44/2/2012
ISSN 1338-3523
ISSN 0369-2086

Mineralia Slovaca

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava

Mineralia Slovaca

Časopis pre regionálnu a environmentálnu geológiu
a aktivity Slovenskej geologickej spoločnosti a geologických asociácií

Predseda vydavateľskej rady – Chairman of Editorial Board

BRANISLAV ŽEC
Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava

Vedecký redaktor – Scientific Editor

ZOLTÁN NÉMETH
Štátny geologický ústav Dionýza Štúra
Regionálne centrum Košice
Jesenského 8, 040 01 Košice
zoltan.nemeth@geology.sk

REDAKČNÁ RADA – EDITORIAL BOARD

Igor Broska, Geologický ústav SAV Bratislava
Klement Fordinál, Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava
Vlasta Jánová, Ministerstvo životného prostredia SR Bratislava
Milan Kohút, Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava
Martin Kováčik, Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava
Peter Malík, Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava
Jozef Michalík, Geologický ústav SAV Bratislava
Ľubomír Petro, Štátny geologický ústav D. Štúra Košice
Dušan Plašienka, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava
Marián Putiš, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava
Igor Slaninka, Štátny geologický ústav D. Štúra Bratislava
Ján Soták, Geologický ústav SAV Banská Bystrica
Ladislav Šimon, Slovenská geologická spoločnosť Bratislava
Pavel Uher, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava

REDAKCIA – EDITORIAL STAFF

Vedúci oddelenia vydavateľstva ŠGÚDŠ a propagácie – Head of the Department of Promotion and ŠGÚDŠ Publishers

LADISLAV MARTINSKÝ
ladislav.martinsky@geology.sk

Jazykoví redaktori – Lingual editors

Lucia Jasinská – Zoltán Németh
lucia.jasinska@upjs.sk

Technická redaktorka – Production editor

Alena Wolfová
alena.wolfova@geology.sk

Mineralia Slovaca (Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086), EČ 3534/09, vychádza štyrikrát ročne. Vydavateľ a tlač: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava.
Predplatné v roku 2012 vrátane DPH, poštovného a balného pre jednotlivcov 18,00 €, pre členov SGS a geologických asociácií 15,80 €, pre organizácie v SR 22,40 €. Cena jednotlivého čísla je 4,50 € vrátane DPH, poštovného a balného. Časopis možno objednať v redakcii a v knižnici regionálneho centra v Košiciach.
Adresa redakcie: Štátny geologický ústav D. Štúra – RC Košice (Mineralia Slovaca), Jesenského 8, 040 01 Košice. Telefón: 055/625 00 46, 055/625 00 43; fax: 055/625 00 44, e-mail: mineralia.slovaca@geology.sk, e-mail knižnica: secretary.ke@geology.sk

Mineralia Slovaca (Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086) is published quarterly by the State Geological Institute of Dionýz Štúr Bratislava, Slovak Republic. Subscription for 2012 calendar year: 34.40 € including VAT, postage and packing cost. Price of one number is 8.60 € including VAT, postage and packing cost. Claims for nonreceipt of any issue will be filled gratis. Order send to address of the Editorial office: Štátny geologický ústav D. Štúra – RC Košice (Library), Jesenského 8, SK-040 01 Košice, Slovak Republic. Phone: +421/55/625 00 46, +421/55/625 00 43; fax: +421/55/625 00 44, e-mail: mineralia.slovaca@geology.sk, library: secretary.ke@geology.sk

© Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava

www.geology.sk/mineralia

PÔVODNÉ ČLÁNKY – ORIGINAL PAPERS

Baliak, F. & Stríček, I.
50 rokov od katastrofálneho zosuvu v Handlovej
50 years after catastrophic landslide in Handlová (Slovakia) 119

Petro, Ľ., Liščák, P. & Ondrejka, P.
Assessment of selected active landslides in Slovakia in 2011
Hodnotenie vybraných aktívnych zosuvov na Slovensku v roku 2011 131

Wagner, P., Ondrejka, P., Balík, D. & Žilka, A.
Hodnotenie výsledkov monitorovacích meraní na zosuvoch
Evaluation of monitoring measurements results on landslides 141

Durmeková, T. & Ondrášik, R.
Nerovnorodosť a rozmerový efekt pri stanovovaní pevnostno-deformačných vlastností hornín
Heterogeneity and scale effect in determination of rock strength 149

Ekkertová, P. & Greif, V.
Využitie digitálnej fotogrametrie pri štruktúrnej analýze skalných svahov
The use of digital photogrammetry for structure analysis of the rock slopes 157

Weis, K., Koščová, M., Molokáč, M. & Domarackỳ, D.
Using the possibilities of aerial photogrammetry for the research of quarry enlargement
Využitie možností fotogrametrie pri výskume priestorového zväčšovania povrchových dobývok 167

Fraštia, M.
Laserové verzus optické skenovanie skalných masívov
Laser vs. optical scanning of rock massifs 177

Leiter, A.
Vliv odchylek geometrického uspořádání a tvaru vrtů na tepelné vlastnosti geotermálního systému
An effect of variations in geometrical arrangement and the shape of boreholes on thermal properties of the geothermal system 185

Stojkovová, D., Porubská, D., Fendeková, M. & Fendek, M.
Zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody a jej rozkyvu v obdobiach meteorologického sucha
The groundwater level depth and amplitude changes during the meteorological drought periods 191

Bajtoš, P.
Hydrogeochemické modelovanie zvetrávania vyťaženého sideritového ložiska Železník, Slovenské rudohorie
Hydrogeochemical modeling of weathering at the exploited Železník siderite deposit, Slovak Ore Mts. (Western Carpathians) 199

OBÁLKA: Záhradný domček zničený zosuvom aktivovaným po extrémnych zrážkach začiatkom júna 2010 – lokalita Krásna nad Hornádom (pri Košiciach). Foto Z. Németh a Ľ. Petro, 2. 7. 2010.

COVER: Cottage damaged by the landslide activated after the extreme rainfalls at the beginning of June 2010 – locality Krásna nad Hornádom (near Košice). Photo Z. Németh and Ľ. Petro, 2. 7. 2010.

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 119 – 130
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

50 rokov od katastrofálneho zosuvu v Handlovej

FRANTIŠEK BALIAK a IGOR STRÍČEK

Katedra geotechniky, SvF STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
frantisek.baliak@stuba.sk; igor.stricek@stuba.sk

50 years after catastrophic landslide in Handlová (Slovakia)

50 years have passed after catastrophic landslide in Handlová. 20 million cubic metres of sliding mass had started move at the turn of the years 1960 and 1961. Landslide damaged 150 buildings, 2 km length of state road 1/50, south-eastern part of Handlová water supply piping network, several parts of high-voltage power lines, etc. This landslide became an impulse for the statewide registration of landslides in the former Czechoslovak Socialist Republic. Ever since the investigation and research have resulted into the Atlas of slope stability maps of SR at a scale 1 : 50 000. This long period is divided into four stages in the article.

The first stage is represented by characterization of catastrophic landslide in Handlová. The extend of damage, methodology of research, stabilization methods and area monitoring are described.

In the second stage there is an overview of the solutions of slope movements from the time of catastrophic landslide (1960–1961) to the start of compiling the Atlas of slope stability maps of Slovak Republic (SR) at a scale 1 : 50 000 in 1997. This stage was a period of very intensive study of slope movements, especially in the area of registration and mapping, as well as assessing areas in terms of landslide hazards and improvement methods of investigation of disturbed slopes. Suggestions of areas for stabilization and implementation of stabilization measures were also part of extensive surveys.

The third stage is the process of compiling the Atlas of slope stability maps of SR from 1997 till 2006. There are presented research teams, role of individual goals, compiling methodology and some statistical data resulting from the project solution.

The fourth stage is the period since publishing the Atlas (2006) to the present. This period is characterized primarily by further catastrophic landslides in Slovakia, which have been investigated.

Key words: slope deformations, landslide registration, atlas of landslides, research phases

Úvod

V roku 2011 uplynulo 50 rokov od vzniku „katastrofálneho zosuvu“ v Handlovej. Na prelome rokov 1960 a 1961 sa zosunulo 20 mil. m^3 zosuvných más (Záruba a Mencl, 1969), ktoré zničili 150 domov, 2 km dlhý úsek štátnej cesty 1/50, juhovýchodnú vetvu handlovského vodovodu, niekoľko liniek vysokého napätia atď. (Nemčok, 1982). Tento zosuv sa stal impulzom pre celoštátnu registráciu zosuvov vo vtedajšej ČSSR. Výskum a prieskum zosuvov od tohto času až po dnešok vyústil do zostavenia Atlasu máp stability svahov v SR M 1 : 50 000. Celé toto obdobie až po súčasnosť je v príspevku rozdelené na 4 etapy.

V prvej etape je charakterizovaný samotný katastrofálny handlovský zosuv z rokov 1960 – 1961. Sú tu uvedené škody spôsobené zosuvom, jednotlivé metódy prieskumu zosuvu, spôsoby stabilizácie územia a jeho monitoring.

V druhej etape je podrobnejšie uvedený prehľad riešenia svahových pohybov od obdobia katastrofálneho zosuvu (1960 – 1961) po začiatok prác na zostavení Atlasu máp stability svahov SR v mierke 1 : 50 000, t. j. do roku 1997. Táto etapa predstavovala obdobie veľmi intenzívneho štúdia svahových pohybov hlavne v oblasti ich registrácie a mapovania, rovnako v hodnotení území z hľadiska stability a zdokonaľovania metód prieskumu porušených svahov. Súčasťou rozsiahlych prieskumov boli návrhy stabilizácie území, resp. realizácie stabilizačných opatrení.

Tretia etapa predstavuje proces zostavovania samotného Atlasu máp stability svahov SR v M = 1 : 50 000, t. j. roky 1997 až 2006. Uvedené sú tu riešiteľské kolektívy, jednotlivé ciele úlohy, metodika zostavovania atlasu a niektoré štatistické údaje vyplývajúce z riešenej úlohy.

Štvrtá etapa zachytáva obdobie od zostavenia Atlasu (2006) po dnešok. Pre toto obdobie je charakteristický hlavne vznik ďalších katastrofálnych zosuvov na Slovensku, ktoré boli riešené prakticky.

Katastrofálny zosuv v Handlovej v r. 1960 – 1961

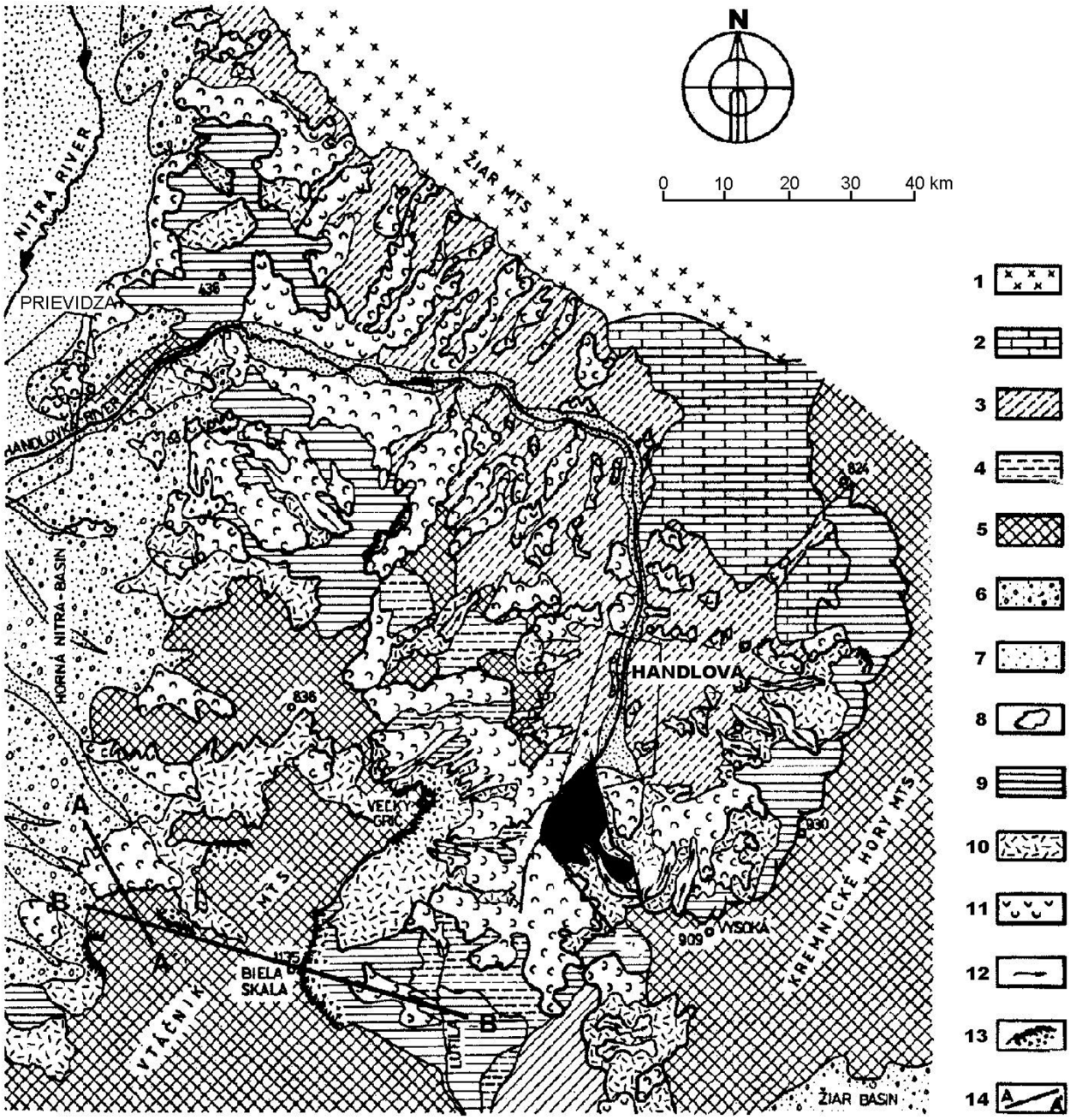
Predmetný handlovský zosuv sa nachádza na severozápadnom okraji Kremnických vrchov a v južnej časti Handlovskej kotliny (obr. 1 a 2).

Rozsiahly výskyt svahových deformácií je v oblasti Handlovskej kotliny podmienený geomorfologickými,

geologickými a hydrogeologickými podmienkami, vhodnými pre ich vznik, ktoré sa tu vytvorili ako logický dôsledok geomorfologicko-geologického vývoja svahov kotliny.

Handlovská kotlina predstavuje tektonicko-erozívnu kotlinu elipsovitého tvaru (9 x 6 km), pretiahnutú v smere S – J. Zo severu je ohraničená jadrovým pohorím Žiar, zo západu a východu vulkanickými pohoriami Vtáčnik a Kremnické vrchy. Odvodňuje ju Handlovka (prítok Nitry) a Lutila (prítok Hrona).

Sedimentárnu výplň kotliny tvoria flyšoidné vrstvy paleogénu. Na paleogénnych horninách ležia tzv. podložné tufity (pieskovcové a zlepencové tufity) bádenského



Obr. 1. Schematická mapa svahových deformácií v okolí Handlovej. 1 – kryštalinikum; 2 – vápence a dolomity (Pohorie Žiar); 3 – ílovité bridlice, pieskovce (paleogén); 4 – tufitické íly; 5 – andezity, aglomeratické tufy, zlepencové tufity; 6 – štrky s vložkami ílov (neogén); 7 – aluviálne náplavy; 8 – ohraničenie svahových deformácií; 9 – blokové rozpadliny; 10 – blokové polia; 11 – zosuvy (katastrofický zosuv – čierna výplň); 12 – zemné prúdy; 13 – skalné zrútenia; 14 – profily 1 a 2 (Malgot a Baliak, 1996).

Fig. 1. Schematic map of slope deformations near Handlová. 1 – crystalline schists; 2 – limestones and dolomites (Žiar Mts.); 3 – marly shales, sandstones (Paleogene); 4 – tuffaceous clays; 5 – andesites, aglomeratic tuffs, tuffaceous conglomerates; 6 – gravels with clay bands (Neogene); 7 – alluvial deposits; 8 – demarcation of slope deformations; 9 – block rifts; 10 – block fields; 11 – landslides (catastrophic landslide – in black); 12 – mudflows; 13 – rockfalls; 14 – cross-sections (Malgot and Baliak, 1996).

veku, produktívne súvrstvie a nadložné íly. Na niektorých miestach ležia na týchto vrstvách štrky a íly sarmatského veku, ktoré majú relatívne malú hrúbku.

Vulkanogénne horniny tvoriace vlastné masívy Kremnických hôr a Vtáčnika ležia na týchto relatívne málo konsolidovaných sedimentárnych a sedimentárno-vulkanických sériách. Prevládajú tu chaotické balvanité aglomeratické tufy, ktoré sa striedajú s príkrovmi a prúdmi andezitov. Celková hrúbka vulkanického komplexu pôvodne vysoko prekračovala 1 000 m. Dnes sú už vulkanity úplne oderodované, alebo tvoria iba relikty s hrúbkou do 400 m.

Počas sopečnej činnosti sa začalo celé územie nerovnomerne vyzdvihovať. Pohorie Vtáčnik a Kremnické pohorie v súčasnosti predstavujú charakteristické hrasťové štruktúry. Najdôležitejšiu úlohu pri celkovom geomorfologickom vývoji Handlovskej kotliny, v súlade s postupujúcou hĺbkovou eróziou a následným výzdvihom územia, tu nadobudli svahové pohyby hornín.

Vulkanické horniny sa po obvode celej kotliny pomaly zabárajú do svojho plastického podložia a posúvajú sa po svahoch. Odlučné hrany blokových rozpadlín a blokových polí sú výrazne vyvinuté pozdĺž celého západného okraja Kremnických vrchov od obce N. Lehota až po údolie Rematského potoka, kde už vulkanity ležia priamo na dolomitoch pohoria Žiar. Podobne sú výrazné i na okraji Vtáčnika medzi Bielou Skalou, Veľkým a Malým Gričom až po Jelení vrch a obec Hradec. Proces gravitačného rozpadu Vtáčnika prebieha aj na jeho styku s Nováckou kotlinou.

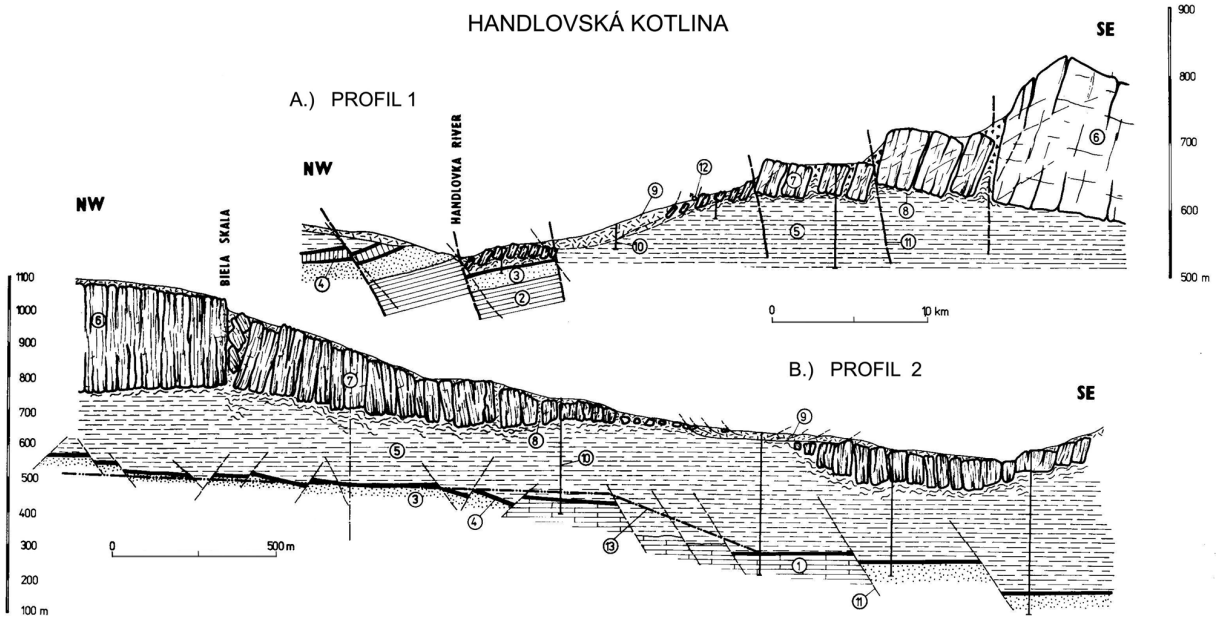
Na obvode blokových polí tu vzniká obruba zosunov. Svahy sú v stave trvalej nerovnováhy. Zosuvné pohyby sa neustále oživujú aj pri najmenších zrážkových anomáliách. Trvalý nerovnovážny stav je neustále obnovovaný aj intenzívnou hĺbkovou a bočnou eróziou Handlovky a jej prítokov, ako aj potokov odvodňujúcich SZ svahy Vtáčnika. Z umelých impulzov treba spomenúť predovšetkým vplyvy priťažovacích násypov, odval hlušiny, rôzne zárezy a pod. (Malgot a Baliak, 1996).

Pod pásmom blokových rozpadlín sa rozkladajú blokové polia. Najďalej do doliny zasahujú pod Trasľavým vrchom. Medzi nimi sa v r. 1960 reaktivizoval handlovský zosuv, ktorý mal katastrofálny priebeh.

Handlovský zosuv sa rozvíjal od 11. 12. 1960 do 30. 5. 1961 a dosiahol dĺžku 1 630 m. V odlučnej oblasti mal tvar a charakter 80 – 110 m širokého zemného prúdu, formujúceho sa v mieste starého zemného prúdu v strede svahovej depresie. V dolnej časti sa však rozšíril, pretože sa k nemu pripojil zo severnej strany ďalší vedľajší zosuv. Spoločná šírka v akumulačnej oblasti bola 1 200 m (obr. 3 a 5).

Zosuvný pohyb mal najväčšiu intenzitu v dňoch od 22. 12. 1960 do 20. 1. 1961. Rýchlosť pohybu bola až 6,30 m za 24 hodín. Horizontálne posuny hmôt v strednej časti boli 240 m, v akumulačnej časti 22 m. Hrúbka zosuvu bola v odlučnej časti 7 m, v akumulačnej časti 25 – 30 m. Celková kubatúra zosunutých hmôt dosahovala 20 mil. m^3 (Záruba a Mencl, 1969).

Príčinou reaktivizácie starého zosuvu v depresii pod Trasľavým vrchom bola zrážková anomália od júna do decembra 1960. Podľa zrážkomerných staníc v Handlovej a Prievidzi zrážky prekročili päťdesiatročný priemer o 50 %. Staré zosuvné masy v depresii sa nasýtili vodou



Obr. 2. Charakteristické profily Handlovskej kotliny. 1 – pestré bridlice (mezozoikum); 2 – ílovce a pieskovce (paleogén); 3 – podložné zlepencové tufity (báden); 4 – uhľonosné vrstvy; 5 – nadložné íly; 6 – andezity, aglomeratické tufy (sarmat); 7 – blokové rozpadliny; 8 – creepové zóny; 9 – zosuvy; 10 – vrty; 11 – zlomy; 12 – pramene (Malgot a Baliak, 1996).

Fig. 2. Geological cross-sections throught the Handlovská kotlina Basin. 1 – variegated shales (Mesozoic); 2 – shales and sandstones (Paleogene); 3 – underlying conglomerate tuffs (Badenian); 4 – coal-bearing layers; 5 – overlying clays; 6 – andesites, aglomeratic tuffs (Sarmatian); 7 – block rifts; 8 – creeping zones; 9 – landslides; 10 – boreholes; 11 – faults; 12 – springs (Malgot and Baliak, 1996).

a nahrnuli sa do predpolia depresie. Pod ich hmotnosťou sa postupne odtrhli i dolné časti svahov a zosunuli sa do doliny Handlovky (Nemčok, 1982).

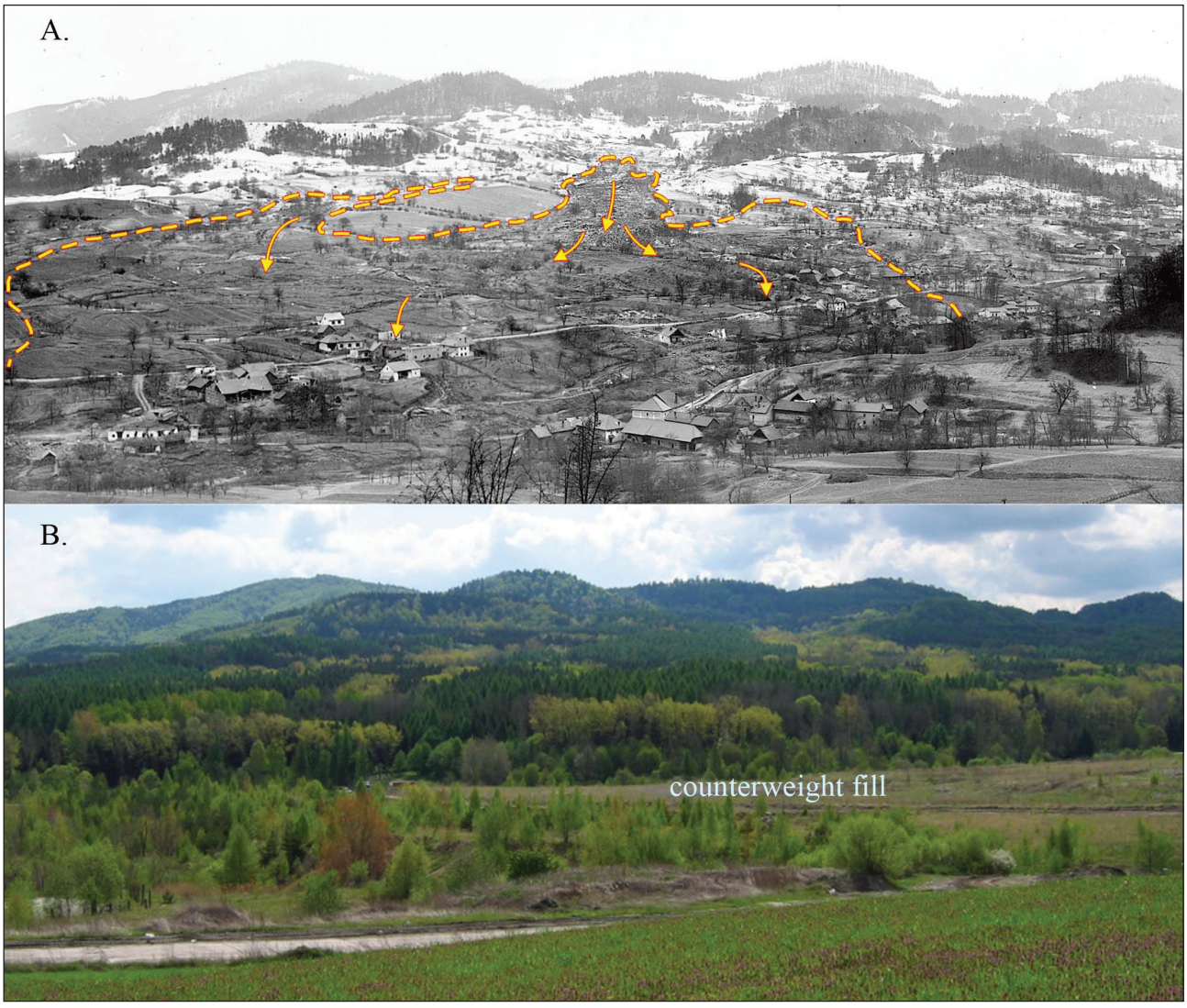
Dôležitým faktorom aktivizácie zosuvu bola aj skutočnosť, že v posledných rokoch tu neboli udržiavané staré drenáže a systémy povrchového odvodnenia a pastviny boli upravované nevhodne – rozoraním a zničením drnovej prikrývky (Záruba a Mencl, 1969).

Handlovský zosuv zničil 150 obytných domov (obr. 4), úsek štátnej cesty 1/50 s dĺžkou 2 km, juhovýchodnú vetvu handlovského vodovodu, niekoľko liniek vysokého napätia atď. (Nemčok, 1982). Bezprostredne po vzniku zosuvu sa začali vykonávať geologické prieskumné a sanačné práce. Vzhľadom na závažnosť problému bola v roku 1961 zriadená v Handlovej „Protizosuvná stanica".

V rámci prieskumných prác sa najprv zisťovalo postupné rozširovanie zosuvu a sledovali sa deformácie ohrozených objektov, hlavne za účelom organizovania záchranných a vypratávacích prác.

Vykonávanie vrtných prác bolo vzhľadom na značnú aktivitu zosuvu veľmi obtiažne a nie všetky plánované vrty sa podarilo zrealizovať. Aj napriek tomu boli hodnoverne vykreslené priebehy šmykových plôch v jednotlivých profiloch. Vrtnými prácami bola tiež potvrdená skutočnosť, že išlo o reaktivizáciu starého (potenciálneho) zosuvu, pretože staré koryto Handlovky bolo prekryté zosuvnými masami hrúbky 12 m (Záruba a Mencl, 1969).

Veľká pozornosť bola venovaná meraniam rýchlosti pohybov v období od 22. 12. 1960 (t. j. už 10 dní po začiatku pohybov) až do 31. 5. 1961, keď sa pohyby celkom ustálili. Na meranie rýchlosti pohybov bolo vytýčených 9 geodetických profilov v zosuve a polygónový ťah pozdĺž štátnej cesty 1/50. Najväčší vodorovný posun – až 240 m – bol nameraný v strednej časti zosuvného



Obr. 3. Pohľad na katastrofálny handlovský zosuv. A – po zosuvnom pohybe v rokoch 1960 – 1961 (foto Nemčok a Malgot, 1961); B – súčasný stav so stabilizačným násypom (counterweight fill) pri päte svahu (foto Ingár, 2008, in Vlčko et al., 2008).

Fig. 3. View on the catastrophic landslide in Handlová. A – situation after the sliding in 1960–1961 (photo Nemčok and Malgot, 1961), B – current situation with counterweight fill near the slope heel (photo Ingár, 2008, in Vlčko et al., 2008).

prúdu. Maximálna rýchlosť zosuvu bola nameraná v prvých dňoch, a to až 6,30 m za deň (Záruba a Mencl, 1969). Súčasťou geologických prieskumných prác bolo aj inžinierskogeologické mapovanie Handlovskej kotliny v mierke 1 : 5 000 (Buroš et al., 1961).

Sanačné práce sa začali vykonávať ihneď po vzniku zosuvu. V prvej fáze to boli havarijné opatrenia, v rámci ktorých sa odčerpávala povrchová voda z telesa zosuvu a podzemná voda z hydrogeologických vrtov a existujúcich studní. Ako definitívne sanačné prvky sa vybudovali v čele zosuvu štôlne so zabudovanou drenážou a horizontálne odvodňovacie vrty. Okrem toho sa zachytili všetky pramene a povrchové toky nad odlučnou hranou zosuvu a odviedli sa zakrytým kanálom do Mlynskej doliny. V telese zosuvu sa vybudoval systém pozdĺžnych zberných rigolov, odvodňujúcich povrchovú vodu, a tok Handlovky bol zregulovaný niekoľkými kamennými stupňami.

V rokoch 1964 – 1965 bolo zosuvné územie zalesnené vhodnými, prevažne ihličnatými drevinami. V roku 1970 sa na mnohých miestach Handlovskej kotliny obnovili svahové pohyby, ktoré boli následne ďalším impulzom na vytvorenie definitívnych sanačných opatrení. Pre územie katastrofálneho zosuvu, ale aj protiľahlého svahu to bolo vybudovanie stabilizačného násypu v údolí Handlovky so začiatkom prác v roku 1973 (Spusta a Hagara, 1996). Účinnosť sanačných opatrení sa monitoruje pomocou siete monitorovacích bodov (obr. 5).

Sieť monitorovacích bodov bola vytvorená a postupne dobudovávaná počas realizácie jednotlivých etáp prieskumných a sanačných prác. Tvoria ju geodetické body umiestnené v 4 líniách, 5 inklinometrických vrtov, sústava piezometrických vrtov a 6 základných stanovísk s objektmi na meranie výdatnosti subhorizontálnych vrtov. Pravidelné monitorovacie merania sa vykonávajú od roku 1995. Analýza výsledkov meraní poukazuje na to, že v súčasnosti sa náznaky prejavov pohybovej aktivity zosuvných hmôt sústreďujú predovšetkým do okolia odlučnej oblasti, kým akumulačnú časť zosuvu dostatočne stabilizuje stabilizačný násyp. Priaznivý vplyv na stabilitu svahu má i jeho trvalé povrchové a podpovrchové odvodnenie (Wagner, 2008; Ingár a Wagner, 2004).

Od katastrofálneho zosuvu (1960 – 1961) po Atlas máp stability svahov (1997)

Handlovský zosuv bol impulzom regionálneho výskumu svahových pohybov v Československu. Do roku 1961 sa svahovým poruchám venoval celý rad autorov a prác, hlavne v súvislosti so zostavovaním geologických a geomorfologických máp, resp. s výstavbou technických diel. Práce tohto druhu, ako aj práce týkajúce sa prírodných katastrof, pokračovali aj v ďalších rokoch a tvorili tak osobitnú kapitolu pre systematický výskum svahových pohybov (Šimeková a Martinčeková et al., 2006).

V rokoch 1961 až 1963 sa na základe uznesenia vtedajšej vlády ČSSR č. 103 z 8. 2. 1961 realizovala celoštátna registrácia svahových porúch (Andor a Spusta, 1996). Zúčastnili sa jej pracovníci Geologického ústavu Dionýza Štúra (dnes ŠGÚDŠ) v Bratislave, Katedry geotechniky SVŠT (dnes STU) v Bratislave, Katedry inžinierskej geológie PriF UK v Bratislave a Ústředního ústavu geologického v Prahe. Svahové pohyby boli registrované hlavne na investične dôležitých územiach, najmä okolo komunikácií, riek, obcí a miest. Záznamy o výskyte sa robili zväčša slovnou formou na dierne štítky a zakresľovali sa do máp mierky 1 : 25 000. Výsledky tejto etapy registrácie sú uložené v Geofonde Bratislava, resp. Geofonde Praha. Celkové výsledky tejto akcie, jedinečnej aj vo svetovom meradle, boli súhrnne zhodnotené v správe kolektívu: Matula, Nemčok, Pašek, Řepka, Špůrek (1963). Výstupom boli tiež prvé prehľadné mapy v mierke 1 : 1 000 000 s hustotou a rozložením svahových porúch na území ČSSR (Matula et al., 1963; Nemčok a Rybář, 1966). Jednotlivé listy máp v mierke 1 : 25 000 sa stali základom registra zosuvov, ktorý bol postupne dopĺňaný výsledkami ďalších prác.

V neskoršom období sa regionálny výskum svahových pohybov sústreďuje do jednotlivých oblastí a pohorí Slovenska a úzko súvisí s definovaním základných pojmov, typizáciou svahových pohybov a výsledných svahových porúch. V ďalšom texte spomenieme významnejšie práce v preskúmanosti územia, ktoré sú uvedené v rámci záverečnej správy Atlasu máp stability svahov (Šimeková

Obr. 4. Porušené domy z 01/1961 (foto Nemčok).

Fig. 4. Damaged buildings from 01/1961 (photo by Nemčok).

a Martinčeková et al., 2006). Tieto práce tvorili druhú etapu registrácie svahových pohybov na Slovensku.

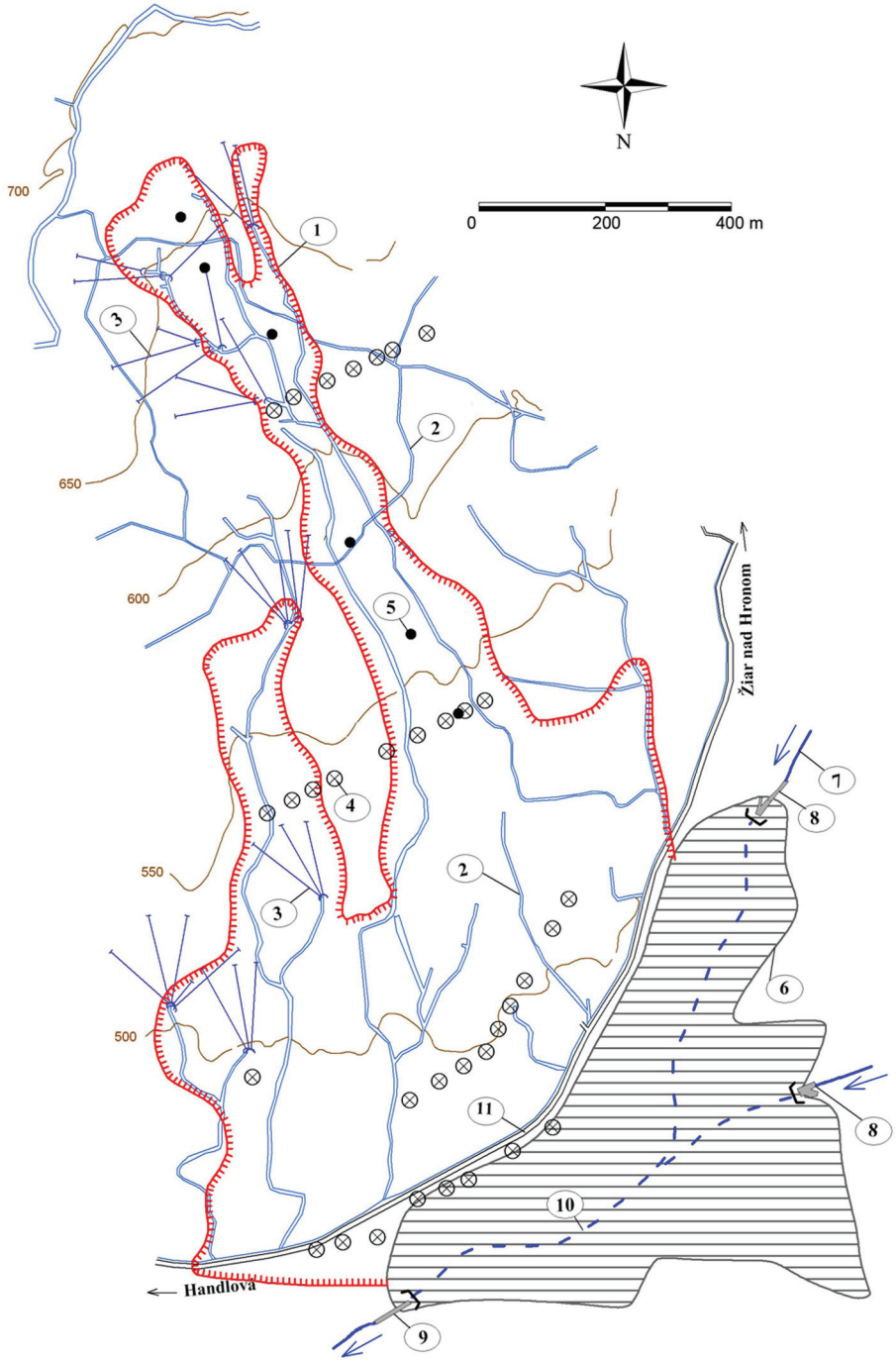
Od roku 1967 sa štúdiom podpovrchových plazivých deformácií vo vysokých pohoriach venovali Nemčok, Pašek, Rybář, Mahr a Baliak. Dosiahnuté výsledky boli prezentované vo viacerých publikáciách, súborne sú spracované v práci Slovensko – oblasť vysokých pohorí (Nemčok et al., 1973).

Neskôr sa výskumu plazivých deformácií vo vysokých pohoriach venovali Mahr (1976) v oblasti kryštalinika a Baliak (1978) v oblasti mezozoika.

Zhodnotenie starších prác, ako aj prvé podrobnejšie štúdium gravitačných porúch na okrajoch vulkanitov uvádza vo svojich prácach Malgot (1969) a Nemčok (1970).

Malgot v rokoch 1970 – 1979 spolu s pracovnými kolektívmi, ktoré viedol, spracoval a uverejnil správy o všetkých porušených územiach dokumentovaných na okrajoch vulkanických pohorí.

Komplexne sú výsledky z regionálneho výskumu gravitačných porúch v neovulkanických pohoriach spracované v správe Svahové pohyby v neovulkanických pohoriach Slovenska (Nemčok et al., 1977).



Obr. 5. Lokalita Handlová – situovanie stabilizačného násypu na úpätí svahu zosuvu. 1 – morfologické ohraničenie zosuvu; 2 – povrchové odvodňovacie rigoly; 3 – horizontálne odvodňovacie vrty; 4 – geodetické body; 5 – inklinometrické vrty; 6 – ohraničenie telesa stabilizačného násypu; 7 – tok rieky Handlovky; 8 – vtokové objekty Handlovky a Nepomenovaného potoka (na južnom a západnom okraji stabilizačného násypu); 9 – výtokový objekt; 10 – umiestnenie toku Handlovky a Nepomenovaného potoka do oceľového potrubia, prekrytého stabilizačným násypom; 11 – štátna cesta z Handlovej do Žiaru nad Hronom (Wagner, 2008).

Fig. 5. Handlová locality – counterweight fill near the slope heel. 1 – morphological boundaries of the landslide; 2 – surface draining ditches; 3 – drainage horizontal boreholes; 4 – geodetic points; 5 – inclinometric boreholes; 6 – counterweight fill boundaries; 7 – Handlovka river; 8 – inflow of rivers into undergound piping; 9 – outflow; 10 – piping under the counterweight fill; 11 – state road (Wagner, 2008).

Regionálne hodnotenie svahových porúch z oblasti karpatského flyšu sú známe z prác viacerých autorov, najmä však Matulu et al. (1963), Nemčoka (1970, 1974) a Andora (1978).

Najobsiahlejší prehľad o zákonitostiach vývoja svahových deformácií vo flyšových vrchovinách a hornatinách je v práci Svahové pohyby v karpatskom flyši na Slovensku (Nemčok et al., 1979).

Výsledky regionálnych výskumov z rokov 1967 – 1978, na ktorých sa podieľali najmä pracovníci SvF SVŠT Bratislava, doplnené o výsledky z lokálnych prieskumov líniových a vodohospodárskych stavieb, sídlisk, priemyselných a občianskych stavieb, ako aj riešenia havarijných porúch boli spracované a súborne prezentované v práci Nemčoka (1982).

Od roku 1970 riadil výskum a prieskum svahových porúch na Slovensku Slovenský geologický úrad (SGÚ), pri ktorom bola na základe vládneho uznesenia č. 205/1970 zriadená „Investorská organizácia pre prieskum a sanáciu zosuvov na Slovensku". K najvýznamnejším úlohám investorskej činnosti od r. 1972 boli aktivity v širšom okolí Handlovej, predovšetkým výstavba stabilizačného násypu s vybudovanou potrubnou trasou prekrytia Handlovky a vtekajúceho potoka pod násypovým telesom.

SGÚ neskôr, po včlenení sa do organizačnej štruktúry MŽP SR, sekcia geológie a prírodných zdrojov, zabezpečoval úlohy v oblasti zosuvnej problematiky zamerané na regionálnu porušenosť územia svahovými poruchami – zostavené boli mapy (najčastejšie M = 1 : 10 000, 1 : 25 000) svahových deformácií viacerých regiónov – napr. Handlovská kotlina (1973), Žilinská kotlina (1989), Blžsko-Pokoradzká planina (1990), Povodie Oravy (2000) a ďalšie.

V roku 1981 pracovníci Geologického ústavu Dionýza Štúra, oddelenia inžinierskej geológie začali tretiu etapu registrácie svahových deformácií na území SR. Bola zameraná hlavne na hlbšie poznanie zákonitostí vzniku, vývoja a regionálneho rozšírenia svahových pohybov. Cieľom bolo vytvorenie nového registra svahových deformácií v súlade s celoštátnymi Pokynmi pre registráciu zosuvov a iných nebezpečných svahových deformácií. Výsledky ich prác sú prezentované v správach Modlitbu et al. v rokoch 1981 – 1991 (Modlitba a Klukanová, 1996).

V rámci tejto registrácie sa v rokoch 1981 – 1984 zhotovil register svahových deformácií z územia s plochou cca 5 769,4 km^2, čo zodpovedá 317 listom mapy 1 : 10 000.

V roku 1981 bolo spracované územie Žilinskej kotliny, Kysuckej vrchoviny, Kysuckých Beskýd a Javorníkov s rozlohou asi 1 500 km^2, kde na 63 topografických podkladoch mierky 1 : 10 000 bolo zaregistrovaných 592 nových svahových deformácií.

V roku 1982 boli zaregistrované svahové deformácie v oblasti Nízkych Javorníkov a Súľovských vrchov; na území s rozlohou 218 km^2 (12 listov topografickej mapy 1 : 10 000) bolo zaregistrovaných 351 svahových deformácií.

V roku 1983 a 1984 sa robila registrácia svahových deformácií v oblasti Oravskej, Turčianskej, Rimavskej, Žiarskej a Zvolenskej kotliny, Kremnických a Štiavnických vrchov (severozápadná časť) južnej časti Vtáčnika, severnej časti Javoria a Cerovej vrchoviny. Ide o územie s rozlohou 3 586,47 km^2, t. j. 58 listov topografickej mapy 1 : 10 000 a 30 listov mierky 1 : 25 000. Zaregistrovaných bolo 532 svahových deformácií.

V roku 1985 bola registrácia urobená v nasledujúcich oblastiach: Turzovská vrchovina, Vysoké Javorníky, severná časť Bielych Karpát, Strážovské vrchy, Malá Magura a severná časť Hornonitrianskej kotliny, okolie Ružomberka, Skorušinské pohorie – list mapy 1 : 25 000 č. 27-434, Lipany, Košická kotlina – list mapy 1 : 25 000 č. 28-333, Slanské vrchy – list mapy 1 : 25 000 č. 38-113. V priebehu roku 1985 bola vykonaná registrácia na ploche asi 1 710 km^2 (t. j. na 58 listoch máp 1 : 25 000) a celkovo sa zaregistrovalo 600 svahových deformácií.

V roku 1986 boli spracované nasledujúce oblasti: Biele Karpaty, stredné Považie, severné ohraničenia Považského Inovca, južné ohraničenia Strážovskej hornatiny, Breznianskej kotliny, Lučeneckej kotliny (južná časť), severnej časti Košickej kotliny a priľahlých častí Slanských vrchov, Čiernej hory a Šarišskej vrchoviny. V roku 1986 sa urobila registrácia na ploche asi 1 524 km^2, t. j . na 43 listoch máp 1 : 10 000 a 6 listoch máp 1 : 25 000, a celkovo sa zaregistrovalo 470 svahových deformácií.

V roku 1987 bola robená registrácia v oblasti pohoria Čergov, Bachureň a okolie. Okrem uvedenej oblasti sa zaregistrovali svahové deformácie aj v rámci základného geologického mapovania, a to v Lučeneckej kotline, v okolí Moldavy, strednej Oravy a strednej časti Košickej kotliny. Celkovo bolo zmapované územie s rozlohou 1 483,6 km^2 so 470 svahovými deformáciami.

V roku 1988 bola spracovaná oblasť Košickej kotliny, severná časť Veľkej Fatry, oblasť Hnúšťa a Likier, ako aj Jelšava a územie južne od Kláštora pod Znievom. V daných oblastiach je výskyt svahových deformácií iba sporadický. Bolo zmapované územie s rozlohou asi 846 km^2, t. j. 47 listov máp mierky 1 : 10 000 s 380 svahovými deformáciami.

Od roku 1991 sa zosuvnej problematike venovali riešiteľské organizácie aj pri úlohách hodnotenia geofaktorov životného prostredia. Významnou mierou sa na zostavovaní týchto máp podieľali pracovníci IGHP Žilina, neskôr INGEO Žilina (dlhodobo najmä v spolupráci s pracovníkmi Katedry geotechniky SvF STU), IGHP Košice (Grman a ďalší) a IGHP Bratislava (Otepka a ďalší), ktorí pod gesciou SGÚ, neskôr MŽP SR, riešili rozsiahle prieskumné úlohy zamerané na zhodnotenie stability vybraných veľkých územných celkov. Podieľali sa tiež na riešení množstva úloh súvisiacich s výstavbou v porušených územiach, resp. zameraných na sanáciu porušených území (Šimeková a Martinčeková et al., 2006).

Obdobie rokov 1961 – 1997 predstavovalo veľmi intenzívne štúdium svahových pohybov na Slovensku a boli dosiahnuté výsledky porovnateľné so zahraničím. Špeciálne mapy svahových porúch, zostavené v mierke 1 : 10 000, sa stali unikátnymi v celosvetovom meradle. Slúžili hlavne stavebnej praxi a neskôr sa stali dôležitým podkladom na zostavenie máp v rámci Atlasu máp stability svahov SR v mierke 1 : 50 000.

Celkovo bolo toto obdobie významné z viacerých hľadísk:

– zdokonalili sa metódy registrácie svahových deformácií,

– vznikla klasifikácia svahových pohybov (Nemčok et al., 1974),

– bola vypracovaná metodika zostavenia špeciálnych máp svahových porúch v mierke 1 : 10 000 (Malgot et al., 1973),

– bol vytvorený postup hodnotenia území z hľadiska stability v rámci súboru máp geofaktorov životného prostredia v mierke 1 : 50 000 (Klukanová et al., 1995),

– zhodnotili sa metódy prieskumu porušených svahov a objasňovania príčin vzniku svahových porúch, vrátane návrhov ich stabilizácie, resp. realizácie sanačných stabilizačných opatrení.

Problematika svahových pohybov bola v tomto období témou mnohých odborných a vedeckých podujatí. Medzi najvýznamnejšie domáce patril seminár „Inžinierskogeologický prieskum stability svahov – metódy jej zabezpečenia“ (Vrátna dolina, 1973) a konferencia „Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku“ (Nitrianske Rudno, 1996). Z celosvetových podujatí to bolo sympózium „Landslides and other Mass Movements“ (Praha, 1977). Vedeckým vrcholom tejto etapy bolo vydanie jedinečnej monografie Zosuvy v slovenských Karpatoch (Nemčok, 1982).

Pri inžinierskogeologickom prieskume a výskume porušených svahov boli postupne aplikované a zdokonaľované aj geofyzikálne metódy (Müller, 1973), geodetické a fotogrametrické metódy (Slivovský et al., 1976), najmä pri pozorovaní deformability horninových masívov na modelových svahových poruchách (Okoličné, Ondrášová, L. Mara, Handlová) a pod.. Uvedené metódy, vrátane aplikácie meradla veľmi pomalých pohybov TM-71 (Košťák, 1973), boli realizované hlavne v rámci veľmi dôležitého monitoringu svahových porúch, ktorý sa začal realizovať z iniciatívy MŽP SR (Klukanová, 1998, 2002) a pokračuje až dodnes, najmä na pôde zhotoviteľa tohto projektu – ŠGÚDŠ.

Atlas máp stability svahov SR v M 1 : 50 000 (1997 – 2006)

Potreby praxe – v súvislosti s negatívnym dosahom svahových porúch na kvalitu životného prostredia – postupne ukázali, že existujúci Register zosuvov spracovávaný v Geofonde nevyhovuje súčasným požiadavkám na dostupnosť databázy a dopĺňanie nových výsledkov. MŽP SR reagovalo na túto situáciu v roku 1997 vypísaním verejnej súťaže na úlohu: „Atlas máp stability svahov SR v M 1 : 50 000“ s požiadavkou digitálneho spracovania výsledkov v GIS. Na základe výsledku verejnej súťaže touto úlohou následne poverilo firmu INGEO-ighp, s. r. o., Žilina. Zodpovednými riešiteľkami úlohy boli RNDr. J. Šimeková a Ing. T. Martinčeková. Na riešení úlohy sa okrem pracovníkov INGEO podieľali aj pracovníci Katedry geotechniky SvF STU v Bratislave, ŠGÚDŠ, Bratislava, Geokonzultu Košice a Katedry inžinierskej geológie PriF UK v Bratislave (obr. 6).

Obr. 6. Riešitelia a riešiteľské organizácie Atlasu máp stability svahov SR.

Fig. 6. Research organizations of the Atlas of slope stability maps SR.

Úloha sa začala riešiť v roku 1997 podľa metodiky na zostavenie Atlasu máp stability svahov, ktorú vypracoval kolektív zodpovedného riešiteľa v spolupráci s pracovníkmi Katedry geotechniky SvF STU v Bratislave. Metodikou bol vymedzený rozsah a cieľ úlohy nasledovne (Šimeková a Martinčeková et al., 2006):

1. Zostavenie mapových listov v M 1 : 50 000 pre celé územie Slovenska s tým, že na jednotlivých mapových listoch budú v súlade s metodikou zaznamenané všetky svahové deformácie zistené z archívnych materiálov, resp. vymapované v teréne v rámci tejto úlohy.

2. Vyplnenie pasportizačného záznamu ku každej svahovej deformácii, ktorý v jednotlivých kolónkach (28) prináša údaje týkajúce sa územného začlenenia, preskúmanosti, charakteristiky svahovej deformácie, ohrozených objektov, príčin vzniku a prípadnej sanácie.

3. Vypracovanie stabilitnej rajonizácie každého mapového listu na základe náchylnosti územia na vznik svahových pohybov.

4. Vypracovanie doplnkových mapiek (Rozmiestnenie registrovaných svahových deformácií, Regionálne inžinierskogeologické členenie územia, Geomorfologické členenie územia, Regionálna inžinierskogeologická preskúmanosť), ktoré sú v zmenšenej mierke súčasťou každého mapového listu.

5. Digitalizácia máp v systéme GIS.

6. Zostavenie hodnotiacej správy vrátane syntézy výsledkov vychádzajúcich zo súboru údajov v jednotlivých pasportoch.

V rámci úlohy bolo zaregistrovaných 21 190 svahových deformácií, ktoré porušujú územie s celkovou rozlohou 257 591,2 ha, čo je 5,25 % rozlohy územia SR (Šimeková a Martinčeková et al., 2006).

Atlas máp stability svahov SR v mierke 1 : 50 000 predstavuje ucelené mapové dielo, ktoré hodnotí najrizikovejší geologický činiteľ na Slovensku. Jeho užívateľmi sa okrem širokej odbornej verejnosti môžu stať všetky organizácie zaoberajúce sa prípravou stavieb všetkých druhov. Za jeho hlavný význam a prínos považujeme:

– zjednotenie často rozporuplných údajov o svahových deformáciách z rôznych etáp registrácie,

– doplnenie súčasného Registra zosuvov o nové svahové deformácie,

– vznik komplexného digitalizovaného výstupu o rozmiestnení svahových deformácií, ktorý možno neustále aktualizovať, spresňovať a prakticky využívať,

– získanie cenného a rozsiahleho štatistického súboru, ktorý umožňuje ďalšie podrobnejšie analýzy rozsahu a vplyvu svahových deformácií na našom území.

Zostavené mapy a GIS databáza poskytujú informáciu o stave porušenosti územia v určitom období, a teda je nevyhnutná ich priebežná aktualizácia. Podrobné výsledky úlohy boli prehľadne zhodnotené v článku Kopeckého et al. (2008).

Od Atlasu (2006) po dnešok (2012)

V Atlase máp stability svahov sa skompletizovali nové štatistické údaje o svahových deformáciách na Slovensku. Tieto údaje sa za posledné roky znova významne pozmenili v dôsledku vzniku, resp. aktivizácie mnohých svahových deformácií, ktoré boli riešené v rokoch 2007 až 2012.

Z havarijných zosuvov sú to napr. lokality Prosiek (2008), Stránske (2009), Čadca (2010), Žilina-Hájik (2010), ktoré riešili pracovníci Geotrendu, s. r. o., Žilina, ďalej Podhorie (2007), Žarnovica-Lukavica (2006), Riečka (2006), ktoré riešili pracovníci Envigeo, s. r. o., Banská Bystrica, a mnohé iné.

Rok 2010 bol nazvaný ako „rok havarijných zosuvov“ (Jánová a Liščák, 2011). Podrobnejšie o nich autori informujú v článku, z ktorého vyberáme podstatnú časť.

V dôsledku mimoriadne výdatných zrážok v 1. polovici roka 2010 a povodňovej situácie v mesiacoch máj a jún sa počet svahových deformácií na Slovensku zvýšil o 577 nových, prípadne reaktivizovaných zosuvov s celkovou rozlohou cca 293 ha. Z nich vyše sto ohrozuje životy, zdravie a majetok obyvateľov v postihnutých lokalitách, zvyšné devastujú poľnohospodársku a lesnú pôdu, životné prostredie a ľudské diela.

Hlavnou príčinou vzniku mimoriadne veľkého počtu zosuvov boli predovšetkým dlhotrvajúce dažde počas mája a začiatkom júna, keď sa denné úhrny zrážok pohybovali od 25 do 50 mm na celom území Slovenska, no na severe a východe krajiny dosahovali ojedinele až do 80 mm. Trvalý a výdatný dážď spôsobil výrazné vzostupy hladín takmer vo všetkých vodných tokoch na území Slovenska a následné povodne. Vztlakový účinok rozvodnených tokov a mimoriadne vysoká nasýtenosť hornín vodou po predchádzajúcich dažďoch oslabili svahy horninových masívov náchylných na zosúvanie. Toto oslabenie malo za následok vznik a vývoj rozsiahlych zosuvov, ktoré spôsobili obrovské materiálne škody na majetku obyvateľov, miest a obcí, štátu a súkromných spoločností.

V nadväznosti na vzniknutý stav vyhlásili orgány samosprávy postihnutých obcí a orgány miestnej štátnej správy postihnutých obvodov mimoriadnu situáciu. Najviac postihnutými oblasťami Slovenska boli najmä nasledujúce okresy Prešovského a Košického kraja: Prešov, Stará Ľubovňa, Stropkov, Kežmarok, Bardejov, Svidník, Košice-okolie, Košice-mesto, Trebišov, Rožňava, Spišská Nová Ves a Michalovce. Ojedinele boli zosuvy zaznamenané aj v iných krajoch.

Okrem Nižnej Myšle, kde dňa 4. júna 2010 vznikol svojimi dôsledkami najnepriaznivejší zosuv za posledných 50 rokov, boli zaznamenané rozsiahle zosuvy napr. v Kapušanoch – zosuv Pod hradom, v dvoch lokalitách v Prešove – zosuv na Horárskej ulici a zosuv v štvrti Pod Wilec hôrkou, v Nižnej a Vyšnej Hutke, vo Vyšnom Čaji, Varhaňovciach a inde.

V dôsledku zosuvov bolo silno poškodených 136 rodinných domov, spomedzi ktorých muselo byť 38 zbúraných a 11 nútene opustených. V súčasnosti je v stave permanentného ohrozenia cca 400 pozemných stavieb. Mapovaním a terénnym prieskumom sa zistilo, že porušených bolo 4 232 m úsekov ciest, z toho 27 m ciest I. triedy a 4 205 m ciest II., III. triedy a miestnych komunikácií; 17 846 m úsekov ciest a 364 m úsekov železníc je stále ohrozených.

Ministerstvo životného prostredia SR na vzniknutú situáciu okamžite zareagovalo mobilizáciou inžinierskych geológov zo Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra. Ich úlohou bolo plniť požiadavky „štátnej geologickej služby", t. j. služby pre obyvateľov v oblastiach postihnutých zosuvmi. Geológovia mapovali postihnuté oblasti a poskytovali obyvateľom užitočné rady a návody na vykonanie svojpomocných okamžitých protihavarijných opatrení. Výsledky prieskumných prác boli koncom roka zhodnotené v záverečnej správe „Registrácia, zhodnotenie a protihavarijné opatrenia na novovzniknutých svahových deformáciách v roku 2010 v Prešovskom a Košickom kraji" a následne v publikácii Liščáka et al. (2010). Záverečná správa obsahuje – okrem iného – pasportizačné listy všetkých zmapovaných zosuvov so základnými informáciami o každom z nich. Zdokumentované svahové deformácie na území SR sú uložené v registri Geofondu Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave a v digitálnej forme na mapovom serveri ŠGÚDŠ na webovej stránke www.geology.sk.

Vzhľadom na vážnosť situácie mimoriadna pozornosť bola venovaná zosuvu v obci Nižná Myšľa. Poškodil 45 domov, z ktorých 32 malo úplne narušenú statiku a muselo byť zbúraných.

Porušené boli tiež inžinierske siete – vodovod, plynovod, kanalizácia a elektrická sieť, čo spôsobilo dočasné vylúčenie obývateľnosti vo viac ako 50 domoch. Evakuovaných bolo 144 osôb. Inžinierskogeologický prieskum „Nižná Myšľa – havarijný zosuv", ktorého výsledkom bol aj ideový návrh sanácie, bol skončený v decembri 2010 (Tometz, 2010). Náklady na sanáciu boli vyčíslené na cca 5 mil. eur.

Významným krokom v riešení vzniknutej situácie bolo mimoriadne vyčlenenie finančných prostriedkov z Environmentálneho fondu na zabezpečenie inžinierskogeologického prieskumu vybraných havarijných zosuvov. Prieskumné práce boli realizované v rekordne krátkom čase, t. j. za dva mesiace. Prostredníctvom geologickej úlohy „Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov vzniknutých v roku 2010" bolo riešených 58 zosuvov v 36 vybraných lokalitách, kde svahové deformácie najviac ohrozovali životy, zdravie a majetok obyvateľov. Prieskum sa realizoval v okresoch Prešov, Stará Ľubovňa, Bardejov, Sabinov, Stropkov, Košice a na ďalších 6 vybraných havarijných zosuvoch Slovenska.

Hlavným cieľom geologickej úlohy bola realizácia orientačného inžinierskogeologického prieskumu so zameraním na zistenie inžinierskogeologických a hydrogeologických pomerov v mieste svahových deformácií, objasnenie príčin vzniku a aktivizácie zosuvov, stanovenie rozsahu, intenzity a charakteru porušenia svahov a stupňa ohrozenia životov a majetku ľudí alebo iných objektov, zistenie stupňa stability na vybraných zosuvoch, uskutočnenie okamžitých protihavarijných opatrení v kritických miestach a ideový návrh sanácie geologického prostredia porušených území.

V rámci riešenia geologickej úlohy boli v mnohých lokalitách realizované okamžité protihavarijné opatrenia, ktoré prispeli k čiastočnému vylepšeniu stability územia. Zhotovitelia jednotlivých častí geologickej úlohy priniesli celý rad nových riešení za účelom zníženia zosuvného rizika porušených svahov (Jánová a Liščák, 2011).

Nasledujúci rok 2011 bol vzhľadom na zaznamenané podmienky (hlavne klimatické), chudobný na vznik, resp. aktivizáciu zosuvov. Ojedinele vznikli, žiaľ, tiež „havarijné" zosuvy, napr. v Krupine a vo Vinohradoch nad Váhom. Riešili ich pracovníci ŠGÚDŠ Bratislava v spolupráci s firmou Envigeo, s. r. o., Banská Bystrica. V oboch prípadoch boli okrem prieskumných prác realizované aj okamžité havarijné opatrenia (Liščák et al., 2011).

Ťažiskovou úlohou, zameranou na hodnotenie svahových pohybov, ktorá sa skončila v roku 2011, bola úloha „Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších oblastiach flyšového pásma v M 1 : 10 000" (Grman et al., 2011). Úlohu realizovala v rokoch 2006 až 2011 spoločnosť GeoSlovakia, s. r. o., Košice (D. Grman a kolektív) v spolupráci s Geotrend, s. r. o., Žilina (J. Šimeková a kolektív), Katedrou inžinierskej geológie PriF UK v Bratislave (M. Bednarik) a ďalšími.

V týchto rokoch bolo veľké množstvo zosuvov riešených v súvislosti s výstavbou komunikácií D1 (Kopecký et al., 2009, 2010, 2011), D3 (Turček et al., 2011), R1 (Baliak a Janták, 2012) a iných.

Rok 2011 bol síce u nás i vo svete „chudobnejší" na prírodné katastrofy spôsobené svahovými pohybmi, čo sa však týka prírodných katastrof súvisiacich so zemetraseniami (Japonsko, Nový Zéland) a záplavami (Thajsko), bol podľa expertov najhorší v histórii.

Záver

Vo všeobecnosti je širokej odbornej verejnosti známe, že svahové deformácie, hlavne zosuvy, predstavujú taký negatívny fenomén, že sú vo svete zaradené na tretie miesto, po zemetraseniach a povodniach. Je to hlavne kvôli rozsahu vzniknutých škôd, či už priamych, alebo nepriamych. V podmienkach SR je vplyv svahových porúch ešte markantnejší, keď odrátame zanedbateľné účinky zemetrasení.

Z doterajších štúdií uvedenej problematiky, ktoré sa začali rozvíjať po „katastrofálnom zosuve" v Handlovej, vyplýva, že svahové pohyby a ich výsledné formy (svahové deformácie) negatívne vplývajú na stavebnú činnosť všetkých druhov a na pôdny a lesný fond.

Rozsah a charakter tohto príspevku neumožňuje podrobne uviesť všetky práce vykonané v rámci týchto štúdií od handlovského zosuvu po dnešok. Na prácach sa podieľalo veľké množstvo riešiteľských kolektívov, ktoré často vzájomne spolupracovali aj na medzinárodnej úrovni. Mnohí riešitelia nám ochotne poskytli podklady pre tento príspevok, za čo im aj touto cestou patrí vďaka.

V príspevku sme priblížili jednotlivé etapy výskumu a prieskumu svahových pohybov na Slovensku, niektoré dosiahnuté výsledky, ktoré sú porovnateľné so svetovými, vďaka čomu patríme k „zosuvárskej" krajine. Za posledných 50 rokov sa u nás vybudovali kvalitné zosuvárske kolektívy s riešiteľmi rôznych vekových kategórií. Tento fakt zaručuje úspešné štúdium svahových pohybov, resp. deformácií, aj do ďalekej budúcnosti.

Poďakovanie. Za poskytnutie informácií o riešených úlohách s problematikou svahových pohybov ďakujeme kolektívom autorov zo ŠGÚDŠ Bratislava; zo SvF ŽU v Žiline; ďalej spoločnostiam Geotrend, s. r. o., Žilina a Envigeo, s. r. o., Banská Bystrica. Príspevok vznikol ako súčasť riešenia grantovej úlohy VEGA č. 1/0944/11.

References

Andor, L., 1978: Svahové poruchy v oblasti Karpatského flyša. Rigorózna práca. *Bratislava, PriF UK.*

Andor, L., & Spusta, P., 1996: Koncepcia geologického výskumu a prieskumu zosuvnej problematiky a jej zapezpečenie v Slovenskej republike. *In: Zbor. referátov z konferencie Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku. MŽP SR, GS SR, SAIG, Nitrianske Rudno, 19 – 24.*

Baliak, F., 1978: Svahové poruchy v mezozoiku vysokých pohorí Slovenských Karpát. [Kandidátska dizertačná práca.] *Bratislava, Slov. vysoká škola technická, Stavebná fakulta, 116 s.*

Baliak, F., & Janták, V., 2012: Zosuvy na trase R1 Nitra západ – Tekovské Nemce. *In: Zbor. z konferencie Geotechnika 2012. Geotechnics (v tlači).*

Buroš, J., Nemčok, A., Pašek, J., Rybář, J., & Fencl, J., 1961: Správa o inžinierskogeologickom mapovaní v Handlovskej kotline. *Manuskript. Bratislava, archív Geofond, 85 s.*

Grman, D., Žec, B., Polaščinová, E., Bozsáková, M., Šimeková, J., Páleník, M., Smolka, J., Sluka, V., Smolka, M., & Bednarik, M., et al., 2011: Inžinierskogeologické mapovanie v najohrozenejších územiach flyšového pásma v M 1 : 10 000, orientačný IG prieskum. Záverečná správa, mapové výstupy v M 1 : 10 000. *Manuskript. Bratislava, archív Geofond.*

Ingár, K., & Wagner, P., 2004: Analýza vzniku, vývoja a súčasného stavu katastrofálneho handlovského zosuvu z rokov 1960/1961. *Bratislava, Miner. Slov., 36, 2, 119 –128.*

Jánová, V., & Liščák, P., 2011: Slovensko 2010: Rok havarijných zosuvov. Živelné pohromy. *Banská Bystrica, SAŽP, Enviromagazín, 1, 20 – 21.*

Klukanová, A., 1998: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. *In: Zbor. ref. z 1. konf. Geológia a životné prostredie. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 123 – 125.*

Klukanová, A., 2002: Čiastkový monitorovací systém Geologické faktory ako súčasť monitorovacieho systému životného prostredia SR. *Geol. Práce, Spr., 106, 9 – 14.*

Klukanová, A., Spišák, Z., Petro, Ľ., Kováčik, M., Matula, M., Hrašna, M., Ondrášik, R., Iglárová, Ľ., Jánová, V., Kováčiková, M., & Frankovská, J., 1995: Smernica na zostavenie inžinierskogeologických máp geofaktorov životného prostredia. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 20 s.*

Kolektív autorov, 1973: Zborník zo seminára Inžinierskogeologický prieskum stability svahov – metódy jej zabezpečovania. SVTS Košice, Katedra geotechniky SvF SVŠT Bratislava.

Kolektív autorov, 1977: Sympózium Landslides and other Mass Movements. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Praha, 16, 256.

Kolektív autorov, 1996: Zborník referátov z konferencie Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku. MŽP SR, OÚŽP Prievidza, GS SR, SAIG, Nitrianske Rudno, 186 s.

Kopecký, M., Ondrášik, M., Martinčeková, T., & Šimeková, J., 2008: Atlas zosuvov. *MŽP SR, SA ŽP Bratislava, Enviromagazín, 13, 8 – 9.*

Kopecký, M., 2009: Zosuvy na trase diaľnice D1 na Slovensku. *In: Zbor. 1. český národní inženýrskogeologický kongres. Ostrava, 85 – 88.*

Kopecký, M., & Ondrášik, M., 2009: The most outstanding landslides in the D1 highway trajectory in Slovakia. *In: Proc. 17th Conference on Engineering Geology. Hochschule Zittau/Görling, 91 – 95.*

Kopecký, M., & Ondrášik, M., 2010: Landslides in the route of designed highway D1 in the area of Inner Carpathian Flysch Belt. *In: Zbor. z konferencie XIVth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering. Bratislava, ISBN 978-80-227-3279-6, 6 p.*

Kopecký, M., 2011: Príprava, výstavba a prevádzka diaľnice D1 v zosuvných územiach. *In: Zbor. prednášok z medzinárodnej vedeckej konferencie CONECO 2011.ISBN 978-80-277-3469-1, 382 – 389.*

Košťák, B., 1979: Měření svahových deformací. *In: Inžiniersko-geologické štúdium horninového prostredia a geodynamických procesov. Bratislava, Veda, Vyd. Slov. Akad. Vied, 191 – 200.*

Kuchár, Š., & Malgot, J., 1973: Sanačné opatrenia v Handlovskej kotline. *In: Zbor. zo seminára Inžinierskogeologický prieskum stability svahov – metódy jej zabezpečovania. SVTS – DT Košice, KGTE SvF SVŠT Bratislava, Vrátna dolina, 1 – 16.*

Liščák, P., Pauditš, P., Petro, Ľ., Iglárová, Ľ., Ondrejka, P., Dananaj, I., Brček, M., Baráth, I., Vlačiky, M., Németh, Z., Záhorová, Ľ., Antalík, M., Repčiak, M., & Drotár, D., 2010: Registration and evaluation of newly evolved slope failures in 2010 in Prešov and Košice regions. *Bratislava, Miner. Slov., 42, 2, 393 – 406.*

Liščák, P., Ondrejka, P., Brček, M., Dananaj, I., Pauditš, P., Baráth, I., Iglárová, Ľ., & Melicherčík, J., 2011: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Krupina, 01-11. Záverečná správa geologickej úlohy. *Bratislava, MŽP SR, ŠGÚDŠ.*

Mahr, T., 1976: Svahové poruchy v kryštaliniku vysokých pohorí slovenských Karpát. [Kandidátska dizertačná práca.] *Bratislava, PriF UK.*

Malgot, J., 1969: Vývoj zosuvných území na okrajoch vulkanických pohorí Slovenska. [Kandidátska dizertačná práca.] *Bratislava, Stavebná fakulta SVŠT, 167 s.*

Malgot, J., Baliak, F., Čabalová, D., Mahr, T., & Nemčok, A., 1973: Inžinierskogeologické mapovanie Handlovskej kotliny. *Bratislava, Stavebná fakulta SVŠT, 131 s.*

Malgot, J., Baliak, F., & Mahr, T., 1985: Ťažba uhlia v handlovskom ložisku a stabilita svahov Vtáčnika. *In: Zbor. prednášok z konferencie Geotechnické problémy ťažby uhlia a urbanistického rozvoja Hornej Nitry. BS ČSUTS, SGÚ Bratislava, Nitrianske Rudno, 121 – 131.*

Malgot, J., Otepka, J., & Šarík, I., 1985: Inžinierskogeologické pomery Hornej Nitry. *In: Zbor. prednášok z konferencie Geotechnické problémy ťažby uhlia a urbanistického rozvoja Hornej Nitry. BS ČSUTS, SGÚ Bratislava, Nitrianske Rudno, 4 – 22.*

Malgot, J., & Baliak, F., 1996: Inžinierskogeologické podmienky Handlovskej kotliny a súčasný stav stability územia. *In: Zbor. referátov z konferencie Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku. MŽP SR, GS SR, SAIG, Nitrianske Rudno, 30 – 35.*

Matula, M., Nemčok, A., Pašek, J., Řepka, A., & Špůrek, M., 1963: Sesuvná území ČSSR. Souhrnná závěrečná zpráva. *Praha, archív Ústřední ústav geologický, 55 s.*

Modlitba, I., & Klukanová, A., 1996: Výsledky registrácie a pasportizácie zosuvných území na Slovensku. *In: Zbor. referátov z konferencie Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku. MŽP SR, GS SR, SAIG, Nitrianske Rudno, 14 – 18.*

Müller, K., 1979: Geofyzikální měření při výskumu svahových deformací. *In: Inžinierskogeologické štúdium horninového prostredia a geodynamických procesov. Bratislava, Veda, Vyd. Slov. Akad. Vied, 219 – 232.*

Nemčok, A., 1970: Svahové pohyby v slovenských Karpatoch. *Manuskript. Bratislava, archív Katedra geotechniky SVŠT, 200 s.*

Nemčok, A., 1982: Zosuvy v slovenských Karpatoch. *Bratislava, Veda, Vyd. Slov. Akad. Vied, 319 s.*

Nemčok, A., & Rybář, J., 1969: Synoptic map of Czechoslovak landslide areas. *Praha, Geol. ústav Čs. akad. věd.*

Nemčok, A., et al., 1973: Slovensko – oblasť vysokých pohorí, systematický výskum svahových deformácií, štátna výskumná úloha. Čiastková správa. *Bratislava, SVŠT.*

Nemčok, A., Pašek, J., & Rybář, J., 1974: Dělení svahových pohybů. *Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., Praha.*

Nemčok, A., Baliak, F., Mahr, T., & Malgot, J., 1977: Svahové pohyby v neovulkanických pohoriach Slovenska, etapová správa. Názov úlohy: Zákonitosti svahových deformácií v rôznych geologických štruktúrach Slovenska. *Bratislava, Stavebná fakulta SVŠT.*

Nemčok, A., Baliak, F., Mahr, T., & Malgot, J., 1979: Svahové pohyby v karpatskom flyši na Slovensku. Štátna výskumná úloha II-4-8/5. *Bratislava, archív Geofond, 67 s.*

Slivovský, M., Bitterer, L., & Fekeč, J., 1979: Geodetické a fotogrametrické merania svahových pohybov. *In: Inžinierskogeologické štúdium horninového prostredia a geodynamických procesov. Bratislava, Veda, Vyd. Slov. Akad. Vied, 201 – 218.*

Šimeková, J., & Martinčeková, T., et al., 2006: Atlas máp stability svahov SR M 1 : 50 000. Záverečná správa. *Bratislava, MŽP SR, 155 s.*

Tometz, L., Blišťan, P., Harabinová, S., Leššo, J., Nyárhidy, J., & Turovský, F., 2010: Nižná Myšľa – havarijný zosuv, inžinierskogeologický prieskum. *Manuskript. GEOTON, s. r. o., Košice, 59 s.*

Turček, P., Kopecký, M., Hulla, J., Ravinger, R., & Súľovská, M., 2011: Geotechnické riziká a preventívne sanačné opatrenia na úseku diaľnice D3 Svrčinovec – Skalité. *In: Geotechnické problémy líniových stavieb. 10. Slovenská geotechnická konferencia s medzinárodnou účasťou. Bratislava, STU, 264 – 275.*

Vlčko, J., Wagner, P., Ondrášik, R., & Janský, L., 2008: Landslide hazard strategies in Slovakia. *Proceedings of the First World Landslide Forum. Tokyo, United Nations University, 639 – 642.*

Wagner, P., 2008: Katastrofálny handlovský zosuv z rokov 1960 – 1961. *Bratislava, ŠGÚDŠ.* (http://www.geology.sk)

Záruba, O., & Mencl, J., 1969: Sesuvy a zabezpečování svahů. *Academia, Praha, 221 s.*

Rukopis doručený 15. 4. 2012
Revidovaná verzia doručená 23. 4. 2012
Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012

50 years after catastrophic landslide in Handlová (Slovakia)

Slope deformations, especially landslides represent such a negative phenomenon, that it is in the world scale on the third place after the earthquakes and floods in term of its extent of direct or indirect damages. In Slovakia we can exclude negligible earthquake activities, so the impact of landslides is more noticeable. Catastrophic landslide in Handlová (1960–1961) is still considered to be the greatest natural disaster caused by slope movement in Slovakia. Origin, development and consequences of this landslide became an impulse for the statewide registration of landslides in the country. It was obvious, that in certain geological structures in Slovakia, slope movements may activate. However the consequences to the area due to the landslides were monitored rarely. Specialists and responsible state officials realized, that the evaluation of the slope stability is an essential part of urban planning and technical projects in development of individual regions. Since that time a systematic study of slope movements was initiated and general registration of slope deformations has started. This statewide project was gradually changed into evaluation of important landslide areas, in urban districts, which attracted investment interests. The longtime investigation and research has resulted into the Atlas of slope stability maps of Slovak Republic at a scale 1 : 50 000 (1997–2006). This unique geological project includes 132 map sheets compiled by method of engineering geological zoning and covers the whole territory of Slovakia. Totally 21 190 slope deformations with the area of 2 575,912 km^2 were registered in the Atlas. The area damaged by the slope deformations takes 5.25 % of the total area of Slovak Republic. Despite continuous systematic research and investigation of slope movements, unforeseen cases of catastrophic landslides occurred. Although the Atlas has been available since 2007, the public interest in its results came after 2010, the year called also "the year of emergency landslides". The year was characteristic by catastrophic landslides in villages Nižná Myšľa, Kapušany and many others. The landslides were activated or reactivated by a precipitation anomaly during 2010 and their activation was often supported by human interference. These landslides had to be solved immediately and the obtained data are used to expand the database of systematic research.

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 131 – 140
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Assessment of selected active landslides in Slovakia in 2011

ĽUBOMÍR PETRO[1], PAVEL LIŠČÁK[2] and PETER ONDREJKA[2]

[1]State Geological Institute of Dionýz Štúr, Jesenského 8, SK-040 22 Košice, Slovak Republic;
lubomir.petro@geology.sk
[2]State Geological Institute of Dionýz Štúr, Mlynská dolina 1, SK-817 04 Bratislava,
Slovak Republic

Abstract

Slope failures, especially landslides, represent one of the most important geodynamic phenomena in the Slovak Republic. The 21 190 slope deformations registered up to now cover 2 575.912 km^2 which correspond to 5.25 % of the total area of Slovakian territory. A lot of new slope failures evolved after heavy rainfalls in the year 2010. Their total number in the Eastern Slovakia achieved 577. According to socio-economic significance of the slope deformations about 138 of them were designated for engineering geological investigation. The investigation of 38 sites was performed up to the end of 2010. About 22 landslides which threatened and damaged housing estates or other buildings, infrastructure as well as safety and health of citizens were reported by the mayors of villages. The contribution evaluates three selected slide sites (Ruská Nová Ves, Kojšov and Vinohrady nad Váhom) from the point of engineering geological conditions, main causes of landslides generation and presents their basic characteristics. Based on this evaluation the investigation and remediation works are designed.

Key words: hazardous landslides, inventory, assessment

Introduction

Slope deformations represent one of the most significant geodynamic phenomena in the territory of the Slovak Republic. Their total number so far detected, achieves 21 190 (Kopecký et al., 2008). Summary area of these deformations reaches 2 575.912 km^2, representing 5.25 % area of Slovakia. From the point of view of basic types of slope movements (Nemčok et al., 1974), the sliding dominates (landslides of various types), which prevails over creep (e.g. block failures) and rock-fall.

Annually, the landslides not only threaten, but also damage the agricultural land and grown crops, the built-up territories and buildings of every type. In addition to the direct damage to property, they hamper also the economic activities. Indirect damage shall include the costs of the investigation and exploration of sliding slopes, damaged objects, land, crops, river beds, etc. In some cases they even threaten the health and lives of people. Such a situation occurred in 2010. As a result of extreme rainfall, which in May and June of that year exceeded the mean values on more than four times (Pecho et al., 2010), there were generated catastrophic floods and a large number of slope deformations, landslides in particular. Total number of registered and documented slope deformations in 2010 in Eastern Slovakia reached 551 (Liščák et al., 2010; along with the landslides in the city of Košice and Nižná Myšľa this number reached 577). Up to 127 of them were marked with high (3) or very high (4) socio-economic relevance (according to Marzocchi et al., 2009). The total damage caused by these landslides can be estimated at several tens of million EURO. Of all there should be mentioned the landslides in Nižná Myšľa and Kapušany. Only the legendary landslide in Handlová (the years 1960–1961) was more severe than the landslide in Nižná Myšľa in our modern history. In Myšľa the landslide destroyed dozens of family houses, local communications, and engineering networks and still threatens the other residential and farm buildings. As a result of serious static damage 39 family houses were demolished, of which 26 were removed. In Kapušany 8 family houses were destructed, 6 of them have already been removed. In both municipalities a building ban had to be declared.

On the basis of the assessment of the socio-economic relevance by the turn of 2010/2011 the first 38 landslide sites were identified by the Ministry of the Environment of the Slovak Republic (MoE SR) for preliminary engineering geological survey (Jánová et al., 2011). The result of the exploration works were remediation proposals to ensure the long-term stability of slopes and to eliminate further damage to property, or threats to the population.

This contribution deals with the assessment of the engineering geological conditions, the main causes of the emergence and the essential characteristics of the active landslides at three selected sites – Ruská Nová Ves, Kojšov and Vinohrady nad Váhom. The result of the evaluation is a draft of exploratory and remedial works. In selected amount, the 22 active landslides evolved or re-activated again in 2011 (Fig. 1), we accounted in particular for the degree of their socio-economic relevance, i.e. the degree

of damage and danger to residential and other objects, as well as to the population, but also the media coverage of the events.

Inventory and assessment of landslides in 2011

In the course of 2011 mayors of municipalities reported 36 landslides to the Ministry of Environment SR, or directly to the State Geological Institute of Dionýz Štúr in Bratislava and Košice (Tab. 1), which jeopardized, or even damaged residential and other buildings, engineering networks and the population. In most cases these were landslides documented in 2010, with the activity re-occurring in the year 2011. The exception were the landslides Babín, Harichovce, Lipovany, Liptovská Štiavnica, Lodno, Stráňavy, Stredné

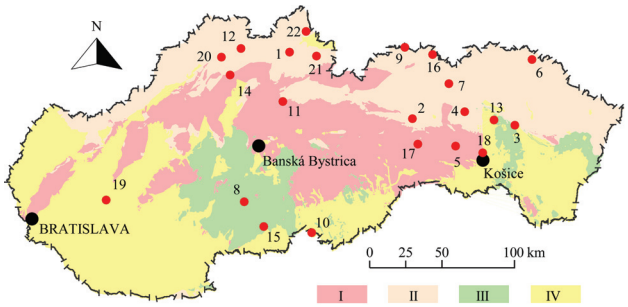


Fig. 1. Situation of landslides registered at the territory of Slovakia in 2011. I – Region of core mountains; II – Region of Carpathian Flysch; III – Region of Neogene volcanites; IV – Region of Neogene tectonic depressions; 1 to 21 – landslide sites (see Tab. 1).

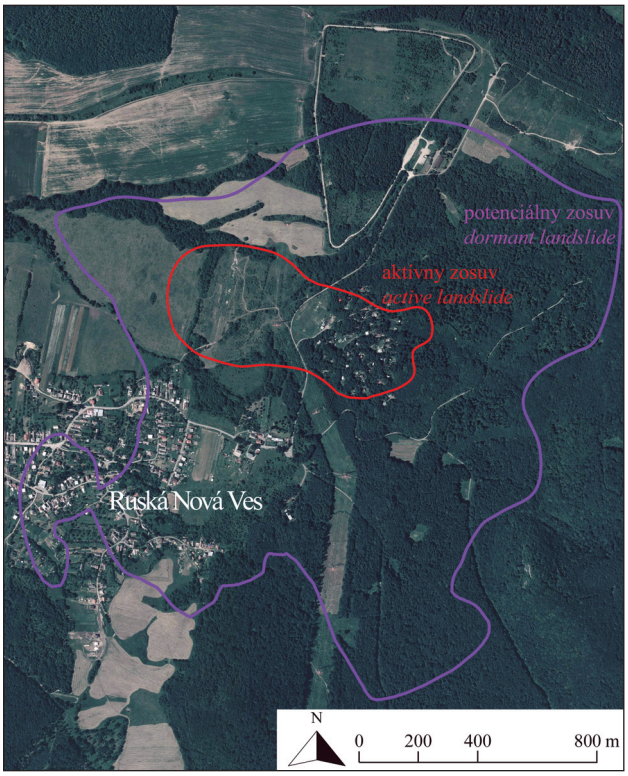


Fig. 2. Situation of landslide evolved in 2010 and re-activated in 2011, Ruská Nová Ves. The active landslide damaged 20 holiday cottages and engineering networks in the local forest-park (No. 13 in Fig. 1). December 2011.

Tab. 1
Review of sites with active landslides occurrence (reported to and assessed) in 2011

Site (Labelled as in Fig. 1)	Reporting date	Reconnaissance date	Registration in the Atlas of Slope Stability SR (Šimeková et al., 2006)
1. Babín	1. 12. 2011 (MoE SR)	9. 12. 2011	no
2. Harichovce	15. 3. 2011 (P. Bajtoš)	29. 3. 2011	no
3. Hlinné	28. 1. 2011 (MoE SR)	7. 2. 2011	no
4. Chminianska Nová Ves	25. 3. 2011 (MoE SR)	15. 4. 2011	no
5. Kojšov	14. 3. 2011 (Citizen)	12. 4. 2011	no
6. Krajná Poľana	9. 3. 2011 (MoE SR)	14. 3. 2011	no
7. Krivany	1. 8. 2011 (MoE SR)	3. 8. 2011	no
8. Krupina	13. 1. 2011 (MoE SR)	14. 1. 2011	no
9. Lesnica	31. 3. 2011 (MoE SR)	31. 3. 2011	no
10. Lipovany (2 landslides)	17. 2. 2011 (MoE SR)	24. 2. 2011	no
11. Liptovská Štiavnica	14. 3. 2011 (MoE SR)	22. 3. 2011	yes
12. Lodno	28. 2. 2011 (MoE SR)	3. 3. 2011	no
13. Ruská Nová Ves	15. 12. 2011 (MoE SR)	20. 12. 2011	yes
14. Stráňavy	28. 2. 2011 (MoE SR)	3. 3. 2011	yes
15. Stredné Plachtince	3. 2. 2011 (Mayor)	9. 2. 2011	no
16. Sulín (9 landslides)	23. 11. 2011 (MoE SR)	9. 12. 2011	no (5 landslides) yes (4 landslides)
17. Švedlár (2 landslides)	9. 3. 2011 (MoE SR)	14. 3. 2011	no
18. Ťahanovce	9. 8. 2011 (RO E Ke)	9. 8. 2011	no
19. Vinohrady nad Váhom (5 landslides)	30. 3. 2011 (Mayor)	28. 4. 2011	yes
20. Vranie	28. 2. 2011 (MoE SR)	3. 3. 2011	yes
21. Zabiedovo	28. 11. 2011 (MoE SR)	–	yes
22. Bobrov	28. 12. 2011 (MoE SR)	–	yes

Note: MoE SR – Ministry of Environment SR; (RO E Ke) – Regional Office of Environment – Košice

Plachtince, Vranie, however, also these were active in the past. All the reported landslides were examined directly at their sites by the ŠGÚDŠ workers, registered and evaluated on the basis of the available information on the geological, geomorphological, hydrogeological, and engineering geological conditions. The main objective of the evaluation was to assess the socio-economic relevance of the sliding sites (category R1-R4), necessity of realization of exploratory works, or their scope and the proposal of remedial measures. In the case of some of the sites there were proposed immediate remedial measures to prevent imminent danger to inhabitants and to eliminate further deterioration of assets (Krajná Poľana, Lesnica, Sulín, Vinohrady, Liptovská Štiavnica, Lipovany, Stredné Plachtince). The reports from the inventory were drawn up separately for each of the landslide site (the number of landslides at some of the sites was 2, 5 or even 9) and sent to the Section of Geology and Natural Resources MoE SR and at the same time to the mayors of the respective municipalities. Besides the GNSS devices also the orthophotomaps from free version of the Google Earth 6.2 (Figs. 2, 6 and 9) were used to visualize the location of landslides.

Site Ruská Nová Ves

The active landslide is located northeast of the Ruská Nová Ves Village (Fig. 2). It evolved after excessive precipitation in May and June 2010. However, it had not been reported as an emergency landslide, therefore it did not get into the MoE SR database of 2010 and was not assessed, nor its socio-economic relevance. The result of ongoing slide activity in 2011 were several residential buildings damaged along with over 20 holiday cottages, access roads, playground, engineering networks (water and electrical connections), wells, hedges, forest cover etc. In the active landslide there is also the recently built VHV mast (Very High Voltage – 400 KV – Fig. 3). The static damage of several huts has been evaluated as serious (Fig. 4). One cottage had to be even demolished (Fig. 5). The seriousness of the situation asked for a site stability analysis (Spišák et al., 2011). Due to the high material damage, but also out of concern about the threat to the security of the inhabitants (6 buildings are permanently inhabited), on 16. 12. 2011 the mayor declared in the village the emergency situation. The Section of Geology and Natural Resources MoE SR entrusted the State Geological Institute of D. Štúr (15. 12. 2011) to carry out a comprehensive engineering geological assessment of the site. The assessment consisted of reconnaissance of the landslide territory, the archive study (Petro et al., 1984; Šimeková et al., 2006) and the mentioned site stability analysis.

Geomorphological and hydrogeological conditions

In the sense of a geomorphological subdivision (Mazúr et al., 1986), the territory belongs to the subunit Šimonka, which is a component of the unit Slanské vrchy Mts. The

Fig. 4. Static breach of the cottage in the forest-park near Ruská Nová Ves. Photo Ľ. Petro, December 2011.

Fig. 3. Jeopardized VHV mast (400 kV) erected in 2011, located in the transportation part of the active landslide. Photo Ľ. Petro, December 2011.

Fig. 5. The remnants of the cottage demolished due to serious damage by landslide in the forest-park near Ruská Nová Ves. Photo Ľ. Petro, December 2011.

landslide territory is located at the foot of the volcanic mountain range, its northwestern part. Its surface is rough and ragged, marked by numerous elevations and depressions. The head scarps of the landslides reach the volcanites margin. Some depressions are wetlands; others have the character of occasional pools of smaller dimensions. Frequent presence of long and deep-incised gullies testifies to the ongoing indepth erosion by local creeks. Činaloš creek with its left tributary flows directly through the landslide territory. Water in the slope originates both from the rainfall, as well as numerous nearby springs. These occur mostly at the contact of Neogene, or Quaternary sediments with volcanites. The natural drainage of the territory takes place through a network of creeks, which finally mouth into Sekčov, the left inflow of the Torysa river. The annual precipitation total at this site reaches around 700 mm (Faško and Šťastný in Miklós et al., 2002).

Geological setting

In the geological structure of the landslide territory there are involved marine clays and claystones, locally the calcareous and silty ones, of green-grey and grey colours. Karoli (in Kaličiak et al., 1991) ranked them in the Mirkovce Formation (the Early and Middle Badenian). At the surface these sediments are of the clay character of green-shaded colour and they often contain calcareous nodules. They represent a fossil weathering crust reaching a thickness of 1–3 m. From the statistical evaluation of hundreds of samples, it is obvious that high plastic clays of firm consistency dominate (Petro et al., 1984). They are overlain by coluvial (deluvial) sediments; their thickness verified by boreholes and trial pits attains 1–12 m. From the granulometry point of view they are clayey-stony deposits with variable content of the sharp-edged fragments (at places stones and boulders) of andesites (16–66 %). The clays are medium and high-plastic (Petro et al., 1984).

Landslide characteristics

The active landslide is a component of an extensive landslide territory in the vicinity of Ruská Nová Ves, which was identified in the framework of a detailed (1 : 10 000) engineering geological research in the early 1980s (Petro et al., 1984). This wider area of a potential landslide reaches the dimensions of approximately 1 900 (length) x 1 800 m (width) (Fig. 2). The depth of the basal slide surface was verified in 12–15 m (occasionally up to 20 m) below the surface. The main scarp reaches to the flanks of the volcanic massif, where sudden change of a dip (from 6° to 15°) takes place at the contact of volcanic and sedimentary rocks. The height of the main scarp reaches 5–8 m. The active landslide, located in the central part of the potential landslide (sites Ľadová and Kamence) attains 850 (length) x 380 (width) m; total area affected by sliding is 117 619 m^2. The landslide occurred after extreme precipitation in May and June 2010 and the manifestations of its activity have persisted up to the present. From the North and South, the landslide is limited by erosion gullies; three creeks are incised in the landslide body. The head wall reaches a height of 0.7–1.5 m. The middle (transportation) part is wavy, bumpy and rugged, with numerous elevations and depressions, wetlands and even one small lake. The front end is less distinct and gradually fades out on the slope. On the basis of morphological manifestations we assume the course of the slip plane at a depth of 6–8 m.

Cause of landslide generation

The extreme rainfall in the year 2010 can be regarded as the main cause of the formation of the landslide. The monthly rainfall totals reached in the vicinity of Ruská Nová Ves in May 251–275 mm and in June 141–160 mm (Pecho et al., 2010). The overall stability of the slope is significantly degraded by surface water derived from precipitation and local springs; this penetrates downward and saturates the zone of slip plane. The water not only deteriorates the strength properties of the soil, but it generates also the buoyancy effect. The surcharge of the slope by buildings (cottages and inhabited houses), inappropriate interventions in the slope (unsecured cuts) and the absence of drainage system for water tapped from roofs of buildings also detract the overall stability of the slope.

Prevention against sliding

The measures to stabilize the sliding slope were designed in the scope of the site assessment drawn up by the end of 2011 (Spišák et al., 2011) and they included:

– removal of artificial small lake situated within the landslide body at one of the holiday cottages;

– elimination of infiltration of water from roofs and paved areas into basement, realized through a conduction of the water tapped into the erosion gullies at the edge of the landslide body;

– cleaning up the deeper erosion gullies in order to ensure the drainage of surface water;

– adjustment of slope in the main scarp area of the active landslide, i.e. the backfill of open fractures and alleviation of the slope angle.

It should be noted that the final design of remediation will pursue the results of implemented engineering geological survey which should include drilling, reaching up below the basal slip plane (minimum 15 m), laboratory tests of soils and slope stability calculation in one or two profiles.

Locality Kojšov

This landslide evolved in 2006 and was activated after extreme precipitation in May and June 2010. Whereas it had not been reported as an emergency landslide, therefore it did not get into the MoE SR database of 2010. It was the owner of the family house (No. 274) who announced the landslide to the workers of ŠGÚDŠ in Košice on 14/03/2011. A survey of the landslide was carried out guided with the mayor of the municipality on 12/04/2011. The landslide territory is located at the eastern outskirts of Kojšov (Fig. 6)

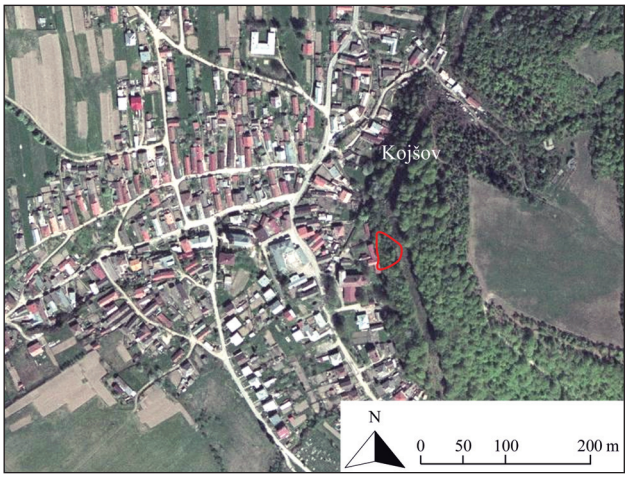


Fig. 6. Situation of landslide evolved in 2010 and re-activated in 2011 at the eastern ouskirts of the Kojšov Village (No. 5 in Fig. 1).

on the west slope. The landslide lobe heavily damaged the rear wall on the slope edge and the roof of the family house No. 275 (Fig. 7a, b). Serious static breach of the house required the construction of a wooden supporting structure in order to prevent further damage (Fig. 8). The owner of the house removed the accumulated soil from and partly beneath the roof and uncovered the uppermost part of the rear wall. In addition, he dug out a shallow ditch in order to conduct away the water seeping out from the slope. Despite these efforts these immediate remedial measures cannot be regarded as sufficient. Due to the geological structure and the nature of the terrain not only the house No. 275 is still threatened, but also the house located to the north of it (No. 274).

Geomorphological and hydrogeological conditions

The site is located in the eastern part of the Volovské vrchy Mts. According to Mazúr et al. (1986) it belongs to the unit of Kojšovská hoľa. The territory is situated on the right slope of the Kojšovský potok brook valley, which drains the whole area. The morphology is very uneven, partly obscured by the forest cover. Annual precipitation at this site reaches around 800–900 mm (Faško and Šťastný in Miklós et al., 2002).

Geological setting

The sliding slope behind the family house No. 275 is built of grey and grey-green chlorite-sericite phyllites, eventually with intercalations of graphite-sericite phyllites, and fine-granular basaltic metamorphosed pyroclastics, which are affiliated to the Prakovce Member of the Smolník Formation of the Gelnica Group (Grecula et al., 2009). The rocks are schistose, weathered and at the surface strongly deteriorated into sharp-edged fragments. The fragments reach even the size of boulders (>200 mm), which use to fall off the slope. The phyllites are overlain by clayey-stony deluvial sediments of a thickness of 0.5 – 1.5 m. Two wet spots occur in the slope, indicating groundwater seeping out of the massif. The water flowing downslope gets below the foundations of the family house despite the interim surface ditch (Fig. 7b).

Landslide characterisitics

The landslide territory is located on a quite steep (15°) and partially wooded slope. The landslide can be characterized as equidimensional with shallow (about 1.5–2.0 m b.s.) course of composite slip plane. Its dimensions are 40 (width) x 30 m (length). Mobilized are the slope clayey-stony sediments along with the weathered phyllites. Larger pieces of rocks (stones and boulders) fall out sporadically of the slope and roll downslope. The main scarp is uneven and has a height of 1.0–2.0 m. Above it there is the overhead electrical wire. The middle transportation part is uneven, dissected and at places the slip plane is exposed (Fig. 7a, b). The original lobe of the landslide, which reposed on the family house No. 275 and damaged it, was partially excavated away by the owner. In two spots groundwater seepage has been identified, which contributes to the instability of the entire slope.

Fig. 7a, b. Views of the active landslide and damaged family house No. 275 in Kojšov. Photo Ľ. Petro, April 2011.

The morphology above the main scarp of the landslide has the nature of the depression and this is the infiltration contributing area through which the precipitation infiltrates the rock mass.

Cause of landslide generation

As the main cause of the landslide reactivation we consider the extreme rainfall in May (>300 mm) and June (>200 mm) of 2010 (Pecho et al., 2010). Among the other natural causes there should be noted the underground water (two spots with groundwater seepage), which act as uplift force and, at the same time, it weakens the soil bonds and the overall stability of the slope. During heavy rains the depression above the main scarp conducts the collected water directly towards the landslide. Among the anthropogenic causes we have to mention in particular the undercutting of the slope foothills and deforestation of the slope due to the high voltage wiring installation.

Prevention against sliding

In view of the persistent real threat to family house No. 275 and the safety and health of its inhabitants, it is necessary to implement as soon as possible the rehabilitation of the landslide slope. We would propose the following measures:

1. The adjustment of the slope and the removal of dangerous overhangs in the upper part of the main scarp along with removal of projecting and released boulders.

2. Excavation of a deep ditch (at least at the level of 30 cm below the surface of the base), 80–100 cm wide in the bottom part and approx 60 cm in the upper part, at least 60 cm from the family house. The excavated ditch should be left open as short as possible. In the case of rain, it is necessary to prevent the inflow of water into it.

3. Building up (in the excavated ditch) a revetment wall made of crushed stone, which should protrude at least 1 m above the bottom of the roof. The slope of the revetment wall should be around 80° tending into the slope. Behind the wall at the level of its base there should be placed a drain tube (diameter at least 100 mm) within gravel packing. In the body of the revetment wall the lateral drainage pipes of a diameter about 50–60 mm should be installed at a distance of about 1.5–2 m.

4. The incorporation of about 1 m high fence of thick metal mesh into the top of the revetment wall, which would collect the falling stones and fragments.

5. Excavation of about 50 cm deep drainage ditch for conduction of surface water off the landslide body and family houses, about 15 above the head scarp of the slip. In order to avoid the water infiltration into the slope, it should be paved with prefabricated or polyethylene elements.

6. Afforestation or grassing of the slope.

7. Ban of wood-cutting on the slope in the wider vicinity of the landslide.

Final remediation work should be carried out under the supervision of an experienced expert, and supported by the results of a quite simple engineering geological survey, which would include verification of the groundwater depth in slope and the determination of the physico-mechanical properties of the soils.

Fig. 8. Landslide-generated static breach of the rear wall of the family house No. 275 in Kojšov. Photo by homeowner, April 2011.

Site Vinohrady nad Váhom

Re-activated landslides in the Vinohrady nad Váhom again are components of a wider landslide territory between Hlohovec and Sereď. This 18 km long strip of landslides is known especially thanks to the extensive engineering geological survey in connection with the projected Water Works Sereď – Hlohovec (Otepka et al., 1983).

Geological setting

From the geological point of view the wider territory is built of Neogene sediments (Pliocene), which are covered by Quaternary deposits of different thicknesses. The Neogene layers of clays and sands (Dacian – Romanian)

Tab. 2
Registration of landslide territories in Vinohrady nad Váhom

No. *	Slide territory	Width [m]	Length [m]	Area [m^2]
1	Paradič	47.00	21.00	801.13
2	Kamenica	136.00	39.00	4 353.42
3	Pomorová	55.40	42.30	1 685.23
4	Pri Kate	31.70	18.00	445.55
5	Pográň	58.00	90.00	4 114.46

* – labelling in Fig. 9

Fig. 9. Re-activated landslides of the year 2011 in the local parts of the village Vinohrady nad Váhom. (No. 19 in Fig. 1). 1 – Paradič; 2 – Kamenica; 3 – Pomorová; 4 – pri Kate; 5 – Pograň.

achieved several meters of thickness with an abundance of sandstone, sporadically conglomerate horizons (Otepka et al., 1983). From the point of view of slope stability, Nemčok (1982) characterizes the alternation of impervious clays and water-bearing sands as a structure suitable for the development of slope failures. The concentration of water in the more pervious sandy layers creates horizons with groundwater and the buoyancy force acts against less stable landslide materials. In addition, the territory is dissected tectonically into the series of blocks with different vertical displacement. These upward movements were accompanied during the whole Quaternary period (until now) by the intensive lateral erosion in the peripheral parts of the Nitrianska pahorkatina Upland.

The Quaternary rocks in the landslide territory are represented by fluvial deposits of the Váh river, eolian--deluvial and proluvial sediments (Otepka et al., 1983). The fluvial loams fill the uppermost part of the alluvial plain. They are formed by clayey and sandy deposits of variable thickness. Downwards the sands occur, often even with a gravel. In the elevated territory of the Nitrianska pahorkatina Upland, on eolian-deluvial and deluvial sediments are present, mainly loess and loess-like loams, less eolian sands. The deluvial sediments are incoherent, forming irregular caps with a thickness of 1 to 1.5 metres. In the outlying parts of the alluvial plain, in the areas erosion gullies mouthing proluvial cones have developed.

The landslide material is derived from the Quaternary and Neogene sediment; it has the character of the clay to clayey loam, or the mixture of clayey and sandy material. Its thickness is quite variable in the territory.

The territory is drained by the Váh river, which in this section has had a character of braided river and has created numerous oxbows and levees elevated about 1 to 3 m. The left tributaries are intermittent, and are active in the periods of snow melting and heavy rainfall.

Inventory of landslides

The re-activation of landslides was recorded in the spring months of 2011, when several parts of the municipality of Vinohrady nad Váhom were jeopardized,

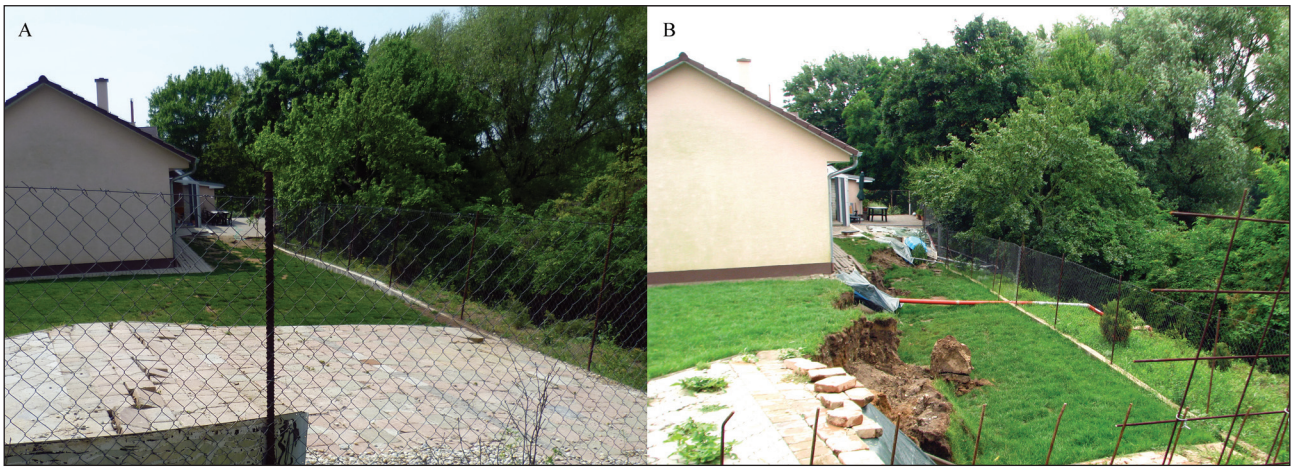


Fig. 10. Family double-house endangered by the landslide in Vinohrady nad Váhom – part Kamenica. A – recorded on 28. April 2011 (Photo M. Bednarik); B – recorded after Declaration of Emergency Situation, 22. June 2011 (Photo P. Ondrejka).

mainly the local communication and the gas piping. In the local part Kamenica, the landslide threatened the family double-house. The communal representation was forced to ask for help the Ministry of the Environment, which in turn (by means of the Section of Geology and Natural Resources) asked the State Geological Institute of Dionýz Štúr to carry out survey, the documentation and geodetic levelling of the five sliding partial territories. A survey was carried out on 28. April 2011.

The landslides in the local parts Paradič, Kamenica, Pomorová, pri Kate and Pográň (Fig. 9) are located on the relatively steep and densely bushed western slopes. The landslide, which developed in the local part of Kamenica (Fig. 10), represents a serious threat to the double-house No. 711/712, whereas the head scarp is located in its immediate vicinity, directly below its north-western wing. In the other areas of the village the local communication was threatened.

For the field mapping, as far as the conditions permitted, we used a GPS device of the GIS category. The dense stands in some parts of the landslide territory hampered the application of this technology. The movement in the ground deteriorated frequent occurrences of wetlands. Thanks to the above facts it was not possible to ensure complete outlines of reactivated landslides. The contours of the affected territory were finalized over ortophotomap documents, thereby making it possible to achieve the required accuracy. The basic characteristics of the registered landslides are listed in Tab. 2.

The landslides in local parts Paradič and Pográň are of flow shape with well developed head scarp 4–5 m high. In the local parts of Pomorová and pri Kate there developed equidimensional landslides with the height of the head scarp around 3 m and relatively short transportation areas. The landslide in the Kamenica area has a character of an extensive slide with locally well developed head scarp and wide-opened lateral fractures. At the time of registration, the southern part of the head scarp reached to the north--west edge of the family double-house No. 711/712. The retrograde development of this disturbance would cause a static breach of the double-house and it has represented a serious threat to other houses, along the street above in slope and also to local communication. A negative omnipresent phenomenon observed in the sliding territories Paradič, Pomorová and Kamenica were surges of groundwater, in particular the head scarp zones. This water flew into uneven morphology of the landslides and fills up the depression and saturated the sliding masses.

The reconnaissance campaign identified the active status of all landslides. On the kinetic activity suggests the presence of open transverse cracks within sliding masses, and their progressive development, as well as frontal lobes with significant deformation of the territory surface.

Cause of landslides generation

According to Otepka et al. (1983) the territory represents the third generation of landslides, which occupy a contiguous strip bounded by the edge of the Nitrianska pahorkatina Upland and alluvial plain of the Váh river. Bednarik in his study (2007) ranked this area to the territory with a very high and high degree of landslide hazard. At this point it should be noted that such territories are especially sensitive to anthropogenic interventions and due to inadequate implementation of construction activities re-activation of fossil or potential landslides takes place.

During the April registration we have concluded, the inappropriately targeted anthropogenic activities were one of the main factors that contribute to the destabilization of the territory. This was in particular the creation of illegal landfills in the areas of head scarps of the potential slope failures. The residents of the village had adopted the ill practice of waste deposition in the vicinity of local communication in order to prevent its destruction. Moreover, in the territory of interest also intensive construction of family houses has taken place. The constructions themselves represent a surcharge to the slope, attenuated by backfilling of the depressions and other earthworks.

Another cause is inappropriate or insufficient drainage of surface and waste waters. In the local part the public sewerage is missing, therefore sewage and draining within the local part Kamenica is dealt individually, usually by means of a cesspit (Dobrovoda, 2010), or low-capacity biological treatment plants. The field reconnaissance, but also the interviewing the local inhabitants, showed that a considerable part of the sewage is discharged directly into the ground through the so-called catch-drains. Similarly, precipitation waters captured from the roofs of existing buildings are also conducted into the underground infiltration. In addition, as the result of previous sliding events the whole environment is fractured; the open cracks represent the preferred paths for infiltrating surface water. This fact allows the saturation of deeper sandy sediments in the earth massif.

Design and realization of remedy measures

In view of the fact that the landslides have threatened the objects with a high socio-economic value, it was necessary to prevent the development of this negative phenomenon by appropriate countermeasures. Part of the report of the reconnaissance has been a proposal of countermeasures in the safe conduction of sewage and precipitation water from existing and future structures. Deflection of the waters was designed in the sub-surface drain utilizing a favourable inclination of the territory to the future treatment plant of waste water. Another countermeasure was intended to minimize the terrain surcharge by fills, or by building further structures in the area of head scarps, or directly within landslides.

After ongoing very adverse development of motion activity there occurred in the part Kamenica the direct threat to the family double-house (Fig. 11) and the serious damage to the road communication. The status of the 22. June requested the Declaration of the Emergency Situation. Subsequently, the Ministry of Environment

Fig. 11. Head scarp of the landslide Pográň with illegal landfill. Photo M. Bednarik, April 2011.

instructed the State Geological Institute of D. Štúr to execute engineering geological survey and immediate emergency countermeasures.

In a very short time in the most affected part of the Kamenica landslide the works were launched aimed at draining the slope (Liščák et al., 2011). With the assistance of the Army of the Slovak Republic 6 surface drainage ditches were manually excavated through the inaccessible terrain reaching a total length of 428 m and a depth of 0.5 m. Through these ditches a substantial part of the waters in the landslide territory was channelled out of the landslide into the alluvial plain deposits of the Váh River.

The biggest problem was the rescue of the family double-house, which is found directly on the head scarp of the landslide. After the implementation of the engineering geological survey there was designed and implemented anchored micro-pile wall (Fig. 12). The groundwater table level was drawn down by subhorizontal drainage borehole V-8 directly below the double-house at a depth of about 7 m.

In the landslide territory there have been designed additional rehabilitation measures, implementation of which is envisaged in the spring months of 2012.

Fig. 12. Remedial works aiming on the rescue of the family double--house No. 711 a 712 (construction of the anchored micro-pile wall). Photo I. Dananaj, June 2011.

Conclusions

In 2011, the State Geological Institute workers registered and surveyed a total of 22 sites with occurrences of sliding, in particular landslides. There were registered brand new landslides, resulting in a given year (sites Lesnica, Chminianska Nová Ves, Krivany, Lipovany), the landslides incurred after extreme rainfall in May and June 2010 and activated in 2011 (sites Ruská Nová Ves, Sulín, Krajná Poľana, Krupina), and landslides with the consistent activity since 2010 (sites Švedlár, Hnilec). Some landslides have been known already for a longer period (Vinohrady), some of them (Vranie) have been even with remedial measures. The common feature of all landslides was a threat to the living and other buildings, infrastructure, population or even the direct material damage (Ruská Nová Ves, Sulín, Kojšov, Vinohrady nad Váhom, Lipovany, Krupina). The threat raised by both mayors of the villages and the residents was communicated to the Section of Geology and Natural Resources MoE SR, which consequently ensured the registration and evaluation of the socio-economic seriousness by the ŠGÚDŠ experts. The most dangerous landslides registered (in category R4), will be inserted into the plan of survey and remediation.

The registration of active landslides in 2011 on our territory has established a number of important facts.

1. Despite the relatively dry year of 2011, more precisely its second half, a number of new landslides evolved and several landslides with motion recorded in the year 2010 have been re-activated again.

2. The main triggering factor of some new landslides was the lateral stream erosion (Lesnica, Krivany, Chminianska Nová Ves, Sulín, Švedlár, Hlinné, Babín). Remediation of these landslides will not be effective without modifying its creeks.

3. The inappropriate anthropogenic activity (surcharge of head scarps, change in the groundwater regimen) has contributed to the process of landslides mobilizing at the sites Vinohrady nad Váhom, Krupina, Babín, Kojšov.

4. From the Tab. 1 there is clear that the majority (21) of registered/assessed landslides is not recorded in the Atlas of Slope Stability SR (Šimeková et al., 2006) as a slide or an area prone (susceptible) to sliding. Based on the inventory results it will be possible to update further the database of existing landslides. Also this fact emphasizes the relevance of ongoing landslide inventory and investigation.

References

Bednarik, M., 2007: Hodnotenie zosuvného rizika pre potreby územnoplánovacej dokumentácie. [Dizertačná práca.] *Bratislava, PriF UK, 130 s.*

Dobrovoda, P., 2010: RD Vinohrady, p. č. 745/2,5 – posúdenie vypúšťania odpadových vôd do podzemnej vody z ČOV (hydrogeologická štúdia). *Manuskript. OÚ Vinohrady nad Váhom, 9 s.*

Grecula, P. (ed.), Kobulský, J., Gazdačko, Ľ., Németh, Z., Hraško, Ľ., Novotný, L., & Maglay, J., 2009: Geologická mapa Spišského rudohoria 1 : 50 000. *Bratislava, Vyd. MŽP SR.*

Jánová, V., Házyová, K., & Liščák, P., 2011: Havarijné zosuvy – stav

a problémy s ich riešením. *In: Frankovská, J. (ed.): Geotechnické problémy líniových stavieb. Zborník vedeckých prác z 10. geotechnickej konferencie s medzinárodnou účasťou, STU Bratislava (30. – 31. 5. 2011). Bratislava, Vyd. STU, 109 – 115. (recenzovaný príspevok)*

Kaličiak, M. (ed.), Baňacký, V., Jacko, S., Janočko, J., Karoli, S., Molnár, J., Petro, Ľ., Spišák, Z., Vozár, J., & Žec, B., 1991: Geologická mapa severnej časti Slanských vrchov a Košickej kotliny v mierke 1 : 50 000. *Bratislava, GÚDŠ, Vyd. D. Štúra.*

Kopecký, M., Martinčeková, T., Šimeková, J., & Ondrášik, M., 2008: Atlas zosuvov – výsledky riešenia geologickej úlohy. *In: Frankovská, J., Liščák, P., & Ondrášik, M. (ed.): Geológia a životné prostredie. Zborník vedeckých prác zo 6. slovenskej konferencie s medzinárodnou účasťou, Bratislava (18. – 19. 9. 2008). Bratislava, ŠGÚDŠ, Vyd. D. Štúra, 105 – 110. (recenzovaný príspevok)*

Liščák, P., Pauditš, P., Petro, Ľ., Iglárová, Ľ., Ondrejka, P., Dananaj, I., Brček, M., Baráth, I., Vlačiky, M., Németh, Z., Záhorová, Ľ., Antalík, M., Repčiak, M., & Drotár, D., 2010: Registration and evaluation of newly evolved slope failures in Prešov and Košice regions in 2010. *Bratislava, Miner. Slov., 42, 4, 393 – 406.*

Liščák, P., Ondrejka, P., Dananaj, I., Gregor, M., Slaninka, I., Brček, M., & Melicherčík, J., 2011: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Vinohrady nad Váhom – časť Kamenica, 13 – 11. *Bratislava, MŽP SR, Št. Geol. Úst. D. Štúra, 48 s.*

Miklós, L. (ed.), et al., 2002: Atlas krajiny Slovenskej republiky. *Bratislava, Vyd. MŽP SR – SA ŽP, 344 s.*

Nemčok, A., 1982: Zosuvy v slovenských Karpatoch. *Bratislava, Veda, Vyd. Slov. Akad. Vied, 319 s.*

Otepka, J., Menzelová, O., Bohyník, J., Mesko, M., Čubríková, E., Roháčiková, A., Škripeková, Ľ., Novotný, P., Čellár, S., Abelovič, J., Čerňanský, J., Kúdela, P., & Bláha, P., 1983: Hlohovec – Sereď, prieskum a sanácia zosuvov. *Manuskript. Bratislava, archív IGHP, 120 s.*

Marzocchi, W., Mastellone, M. L., Di Ruocco, A., Novelli, P., Romeo, E., & Gasparini, P., 2009: Principles of multi-risk assessment. Interaction amongst natural and man-induced risks. *EC, Directorate-General for Research, Environment Directorate.*

Mazúr, E., et al., 1986: Geomorfologické členenie SSR a ČSSR. *Bratislava, Vyd. Slov. kartografia.*

Nemčok, A., Pašek, J., & Rybář, J., 1974: Dělení svahových pohybů. *Sbor. geol. Věd, Ř. HIG, Praha, 77 – 97.*

Pecho, J., Faško, P., Lapin, M., Kajaba, P., Mikulová, K., & Šťastný, P., 2010: Extrémne atmosférické zrážky na jar a na začiatku leta 2010 na Slovensku. *Meteorologický časopis, 13, 69 – 80.*

Petro, Ľ., Spišák, Z., & Polaščinová, E., 1984: Inžinierskogeologická mapa 1 : 10 000, oblasť Solivar. *Manuskript. Košice, archív ŠGÚDŠ, 189 s.*

Spišák, Z., Stercz, M., & Polaščinová, E., 2011: Statické posúdenie lesoparku pri obci Ruská Nová Ves. *Manuskript. Ruská Nová Ves, archív OÚ, 10 s.*

Šimeková, J., Martinčeková, T. (eds.), Abrahám, P., Baliak, F., Caudt, L., Gejdoš, T., Grenčíková, A., Grman, D., Hrašna, M., Jadroň, D., Kopecký, M., Kotrčová, E., Liščák, P., Malgot, J., Masný, M., Mokrá, M., Petro, Ľ., Polaščinová, E., Rusnák, M., Sluka, V., Solčiansky, R., Wanieková, D., Záthurecký, A., & Žabková, E., 2006: Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky 1 : 50 000. *Bratislava, Vyd. MŽP SR, INGEO-IGHP, s. r. o., Žilina.*

Manuscript received 12. 3. 2012
Revised form received 20. 4. 2012
Manuscript accepted by Editorial Board 16. 4. 2012

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 141 – 148
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Hodnotenie výsledkov monitorovacích meraní na zosuvoch

PETER WAGNER, PETER ONDREJKA, DOMINIK BALÍK a ANDREJ ŽILKA

Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava
peter.ondrejka@geology.sk

Evaluation of monitoring measurements results on landslides

Determination of the movement activity of landslides (primarily by the geodetic and inclinometric measurements) is performed in order to verify the slope stability condition and the effectiveness of the corrective measures. Evaluation of measurement results is usually individual and subjective on each landslide site. The regional character of the project Partial Monitoring System of Geological Factors enables to design unified valuation scale, which was based on the absolute values of the displacements and deformations. In regard to up-to-now experience it has been concluded, that evaluation based on the analysis of the entire history of movement activity will be more objective. The paper presents the principles of this new, designed method of evaluation and the examples of comparisons of the obtained and previous results are shown, as well.

Key words: slope movements, monitoring, evaluation of displacements and deformations

Úvod

Merania pohybovej aktivity zosuvných hmôt (predovšetkým geodetické a inklinometrické) sa vykonávajú zvyčajne počas prieskumu, sanácie a určitý časový úsek po skončení sanácie zosuvného územia na overenie aktuálneho stabilitného stavu svahu a účinnosti realizovaných sanačných opatrení. Na základe niekoľkých meraní v určitom časovom slede sa preukazuje trend vývoja pohybovej aktivity a konštatuje sa buď postupné znižovanie veľkosti posunov (deformácií) – čo indikuje úspešnosť vykonanej sanácie, alebo ich ustálenie na rovnakej úrovni, prípadne ich nárast – čo signalizuje nevyhnutnosť realizácie ďalších stabilizačných opatrení.

Vyhodnotenie výsledkov meraní je však v každej zosuvnej lokalite individuálne a ovplyvnené značnou dávkou subjektivity. Až počas riešenia úlohy Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov – ČMS GF (objednávateľom je Ministerstvo životného prostredia SR a zhotoviteľom ŠGÚDŠ – Klukanová a Liščák, 1998) sa riešitelia pokúsili – vzhľadom na celoslovenský, teda regionálny charakter úlohy – o vypracovanie jednotnej hodnotiacej škály meraní, ktorá by umožňovala porovnávať ich výsledky, zistené v rôznych zosuvných lokalitách. Napriek tomu treba zdôrazniť, že namerané hodnoty geodetických a inklinometrických deformácií sú v každej zosuvnej lokalite ovplyvnené viacerými faktormi a ich správne vyhodnotenie si vyžaduje individuálny prístup.

V príspevku najprv opisujeme spôsob hodnotenia meraní na základe jednotnej hodnotiacej škály, ktorý sa používal v predchádzajúcich rokoch. Na základe získaných skúseností sme v roku 2011 navrhli nový spôsob hodnotenia monitorovacích meraní založený na analýze histórie vývoja zaznamenaných posunov a deformácií. Domnievame sa, že viac zohľadňuje špecifiká spôsobu a lokalizácie meraných bodov a v konečnom dôsledku ho možno považovať za výstižnejší a objektívnejší. Príklady porovnania obidvoch spôsobov hodnotenia vybraných bodov zo zosuvnej lokality Veľká Čausa sú uvedené v záverečnej časti príspevku.

Spôsoby hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní

Hodnotenie výsledkov meraní podľa jednotnej kvantitatívnej hodnotiacej škály

Zostavenie kvantitatívnej hodnotiacej škály vychádzalo z presnosti vykonávaných meraní a z nahromadených skúseností a poznatkov o prejavoch aktivity zosuvných hmôt pri určitých hodnotách nameraných posunov a deformácií.

V prípade geodetických meraní sa vychádzalo z presnosti terestrického geodetického merania, vyjadrenej hodnotou dvojnásobku strednej polohovej, resp. výškovej chyby merania (označenej ako σ), ktorej prekročenie vyjadruje 95 %-nú pravdepodobnosť posunu meraného bodu. Vo väčšine lokalít, dlhodobo monitorovaných v rámci riešenia úlohy ČMS GF (napr. v zosuvných lokalitách Veľká Čausa, Fintice, Bojnice, Ľubietová, Hlohovec-Posádka), sa hodnota σ nachádzala na úrovni 20 mm, v lokalite Okoličné pri Liptovskom Mikuláši sa uvažovalo o hodnote 15 mm a, naopak, v lokalite katastrofálneho zosuvu v Handlovej až o hodnote 30 mm.

Pri zostavovaní kvantitatívnej hodnotiacej škály sa za prvý stupeň považovala práve hodnota σ (t. j. do prvého stupňa boli zaradené všetky namerané zmeny, ktoré

hodnotu σ nepresiahli, prepočítané na rýchlosť pohybu, vyjadrenú v mm · rok^{-1}). Druhý stupeň (charakterizujúci preukázaný posun meraného bodu) sa prisudzoval posunom nachádzajúcim sa v rozmedzí od hodnoty σ po jej trojnásobok (3σ) a tretí stupeň, vyjadrujúci významnú polohovú alebo výškovú zmenu meraného bodu, bol priradený hodnotám meraní presahujúcim 3σ. Merania sa vo väčšine prípadov realizovali jedenkrát za kalendárny rok a prepočet na rýchlosť pohybu sa vykonával kvôli možnosti porovnávania zistených pohybov meraných bodov v rámci jednej lokality, ale aj porovnania aktivity pohybu v rôznych lokalitách. V prípade hodnotenia priemernej rýchlosti bol samostatne zohľadňovaný polohový a vertikálny vektor posunu a v konečnom hodnotení sa počítalo s nepriaznivejšou, teda väčšou hodnotou (v príkladoch v kap. 4 vertikálna zložka rýchlosti posunu nie je samostatne prezentovaná, pretože sa neprejavila vo výslednom hodnotení). S pribúdajúcimi skúsenosťami a reálnymi pozorovaniami zmien stavu zosuvov v jednotlivých lokalitách sme v posledných rokoch sprísnili kritériá hodnotenia a do druhej kategórie sme zaraďovali posuny s hodnotou v rozmedzí σ až 2σ a do tretej kategórie hodnoty presahujúce kritérium 2σ.

V prípade inklinometrických meraní sme vychádzali z empiricky zvolenej hranice presnosti merania, reálne akceptovateľnej pre všetky uskutočňované merania, ktorá

Tab. 1
Porovnanie klasifikačných hodnotení výsledkov monitorovacích meraní
Comparison of classified evaluations of the results of monitoring measurements

PÔVODNÉ HODNOTENIE			NAVRHNUTÉ HODNOTENIE			
Hodnotiaci stupeň	Geodet. merania *Rýchlosť pohybu [mm.rok^{-1}]*	Inklinom. merania *Rýchlosť pohybu [mm.rok^{-1}]*	Základný hodnotiaci stupeň	Hodnotiace kritériá pre výsledky geodetických a inklinometrických meraní	Charakteristika z hľadiska stabilitného stavu	Výsledný hodnotiaci stupeň
1.	do hodnoty σ*	do 2	1.	Výsledný priestor. vektor ($\overrightarrow{xyz}$) v hodnotenom roku neprekročil súčet priem. hodnoty (PH) stanovenej počas refer. obdobia (1997 – 2007) a diferencie (D)	stabilný stav	1.
			2.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + D$ a zároveň neprekročil $PH + 2D$		
2.	σ až 2σ	2 až 5	3.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 2D$ a zároveň neprekročil $PH + 3D$	mierne až stredné prejavy aktivity svahového pohybu	2.
			4.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 3D$ a zároveň neprekročil $PH + 4D$		
			5.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 4D$ a zároveň neprekročil $PH + 5D$		
3.	nad 2σ	nad 5	6.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 5D$ a zároveň neprekročil $PH + 6D$	výrazné prejavy aktivity svahového pohybu vedúce k nestabilite svahu	3.
			7.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku je väčší ako $PH + 6D$ a zároveň neprekročil $2(PH + 6D)$		
			8.	$\overrightarrow{xyz}$ v hodnotenom roku prekročil $2(PH + 6D)$		

* – hodnota strednej chyby, jej prekročenie ukazuje zmenu polohy alebo výšky meraného bodu s 95 % pravdepodobnosťou; v prípade meraní v lokalite Veľká Čausa táto veličina (σ) mala hodnotu 20 mm; PH – priemerná hodnota; D – diferencia (podľa obr. 1)

* – Mean error value, which exceeded with 95 % probability demonstrate the displacement in position or height of measured points; in the case of measurements on the Veľká Čausa site this parameter (σ) was 20 mm; PH – average value; D – difference (according to Fig. 1)

predstavuje hodnotu deformácie 2 mm. Z toho vyplýva, že do prvého stupňa hodnotiacej škály sme zaradili všetky deformácie, ktorých hodnota po prepočte na rýchlosť pohybu (v mm · rok^{-1}) neprekročila 2 mm (bez ohľadu na azimut pohybu). Do druhej skupiny pohybovej aktivity boli zaradené deformácie v rozmedzí 2 – 5 mm · rok^{-1} a do tretej skupiny deformácie nad 5 mm · rok^{-1}. Inklinometrické merania sa taktiež vykonávali zvyčajne jedenkrát za rok.

Na základe skúseností i overených pozorovaní viacerých vrtov sme dospeli k poznatku, že k možnosti porušenia (ustrihnutia) vrtu v dôsledku aktívneho svahového pohybu dochádza často už pri zaznamenanej deformácii cca 20 mm (extrémne 30 mm). Vzhľadom na tento poznatok sa kritérium na vyčlenenie druhej triedy pohybovej aktivity javilo príliš „prísne“ a tak sme uvažovali o jeho posunutí na hodnotu 10 mm (k tejto úprave však už počas riešenia úlohy nedošlo).

Jednotná škála hodnotenia výsledkov geodetických a inklinometrických meraní používaná pri riešení úlohy ČMS GF do roku 2010 je uvedená v tab. 1.

Spôsob hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní pomocou kvantitatívnej hodnotiacej škály mal nespornú výhodu v už spomenutej skutočnosti, že umožňoval porovnávať pohybovú aktivitu meraných bodov v rámci lokality alebo medzi rôznymi lokalitami. Nedostatkom takéhoto spôsobu hodnotenia bol však rôzny charakter pozorovaných bodov – či už z hľadiska situovania v diferencovaných častiach zosuvného územia, charakterizovaných rôznou intenzitou pohybov, alebo z hľadiska technickej kvality pozorovaného bodu (predovšetkým spôsobu jeho stabilizácie v prípade geodetických bodov alebo kvality vystrojenia v prípade inklinometrických vrtov). Na základe skúseností z výsledkov dlhodobého pozorovania sme dospeli k záveru, že spomínané nedostatky kvantitatívneho hodnotenia možno eliminovať na základe analýzy celej histórie pohybovej aktivity jednotlivých meraných bodov. Z toho vyplýva, že podmienkou použitia navrhovanej metódy hodnotenia je dostatočná informácia o správaní meraného bodu za určitý časový úsek (dĺžky aspoň 5 rokov). Takúto informáciu možno získať iba na základe výsledkov dlhodobých pravidelných monitorovacích meraní.

Hodnotenie výsledkov meraní na základe analýzy vývoja zaznamenaných zmien

Pri spôsobe odvodenia referenčných hodnôt pre semikvantitatívne hodnotenie posunov a deformácií sme sa čiastočne inšpirovali postupom hodnotenia zmien úrovne hladiny podzemnej vody, ktorý úspešne aplikujeme v monitorovaných lokalitách od roku 2005.

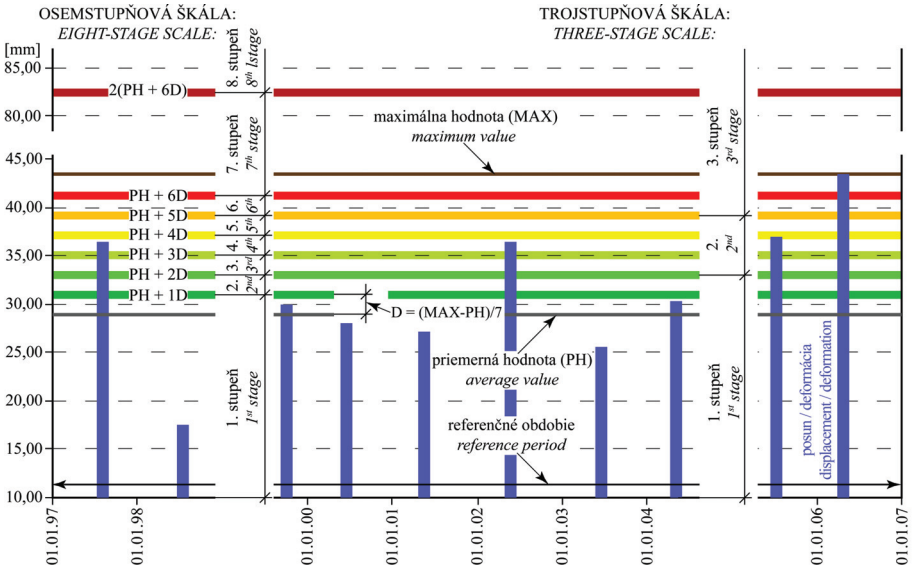
Princíp navrhovaného spôsobu hodnotenia výsledkov geodetických a inklinometrických meraní je vyjadrený na obr. 1. Postup hodnotenia možno zhrnúť do niekoľkých bodov:

– z priebehu priestorových (v prípade geodetických meraní) alebo polohových (v prípade inklinometrických meraní) zmien za referenčné obdobie (ktoré sme vybrali pre časový úsek od začiatku roku 1997 po koniec roku 2006 – ide teda o obdobie 10 rokov) sa určí pre každý pozorovaný bod hodnota maximálneho posuvu, resp. deformácie (MAX), a vypočíta sa priemerný posuv, resp. priemerná deformácia (priemerná hodnota – PH), zo všetkých meraní vykonaných za toto obdobie;

– z uvedených hodnôt sa určí tzv. diferencia (D) zo vzťahu D = (MAX-PH)/7. Rozdelenie intervalu, ohraničeného priemernou a maximálnou úrovňou pohybovej aktivity počas referenčného obdobia, na sedem častí umožňuje vytvoriť základnú šesťstupňovú škálu. 7. stupeň odvodíme ako dvojnásobok hodnoty šiesteho stupňa, teda 2(PH+6D). Posuny, resp. deformácie, dosahujúce úroveň 7. stupňa alebo ho prekračujúce (8. stupeň) vyjadrujú pohybovú aktivitu, ktorá na danom monitorovacom bode indikuje stav aktívneho svahového pohybu;

– jednotlivé stupne pohybovej aktivity sú pre každý pozorovaný bod odvodené podľa tohto postupu – v súlade s tab. 1 a obr. 1;

– základné osemstupňové hodnotenie pohybovej



Obr. 1. Postup odvodenia referenčných hodnôt pre semikvantitatívne hodnotenie nameraných posunov (geodetickými meraniami) a zaznamenanej deformácie na šmykových plochách (metódou presnej inklinometrie) – podľa tab. 1.

Fig. 1. Derivation of reference values for semi-quantitative evaluation of the measured displacements (by geodetic measurements) and recorded deformation on the slip surfaces (by inclinometric method) – according to Tab. 1.

aktivity je transformované do zjednodušenej výslednej trojstupňovej škály podľa nasledujúcich kritérií:

- Prvý výsledný hodnotiaci stupeň zahŕňa merania vyjadrené veľkosťou priestorového (pri inklinometrii polohového) vektora, ktorá nepresahuje priemer referenčného obdobia s pripočítanou dvojnásobnou hodnotuo stanovenej diferencie D. Pri základnom osemstupňovom hodnotení ide o 1. a 2. stupeň (obr. 1, tab. 1).
- Do druhého výsledného hodnotiaceho stupňa sú zaradené merania vyjadrené takou veľkosťou vektora, ktorá presahuje kritérium 1. výsledného stupňa a zároveň je menšia alebo rovná priemernej hodnote s pripočítaným päťnásobkom hodnoty diferencie D. V základnej osemstupňovej škále ide o 3., 4. a 5. stupeň hodnotenia.
- Tretí výsledný hodnotiaci stupeň zahŕňa merania vyjadrené veľkosťou vektora, ktorá presahuje kritériá stanovené pre druhý stupeň výsledného hodnotenia. V osemstupňovej základnej škále ide o 6., 7. a 8. stupeň hodnotenia.

Pri navrhovanom hodnotení sa vychádza z absolútnych hodnôt nameraných zmien. Dôvody tohto rozhodnutia sú opreté o nasledujúce poznatky:

– Skúšobná prevádzka stacionárneho inklinometra objektívne preukázala, že pohyb v zosuvných lokalitách sa iniciuje iba v určitých časových intervaloch (často pomerne krátkych), pričom prevažnú časť pozorovaného obdobia k žiadnemu pohybu nedochádza (Ondrejka et al., 2011).

– Možno predpokladať, že podobný pohybový režim majú i geodetické pozorovacie body.

– V závislosti od dĺžky etapy merania môže byť nameraná hodnota, prepočítaná na rýchlosť pohybu za určitú časovú jednotku, značne skresľujúca.

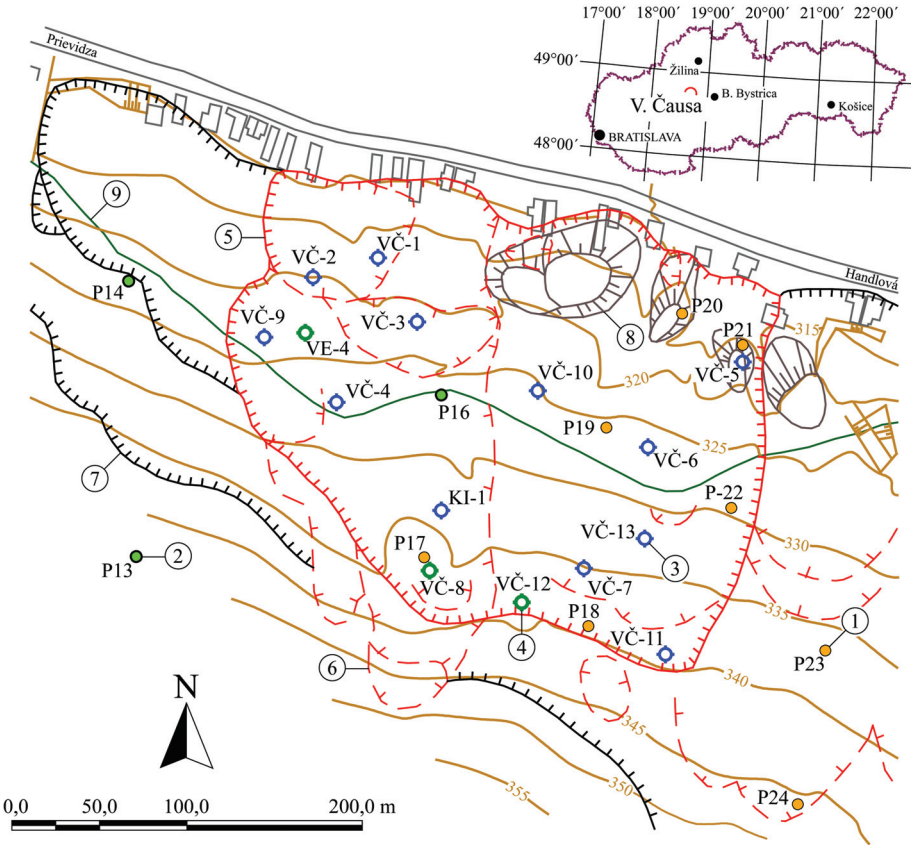
– I keď prepočet na rýchlosť pohybu má svoje zdôvodnenie (možnosť porovnania pohybovej aktivity v rôznych lokalitách, ale i v rámci jedného zosuvného územia), domnievame sa, že vyjadrenie hodnôt absolútnych nameraných posunov a ich hodnotenie bude v konečnom dôsledku výstižnejšie.

– Je prirodzené, že pri meraniach s frekvenciou cca 1 meranie za rok sa pri ich zhodnocovaní v každom prípade dopúšťame vedomých zjednodušení a nepresností – elimináciu týchto skutočností môžu zabezpečiť iba merania s vyššou frekvenciou alebo – v ideálnom prípade – kontinuálne merania.

Porovnanie výsledkov rôznych metód hodnotenia meraní

Stručná charakteristika modelovej lokality

Na porovnanie výsledkov hodnotenia pohybovej aktivity obidvomi opísanými metódami sme vybrali zosuvnú lokalitu nad južnou časťou obce Veľká Čausa, na severovýchodných svahoch Vtáčnika. Ide o známe zosuvné územie, na ktorom došlo v posledných desaťročiach k opätovnej aktivizácii zosuvného pohybu, v dôsledku čoho sa uskutočnilo niekoľko etáp prieskumu a realizácie vybraných sanačných opatrení. Vďaka týmto skutočnostiam existuje v lokalite pomerne bohatá sieť pozorovacích



Obr. 2. Zosuvné územie v južnej časti obce Veľká Čausa (spracované podľa Jadroňa et al., 2000 a Wagnera et al., 2002). 1 – geodetické body; 2 – geodetické body použité pri hodnotení nameraných posunov (obr. 3); 3 – inklinometrické vrty; 4 – inklinometrické vrty použité pri hodnotení nameraných deformácií (obr. 4); 5 – ohraničenie aktívneho zosuvu; 6 – zosuvné stupne a zátrhy; 7 – staršie zosuvy; 8 – premiestnené bloky vulkanitov; 9 – predpokladaná hranica prekrytej štrkovej terasy.

Fig. 2. Landslide area in the southern part of the Veľká Čausa village (according to Jadroň et al., 2000 and Wagner et al., 2002). 1 – geodetic points; 2 – geodetic points used in the evaluation of the measured displacements (Fig. 3); 3 – inclinometric boreholes; 4 – inclinometric boreholes used in the evaluation of the measured deformations (Fig. 4); 5 – boundary of active landslide; 6 – landslide steps and cracks; 7 – older landslides; 8 – shifted volcanite blocks; 9 – assumed border of buried terrace gravel accumulation.

bodov, ktoré sú monitorované sporadicky už od roku 1975 (geodetické merania) a systematicky od roku 1996, keď bola lokalita zaradená do súboru zosuvov monitorovaných v rámci riešenia už spomínanej úlohy ČMS GF.

Z geologického hľadiska je širšie územie zosuvnej lokality budované andezitmi a aglomerátovými tufmi, ktoré prekrývajú plastické súvrstvie neogénnych sedimentov ležiacich subhorizontálne na paleogénnych flyšových horninách. Uvedená stavba vytvára priaznivé podmienky na vznik a rozvoj svahových porúch. Rigidné polohy vulkanitov v horných častiach svahu sa zabárajú a tlakovo pôsobia na ílovité podložie tvorené neogénnymi vrstevnatými ílmi až ílovcami, resp. slieňovcami (Jadroň et al., 2000). Navyše, horné časti svahov predstavujú dobré infiltračné prostredie pre povrchové vody, ktoré sa akumulujú v miestach kontaktu tufov s nepriepustným podložím. Nahromadená voda preniká do zosuvných hmôt v stredných a spodných častiach svahu, koncentruje sa v nepravidelných priepustných, prevažne piesčitých polohách a vztlakovo pôsobí na nadložné, málo stabilné zosuvné materiály. Zosuvný svah sa teda dotvára v dôsledku neustáleho dosycovania vodou, dotovanou z odlučnej oblasti v jeho hornej časti. Z hľadiska stability svahu však pozitívne pôsobia sedimenty fluviálnych riečnych terás, ktoré sú prekryté zosuvnými materiálmi ílovito-hlinitého zloženia a drénujú významnú časť zosuvného územia (obr. 2).

Výber reprezentatívnych pozorovacích bodov

Hodnotenie pohybovej aktivity vychádzalo z výsledkov geodetických meraní posunov pozorovacích bodov a meraní deformácie inklinometrickej pažnice vo vrtoch metódou presnej inklinometrie, ktoré boli realizované počas obdobia rokov 1997 až 2008. Za tzv. referenčné obdobie na definovanie hraničných hodnôt klasifikačnej stupnice navrhovaného nového hodnotenia považujeme časový úsek rokov 1997 až 2006.

Na zosuvnom území boli určené reprezentatívne monitorovacie body (pre každú z pozorovacích metód tri), na ktorých bolo porovnávané hodnotenie vykonané obidvomi vyššie opísanými spôsobmi. Pri výbere bodov sme sa snažili vychádzať z princípu zohľadnenia doteraz preukázanej pohybovej aktivity bodu, teda nepriamo charakterizovať časti zosuvného územia s odlišnou pohybovou aktivitou. Z tohto dôvodu boli pri analýze hodnotenia výsledkov geodetických meraní vybraté:

– bod s minimálnou pohybovou aktivitou (P 13 – nachádzajúci sa nad odlučnou hranou staršieho zosuvu – obr. 2);

– bod so strednou pohybovou aktivitou (P-14 – nachádzajúci sa v okrajovej časti staršieho zosuvu);

– bod zaznamenávajúci relatívne vysokú aktivitu zosuvného pohybu (P-16 – nachádzajúci sa v prechodovej oblasti najaktívnejšej časti zosuvného územia). Bod P-16 reprezentuje oblasť, v ktorej boli v minulosti – v obdobiach aktivizácie zosuvu – pozorované najväčšie posuny (za obdobie rokov 1975 až 1995 výsledný posun dosiahol až takmer 2,5 m; Jadroň et al., 2000).

Analogický prístup bol zvolený aj pri výbere reprezentatívnych inklinometrických vrtov. Na základe zistenej hodnoty deformácie boli vybraté vrty, ktoré charakterizujú oblasti:

– s minimálnou pohybovou aktivitou (VČ-12 – nachádzajúci sa v blízkosti odlučnej hrany menej aktívnej, teda východnej časti zosuvu – obr. 2);

– so strednou pohybovou aktivitou (VE-4 – nachádzajúci sa v aktívnejšej, západnej časti zosuvného územia) a

– s pohybovou aktivitou charakterizujúcou relatívne najaktívnejšiu časť zosuvného územia (v blízkosti vrtu VČ-8, ktorý sa nachádza v centrálnej časti zosuvu, niekoľko metrov pod odlučnou oblasťou). Ide o územie, ktoré sa na úrovni šmykovej plochy (v hĺbke cca 13 m) dlhodobo vyznačuje lokálne zvýšenou pohybovou aktivitou. Táto skutočnosť bola overená i stacionárnym meraním vo vrte KI-1, ktorý je od vrtu VČ-8 vzdialený cca 30 m severným smerom (obr. 2; Ondrejka et al., 2011).

Pri hodnotení pohybovej aktivity na základe meraní presnej inklinometrie boli použité hodnoty vektorov deformácií zistené v jednotlivých vrtoch na úrovni šmykových plôch zosuvu.

Porovnanie výsledkov hodnotenia geodetických meraní

Pri analýze hodnotenia výsledkov geodetických meraní (obr. 3) možno konštatovať, že najväčšie rozdiely medzi obidvomi spôsobmi hodnotenia boli zaznamenané v oblasti s najnižšou pohybovou aktivitou (bod P-13). Výsledné malé hodnoty posunov po prepočítaní na priemerné rýchlosti (podľa pôvodnej metódy hodnotenia) môžu v závislosti od dĺžky etapy medzi jednotlivými meraniami ešte viac poklesnúť, a teda i výsledné semikvantitatívne hodnotenie rýchlosti je relatívne nízke (napr. v etape apríl 1997 – máj 1998, bod P-13). Naopak, pri semikvantitatívnom hodnotení absolútnych posunov (v navrhovanej metóde hodnotenia) sa nezohľadňuje rozmer času, navyše intervaly hodnotiacej škály sú odvodené z výsledkov meraní predchádzajúceho (referenčného) obdobia. Vďaka navrhnutej metodike hodnotenia (obr. 1) je teda možné zohľadniť dlhodobý režim pohybovej aktivity v danej oblasti, čo umožňuje i v relatívne stabilnej časti územia (bod P-13) jednoduchšie určiť prejavy vznikajúcej aktivizácie svahového pohybu.

Vo viacerých prípadoch sa však prejavil opačný vzťah – pohybová aktivita, semikvantitatívne vyjadrená na základe rýchlosti pohybu, dosahuje vyššie hodnoty (napr. merania 21. augusta 2002, 11. mája 2004, 26. júna 2006 – obr. 3, bod P-13) ako pohybová aktivita vyjadrená absolútnymi posunmi. Tieto rozdiely súvisia pravdepodobne s veľkosťou intervalov jednotlivých hodnotiacich stupníc. V prípade dosiahnutia priemernej rýchlosti pohybovej aktivity nad 20 mm · rok^{-1} je jej podľa pôvodného (staršieho) hodnotenia automaticky priradený druhý stupeň. Treba si však uvedomiť, že namerané posuny zodpovedajúce tejto rýchlosti sú veľmi blízke priemernej hodnote posunov odvodenej počas referenčného obdobia. V konečnom dôsledku tieto posuny teda charakterizujú ustálený režim pohybovej aktivity najvrchnejšieho horizontu zosuvných

hmôt v danej oblasti a nepredstavujú náznaky rozvíjajúcej sa pohybovej aktivizácie zosuvu.

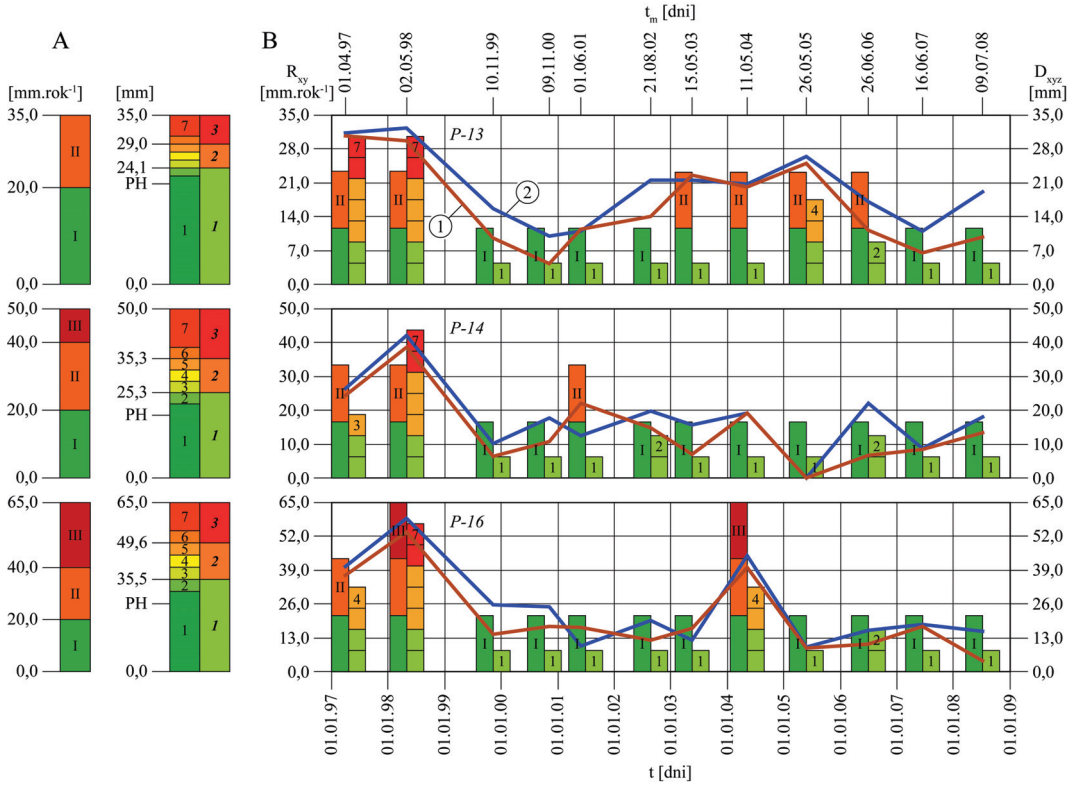
K podobným poznatkom možno dospieť pri analýze hodnotenia pohybovej aktivity územia v okolí bodu P-14.

Pomerne dobrú zhodu možno konštatovať pri analýze obidvoch uskutočnených hodnotení v najaktívnejšej oblasti (bod P-16). Azda najvýznamnejšie sa na výslednom hodnotení prejavil rozsah intervalov jednotlivých stupňov. V prípade klasifikácie absolútnych posunov je rozsah prvého stupňa oveľa väčší ako pri klasifikácii podľa rýchlostí posunu. Spôsobuje to relatívne vysoká hodnota priemerného posunu počas referenčného obdobia. V dôsledku toho došlo k zmene rozsahu intervalov aj pre ostatné hraničné hodnoty. V praxi to znamená, že posuny, ktoré sú blízke priemernej hodnote, poukazujú na relatívne stabilnú situáciu v rámci hodnoteného bodu, a to i napriek tomu, že môžu dosahovať v absolútnej hodnote aj niekoľko cm.

Porovnanie výsledkov hodnotenia inklinometrických meraní

Výsledky analýzy obidvoch spôsobov hodnotenia deformácie zaznamenanej na šmykových plochách sú podobné ako výsledky geodetických meraní. Rozdiely v hodnotení súvisia s diferenciami medzi hraničnými hodnotami klasifikačnej stupnice a tiež s odlišným spôsobom vyjadrenia zaznamenanej deformácie (prepočítaná hodnota rýchlosti, resp. absolútna hodnota deformácie).

Pozornosť si zasluhuje rozdiel v hodnotení deformácie zaznamenaný počas septembrového merania 2006 vo vrte VČ-12 (obr. 4). Zo skutočnosti, že nameraná deformácia sa významne odlišuje od meraní realizovaných v predošlom období a výrazne presahuje priemernú hodnotu stanovenú pre daný bod, možno predpokladať, že deformácia s veľkosťou vektora 3,65 mm môže byť indikátorom



Obr. 3. Hodnotenie výsledkov geodeticky nameraných posunov bodov P-13, P-14 a P-16. A – kvantitatívne vyjadrenie dvoch odlišných spôsobov hodnotenia; B – semikvantitatívne hodnotenie zaznamenaných posunov; 1 – spojnica zaznamenanej rýchlosti polohových (xy) posunov vyjadrená v mm · rok^{-1}; 2 – spojnica nameraných priestorových (xyz) posunov vyjadrená v mm; I až III – trojstupňová klasifikácia zaznamenanej rýchlosti posunov geodetických bodov (I – rýchlosť posunu do 20,0 mm · rok^{-1}, II – od 20,0 do 40,0 mm · rok^{-1}, III – nad 40,0 mm · rok^{-1}); 1 až 7 – osemstupňová klasifikácia (8. stupeň nebol dosiahnutý), odvodená na základe zmien nameraných posunov počas referenčného obdobia (podľa obr. 1); 1 až 3 – osemstupňová klasifikácia transformovaná do troch stupňov (1. a 2. stupeň podrobnejšej klasifikácie = 1; 3. až 5. = 2; 6. až 8. = 3); R – rýchlosť zaznamenaného posunu; D – veľkosť nameraného posunu; PH – priemerná hodnota nameraného posunu počas referenčného obdobia na konkrétnom bode; t – časová os; t_m – termíny uskutočnených geodetických meraní.

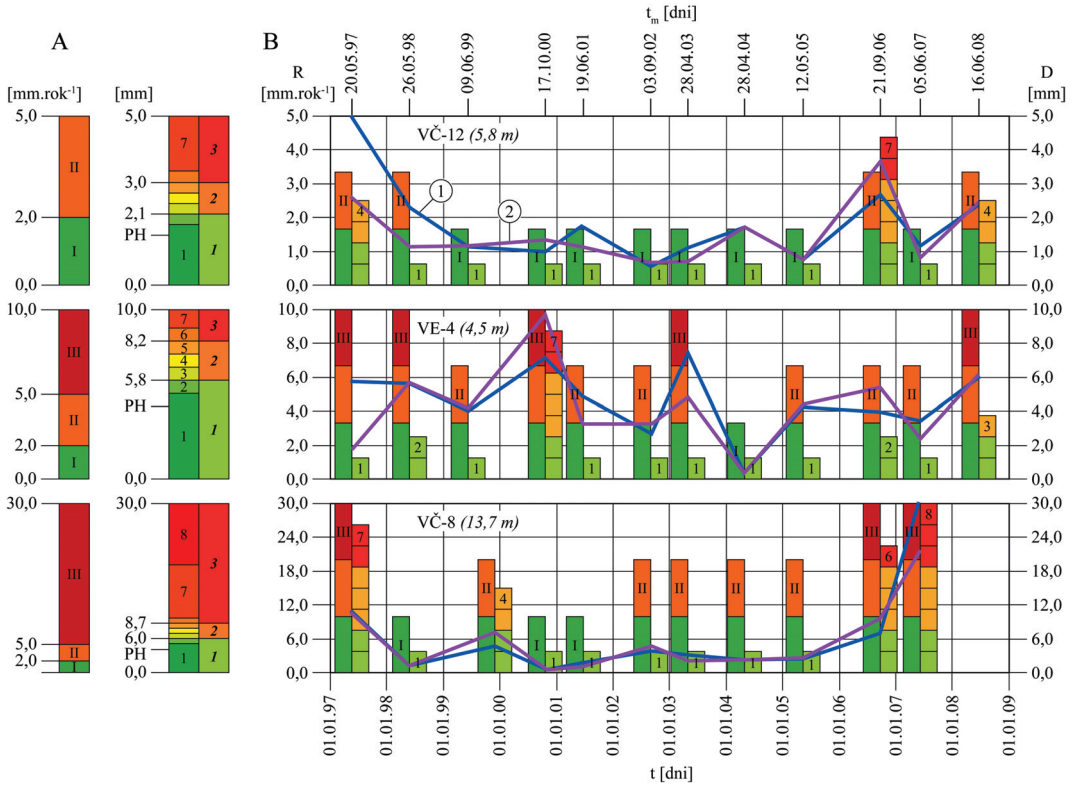
Fig. 3. Evaluation of results of geodetic measured displacements of points P-13, P-14 and P-16. A – quantitative expression of two different ways of evaluation; B – semi-quantitative assessment of the displacements; 1 – line of observed rate of displacements (xy) expressed in mm · year^{-1}; 2 – line of measured displacements (xyz) expressed in mm; I to III – three-stage classification of recorded rate of displacements of geodetic points (I – rate of displacement is less than 20.0 mm · year^{-1}, II – from 20.0 to 40.0 mm · year^{-1}, III – over 40.0 mm · year^{-1}); 1 to 7 – eight-stage classification (8th stage has not been achieved), derived from changes of the measured displacements during the reference period (according to Fig. 1); 1 to 3 – eight-stage classification transformed into three stages (1st and 2nd stage of detailed classification = 1; 3rd to 5th = 2; 6th to 8th = 3); R – recorded rate of the displacement; D – recorded size of the displacement; PH – the average value of the displacement during the reference period at a particular point; t – timeline; t_m – date of the geodetic measurements.

zvýšenej pohybovej aktivity v danom bode na úrovni šmykovej plochy a v danom čase merania.

Opačný prípad bol zaznamenaný pri analýze hodnotenia deformácií vo vrtoch VE-4 a VČ-8. Absolútne deformácie sú vo viacerých prípadoch klasifikované výrazne nižším stupňom, ako hodnotenia rýchlostí. Priemerná deformácia v týchto vrtoch dosahuje hodnoty, ktoré sú podľa pôvodnej (staršej) klasifikačnej stupnice pre priemerné rýchlosti zaradené do tretieho stupňa pohybovej aktivity. Avšak v prípade aplikácie navrhnutého spôsobu hodnotenia dosiahnutá deformácia nemusí nevyhnutne predstavovať riziko rozvoja svahového pohybu, ale, naopak, poukazuje na ustálený režim pohybovej aktivity.

Špeciálnym prípadom je výsledok merania, pri ktorom zistená deformácia prekročí hodnotu 20 mm. Pri takejto deformácii zvyčajne dochádza k porušeniu (ustrihnutiu) pažnice a tým k vyradeniu vrtu zo súboru monitorovaných bodov. Okrem týchto viac-menej technických problémov takáto deformácia je zároveň aj indikátorom, že na monitorovanom území dochádza k extrémnemu nárastu pohybovej aktivity. Na túto skutočnosť poukazuje výrazný nepomer medzi deformáciami nameranými počas referenčného obdobia a deformáciou zaznamenanou v roku 2007 (vrt VČ-8, obr. 4). V snahe zohľadniť aj takúto skutočnosť bol v detailnej hodnotiacej stupnici vyčlenený 8. stupeň, ktorý charakterizuje extrémne hodnoty deformácie (obr. 1, tab. 1).

Ako ukázali výsledky analýzy, odvodené hraničné hodnoty navrhovanej semikvantitatívnej klasifikácie pohybovej aktivity nemusia byť dokonalým odzrkadlením reality, ale určite prispejú k objektívnejšiemu a názornejšiemu vyjadreniu výsledkov monitorovacích meraní.



Obr. 4. Hodnotenie deformácií nameraných vo vrtoch VČ-12, VČ-8 a VE-4 metódou presnej inklinometrie. A – kvantitatívne vyjadrenie dvoch odlišných spôsobov hodnotenia; B – semikvantitatívne hodnotenie zaznamenanej deformácie; 1 – spojnica zaznamenanej rýchlosti deformácie vyjadrená v mm · rok^{-1}; 2 – spojnica nameranej deformácie vyjadrená v mm; I až III – trojstupňová klasifikácia zaznamenanej rýchlosti deformácie na úrovni šmykovej plochy (I – rýchlosť deformácie do 2,0 mm · rok^{-1}, II – od 2,0 do 5,0 mm · rok^{-1}, III – nad 5,0 mm · rok^{-1}); 1 až 8 – osemstupňová klasifikácia vytvorená na základe zmien deformácie počas referenčného obdobia (obr. 1); 1 až 3 – osemstupňová klasifikácia transformovaná do troch stupňov (1. a 2. stupeň podrobnejšej klasifikácie = 1; 3. až 5. = 2; 6. až 8. = 3); R – rýchlosť zaznamenanej deformácie; D – veľkosť nameranej deformácie; PH – priemerná hodnota nameranej deformácie počas referenčného obdobia v konkrétnom vrte a hĺbke; t – časová os; t_m – termíny inklinometrických meraní; (5,8 m) – hĺbka pozorovanej deformácie od povrchu terénu.

Fig. 4. Evaluation of deformation measured in boreholes VČ-12, VČ-8 and VE-4 by the inclinometric method. A – quantitative expression of two different ways of evaluation; B – semi-quantitative assessment of the deformations; 1 – line of observed rate of deformations expressed in mm · year^{-1}; 2 – line of measured deformations expressed in mm; I to III – three-stage classification of recorded rate of deformations on the slip surface (I – rate of deformation is less than 2.0 mm · year^{-1}, II – from 2.0 to 5.0 mm · year^{-1}, III – over 5.0 mm · year^{-1}); 1 to 8 – eight-stage classification, derived from changes of the measured deformations during the reference period (according to Fig. 1); 1 to 3 – eight-stage classification transformed into three stages (1st and 2nd stage of detailed classification = 1; 3rd to 5th = 2; 6th to 8th = 3); R – recorded rate of the deformation; D – recorded magnitude of the deformation; PH – the average value of the deformation during the reference period at a particular borehole and depth; t – timeline; t_m – date of the inclinometric measurements; (5.8 m) – depth of the observed deformation below the ground surface.

Zároveň umožnia porovnávať zmeny v aktivite pohybu rôznych častí hodnotenej svahovej deformácie v rôznych časových obdobiach. Tieto skutočnosti prispejú k objektivizácii komplexného hodnotenia zosuvných lokalít (Wagner a Pauditš, 2002) na základe výsledkov monitorovacích meraní.

Záver

Požiadavka semikvantitatívneho hodnotenia monitorovacích meraní je podmienená snahou priblížiť výsledky pozorovaní nielen odbornej, ale i širokej laickej verejnosti, ktorej záujem o aktuálny stav svahových deformácií stúpa, zvlášť po katastrofálnych zosuvných udalostiach zaznamenaných v roku 2010. Z tohto hľadiska najvhodnejšou a najzrozumiteľnejšou formou prezentácie výsledkov monitorovania je vypracovanie hodnotiacich škál, pozostávajúcich zvyčajne z troch základných stupňov: stabilný stav – mierne až stredné prejavy aktivity svahového pohybu – výrazné prejavy aktivity svahového pohybu.

Vypracovanie jednotnej kvantitatívnej hodnotiacej škály výsledkov monitorovacích meraní, založenej na hodnotení nameraných geodetických posunov a inklinometrických deformácií, prepočítaných na rýchlosť pohybu, zohralo v predchádzajúcich rokoch určite pozitívnu úlohu a umožnilo porovnávať aktivitu svahových pohybov nielen v rámci častí jednej lokality, ale aj medzi viacerými lokalitami. Jednotne a striktne stanovené hranice hodnôt absolútnych posunov (deformácií) však nevyjadrovali dostatočne citlivo špecifiká jednotlivých meraných bodov z hľadiska ich lokalizácie i technického vyhotovenia. V súvislosti s tým, ako aj vďaka rozsiahlemu súboru nových informácií a poznatkov, sme sa pokúsili odvodiť nový hodnotiaci systém, založený na analýze dlhodobého vývoja zaznamenaných zmien monitorovacích meraní.

Z výsledkov porovnania obidvoch spôsobov hodnotenia monitorovacích meraní vyplýva niekoľko poznatkov:

– Najväčšie rozdiely v semikvantitatívnom hodnotení obidvomi spôsobmi sú podmienené metódou vyjadrenia pohybovej aktivity – teda rýchlosťou posunov (deformácií) oproti ich absolútnym hodnotám. Táto skutočnosť sa výrazne prejaví zvlášť pri rôznej dĺžke intervalu medzi meraniami (pri krátkom časovom intervale priemerná rýchlosť zmien výrazne stúpa).

– Ďalšou významnou skutočnosťou, ktorá sa podpísala pod zmeny v semikvantitatívnom hodnotení, sú vyčlenené hraničné hodnoty klasifikačných stupníc. Najväčší rozdiel medzi pôvodným a navrhovaným hodnotením spočíva v základnom kritériu. Kým pri hodnotení rýchlosti sa vychádzalo z presnosti merania, pri hodnotení absolútnych posunov sa zohľadňuje priemerná hodnota posunu (deformácie) počas referenčného obdobia.

– I keď je navrhovaný postup hodnotenia komplikovanejší a vyžaduje analýzu dlhodobých meraní, z porovnania výsledkov vyplýva, že názornejšie vystihuje špecifikum správania jednotlivých meraných bodov, a teda aj objektívnejšie informuje o reálnom stave prostredia v ich okolí (posun, resp. deformácia rovnakej absolútnej hodnoty môže v málo aktívnej oblasti indikovať aktivizáciu svahového pohybu, kým v aktívnej oblasti vyjadruje stabilizovaný stav prostredia).

Vzhľadom na zistené skutočnosti sa domnievame, že navrhovaný spôsob hodnotenia výsledkov monitorovacích meraní objektívnejšie vyjadruje aktuálny stabilitný stav prostredia a umožní prognózovať jeho ďalší vývoj s vyšším stupňom odôvodnenia.

References

Jadroň, D., Mokrá, M., & Wagner, P., 2000: Practical applications of monitoring results of an active landslide. *Proc. 8th Conf. on Landslides. Cardiff, Thomas Telford, London, 763 – 768.*

Klukanová, A., & Liščák, P., 1998: Monitoring of geological hazards of Slovak Republic. *In: Moore, D., & Hungr, O. (eds.): Proc. 8th Int. IAEG Congress, Vancouver. Balkema, Rotterdam, 1 113 – 1 120.*

Ondrejka, P., Wagner, P., & Gróf, V., 2011: Využitie stacionárneho inklinometra na tvorbu systémov včasného varovania na zosuvoch. *Geotechnika, Praha, 1 – 2, 19 – 23.*

Wagner, P., & Pauditš, P., 2002: Complete evaluation of landslide activity. Proceed. of the XVII. Congress of CBGA, Bratislava, 2002. *Geol. Carpath., 53, special issue. CD-nosič, 6 p.*

Wagner, P., Scherer, S., Jadroň, D., Mokrá, M., & Vybíral, V., 2002: Analysis of landslide monitoring results. Proc. 1st European Conference on Landslides, Prague. *A. A. Balkema Publishers, Swets & Zeitlinger, Lisse, 471 – 476.*

Rukopis doručený 15. 4. 2012
Revidovaná verzia doručená 23. 4. 2012
Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 149 – 156
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Nerovnorodosť a rozmerový efekt pri stanovovaní pevnostno-deformačných vlastností hornín

TATIANA DURMEKOVÁ a RUDOLF ONDRÁŠIK

Katedra inžinierskej geológie Prírodovedeckej fakulty UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava
durmekova@fns.uniba.sk; ondrasik@fns.uniba.sk

Heterogeneity and scale effect in determination of rock strength

An overview of knowledge regarding the influence of rock sample size, dimension ratio and sample shape as well as rock heterogeneity on the resulting values of laboratory strength and deformation tests are presented. From this point of view the results of sandstone uniaxial compressive strength tests are surprisingly contradicting to the prevailing experience regarding other rock types. Uniaxial compressive strength of sandstone cylindrical samples increases with increasing diameter size. Samples with height to diameter ratio 2 exhibit higher strength as those with a ratio 1.

Key words: rock heterogeneity, size and shape effect, uniaxial compressive strength, stress and strain behaviour

Úvod

Pevnosť horniny je jednou zo základných charakteristík relevantnou pri hodnotení horninového prostredia na účely zakladania a budovania stavieb alebo na zhodnotenie kvality horniny využívanej ako stavebný materiál. K najrozšírenejším metódam stanovovania pevnostných vlastností patrí jednoosová tlaková skúška. Pevnosť v jednoosovom alebo prostom tlaku je v mechanike hornín a inžinierskej geológii aj klasifikačnou charakteristikou, podľa ktorej sa horniny zatrieďujú do normami stanovených tried R0 až R6 (STN 72 1001). Metodika zisťovania tejto charakteristiky v laboratóriu je u nás i vo svete normalizovaná (Ulusay a Hudson, eds., 2007; EN 1926, STN EN 1926). Nejednotnosť je v tom, že na zistenie rovnako pomenovanej charakteristiky existujú odlišné metodické požiadavky, predovšetkým na štíhlosť skúšobných teliesok (pomer výšky a priemeru valcových vzoriek, príp. pomer výšky a šírky strán hranolov), a to podľa účelu, na ktorý sa pevnosť stanovuje, čo môže byť v mnohom zmätočné. Aktuálne platné normové skúšobné predpisy na vykonávanie skúšky pevnosti v jednoosovom tlaku sú odlišné na geotechnické účely a účely využívania horniny ako prírodného stavebného kameňa. Implementácia európskych noriem na skúšky prírodného kameňa do našej normovej sústavy tento problém nevyriešila.

So stanovovaním pevnostných a s nimi súvisiacich deformačných vlastností je spojených aj mnoho ďalších aspektov, ako je nerovnorodosť hornín a rozmerový (mierkový) efekt, alebo aj vplyv tvaru skúšobných teliesok. Nerovnorodosť znamená premenlivosť a rozptyl vlastností horninového materiálu v hodnotenom priestore, vyplývajúce predovšetkým z primárnej genézy, minerálneho zloženia a štruktúry horniny a jej následného postgenetického vývoja. Termín mierkový (rozmerový) efekt (angl. *scale effect*) môže mať dva významy. Jednak môže znamenať vplyv veľkosti (rozmerov) skúšobného telieska na výsledky skúšok, jednak môže vyjadrovať vzťah medzi rozmerom skúšobnej vzorky (alebo skúšanej časti horninového masívu) a rozmerom určujúcej oblasti, t. j. oblasti, do ktorej sa extrapolujú výsledky skúšok (Petro et al., 2008). Mierkový efekt je ovplyvnený predovšetkým stupňom nerovnorodosti prostredia.

Teoreticky sú pevnostno-deformačné vlastnosti horninového materiálu rovnaké bez ohľadu na tvar a podmienky skúšok. Experimenty však potvrdili, že výsledky skúšok závisia aj od realizačných podmienok vykonávania skúšok. V článku sú komplexne zhrnuté doterajšie poznatky k uvedenej téme z dostupnej svetovej i našej literatúry a zhodnotené výsledky vlastného výskumu rozmerového efektu na paleogénnych pieskovcoch z kameňolomu Králiky pri Banskej Bystrici.

Súhrn doterajších poznatkov

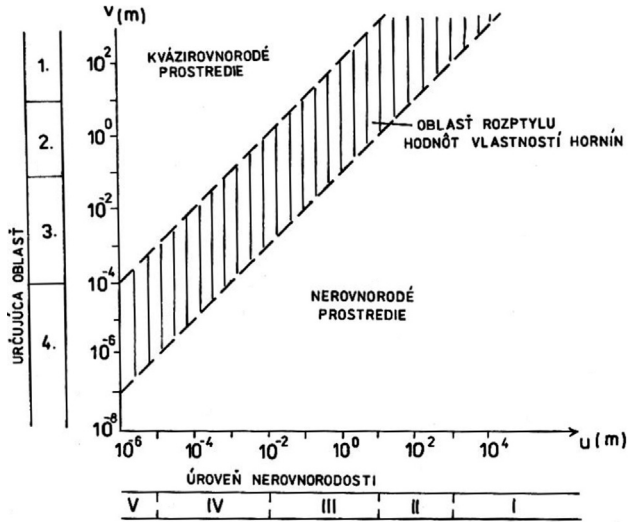
Hodnotenie vplyvov nerovnorodosti, rozmerov a tvaru skúšobných vzoriek na výsledky skúšok pevnostných a deformačných vlastností sa stalo predmetom záujmu vo svetovej literatúre najmä v 70. až 80. rokoch minulého storočia. Najvýznamnejšou a najkomplexnejšou prácou z toho obdobia je monografia/publikácia Hoeka a Browna (1980). V našej literatúre sú významnejšie viaceré práce (Hyánková, Matula a Boroš, 1979; Letko, Hrašna a Hyánková, 1988; Wagner, 1988). V ostatnom období sa čiastočne obnovil záujem o túto problematiku (napr. Thuro et al., 2001; Labaš a Miklúšová, 2004; Yoshinaka et al., 2008).

Nerovnorodosť

Horninový masív je tvorený horninovým materiálom vo forme nepravidelných telies (blokov a úlomkov) navzájom oddelených diskontinuitami. Tie spolu s premenlivosťou litologického zloženia hornín podmieňujú nerovnorodosť horninových masívov. Diskontinuity, horninové bloky a litologické zloženie majú rôzne parametre, preto sa nerovnorodosť hornín posudzuje na rôznych úrovniach. Matula (1973) vyčlenil 5 typov nerovnorodosti od kryštalografickej cez mineralogicko-štruktúrnu, litologicko-textúrnu a geologicko-štruktúrnu až po regionálno-geologickú nerovnorodosť. Využíva sa pri vyčleňovaní kvázi rovnorodých horninových celkov rôznej úrovne, najmä pri terénnom hodnotení. Vo vyčlenených kvázi rovnorodých celkoch je potom možné vyhodnotiť opisné vlastnosti horninového masívu a výsledky terénnych skúšok a na základe vybraných ukazovateľov odvodiť niektoré vlastnosti, napr. pevnostné, deformačné, filtračné a pod., ako to vykonali Matejček et al. (1994) a Wagner (1994) na základe kvantitatívneho zhodnotenia puklinovitosti v prieskumnej štôlni PVE Ipeľ. Odvodené vlastnosti sú porovnateľné s výsledkami terénnych deformačných skúšok.

Z hľadiska terénneho i laboratórneho skúšobníctva je rovnorodosť a jej opak – nerovnorodosť – relatívna podľa rozmerov skúšanej vzorky alebo horninového bloku, prípadne rozsahu vplyvu stavby na základovú pôdu. Tento aspekt nerovnorodosti rozpracoval Rac (1973), ktorý vyčlenil tri základné typy nerovnorodosti. Na obr. 1 je na osi *x* uvedený rozmer úrovní nerovnorodosti u a na osi *y* lineárny rozmer v určujúcej úrovne horninového prostredia (oblasti skúšok). Šrafovaný pás na diagrame (mikronerovnorodosť) sa vyznačuje veľkým rozptylom vlastností, vyžadujúcim použitie štatistických metód, a tvorí rozhranie rovnorodého prostredia, kde v » u (nad šrafovaným pásom), a nerovnorodého prostredia, kde v « u (pod šrafovaným pásom). Kým vo vrchnej oblasti (ultranerovnorodosť) je nerovnorodosť zanedbateľná a je možné použiť štatistické priemerovanie, spodnej časti (makronerovnorodosť) zodpovedajú makroskopicky nerovnorodé objekty, ktorých vlastnosti sa menia pri prechode od jedného prvku nerovnorodosti k druhému. Skúšobné telieska by mali mať rozmer 10-krát prevyšujúci prvky nerovnorodosti (Rac, 1973).

Špecifickým prípadom je smerová nerovnorodosť – anizotropia, pri ktorej vznikajú veľké rozdiely výsledkov deformačných a pevnostných skúšok v jednotlivých smeroch, čo sa rieši uvádzaním koeficientu anizotropie K_a, t. j. pomeru maximálnej a minimálnej hodnoty študovaného parametra. Koeficient anizotropie dosahuje značné hodnoty predovšetkým vo vrstevnatých horninách – od 1,2 do 2, extrémne až 3 (Wagner, 1988).

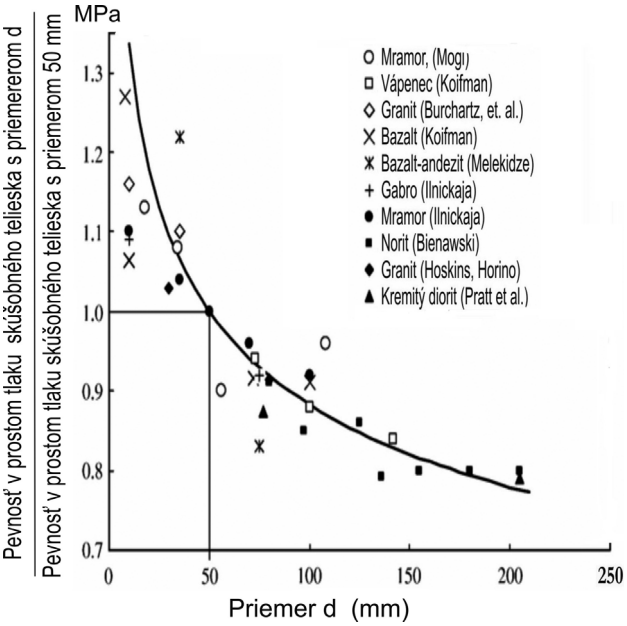


Obr. 1. Diagram nerovnorodosti hornín (Wagner, 1988, podľa Raca, 1973); úrovne nerovnorodosti: I – regionálne geologická; II – geologicko-štruktúrna; III – litologicko-textúrna; IV – mineralogicko-štruktúrna; V – kryštalografická; určujúca oblasť: 1 – stavba, 2 – skúšky *in situ*; 3 – laboratórne skúšky; 4 – metódy fyziky tuhého telesa.

Fig. 1. Graph of rock heterogeneity (Wagner, 1988, after Rac, 1973); heterogeneity degrees: I – regional geological; II – geological structural; III – petrological structural; IV – mineralogical textural; V – crystallographical; determination field: 1 – building structure; 2 – in situ test; 3 – laboratory test; 4 – physical methods of solid body.

Veľkosť, štíhlosť a tvar skúšobných vzoriek

Jednoosové skúšky v prostom tlaku sa zvyčajne vykonávajú na zhotovených skúšobných vzorkách pravidelných geometrických tvarov, a to valcoch s priemerom 50 mm alebo kockách a hranoloch so základňou 50 x 50 mm. Problém unifikácie rozmerov skúšobných teliesok pri určovaní jednoosovej tlakovej pevnosti pretrváva od počiatku štandardizácie skúšky až podnes. Nejednotnosť



Obr. 2. Vplyv veľkosti vzoriek na pevnosť v jednoosovom tlaku horniny (Hoek a Brown, 1980).

Fig. 2. Influence of specimen size on the uniaxial compressive strength of intact rock (Hoek and Brown, 1980).

je najmä v stanovenom štíhlostnom pomere vzoriek, t. j. pomere medzi výškou (h) a priemerom alebo hranou (d) skúšobného telieska.

Pre potreby mechaniky hornín sa ako *„štandardná vzorka“* používa valček s priemerom 50 mm a štíhlostným pomerom h/d ≅ 2. Komisia pre skúšobné metódy Medzinárodnej spoločnosti pre mechaniku hornín (ISRM) navrhovala používať valcovité vzorky so štíhlostným pomerom 2,5 až 3,0 a priemerom približne 54 mm, pričom priemer skúšobnej vzorky by mal vychádzať z rozmerov najväčších zŕn v hornine a mal by byť v pomere najmenej 10 : 1 (ISRM, 1979 in Ulusay a Hudson, eds., 2007). Pre prírodný kameň platí od roku 1999 európska norma EN 1926 (jej identický preklad v našej normovej sústave platí od roku 2002 a nahradil starú normu pre stanovenie pevnosti v tlaku STN 72 1136), ktorá stanovuje, že skúšobné telieska majú byť buď kocky s hranou 50 ± 5 mm, prípadne 70 ± 5 mm, alebo valčeky, ktorých priemer a výška majú rovnaký rozmer 50 ± 5 mm, prípadne 70 ± 5 mm, t. j. štíhlostný pomer h/d = 1. Pri zrnách veľkosti viac ako 7 mm by mali byť aj rozmery skúšobného telieska primerane väčšie.

V súvislosti s tvarom skúšobných vzoriek boli preukázané určité rozdiely medzi výsledkami skúšok na valcovitých a hranolovitých skúšobných telieskach, pričom korelácia medzi nimi býva vo väčšine prípadov veľmi tesná. Napríklad na andezitoch a granitoidoch bol preukázaný vysoký stupeň korelácie v hodnotách 0,902 až 0,958 (Letko, Hrašna a Hyánková, 1988). Pri vápencovo-dolomitických horninách bola zistená pevnosť na valčekoch oveľa nižšia ako na kockách a veľmi nízky bol aj stupeň korelácie, poukazujúci na rozmanitosť výsledkov. Pevnosť v prostom tlaku na valčekoch so štíhlosťou 1 bola v priemere len o málo nižšia ako pevnosť stanovená na kockách (Hyánková, Matula a Boroš, 1979).

Najčastejšie sa v literatúre objavuje téma vplyvu veľkosti vzoriek na hodnoty pevnosti. Viacerí autori deklarujú, že jednoosová tlaková pevnosť horniny všeobecne klesá so zväčšovaním skúšobného telieska (Hoek a Brown, 1980; Letko, Hrašna a Hyánková, 1988; Yoshinaka et al., 2008; Krmadibrata a Jones, 1993; González de Vallejo a Ferrer, 2011 a ďalší), pričom sa objavujú i kontroverzné názory na vplyvy podmienok skúšok (Hoek a Brown, 1980). Príklad vplyvu rozmerového efektu na jednoosovú pevnosť je na obr. 2, kde sú skompletizované skúšky niekoľkých typov hornín prevzatých od viacerých autorov (Hoek a Brown, 1980, 1997). Krivka na obr. 2 zodpovedá vzťahu

$$\sigma_c = \sigma_{c50}\,(50/d)^{0,18} \qquad (1),$$

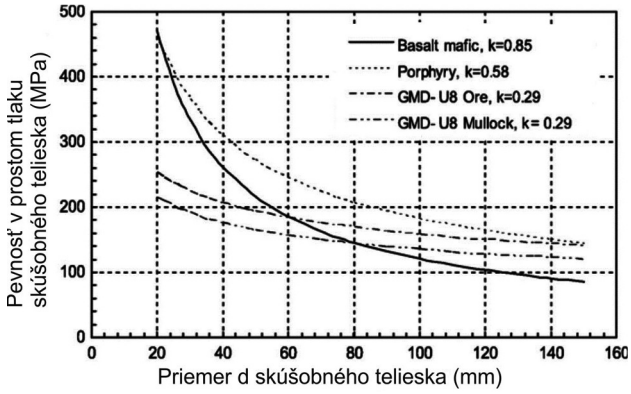
kde σ_{c50} je jednoosová tlaková pevnosť valcového skúšobného telieska s priemerom 50 mm a σ_c je jednoosová tlaková pevnosť skúšobného telieska s ľubovoľným priemerom v rozsahu 10 až 200 mm. Štíhlosť a tvar skúšobného telieska zodpovedajú štandardnému skúšobnému teliesku podľa odporúčaných metodík medzinárodnej spoločnosti ISRM, tzn., že ide o valčeky so štíhlosťou minimálne 2.

Rovnica (1) vyjadruje klesajúci trend pevnosti s narastajúcim priemerom skúšobného telieska. Novšie práce upozorňujú na skutočnosť, že na zostavenie rovnice (1) pre jednotlivé typy hornín bolo málo údajov, priemer použitých skúšobných teliesok bol limitovaný do 200 mm a zisťovaná pevnosť sa vzťahuje iba na skalné horniny. Rozmerový efekt sa uplatňuje pri všetkých typoch hornín, má však rôzny priebeh, preto je potrebné detailne skúmať vplyv veľkosti vzoriek zvlášť pre jednotlivé typy skalných hornín a zvlášť pre poloskalné horniny, pričom je potrebné použiť aj väčšie skúšobné telieska (Yoshinaka et al., 2008).

Jednoznačnosť všeobecných tvrdení vyjadrených vzťahom (1) nie je potvrdená informáciami uvedenými v norme STN EN 12504-1. Experimenty ukázali, že klesajúci trend pevnosti so zväčšovaním priemeru skúšobného telieska neplatí pre betónové vývrty s použitým kamenivom s maximálnou veľkosťou 20 a 40 mm. Pre veľkosť kameniva 20 mm boli vývrty s priemerom 100 mm približne o 7 % pevnejšie než vývrty s priemerom 50 mm. Vývrty s priemerom 50 mm boli približne o 20 % pevnejšie než vývrty s priemerom 25 mm. Stúpajúci trend pevnosti s narastaním veľkosti skúšobného telieska sa potvrdil aj pre betónové vývrty s použitým kamenivom s maximálnou veľkosťou 40 mm.

K podobným výsledkom ako Hoek a Brown (1980) dospeli aj Labaš a Miklúšová (2004) pri skúškach jednoosovej pevnosti andezitu z Ruskova a žuly z Hnilca na skúšobných vzorkách tvaru hranola so štíhlostným pomerom 2 s rozmerom hrán 10, 30 a 50 mm. Z ich graficky interpretovaných výsledkov je zároveň zrejmý aj pokles rozptylu hodnôt pevnosti so zväčšujúcim sa rozmerom skúšobného telieska.

Jackson a Lau (1993) študovali rozmerový efekt na gra-nitoch z lokality Lac du Bonnet v Kanade na valcových skúšobných telieskach s priemerom od 33 do 294 mm a so štíhlostným pomerom h/d = 2. Jednoosová tlaková pevnosť na skúšobných telieskach s priemerom 63 mm bola okolo 200 MPa. Skúšobné telieska s priemerom do 63 mm vykazovali značný rozptyl výsledkov bez preukázanej závislosti. Vzorky s priemerom väčším ako 63 mm preukázali znižovanie pevnosti so zväčšujúcim sa



Obr. 3. Vzťah medzi typom horniny a rozmerovým efektom na bazalte, porfýre, rude a hlušine v austrálskej bani (Krmadibrata a Jones, 1993).

Fig. 3. Relationship between rock type and scale effect on basalt, porphyry, ore and mullock in Australian mine (Krmadibrata and Jones, 1993).

priemerom zhruba zodpovedajúce výsledkom Hoeka a Browna (1980).

Krmadibrata a Jones (1993) preukázali rozdielny rozmerový efekt na 4 typoch hornín z austrálskej bane (obr. 3).

Autori Yoshinaka et al. (2008) uvádzajú, že rozmerový efekt sa prejavuje tak v skalných, ako aj v poloskalných horninách, avšak trend zmien závisí od typu hornín, pevnosti, štruktúry atď. Ďalej títo autori odporúčajú pre praktické použitie zohľadniť objem skúšobných vzoriek a vychádzať zo vzťahu, v ktorom zavádzajú bližšie nešpecifikovanú materiálovú konštantu *k* v závislosti od litologického typu:

$$\sigma_c / \sigma_{c0} = (d_e / d_{e0})^{-k} \quad (2),$$

kde σ_c je prostá tlaková pevnosť skúšanej vzorky,

σ_{c0} je prostá tlaková pevnosť „štandardnej vzorky",

$d_e = V^{1/3}$ (V je objem skúšanej vzorky súvisiaci s rozmermi vzorky),

d_{e0} = 58,1 mm, čo zodpovedá $V_0^{1/3}$ (V_0 je objem „štandardnej" vzorky),

k je 3/m (m je materiálová konštanta, ktorá sa nazýva koeficient rovnorodosti).

Na rozdiel od vyššie uvedených autorov Thuro et al. (2001) uvádzajú, že pri sérii nimi vykonaných skúšok na granite, kersantite (bázická žilná hornina) a vápenci sa na skúšobných telieskach s priemerom od 43 do 80 mm rozmerový efekt prakticky neprejavil. Rozptyl hodnôt pevnosti veľmi vplýva na hodnotu rozmerového efektu, preto je na ich štatistické spracovanie potrebný dostatočný počet výsledkov skúšok. Malé skúšobné telieska vykazujú veľké odchýlky, preto je potrebné používať štandardné rozmery skúšobných teliesok a väčšie ako štandardné v prípade heterogénnych, zvetraných alebo alterovaných hornín.

Pre prípady, že pomer výšky a priemeru (šírky) skúšobného telieska je odlišný od 1, autori Pauli a Holoušová (1991) uvádzajú prepočítavací vzťah:

$$\sigma_c = \sigma_c' \frac{9}{7 + 2\frac{d}{h}} = k \cdot \sigma_c' \quad (3),$$

kde σ_c je pevnosť v tlaku, prepočítaná,

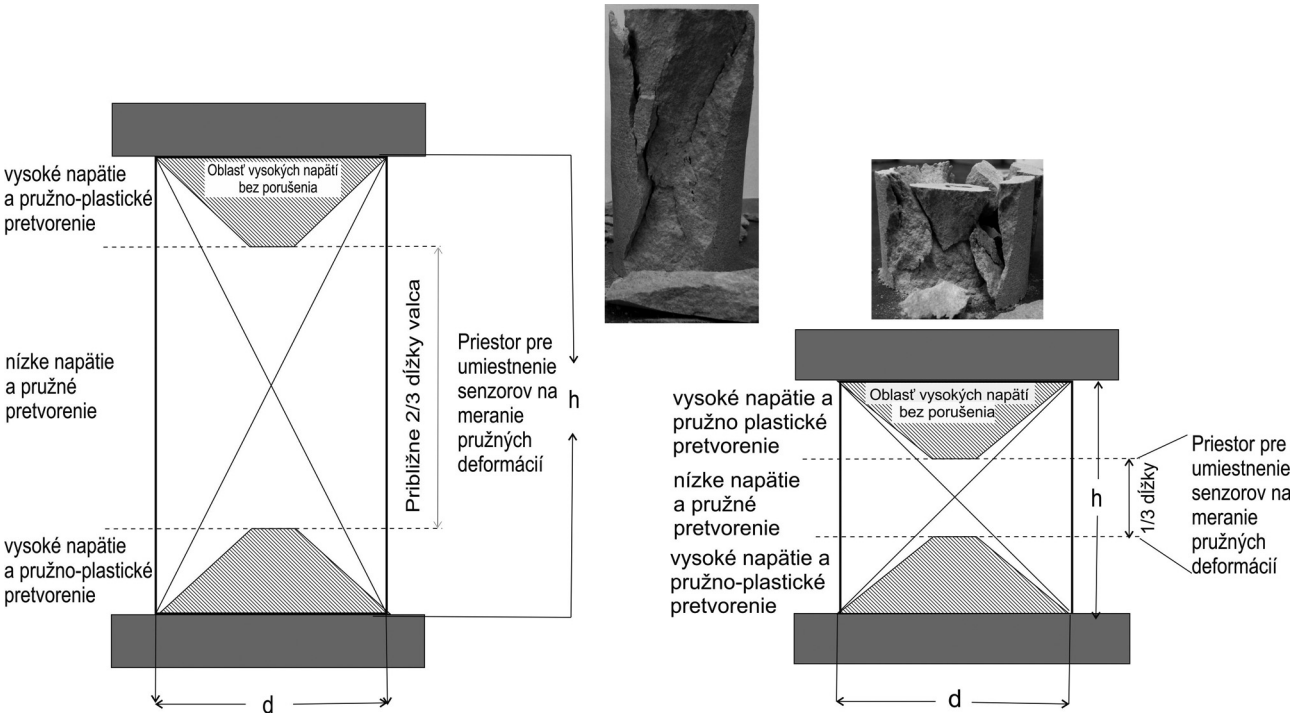
σ_c' je pevnosť v tlaku zistená pre teliesko h/d ≠ 1,

d je priemer skúšobného telieska a *h* je výška skúšobného telieska.

Zo vzťahu (3) vyplýva, že pre vzorky s pomerom h/d < 1 sa získavajú vyššie pevnosti, naopak, pre pomer h/d > 1 pevnosti menšie.

Ďalšie aspekty ovplyvňujúce výsledky pevnostno-deformačných skúšok

Rozdielne správanie sa horninového materiálu sa prejavuje nielen následkom rozmerového efektu, ale aj tuhosti tlačnej plochy lisu (Tang et al., 2000). Na stykových plochách skúšobného telieska a čeľustí lisu vzniká trenie, ktoré v závislosti od veľkosti súčiniteľa trenia zmenšuje alebo úplne obmedzuje vznik priečnej deformácie skúšobného



Obr. 4. Model napätia a deformácií na skúšobnom teliesku so štíhlostným pomerom h/d 2 a 1 (upravené podľa Thura et al., 2001) s ukážkou skúšobných teliesok po tlakovej skúške.

Fig. 4. Conceptual explanation for the relationship between the shape effect, strain and deformations on tested samples (modified after Thuro et al., 2001) with illustrations of samples after test.

telieska v blízkosti stykovej plochy. Veľkosť tangenciálneho napätia následkom odporu trenia je funkciou Poissonovho čísla.

Následkom odporu trenia na stykových plochách skúšobného telesa a čeľustí lisu dochádza v blízkosti strednej časti stykovej plochy ku koncentrácii napätia, ktoré sa kužeľovito zmenšuje, a až v strede skúšobného telieska sa uplatňuje rovnomerné jednoosové zaťaženie, ktoré zodpovedá fyzikálnej podstate skúšky v jednoosovom tlaku. To je najzávažnejší dôvod prechodu od štíhlostného pomeru skúšobných telies 1 ku štíhlostnému pomeru 2 až 3 (Trančík a Hatala, 1979). Na okrajoch skúšobného telieska v blízkosti styku s doskou čeľustí lisu sa však zvýšené priečne napätie prejavuje deštrukciou horniny (obr. 4).

V okolí klinovitého priestoru s koncentráciou napätia a deštrukcie horniny asi do 1/3 výšky skúšobného telieska v blízkosti tlačných plôch sa prejavujú pružno-plastické deformácie. Tým sa zmenšuje priestor pružných deformácií iba na strednú časť, čo značne redukuje priestor na upevnenie snímačov na meranie pružných deformácií (obr. 4). Preto sa v mechanike hornín na zisťovanie modulu pružnosti odporúčajú skúšobné telieska (valce alebo hranoly) so štíhlostným pomerom h/d minimálne 2. V prípade vzoriek so štíhlostným pomerom 1 priestor zvýšeného napätia a deštrukcie vzorky zasahuje až do 1/3 výšky vzorky z obidvoch zaťažovaných strán.

Deštrukcia obvykle pokračuje k šmykovému porušeniu telieska vo forme diagonálnych diskontinuít pod uhlom $\alpha = 45° - \varphi/2$ k pôsobiacej sile (φ je uhol vnútorného trenia, nazývaný aj uhol šmykovej pevnosti). Praktické skúšky ukazujú, že uhol diagonálnych plôch porušenia zviera s osou tlakovej sily uhol 24° až 34° (Letko, Hrašna a Hyánková, 1988). V niektorých prípadoch, napríklad pri predurčených textúrnych plochách, keď tlačná doska lisu je mäkšia a umožňuje priečne deformácie, alebo dotykové plochy sú natreté vazelínou, dochádza k vytvoreniu centrálnej ťahovej trhliny (Trančík a Hatala, 1979).

V procese jednoosového zaťaženia sa pre geotechnické účely stanovujú aj deformačné vlastnosti, menovite modul pružnosti (Youngov modul), moduly deformácie pri rôznom napätí a Poissonovo číslo. Z hľadiska posúdenia vplyvu veľkosti vzorky na hodnoty deformačných charakteristík možno z literatúry uviesť, že rozmerový efekt sa len veľmi málo alebo vôbec neuplatňuje pri Youngovom module a Poissonovom čísle (Yoshinaka et al., 2008). Naopak, štíhlostný pomer (pomer medzi výškou a základňou skúšobných teliesok) však značne ovplyvňuje hodnoty deformačných charakteristík stanovovaných v procese jednoosového zaťažovania. Autori Thuro et al. (2001) uvádzajú výrazný vzrast modulu pružnosti so zvýšením štíhlostného pomeru v rozmedzí 1 až 3. So zväčšovaním sa dĺžky skúšobného telieska, hoci pevnosť klesá, modul pružnosti vzrastá (Thuro et al., 2001).

Výsledky výskumu a diskusia

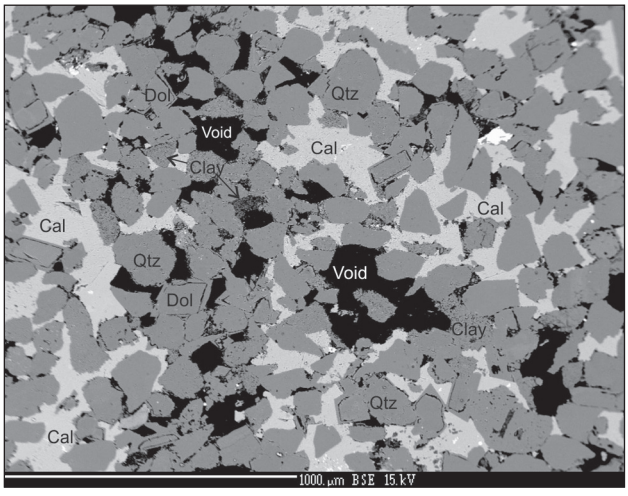
Výskum vplyvu veľkosti skúšobných teliesok na výsledné hodnoty pevnosti v jednoosovom tlaku bol realizovaný na pieskovcoch odobraných z lomu Králiky pri Banskej Bystrici, ktoré sa používajú ako sochársky a dekoračný kameň (obr. 5). Pieskovce paleogénneho veku sú jemnozrnné a rovnorodé, zložené prevažne zo zŕn karbonátov a kremeňa spojených navzájom kalcitovým tmelom s nepatrným rozptýleným množstvom ílu (obr. 6). Pórovitosť pieskovca je intergranulárna, vysoko efektívna a tvorí približne 16 % objemu horniny.

Z blokov pieskovca boli v laboratóriu zhotovené skúšobné telieska v tvare valčekov s priemerom 20, 35, 50 a 70 mm v štíhlostnom pomere 1 a pre prvé tri uvedené priemery aj v štíhlostnom pomere 2 (obr. 7). Na porovnanie kockovej a valcovej pevnosti boli zhotovené aj kocky s hranou 50 mm. Vzhľadom na jemnozrnnosť pieskovca všetky veľkosti skúšobných vzoriek spĺňali kritériá požadované z hľadiska výskytu prvkov nerovnorodosti.

Pre každú veľkostnú skupinu vzoriek bola stanovená priemerná hodnota pevnosti zo 6 až 10 skúšobných teliesok. Ilustrácia porušených vzoriek s priemerom 35

Obr. 5. Ťažobná stena lomu Králiky v paleogénnych pieskovcoch.

Fig. 5. Quarrying wall in Paleogene sandstone in the quarry Králiky.



Obr. 6. Minerálne zloženie a mikroštruktúra pieskovca z lomu Králiky.

Fig. 6. Mineral composition and microstructure of sandstone from the quarry Králiky.

Obr. 7. Skúšobné telieska pieskovca zhotovené na sledovanie rozmerového a tvarového efektu na výsledky skúšky pevnosti.

Fig. 7. Sandstone samples prepared for scale and shape effect measurements.

Obr. 8. Skúšobné telieska s priemerom 35 mm a 50 mm po tlakových skúškach.

Fig. 8. Samples with diameter 35 mm and 50 mm after compressive strength tests.

a 50 mm je na obr. 8. Výsledky skúšok na zistenie pevnosti sú vyjadrené graficky na obr. 9 a nepodporujú jednoznačné závery citovaných autorov – Hoeka a Browna (1980, 1997); Letka, Hrašnu s Hyánkovej (1988); alebo Krmadibratu a Jonesa (1993) – o zmenšovaní pevnosti s narastajúcim rozmerom skúšobnej vzorky. Hodnoty pevnosti pieskovca s objemovou hmotnosťou 2,3 g · cm^{-3}, klasifikovaného podľa STN 72 1001 ako hornina strednej pevnosti, kolíšu v závislosti od priemeru skúšobného telieska. Pre valcové skúšobné telieska so štíhlostným pomerom 1 sa hodnoty pevnosti pohybujú v pomerne širokom rozsahu od 38 až po 72 MPa v závislosti od veľkosti vzorky (obr. 9). Pre skúšobné telieska so štíhlostným pomerom 2 sa prejavil ten istý stúpajúci trend hodnôt pevnosti so zväčšovaním priemeru vzoriek, pričom sú však tieto pevnosti vyššie o 16 až 19 % oproti adekvátne veľkým, ale nižším vzorkám. So zväčšovaním priemeru vzoriek sa zväčšovala aj pevnosť, čo je v nesúlade s trendmi uvedenými na obr. 2 a obr. 3, ako aj so závermi viacerých autorov, napr. Thura et al. (2001), že veľkostný efekt pri skúškach pevnosti nehrá veľkú úlohu. Vyššia pevnosť zistená na valčekoch so štíhlosťou 2 v porovnaní s pevnosťou zistenou na valčekoch so štíhlosťou 1 je takisto v rozpore s doterajšími všeobecnými tvrdeniami (Pauli a Holoušová, 1991; Thuro et al., 2001).

Rozdiely v hodnotách pevnosti pieskovcov zistené na valčekoch s rôznym štíhlostným pomerom podporujú závery, ktoré uvádzajú autori Thuro et al. (2001), o výraznom vplyve štíhlostného efektu na výsledky skúšok a sú v súlade s výsledkami experimentov uskutočnených na betónových vývrtoch uvedených v európskej norme STN EN 12504-1.

Podľa normy EN 1926 zisťovanie pevnosti v jednoosovom tlaku na účely využívania hornín ako stavebného kameňa možno vykonávať na skúšobných telieskach tvaru valca alebo kocky. Priemerná hodnota pevnosti pieskovca z lokality Králiky na valčekoch s priemerom 50 mm bola 53,1 MPa a na kockách s hranou 50 mm v hodnote 44,7 MPa. Rozdiely v pevnostiach vyplývajúce z tvaru vzoriek

poukazujú na rozdielny charakter porušovania. Ostré hrany a rohy prizmatického telieska sa ľahšie porušujú a menia rozloženie napätia, čo má vplyv aj na výsledné hodnoty pevnosti. Zistená nižšia kocková pevnosť pieskovca v porovnaní s valčekovou pevnosťou je v nesúlade s výsledkami autorov Letka, Hrašnu a Hyánkovej (1988) získanými na pevných skalných horninách.

Vyššie citovaní autori uvádzajú výsledky experimentov väčšinou na veľmi pevných skalných horninách. Výsledky skúšok pevnosti realizované na slabších horninových materiáloch poukazujú na ich odlišné správanie. Skúšaný pieskovec z lomu Králiky vzhľadom na jeho pevnosť, nízku objemovú hmotnosť a vysokú pórovitosť sa blíži k poloskalným horninám. Pri rozdielnom správaní sa pieskovca pri jednoosovom zaťažovaní sa zdá, že úlohu zohráva pomerne vysoká primárna pórovitosť pieskovca, a teda výraznejšie plastické porušovanie šmykom oproti krehkému porušovaniu v pevnejších skalných horninách.

Záver

Pri laboratórnom stanovovaní jednoosovej pevnosti v tlaku hornín treba brať do úvahy účel, na ktorý sa táto charakteristika určuje – či na zakladanie a budovanie stavieb v horninovom prostredí, alebo na využívanie hornín ako stavebného materiálu. Podľa účelu existujú odlišné normalizované metodické pokyny na stanovenie tejto významnej charakteristiky.

Jestvujú výrazne rozdielne názory na to, ako veľkosť skúšobných teliesok ovplyvňuje hodnoty pevnostných a deformačných charakteristík. Prehľad poznatkov a vlastné výskumy ukazujú, že na porovnanie výsledkov skúšok vykonaných na skúšobných telieskach rôznej veľkosti a tvaru však nemožno použiť všeobecne platné vzťahy. Experimentálne zistené prepočtové vzťahy jednotlivých autorov platia len pre určitý litologický typ.

Pribúdajúce experimenty zamerané na sledovanie rozmerového efektu ukazujú, že v literatúre často uvádzaná axióma „pevnosť v jednoosovom tlaku sa znižuje so zväčšujúcim sa rozmerom vzoriek“ nemá všeobecnú platnosť. Preto je nevyhnutné rozmerový efekt odskúšať a vyjadriť pre každý litologický typ horniny samostatne, ako to odporúčajú aj Hoek a Brown (1980) a Yoshinaka et al. (2008).

Štíhlostný efekt (pomer výšky k priemeru) skúšobného telieska má výraznejší vplyv na výsledok skúšky pevnosti ako rozmerový (veľkostný) efekt.

Vzhľadom na nezávislosť vplyvu veľkosti skúšobných telies na výslednú hodnotu pevnosti možno konštatovať, že so zväčšujúcim sa rozmerom skúšobného telieska je menší rozptyl hodnôt pevnosti, preto má význam na stanovenie pevnosti používať vzorky štandardnej veľkosti, prípadne väčšie.

Na získanie reprezentatívnych hodnôt pevnosti by mala veľkosť skúšobných teliesok zohľadňovať aj prvky nerovnorodosti daného litologického typu.

Poďakovanie. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0641-10.

References

EN 1926: Natural stone test methods. Determination of uniaxial compressive strength. 2006.

González De Vallejo, L. I., & Ferrer, M.: Geological Engineering. CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 678 p.

Hoek, E., & Brown, E. T., 1980: Underground Excavation in Rock. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980, 527 p.

Hoek, E., & Brown, E. T., 1997: Practical estimates of rock mass strength. *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34, 8, 1 165 – 1 186.*

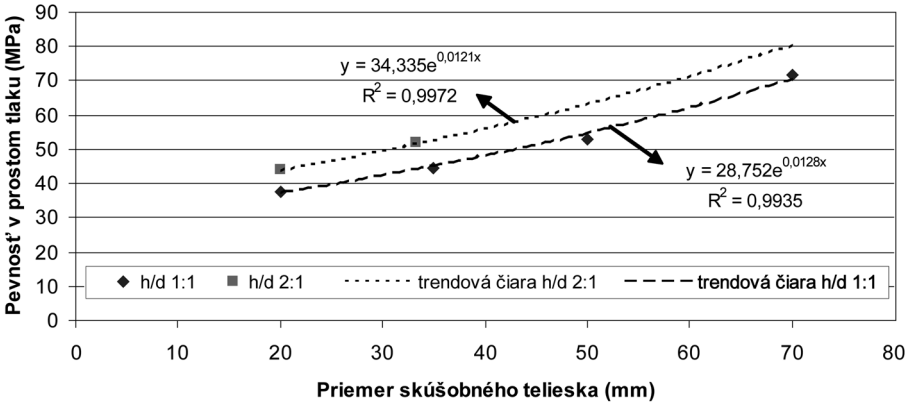
Hyánková, A., Matula, M., & Boroš, L., 1979: Racionálne metódy inžinierskogeologického výskumu skalných hornín. *In: Inžinierskogeologické štúdium horninového prostredia a geodynamických procesov. Bratislava, Veda.*

Jackson, R., & Lau, I. S. O., 1993: The effect of specimen size on the laboratory mechanical properties of Lac du Bonnet gray granite. *In: Cunha, A. P. (ed.): Scale Effect in Rock Masses. Proc. of the First International Workshop, Balkema, Norway, 165 – 174.*

Krmadibrata, S., & Jones, I. O., 1993: Size effect on strength and deformability of brittle intact rock. *In: Cunha, A. P. (ed.): Scale Effect in Rock Masses. Proc. of the First International Workshop, Balkema, Norway, 77 – 284.*

Labaš, M., & Miklúšová, V., 2004: Rozmerový efekt pri stanovovaní pevnosti hornín v prostom tlaku. *In: Sbor. vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Řada stavební – 13. regionální konference s mezinárodní účastí Rozvoj seizmologie, inžnýrské geofyziky a geotechniky, Roč. IV, 2, 175 – 182.*

Letko, V., Hrašna, M., & Hyánková, A., 1988: Vplyv skúšobných vzoriek na zisťovanie pevnosti poloskalných hornín. *Inžnýrské stavby, 8, 409 – 412.*



Obr. 9. Pieskovce z lomu Králiky – výsledky skúšok pevnosti pre rôzne veľké skúšobné telieska.

Fig. 9. Correlation of sample diameter and uniaxial compressive strength on sandstones from the quarry Králiky.

Matejček, A., Wagner, P., Sabela, P., & Szabo, Š., 1994: Geotechnical zoning of crystalline rock mass. *In: Rakowsski (ed.): Geomechanics 93. Balkema, Rotterdam, 111 – 114.*

Matula, M., 1973: Problémy inžinierskogeologických klasifikačných systémov hornín. *Acta geol., 25, 135 – 181.*

Pauli, J., & Holoušová, T., 1991: Mechanika hornin. Laboratorní zkoušky hornin. *Praha, ČVUT, 123 s.*

Petro, Ľ., Frankovská, J., Matys, M., & Wagner, P., et al., 2008: Inžinierskogeologický a geotechnický terminologický slovník. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 465 s.*

Rac, M.V., 1973: Strukturnyje modeli v inženernoj geologii. *Moskva, Nedra.*

STN EN 1926: Skúšky prírodného kameňa. Stanovenie jednoosej pevnosti v tlaku. 2007.

STN 72 1136: Stanovenie pevnosti v tlaku prírodného stavebného kameňa. 1983 (je zrušená).

STN 72 1001: Klasifikácia zemín a skalných hornín. 2010.

STN EN 12504-1: Skúšanie betónu v konštrukciách. Časť 1: Vzorky z jadrového vŕtania. Odber, preskúmanie a skúška pevnosti v tlaku. 2010.

STN 73 1001: Geotechnické konštrukcie. Zakladanie stavieb. 2010.

Tang, C. A., Tham, L. G., Lee, P. K. K., Taui, V., & Liu, H., 2000: Numerical studies of the influence of microstructure on rock failure in uniaxial compression – part II: Constraint, slenderness and size effect. *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 37, 4, 571 – 583.*

Thuro, K., Plinninger, R. J., Zäh, S., & Schutz, S., 2001: Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test. *In: Särkkä & Eloranta (eds.): Rock Mechanics – a Chalenge for Society. Swets & Zellinger Lisse, 169 – 174.*

Trančík, P., & Hatala, J., 1979: Geomechanika. *Bratislava, Alfa.*

Ulusay, R., & Hudson, J. A., 2007: Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *In: The complete suggested methods for rock characterization testing and monitoring: 1974 – 2006. ISRM Turkish National Group, Ankara, 153 – 154.*

Wagner, P., 1988: Nerovnorodosť a anizotropia. *In: Matula, M. (ed.): Moderné metódy hodnotenia horninového a životného prostredia. I. diel. Učebný text pre postgraduálne štúdium. Bratislava, PriF UK, 157 – 167.*

Wagner, P., 1994: Engineering geological assessment of rock mass quality based on the study of discontinuities. *Acta Geol. Univ. Comen., 50, 11 – 19.*

Yoshinaka, R., Osada, M., Park, H., Sasaki, T., & Sasaki, K., 2008: Practical determination of mechanical design parameters of intact rock considering scale effect. *Engng Geol., 96, 3 – 4, 1, 173 – 186.*

Rukopis doručený 15. 4. 2012
Revidovaná verzia doručená 23. 4. 2012
Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012

Heterogeneity and scale effect in determination of rock strength

Strength of rocks is one of the basic characteristics in evaluation of the rock quality. A common laboratory method to obtain rock strength properties is an uniaxial compressive test. An uniaxial compressive strength (UCS) is classification characteristic in rock mechanics and engineering geology. Determination of the UCS is standardized (Ulusay and Hudson, eds., 2007, EN 1926, STN EN 1926), however, requirements for the sample size and shape are different according to the purpose, especially tests in rock mechanics and building stone quality evaluation.

Know-how of various factors impacting on the UCS values is summarized in the paper. Values of the UCS are primarily influenced by the rock heterogeneity, size, shape and slenderness ratio of test specimens. Rock heterogeneity aspects related to evaluated rock zone are illustrated in Fig. 1. It is well established that UCS of intact rock decreases as specimen size increases (Hoek and Brown, 1980; Letko, Hrašna and Hyánková, 1988; Yoshinaka et al., 2008; Krmadibrata and Jones, 1993; González de Vallejo and Ferrer, 2011, and others). The influence of specimen size on the UCS of various rock types according to various authors is illustrated in Figs. 2 and 3.

Slenderness ratio of the sample (the ratio of height or length to diameter) influences strength, strain measurements and the creation of elasto-plastic areas in the sample under load. Slenderness ratio effect on stress distribution with photo illustrations of samples after compressive tests is in Fig. 4.

The scale and shape effect was studied on sandstone from the Králiky quarry producing building and decorative stone (Fig. 5). Homogeneous fine-grained sandstone of Paleogene age consists of carbonates and quartz fragments in calcite matrix with scattered clay (Fig. 6). Bulk density of the sandstone is 2.3 g/cm^3 and total porosity is about 16 %. Sets of 6–10 cylindrical samples with diameter near 20, 35, 50 and 70 mm and cubes with size of 50 mm were prepared from sandstone blocks (Fig. 7). Mean values of the UCS was determined for each rock size group. Fig. 8 illustrates disrupted specimens of 35 and 50 mm diameter after uniaxial compressive tests. The Králiky sandstone uniaxial compressive strength values are presented in Fig. 9. The UCS of specimens with ratio of height to diameter (h d) = 1 ranges from 38 to 72 MPa, depending on the specimen size. Specimens with ratio 2 proved the same trend – the increasing values of strength with increasing size of specimens. Correspondingly, the strength values for specimens of h/d = 2 were about 16–19 % higher than for specimens h/d = 1 (Fig. 9). Sandstone strength increasing with increasing of the sample size is contradicting to common opinions of various authors, declaring strength increasing with sample decreasing (Hoek and Brown, 1980, 1997; Letko, Hrašna and Hyánková, 1988; Krmadibrata and Jones, 1993), being illustrated on correlation graphs (Figs. 2 and 3), and also with references of some authors that the scale effect is not significant in determination of strength (Thuro et al., 2001). Lower mean value of the UCS of sandstone on cubes (44.7 MPa) than on cylinder samples (53.1 MPa) is also in disharmony with the results determined on some very strong rocks (Letko, Hrašna and Hyánková, 1988).

Cited authors show results of strength tests prevailingly on the strong and very strong rocks. Tested sandstone can be classified as rock with medium strength. Different behaviour of softer and weaker sandstone in process of the uniaxial loading is maybe caused by its higher porosity and by significant ductile behaviour in comparison with the brittle behaviour of stronger rocks.

Different experiences exist how the lithology, specimen size and shape influence strength and deformation properties. A lot of experiments related to the scale and shape effect show that the well known statement “the UCS of intact rock decreases as specimen size increases” is not valid generally. Therefore according to recommendation of Hoek and Brown (1980), Yoshinaka et al. (2008) and others, it is necessary to determine the scale effect for each lithological type. The ratio of height to diameter of specimens has greater influence on test results as the different size or diameter. For obtaining of representative values of the strength, the size of specimens shall reflect also the size of heterogeneity elements of the studied rock type.

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 157 – 166
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Využitie digitálnej fotogrametrie pri štruktúrnej analýze skalných svahov

PATRICIA EKKERTOVÁ a VLADIMÍR GREIF

Katedra inžinierskej geológie Prírodovedeckej fakulty UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava
ekkertova@fns.uniba.sk; greif@fns.uniba.sk

The use of digital photogrammetry for structure analysis of the rock slopes

The aim of this work was the development of methodology for measuring orientation of discontinuites of rock slopes with terrestrial digital photogrammetry and its verification in use. Selected photos were processed by the software Photomodeler Scanner, where a cloud of 3D points was created from pairs of images, which allowed to automatically determine and plot of fractures in the program Split-Fx. Analysis of results allowed to create a graph of optimal distance from the camera position to rock slope to height of slope with showing the boundary distance and optimal distance between the camera positions, for the focal distances 16 and 35 mm. The result of analysis was also the creation of a qualitative evaluation methodology of cloud points.

Key words: digital photogrammetry, rock slope, structural analysis, pointcloud

Úvod

Fotogrametria predstavuje technológiu s dlhodobým využitím a vývojom, počas ktorého sa spôsob získavania informácií o objektoch zobrazených na snímkach menil z metód využívajúcich opticko-mechanické prístroje na metódy, ktoré predstavujú plne digitalizovanú prácu s digitálnymi snímkami a fotogrametrickým softvérom (Linder, 2006).

V priebehu niekoľkých posledných rokov sa výrazne zvýšila dôležitosť spracovania digitálneho obrazu vo fotogrametrii. Rozhodujúcimi činiteľmi, ktoré prispeli k tomuto vývoju, boli podstatné zvýšenie kapacity počítačov a výroba digitálnych fotoaparátov. Súbežne sa vyvíjali metódy spracovania digitálneho obrazu, ako aj fotogrametrické algoritmy, ktoré v konečnom dôsledku pripravili cestu aplikáciám digitálnej fotogrametrie.

Geometrickým princípom vzniku fotogrametrickej snímky je centrálna projekcia. Vzťah medzi predmetom a jeho fotogrametrickou snímkou v čase expozície definuje tzv. fotogrametrický zväzok lúčov prechádzajúci stredom premietania. Keď je známy tvar a poloha fotogrametrického zväzku lúčov, je možné rekonštruovať tvar a veľkosť predmetov zobrazených na snímke. Tvar fotogrametrického zväzku lúčov určujú prvky vnútornej orientácie, zatiaľ čo jeho polohu v priestore určuje 6 prvkov vonkajšej orientácie snímky. V pozemnej fotogrametrii sú to priestorové súradnice fotogrametrického stanoviska, t. j. stredu premietania, otočenie snímky φ (uhol medzi horizontálnym priemerom osi záberu a daným smerom v horizontálnej rovine), sklon osi záberu ω (uhol medzi osou záberu a horizontálnou rovinou) a pootočenie snímky χ (uhol, ktorý zviera spojnica protiľahlých rámových značiek s určitým smerom alebo priamkou). Uhly φ a ω určujú smer osi záberu v priestore, pootočenie χ predstavuje pootočenie snímky vo vlastnej rovine okolo osi záberu. Polohu predmetov zobrazených na snímke vyjadrujú snímkové súradnice (obr. 1; Bitterer, 2005).

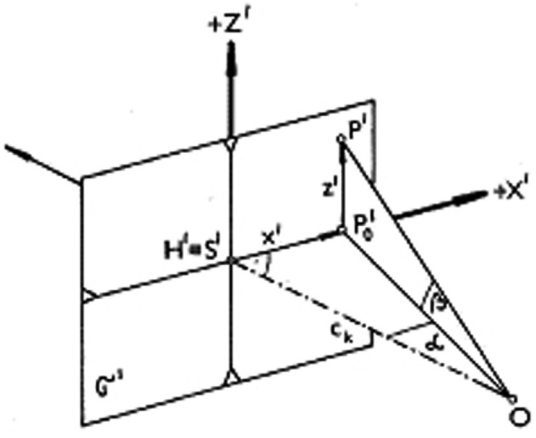
V digitálnej fotogrametrii sú implementované známe algoritmy z klasickej fotogrametrie, ako je triangulácia, snímková orientácia, ortoprojekcia a stereoskopické videnie, prináša však aj ďalšie možnosti, napr. spracovanie obrazu. Veľký prínos spočíva v možnosti priameho kombinovania dát spracovaných metódou digitálnej fotogrametrie s mapami vo vektorovej alebo rastrovej podobe (Šandorfi a Halvoň, 2010).

Krátkorozsahová pozemná digitálna fotogrametria je čoraz viac používaná ako mapovacia metóda na zobrazenie morfológie prírodných a umelých skalných svahov v 3D rozmere. Často vyzdvihovanými výhodami tejto metódy, ako aj metódy laserového skenovania (Sturzenegger a Stead, 2009) sú schopnosť prezerať neprístupné strmé a vysoké skalné steny, znížené riziko pre pracovníkov – keďže pozorovanie je možné podniknúť zo vzdialenejších bezpečných miest chránených pred dopravou a padaním skál, vznik trvalého záznamu vlastností skalného svahu v určitom čase a možnosť zistenia veľkosti orientácie diskontinuít, keď je meranie geologickým kompasom ovplyvnené prítomnosťou rudných telies. Tieto techniky pôsobia ešte atraktívnejšie vďaka metódam, ktoré umožňujú automatické, časovo efektívne rozpoznávanie diskontinuít na 3D modeloch (Kemeny a Donovan, 2005; Kemeny et al., 2006; Ferrero et al., 2008).

Sturzenegger a Stead (2009) sa zaoberali porovnávaním zistených orientácií puklín v teréne a získaných orientácií metódami pozemnej digitálnej fotogrametrie ako aj porovnávaním presnosti merania orientácií diskontinuít pomocou pozemných snímacích metód – digitálnej fotogrametrie voči laserovému skenovaniu, pričom svoje výsledky porovnávali aj s výsledkami ďalších autorov (Coggan et al., 2007; Krosley et al., 2006). Výsledky ich práce dokazujú vysokú presnosť merania orientácií diskontinuít týmito metódami. Metódy pozemného snímania ponúkajú možnosť merať orientáciu diskontinuít na omnoho väčšej ploche než pri použití geologického kompasu. Optimálne nastavenia na získanie snímok a geometrie systému sú špecifikované v práci Bircha (2006) a ďalšie detaily možno nájsť aj v prácach Frasera (1996) a El-Hakima et al. (2003).

Kvantifikáciou orientácie diskontinuít a stálosťou vysokých horských skalných svahov a veľkých zosuvov použitím metódy pozemnej diaľkovej digitálnej fotogrametrie a laserového skenovania sa zaoberali Sturzenegger a Stead (2009b) v štyroch lokalitách v kanadských Skalných horách. V rámci metódy digitálnej fotogrametrie použili fotoaparát Canon EOS 30D s použitím rozličných ohniskových vzdialeností objektívu (20, 50, 200 a 400 mm) a na spracovanie fotografií použili softvér 3DM Calibcam/Analyst Software (ADAM Technology, 2007).

Charakteristika diskontinuít pozostáva z hlavných prvkov štruktúrnej analýzy, vrátane vymedzenia geometrických vlastností diskontinuity, ako je priestorová poloha, orientácia, veľkosť a drsnosť (ISRM, 1978). Podľa Frasera (1996) presnosť stereomodelu v digitálnej fotogrametrii závisí najmä od geometrie systému, t. j. relatívnej pozície fotoaparátu a objektu. Presnosť výrazne závisí aj od zadania 3D modelu do lokálneho alebo globálneho referenčného systému. Pötsch et al. (2006) tiež poukázali na spôsob merania diskontinuít vysokých svahov použitím pozemnej digitálnej fotogrametrie. Tannant et al. (2006) skúmali potenciál pozemnej digitálnej fotogrametrie pre prieskum v prostredí povrchovej ťažby.



Obr. 1. Snímkové súradnice a uhly.

Fig. 1. The frame coordinates and angles.

Metodický postup

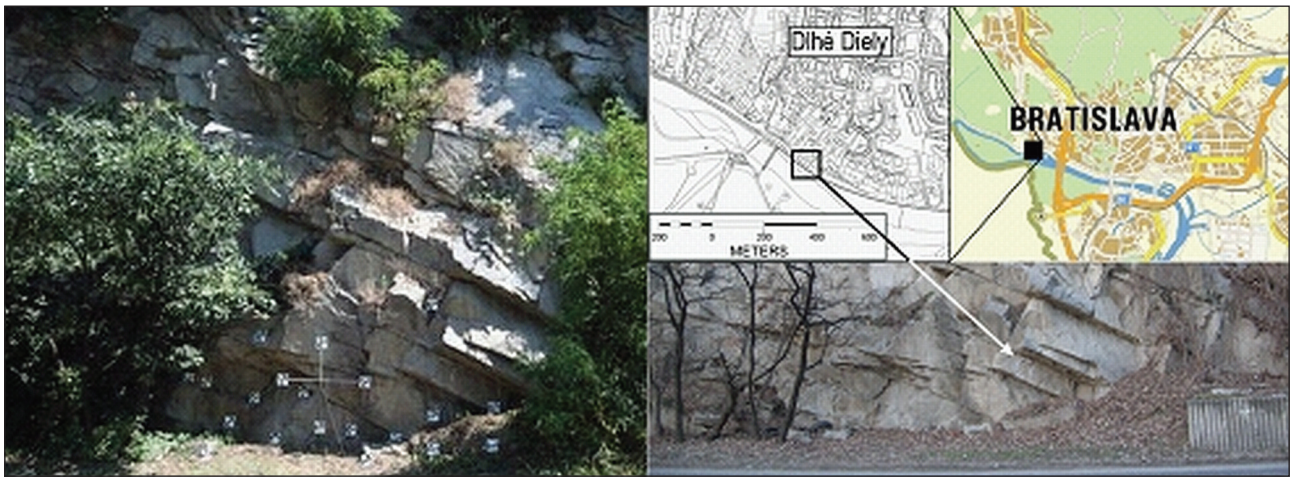
Na overenie metodického postupu v praxi boli pre digitálne snímkovanie vybrané nasledujúce modelové lokality: skalný svah v odreze Devínskej cesty spájajúcej bratislavské mestské časti Karlova Ves a Devín, neďaleko vodného zdroja Sihoť, s výškou približne 7 m (obr. 2); Románsky palác, skalný svah nachádzajúci sa v severnej časti masívu Spišského hradu v okrese Spišská Nová Ves v Košickom kraji, s výškou približne 3,5 m (obr. 3) a skalný svah v areáli uzavretého kameňolomu Srdce na SZ svahu Devínskej Kobyly, približne 600 m juhovýchodne od bytovej zástavby sídliska Podhorské v Devínskej Novej Vsi, s výškou približne 5 m (obr. 4).

Na snímanie skalných svahov bol použitý digitálny fotoaparát Canon EOS 5D Mark II; 21,1 MPix s ohniskovou vzdialenosťou objektívu 16 mm a/alebo 35 mm.

Súčasťou prác bol proces kalibrácie objektívu digitálneho fotoaparátu, ktorý spočíval vo vytvorení dvanástich snímok štvorcovej kalibračnej siete, umiestnenej na rovnej podložke za pomoci statívu s použitím objektívu, ktorý bolo potrebné nakalibrovať. Prvé štyri snímky boli vytvorené z každej strany siete vo vodorovnej polohe fotoaparátu. Pri nasledujúcich štyroch fotografiách bol fotoaparát pootočený o 90° doprava od horizontálnej osi a pri tretej štvorici fotografií bol fotoaparát pootočený o 90° doľava od horizontálnej osi. Všetkých dvanásť fotografií bolo vložených do softvéru Photomodeler Scanner a v procese automatickej kalibrácie boli fotografie nakalibrované.

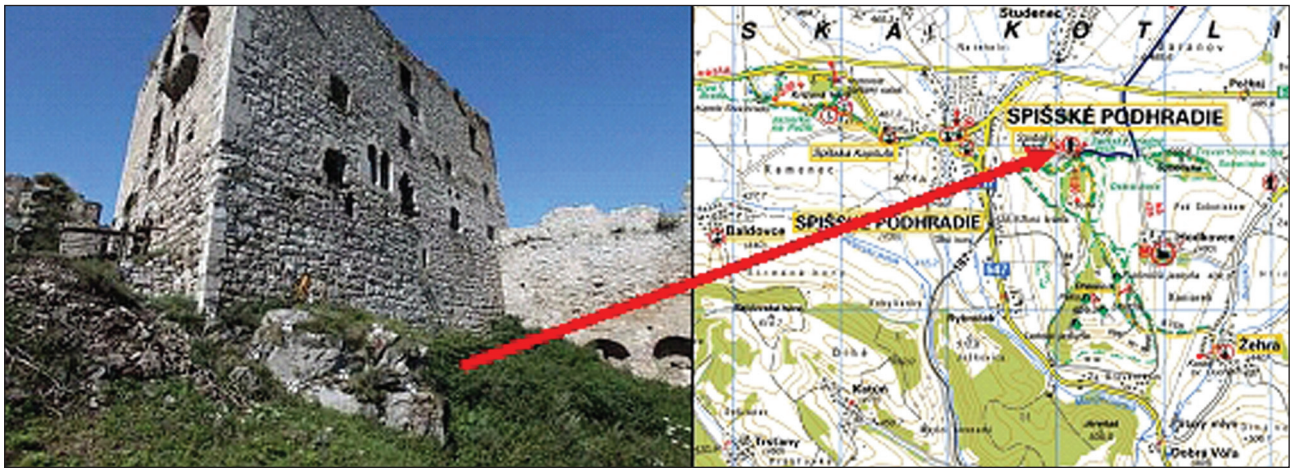
Pred samotným vytvorením snímok bolo na skalný svah náhodne rozmiestnených dvadsať kódových terčov s veľkosťou 20 x 20 cm, ktoré boli vygenerované softvérom Photomodeler Scanner. Použitie kódových terčov nie je nevyhnutné, avšak výrazne urýchľuje a uľahčuje spracovanie digitálnych fotografií pri tvorbe mračna 3D bodov v programe Photomodeler Scanner, pretože umožňuje automatickú identifikáciu totožných bodov na jednotlivých digitálnych snímkach. Na skalný svah bol umiestnený aj zorientovaný osový kríž na určenie orientácie skalného svahu voči svetovým stranám (obr. 5).

Skalný svah bol zosnímaný väčším počtom snímok z viacerých stanovísk, z rôznych vzdialeností a uhlov na získanie a nájdenie správneho pomeru ohnisková vzdialenosť – uhol medzi pozíciami fotoaparátu – vzdialenosť od skalného svahu – rozmery skalného svahu, ktorý by bol predpokladom na vytvorenie dostatočne veľkého a kvalitného mračna 3D bodov v softvéri Photomodeler Scanner. Pri snímaní bolo nutné zachovať princípy stereofotogrametrie, a to prekrytie jednotlivých dvojíc fotografií (ľavej a pravej fotografie) pri dodržaní podmienky, že hodnota uhla medzi dvomi snímkami by mala byť optimálne 10 – 30° a pomer b/h, t. j. pomer medzi vzdialenosťou dvoch pozícií fotoaparátu (b) a vzdialenosťou pozície fotoaparátu od skalného svahu (h) pre danú dvojicu snímok by mal mať hodnotu 0,1 – 0,5. Výber ohniskovej vzdialenosti priamoúmerne závisel od rozmerov skalného svahu, to znamená, že čím boli rozmery skalného svahu väčšie, tým väčšia vzdialenosť, a teda aj väčšia ohnisková



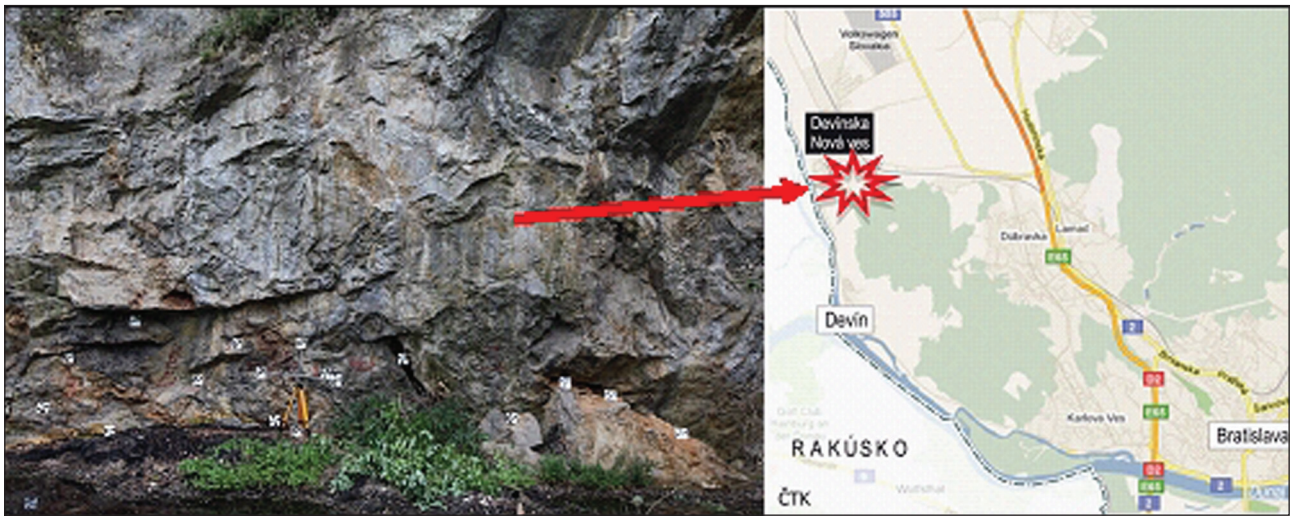
Obr. 2. Lokalita Devínska cesta.

Fig. 2. The site Devínska cesta.



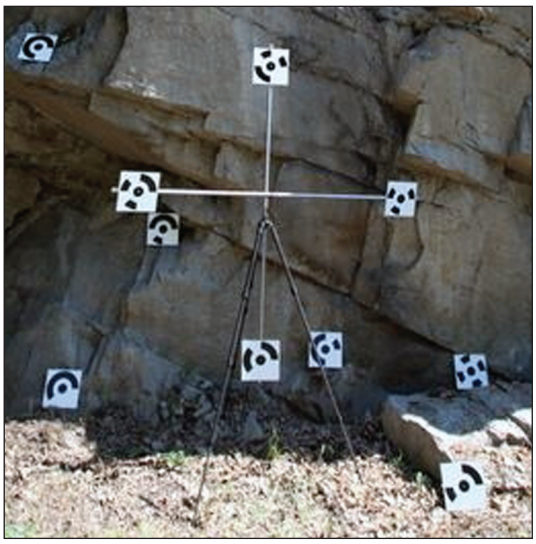
Obr. 3. Lokalita Románsky palác.

Fig. 3. The site Roman Palace.



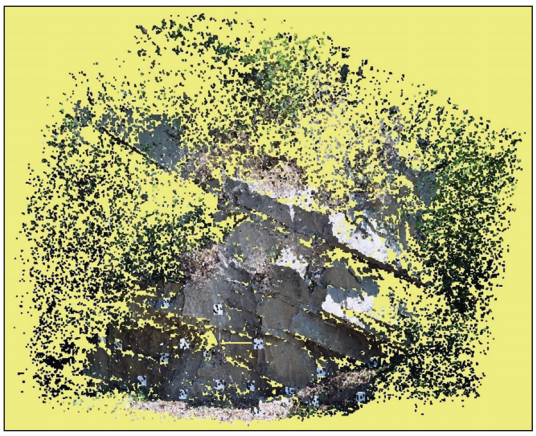
Obr. 4. Lokalita Srdce.

Fig. 4. The site Srdce.



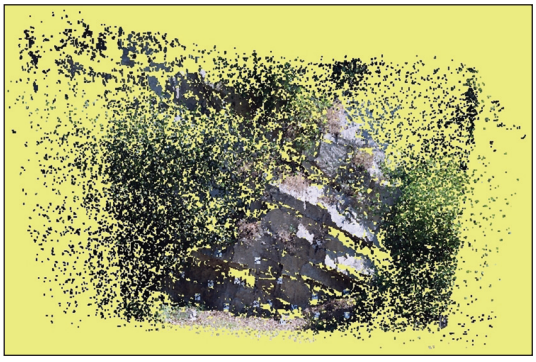
Obr. 5. Osový kríž na určenie orientácie skalného svahu voči svetovým stranám.

Fig. 5. The axial cross for identification of rock slope orientation towards cardinal points.



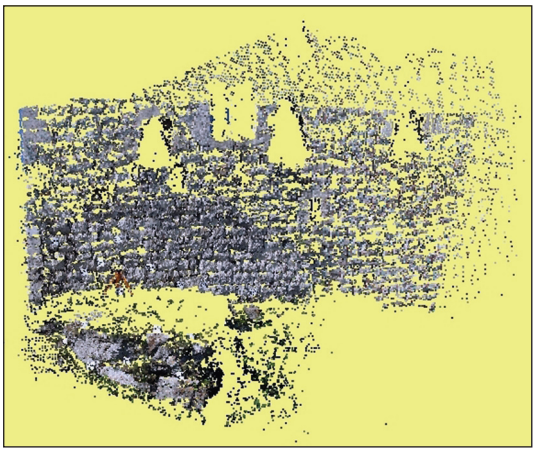
Obr. 6. Mračno 3D bodov – Devínska cesta, ohnisková vzdialenosť 16 mm.

Fig. 6. The pointcloud – Devínska cesta, focal distance 16 mm.



Obr. 7. Mračno 3D bodov – Devínska cesta, ohnisková vzdialenosť 35 mm.

Fig. 7. The pointcloud – Devínska cesta, focal distance 35 mm.

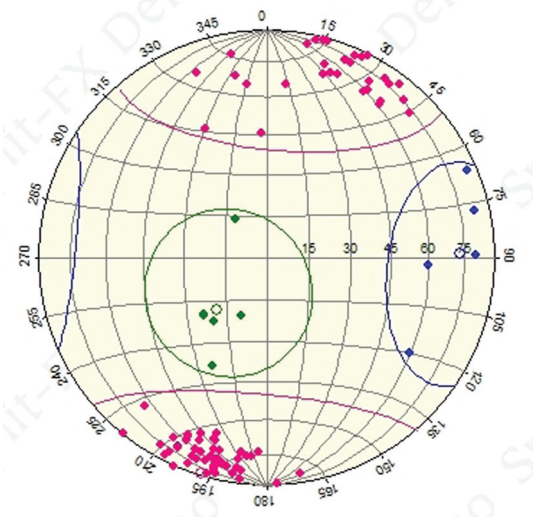


Obr. 8. Mračno 3D bodov – Románsky palác, ohnisková vzdialenosť 16 mm.

Fig. 8. The pointcloud – Roman Palace, focal distance 16 mm.

Obr. 9. Mračno 3D bodov – Srdce, ohnisková vzdialenosť 35 mm.

Fig. 9. The pointcloud – Srdce, focal distance 35 mm.



Obr. 10. Schmidtov diagram pólov diskontinuít – Devínska cesta, ohnisková vzdialenosť 16 m.

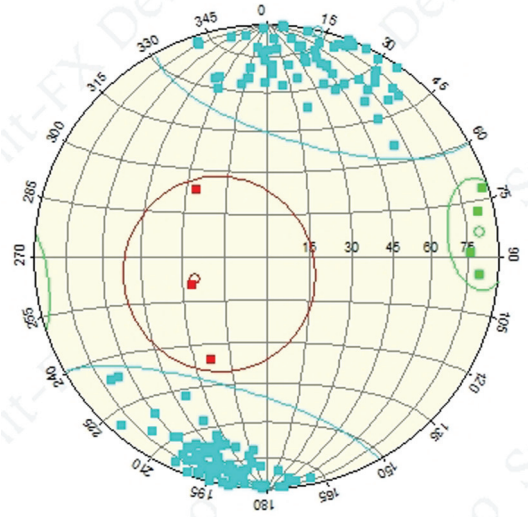
Fig. 10. The Schmidt graph – Devínska cesta, focal distance 16 mm.

vzdialenosť objektívu, bola potrebná na zachytenie celého skalného svahu.

Výber fotografií na spracovanie a vytvorenie mračna 3D bodov v programe Photomodeler Scanner závisel od vizuálneho posúdenia parametrov snímania každej fotografie, prípadne každej dvojice fotografií, a to vzdialenosti pozície fotoaparátu od skalného svahu, uhla medzi dvojicou fotografií a dostatočnej veľkosti kódových terčov na snímkach. Po výbere fotografií boli snímky zidealizované, čím bolo odstránené skreslenie na základe orientačných a kalibračných parametrov tak, aby bolo dosiahnuté ideálne centrálne premietanie. Ďalším krokom pri vytváraní mračna 3D bodov bola automatická identifikácia a označenie kódových terčov na snímkach. Ak softvér nebol schopný automaticky identifikovať niektoré kódové terče, bolo použité manuálne subpixelové označenie a následné zreferencovanie. V prípade väčšej výšky skalného svahu alebo nerovnomerného rozmiestnenia kódových terčov bol skalný svah manuálne doplnený o ďalšie zreferencované body. Pred procesom tvorby mračna 3D bodov bolo potrebné zadať škálu a orientáciu skalného svahu. Vzdialenosť medzi dvomi kódovými terčmi na osovom kríži určila škálu. Osový kríž slúžil aj na určenie orientácie skalného svahu, a to priradením dvoch terčov v horizontálnom smere k osi X a priradením dvoch terčov vo vertikálnom smere k osi Z.

Pri vytváraní mračna 3D bodov boli menené nastavenia parametrov – kroku vzorkovania *(sampling rate)* a hĺbkového rozsahu *(depth range)*. Krok vzorkovania určoval interval vzorkovania bodov na ploche skalného svahu a hĺbkový rozsah udával, v akej vzdialenosti pred a za myslenou stredovou rovinou skalného svahu má program vytvárať 3D body. Výsledkom spracovania snímok bolo mračno 3D bodov (obr. 6 – 9).

Výsledné mračno bodov bolo vo forme textového súboru importované do softvéru Split-Fx, ktorý umožnil manuálne vyznačenie plôch diskontinuít skalného svahu, následné automatické meranie ich orientácií a zakreslenie do Schmidtovej ekvatoriálnej projekcie (obr. 10 – 13).

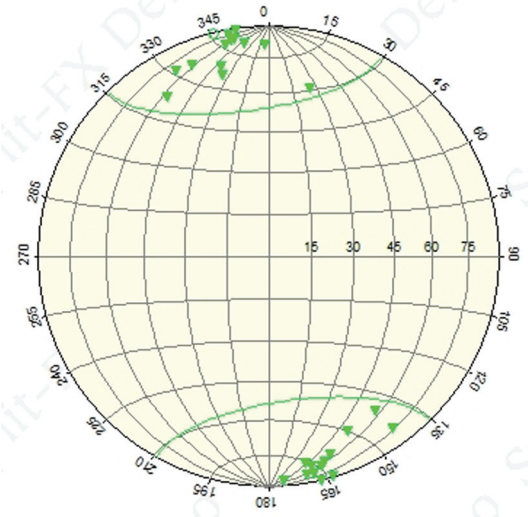


Obr. 11. Schmidtov diagram pólov diskontinuít – Devínska cesta, ohnisková vzdialenosť 35 mm.

Fig. 11. The Schmidt graph – Devínska cesta, focal distance 35 mm.

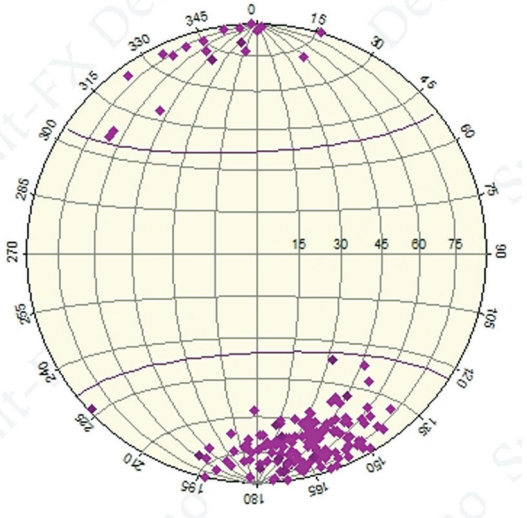
Analýza výsledkov

Cieľom analýzy výsledkov bolo zistenie optimálnych parametrov snímania skalného svahu so zameraním sa na určenie optimálnej vzdialenosti pozície fotoaparátu od skalného svahu pre určité ohniskové vzdialenosti objektívu (16 a 35 mm) vzhľadom na rozmery – výšku



Obr. 12. Schmidtov diagram pólov diskontinuít – Románsky palác, ohnisková vzdialenosť 16 mm.

Fig. 12. The Schmidt projection poles of discontinuities – Roman Palace, focal distance 16 mm.

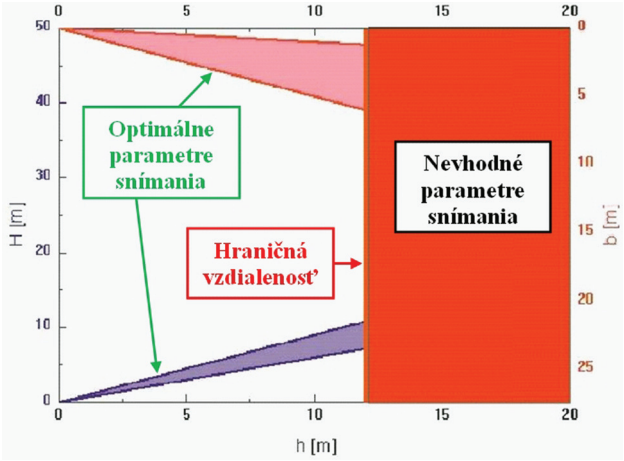


Obr. 13. Schmidtov diagram pólov diskontinuít – Srdce, ohnisková vzdialenosť 35 mm.

Fig. 13. The Schmidt projection poles of discontinuities – Srdce, focal distance 35 mm.

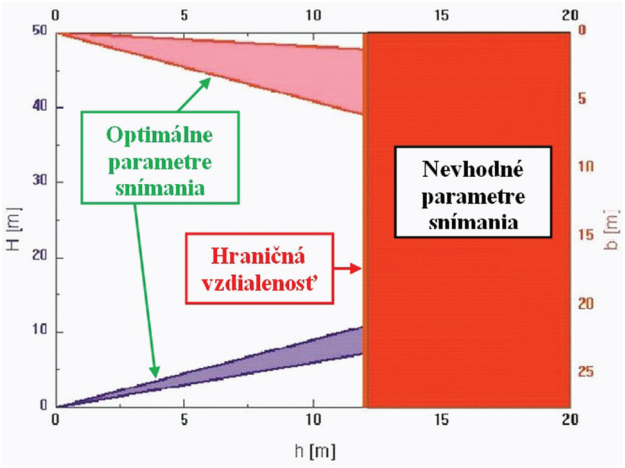
Tab. 1
Optimálne vzdialenosti pozície fotoaparátu od skalného svahu
The optimal distances of camera positions from rock slope

Ohnisková vzdialenosť objektívu (mm)	Výška skalného svahu (m)	Pôvodný pomer vzdialenosti pozície fotoaparátu k výške svahu a pôvodná vzdialenosť		Optimálny pomer vzdialenosti pozície fotoaparátu k výške svahu a pôvodná vzdialenosť	
16	3,5	1,24 – 2,16;	4,2 – 7,4 m	0,6 – 0,9;	2,1 – 3,15 m
	7,0	0,6 – 0,9;	4,2 – 6,2 m	0,6 – 0,9;	4,2 – 6,3 m
35	5,0	2,38 – 2,64;	12,0 – 13,2 m	1,75 – 2,0;	8,7 – 10,0 m
	7,0	1,75 – 2,0;	12,2 – 13,8 m	1,75 – 2,0;	12,2 – 14,0 m



Obr. 14. Optimálna vzdialenosť od svahu „h“ k výške svahu „H“ s vyznačenou hraničnou vzdialenosťou a optimálna vzdialenosť medzi pozíciami fotoaparátu „b“ pre objektív 16 mm.

Fig. 14. The optimal distance from the slope “h” to the slope “H” showing the boundary distance and optimal distance between the camera positions “b” for the 16 mm focal distance.



Obr. 15. Optimálna vzdialenosť od svahu „h“ k výške svahu „H“ s vyznačenou hraničnou vzdialenosťou a optimálna vzdialenosť medzi pozíciami fotoaparátu „b“ pre objektív 35 mm.

Fig. 15. The optimal distance from the slope “h” to the slope “H” showing the boundary distance and optimal distance between the camera positions “b” for the 35 mm focal distance.

– svahu. Súčasťou analýzy bolo aj zhodnotenie vzťahu medzi pomerom b/h a ohniskovou vzdialenosťou objektívu a zistenie hraničnej vzdialenosti, po prekročení ktorej je veľkosť kódových terčov umiestnených na skalnom svahu dostatočne veľká na správnu identifikáciu programom Photomodeler Scanner. Hraničná vzdialenosť bola určená podľa veľkosti jedného pixelu fotografie, čo by malo zodpovedať maximálne 0,4 cm v skutočnosti. Cieľom analýzy bolo aj vytvorenie klasifikácie na hodnotenie mračna bodov podľa počtu bodov na 1 m^2.

Vzťah medzi ohniskovou vzdialenosťou, vzdialenosťou pozície fotoaparátu od skalného svahu a rozmermi skalného svahu

Výsledky práce potvrdili všeobecné pravidlo priamoúmernej závislosti medzi veľkosťou ohniskovej vzdialenosti, vzdialenosťou pozície fotoaparátu od skalného svahu a rozmermi skalného svahu. Tab. 1 zobrazuje zistené optimálne vzdialenosti snímania skalného svahu pre použité ohniskové vzdialenosti a rozmery skalného svahu.

Pri použití objektívu s ohniskovou vzdialenosťou 16 mm boli preukázané najlepšie výsledky pri spracovaní snímok z lokality Devínska cesta. Vzdialenosť pozície fotoaparátu od skalného svahu bola v tomto prípade 4,2 – 6,2 m pri výške skalného svahu približne 7,0 m. Pomer vzdialenosti pozície fotoaparátu od svahu k výške skalného svahu bol 0,6 – 0,9 a bol určený ako optimálny pomer pri použití objektívu s uvedenou ohniskovou vzdialenosťou. Objektív s ohniskovou vzdialenosťou 16 mm bol použitý aj v lokalite Spišský hrad-Románsky palác, kde bol skalný svah snímaný z približne rovnakej vzdialenosti ako v lokalite Devínska cesta. Výška svahu však bola len 3,5 m, takže pomer medzi vzdialenosťou od svahu k výške svahu mal príliš veľkú hodnotu a to možno považovať za príčinu vzniku malého počtu 3D bodov pri spracovaní v programe Photomodeler Scanner (obr. 8).

V prípade použitia objektívu s ohniskovou vzdialenosťou 35 mm v lokalite Devínska cesta a v kameňolome Srdce boli lepšie výsledky taktiež v lokalite Devínska cesta. Vzdialenosť pozície fotoaparátu od skalného svahu bola 12,0 – 14,0 m a pomer medzi touto vzdialenosťou a výškou

skalného svahu mal hodnotu 1,75 – 2,00, čo možno považovať za optimálny pomer. Skalný svah v lokalite Srdce bol snímaný zo vzdialenosti približne totožnej ako na Devínskej ceste, je nutné však podotknúť, že výška snímaného skalného svahu bola v tomto prípade menšia – približne 5 m. Na zachovanie optimálneho pomeru mala byť vzdialenosť snímania menšia, čo by zaručilo väčšie výsledné mračno bodov.

Významnou podmienkou na vytvorenie veľkého počtu 3D bodov je veľkosť kódových terčov na snímkach. Nepostačuje len dodržať pomer medzi výškou skalného svahu, vzdialenosťou snímania a ohniskovou vzdialenosťou objektívu, ale je potrebné myslieť na hranicu, za ktorou je veľkosť kódových terčov na snímkach príliš malá na automatickú a správnu identifikáciu terčov programom Photomodeler Scanner. Hraničná hodnota, pri ktorej je veľkosť terčov dostatočná, je, ak platí, že 1 pixel fotografie predstavuje 0,4 cm v skutočnosti. Hraničná hodnota bola určená na základe mierky – známych rozmerov ramien osového kríža použitého pri snímaní, pričom bolo zistené, koľko pixelov predstavuje dĺžku ramena, a na základe toho bolo možné vypočítať veľkosť jedného pixelu v skutočnosti. Pri použití objektívu s ohniskovou vzdialenosťou 16 mm je pri použití terčov veľkosti 20 x 20 cm hraničná vzdialenosť 12 m od skalného svahu (obr. 14). Ak je na zachytenie skalného svahu potrebná väčšia vzdialenosť, je nutné použiť objektív s väčšou ohniskovou vzdialenosťou. Pri ohniskovej vzdialenosti 35 mm je hraničná vzdialenosť pre terče veľkosti 20 x 20 cm približne 24,6 m (obr. 15).

Vzťah medzi pomerom b/h a ohniskovou vzdialenosťou

Pomer b/h predstavuje pomer medzi vzájomnou vzdialenosťou pozícií fotoaparátu („b“ – base) a vzdialenosťou pozície fotoaparátu od skalného svahu („h“ – height). Veľkosť „h“ sa v teréne stanoví podľa ohniskovej vzdialenosti objektívu a podľa rozmerov skalného svahu (tab. 1). Hodnota „b“ je potom v teréne určená podľa podmienky: b/h = 0,1 – 0,5. V tab. 2 sú uvedené optimálne vzdialenosti medzi pozíciami fotoaparátu pre použité ohniskové vzdialenosti 16 a 35 mm, ktoré vychádzajú z optimálnych vzdialeností snímania (tab. 1).

Tab. 2
Optimálne vzdialenosti medzi pozíciami fotoaparátu
The optimal distances between camera positions

Ohnisková vzdialenosť objektívu (mm)	Optimálne h (m)	Optimálne b (m)
16	4,0 – 6,0	0,6 – 2,0
35	12,0 – 14,0	1,5 – 6,0

Hodnotenie mračna 3D bodov

Na hodnotenie mračna 3D bodov bolo nutné nájsť spôsob, ako správne a objektívne zhodnotiť kvalitu mračna bodov a vytvoriť klasifikáciu hodnotenia, ktorú by bolo možné aplikovať na akúkoľvek dvojicu snímok a akýkoľvek skalný svah.

Princípom hodnotenia bolo zistenie počtu získaných 3D bodov na 1 m^2 v mračnách bodov jednotlivých dvojíc fotografií vytvorených pomocou objektívu s ohniskovou vzdialenosťou 16 mm a 35 mm v lokalite Devínska cesta. V mračnách 3D bodov jednotlivých dvojíc boli náhodne vybrané dve oblasti s plochou 1 m^2 (obr. 16), v ktorých bol zistený počet 3D bodov.

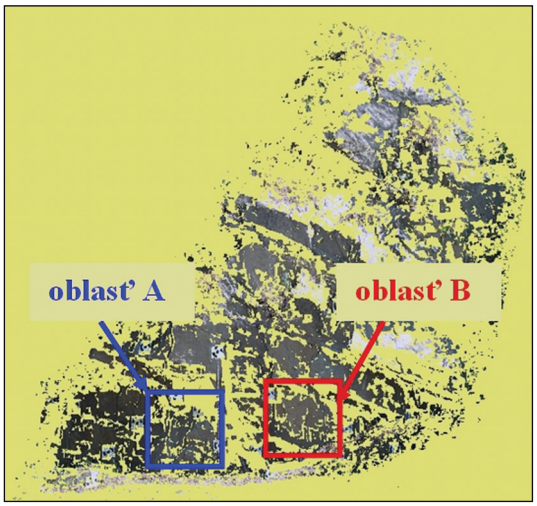
Zistený počet 3D bodov na 1 m^2 v oblasti A a v oblasti B z jednotlivých dvojíc fotografií je uvedený v tab. 3.

Z počtu zistených bodov v oblastiach A a B bol vypočítaný priemer, ktorý reprezentuje priemerný počet bodov na 1 m^2 pre jednotlivé dvojice fotografií a bolo k nemu priradené hodnotenie podľa vytvorenej klasifikácie na hodnotenie počtu bodov na 1 m^2:

< 5 000 bodov	=	zlé
5 000 – 15 000 bodov	=	dobré
> 15 000 bodov	=	výborné

Diskusia a záver

Výsledky práce potvrdili možnosť využitia digitálnej fotogrametrie pri štruktúrnej analýze skalných svahov za predpokladu dodržania optimálnych parametrov snímania skalného svahu. Nevýhodou metódy je menej kvalitný výsledok a dlhší čas potrebný na spracovanie fotografií v porovnaní s metódou laserového skenovania a nutnosť dodržania parametrov snímania, najmä vzdialenosti medzi pozíciou fotoaparátu a skalným svahom. Nevýhodou je aj závislosť výsledku od morfológie skalného svahu a potreba prispôsobiť sa slnečnej intenzite – v prípade slnečného počasia vzniká na spodných plochách diskontinuít tieň. Výhodou metódy je najmä finančná a technická nenáročnosť a dostupnosť. V porovnaní s metódou merania orientácií diskontinuít pomocou geologického kompasu je metóda digitálnej fotogrametrie omnoho rýchlejšia a efektívnejšia



Obr. 16. Oblasti zisťovania počtu 3D bodov na 1 m^2.

Fig. 16. 3D scan windows with 1 m^2 area.

Tab. 3
Počet 3D bodov na 1 m^2 v mračnách bodov v lokalite Devínska cesta
The number of 3D points on 1 m^2 in pointclouds on location Devínska cesta

	Dvojice fotografií	Oblasť A	Oblasť B	Priemer	Hodnotenie
16 mm	5 – 6	18 064 bodov	14 781 bodov	16 422,5 bodov	výborné
	6 – 7	7 578 bodov	27 425 bodov	17 501,5 bodov	výborné
	5 – 10	16 486 bodov	8 908 bodov	12 697 bodov	dobré
	7 – 8	2 238 bodov	23 198 bodov	12 718 bodov	dobré
	8 – 9	3 216 bodov	31 304 bodov	17 260 bodov	výborné
35 mm	1 – 2	4 981 bodov	14 991 bodov	9 986 bodov	dobré
	2 – 3	7 418 bodov	17 128 bodov	12 273 bodov	dobré
	3 – 4	22 839 bodov	23 686 bodov	23 262,5 bodov	výborné
	4 – 5	11 537 bodov	10 647 bodov	11 092 bodov	dobré
	3 – 5	341 bodov	564 bodov	452,5 bodov	zlé

a umožňuje meranie orientácií diskontinuít aj na vysokých a neprístupných miestach.

Výsledky práce potvrdili pravidlo, že s rastúcou veľkosťou ohniskovej vzdialenosti sa zväčšuje vzdialenosť pozície fotoaparátu potrebná na nasnímanie skalného svahu a že čím sú rozmery skalného svahu väčšie, tým je potrebná väčšia vzdialenosť pozície fotoaparátu od skalného svahu. Analýza výsledkov umožnila vytvorenie grafov optimálnej vzdialenosti pozície fotoaparátu od skalného svahu k výške svahu s vyznačenou hraničnou vzdialenosťou a optimálnej vzdialenosti medzi pozíciami fotoaparátu pre ohniskové vzdialenosti 16 a 35 mm. Výsledkom analýzy bolo aj vytvorenie metodiky kvalitatívneho hodnotenia mračna bodov podľa počtu 3D bodov na 1 m^2 v mračnách bodov jednotlivých dvojíc fotografií.

V budúcnosti by bolo potrebné overiť určené optimálne vzdialenosti pozície fotoaparátu od skalného svahu v závislosti od výšky svahu a použitej ohniskovej vzdialenosti objektívu. Taktiež by bolo vhodné overiť zistené hraničné vzdialenosti pozície fotoaparátu od skalného svahu pre veľkosť kódových terčov a doplniť ich o hraničné vzdialenosti aj pre ďalšie ohniskové vzdialenosti objektívu. Klasifikáciu na hodnotenie mračna bodov by bolo potrebné zdokonaliť a aplikovať na viaceré lokality.

Poďakovanie. Výskum bol spolufinancovaný grantom APVV – 0330 – 10 s podporou Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ, grant VEGA 1/0331/09.

References

ADAM TECHNOLOGY, 2007: 3DM CalibCam and 3DM Analyst, version 2.2b, http://www.adamtech.com.au. *In: Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009b: Quantifying discontinuity orientation and persistence on high mountain rock slopes and large landslides using terrestrial remote sensing techniques [online] Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 267 – 287.* Dostupné na internete: <http://nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/267/2009/nhess-9-267-2009.pdf> [cit. 2011-04-26]

Birch, J. S., 2006: Using 3DM Analyst mine mapping suite for rock face characterization. Laser and Photogrammetric Methods for Rock Face Characterization, ARMA. Edited by: Tonon, F., & Kottenstette, J., p. 13 – 32. *In: Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009b: Quantifying discontinuity orientation and persistence on high mountain rock slopes and large landslides using terrestrial remote sensing techniques [online] Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 267 – 287.* Dostupné na internete: <http://nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/267/2009/nhess-9-267-2009.pdf> [cit. 2011-04-26]

Bitterer, L., 2005: Základy fotogrametrie – Učebný text pre študentov bakalárskeho štúdia odboru geodézia a kartografia [online] Žilinská Univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra geodézie. 3. vydanie. 208 s. Dostupné na internete: <http://svf.utc.sk/kgd/skripta/fotogrametria/index.html> [cit. 2011-04-26]

Coggan, J. S., Wetherelt, A., Gwynn, X. P., & Flynn, Z. N., 2007: Comparison of hand-mapping with remote data capture systems for effective rock mass characterization. Proceedings of the 11th Congress of ISRM, July 2007, Lisbon, Portugal. *In: Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009b: Quantifying discontinuity orientation and persistence on high mountain rock slopes and large landslides using terrestrial remote sensing techniques [online] Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 267 – 287.* Dostupné na internete: <http://nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/267/2009/nhess-9-267-2009.pdf> [cit. 2011-04-26]

El-Hakim, S. F., Beraldin, J. A., & Blais, F., 2003: Critical factors and configurations for practical 3D image-based modelling. Proceedings: 6th Conference on 3D Measurements Techniques. Zürich, Switzerland, September 22. – 25. *In: Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009: Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts. Engng Geol., 3, 2009, 106, 163 – 182.*

Ferrero, A. M., Forlani, G., Roncella, R., & Voyat, H. I., 2008: Advanced geostructural survey methods applied to rock mass characterization. Rock Mechanics and Rock Engineering. doi: 10.1007/s00603-008-0010-4. *In: Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009: Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts. Engng Geol., 3, 2009, 106, 163 – 182.*

Fraser, C. S., 1996: Network design. In: Close-range terrestrial digital photogrammetry and machine vision, edited by: Atkinson, K. B., Whittles Publishing, p. 256 – 281. *In: Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009b: Quantifying discontinuity orientation and persistence on high mountain rock slopes and large landslides using terrestrial remote sensing techniques [online] Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 267 – 287.* Dostupné na internete: <http://

nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/267/2009/nhess-9-267--2009.pdf> [cit. 2011-04-26]

International Society for Rock Mechanics (ISRM), 1978: Commission on standardization of laboratory and field tests: Suggested methods for the quantitative description of discontinuites in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15, 6, 319 p.*

Kemeny, J., & Donovan, J., 2005: Rock mass characterization using LIDAR and automated point cloud processing. Ground Engineering, 38, 11, 26 – 29. *In: Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009: Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts. Engng Geol., 3, 2009, 106, 163 – 182.*

Kemeny, J., Turner, K., & Norton, B., 2006: LIDAR for rock mass characterization: hardware, software, accuracy and best practices. In: Tonon, F., & Kottenstette, J. (eds.): *Laser and Photogrammetric Methods for Rock Face Characterization, ARMA, 49 – 62.*

Krosley, L. K., Shaffner, P. T., Oerter, E., & Ortiz, T., 2006: Digital ground-based photogrammetry for measuring discontinuity orientations in steep rock exposures. Proceedings: 41st U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRNS), Golden, Colorado, June 17. – 21. *In: Sturzenegger, M., & Stead D., 2009: Close--range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts. Engng Geol., 3, 2009, 106, 163 – 182.*

Linder, W., 2006: Digital photogrammetry: A practical course. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 218 p.*

Pötsch, M., Schubert, W., & Gaich, A., 2006: Kinematical analysis of rock blocks supported by 3D imaging. In: Proceedings of the 41st US Symposium on Rock Mechanics (USRMS). 17 – 21 June. Golden, Colorado. *In: Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009b: Quantifying discontinuity orientation and persistence on high mountain rock slopes and large lanslides using terrestrial remote sensing techniques [online] Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 267 – 287.* Dostupné na internete: <http://nat-hazards-earth--syst sci.net/9/267/2009/nhess-9-267-2009.pdf> [cit. 2011-04--26]

Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009: Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts. *Engng Geol., 3, 106, 163 – 182.*

Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009b: Quantifying discontinuity orientation and persistence on high mountain rock slopes and large landslides using terrestrial remote sensing techniques [online] Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 267 – 287.* Dostupné na internete: <http://nat-hazards--earth-syst-sci.net/9/267/2009/nhess-9-267-2009.pdf> [cit. 2011-04-26]

Šandorfi, K., & Halvoň, Ľ., 2010: Využitie digitálnej fotogrametrie v HÚL, uplatnenie výsledkov v GIS. [online]. NLC – ÚLZI Zvolen. Dostupné na internete: <http://www.nlcsk.sk/files/1593.pdf> [cit. 2011-03-11]

Tannant, D., Radmanovic, J., & Jaing, L., 2006: Digital photogrammetry for surface mining applications, CIM Mining Conference & Exhibition, Vancouver, May. *In: Sturzenegger, M., & Stead, D., 2009b: Quantifying discontinuity orientation and persistence on high mountain rock slopes and large lanslides using terrestrial remote sensing techniques [online] Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 267 – 287.* Dostupné na internete: <http://nat-hazards-earth--syst-sci.net/9/267/2009/nhess-9-267-2009.pdf > [cit. 2011--04-26]

Rukopis doručený 15. 4. 2012
Revidovaná verzia doručená 23. 4. 2012
Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012

The use of digital photogrammetry for structure analysis of the rock slopes

The need and importance of digital image processing in photogrammetry has increased in last few years. Marked factors that contributed to the development of technical progress were mainly related to the performance of computers and production of digital cameras. In parallel, the methods developed digital image processing, which opened the way to digital photogrammetry.

The aim of this work was the development of methodology for measuring orientation of discontinuities of rock slopes by using terrestrial digital photogrammetry and its verification in practice on chosen sites (Devínska cesta, stone quarry Srdce and Roman Palace of the Spiš Castle), where photos of rock slopes were made using different image sensing parametres – i.e. the focal length, distance between rock slope and camera position and angles and distances between camera positions. The focal length 16 mm was used at the site Devínska cesta and Roman Palace and the focal length 35 mm was used at the site Devínska cesta and stone quarry Srdce. Selected photos were processed by software Photomodeler Scanner, where a cloud of 3D points was created from pairs of images, using different parameter settings – sampling rate and depth range, in order to compare the results. The resulting point clouds were exported to the software Split-Fx, where the orientation of discontinuities was measured from the 3D point cloud using equatorial Schmidt projection.

The task of analysing the results was to consider the relationship between the focal length, distance from the camera position to rock slope and height of the rock slope in relation to the size of coded targets in the photographs and allowed specifying optimal image sensing and creating graphs of optimal distances from the camera position to the rock slope to its height, showing the boundary distance and optimal distances between the camera positions, for the camera lens focal lengths of 16 and 35 mm. The best result was obtained by the processing of images from the site Devínska cesta, for both focal lengths. The distance from the camera position to the rock slope using the focal length of 16 mm was 4.2 to 6.2 m and 12.0 to 14.0 meters for the focal length of 35, while the height of the rock slope was approximately 7.0 m. In the clouds of 3D points in each pairs of photos of rock slope at Devínska cesta (focal lengths 16 and 35 mm), were randomly selected two windows with the area of one square meter, in which the number of 3D points was counted, and using qualitative evaluation methodology, the average amount

of 3D points in each area (area A, area B) was classified into one of three categories – excellent, good and bad. It is therefore necessary to think about the boundary distance, beyond which the size of coded targets on the images is too small for automatic recognition and correct identification of targets by the software Photomodeler Scanner. The boundary distance for a lens with a focal length of 16 mm using coded targets with size 20 x 20 cm is 12.0 m from the rock slope and for the focal length of 35 mm the boundary distance is approximately 24.6 m.

The results of the study confirmed the possibility of using the digital photogrammetry in structural analysis of rock slopes and provided the optimal scanning parameters for the use.

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 167 – 176
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Using the possibilities of aerial photogrammetry for the research of quarry enlargement

KAROL WEIS[1], MÁRIA KOŠČOVÁ[2], MÁRIO MOLOKÁČ[2] and DUŠAN DOMARACKÝ[3]

[1]Department of Geography, Geology and Landscape Ecology, Faculty of Natural Sciences, Matej Bel University, Tajovského 40, SK-974 01 Banská Bystrica, Slovak Republic; karol.weis@umb.sk
[2]Institute of Geoturism, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology, Technical University, Boženy Němcovej 32, SK-042 00 Košice, Slovak Republic; maria.koscova@tuke.sk; mario.molokac@tuke.sk
[3]Institute of Business and Management, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology, Technical University, Boženy Němcovej 32, SK-042 00 Košice, Slovak Republic; dusan.domarack ý@tuke.sk

Abstract

In the study we have analysed the aerial photographs of three quarries situated in the Banská Bystrica surroundings from chosen time horizons. We have elaborated photographs from the beginning of the 1960s in the first period, the ones from the beginning of the 1970s in the second period and those from the second half of the 1980s in the third period and the colour photographs from the end of the 1990s in the last period.

We delimited and digitized the quarry area in particular periods according to comprehensive analysis of aerial photographs. Quarry area polygon determined quarry dimensions and area in digital form in the specified time horizon. Consequently, the comparison was obtained from gained data in particular periods, what enabled to determine the areal enlargement of the quarry in absolute number values, presented in ha (hectares) and also in relative values presented in percentage (%).

Key words: quarry, aerial photograph, georeference and analysis of areal photographs, areal growth

Introduction

The aerial photogrammetry, as a conventional remote sensing method, has quite a long tradition in Slovakia. The official aerial photographs came into being in 1933. The interpretation of the aerial photographs has been one of the most important activities since the begin of the remote sensing utilizing. Qualitative and quantitative information on the given objects on the Earth surface are obtained from an evaluation of the characteristics of the obtained photograph. According to Húska and Tátošová (2005), in the process of evaluation of aerial photographs, the emphasis must be given to the correct interpretation of the shade (colour), size (it is necessary to take it into consideration in relation to the scale of the photograph), shape (regular geometric shapes indicate mainly the human activity), texture (smoothness of the photographed surface – e.g. grass, or buckling – e.g. wood), samples (regular spatial disposition of elements, e.g. orchard), shadows (it is possible to estimate the heigth of the objects by their shadows), position (concerning the relief etc.), associations (it is assumed that some objects are often in the presence of other objects, but it requires an experienced researcher).

Today, the widely applied method of interpretation of the multispectral imagery allows the correlation of spectral signals of objects with their generic and stock characteristics, with the use in the quantity of the applied disciplines. A similar example of a comprehensive mapping and monitoring of the impact of environmental loads on the geological factors of the environment in selected regions of Slovakia has offered by Gregor et al. (2008).

Processing method

The analysis of the aerial photographs content requires the long-time experience and the knowledge of photogrammetry. The researcher evaluating the photographs must be experienced in the field work that simplifies his or her orientation in the particular photograph. It is necessary to analyse the particular shades in black and white photogrammetry with a certainty and to confront the results often with the field work. We have based the evaluation of the photographs for the purposes of the quarry areas identification (devastated area) on methods by Feranec (1992), Feranec et al. (1997), Žihľavník (1996, 1999), Sviček (2000), Boltižiar (2004, 2005), Húska and Tátošová (2005), Bitterer (2005), Boltižiar and Olah (2009) and Hronček et al. (2011).

We have analysed black and white aerial photographs provided by the Vojenský topografický ústav (TOPÚ)

in Banská Bystrica from its archives. The colour aerial photographs were used only in the last phase in connection with the Kostiviarska quarry (Anonymous, 2002). We applied visual analysis of the analog form of the chosen photographs. We scanned the analysed photograph after the identification of the devastated quarry area in the photograph. The advantage of the aerial photographs processing consists in the fact that they have all been realized in 90° angle whereby the distortion disappears considerably (Žihľavník, 1999).

After the corners georeferencing of imageries, the position of the slide was checked by the other at least three reference points. Reference points had to be easily identificable in the field and also on the imagery. They were mainly geometrical centres of the confluence of the waterways, crossing of the different classes of communications, significant off-road shapes and quotations, etc. The area of each of the quarry has been vectorized in the software environment of Geomedia Professional. So we have scheduled the boundary of injured surfaces of the quarry. Get the exact boundaries of the campus has been complicated because of the quarry faces and vegetation process shed shade. The situation was complicated by complete cover of abandoned mining areas and with destruction by the municipal waste deponium.

In such cases, there has been a negative change of the surface area of the quarry and the field survey was necessary. After georeferencing, the scanned images (after locating them in the coordinates system), always with at least three reference points in the area of each quarry, have been vectorized in the software environment Geomedia Professional and so we have obtained the line borders of the devastated quarry area. Working with real coordinates we got real dimensions of the quarries (or of the area devastated by quarrying) and their extent. Then we overlapped the particular quarry border traverses in a chronologic way according to the chosen phases and so we could compare the particular time horizons. On the base of the comparison we have got a review of the shape changes, area expansion of the quarry plan, as well as the projection areas for all time horizons in ha (hectares). Comparing the particular time horizons, we have obtained their area expansion review in values of absolute number in ha (hectares) and in relative values in percentage (%). For the purposes of documentation, the individual sites were imagery processed, centered, cropped and enlarged to air slides with centered position of a quarry.

Aerial photographs from selected time horizons were a subject of the analyses. In the first phase we elaborated photographs from the beginning of the 1960s, in the second phase the photographs from the beginning of 1970s, in the third phase the photographs from the 2nd half of the 1980s and in the last phase the colour photographs from the end of the 1990s.

The selection criteria of the aerial photographs from the particular time horizons were based mainly on imagery entirety of the researched quarries in particular time horizons, their availability and relevant time difference between the particular imagery phases. We aimed to keep the interval of about one decade (10 years). This time horizon was defined as the most optimal not only from the aspect of opportunities to compare the quarries in a standard process and standard mining speed in a busy quarry, but also for the possibility of real comparison of quarry dimensions enlargement, the extent of successive processes in vacant quarries, possible area devastation or, on the contrary, of attempts to recultivate the mining area. The selection of the photographs of the initial time horizon analysis was limited by the fact that a full photographing

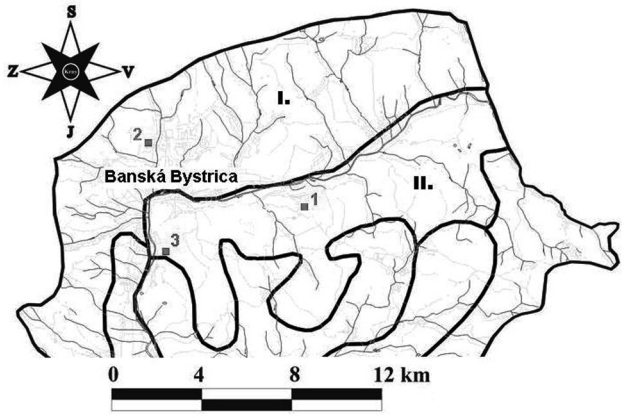


Fig. 1. Schematic draft of the analysed quarries in the northern part of the Zvolenská kotlina basin. 1 – Šalková – Kiár quarry; 2 – Kostiviarska quarry, and 3 Iliaš – Okrúhle quarry; I. – Bystrické Podolie valley; II. – Bystrická vrchovina highlands.

Figs. 2 and 3. Kiár quarry on the northern slopes of Bystrická vrchovina highlands, the waste dump is situated in the right part of the quarry (left). The view from the dump to central part of the Kiár quarry (right, photo P. Hronček).

of the area before the beginning of the 1960s was not available in the archives of the Vojenský topografický ústav in Banská Bystrica. We have checked in the field and archive research that the imagery before the half of the 20th century was faint, because the raw material mining had not been developed in the particular examined quarry areas. The particular quarries had likely not existed before this time horizon.

During the multiannual field research in the Zvolenská kotlina Basin we have identified and localized more than one hundred quarries, therefore we had to choose a key criterion in order to select them. The analyse deals with the quarries which are open in layers, where the possibility of effective economic use is present (Hrnčár, 1993) and where mining has been performed recently or the mining activity ceased in last 10 years. The selected quarries with their area belong to the largest quarries in the particular locality and they may be marked as macrosystems. As for the quarries shut down, we have supposed that there still exists a real possibility of reopening the mining (Hrnčár, 1993).

On the ground of the above defined selection criteria we mention a representative sample – three quarries in the northern part of the Zvolenská kotlina Basin. They are localized in the immediate background of Banská Bystrica. We have localized and identified them in the field on the base of field research and we have made a database with brief physical and geographical analyses (Hronček, 2004; Hronček and Milanová, 2006; Hronček and Maliniak et al., 2008; Hronček et al., 2009). We have analysed them on the base of the aerial photographs. The original aerial photographs are not published in the study because the TOPÚ in Banská Bystrica has not transferred the publishing rights on us. We have analysed quarries: 1. Šalková – Kiár, 2. Kostiviarska and 3. Iliaš – Okrúhle (Fig. 1).

Results

Šalková – Kiár quarry

The quarry is located about 800 m south-east from Šalková, the local part of the town of Banská Bystrica in the altitude 460–528 m a.s.l. It is accessible directly from the road connecting Šalková – Poniky. The quarry was opened in the 2nd half of the 20th century on the base of Middle Triassic to Upper Triassic light grey to grey dolomite with stock prognosis of 1 000 000 m^3 (Polák et al., 2003). The upper layer consists of mould clay not thicker than 0.4 m (Hrnčár, 1993). The original form of the quarry was five--plate side quarry with the main side about 70 m high and about 300 m long. The quarry plan has an elliptic shape with the longer axis of about 400 m extended in the south--west and north-east direction. The shorter axis is about 250 m long. Recently, the usable stocks from the pit part are mined during irregular season mining. The pit diameter is about 80 m and the depth about 15 m. The average mining has not reached 20 thousand tonnes and the produced rock is used after grinding as a construction and road material. Recently, the quarry has been operated by the company KARTIK s.r.o. Banská Bystrica. The present quarry shape is considerably changed by a waste dump of soil and rock material which has been stockpiled in the southern part of the quarry since 2003 (Figs. 2 and 3).

Area development

In the first phase, dated to the beginning of the 1960s (Fig. 4), the shape of the area devastated by quarrying was elliptic, extended in the south-west and north-east directions. The longer axis was 84 m long, the shorter one 60 m and the devastated area reached 0.31 ha. The side shaped quarry located on the north-oriented slope had the side of about 15 m high, which is demonstrated by the trees growing on the southern edge of the quarry side. The quarry surrounding was grown by a compact major forest stock. The field research has confirmed that the degraded area in the north of the quarry has never been a mining area degraded by quarrying. It is the Šalková – Poniky road wiggling on steep slopes with a nearby parking place. The photograph shows exactly and in detail the technical work for processing of the produced rock in the central and northern parts, the workshops and the offices were in the eastern and a dump of selected chipping fractions was in the north-eastern part of the area. It is not obvious from the picture, if there were mining plates constructed in the quarry. We can suppose their existence only in the south--eastern part of the side and this premise is supported by the shades of grey colour in the picture. The falling shadows of the trees make their exact identification difficult.

At the beginning of the 1970s (the second phase, Fig. 5) the quarry plan was almost a circle, extended a little in the south-west and north-east directions. The extension is caused by a flat spur in the north-east, where the entrance to the quarry leads from the Šalková – Poniky road. We have determined the lenght of the longer axis 140 m and of the shorter one 125 m from the traverse. The total area of the quarry with the devastated area was 1.14 ha. It was a side quarry where three minig plates can be identified that time. In the north-eastern part of the quarry the technical works, offices, workshops and a dump of gravel were localized at the entrance. Two minig plates are clear at the southern side. The quarry surround is grown by forest stock. The trees markedly shadow the surface of the upper plate.

In the third phase of the 2nd half of the 1980s (Fig. 6) the quarry was shaped by the onward mining in the southern direction to an ellipse extended in the north--south direction. The north-south axis was 390 m long and the shorter – east-west axis was 330 m long. The quarry with its dimensions and the area of 3.31 ha took a character of a large quarry. In the picture two high mining plates connected with three lower plates may be identified thanks to the falling shadows in the southern part of the side quarry area. A large technical works with a transporter designed to process the produced rock was located in the northern part of the quarry. Offices and workshops were located in the eastern part of the quarry. The field research has confirmed that the circle-shaped devastated area in the

north of the quarry entrance related to the maintenace of the Šalková – Poniky road. Deciduous forests are growing in the surrounding of the quarry. The trees are shadowing the upper plate in the south-west part of the quarry. In the southern part of the quarry the shadows are falling on the ground without the upper layer.

In the last analysed – fourth phase – dated to the end of 1990s (Fig. 7), the quarry plan was complex and it may be qualified as an ellipse. It is considerably pushed in the north-west part. This is caused by the nearby Šalková – Poniky road which showed to be a very restrictive factor of the lateral extension of the mining area in that direction. The mining area of 4.14 ha is 310 m long in the SW–NE direction and its width is 240 m. It is a side quarry with the side oriented to the north and divided into 6 mining plates. Sunlight is delineating the plate edges in the photograph. In the northern part of the quarry a grinder with a trasporter designed for production of standard gravel fractions can be identified. In the eastern part of the quarry workshops and offices are located. The quarry surround is grown by deciduous forest and we have checked this fact in the field, too.

Comparison of particular development phases

Traverse made by vectorization of the aerial photograph falling into the time horizon of the beginning of the 1960s (i.e. the first analysis phase) limits the original core of the quarry of 0.31 ha. This quarry may be approximately identified with the original core quarry which opened the layer at the beginning of the 2nd half of the 20th century. Before the quarry was opened, the layer had been mined below on the slope, where it was better accessible. A new quarry was opened at the present place after building a solid surface of the Šalková – Poniky road. Starting of quarrying in this layer related to the housing construction and particularly to the industrial building in the eastern part of the town of Banská Bystrica. The onward minig caused that its area reached 1.14 ha in the second analysed phase at the beginning of the 1970s, which represents 268 % increase, i.e. total by 0.83 ha. The mining gradually shifted in the south and south-west direction and in the 2nd half of the 1980s the quarry area had 3.31 ha which means further increase by 190 %, i.e. by 2.17 ha. As a paradox, the Šalková – Poniky road, which led to its opening, became a restrictive factor of its enlargement at the break of the centuries. The vertical progress of the mining in the southern direction against the slope slowed down. Later, the quarrying has oriented in vertical direction into the core of the layer which has led to the pit creation in the 1st decade of the 21st century. In the last analysed phase dated to the end of the 1990s we have determined the quarry area of 4.14 ha, which means the enlargement by 25 %, i.e. 0.83 ha. Comparing the particular phases we may state that the quarry entrance has not changed, which was predetermined by the quarry position on the northern slope. The position of the technical works in the quarry also has not changed during 50 years. On the base of the aerial photographs, it is obvious that the technical works have been rebuilt considerably and modernized (Fig. 8).

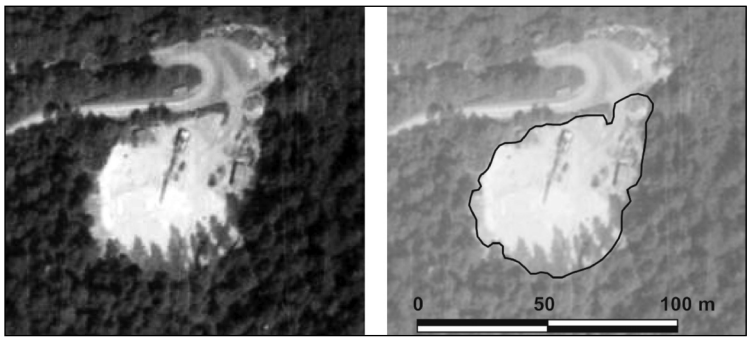


Fig. 4. Aerial photograph of the Šalková – Kiár quarry at the beginning of the 1960s, graphically compiled according authors Hronček et al. (2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Šalková – Kiár quarry at the beginning of the 1960s (right).

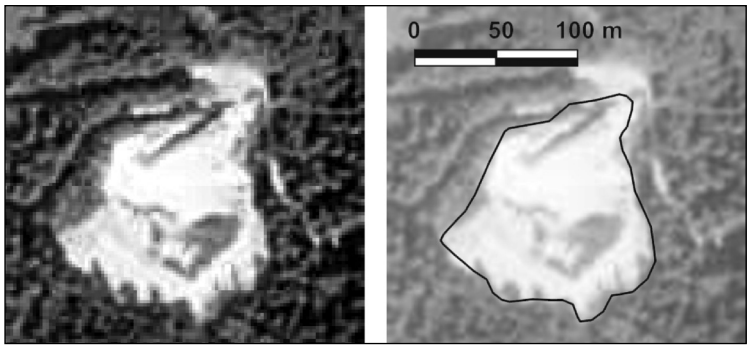


Fig. 5. Aerial photograph of the Šalková – Kiár quarry at the beginning of the 1970s, graphically compiled according authors Hronček et al. (2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Šalková – Kiár quarry at the beginning of the 1970s (right).

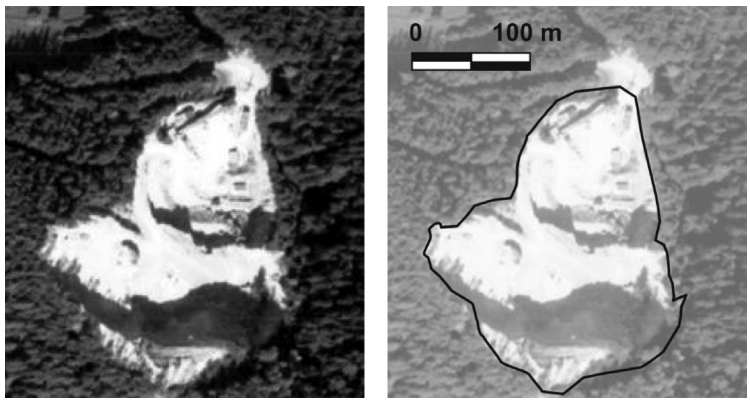


Fig. 6. Aerial photograph of the Šalková – Kiár quarry at the second half of the 1980s, graphically compiled according authors Hronček et al. (2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Šalková – Kiár quarry at the second half of the 1980s (right).

Kostiviarska quarry

The largest quarry of the Zvolenská kotlina Basin is located on its northern border at the western skirt of Kostiviarska, the local part of the town of Banská Bystrica (Fig. 9). It is located on the eastern slope of the ground elevation Laskomer (632 m a.s.l.) at the right side of the Bystrica valley.

The side quarry is located between 412 m a.s.l. and 568 m a.s.l. The vertical elevation difference of the quarry is 156 m and its side is divided into five plates. The quarry with almost an elliptic plan is 1.4 km long along the north-south axis and 0.5 km along the shorter axis. The total devastated area is about 0.5 km^2. Today, the quarry is vacant, shut down and it has been partly recultivated. Cement raw material of the yellow and brown to grey colours, consisting of limestone and marly limestone complex of the Krížna nappe of the Lower Cretaceous age, was mined in the layer (Hrnčár, 1993; Polák et al., 2003). The quarry was opened as a raw material base for the newly built cement works in Banská Bystrica at the beginning of the 1950s. The quarry had been busy until 2002 and it was shut down in this year.

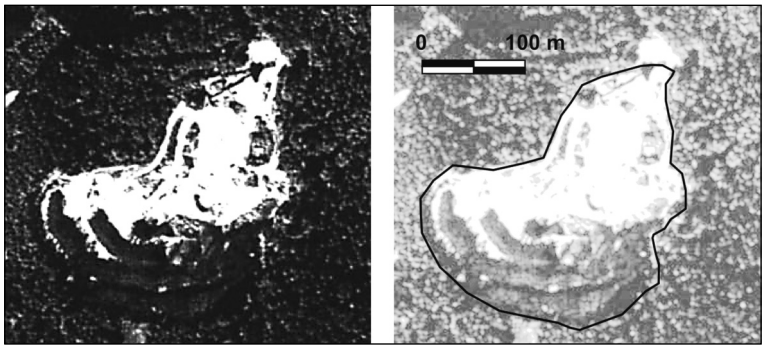


Fig. 7. Aerial photograph of the Šalková – Kiár quarry at the end of the 1990s, graphically compiled according authors Hronček et al. (Hronček et al., 2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Šalková – Kiár quarry at the end of 1990s (right).

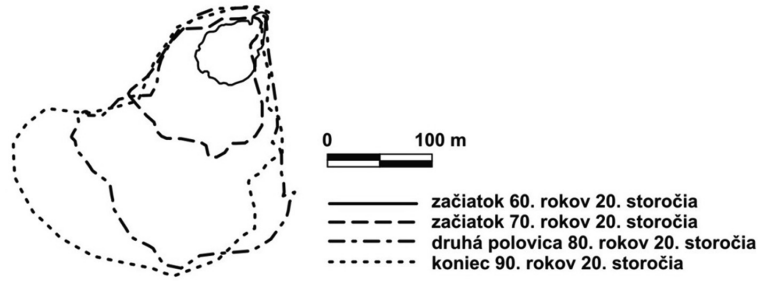


Fig. 8. Comparison of areal growth of the Šalková – Kiár quarry at the second half of 20th century according to polygons of particular analysed periods.

Fig. 9. Aerial view on the Kostiviarska quarry in 2009 (photo Z. Filadelfi).

The area development

As early as in the first phase at the beginning of the 1960s (Fig. 10), the whole area after quarrying in Kostiviarska had a character of a large quarry despite the fact that it was busy only several years. The quarry was located in the northern part and technical works with a loading station of a cableway were located in the southern part. The devastated area – as a quarrying relict – was located on the eastern slope of Bystrica valley and its plan was markedly extended in the north-east direction. Its lenght was 1 150 m, width 400 m and the area was 25.57 ha. The side quarry was 310 m long and 350 m wide along the slope. Four mining plates are visible in the picture. It is not clear if all of them were mined or only prepared for mining by removal of hanging wall rock. Technical works with a number of paths securing the access to the plates were in the southern part of the area. Permanent grassland – grazing – grew in the quarry surround. Grazing in the south-east of the quarry grew gradually by pioneer types of plants which reach tree-height today.

In the second phase at the beginning of the 1970s (Fig. 11) the limited traverse of the area took an elliptic plan with some spurs where technical works were located. The quarry area was 1 300 m long in the north-south direction and 400 m wide in its widest place. The total devastated area with relicts after quarrying was 38.68 ha. The side quarry in the northern part of the area was 325 m long and 360 m wide and it was divided into 4 mining plates. Each of the plates was accessible by individual road which the lorries used to transport the produced rock for processing in the southern part of the area. In addition to the paths in the quarry and the technical works, also the loading station of the cableway in the eastern part of the quarry may be well identified. Permanent grassland – grazing – grew in the surrounding of the quarry, where the tree stock meshed, particularly in the north-east and south-east near the Bystrica river flat.

In the next – third phase – dated to the 2nd half of the 1980s (Fig. 12), the quarry area plan was considerably extended in the north-south direction with some spurs for the technical and service works. The longer axis of the traverse

limiting the area devastated by quarrying was 1 410 m long and the maximal width in the northern part, where the quarry is located, was 520 m. The total area devastated reached 47.11 ha. The side quarry was 870 m long and divided into 5 mining plates with the maximal width of 130 m at the second plate. Permanent grassland – degraded grazing – grew in the surrounding of the quarry. Shrubbery and trees of a line and fragment shape mashed in the grazing. The aerial photograph shows in detail the system of the access roads, the devastated areas, technical works and service buildings. Pioneer plants of the coming succession mashed between the devastated places in the southern part of the quarry.

The last – fourth – analysed phase relates to the aerial photographs from the end of the 1990s (Fig. 13). The limited quarry area plan was markedly extended in the north-south direction. It was 1 430 m long and not wider than 520 m in the northern part, where the quarry is located. The total devastated area reached 46.73 ha. The side quarry was 900 m long and divided into 5 mining plates. As the cement production decreased that time, causing also the decrease in the mining volume, the quarry area began to be grown by plants from its surrounding. Initial phases of succession began in the non-recultivated quarry area. Permanent grassland – degraded grazing – grew in the surround of the quarry. Shrubbery and trees began to predominate over the grazing. The aerial photograph shows in detail the devastated areas in the southern part of the quarry in which plants mashed between the system of the access roads, technical works and service buildings.

Fig. 10. Aerial photograph of the Kostiviarska quarry at the beginning of the 1960s, graphically compiled according authors Hronček et al. (2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Kostiviarska quarry at the beginning of the 1960s (right).

Comparison of the particular development phases

During the analysis of the aerial photographs of the first phase from the beginning of the 1960s (Fig. 14) the Kostiviarska quarry was one of the largest quarries of the Zvolenská kotlina basin and reached gradualy the dimensions of a large quarry. Its area was 25.57 ha. The shape of the emerging quarry depended on the layer shape and position on the eastern slope of the right side of the Bystrica valley. In the next phase at the beginning of the 1970s the area extended in the north direction and so did the area of the quarry. The borders of the southern part of the area, where the technical works, service buildings, access road system and the loading station of the cableway were located, did not change considerably during the examined period. At the beginning of the 1970s after a decade of an intensive quarrying, the total quarry area was 38.68 ha, that is 51.3 % increase, i.e. by 13.11 ha. In the next phase the intensive mining continued mainly in the vertical direction into the depth of the layer and moved slowly in the horizontal north-west direction. In the 2nd half of the 1980s the quarry area devastated by the intensive quarrying reached 47.11 ha, that is 22 % increase, i.e. by 8.48 ha. The last research phase from the end of the 1990s is characterized by the decrease of raw material mining for the cement works at the end. As a result, the shape of the devastated quarry area did not change considerably, but its area was reduced. The reducing of the area resulted

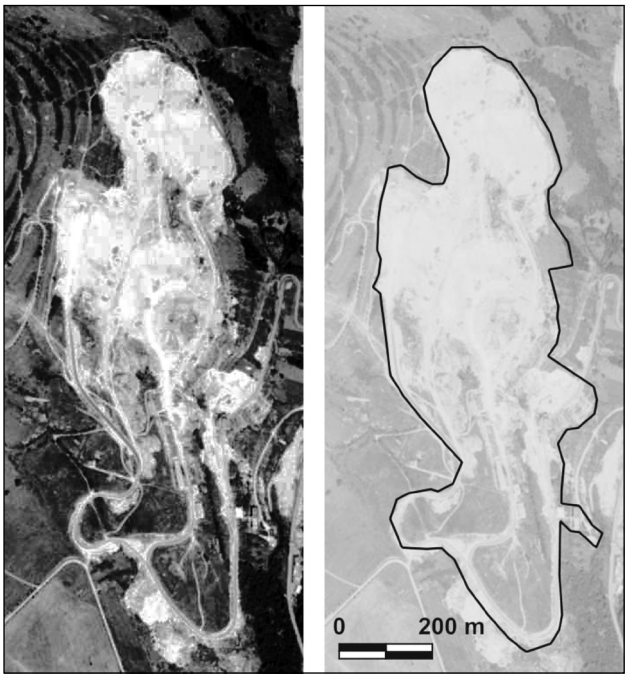


Fig. 11. Aerial photograph of the Kostiviarska quarry at the beginning of the 1970s, graphically compiled according authors Hronček et al. (2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Kostiviarska quarry at the beginning of the 1970s (right).

from the progressive succession at the expense of the area devastated by mining, which had appeared as obvious light places in the photograph before. The quarry did not change its shape, but it began to be grown by plants. At the end of the 1990s, the area of the limited traverse identical with the quarry area borders devastated by mining was 46.73 ha. This area had not changed until 2002 when the mining ceased and in comparison with the last analysed period it shows a decrease by 0.8 %, i.e. 0.38 ha.

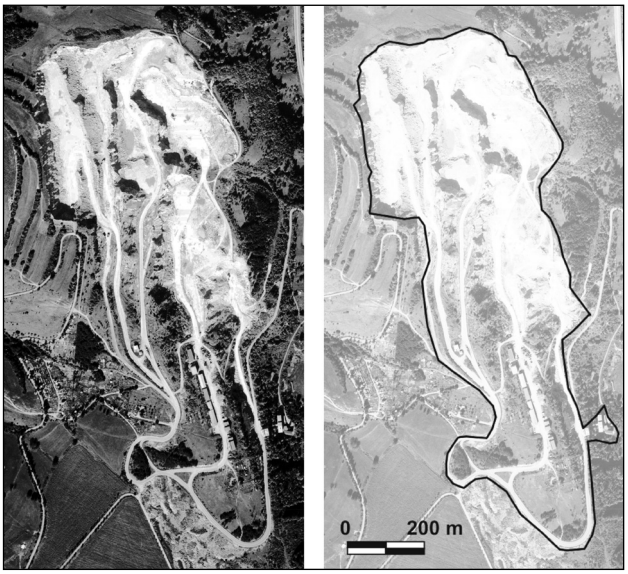


Fig. 12. Aerial photograph of the Kostiviarska quarry at the second half of the 1980s, graphically compiled according Hronček et al. (2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Kostiviarska quarry at the second half of the 1980s (right).

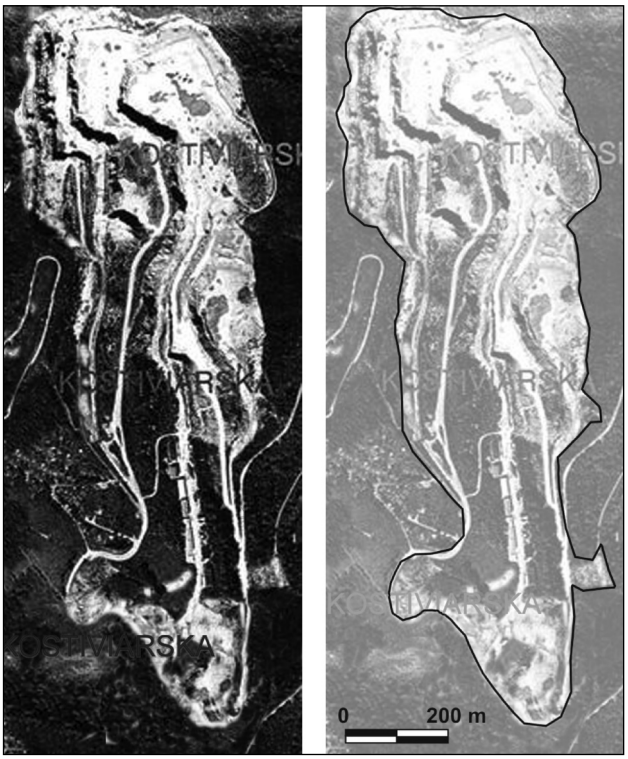


Fig. 13. Aerial photograph of the Kostiviarska quarry at the end of 1990s (© Anonymous 2002, left) and graphically elaborated ground plan of the Kostiviarska quarry at the end of the 1990s (right).

Iliaš – Okrúhle quarry

The quarry is located about 0.5 km in the east from Iliaš on the southern slope of the ground elevation Okrúhle (485 m a.s.l.) on the right side of the Dolina valley (Fig. 15). The quarry was opened in the Middle to Upper Triassic dolomite bed with the stock prognosis estimated to 600 000 m^3 (Polák et al., 2003; Polák, ed., 2003). The layer was opened by the former local agricultural cooperative in the 1970s. Recently, the MHRČ s.r.o. company from Banská Bystrica has performed the mining activities and the annual mining volume is between 250 000 and 300 000 tonnes.

The side quarry is to be entered by a forest pitch road from Iliaš. The lowest (entrance) part of the quarry lies in 352 m a.s.l. The highest point of the quarry side lies in 380 m a.s.l. The main quarry side is about 500 m long and divided in two main plates which are 15–20 m high. The quarry width does not exceed 200 m. The quarry is markedly extended in the north-west and south-east direction (Hrnčár, 1993).

Area development

In the first phase, which we dated to the beginning of the 1960s (Fig. 16), the quarry plan had a compact and almost circular shape. The devastated quarry area located on the right side of the Dolina valley was slowly extended in the north-west and south-east directions. The photograph shows the side character of the quarry with one mining plate. By means of vectorization we have found the dimensions of the quarry at the beginning of the 1960s. The quarry diameter was 120 m and took an area of 0.68 ha. The aerial photograph shows besides the devastated area also the access paths which entered the quarry from the west. It is also possible to interpret the sliced parts of the ploughland on the south-western slope of the valley. Shrubbery pioneer plants are visible in the north-west and south-east which points to the degraded grazing. Permanent grassland can be visible in the north side of the quarry.

We dated the second phase to the beginning of the 1970s (Fig. 17). The quarry plan shape did not change considerably despite the fact that its area enlarged to 1.82 ha. The plan began to extend more in the north-west and south-east directions and took elliptical shape. The longer axis was 200 m and the shorter one 120 m long. Two mining plates may be identified in the quarry. The access paths are also clearly visible. There are apparent landscape changes in its surround due to the collectivization changes. In the south-west, ploughland represented a part of large-scale areas. The old original grazings appear as a continuous scrub in the north-west and south-east. A continuous shrubberry and tree plants bordered on the quarry side in the north-east in the place of the former grazings.

Fig. 14. Comparison of areal growth of the Kostiviarska quarry in the second half of 20th century according to polygons of particular analysed periods.

In the third phase dated to the 2nd half of the 1980s (Fig. 18) the quarry was markedly extended in the north--west and south-east directions. Its longer axis was 720 m and the shorter one only 120 m long. The devastated quarry area was 7.70 ha. It was a complex quarry area with well built access roads. The side was divided in three mining plates one above the other and the technical works were in the centre of the quarry. Mown meadows were found in the south-west and degradated grazing in the west and east of the quarry. A continuous forrest stock was in the north.

We dated the last – fourth – phase to the end of the 1990s (Fig. 19). The quarry area was extended in the north-west and south-east directions with the axis 570 m long. The shorter axis was 180 m long. The total devastated quarry area reached 8.44 ha. Technical works with a transporter for gravel production, offices, workshops and a stock of produces gravel are clearly visible in the south-western part of the quarry. The original grazins in the south-east and north-west of the quarry got the character of an almost compact forest stock. We have localized a small grazing area in the east of the quarry. The landcape was mosaic-like in the south-east of the quarry and on the left of the valley where grazings were combined with mown meadows.

Comparison of the particular development phases

On the ground of the vectorization of the quarry borders in the aerial photograph from the first phase at the beginning of the 1960s (Fig. 20) and by its comparison with the second phase dated to the beginning of the 1970s, we may state that the quarry enlarged on account of the right slope of the valley in the north-east direction. However, there were no considerable shape changes, but the quarry area enlarged from 0.68 ha to 1.82 ha, that is 167 % increase, i.e. by 1.2 ha. In the next phase (the 2nd half of the 1980s), the area enlarged markedly. The quarry area enlarged to 7.70 ha, that is 323 % increase, i.e. by 5.88 ha. The shape of the enlarged quarry area was predermined by the reliefs of the valley and the layer where the raw material was mined. The quarry plan extended considerably in the north-west and south-east directions. In the last phase (the end of the 1990s), the quarry area and shape did not change markedly, because the mining progressed in the vertical direction – in the depth of the layer. We have checked the mining direction by the field research. The quarry area enlarged to 8.44 ha, that is 9.6 % increase, i.e. by 0.74 ha. The exact georeferencing of the vectorized quarries showed some little inaccuracies in the north-west created by the growing over of the old quarry parts and in the south-eastern part, where a weak quarry side shift is visible, compared to its deepening that has been checked by the field research.

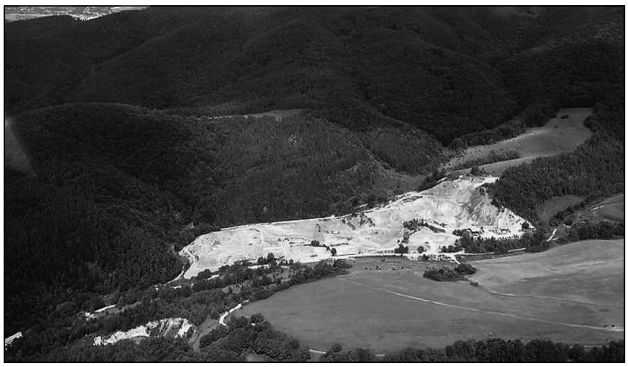


Fig. 15. Aerial view on the Iliaš – Okrúhle quarry, located in the Dolina valley in 2009. Photo Z. Filadelfi.

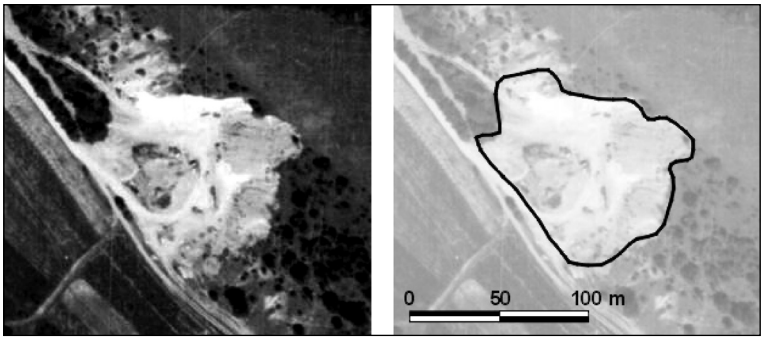


Fig. 16. Aerial photograph of the Iliaš – Okrúhle quarry at the beginning of the 1960s, graphically compiled according authors Hronček et al. (2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Iliaš – Okrúhle quarry at the beginning of the 1960s (right).

Conclusion

Based on the content analysis of the aerial photographs we have limited the quarry areas (devastated areas) in particular phases. We have used the digitalized quarry area traverse to determine the dimensions and the area of the quarries in particular time horizons in the GIS environment. We have compared the data obtained in particular phases and on this ground we have set the quarry area enlargement in absolute number value in ha (hectares) and in relative values in percentage (%) as well.

Followingly the obtained information has allowed us to state that the quarries were opened in a spontaneous way and the mining reached its maximum at the end of the 1960s and 1970s. The produced raw material was used as a building material during the vast building of the town of Banská Bystrica. The mining increase in the Kostiviarska quarry related to similar activities. Kostiviarska quarry was considered as a raw material base for the cement works in Banská Bystrica.

As per analyses of the enlargement of the quarry area, the dimensions of the area or the area devastated by raw material minig may be determined exactly. Direction of the mining – horizontal or vertical into the layer depth – may be also determined. It is also possible to determine the shifting of the quarry side in relation to the slope, the cardinal points, as well as to the permanent grassland in the quarry surrounding, or to the water-course base, other road nets, etc. Following the analysis of the aerial photographs, it is possible to determine the changes of the shape charecteristics of the quarry, the number of the plates in the particular time horizons, the time of creation of the pit part, the changes of the quarry dimensions, etc. The following comparison of quantitative and qualitative morphological characteristics of the quarries in particular phases increases the amount of obtained information in a geometric way. These properties can be examined in the context with other conditions of exploitation (the geological structure, ecological limits, political, economic and socio-economic development, etc.).

The information obtained by the analyses of the aerial photographs will result – in comparison with the field research and archive results – in a number of additional new derived

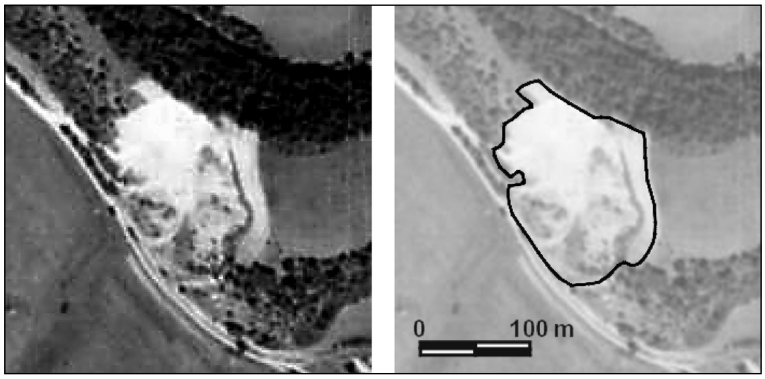


Fig. 17. Aerial photograph of the Iliaš – Okrúhle quarry at the beginning of the 1970s, graphically compiled according authors Hronček et al. (2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Iliaš – Okrúhle quarry at the beginning of the 1970s (right).

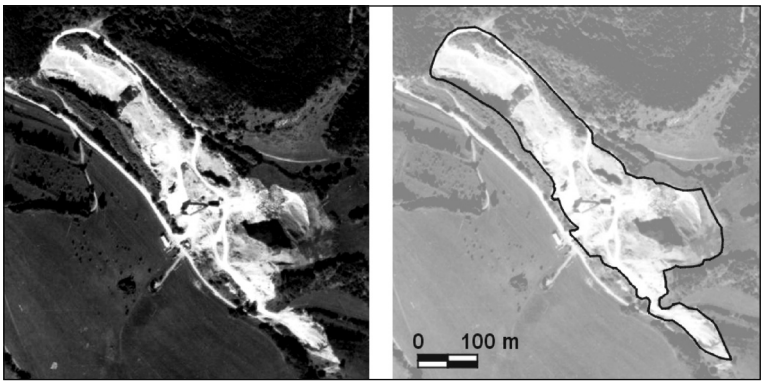


Fig. 18. Aerial photograph of the Iliaš – Okrúhle quarry at the second half of the 1980s, graphically compiled according authors Hronček et al. (2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Iliaš – Okrúhle quarry at the second half of the 1980s (right).

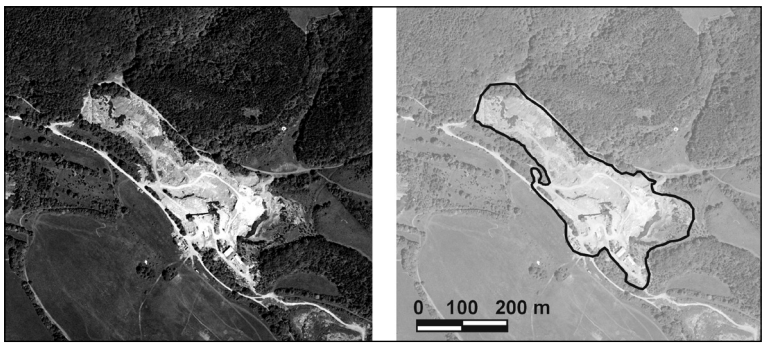


Fig. 19. Aerial photograph of the Iliaš – Okrúhle quarry at the end of 1990s, graphically compiled according authors Hronček et al. (Hronček et al., 2009, left) and graphically elaborated ground plan of the Iliaš – Okrúhle at the end of the 1990s (right).

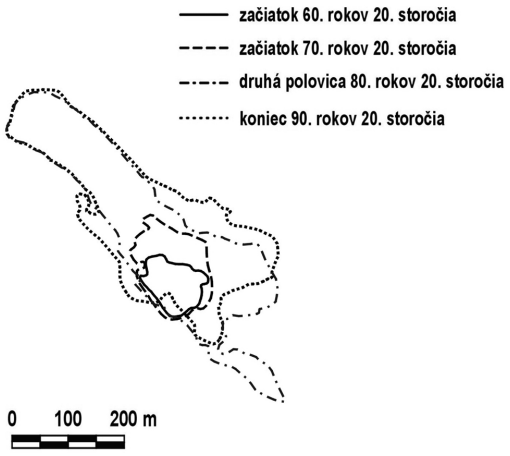


Fig. 20. Comparison of areal growth of the Iliaš – Okrúhle quarry at the second half of 20th century according to polygons of particular analysed periods.

knowledge, particularly for the nature protection, landscape planning, recultivation and secondary use of the quarries and the area devastated by the raw material mining. Equally important are the results of the research in relation to the assessment of the possibilities for development of geotourism, the potential of natural-technical systems for the use in the education and the historic documentation.

References

Anonymous 2002: Banská Bystrica – atlas ortofotomáp 1 : 6 000. VKÚ Harmanec, 44 p.

Bitterer, L., 2005: Základy Fotogrametrie. Skriptum. Žilinská univerzita, Stavebná Fakulta, 220 p.

Boltižiar, M., 2004: Analýza zmien krajinnej štruktúry vybranej časti Belianskych Tatier v rokoch 1948 – 1998 aplikáciou výsledkov DPZ a GIS. Štúdie o TANAP 7 (40), Poprad, Marmota press, 483 – 491.

Boltižiar, M., 2005: Tvorba historických máp krajinnej štruktúry Tatier na základe archívnych leteckých snímok a ich aplikácia pri hodnotení zmien krajiny. Historické mapy. *In: Zbor. z vedeckej konferencie, Bratislava, GÚ SAV, 19 – 26.*

Boltižiar, M., & Olah, B., 2009: Krajina a jej štruktúra (Mapovanie, zmeny a hodnotenie). Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied, Učebné texty, 148 p.

Feranec, J., 1992: Analýza multitemporálnych údajov DPZ – metodický nástroj geografických výskumov. *Geogr. Čas., 44, 40 – 50.*

Feranec, J., Cebecauerová, M., Cebecauer, T., Husár, K., Oťahel, J., Pravda, J., & Šúri, M., 1997: Analýza zmien krajiny aplikáciou údajov diaľkového prieskumu Zeme. *Geographica slov., 13 s.*

Gregor, T., Zlocha, M., Vybíral, V., Čapo, J., Lanc, J., Kováčik, M., Bednárik, M., Hrabinová, J., & Pivovarči, M., 2008: Použitie diaľkového prieskumu Zeme pri sledovaní vplyvu environmentálnych záťaží na geologické činitele životného prostredia vo vybraných regiónoch. Záverečná správa. Senzor, s. r. o., Bratislava, 657 s.

Hrnčár, A., 1993: Regionálne štúdie nerastných surovín okresov SR. Okres Banská Bystrica. Geologický prieskum, š. p., Spišská Nová Ves, geologická oblasť Banská Bystrica, 140 p.

Hronček, P., 2004: Ťažobné antropogénne formy reliéfu na príklade lomov v Banskej Bystrici. *In: Ekologická diverzita Zvolenskej kotliny, Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 34 – 39.*

Hronček, P., & Milanová, L., 2006: Lomy Bystrickej vrchoviny – antropogénne relikty po ťažbe nerastných surovín. *FPV UMB, Katedra geografie Banská Bystrica, Geografická revue, 2, 1, 29 – 64. (na CD nosiči).*

Hronček, P., Herčko, I., Hladká, D., Krnáč, J., Maliniak, P., Polčák, N., Sabo, P., Turisová, I., Urban, P., & Weis, K., 2008: Povrchové relikty po ťažbe nerastných surovín vo Zvolenskej kotline I. Ústav vedy a výskumu UMB v Banskej Bystrici, 168 s.

Hronček, P., Herčko, I., Hladká, D., Jakubík, J., Milanová, L., Nagy, M., Polčák, N., Sabo, P., Turisová, I., Urban, P., & Weis, K., 2009: Povrchové relikty po ťažbe nerastných surovín vo Zvolenskej kotline II. Ústav vedy a výskumu UMB v Banskej Bystrici, 160 s.

Hronček, P., Hvizdák, L., & Štrba, Ľ., 2011: Utilising possibilities of old postcards in research of surface relicts after raw material mining. *Acta Geoturistica, 2, 1, 46 – 60.*

Húska, D., & Tátošová, L., 2005: Diaľkový prieskum Zeme. Skriptum. Slovenská poľnohospodárska univerzita Nitra, 95 s.

Polák, M., Filo, I., Havrila, M., Bezák, V., Kohút, M., Kováč, P., Vozár, J., Mello, J., Maglay, J., Elečko, M., Olšavský, M., Pristaš, J., Siman, P., Buček, S., Hók, J., Rakús, M., Lexa, J., & Šimon, L., 2003a: Geologická mapa Starohorských vrchov, Čierťaže a Severnej časti Zvolenskej kotliny 1 : 50 000. *Bratislava, ŠGÚDŠ.*

Polák, M., Filo, I., Havrila, M., Bezák, V., Kohút, M., Kováč, P., Vozár, J., Mello, J., Maglay, J., Elečko, M., Vozárová, A., Olšavský, M., Siman, P., Buček, S., Siráňová, Z., Hók, J., Rakús, M., Lexa, J., Šimon, L., Pristaš, J., Kubeš, P., Zakovič, M., Liščák, P., Žáková, E., Boorová, D., & Vaněková, H., 2003b: Vysvetlivky ku geologickej mape Starohorských vrchov, Čierťaže a Severnej časti Zvolenskej kotliny 1 : 50 000. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 218 s.*

Sviček, M., 2000: Detekcia zmien krajinnej pokrývky analógovou interpretáciou čierno-bielych leteckých snímok. Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava, 113 s.

Žihľavník, Š., 1999: Mapovanie a diaľkový prieskum Zeme. Skriptum. TU Zvolen, 252 s.

Manuscript received 21. 9. 2011
Revised form received 23. 4. 2012
Manuscript accepted by Editorial Board 16. 4. 2012

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 177 – 184
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Laserové verzus optické skenovanie skalných masívov

MAREK FRAŠTIA

Katedra geodézie SvF STU Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava
marek.frastia@stuba.sk

Laser vs. optical scanning of rock massifs

The paper analyses the measuring technologies of laser and optical scanning, their use in engineering geology, namely for scanning surfaces of rocks. Evaluation of their accuracy, advantages and applicability to specific cases is shown in the article.

Key words: laser scanning, optical scanning, digital close-range photogrammetry

Úvod

Zhodnotenie stavu skalných masívov, stien a zárezov si často vyžaduje – okrem iného – aj komplexnú a podrobnú informáciu o geometrii a textúre skalného povrchu. Rovnako sa bez týchto informácií nezaobíde moderné projektovanie sanačných opatrení (Baliak et al., 2010) a monitoring stability horninového prostredia (Wagner et al., 2010). V súčasnosti sú tieto požiadavky schopné naplniť technológie laserového a optického skenovania (Fraštia, 2009), pričom výstupom zberu údajov je mračno bodov reprezentujúcich pozorovaný povrch vo vysokom priestorovom rozlíšení. Po nástupe technológie terestrického laserového skenovania (TLS) koncom 90. rokov sa zdalo, že fotogrametria stratí uplatnenie v mnohých, dovtedy pre ňu výsostných aplikáciách. Technológia digitálnej fotogrametrie a hlavne automatizovaného spracovania primárne digitalizovaných snímok však otvorila úplne nové možnosti skenovania povrchov z ich optických obrazov.

V príspevku sú predstavené 2 experimenty – laserové a optické skenovanie skalného zárezu nad cestnou komunikáciou v okolí Banskej Štiavnice a optické skenovanie hradného brala hradu Beckov.

V prvom experimente je uvedené podrobné porovnanie výsledkov laserového a optického skenovania s meraniami vykonanými univerzálnou meracou stanicou Leica TS30. Toto porovnanie bolo realizované na kontrolných bodoch signalizovaných kruhovými odrazovými fóliami s priemerom 10 mm, stabilizovanými priamo na skalnom povrchu (obr. 1). Aposteriórne odhady presnosti na bodoch z meraní prístrojom Leica TS30 nepresahovali vo všetkých osiach XYZ lokálneho súradnicového systému hodnotu 1 mm. Túto vysokú presnosť môžeme predpokladať vďaka presnostným charakteristikám samotného prístroja, krátkym dĺžkam, meraniam na odrazovú fóliu (1 mm + 1 ppm) a homogénnej sieti bodov meraných z jedného stanoviska priestorovou polárnou metódou.

V lokálnom súradnicovom systéme, ktorého os X je približne kolmá na zárez, boli určené body na lícovanie laserových a optických skenov, ako aj 10 kontrolných bodov (obr. 2) na samotné priame porovnanie súradníc určených geodeticky (Leica TS30), laserovým skenovaním a fotogrametricky (optickým skenovaním).

Druhým experimentom bolo skenovanie hradného brala a stien samotného hradu Beckov, kde bolo realizované len optické skenovanie a zhodnotenie postupov a výstupov v tomto konkrétnom prípade. Získané skúsenosti sú potom zhrnuté do porovnania obidvoch skenovacích technológií a sú uvedené návrhy a odporúčania ich použitia.

Terestrické laserové skenovanie

Terestrické laserové skenovanie (Štroner, 2008) je meracia technológia založená na priestorovej polárnej metóde, kde sa merajú vertikálny a horizontálny uhlový krok a šikmá dĺžka. Podľa spôsobu merania dĺžky rozlišujeme impulzné a fázové laserové skenery (tab. 1).

Výsledkom laserového skenovania je tzv. mračno bodov, teda množina diskrétnych priestorových bodov definovaných súradnicami XYZ. Túto množinu je ďalej potrebné spracovať až do výsledného modelu meraného objektu, zvyčajne vyjadreného trojuholníkovou sieťou, t. j. TIN modelom.

Experiment 1 – skalný zárez

V rámci monitoringu nestabilných lokalít je už niekoľko rokov pozorovaný skalný zárez nad štátnou cestou I. triedy pri Banskej Štiavnici (obr. 3). Lokalita je meraná raz ročne.

V rámci experimentu bol celý zárez skenovaný zo vzdialenosti 20 m v rozlíšení 1 cm, vybrané čisté skalné plochy v rozlíšení 3 – 5 mm. Skenovanie z 2 stanovísk trvalo cca 4 hodiny. Mračná bodov (skeny) boli transformované

Tab. 1
Základná charakteristika laserových skenerov
Basic characteristics of laser scanners

Typ skenera	Dosah[1)]	Dĺžková presnosť[2)]	Rýchlosť[3)]
Impulzný	do 300 – 4 000 m	2 – 30 mm	5 000 – 100 000 bodov/s
Fázový	do 70 m	0,2 – 5 mm	až 1 000 000 bodov/s

[1)] v závislosti od atmosférických podmienok a odrazivosti povrchu
[2)] v závislosti od veľkosti meranej dĺžky a modelu skenera
[3)] v závislosti od modelu skenera, hustoty skenovania a veľkosti zorného poľa

Tab. 2
Technické špecifiká skenera Leica ScanStation 2
Technical specification of the scanner Leica ScanStation 2

Typ prístroja	Impulzný, vysoko rýchlostný laserový skener s dvojosím kompenzátorom
Kamera	Integrovaná digitálna kamera
Presnosť jednotlivého bodu	Poloha: 6 mm Vzdialenosť: 4 mm
Veľkosť laserovej stopy	Od 0 do 50 m: 4 mm (FWHH); 6 mm (Gaussian)
Presnosť modelovaného povrchu	2 mm (v prípade matematických plôch)
Parametre skenovania	Dosah: 300 m – 90 % odrazivosť Rýchlosť: 50 000 bodov za sekundu Hustota: max. 1,2 mm v celom dosahu

do referenčného systému pomocou vybraných bodov meraných prístrojom Leica TS30. Rezíduá po priestorovej zhodnostnej transformácii neprekročili hodnotu 2 mm vo všetkých osiach súradnicového systému. Priestorové súradnice kontrolných bodov boli určené priamo z transformovaného mračna tak, že sa preložila regresná rovina bodmi v úzkom okruhu (cca 10 mm) – mimo kruhovej značky od okraja značky. Následne bol určený stred

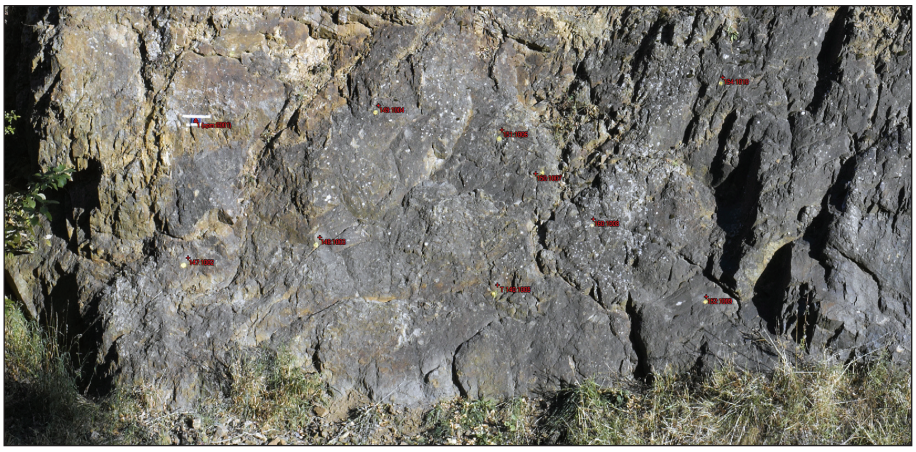
Obr. 1. Detail pozorovaného bodu (výrez z originálnej snímky).

Fig. 1. Detail of observed point (cut from original image).

kruhu z okrajových bodov tesne mimo okraja značky v regresnej rovine. Tento stred reprezentoval hľadaný bod. Uvedený postup bol zvolený kvôli chybným dĺžkam meraným laserovým skenerom priamo na odrazovú fóliu (príliš silný signál), preto sa značka rekonštruovala z bodov tesne mimo nej. V tomto experimente bol použitý impulzný skener (Leica Scanstation2: Informačná brožúra, 2012) s parametrami uvedenými v tab. 2.

Nevýhodou použitého prístroja je integrovaná digitálna kamera s nízkym geometrickým a rádiometrickým rozlíšením, čím dochádza ku skreslenému „zafarbeniu“ meraných bodov. Kvalitná informácia o farbe bodov mračna je dôležitá na správnu identifikáciu bodov, resp. častí objektu v procese spracovania mračien, a takisto zvyšuje prezentačnú hodnotu meraných údajov.

Tab. 3 dokumentuje vysokú presnosť na kontrolných bodoch dosiahnutú laserovým skenerom – výsledky sú významne lepšie ako presnosť polohy meraného jednotlivého bodu deklarovaná výrobcom (6 mm). Treba ale poznamenať, že dosiahnutý výsledok nie je z merania jednotlivého bodu, ale vznikol priemerovaním viacerých bodov (na okraji značky), čím sa redukuje šum (nepresnosť)



Obr. 2. Vybraný detail na plošné laserové a optické skenovanie.

Fig. 2. Selected detail for laser and optical scanning of surface.

hlavne z meraných dĺžok (±4 mm) a približuje sa hodnote presnosti modelovanej matematickej plochy 2 mm, ktorú udáva výrobca. Pozorovaný skalný povrch mal vhodné vlastnosti na skenovanie – bol suchý, s drsnou štruktúrou, bez hladkých a lesklých plôch. Na druhej strane, čiastočne nepriaznivým faktorom je hnedá farba skalného povrchu, čo môže viesť k zvýšeniu hodnoty šumu. Za predpokladu narastajúcej vzdialenosti skenera od pozorovanej plochy a konštantnej presnosti sa bude priamo úmerne zvyšovať aj relatívna presnosť laserového skenovania (hodnota m/D bude klesať).

Optické skenovanie

Podobne ako laserové skenovanie, optické skenovanie našlo hlavné uplatnenie v automatizovanej tvorbe 3D modelov s hustým (podrobným) bodovým pokrytím povrchu (Luhman, 2006). Metóda je využívaná predovšetkým na objekty s náhodne premenlivou textúrou a nie príliš členitou štruktúrou, aj keď posledné výsledky ukazujú na možnosti jej využitia aj pri objektoch doposiaľ rekonštruovaných výlučne metódou konvergentnej fotogrametrie (Fraštia, 2011). Princíp metódy je založený na korelácii (podobnosti) dvoch obrazov, ktoré sú vyhotovené z rôznych pozícií, čím je potom možné rekonštruovať priestorové zväzky lúčov a z nich priestorovú polohu bodov, resp. prvkov zaznamenaných na digitálnych obrazoch.

Experiment 1 – skalný zárez

Zárez bol snímkovaný z protiľahlého oporného múru a zeme z predmetových vzdialeností od 20 m (spodná časť zárezu) do 30 m (horná časť zárezu). Kvôli plošnému monitoringu zárezu sa prešlo od tradičnej stereofotogrametrie (bodové a profilové merania) k optickému skenovaniu. Snímky boli vyhotovené strednoformátovou kamerou Mamyia 654 AF s digitálnou stenou LEAF Aptus7-II s rozlíšením 33 megapixelov a objektívom s ohniskovou

Tab. 3
Porovnanie súradníc bodov určených geodeticky a laserovým skenovaním
Comparison of geodetic and laser scanner coordinates

10 bodov	Min. – Max. odchýlky [mm]			Kvadratické priemery [mm]			Relatívna presnosť[2] m/D		
Prístroj	dx[1]	dy[1]	dz[1]	mx	my	mz	x	y	z
Leica	2,4	–1,6	1,2	**0,9**	**1,9**	**0,8**	1 : 21 000	1 : 10 000	1 : 22 000
ScanStation 2	–0,2	–2,5	–0,6						

[1] os X smeruje kolmo na zárez, os Y rovnobežne so zárezom, os Z smeruje do zenitu
[2] m je presnosť reprezentovaná kvadratickými priemermi, D je vzdialenosť skenera od pozorovanej plochy

Tab. 4
Porovnanie súradníc bodov určených geodeticky a fotogrametricky
Comparison of geodetic and photogrammetric coordinates

10 bodov	Min. – Max. odchýlky [mm]			Kvadratické priemery [mm]			Relatívna presnosť[2] m/D		
Objektív	dx[1]	dy[1]	dz[1]	mx	my	mz	x	y	z
Objektív 45 mm	2,4	0,4	1,6	**1,5**	**2,4**	**0,9**	1 : 13 000	1 : 8 000	1 : 22 000
	–3,0	–3,9	–0,5						
Objektív 80 mm	4,4	0,9	–1,8	**2,5**	**1,5**	**2,7**	1 : 8 000	1 : 13 000	1 : 7 500
	0,2	–2,2	–3,2						

[1] os X smeruje kolmo na zárez, os Y rovnobežne so zárezom, os Z smeruje do zenitu
[2] m je presnosť reprezentovaná kvadratickými priemermi, D je vzdialenosť skenera od zárezu

Tab. 5
Presnosť a podrobnosť skenovanej plochy
Accuracy and resolution of the scanned surface

Vzdialenosť snímkovania	Objektív f = 45 mm GSD[1]	Objektív f = 80 mm GSD[1]	Presnosť mx	Presnosť my	Presnosť mz	Presnosť priestorová	Max. priestor. chyba
100 m	16 mm	8 mm	7 mm	7 mm	7 mm	12 mm	25 mm

[1] GSD (ground sampling distance) – veľkosť pixelu na fyzickej ploche

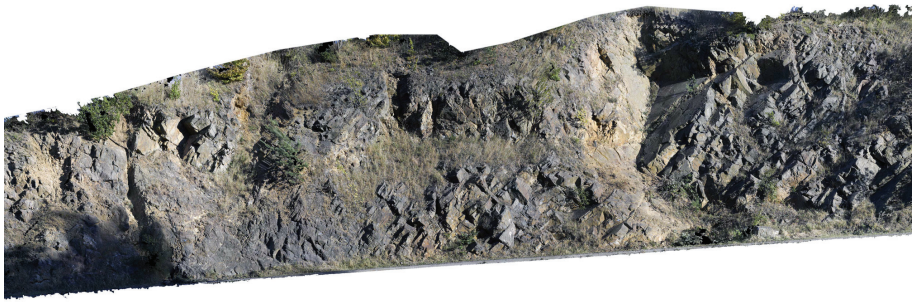
vzdialenosťou 45 mm, resp. 80 mm. Snímky boli vyhotovené v 2 pásoch nad sebou v približne „normálnej“ polohe (obr. 4).

Plošná dokumentácia povrchu je výsledkom tzv. optického (fotogrametrického) skenovania, ktoré je principiálne odlišné od laserového, ale primárne surové údaje sú rovnakého typu – mračná bodov. Je to neselektívna metóda na určovanie plôch s vysokou hustotou záznamu (Fraštia, 2009). Na analýzu presnosti tejto metódy bola vybratá tá istá časť zárezu s rozmermi cca 4 x 2 m ako na laserové skenovanie (obr. 2), kde bolo signalizovaných 10 bodov reflexnými kruhovými značkami (obr. 1). Analyzovaná časť zárezu neobsahovala vegetáciu, aby boli body presne definované na povrchu a porovnanie korektné.

Postup spracovania snímok v systéme PhotoScan bol takýto:

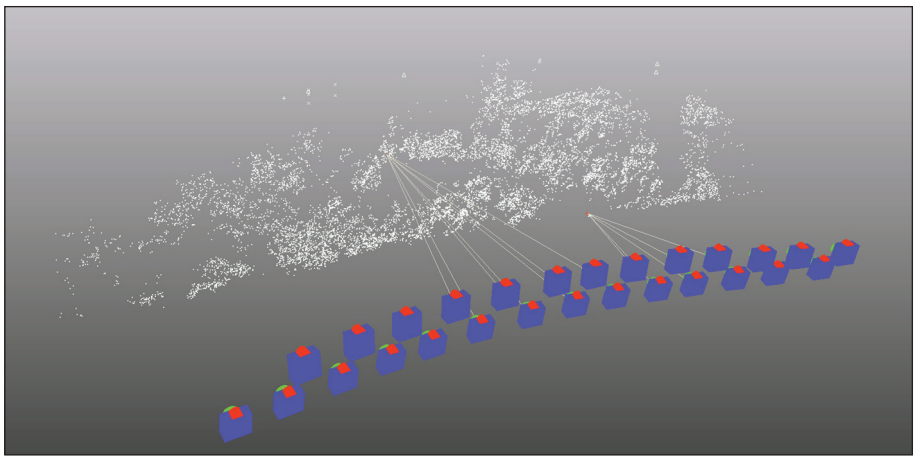
- automatická orientácia snímok pomocou obrazovej korelácie (cca 5 000 bodov),
- perspektívna transformácia cez 8 identických bodov,
- generovanie bodov povrchu v kroku 5 mm,
- tvorba trojuholníkovej siete TIN,
- zafarbenie plošnej siete TIN reálnymi fototextúrami.

Následne boli na plochu s textúrou vo vysokom rozlíšení umiestnené značky na miesta, kde sa nachádzali



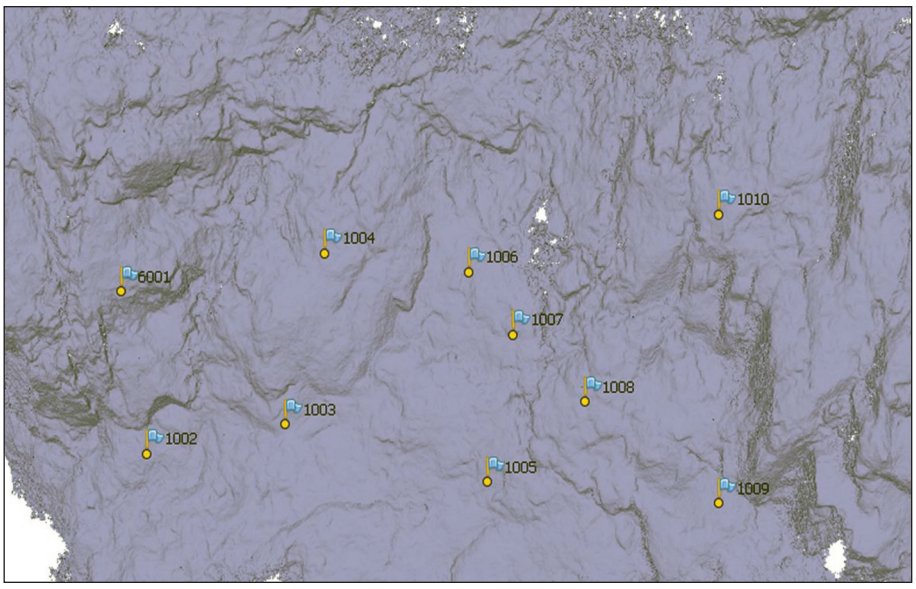
Obr. 3. Pozorovaný skalný zárez s dĺžkou cca 50 m nad cestou I. triedy (ortosnímka).

Fig. 3. Observed rock cut above the state road, length cca 50 m (orthoimage).



Obr. 4. Konfigurácia snímkovania.

Fig. 4. Camera configuration.



Obr. 5. Meracie značky na rekonštruovanom povrchu.

Fig. 5. Measuring targets located on reconstructed surface.

signalizované body. Vďaka kvalitnej textúre modelu bolo možné tieto značky umiestniť s presnosťou cca 0,5 pixelu priamo na modeli. Značky tak získali svoje súradnice určené fotogrametricky v referenčnom systéme (obr. 5).

Odhadovaná apriórna presnosť optického skenovania bola v tomto prípade 2 mm na rovine rovnobežnej so snímkovou rovinou (rovina YZ) a 5 – 10 mm v smere osi záberu kamery (rovina XZ). Keďže však nepoznáme algoritmus výpočtu pomocou použitého softvéru, hodnoty boli uvedené iba odhadom a skutočná presnosť bola odhadnutá práve analýzou výsledku skenovania.

Z tab. 4 vyplývajú tieto závery:

- Výsledná presnosť na rovine rovnobežnej so snímkovou je rovnaká alebo vyššia ako apriórne odhadovaná, a to na úrovni presnosti 0,5 – 0,8 pixelu na snímkovej rovine.
- V smere osi záberu bola dosiahnutá presnosť na snímkovej rovine na úrovni až 0,1 pixelu, čo však obrazová korelácia umožňuje a po použití vhodného algoritmu sú tieto výsledky relevantné.
- Presnosť dosiahnutá optickým skenovaním sa pohybuje v hodnotách blízkych presnosti konvergentnej fotogrametrie určenia diskrétnych signalizovaných bodov. Tento fakt spolu s automatizáciou generovania povrchov je mimoriadne dôležitý a svedčí o vysokej efektivite metódy optického skenovania.
- Dosiahnutá presnosť optického skenovania v danej predmetovej vzdialenosti (20 m) je na úrovni presnosti modelovanej plochy z meraní impulznými skenermi (2 mm). Samozrejme, skracovaním predmetovej vzdialenosti sa bude presnosť optického skenovania úmerne zvyšovať. Presnosť fázových skenerov (0,3 až 3 mm) je možné dosiahnuť snímkovaním zo vzdialenosti 1 – 5 m (závisí aj od textúry povrchu).
- Objektív s dvojnásobne dlhšou ohniskovou vzdialenosťou nepriniesol pre dané predmetové vzdialenosti významné zlepšenie presnosti, dvojnásobne však zvyšuje priestorové rozlíšenie (menšia veľkosť pixelu na objektovej ploche), z čoho vyplýva podrobnejší záznam textúry povrchu.

Výsledky teda hovoria, že pri snímkovaní zo vzdialenosti napr. 5 m bude veľkosť pixelu na skenovanej ploche 0,70 mm (objektív f = 45 mm) a teoretická presnosť rekonštrukcie povrchu bude cca 0,35 mm pre každú os. Priestorová presnosť bodu potom bude 0,65 mm s maximálnymi chybami 1,25 mm.

Experiment 2 – hrad Beckov

Bralo s hradom bolo snímkované opäť strednoformátovou digitálnou kamerou s rozlíšením 33 megapixelov s objektívom s ohniskovou vzdialenosťou 45 mm. Snímkovanie komplikovala situácia okolo brala, kde je pomerne husto zastavaný intravilán a v spodnej časti prekážajú vo výhľade budovy, stĺpy, elektrické vedenia a pod. (obr. 6 vľavo). Na tvorbu modelu bolo použitých 12 snímok (obr. 6 vpravo). Hlavným problémom bolo snímkovanie „zo zeme", keďže okolie brala si vyžadovalo snímkovať z pozícií nad uvedenými prekážkami. Tento problém je pre terestrické laserové skenovanie v podstate neriešiteľný, maximálne by bolo možné skener umiestniť na vyvýšené miesto, ako napr. veža kostola.

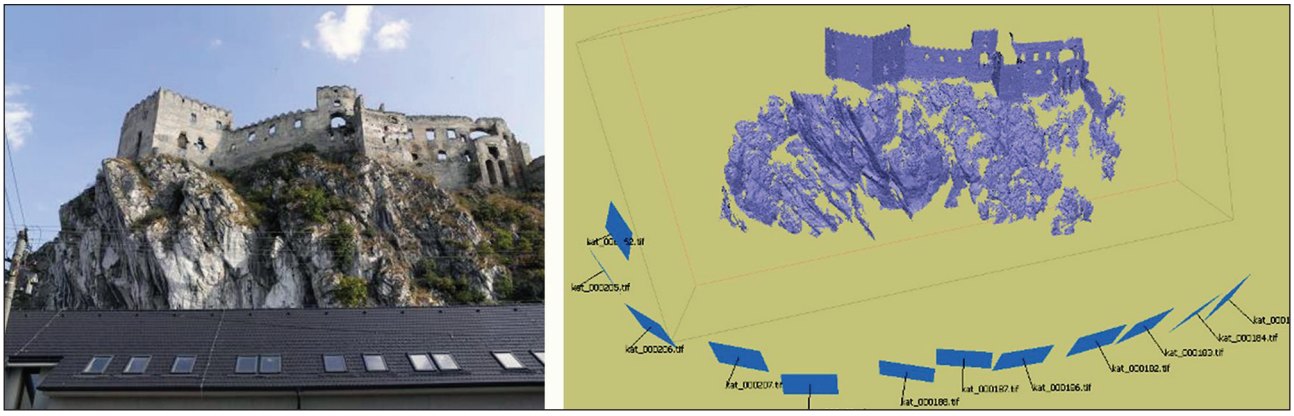
Pri optickom skenovaní je možné toto riešiť snímkovaním z bezpilotovaných modelov (UAV – unmanned aerial vehicle), tie však majú nízku nosnosť, ktorej je potrebné prispôsobiť hmotnosť kamery, a takisto si vyžadujú zručného pilota, ktorý svoj model dobre ovláda.

Ďalšou možnosťou je prenájom malého lietadla alebo vrtuľníka a snímkovanie z ruky pri oblete celého objektu. To by však bola otázka financií, pričom letová hodina sa pohybuje okolo 150 – 300 € v závislosti od cenníka a dohody s konkrétnym aeroklubom, resp. pilotom.

Predmetové vzdialenosti snímkovania boli približne 100 – 150 m. Pre túto hodnotu boli vypočítané parametre uvedené v tab. 5.

Následné spracovanie prebiehalo v systéme PhotoScan, pričom bol generovaný TIN model (obr. 7), vyplnený sieťový model (obr. 8) a textúrovaný sieťový model (obr. 9).

Detailnosť, presnosť a úplnosť modelu by jednoznačne zvýšili šikmé letecké snímky, čím by sa celkovo docielila podstatne vyššia kvalita modelu. Práve mobilita metódy optického skenovania je v týchto prípadoch značnou výhodou oproti laserovému skenovaniu.



Obr. 6. Originálna snímka (vľavo), konfigurácia snímkovania (vpravo).

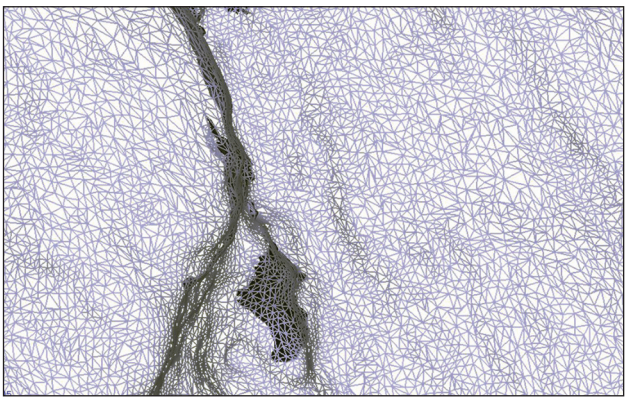
Fig. 6. Original image (left), camera stations configuration (right).

Porovnanie metód pre praktické využitie

Na obr. 8 a 9 vidieť diery v sieťovom modeli z optického skenovania. Diery sú spôsobené buď zákrytmi, alebo na týchto miestach nenastala vyhovujúca korelácia obrazov. To môže byť spôsobené viacerými faktormi:

a) nízkou premenlivosťou textúry na objekte (napr. tiene, plochy bez štruktúry),

b) textúra na objekte je síce dobrá, ale priestorové rozlíšenie kamery je nedostatočné, a preto nedokáže túto textúru reprodukovať,



Obr. 7. Ukážka hustoty siete TIN, reálna dĺžka obrazca je 3 m.

Fig. 7. Show of TIN density, real length of image is 3 m.

c) mierny zmaz na snímkach a nízky kontrast (napr. spôsobený zlým osvetlením alebo oparom) má rovnaký efekt ako v bodoch a) a b),

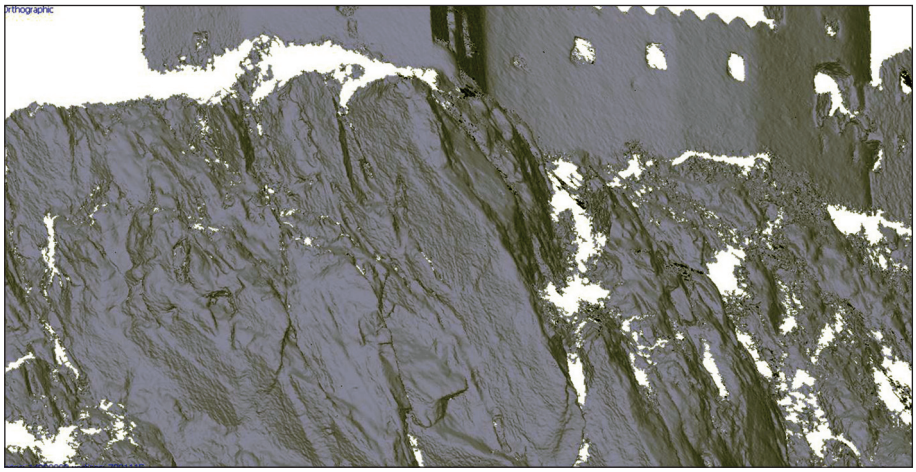
d) veľká priestorová členitosť objektu v kombinácii s perspektívnym zobrazením spôsobuje nepodobnosť obrazov,

e) pohybujúce sa objekty menia na jednotlivých snímkach polohu,

f) vegetácia, ktorá spôsobuje efekt z bodov d), e).

Výsledky porovnania obidvoch technológií vychádzajú z našich teoretických, ale hlavne praktických skúseností realizácie viacerých projektov a experimentov a sú prehľadne zhrnuté v tab. 6. Opierajú sa predovšetkým o skúsenosti skenovania horninových masívov a skalných povrchov. Najväčší problém spôsobuje práve vegetácia a zatienené miesta. Samozrejme, zákryty nepočítame, tam, kde kamera „nevidí", nemôže nič skenovať (rovnako ako laserové skenery). Čiastočná alebo úplná absencia miest pokrytých vegetáciou sa ale môže javiť práve ako výhodná, pretože sa takto prirodzene filtruje model od nežiaducich údajov.

Naopak, výhoda laserového skenovania v tomto prípade spočíva v prechode laserového lúča pomedzi nie príliš hustú vegetáciu a v odraze od skalného povrchu. Laserové lúče však v plnom rozsahu detekujú aj vegetáciu (stromy, listy, trávu – obr. 10) a samostatným problémom je potom takéto údaje – pokiaľ sú nežiaduce odfiltrovať.

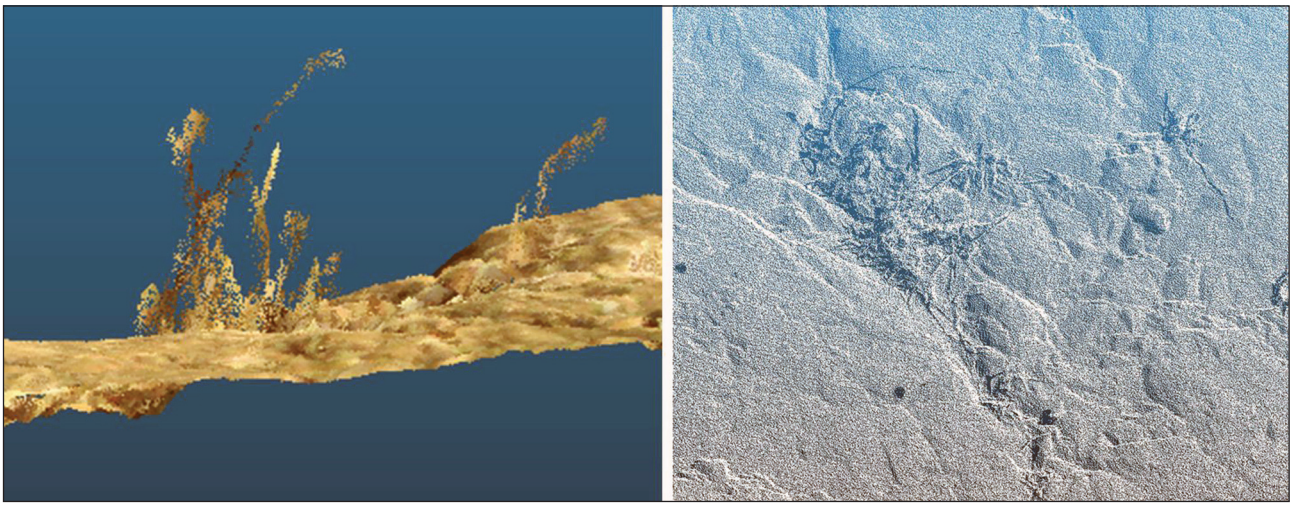


Obr. 8. Sieťový model a diery spôsobené zákrytmi, tieňmi a vegetáciou.

Fig. 8. Mesh model and holes caused by occultation, shadows and vegetation.

Obr. 9. Textúrovaný sieťový model.

Fig. 9. Textured mesh model.



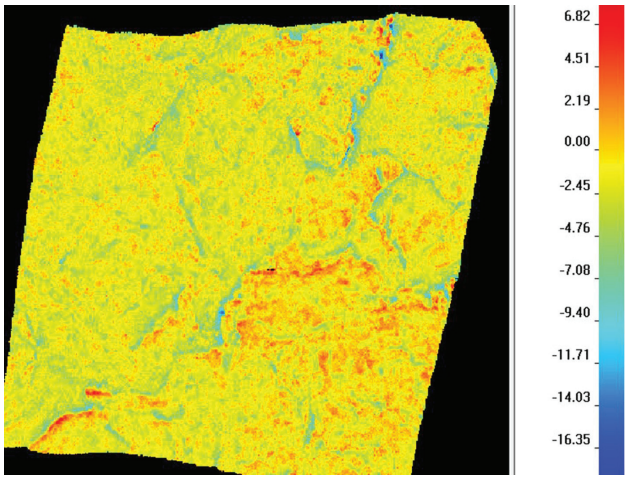
Obr. 10. Záznam vegetácie laserovým skenovaním.

Fig. 10. Record of vegetation by laser scanning.

Tab. 6
Porovnanie obidvoch metód z pohľadu praxe
Comparison of both methods from the viewpoint of praxis

Optické skenovanie – OS	**Terestrické laserové skenovanie – TLS**
+ výhody a nevýhody -	
- možná variabilita výsledkov[1] väčší výskyt hrubých chýb	+ stabilné výsledky
- klesajúca presnosť a rozlíšenie s narastajúcou vzdialenosťou	+ presnosť stabilná[2], rozlíšenie stabilné s narastajúcou vzdialenosťou
+ zvyšujúca sa presnosť a rozlíšenie až na 0,01 mm s klesajúcou vzdialenosťou	- presnosť stabilná, rozlíšenie s klesajúcou vzdialenosťou stúpa na max. úroveň 4 mm, resp. 1 mm (teoretická hustota)
+ vzdialenosti <5 m – vyššia presnosť ako TLS	+ vzdialenosti >20 m – vyššia presnosť ako OS
+ mračno bodov s vysokou rádiometrickou kvalitou	- mračno bodov s nízkou rádiometrickou kvalitou[3]
+ homogénna priestorová presnosť vo všetkých smeroch	+ homogénna priestorová presnosť vo všetkých smeroch
- potreba aspoň 2 snímok (dvoch vhodne umiestnených stanovísk)	+ 1 stanovisko postačuje na generovanie 3D údajov
+ vysoká mobilita	- obmedzená mobilita
+ relatívne nízke obstarávacie náklady na hardvér a softvér	- vysoké obstarávacie náklady na hardvér a softvér
+ jednoduchý a rýchly zber údajov v teréne	- prácnejší, časovo, personálne a technicky náročnejší zber údajov v teréne
+ možnosť generovania kvalitnej ortosnímky	- ortosnímka s nízkou kvalitou[3]
- negatívne vplyvy pre zber údajov	
tiene	vysoká atmosférická vlhkosť
vegetácia	vysoká vlhkosť meraného povrchu
ploché (nepremenlivé) textúry	veľmi tmavé a čierne plochy
veľká priestorová členitosť plochy	lesklé a kovové plochy
zlé svetelné podmienky a opar ovzdušia	nestabilné stanovisko

1) v závislosti od spôsobu softvérového nastavenia a spracovania
2) neplatí pre vzdialenosti nad 300 m a fázové skenery
3) neplatí pre skenery s možnosťou externého optického záznamu



Obr. 11. Rozdiely laserového a optického skenovania v [mm] vyjadrené farebnou stupnicou.

Fig. 11. Differences between laser and optical scanning in [mm] expressed by colour scale.

Obr. 11 dokumentuje rozdiely sieťového modelu z laserového a optického skenovania. Maximálne rozdiely sú na hranách a ryhách, resp. puklinách, kde je predpoklad čiastočného zaoblenia hrán a vyplnenia rýh pri optickom skenovaní ako dôsledok tieňov. Svoju úlohu v rozdielovej mape zohráva aj šum údajov z laserového skenovania.

Záver

Z porovnania výsledkov laserového a optického skenovania s geodetickým meraním veľmi presnou univerzálnou meracou stanicou (tab. 3 a 4) vyplývajú závery, že pre predmetné vzdialenosti do 20 m je možné dosiahnuť obidvoma skenovacími technológiami priestorovú presnosť skalného povrchu približne do 3 mm. Väčšie nepresnosti potom vyplývajú skôr z nedostatočnej hustoty záznamu pri veľmi členitých povrchoch a zo samotného algoritmu modelovania plochy z primárnych údajov – mračien bodov (obr. 11). Pre kratšie vzdialenosti (<5 m) je možné dosahovať optickým skenovaním až submilimetrovú presnosť, naopak, so zväčšovaním snímkovacej vzdialenosti presnosť úmerne klesá. Laserové skenovanie (impulzné skenery) je schopné zabezpečiť prakticky rovnakú presnosť, a to v rozsahu 3 – 5 mm pre predmetové vzdialenosti od niekoľko metrov po niekoľko 100 metrov (Riegl VZ-400: Informačná brožúra, 2012). Hlavnou výhodou optického skenovania je kvalitný obrazový záznam z digitálnych kamier s vysokým rozlíšením, ktorý je nenahraditeľný pri identifikácii texturálnych a štrukturálnych prvkov a pre správnu interpretáciu výsledkov pozorovaní (Fraštia, 2009). Cieľom príspevku nebolo postaviť technológie optického a laserového skenovania do antagonistickej polohy, ale práve naopak, poukázať na pozitíva (a negatíva) metód (tab. 6) na optimalizáciu digitalizačných prác a rozšírenie možností tak objednávateľa, ako aj realizátora. Veľmi vhodnou alternatívou sa potom javí integrácia obidvoch technológií na zabezpečenie efektívnej realizácie a výsledku (Haličková et al., 2011).

References

Baliak, F., Fraštia, M., & Chlepková, M., 2010: Photogrammetric measurements in geotechnic. *In: Sbor. vědeckých prací Vysoké školy báňské. Technická univerzita Ostrava, 10, 2, 1 – 8.*

Fraštia, M., 2009: Produkcia horninových masívov s rozlíšením a presnosťou vyššími ako 1 cm. *In: Geotechnical monitoring, 9th International Geotechnical Conference, Bratislava, 263 – 267.*

Fraštia, M., 2011: Blízka fotogrametria, jej aplikácie a nástroje. 19. slovenské geodetické dni [elektronický zdroj]: *In: Zbor. referátov. Bratislava: Komora geodetov a kartografov. Nestr.*

Haličková, J., Fraštia, M., & Marčiš, M., 2011: Integrácia údajov z terestrického laserového a fotogrametrického skenovania. *In: Aktuálne problémy geodézie, inžinierskej geodézie a fotogrametrie [elektronický zdroj]. Bratislava, STU SvF. Nestr.*

Leica Scanstation2: Informačná brožúra. [cit.15.03.2012]. Dostupné na internete: <http://www.geotech.sk/downloads/Laserove-skenery-HDS/Leica-ScanStation-2_brochure-SK.pdf>

Luhman, T., 2006: Close Range Photogrammetry. Scotland, UK: Whittles Publishing, p. 504.

Riegl VZ-400: Informačná brožúra. [cit. 15. 03. 2012]. Dostupné na internete: <http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_VZ400_03-04-2012.pdf>

Štroner, M., & Pospíšil, J., 2008: Terestrické skenovací systémy. *Praha, ČVUT, 13 – 32.*

Wagner, P., Ondrejka, P., Iglárová, Ľ., & Fraštia, M., 2010: Aktuálne trendy v monitorovaní svahových pohybov. *Bratislava, Miner. Slov., 42, 2, 229 – 240.*

Rukopis doručený 12. 3. 2012
Revidovaná verzia doručená 23. 4. 2012
Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012

Laser vs. optical scanning of rock massifs

It is shown that the spatial precision of rock surface approximately 3 mm can be achieved (Tabs. 3 and 4) by both scanning technologies from an object distance of 20 m. Major uncertainties arise rather than the lack of density recording at a very rugged surface and modelling algorithm from primary data – cloud of points (Fig. 11). For short distances (<5 m) it is possible to achieve sub-millimeter accuracy by optical scanning, while increasing object distance decreases accuracy proportionally. Laser scanning (pulsed scanners) is able to provide virtually the same accuracy in the range from several meters to several hundred meters within the range 3–5 mm (Riegl VZ-400: An information booklet, 2012). The main advantage of the optical scanning is a superior optical recording of digital high-resolution cameras, which is indispensable for the identification of textural and structural elements and for correct interpretation of the results of observations (Fraštia, 2009). The aim of paper was not to put the optical and laser technology to antagonistic position, but rather to highlight the positives (and negatives) of methods (Tab. 6) for optimization of digitization works, and enhancing possibilities of the customer and the contractor too. Integration of both technologies then seems as a very good alternative to ensure effective implementation and results (Haličková et al., 2011).

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 185 – 190
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Vliv odchylek geometrického uspořádání a tvaru vrtů na tepelné vlastnosti geotermálního systému

AUGUSTIN LEITER

VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky, Veveří 95, 662 37 Brno
LeiterA@study.fce.vutbr.cz

An effect of variations in geometrical arrangement and the shape of boreholes on thermal properties of the geothermal system

The importance of geothermal energy grows continuously. The heat obtaining from the rock massif is via the borehole heat exchanger. Boreholes with the maximum depth of several hundred meters were studied. The real geometrical shape of the borehole is usually distorted and not perfectly vertical. This influences thermal properties of the borehole system. To determine these properties a simplified numerical model, based on the heat conduction theory, is presented. This model provides the calculated temperature field in the vicinity of borehole system. The article presents several model examples of geothermal borehole systems. The calculated temperature fields demonstrate the thermal properties degradation. However, the prior borehole shape determination is difficult due to the possibly changed conditions during drilling. This phenomenon makes also the theoretical examination difficult.

Key words: geothermal borehole geometry, geothermal borehole deviation, borehole thermal resistance, heat conduction model

Úvod

Využití geotermální energie hraje v dnešní době stále významnější úlohu, což zřejmě souvisí s všeobecně rostoucí poptávkou po energiích. Jednou ze žádaných forem energie je energie tepelná, ať již užívaná k vytápění obytných objektů či v technologických procesech. Tuto energii lze za určitých okolností získat využitím tepla z povrchové vrstvy země, případně z hloubky několika desítek až stovek metrů (geotermální energie horninového masivu). Takováto tepelná energie se vyznačuje poměrně nízkou teplotou teplonosného média a proto ji také často označujeme jako tak zvanou nízkopotenciálovou. To však není jediný způsob využití energie horninového masivu. Podobným způsobem je totiž možné tepelnou energii do masivu též ukládat a přistupovat tak k systému jako k chladiči, dokonce je možné teplo uložené do masivu i do jisté míry zpětně využívat, potom se soustava chová jako jakýsi tepelný akumulátor. Schéma využití geotermální energie je na obr. 1.

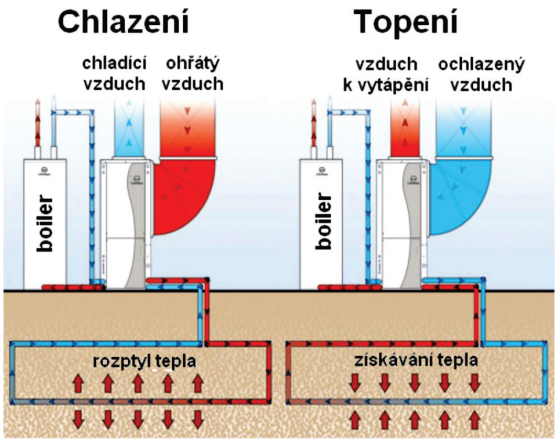
Pro úplnost lze uvést ještě možnost dostat se velmi hlubokým vrtem až k horninám s tak vysokou teplotou, že získané teplo je možné použít v některém z parních cyklů a tím k výrobě elektrické energie. Pro získání dostatečné teploty je ovšem třeba značně hluboký vrt (hloubka řádově v kilometrech) nejlépe v oblastech geologicky vhodných, což jsou například vulkanicky aktivní území nebo pásma kolize litosférických desek (subdukční/riftové zóny), kde je možné přiblížit se poměrně mělkým vrtem k horninám s vysokou teplotou. Na území našeho státu nejsou pro takovéto využívání výhodné podmínky. Dále se v tomto příspěvku autor zabývá pouze systémy s geotermálními vrty o hloubce řádově stovek metrů.

Získávání nízkopotenciálové geotermální energie

Jak tedy vypadá takový běžný systém pro získávání nízkopotenciálové geotermální energie? Buď je vytvořen tepelný výměník na značné ploše povrchové vrstvy země (hloubka cca 1,5 m) a využívá se z velké míry teplo obsažené ve slunečním záření, absorbovaném povrchovou vrstvou. Nebo pronikneme z povrchu do podstatně větší hloubky horninového masivu geotermálním vrtem. Ve vrtu je instalován tepelný výměník – obvykle U-trubice – ve kterém obíhá teplonosné médium (voda smísená s nemrznoucí a protikorozní přísadou).

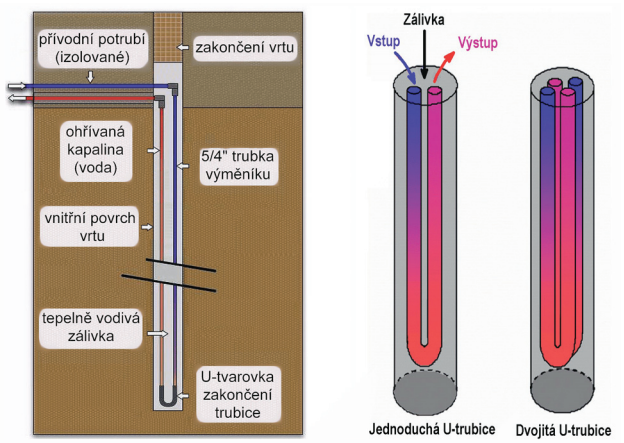
Prostor mezi výměníkem a vnitřním povrchem vrtu se někdy vyplňuje injektážní zálivkou pro zlepšení přestupu tepla mezi povrchem výměníku a vnitřní stěnou vrtu. Existují i geotermální vrty zaplněné vodou, často v oblastech s vysokou hladinou podzemní vody, která zhotovený vrt zaplaví samovolně. Někdy se horní část vrtu zaplní injektážní hmotou s jinými tepelnými vlastnostmi, ta pak vrt tepelně izoluje, aby voda, ohřátá ve spodní části výměníku, neztrácela teplo při výstupu do vyšších, chladnějších částí vrtu. Ve výměníku obíhá voda, která se při sestupu do hloubky dostává do oblasti masivu se stále vyšší teplotou. Voda přes stěnu výměníku tuto tepelnou energii přijímá. Rozdíl mezi teplotou vody na vstupu a na výstupu výměníku je potom možné využít jako zdroje tepla. Schéma vrtu je na obr. 2.

Pro některé aplikace je výhodné čerpat vodu do výměníku teplejší a nechat ji ochladit. Hmota masivu se tak využívá naopak jako chladič. Dále existují aplikace, ve kterých slouží geotermální vrt jako úložiště – akumulátor – tepla, typickým příkladem jsou systémy spojené s klimatizací



Obr. 1. Schéma využití geotermální energie masivu pro chlazení a topení.

Fig. 1. Scheme of the geothermal energy use for heating and cooling.



Obr. 2. Jednoduché schéma geotermálního vrtu s U-trubicí a vrt vystrojený jednoduchou a dvojitou U-trubicí.

Fig. 2. A geothermal borehole with a U-tube application and a borehole equipped with single and double U-tube.

velkých městských budov. V létě se do horninového masivu ukládá přebytečné teplo odebírané vzduchu v místnosti („klimatizace“). Teplota masivu stoupá, ukládá se do něj teplo. V zimním období se pak toto teplo uložené z léta využívá pro topení. Takový systém je znázorněn na obr. 3. Bilance akumulačního cyklu bývá mírně zlepšena geotermálním teplem (stoupajícím z nitra Země), které do tohoto systému samozřejmě také vstupuje.

Pro instalace s větším výkonem již nevystačíme s jediným vrtem. Pak tedy bývá tepelný výměník proveden jako pole geotermálních vrtů, což umožňuje pokrytí většího objemu masivu, viz obr. 4. U vrtů organizovaných v poli také obvykle není nutné pronikat do takové hloubky jako u ojedinělých vrtů.

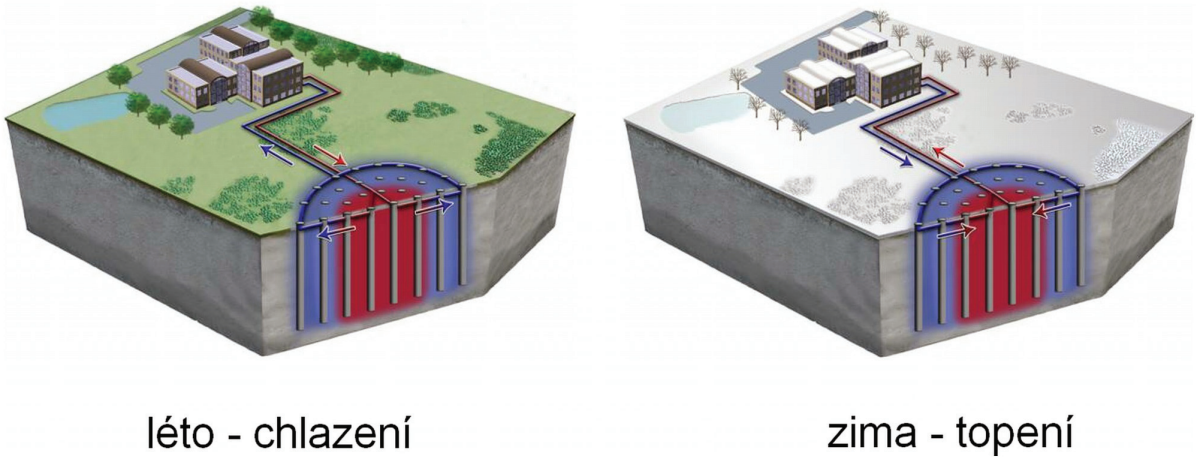
Výpočetní model vedení tepla v okolí vrtu

Pro předvedení některých vlastností pole vrtů autor příspěvku sestavil jednoduchý výpočetní model bezrozměrného řešení úlohy vedení tepla ve vrstvě hmoty jednotkové tloušťky (horninová deska). Model počítá s rozměrem desky 50 x 50 délkových jednotek. Ve středu vrstvy je umístěn spotřebič tepla (propad), který představuje simulovaný vrt (vrty). Vychází se z všeobecně známé rovnice vedení tepla ve tvaru:

$$\partial T/\partial t - a\Delta T(x,y,z,t) = f(x,y,z,t) \quad (1)$$

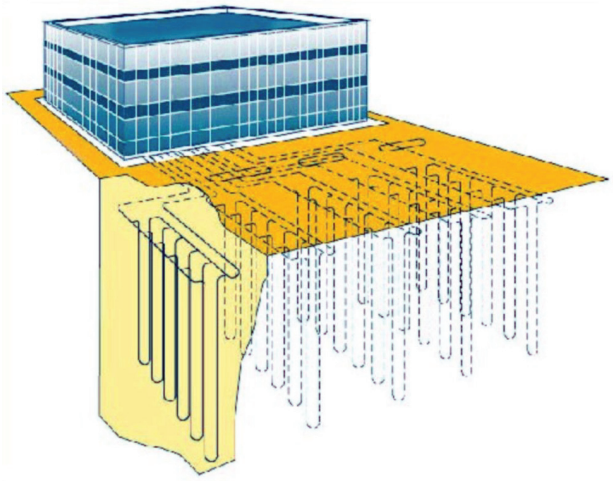
kde a [$m^2 \cdot s^{-1}$] je teplotní vodivost (tepelná vodivost dělená cρ), c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] měrná tepelná kapacita materiálu, ρ [$kg \cdot m^{-3}$] hustota materiálu, T [°, K] je teplota jako funkce v prostoru a čase, t [s] je čas, $f = f_0 / c\rho$ [$K \cdot s^{-1}$] jsou zdroje tepla v prostoru a čase dělené cρ a Δ je Laplaceův operátor (Dalík, 2011), (Vedení tepla – Wikipedie, 2011).

Tato rovnice popisuje vedení tepla pro konstantní teplotní vodivost na vyšetřovaném objemu. Zajímá-li nás pouze ustálený stav a dvourozměrný prostor (= desku jednotkové tloušťky), přechází rovnice (1) pro místa v desce



Obr. 3. Schéma systému geotermálních vrtů provozovaných v chladícím a topném režimu (Underground Energy, LLC – Borehole Thermal Energy Storage – BTES, 2011).

Fig. 3. Scheme of the geothermal wells operated in the cooling and heating modes (Underground Energy, LLC – Borehole Thermal Energy Storage – BTES, 2011).



Obr. 4. Schéma pole vrtů (MENA Geothermal Powers West Bank Palestine Geothermally | Green Prophet, 2012).

Fig. 4. A field of boreholes in schematics visualization (MENA Geothermal Powers West Bank Palestine Geothermally | Green Prophet, 2012).

s diskrétními zdroji tepla v bodech se souřadnicemi (X, Y) do tvaru

$$\Delta T(X,Y) = - f(X,Y)/a \quad (2)$$

a pro všechna ostatní místa do tvaru

$$\Delta T(X,Y) = 0 \quad (3)$$

Veličina teplota v tomto vztahu hraje roli pouze v diferencích, můžeme ji tedy považovat za rozdíl teploty vůči teplotě okolí vyšetřované desky. Stanovme okrajovou podmínku $T_{hr} = 0$ pro oblast okraje desky a $T = T_{srov} = -1$ pro bod uprostřed desky, což je náš uvažovaný vrt. Touto podmínkou předepíšeme, že náš „geotermální" vrt získáváním tepla způsobí jednotkový pokles teploty a bude tedy odebírat za jednotku času z desky teplo

$$Q_{srov} = \int c\rho(T-T_{hr})\, dxdy \quad (4)$$

Protože však nám jde o srovnání různých variant, můžeme pracovat s tvarem rovnice

$$Q_{srov} / c\rho = \int T\, dxdy \quad (5)$$

Tato rovnice popisuje v podstatě přenos tepla z okrajů desky, kde je „vytápěna" okolím, do jejího středu, kde je umístěn pokusný „geotermální vrt", který teplo z desky odvádí. Matematický model charakterizují tato zjednodušení:

– neuvažuje s ovlivněním teploty vrstvy mimo zkoumanou oblast,

– nebere v úvahu přestup tepla z vrstev ležících nad a pod uvažovanou vrstvou a tedy i se zdrojem tepla v hlubině Země,

– nezohledňuje nehomogenity tepelných vlastnosti zkoumané oblasti.

Pomocí výše uvedeného matematického modelu je možné srovnat vzorové uspořádání s jedním vrtem uprostřed desky se situací s více vrty s různou geometrií a iteračním procesem zjistit potřebné teploty těchto vrtů tak, aby splňovaly podmínku

$$Q = Q_{srov} \quad (6)$$

tedy odebíraly stejnou energii jako srovnávací vrt. Výsledky simulace jsou uvedeny souhrnně v tab. 1. Souřadnice simulovaných „vrtů" jsou v posledním sloupečku.

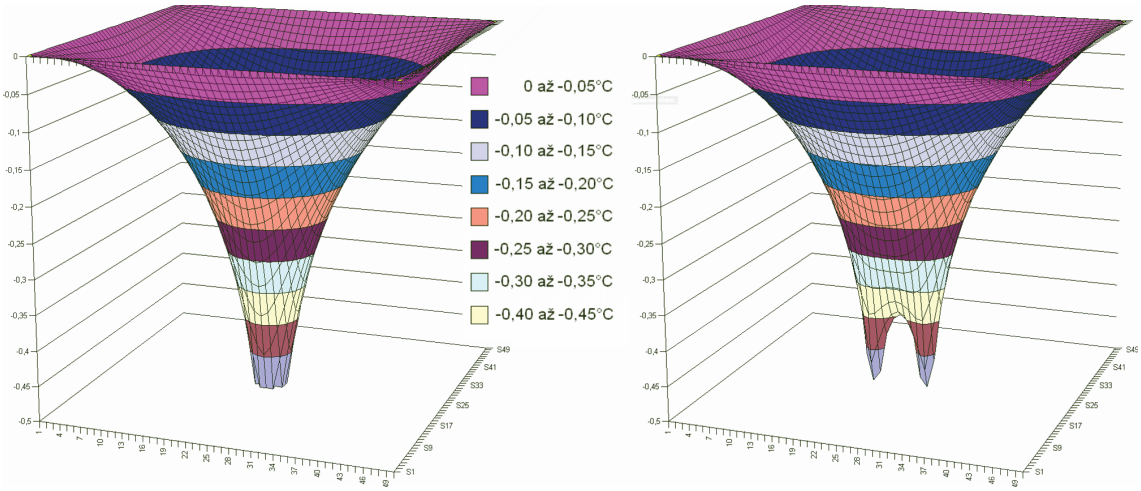
Údaje v tab. 1 ukazují, že nejmenší rozdíl teploty masivu a teploty vody ve vrtu je v případech s více vrty a rovnoměrně rozděleným odběrem. Tyto systémy vrtů mají proto nejmenší takzvaný tepelný odpor. Pro získávání vody s co nejvyšší teplotou musí být tepelný odpor systému co nejnižší. Z tab. 1 je také vidět, že porušení geometrie vrtů způsobuje zvýšení nerovnoměrností a zvýšení tepelného odporu systému vrtů. Tím se parametry systému zhorší. Graficky ukazují vypočtené výsledky obr. 5 až 10, zobrazená myšlená plocha znázorňuje vypočtené teploty ve vyšetřované vrstvě, na ose z je vynesen rozdíl teploty. Obr. 11 a 12 ukazují detailně rozložení teplotních rozdílů pro variantu 8a a 8b v půdorysném pohledu.

Skutečný systém geotermálních vrtů

Jako příklad uveďme pole vrtů, které používá Vysoká škola báňská (VŠB) v Ostravě pro vytápění auly a přípravu TUV. Využívá pole 110 geotermálních vrtů, každý o hloubce

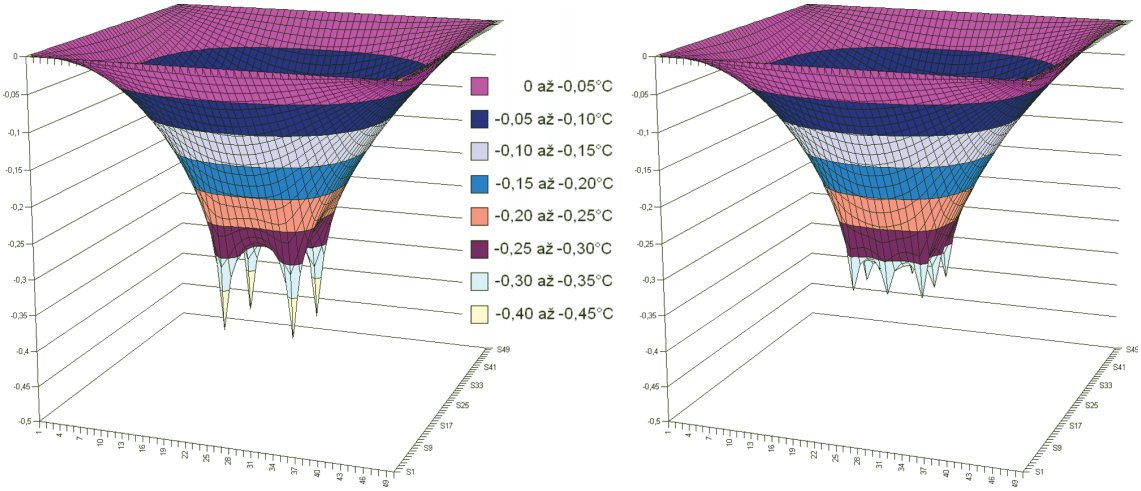
Tab. 1
Výsledky numerické simulace vedení tepla v poli vrtů
The results of numerical simulation of the heat conduction in a field of boreholes

Varianta	Počet vrtů	Poměrné odebírané teplo	Rozdíl teploty na vnější hranici vrstvy a vrtu (vody z vrtu)	Souřadnice vrtů
1	1	1	–1	(25,25)
2	2	1	–0,637	(25,21), (25,29)
4	4	1	–0,410	(20,20), (20,30), (30,20), (30,30)
4a	4 defor.	1	–0,425	deformovaná geometrie vrtů oproti var. 4 (20,20), (22,27), (30,20), (30,30)
8	8	1	–0,350	(20,20), (20,25), (20,30), (25,20), (25,30), (30,20), (30,25), (30,30)
8a	8	1	–0,324	jiná geometrie oproti variantě 8 (19,19), (19,25), (19,31), (25,19), (25,31), (31,19), (31,25), (31,31)
8b	8 defor.	1	–0,330	deformovaná geometrie vrtů oproti var. 8a (19,19), (19,25), (19,31), (25,19), (25,31), (31,19), (31,25), (29,30)



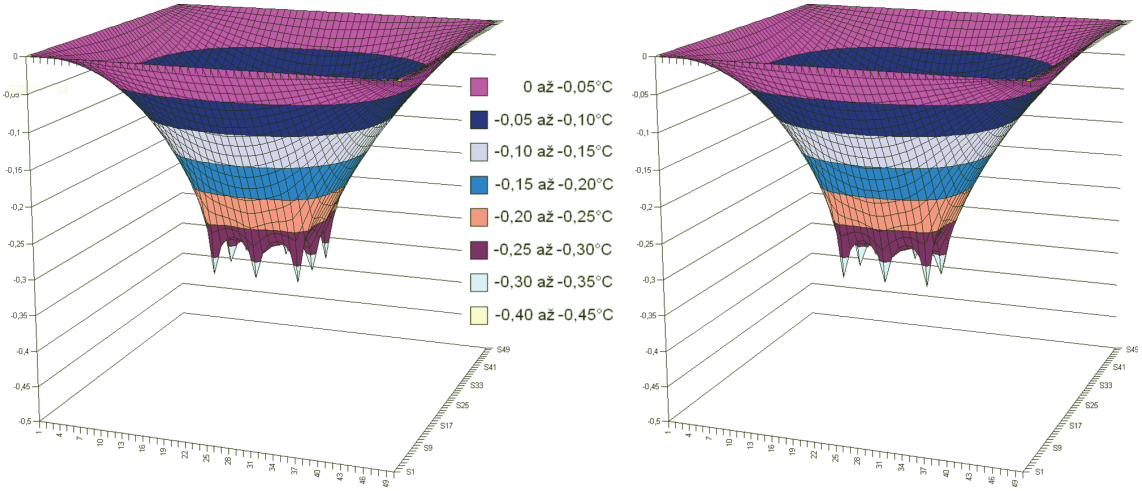
Obr. 5 a 6. Vypočtené pole rozdílů teplot vyšetřované oblasti pro variantu 1 a 2 dle tab. 1.

Figs. 5 and 6. Calculated temperature difference field for variants 1 and 2 according to Tab. 1.



Obr. 7 a 8. Vypočtené pole rozdílů teplot vyšetřované oblasti pro variantu 4 a 8 dle tab. 1.

Figs. 7 and 8. Calculated temperature difference field for variants 4 and 8 according to Tab. 1



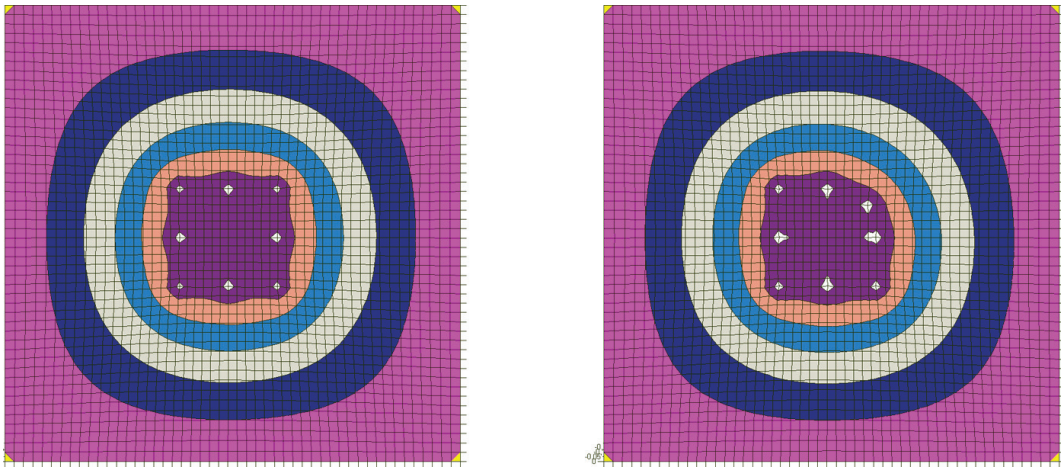
Obr. 9 a 10. Vypočtené pole rozdílů teplot vyšetřované oblasti pro variantu 8a a 8b dle tab. 1.

Figs. 9 and 10. Calculated temperature difference field for variants 8a and 8b according to Tab. 1.

142 m. Velký počet vrtů pochopitelně představuje finančně náročnou investici. Proto se v obdobných případech vrtá nejmenším možným průměrem vrtného nástroje, což je běžně 4“ (neboli 100 mm). Do vrtu se potom zavede připravený výměník (U-trubice) (www.gerotop.cz, Vysoká škola báňská Ostrava – Gerotop, 2012).

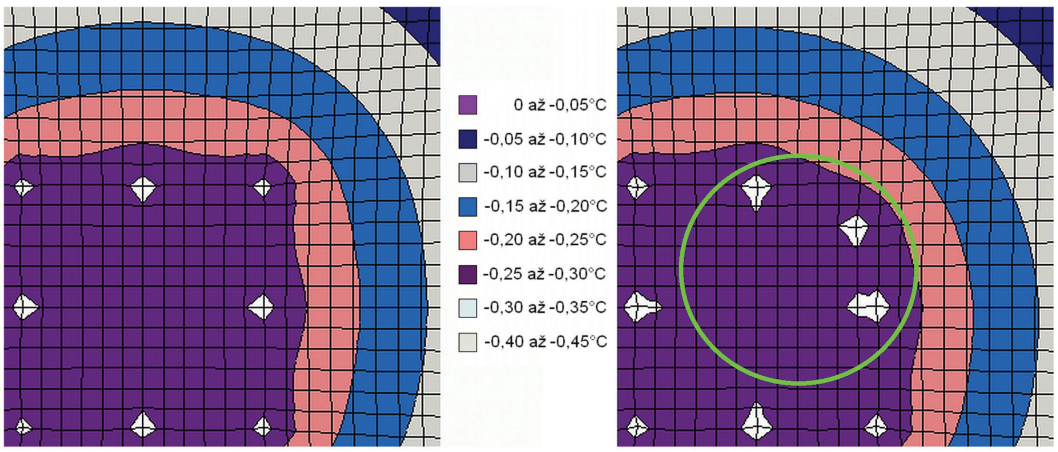
Při výstavbě obdobného vrtného pole došlo k pozoruhodnému jevu. Vrtná souprava při vrtání provrtala již dříve vyvrtaný a vystrojený vrt, což nezvratně dokazovalo, že vrty nejsou paralelní a kolmé k zemskému povrchu, ale že jejich geometrie je obvykle mnohem složitější a často má daleko k ideálnímu požadovanému tvaru. Bylo zjevné, že odchylka skutečného tvaru vrtu od zamýšleného může dosáhnout vzdálenosti odstupu sousedních vrtů. Navíc se ukázalo, že obsluha vrtné soupravy se proto obvykle snaží vnější vrty odklonit od kolmice směrem ven z vrtného pole, aby riziko provrtání již hotového vrtu snížila. Hotové pole pak má prostorově vějířovitý tvar.

Předchozí kapitola se zabývala posouzením vlivu odchylky polohy (tvaru) vrtu na vlastnosti celého vrtného pole. Pokud je pole správně navrženo, odchylka od navržené (optimální) geometrie zvýší nerovnoměrnost tepelného pole a tím tepelný odpor celého pole. Skutečná geometrie vrtů tedy hraje podstatnou roli. VŠB jako výzkumná instituce nepoužívá systém vrtů pouze k topení, ale usiluje i o teoretickou analýzu problematiky. Bohužel nedostatek informací o skutečné geometrii pokusného pole geotermálních vrtů negativně ovlivňuje její činnost v této oblasti.



Obr. 11. Vypočtené pole rozdílů teplot pro varianty 8a a 8b dle tab. 1, pohled shora odhaluje zřetelně zdeformované pole způsobené odchylkou polohy jednoho vrtu ve druhém případě.

Fig. 11. Calculated temperature difference field for variants 8a and 8b according to Tab. 1, view from above reveals clearly distorted field due to position variation of one borehole in the second case.



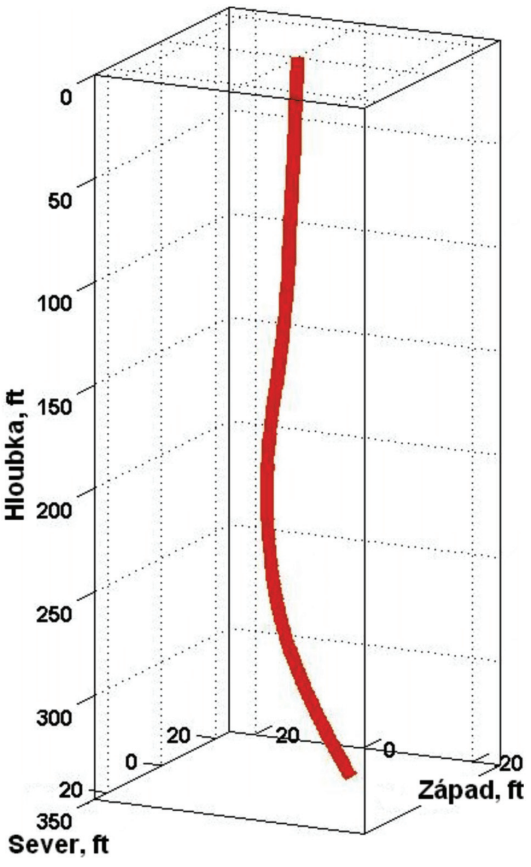
Obr. 12. Vypočtené pole rozdílů teplot pro varianty 8a a 8b dle tab. 1, pohled shora, zvětšený výřez zajímavé oblasti. Pro případ 8b je tato oblast zvýrazněná kroužkem. Ve středu mezi obrázky je barevná škála k obrázkům. Zvětšené plochy vyznačující oblasti s rozdílem teplotoy –0,30 až –0,35 °C dle škály signalizují snížení teploty „vrtu“ a tím zvětšení tepelného odporu soustavy a zhoršení celkových vlastností.

Fig. 12. Calculated temperature difference field for variants 8a and 8b according to Tab. 1, view from above, enlarged cutout of the region of interest. In the case of 8b, this area is highlighted by a circle. A color scale is located between the pictures. Enlarged areas of the temperature difference range from –0.30 to –0.35 °C are indicating lowered borehole temperature and increased thermal resistance.

Stanovení geometrie geotermálního vrtu – současné možnosti

Předchozí kapitola se zabývala existencí tvarových odchylek geotermálních vrtů. Je však vůbec možné přesný tvar vrtu v hloubkách stovek metrů pod povrchem určit?

Pro proměření vyvrtaného vrtu se vyrábějí měřící přístroje se sondou dosti podobnou inklinometrické. Tyto přístroje umožňují často navíc i proměření kruhovitosti příčného průřezu vrtu, mohou být vybaveny širokoúhlou kamerou a případně poskytovat ještě další údaje. Postup měření je podobný měření inklinometrem, sonda se zavede do vrtu a postupně se podél délky vrtu zapisují údaje. Příklad zobrazení tvaru vrtu s využitím takto naměřených dat je na obr. 13. Pokud však má být vrt osazen U-trubicí (výměníkem), je nutné to udělat okamžitě po vytažení vrtného nářadí. U-trubice projde 4“ průměrem velmi těsně (viz ekonomická hlediska vrtání) a pokud by došlo k prodlení kvůli proměření vrtu sondou, zkušenosti ukazují, že vznikne riziko zanesení vrtu (například materiálem uvolněným ze stěn vrtu) a tím zmenšení průřezu vrtu. Potom by se jej už nemuselo podařit osadit výměníkem. Z tohoto důvodu je proměření vrtu před osazením U-trubice riskantní až nemožné.



Obr. 13. Příklad skutečného tvaru vrtu – nákres s využitím dat z inklinometrického měřícího přístroje.

Fig. 13. An example of a real borehole shape – diagram using data from the inclinometer.

Jsou ještě další metody měření geometrických charakteristik (prozařování, georadar apod.), avšak jejich použití není rozšířené.

Pravděpodobně nejlepší variantou by bylo použití vrtné soustavy se směrovým naváděním vrtného nářadí. Takto vybavené vrtné soupravy existují, avšak jsou finančně náročné a používají se zřídka. Hlavní tíhu obvyklých vrtacích prací nesou vrtné soupravy bez této možnosti.

Závěr

V důsledku odchylek při vrtání se geometrie zhotoveného geotermálního vrtu liší od ideálně svislého tvaru. Díky takovým odchylkám však horninový masiv není z geotermálního hlediska optimálně využíván. Uvedená numerická simulace ukazuje na sníženou účinnost výměny tepla v systému. V některých místech může vznikat riziko tepelného vyčerpání částí masivu („vymrazení“). Přesný tvar vrtu však není znám, neboť zavedené metody pro měření vrtů vesměs nevyhovují z technologického, případně ekonomického hlediska. Specifické požadavky této problematiky by snad mohla splňovat kombinace zavedených metod, konkrétní způsob měření si však zřejmě vyžádá další vývoj. Vzhledem k rozvoji využívání geotermálních systémů se autor příspěvku domnívá, že se pro takovouto specializovanou metodu otevírá širší prostor k použití. Důležitá bude nízká náročnost na provedení měření a s tím spojená jednoduchá opakovatelnost v terénu pro případy velkých počtů vrtů.

Poděkování. Tento příspěvek byl vypracován s finanční pomocí EU „OP Výzkum a vývoj pro inovace“, projekt reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0097, v rámci činnosti regionálního centra AdMaS „Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“.

References

MENA Geothermal Powers West Bank Palestine Geothermally | Green Prophet. Green Prophet | Cleantech& Environment News from the Middle East [online]. Copyright 2007 – 2012 [cit. 2012-01-05]. Dostupné z: http://www.greenprophet.com/2010/06/mena-powers-palestine-geothermally/

Dalík, Josef: Přednáška předmětu Numerické metody II, 2011. In: Fakulta stavební VUT v Brně [online]. [2011] [cit. 2011-11-06]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/struktura/zamestnanec.asp?IDprac=2210&ID=dalik.j

Underground Energy, LLC – Borehole Thermal Energy Storage – BTES. Underground Energy, LLC-The Future of Energy Efficient Buildings – Geothermal Energy Storage Consultants [online]. [2011] [cit. 2012-01-05]. Dostupné z: http://www.underground-energy.com/BTES.html

Vedení tepla – Wikipedie. Wikipedie, otevřená encyklopedie [online]. 21. 12. 2011 [cit. 2012-01-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Veden%C3%AD_tepla

Vysoká škola báňská Ostrava – Gerotop. GEROTOP Tepelná čerpadla - Gerotop [online]. Copyright 2000 – 2012 [cit. 2012--01-05]. Dostupné z: http://www.gerotop.cz/cs/reference/vysoka-skola-banska-ostrava/

Článok nebol jazykovo upravený.

Rukopis doručený 15. 4. 2012
Revidovaná verzia doručená 22. 5. 2012
Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 191 – 198
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody a jej rozkyvu v obdobiach meteorologického sucha

DAGMAR STOJKOVOVÁ, DIANA PORUBSKÁ, MIRIAM FENDEKOVÁ a MARIÁN FENDEK

Katedra hydrogeológie Prírodovedeckej fakulty UK, Pavilón G, Mlynská dolina,
842 15 Bratislava
stojkovovad@fns.uniba.sk; porubska@fns.uniba.sk;
fendekova@fns.uniba.sk; fendek@fns.uniba.sk

The groundwater level depth and amplitude changes during the meteorological drought periods

The groundwater depth below the surface and its amplitude were assessed in the periods of meteorological drought occurrence. Both evaluated wells, Livov and Udavské, are situated in hydrogeologically unfavorable rocks of the flysch belt. The results documented that in the upper part of the Topľa river catchment, where the Livov object is situated, the more very dry years occurred than in the Laborec river catchment with the Udavské object. The groundwater level in Livov is more variable, located closer to the surface. The level in the Udavské object is much deeper. Despite of the larger groundwater level amplitude, the depth is more stable. Therefore, the area around Udavské well is more suitable for foundation of constructions.

Key words: groundwater level depth, drought, fluctuation amplitude

Úvod

Sucho je fenomén vyskytujúci sa v rôznych klimatických zónach v rôznom čase a s rôznou dĺžkou trvania (Tallaksen a van Lanen, 2004; Fendeková et al., 2010). Odvíja sa od nepriaznivej meteorologickej situácie, ktorá sa vyznačuje nedostatkom zrážok, resp. ich výskytom v tuhej forme, v kombinácii s ďalšími klimatickými faktormi, odlišnými v rôznych obdobiach roka, hlavne v zimnom a letnom polroku. Wilhite a Glantz (1980) rozčlenili súbor definícií sucha do štyroch kategórií, a to na sucho meteorologické, hydrologické, poľnohospodárske a socio-ekonomické. Sucho v povrchovej vode a v podzemnej zložke hydrosféry sa zaraďuje k hydrologickému suchu. Vplyvom vysokých teplôt vzduchu, nízkeho úhrnu zrážok a vysokej evapotranspirácie dochádza k vysychaniu pôdy, znižovaniu prietoku a hladín v toku, ako aj hladiny podzemnej vody.

Cieľom predkladaného príspevku bolo zhodnotiť vplyv zrážkovo suchých a vlhkých rokov na hĺbku hladiny podzemnej vody pod terénom a jej rozkyv v dvoch objektoch situovaných vo flyšovom pásme v pohoriach Čergov a Laborecká vrchovina na východnom Slovensku. Ide o objekt hydrologickej pozorovacej siete SHMÚ č. 5220 Livov, ktorý je situovaný v hornej časti povodia Tople, a objekt č. 1142 Udavské, ktorý je situovaný v dolnej časti povodia Laborca. Výber týchto objektov bol motivovaný snahou analyzovať režim rozkyvu hladiny podzemnej vody v rôznych klimatických a hydrologických podmienkach s ohľadom na možný vplyv hladiny podzemnej vody na zakladanie stavebných objektov v zmysle STN 73 1001. Pri objekte Livov sme predpokladali rozvodnicový režim kolísania hladiny, pri objekte Udavské pririečny režim.

Význam hodnotenia hladiny podzemnej vody pri zakladaní stavebných objektov

Hĺbka hladiny podzemnej vody pod terénom a jej rozkyv sú významnými kvantitatívnymi parametrami, ktoré ovplyvňujú spôsob zakladania stavebných objektov. Dôležitá je poloha hladiny podzemnej vody vzhľadom na jej kontakt so základovou konštrukciou, kolísanie hladiny podzemnej vody, parametre jej pohybu a pod.. Podľa STN 73 1001 z júna 1987 podzemná voda, ktorá neovplyvňuje usporiadanie objektov a návrh ich konštrukcie spolu s nemeniacou sa základovou pôdou v rozsahu stavebného objektu a s približne vodorovne alebo takmer vodorovne uloženými rovnako hrubými vrstvami základovej pôdy, dotvára charakteristiku jednoduchých základových pomerov. V prípade zložitých základových pomerov sa základová pôda v rozsahu stavebného objektu podstatne mení, jednotlivé vrstvy majú premenlivú hrúbku a sú nepravidelne uložené, pričom podzemná voda nepriaznivo ovplyvňuje zakladanie stavebných objektov. Pri navrhovaní stavebných základov sa rozlišujú tri geotechnické kategórie. Prvá (1.) geotechnická kategória, ktorá je charakterizovaná zakladaním nenáročných stavebných objektov, resp. konštrukcií (nie sú citlivé na rozdiely v nerovnomernom sadaní a dostatočne spoľahlivé v plastickej oblasti pretvorenia) v jednoduchých základových pomeroch. Druhá (2.) geotechnická kategória umožňuje zakladanie

nenáročných konštrukcií v zložitých základových pomeroch a náročných konštrukcií (výškové, staticky neurčité stavebné objekty) v jednoduchých základových pomeroch. Do tretej (3.) geotechnickej kategórie patrí zakladanie náročných konštrukcií do zložitých základových pomerov. Presné stanovenie hĺbky hladiny podzemnej vody pod terénom, v ktorej by mohla ovplyvniť zakladanie stavebných objektov, však nie je stanovené ani pre jednu geotechnickú kategóriu.

Podľa STN 73 1001 z apríla 2010 pre 1. geotechnickú kategóriu platia vyššie uvedené charakteristiky, podzemná voda teda neovplyvňuje usporiadanie objektov a návrh ich konštrukcie. Hĺbka hladiny podzemnej vody je tu spomínaná len v súvislosti s násypmi a zárezmi do výšky 3 metrov na stavbách pozemných komunikácií III. a IV. triedy, miestnych a účelových komunikácií, kde hladina podzemnej vody musí byť minimálne 1,5 m pod pláňou. V druhej a tretej geotechnickej kategórii presná hodnota hĺbky hladiny podzemnej vody pod terénom taktiež nie je špecifikovaná.

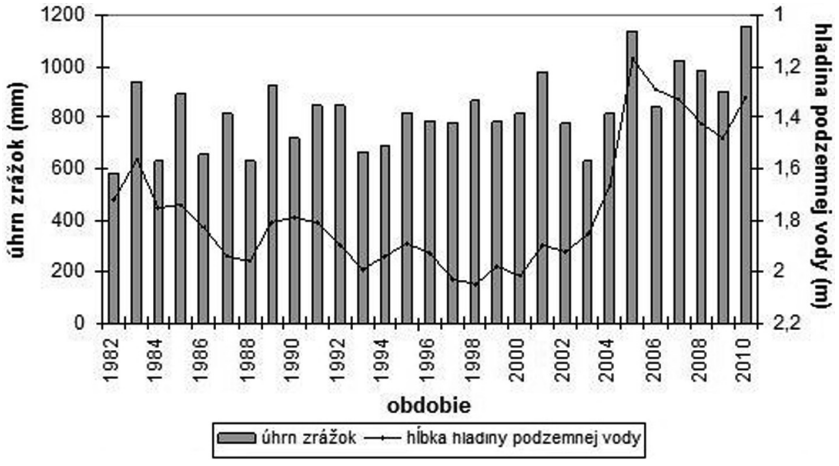
Charakteristika územia

Z klimatického hľadiska patrí územie horného toku Tople do okrsku C1 – mierne chladného, je charakteristické priemernou ročnou teplotou vzduchu 4 – 6 °C a priemerným ročným úhrnom zrážok v pramennej oblasti Tople s hodnotou 900 mm (Atlas krajiny SR, 2002). Územie dolného toku Laborca patrí do okrsku T7 – teplého, mierne vlhkého, s chladnou zimou, priemerná ročná teplota vzduchu dosahuje 7 – 8 °C, priemerný ročný úhrn zrážok je 600 – 700 mm (Atlas krajiny SR, 2002).

Z pohľadu odtokových pomerov leží objekt Livov na rozhraní stredohorskej a vrchovinno-nížinnej oblasti, pre ktoré je charakteristický snehovo-dažďový, resp. dažďovo-snehový režim odtoku. Objekt Udavské je situovaný vo vrchovinno-nížinnej oblasti s dažďovo--snehovým režimom odtoku. Obdobie akumulácie je pre snehovo-dažďový režim charakteristické v mesiacoch november – marec, v priemere mesiacom s maximálnou vodnosťou apríl. Pre dažďovo-snehový režim odtoku sa obdobie akumulácie vyskytuje v mesiacoch november až február, s maximom vodnosti v marci. Pri obidvoch typoch režimu odtoku sa najnižšie priemerné mesačné prietoky vyskytujú v septembri (Atlas krajiny SR, 2002).

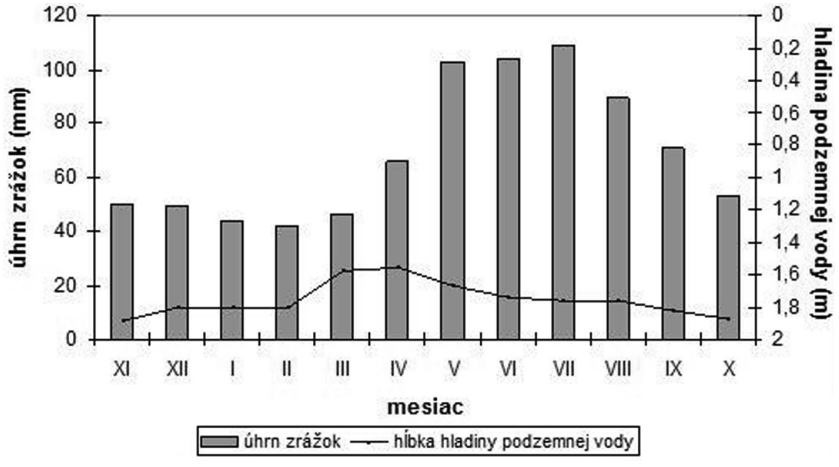
Obidva hodnotené objekty sa nachádzajú na územiach, ktoré sú budované flyšovými horninami.

Územie horného toku Tople je budované prevažne krynickou (čergovskou) litofaciálnou jednotkou (Nemčok et al., 1990), ktorá obsahuje najklastickejšie elementy z celého magurského flyšu. Pre krynickú jednotku flyšového pásma je dominantné čergovské súvrstvie. Je to pieskovcovo-



Obr. 1. Priebeh ročných úhrnov zrážok a priemernej ročnej hĺbky hladiny podzemnej vody v Livove.

Fig. 1. The course of annual precipitation amounts and average annual groundwater level depth in Livov.



Obr. 2. Sezónny priebeh zrážok a hladiny podzemnej vody v Livove.

Fig. 2. The seasonal course of precipitation and the groundwater level depth in Livov.

-ílovcový flyš vyvíjajúci sa z pestrých belovežských vrstiev. V tomto súvrství sa vyskytujú konglomerátové a mikrokonglomerátové polohy, ktoré pozostávajú prevažne z kremeňa a valúnov kryštalinika.

V dolnej časti povodia Laborca z geologického hľadiska prevláda strihovské súvrstvie krynickej litofaciálnej jednotky. Je pre ňu charakteristický prevažne pieskovcový vývoj s polohami ílovcov a ojedinelých zlepencov. Pieskovce sú hnedosivej až sivej farby, ojedinele vápnité, jemno- až hrubozrnné. Zlepence sú oválne s klastmi kremeňa, kremenného pieskovca a karbonátov (Žec et al., 2005). Kvartérne sedimenty sú reprezentované prevažne fluviálnou litofáciou. Tvorí ich štrk, piesčitý štrk, zahlinený piesčitý štrk nízkych terás s pokryvom, ako aj povodňová piesčitá a ílovitá hlina, piesok a hlinitý štrk riečnych nív (Žec et al., 2006).

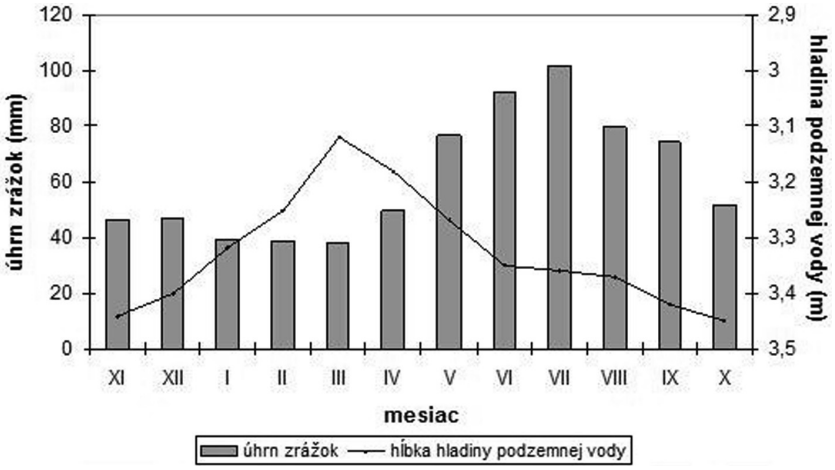
Územia budované flyšovými horninami sú charakteristické najmä plytkým obehom podzemných vôd (Hanzel et al., 1984). Prevažná väčšina infiltrovaných zrážkových vôd odteká viac-menej konformne s povrchom terénu v malých hĺbkach a je odvodňovaná v prameňoch alebo rozptýlených prítokoch do povrchových tokov. Priemerná výdatnosť prameňov sa pohybuje od 0,1 do 0,5 $l \cdot s^{-1}$. Ojedinele sa vyskytujú pramene s priemernou výdatnosťou 1 – 2 $l \cdot s^{-1}$ a v čase intenzívnej zrážkovej činnosti výdatnosť dosahuje do 5 $l \cdot s^{-1}$. Merný podzemný odtok sa vo flyšovom pásme pohybuje od 1,3 do 4,0 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ (Zakovič et al., 1978).

Zhodnotenie hladinového režimu

Zhodnotenie režimu hladiny podzemnej vody vychádzalo z údajov za obdobie hydrologických rokov 1982 – 2010, ktoré nám poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ). Išlo o údaje o úrovni hladiny podzemnej vody v m n. m., prepočítané na hĺbku hladiny podzemnej vody pod terénom (m), údaje o úhrnoch zrážok a o prietoku.

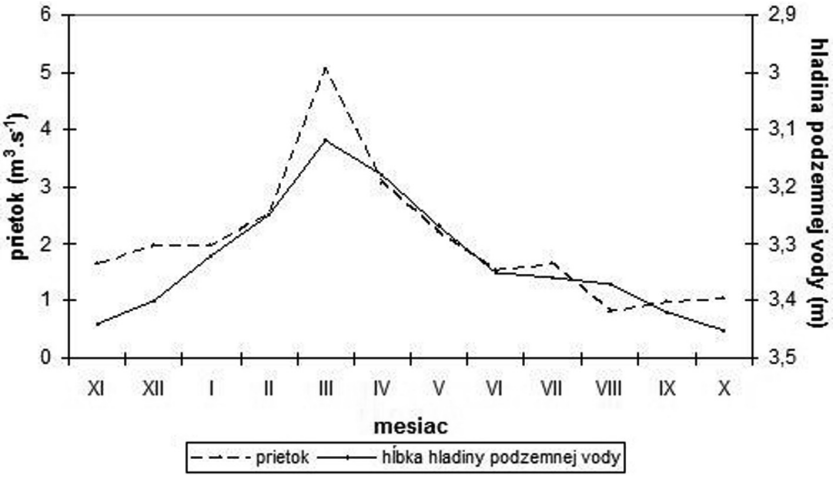
V pozorovanom objekte Livov priebeh hladiny podzemnej vody kopíroval priebeh ročných úhrnov zrážok hlavne v zrážkovo bohatých rokoch 1983 a 2005 – 2010 (obr. 1), čo môže poukazovať aj na to, že v hodnotenom území ide o priepustnejšie prostredie v rámci hornín flyšového pásma. V hodnotenej oblasti nie je k dispozícii žiadna vodomerná stanica, na ktorej by sa mohla overiť aj závislosť hladiny podzemnej vody od prietoku.

Zo sezónneho hľadiska (obr. 2) úhrn zrážok za hodnotené obdobie klesal od augusta do februára a od marca do júla stúpal. Analýza hladiny podzemnej vody v objekte Livov ukázala, že nárast hladiny podzemnej vody začínal v mesiaci marec a vrcholil v mesiaci apríl, keď sa topí sneh



Obr. 3. Sezónny priebeh zrážok a hladiny podzemnej vody v Udavskom.

Fig. 3. The seasonal course of precipitation and the groundwater level depth in Udavské.



Obr. 4. Sezónny priebeh prietoku a hladiny podzemnej vody v Udavskom.

Fig. 4. The seasonal course of stream flow and the groundwater level depth in Udavské.

Tab.1
Klasifikácia roka z hľadiska vlhkosti (Majerčáková et al., 2007)
Classification years in terms of humidity (Majerčáková et al., 2007)

< 70 %	mimoriadne suchý rok (MS)
70 – 80 %	veľmi suchý rok (VS)
80 – 90 %	suchý rok (S)
90 – 110 %	normálny rok (N)
110 – 120 %	vlhký rok (V)
120 – 130 %	veľmi vlhký rok (VV)
> 130 %	mimoriadne vlhký rok (MV)

a dochádza k infiltrácii zrážkovej vody. Od mája hladina poklesávala a najväčšiu hĺbku pod terénom dosahovala v mesiacoch október a november. Príčinou poklesu môže byť aj to, že v období letnej sezóny bývajú vyššie teploty a vyšší výpar, čo môže vplývať na pokles hladiny. V decembri sa hladina mierne zvýšila, ale až do februára bola hĺbka hladiny rovnaká, čoho príčinou môže byť spomalenie podzemného odtoku z dôvodu zamrznutia povrchu terénu a prerušenia infiltrácie. Vysoké priemerné mesačné zrážkové úhrny v mesiacoch máj – júl hĺbku hladiny podzemnej vody pod terénom neovplyvňovali.

V pozorovanom objekte Udavské bola situácia podobná, najmenšie hĺbky pod terénom sa však vyskytovali už v mesiaci marec. Zo sezónneho hľadiska (obr. 3) bol úhrn zrážok najvyšší v mesiacoch máj – júl. Hladina podzemnej vody stúpla najvyššie v jarnom období v mesiaci marec a od apríla až do jesenných mesiacov postupne klesala.

Na obr. 4 možno vidieť priamu sezónnu závislosť hladiny podzemnej vody od priebehu prietoku. Táto závislosť poukazuje na priričný režim podzemných vôd, kde hladina podzemnej vody reaguje na stúpanie a klesanie hladiny v povrchovom toku. Prietok bol najvyšší v marci, čoho následkom bolo aj stúpnutie hladiny v rovnakom mesiaci. Zrážkovo najbohatší mesiac júl sa prejavil prerušením poklesu prietokov. Konzervatívnejší pohyb hladiny podzemnej vody je zrejme spôsobený vplyvom výparu a spotreby vody vegetáciou, čo bráni jej priesaku k hladine podzemnej vody.

Vplyv suchých rokov na hĺbku a rozkyv hladiny podzemnej vody

Na hodnotenie meteorologického sucha bola použitá klasifikácia podľa Majerčákovej et al. (2007), ktorá je na Slovensku najfrekventovanejšie používanou klasifikáciou. Hodnotí sa vodnosť jednotlivých rokov na základe pomeru zrážkového úhrnu konkrétneho roka (Hz) a dlhodobého zrážkového normálu (Hzn). Klasifikácia roka z hľadiska vlhkosti je uvedená v tab. 1.

Tab. 2
Hodnotenie výskytu meteorologického sucha
Evaluation of meteorological drought occurrence

Hydrologický rok	Livovská Huta		Vyšný Hrušov	
	Klasifikácia vlhkosti roka vzhľadom na			
	dlhodobý zrážkový normál za roky 1961 – 1990	dlhodobú priem. hodnotu za roky 1982 – 2010	dlhodobý zrážkový normál za roky 1961 – 1990	dlhodobú priem. hodnotu za roky 1982 – 2010
1982	**MS**	**VS**	N	**S**
1983	V	V	N	N
1984	**VS**	**VS**	N	N
1985	N	N	V	N
1986	**VS**	**VS**	N	**S**
1987	N	N	N	**S**
1988	**VS**	**VS**	V	N
1989	V	V	N	**S**
1990	**S**	**S**	N	N
1991	N	N	N	**S**
1992	N	N	N	N
1993	**VS**	**S**	N	**S**
1994	**S**	**S**	N	N
1995	N	N	**S**	**S**
1996	N	N	N	N
1997	N	N	N	**S**
1998	N	N	MV	VV
1999	N	N	V	N
2000	N	N	N	N
2001	V	V	VV	V
2002	N	N	N	N
2003	**VS**	**VS**	**S**	**S**
2004	N	N	V	V
2005	MV	MV	VV	V
2006	N	N	N	N
2007	VV	VV	N	N
2008	V	V	V	V
2009	N	N	N	**S**
2010	MV	MV	MV	MV

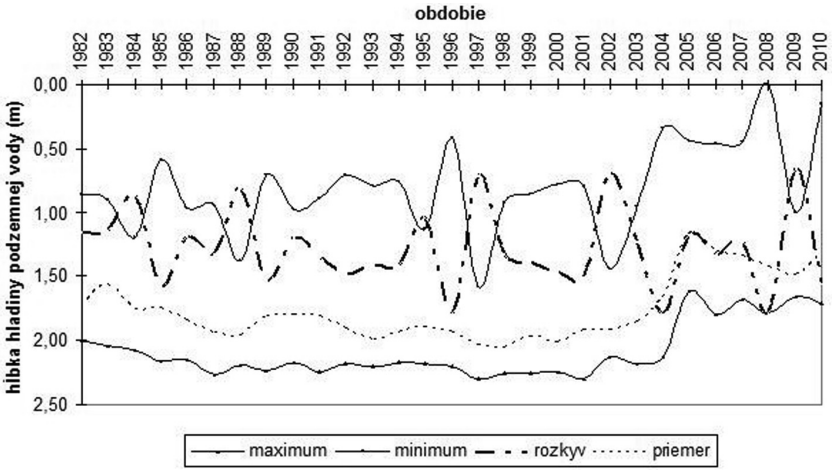
Tab. 3
Štatistické zhodnotenie hladiny podzemnej vody v objekte Livov a Udavské
Statistical evaluation of the groundwater level in objects Livov and Udavské

	Objekt Livov				Objekt Udavské			
Hydrologický rok	R (m)	R (%)	H_{priem} (m)	H_{priem} (%)	R (m)	R (%)	H_{priem} (m)	H_{priem} (%)
1982	1,15	90	1,72	102	0,63	67	3,04	110
1983	1,14	89	1,56	113	0,94	100	3,04	110
1984	0,87	68	1,75	101	0,67	71	3,17	105
1985	1,57	123	1,75	101	1,14	121	2,99	111
1986	1,19	93	1,83	96	0,88	94	3,09	108
1987	1,32	103	1,93	91	1,08	115	3,24	103
1988	0,81	63	1,96	**90**	0,80	85	3,13	106
1989	1,53	120	1,80	98	1,78	189	3,11	107
1990	1,20	94	1,80	98	0,31	33	3,26	102
1991	1,35	105	1,81	97	0,69	73	3,25	102
1992	1,47	115	1,91	92	0,79	84	3,31	101
1993	1,41	110	1,99	89	0,90	96	3,32	100
1994	1,41	110	1,94	91	0,80	85	3,42	97
1995	1,05	82	1,89	93	0,85	90	3,39	98
1996	1,78	139	1,93	91	0,95	101	3,45	96
1997	0,72	56	2,03	**87**	0,74	79	3,41	98
1998	1,33	104	2,05	**86**	0,80	85	3,33	100
1999	1,39	109	1,97	**89**	1,28	136	3,29	101
2000	1,46	114	2,01	**88**	1,24	132	3,35	99
2001	1,51	118	1,91	92	1,77	188	3,27	102
2002	0,69	54	1,92	92	0,49	52	3,58	93
2003	1,23	96	1,85	95	0,71	76	3,57	93
2004	1,79	140	1,66	106	1,00	106	3,38	99
2005	1,17	91	1,17	150	0,91	97	3,34	100
2006	1,33	104	1,30	135	0,95	101	3,46	96
2007	1,23	96	1,33	132	0,78	83	3,71	**90**
2008	1,78	139	1,42	124	0,99	105	3,52	95
2009	0,66	52	1,48	119	0,59	63	3,72	**90**
2010	1,56	122	1,32	133	1,92	204	3,31	101

V tab. 2 je uvedené hodnotenie meteorologického sucha podľa vyššie spomínanej klasifikácie, pričom bol použitý zrážkový normál obdobia 1961 – 1990.

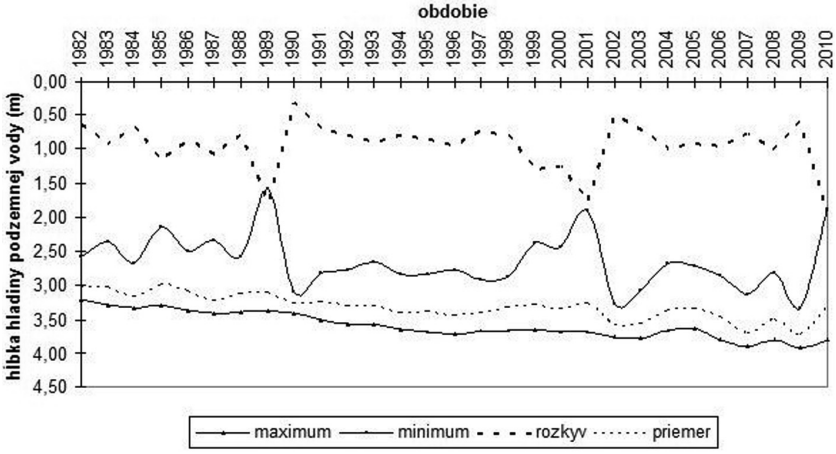
Pomocou tej istej klasifikácie bola podobne zhodnotená vlhkosť jednotlivých rokov vzhľadom na dlhodobú priemernú hodnotu za obdobie hydrologických rokov 1982 – 2010. V tab. 2 sú zároveň vyznačené boldom suché roky všetkých stupňov klasifikácie.

V zrážkomernej stanici Livovská Huta, ktorá prislúcha k objektu Livov, bol mimoriadne suchým rokom rok 1982 a veľmi suché boli roky 1984, 1986, 1988, 1993 a 2003. Suché boli roky 1990 a 1994. Vzhľadom na dlhodobú priemernú hodnotu v období 1982 – 2010 boli suché roky hodnotené rovnako, až na rok 1982, ktorý bol klasifikovaný ako veľmi suchý, a rok 1993, klasifikovaný ako suchý. V zrážkomernej stanici Vyšný Hrušov, prislúchajúcej k objektu Udavské, boli suchými rokmi 1995 a 2003. Vzhľadom na dlhodobú priemernú hodnotu v období 1982 až 2010 sa ako suché prejavili roky 1982, 1986, 1987, 1989, 1991, 1993, 1997, 2009.



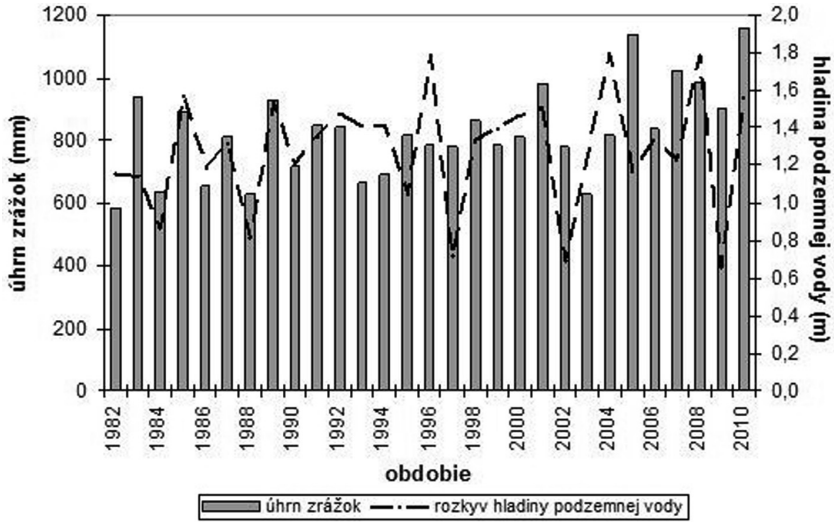
Obr. 5. Priebeh hladiny podzemnej vody v objekte Livov.

Fig. 5. Course of the groundwater level depth in object Livov.



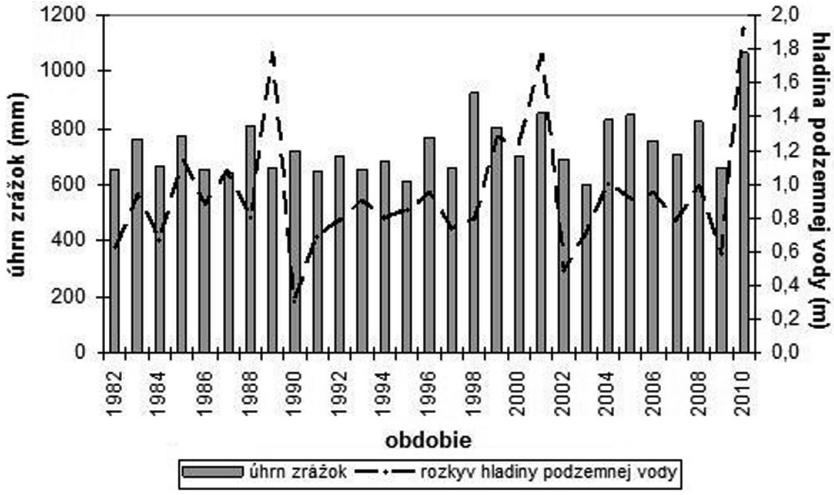
Obr. 6. Priebeh hladiny podzemnej vody v objekte Udavské.

Fig. 6. Course of the groundwater level depth in object Udavské.



Obr. 7. Ročný priebeh zrážok a rozkyv hladiny podzemnej vody v Livove.

Fig. 7. The annual course of precipitation and fluctuation of the groundwater level depth in Livov.



Obr. 8. Ročný priebeh zrážok a rozkyv hladiny podzemnej vody v Udavskom.

Fig. 8. The annual course of precipitation and fluctuation of the groundwater level depth in Udavské.

Štatistické zhodnotenie údajov o hladine podzemnej vody je uvedené v tab. 3, kde je uvedený rozkyv (R) a priemerná hĺbka hladiny podzemnej vody pod terénom (H_{priem}), ako aj ich percentuálny podiel na ich dlhodobej priemernej hodnote za obdobie 1982 – 2010. Percentuálny podiel priemernej hĺbky hladiny na dlhodobej priemernej hodnote je počítaný nepriamou úmerou, aby sme dostali v tomto vzťahu skutočný pokles hĺbky hladiny pod terénom. V tabuľke pri hĺbke hladiny podzemnej vody pod terénom je boldom vyznačený 90 %-til, ktorý môžeme považovať za hraničnú úroveň výskytu sucha a vyznačené sú i percentily nižšie ako 90 %-til, ktoré zodpovedajú výskytu sucha.

Na obr. 5 a 6 je zobrazený priebeh maximálnej, priemernej a minimálnej hĺbky hladiny podzemnej vody pod terénom, ako aj jej rozkyv v objektoch Livov (obr. 5) a Udavské (obr. 6). Maximálna hĺbka hladiny pod terénom v objekte Livov (obr. 5) bola 2,3 m v rokoch 1997 a 2001. Minimálna hĺbka pod terénom, pri ktorej hladina dosiahla kótu terénu (0 m), bola v roku 2008. Najväčší rozkyv (1,79 m) hladín bol v roku 2004, najmenší rozkyv (0,66 m) bol v roku 2009.

Maximálna hĺbka hladiny pod terénom v objekte Udavské (obr. 6) bola 3,92 m v roku 2009 a 3,91 m v roku 2007. Minimálna hĺbka hladiny pod terénom bola 1,59 m v roku 1989. Najväčší rozkyv (1,92 m) bol v roku 2010 a najmenší (0,31 m) v roku 1990.

Na obr. 7 je znázornená závislosť rozkyvu hladiny podzemnej vody v objekte Livov od priebehu ročných úhrnov zrážok.

V suchých rokoch 1982, 1984, 1986, 1988, 1993, 1994 a 2003 bol rozkyv pomerne malý. Amplitúdy kolísania hladiny boli značné v obdobiach, keď sa striedali zrážkovo suchšie roky so zrážkovo vlhkejšími, ako napr. roky 1984 – 1985, 1988 – 1989. Hladina stúpala a dochádzalo k dopĺňaniu zásob podzemných vôd. Veľký rozkyv hladín bol v rokoch 1996, 2001, 2008 a 2010, na ktorý nemuselo vplývať sucho, ale mohlo to byť dôsledkom toho, že sa pravdepodobne vyskytovali letné búrky a suché zimy. Hladinu podzemnej vody vzhľadom na dlhodobú hodnotu za obdobie 1982 – 2010 nachádzajúcu sa pod hodnotou menšou ako je 90 %-til a hodnotou, ktorá je rovná 90 %-tilu, môžeme považovať za ovplyvnenú suchom. Nízka hladina bola v rokoch 1988 a 1997 – 2000. V rokoch 2004 – 2010 bolo obdobie klasifikované ako normálne až mimoriadne vlhké.

Závislosť rozkyvu hladiny podzemnej vody v objekte Udavské od priebehu ročných úhrnov zrážok je na obr. 8.

Roky 1982, 1986, 1987, 1989, 1991, 1993, 1995, 1997, 2003 a 2009 boli klasifikované ako suché roky, no okrem rokov 1995 a 2003 bola zároveň vlhkosť v týchto rokoch z pohľadu zrážok blízka normálu. Rozkyv hladín bol v uvedených rokoch pomerne malý, podobne ako v prípade Livova. Hladina podzemnej vody, ktorá dosiahla 90 % z dlhodobej hodnoty za obdobie 1982 – 2010, sa vyskytla v roku 2007 a 2009.

Diskusia a záver

Analýza priebehu hĺbky hladiny podzemnej vody pod terénom a jej rozkyvu v dvoch hodnotených objektoch ukázala podobnosť, ale aj rozdielnosť hladinového režimu vody. V obidvoch prípadoch bol zistený veľmi podobný sezónny priebeh s jedným vrcholom minimálnej hĺbky hladiny podzemnej vody pod terénom v období topenia sa snehu. V zimných mesiacoch sa v objekte Livov udržiava veľmi vyrovnaná hĺbka, v marci hladina začína stúpať, vzostup vrcholí v apríli a potom až do novembra hladina pozvoľne klesá. V objekte Udavské je nárast hladiny od novembra výraznejší, plynule vrcholí v mesiaci marec a potom postupne, ale výrazne klesá. Pokles hladiny sa preruší v letných mesiacoch s vysokými zrážkovými úhrnmi a pokračuje až v septembri a októbri.

Dokumentovaný rozdiel v režime hladín spočíva vo veľkosti priemerného rozkyvu hladiny podzemnej vody, ktorý v priebehu hydrologického roka v objekte Livov dosahuje od 0,66 do 1,79 m, v objekte Udavské je to od 0,31 do 1,92 m. Príčinou môže byť lokalizácia objektu bližšie k toku a väčší vplyv prietokov na režim kolísania hladiny podzemnej vody.

Obidve povodia sú rozdielne aj z pohľadu výskytu suchých rokov, pričom v hornej časti povodia Tople bol dokumentovaný podstatne častejší výskyt suchých rokov (s rôznym stupňom) než v povodí Laborca. Toto sa prejavilo aj na priemernej hĺbke hladiny podzemnej vody pod terénom, pričom výskyt vlhkých rokov nestačil doplniť vyčerpané zásoby podzemnej vody a spôsobiť podstatne výraznejší nárast hladiny. Dlhodobejšie stúpnutie hladiny podzemnej vody sa prejavilo až v rokoch 2005 – 2010. Povodie Laborca v oblasti Udavského je vlhkejšie, v tejto oblasti sa nevyskytol ani jeden veľmi suchý rok, čo sa odrazilo na podstatne vyrovnanejšom priebehu režimu hladín.

Z pohľadu vzťahu hladiny podzemnej vody k podmienkam zakladania stavieb je možné konštatovať, že v objekte Livov je hĺbka hladiny podzemnej vody bližšie pod terénom, v priemere okolo 1,76 m. Aj keď má menší priemerný rozkyv ako hladina v Udavskom, je podstatne variabilnejšia a častejšie vystupuje k terénu, pričom v roku 2008 dosiahla až úroveň terénu. V objekte Udavské je hladina zaklesnutá v priemere okolo 3 m hĺbky, vo vlhkom roku 2001 a v mimoriadne vlhkom roku 2010 vystúpila do hĺbky cca 2 m pod terénom. Špecifickým bol rok 1989 s percentuálnym rozkyvom hladiny, ktorý dosiahol 189 % dlhodobého priemerného rozkyvu obdobia rokov 1982 až 2010 aj napriek tomu, že rok 1989 bol z hľadiska vlhkosti normálnym rokom, ktorý nasledoval po vlhkom roku 1988. Príčinou bol pravdepodobne povodňový stav na Laborci.

Poďakovanie. Tento príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantu VEGA č. 1/1327/12 a projektu APVV-0335/06 (zodpovedný riešiteľ M. Fendeková).

References

Atlas krajiny Slovenskej republiky. 1. vyd. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR; Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia 2002, 344 s.

Fendeková, M., Ženišová, Z., Demeterová, B., Fendek, M., Flaková, R., Gavurník, J., Krčmář, D., Macura, V., Némethy, P., & Slivová, V., 2010: Hydrogeologické sucho. *Bratislava, SAH, 190 s.*

Hanzel, V., Kullman, E., Dovina, V., Franko, O., Škvarka, L., &

Vrana, K., 1984: Podzemné vody Slovenska a prognózy ich využitia. Čiastková záverečná správa. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 726 s.*

Majerčáková, O., Škoda, P., & Danáčová, Z., 2007: Selected hydrological and precipitation characteristic of 1961–2000 and 2001–2006 periods in the High Tatra region. *Meteorological journal, 10, 4, 205 – 210.*

Nemčok, J., Zakovič, M., Gašpariková, V., Ďurkovič, T., Snopková, P., Vrana, K., & Hanzel, V., 1990: Vysvetlivky ku geologickej mape Pienin, Čergova, Ľubovnianskej a Ondavskej vrchoviny v mierke 1 : 50 000. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 131 s.*

Tallaksen, L. M., & Van Lanen, H. A. J. (eds.), 2004: Hydrological drought, Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science 48, Elsevier, 579 p.

Wilhite, D. A., & Glanz, M. H., 1985: Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water. Int., 10, 3, 111 – 120.*

Zakovič, M., Hanzel, V., Franko, O., Gazda, S., Koráb, T., & Baňacký, V., 1978: Hydrogeológia územia listu č. 28 – Svidník, mapy ČSSR, 1 : 200 000. Čiastková záverečná správa. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 166 s.*

Žec, B., Gazdačko, Ľ., Kováčik, M., Kobulský, J., Bóna, J., Potfaj, M., Pristaš, J., Žecová, K., Derco, J., Kucharič, Ľ., Marcin, D., Petro, Ľ., Zlinská, A., Siráňová, Z., Vaněková, H., Buček, S., & Konečný, P., 2005: Geologická mapa Nízke Beskydy – stredná časť v mierke 1 : 50 000. Záverečná správa. *Bratislava, MŽP SR, ŠGÚDŠ, 224 s.*

Žec, B., Gazdačko, Ľ., Kováčik, M., Kobulský, J., Bóna, J., Potfaj, M., & Pristaš, J., 2006: Geologická mapa Nízkych Beskýd – stredná časť. *Bratislava, ŠGÚDŠ.*

STN 73 1001 Zakladanie stavieb. Základová pôda pod plošnými základmi. Slovenský ústav technickej normalizácie, Bratislava, 1987.

STN 73 1001 Geotechnické konštrukcie. Zakladanie stavieb. Slovenský ústav technickej normalizácie, Bratislava, 2010.

Rukopis doručený 15. 4. 2012
Revidovaná verzia doručená 23. 4. 2012
Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012

The groundwater level depth and amplitude changes during the meteorological drought periods

Analysis of the groundwater level depth below ground surface and its fluctuation in two objects was studied. The study objects are situated in the Flysch belt of the Outer Western Carpathians, both in unfavorable hydrogeological conditions due to alternation of claystones and sandstones. The first one – monitoring well No. 5 220 Livov is situated in the upper part of the Topľa river catchment, the second one – monitoring well No. 1 142 Udavské is situated in the downstream part of the Laborec river catchment. The analysis of time series (1982–2010) showed similarities, but also differences in the groundwater level regime in evaluated wells. The groundwater level is quite stable in the Livov object during the winter months. It begins to rise in March, the rise peaks in April and then the level declines until November. In the Udavské object, the level rise is more distinct since November; it peaks in March and then gradually, but significantly decreases. The groundwater level decrease is interrupted during the summer months because of the high precipitation amounts and finally, the decrease continues until September and October.

Documented difference in the groundwater level regime consists in the size of the average groundwater level fluctuation, which reaches from 0.66 to 1.79 m within the hydrological year course in Livov and from 0.31 to 1.92 m in Udavské. The reason may be in the location of Udavské well closer to Laborec river and in greater influence of streamflow on the groundwater level fluctuation.

Both catchments differ in terms of dry year occurrence. Significantly more frequent occurrence of dry years was documented for the upper part of the Topľa river catchment, than for the Laborec catchment. The occurrence of dry years was reflected in the decrease of the average depth of the groundwater level below the surface. At the same time, the occurrence of wet years did not satisfactorily recharge the depleted groundwater reserves and the more significant increase of groundwater levels was not reached. The long--term increase of the groundwater level was documented in the years 2005–2010. The area around Udavské in Laborec river catchment is wetter. In this area, years classified as very dry did not occur, what was reflected in much more balanced course of the groundwater level.

What the relationship of the groundwater level to the foundation construction conditions is concerned, it is possible to note, that the conditions in Udavské are more suitable than in Livov. The groundwater level depth below the surface is 1.76 m in average in Livov. Despite of smaller value of the average groundwater fluctuation in Livov in comparison with Udavské, it is much more variable and more often rises up to the ground surface. Groundwater level depth in Udavské reaches in average 3 m.

Mineralia Slovaca, 44 (2012), 199 – 212
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Hydrogeochemické modelovanie zvetrávania vyťaženého sideritového ložiska Železník, Slovenské rudohorie

PETER BAJTOŠ

Štátny geologický ústav D. Štúra, regionálne centrum, Markušovská cesta 1,
052 40 Spišská Nová Ves

Hydrogeochemical modeling of weathering at the exploited Železník siderite deposit, Slovak Ore Mts. (Western Carpathians)

The chemical weathering of the Železník siderite deposit (Slovak Ore Mts., eastern Slovakia) was studied, using hydrogeochemical methods. Three times repeated hydrometric measurements of the mine water discharge (5–10 $L \cdot s^{-1}$) combined with laboratory analyses of water chemistry show following daily rates of dissolved solids: 0.15–0.42 t Ca, 0.09–0.24 t Mg, 0.72–2.97 t SO_4, 0.12–0.18 t HCO_3, 0.02–0.14 t Fe and 0.03–0.24 t Mn. Using the PHREEQC computer code, modeling of chemical processes occurring in this underground abandoned mine was performed. The inverse modeling of the mine water chemistry evolution from the initial solution evaluates rates of both weathered and precipitated minerals, together with consumed/released gas phases. As inverse modeling calculations use only mineral stoichiometry, its results were checked by two manners of forward modeling (batch-reaction calculations), which involve thermodynamic constraints. Seasonal variation of weathering rates is assumed, controlled by the precipitation regime and snow melting at deposit area. The modeling estimates that dissolution of 0.5–7.5 t siderite $(Ca_{0.039}Fe_{0.709}Mg_{0.153}Mn_{0.099})CO_3$ together with 0.7–4.1 t ankerite $Ca_{1.05}(Fe_{0.27}Mg_{0.65}Mn_{0.03})(CO_3)_2$ per day release 0.5–2.4 t CO_2. Fe-rich carbonate dissolution is enhanced by products of 0.3–3.0 t pyrite oxidation, consuming 0.5–3.4 t of atmospheric O_2. At the same time, 0.7–6.4 t of amorphous $Fe(OH)_3$ precipitate, together with variable amount of gypsum and small amounts of calcite and dolomite.

Key words: siderite, ankerite, pyrite, carbon dioxide, Fe-ochre, mine waters, weathering

Úvod

Banské vody opustených rudných baní sú médiom prenosu látok uvoľňovaných z rudných telies a ich geochemických aureol do širšieho okolia. Väčšina z nich je zdrojom kontaminácie povrchových tokov v mnohých lokalitách Slovenska. Regiónom s najvyššou početnosťou takýchto lokalít je Slovenské rudohorie, typické výskytom metamorfno-hydrotermálnej mineralizácie žilného alebo stratiformne metasomatického typu (Grecula et al., 1995). Banské vody spomínaných ložísk majú variabilné chemické zloženie, ktoré je priamo závislé od minerálneho zloženia ložiskovej výplne. Ide hlavne o premenlivosť podielu karbonátov, sulfidov a kremeňa, ale aj o zastúpenie karbonátov (kalcit, ankerit, dolomit, siderit). Ďalším faktorom, ktorý ovplyvňuje zloženie banskej vody v tomto prostredí, je typ obehu vody v bani, určujúci jeho oxidačno-redukčné podmienky (Bajtoš, 2004). Skúmanie spôsobu formovania chemického zloženia banských vôd takýchto ložísk je preto značne obtiažne.

Doterajšie hydrogeochemické hodnotenie banských vôd Slovenského rudohoria bolo zamerané hlavne na posúdenie ich zloženia z hľadiska vhodnosti na praktické využitie, na posúdenie miery ovplyvnenia kvalitatívneho stavu povrchových tokov a podzemnej vody alebo na skúmanie ich genézy. Dosiaľ tu chýbajú kvantitatívne hodnotenia predstavujúce hmotovú bilanciu reagujúcich minerálnych fáz a plynov. Z nich sa získava informácia o intenzite a spôsobe chemického zvetrávania pôvodnej minerálnej výplne ložísk a o množstve vznikajúcich tuhých a plynných zložiek. Z environmentálneho hľadiska je zaujímavý „železitý oker“ a oxid uhličitý. Oker sa často usádza v banských dielach a jeho akumulácia v odvodňovacích štôlňach môže spôsobovať dočasné utesňovanie odtokových ciest a vznik prievalov kalu na povrch. Najmä v intravilánoch sídiel môžu byť takéto prievaly rizikové z hľadiska bezpečnosti obyvateľov a škôd na ich majetku. Navyše, okrový sediment často obsahuje vysoké koncentrácie Mn, As, Sb, Co, Ni a iných zložiek, ktoré v prípade spomínaných prievalov môžu lokálne kontaminovať pôdny horizont. Stanovenie bilancie plynného oxidu uhličitého zúčastňujúceho sa na zvetrávaní ložísk prispieva k lepšiemu poznaniu dôležitosti geologických procesov pri bilancii atmosférického CO_2.

Cieľom tejto štúdie je pomocou programu PHREEQC analyzovať a modelovať formovanie chemického zloženia banskej vody sideritového ložiska, identifikovať prevažujúce formy prvkov rozpustených vo vode (špécie) a zostaviť

hmotovú bilanciu reagujúcich minerálnych a plynných fáz. Ako typové sme zvolili opustené sideritové ložisko Železník. Hlavným dôvodom tohto výberu sú jednoduché a stabilizované hydrogeochemické pomery ložiska a neustála tvorba železitého okra pred ústím štôlne, ktorá už spôsobila problémy miestnym obyvateľom.

Charakteristika študovanej lokality

Sideritové ložisko Železník je súčasťou rudného poľa Železník – Rákoš – Hrádok a predstavuje metamorfno-hydrotermálny typ zrudnenia (Radvanec et al., 2004). Nachádza sa v Revúckej vrchovine, 10 km západne od Jelšavy, pri obci Sirk. Železná ruda sa na ňom začala ťažiť pravdepodobne v 13. storočí. Ťažba kulminovala v rokoch 1882 – 1921 a v roku 1960 bola po vyčerpaní ekonomicky dobývateľnej zásoby ukončená (Grecula et al., 1995).

Kryštalické vápence – zmenené na siderit a ankerit – tvoria na povrchu pruh tiahnuci sa od obce Sirk severným úbočím vrchu Železník (814 m n. m.) východným smerom asi 4 km po dolinu potoka Turčok. Ich podložie tvoria v západnej časti laminované chloriticko-sericitické a grafiticko-sericitické fylity, vo východnej časti jemno- až strednozrnné metaryolitové tufity. V nadloží karbonátovej polohy je vyvinutá poloha metalyditov, nad ňou prevažne nezvrstvené, zriedka laminované sericiticko-chloritické fylity (Grecula et al., 1995). Uvedené horninové súvrstvia patria drnavskému súvrstviu staršieho paleozoika gemerika (spodný devón).

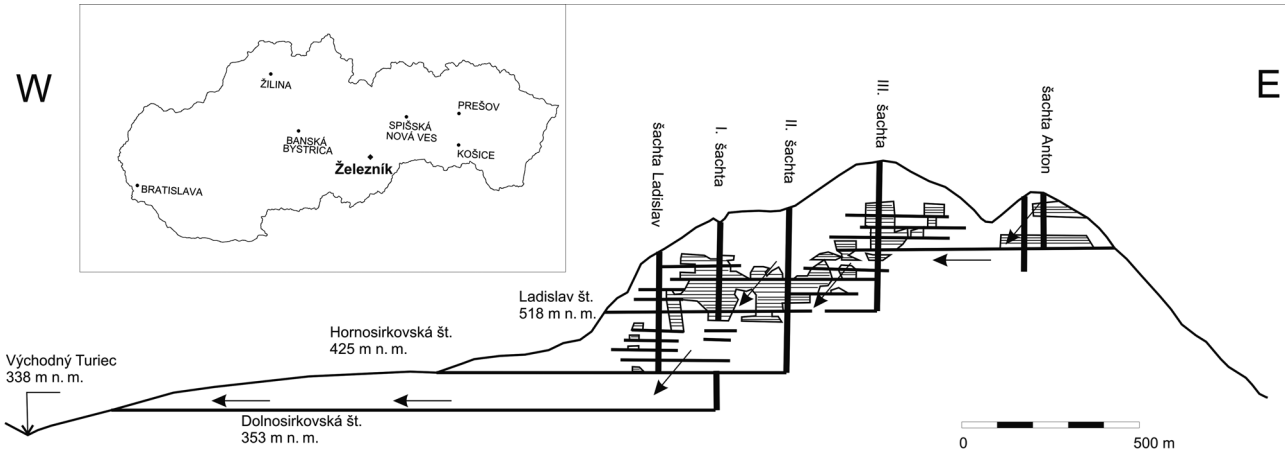
Ložiskové súvrstvie karbonatických hornín v čiernych bridliciach je strmo sklonené k juhu. V ňom sú vyvinuté rudné telesá tvaru nepravidelných pretiahnutých šošoviek s hrúbkou 2 – 3 m, ojedinele do 8 m. Zrudnenie v západnej časti siaha do hĺbky asi 550 m, vo východnej rýchle vyklinuje. Ložisko je rozfárané v úseku od banskej kolónie Ladislav po kótu Železník, pričom podzemné dobývky miestami siahajú až tesne pod povrch. Obeh podzemnej vody v študovanej lokalite je tvorený infiltráciou miestnych atmosférických zrážok a je sústredený do pripovrchovej zóny horninového masívu. Smer prúdenia vody v pripovrchovej zóne zvyčajne kopíruje spádnicu povrchu terénu. Banské diela drénujú podzemnú vodu a odvádzajú ju do nižšie položených častí bane. Jej odtok sa sústreďuje do Dolnosirkovskej štôlne, ktorá je hlavným odvodňovacím dielom bane (obr. 1). Ústie tejto štôlne sa nachádza na ľavom brehu potoka Východný Turiec, v areáli bývalého ťažobného závodu, v nadmorskej výške 355 m n. m. (zemepisné súradnice ústia v sieti WGS84: N 48°37'01,0", E 20°06'06,2").

V primárnej časti ložiska bola vyčlenená metasomatická a hydrotermálno-žilná paragenéza a v nej boli zistené tieto minerály (Hak et al., 1969): dve generácie Fe-dolomitu (ankeritu), sideritu a pyritu, chalkopyrit, arzenopyrit, sfalerit, tetraedrit, markazit, kremeň, gersdorffit, chamosit, turmalín, muskovit a kaolín. V paleosóme karbonátov sa okrem toho nachádza klastický kremeň, sericit, turmalín, apatit, zirkón a ďalšie akcesórie. Okrem nich je známy chalkozín, bornit, covellín a millerit (Grenár, 1960), ktoré sú častejšie v cementačnej zóne, a pyrotín. V oxidačnej zóne siahajúcej až do hĺbky 200 m je veľmi pestrá paragenéza, ktorá nebola podrobnejšie skúmaná (Grecula et al., 1995). Okre z gosanu obsahovali Fe_2O_3 do 64 %, Mn 1,1 %, SiO_2 18,5 %, CaO 1,46 %, MgO 0,45 %, Al_2O_3 3,01 % a H_2O 10,6 %. Ťažená limonitová ruda obsahovala 50 – 65 % Fe, 2 – 20 % Mn_2O_3, 5 – 21 % SiO_2, 2 – 3 % Al_2O_3, do 1,3 % CaO a do 0,07 % MgO.

Metódy

Hydrogeochemické modelovanie chemického zvetrávania ložiska Železník vychádza zo známych údajov o geologickej stavbe ložiska a o mineralogickom zložení, doplnených novými hydrometrickými, vzorkovacími a laboratórnymi prácami.

Odber vzoriek banskej vody z Dolnosirkovskej štôlne bol vykonaný v troch termínoch: 16. 7. 2004, 8. 12. 2008 a 14. 7. 2011 (Bajtoš et al., 2011). Pri odbere týchto vzoriek bola odmeraná teplota vody a jej merná elektrická vodivosť



Obr. 1. Schematický pozdĺžny rez vyťaženým sideritovým ložiskom Železník. Banské diela sú vyznačené líniami a vydobyté časti ložiska sú vyznačené šrafou. Generálny smer prúdenia banskej vody je vyznačený šípkami.

Fig. 1. Schematic longitudinal cross-section through the exploited parts of the Železník siderite deposit. Lines represent mine workings and hatched planes show exploited parts of deposit. Arrows indicate general direction of the mine water flow.

Tab. 1
Chemické zloženie vôd ložiska Železník
Chemical composition of waters at the Železník deposit

Vzorka	Dátum	Q	T	pH	M	Na	K	Ca	Mg	NH_4	Sr	Fe	Mn	Al	Cl	NO_2	NO_3	SO_4	HCO_3	SiO_2	O_2	$ORP_{Ag/AgCl}$
		$l \cdot s^{-1}$	°C										$mg \cdot l^{-1}$									mV
GA17855	24. 9. 2004		10	6,55	77,9	1,61	0,39	8,02	5,84	<0,05	0,02	0,11	0,11	0,02	1,42	–	<0,5	12,97	37,22	7,86	7,6	
DS1	16. 7. 2004	8,23	14,8	6,23	2 545	4,90	4,90	355	176	0,27	0,25	40,4	84,8	<0,03	6,00	<0,01	<1	1 719	250	12,8		
DS2	8. 12. 2008	4,85	14,6	6,41	2 699	6,54	4,76	364	203	0,09	0,29	37,1	70,8	<0,02	5,22	0,01	<1	1 710	275	15,9	7,1	2
DS3	14. 7. 2011	10,4	15,2	6,24	4 190	5,92	7,37	472	269	0,32	0,32	156	263	<0,02	4,15	0,01	1,7	3 300	176	18,5	6,4	20

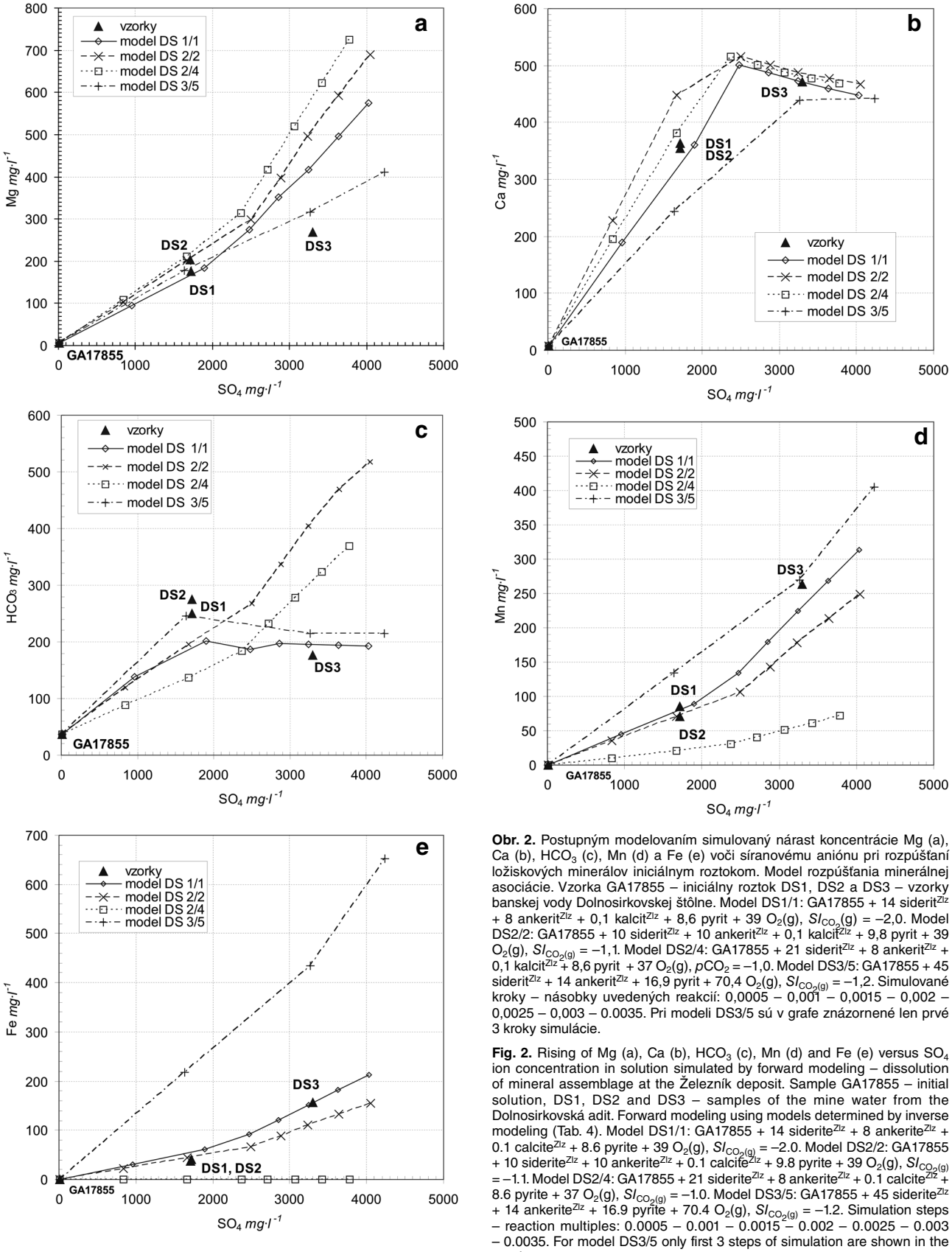
GA17855 – vzorka č. 17855 z databázy Geochemického atlasu SR – časť Podzemné vody (Rapant et al., 1995), odobraná zo sutového prameňa v nadloží ložiska; DS1 – DS3: banská voda Dolnosirkovskej štôlne (Bajtoš et al., 2011).
GA17855 – sample No. 17855 in the database of the Geochemical atlas of SR – part Groundwater (Rapant et al., 1995), taken from the spring located above deposit; DS1 – DS3: mine water of the Dolnosirkovská adit (Bajtoš et al., 2011).

EC (prístroj WTW LF 340), hodnota *pH* (WTW pH 330) a obsah rozpusteného kyslíka O_2 (prístroj WTW Oxi 320). Redox potenciál E_H sme merali Pt-Ag/AgCl elektródou Metler Toledo pripojenou k prístroju WTW pH 330. Nameraný údaj E_H bol prepočítaný na štandardnú vodíkovú elektródu. Pri všetkých odberoch vzoriek sa pomocou hydrometrického krídla A.OTT C_2 odmerala aj okamžitá výdatnosť výtoku banskej vody.

Vzorky banskej vody boli odobraté do polyetylénových fliaš v mieste výtoku banskej vody zo štôlne na povrch. Vzorky na stanovenie stopových prvkov sme filtrovali pri odbere cez papierové filtre (1 μm), následne v laboratóriu cez membránové filtre (0,45 μm) a konzervovali sme ich koncentrovanou HNO_3 (0,5 ml/100 ml). Všetky vzorky boli analyzované štandardnými laboratórnymi postupmi v Geoanalytickom laboratóriu ŠGÚDŠ, RC Spišská Nová Ves. Pomocou prístroja Liberty 200 AES-ICP boli stanovené koncentrácie Na, K, Ca, Mg, Ba, Mn, Fe, Al, SiO_2, Ni, Cu, Pb, Cd, Co a Cr. Spektrofotometrom SPEKOL 11 boli stanovené koncentrácie NH_4, NO_2, PO_4. Prístrojom DX-120 IC bola zmeraná koncentrácia Cl, F, NO_3, SO_4 a prístrojom SPECTRAA-20 AAS-GH obsah As, Sb, Se. Obsah HCO_3^- a CO_3^{2-} sa určil výpočtom z titračne stanovených ukazovateľov $ZNK_{8,3}$ a $KNK_{4,5}$. Titrácia bola vykonaná v laboratóriu do 24 hodín od odberu vzorky.

Chemické zloženie podzemnej vody plytkého obehu v lokalite Železník dokumentuje vzorka z prameňa označeného GA 17855. Táto vzorka bola odobratá a laboratórne spracovaná pri zostavovaní Geochemického atlasu SR – časť podzemné vody (Rapant et al., 1995). Tento prameň je situovaný nad rozfáraným ložiskom 900 m západne od kóty Železník (jeho zemepisné súradnice v sieti WGS84: N 48°37'12,8", E 20°07'00,9") v prevažne nezvrstvených, zriedka laminovaných sericiticko-chloritických fylitoch drnavského súvrstvia (gelnická skupina – starší devón).

Pri hydrogeochemickom modelovaní bol použitý počítačový program PHREEQC (Parkhurst a Appelo, 1999), zostavený pre širokú škálu hydrogeochemických výpočtov – simulácií chemických reakcií a transportu látok v nízkoteplotnom vodnom roztoku. Pomocou neho sme vypočítali indexy nasýtenia vodného roztoku v porovnaní s vybranými minerálmi a plynmi, identifikovali sme špécie prítomné vo vodnom roztoku a stanovili látkovú bilanciu minerálov a plynov aktívnych pri zvetrávaní ložiska. Prvé dva druhy výpočtov, nazývané aj špeciačné výpočty, sú riešené v programovom bloku SOLUTION. Z výsledkov chemických analýz vody sa v ňom na základe modelu iónovej asociácie počítajú látkové množstvá špécií a hodnoty indexov nasýtenia (*SI*) vody oproti minerálom a plynom. Hodnoty *SI* indikujú stav nasýtenia roztoku oproti minerálu: hodnoty *SI* blízke nule indikujú rovnovážny stav, záporné hodnoty nedosýtenie roztoku v porovnaní s minerálom a kladné hodnoty jeho presýtenie. Vzhľadom na súčasné poznatky o variabilite chemického zloženia karbonátov študovaného ložiska (Hak et al., 1969) sa uvažuje o priemernom zložení sideritu [$(Ca_{0.039}Fe_{0.709}Mg_{0.153}Mn_{0.099})CO_3$] (v ďalšom texte siderit^{Zlz}), ankeritu [$Ca_{1.05}(Fe_{0.27}Mg_{0.65}Mn_{0.03})(CO_3)_2$] (ankerit^{Zlz}) a kalcitu



Obr. 2. Postupným modelovaním simulovaný nárast koncentrácie Mg (a), Ca (b), HCO_3 (c), Mn (d) a Fe (e) voči síranovému aniónu pri rozpúšťaní ložiskových minerálov iniciálnym roztokom. Model rozpúšťania minerálnej asociácie. Vzorka GA17855 – iniciálny roztok DS1, DS2 a DS3 – vzorky banskej vody Dolnosirkovskej štôlne. Model DS1/1: GA17855 + 14 $siderit^{Zlz}$ + 8 $ankerit^{Zlz}$ + 0,1 $kalcit^{Zlz}$ + 8,6 pyrit + 39 O_2(g), $SI_{CO_2(g)} = -2{,}0$. Model DS2/2: GA17855 + 10 $siderit^{Zlz}$ + 10 $ankerit^{Zlz}$ + 0,1 $kalcit^{Zlz}$ + 9,8 pyrit + 39 O_2(g), $SI_{CO_2(g)} = -1{,}1$. Model DS2/4: GA17855 + 21 $siderit^{Zlz}$ + 8 $ankerit^{Zlz}$ + 0,1 $kalcit^{Zlz}$ + 8,6 pyrit + 37 O_2(g), $pCO_2 = -1{,}0$. Model DS3/5: GA17855 + 45 $siderit^{Zlz}$ + 14 $ankerit^{Zlz}$ + 16,9 pyrit + 70,4 O_2(g), $SI_{CO_2(g)} = -1{,}2$. Simulované kroky – násobky uvedených reakcií: 0,0005 – 0,001 – 0,0015 – 0,002 – 0,0025 – 0,003 – 0.0035. Pri modeli DS3/5 sú v grafe znázornené len prvé 3 kroky simulácie.

Fig. 2. Rising of Mg (a), Ca (b), HCO_3 (c), Mn (d) and Fe (e) versus SO_4 ion concentration in solution simulated by forward modeling – dissolution of mineral assemblage at the Železník deposit. Sample GA17855 – initial solution, DS1, DS2 and DS3 – samples of the mine water from the Dolnosirkovská adit. Forward modeling using models determined by inverse modeling (Tab. 4). Model DS1/1: GA17855 + 14 $siderite^{Zlz}$ + 8 $ankerite^{Zlz}$ + 0.1 $calcite^{Zlz}$ + 8.6 pyrite + 39 O_2(g), $SI_{CO_2(g)} = -2.0$. Model DS2/2: GA17855 + 10 $siderite^{Zlz}$ + 10 $ankerite^{Zlz}$ + 0.1 $calcite^{Zlz}$ + 9.8 pyrite + 39 O_2(g), $SI_{CO_2(g)} = -1.1$. Model DS2/4: GA17855 + 21 $siderite^{Zlz}$ + 8 $ankerite^{Zlz}$ + 0.1 $calcite^{Zlz}$ + 8.6 pyrite + 37 O_2(g), $SI_{CO_2(g)} = -1.0$. Model DS3/5: GA17855 + 45 $siderite^{Zlz}$ + 14 $ankerite^{Zlz}$ + 16.9 pyrite + 70.4 O_2(g), $SI_{CO_2(g)} = -1.2$. Simulation steps – reaction multiples: 0.0005 – 0.001 – 0.0015 – 0.002 – 0.0025 – 0.003 – 0.0035. For model DS3/5 only first 3 steps of simulation are shown in the graph.

$[(Ca_{0.971}Fe_{0.012}Mg_{0.015}Mn_{0.002})CO_3]$ (kalcit^{Zlz}). Modelovanie stavu nasýtenia roztoku oproti týmto minerálom je komplikované vzhľadom na chýbajúce termodynamické údaje pre karbonáty uvedeného zloženia. Napr. pre ankerit so zložením $[Ca(Fe_{0.6}Mg_{0.4})(CO_3)_2]$ uvádza Al et al. (2000) súčin rozpustnosti log $K = -17{,}4$ pre teplotu 25 °C. V literatúre sú dostupné údaje len pre siderit s chemickým vzorcom $FeCO_3$. V tejto štúdii sme pre karbonátové minerály ložiska použili nasledujúce hodnoty: log $K = -10{,}3$ pre siderit^{Zlz}, –17,07 pre ankerit^{Zlz} a –8,50 pre kalcit^{Zlz}. Ide o odhady založené na zjednodušujúcom predpoklade, že uvedené minerály sú tuhým roztokom štyroch fáz so známymi termodynamickými charakteristikami (databáza minteq v4 – PHREEQC): kalcit $CaCO_3$ (log $K = -8{,}48$), magnezit $MgCO_3$ (–7,52), siderit $FeCO_3$ (–10,89) a rodochrozit $MnCO_3$ (–11,13).

Látková bilancia minerálov a plynov aktívnych pri zvetrávaní ložiska Železník sa robí tzv. inverzným modelovaním (inverse modeling). Z výsledkov najmenej dvoch laboratórnych analýz, reprezentujúcich chemické zloženie vody v rôznych miestach dráhy prúdenia vody v kolektore, sa počítajú modely mólovej bilancie (MMB). MMB je súbor mólových transferov reagujúcich zložiek, ktoré vysvetľujú zmenu chemického zloženia vody v kolektore s definovaným zložením. Okrem výsledkov analýz vody sa teda ako vstupné údaje modelu určia minerálne a plynné fázy, ktoré v danom prípade vystupujú ako reaktanty. Pri tomto inverznom modelovaní sú ako vstupné údaje použité vlastné laboratórne analýzy banskej vody Dolnosirkovskej štôlne (Bajtoš et al., 2011) a prevzatá analýza prameňa GA17855 (Rapant et al., 1995), údaje sú uvedené v tab. 1. V modeli sa počíta s rozpúšťaním pôvodných minerálov ložiska (siderit^{Zlz}, ankerit^{Zlz}, kalcit^{Zlz} a pyrit), s precipitáciou nových minerálnych fáz (amorfný $Fe(OH)_3$, manganit, sadrovec a kalcit $CaCO_3$) a s účasťou plynov (CO_2 a O_2). Výsledkom modelových výpočtov je kvantifikácia reagujúcich zložiek. Vypočítané hodnoty množstva reagujúcich minerálov a plynov zodpovedajú ich interakcii s 1 l roztoku, preto sú vyjadrené v mol . l^{-1} alebo mg . l^{-1} (tab. 5). Po zohľadnení množstva odtekajúcej banskej vody sa určuje hmotnostný prietok zložiek v kg . d^{-1} (tab. 5).

Postupným modelovaním (forward modeling) sa testuje pravdepodobný vývoj chemického zloženia iniciálneho roztoku (prameň GA17855) pri reakcii s minerálmi ložiska Železník, pri definovanom parciálnom tlaku CO_2. Výsledky modelovania sú porovnávané s reálne zistenými koncentráciami chemických zložiek vo vode Dolnosirkovskej štôlne. Postupné modelovanie je robené v dvoch alternatívach. Prvou je simulácia zmeny chemického zloženia iniciálneho roztoku v prostredí asociácie minerálov s definovaným pomerom ich reagujúceho množstva. Druhou alternatívou je simulácia zmeny zloženia iniciálneho roztoku v kontakte s určitým karbonátovým minerálom s prímesou pyritu a následné miešanie týchto roztokov v určitom pomere.

V prvej alternatíve (model rozpúšťania minerálnej asociácie) sa simuluje zmena chemického zloženia iniciálneho roztoku pre 4 modelové prípady (obr. 2) – rôzne pomery reagujúcich ložiskových minerálov a atmosférického kyslíka. Tieto pomery sú výsledkom inverzného modelovania a sú uvedené v tab. 5. Kedže sa pri výpočtoch inverzného modelovania počíta len so stechiometriou reagujúcich fáz, zaradenie alternatívy postupného modelovania predstavuje kontrolu termodynamickej reálnosti modelov inverzného modelovania. Pri postupnom modelovaní sa totiž uvažuje o stave nasýtenia roztokov oproti prítomným fázam. V druhej alternatíve (model miešania roztokov) sa v prvom kroku modeluje zvlášť rozpúšťanie sideritu^{Zlz} a zvlášť rozpúšťanie ankeritu^{Zlz}. Oxidácia pyritu sa v obidvoch prípadoch simuluje (programový blok REACTION) pridávaním produktov jeho rozkladu do roztoku v rôznych množstvách, ale v zachovanom molárnom pomere: na každý mól reakcie sú do roztoku pridané 2 móly H^+, 2 móly SO_4^{2-} a 0,5 mólu Fe^{2+}. Tento pomer reprezentuje oxidáciu pyritu s výnimkou Fe – tu sa predpokladá, že 50 % uvoľneného množstva nezostáva v roztoku, ale je fixovaných v pevnej fáze tvorbou Fe-oxihydroxidov v oxidickej zóne. Na základe výsledkov inverzného modelovania sa vplyv rozpúšťania kalcitu^{Zlz} zanedbal. K precipitácii $Fe(OH)_3$, manganitu, kalcitu, dolomitu, sadrovca alebo melanteritu v modeli dochádza, ak roztok dosiahne presýtenosť v porovnaní

Tab. 2
Percentuálne zastúpenie špécií vápnika, horčíka, železa, mangánu a síry vo vzorkách vôd
Percentual portion of Ca, Mg, Fe^{III}, Mn^{II} and S^{VI} species in the water samples

Ca	Ca^{2+}	$[CaSO_4]^0$	$[CaHCO_3]^+$	$[CaCO_3]^0$	$[CaHSO_4]^+$
GA17855	98,00	1,55	0,47	0,01	0,00
DS1	66,36	32,42	1,22	0,01	0,00
DS2	67,12	31,52	1,34	0,01	0,00
DS3	58,41	41,02	0,58	0,00	0,00
Mg	Mg^{2+}	$[MgSO_4]^0$	$[MgHCO_3]^+$	$[MgCO_3]^0$	$[MgOH]^+$
GA17855	98,04	1,41	0,57	0,00	0,00
DS1	66,00	32,64	1,35	0,00	0,00
DS2	66,79	31,64	1,48	0,01	0,00
DS3	57,64	41,68	0,63	0,00	0,00
Fe^{III}	$[Fe(OH)_2]^+$	$[Fe(OH)_3(aq)]^0$	$[Fe(OH)]^{2+}$	$[Fe(OH)_4]^-$	Fe^{3+}
GA17855	81,80	18,00	0,14	0,03	0,00
DS1	89,51	10,05	0,43	0,01	0,00
DS2	85,36	14,34	0,27	0,03	0,00
DS3	89,45	10,04	0,45	0,01	0,00
Mn^{II}	Mn^{2+}	$[MnHCO_3]^+$	$[MnSO_4]^0$	$[MnCO_3]^0$	$[MnCl]^+$
GA17855	94,11	4,32	1,14	0,43	0,01
DS1	63,78	10,21	25,55	0,47	0,02
DS2	63,66	11,10	24,47	0,76	0,02
DS3	59,88	5,12	34,74	0,23	0,01
S^{VI}	SO_4^{2-}	$[CaSO_4]^0$	$[MgSO_4]^0$	$[MnSO_4]^0$	$[NaSO_4]^-$
GA17855	95,19	2,30	2,51	0,02	0,03
DS1	68,51	16,05	13,21	2,19	0,03
DS2	67,23	16,08	14,84	1,77	0,04
DS3	67,60	14,06	13,43	4,84	0,03

Poznámka: Vysvetlivky ako pri tab. 1.
Note: Explanations as in Tab. 1.

Tab. 3
Indexy nasýtenia vzoriek vody *(SI)* voči vybraným minerálnym a plynným fázam
Saturation indexes *(SI)* of water samples with respect to chosen mineral and gas phases

Minerál/plyn Mineral/gas phase	Chemický vzorec Formula	GA17855	DS1	DS2	DS3
Ankerit[Zlz]	$Ca_{1.05}(Fe_{0.27}Mg_{0.65}Mn_{0.03})(CO_3)_2$	–6,03	–3,99	–3,56	–4,19
Aragonit	$CaCO_3$	–2,70	–0,99	–0,76	–1,19
Artinit	$Mg_2(CO_3)(OH)_2{\cdot}3H_2O$	–12,19	–9,87	–9,18	–9,89
Brucit	$Mg(OH)_2$	–8,50	–7,72	–7,31	–7,60
Kalcit	$CaCO_3$	–2,54	–0,84	–0,61	–1,04
Kalcit[Zlz]	$(Ca_{0.971}Fe_{0.012}Mg_{0.015}Mn_{0.002})CO_3$	–2,51	–0,88	–0,65	–1,08
CO_2 (g)	CO_2	–2,05	–0,99	–1,13	–1,23
Dolomit	$CaMg(CO_3)_2$	–5,10	–1,77	–1,27	–2,11
Dolomit(neuspor.)	$CaMg(CO_3)_2$	–5,71	–2,37	–1,86	–2,70
Epsomit	$MgSO_4{\cdot}7H_2O$	–5,59	–2,87	–2,81	–2,58
$Fe(OH)_3$(a)	$Fe(OH)_3$	2,18	4,18	4,31	4,75
Goethit	FeOOH	7,51	9,70	9,82	10,28
H-Jarosit	$(H_3O)Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$	–2,96	8,48	8,10	10,62
Hexahydrit	$MgSO_4{\cdot}6H_2O$	–5,86	–3,12	–3,07	–2,84
Huntit	$CaMg_3(CO_3)_4$	–14,60	–8,02	–6,95	–8,62
Hydromagnezit	$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2{\cdot}4H_2O$	–25,33	–18,80	–17,25	–19,28
Kieserit	$MgSO_4{\cdot}H_2O$	–7,54	–4,75	–4,70	–4,46
Leonhardit	$MgSO_4{\cdot}4H_2O$	–6,78	–3,99	–3,94	–3,70
Magnezit	$MgCO_3$	–3,35	–1,83	–1,55	–1,97
Manganit	MnOOH	–2,49	5,28	5,58	5,67
Melanterit	$FeSO_4{\cdot}7H_2O$	–9,74	–11,50	–11,75	–10,71
$MnSO_4$	$MnSO_4$	–12,94	–8,55	–8,65	–7,90
Nesquehonit	$MgCO_3{\cdot}3H_2O$	–5,25	–3,73	–3,45	–3,87
O_2(g)	O_2	–0,86	–0,84	–0,84	–0,87
Pentahydrit	$MgSO_4{\cdot}5H_2O$	–6,38	–3,59	–3,54	–3,30
Pyrochroit	$Mn(OH)_2$	–7,90	–6,06	–5,78	–5,63
Rodochrozit	$MnCO_3$	–1,89	1,05	1,19	1,25
Sadrovec	$CaSO_4{\cdot}2H_2O$	–3,15	–0,21	–0,21	0,02
Siderit[Zlz]	$(Ca_{0.039}Fe_{0.709}Mg_{0.153}Mn_{0.099})CO_3$	–3,96	–5,47	–5,42	–5,23

Poznámka: Vysvetlivky ako pri tab. 1.
Note: Explanations as in Tab. 1.

s uvedenými minerálmi. Zadaný parciálny tlak CO_2 zodpovedá zisteným podmienkam v lokalite. V druhom kroku sa modelový roztok z prostredia sideritu[Zlz] mieša s roztokom z prostredia ankeritu[Zlz] v pomeroch 0,5 : 0,5; 0,75 : 0,25 a 0,25 : 0,75 a dosiahnuté výsledky sa porovnávajú s nameranými údajmi (obr. 4).

Výsledky

Okamžitý prietok banskej vody vytekajúcej z ústia Dolnosirkovskej štôlne dosahoval dňa 16. 7. 2004 8,23 $l \cdot s^{-1}$, 8. 12. 2008 4,85 $l \cdot s^{-1}$ a 14. 7. 2011 10,40 $l \cdot s^{-1}$. V prvých dvoch termínoch odberu vzoriek boli zistené malé rozdiely hodnôt teploty vody, pH, mernej elektrickej vodivosti (tab. 1) a prakticky zhodné chemické zloženie vody. Vzorka z tretieho odberu sa od nich odlišuje výrazne vyššou mineralizáciou.

Banská voda Dolnosirkovskej štôlne má mierne kyslú reakciu, vysokú mineralizáciu a Ca-Mg-SO_4 typ vody (tab. 1). Podľa Gazdovej klasifikácie ide o výrazný základný $S_2(SO_4)$ typ vody, pričom obsah síranového aniónu dosahuje 88 – 96 mol. % sumy aniónov. Obsah Fe a Mn dosahuje 10 – 28 mol. % podielu zo sumy katiónov. Zo stopových prvkov merateľné koncentrácie dosahujú As, Co, Ni, Zn.

Pri odbere vzorky DS2 bola zistená hodnota redox potenciálu E_H = 216 mV. Z nej sme odvodili hodnotu logaritmu relatívnej aktivity elektrónov *pe* = 3,6. Z nameraných koncentrácií redox páru NH_4/NO_2 bol stanovený potenciál E_H = 400 mV, čo zodpovedá *pe* = 7,02. Hodnota *pe* = 10,56 sa pre túto vzorku odvodila z nameranej koncentrácie rozpusteného kyslíka (podľa rovnice *pe* = 14,9 – pH + 0,5 log pO_2, odvodenej Frevertom, 1984). Pre vzorku DS3 bola z terénneho merania E_H vypočítaná hodnota *pe* = 4,26 a z nameraných koncentrácií redox párov sa stanovili nasledujúce hodnoty: *pe* = 7,12 pre NH_4/NO_2, *pe* = 7,72 pre NH_4/NO_3 a *pe* = 9,54 pre NO_2/NO_3. Z nameranej koncentrácie rozpusteného kyslíka sme určili hodnotu *pe* = 10,71.

Špeciačným modelovaním sme identifikovali špécie, ktoré sú pravdepodobne zastúpené vo vzorkových roztokoch, a kvantifikovali sme ich podiel na laboratórne zmeranej koncentrácii príslušného prvku (tab. 2). Vápnik sa v banskej vode vyskytuje prevažne ako jednoduchý katión Ca^{2+} (58 – 67 mol. % z celkovej koncentrácie Ca), vysoké zastúpenie (31 – 41 mol. %) má aj komplex $[CaSO_4]^0$. Podiel komplexov $[CaHCO_3]^+$, $[CaCO_3]^0$, $[CaHSO_4]^+$ a ďalších je nižší ako 1 mol. %. Horčík je zastúpený takmer výhradne dvoma špéciami – jednoduchým iónom Mg^{2+} (58 – 67 mol. %) a komplexom $[MgSO_4]^0$ (32 – 42 mol. %).

Tab. 4
Látkové množstvá minerálnych a plynných fáz zodpovedajúce interakcii minerálnej asociácie ložiska Železník s 1 l iniciálneho roztoku (mmol · l^{-1}). Inverzné modelovanie – pravdepodobne možné riešenia pre vzorky DS1 DS2 a DS3, vzorka GA17855 uvažovaná ako iniciálny roztok

Molar concentrations of phases consumed/released by an interaction of mineral assemblage at the Železník deposit with 1 L of initial solution (mmol · L^{-1}). The possible resolutions for samples DS1, DS2 and DS3, GA17855 considered as an initial solution

Chemický vzorec Chemical formula	Proces Process	Vzorka/sample Fáza/Phase Model č./Model No.	DS1 1		DS2 3	 4	DS3 5
$(Ca_{0.039}Fe_{0.709}Mg_{0.153}Mn_{0.099})CO_3$	rozpúšťanie	$Siderit^{Zlz}$	13,59	9,8	9,8	20,9	45,0
$Ca_{1.05}(Fe_{0.27}Mg_{0.65}Mn_{0.03})(CO_3)_2$	rozpúšťanie	$Ankerit^{Zlz}$	7,93	10,5	10,5	7,9	14,7
$(Ca_{0.971}Fe_{0.012}Mg_{0.015}Mn_{0.002})CO_3$	rozpúšťanie	$Kalcit^{Zlz}$	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
$CaCO_3$	zrážanie	Kalcit	0,0	0,0	–2,3	0,0	0,0
$CaMg(HCO_3)_2$	zrážanie	Dolomit	–	–	–	–	–5,4
$Fe(OH)_3$ (amorfný)	zrážanie	$Fe(OH)_3$ (a)	–18,2	–18,9	–17,8	–24,9	–45,7
CO_2 (plyn)	uvoľnenie	CO_2 (g)	–22,2	–24,2	–21,9	–30,0	–59,4
O_2 (plyn)	spotreba	O_2(g)	35,1	39,0	34,7	36,7	70,4
FeS_2	rozpúšťanie	Pyrit	8,6	9,8	8,6	8,6	16,9
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	zrážanie	Sadrovec	0,0	–2,3	0,0	0,0	0,0
MnOOH	zrážanie	Manganit	–0,7	0,0	–1,4	–1,0	0,0

Železo je v banskej vode prítomné s oxidačným stupňom III (Fe^{III}), pričom katiónový komplex $[Fe(OH)_2]^+$ výrazne dominuje (85 – 90 mol. %) nad neutrálnym komplexom $[Fe(OH)_3]^0$. Mn^{II} je prítomný ako jednoduchý katión Mn^{2+} (60 – 64 mol. %), neutrálny komplex $[MnSO_4]^0$ (24 – 35 mol. %) a katiónový komplex $[MnHCO_3]^+$. Síra je prítomná s oxidačným stupňom VI (S^{VI}) ako anión SO_4^{2-} (67 – 69 mol. %) alebo ako neutrálny síranový komplex s vápnikom, horčíkom a mangánom.

V tab. 3 uvádzame prehľad hodnôt indexov nasýtenia *SI*, odvodených pre vzorku iniciálneho roztoku a vzorky banskej vody Dolnosirkovskej štôlne. Hodnotené vzorky banskej vody sú v porovnaní s hlavnými karbonátovými minerálmi ložiska – $ankeritom^{Zlz}$, $sideritom^{Zlz}$ a $kalcitom^{Zlz}$ – nedosýtené. Nedosýtené sú aj oproti siderite $FeCO_3$, ankeritu $Ca(Fe_{0,5}Mg_{0,5})(CO_3)_2$ a kalcitu $CaCO_3$ a ďalším karbonátovým minerálom – aragonitu, dolomitu, magnezitu, nesquehonitu, hydromagnezitu, huntitu. Oproti rodochrozitu sú však presýtené. V porovnaní so sadrovcom sú mierne nedosýtené, prípadne až v rovnováhe. Oproti ďalším síranovým minerálom, vrátane epsomitu (a ďalších hydrátov $MgSO_4$), melanteritu a $MnSO_4$, sú nedosýtené. V porovnaní s amorfným $Fe(OH)_3$, goethitom a manganitom sú presýtené. Rovnováhu oproti silikátovým minerálom nemožno hodnotiť, keďže koncentrácie hliníka sú vo všetkých vzorkách pod medzou stanovenia laboratórnej metódy. Nasýtenie vody CO_2 je pomerne vysoké (pCO_2 = 0,008 – 0,014 MPa) a mierne prevyšuje charakteristické hodnoty pre pôdnu atmosféru. Nasýtenie O_2 je nižšie ako v atmosférických podmienkach.

Výsledky inverzného modelovania chemického zloženia banskej vody Dolnosirkovskej štôlne – vzoriek DS1,

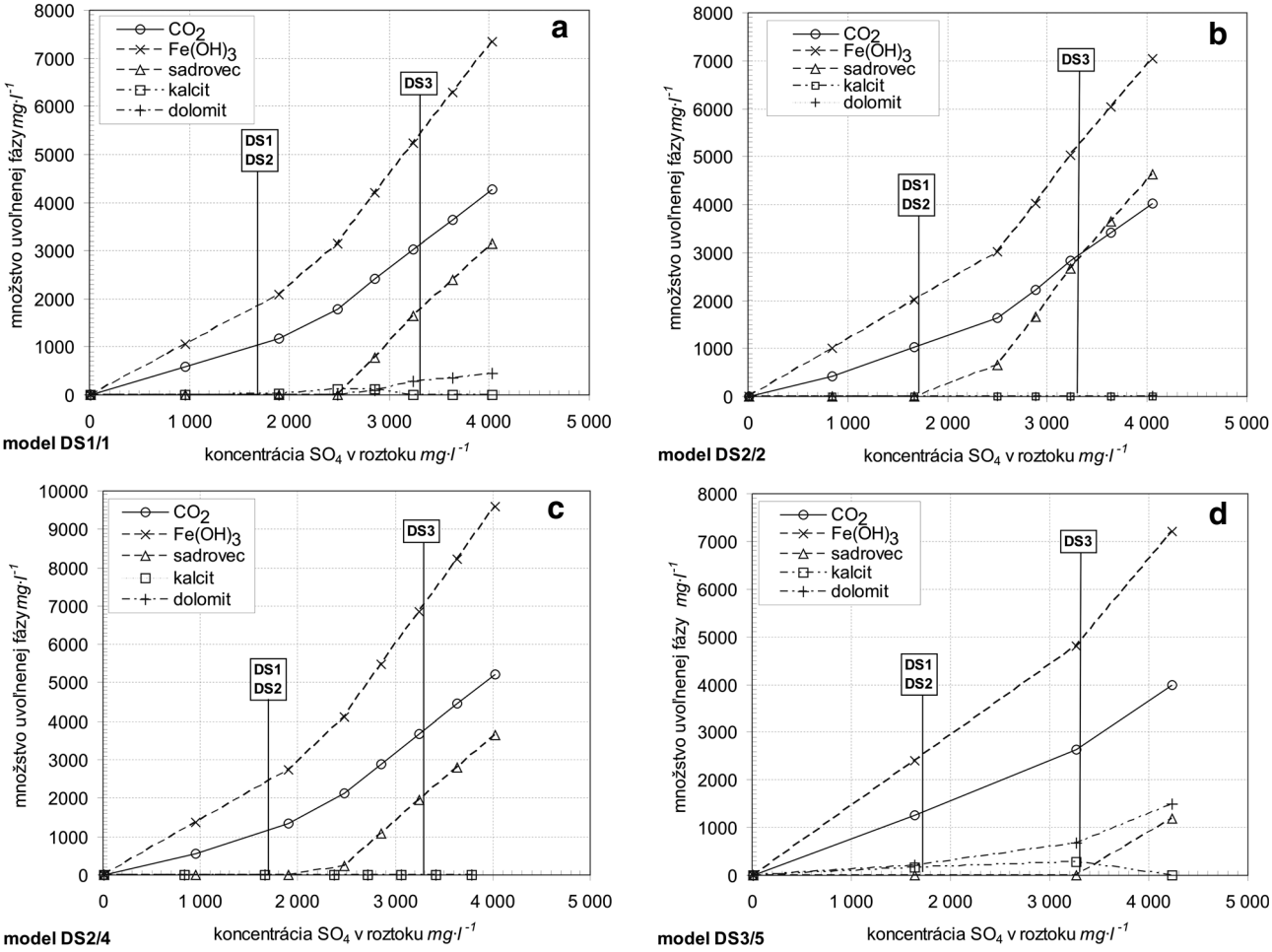
Tab. 5
Množstvá minerálov a plynov rozpúšťaných a vznikajúcich pri chemickom zvetrávaní ložiska Železník odhadnuté inverzným modelovaním
Rates of mineral and gas phases consumed or originated during chemical weathering of the Železník deposit, being accounted by the inverse modeling

Minerál, plyn Mineral, gas phase	Proces/Process	Reagujúce množstvo látky (mg) na 1 liter roztoku Rate of phase (mg) per 1 L of solution				Hmotnostný prietok kg · d^{-1} Mass flow rate kg · d^{-1}			
		DS1/1	DS2/2	DS2/4	DS3/5	DS1/1	DS2/2	DS2/4	DS3/5
$Siderit^{Zlz}$	rozpúšťanie	1 494	1 077	2 297	4 946	1 062	451	963	4 445
$Ankerit^{Zlz}$	rozpúšťanie	1 545	2 045	1 543	2 863	1 098	857	645	2 573
$Kalcit^{Zlz}$	rozpúšťanie	54	54	0	–	39	39	0	–
$Fe(OH)_3$	zrážanie	–2 819	–2 927	–3 861	–7 077	–2 004	–1 226	–1 616	–6 359
CO_2 (g)	uvoľnenie	–977	–1 065	–1 322	–2 614	–695	–446	–553	–2 349
O_2 (g)	spotreba	1 123	1 248	1 175	2 253	799	523	492	2 024
Kalcit	zrážanie	0	0	0	0	0	0	0	0
Dolomit	zrážanie	–	–	–	996	–	–	–	895
Pyrit	rozpúšťanie	756	862	759	1 486	538	361	317	1 335
Sadrovec	zrážanie	0	–355	0	0	0	–149	0	0
Manganit	zrážanie	–62	0	–89	0	–44	–52	–37	0

Poznámka: DS1/1 – vzorka DS1/model č. 1 z tab. 4.
Note: DS1/1 – sample DS1/model No. 1 from Tab. 4.

DS2 a DS3 v porovnaní s iniciálnym roztokom GA17855 – sú uvedené v tab. 4. Vyplýva z nich, že z ložiskových karbonátových minerálov ovplyvňuje výsledné chemické zloženie banskej vody predovšetkým rozpúšťanie sideritu^{Zlz} a ankeritu^{Zlz}. Podiel ich rozpusteného látkového množstva je vyrovnaný, prípadne mierne dominuje rozpúšťanie sideritu^{Zlz}. Prevaha rozpúšťania sideritu^{Zlz} je výraznejšia v modeloch č. 4 a 5. Vplyv kalcitu^{Zlz} je nevýznamný. Množstvo pyritu oxidovaného v čase odberu vzoriek DS1 a DS2 je prakticky zhodné (cca 9 mmol · l^{-1}), avšak v čase odberu vzorky DS3 je zvýšené na dvojnásobok. Tomu zodpovedá aj približne dvojnásobné množstvo spotrebovaného kyslíka, uvoľňovaného plynného CO_2 a amorfného $Fe(OH)_3$. Pravdepodobne precipituje aj malé množstvo sadrovca a manganitu. Výsledky inverzného modelovania naznačujú, že pri chemickom zvetrávaní ložiska Železník sa denne rozpúšťa 0,45 – 4,45 t sideritu^{Zlz}, 0,65 – 2,57 t ankeritu^{Zlz}, 0,32 – 1,33 t pyritu a spotrebuje sa 0,49 – 2,02 t kyslíka. Zároveň sa uvoľní 0,45 – 2,35 t oxidu uhličitého, 1,23 – 6,36 t amorfného $Fe(OH)_3$, menej ako 0,15 t sadrovca a menej ako 0,05 t manganitu (tab. 5).

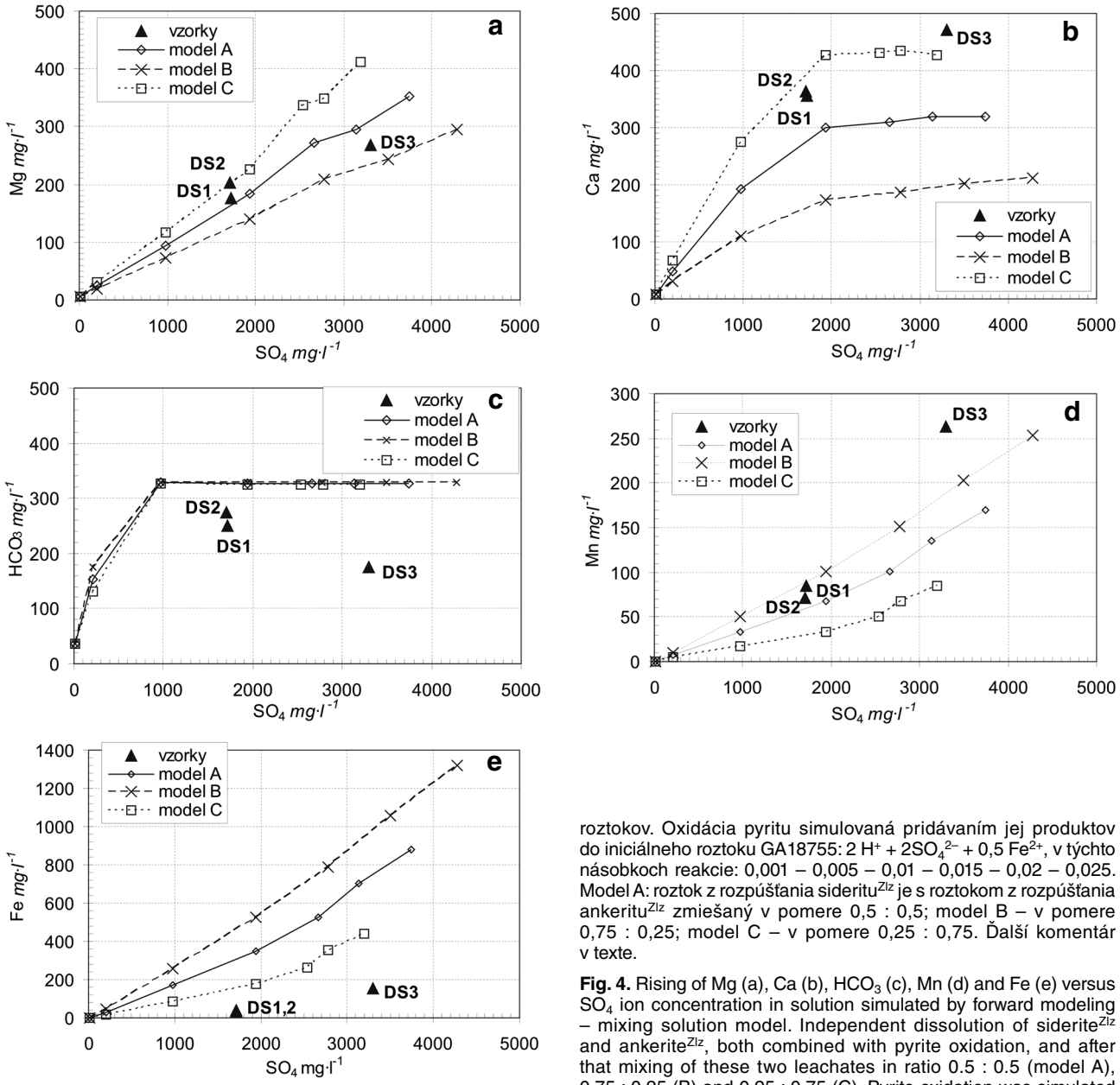
Postupným modelovaním (model rozpúšťania minerálnej asociácie) sa simulovalo rozpúšťanie ložiskových minerálov zastúpených v kvantitatívnom pomere odvodenom pomocou inverzného modelovania. Výsledky sú znázornené graficky na obr. 2. Simulácie pre 4 špecifické pomery reagujúcich fáz (modely DS1/1, DS2/2, DS2/4 a DS3/5 – pozri vysvetlivky obr. 2) boli urobené v 7 krokoch, pričom každý krok predstavuje nárast množstva rozpúšťaných minerálov o 0,005 násobku reakcie. Napríklad v prípade modelu DS1/1 je to nárast o 0,007 molu reagujúceho sideritu^{Zlz}, 0,004 molu ankeritu^{Zlz}, 0,05 molu kalcitu^{Zlz}, 0,0043 molu pyritu a 0,0195 molu O_2 na 1 l vody. Modelové krivky pre obsah Mg v roztoku oproti koncentrácii síranového aniónu (obr. 2a) sa absolútne zhodujú s koncentráciami zistenými v príslušných vzorkách. Najvyššiu odchýlku (cca



Obr. 3a–d. Množstvo CO_2, amorfného $Fe(OH)_3$, sadrovca, kalcitu a dolomitu uvoľnených pri rozpúšťaní hlavných ložiskových minerálov v 1 l roztoku, zodpovedajúce koncentrácii síranového aniónu v tomto roztoku. Postupné modelovanie s využitím modelov DS1/1, DS2/2, DS2/4, DS3/5, odvodených inverzným modelovaním (tab. 4). V grafe je vyznačená koncentrácia iónu SO_4 zmeraná vo vzorkách banskej vody Dolnosirkovskej štôlne. Ďalšie vysvetlivky pri obr. 2.

Figs. 3a–d. Rate of CO_2, amorphous $Fe(OH)_3$, gypsum, calcite and dolomite released/precipitated during dissolution of deposit minerals in 1 L of solution, corresponding to SO_4 ion concentration in that solution. Forward modeling using models DS1/1, DS2/2, DS2/4, DS3/5 determined by inverse modeling (Tab. 4). SO_4 ion concentrations found in samples of mine water from the Dolnosirkovská adit are depicted in the graph. For further explanation see Fig. 2.

50 mg · l^{-1}) Mg od zmeranej koncentrácie (vzorka DS3) tu má modelová krivka DS3/5. Pre obsah Ca (obr. 2b) je presnosť modelov obdobná, vyššiu odchýlku (cca 100 mg · l^{-1}) Ca vykazuje len krivka DS2/2. V prípade HCO_3^- (obr. 2c) vykazuje najnižšiu presnosť (odchýlka 130 mg · l^{-1} HCO^{3-}) modelová krivka DS2/4, zatiaľ čo ostatné sa neodchyľujú viac ako o 50 mg · l^{-1} HCO_3^-. Koncentráciu Mn úspešne simulujú všetky modely, avšak vzorku DS2 presnejšie simuluje model DS2/2 ako model DS2/4. V prípade Fe (obr. 2e) dosahujú uspokojivú presnosť modely DS1/1 a DS2/2. Reakciu vody lepšie predikujú modely DS2/2 a DS2/4 (pH = 6,0 – 6,5) ako zvyšné dva modely (pH = 7,1 – 7,2). Z hľadiska nasýtenia roztokov oproti študovaným karbonátovým minerálom najlepšie vystihuje skutočnosť model DS2/4 s rozsahom hodnôt *SI* = –5,5 až –4,5 pre siderit^{Zlz} a *SI* = –4,7 až –3,0 pre ankerit^{Zlz}. Ostatné modely predpokladajú nasýtenie, resp. mierne nedosýtenie/presýtenie roztokov. Množstvá plynného CO_2 a minerálnych fáz, uvoľňovaných pri rozpúšťaní ložiskových minerálov, simulované jednotlivými modelmi, dokumentujú obr. 3a – 3d. Pre interval hodnôt obsahu síranového aniónu dokumentovaný vzorkami DS1, DS2 a DS3 predstavuje



Obr. 4. Postupným modelovaním simulovaný nárast koncentrácie Mg (a), Ca (b), iónu HCO_3 (c), Mn (d) a Fe (e) oproti síranovému aniónu pri rozpúšťaní ložiskových minerálov iniciálnym roztokom. Model miešania roztokov – separátne rozpúšťanie siderit^{Zlz} a ankerit^{Zlz} za účasti oxidácie pyritu a následné miešanie týchto roztokov. Oxidácia pyritu simulovaná pridávaním jej produktov do iniciálneho roztoku GA18755: 2 H^+ + 2SO_4^{2-} + 0,5 Fe^{2+}, v týchto násobkoch reakcie: 0,001 – 0,005 – 0,01 – 0,015 – 0,02 – 0,025. Model A: roztok z rozpúšťania siderit^{Zlz} je s roztokom z rozpúšťania ankerit^{Zlz} zmiešaný v pomere 0,5 : 0,5; model B – v pomere 0,75 : 0,25; model C – v pomere 0,25 : 0,75. Ďalší komentár v texte.

Fig. 4. Rising of Mg (a), Ca (b), HCO_3 (c), Mn (d) and Fe (e) versus SO_4 ion concentration in solution simulated by forward modeling – mixing solution model. Independent dissolution of siderite^{Zlz} and ankerite^{Zlz}, both combined with pyrite oxidation, and after that mixing of these two leachates in ratio 0.5 : 0.5 (model A), 0.75 : 0.25 (B) and 0.25 : 0.75 (C). Pyrite oxidation was simulated as a stepwise reaction such that for every mole of reaction added, 2.0 moles of H^+, 2.0 moles of SO_4^{2-} and 0.5 moles of Fe^{2+} were added to the model system, in following multiples of reaction 0.001 – 0.005 – 0.01 – 0.015 – 0.02 – 0,025. For further explanation see the text.

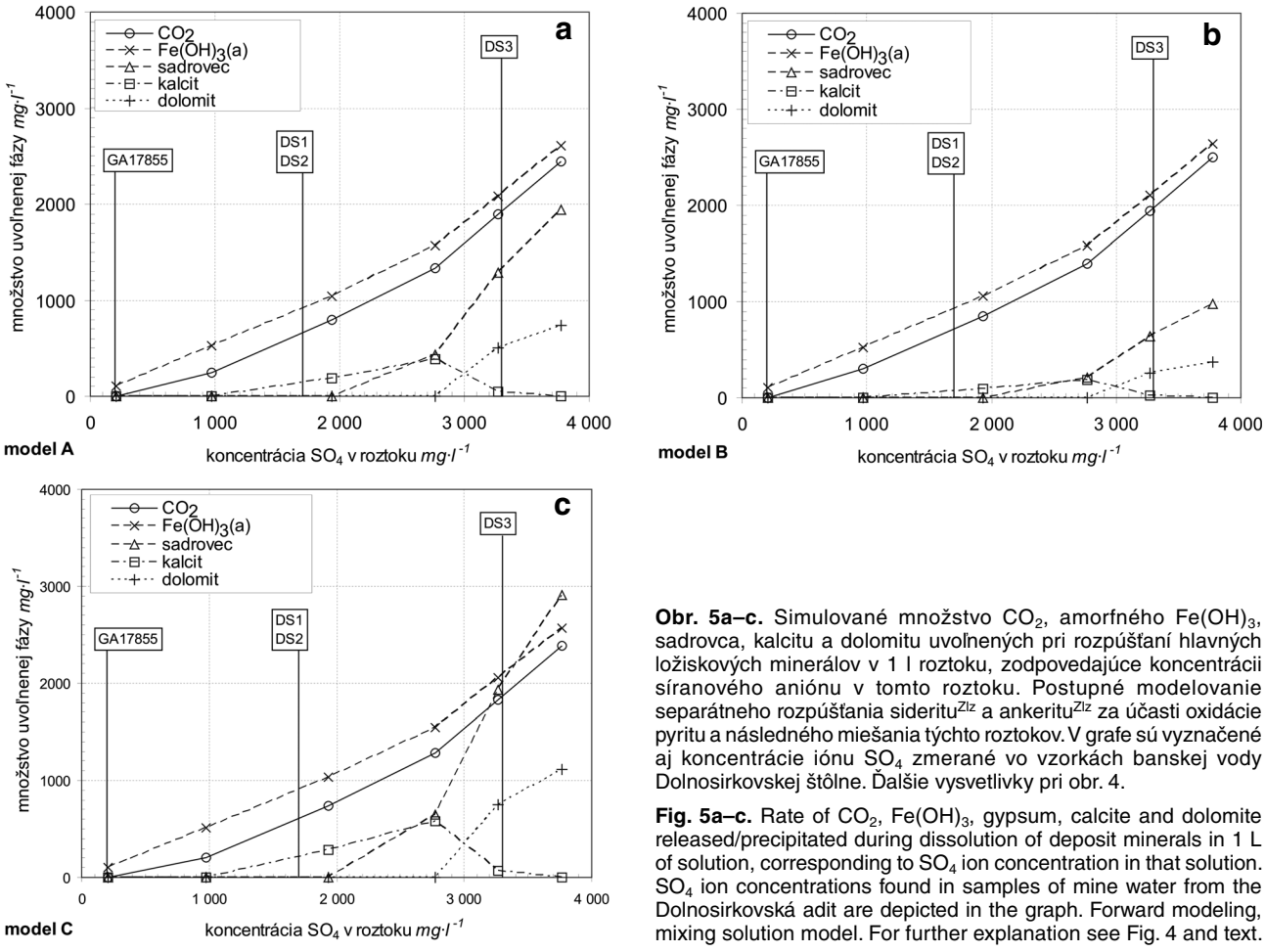
uvoľňované množstvo CO_2 odhadnuté jednotlivými modelmi na 0,7 – 1,9 t za deň precipitujúce množstvo približne 0,7 – 3,6 t amorfného $Fe(OH)_3$ a 0 – 2,0 t sadrovca, 0 – 0,2 t kalcitu a 0 – 0,5 t dolomitu. Odhadované množstvá zvetrávaných minerálov sú približne o 50 % vyššie v porovnaní s výsledkami inverzného modelovania.

Druhým použitým spôsobom postupného modelovania (model miešania roztokov) je simulovanie rozpúšťania jednotlivých karbonátových minerálov v oxidačných podmienkach za prítomnosti pyritu a následné miešanie vzniknutých roztokov v rôznom pomere. V piatich krokoch sme separátne simulovali tento proces pre siderit^{Zlz} a ankerit^{Zlz} a následne aj pre miešanie ich roztokov v pomeroch 0,5 : 0,5 (model *A*), 0,75 : 0,25 *(B)* a 0,25 : 0,75 *(C)*. Takto simulovaný nárast koncentrácie horčíka, vápnika, hydrogénuhličitanového aniónu, mangánu a železa oproti síranovému aniónu je zobrazený na obr. 4. Koncentrácie Mg, Ca, a Mn dokumentované vo vzorkách banskej vody sú v súlade s vymedzenou zónou ich predpokladaného výskytu. Laboratórne stanovené obsahy Ca vo vode najlepšie korešpondujú s modelom *C* (prevaha roztoku z rozpúšťania ankeritu). Modelové koncentrácie Mg

Tab. 6

Množstvá precipitovaných sekundárnych minerálov a uvoľňovaného CO_2 ($t \cdot d^{-1}$) v ložisku Železník – výsledky postupného modelovania
Mass flow rate of precipitated secondary minerals and released CO_2 ($t \cdot d^{-1}$) at the Železník deposit – results of forward modeling

Fáza Phase	Model rozpúšťania minerálnej asociácie Mineral assemblage dissolution model				Model miešania roztokov Mixing solution model		
	DS1/1	DS2/2	DS2/4	DS3/5	A	B	C
CO_2 (g)	0,7	0,7	0,7	1,9	0,4 – 1,3	0,5 – 1,3	0,4 – 1,3
$Fe(OH)_3$ (amor.)	1,3	1,3	1,0	3,3	0,6 – 1,4	0,6 – 1,4	0,6 – 1,4
Sadrovec/gypsum	0 – 1,2	0 – 2,0	0 – 1,4	0 – 0,1	0 – 0,9	0 – 0,4	0 – 1,4
Kalcit/calcite	0	0	0	0,2	0,03 – 0,3	0,01 – 0,1	0,03 – 0,4
Dolomit/dolomite	0	0	0	0,5	0 – 0,3	0 – 0,2	0 – 0,5



Obr. 5a–c. Simulované množstvo CO_2, amorfného $Fe(OH)_3$, sadrovca, kalcitu a dolomitu uvoľnených pri rozpúšťaní hlavných ložiskových minerálov v 1 l roztoku, zodpovedajúce koncentrácii síranového aniónu v tomto roztoku. Postupné modelovanie separátneho rozpúšťania siderit^{Zlz} a ankerit^{Zlz} za účasti oxidácie pyritu a následného miešania týchto roztokov. V grafe sú vyznačené aj koncentrácie iónu SO_4 zmerané vo vzorkách banskej vody Dolnosirkovskej štôlne. Ďalšie vysvetlivky pri obr. 4.

Fig. 5a–c. Rate of CO_2, $Fe(OH)_3$, gypsum, calcite and dolomite released/precipitated during dissolution of deposit minerals in 1 L of solution, corresponding to SO_4 ion concentration in that solution. SO_4 ion concentrations found in samples of mine water from the Dolnosirkovská adit are depicted in the graph. Forward modeling, mixing solution model. For further explanation see Fig. 4 and text.

tvoria užšie vymedzenú zónu ako Ca, zistené údaje však jednoznačne neidentifikujú ani jeden z modelov ako univerzálny. Dokumentované koncentrácie HCO_3^- a Fe sú nižšie oproti modelovým. Simulované hodnoty pH 6,1 až 6,6 sú v súlade s nameranými údajmi. Množstvá plynného CO_2 a sekundárnych minerálnych fáz, uvoľňovaných pri rozpúšťaní ložiskových minerálov, simulované modelmi *A* – *C*, dokumentujú obr. 5a – 5c.

Model miešania roztokov predpokladá, že ak pomer roztoku z rozpúšťania sideritu^{Zlz} k roztoku z rozpúšťania ankeritu^{Zlz} v banskom kolektore je 0,5 : 0,5 (model *A*), denne sa rozpúšťa v závislosti od zrážkovo-klimatickej situácie 0,9 až 1,8 t sideritu^{Zlz} a 1,1 – 2,1 t ankeritu^{Zlz}. Ak tento pomer je 0,75 : 0,25 (model *B*), chemicky zvetráva 1,4 – 2,7 t sideritu^{Zlz} a 0,5 – 1,1 t ankeritu^{Zlz}, pre pomer 0,25 : 0,75 (model *C*) sa predpokladá rozpúšťanie 0,5 – 0,9 t sideritu^{Zlz} a 1,6 – 3,3 t ankeritu^{Zlz} denne. Odhadovaný hmotnostný prietok uvoľňovaného CO_2 a vyzrážaných sekundárnych minerálov je uvedený v tab. 6. Množstvo uvoľňovaného CO_2 je pre rôzne pomery reagujúceho sideritu^{Zlz} a ankeritu^{Zlz} (modely *A*, *B* a *C*) prakticky zhodné a kolíše v intervale 0,4 – 1,3 t denne. Množstvo uvoľňovaného $Fe(OH)_3$ je pre tieto modelové alternatívy zhodné – v rozmedzí 0,6 – 1,4 t denne. Množstvá precipitovaného sadrovca, kalcitu a dolomitu sa v modelových alternatívach odlišujú, menšie množstvo týchto minerálov precipituje pri prevahe rozpúšťania sideritu^{Zlz} (model *B*) v porovnaní s modelmi *A* a *C*. Intenzita oxidácie pyritu zodpovedá spotrebe kyslíka 35 – 70 molov, resp. 1,12 – 2,24 g na liter reagujúceho roztoku.

Diskusia

Porovnanie modelových kriviek odvodených postupným modelovaním chemického zloženia banskej vody ložiska Železník so zistenými koncentráciami Mg, Ca, SO_4^{2-}, HCO_3^- a Mn ukazuje – pri zohľadnení zložitosti modelovaného systému a rozsahu disponibilných vstupných údajov – pomerne dobrú zhodu (obr. 2, 4). Najväčšia odchýlka je pri koncentrácii železa, čo je spôsobené intenzívnou precipitáciou železitého okra počas odtoku vody Dolnosirkovskou štôlňou. Výsledky modelovania naznačujú, že pomer a množstvo reagujúcich minerálov sa v ložisku v čase menia. Vzhľadom na hydrogeologické pomery ložiska možno predpokladať, že ide o odraz aktuálnej zrážkovo-odtokovej situácie v lokalite. V bezzrážkových obdobiach baňa drénuje len podzemnú vodu pripovrchovej zóny masívu, infiltrovanú v spádovej oblasti ložiska. Ide o obehové cesty stabilných prítokov, kde sú dobre rozpustné minerály už sčasti alebo úplne vylúhované. V zrážkových obdobiach sa dočasne stávajú zvodnenými aj spodné časti zóny aerácie a zároveň je celá táto zóna „premývaná" infiltrujúcimi zrážkami. V tej dobe sa rozsah zvodnených priestorov zväčšuje aj v samotnej bani. Voda tu vtedy prúdi priestormi po väčšinu roka suchými, v podmienkach blízkych atmosférickým. V týchto občasných obehových cestách je vyššia pravdepodobnosť zastúpenia rozpustných minerálov (síranov, karbonátov) vďaka menšej miere vylúhovania.

Okrem vyššie uvedených sezónnych zrážkovo-klimatických zmien a variability dostupnosti atmosférického kyslíka v banskom kolektore ovplyvňuje presnosť hydrogeochemického modelovania najmä pestrosť mineralogického zloženia ložiska. V našom prípade ide najmä o premenlivosť pomeru zastúpenia karbonátových minerálov v priestore ložiska a variabilitu obsahu pyritu. V prípade karbonátov zohráva dôležitú úlohu aj premenlivosť ich chemického zloženia. Mieru neistoty tu zvyšuje fakt, že obehové cesty prítokov v bani sú nepravidelne rozmiestnené a ich priemerné mineralogické zloženie nemusí zodpovedať priemernému zloženiu ložiska. Výsledok modelovania ovplyvňuje taktiež presnosť dostupných hodnôt súčinu rozpustnosti *K* pre reagujúce minerálne fázy, čo je zvlášť problematické v prípade karbonátov.

Zastúpenie zložiek citlivých na oxidačno-redukčné podmienky indikuje hodnota redox potenciálu E_H, resp. potenciálu *pe*. Hodnoty *pe*, ktoré boli určené pomocou programu PHREEQC z nameraných koncentrácií redox párov NH_4/NO_2, NH_4/NO_3, NO_2/NO_3 a z koncentrácie rozpusteného kyslíka vo vzorkách banskej vody z Dolnosirkovskej štôlne, sú z intervalu 7,02 – 10,71. *In situ* sú v týchto vzorkách zmerané hodnoty potenciálu *pe* 3,8 a 4,3 (pravdepodobne sú kontrolované redox párom Fe^{III}/Fe^{II}). Vysoký rozptyl zistených hodnôt *pe* ukazuje, že zložky v banskej vode nie sú v rovnováhe. Je to spôsobené rozdielnou reakčnou rýchlosťou jednotlivých zložiek a pomerne rýchlym obehom vody v bani.

Rozdielne prístupy postupného modelovania (rozpúšťanie asociácie minerálov versus miešanie roztokov) vedú k veľmi podobným výsledkom odhadu množstiev vznikajúcich sekundárnych minerálov a množstva uvoľňovaného CO_2 (tab. 6). Reálny proces tvorby chemického zloženia banskej vody je pravdepodobne kombináciou vyššie uvedených modelových prístupov. V určitých partiách ložiska môže prevažovať rozpúšťanie zmesi karbonátových minerálov s ich premenlivým zastúpením (model minerálnej asociácie), v iných zas rozpúšťanie dominantného minerálu a miešanie roztokov. V obidvoch prípadoch závisí intenzita rozpúšťania karbonátov od parciálneho tlaku CO_2 a od intenzity oxidácie pyritu v ložisku. Oxidáciu pyritu ovplyvňuje predovšetkým dostupnosť atmosférického kyslíka.

Záver

Kombináciou hydrometrických meraní výtoku banskej vody z Dolnosirkovskej štôlne a jej laboratórnych analýz sme zistili, že pri chemickom zvetrávaní sideritového ložiska Železník sa denne uvoľňuje v rozpustenej forme 0,15 – 0,42 t vápnika, 0,09 – 0,24 t horčíka, 0,72 – 2,97 t síranového aniónu, 0,12 – 0,18 t hydrogénuhličitanového aniónu, 0,02 – 0,14 t železa a 0,03 – 0,24 t mangánu. Zistené laboratórne údaje boli použité pri hydrogeochemickom modelovaní formovania chemického zloženia banskej vody a intenzity chemického zvetrávania sideritového ložiska. Pri modelovaní sme použili program PHREEQC (Parkhurst a Appelo, 1999). Špeciačným modelovaním sme odvodili formy prvkov rozpustených v banskej vode

(špécie). Ca, Mg, S^{VI} a Mn^{II} sa vyskytujú prevažne ako jednoduché ióny Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-} a Mn^{2+}, avšak približne 30 – 40 % podielu ich množstva tvoria komplexy, ktoré sú v prevahe neutrálne: $[CaSO_4]^0$, $[MgSO_4]^0$, $[MnSO_4]^0$. Vypočítané indexy nasýtenia banskej vody v porovnaní s vybranými minerálmi ukazujú, že voda je nedosýtená oproti karbonátovým minerálom ložiska, že je v rovnováhe so sadrovcom a zároveň je nedosýtená oproti iným síranovým minerálom. Inverzným hydrogeochemickým modelovaním boli odhadnuté množstvá reagujúcich minerálnych a plynných fáz a zistené výsledky boli kontrolované dvoma odlišnými postupmi pomocou postupného modelovania. Zistilo sa, že množstvo reagujúcich minerálov je premenlivé v čase a odvíja sa od aktuálnej zrážkovo-klimatickej situácie v lokalite. Pri rozpúšťaní 0,5 až 7,5 t $siderit^{Zlz}$ a 0,7 – 4,1 t $ankerit^{Zlz}$ sa denne uvoľňuje významné množstvo plynného CO_2 – od 0,5 do 2,4 t. Okrem plynného CO_2 zrýchľuje rozpúšťanie karbonátov ložiska aj oxidácia 0,3 – 3,0 t pyritu, pričom sa spotrebuje 0,5 – 3,4 t atmosférického kyslíka. Zároveň dochádza k precipitácii 0,7 až 6,4 t železitého okra, premenlivého množstva sadrovca a menšieho množstva kalcitu, dolomitu a manganitu.

Zistené výsledky ukazujú, že napriek zložitosti modelovaných procesov možno naznačeným spôsobom zo známeho makrochemického zloženia banskej vody hodnoverne odhadnúť intenzitu chemického zvetrávania sideritového ložiska. Mierou tejto intenzity je množstvo rozpúšťaných pôvodných minerálov, množstvo vznikajúcich nových tuhých látok a množstvo spotrebovaných alebo uvoľňovaných plynov. Zistené výsledky je možné upresniť na základe podrobnejšieho sledovania sezónnych zmien chemického zloženia banskej vody a iniciálneho roztoku a ďalšieho vývoja techniky modelovania.

Ložisko Železník patrí v rámci Slovenského rudohoria k väčším ložiskám so sideritovo-sulfidickou mineralizáciou. Toto ložisko počas chemického zvetrávania uvoľní okolo 0,5 kt CO_2 ročne. V Slovenskom rudohorí sa nachádza asi 100 podobných ložísk, spolu s ďalšími stovkami menších ložísk (Grecula et al., 1995). Ich výskyt naznačuje, že v tomto regióne môže chemické zvetrávanie karbonátovo-sulfidických ložísk uvoľňovať nezanedbateľné množstvo CO_2, rádovo v desiatkach až prvých stovkách kt ročne, a preto môže ovplyvňovať bilanciu atmosférického CO_2. Naopak, chemické zvetrávanie karbonátových hornín v krasových terénoch viaže plynný CO_2 prechodom do formy HCO_3^- rozpusteného v krasových vodách. Doterajšie štúdie ukazujú, že podcenenie geologických procesov môže byť kľúčovým faktorom nepresnosti v bilancii atmosférického CO_2 (Zhang, 2011).

References

Al, T. A., Martin, Ch. J., & Blowes, D. W., 2000: Carbonate-mineral/water interactions in sulfide-rich mine tailings. *Geochim. cosmochim. Acta, 64, 23, 3 933 – 3 948.*

Bajtoš, P., 2004: Mine Water Issues in Slovakia. *In: Wolkersdorfer, Ch., & Bowel, R. (eds.): Contemporary Reviews of Mine Water Studies in Europe. Mine Water and the Environment, 23, 4, 170 – 173.*

Bajtoš, P., Cicmanová, S., Baláž, P., Stupák, J., Pramuka, S., Michalko, J., & Šesták, P., 2011: Banské vody Slovenska vo vzťahu k horninovému prostrediu a ložiskám nerastných surovín. *Manuskript. Bratislava, archív Geofond, 234 s.*

Grecula, P. (ed.), Abonyi, A., Abonyiová, M., Antaš, J., Bartalský, B., Bartalský, J., Dianiška, I., Drnzík, E., Ďuďa, R., Gargulák, M., Gazdačko, Ľ., Hudáček, J., Kobulský, J., Lörincz, L., Macko, J., Návesňák, D., Németh, Z., Novotný, L., Radvanec, M., Rojkovič, I., Rozložník, L., Rozložník, O., Varček, C., & Zlocha, J., 1995: Ložiská nerastných surovín Slovenského rudohoria. Zv 1. *Bratislava, Miner. Slov. – Monogr., 834 s.*

Frevert, T., 1984: Can the redox conditions in natural waters be predicted by a single parameter. *Schweiz. Z. Hydrol., 46, 2, 269 – 290.*

Grenár, A., 1960: Příspěvek k mineralogii, petrografii a paragenesi některých rudních ložisek v západní části SGR. *Geol. Práce, Zpr., 18, 49 – 64.*

Hak, J., Kvaček, M., & Pfeifferová, A., 1969: Mineralogicko-geochemický a genetický výskum ložiska Železník. *Sbor. geol. Věd, Technol. Geochem., 9, 131 – 159.*

Parkhurst, D. L., & Appelo, C. A. J., 1999: User´s guide to PHREEQC (version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U. S. G. S. *Wat. Resour. Investigations Report, 99-4259, 312.*

Radvanec, M., Grecula, P., & Žák, K., 2004: Siderite mineralisation of the Gemericum uperunit (Western Carpathians, Slovakia): review and revised genetic model. *Ore Geol. Reviews, 24, 241 – 266.*

Rapant, S., Bodiš, D., & Vrana, K., 1995: Geochemical atlas of Slovakia. Groundwater. *Bratislava, Geological Survey of Slovak Republic, 127 p.*

Zhang, Ch., 2011: Carbonate rock dissolution rates in different landuses and their carbon sink effect. *Chinese Science Bulletin. Special Topic: Geological Processees in Carbon Cycle Geochemistry.* www.springer.com/scp

Rukopis doručený 15. 4. 2012
Revidovaná verzia doručená 22. 5. 2012
Rukopis akceptovaný red. radou 16. 4. 2012

Hydrogeochemical modeling of weathering at the exploited Železník siderite deposit, Slovak Ore Mts. (Western Carpathians)

The mine waters of many abandoned ore mines in the Slovak Ore Mts. (eastern Slovakia region) bear such a high concentration of chemical elements, leached from the mineral deposits, that they pollute stream waters and sediments. Among various types of ore deposits, the siderite–sulphidic mineralization prevails there (Grecula et al., 1995). Hundreds of such deposits occur in the Slovak Ore Mts., with total mine water discharge approximately of 0.5 $m^3 \cdot s^{-1}$ (Bajtoš, 2004). Understanding of processes, governing the mine water chemistry evolution is needed for pollution management. Our study is objected on the Železník siderite deposit, abandoned in 1960 after the ore removal. Deposit has E–W direction and length approximately 2 km, reaching in inclination the depth 550 m (Grecula et al., 1995). Steeply inclined, 2–3 m thick ore body is a part of a big carbonatic interbed. Mineral assemblage (metasomatic and hydrothermal-vein parageneses) comprise of siderite and ankerite as main minerals (Hak et al., 1969). Pyrite prevails among sulphidic minerals, dispersed in the carbonate ore. Deposit lies in the low metamorphosed rocks of the Paleozoic age – mainly phyllites and porphyroids. Oxidation zone of deposit reaches to 200 m under the land surface. Ore body together with surrounding rocks is drained by mine works and all drained water is concentrated into the Dolnosirkovská adit. Measured mine water discharge from this adit varies between 5–10 $L \cdot s^{-1}$.

Chemical weathering of the Železník deposit, as well as evolution of its mine water chemistry was studied. Three times repeated hydrometric measurements of the mine water discharge, combined with laboratory analyses of the water chemistry, allowed to determine following daily rates of dissolved solids: 0.15–0.42 t Ca, 0.09–0.24 t Mg, 0.72–2.97 t SO_4, 0.12–0.18 t HCO_3, 0.02–0.14 t Fe and 0.03–0.24 t Mn. Using the PHREEQC computer code (Parkhurst and Appelo, 1999), modeling of chemical processes occurring in this underground abandoned mine was performed. Speciation modeling indicates that simple ions of Mg^{2+}, Ca^{2+}, Mn^{2+} prevail in the mine water, but its neutral sulphate complexes $[CaSO_4]^0$, $[MgSO_4]^0$, $[MnSO_4]^0$ occur in relatively high portion between 30 and 40 % (Tab. 2). Equilibrium modeling showed undersaturation of the mine water with respect to carbonate minerals and its saturation with respect to gypsum (Tab. 3). Inverse modeling was used to deduce the geochemical reactions that account for the change in chemical composition of the water along flow through the mine. Mole-balance models (Tab. 4) were calculated from chemical composition of both initial solution and mine water, using present knowledge on mineralogy of deposit. These models evaluate amounts of both weathered and precipitated minerals, together with consumed/released gas phases (Tab. 5). As inverse modeling calculations use only mineral stoichiometry, its results were checked by two manners of forward modeling (batch-reaction calculations), which involve thermodynamic constraints. The first one, named "mineral assemblage dissolution model", simulate dissolution of a group of minerals in chosen proportion of quantity. The phase assemblage $siderite^{Zlz}$ + $ankerite^{Zlz}$ + $calcite^{Zlz}$ + pyrite + atmospheric O_2 was allowed to react with the initial solution in four sets of quantity (see explanation of Fig. 2), obtained by inverse modeling (Tab. 4) as models DS1/1, DS2/2, DS2/4 and DS3/5. Simulation curves of these models show predicted element concentrations in the leachate (Figs. 2–6) and can be compared with measured ones. Simulated amounts of precipitated secondary mineral phases and CO_2 release, depicted versus corresponding SO_4 concentration in solution (Figs. 7a–d), allow to compare results of this models with results of inverse modeling (Tab. 5). Second manner of forward modeling – "mixing solution model" – assumes independent dissolution of siderite and ankerite, both combined with pyrite oxidation, and after that mixing of these leachates in various ratios. Pyrite oxidation was simulated as a stepwise reaction such that for every mole of reaction added, 2.0 moles of H^+, 2.0 moles of SO_4, and 0.5 moles of Fe were added to the model system. This stoichiometry involves an assumption that 50 % of Fe released by pyrite oxidation is attenuated by the formation of Fe oxihydroxide minerals. Concentrations of elements in the final solution are compared to measured data (Figs. 8–11). Predicted precipitation of secondary minerals and CO_2 release is depicted versus corresponding SO_4 concentration in solution (Figs. 13a–c). The results of forward modeling suggest that model reactions derived by inverse modeling are thermodynamically viable. Also weathered minerals, precipitates, consumed atmospheric O_2 and released CO_2 evaluated by different simulations procedures, are comparable in amounts (Tab. 6). Real process of mine water chemical composition genesis probably encompass both modeling approaches – dissolution of mineral assemblage and mixing of solutions. In some parts of deposit, the dissolution of carbonate mineral assemblage of variable composition can prevail. In other parts, dissolution of single carbonate mineral can dominate. In both cases, rate of carbonate mineral dissolution depends on partial pressure of CO_2 in mine atmosphere and on rate of pyrite oxidation. Accessibility of atmospheric oxygen governs rate of pyrite oxidation, together with microbial activity in mine.

Seasonal fluctuation of weathered minerals rate at study deposit is predicted, controlled probably by the precipitation regime/snow melting at the deposit area. Hydrogeochemical modeling estimates that dissolution of 0.5–7.5 t siderite $(Ca_{0.039}Fe_{0.709}Mg_{0.153}Mn_{0.099})CO_3$ together with 0.7–4.1 t ankerite $Ca_{1.05}(Fe_{0.27}Mg_{0.65}Mn_{0.03})(CO_3)_2$ per day release 0.5–2.4 t CO_2. Carbonate dissolution is enhanced by oxidation of 0.3–3.0 t pyrite, consuming 0.5–3.4 t of atmospheric O_2. At the same time, 0.7–6.4 t of amorphous $Fe(OH)_3$ precipitate, together with variable amount of gypsum and small amounts of calcite and dolomite. Taking into account the number of carbonate-

-sulphidic deposits, occurring in the Slovak Ore Mts., CO_2 mass flow rate due to its weathering can be assumed, reaching tens or first hundreds of kt CO_2 annually.

Results of this study show that despite of complexity of modeled processes, rate of chemical weathering of siderite deposit can be reliably modeled from chemical composition of mine water. Mass flow rate of dissolved primary minerals, precipitated secondary minerals, released or consumed gases is the measure of weathering rate. Results presented in this study can be refined on the base of further monitoring of mine water outflow, using more sophisticated modeling approach.

GeoVestník

Informačný spravodajca pre geológiu, baníctvo, úpravníctvo a životné prostredie

Príloha časopisu Mineralia Slovaca, roč. 44, č. 2

Obsah – Content

Mikrometrové rozmery minerálov hornín – je to ešte stále petrografia/petrológia? 1
Laudatio k 80. narodeninám RNDr. Albína Klinca, CSc. . . . 2
Jubileum doc. RNDr. Petra Wagnera, CSc. 4
RNDr. Dušan Bodiš, CSc. – šesťdesiatročný 5
Ján Kobulský – šesťdesiatročný 6
RNDr. Kamil Vrana, CSc. – šesťdesiatročný 9
Za Ing. Jurajom Knéslom 10

Mikrometrové rozmery minerálov hornín – je to ešte stále petrografia/petrológia?

Počas posledných dekád pribudli do laboratórneho štúdia minerálov a hornín nové zariadenia, ktoré umožnili aj zavádzanie nových metód (nielen) laboratórneho výskumu. Pre väčšinu nových zariadení v laboratóriách je charakteristické najmä spresňovanie výsledkov, znižovanie množstva materiálov potrebných na analytické stanovenia, nedeštruktívnosť analyzovaného objektu, ale aj rýchlosť analytických postupov vedúcich k získaniu reprodukovateľných výsledkov.

Ako názorný príklad inovácie uvediem jeden z modernejších (lebo dnes je to už obvyklé zariadenie laboratórií univerzít v západnej Európe a zámorských univerzít spracúvajúcich geovedné materiály) prístrojov používaných na stanovenie kvantitatívnych obsahov desiatok prvkov, a tým aj na určenie analyzovanej pevnej fázy. Uvedené zariadenie je najčastejšie označované ako „elektrónový mikroanalyzátor" (hovorovo „mikrosonda"), pričom ho dnes vyrábajú početné zahraničné koncerny v Japonsku, Číne, Rusku, Nemecku, Francúzsku, Anglicku, USA, Canade a pravdepodobne aj inde.

Zavedenie elektrónového mikroanalyzátora do praxe v geovedných laboratóriách a na univerzitách spôsobilo posunutie hraníc vzájomného odlíšenia dvoch fáz o 2 – 3 rády vyššie. Elektrónový mikroanalyzátor dokáže totiž odlíšiť a následne aj chemicky definovať fázy (minerály) s veľkosťou pod 10 μm (1 μm = 0,001 mm). Základným problémom pri aplikovaní výsledkov štúdia pomocou elektrónového mikroanalyzátora je skutočnosť, že klasická petrografia, ale následne ani petrológia s používaním prístrojov umožňujúcich takéto vysoké rozlišovanie nepočítali. V počiatkoch moderného štúdia minerálov a hornín sa geovedec spoliehal na svoje oči, neskôr aj na šošovku lupy či šošovky binokulárneho mikroskopu. Až omnoho neskoršie, prakticky v 19. storočí, medzi dostupné laboratórne vybavenie patril už aj polarizačný mikroskop. Základom pomenovania horniny je však stále pozorovanie jej uloženia v prírode, t. j. veľkosť telesa, jeho zrnitosť, vzťahy k okolitým horninovým komplexom, stupeň subsolidovej premeny v prípade eruptívnych hornín atď..

Konštatovaním vyššie uvedeného sa dostávame k zásadnej otázke: môžu byť minerály mikrometrových rozmerov, teda také, ktoré sú detegovateľné len elektrónovým mikroanalyzátorom (alebo podobným laboratórnym zariadením), použité pri tvorbe názvu horniny, resp. použité pri výpočte minerálneho zloženia horniny? Nemala by súčasne byť vyčlenená nová, rozmermi definovaná skupina minerálov, t. j. minerálov mikrometrových rozmerov? Takých, ktoré sú na základe množstva zaradené do skupiny akcesorických minerálov a navyše ich veľkosť je pod hranicou detekčného limitu najrozšírenejšieho laboratórneho prístroja používaného v geovedách – polarizačného mikroskopu.

Ako vznikajú minerály mikrometrových rozmerov?

Vyhranená skupina minerálov najčastejšie vzniká 1) rozpadmi tuhých fáz pri dekompresii, v prosese ktorých existujú „hotové" silikátové, ale aj rudné minerály už vykryštalizovaných hornín; 2) 2 fázy minerálne mikrometrových rozmerov často predstavujú produkt ekvilibrácie (lemy) dvoch susediacich minerálnych fáz v určitých pT podmienkach, zmenou ktorých dochádza k vzniku nových fáz, a to často mikrometrových rozmerov; 3) priamou kryštalizáciou z magmatickej taveniny, resp. vznikom počas metamorfných procesov; 4) v niektorých prípadoch ide o ich vznik v subsolidových pT podmienkach formovania sa minerálnej asociácie horniny.

Nezanedbateľným problémom zostáva zloženie takýchto minerálov s prevažne exotickými názvami, ktoré nám pri vhodne zvolenom softvéri poskytne mikroanalyzátor. Pritom

mikroskopické rozmery týchto fáz spravidla neumožňujú ich zaradenie (nielen časové, ale jednoznačne ani genetické) do štruktúry danej horniny.

Etické problémy štúdia minerálov mikrometrových rozmerov vyplývajú z dostupnosti analytických prístrojov a zariadení, ktorými sa takéto fázy dajú študovať, pre členov odbornej komunity. Ich dostupnosť je jednoznačne nerovnaká. Aj napriek skutočnosti, že takéto drahé zariadenia boli zakúpené zo štátneho rozpočtu, pracovníci nepôsobiaci v organizácii (inštitúcii), kde je prístroj deponovaný (lokalizovaný), musia za realizovanie stanovení odvádzať danej inštitúcii značné finančné čiastky. Navyše v tejto oblasti existuje ďalšia diskriminácia – Vedúci grantu (= opätovne peniaze zo štátneho rozpočtu) si zaplatí uvedené „služby“ z grantových peňazí. Smolu má ten výskumník, ktorý nevedie grant (napr. je už dôchodcom, hoci má veľmi aktuálnu, spoločensky žiadanú tému na riešenie), a teda nemá šancu zaplatiť si uvedené aplikácie drahých prístrojov. Patrí aj takáto prax medzi demokratické metódy aplikované v SR?

D. Hovorka

mineralia slovaca

Laudatio k 80. narodeninám RNDr. Albína Klinca, CSc.

Začiatkom marca sme si pripomenuli významné životné jubileum – osemdesiat rokov – popredného znalca kryštalinika Západných Karpát RNDr. Albína Klinca, CSc.. Narodil sa 6. marca 1932 v Brezne – v miestnej časti Halny. V rodnom meste navštevoval Štátne slovenské gymnázium a po maturite v roku 1951 pokračoval v štúdiu na Fakulte geologicko-geografických vied Univerzity Komenského (FGGV UK) v Bratislave, odbor geológia. Diplomovú prácu Geológia západnej časti Tatier v oblasti medzi Kôprovou a Tichou dolinou robil pod vedením neskoršieho profesora A. Goreka. Po vysokoškolskom štúdiu, ktoré úspešne ukončil v roku 1955, nastúpil do zamestnania v Geologickom ústave Dionýza Štúra (GÚDŠ) a zostal mu verný až do odchodu do dôchodku v roku 1994. FGGV UK sa neskôr opäť stala súčasťou Prírodovedeckej fakulty UK v Bratislave a jubilant tu získal aj titul doktor prírodných vied (RNDr.) a v roku 1969 vedeckú hodnosť kandidát geologicko-mineralogických vied (CSc.). Za celkový prínos k poznaniu kryštalinika Západných Karpát (ZK) mu bol Slovenskou komisiou pre vedecké hodnosti udelený kvalifikačný stupeň vedúci vedecký pracovník (1970). Ako jeden z významných pracovníkov GÚDŠ bol členom vedeckej rady, ústavnej rady, redakčnej rady edície geologických máp, ako aj komisie pre aprobáciu geologických máp.

Po návrate z vojenskej služby strávil terénnu sezónu 1956 na Hornej Nitre, kde zmapoval celé kryštalinikum pohoria Žiar, ako aj jadro Malej Magury. To by nebolo bývalo možné, keby pri terénnom výskume nebol využíval motocykel Jawa 250 „Perák“, avšak rozhodujúcim bolo najmä jeho osobné nasadenie, keďže v tom čase bol už ženatý a narodila sa mu dcéra. Nasledujúce roky strávil v Gemerskom rudohorí mapovaním kryštalinika v okolí Smolníka – Drnavy. Na konci druhej päťročnice (1956 – 1960), keď sa začalo pracovať na mapových listoch Revúca a Tisovec vo veporidnej časti ZK, vzniklo v GÚDŠ samostatné oddelenie kryštalinika, pričom jubilant bol jeho vedúcim až po opätovné spojenie s oddelením paleozoika v roku 1980 do oddelenia predmezozoických útvarov. Významnou mierou sa zaslúžil o organizovaný komplexný výskum kryštalinika Západných Karpát, najmä veporika. Zameral sa na systematický terénny výskum a geologické mapovanie rozsiahlych území kryštalinika a jeho obalu v mierkach 1 : 25 000 a 1 : 50 000. V jednej zo svojich najvýznamnejších prác (Klinec, 1966) načrtol novú koncepciu geologickej stavby veporika, spočívajúcu v alpínskom tektonickom násune magmatitov kráľovohoľského komplexu na metamorfity hronského komplexu, na základe výsledkov štruktúrnych vrtov KV-1 a KV-2. Zaoberal sa otázkami veku kryštalinika veporika a inicioval výskumy zamerané na jeho palynologickú stratifikáciu. Okrem toho, významný bol jeho podiel na zistení kriedového rochovského granitu, keďže spolupracoval s geofyzikmi na interpretácii tiažových a magnetických anomálií. Do takejto anomálie pri Rochovciach naprojektoval oporný štruktúrny vrt KV-3 hlboký 1 600 m, ktorým sa priamo navŕtal alpínsky nedeformovaný granit s prejavmi Mo-W mineralizácie. Neskôr, koncom 70. a začiatkom 80. rokov pracoval v kolektíve na riešenie surovinových problémov v súvislosti s výskumom scheelitovo-zlatonosného zrudnenia v Nízkych Tatrách. Geologicky zmapoval veľkú časť územia Slovenské rudohorie-stred a Nízke Tatry-východ, ktorú tlačou vydal GÚDŠ Bratislava (Klinec, 1976). Výsledky jeho prác sa využili aj pri zostavovaní geologických máp Nízkych Tatier (Biely et al., 1992) a Slovenského rudohoria-západnej časti (Bezák et al., 1999).

V rokoch 1967 – 1968 pôsobil ako expert v terénnej skupine česko-slovenskej geologickej expedície v Mongolsku, kde realizoval geologické mapovanie a ložiskovú prospekciu (v mierke 1 : 200 000) Erdenetuin masívu v komplexe Selenga v oblasti stredného toku rovnomennej rieky Selenga. Ako jeden z prvých si všimol prejavy sekundárnych mineralizácií nad meďnato-porfýrovým ložiskom, ktoré je od roku 1974 významným producentom Cu. Aktívne sa zúčastnil na medzinárodnej spolupráci GÚDŠ s Geologickým ústavom AV GrSSR v Tbilisi, a to pri spoločných geologických štúdiách Západných Karpát a Kaukazu.

Albín Klinec je rázovitá osobnosť slovenskej geológie, vyznačujúca sa používaním ľubozvučného horehronského dialektu (publikovaný je jeho príhovor k spolupracovníkom v zborníku v rámci Paleogeografického vývoja ZK), ale aj svojským prístupom pri skúmaní zákonov prírody, alebo pri prístupe k ľuďom vo svojom okolí. Mal vlastný spôsob pri identifikácii hornín v teréne, keďže do toho zapájal všetky zmysly – napríklad, ako znejú pod vibramami, aký tvar a akú farbu majú úlomky; podobne si tieto kamene aj svojsky pracovne pomenúval ako: „vrždiaky“ – kremence, „ťapkáče“ – svory, „zelenáky“ – amfibolity. Vždy bol otvorený a priamej povahy, nezaobalene vynášal postrehy a súdy, nemal problém kolegov, ktorí často opúšťali pracovisko počas pracovnej doby, označiť ako Bludár 1 a Bludár 2. Principiálne boli jeho postoje k politicko-ekonomickým udalostiam, neschvaľoval vstup „spriatelených armád“ v roku 1968, neskôr sa zasadil o príspevok k dietám pre terénnych pracovníkov ústavu, ale aj šoférsky príplatok pre geológov, ktorí si sami šoférovali auto v teréne. Dnes už málokto z mladších generácií vie, že bol dušou TJ Geológ – amatérskeho hokejového oddielu, zloženého so zamestnancov ústavu, ktorý hral Bratislavskú mestskú ligu, pričom zápasy sa hrali v neskorých nočných alebo v skorých ranných hodinách. Mladých kolegov dokázal otestovať komplexne, nielen z ich

teoretického podkutia, orientácie a postrehov v teréne, ale aj z toho, ako vedeli kosiť, ako chytili sekeru, prípadne iný pracovný nastroj, do ruky a tiež ako vedeli variť a spievať. Zažili sme s ním veľa veselých chvíľ v lone krásnej slovenskej prírody, ktorú má nadovšetko rád a strávil v nej väčšinu svojho života, najmä v chalupe pod Kráľovou hoľou. Jubilantovi prajú do ďalších rokov života pevné zdravie a iskru v očiach kolegovia z oddelenia kryštalinika.

Výsledky svojich výskumov oslávenec prezentoval vo viac ako 60 manuskriptoch správ v archíve Geofondu a uverejnil v nasledujúcich publikáciách; (v chronologickom poradí):

Klinec, A., 1958: Geologické poznámky o kryštaliniku Žiaru. *Geol. Práce, Zpr., 12, 86 – 91.*

Klinec, A., 1958: Kryštalinikum severovýchodnej časti Malej Magury. *Geol. Práce, Zpr., 12, 93 – 101.*

Klinec, A., 1958: Predbežná zpráva o mapovaní v centrálnej časti gemeríd medzi Smolníkom a Drnavou. *Geol. Práce, Zpr., 13, 126 – 131.*

Klinec, A., 1959: Stavba centrálnej časti gemeríd. *Geol. Práce, Zoš., 56, 75 – 126.*

Gubač, J., & Klinec, A., 1959: Nové výskyty gemeridných granitov a granitizovaných hornín centrálnej časti gemeríd. *Geol. Práce, Zoš., 56, 127 – 144.*

Klinec, A., 1960: Niekoľko poznámok k územiu na styku gemeríd s veporidami. *Geol. Práce, Zpr., 20, 89 – 96.*

Klinec, A., 1962: Vzťah kohútskeho kryštalinika ku gemeridám. *Geol. Práce, Zoš., 62, 91 – 96.*

Klinec, A., 1963: Základný geologický výskum kryštalinika veporíd. *Zpr. geol. Výsk. v Roku 1963, 11 – 12.*

Klinec, A., 1963: Zpráva o mapovaní kryštalinika veporíd západne od Fabovej hole. *Zpr. geol. Výsk. v Roku 1963, 12 – 13.*

Klinec, A., 1963: Zpráva o štúdiu alpínskej metamorfózy karpatského kryštalinika *Zpr. geol. Výsk. v Roku 1963, 17 s.*

Klinec, A., 1963: Niekoľko tektonických štruktúr kryštalinických masívov Západných Karpát a ich interpretácia. *Geol. Práce, Zpr., 28, 85 – 88.*

Klinec, A., & Vrána, S., 1963: Kryštalinikum v podloží neogénu východne od Šurian. *Geol. Práce, Zpr., 30, 81 – 86.*

Klinec, A., 1964: Základný výskum západokarpatského kryštalinika. *Zpr. geol. Výsk. v Roku 1964, 9 s.*

Klinec, A., 1964: Zpráva o mapovaní na liste Tisovec. *Zpr. geol. Výsk. v Roku 1964, 10 s.*

Klinec, A., 1966: K problémom stavby a vzniku veporského kryštalinika. *Zbor. geol. Vied Západ. Karpaty, Zv. 6, 7 – 28.*

Klinec, A., 1968: Poznámky k priebehu pohorelskej línie. *Geol. Práce, Spr., 46, 208 – 209.*

Klinec, A., & Vozár, J., 1971: Diskusia k tektonike veporidného kryštalinika chočskej jednotky & tzv. heľpianskeho mezozoika. *Geol. Práce, Spr., 56, 221 – 226.*

Klinec, A., 1971: Hlavné tektonické elementy východných veporíd. *Geol. Práce, Spr., 57, 105 – 109.*

Klinec, A., & Miko, O., 1973: Kryštalinikum v podloží neogénu JV od Veľkého Krtíša. *Geol. Práce, Spr., 61, 183 – 187.*

Klinec, A., Planderová, E., & Miko, O., 1975: Staropaleozoický vek hronského komplexu veporíd. *Geol. Práce, Spr., 63, 95 – 104.*

Hovorka, D. (ed.), Klinec, A., Konečný, V., Lexa, J., Snopko, L., Kubíny, D., Miko, O., Kahan, Š., Valach, J., Miháliková, A., Brlay, A., Karolus, K., Karolusová, K., Forgáč, J., & Dublan, Š., 1973: Core Mountains and Veporide Crystalline Complexes, Paleozoic Gemerides and Neovolcanics of Central Slovakia. *In: X. KBGA kongres, Bratislava Excursion C, 3 – 70.*

Andrusov, D., & Fusán, O. (eds.), Bystrický, J., Franko, O., Klinec, A., Köhler, E., Samuel, O., & Snopko, L., 1973: Stratigraphical Tectonical Characteristics of the Geological Structure of the West Carpathians Mts. *In: X. KBGA kongres, Bratislava Excursion P, 3 – 70.*

Klinec, A., 1974: Geologische Karte des östlichen Teiles der Veporiden. *Proceedings of the Xth CBGA congress, Section III – Tectonics, Bratislava, 204 – 208.*

Klinec, A., 1974: Stavba kryštalinika Západných Karpát. *In: Materiály z III. celoslovenskej geologickej konferencie, Bratislava, 103 – 107.*

Vass, D., Franko, O., Gazda, S., Husák, L., Kantorová, V., Klinec, A., Marková, M., & Ondrejíčková, A., 1976: Geologické výsledky vrtov MV-2, MV-I, VV-1, VV-5 (Ipeľská kotlina). *Region. Geol. Západ. Karpát, 6, 1 – 96.*

Klinec, A., 1976: Geologická mapa Slovenského rudohoria a Nízkych Tatier v mierke 1 : 50 000. *Bratislava, GÚDŠ, Vyd. D. Štúra.*

Snopko, L., Klinec, A., Filo, M., Plančár, J., & Šefara, J., 1977: Geologická analýza tiažových a magnetických anomálií v Slovenskom rudohorí. *In: Plančár, J. (ed.): Geofyzikálna a geologická interpretácia tiažových a magnetických anomálií v Slovenskom rudohorí. Západ. Karpaty, Sér. Geol., 2, 102 – 110.*

Plančár, J., Klinec, A., Snopko, L., Filo, M., & Šefara, J., 1977: Geofyzikálno-geologická analýza poruchových zón. *In: Plančár, J. (ed.): Geofyzikálna a geologická interpretácia tiažových a magnetických anomálií v Slovenskom rudohorí. Západ. Karpaty, Sér. Geol., 2, 111 – 116.*

Klinec, A., 1978: Príhovor k spolupracovníkom, opis kraja okolo Kráľovej hole. *In: Vozár, J. (ed.): Paleogeografický vývoj Západných Karpát. Konf., Symp., Sem. Bratislava, GÚDŠ, 21 – 22.*

Klinec, A., 1979: Geologické profily z niektorých oblasti Západných Karpat. *In: Maheľ, M. (ed.): Tektonické profily Západných Karpát. Konf., Symp., Sem. Bratislava, GÚDŠ, 167 – 176.*

Klinec, A., & Planderová, E., 1979: Paleozoické metamorfity z oblasti Hnúšte (Kohútska subzóna veporíd). *Geol. Práce, Spr., 72, 193 – 194.*

Klinec, A., Macek, J., Dávidová, Š., & Kamenický, L., 1980: Rochovský granit v styčnej zóne gemeríd s veporidami. *Geol. Práce, Spr., 74, 103 – 112.*

Klinec, A., 1980: Contiguous zone of Gemerides and Veporides enlightened by well near Rochovce. *Geol. Zbor. Geol. carpath., 31, 4, 537 – 540.*

Bezák, V., & Klinec, A., 1980: The new interpretation of tectonic development of the Nízke Tatry Mts. – West part. *Geol. Zbor. Geol. carpath., 31, 4, 569 – 575.*

Klinec, A., & Planderová, E., 1981: Otázka stratigrafickej jednotky série Hladomornej doliny. *Geol. Práce, Spr., 75, 7 – 13.*

Bezák, V., & Klinec, A., 1983: Poznámky ku stavbe kryštalinika v okolí Skalky (Nízke Tatry). *Bratislava, Miner. Slov., 15, 2, 151 – 155.*

Pulec, M., Klinec, A., & Bezák, V., 1983: Geológia a prospekcia scheelitovo-zlatonosného zrudnenia v oblasti Kyslej pri Jasení (vymedzenie perspektívnej zóny). *In: Pecho, J. (ed.): Scheelitovo--zlatonosné zrudnenie v Nízkych Tatrách. Konf., Symp., Sem. Bratislava, GÚDŠ, 11 – 37.*

Klinec, A., 1984: O veporidnej zóne. *Geol. Práce, Spr., 80, 161 – 168.*

Klinec, A., Biely, A., Halouzka, R., Lexa, J., Modlitba, I., Pulec, M., & Vozár, J., 1986: Geologická mapa v mierke 1 : 25 000 list Brezno. *Bratislava, GÚDŠ, Vyd. D. Štúra.*

Klinec, A., Pospíšil, L., Pulec, M., Feranec, J. & Stankoviansky, M., 1985: Identifikácia gravitačného príkrovu v Nízkych Tatrách pomocou kozmických snímok. *Mineralia Slov., 17, 6, 485 – 499.*

Zakovič, M., Hanzel, V., Kullman, E., Jetel, J., Franko, O., Bodiš, D., Polák, M., Gross, P., Potfaj, M., Gašparík, J., Vaškovský, I., Klinec, A., & Haško, J., 1990: Vysvetlivky k základnej hydrogeologickej mape ČSSR 1 : 200 000, list Žilina. *Bratislava, GÚDŠ, Vyd. D. Štúra, 7 – 146.*

Biely, A., Beňuška, P., Bezák, V., Bujnovský, A., Halouzka, R., Ivanička, J., Kohút, M., Klinec, A., Lukáčik, E., Maglay, J., Miko, O., Pulec, M., Putiš, M., & Vozár, J., 1992: Geologická mapa Nízkych Tatier 1 : 50 000. Regionálne geologické mapy Slovenska. *Bratislava, GÚDŠ, Vyd. D. Štúra.*

Biely, A., Bujnovský, A., Vozárová, A., Klinec, A., Miko, O., Halouzka, R., Vozár, J., Beňuška, P., Bezák, V., Hanzel, V., Kubeš, P., Liščák, P., Lukáčik, E., Maglay, J., Molák, B., Pulec, M., Putiš, M., & Slavkay, M., 1997: Vysvetlivky ku geologickej mape Nízkych Tatier 1 : 50 000. *Bratislava, GÚDŠ, Vyd. D. Štúra, 232 s.*

M. Kohút

Jubileum doc. RNDr. Petra Wagnera, CSc.

V auguste tohto roku sa v plnom pracovnom zápale dožíva významného životného jubilea jeden z popredných predstaviteľov slovenskej inžinierskej geológie doc. RNDr. Peter Wagner, CSc..

Je to príležitosť vhodná na zamyslenie sa nad jeho doterajším prínosom pre rozvoj inžinierskej geológie a stručné zhodnotenie jeho vedecko-výskumnej, odbornej, pedagogickej i organizačnej činnosti.

Peter Wagner sa narodil 16. augusta 1947 v Trenčíne. Po skončení základnej školy a po maturite na Strednej všeobecnovzdelávacej škole v Trenčíne bol prijatý v roku 1965 na Prírodovedeckú fakultu, kde v roku 1970 ukončil štúdium inžinierskej geológie a hydrogeológie s vyznamenaním. V tom istom roku nastúpil na internú vedeckú ašpirantúru na Geologickú fakultu Moskovskej štátnej univerzity. Pod vedením profesora G. S. Zolotarjeva sa venoval riešeniu problematiky svahových deformácií od zberu údajov v teréne cez zisťovanie vlastností hornín v laboratóriu až po modelovanie stability svahov. V roku 1973 po úspešnej obhajobe dizertačnej práce nastúpil na Katedru inžinierskej geológie a hydrogeológie Prírodovedeckej fakulty UK v Bratislave ako vedecký asistent. V roku 1987 bol habilitovaný na docenta inžinierskej geológie.

V rámci odbornej činnosti sa v prvých rokoch svojej praxe venoval aplikácii fyzikálneho modelovania v inžinierskej geológii a inžinierskogeologickému mapovaniu. Neskôr sa zameral na hodnotenie vlastností a fyzického stavu horninových masívov najmä v rámci projekčnej prípravy prečerpávacích vodných elektrární (PVE) na Slovensku. Pri riešení tejto problematiky sa stal aj zodpovedným riešiteľom úlohy štátneho programu technického rozvoja (ŠPTR): Hodnotenie a výber stavenísk prečerpávacej vodnej elektrárne (PVE). Získané poznatky využil pri príprave PVE Ipeľ, ale aj ďalších náročných stavieb, ako bola nová odvodňovacia štôlňa (NOŠ) Voznica, prieskumná štôlňa pre tunel Višňové, stabilizácia skalného svahu vo Vyhniach a ďalšie. Svoje skúsenosti súborne zhrnul v dvoch metodických príručkách pre prax, vydaných spoločnosťou INGEO Žilina. Venoval sa aj moderným metódam zisťovania vlastností hornín ako stavebného materiálu, čo aplikoval napr. pri prieskume pre vodné dielo Turček, pri hodnotení rúbaniny z prieskumných štôlní pre tunely Ovčiarsko, Višňové a ďalšie. Do roku 2006 pôsobil aj v technickej komisii Kameň a kamenivo pri Slovenskom ústave technickej normalizácie (SÚTN). Spolupracoval aj na projekte Inžinierskogeologický atlas hornín SR, riešenom Katedrou inžinierskej geológie PriF UK v Bratislave.

Rozsiahla bola aj jubilantova pedagogická činnosť. Prednášal a viedol cvičenia z profilujúcich predmetov, ako sú metódy inžinierskogeologického výskumu, inžinierska geológia v stavebníctve a iné, zúčastňoval sa terénnych cvičení a viedol kurz inžinierskogeologického mapovania. Vychoval 5 doktorandov a 24 diplomantov. V pedagogickej činnosti pokračoval aj po prechode na ŠGÚDŠ, predovšetkým na svojom pôvodnom pracovisku – na Prírodovedeckej fakulte – ako člen štátnicových komisií, člen odborných komisií pre inžiniersku geológiu a hydrogeológiu (PhD.) a výberovými prednáškami.

Od roku 1995 začal pracovať na čiastočný úväzok v oddelení inžinierskej geológie Geologického ústavu Dionýza Štúra, kam od 1. 3. 2002 prešiel na plný úväzok. V ŠGÚDŠ pracoval až do 30. marca 2011, pričom ako zodpovedný riešiteľ podsystému Zosuvy a iné svahové deformácie podstatne prispel k rozvoju monitorovacích metodík v rámci Čiastkového monitoringu geologických faktorov ŽP. Presadil prechod k inštalácii systémov včasného varovania na zosuvoch a k implementácii nových metód inžinierskogeologického prieskumu pri monitorovaní stability svahov (metóda impulzných elektromagnetických emisií, metódy digitálnej fotogrametrie a pod.).

Vedecká a odborná činnosť jubilanta je známa doma i v zahraničí. Bol aktívnym účastníkom zahraničných konferencií (Moskva, Turín, Atény, Salt Lake City a ďalšie) aj generálnym reportérom na viacerých celoštátnych podujatiach inžinierskej geológie (napr. Inžinierska geológia v energetickej výstavbe v Brne, Geológia a životné prostredie v Bratislave a iné). Bol spoluredaktorom zborníkov z medzinárodných konferencií o zosuvoch v Bratislave a v Prahe (Landslides, Balkema 1993, 2002) a zborníkov z konferencií Geológia a životné prostredie (Bratislava 1998, 2001, 2006). Jubilantovu rozsiahlu publikačnú činnosť predstavujú 2 monografie, 5 univerzitných skrípt, viac ako 100 publikácií v časopisoch a zborníkoch, z toho 25 v zahraničných. Bol riešiteľom a spoluriešiteľom viacerých výskumných a prieskumných úloh, ako aj odborných a expertných posudkov.

Významný je prínos jubilanta aj vo vedeckej a odbornej organizačnej činnosti. Bol redaktorom časopisu Acta Geologica Universitatis Comenianae, je členom Slovenskej geologickej spoločnosti, pričom bol niekoľko rokov aj členom jej výboru, a je členom Medzinárodnej asociácie pre inžiniersku geológiu a životné prostredie, kde bol dva roky tajomníkom slovenskej národnej skupiny. V Slovenskej asociácii inžinierskych geológov bol v rokoch 1993 až 2001 tajomníkom výboru a v rokoch 2001 až 2007 jeho predsedom. V tejto funkcii sa prejavil ako neúnavný organizátor odborných podujatí, ako sú konferencie a exkurzie, v rámci ktorých zabezpečoval aj kultúrnu zložku so svojou gitarou a pesničkami. Veľké úsilie venoval zabezpečovaniu legislatívnej činnosti pri príprave Geologického zákona a Stavebného zákona. V období rokov 2002 – 2007 bol tajomníkom vedeckej rady ŠGÚDŠ.

Milý Peter, pri významnom životnom jubileu Ti v mene členov Slovenskej asociácie inžinierskych geológov, celej geologickej obce, priateľov, ako aj vo svojom mene želám všetko najlepšie, najmä pevné zdravie a spokojnosť, a do ďalších rokov života veľa elánu a tvorivej invencie.

P. Liščák

Zoznam najvýznamnejších prác jubilanta

Adamcová, R., & Wagner, P., 1985: Rozhodovacia analýza pri výbere najvhodnejšej alternatívy usporiadania objektov PVE Malá Vieska. *Bratislava, Miner. Slov.,17, 535 – 548.*

Grünner, K., Durmeková, T., & Wagner, P., 2003: Exploitation possibilities of the tunnel´s muck as a construction material. *Slovak University of Technology, Slovak Journal of Civil Engineering, 11, 1, 11 – 25.*

Holzer, R., Wagner, P., & Liščák, P., 1990: Engineering geological factors limiting the hydrotechnical use of the upper part Hornad river. *Acta geol. geogr. Univ. Comen., Geol., 45, 265 – 276.*

Holzer, R., Laho, M., Wagner, P., & Bednarik, M., 2009: Inžinierskogeologický atlas hornín Slovenska. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 532 s.*

Iglárová, Ľ., Wagner, P., & Bartoš, P., 2005: Metódy monitoringu stabilitného stavu skalného zárezu na príklade lokality Demjata. *Bratislava, Miner. Slov., 37, 3, 413 – 415.*

Jelínek, R., & Wagner, P., 2007: Landslide hazard zonation by deterministic analysis (Veľká Čausa landslide area, Slovakia). *Landslides, 4, 4, 339 – 350.*

Klukanová, A., & Wagner, P., 2001: Geológia a životné prostredie.

In: Zbor. referátov Geológia a životné prostredie 2. Bratislava, ŠGÚDŠ, 145 s.

Kuvik, M., & Wagner, P., 2000: Hodnotenie kvality horninového prostredia pre účely výstavby podzemných diel a vzťahy medzi klasifikačnými systémami. *Tunel, 9, 1, 16 – 20.*

Matejček, A., Ondrášik, R., & Wagner, P., 1990: Granits, their heterogeneity and site investigation in the West Carpathians. *Proceedings 6th International Congress of IAEG. Amsterdam, IAEG, 1 957 – 1 962*

Matula, M., Ondrášik, R., Holzer, R., Wagner, P., Hrašna, M., & Letko, V., 1983: Metódy inžinierskogeologického výskumu. *Bratislava, Univerzita Komenského, 1. vyd., 224 s.*

Matula, M., Ondrášik, R., Wagner, P., & Matejček, A., 1986: Pumped storage schemes in tectonically deteriorated rock masses. *Proceedings 5th International Congress of IAEG, Buenos Aires, 199 – 205.*

Matula, M., Cuninka, M., Fussgänger, E., Groma, B., Hrašna, M., Hyánková, A., Ingr, M., Jesenák, J., Letko, V., Matys, M., Mencl, J., Modlitba, I., Ondrášik, R., Polakovič, D., Plch, J., Slivovský, M., Ťavoda, O., & Wagner, P., 1988: Moderné metódy hodnotenia horninového a životného prostredia, 1. diel. *Bratislava, Univerzita Komenského, 284 s.*

Matula, M., Wagner, P., Gajdoš, V., & Doležalová, M., 1988: Moderné metódy hodnotenia horninového a životného prostredia, 2. diel. *Bratislava, Univerzita Komenského, 162 s.*

Matula, M., Holzer, R., Hrašna, M., Hyánková, A., Letko, V., Ondrášik, R., Vlčko, J., & Wagner, P., 1989: Atlas inžinierskogeologických máp SSR 1 : 200 000. Bratislava, Katedra inžinierskej geológie PriF UK, 1. vyd., 12 mapových listov + 1 legendový list.

Novosad, S., & Wagner, P., 1993: Landslides. 7th Int. Conference and Field Workshop, 7th ICFL ´93, Rotterdam, Balkema, 320 p.

Ondrášik, R., & Wagner, P., 1985: Praktikum inžinierskej geológie. *Bratislava, Univerzita Komenského, 1. vyd., 200 s.*

Ondrejka, P., & Wagner, P., 2008: Analýza vývoja stabilitného stavu zosuvného územia. Geológia a životné prostredie 2008. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 132 – 137.*

Petro, Ľ., Frankovská, J., Matys, M., Wagner, P., Bednárik, M., Grünner, K., Holzer, R., Hrašna, M., Hulla, J., Jánová, V., Kováčik, M., Kováčiková, M., Liščák, P., Modlitba, I., Ondrášik, M., Ondrášik, R., Pauditš, P., Slivovský, M., & Vlčko, J., 2008: Inžinierskogeologický a geotechnický terminologický slovník. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 465 s.*

Rybář, J., Stemberk, J., & Wagner, P., 2002: Landslides – Proceedings of the First European Conference on Landslides. Lisse, Balkema Publishers, First European Conference on Landslides, Praha, 24. – 26. 6. 2002, CZ.

Vlčko, J., Wagner, P., & Rychlíková, Z., 1980: Spôsob hodnotenia stability svahov väčších regionálnych územných celkov. *Bratislava, Miner. Slov., 12, 3, 275 – 284.*

Vlčko, J., & Wagner, P., 1998: Inžinierskogeologické príčiny porušenia kláštora Skalka. *Bratislava, Miner. Slov., 30, 5, 387 – 394.*

Wagner, P., 1995: Engineering Geological Assessment of Rock Mass Quality Based on the Study of Discontinuities. *Acta geol. Univ. Comen., 50, 11 – 19.*

Wagner, P., 1996: Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku. *MŽP SR, OÚ ŽP Prievidza, GS SR, SAIG, 186 s.*

Wagner, P., & Durmeková, T., 1998: Geológia a životné prostredie. *In: Zbor. referátov Geológia a životné prostredie 1. Bratislava, ŠGÚDŠ, 137 s.*

Wagner, P., Iglárová, Ľ., & Petro, Ľ., 2000: Methodology and some results of slope movement monitoring in Slovakia. *Bratislava, Miner. Slov., 32, 359 – 367.*

Wagner, P., & Pauditš, P., 2002: Complete evaluation of landslide activity. *Geol. Carpath., 53, special issue, nestr.*

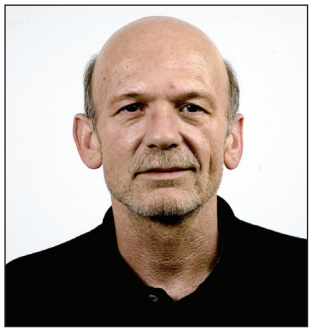
Wagner, P., Klukanová, A., & Frankovská, J., 2006: Geológia a životné prostredie. *In: Zbor. abstraktov Geológia a životné prostredie 5. Bratislava, ŠGÚDŠ, 36 s., CD nosič.*

Wagner, P., Ondrejka, P., & Klukanová, A., 2007: Aktuálne problémy monitorovania svahových deformácií na Slovensku. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2006. Praha, ČGS, 167 – 170.*

Wagner, P., Ondrejka, P., Iglárová, Ľ., & Fraštia, M., 2010: Aktuálne trendy v monitorovaní svahových pohybov. *Bratislava, Miner. Slov., 42, 2, 229 – 239.*

Zolotarev, G. S., Uchov, S. B., Kozlovskij, L. L., Wagner, P., Root, P. E., & Semjonov, V. V., 1973: Opyt ocenki ustojčivosti sklonov složnogo geologičeskogo strojenia metodom konečnych elementov i eksperimentami na modeljach. *Vyd. Moskovskej univerzity, 277 s.*

RNDr. Dušan Bodiš, CSc. – šesťdesiatročný



Ani sa nám nechce veriť, že významný slovenský hydrogeochemik a environmentálny geológ *RNDr. Dušan Bodiš, CSc.,* sa v týchto dňoch (6. 5. 2012) v plnej tvorivej sile dožíva šesťdesiatky. Je to určite významné jubileum, ktoré si my, jeho kolegovia, priatelia, žiaci a celá geologická pospolitosť, s úctou musíme pripomenúť. Musíme si pripomenúť nezmazateľnú stopu, ktorú nám zanechal v hydrogeochémii, hydrogeológii a environmentálnej geológii za 35 rokov svojej odbornej činnosti. Tá bola spätá so Štátnym geologickým ústavom Dionýza Štúra, do ktorého dr. Bodiš nastúpil v roku 1977 po ukončení vysokoškolského štúdia na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave, po absolvovaní štúdia geológie – špecializácie geochémia, a kde pracuje až dodnes. Geochémia ho v najrôznejšej podobe sprevádzala celý život. Je naozaj málo svetových „hydrogeochemikov", ktorí mali taký široký diapazón svojej činnosti. Dr. Bodiš sa z hydrogeochemického hľadiska venoval zrejme všetkým druhom vôd, vyskytujúcich sa na Slovensku a vo svete.

Vo svojej bohatej a činorodej praxi sa venoval napr. zrážkovým vodám, geotermálnym vodám, minerálnym vodám a soľankám, obyčajným podzemným vodám, povrchovým vodám, no nazrel aj do problematiky odpadových vôd a ich čistenia a úpravy. Okrem vôd rôznorodej genézy a využitia sa zaoberal aj ďalšími aspektmi environmentálnej geochémie. Hlavne problematikou riečnych sedimentov, kritických záťaží, chemických časovaných bômb, vývojom hlbinného úložiska rádioaktívnych odpadov, sekvestrácie CO_2, environmentálno-geochemickou problematikou pôd a hornín. Takmer neexistuje odnož vednej disciplíny – environmentálna geochémia, s ktorou by sa dr. Bodiš nebol stretol pri svojej výskumnej činnosti.

Nemalo by žiadny zmysel uvádzať menovite jeho vedeckú a publikačnú činnosť. Tá je v „SCOPUSE", v GEOFONDE a ďalších na tento účel zriadených databázach. Kto chce, všetky jeho práce, odozvy alebo citácie si v nich nájde.

Snáď len uvediem zo 3 – 4 jeho práce, o ktorých viem, že je na ne dr. Bodiš najviac hrdý: Geochemické atlasy – časti Podzemné vody, Riečne sedimenty, Atlas geotermálnej energie Slovenska, Pozaďová koncentrácia vybraných ukazovateľov v povrchovej a podzemnej vode Slovenska.

RNDr. Dušan Bodiš, CSc., má však nezabudnuteľný podiel aj na výchove celého radu pokračovateľov vedných disciplín geochémie, hydrogeológie a príbuzných vedných disciplín. Vychoval a bol vedúcim a školiteľom desiatich diplomantov, troch ašpirantov a doktorandov,

bol školiteľ špecialista, príp. konzultant viac ako desiatkam ďalších postupových prác. Nezanedbateľná je aj jeho organizačná, resp. riadiaca činnosť. Bol napr. vedúcim riešiteľom viac ako 30 národných a medzinárodných projektov. Takmer 20 rokov viedol oddelenie hydrogeochémie, resp. geochémie životného prostredia v ŠGÚDŠ. Viac ako 25 rokov je členom (bol aj predsedom) vedeckej rady ŠGÚDŠ. Bol taktiež členom Slovenskej geologickej rady a členom mnohých ďalších domácich aj medzinárodných komisií a rád. Dlhé roky bol napr. členom komisií pre udeľovanie „CSc.“ resp. „PhD.“ vo vedných odboroch geochémia a hydrogeológia. Bol dlhoročným členom redakčnej rady časopisu „Mineralia Slovaca“, „Slovak Geological Magazine“ a ďalších periodík. Je tiež členom vedeckej rady Prírodovedeckej fakulty Univerzity sv. Cyrila a Metoda v Trnave, člen IMK pri MŽP SR, člen komisie pre schvaľovanie množstiev podzemných vôd MŽP SR a člen Štátnej kúpeľnej komisie MZ SR.

Bol mnohonásobným oponentom najrôznejších druhov odborných prác. Podľa môjho odhadu napísal najmenej 1 000 rôznych posudkov na rozličné práce – diplomové práce, publikácie, dizertačné práce, monografie, záverečné správy a pod..

Určite sa mu dostalo v doterajšom živote aj viacero ocenení a vyznamenaní.

Spomeniem len tie najdôležitejšie: Medaila GÚDŠ pri príležitosti 40. výročia Ústavu, Medaila GÚDŠ pri príležitosti 50. výročia Ústavu, Medaila ŠGÚDŠ pri príležitosti 60. výročia Ústavu, Cena ministra ŽP SR (r. 2000) ako členovi autorského kolektívu „Geochemických atlasov“, Cena ministra ŽP SR (r. 2000) ako členovi SGR, Najlepší pracovník rezortu geológie (r. 2010).

Milý Dušan,

prajem Ti v mene nás všetkých – v mene celej geologickej pospolitosti – do ďalších rokov života pevné zdravie a končím s prianím: ešte voľačo urob, ešte voľačo napíš, aby sme z Tvojho elánu a erudície mohli aj naďalej čerpať.

S. Rapant

Ján Kobulský, šesťdesiatročný

Ak ste ho stretli v tomto období, sotva by Vám napadlo uvažovať o jeho veku. Priznám sa, ani mne, hoci som s ním strávil v teréne, v bani, či v kancelárií azda najviac času zo všetkých jeho kolegov. Zhodou okolností aj moja mama sa narodila 4. apríla, a tak som si jeho dátum narodenia vždy pripomenul, aj tento rok. Telefonicky som mu zablahoželal, ale to, koľko má rokov, ma ani nezaujímalo, veď on je ešte mládenec. Pri jeho poďakovaní za blahoželanie – vraj k šesťdesiatinám – som stíchol, a asi na dosť dlhú chvíľu, lebo ticho v telefóne prerušil jubilantov hlas – „Paľo, si tam?“ Takže, je to pravda, že

Ján Kobulský sa narodil 4. apríla 1952 v Kapušanoch v Prešovskom okrese. Vyrastal v dedinskom prostredí spolu s dvoma sestrami a dvomi bratmi, pod prísnym dohľadom otca Vojtecha a matky Heleny, rodenej Gazdačkovej. Základnú školu navštevoval v rodnej obci, SVŠ v Prešove. Jeho ďalšiu životnú cestu usmernil rodinný príbuzný Ján Slávik odporúčaním, aby univerzitné štúdium absolvoval na Prírodovedeckej fakulte UK, kde si zvolil odbor základná geológia.

Po ukončení štúdia v roku 1975 nastúpil do zamestnania v Geologickom prieskume, n. p., Spišská Nová Ves, Geologická oblasť Košice. Košiciam zostal verný doteraz, ale po reorganizácii geologických inštitúcií od 1. 9. 1994 do 31. 12. 1995 prestúpil spolu so spolupracovníkmi (P. Grecula, Ľ. Gazdačko, Z. Németh, D. Návesňák, M. Radvanec, B. Bartalský, R. Balážová ..., ktorí riešili projekt Atlas geomáp SGR) do Geocomplexu, a. s., Bratislava, pracovisko Košice. Od 1. 1. 1996 pôsobí v novozriadenej Geologickej službe SR, neskôr (r. 2000) premenovanej na Štátny geologický ústav D. Štúra, Bratislava (Regionálne centrum Košice).

Odbornú prax začal v oblasti Zemplínskych vrchov, kde sa ako spoluriešiteľ zaoberal vzťahom výskytu rudných ložísk a uhlia ku geologickej stavbe. Neskôr bol hlavným riešiteľom projektov zhodnocujúcich známy výskyt antracitu v oblasti Veľká Tŕňa, ktoré boli ukončené ZS s výpočtom zásob antracitu (zistil, že je to výnimočné ložisko s možnosťou využitia antracitu aj na špeciálne neenergetické účely).

Hoci sa aj v súčasnosti vracia ku geologickej problematike Zemplínskych vrchov, jeho najväčšie aktivity boli v Spišsko-gemerskom rudohorí, keď sa stal členom ambiciózneho kolektívu, formujúceho sa v tom čase v Geologickom prieskume. Problematike regionálnej geológie, ale najmä stratigrafie a litológie staršieho paleozoika sa venoval v rámci úloh SGR-východ, SGR vysokotermálna mineralizácia, SGR-geofyzika a SGR prognózy rudných surovín. Poznatky a skúsenosti z tohto štúdia uplatnil a prehĺbil v období od 1980 do 1988 pri vyhľadávaní polymetalických stratiformných rúd v oblasti Mníšek nad Hnilcom – Prakovce. Podrobne rozpracoval stratigrafickú pozíciu zrudnenia, jeho väzbu na litologické typy a prognózne kritériá na vyhľadávanie tohto typu zrudnenia v SGR.

Jubilant svoje skúsenosti s riadením banských a vrtných prác získané pri predchádzajúcich úlohách uplatnil v období rokov 1989 až 1994, keď sa stal zodpovedným riešiteľom úloh najvyšších etáp banského ložiskového prieskumu magnezitového ložiska Košice.

Od roku 1994 spolupracoval na projekte Atlas geomáp SGR a od roku 1997 až do ukončenia tejto úlohy v roku 2001 bol jej zodpovedným riešiteľom. Cieľom projektu bolo prehodnotenie a počítačové spracovanie geologických, geochemických a geofyzikálnych údajov získaných počas realizácie projektu SGR geofyzika, ich prehodnotenie a interpretácia. Výstupom bol súbor geologických, geochemických a geofyzikálnych máp SGR v mierkach 1 : 10 000, 1 : 25 000 a 1 : 50 000. V tomto období (1997 – 2000) jubilant riešil aj u nás zriedkavú problematiku – geologickú pozíciu hornín s vyšším obsahom turmalínu, ich genézu a metodiku vyhľadávania turmalínovcov a následne možnosti využitia týchto hornín s vysokým obsahom bóru na efektívne zníženie rádioaktívneho žiarenia v rozličných prevádzkach. V oblasti Zlatej Idky po prvýkrát overil výhradné ložisko tejto suroviny na Slovensku.

Podieľal sa aj na riešení veľkých regionálnych úloh (2000 až 2006): Tektogenéza sedimentárnych panví Západných Karpát, Metalogenetické hodnotenie územia Slovenskej republiky, Veporikum – hodnotenie geologicko-surovinového potenciálu oblasti Slovenského rudohoria a možnosti jeho využitia pre rozvoj regiónu a iné. V období 2004 – 2006 sa podieľal na výskume vonkajšieho flyšu a po ložiskovo-geologickom mapovaní zostavoval mapu M 1 : 50 000 a Vysvetlivky k mape v regióne Nízke Beskydy-stredná časť.

Od začiatku roka 2006 do ukončenia projektu Geologická mapa Spišsko-gemerského rudohoria (2009) mal ako zodpovedný riešiteľ na starosti organizáciu zostavenia mapy v mierke 1 : 50 000 (ktorá bola napokon vydaná po dlhšom čase – r. 2009 – tlačou), ako aj zostavenie Vysvetliviek ku geologickej mape Spišsko-gemerského rudohoria (2011). Zostavenie a vydanie geologickej mapy SGR a vysvetliviek k mape bolo vyvrcholením mnohoročných aktivít početného kolektívu, ktorý v tejto geologickej oblasti pracoval. Náš jubilant bol popredným a veľmi aktívnym členom tohto kolektívu.

Po zostavení Geologickej mapy SGR jubilantove aktivity v SGR výrazne ochabli, a tak sa pestrá paleta jeho odborných prác mohla,

resp. musela od roku 2007 do 2011 rozšíriť opäť o výskum paleogénnych súvrství vonkajšieho flyšu formou terénneho mapovania a zostavenia Geologickej mapy Nízke Beskydy-stredná časť v mierke 1 : 50 000 a príslušných Vysvetliviek ku geologickej mape. V tom období sa podieľal aj na zostavení Vysvetliviek a Prehľadnej geologickej mapy SR v mierke 1 : 200 000.

V ostatnom čase sa vrátil do geologického regiónu, kde svoju odbornú kariéru začal – aktualizoval Geologickú mapu Zemplínskych vrchov a pracuje na zostavení Geologicko-náučnej mapy Zemplínskych vrchov v mierke 1 : 50 000.

Okrem spomenutých činností, ktoré isto nie sú kompletné, si rád spomínam na jeho pôsobenie na poste technického redaktora v redakcii Mineralia Slovaca, predovšetkým na jeho precíznosť, dôslednosť a vytrvalosť. Tieto vlastnosti sú pre neho charakteristické a spolu s húževnatosťou, ochotou a úprimným priateľstvom k spolupracovníkom dokresľujú a zvýrazňujú osobnosť jubilanta. Ešte spomeniem jednu jeho črtu. V súčasnosti hľadáme informácie predovšetkým na internete, no ak by ste nemali počítač pri ruke, obráťte sa na Janka, je to kráčajúca kronika. Mám pocit, že všetky spomenuté vlastnosti sú pre neho občas aj príťažou a prekážkou venovať viac času, ktorý nebadane, no veľmi rýchlo uteká, sebe i rodine.

Stíšiť sa v množstve aktivít je mojím odporúčaním, a isto aj mnohých tvojich priateľov a kolegov. Prajem Ti, ako aj v mene všetkých, ktorí Ťa poznajú, aby si ešte veľa ďalších rokov prežil v plnom zdraví, pohode a spokojnosti.

P. Grecula

K blahoželaniu sa pripája aj redakcia Mineralia Slovaca.

Zoznam významných publikácií a záverečných správ

Grecula, P., Dianiška, I., Ďuďa, R., Hurný, J., Kobulský, J., Kusák, B., Malachovský, P., Matula, I., & Rozložník, O., 1977: Geológia, tektonika a metalogenéza východnej časti Spišsko-gemerského rudohoria. Záverečná správa úlohy SGR-východ, Cu – rudy a komplexné zhodnotenie, VP. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 390 s.*

Grecula, P., & Kobulský, J., 1980: Magnezit v staršom paleozoiku pri Mníšku nad Hnilcom. *Bratislava, Miner. Slov., 12, 287 – 288.*

Grecula, P., Együd, K., Bacsó, Z., Ďuďa, R., Fabián, M., Halečka, J., Hodermarský, J., Kobulský, J., Planderová, E., Vlasák, M. S., & Seliga, J., 1981: Zemplínsky ostrov, polymetalické rudy a uhlie, VP. Záverečná správa. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 178 s.*

Grecula, P., Kucharski, R., Fabián, M., Hodermarský, J., Kobulský, J., & Malachovský, P., 1981: Komplexná geologicko-geofyzikálna interpretácia východnej časti Spišsko-gemerského rudohoria. Záverečná správa úlohy SGR-geofyzika, VP. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 301 s.*

Malachovský, P., Fabian, M., Hodermarský, J., Kobulský, J., Kozáč, J., Mihalič, A., Novoveský, M., Radvanec, M., Seliga, J., Ščerbáková, A., Vlasák, M., Dianiška, I., Kamenický, J., & Matula, I., 1983: Spišsko-gemerské rudohorie – vysokotermálna mineralizácia, Sn, W, Mo rudy, VP. Záverečná správa. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 248 s.*

Turanová, L., Turan, J., & Kobulský, J., 1983: Charakteristika uhličitanovej polohy z vrtu MPV-8 pri Mníšku nad Hnilcom. *Bratislava, Miner. Slov., 15, 363 – 372.*

Grecula, P., Hodermarský, J., Hudáček, J., Kobulský, J., Malachovský, P., Návesňák, D., Peterec, D., Radvanec, M., Rozložník, O., Tréger, M., & Turzák, A., 1984: Spišsko-gemerské rudohorie – prognózy rudných nerastných surovín, VP. Záverečná správa. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 119 s.*

Kobulský, J., & Návesňák, D., 1987: Stratiformná polymetalická mineralizácia gemerika – jej hodnotenie na základe poznatkov z oblasti Mníšek nad Hnilcom. In: Geologická stavba Západných Karpát vo vzťahu k prognózam nerastných surovín (Zborník referátov z konferencie II. geologické dni Jána Slávika v dňoch 7. – 8. apríla 1987. Zostavil: Grecula, Együd, Varga), 121 – 128.

Kobulský, J., Návesňák, D., Gerhart, S., Grecula, P., Derco, J., Faryad, S. W., Hodermarský, J., Lajčák, Š., Mrosko, J., Papšíková, M., Petercová, A., Radvanec, M., Sasák, L., Valko, P., Varga, M., Vozár, J., Turan, J., & Turanová, L., 1988: Mníšek – Prakovce, polymetalické stratiformné rudy, VP. Záverečná správa. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 165 s.*

Kobulský, J., Dubéci, B., Gerhart, S., Varga, M., Bacsó, Z., Horská, A., Lajčák, Š., Tužinská, M., Zacharovová, J., & Zlinská, A., 1989: Veľká Tŕňa-okolie, antracit a čierne uhlie, VP. Záverečná správa. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 134 s.*

Kobulský, J., Hrinko, V., Molčányi, M., Pikula, D., Petercová, A., Seliga, J., & Varga, I., 1991: Košice-Banisko, magnezit, 5. horizont JV PoP. Záverečná správa. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 98 s.*

Kobulský, J., Hrinko, V., Molčányi, M., Pikula, D., Petercová, A., Seliga, J., & Varga, I., 1991: Košice-Medvedza, magnezit, 5. horizont JV PoP, Košice. Medvedza, magnezit, 5. horizont JV ŤP. Záverečná správa. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 92 s.*

Kobulský, J., Dubéci, B., Gerhart, S., Horská, A., Horský, S., Hrinko, V., Pacindová, N., Seliga, J., Stupák, J., Faryad, S. W., Peterec, D., Petrík, J., & Tužinská, M., 1992: Veľká Tŕňa – II. podetapa, antracit, VP. Záverečná správa. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív Geologický prieskum, 149 s.*

Radvanec, M., Grecula, P., Návesňák, D., & Kobulský, J., 1993: Zonálnosť submarínno-exhalačnej mineralizácie oblasti Mníška nad Hnilcom a Prakoviec, staršie paleozoikum gemerika. *Bratislava, Miner. Slov., 25, 249 – 262.*

Grecula, P., Abonyi, A., Abonyiová, M., Antaš, J., Bartalský, J., Bartalský, B., Dianiška, I., Drnzík, E., Ďuďa, R., Gargulák, M., Gazdačko, Ľ., Hudáček, J., Kobulský, J., Lörincz, L., Macko, J., Návesňák, D., Németh, Z., Novotný, L., Radvanec, M., Rojkovič, I., Rozložník, L., Rozložník, O., Varček, C., & Zlocha, J., 1995: Ložiská nerastných surovín Slovenského rudohoria. Zv. 1. *Bratislava, Miner. Slov., Monogr., 829 s.*

Návesňák, D., & Kobulský, J., 1996: Stratiformné polymetalické zrudnenie na Jalovičom vrchu v Spišsko-gemerskom rudohorí. *Bratislava, Miner. Slov., 28, 237 – 254.*

Németh, Z., Gazdačko, Ľ., Návesňák, D., & Kobulský, J., 1997: Polyphase tectonic evolution of Gemericum (the Inner Western Carpathians) outlined by review of structural and deformational data. *In: Grecula, P., Hovorka, D., & Putiš, M. (eds.): Geological evolution of the Western Carpathians. Bratislava, Miner. Slov. – Monogr., 215 – 224.*

Gazdačko, Ľ., Németh, Z., Kobulský, J., Kováčik, M., Jančura, M., Michalko, M., Bajtoš, P., Pramuka, S., & Cicmanová, S., 1998: Komplexné zhodnotenie utlmovaných ložísk Smolník-Jedľovec, Ráztoky-Gretla. Záverečná správa. *Manuskript. Bratislava, archív GS SR, 400 s.*

Kobulský, J., Kovaničová, Ľ., Repčiak, M., Gazdačko, Ľ., & Bačová, N., 2000: Turmalínovce, VP, stav k 31. 12. 2000. Záverečná správa. *Manuskript. Bratislava, archív GS SR, 97 s.*

Kobulský, J., Gazdačko, Ľ., Grecula, P., Hojnoš, M., Kandrík, M., Kováčik, M., Németh, Z., Pramuka, S., Radvanec, M., Szalaiová, V., & Tréger, M., 2001: Atlas geomáp Spišsko-gemerského rudohoria. Záverečná správa z regionálneho geologického výskumu. *Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 605 s.*

Kobulský, J., 2004: Sedimentologický a litostratigrafický výskum mladopaleozoických súvrství Zemplínskych vrchov. Čiastková záverečná správa úlohy. *In: Elečko, M., et al. (ed.): Tektogenéza sedimentárnych panví Západných Karpát. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 104 s.*

Kobulský, J., & Grecula, P., 2004: Litologická a litostratigrafická charakteristika mezozoických súvrství gemerika v území Kojšova, Opátky a Košickej Belej. Čiastková záverečná správa úlohy. *In: Elečko, M., et al. (ed.): Tektogenéza sedimentárnych panví Západných Karpát. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 27 s.*

Grecula, P., & Kobulský, J., 2004: Litologická charakteristika paleozoických súvrství gemerika, ich faciálne a geotektonické pozadie. Čiastková záverečná správa úlohy. *In: Elečko, M., et al. (ed.): Tektogenéza sedimentárnych panví Západných Karpát. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 135 s.*

Kobulský, J., 2005: Nový návrh litostratigrafického členenia vrchného karbónu v Zemplínskych vrchoch. *Bratislava, Miner. Slov., 37, 222 – 226.*

Kobulský, J., 2005: Litológia a litostratigrafia mezozoika na území Kojšov – Opátka – obal gemerika? *Bratislava, Miner. Slov., 37, 1, Geovest., 8 – 9.*

Grecula, P., & Kobulský, J., 2005: Litostratigrafia staršieho paleozoika gemerika: volovská skupina. *Bratislava, Miner. Slov., 37, 205 – 208.*

Gazdačko, Ľ., & Kobulský, J., 2005: Vzťah vrstvovitosti, puklín a strižných pásov v južnej časti magurského príkrovu (oblasť Novej Kelče a Košaroviec). *Bratislava, Miner. Slov., 37, 301 – 303.*

Bóna, J., Kováčik, M., & Kobulský, J., 2005: Výskyt obrnených závalkov v recentnom fluviálnom prostredí pri Mrázovciach (východné Slovensko). *Bratislava, Miner. Slov., 37, 335 – 337.*

Kobulský, J., Grecula, P., Jacko, S., st., Jacko, S., ml., & Farkašovský, R., 2005: Paleozoikum a mezozoikum východného Slovenska: vybrané transekty (exkurzia A), 5 – 34. *In: Žec, B., Repčiak, M., Kobulský, J., & Petro, Ľ. (eds.): Exkurzný sprievodca ku kongresu Slovenskej geologickej spoločnosti, Zemplínska šírava-Medvedia hora, 20. – 23. 6. 2005. CompuGraph, Košice 2005, 138 s.*

Žec, B. (ed.), Gazdačko, Ľ., Kováčik, M., Kobulský, J., Bóna, J., Pristaš, J., & Potfaj, M., 2006: Geologická mapa Nízkych Beskýd--stredná časť, v mierke 1 : 50 000. *Bratislava, ŠGÚDŠ.*

Kobulský, J., Grecula, P., Gazdačko, Ľ., Németh, Z., Hraško, Ľ., Novotný, L., Maglay, J., Pramuka, S., Radvanec, M., Kucharič, Ľ., Bajtoš, P., Záhorová, Ľ., & Konečný, P., 2006: Geologická mapa Spišsko-gemerského rudohoria v mierke 1 : 50 000. Záverečná správa. *Bratislava, ŠGÚDŠ, 78 s.*

Hraško, Ľ., Madarás, J., Németh, Z., Demko, R., Filová, I., Gazdačko, Ľ., Ivanička, J., Kobulský, J., Kováčik, M. (Ba), Kováčik, M. (Ke), Kucharič, Ľ., Maglay, J., Nagy, A., Pristaš, J., Siman, P., & Šimon, L., 2006: Hodnotenie geologicko-surovinového potenciálu Slovenské rudohorie-západ a možnosti jeho využitia pre rozvoj regiónu. Záverečná správa. *Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ.*

Mello, J., & Ivanička, J. (red. listu), Grecula, P., Janočko, J., Jacko, S., st., Elečko, M., Pristaš, J., Vass, D., Polák, M., Vozár, J., Vozárová, A., Hraško, Ľ., Kováčik, M., Bezák, V., Biely, A., Németh, Z., Kobulský, J., Gazdačko, Ľ., Madarás, J., & Olšavský, M., 2008: Prehľadná geologická mapa Slovenskej republiky, mierka 1 : 200 000, mapový list 37 – Košice. *Bratislava, Vyd. MŽP SR.*

Kaličiak, M., Elečko, M., & Konečný, V. (red. listu), Vass, D., Pristáš, J., Potfaj, M., Kobulský, J., Vozárová, A., Jacko, S., ml., & Polák, M., 2008: Prehľadná geologická mapa Slovenskej republiky, mierka 1 : 200 000, mapový list 38 – Michalovce. Aprobácia mapy 1. 12. 2008. *Bratislava, Vyd. MŽP SR.*

Bezák, V., (ed.), Elečko, M., Fordinál, K., Ivanička, J., Kaličiak, M., Konečný, V., Kováčik, M. (Ke), Maglay, J., Mello, J., Nagy, A., Polák, M., Potfaj, M., Biely, A., Bóna, J., Broska, I., Buček, S., Filo, I., Gazdačko, Ľ., Grecula, P., Gross, P., Havrila, M., Hók, J., Hraško, Ľ., Jacko, S., ml., Jacko, S., st., Janočko, J., Kobulský, J., Kohút, M., Kováčik, M. (Ba), Lexa, J., Madarás, J., Németh, Z., Olšavský, M., Plašienka, D., Pristaš, J., Rakús, M., Salaj, J., Siman, P., Šimon, L., Teťák, F., Vass, D., Vozár, J., Vozárová, A., & Žec, B., 2008: Prehľadná geologická mapa Slovenskej republiky 1 : 200 000. *Bratislava, MŽP SR, Št. Geol. Úst. D. Štúra.*

Sýkora, M., Méres, Š., & Kobulský, J., 2008: Nový nález konglomerátov gosauskej skupiny (?) na Kurtovej skale. *In: Jurkovič, Ľ., Ďurža, O., & Slaninka, I. (eds.): Geochémia 2008. Zbor. vedeckých príspevkov z konferencie. Bratislava, ŠGÚDŠ – PriF UK, 143 – 146.*

Grecula, P. (ed.), Kobulský, J., Gazdačko, Ľ., Németh, Z., Hraško, Ľ., Novotný, L., & Maglay, J., 2009: Geologická mapa Spišsko--gemerského rudohoria, mierka 1 : 50 000. *Bratislava, Vyd. MŽP SR.*

Bezák, V. (ed.), Biely, A., Broska, I., Bóna, J., Buček, S., Elečko, M., Filo, I., Fordinál, K., Gazdačko, Ľ., Grecula, P., Hraško, Ľ., Ivanička, J., Jacko, S., st., Jacko, S., ml., Janočko, J., Kaličiak, M., Kobulský, J., Kohút, M., Konečný, V., Kováčik, M. (Ba), Kováčik, M. (Ke), Lexa, J., Madarás, J., Maglay, J., Mello, J., Nagy, A., Németh, Z., Olšavský, M., Plašienka, D., Polák, M., Potfaj, M., Pristaš, J., Siman, P., Šimon, L., Teťák, F., Vozárová, A., Vozár, J., & Žec, B., 2009: Vysvetlivky k Prehľadnej geologickej mape Slovenskej republiky 1 : 200 000. *Bratislava, ŠGÚDŠ, Vyd. D. Štúra.*

Žec, B. (ed.), Gazdačko, Ľ., Kováčik, M., Kobulský, J., Bóna, J., Potfaj, M., Pristaš, J., Žecová, K., Derco, J., Kucharič, Ľ., Marcin, D., Petro, Ľ., Zlinská, A., Siráňová, Z., Vaněková, H., Buček, S., & Konečný, P., 2011: Vysvetlivky ku geologickej mape Nízkych Beskýd-stredná časť v mierke 1 : 50 000. *Bratislava, ŠGÚDŠ, Vyd. D. Štúra.*

Grecula, P., Kobulský, J. (eds.), Gazdačko, Ľ., Németh, Z., Hraško, Ľ., Novotný, L., Maglay, J., Pramuka, S., Radvanec, M., Kucharič, Ľ., Bajtoš, P., & Záhorová, Ľ., 2011: Vysvetlivky ku geologickej mape Spišsko-gemerského rudohoria v mierke 1 : 50 000. *Bratislava, ŠGÚDŠ, Vyd. D. Štúra, 308 s.*

Kováčik, M. (ed.), Bóna, J., Gazdačko, Ľ., Kobulský, J., Maglay, J., & Kučera, M., 2011: Geologická mapa Nízkych Beskýd-západná časť v mierke 1 : 50 000. *Bratislava, ŠGÚDŠ.*

Kobulský, J., Elečko, M., Gazdačko, Ľ., Maglay, J., Pramuka, S., Zlinská, A., & Žecová, K., 2011: Geologická stavba zemplinika v Zemplínskych vrchoch. Čiastková záverečná správa. *In: Hraško, Ľ., et al.: Aktualizácia geologickej stavby problémových území SR. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 141 s.*

Radvanec, M., Kobulský, J., Gazdačko, Ľ., & Konečný, P., 2011: Geologická pozícia glaukofanických bridlíc a peridotitov na lokalitách Danková, Jaklovce, Radzim a Šugovská dolina. Čiastková záverečná správa. *In: Hraško, Ľ., et al.: Aktualizácia geologickej stavby problémových území SR. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ, 73 s.*

Németh, Z., Radvanec, M., Kobulský, J., Gazdačko, Ľ., Putiš, M., & Zákršmidová, B., 2012: Allochtonous position of the Meliaticum in the North-Gemeric zone (Inner Western Carpathians) as demostrated by paleopiezometric data. *Bratislava, Miner. Slov., 44, 1, 57 – 64.*

RNDr. Kamil Vrana, CSc. – šesťdesiatročný

Začiatkom tohto roka sa dožil životného jubilea, 60 rokov, významný slovenský geológ – hydrogeochemik, hydrogeológ a environmentálny geológ RNDr. Kamil Vrana, CSc.

Dr. Kamil Vrana sa narodil 7. 2. 1952 v Trenčíne, ale ako sám zvykne hovoriť, pochádza z Košeckého Podhradia (okres Ilava). Stredoškolské štúdium s maturitou absolvoval na SVŠ v Ilave (1967 – 1970) a vysokoškolské štúdium geológie na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave (1970 až 1975). Vyštudoval vedný odbor geochémia a patril medzi prvých absolventov tohto odboru. Následne na Katedre geochémie PriF UK pôsobil ako asistent a zároveň interný ašpirant (1976 – 1980). Vedeckú ašpirantúru absolvoval pod vedením Ing. Stanislava Gazdu, CSc., a v roku 1980 sa zamestnal v Geologickom ústave Dionýza Štúra v Bratislave, na vtedajšom oddelení hydrogeochémie, kde nastúpil ako samostatný vedecký pracovník. Dá sa povedať, že od „piky" sa postupne vypracoval na vedúceho oddelenia hydrogeochémie (1983 – 1987), vedúceho odboru environmentálnej geológie (1987– 1990) a bol posledným riaditeľom GÚDŠ menovaným na základe konkurzu (1994 – 1995). V roku 1996 (od 1. apríla) odišiel z Geologickej služby Slovenskej republiky (bývalého GÚDŠ) do komerčnej sféry a stal sa jedným z najúspešnejších podnikateľov v geológii.

Počas pôsobenia v GÚDŠ riešil ako zodpovedný riešiteľ alebo spoluriešiteľ celý rad výskumných úloh geochemického a hydrogeologického zamerania. Dúfam, že mi to Kamil odpustí, ale menovite spomeniem len jeden jeho najvýznamnejší projekt, a to: ***Výskum geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky*** (od roku 1991), ktorý v ŠGÚDŠ pokračuje v rôznej podobe až do súčasnosti (mapy geofaktorov). V rámci tohto projektu, najmä jeho samostatnej časti ***Geochemický atlas Slovenskej republiky*** (6 dielov a 6 monografií: Podzemné vody, Pôdy, Riečne sedimenty, Lesná biomasa, Prírodná rádioaktivita a Horniny), boli vytvorené určite najvýznamnejšie diela slovenskej environmentálnej geochémie 20. storočia. Nie nadarmo sa hovorí, že 90. roky 20. storočia na Slovensku sú roky „geochemických atlasov". Týmto projektom sa Dr. Kamil Vrana nezmazateľne zapísal do histórie slovenskej environmentálnej geochémie. Za toto súborné dielo bol ocenený ako koordinátor a riešiteľ kolektívu *Cenou ministra ŽP SR „Za prínos v starostlivosti o životné prostredie"* (rok 2000). „Projekt", ktorý mal aj významný medzinárodný kontext, bol databázou, inšpiráciou a podnetom pre ďalšie nasledujúce projekty a výskumné úlohy, ktoré sú v ŠGÚDŠ riešené aj v súčasnosti. Bez tohto projektu by sa na Slovensku nemohli začať napr. úlohy riešiace pozaďové hodnoty pre povrchové aj podzemné vody Slovenska, dobrý stav útvarov podzemných vôd v zmysle Rámcovej smernice pre vodu (nová EU legislatíva) a pod., alebo aj medicínsko-geochemický výskum na Slovensku a celý rad projektov s parciálnym významom. Pre skutočne veľký počet ich menovite uvádzať nebudem.

V roku 1996, keď K. Vrana odišiel do komerčnej sféry v geológii (veľmi dobre sa pamätám na jedno večerné posedenie v „Budvari" pred jeho odchodom), som mu hovoril a tvrdil: „riaditelia prichádzajú a odchádzajú" a ty máš pred sebou dve cesty: 1. vydržať v štátnej (verejnej) službe, kde si určite vytvoríš svoj priestor; 2. stať sa úspešným podnikateľom v geológii.

Dr. Kamil Vrana si vybral cestu stať sa podnikateľom v geológii a od roku 1996 ju aj veľmi úspešne napĺňa. Od tohto roka bol zodpovedným riešiteľom a spoluriešiteľom viac ako tristo medzinárodných, celoslovenských, regionálnych a čiastkových projektov, štúdií, posudkov a pod. Ich plný zoznam si každý čitateľ tejto „zdravice" môže nájsť v GEOFONDE, HYDROFONDE, SCOPUSE a v iných databázach. Menovite uvediem snáď len niekoľko najvýznamnejších:

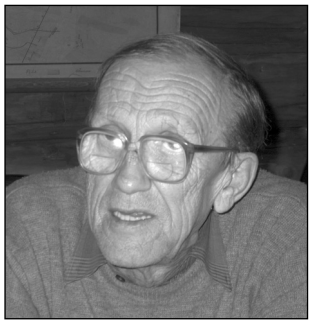
V rámci medzinárodných projektov ako koordinátor projektu riešil pre SHMÚ v období 1996 – 1997 PHARE projekt „Zlepšenie monitoringu kvality vôd", ako zástupca projektového manažéra riešil dánsko-slovenský projekt ministerstiev životného prostredia "Remediácia znečistených zemín a podzemných vôd", ktorý sa stal jedným z východísk pre riešenie problematiky environmentálnych záťaží. Koordinoval tiež PHARE projekt pre Úrad vlády SR a Rakúsko „Koncept manažmentu povrchových a podzemných vôd v hraničnom regióne" (2000 – 2001) a i.

Hydrogeochemické práce riešil napr. v Pezinských a Devínskych Karpatoch, v oblasti Jelšava, Lubeník-Hnúšťa, v regióne Hornej Nitry, pre veľkozdroje pitnej vody Rusovce-Ostrovné Lúčky-Mokraď, Čunovo, Jelka, Sedláčkov ostrov a Dechtice. V rokoch 1997 – 2005 bol pre MŽP SR a GEOCOMPLEX, a. s., zodpovedným riešiteľom projektu „Systém zisťovania a monitorovania škôd na životnom prostredí vznikajúcich banskou činnosťou". V posledných rokoch sa venuje hlavne riešeniu problematiky ochranných pásiem a výpočtov množstiev minerálnych a liečivých prírodných vôd (Trenčianske Teplice, Lúčky, Bojnice, Nimnica, Turčianske Teplice, Kláštor pod Znievom a Socovce, Maštinec), resp. aj samostatných geotermálnych vrtov (Sielnica, Zelená voda).

Vážený pán RNDr. Kamil Vrana, CSc., dovoľ mi vo svojom mene a v mene celej slovenskej geologickej pospolitosti zapriať Ti pri príležitosti Tvojho životného jubilea pevné zdravie a veľa tvorivých síl v prospech slovenskej geológie.

S. Rapant

Za Ing. Jurajom Knéslom



„Metalogenetické predpoklady prítomnosti mineralizácie Au na území Slovenska sú priaznivé, čoho najpresvedčivejším dôkazom je bohatá história drahokovového baníctva. Koľko zlata je ešte možné na Slovensku vyťažiť? – odpovedať môžeme asi takto: Toľko, koľko naša spoločnosť uzná za potrebné."

Tieto slová napísal do knihy Zlato na Slovensku Ing. Juraj Knésl. Dňa 24. apríla v ranných hodinách nás tento významný ložiskový geológ Slovenska a neúnavný propagátor prieskumu drahokovových mineralizácií v Západných Karpatoch – zvlášť v ich neovulkanických oblastiach – navždy opustil.

Narodil sa 28. 7. 1936 v Olomouci. Vyštudoval gymnázium v Novém Jičíně. Následne študoval na Geologickej fakulte VŠB v Ostrave, ktorú úspešne ukončil v júni 1959 a získal titul „Ing."

Do vtedajšieho národného podniku GP Turčianske Teplice, na pracovisko Banská Štiavnica nastúpil 7. 7. 1959. Od roku 1962 až do konca marca 1994 pracoval v Geologickom prieskume, š. p., Spišská Nová Ves – v geologickej oblasti Banská Bystrica a v období rokov 1980 – 1990 bol jej vedúcim. Od roku 1966 zastával v Geologickej oblasti Banská Bystrica odbornú funkciu vedúceho skupiny zameranej na vyhľadávanie ortuťových rúd v oblasti stredoslovenských neovulkanitov. Počnúc rokom 1975 sa jeho skupina začala orientovať aj na problematiku drahokovovej mineralizácie – najskôr v okolí Kremnice, postupne na celom území Slovenska. Od 1. 4. 1994 do 30. 6. 1997 bol spoluzakladateľom a spoločníkom firmy AuREX TRADE, s. r. o., Banská Bystrica. Od 1. 7. 1997 pracoval spolu so svojou manželkou samostatne (KKÁ – DSGS – Disseminated Slovak Gold Consulting, Banská Bystrica).

V začiatkoch odbornej činnosti sa Ing. Juraj Knésl venoval nerudným surovinám (Badín, Skalica – andezit, Tisovec – vápenec). Hlavnou problematikou jeho odbornej činnosti však boli rudné nerastné suroviny, ktorým zasvätil celú svoju profesionálnu kariéru. Výsledkom jeho prác zameraných na ortuťovú mineralizáciu bolo vyhľadanie a overenie monominerálneho ložiska ortuťových rúd Veľká studňa na malachovskom ortuťonosnom poli (1979). Toto ložisko bolo úspešne exploatované vtedajším n. p. Rudné bane v období 1981 – 1992. Koncom 70. rokov minulého storočia inicioval a viedol spracovanie štúdie *Slovensko – Au* (1980) širokým kolektívom autorov. Štúdia obsahovala inventarizáciu ložísk Au, jeho výskytov a indícií na území Slovenska a prognózy mineralizácie Au v SR. Stala sa podnetom na projektovanie a realizáciu rozsiahleho hĺbkového i pripovrchového vyhľadávacieho prieskumu na zlato-strieborné rudy v priestore kremnického rudného poľa (1990).

Od roku 1988 sa spolu so svojou manželkou venoval hlavne problematike netradičných typov mineralizácií Au na území Slovenska (typ Carlin, porfýrová mineralizácia Au, mineralizované zlatonosné zóny). Štúdia o prognózach týchto rúd v SR bola vypracovaná so stavom k 31. 3. 1995. V úlohách *Tisovec – Pohronská Polhora, Au* (1996) a *Považský Inovec, Au* (1997) rozpracovával teoretické poznatky a prognózy netradičných typov mineralizácií Au. Od roku 1996 pracoval prevažne pre firmu Golden Regent Resources Slovakia, Banská Bystrica (hodnotené lokality napr. Ruská Bystrá, Krátke, Ozdín, Breznička, Uderiná, Píla, Veľké Pole). Ako odborný konzultant pracoval neskôr aj pre mnohé ďalšie zahraničné spoločnosti (napr. Outokumpu, Placer Dome, EMED), ktoré na území Slovenska vykonávali geologické práce súvisiace s vyhľadávacím prieskumom zameraným na drahokovové mineralizácie. Pre slovenskú firmu GEO--TECHNIC-Consulting vypracoval v roku 2004 projekt na vyhľadávací prieskum rúd Au na ložisku Brehov. Návrhom prieskumného územia a vypracovaním podkladov na prieskum spolu s J. Lexom v roku 2006 stáli pri objave porfýrového ložiska Au Detva-Biely vrch, prieskum bol uskutočnený spoločnosťou EMED.

V rokoch 1972 a 1974 – 1975 bol členom geologickej expedície v Zambii (vyhľadávanie rúd Cu). Zúčastnil sa krátkych akvizičných ciest do Egypta a Sudánu (1984). V roku 1992 absolvoval mesačný študijný pobyt na ložiskách Au impregnačných typov v západných štátoch USA.

Ing. Juraj Knésl sa v posledných 30 rokoch svojho života venoval problematike drahokovových mineralizácií so zameraním na vyhľadávanie netradičných typov mineralizácií Au pre Západné Karpaty. A ako sa neskôr ukázalo, malo to veľký význam.

Aj keď Ing. Juraj Knésl nebol profesionálnym pedagógom, svojou činnosťou a príkladným vzťahom k problematike vyhľadávania drahokovových mineralizácií inšpiroval mnohých mladších ložiskových geológov. Svoje vedomosti a praktické skúsenosti veľmi rád odovzdával iným kolegom pri práci v teréne.

Odchodom Ing. Juraja Knésla stratila slovenská geologická pospolitosť významného ložiskového geológa. Zostáva však jeho odkaz a jeho vízie o zlatom potenciáli na území Slovenska.

Česť jeho pamiatke.

P. Bačo a *F. Bakos*

Inštrukcie autorom

Všeobecné inštrukcie

1. Rukopis v dvoch exemplároch a originály obrázkov musia byť zhotovené podľa inštrukcií pre autorov časopisu *Mineralia Slovaca.* V opačnom prípade redakcia článok vráti autorovi pred jeho zaslaním recenzentovi.
2. Rozsah článku je najviac 30 rukopisných strán včítane literatúry, obrázkov a vysvetliviek. Uverejnenie rozsiahlejších článkov musí schváliť redakčná rada a ich zaradenie do tlače bude zdĺhavejšie.
3. Články sa publikujú v slovenčine, češtine alebo v angličtine. Uprednostňuje sa angličtina. Abstrakt a skrátené znenie článku napísaného v slovenčine alebo češtine (resumé) musia byť v angličtine.
4. Text článku spracovaný v editore MS Word PC zašlite redakcii v dvoch vytlačených exemplároch s riadkovaním 2 a tiež na CD. Obrázky a tabuľky musia byť vytlačené samostatne vo formáte nepresahujúcom formát A4 a na CD uložené v samostatných súboroch.
5. Súčasne s článkom treba redakcii poslať autorské vyhlásenie, že nijaká časť rukopisu ešte nebola publikovaná a originálne sú aj obrázky. Kópie obrázkov z iných publikácií musia byť legalizované získaním práva na publikovanie. Vyhlásenie musí obsahovať meno autora (autorov), akademický titul a trvalé bydlisko.

Text

1. Úpravu textu aj zoznamu literatúry treba prispôsobiť súčasnej úprave článkov v časopise.
2. Text sa má písať s dvojitou linkovou medzerou (riadkovačom 2), na strane má byť približne 30 riadkov, šírka riadka je asi 60 znakov.
3. Abstrakt stručne sumarizujúci hlavné výsledky článku môže mať najviac 200 slov a nemá obsahovať citácie.
4. Text má mať úvod, charakteristiku (stav) skúmaného problému, použitú metodiku práce, zistené údaje a poznatky, diskusiu, záver a zoznam literatúry.
5. V článku treba zreteľne odlíšiť východiskové údaje od interpretácií.
6. Údaje z tabuliek a obrázkov v texte neopakovať, iba ich komentovať a odvolať sa na príslušnú tabuľku, resp. obrázok.
7. Text treba členiť nadpismi – hlavné písať do stredu a vedľajšie na ľavý okraj strany. Použiť možno najviac tri druhy hierarchických nadpisov a podľa dôležitosti ich vyznačiť ceruzkou na ľavom okraji strany: 1 – najvyšší, 2 – nižší, 3 – najnižší.
8. V texte sa uprednostňuje citácia v zátvorke, napr. (Dubčák, 1987; Hrubý et al., 1988), pred formou ... podľa Dubčáka (1987). Krstné (rodné) mená sa ani v jednom prípade neuvádzajú.
9. Umiestnenie obrázkov a tabuliek sa označí ceruzkou na ľavom okraji rukopisu. Nie je vhodné, aby text v editore MS Word obsahoval vložené obrázky.
10. Grécke písmená použité v texte treba identifikovať na ľavom okraji slovom (napr. sigma).
11. Pri písaní treba dôsledne odlišovať pomlčku od spojovníka.
12. Symboly, matematické značky, názvy skamenelín, slová a pod., ktoré sa majú vysádzať kurzívou, autor v rukopise podčiarkne vlnovkou.
13. Články napísané v slovenčine alebo češtine musia obsahovať anglický preklad názvu, abstraktu, kľúčových slov, resumé a popisov k obrázkom a tabuľkám.

Ilustrácie

1. Ilustrácie musia byť vysokej kvality, majú dokumentovať a vysvetľovať text. **Musia sa pripravovať s vedomím, že budú zmenšené na šírku stĺpca (81 mm) alebo strany (170 mm).** Tomu treba prispôsobiť ich veľkosť a formu, resp. zoskupenie. Vhodne upravený obrázok (veľkosť písmen, hrúbka čiar) možno reprodukovať aj v pomere 1 : 1, ale kresby (perovky) odporúčame urobiť väčšie, ako budú vytlačené. Perovky majú byť zhotovené sýtym čiernym tušom. Úmerne k predpokladanému zmenšeniu treba zvoliť hrúbku čiar, veľkosť písma, čísiel, hustotu šrafovania a pod. Obrázky treba popisovať šablónou, nie voľnou rukou. Optimálna veľkosť písma v časopise po zmenšení je pri veľkých písmenách a číslach 2 mm. Ak je článok v slovenčine, popisy v obrázkoch musia byť v slovenčine, ak je v angličtine, aj ilustrácie musia byť v angličtine. Originál (pred zmenšením) môže mať najviac 340 x 210 mm. **Maximálny rozmer ilustrácie vytlačený v časopise je 170 x 230 mm.** Skladacie ilustrácie treba podľa možnosti úplne vylúčiť.

Obrázky urobené na počítači musia byť vytlačené laserovou tlačiarňou v kamerálnej podobe pri vysokom rozlíšení (min. 300 DPI) a musia sa poslať spolu s textom na CD. **Pri počítačovej tvorbe obrázkov redakcia odporúča pracovať s programami vo vektorovom zobrazení (napr. Corel Draw).** Veľmi tenké čiary (tzv. vlasovej hrúbky) sa nesmú používať ani na obrysy, ani vo výplni. Vylučuje sa používanie softvérovej výplne (napr. v Corel Draw). Výplne v obrázkoch sa musia skladať zo samostatne vysádzaných objektov. Vhodné nie sú ani rastrové výplne.
2. Všetky ilustrácie včítane fotografií musia obsahovať grafickú (metrickú) mierku.
3. Zoskupené obrázky, napr. fotografie a diagramy, musia byť pripravené (nalepené) ako jeden obrázok a jeho časti treba označiť písmenami (a, b, c atď.). Takto zoskupené obrázky sa citujú ako jeden obrázok.
4. Fotografie musia byť ostré, čiernobiele, kontrastné a vyhotovené na lesklom papieri. Je vhodné, aby sa pre tlač zmenšovali najmenej o 50 %. **Pri zasielaní fotografií vo forme počítačových súborov (vo formáte JPG alebo TIF) sa požaduje vysoké rozlíšenie – minimálne 600 DPI.**
5. Na všetkých obrázkoch sa na okraji (na fotografiách na zadnej strane) ceruzkou uvedie číslo obrázka a meno autora a na fotografiách sa šípkou označí aj orientácia obrázka.
6. Na mapách a profiloch treba voliť jednotné vysvetlivky, ktoré sa uvedú pri prvom obrázku.
7. Názvy obrázkov s vysvetlivkami treba priložiť k textu na osobitnom liste v slovenčine a v angličtine.
8. Všetky ilustrácie sa musia citovať v texte.
9. Ilustrácie sa zasielajú redakcii už imprimované. Pri korektúre ich už nemožno opravovať a dopĺňať.
10. Farebné ilustrácie vysokej kvality možno publikovať po dohode s vydavateľstvom.
11. Redakcia si vyhradzuje právo vrátiť autorovi grafické prílohy na opravu po jazykovej úprave, resp. požiadať o ich nahradenie za prílohy v požadovanej kvalite.

Tabuľky

1. Tabuľky treba písať na osobitný list. Ich rozsah a vnútornú úpravu limituje maximálna šírka tlačového stĺpca (81 mm) alebo strany (170 mm). **Rozsiahlejšie tabuľky sa neprijímajú.**
2. Údaje sa zaraďujú do tabuľky, iba ak sa nedajú uviesť v texte.
3. Vertikálne čiary sa v tabuľkách nepoužívajú.
4. Tabuľky sa číslujú priebežne a uverejňujú sa v číselnom poradí.

Literatúra

1. V zozname literatúry sa v abecednom poradí uvádza iba literatúra citovaná v danom článku. Citácia označená „v tlači“ sa môže uviesť v zozname, len ak je z citovaného článku aspoň stĺpcová korektúra. „Osobná informácia“ sa cituje iba v texte (Zajac, os. informácia, 1988).
2. Spôsob uvádzania literatúry
Knižná publikácia
Gazda, L. & Čech, M., 1988: Paleozoikum medzevského príkrovu. *Alfa, Bratislava, 155.*
Časopis
Vrba, P., 1989: Strižné zóny v komplexoch metapelitov. *Miner. Slov., 21, 135 – 142.*
Zborník
Návesný, D., 1987: Vysokodraselné ryolity. *In: Romanov, V. (red.): Stratiformné ložiská gemerika. Špec. publ. Slov. geol. spol., Košice, 203 – 215.*
Manuskript
Radvanský, F., Slivka, B., Viktor, J. & Srnka, T., 1985: Žilné ložiská jedľoveckého príkrovu gemerika. Záverečná správa z úlohy SGR-geofyzika. *Manuskript. Spišská Nová Ves, archív ŠGÚDŠ, 28.*
3. Pri článku viac ako dvoch autorov sa v texte cituje iba prvý autor s dodatkom et al., ale v zozname literatúry sa uvádzajú všetci.
4. Ak sa v článku (v knižnej publikácii) cituje názov, údaje a pod. iného autora, ktorý nie je spoluautorom publikácie, v texte sa cituje vo forme (Gerda in Kubka, 1975), ale v zozname literatúry sa uvádza iba Kubka, J., 1975.

V prípade nejasností si možno vyžiadať podrobnosti e-mailom na adrese mineralia.slovaca@geology.sk, alena.wolfova@geology.sk, alebo zoltan.nemeth@geology.sk

OBSAH – CONTENT

PÔVODNÉ ČLÁNKY – ORIGINAL PAPERS

Baliak, F. & Stróżek, I.
50 rokov od katastrofálneho zosuvu v Handlovej
50 years after catastrophic landslide in Handlová (Slovakia)

Petro, Ľ., Liščák, P. & Ondrejka, P.
Assessment of selected active landslides in Slovakia in 2011
Hodnotenie vybraných aktívnych zosuvov na Slovensku v roku 2011

Wagner, P., Ondrejka, P., Balík, D. & Žilka, A.
Hodnotenie výsledkov monitorovacích meraní na zosuvoch
Evaluation of monitoring measurements results on landslides

Durmeková, T. & Ondrášik, R.
Nerovnorodosť a rozmerový efekt pri stanovovaní pevnostno-deformačných vlastností hornín
Heterogeneity and scale effect in determination of rock strength

Ekkertová, P. & Greif, V.
Využitie digitálnej fotogrametrie pri štruktúrnej analýze skalných svahov
The use of digital photogrammetry for structure analysis of the rock slopes

Weis, K., Koščová, M., Molokáč, M. & Domarackỳ, D.
Using the possibilities of aerial photogrammetry for the research of quarry enlargement
Využitie možností fotogrametrie pri výskume priestorového zväčšovania povrchových dobývok

Fraštia, M.
Laserové verzus optické skenovanie skalných masívov
Laser vs. optical scanning of rock massifs

Leiter, A.
Vliv odchylek geometrického uspořádání a tvaru vrtů na tepelné vlastnosti geotermálního systému
An effect of variations in geometrical arrangement and the shape of boreholes on thermal properties of the geothermal system

Stojkovová, D., Porubská, D., Fendeková, M. & Fendek, M.
Zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody a jej rozkyvu v obdobiach meteorologického sucha
The groundwater level depth and amplitude changes during the meteorological drought periods

Bajtoš, P.
Hydrogeochemické modelovanie zvetrávania vyťaženého sideritového ložiska Železník, Slovenské rudohorie
Hydrogeochemical modeling of weathering at the exploited Železník siderite deposit, Slovak Ore Mts. (Western Carpathians)

www.geology.sk/mineralia