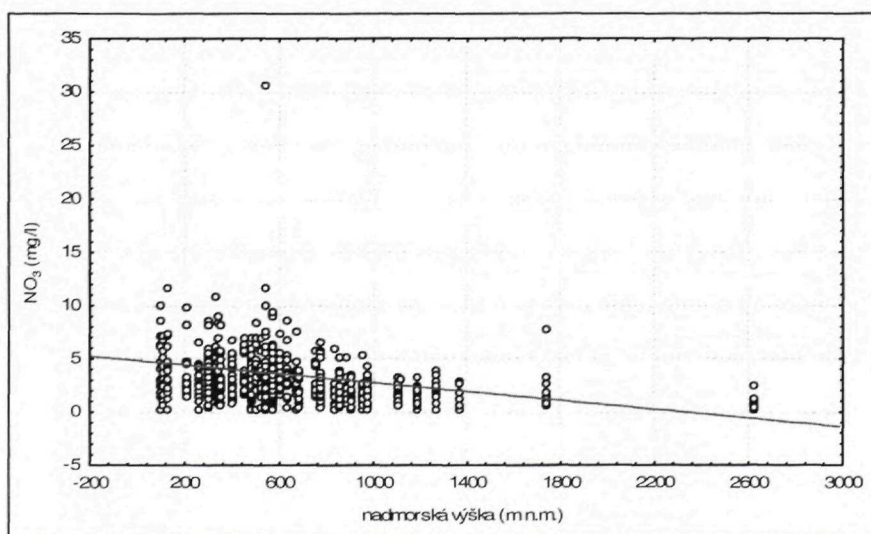
Maximálny obsah síranov, foriem dusíka a chloridov je spôsobený v prevažnej miere emisiami SO_x , NO_x , poprípade Cl. Pomerne veľký podiel na chemickom zložení snehu má tzv. morský aerosól (Na a Cl) a terigénny mate-



Obr. 2 Vzťah medzi nadmorskou výškou lokality a mineralizáciou.



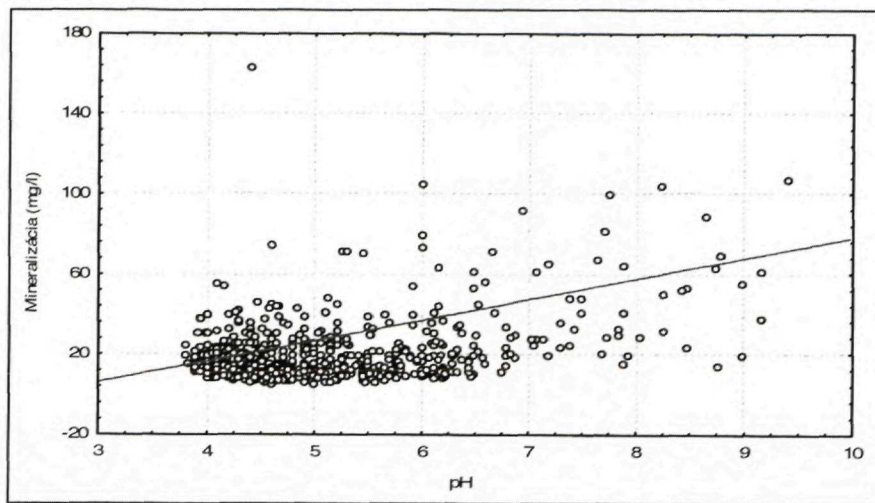
Obr. 3 Vzťah medzi nadmorskou výškou lokality a obsahom síranov.



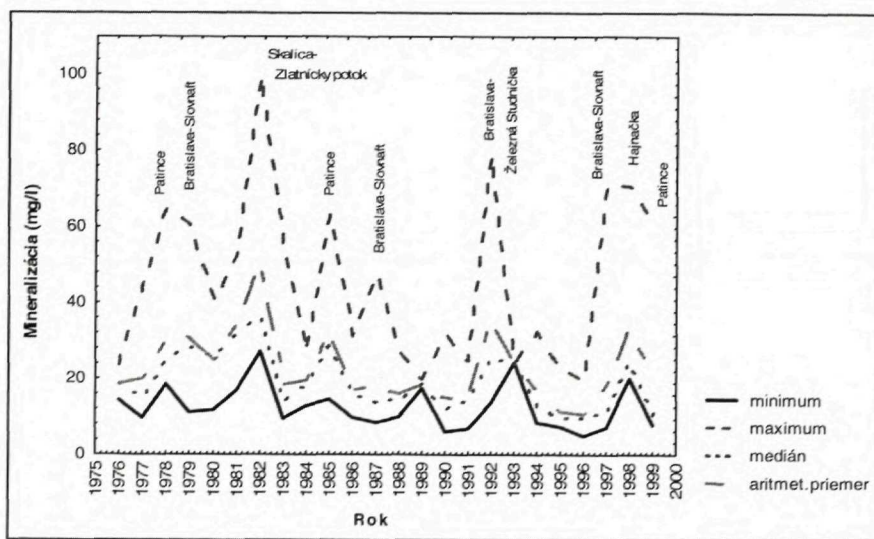
Obr. 4 Vzťah medzi nadmorskou výškou lokality a obsahom dusičnanov.

riál (najmä Ca, v našich podmienkach je však najvyšší obsah viazaný na okolie cementárni a úpravni magnezitu, kde sa hodnoty pH pohybujú okolo 9,0). Maximálny obsah Zn, Fe a Mn je typický pre veľké mestské aglomerácie so sústredeným priemyslom.

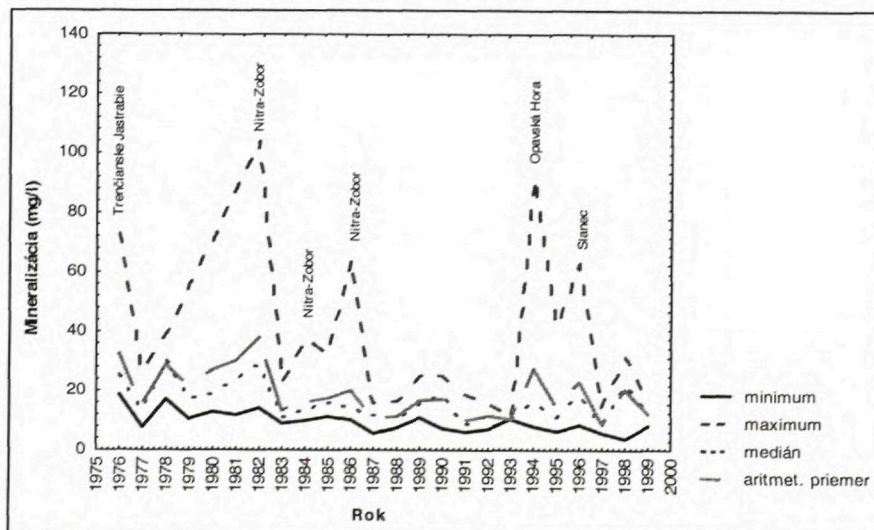
Ak hodnotíme celkovú mineralizáciu snehu ako výsledok kumulatívneho vplyvu od jeho vzniku až po globálne a lokálne faktory, potom distribúcia najnižších priemerných hodnôt je viazaná na horské oblasti a pohybuje sa okolo $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Maximálne priemerné hodnoty sú silno ovplyv-



Obr. 5 Vzťah medzi pH a celkovou mineralizáciou snehu.



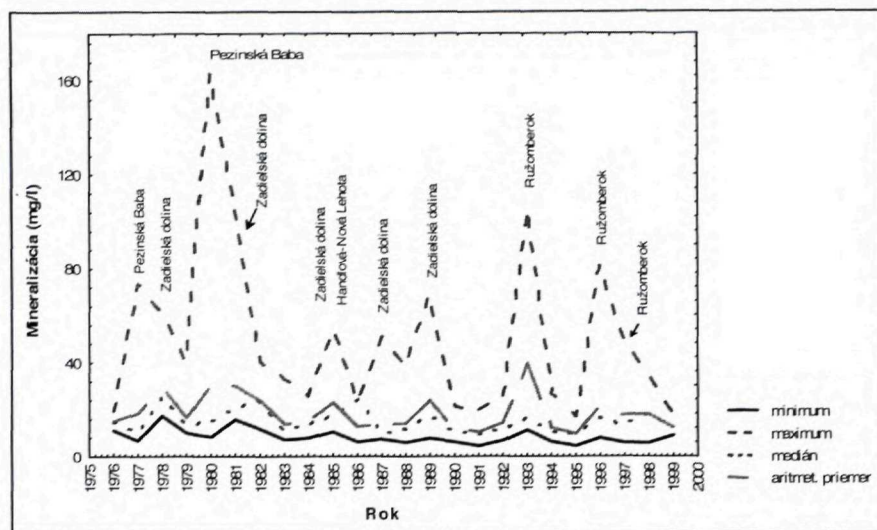
Obr. 6 Časový vývoj mineralizácie (nadm. výška 300 – 500 m n. m.).



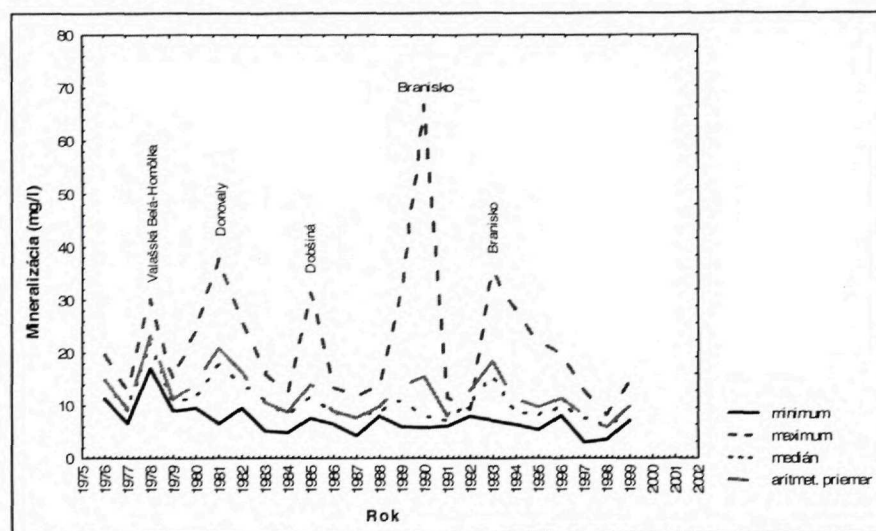
Obr. 7 Časový vývoj mineralizácie (nadm. výška 300 – 500 m n. m.).

nené lokálnou antropogénnou činnosťou viazanou na mestské aglomerácie a ich okolie. Výsledný efekt antropogénnych aktivít vedie k dvom základným efektom. Snehový roztok má kyslý charakter (pH 5,0 – 6,0), alebo výrazne alkalický charakter s hodnotami pH okolo 8,0 – 9,0 pri vy-

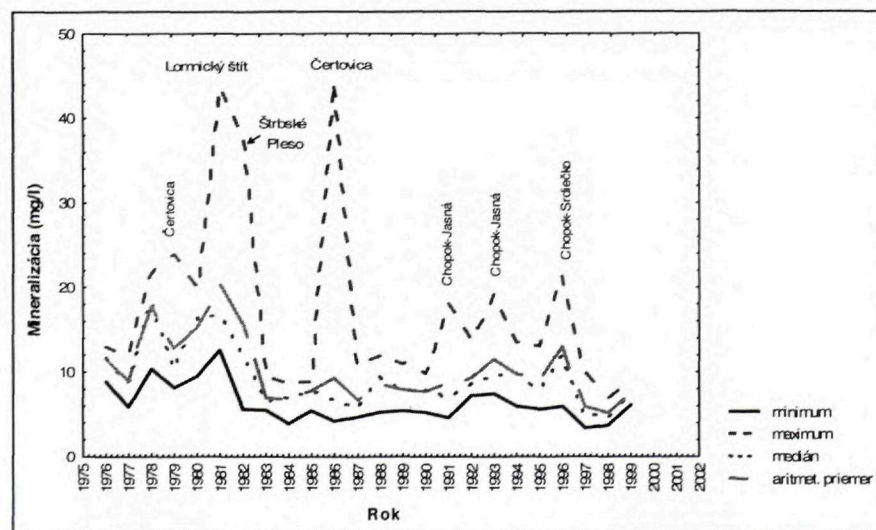
sokých priemerných hodnotách celkovej mineralizácie. Prvý typ sa vyskytuje najmä v okolí Bratislavy s rozsahom priemerných hodnôt mineralizácie 21 až 31 mg · l⁻¹, s extrémnymi priemernými hodnotami až 79 mg · l⁻¹, v oblasti Patiniec, Ružomberka, Nitra, Vojan, Handlovej



Obr. 8 Časový vývoj mineralizácie (nadm. výška 500 – 700 m n. m.).



Obr. 9 Časový vývoj mineralizácie (nadm. výška 700 – 1 000 m n. m.).



Obr. 10 Časový vývoj mineralizácie (nadm. výška nad 1 000 m n. m.).

– Novák a pod. Druhý typ je spojený predovšetkým s alkalickými úleťmi, ktorých zdrojom sú najmä výroba cementu a spracovanie magnezitu. Sem patria lokality pezinská Baba, Zádielska dolina a oblasť Jelšavy s priemernými

hodnotami celkovej mineralizácie okolo 27 mg · l⁻¹ a maximálnym obsahom nad 100 mg · l⁻¹. To naznačuje rozpúšťanie alkalických úleťov z uvedených zdrojov, v dôsledku čoho extrémne narastajú hodnoty pH.

Jedným z dôležitých cieľov monitoringu kvality snehovej pokrývky je postihnúť priebeh a variabilitu jej chemického zloženia. Zo štatistického hľadiska monitorovací rad 25 rokov je na prognózovanie, určenie trendov a podobných spôsobov spracovania zatiaľ nedostatočný. Doterajšie výsledky možno zhrnúť takto:

- Hodnoty celkovej mineralizácie majú náznak cyklických zmien s intervalom cca 12 rokov, t. j. v rozsahu od začiatku pozorovania v roku 1976 do roku 1989 (keď boli hodnoty celkovej mineralizácie podobné ako na začiatku monitorovania). Nasledujúci cyklus sa však vo svojom priebehu vyznačuje nižším maximom, okolo $15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Príčinu vidíme vo zvýšených aktivitách v oblasti vypúšťania emisií a v poklese priemyselných aktivít, teda lokálneho vplyvu poklesu výroby po roku 1989.
- Priebeh hodnôt pH má počas monitorovacieho obdobia výrazne cyklický charakter. Charakteristické je zvýšenie pH po roku 1989 až nad hodnotu 5. Svedčí to najmä o znížení podielu aniónov silných kyselín, najmä síranov a dusičnanov, čo súvisí so znižovaním emisií SO_x a NO_x v tejto perióde.
- V hodnotách obsahu síranov možno pozorovať ich pokles a v rokoch 1996 a 1997 mierny nárast.
- Podobný charakter počas monitoringu vykazuje aj obsah dusičnanov.
- Možno povedať, že hodnoty koncentrácie amónia majú klesajúci trend v celom monitorovacom období s rozdielom až $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ na začiatku a v roku 1997.

Objasníme základný obraz o časovom vývoji chemického zloženia snehu pri zohľadnení základných faktorov jeho tvorby. V úvahe budeme vychádzať zo vzťahu medzi nadmorskou výškou odberového miesta a mineralizáciou, resp. jej vybranými zložkami (obr. 2, 3 a 4). Najvýraznejšiu závislosť poklesu sledovaných parametrov s rastúcou nadmorskou výškou možno pozorovať pri hodnotách celkovej mineralizácie. Z toho môžeme usudzovať na významný vplyv chemického zloženia snehu, resp. na rozdiel medzi jeho globálnym, regionálnym a lokálnym charakterom. To zároveň naznačuje jednoduché pravidlo: čím je snehová pokrývka uložená vo vyššej polohe, tým je snehový roztok čistejší. Samozrejme, v horských oblastiach okrem turistických a rekreačných aktivít je oveľa menšia miera vplyvu zdrojov a emisií. Na základe vyhodnotenia acidity snehových roztokov možno konštatovať (obr. 5), že sneh s vyššou hodnotou celkovej mineralizácie má vyššie hodnoty pH. Uvedený vzťah má aj svoje výnimky pri uvážení prevládajúceho charakteru jednotlivých iónov. To nás viedlo k rozdeleniu odberových miest podľa príslušných výškových pásiem, ktoré v našich prírodných podmienkach reprezentujú jeden zo základných faktorov vplývajúcich na chemické zloženie snehu.

Zaujímavé výsledky získame, ak odberové body rozdělíme na výškové pásma a hodnotíme časový vývoj mineralizácie z hľadiska priebehu minima, maxima, mediánu a aritmetického priemeru (obr. 6 až 10). Vo výškovom pásme do 300 m n. m. sa maximálne hodnoty opakujú na lokalitách Patince a Bratislava-Slovnaft. Pomerne veľký rozdiel medzi mediánom a priemernou

hodnotou poukazuje na veľký rozptyl hodnôt v priebehu monitorovania a tým aj na pomerne stále, ale v absolútnych hodnotách vysoké zaťaženie atmosféry a následne aj snehových roztokov v tomto výškovom pásme. Vo výškovom pásme 300 – 500 m n. m. sa maximálne hodnoty vyskytujú v lokalite Nitra-Zobor. V porovnaní s prvým výškovým pásmom sú podobné, na rozdiel od stredných hodnôt, ktoré sú v hodnotenom pásme nižšie. Vo výškovom pásme 500 – 700 m n. m. maximálne hodnoty mineralizácie sú na lokalitách Zádielska dolina, Ružomberok a pezinská Baba. Sú to najvyššie hodnoty zo všetkých sledovaných lokalít. Výškové pásmo 700 až 1 000 m n. m. v porovnaní s predchádzajúcimi pásmami má všetky sledované parametre jasne nižšie. Maximá sa opakujú iba v prípade lokality Branisko, inak sú rozptýlené. Výškové pásmo nad 1 000 m n. m. je charakteristické striedaním maximálnych hodnôt celkovej mineralizácie. V roku 1981 sa maximum vyskytlo dokonca na najvyššie položenom odberovom mieste, na Lomnickom štíte. Je možné povedať, že variabilita chemického zloženia snehu vo vzťahu k jednotlivým výškovým pásmam a tiež vo vzťahu k referenčnej lokalite je špecifická a jednoznačne nevykazuje v mnohých prípadoch očakávané závislosti.

Záver

Výsledky monitoringu kvality snehovej pokrývky identifikovali globálne a lokálne vplyvy na chemické zloženie snehu a zákonitosti medzi jednotlivými iónmi. Globálne vplyvy v hlavnej miere charakterizujú tzv. horské lokality ako Čertovica, Chopok-J a S, Donovaly, Lomnický štít, Tatranská Lomnica, Skalnaté pleso a Štrbské pleso. Lokálnymi vplyvmi sú najviac postihnuté tzv. nížinné oblasti ako Bratislava, Patince, Prievidza – Handlová, Žiar nad Hronom, Vojany a podobne.

Vývoj chemického zloženia snehu je hodnotený najmä z hľadiska vzťahu nadmorskej výšky odberového miesta k celkovej mineralizácii a jej vybraným zložkám a vzťahu mineralizácie snehu k hodnotám pH.

Najvýraznejšiu lineárnu závislosť poklesu sledovaných parametrov s rastúcou nadmorskou výškou možno pozorovať pri hodnotách celkovej mineralizácie. Z toho môžeme usudzovať na významný vplyv chemického zloženia snehu, resp. na rozdiel medzi jeho globálnym, regionálnym a lokálnym charakterom. Predpokladáme, že uvedené smery vývoja sú ovplyvnené dĺžkou monitorovacieho obdobia, pretože množstvo faktorov uplatňujúcich sa od začiatku tvorby zrážok až po ich konečné chemické zloženie si vyžaduje dlhodobé, tzv. historické rady pozorovaní. Dôležitým faktorom sú intenzívnejšie legislatívne a praktické opatrenia na celkové znižovanie emisií v atmosfére a znižovanie priemyselných aktivít v období po roku 1989.

Literatúra

- Babiaková, G., Bodiš, D., Cerovský, M. a Závodský, D.: Príspevok k možnostiam modelovania koncentrácie síranov v procese topenia a odtoku vody zo snehovej pokrývky a reprodukovanosti vstupných údajov. In: Vodohosp. Čas., 35, 1987, č. 2, s. 115 – 138.

- Bodiš, D., Lopašovská, M., Lopašovský, K. a Rapant, S.: Chemické zloženie snehovej pokrývky na Slovensku – výsledky 25-ročného pozorovania. In: Podzemná voda, 6, 2000, č. 2, s. 162 – 173.
- Gazda, S. a Lopašovský, K.: Chemické zloženie zrážok na území Slovenska. In: Hydrochemické problémy znečisťovania prírodných vôd. Konferencie, sympóziá, semináre. Bratislava, Geol. Úst. D. Štúra 1983, s. 63 – 71.
- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of Geological Factors of the Environment. In: XV. Congress of the KBGA, 17. – 20. September 1995, Athens, Greece 1995, pp. 1 034 – 1 037.
- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of geological hazard of the Slovak Republic. In: 8th International Congress IAEG, Vancouver, Canada 1988, pp. 1 113 – 1 120.
- Klukanová, A.: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. In: Zborník referátov z I. konferencie Geológia a životné prostredie, Bratislava, 25. a 26. november 1998. Bratislava, GS SR 1998, s. 123 – 126.
- Klukanová, A., Wagner, P., Iglárová, L., Ondrášik, M., Jánová, V., Liščák, P., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Frankovská, J., Rapant, S., Jelínek, R., Pauditš, P., Petro, L., Poláščinová, E., Kováčik, M., Scherer, S., Kristeková, M., Labák, P., Dananaj, I., Spišák, Z., Jadroň, D., Vybíral, V., Holzer, R., Malgot, M., Baliak, F., Jánoš, J., Gajdoš, V., Letko, V. a Míka, R.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, stav k 31. 12. 1997. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 1998, 420 s.
- Rapant, S., Vrana, K. a Bodiš, D.: Geochemický atlas Slovenskej republiky, časť Podzemné vody. Bratislava, GS SR 1996. 127 s.
- Vrana, K., Bodiš, D., Lopašovský, K. a Rapant, S.: Regionálno-hydrogeochemické zhodnotenie kvality snehovej pokrývky na území Slovenska. In: Západ. Karpaty, Sér. Hydrogeol. inž. Geol., 1989, č. 7, s. 87 – 128.
- Vrana, K., Bodiš, D., Lopašovský, K., Rapant, S. a Girman, J.: Regional evaluation of snow pack quality in Slovakia. Hydrogeochemical aspect. In: IAHS Publ. (Wallingford), 1994, No 222, pp. 105 – 113.

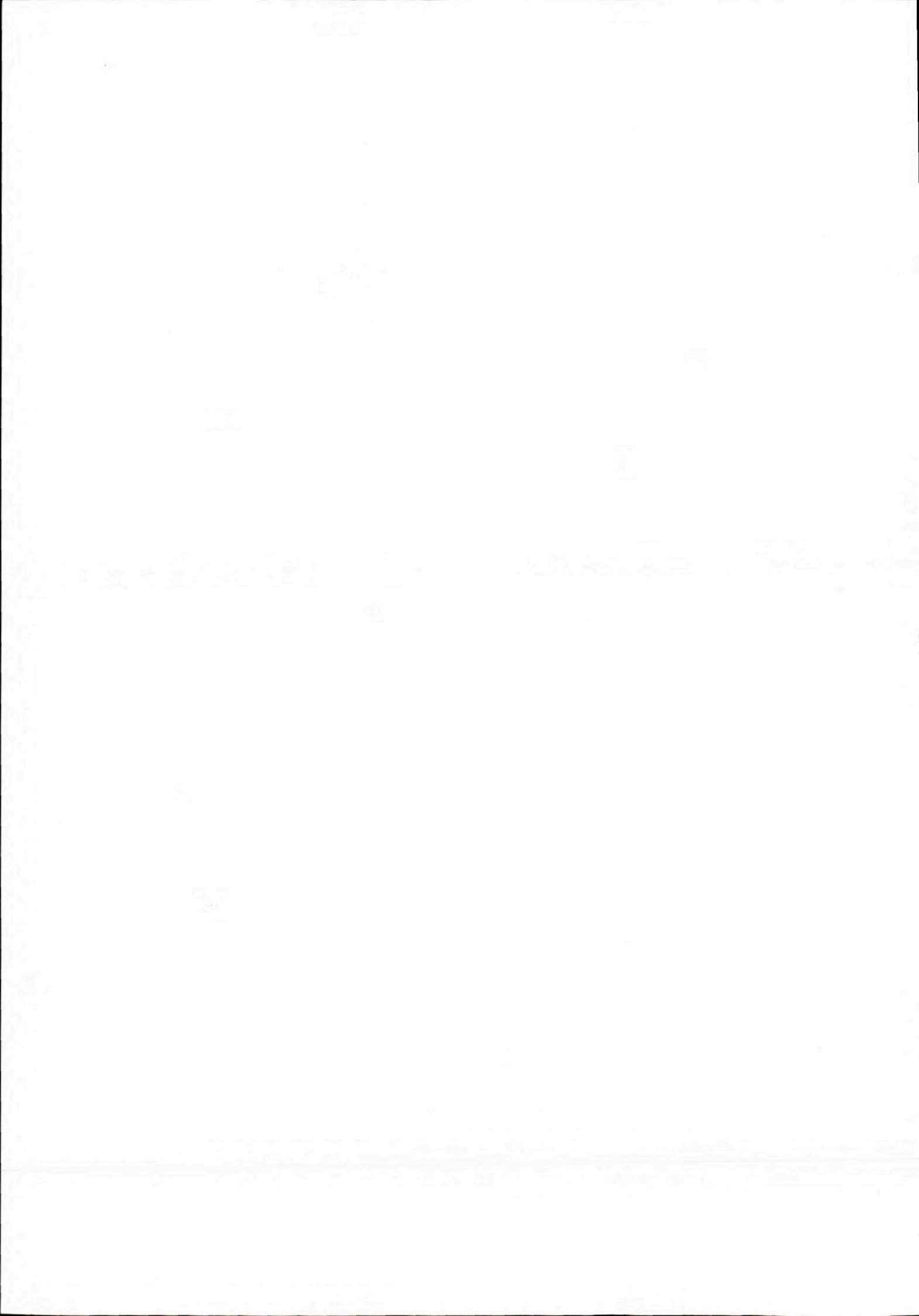
Monitoring of the Snow Pack Chemical Composition

Summary

Snow pack quality monitoring results has identified global and local influences on snow chemical composition and relations between particular ions. The global influences are characterized mainly on the so-called mountain sites as Čertovica, Chopok – J and S, Donovaly, Lomnický štít, Tatranská Lomnica, Skalnaté pleso and Štrbské pleso. The local influences affect mainly the so-called lowland regions as Bratislava region, Patince, Prievidza – Handlová, Žiar nad Hronom, Vojany and so on.

Development of the snow chemical composition is evaluated particularly with respect to the relationship of sampling site altitude to the total snow mineralization, sulfide and nitrate content and relationship of mineralization to pH values (Fig. 2, 3, 4, 5). The most significant linear relationship between decrease the monitored parameters with increasing altitude can be seen in the case of the total mineralization. Based on this we can assume a significant influence of global, regional and local character of snow chemical composition, respectively their differences. We can obtain interesting results, if we divide the sampling sites into altitude zones and evaluate mineralization time evolution from the course of minimum, maximum, median and average (Fig. 6 and 10). We suppose that mentioned evolution trends are influenced by the length of monitoring period. The amount of factors participating on the beginning of the precipitation to its final chemical composition calls for longer, so-called historical observation series. Snow chemical composition variability in relationship to particular altitude zones and in relationship to referential sampling site is specific and expressly does not show in many cases expected dependencies.

More intensive legislative and practical actions and decrease of industrial activities in time period after 1989 are important factors on the overall emission content decrease in the atmosphere.



Monitorovanie seizmických javov Národnou sieťou seizmických staníc

ANDREJ CIPCIAR, PETER LABÁK, PETER MOCZO a MIRIAM KRISTEKOVÁ

Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 842 28 Bratislava

Úvod

Slovensko je krajina, v ktorej zemetrasenia zdanlivo nepredstavujú žiadne vážne ohrozenie ľudských životov a materiálnych hodnôt. V posledných desaťročiach sa tu nevyskytli silné zemetrasenia. Neznamená to však, že takéto zemetrasenia nemôžu nastať v budúcnosti. Slovensko má pomerne bohatú zemetrasnú históriu. V minulosti sa tu vyskytli zemetrasenia, ktoré spôsobili straty na ľudských životoch a zranenia alebo vážne materiálne škody. Súčasný katalóg zemetrasení s makroseizmickými účinkami na území Slovenska, t. j. s účinkami na ľudí, predmety, stavby a prírodu (Labák a Brouček, 1996), obsahuje údaje o viac ako 650 zemetraseniach za posledných 500 rokov. Ak si uvedomíme, že dokumentované obdobie je pre rôzne veľké zemetrasenia rôzne dlhé (čím slabšie sú zemetrasenia, tým je dokumentované obdobie kratšie), je rozumné predpokladať, že v skutočnosti na území Slovenska bolo ešte viac zemetrasení. Keďže sa tektonický vývoj územia Slovenska nezastavil, je logické predpokladať, že k rovnako veľkým a možno aj väčším zemetraseniam, než boli v minulosti, môže na území Slovenska dôjsť aj v budúcnosti. Vzhľadom na podstatne hustejšie osídlenie a existenciu významných národohospodárskych stavieb môžu tieto zemetrasenia v súčasnosti spôsobiť podstatne vážnejšie škody než v minulosti. Preto sa aj na Slovensku venuje pozornosť problematike seizmického ohrozenia celého územia alebo vybraných záujmových lokalít. Výsledné hodnoty charakteristík seizmického ohrozenia určujú úroveň antiseizmických opatrení stavebných konštrukcií a tým priamo ovplyvňujú aj náklady na ich vybudovanie.

Údaje o zemetraseniach tvoria databázu vstupných údajov, bez ktorých nie je možné urobiť výpočty seizmického ohrozenia. Seizmometrické údaje, t. j. údaje z prístrojových pozorovaní zemetrasení by vzhľadom na svoj charakter mali tvoriť nezanedbateľnú časť tejto databázy. Zabezpečenie prístrojového (seizmometrického) monitorovania zemetrasení je preto nutné v každej krajine, a teda aj v Slovenskej republike.

Monitorovanie a zber údajov

História seizmometrických pozorovaní na Slovensku

Najstaršie moderné seizmometrické pozorovania sú v Európe. Trvajú však len o niečo viac ako 100 rokov. História seizmometrických pozorovaní v jednotlivých krajinách je úzko spojená s históriou seizmických staníc. Najstaršia seizmická stanica na území Slovenska a jedna

z najstarších v súčasnosti prevádzkovaných staníc v Európe je seizmická stanica Hurbanovo (HRB)¹. Monitorovanie sa začalo 1. 1. 1902 na dvoch štrasburských horizontálnych kyvadlách firmy J. & A. Bosch. V rokoch 1903 – 1911 bol v prevádzke aj Vincentiniho-Konkolyho seizmometer. Niekedy v rokoch 1909 – 1912 boli Boschove seizmometre nahradené seizmometrami Mainka. Prvá svetová vojna spôsobila prerušenie monitorovania a stratu údajov za obdobie 1913 – 1918 (Pajdušák, 1997). Seizmografy Mainka boli v roku 1927 rekonštruované. V roku 1936 boli na nich nainštalované nové tlmiče. Výsledky meraní za roky 1923 až 1938 boli publikované v práci Zátópka (1940). V roku 1938 bolo Hurbanovo (vtedy Stará Ďala) anektované Maďarskom. Merania sa až do roku 1940 prerušili. V rokoch 1940 – 1945 merania pokračovali, ale v dôsledku 2. svetovej vojny bola väčšina záznamov zničená. Seizmometrické pozorovania pokračovali až od roku 1949. Odvtedy až do súčasnosti sa neprerušili.

Druhá najstaršia stanica na území Slovenska je seizmická stanica Skalnaté Pleso (SPC) vo Vysokých Tatrách. Monitorovanie seizmických javov sa začalo v roku 1943 pomocou horizontálneho Wiechertovho seizmografu, ktorý bol s malými úpravami v prevádzke až do roku 1976. V roku 1958 bol na stanici nainštalovaný trojzložkový Krumbachov seizmometer s optickým záznamom. Pre rekonštrukciu sa seizmometrické merania v roku 1965 prerušili. Od roku 1967 po opätovnom uvedení seizmickej stanice do prevádzky sa používal jednozložkový seizmometer VEGIK na zaznamenávanie vertikálneho pohybu pôdy. Monitorovanie sa skončilo 13. 1. 1998.

Seizmická stanica Bratislava (BRA), umiestnená v budove Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave, bola v prevádzke od 1. 5. 1956. Bola vybavená trojzložkovým Krumbachovým seizmometrom, ktorý bol v roku 1965 nahradený seizmometrom VEGIK s galvanometrickým záznamom. Seizmická stanica bola uzavretá v roku 1977 z dôvodu vybudovania novej seizmickej stanice na území Bratislavy v lokalite Železná studienka.

Seizmická stanica Bratislava-Železná studienka (ZST), umiestnená v bývalom kameňolome v Malých Karpatoch, začala prevádzku v apríli 1976. Bola vybavená jednozložkovým seizmometrom Kirnos SKM-3 na zaznamenávanie vertikálneho pohybu pôdy. Dňa 13. 3. 1990 sa začalo ako na prvej seizmickej stanici národnej siete digitálne monitorovanie s telemetrickým prenosom údajov do spracovateľského centra v GFÚ SAV. Stanica

¹HRB je kód Medzinárodného seizmologického centra ISC pre seizmickú staniciu Hurbanovo.

bola vybavená systémom Lennartz PCM 5800. V prvom období bola stanica vybavená len tromi krátkoperiodickými seizmometrami SM-3 na zaznamenávanie všetkých troch zložiek pohybu pôdy. Od júna 1997 sa pôvodné krátkoperiodické kanály nahradili novými, citlivejšími a navyše boli inštalované tri širokopásmové kanály, ktoré používajú seizmometre Kirnos SKD. V tejto konfigurácii monitoruje seizmická stanica ZST až do súčasnosti.

Seizmická stanica Šrobárová (SRO) bola založená v roku 1964. V období 1964 – 1965 bola vybavená tromi krátkoperiodickými seizmometrami VEGIK na zaznamenávanie všetkých troch zložiek pohybu pôdy. V rokoch 1966 – 1967 sa zaznamenávali len horizontálne zložky. V rokoch 1968 – 1987 bola stanica vybavená tromi strednoperiodickými seizmometrami Kirnos SKD. Navyše, v rokoch 1985 – 1987 bol v prevádzke aj jeden krátkoperiodický seizmometer Kirnos SKM-3 na zaznamenávanie vertikálneho pohybu pôdy. V rokoch 1988 až 1997 pokračovalo monitorovanie len na krátkoperiodickom seizmometri SKM-3. V rokoch 1997 – 1998 bola paralelne s pôvodnou analógovou aparátúrou uvedená do prevádzky aj digitálna aparátúra firmy Lennartz. V roku 1998 sa skončilo analógové monitorovanie. Digitálne monitorovanie pokračuje až do súčasnosti.

Dňa 5. 7. 1992 bola uvedená do prevádzky seizmická stanica Modra (mod)². Je vybavená digitálnou seizmickou aparátúrou Lennartz PCM 5800 a trojzložkovým krátkoperiodickým seizmometrom LE-3D. Od roku 1999 sa údaje zo seizmickej stanice na vyžiadanie prenášajú cez internet do spracovateľského centra v GFÚ SAV.

Jednozložková krátkoperiodická stanica v Košiciach (kos) bola uvedená do prevádzky 1. 1. 1990. Stanica bola vybavená seizmometrom SM-3. Od 16. 5. 1990 je v prevádzke digitálna seizmická aparátúra Lennartz PCM 5800 a trojzložkový krátkoperiodický seizmometer LE-3D.

Jednozložková krátkoperiodická stanica vo Vyhniach (vyh) bola uvedená do prevádzky 1. 7. 1990. Stanica bola vybavená seizmometrom SM-3. Od 14. 11. 1991 je v prevádzke digitálna seizmická aparátúra Lennartz PCM 5800 a trojzložkový krátkoperiodický seizmometer LE-3D.

Súčasný stav seizmometrických pozorovaní na Slovensku

Národná sieť seizmických staníc, ktorú prevádzkuje GFÚ SAV, v súčasnosti pozostáva z týchto šiestich staníc (tab. 1 a obr. 1): Bratislava-Železná studienka (ZST), Šrobárová (SRO), Hurbanovo (HRB), Modra (mod), Vyhne (vyh) a Košice (kos). Okrem seizmickej stanice Hurbanovo sú všetky ostatné stanice vybavené trojzložkovými krátkoperiodickými seizmometrami a digitálnou aparátúrou. Seizmická stanica Bratislava-Železná studienka je ako jediná vybavená aj trojzložkovou širokopásmovou aparátúrou. Cieľom monitorovania Národnou sieťou seizmických staníc je monitorovanie a analýza seizmických javov:

- monitorovanie, analýza a lokalizácia zemetrasení s epicentrom na území Slovenska a zemetrasení s makroseizmickými účinkami na území Slovenska,
- monitorovanie a interpretácia teleseizmických javov na seizmických stanicích, ktoré sú registrované v ISC,
- monitorovanie, analýza a lokalizácia priemyselných explózií.

V tab. 1 vidieť, že iba z dvoch seizmických staníc (ZST a mod) sú údaje k dispozícii v takmer reálnom čase (tzv. on-line stanice). Zo všetkých ostatných staníc sa údaje zbierajú s oneskorením niekoľko dní až 2 týždne (tzv. off-line stanice). V dôsledku toho súčasná národná sieť seizmických staníc neumožňuje včasnú lokalizáciu zemetrasení na území celého Slovenska, a to bez ohľadu na veľkosť zemetrasení. Na obr. 1 vidieť, že súčasná národná sieť seizmických staníc vôbec nepokrýva územie severného a východného Slovenska. Lokalizácia zemetrasení v týchto oblastiach je možná len v tom prípade, ak sú k dispozícii údaje zo seizmických staníc v okolitých štátoch. Na obr. 1 sú žltou farbou vyznačené zemetrasenia s makroseizmickými účinkami na území Slovenska, pre ktoré existuje len makroseizmická lokalizácia, t. j. lokalizácia z makroseizmických údajov o zemetrasení. Modrou farbou sú vyznačené epicentrá tých zemetrasení s makroseizmickými účinkami na území Slovenska, pre ktoré bolo možné vykonať seizmometrickú lokalizáciu. Takýchto zemetrasení je však len malý počet. Z toho vidieť, že národná sieť neumožňuje ani priestorovo vyčleniť aktívne ohniskové oblasti. Je zrejmé, že ciele monitorovania súčasná Národná sieť seizmických staníc plní len čiastočne.

Analýza údajov

Seizmické javy zaznamenané na seizmických stanicích národnej siete môžeme rozdeliť na tri základné skupiny: vzdialené zemetrasenia, blízke zemetrasenia a ostané seizmické javy. Pod vzdialenými zemetraseniami rozumieme zemetrasenia s epicentrálnou vzdialenosťou $\Delta > 10^\circ$, pod blízky zemetraseniami zemetrasenia s $\Delta \leq 10^\circ$. Do skupiny ostatných seizmických javov patria identifikované priemyselné explózie, pravdepodobné explózie a seizmické javy s neurčenými parametrami. Pre zaznamenané seizmické javy sa vykonáva základná a doplňujúca analýza. Základná analýza zahŕňa určenie času príchodu jednotlivých skupín seizmických vln – fáz, určenie amplitúd a periód vybraných fáz a predbežné určenie epicentrálnej vzdialenosti a magnitúd. Táto analýza sa štandardne vykonáva denne pre on-line seizmické stanice ZST a mod a raz za dva týždne pre off-line seizmické stanice SRO, vyh a kos. Doplňujúca analýza, ktorá zahŕňa polarizačnú analýzu a lokalizáciu blízky a regionálnych javov, sa vykonáva len pre vybrané javy. Výsledky základnej a doplňujúcej analýzy sa uchováajú v Seizmologickom databázovom systéme (Kristeková et al., 1997). V tab. 2 a tab. 3 sú počty zaznamenaných seizmických javov a určených seizmických parametrov zo záznamov jednotlivých staníc Národnej siete seizmických staníc pre roky 1995 až 1999 (Klukanová et al., 2000). Údaje zo seizmickej stanice HRB sa vzhľadom na zastaranosť seizmometra analyzujú len vo výnimočných prípadoch. Podrobné výsledky monitorovania sú uvedené v správe Čipciar a Labák in Klukanová et al., 2000

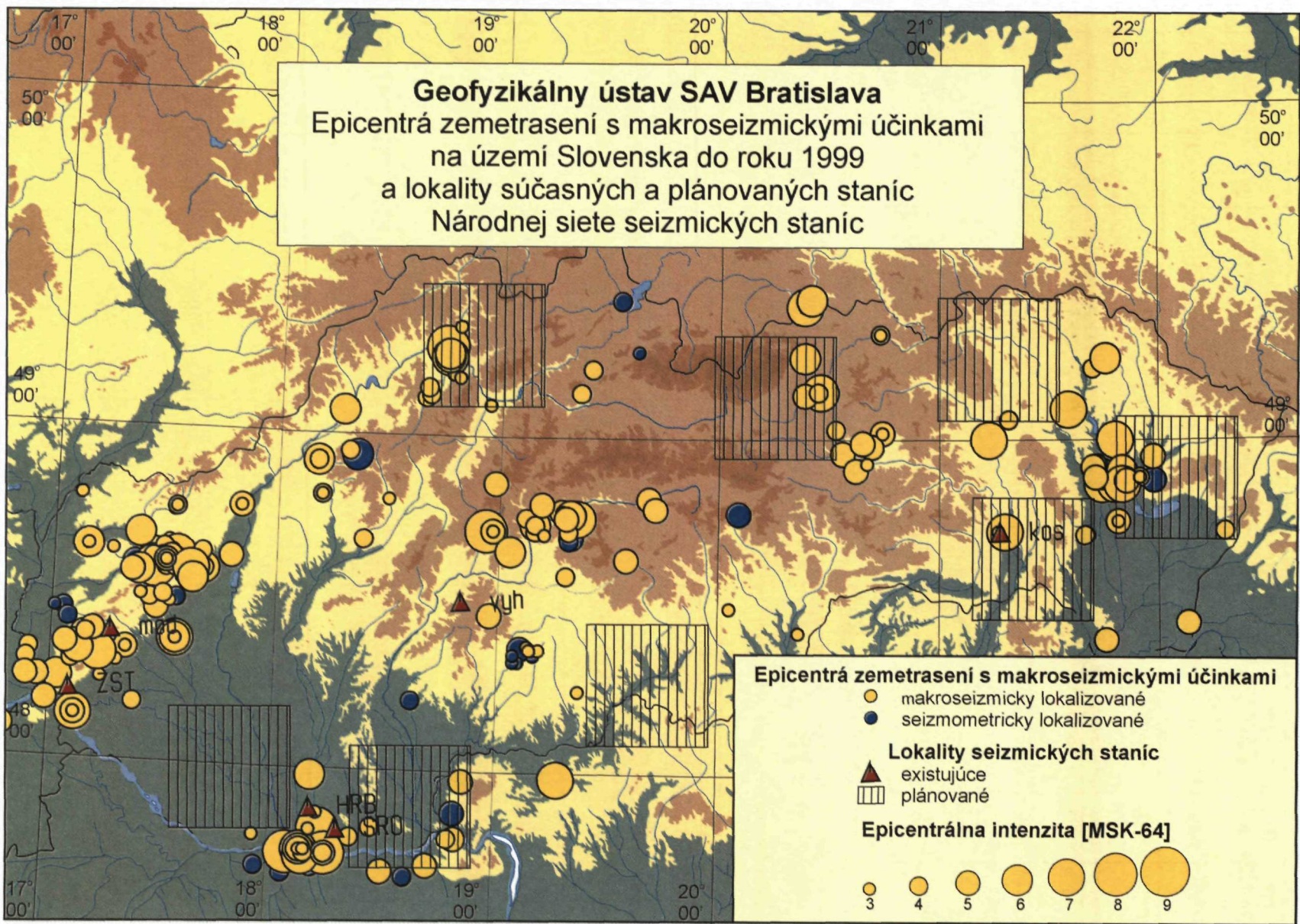
²mod je lokálny kód seizmickej stanice Modra. Stanica nie je registrovaná v ISC.

Tab. 1 Národná sieť seizmických staníc (stav v r. 2000).

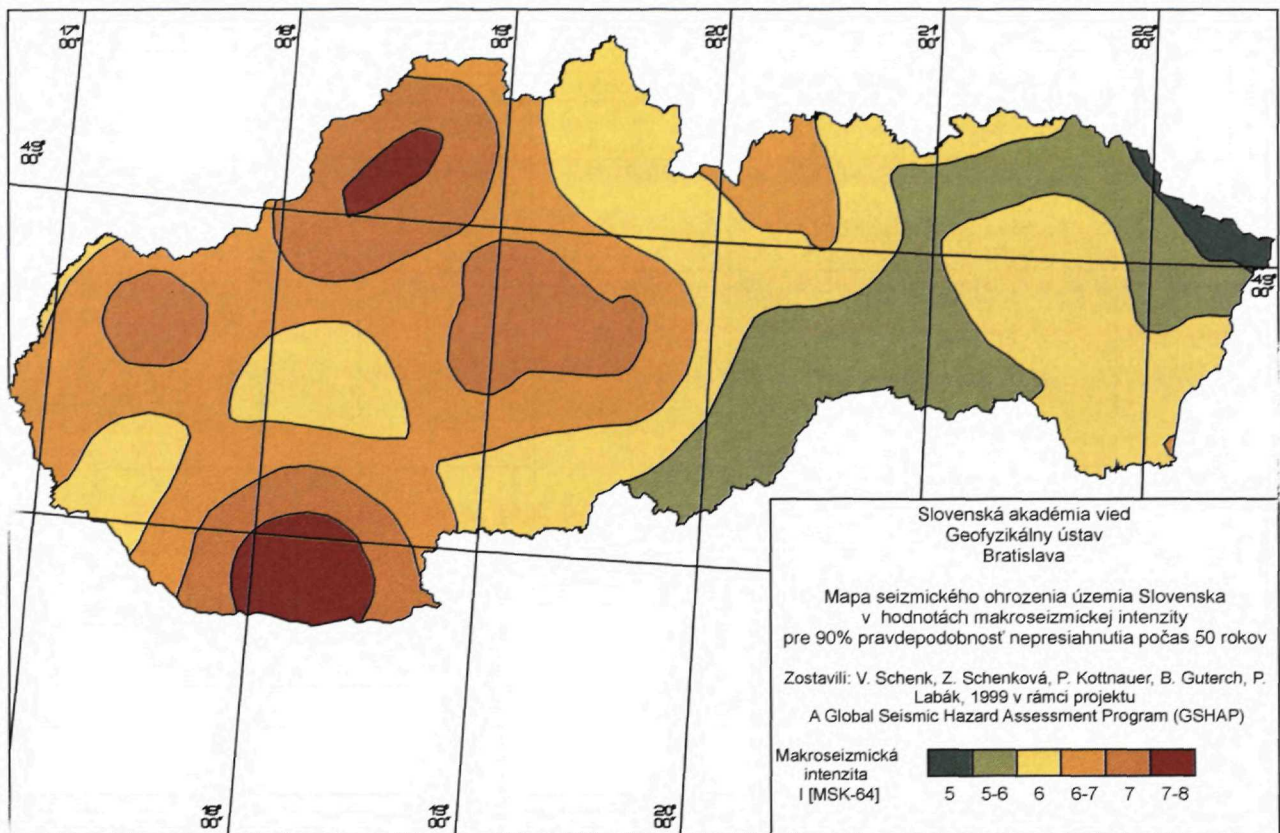
Národná sieť seizm. staníc (stav v r. 2000)	ISC kód (lokál. kód)	Zemepisná šírka (N)	Zemepisná dĺžka (E)	Nadmorská výška (m)	Typ podložia	Zložky	Seizmometer	VI. per. T_s (s)	Typ monitorovania	Od r.
Bratislava	ZST	48°11'46''	17°06'09''	250	granodiorit	Z, N, E	3x SM-3	1,75	dig., trig. telemetria	1976
						Z, N, E	3x SKD	22,50		1997
Šrobárová	SRO	47°48'48''	18°18'48''	150	neogén. sedimenty	Z, N, E	3x SKM-3	1,58	dig., trig. ZIP disk	1964
Hurbanovo	HRB	47°52'25''	18°11'34''	115	neogén. sedimenty	N, E	2x Mainka	cca 8	analog., cont.	1902
Modra	mod	48°22'23''	17°16'39''	520	kvarcit	Z, N, E	Le-3D	1,00	dig., trig. internet	1992
Vyhne	vyh	48°29'38''	18°50'10''	450	ryolit	Z, N, E	Le-3D	1,00	dig., trig. mg. páska	1990
Košice	kos	48°43'48''	21°15'01''	206	granit	Z, N, E	Le-3D	1,00	dig., trig. mg. páska	1990

Tab. 2 Počet zaznamenaných seizmických javov na jednotlivých seizmických staniciach národnej siete v rokoch 1995 – 1999.

Rok	Seizmická stanica	Počet zaznamenaných seizmických javov		
		vzdialených	blízkyh	ostatných
1995	ZST	1 713	211	1 350
	SRO	1 020	45	420
	SPC	1 206	355	385
	HRB	943	301	314
1996	ZST	1 269	284	802
	SRO	883	49	280
	SPC	969	391	312
	HRB	2	3	0
	mod	36	15	14
	vyh	86	68	82
	kos	60	1	55
1997	ZST	861	224	541
	SRO	668	160	152
	SPC	857	328	283
	HRB	0	2	0
	mod	2	2	0
	vyh	42	83	30
	kos	5	20	1
1998	ZST	627	221	214
	SRO	281	84	105
	SPC	10	0	3
	HRB	0	0	0
	mod	0	0	0
	vyh	51	30	72
	kos	18	15	11
1999	ZST	802	193	221
	SRO	39	21	7
	HRB	0	0	0
	mod	49	129	62
	vyh	71	74	48
	kos	31	25	36



Obr. 1 Epicentra zemetrasení s makroseizmickými účinkami na území Slovenska do r. 1999 a lokality súčasných a plánovaných staníc Národnej siete seizmických staníc.



Obr. 2 Seizmické ohrozenie územia Slovenska v hodnotách makroseizmickej intenzity pre 90 % pravdepodobnosť nepresiahnutia počas 50 rokov, t. j. pre 475-ročnú návratovú periódu.

Výsledky analýz vstupujú do medzinárodnej výmeny údajov o zemetraseniach. GFÚ SAV zasiela údaje zo svojich seizmických staníc, získava údaje zo seizmických staníc okolitých štátov a rýchle predbežné, neskôr spresnené lokalizácie väčších zemetrasení z medzinárodných centier. Tieto získané údaje GFÚ SAV spätne využíva na ďalšiu analýzu seizmických záznamov zo slovenských staníc. Tento proces je teda interaktívny a iteratívny. Dvakrát týždenne sa zasiela z GFÚ SAV tzv. *seismo report* do medzinárodných centier U. S. Geological Survey National Earthquake Information Center (USGS NEIC, USA), do Centre Sismologique Euro-Méditerranéen (CSEM, Francúzsko) a 16 inštitúcií v európskych štátoch. *Seismo report* obsahuje čas príchodu identifikovaných fáz, amplitúdy a periódy vybraných fáz a predbežné epicentrálne vzdialenosti jednotlivých zaznamenaných zemetrasení. Na základe týchto informácií medzinárodné centrá robia predbežné rýchle lokalizácie zemetrasení, ktoré sa spätne zasielajú do jednotlivých štátov. V národných centrách sa potom záznamy zemetrasení reinterpretojú a spresnené údaje sa zasielajú do Medzinárodného seizmologického centra ISC vo forme tzv. staničných mesačných bulletinov. Po spracovaní týchto údajov ISC vydáva tzv. mesačný bulletin ISC, ktorý obsahuje definitívne lokalizácie a údaje o zemetraseniach. Mesačný bulletin ISC je k dispozícii s 2,5-ročným oneskorením. Na základe neho sa seizmické záznamy znovu reinterpretojú a údaje sa spracovávajú podľa prípadu zemetrasenia s epicentrom na území Slovenska alebo zemetrasenia s makroseizmickými účinka-

mi na území Slovenska sa údaje z on-line staníc spracovávajú okamžite a z off-line staníc sa na vyžiadanie zasielajú mimo pravidelného režimu. Off-line prepojenie seizmických staníc je však nevhodné a z hľadiska včasného určenia základných parametrov zemetrasenia (času vzniku zemetrasenia, polohy epicentra, hĺbky ohniska a magnitúdy) nedostačujúce. Vo väčšine prípadov sú k dispozícii skôr údaje zo seizmických staníc v okolitých štátoch než údaje zo slovenských off-line seizmických staníc. Ako príklad možno uviesť porovnanie toku údajov v Národnej sieti seizmických staníc v prípade zemetrasenia pri Krupine 28. 10. 1999 a toku údajov v Medzinárodnom dátovom centre IDC CTBTO vo Viedni (tab. 4)³. V tab. 4 vidieť, že zatiaľ čo v GFÚ SAV sa prvotná (približná) lokalizácia vykonala až 1 deň po zemetrasení a predbežná lokalizácia 3 dni po zemetrasení, v IDC CTBTO sa 1. automatická lokalizácia bežne vykonáva do 2 hodín po zemetrasení a predbežná lokalizácia do 12 – 24 hodín. Priamym dôsledkom tejto situácie je, že v prípade silného zemetrasenia na území Slovenska by nebola možná dostatočná súčinnosť s orgánmi štátnej správy, najmä s civilnou ochranou, a nebolo by možné včasné, a najmä dostatočné informovanie verejnosti o zemetrasení.

³V roku 1999 pracovala seizmická stanica mod v režime off-line. V súčasnosti by boli údaje z nej dostupné v rovnakom časovom intervale ako údaje zo seizmickej stanice ZST.

Tab. 3 Počet identifikovaných fáz, určených epicentrálnych vzdialeností, azimutov, amplitúd, períód a magnitúd na jednotlivých seizmických stanicích Národnej siete seizmických staníc v rokoch 1995 – 1999.

Rok	Seizm. stanica	Počet určených seizmických parametrov				
		seizm. fáz	epicentrálnych vzdialeností	azimutov	amplitúd a períód	magnitúd
1995	ZST	4 397	1082	–	210	177
	SRO	1 943	47	–	90	48
	SPC	2 717	73	–	131	81
	HRB	18	6	–	6	6
1996	ZST	3 220	879	–	169	134
	SRO	1 643	50	–	83	47
	SPC	2 391	45	–	98	60
	HRB	13	5	–	3	0
	mod	173	26	4	0	0
	vyh	486	48	49	0	0
	kos	180	14	13	0	0
1997	ZST	2 792	143	18	90	59
	SRO	1 597	47	0	40	30
	SPC	2 337	262	0	49	42
	HRB	0	0	0	0	0
	mod	11	1	0	1	0
	vyh	423	87	72	25	20
	kos	53	20	18	3	2
1998	ZST	2 594	227	120	53	42
	SRO	791	40	0	0	0
	SPC	20	0	0	0	0
	HRB	0	0	0	0	0
	mod	0	0	0	0	0
	vyh	325	36	13	22	18
	kos	85	19	13	4	4
1999	ZST	2 439	209	90	190	157
	SRO	122	10	4	24	19
	HRB	0	0	0	0	0
	mod	589	157	131	112	101
	vyh	502	76	61	92	76
	kos	190	33	27	43	36

Výsledky monitorovania za obdobie 1995 – 1999

V tab. 5 je uvedený katalóg seizmometricky lokalizovaných zemetrasení s epicentrami na území Slovenska a zemetrasení s makroseizmickými účinkami na území Slovenska. Značný nárast počtu lokalizovaných zemetrasení v rokoch 1997, 1998 a 1999 v porovnaní s rokmi 1995 a 1996 je spôsobený jednak rozvínutím spolupráce medzi GFÚ SAV a prevádzkovateľom lokálnych seizmických sietí v okolí atómových elektrární Jaslovské Bohunice (EBO) a Mochovce (EMO), jednak zvýšenou mikro-seizmickou aktivitou v oblasti Dobrá Voda v rokoch 1997 až 1999 a výskytom 17 zemetrasení s makroseizmickými účinkami v oblasti Krupiny v októbri a novembri 1999.

Z údajov lokálnej siete EBO sa v priebehu rokov 1997 až 1999 lokalizovalo viac ako 40 zemetrasení a mikro-zemetrasení z ohniskovej zóny Dobrá Voda s magnitúdom $M_L \geq 1$. Za obdobie 1994 – 1996 ich bolo len 12 (Sekereš, 1999). Tento rozdiel svedčí o zvýšenej mikro-seizmickkej aktivite v ohniskovej zóne Dobrá Voda v období od roku 1997. V tabuľke 5 vidieť, že z údajov Národnej siete seizmických staníc bolo možné lokalizovať len 11 z nich. To preto, lebo Národná sieť seizmických staníc neumožňuje monitorovať mikro-seizmickú aktivitu v jednotlivých ohniskových zónach. Je teda zrejmé, že kvôli poznaniu mikro-seizmickkej aktivity v jednotlivých ohniskových zónach je potrebné vybudovať

lokálne siete seizmických staníc. Príklad z ohniskovej zóny Dobrá Voda indikuje, že mikro-seizmická aktivita existuje veľmi pravdepodobne aj v iných ohniskových zónach. Absencia údajov o nej má viaceré negatívne dôsledky. Vďaka údajom z lokálnych sietí EBO a EMO poznáme mikro-seizmickú aktivitu len v ohniskovej zóne Dobrá Voda a v okolí samotných atómových elektrární EBO a EMO. V súčasnosti však nevieme povedať nič o mikro-seizmickkej aktivite v takých významných ohniskových zónach ako Komárno či stredné Slovensko, kde v minulosti došlo k najsilnejším dokumentovaným zemetraseniam.

Zemetrasenia vznikajú väčšinou v oblastiach, v ktorých sa už v minulosti zemetrasenia vyskytli a máme o nich informácie z historických prameňov. V období od 28. 10. 1999 do 12. 11. 1999 však došlo v okrese Krupina k sérii sedemnástich zemetrasení, ktorých epicentrá boli v oblasti, v ktorej dosiaľ neboli dokumentované žiadne zemetrasenia. V tab. 6 je úplný katalóg makroseizmicky pozorovaných zemetrasení v tejto oblasti. V dôsledku nevhodnej konfigurácie národnej siete len päť z nich bolo zaznamenaných aj seizmometricky a bolo možné ich lokalizovať (porovnaj tab. 5 a tab. 6). Výskyt zemetrasení v oblastiach, v ktorých neboli dokumentované žiadne historické zemetrasenia s makroseizmickými účinkami, indikuje potrebu monitorovania seizmickkej aktivity aj pomocou dostatočného počtu dočasných poľných

Tab. 4 Porovnanie toku údajov v GFÚ SAV v prípade zemetrasenia v Krupine 28. 10. 1999 a toku údajov v Medzinárodnom dátovom centre IDC CTBTO vo Viedni.

GFÚ SAV Bratislava	IDC CTBTO Viedeň
Vznik zemetrasenia 28. 10. 1999 16:06:47.3 UTC	Vznik zemetrasenia
3 hod. po: <ul style="list-style-type: none"> • interpretácia údajov zo ZTS, • predbežný odhad polohy epicentra najmä na základe hlásení občanov, • informácie pre masmédiá najmä na základe hlásení občanov. 	2 hod. po: <ul style="list-style-type: none"> • údaje zo základnej siete staníc, • 1. automatická lokalizácia.
1 deň po: <ul style="list-style-type: none"> • údaje z lokálnych seizmických sietí EBO a EMO, • prvotná lokalizácia. 	6 hod. po: <ul style="list-style-type: none"> • údaje z pomocných staníc, • 2. automatická lokalizácia.
3 dni po: <ul style="list-style-type: none"> • údaje zo seizmickej stanice mod, • údaje z maďarskej seizmickej stanice Budapešť (BUD), • spresnenie lokalizácie. 	12 – 24 hod. po: <ul style="list-style-type: none"> • manuálna revízia údajov, • predbežná lokalizácia.
4 dni po: <ul style="list-style-type: none"> • údaje zo seizmickej stanice SRO, • predbežná lokalizácia. 	

seizmických staníc. GFÚ SAV mohol v uplynulom období použiť maximálne tri takéto stanice

Ako sme uviedli už v úvode, údaje o zemetraseniach tvoria vstupnú databázu na zhodnotenie seizmického ohrozenia. Na obr. 2 je mapa seizmického ohrozenia celého územia Slovenska v hodnotách makroseizmickej intenzity pre 90 % pravdepodobnosť nepresiahnutia počas 50 rokov, t. j. pre návratovú periódu 475 rokov. Táto mapa bola vypracovaná spolu s mapami pre územie Českej republiky a Poľska (Schenk et al., 2000) v rámci projektu *A Global Seismic Hazard Assessment Program* a bude aj súčasťou pripravovaného *Atlasu krajiny SR*. Makroseizmická intenzita je jedinou charakteristikou pohybu pôdy, pre ktorú je k dispozícii dostatok údajov na to, aby sa vo výpočte seizmického ohrozenia použili útlmové vzťahy, ktoré platia priamo pre územie Slovenska. Na podobné výpočty seizmického ohrozenia v hodnotách špičkového zrýchlenia (Schenk et al., 2000; Grünthal et al., 1999) sa museli použiť útlmové vzťahy z iných, analogických regiónov. V dôsledku toho sú tieto výpočty zaťažené väčšou neurčitou. Útlmové vzťahy pre špičkové zrýchlenie sa museli použiť z analogických regiónov preto, lebo pre územie Slovenska neexistujú žiadne seizmometrické údaje o silných pohyboch pôdy. Neexistujú preto, lebo na Slovensku neexistuje akcelerometrická sieť na monitorovanie silných pohybov. Len vďaka tomu, že v uplynulých desaťročiach nevzniklo na Slovensku silné zemetrasenie, absencia takejto siete nemala vážnejšie negatívne dôsledky.

GFÚ SAV okrem seizmometrických údajov zhromažďuje a analyzuje aj makroseizmické údaje o zemetraseniach. V prípade zemetrasenia, ktoré mohlo mať makroseizmické účinky na území Slovenska, GFÚ SAV rozosiela makroseizmické dotazníky tým občanom, ktorí sa písomne alebo telefonicky prihlásili na výzvy zverejnené v masovokomunikačných prostriedkoch. V prípade, že na niektorej lokalite mohli makroseizmické účinky dosiahnuť

aspoň 6° EMS-98, GFÚ SAV vykonáva aj prieskum na mieste. Pre každú lokalitu, z ktorej sú dostupné makroseizmické údaje obsiahnuté v makroseizmických dotazníkoch alebo z prieskumu na mieste, je určená makroseizmická intenzita. Jednotlivé intenzitné body sa vykresľujú na mapách. V prípade dostatočného počtu intenzitných bodov sa na mapách vykresľujú aj izoseisty (čiary oddeľujúce oblasti s rôznou intenzitou). Makroseizmická intenzita sa určuje v stupňoch makroseizmickej stupnice. Na Slovensku, podobne ako inde v Európe, sa donedávna používala 12-stupňová Medvedevova-Sponheuerova-Kárnikova makroseizmická stupnica (MSK-64). V súčasnosti sa používa európska makroseizmická stupnica (EMS-98). V tabuľke 7 je uvedená jej tzv. krátka forma (nevhodná na určovanie makroseizmickej intenzity). Pre každý intenzitný stupeň sú v nej uvedené len vybrané najtypickejšie účinky zemetrasenia.

V rokoch 1995 – 1999 bolo na území Slovenska 26 makroseizmicky pocítených zemetrasení, z ktorých 23 malo epicentrum na území Slovenska. Okrem nich boli na našom území makroseizmicky pocítené dve zemetrasenia s epicentrami na území Maďarska (18. 9. 1995 a 16. 7. 1997) a jedno zemetrasenie s epicentrom na území Slovinska 12. 4. 1998). Len 14 z 26 zemetrasení s makroseizmickými účinkami sa však mohlo lokalizovať seizmometricky.

Záver

Národná sieť seizmických staníc plnila v rokoch 1995 až 1999 nezastupiteľnú úlohu monitorovania zemetrasení na území Slovenska. Je však zrejme, že súčasný stav národnej siete neumožňuje plniť všetky ciele monitorovania a celkovo súčasný stav monitorovania zemetrasení na Slovensku veľmi zaostáva za súčasnými potrebami na Slovensku.

Tab. 5 Katalóg seizmometricky lokalizovaných zemetrasení s epicentrami na území Slovenska a seizmometricky lokalizovaných zemetrasení s makroseizmickými účinkami na Slovensku v období 1995 – 1999.

Dátum	Čas vzniku UTC	Geografické súradnice		Hĺbka [km]	Magnitúdo	Lokalita
		λ [°N]	ϕ [°E]			
11. 9. 1995	04:02:16.0	49,25	19,66	16	Epic. int. $M_L = 2,6$ $I_0 = 3$ (*)	Orava
18. 9. 1995	08:26:10.4	47,88	18,80	16	$M_L = 3,7$ $I_0 = 5 - 6$ (*)	Maďarsko
17. 2. 1997	05:03:39.2	48,68	18,62	15	$M_L = 2,6$ $I_0 = 4$ (*)	stredné Slovensko
18. 5. 1997	13:42:07.6	48,53	17,52	14	$M_L = 1,9$	Dobrá Voda
30. 5. 1997	10:04:12.5	48,36	17,09	16	$M_L = 2,1$	Pernek – Modra
30. 5. 1997	15:52:01.6	48,37	17,10	22	$M_L = 2,0$	Pernek – Modra
30. 5. 1997	23:20:17.3	47,40	17,16	11	$M_L = 1,8$	Pernek – Modra
16. 7. 1997	10:52:53.2	47,68	18,08	12	$M_L = 2,4$ $I_0 = 3$ (*)	Maďarsko
16. 10. 1997	12:32:16.9	48,61	17,56	10	$M_L = 1,8$	Dobrá Voda
6. 11. 1997	03:16:44.0	48,57	17,69	14	$M_L = 1,9$	Dobrá Voda
10. 11. 1997	14:54:38.2	48,37	17,12	19	$M_L = 2,3$	Pernek – Modra
8. 12. 1997	15:26:57.0	48,60	17,89	12	$M_L = 2,0$	Dobrá Voda
11. 1. 1998	17:11:30.1	48,57	17,56	19	$M_L = 1,9$	Dobrá Voda
12. 4. 1998	10:55:32.5	46,24	13,65	10	$M_L = 5,4$ $I_0 = 4$ (*)	Slovinsko
4. 5. 1998	14:12:17.3	48,50	17,52	11	$M_L = 1,4$	Dobrá Voda
4. 5. 1998	17:21:44.5	48,51	17,49	13	$M_L = 1,3$	Dobrá Voda
12. 5. 1998	00:00:00	49,19	19,41	–	$M_{10} = 3,2$ $I_0 = 4$ (*)	Orava
9. 6. 1998	17:52:59.9	48,35	17,12	20	$M_L = 2,3$	Pernek – Modra
3. 8. 1998	19:56:05.8	48,54	17,58	15	$M_L = 1,6$	Dobrá Voda
1. 5. 1999	18:54:32.5	48,43	17,37	15	$M_L = 2,0$	Dobrá Voda
5. 5. 1999	03:11:14.1	48,57	17,55	8	$M_L = 2,1$ $I_0 = 4$ (**)	Dobrá Voda
5. 5. 1999	03:27:18.5	48,58	17,56	11	$M_L = 1,8$	Dobrá Voda
20. 5. 1999	18:23:26.9	48,41	17,17	14	$M_L = 2,1$	Pernek – Modra
22. 8. 1999	12:03:34.5	47,76	18,10	7	$M_L = 2,2$	Komárno
2. 9. 1999	03:39:25.5	49,39	19,54	–	$I_0 = 4$ (**)	Orava
9. 10. 1999	09:48:06.2	48,10	17,12	16	$M_L = 1,7$	Pernek – Modra
18. 10. 1999	04:08:15.4	48,57	17,67	15	$M_L = 2,3$ $I_0 = 4$ (**)	Dobrá Voda
19. 10. 1999	15:14:03.1	48,45	17,32	8	$M_L = 1,5$	Dobrá Voda
28. 10. 1999	16:06:47.0	48,35	19,14	14	$M_L = 3,2$ $I_0 = 5 - 6$ (**)	Krupina
28. 10. 1999	16:10:17.1	48,32	19,10	15	$M_L = 2,0$ $I_0 = 3$ (**)	Krupina
29. 10. 1999	18:37:03.6	48,32	19,08	19	$M_L = 2,4$ $I_0 = 4$ (**)	Krupina
12. 11. 1999	10:10:01.3	48,34	19,08	10	$M_L = 2,0$ $I_0 = 3$ (**)	Krupina
12. 11. 1999	12:39:13.9	48,34	19,17	–	$M_L = 1,5$ $I_0 = 3$ (**)	Krupina

(*) – epicentrálna intenzita v stupňoch makroseizmickej stupnice MSK-64

(**) – epicentrálna intenzita v stupňoch makroseizmickej stupnice EMS-98

Prvým krokom k zmene tohto stavu je modernizácia a rozšírenie Národnej siete seizmických staníc. GFÚ SAV by mal v rokoch 2001 – 2004 realizovať už schválený projekt modernizácie existujúcich seizmických staníc a vybudovania ďalších šiestich nových seizmických staníc. Na obr. 1 sú čiernymi vyšrafovanými obdĺžnikmi vyznačené oblasti, v ktorých by sa mali vybudovať nové stanice. Do-

plnená a modernizovaná národná sieť by mala mať aspoň 12 seizmických staníc. Projekt by mal priniesť aj kvalitatívnu zmenu v spracúvaní údajov o zemetraseniach. Jedným z výsledkov projektu by mala byť schopnosť vykonať prvú automatickú lokalizáciu zemetrasení s makroseizmickými účinkami na území Slovenska do 30 – 60 minút (porovnaj so súčasným stavom v tab. 4).

Tab. 6 Katalóg zemetrasení s makroseizmickými účinkami v období 28. 10. 1999 – 12. 11. 1999 v okrese Krupina; uvedené sú len seizmometrické lokalizácie zemetrasení.

Dátum vzniku zemetrasenia	Čas vzniku zemetrasenia [UTC]	Zemepisná šírka epicentra [°N]	Zemepisná dĺžka epicentra [°E]	Hĺbka ohniska [km]	Magnitúdo M_L epicentrálna intenzita [EMS-98]	Pocítené v obci
28. 10. 1999	16:06:46.7	48,35	19,14	20	<u>3,2 (ZST)</u> 5 – 6°	Čekovce, Dolné Mladonice, Horné Mladonice, Senohrad, Bzovík, Litava, Pliešovce, Lackov, Zvolen
	16:10:17.1	48,32	19,10	15	<u>2,0 (PROG)</u> 3°	Čekovce, Litava, Dolné Mladonice, Horné Mladonice, Senohrad, Bzovík
	16:23 – 30	–	–	–	– 3°	Dolné Mladonice, Horné Mladonice
	16:51	–	–	–	– 3°	Dolné Mladonice, Horné Mladonice
	18:35 – 45	–	–	–	– 3°	Horné Mladonice, Senohrad
29. 10. 1999	05:30	–	–	–	– 3°	Čekovce
	10:50	–	–	–	– 3°	Čekovce
	18:37:03.6	48,32	19,08	19	<u>2,4 (ZST)</u> 4°	Čekovce, Dolné Mladonice, Horné Mladonice, Senohrad, Zemiansky Vrbovok
	19:30 – 50	–	–	–	– 3°	Čekovce, Dolné Mladonice
	20:30	–	–	–	– 3°	Dolné Mladonice
30. 10. 1999	04:30 – 55	–	–	–	– 3°	Čekovce, Dolné Mladonice
	10:30 – 45	–	–	–	– 3°	Čekovce, Dolné Mladonice
3. 11. 1999	16:45	–	–	–	– 3°	Čekovce, Dolné Mladonice
6. 11. 1999	22:30	–	–	–	– 3°	Čekovce, Dolné Mladonice
7. 11. 1999	02:30	–	–	–	– 3°	Čekovce, Dolné Mladonice
12. 11. 1999	10:10:01.3	48,34	19,08	10	<u>2,0 (vyh)</u> 3°	Čekovce, Dolné Mladonice
	12:39:13.9	48,34	19,17	–	<u>1,5 (vyh)</u> 3°	Čekovce, Dolné Mladonice

V budúcnosti by sa mali vybudovať aj lokálne siete seizmických staníc v už známych ohniskových zónach. Treba zdôrazniť, že ani modernizovaná národná sieť seizmických staníc nemôže nahradiť monitorovanie lokálnymi sieťami seizmických staníc v jednotlivých

ohniskových zónach. Údaje o mikrosezmickej aktivite z lokálnych sietí môžu v princípe prispieť k redukcii existujúcich neurčitostí vo výpočtoch seizmického ohrozenia a tým môžu prispieť aj k zníženiu stredných hodnôt charakteristík seizmického ohrozenia a v dôsledku

Tab. 7 Krátka forma makroseizmickej stupnice EMS-98.

Intenzita	Definícia	Skrátený opis typických účinkov
1	nepocítané	Nepocítané.
2	zriedkavo pocítané	Pocítané len jednotlivcami na niektorých miestach v domoch.
3	slabé	Zemetrasenie vnútri cítia niekoľkí ľudia (0 – 20 %). Ľudia cítia nanajvýš hojdanie alebo ľahké chvenie.
4	značne pozorované	Zemetrasenie vnútri cítia mnohí (10 – 60 %), vonku len výnimočne. Niekoľkí ľudia sa prebudia. Okná, dvere a riad štrngajú.
5	silné	Zemetrasenie vnútri cítia väčšina ľudí (50 – 100 %), vonku niekoľkí. Mnohí spiači sa prebudia. Niekoľkí sú vystrašení. Budovy vibrujú. Vísacie objekty sa značne hojdajú. Malé predmety sú posunuté. Dvere a okná sa otvárajú a zatvárajú.
6	mierne ničivé	Mnohí ľudia sú vystrašení a vybiehajú von. Niektoré predmety padnú. Mnohé budovy utrpia malé neštrukturálne škody ako napr. vlásoknicové trhliny alebo odpadnuté malé kúsky omietky.
7	ničivé	Väčšina ľudí je vystrašená a vybiehajú von. Nábytok je posunutý. Predmety padajú z polic vo veľkom množstve. Mnohé dobre postavené bežné budovy utrpia stredné škody: opadá omietka, padnú časti komínov; v stenách starších budov sú veľké trhliny a priečky sa zrútiť.
8	ťažko ničivé	Mnohí ľudia majú problémy udržať rovnováhu. Mnohé domy majú veľké trhliny v stenách. Niekoľko dobre postavených bežných budov má vážne poškodené steny. Slabé staršie budovy sa môžu zrútiť.
9	deštruktívne	Všeobecná panika. Mnoho slabých budov sa zrúti. Aj dobre postavené bežné budovy utrpia veľmi ťažké škody: ťažké poškodenie stien a čiastočne aj štrukturálne škody.
10	veľmi deštruktívne	Mnohé dobre postavené bežné budovy sa zrútiť.
11	devastujúce	Väčšina dobre postavených bežných budov sa zrúti. Aj niektoré budovy s dobrým antiseizmickým dizajnom sú zničené.
12	úplne devastujúce	Takmer všetky budovy sú zničené.

toho aj k redukcii nákladov na budovanie stavebných konštrukcií. Rovnako dôležité je aj včasné vybudovanie akcelerometrickej siete. V okamihu, keď nastane silné zemetrasenie, bude už, žiaľ, neskoro takúto sieť budovať.

Pre seizmológiu a monitorovanie seizmických javov platí, že včasné investovanie rádovo desiatok miliónov korún môže z dlhodobého hľadiska ušetriť rádovo stovky miliónov korún na nákladoch na antiseizmické opatrenia.

Literatúra

- Grünthal, G., Bosse, Ch., Camelbeeck, T., de Crook, T., Gariel, J.-C., Gregersen, S., Guterch, B., Halldorsson, P., Labák, P., Lindholm, C., Lenhardt, W., Mäntyniemi, P., Mayer-Rosa, D., Musson, R. M. W., Schenk, V., Schenková, Z., Slejko, D., Verbeiren, R., Wahlström, R., Zabukovec, B. and Ziros, T.: Seismic hazard assessment for Central, North and Northwest Europe: GSHAP Region 3. In: *Annali di Geofisica*, 42, 1999, pp. 999 – 1 011.
- Klukanová, A., Wagner, P., Iglárová, L., Ondrášik, M., Jánová, V., Liščák, P., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Frankovská, J., Rapant, S., Jelínek, R., Pauditš, P., Petro, L., Polaščinová, E., Kováčik, M., Scherer, S., Kristeková, M., Labák, P., Dananaj, I., Spišák, Z., Jadroň, D., Vybíral, V., Holzer, R., Malgot, M., Baliak, F., Jánoš, J., Gajdoš, V., Letko, V. a Míka, R. Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, stav k 31. 12. 1997. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 1998, 420 s.
- Klukanová, A., Iglárová, L., Wagner, P., Ondrášik, M., Jánová, V., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Smolárová, H., Antal, J., Ayele, T., Cipciar, A., Dananaj, I., Durmeková, T., Frankovská, J., Helma, J., Holzer, R., Jadroň, D., Jelínek, R., Kišová, M., Maas, P., Matejček, A., Míka, R., Labák, P., Letko, V., Liščák, P., Pauditš, P., Petro, L., Polaščinová, E., Rapant, S., Rozimant, K., Scherer, S., Slaninka, I., Socha, I., Vanko, J., Vybíral, V. a Záhorová, L.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, stav k 31. 12. 1999. Čiastková záverečná správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 2000.
- Klukanová, A.: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. Zborník referátov z I. konferencie Geológia a životné prostredie, Bratislava, 25. a 26. november 1998. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1998, s. 123 – 126.
- Kristeková, M., Kristek, J. and Zedník, J.: Seismological database system. In: *Proc. of the II. Slovak Geophysical Conference*, June 18, 1997. Bratislava, 1997.
- Labák, P. a Brouček, I.: Catalogue of macroseismically observed earthquakes on the territory of Slovakia. Version 1996. Manuskript. Bratislava – Geofyzikálny ústav Slov. Akad. Vied, 1996. 15 s.
- Pajdušák, P.: Historical seismic instruments at the stations Hurbanovo (HRB) and Skalnaté Pleso (SPC). In: *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 13, 1997, pp. 49 – 60.
- Sekereš, J.: JE – Jaslovské Bohunice. Seizmické meranie. Priebežná správa za obdobie 21. 6. 1999 – 31. 12. 1999. Trnava, Progseis 1999. 80 s.
- Schenk, V., Schenková, Z., Kottnauer, P., Guterch, B. and Labák, P.: Earthquake hazard for the Czech Republic, Poland and Slovakia – contribution to the ILC/IASPEI Global seismic hazard assessment program. In: *Natural Hazards*, 21, 2000, pp. 331 – 345.
- Zátopek, A.: Zemětřesná pozorování na Slovensku a bývalé Podkarpatské Rusi 1923 – 1938. Publikace Geofyzikálního ústavu v Praze, Spec. práce č. 2. Praha, 1940.

Monitorovanie chemického zloženia riečnych sedimentov

DUŠAN BODIŠ, STANISLAV RAPANT, IGOR SLANINKA a JOZEF KORDÍK

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina I, 817 04 Bratislava

Abstract. Monitoring of changes of the chemical composition of the stream sediments provides an important qualitative information about the overall system of the surface streams and their source regions with possible influence on water flora and fauna, groundwater and reservoirs water quality. The result of 4 year monitoring of 47 sites of Slovakia documented Al, K, Fe, Na, Mg, Ni, Cr, Mn and Ca as elements with stable concentration in time, on the contrary, Pb, Hg, Cd, Cu and As as instable elements. Content of Ca, Mg, Fe, Cu and As in surface water streams are in specific sediment/water equilibrium, and Ni, Cr, Na and K shows to be as non-correlating elements.

Úvod

Aktívny riečny sediment je primárne odvodený z materiálu znosovej oblasti, ktorý vzniká procesmi zvetrávania horninového materiálu a odnosu pôd. Plošne odráža environmentálno-geochemický charakter časti povodia nad odberovým miestom. Citlivo reaguje na zmeny spôsobené prírodnými alebo antropogénnymi aktivitami v povodí.

Poznatky o chemickom zložení riečnych sedimentov, regionálnej distribúcií prvkov/zložiek, ktoré obsahujú, a ich variabilite v čase majú z geochemického pohľadu okrem prospekčného významu najmä environmentálny význam. Veľký význam majú aj z vodohospodárskeho hľadiska (množstvo a kvalita sedimentu vo vodohospodárskych nádržiach, priehradách, jazerách, rybníkoch a pod.) a vo svetovom meradle najmä v deltách veľkých tokov, ktoré prinášajú množstvo často vysoko kontaminovaných sedimentov.

V súčasnosti poznáme model distribúcie prvkov v riečnych sedimentoch Slovenska z výsledkov regionálneho geochemického mapovania, ktoré vyústilo do robustnej databázy (24 432 vzoriek analyzovaných na 35 prvkov) a monografického spracovania výsledkov (Bodiš, Rapant et al., 1999). Prvé výsledky monitorovania riečnych sedimentov boli zhrnuté v prácach Klukanová (1998) a Klukanová a Liščák (1998). Ďalšie poznatky o časových zmenách koncentrácie prvkov, koeficientoch distribúcie v systéme sediment – voda a z toho vyplývajúce aplikácie je možné dosiahnuť monitorovaním chemického zloženia riečnych sedimentov.

Metodika

Stratégiou a zásadami monitoringu chemického zloženia riečnych sedimentov Slovenska je:

1. uplatnenie systému tzv. monitoringu impaktu, t. j. monitoring cielený na vybrané toxické zložky, po ktorom

by nasledovala optimalizácia s možným pokračovaním monitorovania TSS (total suspended solids), látok vo vznose vo vytypovaných oblastiach, zameraným najmä na tok látok do vodných nádrží;

2. porovnanie obsahu vybraných zložiek v riečnom sedimente a vode povrchového toku;

3. identifikácia časových zmien obsahu prvkov v riečnom sedimente;

4. charakterizovanie znosových oblastí vplyvom geofaktorov (zvetrávanie, erózia, odnos) a antropogénnych činiteľov (bodové, plošné, líniové a kombinované zdroje kontaminácie).

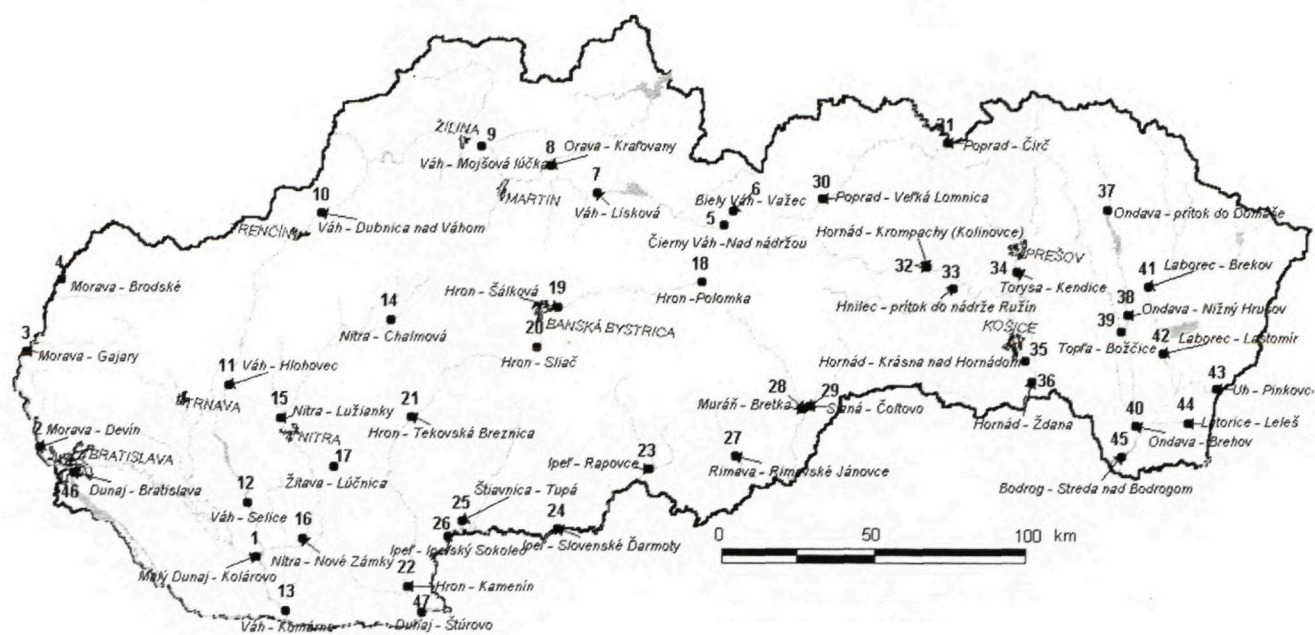
Dôležitou časťou dizajnu monitoringu je výber referenčných odberových miest, ktorý zohľadňuje nasledujúce kritériá:

- uplatnenie zásad ekologickej účelosti, t. j. situovanie odberových miest s predpokladaným antropogénnym zaťažením a referenčnými (fónovými, resp. celoslovenskými) hodnotami;
- regionálny charakter monitorovacej siete; odberové miesta charakterizujú približne každých 50 km významného toku v jednotlivých hlavných povodiach Slovenska;
- vybrané odberové miesta sú totožné s odberovými miestami na monitoring kvality povrchových tokov. Uvedená podmienka je veľmi dôležitá na komplexné vyhodnotenie povrchových tokov z kvalitatívneho i kvantitatívneho hľadiska aj na charakteristiku cezhraničných tokov;
- kritériom výberu je zníženie triedy kvality povrchového toku na základe hodnoty skupinového ukazovateľa D z STN 75 7221 *Klasifikácia kvality povrchových vôd z výsledkov monitorovacieho systému Akosť vody v tokoch na Slovensku* (SHMÚ).

Výsledkom bolo zriadenie monitorovacej siete so 47 referenčnými odberovými miestami vybranými podľa uvedeníh kritérií (obr. 1, tab. 1). Ide o tieto povodia (v zátvorke je uvedený počet referenčných miest v povodí):

Morava (3),	Slaná a Rimava (3),
Váh a Orava (9),	Poprad (2),
Nitra a Žitava (4),	Hornád a Torysa (5),
Hron (5),	Ondava a Topľa (4),
Ipeľ (4),	Bodrog, Laborec a Latorica (5),
Malý Dunaj (1),	Dunaj (2).

Poznámka: Dunaj sa monitoruje aj v rámci VD Gabčíkovo.



Obr. 1 Lokalizácia odberových bodov.

Tab. 1 Zoznam monitorovacích stanovišť.

Porad. č.	Názov monitor. stanovišťa	Riečny km
1	Malý Dunaj – Kolárovo	2,50
2	Morava – Devínska Nová Ves	1,50
3	Morava – Gajary	44,50
4	Morava – Brodské	79,00
5	Čierny Váh – nad nádržou Čierny Váh	11,40
6	Biely Váh – Važec	15,00
7	Váh – Lisková	324,90
8	Orava – Kraľovany	0,30
9	Váh – nad Žilinou	260,70
10	Váh – pod Dubnicou	177,80
11	Váh – Hlohovec	100,70
12	Váh – Selice	47,70
13	Váh – Komárno	3,00
14	Nitra – Chalmová	123,80
15	Nitra – Lužianky	65,60
16	Nitra – Nové Zámky	14,50
17	Žitava – Lúčnica	18,40
18	Hron – Polomka	243,40
19	Hron – Šalková	181,40
20	Hron – Sliač	161,10
21	Hron – Tekovská Breznica	88,90
22	Hron – Kamenín	10,90
23	Ipeľ – Rapovce	137,90
24	Ipeľ – Slovenské Ďarmoty	89,50

Porad. č.	Názov monitor. stanovišťa	Riečny km
25	Štiavnica – ústie	1,10
26	Ipeľ – Ipeľský Sokolec	35,20
27	Rimava – Rimavské Janovce	26,50
28	Muráň – Bretka	0,60
29	Slaná – Čoltovo	28,30
30	Poprad – Veľká Lomnica	107,60
31	Poprad – Čirč	39,90
32	Hornád – Kolinovce	100,70
33	Hniliec – prítok do nádrže Ružín	4,10
34	Torysa – Kendice	49,90
35	Hornád – Krásna nad Hornádom	27,00
36	Hornád – Ždaňa	17,20
37	Ondava – prítok do nádrže Domaša	91,40
38	Ondava – Nižný Hrušov	42,00
39	Topľa – Božčice	3,20
40	Ondava – Brehov	4,20
41	Laborec – Brekov	59,90
42	Laborec – Lastomír	31,00
43	Uh – Pinkovce	18,50
44	Latorica – Leles	21,30
45	Bodrog – Streda nad Bodrogom	6,00
46	Dunaj – Bratislava (Petržalka)	1 869,00
47	Dunaj – Štúrovo	1 718,80

Monitorovacia sieť sledovaných lokalít riečnych sedimentov sa bude optimalizovať v súčinnosti so zmenami monitorovacieho systému povrchových vôd, ktorý zabezpečuje SHMÚ. Zmeny monitoringu povrchových vôd spočívajú v zrušení monitorovania niektorých lokalít (V29 Váh – nad Žilinou, H2 Hron – Polomka), prípadne začlenením nových lokalít sledovaných v rámci kontroly cezhraničných vôd (H74 Ipeľ – Kubáňovo).

Vzorky sa odoberajú raz do roka v klimaticky stabilnom období za rovnakých odberových podmienok. Odber

vzorok sa realizuje metódou tzv. asociačnej vzorky z ľavého a pravého brehu povrchového toku do obalov z PVC za vhodných hydrodynamických podmienok ukládania jemnozrnných sedimentov. Hmotnosť odoberanej asociačnej vzorky je cca 3 kg. Všetky zvyšky odoberaných vzoriek po analýze sa archivujú pre prípad ďalšieho použitia a kontroly výsledkov.

Odoberané asociačné vzorky sa sušia pri izbovej teplote. Ďalšie sledovanie sa robí len s frakciou menšou ako 0,125 mm, ktorá sa získava sitovaním.

Vzorky sa prevedú do roztoku kompletným rozkladom kyselinou fluorovodíkovou a kyselinou chloristou. Na celkový (totálny) obsah sa analyzuje nasledujúca asociácia prvkov:

- hlavné prvky: Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn;
- stopové prvky: Cr, Cu, Al, Zn, Hg, Co, As, Cd, Ni, Se, Pb, Sb.

Výsledky chemických analýz sú uložené v databázovom systéme ACCESS, v. 7.0, s nasledujúcou štruktúrou databázy:

- poradové číslo,
- x (súradnica x súradnicového systému JTSK),
- y (súradnica y súradnicového systému JTSK),
- názov monitorovacieho stanovišťa,
- bližší opis (podrobný opis odberového bodu),
- označenie odberového bodu monitorovacej siete povrchových vôd SHMÚ prislúchajúceho k odberovému bodu monitorovacej siete riečnych sedimentov,
- riečny kilometer odberového bodu,
- strata sušením do 110 °C,
- strata žiháním od 110 °C do 380 °C,
- strata žiháním od 380 °C do 900 °C,
- % Na, % K, % Mg, % Ca, % Fe, % Mn, % Al (obsah príslušného prvku v hmotnostných percentách),
- Cr, Cu, Zn, Hg, Co, As, Cd, Ni, Se, Pb, Sb (obsah príslušného prvku v mg · kg⁻¹),
- stup_zn_A (vypočítaný stupeň znečistenia podľa referenčnej hodnoty A),
- prekr_A (prvky prekračujúce referenčnú hodnotu A),
- stup_zn_B (vypočítaný stupeň znečistenia podľa indikačnej hodnoty B),
- prekr_B (prvky prekračujúce indikačnú hodnotu B).

Odberové body sa digitalizovali (súradnice x, y) a situovali do digitalizovaného podkladu mapy riečnej siete Slovenska v prostredí programu MapInfo.

Výsledky analytických prác za každý rok sledovania sa spracúvajú pomocou základných štatistických metód (aritmetický priemer, štandardná odchýlka, minimum, maximum). Výsledky za doterajšie obdobie monitoringu sú spracované pomocou stĺpcových diagramov lokalizovaných v miestach odberov a zároveň sú porovnané s referenčnými hodnotami platnými pre sedimenty Slovenska (v prípade prekryvania sú diagramy posunuté a s miestom odberu spojené čiarou). Hodnota relatívneho obsahu bola vypočítaná podľa nasledujúceho vzťahu:

$$I_r = \frac{C_n}{C_x} - 1,$$

kde: C_n predstavuje nameranú hodnotu ukazovateľa, C_x je priemerný obsah ukazovateľa (medián) v riečnych sedimentoch.

Výsledky sú porovnané s kvalitou povrchových vôd, výstup na príklade obsahu olova je dokumentovaný na obr. 2. Na osi y je uvedená hodnota I_r pre riečne sedimenty, získaná pomocou uvedeného vzťahu. Podobne bol spracovaný aj obsah prvkov v povrchových vodách, kde ako vzťažná hodnota sa použil aritmetický priemer z meraní kvality povrchových tokov v monitorovaných lokalitách za posledné štyri roky.

Hodnoty C_x pre riečne sedimenty:

Na (0,87); K (1,51); Ca (1,69); Mg (0,82); Mn (0,077) – v %;
Fe (2,69); Cu (20,0); Pb (14,0); Zn (79,0); Cr (70,1); Ni (23,0); Cd (0,1); As (6,0); Hg (0,08) – v mg · l⁻¹.

Hodnoty C_x pre povrchové vody:

Na (10,38); K (2,95); Ca (41,99); Mg (11,83); Mn (0,12) – v %;
Fe (0,49); Cu (4,22); Pb (4,49); Zn (78,32); Cr (1,10); Ni (4,77); Cd (0,48); As (1,96); Hg (0,13) – v mg · l⁻¹.

Na osi x sú poradové čísla jednotlivých lokalít. Relatívny obsah bol zvolený s cieľom lepšej prehľadnosti, pretože obsah prvkov v sedimentoch a nadložnom vodnom stĺpci povrchového toku je rádovo odlišný.

Keďže je k dispozícii len málo pozorovaní (štyri merania z každej lokality), nebolo možné použiť štandardné metódy hodnotenia časových zmien a trendov. Zvolili sme metódu založenú na percentuálnom vyjadrení rozdielu maxima a minima vzťahujúceho sa na hodnotu maxima (ktoré predstavuje 100 %). Vypočítaná hodnota bola označená ako index stability – I_s .

$$I_s = \frac{(\max - \min) \cdot 100}{\max},$$

kde: max je maximálna hodnota z nameraných hodnôt, min je minimálna hodnota z nameraných hodnôt.

Hodnota I_s bola vypočítaná pre každý sledovaný parameter a lokalitu. Následne sa vypočítal aritmetický priemer hodnôt I_s pre každý ukazovateľ zo súboru hodnôt I_s v jednotlivých lokalitách.

Hodnota I_s sa môže pohybovať v rozmedzí od 0 do 100 %, pričom nízke hodnoty svedčia o malej zmene a naopak, vysoké hodnoty o veľkej zmene obsahu toho-ktorého sledovaného ukazovateľa v období monitorovania.

Vyhodnotenie výsledkov za obdobie 1996 – 1999

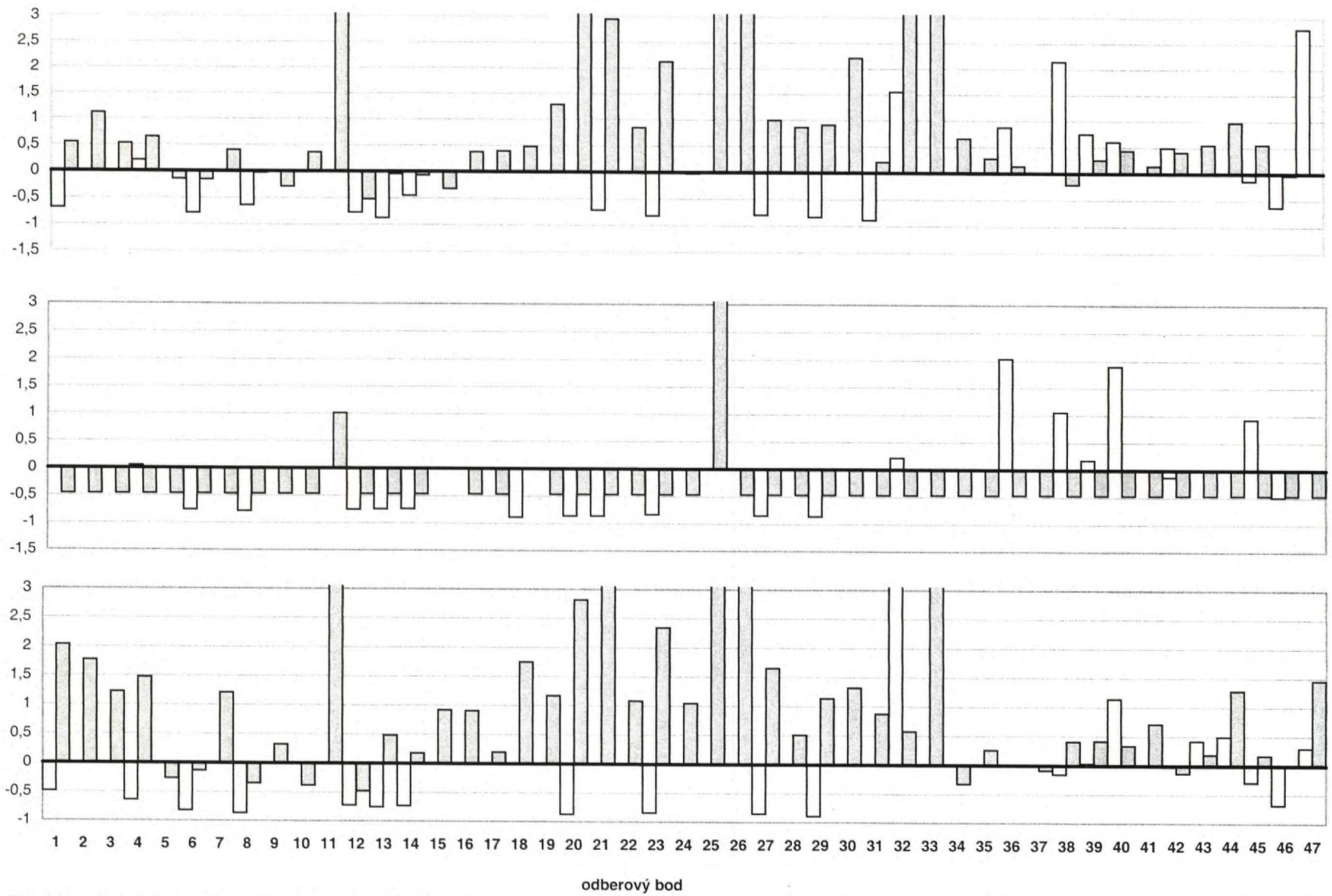
Štvorročný časový rad meraní je zo štatistického, ako aj z geochemického hľadiska na stanovenie vývojových časových trendov nedostatočný, preto vývojové trendy zmien obsahu sledovaných prvkov v riečnych sedimentoch možno identifikovať len v obmedzenej miere.

Časová stabilita obsahu prvkov bola stanovená pomocou percentuálneho vyjadrenia rozdielu maxima a minima vzťahujúceho sa na hodnotu maxima. Priemerné hodnoty uvedeného parametra sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2 Priemerné hodnoty indexu stability (%).

Prvok	Index stability	Prvok	Index stability
Al	21,47	Zn	46,03
K	22,75	Co	53,33
Fe	27,27	Se	59,39
Na	27,65	As	60,42
Mg	29,46	Cu	71,90
Ni	37,10	Cd	73,44
Cr	40,28	Hg	74,79
Mn	40,74	Pb	77,33
Ca	41,55	Sb	78,51

Časovú a priestorovú charakterizáciu distribúcie obsahu hlavných a stopových prvkov možno v stručnosti zhrnúť takto:



(bezfarebné – riečne sedimenty, sivá – povrchový tok)

(použitá hodnota na výpočet: sediment – 14 mg/kg, voda – 4,49 µg/l)

Na – z hľadiska celoslovenského priemeru sa ako mierne deficitné javia toky Východoslovenskej nížiny a sedimenty Váhu (od Dubnice), Malého Dunaja a Moravy. Zvýšený obsah je v sedimentoch horného toku Váhu a Hrona, v riekach Poprad, Muráň a Rimava. Z hľadiska časovej stability sa obsah Na javí ako relatívne stabilný, čo dokladá aj index stability (27,65 %). Porovnanie s povrchovými vodami komplikuje úzky rozsah sledovaných parametrov v povrchových vodách (zo 47 lokalít sa Na stanovuje len asi v polovici vzoriek).

K – výraznejšie zvýšený obsah majú rieky Uh, Latorica, Bodrog a Hnilec. Z hľadiska časovej stability je jedným z najstabilnejších sledovaných prvkov (index stability 22,75 %). S povrchovými vodami neprejavuje výraznejšiu koreláciu.

Ca – najvýraznejší obsah je v sedimentoch Váhu a Nitry, prípadne Muráňa a Hornádu. Deficitné sú najmä sedimenty riek Východoslovenskej nížiny, Ipľa a Moravy. Index stability zaraďuje Ca k časovo premenlivým prvkom. Je to však do značnej miery ovplyvnené niektorými extrémne premenlivými lokalitami, zatiaľ čo v iných lokalitách (Váh, Východoslovenská nížina a pod.) je jeho obsah pomerne stabilný. V porovnaní s povrchovými vodami sa prejavuje určitá korelácia.

Mg – podobne ako v prípade vápnika najvyšší obsah je v sedimentoch Váhu, Hrona a Muráňa. Mierny deficit je v sedimentoch Ipľa, Ondavy, Tople a Moravy. Na rozdiel od vápnika je obsah horčíka v jednotlivých rokoch vyrovnannejší (index stability 29,46 %). Korelácia s povrchovými vodami je nevýrazná.

Mn – sedimenty Moravy, Slanej, Ipľa, Hnilca, Latorice a Váhu (len lokalita Hlohovec) v porovnaní s celoslovenským priemerom obsahujú zvýšené množstvá tohto prvku. Menej ho obsahujú sedimenty Ondavy a horných tokov Nitry a Hornádu. Stabilita obsahu Mn v sedimentoch má strednú hodnotu (40,74 %). Je to spôsobené najmä výkyvmi v obsahu Mn v sedimentoch v niektorých lokalitách. Korelácia s povrchovými vodami je nízka.

Al – z časového hľadiska patrí medzi najstabilnejšie sledované prvky (index stability 21,47 %). Rovnako aj odchýlky od priemerného zloženia sedimentov sledovaných tokov sú nízke. Menšie odchýlky od priemeru súvisia s typom horninového prostredia príslušného povodia. V povrchových vodách sa hliník nestanovoval.

Fe – je to prvok, ktorého obsah v sledovaných sedimentoch je pomerne stabilný (I_s – 27,27 %). Zvýšený obsah sa prejavuje najmä v riekach Uh, Latorica, Bodrog, Ipeľ a Hnilec.

As – patrí medzi prvky, ktorých distribúciu v riečnych sedimentoch do značnej miery ovplyvňujú antropogénne činitele. Výsledkom je aj veľmi premenlivý obsah v priestore a čase. Index stability dosahuje hodnotu 60,42 %. Z porovnania s obsahom As v povrchových vodách vyplýva, že v niektorých lokalitách je zvýšený obsah As v oboch vzorkovacích médiách, v niektorých sa pomer hodnôt obsahu mení. Nasvedčuje to na existenciu viacerých faktorov ovplyvňujúcich distribúciu a variabilitu As. Zvýšený obsah je napr. v sedimentoch riek Hnilec (vplyv pravdepodobne banskej činnosti), Ondava (odkalisisko Chemko Strážske) a Nitra (banská činnosť a priemysel, úpravná, odkaliská).

Cd – najvyšší obsah je v sedimentoch toku Štiavnice a Ipľa po sútoku so Štiavnicou, v sedimentoch Hrona a Hornádu. Kontaminácia je spôsobená prakticky iba antropogénnou činnosťou. Index stability (73,44 %) zaraďuje kadmium medzi prvky, ktorých obsah v sedimentoch riek sa značne mení. Veľkosť a rýchlosť zmien závisí od zdrojov znečistenia a konkrétnych hydrodynamických a geochemických podmienok v prostredí povrchových tokov.

Ni – najmä rieky východného Slovenska (Uh, Latorica, Bodrog, Laborec), Poprad a Morava obsahujú nadpriemerné množstvá Ni v riečnom sedimente. V týchto lokalitách má jeho obsah mierne stúpajúcu tendenciu. Z časového hľadiska jeho obsah v sedimentoch vo všeobecnosti nepodlieha výraznejším zmenám (index stability 37,10 %).

Cu – obsah je najvyšší v lokalite v odberových miestach 33 a 32, kde je zreteľný vplyv banskej činnosti, ďalej sú to lokality stredného toku Hrona a lokalita č. 11, Váh – Hlohovec. V týchto lokalitách je podobne zvýšený aj obsah medi v povrchových vodách. Korelácia medzi sedimentmi a povrchovými vodami je pomerne zreteľná.

Cr – jeho distribúcia je podobná distribúcii Ni. Podobný je aj zistený index stability, ktorého hodnota bola vypočítaná na 40,28 %. Obsah chrómu v čase je približne vyrovnaný. Korelácia s obsahom chrómu v povrchových vodách je nízka. Môže to byť spôsobené geogénnym pôvodom chrómu, ktorý je v sedimente prítomný prevažne vo forme nerozpustných ťažkých minerálov spolu s niklom.

Pb – najznečistenejšie sú sedimenty riečky Štiavnica, kde v ústí priemerná hodnota dosahuje 454 mg/kg. Značne ovplyvnené sú aj sedimenty lokalít Váh – Hlohovec (č. 11), Ipeľ (č. 26) a Hnilec (č. 33). Index stability predstavuje hodnotu 77,33 %, čo je druhá najvyššia hodnota v rámci vyhodnocovaných parametrov. Korelácia s povrchovými vodami je nízka.

Hg – jej obsah v priestore a čase je značne premenlivý. Najvyššie hodnoty dosahuje v sedimentoch Hnilca, Hornádu, Nitry, Slanej a Hrona od Banskej Bystrice. Index stability je vysoký (74,79 %). Môže to byť zapríčinené jednak zdrojom tohto prvku, jednak jeho migračnými vlastnosťami. Obsah ortuti v sedimente koreluje s obsahom ortuti v povrchových vodách. Indikuje to určitú aktivitu procesov pôsobiacich medzi sedimentom a nadložným vodným stĺpcom.

Zn – predstavuje z časového hľadiska pomerne stabilný prvok. Index stability dosahuje hodnotu 46,03 %, tá je však negatívne ovplyvnená niektorými lokalitami s vysokým indexom (č. 21, 32, 47, 11, 1). V týchto lokalitách dosahuje obsah zinku aj svoje maximálne hodnoty. Tento jav môže byť ovplyvnený rozdielnymi hydrodynamickými a geochemickými podmienkami v čase odberu, ako aj rôznou intenzitou pôsobenia zdrojov znečistenia. Korelácia s obsahom zinku vo vode je nevýrazná.

Sb – jeho obsah v sedimentoch sledovaných lokalít je v prevažnej miere pod celoslovenským priemerom. Výnimkou sú lokality situované na strednom toku Hrona a na riekach Hornád (č. 33), Hnilec (č. 32) a Slaná (č. 29). Zdrojom je v prevažnej miere zrudnenie, kde sa antimón

vyskytuje ako rozptýlená, prípadne hlavná zložka rudných minerálov. V niektorých lokalitách jeho prestup do prírodného prostredia umocňuje antropogénna činnosť vo forme spracovateľského priemyslu. V povrchových vodách sa tento parameter nestanovoval.

Záver

Realizovali sa štyri monitorovacie cykly v rokoch 1996 až 1999 na 47 odberových miestach s intervalom odberu jedenkrát ročne. Z časového hľadiska sa z doterajšieho pohľadu ako najstabilnejšie prejavujú hodnoty obsahu Al, K, Fe, Na, Mg, Ni, Cr, Mn a Ca, teda prvkov, ktorých distribúciu v prevažnej miere ovplyvňujú geogénne faktory. Pôsobenie týchto faktorov v čase je pomerne stabilné a v najväčšej miere podmienené geologickou stavbou znovej oblasti povodia, čo sa odráža aj v obsahu prvkov. Na druhej strane, obsah Pb, Hg, Cd, Cu a As je v čase premenlivejší. Dôvodom je geochemická povaha týchto prvkov, ako aj to, že na ich distribúciu vo výraznejšej miere pôsobia antropogénne faktory, ktorých vplyv na prírodné prostredie je v čase premenlivý. Detailnejšie vývojové trendy v obsahu prvkov v sedimentoch bude možné urobiť po získaní dlhšieho radu meraní.

Záver o vzťahoch medzi formami prvkov v riečnych sedimentoch a nadložnom vodnom stĺpci povrchových tokov sú limitované nekompletnosťou rozsahu sledovaných parametrov v povrchových tokoch vo všetkých lokalitách monitoringu riečnych sedimentov. Napriek tomu medzi prvky s určitou pozitívnou koreláciou v oboch médiách možno zaradiť Ca, Mg, Fe, Cu a As. Ako nekorelujúce sa prejavujú Ni, Cr, Na a K.

Z doterajšieho celého radu pozorovaní možno vyčleniť lokality, ktoré prejavujú atribúty kontaminácie prevažne stopovými prvkami. Sú to č. 14 – Nitra – Chalmová, č. 20 – Hron – Sliač, č. 25 – Štiavnica – ústie do Ipľa, č. 32 – Hornád – Kolinovce a č. 33 – Hnilec – prítok do nádrže Ružín. Za referenčné možno považovať nasledujúce odberové body: č. 5 – Čierny Váh – nad nádržou Čierny Váh, č. 12 – Váh – Selice a č. 17 – Žitava – Lúčnica.

Literatúra

- Bodiš, D., Rapant, S., Khun, M., Klukanová, A., Lexa, J., Mackových, D., Marsina, K., Pramuka, S. a Vozár, J.: Geochemický atlas Slovenskej republiky, časť VI: Riečne sedimenty. Eds.: Bodiš, D. a Rapant, S. Bratislava, Ministerstvo životného prostredia SR, GS SR, 1999, 146 s.
- Klukanová, A. a Liščák, P.: Monitoring of geological hazard of the Slovak Republic. 8th International Congress IAEG, Vancouver, Canada, 1988, pp. 1 113 – 1 120.
- Klukanová, A.: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. In: Zborník referátov z I. konferencie Geológia a životné prostredie, Bratislava, 25. a 26. november 1998. Bratislava, GS SR 1998, s. 123 – 126.

Monitoring of Chemical Composition of the Stream Sediments

Summary

The present model of the element distribution in stream sediments of Slovakia is known from the regional geochemical mapping, which resulted into a huge database (24 432 samples analyzed on 35 elements) and monographic evaluation of the results (Bodiš and Rapant, 1999). Another information about time changes of element concentration, distribution coefficients in sediment/water system and consequential applications can be obtained by monitoring of the chemical composition of stream sediments.

Strategy and doctrines of the monitoring of the stream sediment chemical composition of Slovakia are:

1. application of so-called impact monitoring, i.e. monitoring aimed on selected toxic components, followed by optimization with possible continuation in monitoring of TSS (total suspended solids), matters in sediments of selected regions, focused mainly on monitoring of matters inflowing into water reservoirs,
2. Comparison of content of selected components in stream sediments and in stream waters,
3. identification of time changes of element content in the stream sediments,
4. Character of source areas under the influence of geofactors (weathering, erosion, and transportation) and anthropogenic agents (point, planar, linear and combined sources of contamination).

Four monitoring cycles were realized between 1996 and 1999 with interval one sample per year. Contents of Al, K, Fe, Na, Mg, Ni, Cr, Mn and Ca, seems to have the highest stability in time. Distribution of these elements is influenced mostly by geogenic factors. Effect of these factors in time is relatively stable and in the greatest deal depending on the geological composition of the source zone of the drainage area. This is reflected also in the element content, whereas the content of Pb, Hg, Cd, Cu and As is more variable in the time. The reason of this is their geochemical dispositions, as well as the fact, that anthropogenic factors act on their distribution in more expressive measure, and their influence on the environment in time is variable. More detailed development trends of element contents in the sediments will be possible after longer measuring series will have been available.

Conclusions on relationships between the element forms in the stream sediments and overlying water column of surface stream are limited by incomplete range of monitored parameters in the surface streams on all monitored localities. Nevertheless Ca, Mg, Fe, Cu and As could be classified among the elements with certain positive correlation in both media. Ni, Cr, Na and K show none correlation.

From the up to now realized series of observations, we can select localities, which show attributes of contamination mostly by trace elements. These sites are No. 14 – Nitra – Chalmová, No. 20 – Hron – Sliač, No. 25 – Štiavnica – inflow into Ipeľ river, No. 32 – Hornád – Kolinovce and No. 33 – Hnilec – inflow into Ružín water reservoir. Following sampling sites could be considered as referential: No. 5 – Čierny Váh, No. 12 – Váh – Selice and No. 17 – Žitava – Lúčnica.

Monitorovanie radónu v geologickom prostredí

HELENA SMOLÁROVÁ

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, RC Spišská Nová Ves, Markušovská cesta 1, 052 40 Spišská Nová Ves

Abstract. Radon belongs to the most significant sources of natural radioactive radiation. Rising amount of knowledge about the element, objectivity of concentration determination and radon risk evaluation led to enlistment of the radon into the monitoring the system of the geofactors. Up to now monitoring results confirm an existence of radon variations not only in the rocks, but also in the groundwater. Volume activity of radon in soil is markedly influenced by meteorological conditions, mostly with preserved radon risk degree. Radon concentration changes in waters have variational character with maximal radon volume activity values at the end of winter and minimum in summer.

Úvod

V rámci širokého spektra negatívnych vplyvov na živé organizmy má rádioaktivita významné miesto. V roku 1988 vedecký výbor OSN uverejnil informáciu, že napriek neustále trvajúcej rádiácii z umelých zdrojov prírodné rádioaktívne žiarenie sa na celkovom ožiarení svetovej populácie podieľa viac než dvoma tretinami (obr. 1). Štúdiá uvádzajú aj to, že najzávažnejším zdrojom prírodného žiarenia je práve ^{222}Rn a jeho dcérske produkty rádioaktívnej premeny. Dostávajú sa do tela ingesciou a inhaláciou, kde ožarujú vnútorné orgány človeka s možným zhubným dôsledkom.

Problematika okolo radónu bola v minulosti u nás, ale aj inde vo svete, dosť tabuizovaná. Urán a jeho produkty rozpadu sa považovali za strategické suroviny pre zbrojný priemysel, a tak všetky výsledky prieskumných prác a vedeckých výskumov z tejto oblasti sa prísne utajovali. Zdravotné dôsledky na populáciu sa podceňovali. Predpokladalo sa, že radón ohrozuje iba baníkov v uránových baniach.

V posledných rokoch sa u nás výrazne zmenil postoj k tejto problematike a zvýšil sa záujem štátnych orgánov hygieny, zdravotníctva a vlády o tento negatívny fenomén životného prostredia. Najskôr bola vydaná vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky (MZ SR) č. 406/1992 Z. z. o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z radónu a ďalších prírodných rádionuklidov, ktorá akceptuje odporúčania Medzinárodnej komisie pre rádiologickú ochranu (ICRP). Treba povedať, že sa o to zaslúžila najmä medzirezortná, tzv. radónová komisia, ktorá pôsobila v rokoch 1991 – 1994 pri Ministerstve životného prostredia Slovenskej republiky. Okrem iných sa v nej angažoval Ing. Július Maljkovič, vtedajší riaditeľ sekcie geológie. S jeho podporou sa riešili prvé geologické projekty s radónovou problematikou na Slovensku.

Zákonom č. 470/2000 Z. z. sa nedávno aktualizovalo znenie zákona č. 272/1994 Z. z. o ochrane zdravia ľudí v zmysle ochrany obyvateľstva pred prírodným ionizujúcim žiarením. V nadväznosti na tento zákon bola vydaná ďalšia vyhláška MZ SR č. 12/2001 Z. z. o požiadavkách na zabezpečenie radiačnej ochrany. Definuje odvodené zásahové úrovne na vykonanie opatrení proti prenikaniu radónu z podlažia ako objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu (vyhláška ministerstva zdravotníctva SR č. 12/2001 Z. z. o požiadavkách na zabezpečenie radiačnej ochrany):

- 10 kBq.m⁻³ v dobre priepustných základových pôdach,
- 20 kBq.m⁻³ v stredne priepustných základových pôdach,
- 30 kBq.m⁻³ v slabo priepustných základových pôdach.

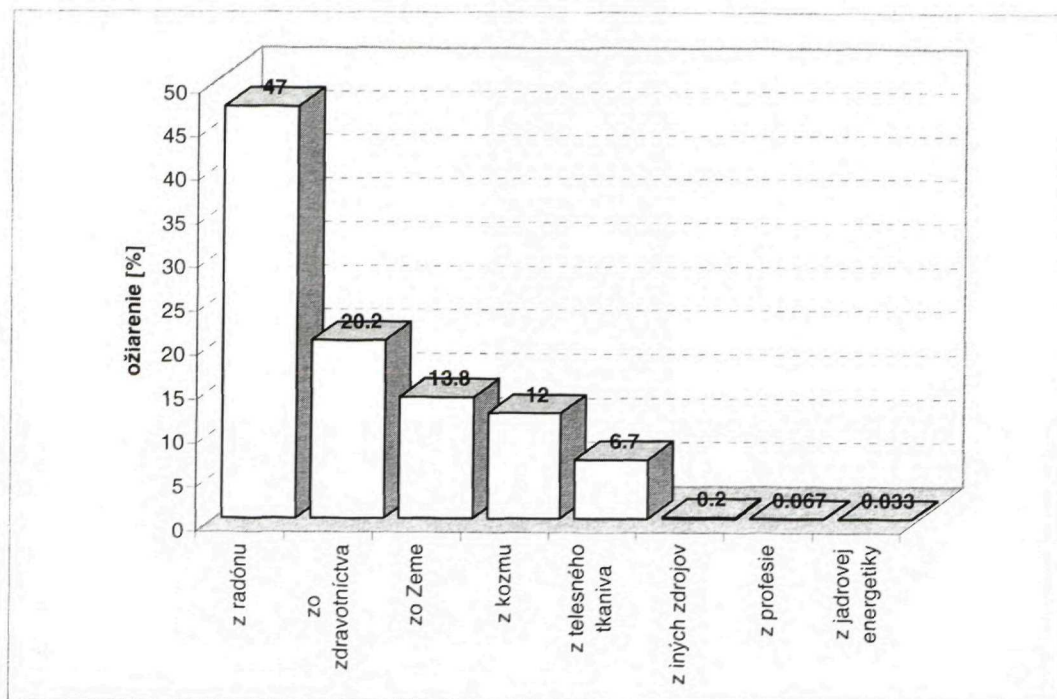
Na plnenie uvedených legislatívnych požiadaviek je teda potrebné meranie objemovej aktivity radónu (OAR) v pôdnom vzduchu a kvalifikované hodnotenie plynopriepustnosti.

Prvým komplexnejším zhodnotením územia Slovenska z hľadiska výskytu radónu v horninách boli *Ovodené mapy radónového rizika Slovenska v mierke 1 : 200 000*, kde sa zistila prognóza cca 40 % rozlohy územia SR s výskytom stredného radónového rizika a 3 – 4 % s prognózou vysokého radónového rizika (Čížek, Smolárová a Gluch, 1995).

Predpoklad zvýšeného výskytu radónu vo viacerých oblastiach Slovenska potvrdili aj ďalšie práce Čížka, Smolárovej, Lanca, Hricka, Bezáka, Lučivjanského, Daniela a tiež merania radónu v bytoch, ktoré realizuje najmä Ústav preventívnej a klinickej medicíny v Bratislave. Z ich výsledkov vyplynula oprávnená potreba dôkladnejšieho preskúmania a poznania tohto negatívneho fenoménu životného prostredia. Preto monitorovanie radónu v geologickom prostredí bolo v 2. polroku 1998 zaradené ako podsystem 13 do úlohy *Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR*, ktorý je súčasťou *Monitorovania životného prostredia Slovenskej republiky* (Klukanová et al., 1998, 2000).

Fyzikálne základy

Rádioaktivita bola objavená v roku 1896 a patrí medzi „najmladšie“ fyzikálne javy. Je to vlastnosť radu prvkov s tzv. nestabilným atómovým jadrom, ktorá sa prejavuje ich samovoľnou premenou na prvky so stabilným jadrom



Obr. 1 Skladba priemerného ročného efektívneho dávkového ekvivalentu ožiarenia (3 mSv = 100 %). Spracované podľa správy vedeckého výboru OSN pre účinky atómového žiarenia. New York, 1988, in Jiránek a Pospíšil, 1993.

za súčasnej emisie rádioaktívneho žiarenia. Rádionuklidy niektorých prvkov – draslík, urán, tórium a produkty ich rozpadu – sú trvalo prítomné vo všetkých zložkách životného prostredia: v horninách, vodách a v ovzduší. Izotop draslíka ^{40}K sa rozpadá na stabilný prvok. Produkty premeny materských izotopov uránu a tória nie sú stabilné, sú tiež rádioaktívne, ďalej sa rozpadajú na dcérske produkty a vytvárajú dlhé rádioaktívne rozpadové rady, ktoré uzatvárajú stabilné izotopy olova. V prírode sú tri rozpadové rady nazvané podľa prvého člena: tóriový rad (^{232}Th), uránový rad (^{238}U) a aktinouránový rad (^{235}U). K najvýznamnejším a najsledovanejším prírodným rádionuklidom patria prvky uránového radu – rádium ^{226}Ra (zdroj žiarenia alfa a gama s polčasom rozpadu 1 620 rokov) a radón ^{222}Rn (zdroj žiarenia alfa s polčasom rozpadu 3,825 dňa).

Radón je prírodný rádioaktívny plyn, ktorý je zmyslami človeka nepostihnuteľný. Má väčšiu hustotu než vzduch, je rozpustný v kvapalinách, je bez farby, chuti a zápachu a patrí medzi tzv. vzácne plyny. Radón vzniká samovolným rozpadom rádia. Vo voľnom prostredí sa radón rýchlo riedi atmosférickým vzduchom a jeho koncentrácia je minimálna, no v uzavretých priestoroch sa môže hromadiť do vysokej, zdraviu škodlivej koncentrácie.

Radón pomerne ľahko preniká geologickým prostredím, šíri sa difúziou a konvekčným prúdením. Difúzia je ovplyvnená fyzikálnymi vlastnosťami prostredia, a to najmä pórovitosťou a vlhkosťou. Konvekčné prúdenie emanácií spôsobujú zmeny fyzikálnych podmienok prostredia (teplotné a tlakové gradienty). Najvýznamnejší prejav konvekcie je na tektonicky porušených zónach a poruchách a v prostredí s vysokým koeficientom difúzie (zvetraniny, pórovité horniny). Transport radónu i ostatných plynov konvekciou je rádovo vyšší než difúziou,

a preto anomálna koncentrácia plynov môže indikovať tektoniku a zóny mylonitizácie a drvenia hornín, ktoré sú dobrými komunikačnými cestami pre plyny.

Vzhľadom na veľmi dlhý polčas rozpadu materských prvkov – urán $4,5 \cdot 10^9$ rokov, rádium 1 620 rokov – je zaistený dlhodobý a neustály prísun radónu z geologického prostredia.

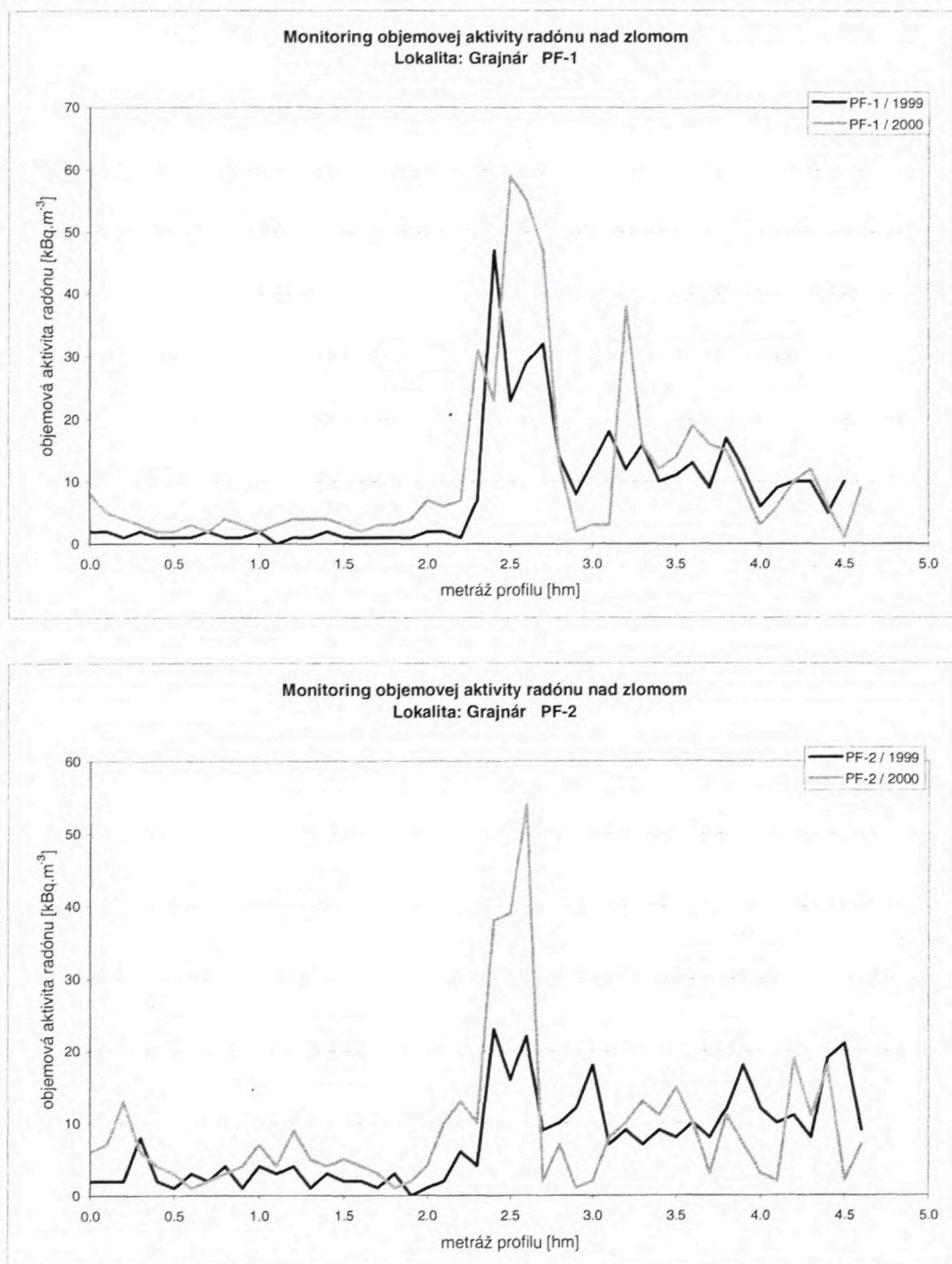
Metodika monitorovacích prác

Dominantným zdrojom radónu sú najmä niektoré horniny, ale aj podzemné vody prechádzajúce horninami so zvýšeným obsahom rádia. Vo všeobecnosti platí, že obsah radónu v pôdnom vzduchu závisí najmä od koncentrácie rádia v hornine, priepustnosti a tektonického porušenia a dopĺňujúcich klimatických a meteorologických faktorov (vlhkosť, teplota, tlak,...).

S prihliadnutím na zistené výsledky o radónovom riziku na území Slovenska, na uvedené faktory ovplyvňujúce obsah ^{222}Rn , a najmä na limitujúce finančné prostriedky sa monitorovanie v prvej etape zameralo na pôdny radón vo vybraných mestách v blízkosti obytných zón s prognózou zvýšeného radónového rizika, vybraných oblastí s predpokladom tektoniky a na radón vo vodách vybraných vodných zdrojov.

Prí výbere lokalít na monitorovanie pôdneho radónu bola snaha zachytiť prípadné zmeny objemovej aktivity radónu v rôznych geologických jednotkách s najväčším výskytom radónu a v oblastiach zvýšeného radónového rizika obytných zón väčších miest Slovenska, a to: Bratislava, Košice, Banská Bystrica, Prešov, Žilina, Pezinok, Spišská Nová Ves, Hnilec a Poproč.

Monitorovacie miesto – tzv. referenčná plocha (RP) – predstavuje plochu, resp. profil či nepravidelnú sieť bodov



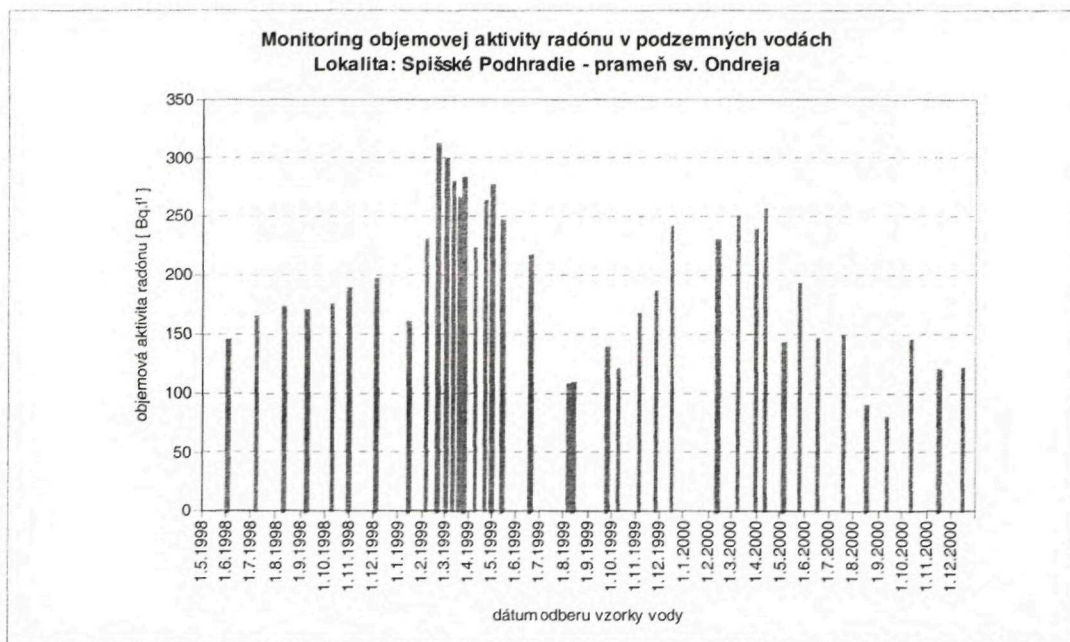
Obr. 2 Monitoring objemovej aktivity radónu nad zlomom, lokalita Grajnár.

na odber pôdneho vzduchu a zmeranie OAR. Základný počet bodov v rámci RP je 16, t. j. minimálny štatistický súbor na zhodnotenie radónového rizika RP. Pozícia jednotlivých bodov v rámci RP pri opakovaných monitorovacích prácach je porovnateľná. RP sa monitorujú raz ročne, jedna RP, Spišská Nová Ves – Novoveská Huta, sa monitoruje raz mesačne v období marec až november, t. j. osemkrát za rok, s cieľom lepšie posúdiť klimatické vplyvy.

Pôdny vzduch na stanovenie koncentrácie radónu sa odoberá cez ručne zatĺkané sondy, z ktorých po zahĺbení a utesnení sa najskôr odsaje atmosférický vzduch, následne sa realizuje samotný odber vzorky pôdneho vzdu-

chu do dekontaminovanej a evakuovanej scintilačnej Lucasovej komory (LK). LK je kalibrováný scintilačný detektor, ktorý sa po napuštění pôdnym vzduchom transportuje na meranie OAR.

Plynopriepustnosť zemín sa hodnotí v jednej vzorke každej RP na základe skrátenej granulometrickej analýzy v zmysle STN 73 1001. Priepustnosť zemín pre plyny je odvodená zo zrnitostného zloženia vzorky, vyjadreného percentuálnym podielom jemných častíc f (priemer častíc pod 0,06 mm) v suchej zemine: malá priepustnosť ($f > 65\%$), stredná priepustnosť ($f = 15 - 65\%$), dobrá priepustnosť ($f < 15\%$).



Obr. 3 Monitoring objemovej aktivity radónu v podzemných vodách, lokalita Spišské Podhradie.

Vyhodnotenie radónového rizika RP je založené na syntéze zmeranej objemovej aktivity radónu v pôdnom vzduchu a plynopriepustnosti zemín podľa tab. 1 zostavenej podľa Barneta et al. (1992).

Tabuľka 1. Klasifikácia hodnôt radónového rizika.

Kategoríe radónového rizika	Objemová aktivita radónu [kBq.m ⁻³]		
	priepustnosť zeminy		
	malá	stredná	dobrá
nízke – I	< 30	< 20	< 10
stredné – II	30 – 100	20 – 70	10 - 30
vysoké – III	> 100	> 70	> 30

Monitoring objemovej aktivity radónu na zlomoch sa realizuje na základe výsledkov zhodnotenia základných meraní OAR na niektorých významnejších zlomoch a zlomových systémoch Slovenska s krokom merania 20 m. Po základnom meraní na zlomoch sa vybral úsek 1 km na opakované monitorovanie raz ročne s krokom merania 10 m. Metodika odberu pôdneho vzduchu a meranie OAR sú rovnaké ako pri monitorovaní miest.

Na monitorovanie obsahu radónu v podzemných vodách boli vytypované pramene termálnych a minerálnych vôd väčšinou s anomálnymi hodnotami OAR. Sú to vodné zdroje v týchto lokalitách: Spišské Podhradie – Sivá Brada, Šumiac, Bacúch, Zemplín, Oravice a Bratislava. Päť lokalít sa monitoruje dvakrát do roka, jedna lokalita – Prameň sv. Ondreja na Sivej Brade – sa monitoruje raz mesačne.

Vzorky vody na stanovenie ²²²Rn sa odoberajú do sklenených vzorkovníc, doplna, bez vzduchovej bubliny, musia byť silno a natesno uzavreté. V laboratórnych podmienkach sa radón cez premývačku prebubláva do dekontaminovaných a evakuovaných LK, ktoré sa následne merajú kalibrovaným meracím zariadením metódou zhodnou s meraním OAR v pôdnom vzduchu.

Výsledky monitorovacích prác

a) Pôdny radón – v navrhnutých mestách s prognózou zvýšeného radónového rizika

Merania radónu v pôde a hodnotenie radónového rizika RP na jednotlivých lokalitách sa štatisticky vyhodnocujú. Radónové riziko meraných plôch sa pohybuje v kategórii stredné a vysoké riziko. Výsledky z monitorovania referenčných plôch, ktoré sa merajú raz ročne, potvrdzujú variabilitu radónu v pôde s diferencovaným rozsahom v jednotlivých lokalitách. Je to pravdepodobne dôsledok existencie vplyvu lokálnych klimatických zmien. Zatiaľ sa javí, že odchýlky v koncentrácii radónu sú výraznejšie v málo priepustných pôdach, zrejme pre väčší vplyv vlhkosti. Napriek určitým rozdielom v absolútnych hodnotách obsahu radónu v rámci jednotlivých monitorovaní RP stupeň radónového rizika sa väčšinou zachováva.

V tab. 2 sú výsledky monitorovania referenčnej plochy vo vysokom radónovom riziku Spišská Nová Ves – Novoveská Huta, ktorá zatiaľ ako jediná sa monitoruje v širšom období klimatických zmien roka (marec – november) 8x za rok. Z tabuľky vidno, že:

- maximálne hodnoty OAR sa namerali začiatkom jari v apríli, ale aj v júni (r. 1999), ba aj koncom júla (r. 2000) v období intenzívnejších zrážok a tým aj zvýšenej vlhkosti pôdy; extrémne suchu v máji a júni v r. 2000 sa, naopak, prejavilo znížením OAR v pôdach;
- stredná hodnota OAR za obdobie 1998 – 2000 je 78 kBq . m⁻³ s koeficientom variácie 26 %;
- parameter hodnotiaci radónové riziko monitorovanej plochy ($\phi + \sigma$) za celé obdobie 1998 – 2000 sa pohybuje okolo hodnoty 146 kBq . m⁻³ s koeficientom variácie 41 %, vysoké radónové riziko je zachované v relatívne porovnateľných klimatických podmienkach;
- stredná hodnota OAR za obdobie 1998 – 2000 je 78 kBq . m⁻³ s koeficientom variácie 26 %;

Tab. 2 Pôdny radón – vyhodnotenie meraní objemovej aktivity, roky 1998 – 2000. Lokalita: Spišská Nová Ves – Novoveská Huta.

P. č.	Dátum	A_v – objemová aktivita radónu v pôdnom vzduchu [kBq.m ⁻³]							$S_{\phi A_v}$ [%]	$S_{\phi+\sigma}$ [%]	Poznámka
		N	min A_v	max A_v	ϕA_v	σA_v	$\phi+\sigma$	Rn riziko			
1	26. 6. 1998	17	23	137	69	34	103	III			
2	3. 8. 1998	17	29	194	92	49	141	III			
3	14. 9. 1998	17	18	155	67	36	103	III			
4	12. 10. 1998	17	8	167	63	43	106	III			
5	06. 11. 1998	17	9	138	29	29	58	II	extrém	#	prudké ochladenie, -6 °C
	rok 1998				64	38	102	III	35	29	
	rok 1998				73	41	114		18	17	štatistika bez extrémů #
6	8. 4. 1999	17	4	132	76	42	118	III			
7	11. 5. 1999	17	12	322	75	82	157	III			
8	21. 6. 1999	17	41	303	105	75	180	III			
9	21. 7. 1999	17	24	330	93	78	171	III			
10	06. 8. 1999	17	17	313	89	79	168	III			
11	26. 8. 1999	17	7	206	43	48	91	III			
12	23. 9. 1999	17	16	209	50	46	96	III			
13	19. 10. 1999	17	2	46	13	14	27	II	extrém	#	prudké ochladenie, -9 °C
14	26. 10. 1999	17	6	243	46	53	99	III			oteplenie
	rok 1999				66	57	123	III	45	41	
	rok 1999				72	63	135		30	27	štatistika bez extrémů #
15	16. 4. 2000	17	5	596	104	148	252	III			
16	31. 5. 2000	16	18	272	74	64	138	III			
17	29. 6. 2000	17	5	273	62	70	132	III			
18	31. 7. 2000	17	17	422	114	96	210	III			
19	24. 8. 2000	17	27	347	95	78	172	III			
20	14. 9. 2000	17	26	302	88	66	153	III			
21	12. 10. 2000	17	13	375	85	97	181	III			
22	23. 11. 2000	17	4	93	32	27	59	II	extrém	#	ochladenie, mráz, -3 °C
	rok 2000				82	81	163		32	43	
	rok 2000				89	88	177	III	20	33	štatistika bez extrémů #
	1998 – 2000				78	68	146	III	26	41	štatistika bez extrémů #

A_v – objemová aktivita radónu v sonde [kBq.m⁻³];

N – počet meraných sond na referenčnej ploche (RP);

min A_v – minimálna hodnota objemovej aktivity radónu OAR z N;

max A_v – maximálna hodnota objemovej aktivity radónu OAR z N;

ϕA_v – stredná hodnota z N meraných hodnôt A_v ;

σA_v – smerodajná odchýlka z N meraných hodnôt A_v ;

priepustnosť – malá, stredná, dobrá;

Rn riziko – I – nízke, II – stredné, III – vysoké;

$S_{\phi A_v}$ – stredná hodnota pre parameter ϕA_v období 1998 – 2000;

$S_{\phi+\sigma}$ – smerodajná odchýlka pre parameter $(\phi + \sigma)$ v období 1998 – 2000.

Tab. 3 Radón vo vodách – monitoring, roky 1998 – 2000.

Por. čís.	Lokalita	Rn _{min} [Bq.l ⁻¹]	Rn _{max} [Bq.l ⁻¹]	avg Rn [Bq.l ⁻¹]	std Rn [%]
1	Bacúch – prameň Boženy Němcovej	214	613	345	36
2	Bratislava – prameň Mária	32	63	46	22
3	Bratislava – prameň Zbojníčka	258	361	300	12
4	Bratislava – prameň Himligárka	126	284	209	25
5	Oravice – prameň Jašterčie	970	1 407	1 212	15
6	Oravice – vrt OZ-2	16	104	59	60
7	Šumiac	145	248	181	23
8	Zemplín – vrt Ladmovce	10	18	13	26

- parameter hodnotiaci radónové riziko monitorovanej plochy ($\phi + \sigma$) za celé obdobie 1998 – 2000 sa pohybuje okolo hodnoty 146 kBq . m⁻³ s koeficientom variácie 41 %, vysoké radónové riziko je zachované v relatívne porovnateľných klimatických podmienkach;
- pri nástupe prvých mrazov (meranie 6. 11. 1998, 19. 10. 1999 a 23. 11. 2000) nastáva radikálny pokles OAR, ktorý je taký výrazný, že sa mení aj kategória radónového rizika plochy. Tento jav je pravdepodobne dôsledkom značného teplotného gradientu medzi ešte nepremrznutou, relatívne teplou pôdou a nízkou teplotou vzduchu v prízemných vrstvách. Za takejto situácie zrejme dochádza k silnému odsatiu radónu z pôdy do atmosféry. Uvedený stav má zrejme len krátkodobé trvanie, no meranie v týchto podmienkach môže viesť k významným chybám pri stanovení kategórie radónového rizika. Tento poznatok je závažným zistením monitorovania radónu v pôde.

Zmena objemových aktivít radónu v pôde počas roka je zložitejšia, než sa pôvodne predpokladalo. Pri vzájomnom porovnaní monitorovacích meraní v jednotlivých rokoch vyplýva, že charakter variácií OAR v rovnakých ročných obdobiach rôznych rokov nemusí byť celkom rovnaký. Dokazuje to významnosť vplyvu meteorologických faktorov (najmä zrážok ovplyvňujúcich vlhkosť pôdy) na šírenie radónu v geologickom prostredí a tým aj na výsledky meraní jeho koncentrácie.

b) Pôdny radón na zlomoch

Na základe priebežného vyhodnotenia doterajších meraní na zlomoch bol vybraný anomálny úsek dĺžky 1 km na podrobnejšie monitorovanie na lokalite Grajnár, ktorý sa druhý rok opakovane monitoruje s krokom 10 m. Monitorovaný úsek predstavuje dva súbežné, 500 m dlhé profily, vzdialené od seba 15 m. Na obr. 2 je graficky dokumentovaný priebeh koncentrácie radónu pozdĺž týchto profilov. Tektonika sa prejavuje výraznými anomálnymi hodnotami koncentrácie radónu v poruchovej zóne, ktoré sú v rokoch 1999 a 2000 dobre korelovateľné.

c) Radón vo vodách

V tab. 3 sú výsledky monitorovania radónu vodných zdrojov, ktoré sa vzorkujú 2x ročne, a na obr. 3 sú údaje z lokality Sivá Brada – Prameň sv. Ondreja, ktorý sa monitoruje pravidelne každý mesiac bez ohľadu na ročné obdobie. Tabelované hodnoty koncentrácie radónu a ich

štatistické charakteristiky za sledované roky 1998 – 2000 naznačujú, že ani objemová aktivita ²²²Rn v podzemných vodách nie je stabilným parametrom.

Záver

Je známe, že radón je variabilný prvok, ktorý má za určitých podmienok karcinogénne účinky. Preto je oprávnený zvýšený záujem vedeckých pracovísk u nás i v zahraničí o problematiku jeho dôkladnejšieho poznania, čo najobjektívnejšieho stanovenia koncentrácie a určenia radónového rizika hodnoteného územia. Ešte stále nie sú tieto otázky vo všetkých detailoch úplne jasné, a preto zaradenie monitoringu radónu do monitorovacieho systému geofaktorov životného prostredia treba považovať za nanajvýš naliehavé a opodstatnené.

Realizovaný rozsah monitorovacích prác zatiaľ nedovoľuje robiť definitívne závery, no doterajšie výsledky potvrdzujú existenciu variácií radónu v geologickom prostredí. Charakter variácií však ovplyvňujú viaceré faktory.

Pri sledovaní objemovej aktivity radónu v pôdach sa registrujú výkyvy, i krátkodobé, s výskytom extrémov maxima a minima aj v rovnakom ročnom období, väčšinou so zachovaním stupňa radónového rizika. Môže to byť dôsledok vplyvu klimatických zmien, ktoré ale nemusia byť rovnaké v rôznych lokalitách. Na potvrdenie tohto predpokladu treba zvýšiť frekvenciu meraní na viacerých lokalitách, pretože jedno meranie v roku nie je dostatočne reprezentatívne a nepostačuje na všeobecnejšie a objektívne zhodnotenie faktorov vplyvajúcich na zmeny obsahu ²²²Rn v pôde.

Zmeny koncentrácie radónu vo vodách majú aj variačný charakter, ale s plynulejším sínusoidným priebehom v roku. Koncom zimy sa registrujú maximálne hodnoty objemovej aktivity ²²²Rn, ktoré predstavujú 2 – 3-násobok minima radónu vo vode nameraného v lete. Všeobecnejšie overenie takýchto poznatkov si však žiada monitoring s porovnateľnou frekvenciou merania, ako má Prameň sv. Ondreja na Sivej Brade, na viacerých zdrojoch podzemných vôd.

Aj keď monitoring radónu v geologickom prostredí prebieha krátky čas, výsledky potvrdzujú jeho variabilitu, ale aj naznačujú, že charakter variácií bude omnoho zložitejší, než sa predpokladalo. V každom prípade budú výsledky prínosom pre hodnotenie radónu a radónového rizika v horninách a vodách, napríklad aj pri presnejšom definovaní okrajových meteorologických podmienok na získanie hodnoverných údajov.

Literatúra

- Barnet, I., Kulajta, V., Neznal, M., Matolín, M. a Prokop, P.: Hodnocení základových púd z hlediska vnikání radonu do bytů. In: Geol. Průzk., 1992, č. 4, s. 114 – 115.
- Čížek, P., Smolárová, H. a Gluch, A.: Podklady pre digitalizáciu mapy radónového rizika Slovenska v M 1 : 500 000. Závěrečná správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 1995.
- Jiránek, M. a Pospíšil, S.: Radon a dům. Praha, Nakladatelství ARCH 1993.
- Klukanová, A.: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. In: Zborník referátov z I. konferencie Geológia a životné prostredie, Bratislava, 25. a 26. november 1998. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra 1998, s. 123 – 126.
- Klukanová, A., Iglárová, L., Wagner, P., Ondrášík, M., Jánová, V., Matys, M., Vlčko, J., Kováčiková, M., Hrašna, M., Bodiš, D., Moczo, P., Smolárová, H., Antal, J., Ayele, T., Čipciar, A., Dananaj, I., Durmeková, T., Frankovská, J., Helma, J., Holzer, R., Jadroň, D., Jelínek, R., Kišová, M., Maas, P., Matejček, A., Míka, R., Labák, P., Letko, V., Liščák, P., Paudiš, P., Petro, L., Polaščinová, E., Rapant, S., Rozimant, K., Scherer, S., Slaninka, I., Socha, I., Vanko, J., Vybíral, V. a Záhorová, E.: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, stav k 31. 12. 1999, 2000. Čiastková záverečná správa. Manuskript. Bratislava – archív ŠGÚDŠ, 2000.
- Vyhľadška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky č. 12/2001 Z. z. o požiadavkách na zabezpečenie radiačnej ochrany.

Monitoring of Radon in Geological Environment

Summary

It has been proved that radon, as radioactive element, is the most significant source of natural ionizing radiation, which counts for almost moiety of the global radiation exposure of the

world population. Therefore, the increased interest of scientific institutions of our country and abroad in problems of its more thorough understanding, its most objective concentration measurement and the radon risk determination at the evaluated areas is legitimate.

Monitoring is focused on the soil radon in selected towns in vicinity of residential zones with increased radon risk prognosis, selected supposed tectonic regions and selected radon groundwater sources. Up to now realized monitoring works do not allow making conclusions, but the results are confirming the existence of radon variations in geological environment. However, character of the variations is influenced by several factors. During the monitoring of the radon volume activity in soils oscillations are recorded, short term with maximum and minimum extremes of radon presence in the same season, mostly with retention of the radon risk degree. This can be a consequence of influence of the climatic changes, which, however, in different sites does not have to be the same. The most significant radon content deviations are in the low permeable rocks. Radon concentration changes in waters have variable character as well, but with continuous sinusoidal behavior during a year. Maximal volume activity values of ^{222}Rn are monitored at the end of winter, which represent 2 – 3 times the radon minimum in water measured in summer.

Radon volume activity monitoring in geological environment in the area of Slovakia is realized for a short time period, however the results confirm its variability. They also imply, that the variation character would be much more complicated, then it was supposed. In any case, the results are contribution for radon and radon risk evaluation in rocks and waters.



GEOLOGICKÉ PRÁCE, SPRÁVY 106

Vydal Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava 2002.

Vedúca redaktorka: Gabriela Šipošová
Jazyková redaktorka: Ing. Janka Hrtusová
Technické spracovanie: Gabriela Šipošová
Príprava textov na počítači: Mária Cabadajová

Náklad 350 kusov. Tlač a knižárske spracovanie: ALFAPRINT, Martin.