

Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky
Slovenská agentúra životného prostredia

ZOSUVY NA SLOVENSKU



Vlasta Jánová, Pavel Liščák a kolektív

ZOSUVY NA SLOVENSKU

Vlasta Jánová, Pavel Liščák
a kolektív

Túto publikáciu vydala Slovenská agentúra životného prostredia v úzkej spolupráci s Ministerstvom životného prostredia SR a Štátnym geologickým ústavom Dionýza Štúra v rámci národného projektu 3 *Zlepšovanie informovanosti a poskytovanie poradenstva v oblasti zlepšovania kvality životného prostredia na Slovensku*.

Názov publikácie: Zosuvy na Slovensku

Zostavovatelia:

RNDr. Vlasta Jánová, PhD.

RNDr. Pavel Liščák, CSc.

Autori:

RNDr. Vlasta Jánová, PhD.

RNDr. Pavel Liščák, CSc.

prof. RNDr. Miloslav Kopecký, PhD.

prof. RNDr. Martin Bednarik, PhD.

RNDr. Júlia Šimeková

Mgr. Martin Ondrášik, PhD.

RNDr. Peter Pauditš, PhD.

RNDr. Pavol Tupý

Ing. Ľubomír Petro, CSc.

RNDr. Peter Ondrejka, PhD.

Doc. Mgr. Vladimír Greif, PhD.

RNDr. Peter Ondrus

Recenzent: prof. RNDr. František Baliak, PhD.

Odborní garanti informačnej aktivity 6.2.9. národného projektu 3:

Ing. Katarína Paluchová, Slovenská agentúra životného prostredia

Ing. Andrea Saxová, Slovenská agentúra životného prostredia

Vydavateľ: © Slovenská agentúra životného prostredia, Tajovského 28, 975 90 Banská Bystrica, www.sazp.sk

Foto na obálke: Odľučná hrana zosuvu v obci Chmiňany. Autor: V. Jánová

Tlač: PRINTLINE, s. r. o., Bratislava

Rok vydania: 2021

Počet strán: 214

Náklad: 500 ks

ISBN: 978-80-8213-056-3

Podakovanie: Vydavateľ ďakuje všetkým autorom publikácie a takisto recenzentovi za ich prínos k jej vydaniu.

Citácia publikácie: Slovenská agentúra životného prostredia (2021). Zosuvy na Slovensku. Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia. 214 s.

Dostupné aj na internete: <https://www.sazp.sk/projekty-eu/infoaktivita/kalendar-udalosti-hap6-zmena-klimy/>

ZOSUVY NA SLOVENSKU

Vlasta Jánová, Pavel Liščák, Miloslav Kopecký, Martin Bednarik,
Júlia Šimeková, Martin Ondrášik, Peter Pauditš,
Pavol Tupý, Ľubomír Petro, Peter Ondrejka,
Vladimír Greif, Peter Ondrus

Aktivita sa realizuje v rámci národného projektu

Zlepšovanie informovanosti a poskytovanie poradenstva v oblasti zlepšovania kvality životného prostredia na Slovensku.
Projekt je spolufinancovaný z Kohézneho fondu EÚ v rámci Operačného programu Kvalita životného prostredia (2014 – 2020).

PREDSLOV

Svahové deformácie predstavujú na Slovensku popri povodniach jeden z najvýznamnejších geodynamických javov, ktorý významne ovplyvňuje optimálne využívanie územia a prevádzku technických diel. Svahy porušené svahovými deformáciami ohrozujú desiatky tisíc rôznych pozemných stavieb, stovky kilometrov diaľnic a ciest, desiatky až stovky kilometrov železníc, vodovodov, plynovodov ropovodov a nadzemných elektrických vedení. Z uvedeného dôvodu je problematika svahových deformácií stále veľmi aktuálna a jej riešeniu sa ročne venujú desiatky geologických úloh. Každá geologická úloha zároveň predstavuje výzvu na zlepšenie a inováciu používaných prieskumných a sanačných metód, vďaka čomu ide o veľmi progresívne sa vyvíjajúce odvetvie inžinierskej geológie. Pokrok bol zaznamenaný hlavne v oblasti prognózovania výskytu svahových deformácií a varovných systémov, ale aj v oblasti preventívnych a sanačných opatrení.

Hlavným impulzom k napísaniu tejto publikácie bol fakt, že v posledných desaťročiach bolo na Slovensku realizovaných množstvo významných geologických úloh v oblasti identifikácie, mapovania, prieskumu a sanácie svahových deformácií, a tieto neboli zosumarizované v žiadnom komplexnejšom diele. Od vydania výnimočnej a neopakovateľnej publikácie Arnolda Nemčoka – Zosuvy v slovenských Karpatoch – v roku 1982 uplynulo takmer štyridsať rokov. Ja osobne som práve v tomto roku končila vysokoškolské štúdium a odovzdávala som diplomovú prácu na tému zosuvov. Moji kolegovia-spoluautori boli ešte prevažne študentmi vysokých či stredných škôl. Pre nás všetkých sa však Nemčokova kniha stala skôr či neskôr „zosuvárskou bibliou“, ku ktorej sa stále vraciame a hľadáme v nej okrem faktov aj inšpiráciu a spôsob formulovania vlastných odborných myšlienok. A tak ako základom jeho knihy boli významné (štátne) geologické úlohy a výsledky podrobného geologického výskumu, sú aj základom predkladanej publikácie geologické úlohy riešené za posledné desiatky rokov.

Okrem všeobecných kapitol publikácia obsahuje prehľad výskumu, registrácie a mapovania svahových deformácií na území Slovenska a geologických úloh

zameraných na prieskum, monitorovanie a sanáciu svahových porúch, prezentuje doposiaľ nepublikované výsledky Atlasu máp stability svahov Slovenskej republiky a prehľad kvantitatívnych metód hodnotenia vzniku svahových deformácií na Slovensku. Samostatná kapitola je venovaná svahovým deformáciám vzniknutým v roku 2010, nakoľko v tomto, z hľadiska inžinierskej geológie mimoriadnom roku, bolo zaznamenaných až 577 nových, príp. reaktivizovaných zosuvov. Druhá polovica publikácie približuje čitateľovi súčasné metódy inžinierskogeologického prieskumu svahových deformácií, monitorovania a sanácie zosuvných svahov vrátane niektorých príkladov z praxe.

Publikácia je určená odbornej verejnosti, hlavne inžinierskym geológom a geotechnikom, a poslúžiť by mohla aj zástupcom štátnej správy a verejnej správy, hlavne starostom obcí, ktorí pôsobia v oblastiach náchylných na svahové deformácie, a ktorí často musia riešiť mimoriadne situácie spojené so zosuvmi. Informácie obsiahnuté v publikácii môžu byť zároveň vhodným zdrojom poznatkov aj pre širokú laickú verejnosť.

V mene autorov publikácie by som rada vyjadrila úprimnú vďaka pracovníkom Slovenskej agentúry životného prostredia, hlavne Ing. Kataríne Paluchovej a Ing. Andrei Saxovej, za možnosť zostaviť a vydať túto publikáciu a za koordináciu pri jej tvorbe. Vďaka patrí aj spolupracovníkom zo Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra a zo sekcie geológie a prírodných zdrojov Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky (najmä RNDr. Kataríne Házyovej a Mgr. Andrei Mosnej), ktorí poskytli podklady do publikácie. Ďakujeme tiež autorom fotografií a obrázkov, ktorí dali svoj súhlas na ich použitie. Osobitne ďakujeme recenzentovi prof. RNDr. Františkovi Baliakovi, PhD. za starostlivé prečítanie rukopisu a za jeho cenné rady, podnety a pripomienky a tiež celej generácii našich učiteľov, ktorí v nás prebudili záujem a nadšenie pre svahové deformácie.

za kolektív autorov
Vlasta Jánová

OBSAH

Predslov	4
Skratky	8
1. Základné pojmy	10
2. Svahové pohyby	15
3. Podmienky, faktory a príčiny vzniku svahových pohybov	17
4. Klasifikácia svahových pohybov (u nás aj vo svete)	28
4.1 Plazenie	28
4.2 Zosúvanie	35
4.3 Stekanie	37
4.4 Rútenie	38
4.5 Klasifikácia svahových deformácií podľa socio-ekonomickej významnosti	41
5. Prehľad výskumu, registrácie a mapovania svahových deformácií na území Slovenska a geologických úloh zameraných na prieskum, monitorovanie a sanáciu svahových porúch	42
5.1 Počiatky systematického výskumu svahových pohybov (do roku 1960)	43
5.2 Handlovský katastrofálny zosuv (december 1960 – máj 1961)	43
5.3 Systematický výskum svahových deformácií (od roku 1961)	45
5.3.1 Registrácia svahových deformácií	47
5.3.2 Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky (1997 – 2006)	48
5.3.3 Regionálny výskum a prieskum zosuvných oblastí	50
5.4 Prieskum, monitorovanie a sanácia havarijných zosuvov	54
5.4.1 Geologické úlohy zrealizované v rokoch 2010 až 2020 zo štátneho rozpočtu	56
5.4.2 Geologické úlohy zrealizované od roku 2018 z Operačného programu Kvalita životného prostredia	60
5.5 Záchranné práce vykonávané na zosuvných lokalitách počas vyhlásenia mimoriadnej situácie v rokoch 2014 až 2020	61
5.6 Nové trendy vo výskume svahových deformácií po roku 2006	62
5.7 Monitorovanie svahových deformácií	62
5.8 Mapovanie zosuvného hazardu a zosuvného rizika	64
6. Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky v mierke 1 : 50 000	68
6.1 Východiskové podklady na zostavenie Atlasu zosuvov	68
6.2 Výstupy Atlasu zosuvov	69
6.2.1 Rajónové mapy stability svahov (náchylnosť územia na vznik svahových pohybov)	69

6.2.2	Záznamové listy (pasporty) svahových deformácií	71
6.3	Analýza porušenia územia SR svahovými deformáciami na základe údajov z Atlasu zosuvov	71
6.3.1	Celkový výskyt svahových deformácií	71
6.3.2	Výskyt svahových deformácií v inžinierskogeologických regiónoch a oblastiach	72
6.3.3	Výskyt svahových deformácií v územno-správných jednotkách (krajoch)	76
6.3.4	Ohrozenie stavebných a iných objektov	76
6.4	Aplikácia výsledkov Atlasu zosuvov v praxi	77
6.4.1	Nedostatky Atlasu zosuvov	77
6.4.2	Prínos Atlasu zosuvov	79
6.4.3	Použitelnosť výstupných máp Atlasu zosuvov	79
7.	Kvantitatívne metódy hodnotenia vzniku svahových deformácií na Slovensku (náchylnosť, hazard, riziko)	80
7.1	Deterministická analýza	81
7.2	Štatistické metódy	81
7.2.1	Prehľad a vývoj štatistických metód v hodnotení zosuvného hazardu	81
7.2.2	Terminológia a princípy rastrového údajového modelu a mapovej algebry	82
7.2.3	Metodický postup	82
7.2.4	Technická príprava parametrických máp	84
7.2.5	Bivariačná analýza s využitím váh vstupných parametrov	85
7.2.6	Stanovenie váhy vstupných premenných	87
7.2.7	Podmienková analýza	88
7.3	Modelové územie Hlohovec – Sereď	89
7.3.1	Vstupné parametre	89
7.3.2	Bivariačná analýza s váhou parametra ako celku	91
7.3.3	Multivariačná podmienková analýza	95
7.3.4	Porovnanie prezentovanej metodiky s doterajšími empirickými postupmi	98
7.4	Verifikácia prognózných máp	98
7.4.1	Metódy štatistickej úspešnosti	98
7.4.2	ROC krivky	100
7.4.3	Výsledky verifikácie prognózných máp zosuvného územia Hlohovec – Sereď ..	100
8.	Rok 2010 – rok zosuvov na Slovensku	102
8.1	Registrácia svahových deformácií	103
8.2	Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov	104
8.3.	Sanácia havarijných zosuvov	107
9.	Metódy inžinierskogeologického prieskumu svahových deformácií	129
9.1	Metódy geologického prieskumu	130
9.1.1	Štúdium archívnych podkladov	130
9.1.2	Rekognoskácia terénu a mapovanie	130
9.1.3	Terénne technické prieskumné práce	135

9.1.4	Terénne a laboratórne skúšky vlastností hornín.....	141
9.1.5	Posúdenie stability svahov	142
9.2	Príklady z praxe	143
9.2.1	Vstupné parametre stabilitných výpočtov	144
9.2.2	Stabilitné výpočty	145
9.3	Prieskum svahových deformácií v skalných horninách	145
9.3.1	Kinematická analýza.....	147
9.3.2	Výber klasifikácie horninového masívu.....	148
9.3.3	Určenie stabilného sklonu skalného svahu.....	149
9.3.4	Stupeň stability skalného svahu	149
10.	Monitorovanie svahových deformácií	150
10.1.	Zosuvy	150
10.1.1.	Monitorovacia sieť zosuvných lokalít na Slovensku	150
10.1.2.	Metódy monitorovania svahových pohybov.....	154
10.1.3.	Poznatky a skúsenosti z monitorovania zosuvov na Slovensku (na príklade Veľká Čausa)	162
10.2	Pomalé (plazivé) svahové pohyby.....	166
10.2.1	Monitorovacie metódy	167
10.2.2	Monitorovacia sieť na Slovensku využívajúca dilatometre TM-71 a SOMET	168
10.2.3	Meranie plazivých pohybov dilatometrami TM-71 – Spišský hrad (príkladová štúdia)	169
10.3.	Náznaky rúťivých pohybov v lokalite Demjata – príkladová štúdia.....	170
10.3.1	Stručná charakteristika lokality.....	170
10.3.2	Prehľad monitorovacích aktivít	170
11.	Metódy sanácie zosuvných svahov	173
11.1	Úpravy tvaru svahu	173
11.2	Metódy odvodnenia svahov	173
11.2.1	Metódy povrchového odvodnenia	175
11.2.2	Metódy podpovrchového odvodnenia	177
11.2.3	Špeciálne metódy odvodnenia (vysušovania)	180
11.3	Technické stabilizačné a sanačné opatrenia v zeminách	182
11.4	Problémy v extrémnych zosuvných územiach	188
11.5	Sanácia skalných svahov a zárezov	190
11.5.1	Aktívne opatrenia	191
11.5.2	Pasívne opatrenia	194
Záver		202
Literatúra		203

SKRATKY

2D	Dvojmerný (z angl. 2-dimensional)	GTM	Geotechnické monitorovanie
3D	Trojmerný (z angl. 3-dimensional)	GÚDŠ	Geologický ústav Dionýza Štúra
A/Fa	Aktívne sily	HEA panel	Vysokopevnostný panel (z angl. High Energy Absorption Panel)
AUC	Veľkosť plochy pod krivkou (z angl. Area Under Curve)	HN	Humenné
BJ	Bardejov	HOV	Horizontálny odvodňovací vrt
CORINE Land Cover 2000	Projekt mapovania krajiny pokrývky krajín Európy zo satelitov LANDSAT	HPV	Hladina podzemnej vody
ČMSGF	Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov	IBV	Individuálna bytová výstavba
DEM	Digitálny výškový model (z angl. Digital Elevation Model)	IG	Inžinierskogeologický
DMR	Digitálny model reliéfu	IGP	Inžinierskogeologický prieskum
DPZ	Diaľkový prieskum Zeme	IK	Indukčná karotáž
EIA	Hodnotenie vplyvov na životné prostredie (z angl. Environmental Impact Assessment)	IMU	Inerciálny merací systém (z angl. Inertial Measurement Unit)
EMR	Metóda elektromagnetického žiarenia (z angl. ElectroMagnetic Radiation)	InSAR	Radarová satelitná interferometria (z angl. Interferometry Synthetic Aperture Radar)
ERDF	Európsky fond regionálneho rozvoja (z angl. European Regional Development Fund)	IoT	Internet vecí (z angl. Internet of Things)
ERT	Elektrická odporová tomografia (z angl. Electrical Resistivity Tomography)	ISRM	Medzinárodná spoločnosť pre mechaniku hornín (z angl. International Society for Rock Mechanics)
ESA	Európska vesmírna agentúra (z angl. European Space Agency)	JCS	Skúška jednoosovej pevnosti steny diskontinuity (z angl. Joint Wall Compressive Strength)
FAO	Organizácia pre výživu a poľnohospodárstvo (z angl. Food and Agriculture Organisation)	LANDEP	Krajinno-ekologické plánovanie (z angl. LANDscape-Ecological Planning)
Fs	Stupeň stability	LHM	Mapa zosuvného hazardu/svahových deformácií (z angl. Landslide Hazard Map)
GIS	Geografický informačný systém	LiDAR	Svetelná detekcia a meranie vzdialenosti (z angl. Light Detection And Ranging)
GKÚ	Geodetický a kartografický ústav	LIM	Mapa registrácie zosuvov/svahových deformácií (z angl. Landslide Inventory Map)
GNSS	Globálny družicový polohový systém (z anglického Global Navigation Satellite System)	LPWAN	Nízkoenergetická sieť pre rozsiahle územie (z angl. Low-Power Wide-Area Network)
GPR	Georadar (z angl. Ground Penetrating Radar)	MDVRR	Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja
GPS	Globálny lokalizačný systém (z angl. Global Positioning System)	MEL	Maximálna úroveň energie (z angl. Maximum Energy Level)
GPŽP	Geologický prieskum životného prostredia	MSUE	Horná hrana hlavnej odlučnej steny (z angl. Main Scarp Upper Edge)
GSI	Geologický index pevnosti (z angl. Geological Strength Index)		

MŽP SR	Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky	SMR	Semikvantitatívne hodnotenie skalných svahov (z angl. Slope Mass Rating)
NNK	Neutrón-neutrón karotáž	SOMET	Demountable Mechanical Strain Gauge alebo Crack Gauge
OP KŽP	Operačný program Kvalita životného prostredia	SP	Spontánna polarizácia
P/Fp	Pasívne sily	STU	Slovenská technická univerzita
PEE	Pulzné elektromagnetické emisie	SvF STU	Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity
PLT	Skúška pevnosti pri bodovom zaťažení (z angl. Point Load Test)	SVM 50	Spojité vektorová mapa 1 : 50 000
PrifUK	Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského	SVŠT	Slovenská vysoká škola technická
PRN	Povrchové reziduálne napätie	ŠGÚDŠ	Štátny geologický ústav Dionýza Štúra
PVC	Polyvinylchlorid	TDR	Reflektometria s časovou doménou (z angl. Time-Domain Reflectometry)
RHRS	Rockfall Hazard Rating System	TV	Trebišov
RMR	Semikvantitatívne vyjadrenie kvality horninového prostredia na realizáciu podzemných stavieb (z angl. Rock Mass Rating)	UCU	Kvázi-homogénne celky (z angl. Unique Condition Units)
ROC	Prijímacie operačné charakteristiky (z angl. Receiver Operating Characteristic)	ÚGKK SR	Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky
RQD	Index kvality horniny (z angl. Rock Quality Designation)	ÚSMH AV ČR	Ústav struktúry a mechaniky hornin Akademie vied České republiky
S-JTSK	Systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej	ÚÚG	Ústřední ústav geologický
SEL	Prevádzková úroveň energie (z angl. Service Energy Level)	VES	Vertikálne odporové profilovanie (z angl. Vertical Electrical Sounding)
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav	VVN	Veľmi vysoké napätie
SK	Svidník	ZB GIS	Základná báza údajov pre geografický informačný systém
		ZM 10	Základná mapa 1 : 10 000
		ŽP	Životné prostredie

1. ZÁKLADNÉ POJMY

Aktivita svahových deformácií – schopnosť svahovej deformácie reagovať na pôsobenie prírodných alebo antropogénnych faktorov. Podľa aktivity sa svahové deformácie delia na aktívne (ich pohyb prebieha v súčasnosti), potenciálne – upokojené (schopné aktivizácie vplyvom rôznych faktorov) a stabilizované (schopné aktivizácie iba pôsobením antropogénnych zásahov).

Akumulácia zosuvná – časť hmoty zosuvu, ktorá sa premiestnila a nasunula na povrch neporušených hornín na svahu alebo v jeho predpolí.

Akumulačná oblasť (časť) zosuvu – spodná časť zosuvného svahu, ktorej povrch leží zjavne vyššie, ako bol pôvodný povrch terénu, pričom vektor výsledného posunutia smeruje nad pôvodný terén.

Amfiteáter zosuvný – staršie označenie odlučnej oblasti zosuvu, spravidla podkovovitého tvaru.

Analýza stability svahu – analýza stavu napätosti vo svahu zahrnujúca výpočet alebo grafické hodnotenie stability svahu. Analýzu stability svahu možno realizovať metódami založenými na rozboře medznej rovnováhy (napr. metóda Pettersenova, Felleniova, Maslov-Berérova), metódami zohľadňujúcimi dve podmienky rovnováhy (napr. podľa Bishopa, Spencera), metódami zohľadňujúcimi všetky tri podmienky rovnováhy (napr. podľa Morgensterna, Priceho a Bellu, Janbua) a metódami založenými na rozboře stavu napätosti (napr. metóda konečných prvkov).

Antiklinála údolná – typ gravitačnej pseudovrásky, ktorá vzniká pri plazivých pohyboch vytláčaním plastických hornín nachádzajúcich sa pod dnom dolín. Proces vzniku údolnej antiklinály sa v literatúre označuje ako bulging.

Bloková deformácia – svahová porucha, ktorá vznikla pomalým plazivým pohybom horninových blokov po plastickom podloží alebo pozdĺž predurčenej plochy predovšetkým pôsobením gravitácie.

Bloková rozpadlina – svahová deformácia, ktorá vznikla pomalým (kríповým, plazivým) pohybom horninových blokov (krýh).

Bočný val zosuvu – časť horninových hmôt, ktorá bola vytlačená nad pôvodnú úroveň terénu na okraji telesa zosuvu v jeho prechodovej a/alebo akumuláčnej oblasti.

Bod geodetický pevný – bod geodetickej siete slúžiacej na pozorovanie režimu svahového gravitačného pohybu, ktorý je situovaný na stabilnom mieste.

Bod geodetický pozorovací – bod geodetickej siete slúžiacej na pozorovanie režimu svahových pohybov situovaný na povrchu územia, v ktorom sa predpokladajú svahové gravitačné pohyby hornín.

Bod pozorovací – bod situovaný na povrchu územia, z ktorého sú vhodné podmienky na pozorovanie reliéfu a jeho zmien v čase a priestore, alebo bod geodetickej siete slúžiacej na zaznamenávanie premiestnení povrchových častí územia. Pri lokálnych pozorovaniach polohovo definovaný bod situovaný v hodnotenej časti horninového masívu (napr. na stene podzemného alebo povrchového diela).

Bok (okraj) zosuvu – bočné ohraničenie zosuvného telesa na styku s pôvodným povrchom terénu.

Čelný val zosuvu – časť horninových hmôt v akumuláčnej oblasti zosuvu, ktorá bola vytlačená nad pôvodnú úroveň terénu.

Digitálny model reliéfu – súbor čísel obsiahnutých v pamäti počítača, ktorý vyjadruje priestorové usporiadanie nadmorských výšok, prípadne aj ďalších morfo-metrických parametrov charakterizujúcich geometrické vlastnosti reliéfu.

Drenážne rebro – odvodňovací prvok s vyspádovaným dnom odvádzajúci povrchovú alebo podzemnú vodu z prirodzeného alebo umelého (odrez, zárez, násyp) svahu alebo zosuvu.

Dynamika svahových pohybov – vývoj režimu svahového pohybu prejavujúci sa zmenou stupňa stability svahu v čase.

Faktory svahových pohybov – prírodné a antropogénne geologické procesy vyvolávajúce zmenu podmienok, v rámci ktorých sa vyvíjajú svahové pohyby.

Hrúbka zosuvu – maximálna vzdialenosť v smere normály od pôvodného povrchu svahu po šmykovú plochu alebo bázu šmykovej zóny.

Jav svahový gravitačný – geodynamický jav vznikajúci účinkom gravitačných síl prejavujúci sa pohybom horninových hmôt po svahu bez rozhodujúceho vplyvu transportačných médií, hlavne vody, snehu, ľadu a vetra.

Jazero zosuvné (hradené) – typ jazera, ktoré vzniklo buď v priehlbni telesa zosuvu alebo prehradením doliny zosuvnou akumuláciou.

Kamenné more – plošná akumulácia balvanov a kameňov na svahu horského hrebeňa.

Klasifikácia svahových pohybov – zatriedenie svahových pohybov podľa hlavných (mechanizmus pohybu, rýchlosť pohybu) a vedľajších (vek, stupeň aktivity, genéza, vývojové štádium, štruktúra svahu, smer narastania pohybu a pod.) spoločných znakov do skupín a typov.

Klasifikácia zosuvov – rozdelenie zosuvov do skupín a typov podľa: a) veku – recentný (súčasný), fosílny, pochovaný, b) stupňa aktivity – aktívny, potenciálny, stabilizovaný, c) genézy – prírodný, antropogénny, d) tvaru povrchu – plošný (areálny), prúdový, frontálny, e) tvaru šmykovej plochy – rotačný, planárny, rotačno-planárny, f) štruktúry svahu – konsekventný, asekventný, insekventný.

Kotvenie zosuvu – geotechnická metóda na zvýšenie stability zosuvu zväčšením normálových síl na šmykovej ploche a využitím tangenciálnej zložky ťahu kotvy.

Kužel' murový – akumulčná časť mury – prívalového kamenitého prúdu vznikajúceho na strmých horských svahoch. Kubatúra murového kužela môže byť až niekoľko stotisíc m³.

Kužel' suťový – zvláštny prípad suťovej akumulácie gravitačného pôvodu, ktorej tvar má podobu polovičného kužela s vrcholom hore a základňou dolu. Tvorí sa pri vyústení skalnej úžlabiny alebo eróznej ryhy na dne údolia alebo na širokej skalnej terase, kde sa hromadia úlomky hornín vzniknuté zvetrávaním a opadávaním zo strmých svahov. Väčšie úlomky sa dostávajú najďalej a tvoria spodný okraj suťového kužela, jemnejší materiál zostáva pri vrchole, pokiaľ nie je vodou spláchnutý do nižších polôh. Suťové kužele sú hojné vo vysokohorských oblastiach, bežne však vznikajú pri vyústení akejkoľvek úžlabiny na strmom svahu alebo na skalnej stene.

Les opitý – vykrivený stromový porast so zvislými, čiastočne i narovnanými vrcholcami a novými výhonkami vo svahovom území, ktoré bolo, resp. je porušované recentnými svahovými pohybmi.

Mechanizmus svahového pohybu – zákonitá postupnosť celkového vývoja a priebehu svahového pohybu, ktorá na základe vzájomných kinematických väzieb jednotlivých elementov zosuvu, podmienených geologickou stavbou svahu pri pôsobení prírodných i antropogénnych faktorov, určuje charakteristický typ tohto pohybu, a tým aj výsledného pohybu celého telesa svahovej deformácie pri minimálnej spotrebe energie.

Monitorovanie svahových pohybov – systematické zaznamenávanie pohybu hmôt na gravitačne porušenom svahu určitou metódou (geodeticky, inklinometricky, fotogrametricky, dilatometricky a pod.), ktorého cieľom je zistenie režimu pohybu.

Násyp pritažovací – zemná alebo kamenitá konštrukcia sypaná na dne údolia alebo v päte svahu slúžiaca na zvýšenie stupňa stability svahu zväčšením pasívnych síl.

Nestabilný svah – svah, ktorého stupeň stability $F_s = \Sigma P / \Sigma A$ poklesne pod hodnotu $F_s = 1$. Takáto zmena môže byť podmienená príčinami prirodzenými (stúpnutie hladiny podzemnej vody, podrezanie päty svahu vodným tokom), antropogénnymi (príťaženie odľučnej časti budúceho zosuvu, podrezanie päty svahu výkopmi, atď.) alebo ich vzájomnou kombináciou.

Odlučná oblasť zosuvu – oblasť vo vrchnej časti zosuvného svahu, ktorej povrch leží zjavne nižšie než pôvodný povrch terénu a v ktorej vektor výsledného posunutia smeruje pod pôvodný povrch terénu.

Odlučná stena zosuvu – strmá odkrytá plocha v odlučnej oblasti zosuvu, ktorá vznikla v dôsledku zosuvných pohybov na pôvodnom povrchu svahu. Pokračovaním odlučnej steny zosuvu v hĺbke je šmyková plocha alebo šmyková zóna.

Odlahčenie svahu – metóda stabilizácie svahu, pomocou ktorej sa zmenšia účinky gravitačných síl v aktívnej zóne svahu vytvorením tzv. odlahčovacej lavice.

Odvalenie – druh rúťivého pohybu horninových blokov a stien s uplatnením voľného pádu v ich rôznej časti dráhy. Odvalenie môže vzniknúť preklopením alebo skĺznutím.

Odvodnenie zosuvu – súbor metód na zvýšenie stupňa stability svahu vysušením telesa zosuvu pomocou povrchového odvodnenia (pramenné záchytky, odvodňovacie rigoly, obvodové priekopy) alebo podpovrchovým (hĺbkovým) odvodnením (čerpanie zo studní, násosky, odvodňovacie rebrá, vrty a štôlna, odvodňovacie štrkové steny, elektroosmóza a i.).

Opadávanie úlomkov – druh rúťivého pohybu úlomkov hornín zo strmých skalných stien s uplatnením prevažne voľného pádu.

Oporné prvky svahu – súbor technických stabilizačných opatrení (napr. oporný múr, zárubný múr, kotvená stena) pôsobiacich vlastnou hmotnosťou alebo vnesenou silou, ktoré dlhodobo zvyšujú stupeň stability svahu.

Plazenie – dlhodobý, veľmi pomalý pohyb horninových hmôt po svahu (1 mm/deň až 0,1 mm/rok), ktorý sa deje v zónach plastického pretvárania hornín pri ich stálom tlakovom alebo šmykovom namáhaní v čase, pri ktorom dochádza ku kontrakcii, ktorá spôsobuje zbortenie, zhrnutie alebo vytlačanie plastických polôh v horninovom masíve.

Plazenie hĺbkové – druh gravitačného svahového pohybu plazivého charakteru mimo dosahu klimatických zmien, pri ktorom dochádza k rozvoľňovaniu svahov, ku gravitačnému vrásneniu, gravitačnému borteniu alebo ku gravitačnému laterálnemu a rotačnému vytlačaniu.

Plazenie povrchové – druh gravitačného svahového pohybu plazivého charakteru, pri ktorom dochádza k zliezaniu sutín, deluviálnych hĺn alebo k hákovaniu

vrstiev. Vzniká v dosahu vplyvov sezónnych klimatických zmien.

Plocha šmyková – ostro ohraničená plocha v základnej deformačnej oblasti, ktorá vzniká pri celkovom šmykovom porušení hornín a po ktorej dochádza k vzniku a rozvoju svahového pohybu tak, že vytvorenie svahovej deformácie a posunutie jej telesa je kineticky najjednoduchšie. Môže mať tvar rotačný, rotačno-planárny, planárny a obecný.

Podložie zosuvu – horninový masív ležiaci pod bazálnou šmykovou plochou zosuvu.

Plocha šmyková kruhová – klzná plocha, ktorá má v reze polkruhový tvar; vyskytuje sa v násypoch, odrezoch alebo zárezoch v homogénnych ílovitých zeminách.

Plocha šmyková zložená (rotačno-planárna) – klzná plocha zloženého tvaru (pozostávajúca zo zakrivenej a rovinnej časti), pozdĺž ktorej dochádza k svahovému pohybu.

Podmáčanie – zvýšenie hladiny podzemnej vody tesne k zemskému povrchu v dôsledku poklesávania územia, zvýšenia hladiny povrchových vôd alebo rôznych zásahov človeka do prírodného prostredia. Okrem zmeny zloženia a fyzikálno-mechanických vlastností hornín je podmáčanie spravidla sprevádzané aj zmenou flóry a pôdnej fauny.

Podmieňanie svahu – erózia brehov vodných tokov a nádrží spôsobujúca zníženie stability, prípadne až zosunutie alebo zrútenie príslušného svahu.

Pohyb svahový blokového typu – typ hĺbkového gravitačného svahového pohybu plazivého charakteru, pri ktorom dochádza k pomalému klzaniu blokov rigidných hornín, k ich plastickému zabáranu a pootáčaniu po tvárlihom podloží v zónach plastického pretvárania.

Pohyb svahový gravitačný – svahový gravitačný proces, pri ktorom dochádza k premiestňovaniu hornín po svahu na nižšiu hypsometrickú úroveň vplyvom gravitačných síl bez účinku ich odnášania transportačnými médiami (vodou, snehom, ľadom a vetrom). Jeho výslednou formou prejavujúcou sa v reliéfe je svahová deformácia.

Poklesávanie územia vplyvom podrúbania – poklesy zemského povrchu v dôsledku porušenia horninových masívov nad banskými dielami spôsobeného ich raze- ním a závalmi.

Pole blokové – súbor gravitačných svahových deformácií blokového typu vytvorený z izolovaných blokov tvrdých hornín, ktoré sa posunuli po svahu na určitú vzdialenosť po svojom plastickom podloží alebo vrstevnej ploche.

Porušenie stability – stav, ktorý vzniká v horninovom prostredí porušením pevnosti horniny a spôsobuje zmenu tvaru posudzovaného objektu (napr. podložia stavby, geotechnickej konštrukcie alebo svahu).

Pretváranie brehov vodnej nádrže – zmena brehovej čiary a reliéfu prilahlých svahov pôsobením vln a vodných prúdov, kolísaním hladiny vody a v dôsledku svahových gravitačných javov.

Prúd bahenný – výsledná forma svahového pohybu typu tečenia, pri ktorom sa po svahu premiestňujú ílovi- to-hlinité zeminy v kašovito-tekutom stave obsahujúce aj úlomky a veľké bloky hornín.

Prúd kamenitý – výsledná forma svahového pohybu typu tečenia vzniknutá stekaním hlinito-kamenitých a úlomkovitých svahových uloženín pôsobením prívalových vôd.

Prúd zemný (hlinitý) – výsledná forma svahového pohybu typu tečenia vzniknutá stekaním svahových, prevažne jemnozrnných zemín po ich značnom prevlhčení a nasýtení vodou.

Rebro odvodňovacie – drenážna ryha vyplnená štrkovým alebo kamenitým materiálom slúžiaca na koncentráciu vôd a ich gravitačné odvedenie z čela zosuvu, odrezu alebo zárezu, hĺbená spravidla do hĺbky 3 – 6 m.

Rebro stabilizačné – stabilizačné opatrenie prevažne preventívneho charakteru používané na stabilizáciu odrezov alebo zárezov. Rebrá sa budujú v pozdĺžnych ryhách vyhlbených až pod predpokladanú šmykovú plochu tak, že sa ryhy vyplnia kamenitým materiálom chráneným obráteným filtrom.

Registrácia svahových pohybov – systematické zaznamenávanie svahových pohybov na gravitačne porušenom svahu určitou metódou (geodeticky, fotogrametricky, dilatometricky a pod.), ktorého cieľom je zistenie režimu pohybov.

Registrácia zosuvov – systematické mapovanie a zaznamenávanie zosuvov a iných svahových deformácií v mapách 1 : 10 000 a 1 : 25 000 podľa jednotného záznamového registra, obsahujúceho povinné i nepovinné údaje podľa stupňa poznania javu. Register je k dispozícii záujemcom v archíve Geofondu.

Režim stability svahu – priebeh časovej zákonitosti stúpania alebo klesania stupňa stability svahu v závislosti od intenzity pôsobenia jednotlivých zvrtných alebo nezvrtných faktorov svahových pohybov.

Rútenie – rýchly (100 – 150 km.hod.⁻¹) krátkodobý pohyb hmôt na strmých svahoch, pri ktorom postihnuté horniny môžu miestami až strácať kontakt so zemským povrchom.

Rútenie odvalové – odvalenie časti horninového masívu s následným voľným pádom uvoľnených blokov horniny alebo zeminy.

Rýchlosť plazivého pohybu – vektor posunu v dôsledku plazivého (pomalého dlhodobého) pohybu za jednotku času. Rýchlosť reologického plazivého pohybu horninových hmôt sa pohybuje v rozmedzí 1 mm.deň⁻¹ až 0,1 mm.

rok⁻¹, pričom sa pretvárajú najmä plastickejšie zóny horninového masívu.

Sanácia zosuvu – geotechnická úprava zosuvu zameraná na odstránenie príčin zosúvania a na zvýšenie stupňa stability svahu pomocou úpravy sklonu svahu, odvodnenia, zlepšovania vlastností hornín (napr. injektážou), geotechnickými konštrukciami (napr. kotvením zosuvu, stabilizačnými rebrami, opornými múrmi) alebo inými špeciálnymi metódami (napr. porušením šmykovej plochy trhavinami).

Skalné zrútenie – uloženina vzniknutá skalným rútením. V materiáli skalného zrútenia prevládajú úlomky skalných hornín väčších rozmerov (kamene, balvany, veľké balvany).

Sklz gravitačný – zosuv po predurčenej šmykovej ploche, najčastejšie ploche vrstevnatosti alebo po dislokácii.

Stabilita svahu – schopnosť prirodzeného alebo umelého svahu (odrezu, zárezu, násypu, hrádze a pod.) trvať sa udržať v určitom sklone.

Stabilita zosuvná – odpor voči zosuvnému porušeniu, ktorý kladie svah, breh vodného toku za prirodzených podmienok alebo násyp, odrez, zárez či breh kanála za podmienok, pre ktoré boli skonštruované.

Stav medznej stability – svah, v ktorom pomer pasívnych (P) a aktívnych (A) síl, vyjadrený stupňom stability $F_s = \Sigma P / \Sigma A$, dosiahne hodnotu $F_s = 1$.

Stupeň stability svahu – číselné vyjadrenie pomeru pasívnych síl (P), ktoré pôsobia proti ušmyknutiu, k aktívnym šmykovým silám (A), ktoré majú tendenciu ušmyknúť zeminy (horniny) tvoriace svah. Ak stupeň stability $F_s = \Sigma P / \Sigma A$ poklesne pod hodnotu $F_s = 1$, prekročí sa tým stav medznej rovnováhy svahu a dochádza k zosunutiu zosuvných mas pozdĺž šmykovej plochy.

Svahová porucha – výsledná morfológická forma svahového pohybu vyvolaná pôsobením gravitácie, pri ktorom sa vytvorilo teleso odlišujúce sa od okolitého horninového prostredia zmenou vonkajšieho tvaru, polohy alebo objemu, resp. vnútornej štruktúry.

Svahový pohyb – geodynamický proces, počas ktorého dochádza k premiestňovaniu horninových hmôt po svahu v dôsledku gravitácie.

Šírka zosuvu – maximálna vzdialenosť medzi protihľými bokmi zosuvu v jeho odľučnej, transportačnej alebo akumuláčnej oblasti.

Tečenie – typ svahového pohybu. Krátkodobý pohyb horninových hmôt vo viskóznom stave pozdĺž ostro ohraničenej šmykovej plochy, resp. po povrchu terénu.

Tečenie plastické – pomalý, takmer neznateľný pohyb horninového materiálu po svahu, napr. v dôsledku striedania zamrzania a rozmrazovania, vysušenia a nasýtenia vodou.

Trenie vnútorné – súhrn síl pozostávajúcich z trenia medzi časticami a vzájomného zaklinenia pevných častíc zeminy kladúci odpor voči ušmyknutiu pri šmykovom namáhaní. Je charakterizované uhlom vnútorného trenia.

Územie zosuvné – časť svahu postihnutá zosuvným pohybom. Podľa tvaru povrchu územia, vegetačného pokryvu, porúch komunikácií a pod. je možné rozlišovať zosuvné územie staré, fosílné alebo recentné. Niekedy sa uvedený termín používa aj pre svahy náchylné na zosúvanie.

Výpočet stability – výpočtové metódy, ktoré analyzujú medzné rovnováhy. Pri riešení stability svahov rozlišujeme:

- Klasické metódy – predpokladajú prítomnosť valcovej šmykovej plochy a sú založené na momentovej podmienke rovnováhy (Petterssonova, Felleniova metóda, výslednicová metóda, atď.);
- Metódy výpočtu – predpokladajú prítomnosť valcovej šmykovej plochy a berú do úvahy dve podmienky rovnováhy (metóda podľa Bishopa, Spencera);
- Metódy, ktoré zohľadňujú tri podmienky rovnováhy – predpokladajú všeobecné šmykové plochy s možnosťou zavedenia všeobecnej zaťažovacej sily (metódy podľa Morgensterna, Priceho a Bellu, Janbua, atď.).

Zosuv – typ svahovej deformácie, ktorá vznikla v dôsledku gravitačného pohybu horninových hmôt alebo iných partikulárnych látok po jednej alebo viacerých šmykových plochách.

Zosuv aktívny – zosuv, ktorý sa v súčasnosti pohybuje alebo ktorého stupeň stability je $F_s \leq 1$.

Zosuv antropogénny – zosuv, ktorý vznikol na umelom odreze, záreze, resp. násype alebo na prírodnom svahu v dôsledku ľudskej činnosti.

Zosuv fosílny – starý, spravidla pleistocénny zosuv, ktorý vznikol za klimatických a morfológických podmienok odlišných od podmienok súčasných, t. j. vplyvom takých faktorov, ktoré už dnes nemôžu pôsobiť.

Zosuv frontálny – zosuv, ktorého šírka niekoľkonásobne prevyšuje jeho dĺžku.

Zosuv planárny – zosuv vzniknutý pozdĺž rovinnej šmykovej plochy, ktorá je spravidla určitým spôsobom predisponovaná (napr. vrstevná plocha, puklina a pod.).

Zosuv plošný – zosuv, ktorého šírka sa približne rovná dĺžke.

Zosuv potenciálny – zosuv, ktorého pohyb je dočasne upokojený, ale príčiny jeho vzniku sa môžu za určitých podmienok obnoviť.

Zosuv pozastavený – zosuv v pohybe v poslednom roku, ale v súčasnosti bez známkov aktivity.

Zosuv pozdĺž valcovej šmykovej plochy, zosuv rotačný – zosuv, ktorý vznikol klzaním hornín po rotačnej (valcovej, cylindrickej alebo zakrivenej) šmykovej ploche, obyčajne v homogénnom ílovitom materiáli.

Zosuv prírodný – zosuv, ktorý vznikol na prirodzenom svahu bez pôsobenia ľudskej činnosti.

Zosuv rotačno-planárny – zosuv, ktorý vznikol klzaním hornín pozdĺž zloženej šmykovej plochy (zakrivenej a rovinnej).

Zosuv rotačný – zosuv, ktorý vznikol pohybom (klzaním) hornín pozdĺž valcovej šmykovej plochy, zvyčajne v homogénnom horninovom materiáli, v jemnozrnných zeminách.

Zosuv skalný – zosuv, ktorý vznikol planárnym zosúvaním alebo klzaním skalných hornín po rovinnej, zvyčajne predurčenej šmykovej ploche.

Zosuv stabilizovaný – zosuv, ktorého prirodzené príčiny vzniku zanikli, ale môže sa aktivizovať umelým zásahom.

Zosuv viacnásobný – periodicky sa opakujúci zosuv v dôsledku opakujúcich sa zmien stavu napätí

v zosuvnom telese. Spravidla ide o periodicky sa opakujúce klimatické zmeny s výraznými sústredenými zrážkami, či už v dôsledku nasycovania zosuvného telesa vodou zo zrážok alebo topenia snehu, resp. podrezávanie vodným tokom v čase zvýšených prietokov.

Zosúvanie – typ svahového pohybu. Relatívne rýchly krátkodobý kĺzavý pohyb horninových hmôt po svahu pozdĺž jednej alebo viacerých priebežných šmykových plôch, pri ktorom sa časť zosuvnej hmoty premiestni a presunie na povrch neporušených hornín a vytvorí tak na svahu zosuvnú akumuláciu.

Zosuvný hazard – pravdepodobnosť výskytu potenciálne škodlivého prírodného javu typu zosúvania v danej oblasti v určitom čase.

Zosuvný svah – svah s rozoznatelnými prejavmi zosúvania v rámci jeho celej plochy alebo iba jej časti.

Živelná pohroma – mimoriadna udalosť, pri ktorej dôjde k nežiaducemu uvoľneniu kumulovanej energie alebo hmôt v dôsledku nepriaznivého pôsobenia prírodných síl, resp. pri ktorej môžu pôsobiť nebezpečné látky alebo pôsobia ničivé faktory, ktoré majú negatívny vplyv na život, zdravie alebo majetok.

Základné pojmy uvedené vyššie boli prevzaté z publikácie Inžinierskogeologický a geotechnický terminologický slovník (Petro a kol., 2008) a boli doplnené autormi publikácie.

2. SVAHOVÉ POHYBY

Pod pojmom svahové pohyby rozumieme gravitačný pohyb horninových mäs z vyšších polôh do nižších, na rozdiel od transportu hornín prenášaných snehom, ľadom, vodou a vetrom. Výsledkom svahových pohybov sú svahové deformácie (svahové poruchy), ktoré často ohrozujú životy ľudí, majetok a životné prostredie.

Stabilita každého svahu závisí od pomeru aktívnych a pasívnych síl, ktoré na svah pôsobia. Pasívne sily (P) sú sily, ktoré prispievajú k stabilite horninového prostredia alebo geotechnických konštrukcií. Sú to napr. pevnosť hornín, súdržnosť zemín, trenie na vytvárajúcej sa šmykovej ploche, tiaž päty svahu a pod. Aktívne sily (A) sú sily, ktoré prispievajú k nestabilite horninového prostredia alebo geotechnických konštrukcií, napr. gravitácia, hydrodynamický tlak podzemnej vody, tiaž svahu, priťaženie hornej časti svahu, odľahčenie (podrezanie) päty svahu a pod. (obr. 2.1). Pomer medzi pasívnymi silami a aktívnymi silami vyjadruje stupeň stability svahu F_s .

$$F_s = \Sigma P / \Sigma A$$

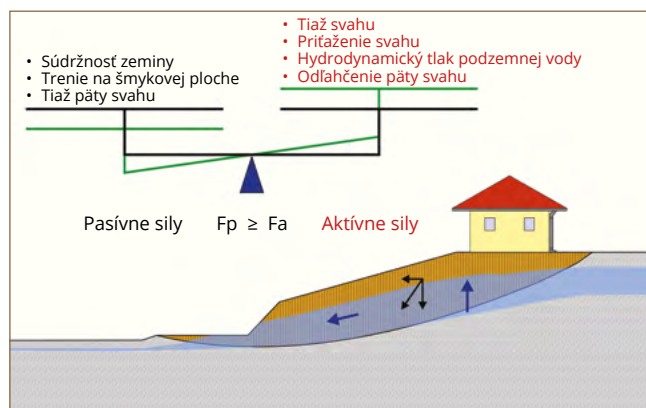
Nestabilný svah je taký, ktorého stupeň stability poklesne pod hodnotu $F_s = 1$ (obr. 2.2). Za stabilný sa považuje svah, ktorého stupeň stability $F_s > 1$. Pri stavbách s krátkodobou životnosťou sa vyžaduje stupeň stability svahu $F_s \geq 1,3$; pri stavbách s dlhodobou životnosťou sa vyžaduje stupeň stability svahu $F_s \geq 1,5$.

Svahové deformácie predstavujú na Slovensku jeden z najvýznamnejších geodynamických javov ovplyvňujúcich využívanie územia. Porušenosť územia Slovenskej republiky svahovými deformáciami, predovšetkým zosuvmi, je podmienená existenciou

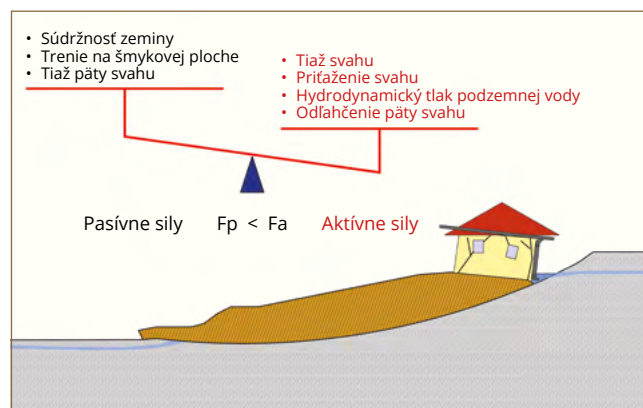
priaznivých geologických štruktúr a pôsobením rôznych faktorov zapríčínujúcich ich bezprostrednú aktivizáciu. V poslednom období významnou mierou dominujú klimatické faktory, ale tiež nevhodné antropogénne zásahy. V ich dôsledku dochádza na Slovensku každoročne k aktivizácii nových svahových deformácií, predstavujúcich riziko najmä v oblastiach s existujúcou infraštruktúrou, ale tiež v oblastiach s plánovaným využitím územia na výstavbu. Neraz ide o zosuvy s katastrofálnymi následkami.

Podľa Atlasu máp stability svahov Slovenskej republiky (Šimeková a kol., 2006) a novších prieskumných prác sa na Slovensku nachádza viac ako 21 tis. svahových deformácií. Porušujú územie s rozlohou 257,5 tis. ha, čo predstavuje 5,25 % rozlohy Slovenska. Najväčšie zastúpenie v rámci svahových deformácií majú zosuvy, ktorých bolo k roku 2006 zaregistrovaných 19 104 a ktoré predstavujú celkovo 90,2 % všetkých registrovaných svahových deformácií. Svahové deformácie ohrozujú 98,8 km diaľnic a ciest I. triedy, 571 km ciest II. a III. triedy, 62 km železníc, 11 km nadzemných vedení, 3,5 km ropovodov, 101 km plynovodov, 291 km vodovodov a takmer 30 000 pozemných stavieb.

Hlavnými prírodnými príčinami vzniku svahových deformácií sú klimatické faktory v kombinácii s eróznou činnosťou vodných tokov, vývermi podzemných vôd a vztlakovými účinkami podzemných vôd. Z antropogénnych príčin sú to najmä nevhodné podrezanie alebo priťaženie svahu, podrúbanie, nekontrolované odvádzanie povrchových a splaškových vôd a odlesňovanie.



Obr. 2.1: Zobrazenie pôsobenia pasívnych a aktívnych síl v prípade stabilného svahu (zdroj: upravené podľa ŠGÚDŠ)



Obr. 2.2: Zobrazenie pôsobenia pasívnych a aktívnych síl v prípade nestabilného svahu (zdroj: upravené podľa ŠGÚDŠ)

V dôsledku mimoriadne výdatných zrážok v 1. polovici roka 2010 a povodňovej situácie v mesiacoch máj a jún bolo zaregistrovaných 577 nových, prípadne reaktivizovaných zosuvov s plochou cca 293 ha (Liščák a kol., 2010). Z nich viac ako 100 v súčasnosti ohrozuje životy a majetok obyvateľov v postihnutých oblastiach, zvyšné devastujú poľnohospodársku a lesnú pôdu, životné prostredie a ľudské diela.

V klimaticky priemernom roku pribudne na Slovensku každoročne 15 až 20 nových havarijných svahových deformácií, v rokoch extrémne bohatých na zrážky pribudnú desiatky až stovky nových svahových porúch. Prehľad najvýznamnejších svahových deformácií za posledných 70 rokov je uvedený v tabuľke 2.1.

Tab. 2.1: Prehľad najvýznamnejších svahových deformácií za posledných 70 rokov (zostavila V. Jánová)

Lokalita svahovej deformácie	Typ svahovej deformácie	Rok vzniku/ reaktivizácie	Rozmery (d × š) [m]	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Následky
Handlová	zosuv	1960 – 1961	1 800 × 1 200	906 615	20 mil.	zničených 150 domov, 2 km štátnej cesty, ohrozená železnica, zničený vodovod, aj linka vysokého napätia
Podhradie	zosuv	1978	1 100 × 600	238 000	18 mil.	poškodených 116 domov
Nižná Myšľa	zosuv	2010	1 600 × 350	416 222	6,8 mil.	poškodených 40 rodinných domov, 29 muselo byť asanovaných, poškodená infraštruktúra obce
Ľubietová	zosuv	1977	1 200 × 500	297 000	4,5 mil.	zničené 4 domy, hrozilo prehradenie doliny a zatopenie obce
Kapušany	zosuv	2010	500 × 250	85 419	1,4 mil.	porušených 20 rodinných domov, 7 neobývatelných
Okoličné	zosuv	1949, 1961	750 × 260	143 585	*	ohrozená žel. trať Žilina – Košice v úseku 500 m
Riečnica	zemný prúd	1962	950 × 250	135 000	0,9 mil.	zničená osada Lieskové, porušené ďalšie dve osady, prehradené koryto potoka Riečnica, vzdutá voda ohrozovala ďalšie obce
Kraľovany	skalný zosuv	2013 – 2014	520 × 480	101 235	*	ohrozené rodinné domy, reštaurácia, jazero, cesta 1. triedy, železnica na trati Žilina – Ružomberok
Potok	potenciálny zosuv	*	800 × 400	2 356 000	*	ohrozená cesta
Vrátna dolina	kamenito-hlinité prúdy	2014	*	514 487	*	poškodená údolná stanica lanovky, zničená cesta, zničených 50 osobných áut
Varhaňovce	zosuv	2010	500 × 500	107 762	*	porušených 15 domov, hrozba prehradenia potoka a záplavy obce
Podbiel	skalné zrútenie	1975	*	*	22 tis.	zasypaná železničná trať a časť koryta rieky Oravy
Turčianske Kľačany	viacgeneračný zosuv	*1955	1 110 × 2 500	2 134 000	40 mil.	čelo zosuvu zasahuje do Váhu

* presný údaj nie je známy

3. PODMIENKY, FAKTORY A PRÍČINY VZNIKU SVAHOVÝCH POHYBOV

Vznik a vývoj svahových pohybov je podmienený komplexom prírodných podmienok, ktoré sú na danom území charakteristické a v čase sa významne nemenia. Niektoré podmienky sú výsledkom dlhodobého geologického a tektonického vývoja, iné sú viazané na procesy súvisiace s intenzitou slnečného žiarenia, nadmorskou výškou a klimatickými pásmami. Môžeme povedať, že prírodné podmienky predstavujú základné predpoklady, v rámci ktorých sa svahové pohyby vyvíjajú a ktoré ich buď podporujú, alebo znemožňujú. Preto určité podmienky sú buď priaznivé alebo nepriaznivé na vznik svahových pohybov. K základným podmienkam patria:

- geologické pomery,
- geomorfologické pomery,
- hydrogeologické pomery,
- klimatické pomery.

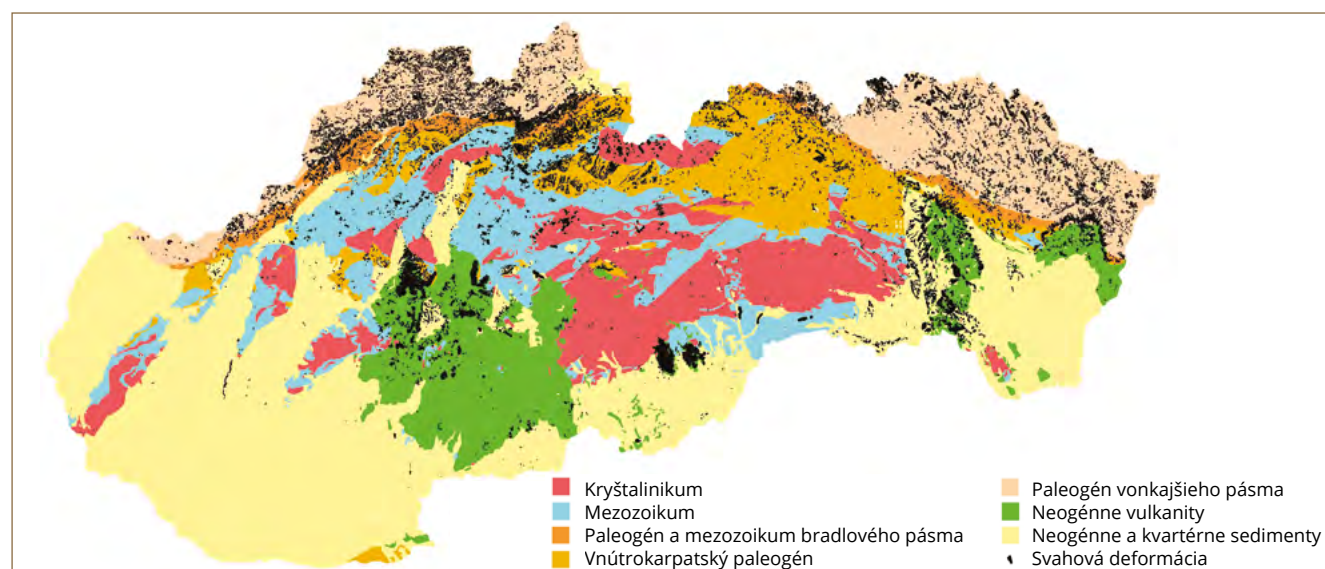
Geologické pomery svahov tvorí určitý sled horninových komplexov s ich určitým tektonickým porušením, t. j. každý svah je charakterizovaný určitou geologicko-tektonickou stavbou. Táto je výsledkom milióny rokov prebiehajúcich geologických procesov, ktoré boli ukončené v nedávnej geologickej histórii zrážkou euroázijskej tektonickej platne s africkou tektonickou platňou, v dôsledku čoho sa Slovensko vyznačuje zložitou príkrovovou stavbou s tektonicky veľmi porušenými horninami. Kolízia vyznievala v neogéne, vďaka čomu sú na Slovensku hojne zastúpené neogénne vulkanické a sedimentárne horniny. V kvartéri pokračovali aj významné vertikálne pohyby, vďaka ktorým sa vyzdvihli pohoria (hornatiny, vrchoviny, pahorkatiny a pod.) a poklesli kotliny s hrubými vrstvami sedimentov neogénu a kvartéru. Na okrajoch kotlín sa zachovali terasové riečne sedimenty ako dôkaz týchto vertikálnych pohybov.

Geologicko-tektonická stavba ovplyvňuje aj geomorfologické a hydrogeologické pomery daného svahu, je teda určujúcou podmienkou vzniku svahových pohybov. Svahový pohyb vzniká v prípadoch, keď sa na svahu vyskytuje tzv. priaznivá geologicko-tektonická stavba. Priaznivé geologické pomery sa nenachádzajú vo všetkých geologicko-tektonických jednotkách Slovenska s rovnakou hustotou (obr. 3.1). Ako vyplýva z Atlasu máp stability svahov SR (Šimeková a kol., 2006) štatisticky najčastejší výskyt svahových pohybov je na území tvorenom paleogénom a mezozoikom

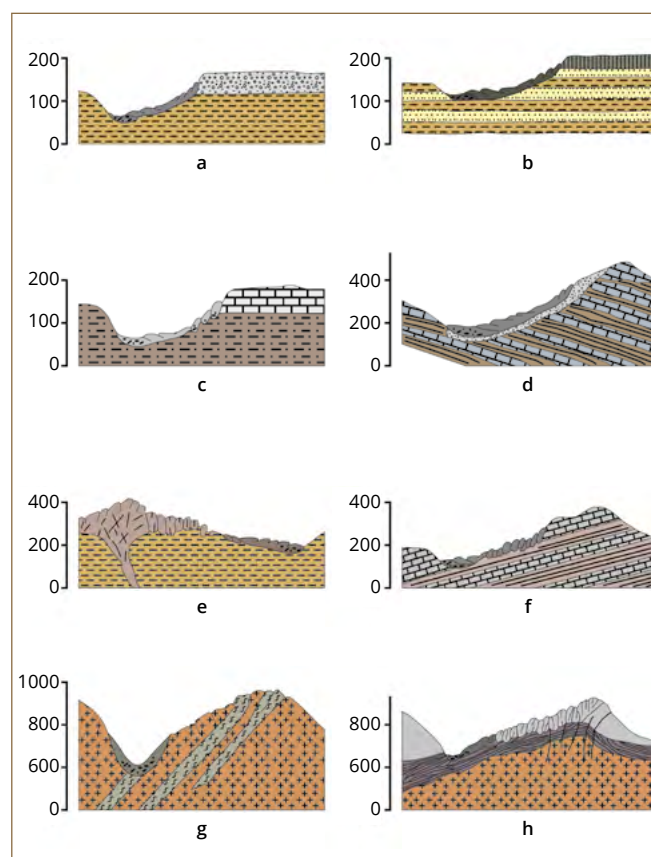
bradlového pásma (14,8 %) a paleogénom vonkajšieho flyšového pásma (12,7 %). Uvedené percentá sú odvodené z celkovej plochy geologicko-tektonickej jednotky. Nasledujú neogénne vulkanity, hlavne ich okrajové časti (9,3 %) a vnútrokarpatský paleogén (7,2 %). Najmenej porušené sú mezozoické horniny (2,4 %), neogénne a kvartérne sedimenty nížin (1,5 %) a horniny kryštalinika (1,5 %).

Pre jednotlivé geologicko-tektonické jednotky sú dominantné rôzne geologické sekvencie hornín. Nemčok (1982) vyčlenil niekoľko základných typov geologicko-tektonických štruktúr, ktoré sú bežné na našom území a ktoré sú priaznivé pre vznik svahových pohybov (obr. 3.2). Ak svah tvoria horniny, v ktorých pevnostné charakteristiky smerom do podložia klesajú, podlieha erózii nerovnomerne. Mäkké podložie odoláva menej, degraduje rýchlejšie ako tvrdé, odolné nadložie. Takto vzniká na svahu trvale nerovnovážny stav. Tvrdé rozpukané horniny hornej časti svahu sú priepustné, podzemná voda sa sústreďuje na povrchu spodného komplexu, kde rozmáča zvetralinový plášť, ktorý je potom vystavený intenzívnym pohybom (obr. 3.2 a, b, c, f, h).

Ďalším typom geologicko-tektonickej stavby z hľadiska náchylnosti na vznik svahových deformácií je mnohonásobné striedanie vrstiev alebo polôh hornín pevnejších a menej odolných. Typickým príkladom je flyš (striedanie pieskovcov a ílovcov/ílovitých bridlíc). Takáto štruktúra je náchylná na intenzívne pohyby najmä tam, kde doliny presekávajú čelá vrstiev flyšových hornín (obr. 3.2 d, e). Výskyt svahových deformácií vo flyšových horninách závisí od zloženia flyšových súvrství a od ich úklonu voči svahu. Častejšie vznikajú svahové deformácie v súvrstviach s prevahou ílovcov a ílovitých bridlíc (prevažujú zosuvy), menej často v súvrstviach s prevahou pieskovcov a zlepcov (blokové poruchy). Čo sa týka orientácie sklonu súvrství voči sklonu svahu, prevažujú svahové deformácie na svahoch, v ktorých nie je sklon súvrství zhodný so sklonom svahu, ale je kosý alebo kolmý. Šmykové plochy prebiehajú väčšinou vrchnou zvetranou vrstvou flyšového súvrstvia. Ak sú svahy tektonicky intenzívne porušené, svahové pohyby vznikajú pozdĺž tektonických porúch, zlomov, trhlín a pod. (obr. 3.2 g). Príklady svahových deformácií viazaných na rôzne geologicko-tektonické jednotky sú uvedené na obr. 3.3 až 3.6.



Obr. 3.1: Schematická geologická mapa Slovenska s rozložením zaregistrovaných svahových deformácií (Kopecký a kol., 2008)



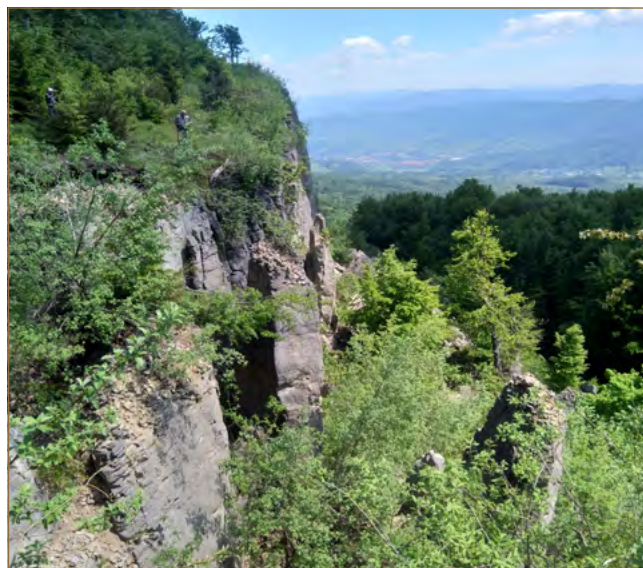
Obr. 3.2: Základné typy geologicko-tektonických štruktúr priaznivých pre vznik svahových pohybov (podľa Nemčoka, 1982 upravila A. Mosná): a – štrky ležiace v kotlinách na íloch, b – horizontálne striedanie pieskov, štrkov a ílov, c – vodorovne uložené travertíny na plastickom podklade, d – proti sklonu svahu uložené flyšoidné vrstvy, e – vulkanické horniny ležiace na plastickom podklade, f – masívne vápence a pieskovce uložené na plastickej vrstve, g – tektonicky porušené skalné horniny vo vysokých pohoriach, h – rigidné vápence a dolomity hronika, ležiace na plastických členoch fatrika

Geomorfologické pomery sú pevne zviazané s geologickou stavbou. Pevnejšie horninové materiály dokážu vytvárať členitejšie a strmšie morfológické tvary ako mäkké horninové materiály. Prejavy svahových pohybov sa môžu nájsť skôr na svahoch so zvlenným povrchom, premenlivým sklonom a konvexným vykľutím. V žiadnom prípade neplatí predstava, že čím strmší svah, tým väčšia pravdepodobnosť vzniku svahového pohybu. Dôkazom toho je tabuľka 3.1 spracovaná na základe výsledkov publikovaných v Atlase máp stability svahov SR (Šimeková a kol., 2006). V tabuľke je percentuálny výskyt zosuvov na svahoch s rôznym sklonom. Podľa tejto tabuľky najviac zosuvov sa nachádza na svahoch so sklonom 7° až 12° (až 39 %) a na svahoch so sklonom od 3° do 25° sa kumulatívne nachádza až 96,8 %. Na rovine a mierne svahoch so sklonom 0° až 3° a na veľmi strmých svahoch so sklonom 25° až 90° sa nachádza len 3,2 % všetkých zaregistrovaných zosuvov.

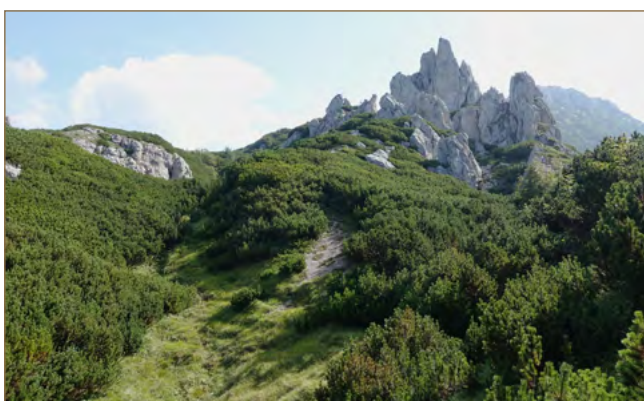
Hydrogeologické pomery, t. j. pomery podzemných vôd, úzko súvisia s klimatickými a geologickými pomermi. Keďže Slovensko sa nachádza na streche Európy, tak takmer všetka voda, ktorá sa dostane do horninového prostredia, pochádza zo zrážkovej vody a aké množstvo vody každoročne naprší, záleží na klimatických pomeroch. Podzemná voda sa nachádza v horninovom prostredí s prepojenými pórmi a diskontinuitami (kolektor, priepustná hornina). Od geologickej stavby horninového prostredia závisí veľkosť a prepojenie kolektorov a výskyt izolátorov (vode relatívne nepriepustných horninových vrstiev). Priaznivé podmienky vzniku svahových pohybov sú v prípadoch, keď hladina podzemnej vody je blízko pod povrchom, miestami je napätá, jej spád je po svahu a nedochádza k rýchlemu odtoku povrchovej i podzemnej vody zo svahu.



Obr. 3.3: Gravitačný rozpad travertínov uložených na plastických horninách vnútrokarpatského paleogénu v lokalite Dreveník (foto: P. Liščák)



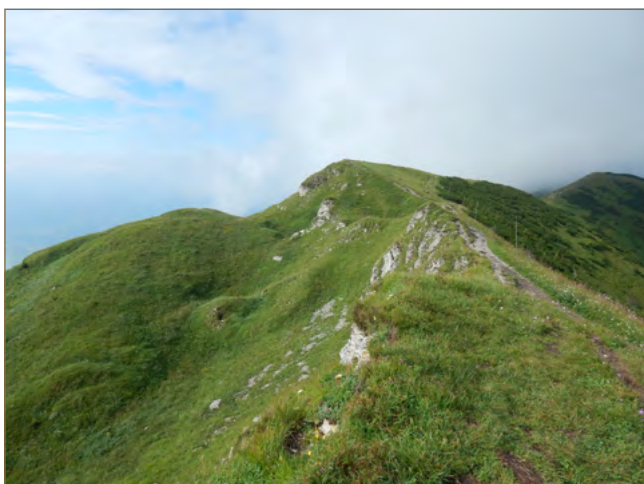
Obr. 3.4: Rozpad rigidných vulkanických hornín ležiacich na plastických neogénnych íloch na okrajoch pohoria Vtáčnik, lokalita Biely kameň (foto: P. Ondrus)



Obr. 3.5: Blokové pole na hrebeni Sivého vrchu v Západných Tatrách – príklad rigidných vápencov a dolomitov hronika, ktoré ležia na plastických členoch fatrika (foto: D. Haluška)

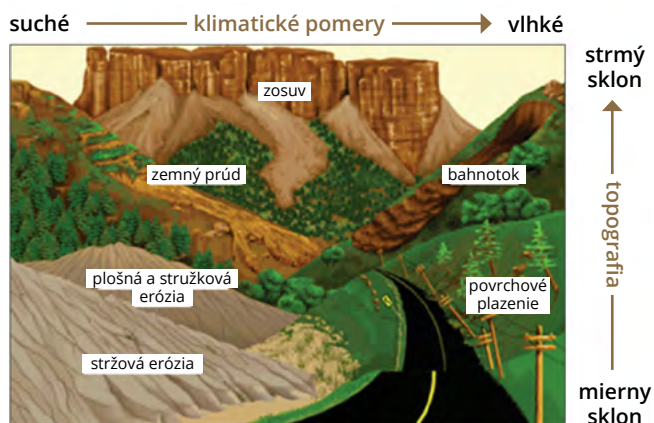
Tab. 3.1: Sklon svahov a výskyt zosuvov na území Slovenskej republiky (Kopecký a kol., 2008)

Sklon svahu	Výskyt zosuvov
0° až 1°	0,12 %
2° až 3°	1,51 %
3° až 7°	17,67 %
7° až 12°	39,05 %
12° až 17°	26,44 %
17° až 25°	13,62 %
25° až 35°	1,55 %
35° až 90°	0,04 %



Obr. 3.6: Príklad svahovej deformácie v tektonicky porušených skalných horninách vo vysokých pohoriach – Parohy v Malej Fatre (foto: P. Liščák)





Obr. 3.7: Vzťah medzi výskytom rôznych typov svahových pohybov, klimatickými pomermi a geomorfologickými pomermi (spracované s použitím podkladov z *Encyclopædia Britannica*, 1999)

Klimatické pomery prispievajú k vzniku svahových pohybov režimom zrážok a teplôt charakteristickým pre dané klimatické pásmo. Vo všeobecnosti platí, že čím je klíma vlhkejšia a teplejšia, tým rýchlejšie prebiehajú procesy zvetrávania (alterácie). Tieto oslabujú horninové prostredie vytváraním hrubej kôry zvetrávania a akumulácie mladých nespevnených sedimentov na zemskom povrchu. V takýchto horninách môže ľahšie prebiehať modelovanie zemského povrchu eróznou činnosťou, čím sa menia stabilné pomery svahov. Na obr. 3.7 je ilustrovaný vzťah medzi výskytom rôznych typov svahových deformácií, klimatickými a geomorfologickými pomermi.

Prírodné podmienky sa síce z hľadiska ľudského života považujú za nemenné, no z dlhodobého hľadiska sa menia. Platí to aj pre klimatické pomery. V priebehu kvartéru sa striedali dramaticky rozdielne klimatické pomery. Sú označované ako glaciál a interglaciál (doba ľadová a medziľadová). Počas glaciálu v našich zemepisných šírkach prevládalo suché chladné podnebie a charakter krajiny bol podobný tundre a stepi. Nachádzali sa tu horské ľadovce, ktoré vytvárali typické údolia tvaru U, a v nižších nezaľadnených častiach územia prevládala sedimentácia nad eróziou.

Erózna činnosť horských ľadovcov prehĺbila a rozšírila doliny a zvýšila sklon ich svahov. Pokiaľ sa ľadovec nachádzal v doline, podopieral svahy dolín. Po jeho rozpustení v interglaciáli ale strmé svahy prišli o svoju oporu a na tých, na ktorých boli vhodné geologické štruktúry, sa začali rôzne svahové pohyby. Na Slovensku týmto procesom vznikli skalné zrútenia vo Vysokých a Nízkych Tatrách. Rieky sa stali bohatými na vodu z topiacich sa ľadovcov, takže prebiehala veľmi intenzívna erózna činnosť. Navyše, v interglaciáloch počas pleistocénu bola klíma teplejšia (v priemere o 2 – 3 °C) a vlhkejšia. Priemerný ročný úhrn zrážok bol o 75 až 100 % vyšší oproti dnešnému



Obr. 3.8: Zosuvné územie na trase D1 – úsek Hubová – Ivachnová v km 2,0 – 4,0, ktoré vzniklo eróznou činnosťou Váhu (Kopecký a kol., 2018)

úhrnu (Vaškovský, 1977). To všetko viedlo k intenzívnej svahovej modelácii a svahovým pohybom vrátane soliflukcie, ktorá je dnes v našich podmienkach skôr vzácnosťou ako bežným javom. Viaceré svahové deformácie v neogénnych a paleogénnych sedimentoch sa zachovali až dodnes v podobe stabilizovaných, ale aj potenciálnych zosuvov. Svahové pohyby, ktorých základ bol položený v časoch pleistocénnych interglaciálov, vznikali aj v mezozoických dolinách našej najdlhšej rieky Váh. Hĺbková erózia Váhu vo Veľkej Fatre v oblasti Hrboltovej odkryla mäkké slienité vápence mraznického súvrstvia fatrika, po ktorých sa začali zosúvať do doliny nadložné bloky strednotriasových karbonátov hronika (obr. 3.8).

Ak nechceme ignorovať fyzikálne zákony, musíme byť pripravení na to, že proces globálneho otepľovania ďalej povedie k nárastu množstva, ako aj k zmene časovej a priestorovej distribúcie atmosférických zrážok, čo sa s veľkou pravdepodobnosťou prejaví najmä pri extrémnych zrážkach. Je to priamy dôsledok toho, že vyššia teplota vzduchu v prízemnej vrstve atmosféry, spôsobená globálnym otepľovaním, zvyšuje schopnosť vzduchu prijať viac vodnej pary (na 1 °C pripadá nárast obsahu vodnej pary asi o 6 – 7 % pri

rovnakej relatívnej vlhkosti vzduchu). Pri náraste priemernej teploty o 2 až 4 °C do roku 2100 tak veľmi pravdepodobne dôjde k nárastu úhrnov extrémnych zrážok, napríklad pri búrkach, až o 50 %. Náznak tohto vývoja sa už prejavuje v zrážkových a hydrologických pomeroch na severe východného Slovenska, ktoré býva v lete v priebehu prvej dekády 21. storočia takmer pravidelne postihované buď lokálnymi privalovými alebo veľkopriestorovými zrážkami s následnými povodňami (Pecho a kol., 2010).

Faktory svahových pohybov možno definovať ako prírodné alebo antropogénne procesy, ktoré vyvolávajú zmeny v prírodnom prostredí znižujúce stabilitu svahu a porušujúce jeho rovnováhu (Nemčok a kol., 1975). Podľa charakteru pôsobenia a trvania rozlišujeme nasledujúce faktory svahových pohybov:

- permanentné (dlhodobé) faktory pôsobiace pozvoľne, ale dlhodobo na zhoršenie podmienok stability. Ako príklad možno uviesť zmeny výšky alebo sklonu svahu v dôsledku erózie, denudácie, akumulácie a pod., zníženie pevnosti hornín v dôsledku zvetrávania, sufózie a pod.
- epizodické faktory, ktoré pôsobia relatívne rýchlo a krátkodobo. Epizodické faktory môžu byť prírodného alebo antropogénneho pôvodu a sú dvojakého charakteru:
 - periodické, ktoré pôsobia opakovane s kolísajúcou intenzitou, napr. seizmické otrasy, kolísanie vody vo vodných nádržiach alebo vodných tokoch, kolísanie hladiny podzemnej vody, zmena obsahu vody v zeminách, zrážkové a teplotné anomálie a pod.
 - neperiodické (jednorazové), ktoré sú reprezentované najmä nevhodnými zásahmi človeka do rovnováhy svahu, napr. zataženie hornej časti svahu (násyp, stavba a pod.) alebo podrezanie svahu (odrez, zárez).

Každý stabilný svah vykazuje určitý stupeň stability, ktorý je väčší ako 1. Jeho zmena v čase je zapríčinená pôsobením niektorého faktora. Faktor, ktorý sa v okamihu vzniku svahového pohybu najvýraznejšie uplatnil, sa nazýva **príčinou** svahového pohybu.

Najdôležitejšie faktory spôsobujúce vznik svahových pohybov na našom území sú:

- zmena výšky a sklonu svahu,
- priťaženie svahu,
- seizmické otrasy,
- zvetrávanie hornín,
- zrážkové a teplotné anomálie,
- zmeny vo vegetačnom poraste svahu.

Zmena výšky a sklonu svahu – jeho častou prírodnou príčinou sú neotektonické vertikálne pohyby a im zodpovedajúca intenzívna hĺbková erózia alebo

odnos materiálu z päty svahu v dôsledku bočnej alebo hĺbkovej erózie vodného toku (obr. 3.9). Antropogénnou príčinou zmeny sklonu svahu býva spravidla podrezanie svahu pri stavebnej činnosti (napr. zárezy a odrezy dopravných stavieb, výkopy na zakladanie pozemných a inžinierskych stavieb a pod.). Podrezaním svahu sa oddeľujú oslabené časti horninového masívu, mobilizujú sa aktívne (šmykové) sily a rozvíjajú sa svahové pohyby.

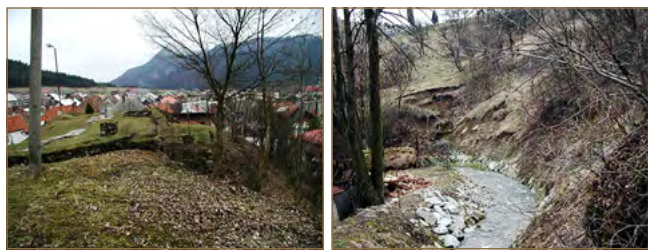
Priťaženie svahu – uvedený stav môže nastať prirodzenou cestou, ak na svahu prevláda prínos materiálu (plošným splachovaním, atď.) nad odnosom, najmä v častiach svahov vo svahových depresiách a prehĺbeninách nad úpäťami a dnami kotlín. Oveľa častejšie je však priťaženie svahu spôsobené antropogénnymi zásahmi v podobe pomerne rýchleho dodatočného priťaženia stavbami (obr. 3.12) alebo umelými akumuláciami, ako sú napr. násypy, haldy, skládky (obr. 3.13).

Seizmické otrasy – na Slovensku zatiaľ vznik svahových deformácií so zemetrasením nebol spájaný. Možno však predpokladať spojitost existujúcich veľkých skalných zrútení aj s týmto faktorom. Veľké skalné zrútenia opisuje Nemčok (1982) napr. v Západných Tatrách v Račkovej doline, Žiarskej doline a Hlinskej doline, vo Vysokých Tatrách vo Veľkej a Malej Studej doline, Mengusovskej doline, Zlomiskovej doline a inde, v Nízkych Tatrách vo Vajskovskej doline, na hrebeni Smreka a Kotlísk, v Malej Fatre vo Vrátnej doline.

Naopak, v seizmicky aktívnych oblastiach sveta bol uvedený vplyv preukázaný na mnohých zaregistrovaných svahových pohyboch s rozsiahlymi stratami na ľudských životoch a ekonomickými škodami. Medzi najčastejšie typy svahových pohybov, ku ktorým dochádza pri zemetrasení, je rútenie, zosúvanie a tečenie.

Okrem seizmických otrasov môžu mať na stabilitu svahov negatívny vplyv aj vibrácie spôsobené ťažkou dopravou, trhacími prácami a pod. (tzv. technická seizmicita).

Zvetrávanie predstavuje proces rozpadu a rozkladu hornín na zemskom povrchu a tesne pod zemským povrchom v dôsledku pôsobenia fyzikálnych, chemických a biologických procesov. Magmatické a metamorfované horniny, ako aj hlbšie uložené a spevnené sedimentárne horniny vznikajú v podmienkach vyššieho tlaku a vyššej teploty. Na zemskom povrchu sa horniny dostávajú do podmienok s nižšou teplotou a tlakom a vo vlhkých klimatických podmienkach sa dostávajú do styku s vodou, ktorá podmieňuje chemické reakcie. Horniny sa zvetrávaním menia, pričom vznikajú nové minerály, ktoré sú v rovnováhe s podmienkami na zemskom povrchu.



Obr. 3.9: Aktivizácia zosuvu bočnou eróziou potoka Komjatná (vpravo), výsledkom ktorej sú deformácie v základoch románskeho kostola z 12. storočia (poklesy až 1 m) (vľavo) (foto: M. Kopecký)



Obr. 3.10: Podrezanie svahu v obci Chmiňany pri výstavbe sociálnych bytov (foto: V. Jánová)



Obr. 3.11: Dôsledok podrezania svahu v obci Brusno (foto: R. Jelínek)



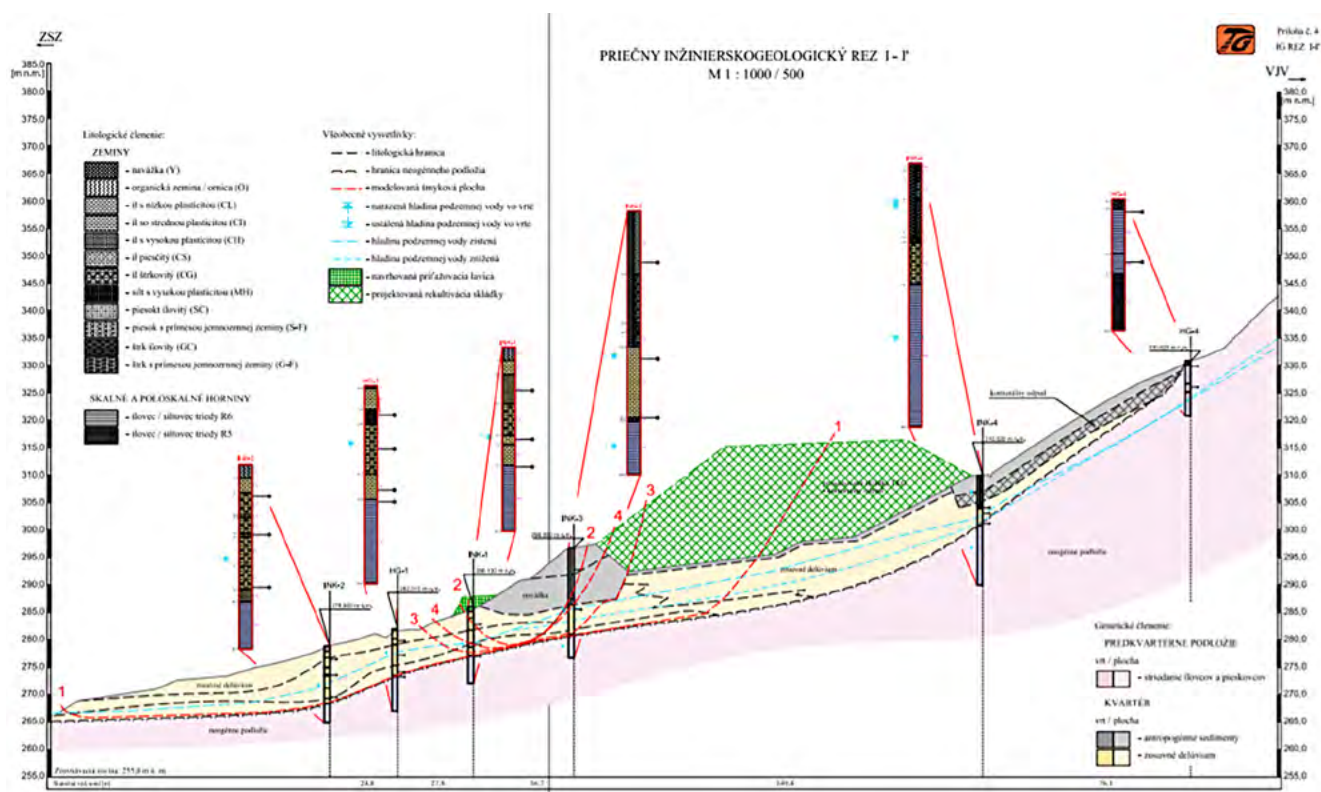
Obr. 3.12: Svahovou poruchou postihnutá umelá akumulácia na svahu v obci Ovčiarsko (foto: P. Fekeč)

Zvetrávanie má v prírode veľký význam ako predohra erózných procesov a premiestňovania zvetraných úlomkov hornín. Vedie k vzniku svojráznych terénnych tvarov, ktoré sú výsledkom kombinácie petrografického zloženia hornín a ich rozličnej odolnosti voči zvetrávaniu a zároveň klimatických podmienok danej oblasti. Zvetrávanie hornín predstavuje iníciaľné štádium vývoja svahových pohybov, ktoré sú závažným problémom hlavne v oblastiach budovaných horninami s nízkou odolnosťou voči zvetrávaniu. Zároveň môže mať zvetrávanie negatívne ekonomické dôsledky na ľudské diela, pretože postihuje horniny v umelých odkryvoch, stavebné a dekoračné kamene na budovách a v inžinierskych dielach.

Mechanické a chemické zvetrávanie spôsobuje postupné znižovanie pevnosti hornín. Významným faktorom mechanického zvetrávania hornín je najmä zamrzanie vody v puklinách, pri ktorom sa zvyšuje objem vody až o 9 %. Cyklické opakovanie zamrzania a rozmrzania vody v puklinách rozvoľňuje horninové masívy do veľkých hĺbok. V skalných horninách dochádza v dôsledku tohto procesu k opadávaní úlomkov (obr. 3.14) až ku skalným zrúteniam. Poloskalné

horniny nadobúdajú vplyvom zvetrávania charakter zemín, pričom môže dôjsť k zosúvaniu zvetralinového plášťa po neporušenej hornine. Najvýraznejšie možno zvetrávanie pozorovať na otvorených zárezoch dopravných stavieb.

Z výskumu zvetrávania vybraných sedimentárnych hornín realizovaného v rokoch 1994 – 1999 prostredníctvom meradla mikromorfologických zmien povrchu terénu, ktorý navrhla a otestovala V. Jánová (obr. 3.15), vyplýva, že rádovo najvyššie hodnoty znižovania povrchu horninového masívu v dôsledku zvetrávania boli namerané vo flyšových ílovcoch (eocén) v lokalite Nová Bystrica – až 55,1 mm/rok (priemerná hodnota 19,21 mm/rok) (obr. 3.16) a v bridliciach lunzských vrstiev (karn) v lokalitách Liptovské Matiašovce – 49 mm/rok (priemerná hodnota 20,13 mm/rok). Vysoké hodnoty, až 66 mm/rok (v roku 1995), boli tiež namerané v lokalite Harmanec v strednotriasových dolomitoch hronika, priemerná hodnota mikromorfologických zmien povrchu terénu dosahuje až 19,24 mm/rok. Nižší rozsah hodnôt znižovania povrchu bol zaznamenaný v slienitých bridliciach (alb) bradlového pásma v lokalite Podbiel – 4,12 mm/rok,



Obr. 3.13: Inžinierskogeologický rez zosuvom v meste Snina, ktorý vznikol priťažením svahu skládkou odpadov (Spišák a kol., 2013)

vo flyšových piesčitých bridliciach dukelskej jednotky v lokalite Starina – 2,57 mm/rok, vo flyšových ílovcoch na Demjate – 3,19 mm/rok, v ílovitých bridliciach lunzských vrstiev v lokalite Podtureň – 3,3 mm/rok. Najnižšie hodnoty vykazujú slienité bridlice (skýty) silicika Slovenského krasu v lokalite Lipovník – 0,7 mm/rok, slienité vápence krížňanského príkrovu v lokalite Jakub – 0,72 mm/rok, flyšové pieskovce (eocén) v lokalite Nová Bystrica – 0,16 mm/rok a flyšové pieskovce v lokalite Starina – 0,15 mm/rok. Počas viacročného pozorovania uvedených lokalít boli najvyššie sumárne zmeny povrchu horninového masívu zaznamenané v lokalitách Nová Bystrica (163 mm/5 rokov) a Harnanec (181 mm/5 rokov) (Jánová, 2008).

Zrážkové a teplotné anomálie spôsobujú predovšetkým povrchové plazenie, zosúvanie a tečenie. Je to faktor, ktorý je v našich podmienkach najdôležitejší. Účinky po extrémnych zrážkach alebo topení snehu sa prejavujú v zmene fyzikálno-mechanických vlastností hornín na svahu (rozmáčanie, vysychanie), v sezónnych kolísaniach hladín podzemných vôd, v hydrodynamickom tlaku, v zmene vztlačkových pomerov.

Na analýzu medzi kolísaním hladiny podzemných vôd a intenzitou zrážok, resp. množstvom vody uvoľneným z topiaceho sa snehu, bola zavedená metóda súčtovej čiary denných efektívnych zrážok (Kopecký, 2003, 2004).

Pod pojmom efektívne zrážky rozumieme maximálne potenciálne množstvo vody, ktoré sa môže

infiltrovať pod povrch terénu. Zanedbáva sa tak časť zrážok, ktoré odtečie povrchovo, alebo sa zachytí na rastlinstve.

Efektívne zrážky získame, keď od spadnutých zrážok odčítame hodnoty evapotranspirácie:

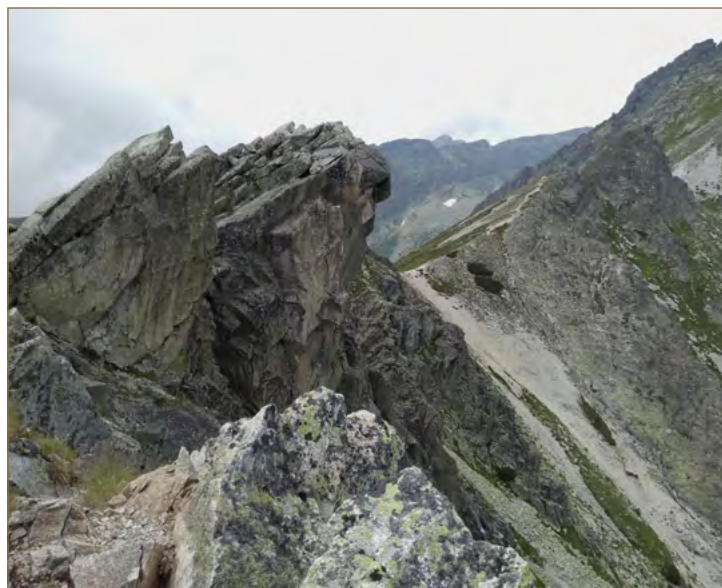
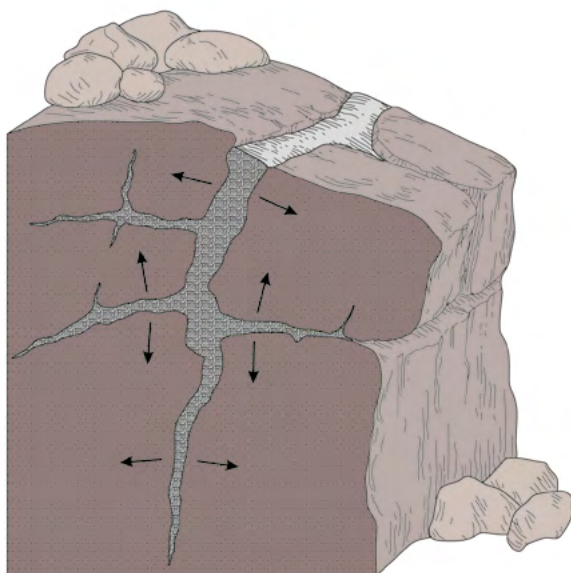
$$Z_{ef} = Z - ET_{pot} \text{ [mm]}$$

kde Z_{ef} = efektívne zrážky; Z = spadnuté zrážky, ET_{pot} = potenciálny výpar.

Na znázornenie období, keď dochádza buď k infiltrácii zrážok do horninového prostredia alebo k uvoľňovaniu vlhkosti z neho, bola zavedená metóda súčtovej čiary denných efektívnych zrážok (kladných aj záporných hodnôt). Stúpajúce úseky vyjadrujú obdobie s infiltráciou zrážok, klesajúce zase uvoľňovanie vlhkosti z prostredia.

Priebeh takto zostavenej kumulatívnej čiary môže vcelku dobre odrážať kolísanie plytkých horizontov hladiny podzemnej vody (obr. 3.17).

Na Slovensku sú v poslednom období spúšťačom zemných a hlinito-kamenitých prúdov krátkodobé extrémne zrážky. Ak pred takýmito intenzívnymi zrážkami je už zóna aerácie nasýtená, dochádza k vzniku pomerne plytkých svahových pohybov typu tečenia – napr. v roku 1997 a 2001 v oblasti Lubovnianskej vrchoviny (obr. 3.18) a Spišskej Magury, v roku 2010 na východnom Slovensku, v roku 2014 kamenito-hlinité prúdy vo Vrátnej doline. Na základe analýz

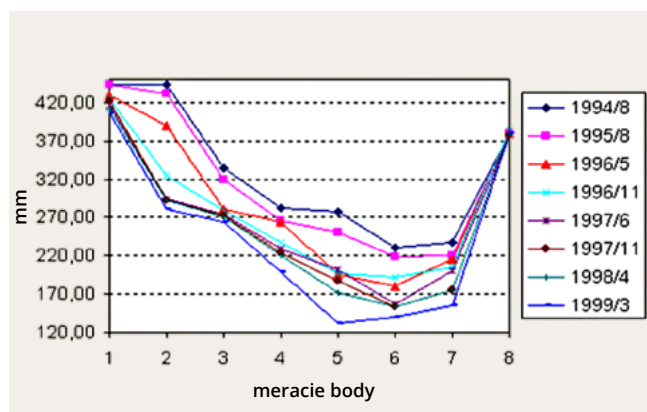


Obr. 3.14: Významným faktorom mechanického zvetrávania hornín je zamŕzanie vody v puklinách, pri ktorom sa zvyšuje objem vody až o 9 % (spracované podľa Hamblin, 1991; foto: V. Jánová)

efektívnych zrážok je možné konštatovať, že zosuvy typu tečenia sa v Ľubovnianskej vrchovine môžu objaviť, ak 5 dní pred efektívnymi zrážkami, ktorých



Obr. 3.15: Meranie pomocou merača mikromorfologických zmien povrchu terénu (foto: V. Jánová)

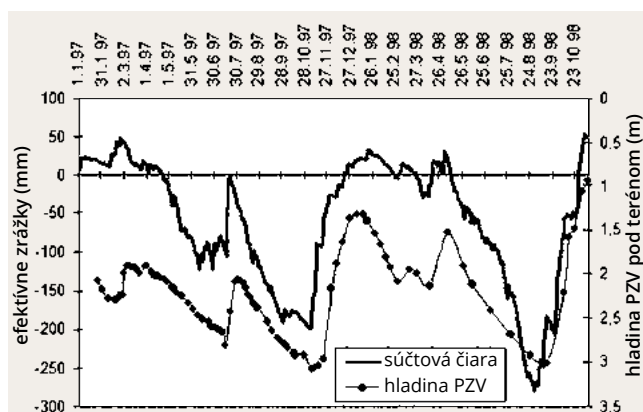


Obr. 3.16: Mikromorfologické zmeny povrchu terénu vo flyšových ílovcoch v lokalite Nová Bystrica v rokoch 1994 až 1999 (Jánová, 2008)

úhrn je vyšší ako 50 mm za deň (zrážky, ktoré zosuv vyvolali), je súčet efektívnych zrážok vyšší ako 45 mm (Kopecký, 2007).

K aktivizácii svahových pohybov s hlbšou šmykovou plochou dochádza na Slovensku prevažne pri topení extrémne hrubej snehovej pokrývky v kombinácii s dažďovými zrážkami. K takejto situácii došlo na jar v roku 2000, keď boli zaregistrované svahové poruchy predovšetkým v Laboreckej a Ondavskej vrchovine, na Kysuciach, Liptove a Orave (obr. 3.19). Uvedená situácia sa zopakovala ešte v širšom regionálnom meradle prvý aprílový týždeň v roku 2006 vo viacerých obciach (obr. 3.20 a 3.21).

Zmeny vo vegetačnom poraste svahu nehrajú takú významnú úlohu ako zrážkové a teplotné anomálie, za určitých podmienok však môžu byť tiež príčinou svahových deformácií. Vo všeobecnosti má vegetácia tendenciu stabilizovať svahy. Korene rastlín, hlavne



Obr. 3.17: Závislosť medzi kolísaním hladiny podzemnej vody a súčtovou čiarou efektívnych zrážok (Kopecký, 2003)



Obr. 3.18: Plynúce zosuvy v roku 1997 a 2001 v Ľubovnianskej vrchovine po intenzívnych zrážkach (foto: M. Kopecký, P. Abrahám)

väčších kríkov a stromov, predstavujú silnú vzájomne prepojenú sieť, ktorá drží nespevnené sedimentárne horniny a pôdu pohromade a zabraňuje svahovým pohybom. Koreňový systém priaznivo pôsobí na svah aj viac rokov po vyrúbaní stromov až do momentu, kým sa korene nerozložia. Negatívny efekt odstránenia vegetácie sa tak môže prejaviť s určitým fázovým posunom. Rastúca vegetácia neustále odoberá vlahu z horných vrstiev horninového prostredia, a tak znižuje celkový obsah vody vo svahu, čím prispieva k zvýšeniu šmykovej pevnosti hornín.

Faktory svahových pohybov sú buď prírodného alebo antropogénneho pôvodu. Veľmi často je to ich kombinácia (obr. 3.22).

Antropogénne faktory – Svahové pohyby môžu vznikať aj na iných, doposiaľ stabilných svahoch, ktoré už prirodzenými faktormi nemôžu byť porušené. Vznik takýchto nových svahových deformácií môže byť podmienený predovšetkým pôsobením extrémnych antropogénnych faktorov, napr. neadekvátnym zásahom človeka v podobe masívneho priťaženia

hornej časti zosuvu alebo hlbokých zárezov či odrezov v čele zosuvu (obr. 3.23), podrezanie vrstiev súhlasne uložených so svahom (obr. 3.24), podrúbaním pri ťažbe nerastov (obr. 3.25 a 3.26) a pod. Pri plánovaní inžinierskych stavieb na svahoch je nevyhnutné poznanie geologickej stavby územia. Nevhodný



Obr. 3.19: Zosuv v Malatinej po topení snehu na jar roku 2000 (foto: M. Kopecký)



Obr. 3.20: Zosuvné akumulácie po topení snehu na jar 2006; a – pri obci Višňové – v odlučnej oblasti došlo k deštrukcii stožiaru VVN, b – v obci Prosiek – prúdový zosuv ohrozoval niekoľko domov v obci (foto: M. Kopecký)

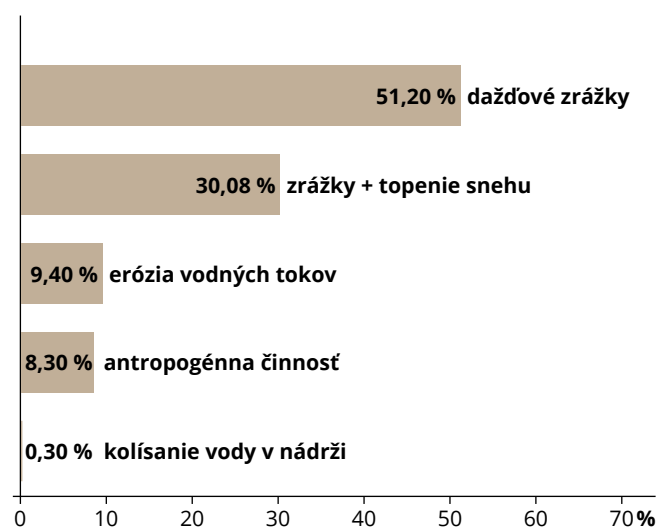
antropogénny zásah do svahu môže ohroziť stavbu a tiež životy ľudí.

Podľa analýzy výsledkov z registrácie zosuvov v rámci projektu Atlas máp stability svahov SR

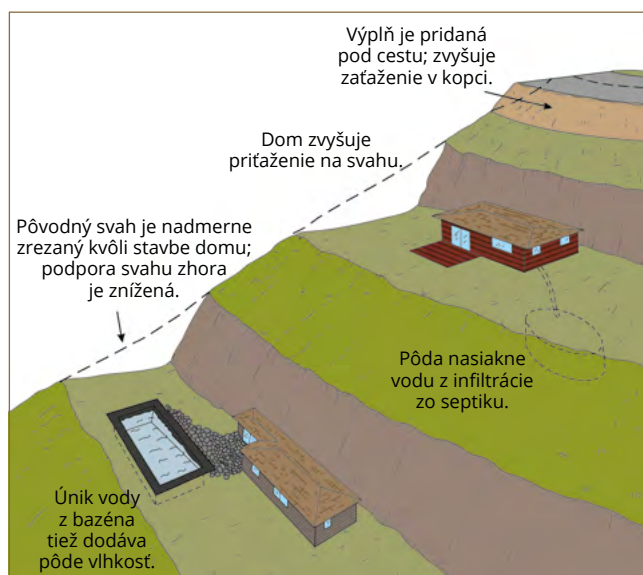
(Šimeková a kol., 2006) z prírodných príčin majú na vznik svahových porúch najväčší vplyv klimatické faktory v kombinácii s eróznou činnosťou – 45,2 %; klimatické faktory s vývermi podzemných vôd – 17 %;



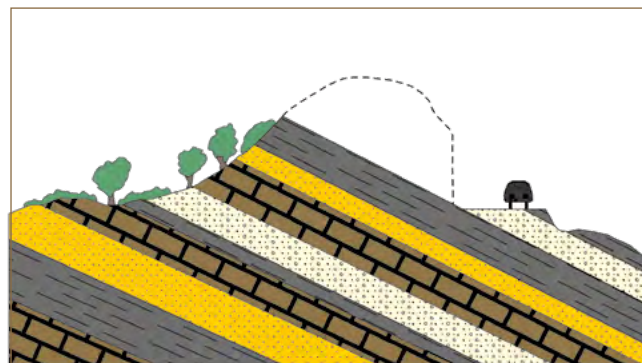
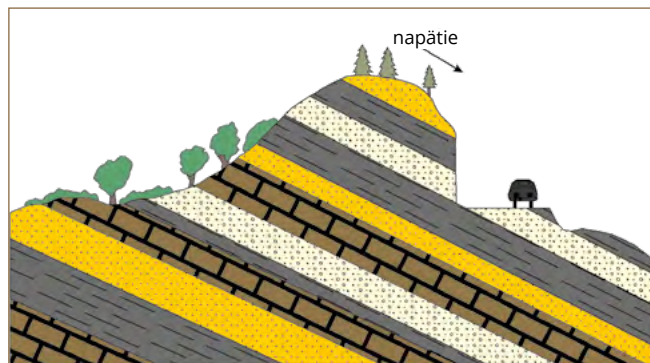
Obr. 3.21: Zosuvy vyvolané topením snehu na jar roku 2006; a – zosuv, ktorý prekryl prístupovú cestu do obce Lukavica (foto: M. Kopecký), b – zosuv, ktorý prerušil železničnú dopravu na trase Myjava Poriadie (www.vlaky.net)



Obr. 3.22: Percentuálny podiel niektorých prírodných a antropogénnych faktorov pri vzniku zosuvov (údaje z ankety na obecných úradoch a z médií – Kopecký, 2004)



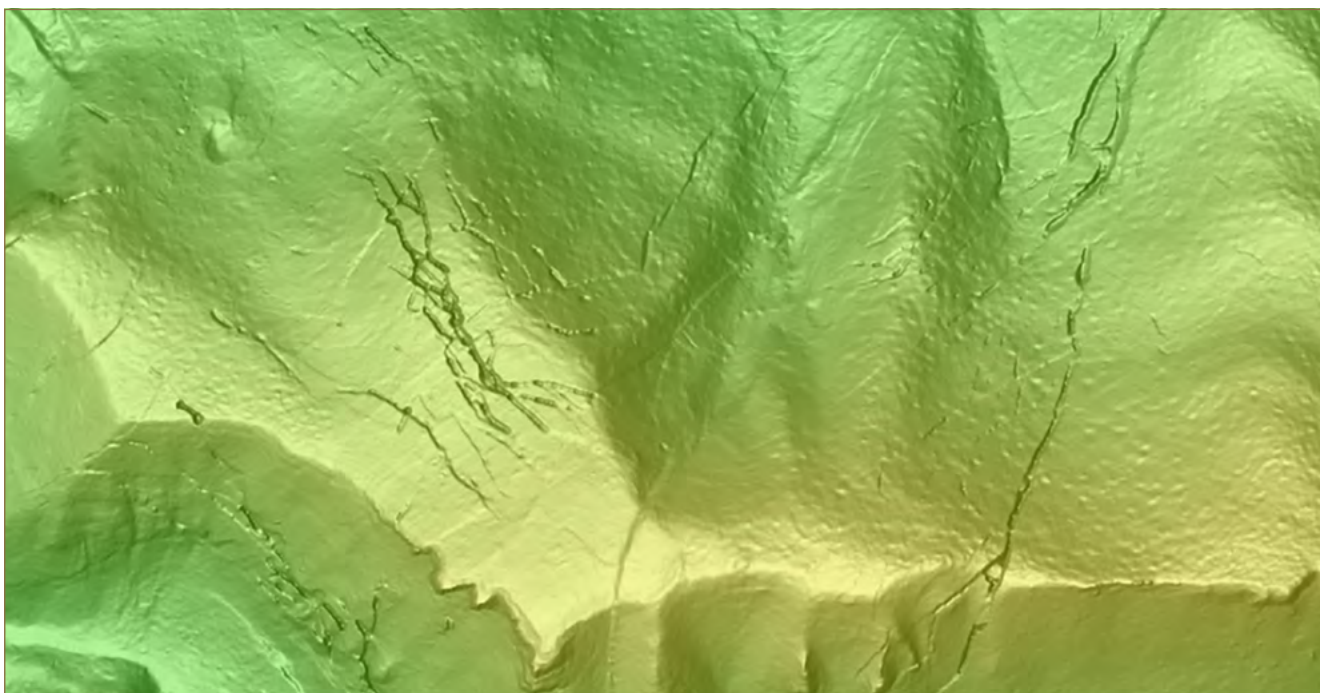
Obr. 3.23: Príklady nevhodných antropogénnych zásahov do svahu (podľa Montgomery, 1989 upravila A. Mosná)



Obr. 3.24: Každý nevhodný zásah do svahu môže predstavovať riziko, napr. v prípade podrezania svahu s vrstvami súhlasne uloženými so svahom; a – odrez cesty s nezabezpečeným svahom, b – po odstránení materiálu zo svahu sa znížil sklon svahu a znížilo sa napätie (podľa Montgomery, 1989 upravila A. Mosná)

klimatické faktory – 17 %; vývery podzemnej vody a vztlakové účinky podzemnej vody v kombinácii s eróznou činnosťou riek – 9,8 %. Z antropogénnych

príčin ide najmä o podrezanie svahu – 49 %; podrúbanie – 18 % alebo priťaženie svahu – 16,3 % (Kopecký a kol., 2008).



Obr. 3.25: Trhliny v severozápadnej časti pohoria Vtáčnik vzniknuté v dôsledku podrúbania územia pri ťažbe uhlia (zdroj: zbgis.skgeodesy.sk)



Obr. 3.26: Prejavom podrúbania pri ťažbe uhlia sú hlboké trhliny porušujúce svahy pohoria Vtáčnik východne od obce Cigelf (foto: V. Jánová)

4. KLASIFIKÁCIA SVAHOVÝCH POHYBOV (U NÁS AJ VO SVETE)

Svahové pohyby možno klasifikovať podľa viacerých kritérií. Medzi hlavné kritériá patria mechanizmus pohybu a rýchlosť pohybu. Pri klasifikácii svahových porúch je možné okrem mechanizmu pohybu a rýchlosti pohybu použiť aj ďalšie, vedľajšie kritériá. Nemčok (1982) uvádza nasledovné z nich:

1. *Vek*. Súčasná porucha – pohyb prebieha alebo sa reaktivizuje v súčasnosti v priebehu posledných rokov; stará porucha – pohyb prebiehal aj sa skončil v geologickej minulosti, t. j. v poslednom geologickom období – holocéne. Pohyb vyvolali aj skončili súčasné geomorfologické a klimatické činitele; pradávna (fosílna) porucha – pohyb prebiehal aj sa skončil v geologickej minulosti pred obdobím holocénu. Príčiny jej vzniku a rozvoja zanikli s nástupom súčasných geomorfologických a klimatických činiteľov.

2. *Stupeň aktivity*. Porucha aktívna (živá) – je v pohybe v dnešnom čase; potenciálna (dočasne upokojená) – pohyb je dnes upokojený, ale príčiny jeho vzniku sa môžu za vhodných podmienok obnoviť; stabilizovaná (trvalo upokojená) – príčiny vzniku pohybu zanikli prirodzeným vývojom alebo zásahom človeka.

3. *Genéza*. Porucha prirodzená – pohyb vznikol na prirodzených svahoch bez zásahu človeka; umelo vyvolaná (antropogénna) – pohyb vznikol na prirodzených svahoch alebo v násypoch, odrezoch a zárezoch ľudskou činnosťou.

4. *Vývojové štádium*. Iniciálne štádium znamená pomalú prípravu a vznik poruchy plazivým pohybom s nevýraznými morfológickými prejavmi; rozvinuté štádium – progresívny vývoj poruchy a prechod do

zosúvania, tečenia a rútenia, t. j. vznik zloženej svahovej poruchy; finálne štádium – relikty bývalej poruchy, ktorá prešla viacerými fázami vývoja.

5. *Opakovateľnosť*. Porucha jednorazová – pohyb na určitom mieste nastal iba raz; periodická – pohyb sa na určitom mieste znova zopakoval; čas od času sa opakuje vplyvom periodicity hlavného faktora pohybu.

6. *Smer narastania pohybu*. Porucha progresívna – rozširuje sa po svahu v smere pohybu; regresívna (retrográdna) – rozširuje sa do svahu proti smeru pohybu.

7. *Pôdorys*. Porucha prúdová – dĺžka svahovej poruchy viacnásobne prevyšuje šírku; plošná (areálna) – dĺžka svahovej poruchy sa rovná približne šírke; frontálna – šírka poruchy viacnásobne prevyšuje dĺžku.

8. *Výraznosť morfológie*. Čerstvá – svahová porucha s jasnými formami, neporušenými mladšou svahovou modeláciou ani činnosťou človeka; zastretá – so zarovnanými formami mladšej svahovej modelácie; pochovaná – svahová porucha je oderodovaná alebo zakrytá akumuláciami mladšej svahovej modelácie.

Vo svete sa používa viacero klasifikácií svahových pohybov. V súčasnosti azda najviac akceptovaná je klasifikácia podľa Crudena a Varnesa (1996) (tab. 4.1), ktorá rozlišuje 6 skupín svahových pohybov.

Na Slovensku sa najviac používa klasifikácia podľa Nemčoka, Pašeka a Rybára (1974), ktorá rozdeľuje svahové pohyby na základe rýchlosti pohybu a mechanizmu pohybu na štyri skupiny: plazenie, zosúvanie, stekanie a rútenie (tab. 4.2, 4.3, 4.4).

4.1 Plazenie

Plazenie je pomalý, dlhodobý, spravidla nezrýchľujúci sa pohyb horninových hmôt na svahu, pričom šmyková plocha je vo väčšine prípadov nezreteľná. Rýchlosť plazenia môže byť v milimetroch za deň až centimetroch za rok.

Podľa klasifikačnej schémy svahových pohybov zo skupiny plazenia (Nemčok, Pašek, Rybář, 1974) rozoznávame podpovrchové (hlbinné) plazenie a povrchové plazenie (tab. 4.2).

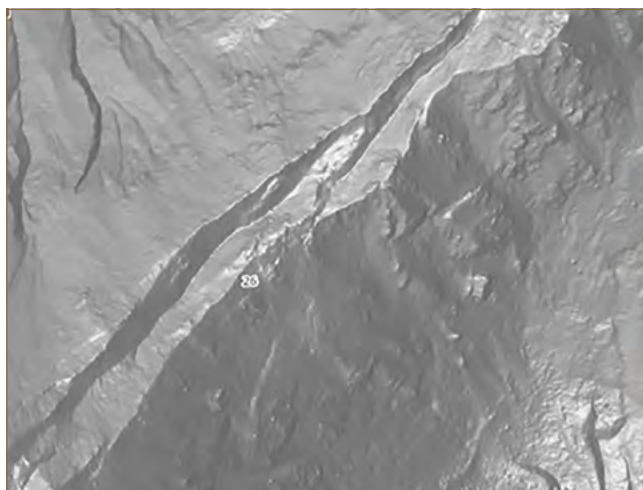
Výsledné formy podpovrchového plazenia sú vo väčšine prípadov málo výrazné: **rozvoľnenie svahu, roztrhanie horských masívov, dvojité hrebene, hlbinné ohýbanie vrstiev, gravitačné vrásky, údolné**

antiklinály a iné. Výnimku tvoria len tvrdé komplexy hornín ležiace na mäkkom podloží, ktoré sa plazením rozlámu na morfológicky výrazné **blokové polia alebo blokové rozpadliny** (Nemčok, 1982).

Podpovrchové plazenie v iniciálnom štádiu sa morfológicky prejavuje ako sústava rýh a stupňov šikmo pretínajúcich horské hrebene a svahy. Nemčok (1982) ich podrobne opisuje napr. na Žiarскеj holi a Panskej holi v Nízkych Tatrách, v masíve Klina, Veľkej Kamenistej a Smrečín v Západných Tatrách (obr. 4.1), na hrebene Malého Kriváňa a Bobot v Malej Fatre, na Bujačom vrchu a Ždiarskej vidle v Belianskych Tatrách.

Tab. 4.1: Schematická klasifikácia svahových pohybov podľa Crudena a Varnesa (1996)

Typ pohybu		Typ zosúvajúceho sa materiálu	
		Horniny	Zeminy
			Prevažne nesúdržné Prevažne súdržné
Rútenie		Skalné rútenie	Opadávanie úlomkov Opadávanie zemín
Odvalenie		Preklápanie blokov skalných hornín	Preklápanie sutín Preklápanie zemín
Zosúvanie	Pozdĺž rotačnej šmykovej plochy	Blokový zosuv	Poklesy Zosuv zemín
	Pozdĺž planárnej šmykovej plochy		Blokový zosuv sutín Zosuv sutín
Laterálne posúvanie		Bočné posúvanie skalných blokov	Bočné posúvanie blokov sutiny Bočné posúvanie blokov zeminy
Tečenie		Tečenie horniny (plazenie hlbokých štruktúr)	Sutinový prúd (skalná lavína) Zemný prúd (plazenie zemín)
Komplexné pohyby – pohyby sú zložené minimálne z dvoch prevažujúcich základných typov			



Obr. 4.1: Príklad iniciálneho štádia podpovrchových plazivých porúch na hrebeni medzi Veľkou Kamenistou a Smrečínami v Západných Tatrách; vľavo LiDAR-ová snímka, vpravo fotografia (zdroj: zbgis.skgeodesy.sk a google.sk/maps)

Rozvinuté štádiá plazivých porúch majú spravidla veľké rozmery a morfológicky sa prejavujú ako výrazné sústavy hlbokých trhlín, rýh a skalných stupňov, napr. Poľská a Liptovská Tomanová a Sivý vrch v Západných Tatrách, Košarisko a Chabenec v Nízkych Tatrách (obr. 4.2), Veľký Rozsutec v Malej Fatre a mnoho iných.

Podpovrchové plazivé poruchy v rozvinutých štádiách možno pomerne často nájsť na kontakte chočského (hronikum) a križňanského príkrovu (fatrikum). Rigidné tektonicky porušené vápence a dolomity chočského príkrovu ležiace na mäkkších slienitých vápencoch a bridliciach križňanského príkrovu sa

pomalým gravitačným pohybom oddeľujú od materského masívu a tvoria rozsiahle blokové rozpadliny a blokové polia. Morfológicky ide o veľmi výrazné plazivé poruchy, pre ktoré sú charakteristické členité zubaté hrebene, systémy hlbokých trhlín a rýh, skalných stupňov a skalných blokov ponakláňaných na rôzne strany. Príkladom takýchto plazivých porúch sú blokové rozpadliny a blokové polia na Sivom vrchu (obr. 4.3), Radových skalách, Veľkom Rozsutci, Šípe a pod.

Hlboké podpovrchové plazivé poruchy sa tiež nachádzajú na okrajoch všetkých našich vulkanických pohorí. Vhodnú geologickú štruktúru na vznik

Tab. 4.2: Klasifikačné schéma svahových pohybov – skupina plazenia (Nemček, Pašek, Rybář, 1974)

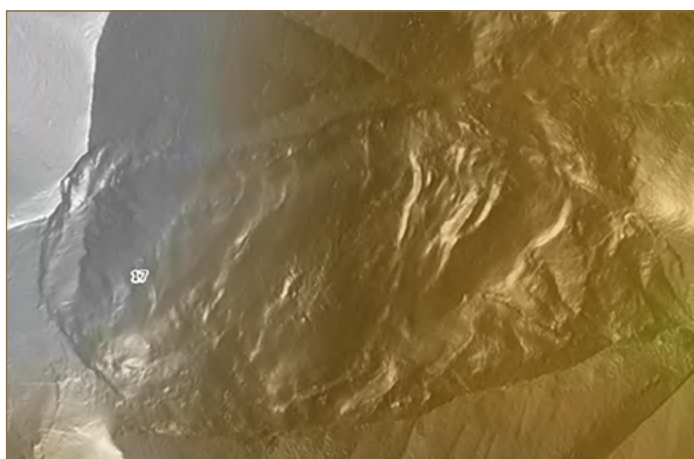
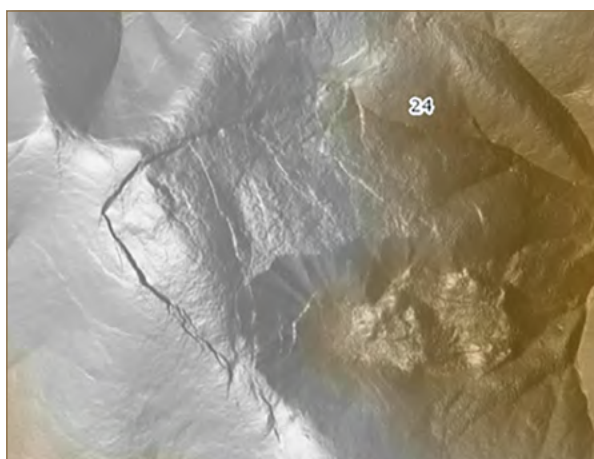
Základné skupiny svahových pohybov		Základné typy svahových pohybov	Príklady najrozšírenejších typov svahových pohybov a ich charakteristika	Názvy výsledných svahových porúch		
Plazenie	Podpovrchové (hlbinné)	Rozvoľňovanie svahov	Rozvoľňovanie skalného svahu vznikom puklín lemujúcich tvary svahu a dna erozívnej doliny v jeho hornej časti	Rozvoľnenie svahu	Prejavy uvoľňovania napätia	
			Rozvoľňovanie svahu otváraním ťahových trhlín v jeho hornej časti	Roztrhanie horských masívov	Otváranie ťahových trhlín	
		Gravitačné vrásnenie	Poruchy vysokohorských svahov s roztrhaním horských hrebeňov a stupňovitými poklesmi svahov	Dvojité hrebene	Rozpad horského hrebeňa	
					Zhrnutie Hlbinné ohýbanie vrstiev Gravitačné vrásky (Sackung)	
				Zhrňanie vrstiev pozdĺž okrajov panví	Gravitačné vrásky Zhrnutie	
				Vytlačanie mäkkých hornín na dne dolín	Údolné antiklinály Vytlačanie vrstiev pod dnom dolín	
		Blokové pohyby	Blokové pohyby na plastickom podloží	Blokové polia, blokové rozpadliny		
			Blokové pohyby pozdĺž predurčenej plochy	Blokové rozpadliny Blokové polia Posuvy		
	Povrchové	Povrchové	Plazenie	Zliezanie sutín Zliezanie svahových hĺn Povrchové ohýbanie vrstiev Vyliečenie a hákovanie vrstiev Plošná soliflukcia, splazy Kamenné ľadovce Kamenné moria		

blokových rozpadlín a blokových polí predstavujú lávové prúdy a lávové príkrovy tvorené andezitmi, ryolitmi alebo čadičmi uloženými na plastických terciérnych íloch, ílovcoch, tufoch alebo tufitoch. Gravitačný rozpad v hrebeňových častiach má charakter blokových rozpadlín, kde sú kryhy a bloky od seba oddelené ťahovými trhlinami a tvoria zreteľné skalné stupne. V ich predpolí sa spravidla nachádzajú blokove polia predstavujúce bloky rôznej veľkosti oddelené od materského masívu a pomalými plazivými pohybmi rozvečené po svahu. Medzi blokovými poliami sa často formujú zosuvy a zemné prúdy. Príkladom takýchto blokových porúch sú napr. poruchy na okraji Vtáčnika v oblasti Bieleho kameňa (obr. 4.4)

a Veľkého Griča alebo poruchy na východnom okraji Kremnických vrchov.

Finálne štádiá hlbinných plazivých porúch sa na horských hrebeňoch a v záveroch dolín morfológicky prejavujú rozbrázdnenými skalnými stupňami a ryhami, často sú sprevádzané skalnými zosuvmi a skalnými zrúteniami. Zvyšky takýchto porúch možno nájsť napr. na Salatíne, Končistej, Banistej (obr. 4.6) alebo na Babkách v Západných Tatrách, na Zvolene a Kotlískach v Nízkych Tatrách alebo na Parohoch a Koniarkach v Malej Fatre.

Povrchové plazenie je nepostrehnuteľne pomalý, rovnomerný gravitačný pohyb zemín alebo hornín tvoriacich svah smerom nadol. Postihuje spravidla



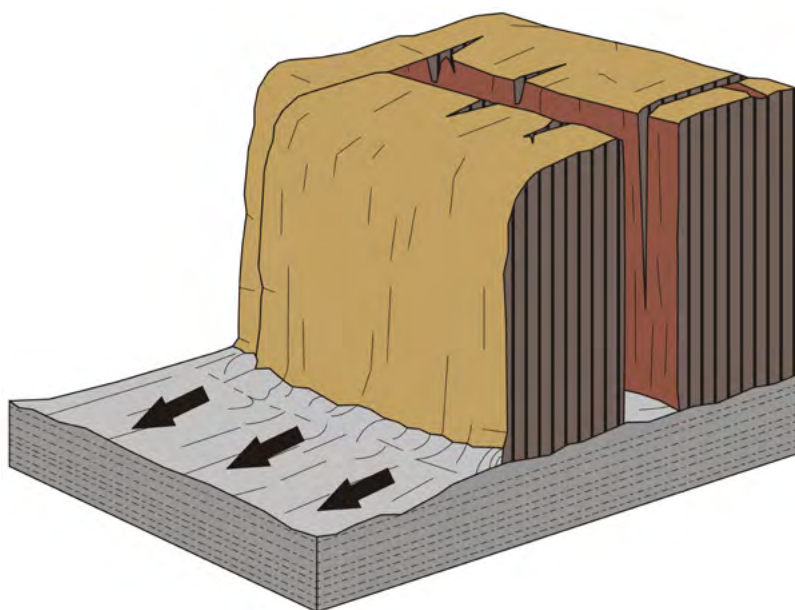
Obr. 4.2: Ukážka rozvinutého štádia podpovrchových plazivých porúch na svahoch Košariska v Nízkych Tatrách (vľavo) a Hromového v Malej Fatre (vpravo) na LiDAR-ových snímkach (zdroj: zbgis.skgeodesy.sk)



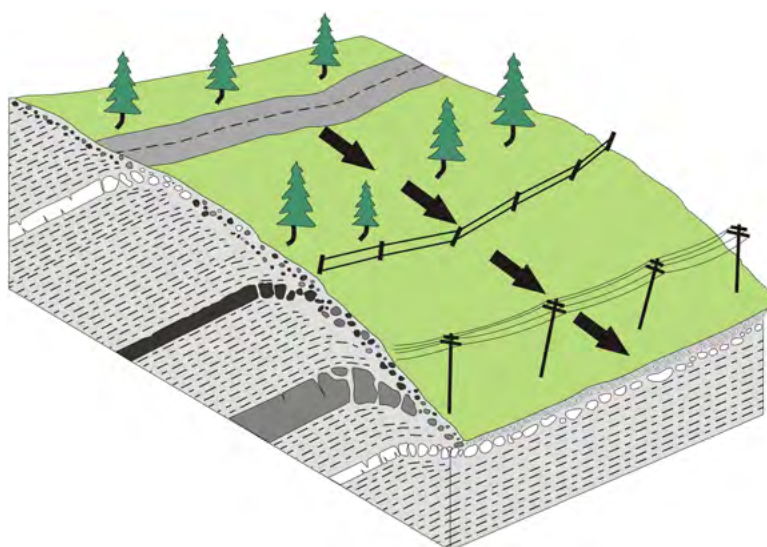
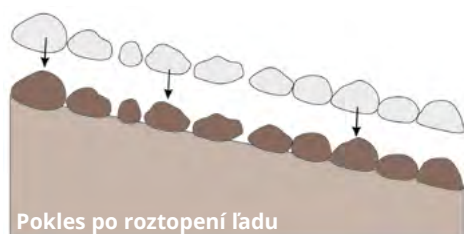
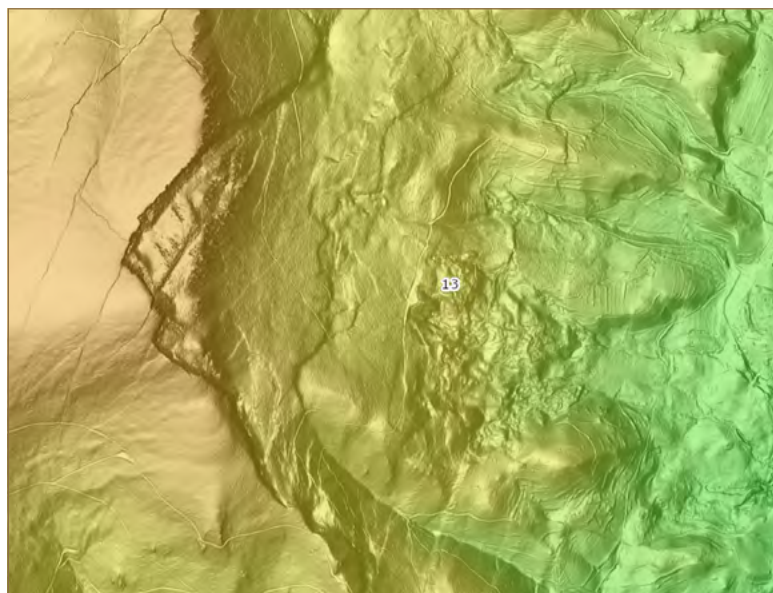
Obr. 4.3: Blokové rozpadliny a blokové pole (Sivý vrch) (foto: D. Haluška)

pokryvné útvary, no niekedy aj zvetrané podložné horniny. Okrem gravitácie je povrchové plazenie ovplyvňované hlavne sezónnymi zmenami teploty a vlhkosti, hlavne zamrznutím a rozmrznutím pokryvných zemín (obr. 4.5). Výsledkom povrchového plazenia je **zliezanie sutín**, **zliezanie svahových hĺn**, **splazy** (obr. 4.7) alebo **hákovanie vrstiev** (obr. 4.5).

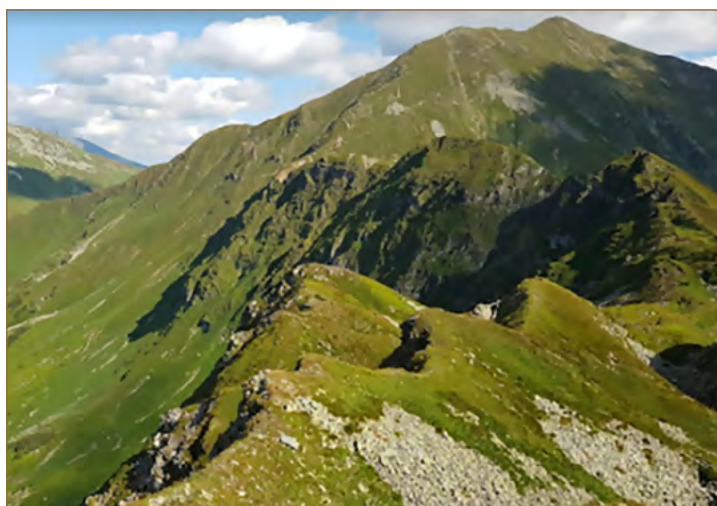
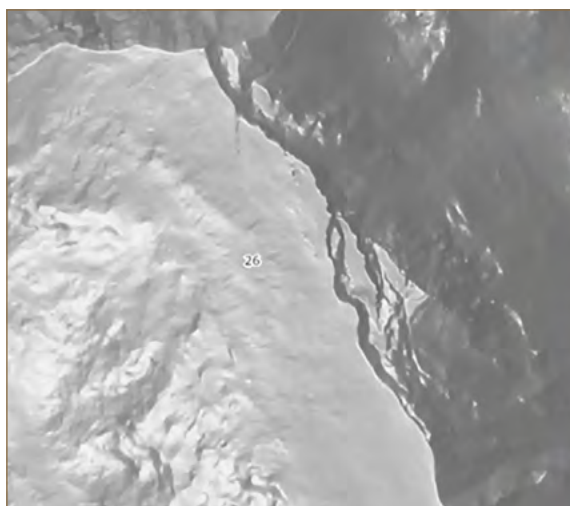
Plazenie je iniciálnym štádiom všetkých ostatných typov svahových porúch, je prípravnou fázou zosúvania, tečenia alebo rútenia. V teréne možno povrchové plazenie indikovať zakrivenými kmeňmi stromov (obr. 4.8), zdeformovanými oplateniami alebo opornými múrmi, naklonenými stožiarimi alebo plotmi, popraskanými povrchmi vozoviek a malými zvlhčeniami v morfológii svahov.



Obr. 4.4: Schéma vzniku blokových rozpadlín (vľavo), ukážka trhlín medzi blokmi andezitov vo Vtáčniku (vpravo hore) a LiDAR-ová snímka svahovej deformácie na Bielom kameni vo Vtáčniku (schéma A. Mosná, foto: V. Jánová, snímka zdroj: zbgis.skgeodesy.sk)



Obr. 4.5: Princíp pohybu častíc po svahu pri povrchovom plazení (vľavo), schéma povrchového plazenia (zliezanie svahových hĺn a sutín) (vpravo dole) (podľa Hamblin, 1991 upravila A. Mosná)



Obr. 4.6: Skalné stupne a trhliny na hrebeni medzi Banistou a Gáborovým sedlom v Západných Tatrách predstavujú relikty odlučnej oblasti hlbínnej plazivej poruchy; vľavo dole LiDAR-ová snímka, vpravo fotografia (zdroj: zbgis.skgeodesy.sk a google.sk/maps)



Obr. 4.7: Splazy a zliezanie sutín ako výsledok povrchového plazenia (foto: V. Jánová)



Obr. 4.8: Jedným z prejavov povrchového plazenia je zakrivenie kmeňov stromov (foto: V. Jánová)

Tab. 4.3. Klasifikačná schéma svahových pohybov – skupina zosúvania a stekania (Nemčok, Pašek, Rybář, 1974)

Základné skupiny svahových pohybov	Základné typy svahových pohybov	Príklady najrozšírenejších typov svahových pohybov a ich charakteristika	Názvy výsledných svahových porúch
Zosúvanie	Zosúvanie pozdĺž rotačnej šmykovej plochy		Rotačné zosuvy Zosuvy podľa rotačnej šmykovej plochy
	Zosúvanie pozdĺž rovinatej šmykovej plochy	Zosúvanie zemín podľa rovinatej šmykovej plochy	Planárne zosuvy Zosuvy podľa rovinatej šmykovej plochy Zosuvy podľa predurčenej (predisponovanej) šmykovej plochy
		Zosúvanie skalných hornín podľa rovinatej šmykovej plochy	Planárne zosuvy v skalných horninách Posuvy po predurčenej ploche
	Zosúvanie pozdĺž zloženej šmykovej plochy	Zosúvanie pozdĺž zloženej, zakrivenej a rovinatej šmykovej plochy	Rotačno-planárne zosuvy Zosuvy pozdĺž zloženej šmykovej plochy
		Zosúvanie po horizontálnej alebo mierne naklonenej šmykovej ploche	Laterálne posuvy
Stekanie	Stekanie svahových uloženín	Stekanie ílovitých a hlinito-piesčitých zemín	Zemné prúdy Bahnité prúdy Zemné prúdy v citlivých íloch Soliflukčné prúdy
		Stekanie hlinitých a úlomkovitých zemín pôsobením prívalových vôd	Kamenité (balvanité) prívalové prúdy Hlinito-kamenité prívalové prúdy Hlinité a bahnité prívalové prúdy Mury
		Stekanie povrchových partií pokryvných útvarov v období topenia snehu alebo po nadmerných zrážkach	(oplyviny)

4.2 Zosúvanie

Zosúvanie je relatívne rýchly kĺzavý pohyb horninových hmôt na svahu pozdĺž jednej alebo viacerých šmykových plôch, ktoré oddeľujú pohybujúce sa hmoty od podkladu. Rýchlosť zosúvania býva v metroch až kilometroch za hodinu. Výslednou formou zosuvného pohybu je svahová deformácia označovaná ako **zosuv**.

Zosuvy najčastejšie delíme podľa tvaru, stupňa aktivity a podľa tvaru šmykovej plochy.

Podľa tvaru delíme zosuvy na:

- **plošné** – ich šírka sa približne rovná ich dĺžke,
- **prúdové** – ich dĺžka v smere spádu svahu niekoľkonásobne prevyšuje ich šírku,
- **frontálne** – ich šírka niekoľkonásobne prevyšuje ich dĺžku.

Podľa stupňa aktivity delíme zosuvy na:

- **aktívne** – zosuvy, ktoré sa v súčasnosti pohybujú a majú zreteľné prejavy na povrchu,

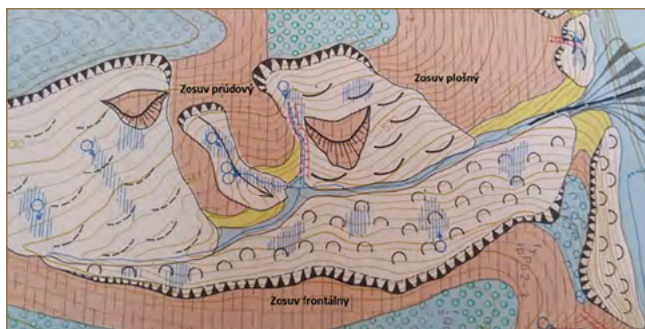
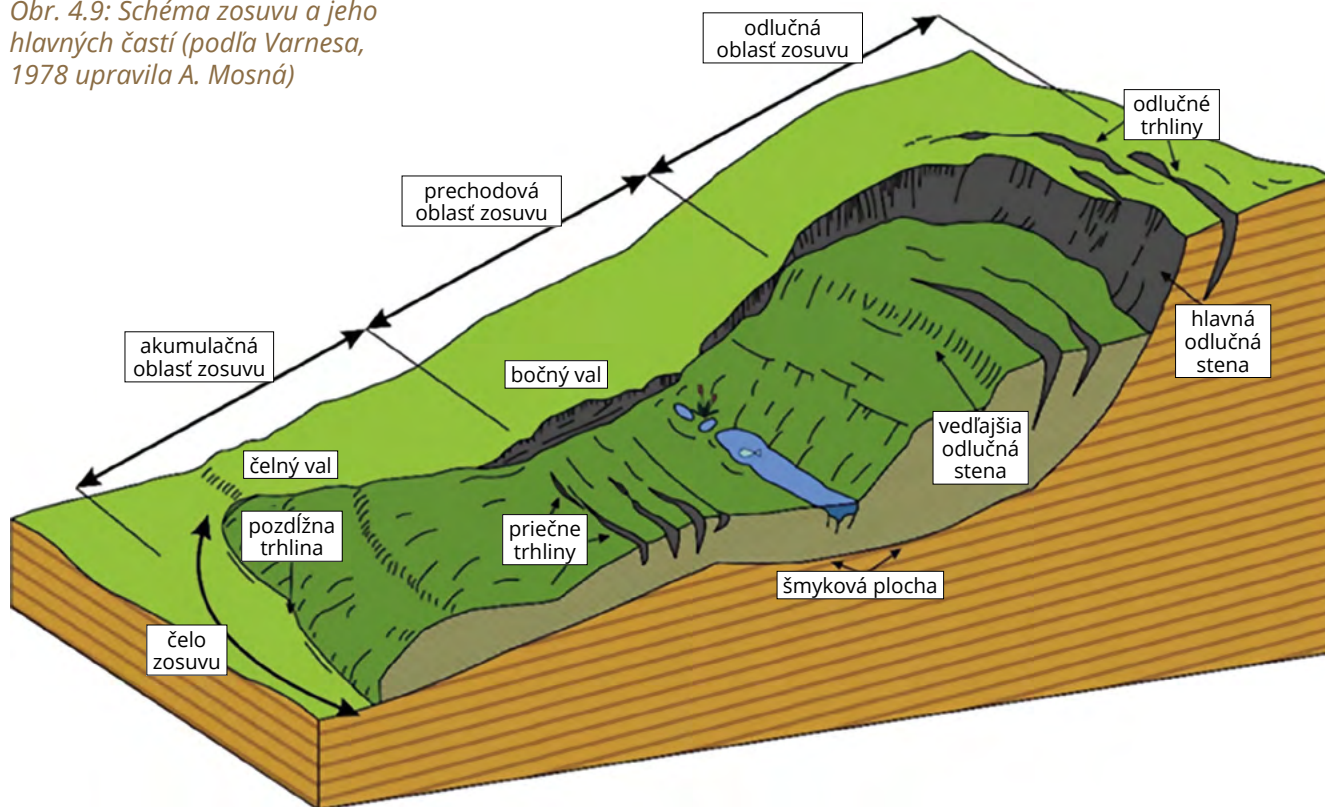
- **potenciálne** – zosuvy, ktorých pohyb je dočasne upokojený, ale príčiny ich vzniku sa môžu za určitých podmienok obnoviť (napr. pri dlhodobých zrážkach, odstránení vegetácie, podrezaní čela, prítiažení odľučnej oblasti a pod.),
- **stabilizované** – zosuvy, ktorých prirodzené príčiny vzniku zanikli, ale môžu byť aktivizované neuvážaným umelým zásahom človeka (napr. podrezaním svahu a pod.).

Podľa tvaru šmykovej plochy delíme zosuvy na:

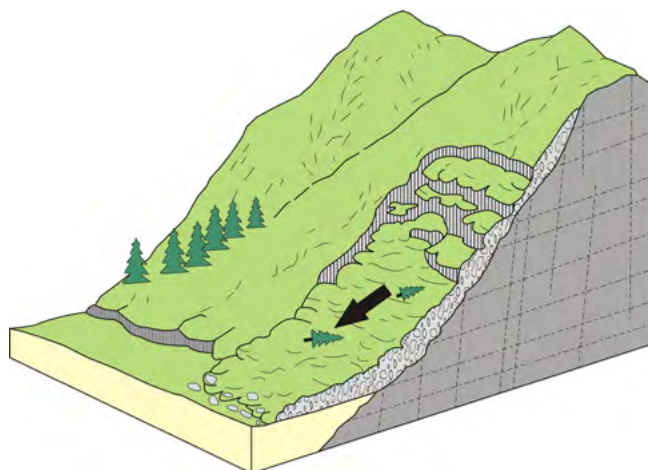
- **rotačné** – zosuvy s valcovou šmykovou plochou,
- **planárne** – zosuvy s rovinnou šmykovou plochou,
- **rotačno-planárne** – zosuvy so zloženou šmykovou plochou.

Bočné posuny sú charakteristické tým, že sa zvyčajne vyskytujú na veľmi miernych svahoch alebo

Obr. 4.9: Schéma zosuvu a jeho hlavných častí (podľa Varnesa, 1978 upravila A. Mosná)



Obr. 4.10: Spôsob zobrazovania plošných, prúdových a frontálnych zosuvov na inžiniersko-geologickej mape (podľa Mahr a kol., 1985)



Obr. 4.11: Schéma aktívneho prúdového zosuvu (podľa Hamblin, 1991 upravila A. Mosná)

v rovinatom teréne (obr. 4.14). Dominantným spôsobom pohybu je bočné posúvanie sprevádzané šmykovými alebo ťahovými trhlinami. Porušenie je spôsobené stekutením zemín, procesom, pri ktorom nasýtené, sypké nesúdržné sedimenty prechádzajú z tuhého skupenstva do kvázi-kvapalného. Porucha je zvyčajne vyvolaná náhlým pohybom hmôt, ako napríklad pri zemetrasení, ale môže byť tiež umelo vyvolaná. Keď súdržný materiál, či už skalná hornina alebo zemina, spočíva na materiáloch, ktoré stekutejú, takisto môže dôjsť k rozpadaniu a posúvaniu



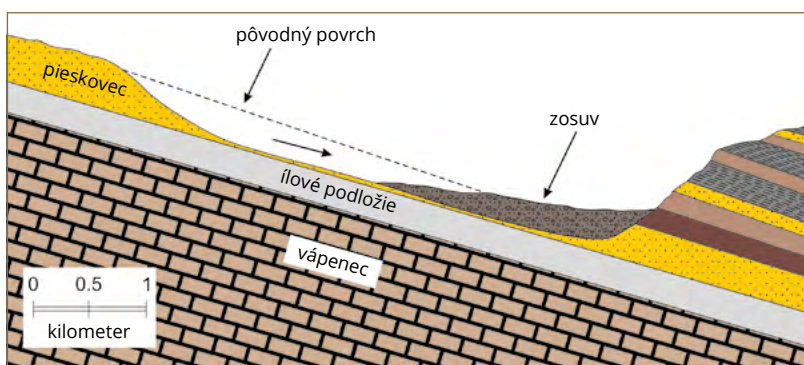
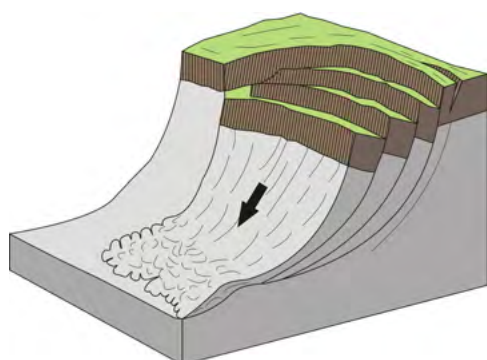
Obr. 4.12: Príklad zosuvu s rotačnou šmykovou plochou v obci Banka pri Piešťanoch (foto: V. Jánová)

takýchto zemných/horninových telies. Tieto môžu následne poklesávať, posúvať sa, dezintegrovať alebo skvapalňovať a tiecť. Bočné posuny v jemnozrnných materiáloch na miernych svahoch sú zvyčajne

progresívne. Porucha začína náhle na malom mieste a rýchlo sa šíri. Počiatočná porucha je často pokles, ale v niektorých materiáloch dochádza k pohybu bez zjavného dôvodu.



Obr. 4.13: Príklad aktívneho zosuvu v Šenkviach (vľavo) a stabilizovaného zosuvu v Liptovských Matiašovciach (vpravo) (foto: V. Jánová)



Obr. 4.14: Schéma rotačného zosuvu (upravené podľa Hamblin, 1991) a planárneho zosuvu (upravené podľa Tarbuck, Lutgens, 1990)



Obr. 4.15: Bočné posuny v miocénnych vápnitých íloch, lokalita Bukovec, západné Slovensko, 2007 (foto: P. Liščák)

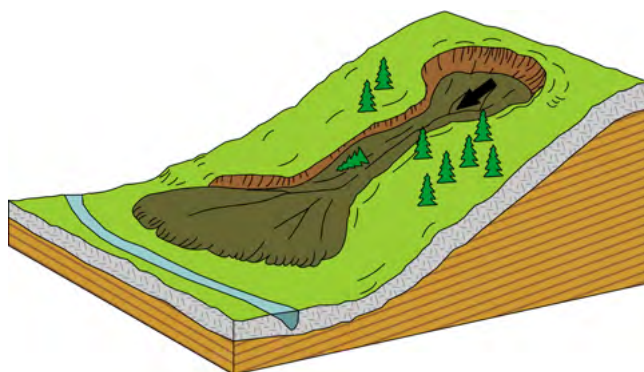
4.3 Stekanie

Stekanie je rýchly gravitačný pohyb horninových mas po svahu vo viskóznom stave. Stekanie dosahuje rýchlosť metrov za minútu. Stekajúce hmoty sú ostro oddelené od neporušeného podložia a, na rozdiel od zosuvov, bývajú premiestnené na pomerne veľké vzdialenosti.

Výslednou formou stekania je svahová deformácia označovaná ako **prúd**. Podľa zloženia rozoznávame zemné prúdy, hlinité a bahnité prívalové prúdy, kamenité prúdy, mury a hlinito-kamenité prúdy.

Existuje päť základných kategórií svahových porúch typu stekania, ktoré sa navzájom zásadne líšia.

Kamenito-hlinitý prúd, mura: Ide o formu rýchleho svahového pohybu, pri ktorej sa zmes uvoľnenej pôdy, hornín, organických látok, vzduchu a vody mobilizuje ako kaša, ktorá steká po svahu (obr. 4.17). Podiel jemnozrnných častíc v takýchto prúdoch je spravidla < 50 %. Mury sú obvyčajne spôsobené zvýšeným prítokom povrchovej vody v dôsledku extrémnych

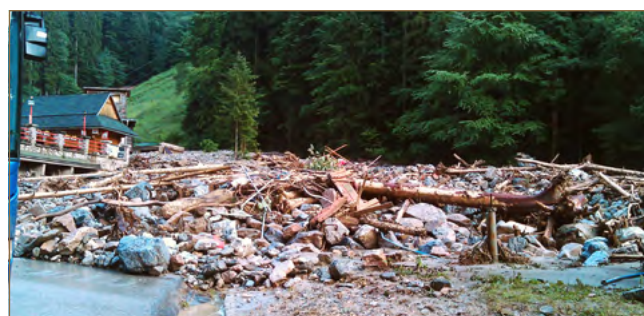


Obr. 4.16: Schéma zemného prúdu (A. Mosná)

zrážok alebo rýchleho topenia snehu, ktorá eroduje a mobilizuje uvoľnenú pôdu alebo horninu na strmých svahoch. Mury sa tiež bežne mobilizujú z iných typov svahových porúch, ktoré sa vyskytujú na strmých svahoch (sklon nad 30°), a sú takmer nasýtené meteorickou vodou. Napríklad, pri katastrofe vo Vrátnej doline v roku 2014 materiál prúdov pochádzal zo zosuvov v oblasti Hromového, ako aj zo skalných



Obr. 4.17: Stekanie kamenitých zvetralín (mury) vo vysokých pohoriach (foto: V. Jánová)



Obr. 4.18: Čelo kamenito-hlinitého prúdu vo Vrátnej doline v roku 2014 (foto: V. Jánová)



Obr. 4.19: Odlučná oblasť a akumulácia kamenito-hlinitých prúdov, ktorá zavalila dolnú stanicu lanovky Vrátna-Chleb dňa 21. 7. 2014, Malá Fatra, Slovensko (foto: www.hzs.sk, P. Liščák)

zrútení v transportačnej zóne (Liščák a kol., 2014). Oblasť zdroja materiálu kamenito-hlinitého prúdu sú často spojené so strmými eróznymi a lavínovými žlabmi a ich usadeniny sú zvyčajne indikované prítomnosťou dejekčných kuželov v ústiach takýchto foriem reliéfu (obr. 4.18 a 4.19).

Lahar: Ide o veľmi rýchly až extrémne rýchly kamenito-hlinitý prúd, stekajúci zo sopečných svahov, vznikajúci spravidla po sopečnej erupcii, sprevádzanej intenzívnymi zrážkami a topením ľadovca/snehu na vrchole vulkánu. Na Slovensku sa uloženiny lahárov z obdobia sopečnej aktivity v neogéne vyskytujú v regióne neovulkanitov.

Zemné prúdy majú charakteristický tvar s misovitou priehlbeninou v odlučnej oblasti. Zemný prúd je podlhovastý a zvyčajne sa vyskytuje v jemnozrnných materiáloch alebo ílovitých horninách na miernych svahoch a pri nasýtených podmienkach (obr. 4.20). Vyskytujú sa však aj suché prúdy nesúdržného materiálu.



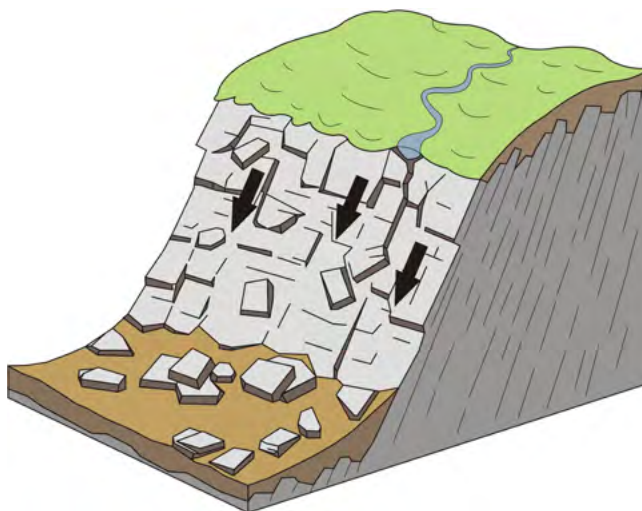
Obr. 4.20: Zemný prúd v obci Lipovany, južné Slovensko, 2011 (foto: P. Liščák) a čelo zemného prúdu v Košiciach (foto: V. Jánová)

Bahnotok: Bahnotok, bahnitý prúd je zemný prúd pozostávajúci z materiálu, ktorý je dostatočne vlhký na to, aby mohol rýchlo prúdiť, a ktorý obsahuje najmenej 50 % častíc veľkosti piesku a siltu.

4.4 Rútenie

Rútenie je veľmi rýchly (metre za sekundu) gravitačný pohyb horninových mas na strmých svahoch, pri ktorom sa časť materiálu sklzáne alebo zosype po strmo uklonených nepravidelných šmykových plochách a časť padá voľným pádom. Svahový pohyb môže mať charakter:

- zosypávania – premiestňovanie drobných úlomkov hornín gúľaním a váľaním po svahu,
- opadávanie úlomkov – premiestňovanie úlomkov hornín voľným pádom,
- odvalového rútenia – náhle premiestnenie skalných stien prevažne voľným pádom,
- planárneho rútenia – náhle premiestnenie skalných stien klzaním po predurčenej (napr. vrstevnej) ploche a následným voľným pádom (obr. 4.21).



Obr. 4.21: Schéma planárneho rútenia (podľa Hamblin, 1991 upravila A. Mosná)

Tab. 4.4: Klasifikačná schéma svahových pohybov – skupina rútenia (Nemčok, Pašek, Rybář, 1974)

Základné skupiny svahových pohybov	Základné typy svahových pohybov	Príklady najrozšírenejších typov svahových pohybov a ich charakteristika	Názvy výsledných svahových porúch
Rútenie	Zosypávanie	Premiestňovanie drobných úlomkov poloskalných hornín a zemín gúľaním a váľaním po svahu	Drobenie Zosypy
	Opadávanie úlomkov	Náhle premiestnenie úlomkov skalných hornín voľným pádom a posúvaním po svahu	Opadové kužele Sutinové kužele Haldy Osypy Kamenné moria Padanie kameňov
	Odvalové rútenie	Náhle premiestnenie skalných stien prevažne voľným pádom	Skalné zrútenie Odvalové zrútenie Odvaly
	Planárne rútenie	Náhle premiestnenie skalných stien, pričom sa kombinuje kĺzavý pohyb po predurčenej ploche s voľným pádom	Zosutie Planárne skalné zrútenie Skalné zrútenie kombinované s posúvaním Zlomiská

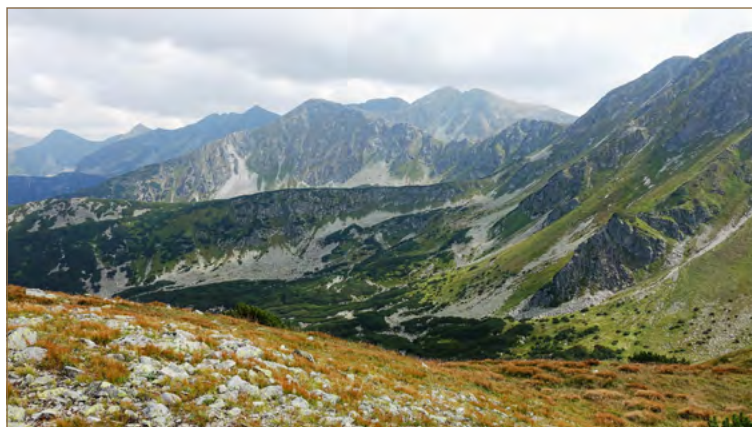
Výslednou formou svahových deformácií sú **drobenie, zosypy, opadové kužele, sutinové kužele, osypy, kamenné moria, skalné zrútenia, odvaly** a pod.

Rútenie predstavuje náhly pohyb masy horninových materiálov, ako sú kamene a balvany, ktoré sa uvoľnia zo strmých svahov alebo útesov v dôsledku pôsobenia erodujúcich činiteľov, ako sú vodný tok, ľadovec, oceán, jazero alebo vietor. Je to najrýchlejší zo svahových pohybov s rýchlosťami dosahujúcimi 100 – 150 km.hod⁻¹. K oddeľovaniu materiálov

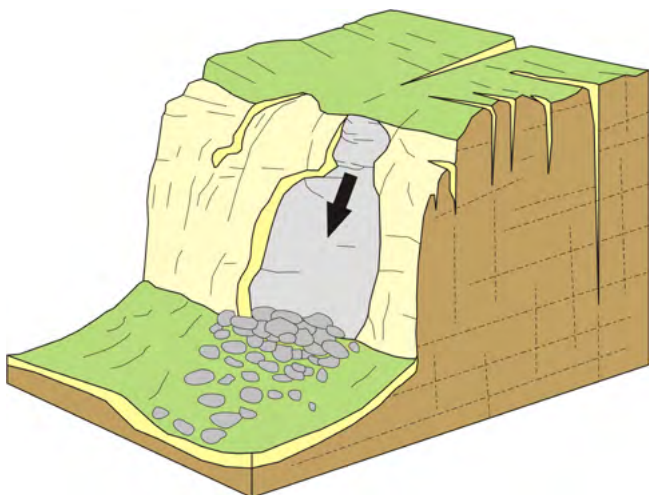
rútenia dochádza pozdĺž diskontinuit, ako sú pukliny a plochy vrstevnatosti. Pri pohybe sa však uplatňuje nielen voľný pád, ale aj ostatné druhy pohybu, ako je saltácia, kotúľanie a váľanie po svahu (obr. 4.22). Skalné zrútenia sú výrazne ovplyvnené gravitáciou, mechanickým zvetrávaním a prítomnosťou cyklicky zamrzajúcej vody v puklinách a póroch hornín. Opakované rútenia, resp. opadávanie blokov a úlomkov na jednom mieste v určitom časovom období, vedú k akumulácii fragmentov a blokov označovaných ako opadové a sutinové kužele (obr. 4.23 a 4.26).



Obr. 4.22: Spadnutý skalný blok na cestu v Kozelníku (foto: P. Tupý) a zvyšky skalného zrútenia v Strečne (foto: V. Jánová)



Obr. 4.23: Osypy (vľavo) a sutinové kužele (vpravo) v Západných Tatrách (foto: D. Haluška a V. Jánová)



Obr. 4.24: Schéma odvalového rútenia (vľavo) (podľa Hamblin, 1991 upravila A. Mosná); príklad skalného zrútenia (vpravo) (foto: V. Jánová)



Obr. 4.25: Skalné zrútenie vo Vrátnej doline v roku 2021 (zdroj: TASR)

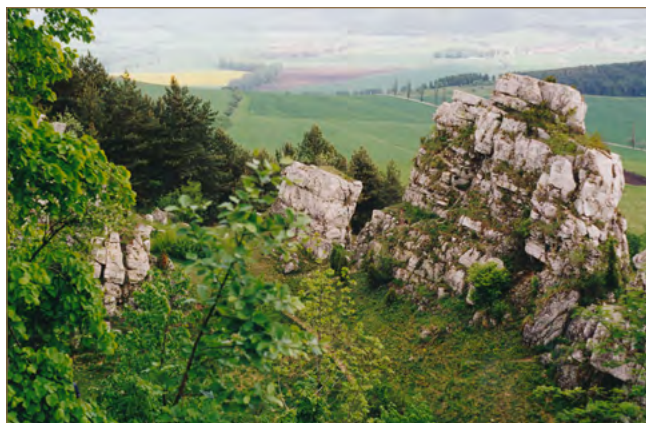
Poruchy typu **odvalenia a preklápania blokov** sa vyznačujú rotáciou bloku/blokov horniny smerom dopredu okolo bodu rotácie, pôsobením gravitácie a síl vyvíjaných susednými blokmi alebo klinovitým účinkom zamrzajúcej puklinovej vody (obr. 4.27, 4.28, 4.29).



Obr. 4.26: Sutinový kužel v Kosteleckej tiesňave (foto: P. Liščák)

4.5 Klasifikácia svahových deformácií podľa socio-ekonomickej významnosti

V roku 2010, v „roku zosuvov na Slovensku“, vstala, okrem iného, požiadavka vytvoriť socio-ekonomickú kategorizáciu celého súboru zdokumentovaných svahových deformácií. Cieľom bolo poskytnúť orgánom štátnej správy objektívny nástroj na nasmerovanie investičných prostriedkov na prieskumy a následné sanácie do socio-ekonomicky najvýznamnejších svahových porúch. Celý súbor zaregistrovaných svahových deformácií bol rozdelený v súlade



Obr. 4.27: Odvalovanie a preklápanie blokov na okraji travertínovej kopy, lokalita Dreveník (foto: P. Liščák)



Obr. 4.28: Opadávanie a preklápanie andezitových blokov v pohorí Vtáčnik, lokalita Kláštorňa skala (foto: V. Jánová)

s účelovou kategorizáciou podľa spoločensko-ekonomickej významnosti (ohrozenie života a majetku) a z toho vyplývajúceho zosuvného rizika podľa stupnice odporúčanej Európskou komisiou pre hodnotenie multirizika (W. Marzocchi a kol., 2009) nasledovne (Liščák a kol., 2010):

- *malá významnosť (R1)*: marginálne sociálne, ekonomické a environmentálne škody;
- *stredná významnosť (R2)*: malé poškodenie budov, infraštruktúry a životného prostredia. Žiadne podstatné vplyvy na obyvateľstvo, funkčnosť budov a ekonomické aktivity;
- *vysoká významnosť (R3)*: obavy o bezpečnosť obyvateľstva. Potenciálne poruchy funkčnosti stavieb a infraštruktúry, možné prerušenie ekonomických aktivít a relevantné poškodenie životného prostredia;
- *veľmi vysoká významnosť (R4)*: očakávané škody vrátane obetí a zranení, vážne poškodenie budov a infraštruktúry, zničenie existujúceho stavu životného prostredia a socio-ekonomických aktivít.

Klasifikácia svahových deformácií podľa socio-ekonomickej významnosti predstavuje užitočný nástroj pri rozhodovaní štátu o riešení lokalít svahových deformácií zo štátneho rozpočtu a iných verejných zdrojov. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky využíva túto klasifikáciu od roku 2012.



Obr. 4.29: Plochy po odvalovom rútení v kremencoch Tribeča, lokalita Oselná skala (foto: V. Jánová)

5. PREHĽAD VÝSKUMU, REGISTRÁCIE A MAPOVANIA SVAHOVÝCH DEFORMÁCIÍ NA ÚZEMÍ SLOVENSKA A GEOLOGICKÝCH ÚLOH ZAMERANÝCH NA PRIESKUM, MONITOROVANIE A SANÁCIU SVAHOVÝCH PORÚCH

Výskyt svahových deformácií na Slovensku je podmienený niekoľkými špecifickými podmienkami a faktormi – existenciou geologických štruktúr priaznivých na aktivizáciu svahových pohybov, komplikovanými hydrogeologickými a klimatickými podmienkami, ako aj neutíchajúcou výškovou diferenciáciou jednotlivých pohorí, medzihorských depresí a nížin v dôsledku neotektonických pohybov. Súhrnný účinok všetkých týchto faktorov viedol k porušeniu rozsiahlych území zosuvmi, ktoré sa reaktivujú predovšetkým počas období zrážkových anomálií. Vzhľadom na zvyšujúci sa počet a rozsah antropogénnych zásahov do prírodného prostredia početnosť svahových pohybov spôsobených človekom začala výrazne narastať, resp. došlo k reaktivácii mnohých ukludnených deformácií. Posúdenie problémov stability územia sa stalo súčasťou projektovej prípravy akejkoľvek významnej stavby v prvej polovici minulého storočia. Po katastrofálnom handlovskom zosuve v decembri 1960 až máji 1961 si však nielen odborná a laická verejnosť, ale aj zodpovedné štátne orgány uvedomili, že hodnotenie stability územia sa musí stať nevyhnutnou súčasťou územných plánov a projektov technického a urbanistického rozvoja vo vidieckych oblastiach. Tým sa vytvorili základy systematického štúdia svahových pohybov, ktoré koordinovali orgány štátnej správy – Slovenský geologický úrad, neskôr sekcia geológie a prírodných zdrojov Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky (ďalej len MŽP SR). Po niekoľkých etapách registrácie svahových deformácií a zostavení nadčasovej publikácie o zosuvoch v slovenských Karpatoch (Nemčok, 1982) sa pozornosť postupne zameriavala na vybrané oblasti, náchylné na svahové deformácie a dôležité pre rozvoj urbanizácie Slovenska. Pre tieto územia boli vytvorené mapy stability a boli vyvinuté metódy hodnotenia stability, ako aj predpovede budúcich scenárov. Zároveň v tomto období bol vykonávaný inžiniersko-geologický a geotechnický prieskum a stabilizovali sa novovzniknuté zosuvy, na ktorých bola spravidla vyhlásená mimoriadna situácia. Završením tohto

rozsiahleho systematického výskumu svahových deformácií je bezpochyby Atlas máp stability svahov SR v mierke 1 : 50 000 (Atlas), na zostavení ktorého v rokoch 1997 až 2006 spolupracovali odborníci z viacerých organizácií zameraných na ich výskum a prieskum (Šimeková a kol., 2006). Atlas prezentuje 21 029 zaregistrovaných svahových deformácií; z toho maloplošných je 4 794 a veľkoplošných 16 235. Súčasťou Atlasu je aj mapa náchylnosti územia na svahové deformácie v M 1 : 50 000. Mapa bola vytvorená empirickou metódou. Znázorňuje farebnou formou („semaforovou“ metódou: odtiene zelenej, žltej a červenej) tri rajóny a sedem podrajónov vyjadrujúcich stupeň náchylnosti územia na vznik svahových deformácií.

Svahové deformácie, ktoré vznikli po roku 2006, v Atlase nie sú prezentované. Tak napríklad, v roku 2010, označovanom ako „rok zosuvov na Slovensku“, bolo na území najmä východného Slovenska zaregistrovaných 577 nových, resp. reaktivovaných svahových deformácií (Jánová, Liščák, 2011). Aj v období po roku 2010 bolo Slovensko takmer každoročne postihované extrémnymi zrážkami spôsobujúcimi povodne a svahové deformácie. Väčšina prírodných procesov, ktoré prechádzajú z obdobia relatívneho pokoja do obdobia aktívneho pôsobenia náhle – skokom, je pre človeka a jeho aktivity či záujmy v krajine trvalým nebezpečenstvom.

V súčasnosti sa pozornosť sústreďuje na hodnotenie zraniteľnosti zosuvných oblastí a predpovedanie ich výskytu pomocou súboru metód hodnotenia nebezpečenstva a rizika zosuvov, metód monitorovania socio-ekonomicky najvýznamnejších lokalít s prechodom na vytváranie systémov včasného varovania, ako aj nových technológií sanácie zosuvných svahov. História hodnotenia svahových pohybov na Slovensku je z viacerých uhlov pohľadu ilustratívnym a poučným príkladom vývoja moderných prístupov spoločnosti na optimálne spôsoby nášho spoluzitia s týmito nepriaznivými geodynamickými javmi a postupným odstraňovaním ich nepriaznivých dôsledkov.

5.1 Počiatky systematického výskumu svahových pohybov (do roku 1960)

V období pred vznikom vedného odboru inžinierska geológia a jej etablovania sa ako samostatnej disciplíny (v prvej polovici minulého storočia) je problematické hovoriť o systematickom výskume svahových pohybov. Fenomén svahových porúch bol však už spoločnosti známy a dôležité oblasti, ktoré boli týmito javmi postihnuté, boli zaznamenané v niekoľkých geologických a geomorfologických mapách zostavených v tomto období. Najväčšiu pozornosť sa však venovala narušeniu stability svahov v dôsledku neprimeraných zásahov do geologického prostredia pri realizácii technických prác – najmä zemných prác, ako nevyhnutných súčastí dopravných a hydroenergetických stavieb. Prakticky každý znalecký posudok z tohto obdobia, ktorý sa týka uskutočniteľnosti vybraných stavebných prác, uvádza informácie o prípadnom výskyte svahových porúch, resp. možnosti ich vyvolania stavebnými prácami (Wagner a kol., 2000).

Zo zachovaných rozsiahlych štúdií už od roku 1920 sú známe riešenia zosuvov pri výstavbe železničnej siete spájajúcej Slovensko s Čechami. Navrhované trasy boli často situované do zložitého geologického prostredia a špecializovaná mapa zosuvných oblastí bola dôležitým nástrojom pri navrhovaní ich definitívneho umiestnenia (Kettner, Záruba, 1922, in Malgot, Baliak, 1999). Znalosť problematiky stability svahov sa prehlbovala pri implementácii ďalších veľkých železničných projektov, cestných stavieb, ktoré križovali oblasť karpatského flyšu (Záruba, Myslivec, 1942), ale

aj pri príprave ďalších železničných tratí navrhnutých v zložitých geologických podmienkach Západných Karpát. Okrem dopravnej siete bola otázka svahových pohybov veľmi aktuálna aj pri príprave veľkých hydroenergetických štruktúr. Známe sú hodnotenia stability svahov pri príprave kaskády Horného Váhu v úseku medzi Krpeľanmi a Lipovcom (Záruba, 1954, Záruba, Mencl, 1958). Záruba (1957) zhrnul princípy metodológie geologického prieskumu pri stavbe priehrad v oblasti karpatského flyšu vrátane hodnotenia problémov so stabilitou.

Ako už bolo uvedené, riešenie problémov so zosuvmi bolo v tomto období do značnej miery spojené s konkrétnymi úlohami zabezpečenia stability svahov pri stavebnej činnosti alebo miestach s prejavmi svahových porúch. Určitú generalizáciu v rámci štúdia svahových pohybov predstavuje ich prezentácia v základných geologických a geomorfologických mapách. Prirodzene, ide o priestorovú vizualizáciu identifikovaných svahových deformácií, bez väzby na zákonitosti ich formovania a vývoja. Napriek tomu je možné konštatovať, že vedeckú erudíciu a schopnosť syntetizovať vedomosti priniesli viacerí významní lídri vznikajúcej československej „zosuvárskej školy“ – najmä akademik Q. Záruba a prof. V. Mencl. V tomto časovom období boli publikované významné priekopnícke práce, často so silným prvkom syntézy, ktorý sa stal základom budúceho systematického výskumu svahových pohybov na Slovensku.

5.2 Handlovský katastrofálny zosuv (december 1960 – máj 1961)

Zosuvný pohyb na handlovskom zosuve bol prvýkrát zaznamenaný 11. decembra 1960 a pokračoval prinajmenšom do 30. 5. 1961, pričom najväčší pohyb bol zaregistrovaný v období od 22. 12. 1960 do 20. 1. 1961 (Nemčok, 1982), keď rýchlosť pohybu dosiahla za 24 hodín 6,3 metra. Horizontálne posuny zosunutých mas v strednej časti zosuvu dosiahli 240 m, v akumuláčnej časti 22 m.

Najprv v plytkej brázde vyplnenej svahovou sutinou vznikol zosuv I (obr. 5.1). Asi o 14 dní neskôr sa pri jeho východnom okraji začal pohybovať prúdový zosuv označený ako zosuv II (obr. 5.1). Obidva zosuvné prúdy sa vytvorili medzi blokmi blokového poľa. Po ich splynutí šírka svahovej deformácie v akumuláčnej oblasti dosiahla 1 200 m, objem zosuvných mas dosiahol 20 miliónov m³, plocha zosuvného územia okolo 0,75 km² a hrúbka zosuvu v odlučnej oblasti dosiahla 7 m a v akumuláčnej oblasti až 25 m (Záruba, Mencl, 1969).

Dôsledky zosuvu boli doslova katastrofálne – zničených bolo 150 bytových domov spolu s časťou štátnej

cesty I/50 v dĺžke 2 km, juhovýchodná vetva handlovského vodovodu a niekoľko vedení vysokého napätia (Nemčok, 1982).

Ohrozená bola železničná trať z bane Handlová a tiež samotné mesto Handlová v dôsledku vzdutia vody Handlovky vzniknutou zosuvnou hrádzou. Zosuv v Handlovej je stále považovaný za najväčšiu prírodnú katastrofu na Slovensku spôsobenú svahovým pohybom (Baliak, Stríček, 2012).

Ako uvádza Matula (in Grecula a kol., 2006), na podnet vlády ČSR bola vytvorená havarijná komisia na riešenie vzniknutej situácie. Tento multidisciplinárny kolektív bol zložený ako z odborníkov z IGHP v Žiline, tak aj z vysokoškolských pedagógov z UK a SVŠT, z GÚDŠ, ČSAV a ÚGÚ, ba aj zo Sovietskeho zväzu (M. Ingr, C. Mach, I. Šarík, F. Dolejší, Á. Tužinský, P. Bujalka, M. Slivovský, A. Nemčok, J. Šajgálík, J. Buroš, J. Pašek, J. Rybář, D. Vass, I. Vaškovský, F. Kleček, V. Dorotiak a ďalší). Okamžité protihavarijné opatrenia v tom čase predstavovali odčerpávanie vody

z domových studní, vysušanie zosuvných jazierok povrchovou drenážou, horizontálnymi vrtmi a štôľňami.

Handlovský zosuv bol iniciovaný zrážkovou anomáliou v období od júna do decembra 1960. Ako však ukazujú výsledky prieskumu, pôvod a vývoj zosuvu bol predurčený špecifickými geomorfologickými, geologickými a hydrogeologickými podmienkami vhodnými na formovanie pohybu svahu a degradáciou vybudovaných odvodňovacích objektov. Zrážková anomália predstavovala spúšťač kinematickej aktivácie zosuvných hmôt.

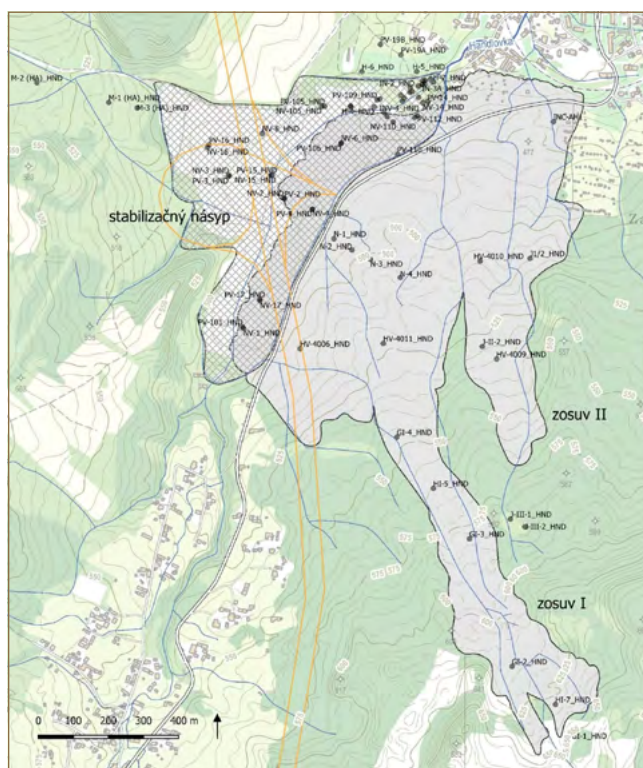
Hneď po vzniku zosuvu sa vykonal súbor prieskumných a sanačných prác: prieskumné vrty, kopané sondy a ryhy, 6 sanačných štôľní, 13 drenážnych vrtov, systém povrchových a odvodňovacích rigolov, zalesňovanie územia. Vytvorili sa základy monitorovacej siete na účely pravidelného monitorovania svahovej deformácie: zámerné priamky geodetických bodov, merné priepady a zrážkomerný totalizátor.

Keďže zosuvná aktivita neutíchala, na zosuvnom území naďalej prebiehali prieskumné a sanačné práce (Beracko, Tyleček, 1973). Významné bolo rozsiahle odvodnenie celého svahu v rokoch 1977 a 1978 prostredníctvom 29 odvodňovacích vrtov, sústredených do 6 zberných studní, ktoré boli doplnené vertikálnymi pozorovacími vrtmi, ktorých úlohou bolo zaznamenávať efektívnosť odvodňovania zosuvných mas (Beracko, Fussgänger, 1980). Konečným a najrozsiahlejším sanačným prvkom zabezpečujúcim stabilitu predovšetkým akumulácie oblasti svahovej deformácie je stabilizačný násyp (Čertík a kol., 2000). Vybudovanie stabilizačného násypu umožnilo rozopretie zosuvných svahov údolia Handlovky; samotná rieka Handlovka je zatrubnená a prevedená potrubným systémom pod násypom smerom do mesta Handlová.

Vývoj a následky katastrofického handlovského zosuvu predstavovali nepopierateľný medzník vo vnímaní dôležitosti svahových pohybov a potreby ich štúdiá nielen odbornými a laickými kruhmi, ale aj príslušnými orgánmi štátnej správy. Handlovský zosuv preukázal skutočnosť, že aj v našich zemepisných šírkach môžu vzniknúť takéto veľké prírodné katastrofy, a to aj bez pričinenia človeka. Súvisiace škody zreteľne ilustrovali nebezpečenstvo pre obyvateľstvo a celkový rozvoj regiónov, ktorý vyplýva z aktivácie svahových pohybov v oblastiach náchylných na zosuvy.

Najdôležitejším dôsledkom handlovského zosuvu bol popri rozsiahlom výskume v oblasti samotného katastrofálneho zosuvu, ako aj zriadenia „protizosuvnej stanice“ v Handlovej, ktorá zabezpečovala nepretržité monitorovanie zosuvného územia, začiatok systematického výskumu svahových deformácií

v bývalom Československu. Inžinierskogeologickí špecialisti sa začali prednostne sústreďovať na inventarizáciu svahových porúch v celej krajine s dôrazom na oblasti investičnej výstavby. Tento trend bol založený na predpoklade, že nové zosuvy vznikajú prednostne v oblastiach, ktoré už boli postihnuté svahovými poruchami v minulosti. Súborná správa z pilotnej registrácie všetkých zosuvných území v celej republike z obdobia 1962 – 1963 (Matula a kol., 1963) priniesla jednotnú metodiku registrácie, charakteristiku svahových deformácií, ich typov a závislosti ich výskytu od klimaticko-geografických a regionálno-geologických pomerov, súpis najnebezpečnejších zosuvov. Tým bol položený základ na vytvorenie registra svahových deformácií v Geofonde ŠGÚDŠ.



Obr. 5.1: Lokalizácia katastrofálneho zosuvu na južnom okraji Handlovej (zostavil P. Ondrus)

Koncepcia regionálneho rozloženia svahových deformácií umožňuje ďalej analyzovať zákonitosti ich formovania a vývoja a odvodzovať ďalšie fakty vedúce k pochopeniu javu, jeho predpovedaniu a včasnému prijatiu potrebných stabilizačných opatrení. Od začiatku šesťdesiatych rokov sa systematické štúdium svahových pohybov stalo súčasťou účelového výskumu koordinovaného ústredným orgánom štátnej správy (pôvodne Slovenský geologický úrad, neskôr sekcia geológie a prírodných zdrojov MŽP SR).



Obr. 5.2: Pohľad na handlovský zosuv; A – foto z obdobia jar 1961; B – súčasný stav so stabilizačným násypom ako sanačným opatrením (zostavil P. Ondrus)

5.3 Systematický výskum svahových deformácií (od roku 1961)

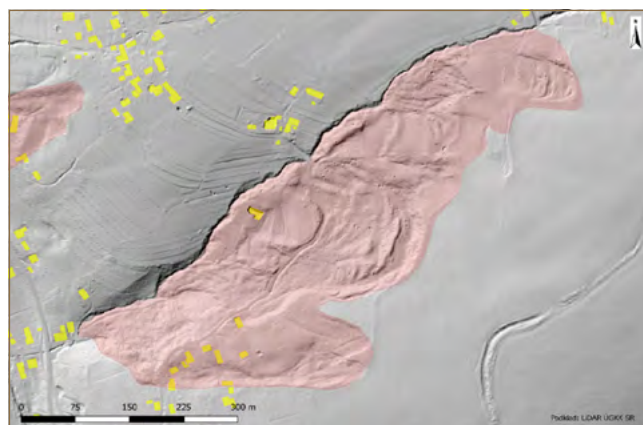
Analýza príčin handlovského zosuvu ukázala, že v niektorých geologických štruktúrach môže v prípade synergie viacerých faktorov dôjsť ku vzniku alebo reaktivácii svahových pohybov s ťažko kontrolovateľným vývojom a so závažnými dôsledkami pre celé postihnuté územie. Rastúce dôkazy z iných lokalít svahových pohybov naznačujú skutočnosť, že svahové poruchy na Slovensku sa vyskytujú väčšinou v určitých geologických prostrediach (najmä v oblasti karpatského flyšu a neovulkanických pohorí).

Vzhľadom na uvedené skutočnosti sa pri vypracúvaní systematického výskumu svahových deformácií ako ich hlavný cieľ javila celoštátna registrácia. Dôsledná inventarizácia, ktorá sa vykonávala od začiatku šesťdesiatych rokov minulého storočia, umožnila zároveň identifikovať oblasti s najpravdepodobnejším výskytom svahových pohybov a včas sa týmto územiam vyhnúť pri navrhovaní významných investičných plánov. Už táto časová skúsenosť naznačovala, že stabilizácia aktívnych zosuvov je oveľa ťažšia a nákladnejšia ako preventívne opatrenia (vrátane upozornení pri projektovaní technických prác). Zaregistrované zosuvy boli systematicky ukladané do registra, ktorý sa nachádzal v Geofonde v Prahe a v Bratislave.

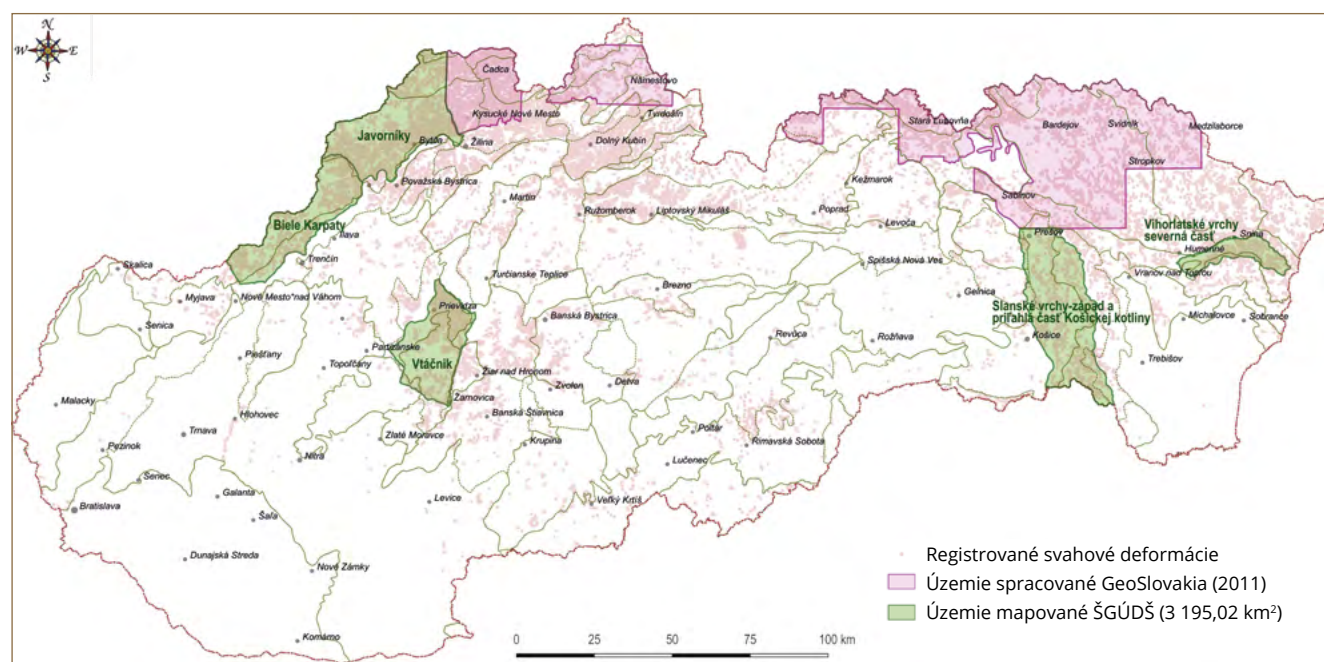
Za dokončenie tohto relatívne dlhého obdobia inventarizácie je možné považovať Atlas máp stability svahov SR 1 : 50 000 (1997 – 2006) (Šimeková a kol., 2006), v rámci ktorého boli spracované predchádzajúce etapy registrácie svahových pohybov a územie Slovenska. Zároveň bolo územie Slovenska zhodnotené z hľadiska náchylnosti na vznik svahových deformácií.

Súbežne s pokračujúcou registráciou svahových deformácií boli vybrané oblasti Slovenska analyzované z hľadiska ich zraniteľnosti voči zosuvom (zvyčajne v mierkach 1 : 25 000 a 1 : 10 000) a postupne sa vytvárali aktualizované mapy náchylnosti na

zosúvanie, ktoré prijali progresívne metodické postupy. V roku 2011 bola ukončená geologická úloha Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších oblastiach flyšového pásma v M 1 : 10 000 (Grman et al., 2011), realizovaná spoločnosťou GeoSlovakia s. r. o., Košice, na ktorej spolupracovali aj pracovníci ŠGÚDŠ. V rámci tejto úlohy boli zostavené účelové inžinierskogeologické mapy na ploche 4 042,22 km², pokrytej 285 mapovými listami v M 1 : 10 000. Územie je vyznačené na obr. 5.4. Cieľom geologickej úlohy bolo zhodnotenie inžinierskogeologických pomerov mapovaného územia so zameraním na svahové deformácie, prehodnotenie svahových deformácií vo vymedzenom území na základe inžinierskogeologického mapovania a reambulácie starších mapových podkladov, stanovenie zosuvného a povodňového ohrozenia územia, vymedzenie a zhodnotenie rizík s návrhom obmedzenia ich pôsobenia v oblasti flyšového pásma, zhodnotenie rizika



Obr. 5.3: Detail zosuvu v obci Horná Súča zobrazený na DMR 5.0, generovaný z leteckého laserového skenovania (zostavil I. Dananaj)



Obr. 5.4: Územie riešené v rámci geologických úloh Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších oblastiach flyšového pásma v M 1 : 10 000 a Identifikácia, registrácia a mapovanie svahových deformácií (www.geology.sk)

ohrozenia stavieb v dôsledku povodní a svahových pohybov, podrobné vizuálne zhodnotenie vybraných najnebezpečnejších zosuvných lokalít v obciach hodnoteného územia s ideovým návrhom technických opatrení na ich sanáciu a odhadom ich finančnej náročnosti.

Výsledkom geologickej úlohy Registrácia, zhodnotenie a protihavarijné opatrenia na novovzniknutých svahových deformáciách v roku 2010 v Prešovskom a Košickom kraji (Liščák a kol., 2010) bolo 577 novo zaregistrovaných zosuvov v Prešovskom a Košickom kraji, pričom po prvýkrát bola v rámci regionálnej inventarizácie svahových porúch použitá technológia GNSS.

Po roku 2010 bola sekciou geológie a prírodných zdrojov MŽP SR v spolupráci s ŠGÚDŠ zavedená prax vykonávania obhliadok a registrácie spravidla havarijných zosuvov nahlásených predstaviteľmi samospráv obcí či občanmi (2011 – 22 svahových porúch; 2012 – 2; 2013 – 18; 2014 – 14, udalosť vo Vrátnej doline však pozostávala z niekoľkých desiatok zosuvov a hlinito-kamenitých prúdov; 2015 – 4; 2016 – 12; 2017 – 12 porúch, 2018 – 10, 2019 – 12; 2020 – 10 svahových porúch).

V poslednom období (od katastrofy vo Vrátnej doline v roku 2014; Liščák a kol., 2016) sa pri prípravnej fáze identifikácie svahových porúch už naplno etablovalo využitie vysoko presného digitálneho modelu reliéfu generovaného z leteckého laserového skenovania. Takto získaný DMR umožňuje detegovať svahové deformácie aj v zalesnenom teréne, čo je technologický krok vpred oproti doteraz využívanjej leteckej fotogrametrii.

Samozrejme, dokonca aj po dlhom období registrácie, účelového mapovania a výskumu svahových deformácií vznikali neočakávané poruchy svahov v rôznych častiach územia Slovenska, často s veľmi nepriaznivým vývojom, ktoré si vyžiadali vyhlásenie mimoriadnej situácie. V takýchto prípadoch príslušné štátne orgány vyvinuli a naďalej vyvíjajú snahu o realizáciu okamžitých protihavarijných opatrení – od optimálnych metód inžinierskeho prieskumu, cez výpočty stability až po návrh stabilizácie dotknutých svahov. V snahe zabrániť takýmto neočakávaným prípadom sa začiatkom deväťdesiatych rokov minulého storočia začalo systematické monitorovanie socio-ekonomicky najvýznamnejších svahových deformácií, či už v gescii Ministerstva životného prostredia SR alebo Ministerstva dopravy a výstavby SR, ako aj ďalších subjektov, spravujúcich napríklad líniové vedenia a kritickú infraštruktúru.

Významnou iniciatívou sekcie geológie a prírodných zdrojov MŽP SR v spolupráci s ŠGÚDŠ bol pilotný Program prevencie a manažmentu zosuvných rizík (2014 – 2020) (ďalej len „Program“) (Jánová, Greifová, 2014), ktorý schválila vláda SR v roku 2014. Jeho cieľom bolo v období rokov 2014 – 2020 zabezpečiť komplexné a systematické riešenie problematiky svahových pohybov a zosuvných rizík na území Slovenskej republiky s dôrazom na najohrozenejšie oblasti. Program určuje rámcové ciele a opatrenia na zlepšenie prevencie a manažmentu zosuvných rizík, na postupné znižovanie zosuvných rizík, najmä znižovanie ohrozenia životov obyvateľov a zabránenie

vzniku škôd na majetku obyvateľov v postihnutých oblastiach do roku 2020.

Program vychádzal z aktuálnej Koncepcie geologického výskumu a geologického prieskumu územia Slovenskej republiky, ktorá bola schválená dňa 29. novembra 2017 uznesením vlády SR č. 549/2017 a bol v súlade s Programovým vyhlásením vlády SR z apríla 2016, v ktorom sa uvádza, že „vláda bude podporovať sanáciu havarijných zosuvov a iných svahových deformácií ohrozujúcich životy, zdravie a majetok obyvateľov a prijme opatrenia zamerané na prevenciu geologických hazardov“. Program predstavoval strategický dokument v oblasti svahových deformácií a zároveň predstavoval východiskový dokument na riešenie problematiky zosuvných rizík z Operačného programu Kvalita životného prostredia (ďalej len „OP KŽP“). V rámci tohto programu bola riešená aj problematika svahových deformácií pod prioritnou osou 3. Podpora riadenia rizík, riadenia mimoriadnych udalostí a odolnosti proti mimoriadnym udalostiam ovplyvneným zmenou klímy. Hlavné aktivity projektov predkladaných v rámci OP KŽP boli realizované v súlade s vyššie uvedeným Programom na oprávnených územiach uvedených v tomto dokumente. Keďže v dôsledku zvýšenej zrážkovej činnosti dochádza priebežne k aktivizácii nových svahových zosuvov, bolo potrebné zoznamy rizikových lokalít priebežne aktualizovať a dopĺňať. Správa o plnení Programu prevencie a manažmentu zosuvných rizík (2014 – 2020) bola vládou SR schválená v apríli 2021. Podľa tejto správy bolo na prieskum, monitorovanie, sanáciu svahových deformácií a na okamžité protihavarijné opatrenia vynaložených viac ako 18 mil. eur.

Druhý Program prevencie a manažmentu zosuvných rizík na roky 2021 – 2029 (ďalej len Program II) schválila vláda SR januári 2021. Kľúčovým cieľom Programu II je: Znížiť zosuvné riziká na životy ľudí, majetok a životné prostredie a zamedziť degradácii prírodného prostredia, ekosystémov a ich zložiek v najohrozenejších lokalitách a regiónoch.

Nevyhnutným predpokladom dosiahnutia kľúčového cieľa do roku 2029 je integrácia navrhnutých opatrení do príslušných sektorových politík,

a to najmä v oblasti geológie, územného plánovania a výstavby, dopravy, pôdohospodárstva, lesného hospodárstva, vodného hospodárstva, odpadového hospodárstva a energetickej infraštruktúry.

Na dosiahnutie kľúčového cieľa je nevyhnutné zlepšiť prevenciu a manažment zosuvných rizík. Prevencia zosuvných rizík zahŕňa najmä:

- a) registráciu a mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších zosuvných územiach v mierkach, umožňujúcich ich zobrazenie na úrovni katastrálnych máp,
- b) analýzu podmienok a faktorov svahových pohybov vo vybraných oblastiach, ktoré boli postihnuté havarijnými zosuvmi, hlavne v zastavaných územiach intravilánov obcí,
- c) aktualizáciu zosuvných rizík vo vymedzených územiach podľa spoločensko-ekonomickej významnosti,
- d) informovanie verejnosti a miestnych samospráv o rizikách vyplývajúcich z prítomnosti svahových deformácií,
- e) spoluprácu s orgánmi územného plánovania,
- f) dobudovanie Geologického informačného systému v oblasti svahových deformácií.

Manažment zosuvných rizík je zameraný najmä na:

- a) zabezpečenie inžinierskogeologického prieskumu a monitorovania havarijných lokalít,
- b) sanáciu a posačné monitorovanie,
- c) odborný geologický dohľad nad sanačnými prácami,
- d) zabezpečenie informačných tokov pri vzniku havarijných zosuvov,
- e) urýchlenú analýzu stavu pri vzniku havarijných zosuvov,
- f) spoluprácu s odborníkmi zo Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra,
- g) spoluprácu s orgánmi civilnej ochrany a krízového riadenia.

Celkové odhadované finančné prostriedky na plnenie Programu II na roky 2021 – 2029 predstavujú sumu 37,8 mil. eur.

5.3.1 Registrácia svahových deformácií

Inventarizácia svahových deformácií sa uskutočnila vo viacerých etapách, počas ktorých sa aktualizovala metóda registrácie jednotlivých deformácií svahu (použitie záznamových listov). Spôsoby inventarizácie svahových pohybov opísali Kováčik, Suchánková (1993).

V prvej etape registrácie (1961 – 1963), ktorej sa zúčastnilo viacero vedeckých a univerzitných

inštitúcií vtedajšieho Československa, bolo zaznamenaných okolo 5 000 svahových deformácií v mierke 1 : 25 000 (Matula a kol., 1963). Na základe zistených údajov bolo možné vypracovať rozsiahle regionálne štúdie o výskyte svahových pohybov na Slovensku a identifikovať ich vzťah k geomorfologickým a geologickým podmienkam. Po registrácii bolo v tejto fáze tiež možné identifikovať oblasti

s najväčším rizikom svahového pohybu; tieto oblasti sa podrobnejšie študovali. Inventarizačné listy prvej fázy registrácie porúch svahov boli uložené v Geofonde Bratislava alebo Geofonde Praha. Výsledky registrácie boli spracované tak v záverečnej správe, ako aj v prvých všeobecných mapách v mierke 1:1 000 000, ktoré vyjadrujú hustotu a distribúciu svahových porúch na území vtedajšieho Československa.

Aj keď register zosuvov (usporiadanie mapových listov v mierke 1:25 000) sa neustále dopĺňal o údaje zo správ o inžinierskogeologickom prieskume, len zriedka obsahoval informácie o zosuvoch, ktoré postihovali oblasti mimo územných plánov (polia, pasienky a lúky, lesy). Z tohto dôvodu sa v rokoch 1974 až 1978 začala druhá fáza registrácie zameraná najmä na región vysokých jadrových pohorí a stredohorí. Túto etapu uskutočnila Katedra geotechniky SvF STU (Nemčok a kol., 1980). Výsledky tejto fázy registrácie významne obohatili poznatky o zákonitostiach výskytu svahových deformácií v Západných Karpatoch a použili sa aj pri vytvorení novej klasifikácie svahových pohybov (Nemčok a kol., 1974). Celkový počet

registrovaných svahových pohybov sa na konci tejto fázy zvýšil na približne 9 194, pričom plocha vtedy zaregistrovaných zosuvov pokrývala približne 3 % územia Slovenskej republiky. Získané poznatky boli tiež zosumarizované vo výnimočnej publikácii Zosuvy v slovenských Karpatoch (Nemčok, 1982).

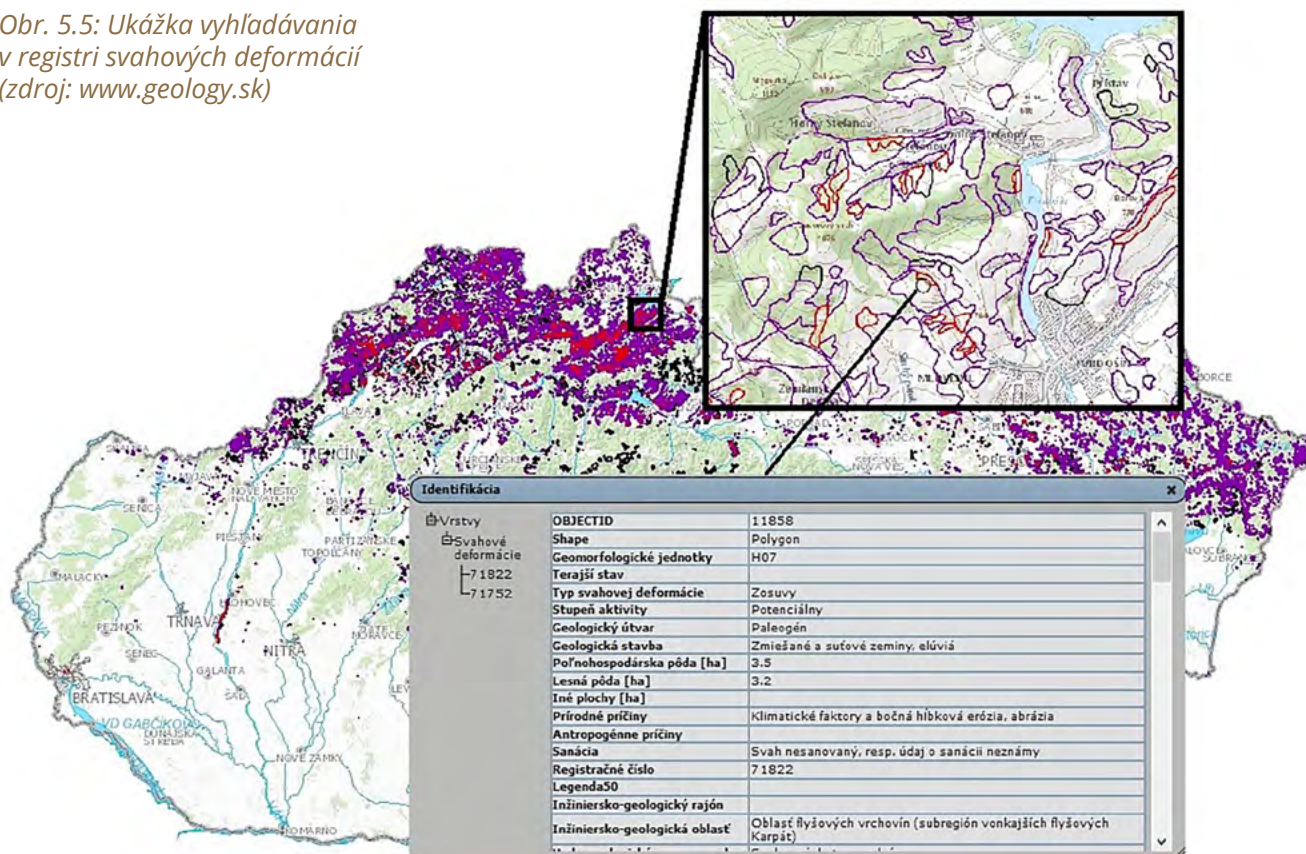
Tretia etapa registrácie svahových porúch prebiehala od roku 1981 do roku 1991 a uskutočňovali ju pracovníci oddelenia inžinierskej geológie vtedajšieho GÚDŠ v Bratislave a v Košiciach. Celoštátna štúdia mala regionálny charakter a jej cieľom bolo podrobnejšie poznať zákonitosti vzniku a vývoja svahových deformácií a doplniť ich existujúci register. Dôležitým aspektom tejto etapy registrácie porúch svahov bol výber vhodných lokalít a sociálno-ekonomicky významných zosuvov na spustenie ich dlhodobého monitorovania na Slovensku (Modlitba, Klukanová, 1996; Wagner a kol., 2002). V tretej etape registrácie bolo zaznamenaných približne 5 000 nových svahových deformácií, čím sa celkový počet svahových deformácií zaznamenaných na Slovensku koncom 80. rokov vyšplhal na približne 15 000 (obr. 5.5).

5.3.2 Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky (1997 – 2006)

Je pochopiteľné, že relatívne dlhé obdobie od roku 1961 by vyžadovalo podrobnejší opis všetkých aktivít, ktoré sa vykonali pri štúdiu deformácií svahov – či už ide o otázky výskumu, zlepšenie kvality metodických riešení, ako aj prieskumy konkrétnych náročných

lokalít a návrhy ich sanačných opatrení. Napriek rôznorodosti riešených problémov sa v uvedenom období vynorili určité zjednocujúce prvky, čo umožnilo registráciu čo najväčšieho počtu svahových porúch na Slovensku a postupný prechod k moderným metódam

Obr. 5.5: Ukážka vyhľadávania v registri svahových deformácií (zdroj: www.geology.sk)



ich hodnotenia vrátane hodnotenia regionálnej náchylnosti na svahové deformácie a predpovedania ich stabilného vývoja. Z tohto dôvodu možno Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky v mierke 1 : 50 000 (Šimeková a kol., 2006; <https://www.geology.sk/geoinfoportal/mapovy-portal/atlas/atlas-map-stability-svahov-slovenskej-republiky/>, ďalej len „Atlas zosuvov“) považovať za vyvrcholenie tohto štyri desaťročia trvajúceho obdobia registrácie svahových porúch, ktorú v období rokov 1997 – 2006 zostavil tím špičkových odborníkov „zosuvárov“ z rôznych inštitúcií. Povaha výstupných dokumentov Atlasu zosuvov (digitálne spracovanie výsledkov v GIS) ilustruje komplexný vývoj, ktorý sa dosiahol pri štúdiu svahových porúch na Slovensku.

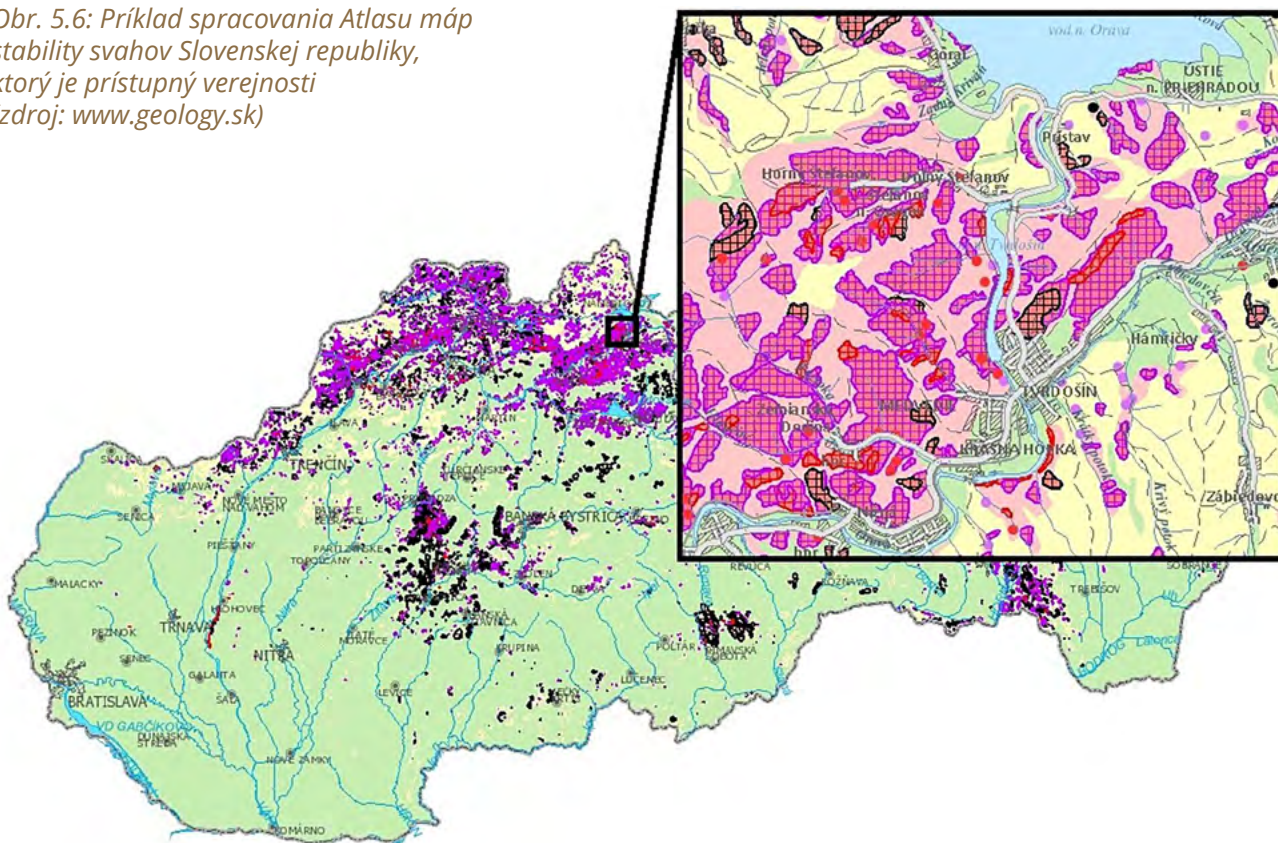
Hlavným cieľom Atlasu zosuvov bolo spracovať všetky existujúce informácie o výskyte svahových deformácií na Slovensku z predchádzajúcej registrácie a mapovania a prezentovať ich moderným a prístupným spôsobom širokej verejnosti (obr. 5.6). Hlavný archívny zdroj bol uložený v Registri zosuvov v Geofonde. Protichodné údaje a menej preskúmané oblasti boli overené terénnym mapovaním. Hlavnými výstupmi atlasu boli mapy náchylnosti na svahové deformácie v mierke 1 : 50 000 pokrývajúce celé územie Slovenska (spolu 132 listov máp, Šimeková a kol., 2014). Uvedené mapy zobrazujú semaforovou metódou nestabilné (červená), potenciálne nestabilné (žltá) a stabilné (zelená farba) oblasti spolu so

všetkými svahovými deformáciami zaregistrovanými na území mapového listu. Každá svahová deformácia je označená a spracovaná v pasporte, ktorý obsahuje 28 základných informácií.

Komplexné spracovanie údajov v Atlase umožnilo vykonať súbor štatistických hodnotení na území Slovenska narušených svahovou poruchou. Pred Atlasom sa na základe údajov z troch etáp registrácie odhadovalo, že svahové deformácie postihujú 3,06 % územia Slovenskej republiky, po doplnení údajov v Atlase zosuvov bolo zaznamenaných celkovo 21 190 svahových deformácií s rozlohou 257 591,2 ha, čo predstavuje 5,25 % územia SR (Kopecký a kol., 2008). Spôsob spracovania údajov v GIS umožnil odvodiť množstvo ďalších dôležitých informácií o svahových poruchách na území Slovenska.

Zhrnutie týchto zistení je podrobne uvedené v kapitole 6 tejto monografie. Možno konštatovať, že Atlas zosuvov predstavuje dôstojnú komplexnú prácu sumarizujúcu mnohoročný výskum svahových pohybov (od roku 1961) na Slovensku. Aj keď bola databáza GIS dokončená v roku 2006, na ŠGÚDŠ pokračuje aktualizácia databázy svahových porúch z Atlasu zosuvov a využitie uložených údajov v následných štúdiách a analýzach. Dynamika tohto fenoménu, ako aj vývoj metód posudzovania a predpovedania svahových deformácií spôsobili, že aj v posledných rokoch (od roku 2006) dochádza v niektorých častiach územia k významným zmenám, ako aj k metódam hodnotenia.

Obr. 5.6: Príklad spracovania Atlasu máp stability svahov Slovenskej republiky, ktorý je prístupný verejnosti (zdroj: www.geology.sk)



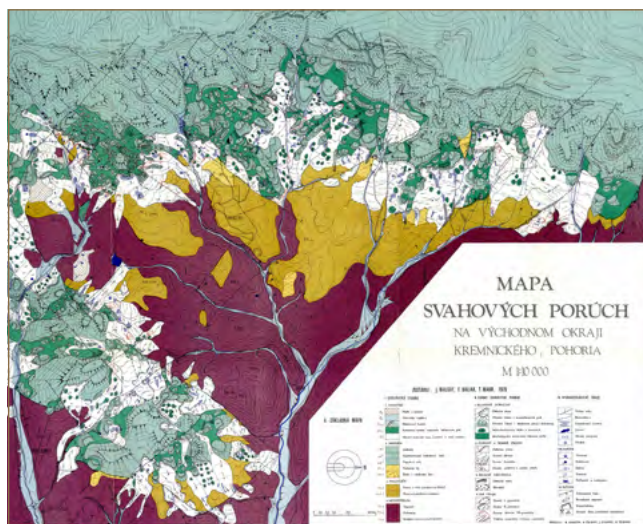
5.3.3 Regionálny výskum a prieskum zosuvných oblastí

Vyhodnocovanie vybraných oblastí výskytu svahových deformácií obvykle nasledovalo po ich registrácii, alebo sa obidve činnosti vykonávali súbežne. Možno jediným rozdielom v registrácii a hodnotení svahových deformácií bola skutočnosť, že registrácia mala spravidla charakter regionálnej štúdie a jej primárnym cieľom bolo zaznamenávať výskyt a typ svahových deformácií v rámci danej geografickej oblasti alebo litologickej formácie. Pri vyhodnocovaní svahových deformácií vo vybraných oblastiach boli základné mapy svahových porúch zostavené zvyčajne v mierkach 1:25 000 a 1:10 000. Výber oblastí na takéto hodnotenia vykonával ústredný orgán štátnej správy (v súčasnosti sekcia geológie a prírodných zdrojov MŽP SR). Výber bol založený na všeobecných vedomostiach o rozšírení svahových porúch, ale aj na zámeroch urbanizačného rozvoja Slovenska. Z hľadiska metodiky spracovania sa použil najnovší výskum pri hodnotení stability svahu spolu s modernými kartografickými technikami na vyjadrenie citlivosti oblasti na svahové deformácie, predpovedanie stavu stability atď.

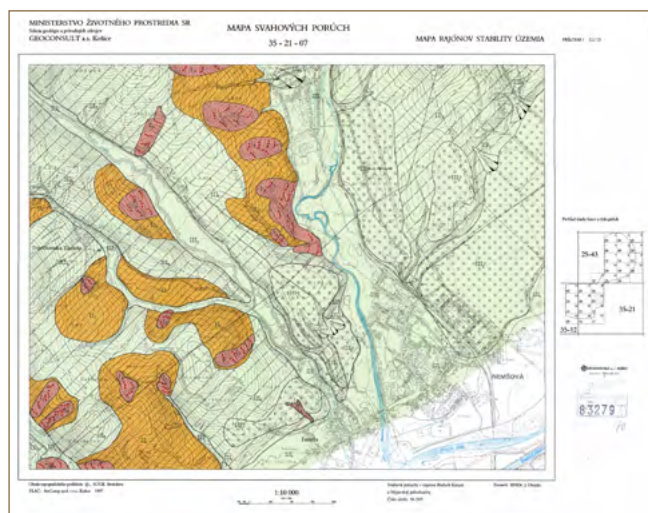
Od roku 1970 bolo spracovaných niekoľko regiónov náchylných na svahové deformácie – najznámejšie oblasti sú napríklad Handlovská kotlina (Malgot a kol., 1973), Stabilita územia pozdĺž železnice Hlohovec – Lužianky – Kozárovce, IG prieskum stability svahov a svahových deformácií (Nemčok a kol., 1972), Králiky – Kordíky – prieskum zosuvov (Malgot a kol., 1976),

Liptovská kotlina (Mahr a kol., 1984), Blžsko-Pokoradzská tabuľa (Demian a kol., 1990), Zvolenská kotlina – zosuvy (Demian a kol., 1994), Biele Karpaty a Myjavská pahorkatina (Otepka a kol., 1997) (obr. 5.7), Oravská kotlina (Vrábel a kol., 2000), Povodie Kysuce – svahové deformácie (Žabková a kol., 2002) a niekoľko ďalších.

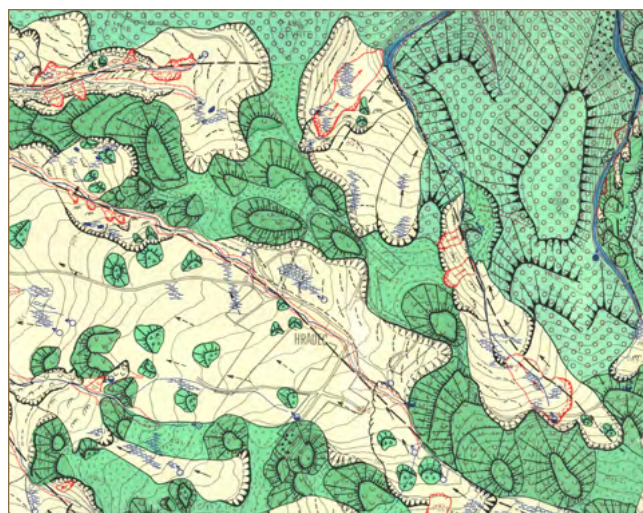
Zároveň začal systematický výskum svahových deformácií tímom odborníkov z katedry geotechniky STU. Pod vedením A. Nemčoka boli riešené štátne úlohy, ako napr. Slovensko – oblasť vysokých pohorí, systematický výskum svahových deformácií (Nemčok, 1973), Svahové pohyby v karpatskom flyši na Slovensku – etapová správa úlohy Zákonitosti svahových deformácií v rôznych geologických štruktúrach Slovenska (Baliak a kol., 1979), Svahové pohyby v neovulkanických pohoriach Slovenska, (Nemčok a kol., 1977) – v rámci tejto úlohy boli spracované mnohé regióny, napr. okraj Vepora a Breznická kotlina, okolie Slanca, Handlovská kotlina (obr. 5.9), okraje Blžsko-Pokoradzkej planiny, východné okraje Kremnického pohoria (obr. 5.8), severný okraj Vihorlatu a širšie okolie Prievidze.



Obr. 5.8: Mapa svahových porúch na východnom okraji Kremnického pohoria (Malgot a kol., 1976)



Obr. 5.7: Ukážka mapy rajónov stability územia z oblasti Nemšovej (Otepka a kol., 1997)



Obr. 5.9: Ukážka z mapy svahových porúch Vtáčnika v M 1 : 10 000 (Malgot a kol., 1983)

V rámci každej z vyššie uvedených oblastí boli vybrané reprezentatívne miesta aktívnych zosuvov, ktoré boli ďalej podrobne študované, vrátane analýzy stability, scenárov ďalšieho vývoja a návrhov nápravných opatrení.

V minulosti tieto lokality predstavovali odrazový mostík pre nové metódy prieskumu (napr. súbor metód uplatňovaných v pilotných oblastiach Turany, Okoličné) a ďalšie v sedemdesiatych rokoch (Fussgänger a kol., 1976), alebo slúžili na skúšobné aplikácie nových sanačných metód (napr. testovanie drenážnych štrkových stien v tehelni Sučany, atď.).

Postupný trend spracovania ďalších sociálno-ekonomicky významných regiónov pokračoval

v hodnotení stability územia v rámci máp geofaktorov životného prostredia v mierke 1 : 50 000, napr. Hornonitrianska kotlina (Kováčik a kol., 1993), Myjavská pahorkatina a Biele Karpaty (Paudits in Ondrášik a kol., 2005), Ondavská vrchovina (Petro in Pramuka a kol., 2017). Prehľad zmapovaných regiónov, rok vydania mapy a prehľad autorov máp relatívnej náchylnosti územia na svahové deformácie je uvedený v tab. 5.1. Na účely zostavovania uvedených máp bola v roku 1991 vypracovaná metodická príručka Zostavovanie máp geologických faktorov 1 : 50 000 (Modlitba a kol., 1991). Pokrytie územia Slovenska mapami geofaktorov životného prostredia je na obr. 5.10.

Tab. 5.1: Prehľad mapovaných regiónov, kde boli vypracované mapy relatívnej náchylnosti územia na svahové deformácie v M 1 : 50 000

P.č.	Názov mapovaného regiónu	Autori máp náchylnosti územia na svahové deformácie	Rok
1	Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia SR v mierke 1 : 50 000, región Horná Nitra	KOVÁČIK, M. – JÁNOVÁ, V. – ONDRÁŠIK, M. – LIŠČÁK, P. – MODLITBA, I. – IGLÁROVÁ, L. – KOVÁČIKOVÁ, M. – GABAUER, G. – KLUKANOVÁ, A.	1993
2	Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia, región Nízke Tatry	LOBÍK, M. – ONDRÁŠIK, M. – KRIPPEL, M. – IGLÁROVÁ, L. – VANČÍKOVÁ, I. – JÁNOVÁ, V. – LIŠČÁK, P. – MODLITBA, I. – KLUKANOVÁ, A. – GABAUER, G.	1993
3	Hornádska kotlina a východná časť Slovenského rudohoria – súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia v mierke 1 : 50 000	DLUHÝ, M.	1993
4	Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia SR v mierke 1 : 50 000 – Košická kotlina a Slanské vrchy	PETRO, L. – SPIŠÁK, Z. – POLAŠČINOVÁ, E.	1993
5	Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia SR v mierke 1 : 50 000, región O5: Žiarska kotlina a Banskotiavnická oblasť	OTEPKA, J. – VLASKOVÁ, D.	1993
6	Malá Fatra a časť priľahlých kotlín – súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia v mierke 1 : 50 000	BALIAK, F.	1993
7	Bratislava – životné prostredie, abiotická zložka.	mapa nerelevantná	1993
8	Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia regiónu modelového územia okresu Galanta	LIŠČÁK, P.	1998
9	Súbor máp geologických faktorov životného prostredia severovýchodnej časti okresu Levice v mierke 1 : 50 000	mapa nerelevantná	2001
10	Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia regiónu stredné Považie (Žilina – Trenčianska Teplá) v mierke 1 : 50 000	KOVÁČIK, M.	2004
11	Súbor regionálnych máp geologických faktorov životného prostredia povodia Kysuce v M 1 : 50 000	JEZNÝ, M. – MARTINČEKOVÁ, T. – JANUŠ, J.	2003
12	Súbor regionálnych máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Banská Bystrica – Zvolen v mierke 1 : 50 000	PÚCHYOVÁ, A.	2000
13	Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia regiónu Vysoké Tatry a Ružomberok – Liptovský Mikuláš v mierke 1 : 50 000	BALIAK, F. – MALGOT, J.	1997

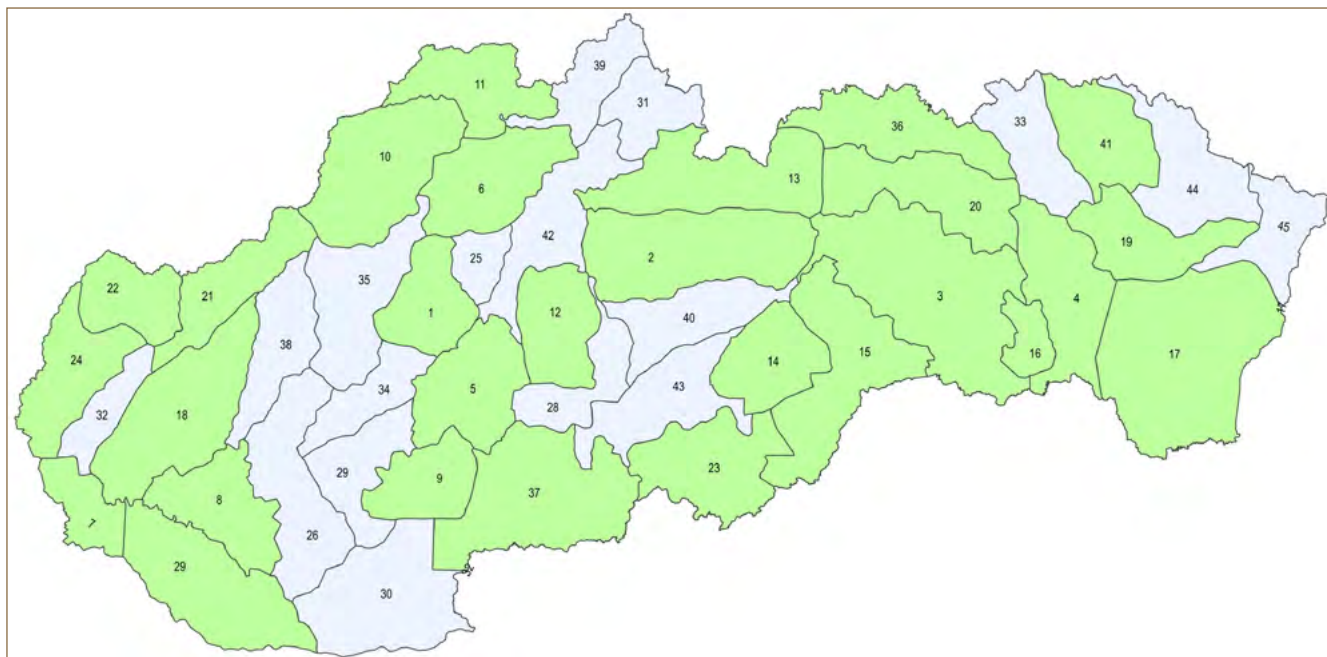
P.č.	Názov mapovaného regiónu	Autori máp náchylnosti územia na svahové deformácie	Rok
14	Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia regiónu Jelšava – Lubeník – Hnúšťa v mierke 1 : 50 000	SLÁMA, M.	1999
15	Povodie Slanej – súbor máp geofaktorov životného prostredia v okrese Rožňava	PETRO, L. – POLAŠČINOVÁ, E. – ZÁHOROVÁ, L. – JANOČKO, J.	2001
16	Mapa geologických faktorov životného prostredia severnej časti Košickej kotliny	PETRO, L. – POLAŠČINOVÁ, E. – MODLITBA, I.	1991
17	Prieskum prírodných zdrojov vo vzťahu k životnému prostrediu – Tibreg (širšie okolie trebišovskej panvy), A/ geofaktory životného prostredia, orientačný GPŽP	mapa nerelevantná	1999
18	Súbor regionálnych máp geologických faktorov ŽP regiónu Trnavská pahorkatina v mierke 1 : 50 000	mapa nerelevantná	2004
19	Súbor máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Vranov – Humenné – Strážske	HOLZER, R. – HRAŠNA, M.	2003
20	Súbor máp geofaktorov ŽP regiónu povodia Popradu a hornej Torysy	PETRO, L. – POLAŠČINOVÁ, E. – ZÁHOROVÁ, L. – JANOČKO, J.	2004
21	Súbor regionálnych máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Myjavská pahorkatina a Biele Karpaty	ONDRÁŠIK, M. – LIŠČÁK, P. – PAUDITŠ, P.	2005
22	Súbor máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Chvojnická pahorkatina v mierke 1 : 50 000	TUPÝ, P. – SCHWARZ, J. – ILKANIČ, A. – JASOVSKÁ, A. – VASILKO, T.	2004
23	Súbor máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Lučenská a Rimavská kotlina	VRÁBLŇOVÁ, K. – COPLÁK, M. – KUVIK, M. – KUBIŠ, M. – ANDRISKOVÁ, O.	2006
24	Záhorská nížina – súbor máp geologických faktorov ŽP regiónu v mierke 1 : 50 000	mapa nerelevantná	2006
36	Súbor máp geofaktorov životného prostredia Ľubovnianska vrchovina a Spišská Magura	PETRO, L. – ZÁHOROVÁ, L. – PRAMUKA, S.	2010
37	Ipeľský región (IPREG) – orientačný prieskum geologických činiteľov životného prostredia	KOVÁČIK, M. – PIOVARČI, M.	2006
41	Súbor máp geofaktorov životného prostredia regiónu Ondavská vrchovina v mierke 1 : 50 000	PAUDITŠ, P. – PETRO, L. – PAČAJOVÁ, K.	2017

Súbežne s centrálne riadeným výskumom a prieskumom svahových porúch boli na základe požiadaviek zodpovedných vládnych rezortov spracované účelové mapy územnej stability v súlade s pripravovanými významnými investičnými plánmi – známe je rozsiahle zosuvné územie medzi Hlohovcom a Sereďou v súvislosti s vodohospodárskym projektom Vážskej kaskády (Otepka a kol., 1983) a niekoľko štúdií stability v súvislosti s výstavbou cestnej infraštruktúry (Kopecký, Antolová, 2011).

Vďaka štátnej úlohe Inžinierskogeologický výskum vybraných oblastí SSR boli riešené úlohy ako napr. Prognóza vzniku svahových deformácií v Breznianskej kotline (Modlitba a kol., 1987), Prognóza vzniku svahových deformácií v oblasti stredného Považia (JZ časť Javorníkov) (Kováčik, Kováčiková, 1987), Vplyv geologickej stavby územia na vznik a rozvoj svahových deformácií v severnej časti Košickej kotliny a Slanských vrchov (Spišák a kol., 1987) (obr. 5.11).

V rokoch 1997 – 2001 boli riešené viaceré úlohy v rámci programu Pasportizácia svahových deformácií vo vzťahu k cestnej a železničnej sieti a k trasám hlavných produktovodov Stredoslovenského kraja a vybraných okresov (BJ, HN, SK, TV) Východoslovenského kraja (Masný a kol., 1997, 1998, 1999, 2000, 2001). Pasportizácia zosuvov bola realizovaná v okresoch Žilina, Martin, Dolný Kubín, Veľký Krtíš, Bardejov, Trebišov, Humenné, Svidník, Považská Bystrica, Prievidza, Liptovský Mikuláš, Rimavská Sobota a iných (obr. 5.12).

Za zmienku stoja tiež geologické úlohy Prehodnotenie svahových deformácií najzraniteľnejších území flyšového pásma Západných Karpát (Grenčíková-Žabková, 2002) (obr. 5.13), Zhodnotenie zosuvného a povodňového rizika najzraniteľnejších území flyšového pásma Západných Karpát s návrhom potrebných opatrení na ich elimináciu (Grenčíková a kol., 2002) (obr. 5.14 až 5.16), Regionálny prieskum svahových

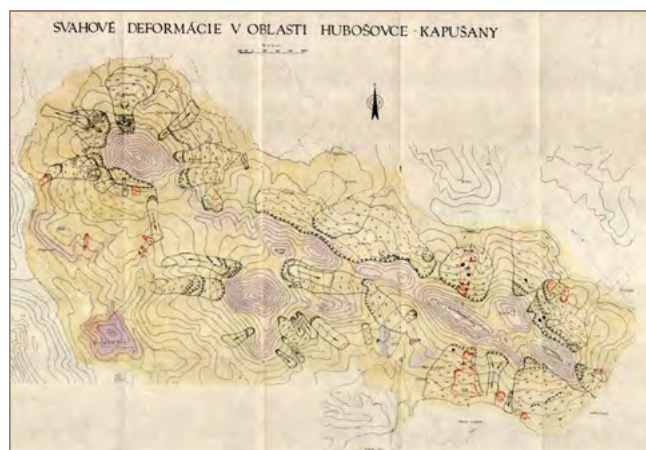


Obr. 5.10: Schéma pokrytia územia SR mapami geofaktorov ŽP v M 1 : 50 000 (zelenou farbou sú vykreslené zmapované územia). Názvy doteraz zostavených máp geofaktorov ŽP sú s identifikačným číslom uvedené v tab. 5.1.

deformácií v Lubovnianskej vrchovine a v západných Nízkych Beskydách (Demian a kol., 2002, 2003), Zhodnotenie efektívnosti prieskumno-sanačných prác a účinnosti stabilizačných opatrení na zosuvoch v rôznych geologických štruktúrach Slovenska (Jadroň a kol., 2005), Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších územiach flyšového pásma v M 1 : 10 000 (Šimeková a kol., 2011), Zhodnotenie súčasného stavu aktivity blokových svahových deformácií ohrozujúcich vybrané cestné úseky (Bednarík a kol., 2019) a iné.

Na základe vyššie uvedeného možno konštatovať, že systematický výskum svahových pohybov od začiatku šesťdesiatych rokov sa vykonával na regionálnej (registračnej) a okresnej úrovni (výskum a skúmanie vybraných zosuvných oblastí). Získané údaje boli

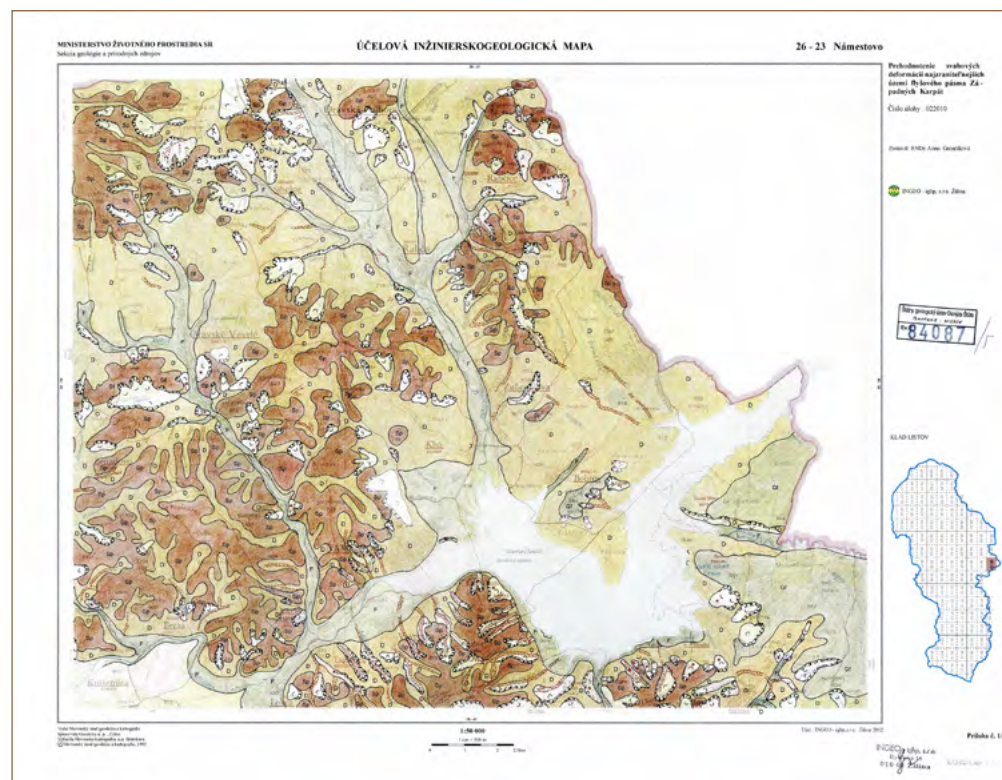
zároveň doplnené o výsledky prieskumov miestnych havarijných zosuvov.



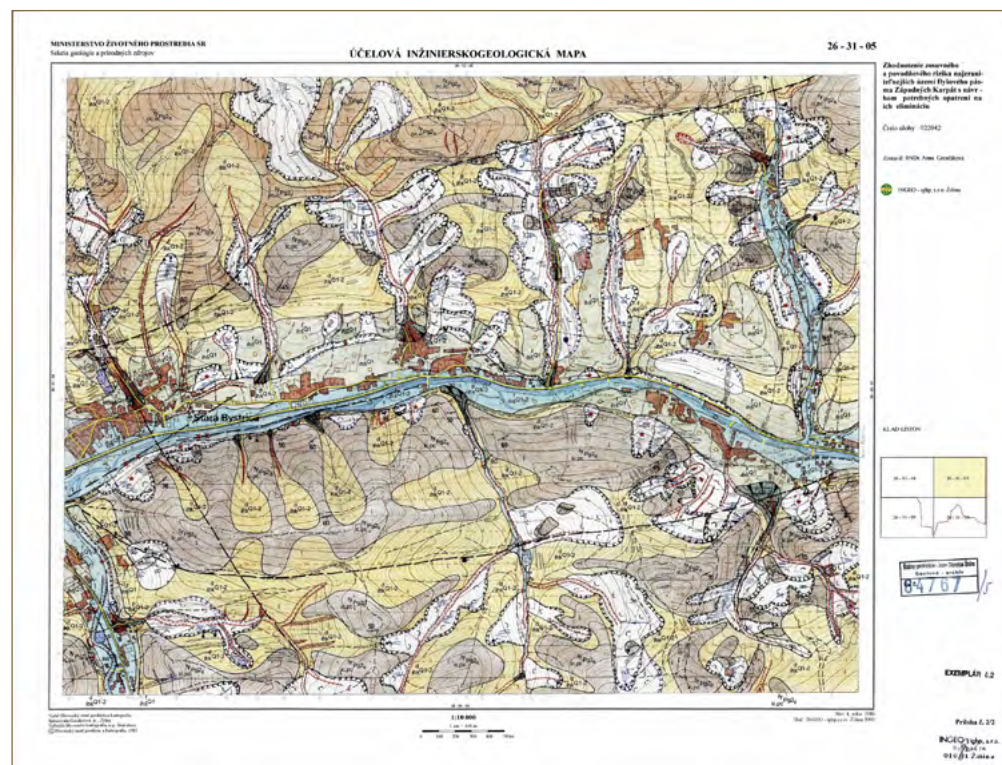
Obr. 5.11: Ukážka Mapy svahových deformácií v oblasti Hubošovce - Kapušany (Spišák a kol., 1987)



Obr. 5.12: Ukážka účelovej mapy svahových deformácií v M 1 : 10 000 z okresu Prievidza, ktorá bola vypracovaná v rámci Pasportizácie svahových deformácií vo vzťahu k cestnej a železničnej sieti a k trasám hlavných produktovodov (Masný a kol., 1998)



Obr. 5.13:
Príklad účelovej
inžinierskogeologickej
mapy v M 1 : 50 000
(Grenčíková – Žabková,
2002)

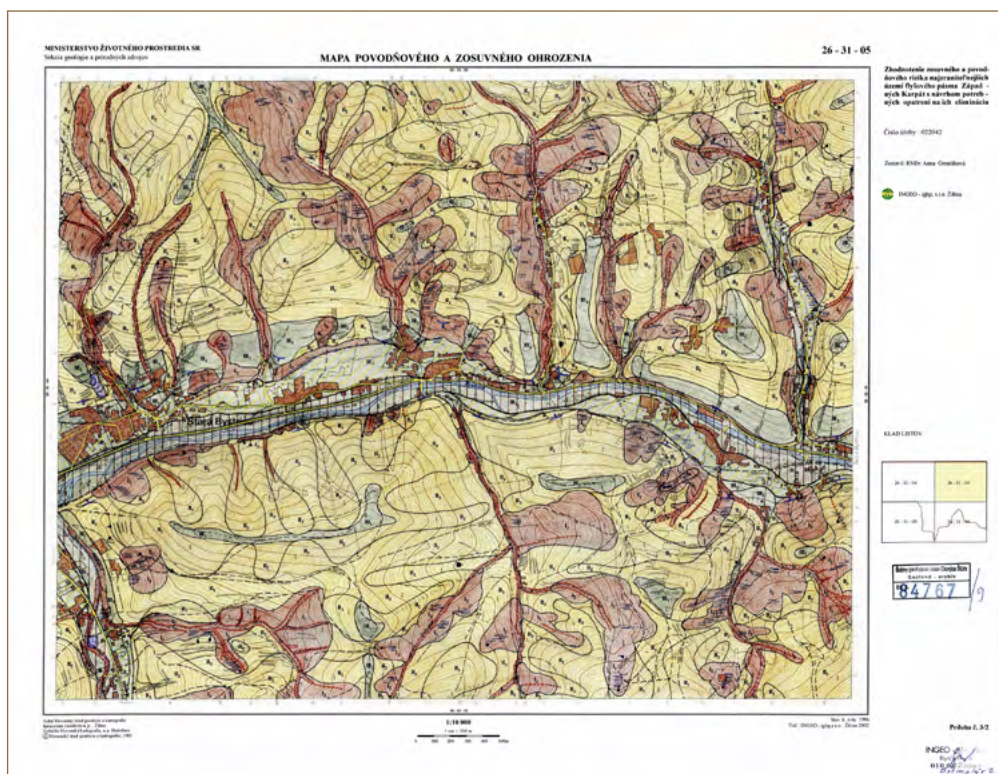


Obr. 5.14:
Ukážka účelovej
inžinierskogeologickej
mapy v M 1 : 10 000
(Grenčíková a kol.,
2002)

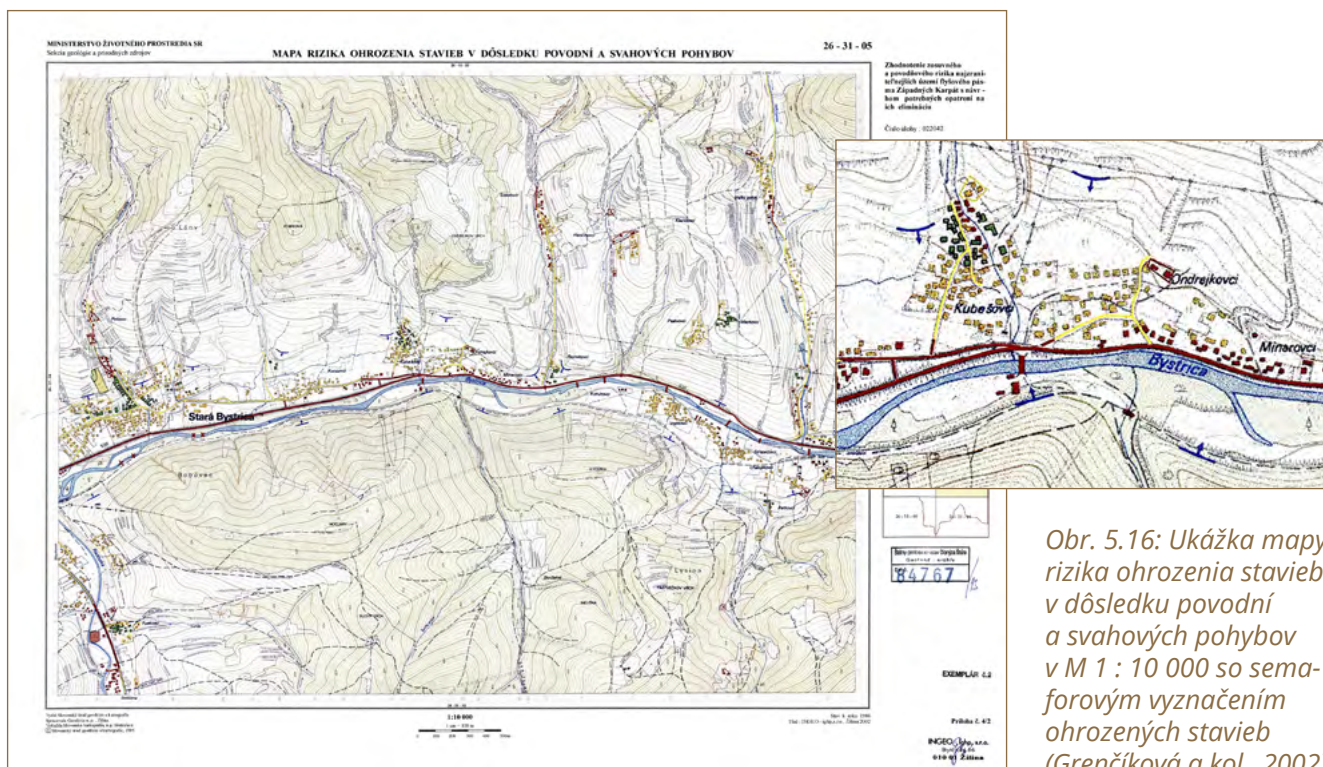
5.4 Prieskum, monitorovanie a sanácia havarijných zosuvov

Počas dlhého obdobia trvajúceho približne polstoročie sa napriek rozsiahlym aktivitám zameraným na štúdium svahových deformácií a predchádzanie ich nepriaznivým následkom vytvorilo množstvo neočakávaných havarijných svahových deformácií, ktoré bolo potrebné naliehavo riešiť vrátane návrhov na okamžité a dlhodobé sanačné opatrenia.

Okrem opakovaných aktivizácií handlovského zosuvu z rokov 1960/1961 (väčšina z nich bola zaznamenaná v rokoch 1966 až 1970 – Kuchár, 1996 a v rokoch 1999 a 2000 – Ingár, Wagner, 2004), pravdepodobne najväčší záujem v širokej odbornej a laickej verejnosti možno prisúdiť ľubietovskému katastrofálnemu zemnému prúdu v jarných mesiacoch 1977. Zosuv vznikol



Obr. 5.15: Ukážka mapy povodňového a zosuvného ohrozenia v M 1 : 10 000 (Grenčíková a kol., 2002)



Obr. 5.16: Ukážka mapy rizika ohrozenia stavieb v dôsledku povodní a svahových pohybov v M 1 : 10 000 so semaforovým vyznačením ohrozených stavieb (Grenčíková a kol., 2002)

bez pričinenia ľudskej činnosti a hlavnou príčinou jeho vzniku bola anomália zrážok začiatkom roku 1977. Zosuvný pohyb zničil štyri rodinné domy a hrozil prehradením miestneho potoka a následným zaplavením doliny a obce Ľubietová (Nemčok, 1982). Ďalšia významná zrážková anomália celoštátneho rozsahu bola zaznamenaná na jar 1995 a spôsobila množstvo reaktivácií

starších zosuvných oblastí, najmä v Handlavskej kotline (Veľká a Malá Čausa, Bojnice), ako aj v Novej Bani (Fussgänger a kol., 1996). Prevažná väčšina zosuvných pohybov z obdobia sedemdesiatych a osemdesiatych rokov však bola iniciovaná ľudskou činnosťou, najmä stavebnou činnosťou. V súvislosti s výstavbou sídlisk boli pozorované rozsiahle svahové pohyby v Handlovej

(Morovnianske sídlisko v rokoch 1974 až 1977), v Košiciach (sídlisko Dargovských hrdinov v sedemdesiatych rokoch), vo Zvolene (Zlatý Potok v roku 1974) a v ďalších mestách (Nemček, 1982). Zosuvné pohyby významne ovplyvnili premávku na železnici – najznámejším porušením svahu bolo skalné zrútenie v Podbieli v roku 1975 (Slivovský, 1977), deformácia svahu v obci Kriváň

alebo poklesávajúci železničný zárez vo Veľkom Krtíši (Slivovský, 1979) a mnoho existujúcich alebo novo vybudovaných úsekov ciest (najmä ciest prechádzajúcich cez flyšové súvrstvia). S aktiváciou zosuvov sa stretli realizátori významných vodohospodárskych projektov na Slovensku – Liptovská Mara, Domaša, Nová Bystrica atď. (Kopecký a kol., 2014).

5.4.1 Geologické úlohy zrealizované v rokoch 2010 až 2020 zo štátneho rozpočtu

Po roku 2010 začal štát významnejšie podporovať geologické úlohy týkajúce sa svahových deformácií. Najdôležitejšími úlohami zameranými na prieskum a sanáciu svahových deformácií boli nasledujúce úlohy:

- **Registrácia, zhodnotenie a protihavarijné opatrenia na novovzniknutých svahových deformáciách v roku 2010 v Prešovskom a Košickom kraji** (Liščák a kol., 2010). Úlohu realizoval ŠGÚDŠ a jej cieľom bola registrácia svahových deformácií, ktoré vznikli v dôsledku zrážkových extrémov v máji a júni 2010, ich kategorizácia na základe socio-ekonomických dopadov, odporúčanie na inžinierskogeologický prieskum a návrh sanačných opatrení. V rámci úlohy bola vykonaná systematická registrácia 577 novovzniknutých, resp. reaktivizovaných svahových deformácií. Vytvorená bola tiež rozsiahla GIS databáza obsahujúca všetky získané informácie.
- **Čadca – havarijný zosuv** (MŽP SR, 2010). Koncom zimy v roku 2009 sa aktivizoval zosuvný svah v Čadci – mestskej časti Rieka, v lokalite U Rebroša. Vzhľadom na vznik mimoriadnej udalosti, ktorá ohrozovala rodinné domy a infraštruktúru, a pri prehradení vodného toku hrozilo aj zatopenie zastavaného územia, zabezpečilo MŽP SR vykonanie inžinierskogeologického prieskumu. Jeho výsledkom bolo zhodnotenie inžinierskogeologických pomerov lokality a návrh sanácie územia.
- **Nižná Myšľa – havarijný zosuv – inžinierskogeologický prieskum** (MŽP SR, 2010). Po dlhodobých zrážkach v máji a začiatkom júna 2010 vznikol katastrofálny zosuv v obci Nižná Myšľa na rozsiahlom území v husto zastavanej centrálnej časti obce. Došlo k úplnej deštrukcii 25 rodinných domov, poškodené boli ďalšie desiatky domov (obr. 5.19), kostol (obr. 5.17) a kultúrny dom. Značne boli porušené tiež inžinierske siete (vodovod, plynovod, elektrické siete) a zničené boli miestne komunikácie (obr. 5.18). Vzhľadom na mimoriadnu situáciu, keď boli ohrozené životy a majetok obyvateľov a infraštruktúra, MŽP SR zabezpečilo inžinierskogeologický prieskum, v rámci ktorého boli realizované okamžité protihavarijné opatrenia spočívajúce najmä v povrchovom a podpovrchovom

odvodnení porušeného územia. V krátkom čase bol spracovaný návrh sanačných prác a odporúčania na ďalšie využívanie územia.

- **Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov vzniknutých v roku 2010** (MŽP SR, 2010). Cieľom geologickej úlohy bol prieskum 37 havarijných zosuvov v prioritných lokalitách Slovenska. Prieskumné práce boli rozdelené do **šiestich častí**:
 - 1. časť: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okrese Prešov – lokality: Prešov-mesto (Horárska ul. a Pod Wilec hôrkou), Petrovany, Chmiňany, Ondrašovce, Žipov, Varhaňovce,
 - 2. časť: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okrese Stará Ľubovňa – lokality: Čirč, Chmeľnica, Hraničné, Malý Lipník,
 - 3. časť: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okrese Bardejov – lokality: Becherov, Lascov, Bardejovská Zábava, Kľušovská Zábava, Lenartov, Vyšný Kručov, Zlaté, Lukov,
 - 4. časť: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okrese Sabinov a Stropkov – lokality: Brezovička, Ďačov, Pečovská Nová Ves (okres Sabinov), Krušinec, Lukavica (okres Stropkov),
 - 5. časť: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v Košickom kraji – lokality: Košice – mestské časti Dargovských hrdinov, Krásna, Družstevná pri Hornáde, Vyšná Hutka, Nižná Hutka, Vyšný Čaj (Košice-okolie), Hrhov (okres Rožňava),
 - 6. časť: Inžinierskogeologický prieskum vybraných havarijných zosuvov Slovenska – lokality: Šenkvice (okres Pezinok), Rudník (okres Myjava), Gíraltovce (okres Svidník), Spišské Hanušovce (okres Kežmarok), Plavnica (okres Stará Ľubovňa).

Svahovými deformáciami boli poškodené rodinné domy, hospodárske budovy, skladové priestory, poľnohospodársky i lesný pôdny fond, štátne cesty i miestne komunikácie. Cieľom geologickej úlohy bolo získať základné informácie a podklady, ktoré by umožnili riešiť havarijnú situáciu v postihnutých obciach, zabezpečiť okamžité protihavarijné opatrenia a následnú sanáciu svahových deformácií.



Obr. 5.17: Odlučná hrana zosuvu pod kostolom v Nižnej Myšli a poškodený múr kostola (foto: Ľ. Petro)



Obr. 5.18: Jedna z odlučných hrán zosuvu v Nižnej Myšli (foto: Ľ. Petro)



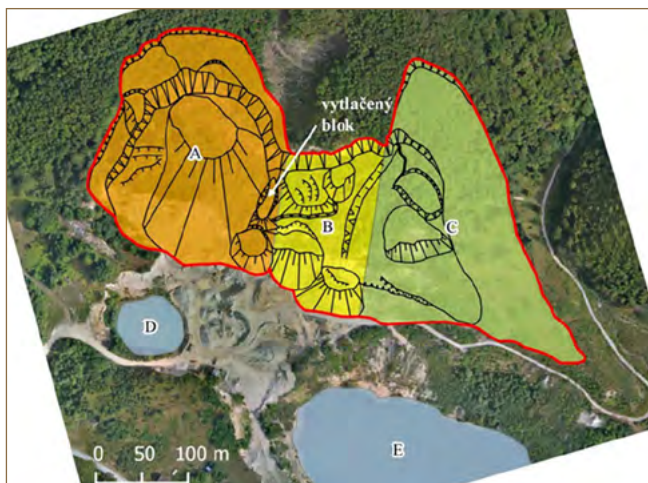
Obr. 5.19: Zosuvom porušený dom v Nižnej Myšli (foto: Ľ. Petro)



Obr. 5.20: Odlučná hrana zosuvu vo Vinohradoch nad Váhom (vľavo) a budovanie mikropilotovej steny na záchranu rodinného domu (vpravo) (foto: V. Jánová)



Obr. 5.21: Skalný zosuv v Kralovanoch (foto: V. Jánová)

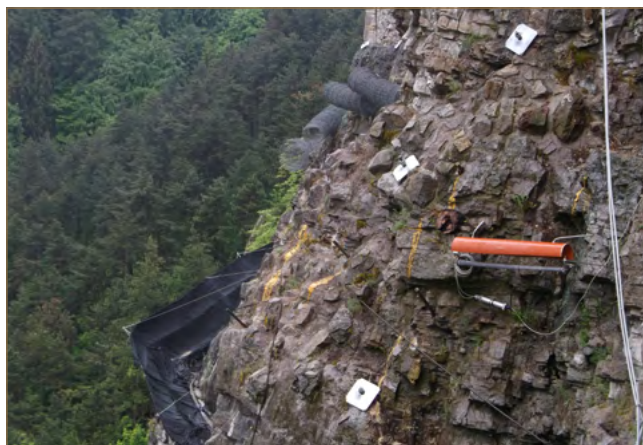


Obr. 5.22: Situácia skalného zosuvu nad kameňolomom Kralovany-Rieka. Červenou líniou je znázornený obrys svahovej deformácie, A – západná časť, B – centrálna časť, C – východná časť, D – Malé jazero, E – Veľké jazero (Liščák a kol., 2013)

- **Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Krupina** (Liščák a kol., 2011). V meste Krupina v lokalite Nad Kotlom došlo v roku 2010 a najmä na prelome rokov 2010/2011 k výraznej aktivizácii svahového pohybu, ktorý predstavoval priame i nepriame ohrozenie majetku a života obyvateľov. Na základe objednávky MŽP SR vykonal ŠGÚDŠ inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu, realizované boli vykonané okamžité protihavarijné opatrenia formou drenážno-stabilizačných rebier a vypracovaný bol ideový návrh sanácie.
- **Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Vinohrady nad Váhom – časť Kamenica** (Liščák a kol., 2011). Začiatkom leta 2011 po dlhotrvajúcich zrážkach vznikol v obci Vinohrady nad Váhom, v miestnej časti Kamenica pomerne rozsiahly zosuv, ktorý ohrozoval

rodinné domy, miestnu komunikáciu, hospodárske budovy a inžinierske siete v širšom okolí. K vzniku zosuvu prispeli aj nevhodné antropogénne aktivity, najmä nevhodné nakladanie s odpadovými vodami z rodinných domov. Na základe objednávky MŽP SR zrealizoval ŠGÚDŠ inžinierskogeologický prieskum. V rámci riešenia geologickej úlohy boli vykonané aj okamžité protihavarijné opatrenia (kotvená mikropilótová stena a hĺbkové odvodnenie) (obr. 5.20). Vzhľadom na havarijný stav lokality pomáhala pri záchranných prácach aj armáda.

- **Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Brusno** (Jelínek a kol., 2013). Vykonanie inžinierskogeologického prieskumu a použitie jeho výsledkov pri realizácii okamžitých protihavarijných opatrení s cieľom zabezpečenia stability aktívneho havarijného zosuvu v Brusne na ulici Pod Dubinkou. Geologické práce zabezpečil ŠGÚDŠ na základe požiadavky MŽP SR.
- **Monitorovanie pohybovej aktivity havarijného skalného zosuvu v obci Kralovany** (Liščák a kol., 2013). Riešenie mimoriadnej situácie bolo vyvolané aktívnym skalným zosuvom (obr. 5.21 a 5.22), ktorý ohrozoval rodinné domy a cestnú infraštruktúru. Výsledky geologickej úlohy realizovanej ŠGÚDŠ boli podkladom návrhu sanačných opatrení s cieľom zabezpečenia stability územia v kritických úsekoch aktívneho havarijného zosuvu.
- **Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijného zosuvu v obci Banka pri Piešťanoch** (MŽP SR, 2014). V januári 2014 vznikol zosuv na svahu nad štátnou cestou č. 507 v lokalite Červená veža v obci Banka. Okrem tejto štátnej cesty ohrozoval prístupovú cestu do rekreačnej oblasti a 1 rekreačnú chatu. Práce na havarijnom zosuve pozostávali z dvoch samostatných etáp – inžinierskogeologického prieskumu a sanačných prác. Zrealizovanými sanačnými prvkami (úpravy svahu, drenážne rebrá, mikropilóty, gabiónové múry) bola zabezpečená stabilita svahu.
- **Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách SR** (Šimeková a kol., 2014). Úloha pozostávala z 2 častí:
 - 1. časť – sanácia havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa,
 - 2. časť – inžinierskogeologický prieskum a sanácia prioritných havarijných zosuvov zosuvných území v obci Kapušany, v meste Košice, v obci Vyšná Hutka, v obci Nižná Hutka, v obci Šenkvice, vo Veľkej Lehôtke, Hradci a Kralovanoch, v obci Červený Kameň, v obci Žilina-Vranie a v obci Likavka.
- **Protihavarijné opatrenia na lokalite Kralovany (lom Šútovo)** (ŠGÚDŠ, 2014). Hlavným cieľom



Obr. 5.23: Sanačné práce na skalnom brale pod hradom Strečno (foto: K. Házyová)

geologickej úlohy bola realizácia súboru geologických, geodetických a technických prác zameraných na elimináciu rizík vyplývajúcich zo vzniknutej svahovej deformácie, ktorá predstavuje vážne ohrozenie životov ľudí, majetku a infraštruktúry, predovšetkým cesty I. triedy a železnice.

- **Sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách:** Nižná Myšľa, Šenkvice, Nižná Hutka, Petrovany, Čadca, Vinohrady nad Váhom, Krupina, Kojšov, Vyšný Čaj, Krajná Poľana, Ruská Nová Ves, Kapušany, Bardejovská Zábava, Vyšná Hutka, Chmeľnica, Čirč a Lukov – 1. etapa (2012). Cieľom geologickej úlohy bola sanácia geologického prostredia, ktorou sa odstránia alebo obmedzia negatívne následky havarijných zosuvov a ktorá zabezpečí dlhodobú stabilizáciu porušeného územia. Vzhľadom na obmedzenú výšku finančných prostriedkov nebolo možné v niektorých lokalitách zabezpečiť sanáciu v potrebnom rozsahu. Na prvú etapu sanačných prác nadväzovali práce zrealizované v ďalších rokoch.
- **Sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách okresu Prievidza** (Ondrejka a kol., 2014). Geologická úloha bola rozdelená do dvoch častí:
 - v 1. časti sa realizovali geologické, technické a sanačné práce v 4 lokalitách v Prievidzi: v mestskej časti Hradec na Pavlovskej ulici a na ulici Na Stanište a v mestskej časti Veľká Lehôtka na uliciach Remeselnícka a Podhorská,
 - v 2. časti sa realizovali práce v 3 lokalitách v meste Handlová: na Žiarskej ulici a okolí, na Morovnianskom sídlisku a Kunešovskej ceste.
- **Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Svätý Anton a sanácia havarijných zosuvov v obciach Nižná Myšľa a Šenkvice** (Šimeková a kol., 2015). Úloha bola rozdelená do troch častí:
 - v rámci 1. časti sa realizovala 3. etapa sanácie havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa,

- v rámci 2. časti bola vykonaná 3. etapa sanácie havarijného zosuvu v obci Šenkvice,
- v rámci 3. časti bol vykonaný inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Svätý Anton, ktorý bol zameraný na zistenie príčin vzniku a vývoja svahovej deformácie, overenie inžinierskogeologických pomerov a zistenie parametrov svahovej deformácie ohrozujúcej štátnu cestu I. triedy, obytné budovy, inžinierske siete a drobné stavby.
- **Sanácia havarijného zosuvu v obci Hodruša-Hámre** (MŽP SR, 2015). Cieľom geologickej úlohy bolo zabezpečenie stabilizácie aktívneho zosuvu na ľavom brehu Dolnohodruškého jazera.
- **Inžinierskogeologický prieskum skalného brala v Strečne** (MŽP SR, 2015). Cieľom podrobného inžinierskogeologického prieskumu bolo zistiť aktuálny stav stability skalného brala, najmä jeho kritických úsekov a na základe podrobného mapovania horninového masívu navrhnúť opatrenia na zabezpečenie stability a zníženia ohrozenia dopravy a životov ľudí na frekventovanej štátnej ceste I. triedy č. I/18.
- **Sanácia havarijného zosuvu v Pečovskej Novej Vsi** (Mašlár a kol., 2016). Cieľom geologickej úlohy bolo zlepšenie stabilitných pomerov zosuvného svahu, s dôrazom na zníženie stupňa ohrozenia existujúcich obytných stavieb. Za týmto účelom bolo vybudované drenážno-stabilizačné rebro a dobudované gabiónové múry.
- **Sanácia skalného brala Strečno** (MŽP SR, 2016 – 2017). Geologická úloha bola uložená MŽP SR uzneseniami vlády Slovenskej republiky (č. 541/2015 a č. 244/2016). Na základe výsledkov inžinierskogeologického prieskumu bolo potrebné zabezpečiť okamžité protihavarijné opatrenia, sanáciu najrizikovejších častí skalného brala v obci Strečno a sanáciou previsu nad cestou a plánovanou galériou (obr. 5.23). Sanačné práce spočívali v zaistení nestabilných skalných blokov kotvením, v injektovaní

blokov, v sanácii dutín a trhlín výstuhami, zaistení kritických blokov špeciálnymi oceľovými sieťami. Sanácia previsu nad plánovanou galériou

pozostávala zo stavby dvoch železobetónových oporných múrov v kombinácii s predpätými lanovými kotvami.

5.4.2 Geologické úlohy zrealizované od roku 2018 z Operačného programu Kvalita životného prostredia

Vzhľadom na nedostatok finančných prostriedkov zo štátneho rozpočtu na riešenie problematiky svahových deformácií vyvíjalo MŽP SR od roku 2013 enormnú snahu o zaradenie témy zosuvov do pripravovaného Operačného programu Kvalita životného prostredia (2014 – 2020) (OP KŽP). Po opakovaných rokovaníach bola problematika svahových deformácií v rámci OP KŽP schválená a bola zaradená do prioritnej osi 3. Podpora riadenia rizík, riadenia mimoriadnych udalostí a odolnosti proti mimoriadnym udalostiam ovplyvneným zmenou klímy, do investičnej priority 3.1 Podpora investícií na riešenie osobitných rizík, zabezpečiť predchádzanie vzniku katastrof a vyvíjanie systémov zvládania katastrof, do špecifického cieľa 3.1.2 Zvýšenie účinnosti preventívnych a adaptačných opatrení na elimináciu environmentálnych rizík (okrem protipovodňových opatrení). Výzva na predkladanie žiadostí o nenávratný finančný príspevok bola zverejnená dňa 28. 12. 2017 s finančným rámcom 24 mil. eur z Európskeho fondu regionálneho rozvoja (ERDF) a spolufinancovaním zo štátneho rozpočtu vo výške 15 %. V rámci podpory prevencie, prieskumu a sanácie havarijných zosuvov súvisiacich so zmenou klímy boli definované ako oprávnené 4 hlavné aktivity:

- A.1 Identifikácia, registrácia a inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií – oprávnený žiadateľ ŠGÚDŠ.
- A.2 Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií – oprávnení žiadatelia MŽP SR a ŠGÚDŠ.
- A.3 Monitorovanie svahových deformácií – oprávnený žiadateľ ŠGÚDŠ.
- A.4 Sanácia svahových deformácií – oprávnení žiadatelia MŽP SR a ŠGÚDŠ.

Geologické úlohy podporené z OP KŽP:

- **Identifikácia, registrácia a inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií** (ŠGÚDŠ, 2018 – 2023). Cieľom geologickej úlohy je zlepšenie prevencie zosuvných rizík definovaním zosuvného hazardu v geologickom prostredí budovanom horninami, ktoré patria medzi najviac náchylné na zosúvanie v rámci SR – pohoria Biele Karpaty a Javorníky, budované flyšovými horninami a časti pohorí Vtáčnik, Slanské vrchy – západ a príslušná časť Košickej kotliny a Vihorlatské vrchy – severná časť, budované vulkanickými horninami a neogénnymi sedimentmi (obr. 5.4). Účelom riešenia geologickej úlohy je získanie

detailných podkladov o stave zložiek životného prostredia a podkladov na zostavenie máp zosuvného hazardu. Zásadnou zmenou oproti všetkým predchádzajúcim etapám registrácie svahových deformácií, ako aj pri inžinierskogeologickom a geologickom mapovaní územia SR, je využitie podrobného digitálneho modelu reliéfu DMR 5.0. Pri identifikácii, inžinierskogeologickom mapovaní a inventarizácii svahových deformácií sa riešiteľia opierajú o metódy diaľkového prieskumu Zeme, najmä leteckého laserového skenovania (LiDAR).

- **Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií – 1. etapa** (ŠGÚDŠ, 2018 – 2019). Cieľom geologickej úlohy bolo zlepšenie prevencie zosuvných rizík zabezpečením inžinierskogeologického prieskumu 13 svahových deformácií, ktoré z hľadiska spoločensko-ekonomickej významnosti (ohrozenie života a majetku) a z toho vyplývajúceho zosuvného rizika predstavovali v tom čase najzávažnejšie zosuvné lokality v rámci Slovenskej republiky:

- v Žilinskom kraji zosuvy v obciach Babín, Lipetovská Štiavnica, Mojšova Lúčka, Lodno,
- v Banskobystrickom kraji zosuvy v obciach Brehy-Močarina, Lipovany 2, Orovnica,
- v Prešovskom kraji zosuvy v obciach Krivany, Matysová, Bajerovce 1, Rožkovany, Vyškovce, Bardejov – Postajok Gróner.

Na základe výsledkov prieskumných prác boli vypracované ideové návrhy sanačných prác v jednotlivých lokalitách. Takmer vo všetkých skúmaných lokalitách návrh sanačných opatrení spočíval v kombinácii stabilizačných a odvodňovacích opatrení.

- **Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií – 2. etapa** (ŠGÚDŠ, 2019 – 2020). Geologická úloha nadväzovala na predchádzajúcu úlohu. Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií bol realizovaný vo vybraných 11 lokalitách:

- v Trenčianskom kraji: Veľká Čausa,
- v Banskobystrickom kraji: Lubietová – nad ihriskom a Lipovany 1,
- v Prešovskom kraji: Malá Franková, Levočské Lúky, Fintice, Vyšná Voľa, Bardejov – Pravoslávny chrám, Sveržov, Zlaté 2 a Regetovka.

V rámci riešenia úlohy bol vykonaný komplex geologických prieskumných prác zameraných na overenie inžinierskogeologických a hydrogeologických pomerov zosuvných území a zistenie príčin vzniku

a vývoja svahových pohybov. V lokalitách Veľká Čausa a Ľubietová – nad ihriskom boli okrem inžinierskogeologických prieskumov realizované aj okamžité protihavarijné opatrenia, ktorých cieľom bolo spomaliť svahový pohyb a minimalizovať škody. Pre všetky lokality boli navrhnuté sanačné opatrenia na stabilizáciu svahových deformácií.

- **Sanácia svahových deformácií na vybraných lokalitách Slovenska (1)** (MŽP SR, 2018 – 2021). Cieľom geologickej úlohy bolo zabezpečenie sanácie havarijných (aktívnych) zosuvov v 7 prioritných lokalitách, ktoré ohrozovali životy a majetok obyvateľov a životné prostredie. Úloha bola rozdelená do 4 častí:

- 1. časť: Sanácia svahových deformácií v lokalitách Brezovička a Ďačov (v okrese Sabinov),
- 2. časť: Sanácia svahových deformácií v lokalitách Kapušany, Ondrašovce a Petrovany (v okrese Prešov),
- 3. časť: Sanácia svahovej deformácie v lokalite Stránske (v okrese Žilina),
- 4. časť: Sanácia svahovej deformácie v lokalite Varhaňovce (v okrese Prešov).

Sanačné práce spočívali najmä v povrchovom a hĺbkovom odvodnení územia a vybudovaní stabilizačných prvkov. Počas realizácie sanácie bol vo všetkých lokalitách zabezpečený výkon odborného geologického dohľadu.

- **Sanácia svahových deformácií na vybraných lokalitách Slovenska (2)** (MŽP SR, 2021 – 2023). V rámci tohto projektu bolo navrhnutých na riešenie 19 svahových deformácií v 12 obciach:

- v Trenčianskom kraji: Prievidza – Veľká Lehôtka, Remeselnícka ulica, Prievidza – Veľká Lehôtka, Podhorská ulica, Mojtín – skalné bralo Smetlička, Hrachovište,
- v Žilinskom kraji: Čadca – Rieka II – veľký zosuv, Likavka,
- v Banskobystrickom kraji: Ľubietová – starý zosuv, Svätý Anton, Podhorie-Žakýl,

- v Prešovskom kraji: Bardejovská Zábava 1, Likavica pri Bardejove 1, 2, 3, 4, Hraničné Drapy 2, Žipov 1, 2, 3, 4.
- **Monitoring svahových deformácií** (ŠGÚDŠ, 2018 – 2023). Hlavným cieľom geologickej úlohy je systematické pozorovanie aktívnych svahových porúch. Monitorovanie slúži na včasnú identifikáciu takých zmien geologického prostredia, ktoré môžu viesť k mimoriadnej udalosti s rozsiahlymi ekonomickými dôsledkami. Riešenie geologickej úlohy je zabezpečené v 20 socio-ekonomicky najvýznamnejších zosuvných lokalitách: Nižná Myšľa, Handlová – starý zosuv, Prievidza – Veľká Lehôtka, Prievidza-Hradec, Prešov – Pod Wilec Hôrkou, Prešov – Horárska ulica, Kapušany, Veľká Čausa, Ruská Nová Ves, Fintice, Varhaňovce, Vyšná Hutka, Červený Kameň, Ľubietová (nad ihriskom), Liptovská Štiavnica, Kľačany (obr. 5.24), Nižná Hutka, Podhorie, Petrovany a Bardejov – Pravoslávny chrám.



Obr. 5.24: Monitorovanie v lokalite Kľačany (foto: V. Jánová)

5.5 Záchranné práce vykonávané v zosuvných lokalitách počas vyhlásenia mimoriadnej situácie v rokoch 2014 až 2020

V prípade aktívnych svahových deformácií, ktoré majú charakter živelnej pohromy, vyhlasuje krízový štáb príslušnej obce tzv. mimoriadnu situáciu. Postup záchranných prác je regulovaný zákonom č. 42/1994 Z. z. o civilnej ochrane obyvateľstva v znení neskorších predpisov. Za záchranné práce sa považujú činnosti na záchranu života, zdravia osôb a záchranu majetku, ako aj na ich odsun z ohrozených alebo z postihnutých priestorov. Súčasťou

záchranných prác sú aj činnosti na zamedzenie šírenia a pôsobenia následkov mimoriadnej udalosti a vytvorenie podmienok na odstránenie následkov mimoriadnej udalosti, t. j. aj svahových deformácií. Výdavky na záchranné práce sú refundované zo štátneho rozpočtu. V prípade obcí postihnutých aktívnymi svahovými deformáciami, ktoré ohrozujú životy ľudí a majetok, ide o najrýchlejší spôsob riešenia živelnej pohromy. V rokoch 2014 až 2020 boli



Obr. 5.25: Povrchové odvodnenie svahu je najčastejším okamžitým protihavarijným opatrením, niekedy je potrebná aj pomoc armády (foto: V. Jánová)

záchranné práce a okamžité protihavarijné opatrenia (obr. 5.25) vykonávané v 31 lokalitách, napr. v obciach Košice – Vyšné Opátske, Kvakovce, Vršatské

Podhradie, Banka, Klin, Levoča, Ružomberok, Bratislava, Terchová, Strečno, Kozelník, Vyšná Voľa, Červený Kameň, Mojtín, Likavka, Čavoj a inde.

5.6 Nové trendy vo výskume svahových deformácií po roku 2006

Atlas spolu s GIS databázou všetkých zaznamenaných svahových deformácií nepredstavuje len dokončenie významnej etapy registrácie svahových deformácií na Slovensku od roku 1961, ale slúži aj ako vstup pri ďalšom výskume tejto problematiky. Vďaka významnému pokroku v metodike a metódach výskumu a zvyšujúcemu sa dopytu poskytuje registrácia a mapovanie tohto fenoménu nevyhnutný základ riešenia aktuálnych problémov aktívnej ochrany územia a spoločnosti pred nepriaznivými účinkami svahových pohybov. Zameranie sa presunulo na presné premapovanie svahových deformácií umožňujúcich ich vizualizáciu v mierke katastrálnej mapy, prípadne

väčšej, na monitorovanie svahových pohybov a vývoj systémov včasného varovania. Regionálne štúdie sa usilujú o zlepšenie metód hodnotenia zosuvného hazardu a rizika. Najmä novovznikajúce katastrofické zosuvy sa stali výzvou pri vývoji progresívnych metód a techník sanácie svahových pohybov.

Napriek nepopierateľnému pokroku vo výskume nie je možné vyhnúť sa dopadu extrémnych prírodných (klimatických) udalostí. Napríklad klimatické extrémny, ktoré sa vyskytli v prvej polovici roku 2010 s takmer 600 novými alebo reaktivovanými svahovými deformáciami, významne zmenili mapu distribúcie svahových deformácií na východnom Slovensku.

5.7 Monitorovanie svahových deformácií

Monitorovanie svahových pohybov bolo v minulosti prvkom inžinierskych prác v nestabilných oblastiach, zvyčajne sa však používalo pri implementácii a po sanácii na overenie efektívnosti a funkčnosti sanačných opatrení. Takéto monitorovanie bolo vnímané iba ako krátkodobý proces a po opustení lokality prieskumná organizácia ukončila svoju činnosť (maximum približne po jednom roku). Zvyčajne to súviselo nielen s ukončením periodických meraní, ale zastavila sa aj údržba sanačných objektov (najčastejšie povrchového a hĺbkového odvodnenia). Obnovený

záujem o fungovanie sanačných zariadení bol zvyčajne spojený s opakovanou aktivizáciou svahových pohybov. Uvedená prax bola zaznamenaná vo väčšine významných svahových lokalít na Slovensku v druhej polovici minulého storočia. Výnimky z bežnej praxe predstavovali iba náročné stavebné práce, ktoré sa vykonávali v potenciálne nestabilnom prostredí. Išlo o významné vodné stavby (dostatočne ilustratívnym príkladom je vodná nádrž Liptovská Mara, kde sa realizovalo monitorovanie tzv. veľkomarského zosuvu. Zosuv sa nachádza v blízkosti pravého okraja

priehrady a monitorovanie sa vykonáva nepretržite od roku 1975; Kopecký, Magula, 2005). Ďalšími objektmi s implementovaným monitorovaním boli vybrané úseky líniových stavieb, trvale ohrozené zosuvmi.

Kvalitatívna zmena v charaktere monitorovania nastala v roku 1993 spustením projektu Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia (ďalej len „ČMSGF“), ktorý koordinuje ŠGÚDŠ (Klukanová, 2002). Medzi subsystémami relevantných geologických hazardov zohráva významnú úlohu subsystém O1 Zosuvy a svahové deformácie (Ondrejka a kol., 2020).

Zosuvy a ďalšie svahové deformácie sa monitorujú na niekoľkých miestach pokrývajúcich všetky typy svahových pohybov vyskytujúcich sa na území Slovenska. Výber monitorovaných lokalít nie je fixný a je upravený podľa potrieb spoločnosti ako celku. K monitorovaným lokalitám sa dopĺňajú významné novovytvorené pohyby svahu a na tých svahových poruchách, ktoré majú klesajúcu dôležitosť, sa frekvencia monitorovacích meraní buď znížila, alebo sa od monitorovania upustilo. V roku 2009 bolo monitorovaných 30 lokalít zo Slovenska (väčšina z nich v oblasti povodia Handlovej), v roku 2014 (po „zosuvnom“ roku 2010) sa počet lokalít zvýšil na 49. V roku 2018 prebiehalo monitorovanie v 39 lokalitách, v roku 2019 v 23 lokalitách, keďže 16 najvýznamnejších lokalít (Červený Kameň, Fintice, Handlová – zosuv z roku 1960, Kapušany, Kralovany, Nižná Hutka, Nižná Myšľa, Petrovany, Prešov – Horárska ul., Prešov – Pod Wilec Hôrkou, Prievidza-Hradec, Prievidza – Veľká Lehôtka, Ruská Nová Ves, Varhaňovce, Veľká Čausa, Vyšná Hutka) je monitorovaných v novom projekte ŠGÚDŠ. Ide o projekt Monitoring svahových deformácií, ktorý je financovaný z fondov Európskej únie v rámci OP KŽP.

Prijaté metódy monitorovania sú založené na bežnej praxi technického prieskumu a prispôsobené rôznym typom svahových pohybov. Monitorovanie typických zosuvov sa vykonáva meraním posunov pozorovacích bodov pomocou vhodných geodetických metód – pozemných alebo satelitných (GNSS, InSAR), meraním posunov v zóne šmykovej plochy (v súčasnosti takmer výlučne meraním deformácie presným inklinometrom), meraním napätostného stavu (metódou pulzných elektromagnetických emisií vo vrtoch) a pozorovaním hlavných zosuvných faktorov (meranie hladiny podzemnej vody a jej teploty, výdatnosť odvodňovacích zariadení a meranie celkových zrážok). Príznaky svahových pohybov charakteru skalného pádu sú sledované dilatometrickými a fotogrametrickými meraniami pozorovaných posunov bodov, spolu s meraním kľzavých faktorov (počet dní mrazu, súčty zrážok) a opakovaným meraním zmien v morfológii skalnej steny (Jánová, 1997). Plazivé pohyby sa monitorujú meraním posunov skalných blokov

pomocou opticko-mechanického dilatometra. Metódy monitorovania sa vyvíjajú, zlepšujú a zdokonaľujú. Posledné desaťročie je charakterizované trendom používania kontinuálnych, prípadne on-line metód pozorovania (automatické hladinometry na meranie režimu hladiny podzemnej vody, kontinuálny inklinometer, Wagner a kol., 2010).

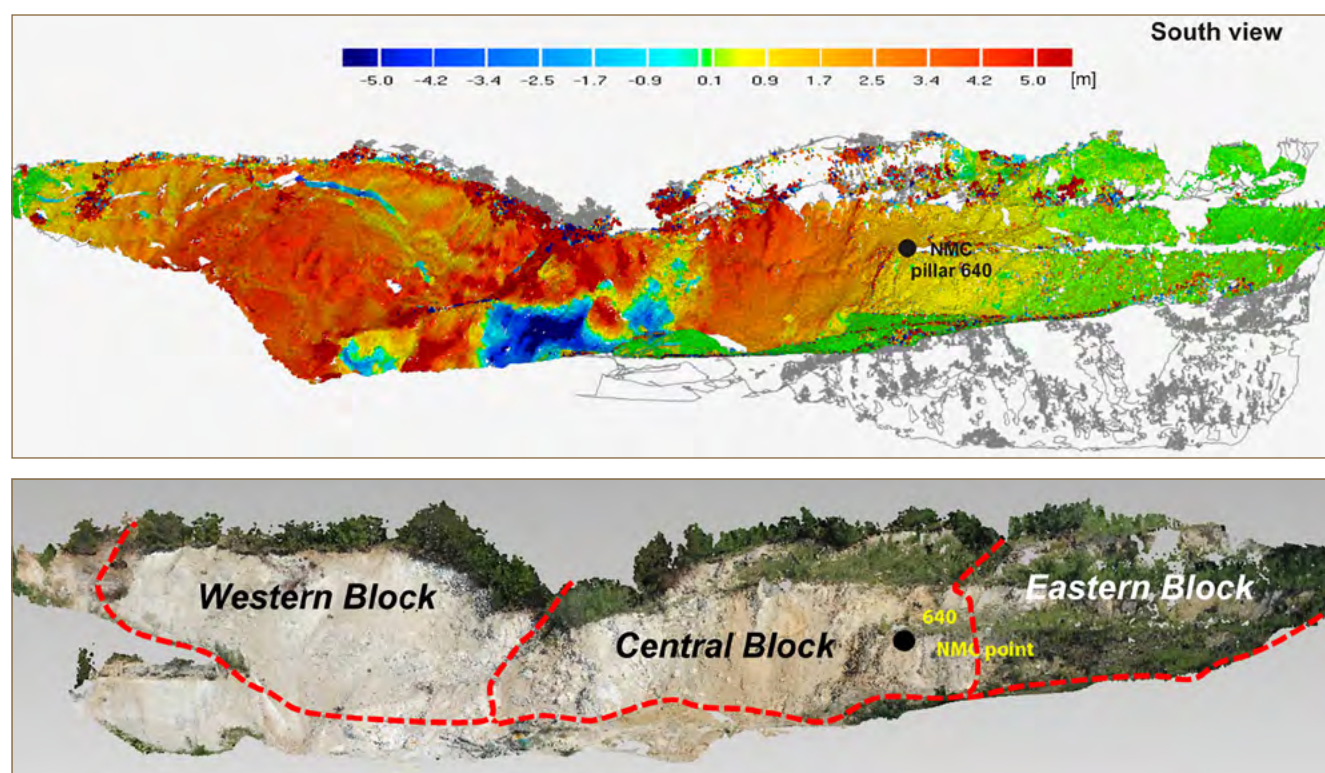
Dlhodobé monitorovacie obdobie (vo väčšine prípadov viac ako 10 rokov) umožňuje zber rozsiahlych súborov údajov (Iglárová a kol., 2012) o pozorovaných zmenách v jednotlivých parametroch. Táto rozsiahla databáza z výsledkov monitorovania predstavuje základ prechodu na vyšší stupeň hodnotenia stability svahu pozorovaných lokalít. Odôvodňuje to lokalizáciu a objektívne nastavenie systémov včasného varovania a predpovedanie stavu stability za rôznych hraničných podmienok pôsobiacich faktorov.

Vytvorenie systémov včasného varovania pred nepriaznivými geologickými hazardmi reaguje na základné celoštátne požiadavky, konkrétne včasnú prevenciu nepriaznivého vplyvu geologických nebezpečenstiev na rozvoj spoločnosti a kvalitu života.

Pri riešení projektu ČMSGF sa dosiahol významný pokrok vo vývoji systémov včasného varovania pred zosuvnými pohybmi inštaláciou automatických meradiel s nastaviteľnou kritickou úrovňou hladiny podzemnej vody a diaľkovým prenosom údajov v zosuvných lokalitách Veľká Čausa a Okolíčné v roku 2005 (Wagner a kol., 2006). Avšak, vytváranie systémov včasného varovania založené výlučne na zmenách hladiny podzemnej vody môže byť často nedostatočné a na získanie dostatočne podrobných údajov o fyzickej aktivite zosuvov je potrebné zdokonalenie. Takéto informácie môžu poskytnúť záznamy kontinuálneho inklinometra nainštalovaného v hĺbke aktívnej šmykovej plochy zosuvu. Porovnanie záznamov automatických hladinomerov a kontinuálnych inklinometrov nachádzajúcich sa v najaktívnejších častiach zosuvu vo Veľkej Čause (Ondrejka a kol., 2011) umožnilo definovať priamu koreláciu medzi režimom podzemných vôd a veľkosťou deformácie. Z tohto dôvodu je dlhodobá spoľahlivá prevádzka systému včasného varovania založená na nepretržitom pozorovaní zmien hladín podzemných vôd a definovaní limitných hladín, ktoré zodpovedajú určitým hodnotám kinematickej aktivity zosuvných mäs.

Možno konštatovať, že aplikácia moderných metód monitorovania a optimálne nastavenie monitorovania zamerané na implementáciu rôznych typov systémov včasného varovania je v súčasnosti jednou z hlavných výziev súčasného výskumu svahových deformácií.

Skutočným horúcim problémom je skalný zosuv Kralovany na severnom Slovensku, ktorý bol aktívny v aktívnom vápencovom a dolomitovom lome na



Obr. 5.26: Príklad použitia kombinácie pozemného laserového skenovania a leteckej fotogrametrie v lokalite Kralovany; farebná škála označuje gravitačný pohyb zosuvných mäs, resp. úbytok horninového materiálu v dôsledku ťažby (modrá farba) (Fraštia a kol., 2014)

jar 2013 a stal sa jednou z najpozoruhodnejších svahových porúch v modernej histórii Slovenska, a to nielen z hľadiska rozmerov, ale aj rizika pre spoločnosť. Zosuvné masivy dosahujúce objem viac ako 2 mil. m³ predstavujú riziko pre infraštruktúru a životy a majetok obyvateľov a návštevníkov tejto lokality. Okrem toho pôvodná trasa bezpochyby najdôležitejšej dopravnej tepny Slovenska – diaľnice D1 – bola navrhnutá na

samotnom mieste akumulačnej zóny skalného zosuvu. Vznik svahovej deformácie si vynútil potrebu definovania novej trasy tohto úseku diaľnice. Popri klasickom mapovaní a prieskume zosuvného územia bolo monitorovanie realizované geodetickými metódami GNSS, pozemnou a leteckou fotogrametriou a pozemným laserovým skenovaním (Fraštia a kol., 2014) (obr. 5.26).

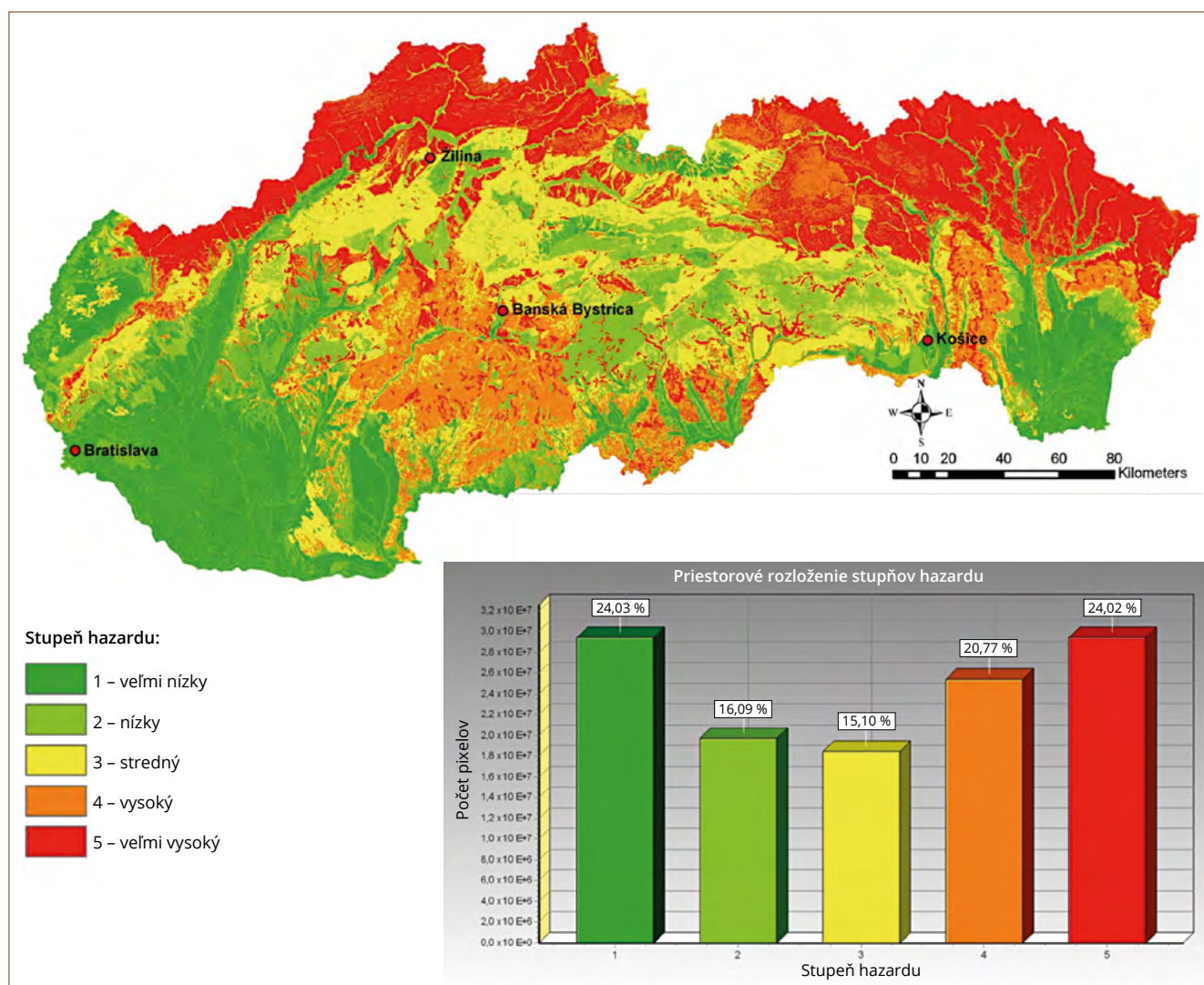
5.8 Mapovanie zosuvného hazardu a zosuvného rizika

Pojmy *hazard* a *riziko* boli prvýkrát použité v britskej a americkej literatúre a reagovali na záujem poisťovacích spoločností. Pojem *zosuvný hazard* bol zavedený v roku 1984, keď Varnes prvýkrát definoval nebezpečenstvo zosuvu ako pravdepodobnosť výskytu potenciálne škodlivého javu zosuvu s určitou intenzitou v čase a priestore. Schopnosť systému reagovať na vonkajšie vplyvy zmenou vlastného stavu je definovaná ako *náchylnosť* (Petro a kol., 2008).

Akákolvek činnosť vykonávaná v ohrozenom prostredí je úzko spojená s rizikom, ktoré možno vyjadriť ako pravdepodobnosť výskytu udalosti s potenciálne škodlivými následkami vo forme straty a poškodenia prírodného prostredia, stavieb, života a majetku (Ondrášik, Gajdoš, 2001). Inými slovami, riziko je produktom hazardu a zraniteľnosti (obr. 5.28).

Riziko je zadenované ako predpokladané straty a škody na ohrozených zložkách prostredia spôsobené pravdepodobným výskytom hazardu v danej oblasti a v určitom časovom úseku (Petro a kol., 2008). Hodnotenie hazardu predstavuje len časť, resp. krok vstupujúci do hodnotenia rizika. Z hľadiska hodnotenia zosuvného hazardu nie je však rozhodujúci ani tak objem horninových mäs, ktoré sa môžu dať do pohybu, ale práve rozsah ich možných následkov (Ondrášik a kol., 2011). Metodický postup hodnotenia rizika, prvky vstupujúce do jeho hodnotenia a jednotlivé metódy hodnotenia zosuvného hazardu sú znázornené na obr. 5.29.

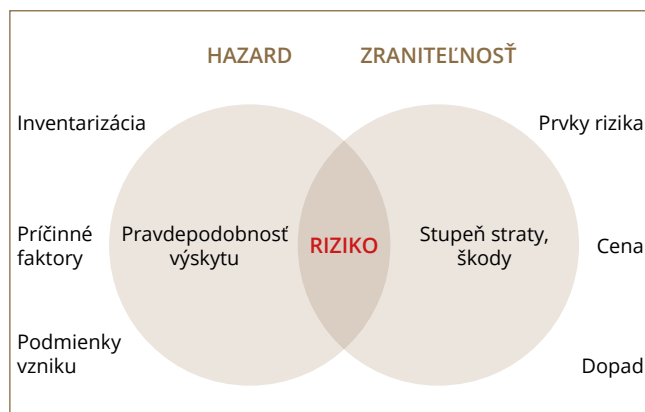
Pred každým hodnotením náchylnosti územia na zosúvanie by mali byť vopred zodpovedané 3 základné otázky a iba na základe ich zodpovedania je možné



Obr. 5.27: Mapa zosuvného hazardu Slovenskej republiky (Bednarik, Liščák, 2010)

určiť náhlynosť študovaného územia na zosúvanie (Aleotti, Chowdhury, 1999):

1. Kde svahová deformácia (zosuv) vznikne?
2. Aký typ svahovej deformácie vznikne?
3. Ako dôjde k samotnému vzniku (príp. aktivácii) svahovej deformácie?



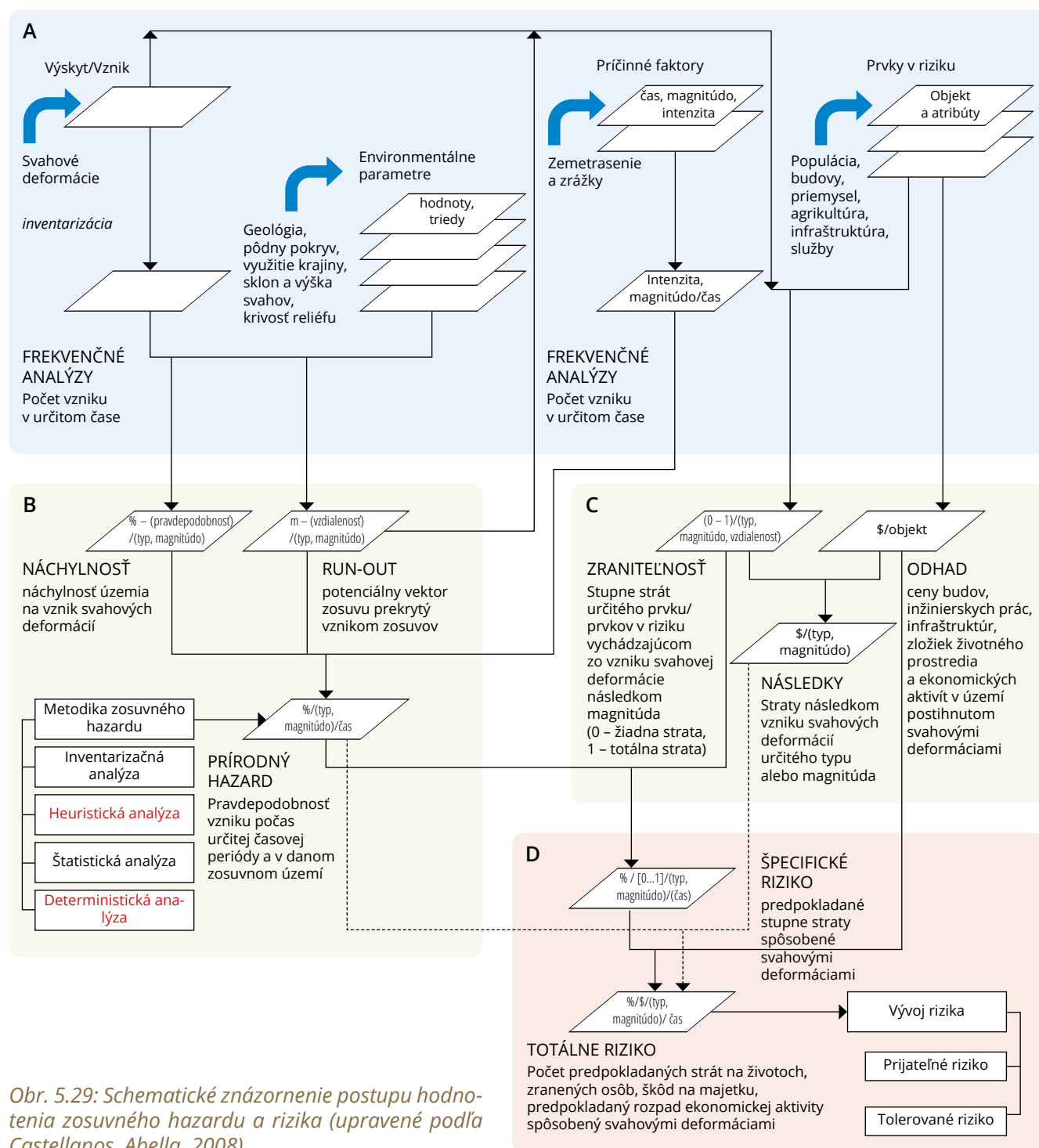
Obr. 5.28: Grafické znázornenie hodnotenia rizika (upravené podľa Castellanos Abella, 2008, Petrýdesová, 2012)

V hodnotení zosuvného hazardu podľa Varnesa (1984) a Hutchinsona (1995, Aleotti, Chowdhury, 1999) sa vychádza z týchto predpokladov:

1. S veľkou pravdepodobnosťou sa zosuvy vyskytujú v rovnakých geologických geomorfologických, hydrogeologických a klimatických podmienkach ako v minulosti.
2. Hlavné podmienky zosúvania sa riadia identifikovateľnými fyzikálnymi faktormi.
3. Úroveň hazardu je možné stanoviť vopred.
4. Je možné identifikovať a klasifikovať všetky typy svahových deformácií.

V súčasnosti existuje veľa metód, ktoré hodnotia zosuvný hazard; možno ich zhruba rozdeliť do piatich skupín (Carrara a kol., 1992):

- mapovanie geomorfologického hazardu;
- analýza registrácie zosuvov;
- heuristické metódy alebo metódy založené na indexácii;
- funkčné, štatisticky založené modely;
- geotechnické alebo fyzikálne modely.



Obr. 5.29: Schematické znázornenie postupu hodnotenia zosuvného hazardu a rizika (upravené podľa Castellanos, Abella, 2008)

V rámci kvantitatívnych metód hodnotenia nebezpečenstva zosuvov sa na Slovensku vo veľkej miere používajú detailné štúdie, po ktorých nasledujú geotechnické prístupy. V blízkej budúcnosti analýza neurónových sietí nájde nepochybne svoje uplatnenie aj vo vybraných lokalitách Slovenska.

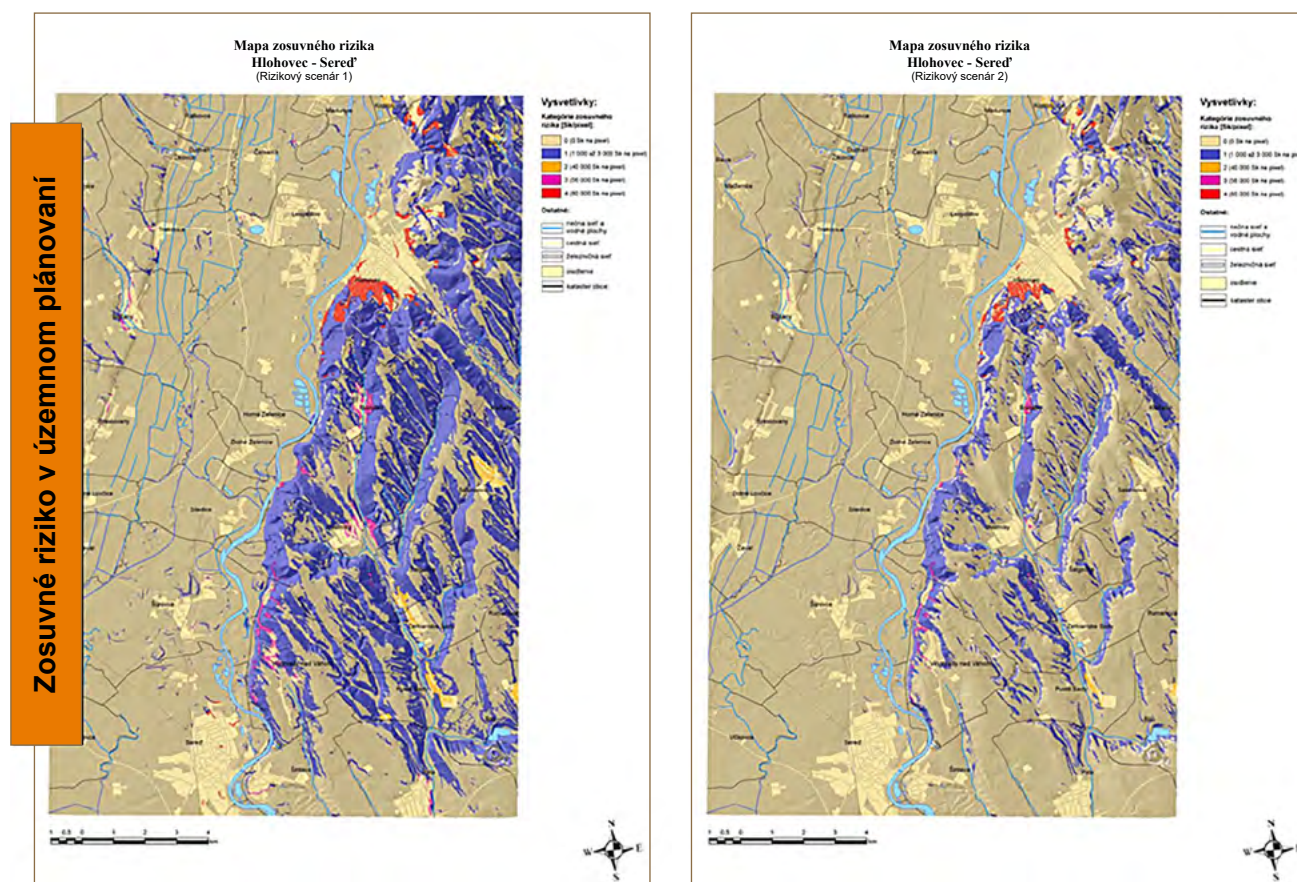
Na Slovensku sú štatistické analýzy pomerne známe a široko používané metódy, pomocou ktorých bolo hodnotených niekoľko území. Rozvíjajú sa od 60. rokov minulého storočia. Jednou z prvých prác pri hodnotení nebezpečenstva zosuvov vážením príslušných zložiek životného prostredia bol výskum Vlčka a kol. (1980). Veľký pokrok v hodnotení zosuvného

hazardu bol dosiahnutý vďaka použitiu nástrojov GIS na prelome tisícročí. Medzi prvé práce kvantitatívneho hodnotenia, ktoré zahŕňali aj metodiku štatistického spracovania v GIS a výsledné prognózy, patria tieto práce: Bednarik (2001, 2007, 2008); Pauditš, Bednarik (2002, 2006); Jurko (2003); Pauditš (2005); Pauditš, Vlčko, Jurko (2005); Bednarik a kol. (2005). Prvý regionálny odhad rizika zosuvov na Slovensku založený na GIS pomocou bivariačnej analýzy bol zostavený v roku 2010 (Bednarik, Liščák, 2010; obr. 5.27).

Deterministický prístup pri hodnotení zosuvného hazardu sa používa na miestne analýzy za predpokladu, že sú k dispozícii dostatočné údaje o geologických,

geotechnických a hydrogeologických podmienkach (Kraľovičová a kol., 2014). Aplikácia GIS v deterministickom prístupe umožňuje simuláciu viacerých scenárov na základe hypotézy variability spúšťacích faktorov. V slovenských podmienkach túto metódu uplatnil prvýkrát Jelínek (2005), ktorý analyzoval ľubietovský zosuv a modeloval mapy zosuvného hazardu pri dvoch scenároch hĺbky hladiny podzemnej vody. Ďalšiu deterministickú štúdiu zosuvného rizika založenú na GIS spracovali Jelínek a Wagner (2007) v prípadovej štúdii Veľká Čausa. V dizertačnej práci

Petrýdesová (2012) uplatnila deterministické hodnotenie stability plytkých zosuvov v regionálnom meradle v oblasti medzi mestami Hlohovec a Sereď. Vstupné údaje sa získali a potvrdili pomocou troch interpolačných metód – metóda inverzných vzdialeností, kriging a spline. Priekopníckou prácou v hodnotení zosuvného rizika je práca Bednarik (2007), v ktorej autor spracoval územie rozsiahleho zosuvného územia Nitrianskej pahorkatiny na ľavom brehu Váhu medzi mestami Hlohovec a Sereď (obr. 5.30).



Obr. 5.30: Ukážka mapy zosuvného rizika v zosuvnej oblasti Hlohovec – Sereď (Bednarik, 2007)

6. ATLAS MÁP STABILITY SVAHOV SLOVENSKEJ REPUBLIKY V MIERKE 1 : 50 000

V rokoch 1997 – 2006 bol na Slovensku riešený projekt geologickej úlohy s názvom Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky v mierke 1 : 50 000 (ďalej Atlas zosuvov). Projekt bol financovaný MŽP SR, zhotoviteľom bola spoločnosť INGEO – ighp, s. r. o., Žilina (zodpovedný riešiteľ v rokoch 1997 – 2005 J. Šimeková, v rokoch 2005 – 2006 T. Martinčeková), katedra geotechniky SvF STU Bratislava, spoločnosť GEOKONZULT, a. s., Košice, ŠGÚDŠ Bratislava a Katedra inžinierskej geológie PriF UK Bratislava. Metodika úlohy bola zostavená za spolupráce zodpovedného riešiteľa úlohy s odborníkmi z Katedry geotechniky SvF STU Bratislava (J. Malgot, F. Baliak) a ďalšími odborníkmi zúčastnenými na riešení úlohy. Pri jej definitívnom profilovaní sa vychádzalo z poznatkov získaných z prvotne spracovávaných modelových mapových listov.

Hlavným cieľom Atlasu zosuvov bolo zostavenie prehľadného digitálneho mapového podkladu celej Slovenskej republiky, ktorý by jednotnou metódou spracoval všetky dovtedy zmapované a zaregistrované svahové deformácie vrátane vypracovania ich databáz formou pasportu svahovej deformácie, poskytujúceho prehľadné údaje o územnom začlenení príslušnej svahovej deformácie, stupni preskúmanosti, charakteristike svahovej deformácie, jej rozlohe, ohrození stavebných a iných objektov, príčinách vzniku a prípadnej sanácii. Úlohou zostavenia Atlasu zosuvov nebolo podrobnejšie celoplošné mapovanie nepreskúmaných oblastí, ale zosúladienie hodnotenia porušených území excerpovaných z rôznych východiskových geologických podkladov, terénne overenie nedostatočných, resp. sporných údajov o svahových

deformáciách prebratých z archívnych materiálov a iba v ojedinelých prípadoch rekognoskácia nepreskúmaných území za účelom zistenia rizikových svahových deformácií, predstavujúcich hrozbu pre obyvateľstvo a existujúce stavebné objekty.

Čiastkové ciele Atlasu zosuvov boli špecifikované nasledovne:

1. Zaznamenanie všetkých svahových deformácií zistených z archívnych materiálov a terénnym mapovaním do výstupných máp v M 1 : 50 000, v súlade s jednotnou metódou.
2. Vyplnenie záznamového listu (pasportu) svahovej deformácie, obsahujúceho celkom 28 stĺpcov s údajmi o územnom začlenení, preskúmanosti, charakteristike svahovej deformácie, ohrozených objektoch, príčinách vzniku a sanácii.
3. Vypracovanie stabilitnej rajonizácie územia 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 na topografickom podklade SVM 50.
6. Súborné spracovanie, syntéza údajov získaných z východiskových podkladov a terénnej rekognoskácie a zostavenie hodnotiacej záverečnej správy.

6.1 Východiskové podklady na zostavenie Atlasu zosuvov

Zostaveniu Atlasu zosuvov predchádzalo viacero geologických úloh zameraných na mapovanie a registráciu zosuvov a iných svahových deformácií, ktoré predstavovali východiskové podklady na zaznamenanie svahových deformácií do mapového podkladu a vypracovanie ich databáz v Atlase zosuvov. Išlo predovšetkým o nasledujúce podklady:

- Výsledky predchádzajúcej registrácie svahových deformácií uskutočnenej v troch etapách (Tab. 6.1), ktoré boli spracované v registri zosuvov Geofondu ŠGÚDŠ.

- Inžinierskogeologické mapy rôznych druhov zostavované v mierkach 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000 (od mnohoúčelových máp inžinierskogeologických pomerov a inžinierskogeologickej rajonizácie cez rôzne účelové mapy až po špeciálne mapy svahových deformácií a náchylnosti územia na zosúvanie).
- Záverečné správy inžinierskogeologických prieskumov havarijných zosuvov.
- Mapové podklady s údajmi o svahových deformáciách, vypracované pri realizácii prieskumných

geologických úloh pri zakladaní rôznych stavebných objektov, resp. na posúdenie a optimálny výber alternatívnych lokalít zložitých stavieb a trás líniových stavieb.

- Pasportizácia svahových deformácií vo vzťahu k cestnej a železničnej sieti a k trasám hlavných produktovodov Stredoslovenského kraja a vybraných okresov Východoslovenského kraja.
- Geologické mapy mierky 1 : 50 000, 1 : 25 000.

Pri zobrazovaní svahových deformácií vo vyššie uvedených podkladoch na tých istých územiach, ale v rôznych časových obdobiach, rôznymi organizáciami

a autormi, často chýbalo porovnanie s predchádzajúcimi mapovými výstupmi a ich akceptácia, resp. prehodnotenie, ako aj vzájomná korelácia hraníc susediacich mapových produktov. Dôsledkom bola často viacnásobná registrácia tých istých svahových deformácií, ale s odlišnou interpretáciou ich hraníc a definovaním základných charakteristík vrátane typov a aktivity svahových deformácií.

Prvotná dokumentácia v rámci zostavovania Atlasu zosuvov bola realizovaná do topografických máp M 1 : 10 000 (ZM 10), z ktorých boli obrisy zosuvov a iných svahových deformácií následne transformované do topografických máp M 1 : 50 000.

Tab. 6.1: Etapy registrácie svahových deformácií

Etapa registrácie	Obdobie	Zhotoviteľ	Forma výstupu	Oblasť registrácie
1. etapa	1962 – 1964	GÚDŠ Bratislava, SVŠT Bratislava, PriF UK Bratislava, ÚÚG Praha	• zákres zosuvov na mapách M 1 : 25 000, • slovný popis na diernych štítkoch	• ohrozené územia v okolí komunikácií a obcí
2. etapa	1974 – 1978	Katedra geotechniky SVŠT Bratislava	• zákres svahových deformácií na mapách M 1 : 25 000, • súborná publikácia (Nemčok, 1982)	• vysokohorské oblasti, • čiastočne flyšové a vulkanické oblasti, • vnútrohorské kotliny
3. etapa	1981 – 1991	GÚDŠ Bratislava	• zákres zosuvov na mapách M 1 : 10 000, • záznamové listy na počítačové spracovanie	• flyšové oblasti, • vulkanické pohoria, • vnútrohorské kotliny

6.2 Výstupy Atlasu zosuvov

6.2.1 Rajónové mapy stability svahov (náhynnosť územia na vznik svahových pohybov)

Hlavným výstupom Atlasu zosuvov sú rajónové mapy stability svahov, zostavené pre celkom 132 mapových listov M 1 : 50 000 a následne digitalizované a spájané (obr. 6.1). V záujme sprístupnenia výsledkov širokej verejnosti sú v súčasnosti svahové deformácie z Atlasu zosuvov v upravenom stave vizualizované na mapovom serveri ŠGÚDŠ (<http://apl.geology.sk/atlassd/>). Súčasťou každého mapového listu M 1 : 50 000 je aj umiestnenie mapového listu v rámci SR a doplnkové mapky v mierke 1 : 250 000 (obr. 6.2), ktoré prehľadným spôsobom uvádzajú doplňujúce informácie – rozmiestnenie registrovaných svahových deformácií na príslušnom mapovom liste, geomorfologické členenie územia, regionálne inžinierskogeologické členenie územia a existujúce inžinierskogeologické mapové podklady regionálneho charakteru.

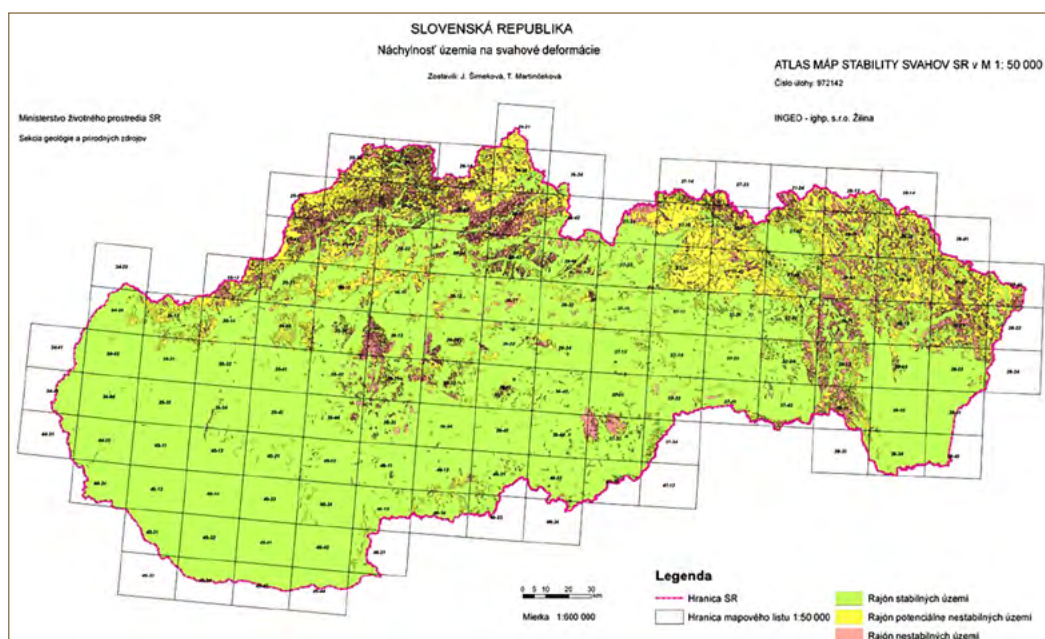
Každá svahová deformácia na mape je vyznačená číslom a obrysom alebo bodovou značkou (svahové

deformácie menších rozmerov). Predpokladaná aktivita svahových deformácií je vyjadrená farebne a typ svahovej deformácie zobrazuje šrafo (obr. 6.2, 6.3). Na zobrazenie aktivity bola použitá zaužívaná trojstupňová klasifikácia svahových deformácií (1. aktívne, 2. potenciálne, 3. stabilizované). Na zobrazenie typov svahových deformácií bola použitá zjednodušená klasifikácia navrhnutá kolektívom Nemčok – Pašek – Rybář (1974) s členením podľa tab. 6.2.

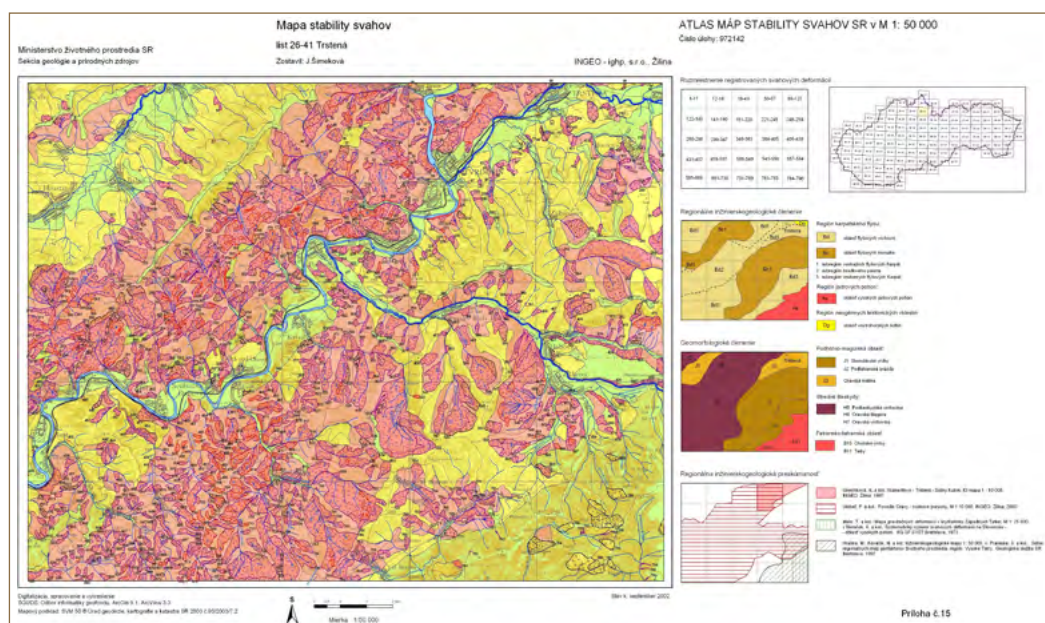
Náhynnosť územia na vznik svahových pohybov je vyjadrená v mapách rozčlenením územia do troch farebne odlišných rajónov použitím heuristickej metódy:

- rajón nestabilných území (červené plochy),
- rajón potenciálne nestabilných území (žlté plochy),
- rajón stabilných území (zelené plochy).

Obr. 6.1: Mapa stability svahov SR s vyznačením listokladu máp M 1 : 50 000



Obr. 6.2: Ukážka rajónovej mapy stability svahov listu 26-41 Trstená (vpravo sú umiestnené doplnkové mapky)



Tab. 6.2: Zjednodušená klasifikácia svahových deformácií v Atlase zosuvov

Skupiny svahových pohybov	Typy svahových deformácií
Plazenie	roztrhanie a rozvoľnenie masívu blokové rozpadliny blokové polia
Zosúvanie	zosuvy
Tečenie	svahové prúdy
Rútenie	skálne zrútenia
Kombinované svahové deformácie	blokové rozpadliny + blokové polia (blokové deformácie), blokové polia + zosuvy, roztrhanie a rozvoľnenie masívu + skálne zrútenia, zosuvy + prúdy a iné



Obr. 6.3: Detail z mapového listu 26-41 Trstená

Hlavným kritériom rajonizácie bola stabilita svahov definovaná ako odolnosť geologického prostredia

na svahoch voči vzniku gravitačných deformácií, resp. náchylnosť územia na vznik svahových deformácií.

6.2.2 Záznamové listy (pasporty) svahových deformácií

Ku každej svahovej deformácii zaregistrovanej v Atlase zosuvov je vypracovaný pasport, poskytujúci bližšie informácie o príslušnej svahovej poruche. Zdrojom informácií boli údaje o svahovej deformácii z pôvodného záznamového listu Registra zosuvov vtedajšieho GÚDŠ, ak už bol v minulosti spracovaný. U tých svahových deformácií, ktoré v geofonde ŠGÚDS neboli registrované vôbec, alebo informácie v registri boli nepostačujúce, prípadne sporné, boli údaje do pasportu získané štúdiom ďalších existujúcich archívnych materiálov a terénneho mapovania územia.

Záznamový list (pasport) svahovej deformácie obsahuje: poradové číslo svahovej deformácie, územné začlenenie (okres, geomorfologický celok, inžinierskogeologická oblasť), údaje o preskúmanosti a mierke zobrazenia, charakteristiku svahovej deformácie, rozlohu svahovej deformácie, kvantifikovanie ohrozených objektoch, určenie príčin vzniku a údaje o prípadnej sanácii.

Zo štatistického spracovania rozsiahleho súboru údajov, obsiahnutých v jednotlivých pasportoch svahových deformácií, sú vypracované analýzy o porušenosti území Slovenska uvedené v nasledujúcom texte.

6.3 Analýza porušenosti územia SR svahovými deformáciami na základe údajov z Atlasu zosuvov

6.3.1 Celkový výskyt svahových deformácií

Na území Slovenskej republiky bolo v rámci riešenia úlohy Atlas zosuvov (Šimeková a kol., 2006), so stavom k roku 2006, sumárne zaevidovaných **21 190 svahových deformácií**. Z hľadiska plošného rozsahu zaregistrované svahové deformácie zaberajú 257 591,2 ha, čo predstavuje **5,25 % celkovej rozlohy územia SR**. Registrácia, ktorá predchádzala zostaveniu Atlasu zosuvov, odhadovala, že svahové deformácie na Slovensku v počte 9 194 postihujú 3,06 % rozlohy SR (Nemčok, 1982).

Z celkového počtu svahových deformácií zaregistrovaných pri tvorbe Atlasu zosuvov bolo:

- 13 012 svahových deformácií prevzatých z archívnych materiálov bez ich konfrontácie s terénom,
- 6 076 svahových deformácií bolo na základe nesúladu archívnych podkladov konfrontovaných so skutočnosťou v teréne (určenie typu, rozsahu, aktivity, doplnenie údajov o ohrozených objektoch a pod.),
- 2 102 svahových deformácií bolo novo zaregistrovaných pri terénnych prácach v rámci riešenia úlohy. Išlo väčšinou o svahové deformácie zistené pri terénnej rekognoskácii a overovaní údajov o zosuvoch a iných svahových deformáciách zaregistrovaných v predchádzajúcich obdobiach, v zriedkavých prípadoch aj o cieľené mapovanie v miestach potenciálneho ohrozenia infraštruktúry na základe rôznych indícií, napr. štúdiom topografických podkladov.

Celkový počet zaregistrovaných svahových deformácií podáva iba orientačnú predstavu o porušenosti územia Slovenska. Skutočný počet svahových deformácií je podstatne vyšší, pretože vzhľadom na výstupnú mierku máp 1 : 50 000 bolo často nevyhnutné, aby sa zložité a na seba nadväzujúce svahové deformácie v intenzívne porušených územiach spájali a evidovali pod jedným číslom. Reálnejšiu predstavu o porušenosti územia Slovenska svahovými deformáciami preto podáva plošná porušenosť, číselne a percentuálne vyjadrená v tab. 6.3, v ktorej sú územia svahových deformácií zároveň rozčlenené so zohľadnením ich využívania ako poľnohospodárskej pôdy, lesnej pôdy a iných plôch (zastavané územia, ihriská, cintoríny a pod.). Z údajov v tab. 6.3 vyplýva, že poľnohospodárska i lesná pôda sú porušené približne rovnakým dielom (50,6 % a 46,7 %). Podiel porušenia inak využívaných plôch predstavuje 2,7 %. Časť území poľnohospodárskej pôdy porušenej svahovými deformáciami sa vplyvom sťažených podmienok na obrábanie prestali poľnohospodársky využívať a v súčasnosti sú zarastené divokým trávnatým, krovinatým alebo až lesným porastom. Potvrdzujú to aj výsledky analýzy Liščák a kol. (2009) s použitím podkladov CORINE Land Cover 2000, podľa ktorej je priamo postihnutých svahovými deformáciami 120 855 ha lesných porastov, čo je o 611,7 ha viac ako v tab. 6.3.

Tab. 6.3: Plošná porušenosť územia Slovenskej republiky zaregistrovanými svahovými deformáciami (Šimeková a kol., 2006)

Plocha	Celková plocha v rámci SR [ha]	Plocha svahových deformácií [ha]	Porušenosť svahovými deformáciami [%]	
			k celkovej ploche SR	k porušenej ploche SR
Slovenská republika	4 903 347	257 591,2	5,25	–
Poľnohospodárska pôda	2 436 876	130 289,9	2,66	50,6
Lesná pôda	2 004 100	120 243,3	2,45	46,7
Iná plocha	462 371	7 058,1	0,14	2,7

Svahovité územia s poľnohospodárskou pôdou sú typovo najviac porušené zosuvmi, resp. ich kombináciami s inými typmi svahových deformácií (až 90 %). Na devastácii lesnej pôdy sa podieľajú nielen zosuvy (67,4 %), ale nezanedbateľnou mierou (32,6 %) aj svahové deformácie vznikajúce plazením, rútením a tečením. Iné plochy, ktoré zaberajú 2,7 % plochy svahových deformácií, pričom ide predovšetkým o zastavané územia, sú ohrozené najmä zosuvmi. Plochy nad hranicou lesa sú ohrozené najmä deformáciami zo skupiny plazenia, rútenia a tečenia.

Z celkového počtu zaregistrovaných svahových deformácií (21 190 porúch) až 90,15 % tvoria zosuvy a na ostatné typy svahových deformácií pripadá menej ako 10 % (obr. 6.4). Z hľadiska hodnotenia porušených plôch (obr. 6.4), ktoré je reprezentatívnejšie ako hodnotenie početnosti, je taktiež výrazne najvyššie zastúpenie zosuvov (78,12 %) pred blokovými deformáciami (15,31 %) a ostatnými typmi svahových porúch, vrátane kombinovaných (spolu 6,57 %).

Štatistické spracovanie výskytu svahových deformácií vo vzťahu k horninám predkvartérneho podkladu (geologickému útvaru; obr. 6.5) preukázalo, že najviac postihnuté sú súvrstvia paleogénu, na ktorých je vyvinutých 60,1 % zo všetkých svahových deformácií, menej porušené sú horniny neogénu, na ktorých sa nachádza 18,7 % svahových deformácií, na horninách kriedy je to 9,9 %, paleozoika 4,2 % a triasu 2,3 % zaregistrovaných svahových deformácií. Ostatných

4,8 % z celkovej plochy svahových deformácií pripadá na ďalšie geologické útvary.

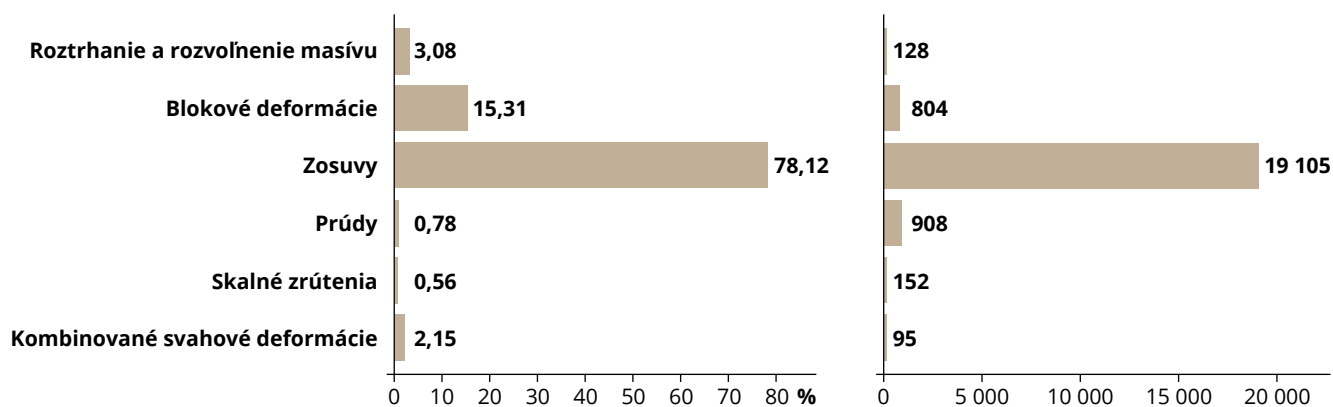
Zo spracovania údajov o svahových deformáciách ďalej vyplýva, že výskyt jednotlivých typov deformácií býva špecifický pre určitý útvar, prípadne kombináciu útvarov, napr. roztrhanie a rozvoľnenie masívu – paleozoikum (75,0 %), blokové rozpadliny – neogén (68,0 %), blokové polia – neogén (61,2 %), zosuvy – paleogén (65,9 %), svahové prúdy – paleozoikum (55,6 %), skalné zrútenia – neogén (40,7 %). Pre plazivé deformácie blokového typu (blokované rozpadliny a blokované polia) je okrem neogénneho útvaru typická aj kombinácia viacerých útvarov, ktoré spravidla charakterizujú priaznivú štruktúru pevnostne odlišných horninových komplexov. Najčastejšie ide o kombináciu útvarov trias – krieda, neogén – paleogén, menej jura – krieda a jura – trias.

Priemerné sklony základných typov svahových deformácií sú nasledovné: roztrhanie a rozvoľnenie masívu – 26,7°, blokované polia – 15,2°, zosuvy – 13,3°, svahové prúdy – 25,2°, skalné zrútenia – 27,6°. Na najstrmších svahoch sú najčastejšie prítomné roztrhanie a rozvoľnenie masívu, svahové prúdy a skalné zrútenia. Umelé, antropogénne svahy, postihnuté svahovými deformáciami, majú priemerný sklon 21°. Zosuvy, ktoré tvoria až 90 % všetkých svahových deformácií, majú priemerný sklon 13,3°, z toho 65,5 % zosuvov vzniká na svahoch so sklonom od 7° do 17° (Kopecký a kol., 2008).

6.3.2 Výskyt svahových deformácií v inžinierskogeologických regiónoch a oblastiach

Vývoj a formy svahových pohybov majú svoje špecifiká v závislosti od geologickej stavby a geomorfologického vývoja reliéfu. Z tohto hľadiska bolo na regionálnu analýzu svahových deformácií v Atlase zosuvov použité inžinierskogeologické členenie územia Slovenska podľa Matulu (Matula, Pašek, 1986), modifikované a aktualizované autormi Hrašna,

Klukanová pri tvorbe Atlasu krajiny SR (2002). V zmysle tohto členenia, ktoré berie do úvahy kritériá uniformity geologických štruktúr a makroreliéfu, je územie Slovenska rozčlenené na 4 inžinierskogeologické regióny a 8 inžinierskogeologických oblastí (tab. 6.4).



Obr. 6.4: Grafy zastúpenia vyčlenených typov svahových deformácií v rámci SR s porovnaním ich plôch (% z celkovej plochy svahových deformácií, vľavo) a početnosti (vpravo)

Tab. 6.4: Inžinierskogeologické členenie územia SR

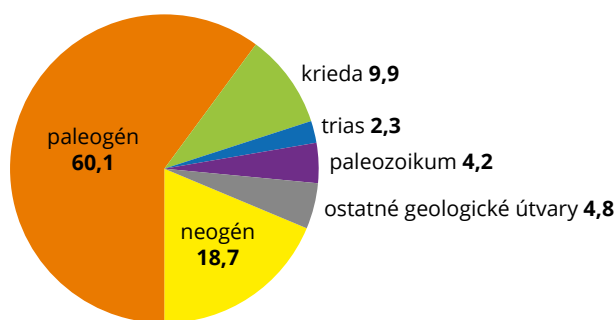
Inžinierskogeologický región		Inžinierskogeologická oblasť		Plocha podľa Atlasu zosuvov [km²]	
Označenie	Názov	Označenie	Názov	Región	Oblasť
A	Región jadrových pohorí	Aa	Oblasť vysokých jadrových pohorí	12 251	3 683
		Ab	Oblasť jadrových stredohorí		8 568
B	Región karpatského flyšu	Bc	Oblasť flyšových hornatín	11 140	2 601
		Bd	Oblasť flyšových vrchovín		8 539
C	Región neogénnych vulkanitov	Ce	Oblasť vulkanických hornatín	5 173	3 275
		Cf	Oblasť vulkanických vrchovín		1 898
D	Región tektonických depresí	Dg	Oblasť vnútrokarpatských kotlín	20 470	6 903
		Dh	Oblasť vnútrokarpatských nížin		13 567

Tab. 6.5: Plošný výskyt základných typov svahových deformácií v inžinierskogeologických regiónoch a oblastiach Slovenska

IG región	IG oblasť	Plochy svahových deformácií						Svahové deformácie spolu	
		Roztrhanie, rozvoľnenie masívu [ha]	Blokové deformácie [ha]	Zosuvy [ha]	Prúdy [ha]	Skalné zrútenia [ha]	Kombinované svahové deformácie [ha]	IG región [ha]	IG oblasť [ha]
A	Aa	6 355,5	2 726,7	5 291,1	862,9	975,0	1 442,2	23 741,9	17 653,4
	Ab	1 301,1	579,5	3 934,1	9,8	75,5	188,6		6 088,5
B	Bc	134,8	2 266,8	24 732,2	153,8	9,1	231,8	138 169,7	27 528,5
	Bd	25,3	2 150,4	105 956,2	568,7	1,3	1 939,3		110 641,2
C	Ce	61,0	19 085,4	17 737,7	263,1	373,3	1 045,6	52 214,3	38 566,1
	Cf		10 311,4	3 167,3	14,7	13,2	141,6		13 648,2
D	Dg	50,6	2 207,0	33 449,7	97,5	3,9	538,8	43 465,5	36 347,5
	Dh		113,1	6 969,7	35,2				7 118,0
Spolu		7 928,3	39 440,3	201 238,0	2 005,7	1 451,3	5 527,9	257 591,4	257 591,4

V regióne jadrových pohorí (A) sa najčastejšie vyskytujú plazivé deformácie charakteru roztrhania a rozvoľnenia masívov. Svahovými pohybmi najviac postihnutý je región karpatského flyšu (B), v ktorom dominujú predovšetkým zosuvy rôznych typov. V regióne neogénnych vulkanitov (C) majú významné postavenie deformácie blokového typu a v regióne tektonických depresí (D) prevládajú zosuvy nad blokovými deformáciami (tab. 6.5, 6.6, obr. 6.6, 6.7).

Pri sumárnom vyjadrení plôch svahových deformácií v jednotlivých inžinierskogeologických oblastiach (tab. 6.7) sa ako najviac porušená prejavuje oblasť flyšových vrchovín (Bd) pred oblasťou vulkanických hornatín (Ce) a oblasťou flyšových hornatín (Bc). Vo vzťahu k celkovej ploche SR, ako aj porušenej ploche SR, je jednoznačne na prvom mieste oblasť flyšových



Obr. 6.5: Zastúpenie svahových deformácií [%] podľa príslušnosti predkvartérneho podložia svahovej deformácie ku geologickému útvaru

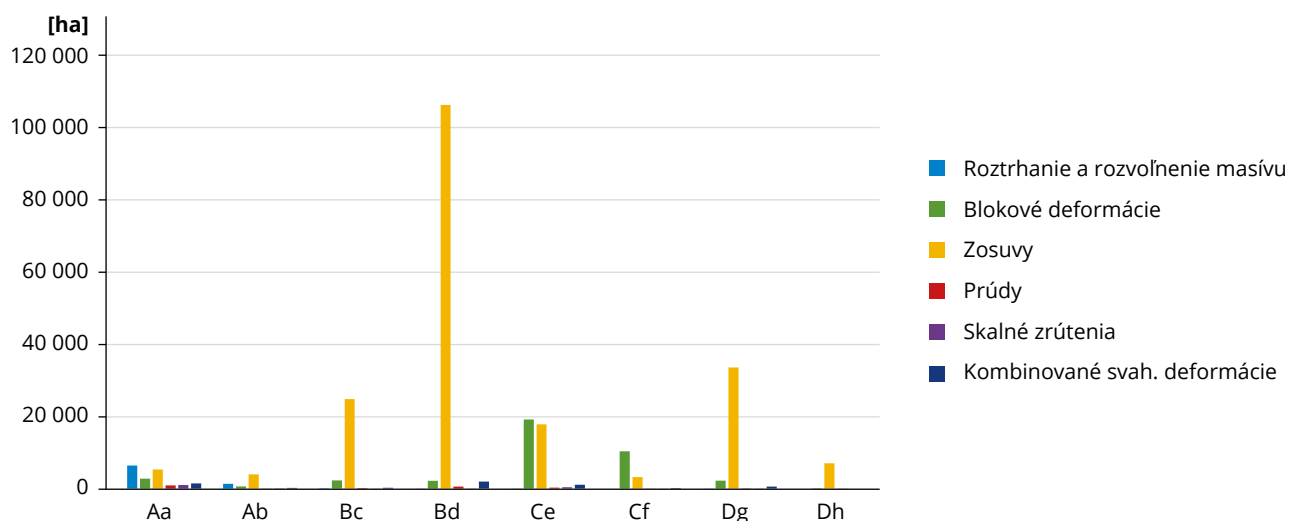
vrchovín (Bd) pred oblasťou vulkanických hornatín (Ce) a oblasťou vnútrokarpatských kotlín (Dg).

Tab. 6.6: Početný a plošný výskyt základných typov svahových deformácií v inžinierskogeologických regiónoch Slovenska

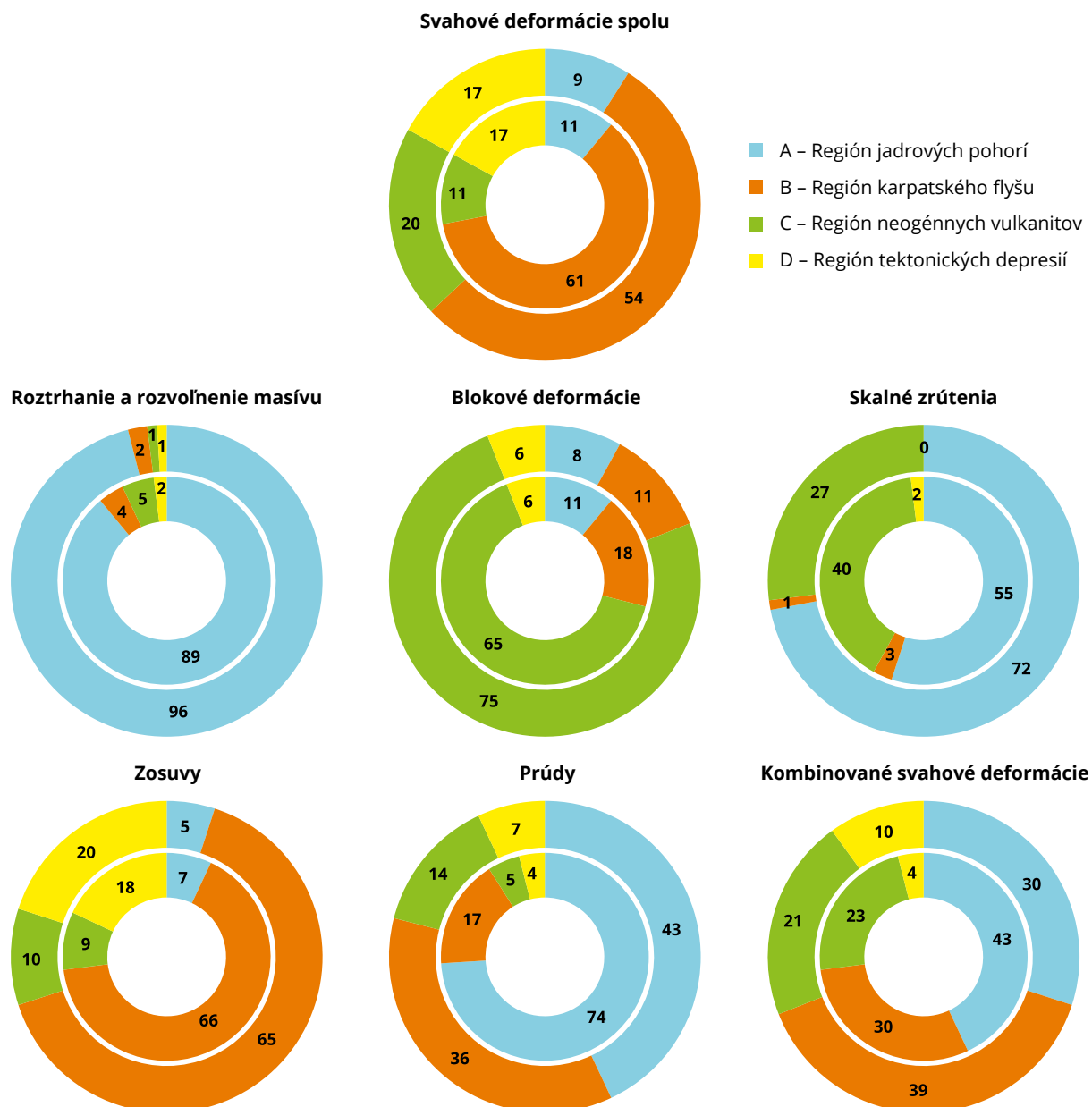
IG región	Roztrhanie, rozvoľnenie masívu		Blokové deformácie		Zosuvy		Prúdy		Skalné zrútenia		Kombinované svahové deformácie		Svahové deformácie spolu	
	počet	plocha [ha]	počet	plocha [ha]	počet	plocha [ha]	počet	plocha [ha]	počet	plocha [ha]	počet	plocha [ha]	počet	plocha [ha]
A	114	7 656,6	88	3 306,2	1 260	9 225,2	672	872,7	84	1 050,5	41	1 630,8	2 259	23 741,9
B	5	160,1	147	4 417,2	12 624	130 688,4	156	722,5	4	10,4	28	2 171,1	12 964	138 169,7
C	6	61,0	518	29 396,8	1 708	20 905,0	46	277,8	61	386,5	22	1 187,2	2 361	52 214,3
D	3	50,6	51	2 320,1	3 513	40 419,4	34	132,7	3	3,9	4	538,8	3 608	43 465,5
Spolu	128	7 928,3	804	39 440,3	19 105	201 238,0	908	2 005,7	152	1 451,3	95	5 527,9	21 192	257 591,4

Tab. 6.7: Sumarizácia porušenia inžinierskogeologických oblastí Slovenska svahovými deformáciami

IG región	IG oblasť	Podiel IG oblasti na ploche SR [%]	Plocha IG oblasti porušená svahovými deformáciami		Podiel svahových deformácií IG oblasti k celkovej ploche SR [%]	Podiel svahových deformácií IG oblasti k porušenej ploche SR [%]
			[km ²]	[% z celkovej plochy IG oblasti]		
A	Aa	7,70	176,53	4,79	0,36	6,85
	Ab	17,90	60,89	0,71	0,12	2,36
B	Bc	5,40	275,28	10,58	0,56	10,69
	Bd	15,30	1 106,41	15,13	2,26	42,95
C	Ce	6,90	385,66	11,78	0,79	14,97
	Cf	4,00	136,48	7,19	0,28	5,30
D	Dg	14,40	363,48	5,27	0,74	14,11
	Dh	28,40	71,18	0,52	0,15	2,76
Spolu		100,00	2 575,91		5,25	100,00



Obr. 6.6: Grafické vyjadrenie plošného výskytu základných typov svahových deformácií v inžinierskogeologických oblastiach Slovenska



Obr. 6.7: Percentuálne vyjadrenie početnosti (vnútorný prstenec) a plošného rozsahu (vonkajší prstenec) typovo odlišných svahových deformácií v IG regiónoch Slovenska [%]

6.3.3 Výskyt svahových deformácií v územno-správnych jednotkách (krajoch)

Z hľadiska územno-správneho členenia Slovenskej republiky (8 krajov, 79 okresov), pri vyhodnotení celkovej plochy svahových deformácií, relatívne najvyššiu porušenosť svahovými deformáciami vykazuje Prešovský kraj pred Žilinským a Banskobystrickým krajom (obr. 6.8).

Z hľadiska percentuálnej porušenosti voči celkovej ploche príslušného kraja je najviac porušeným Žilinský kraj pred Prešovským a Trenčianskym krajom (obr. 6.8). Menej problémov v súvislosti so svahovými

pohybmi je zaregistrovaných v Bratislavskom, Nitrianskom a Trnavskom kraji.

K najporušenejším okresom patria okresy severného, severozápadného a severovýchodného Slovenska (okresy Žilina, Liptovský Mikuláš, Dolný Kubín, Kysucké Nové Mesto, Čadca, Poprad, Prešov, Bardejov, Snina, Stará Ľubovňa, Svidník a ďalšie), patriace k flyšovým územiám a k územiám budovaným neogénnymi vulkanickými a sedimentárnymi horninami.

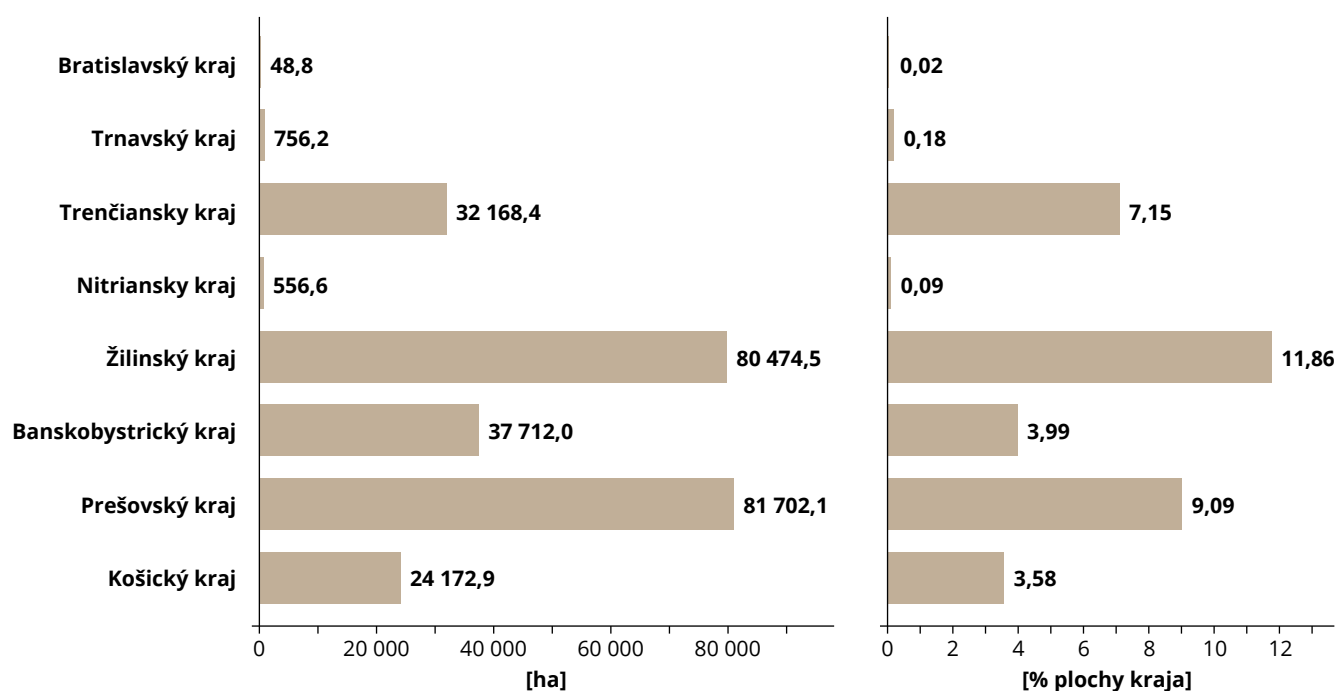
6.3.4 Ohrozenie stavebných a iných objektov

Z vysokej porušenosti územia SR svahovými pohybmi vyplýva aj vysoký rozsah ohrozenia stavebných a iných objektov (Tab. 6.8). Uvedené údaje je potrebné považovať za orientačné. Početnosť a rozsah ohrozených objektov boli najčastejšie určované zo základných topografických máp M 1 : 10 000, s poslednou aktualizáciou pred 10 až 20 rokmi, teda ešte pred zostavením Atlasu zosuvov (2006). V číselnom vyjadrení sú v tabuľke zahrnuté aj objekty, pri ktorých došlo k porušeniu či znefunkčneniu, ale aj objekty, ktoré boli stabilizované sanačnými prácami (v rámci výstavby daného objektu alebo v dôsledku jeho havarijného stavu).

Najväčší počet ohrozených objektov predstavujú obytné a hospodárske budovy, produktovody (hlavne nadzemné elektrické vedenia, ale aj vodovody), cesty II. a III. triedy. K najčastejšie ohrozeným ostatným stavbám patria vodojemy (38,5 %) a cintoríny (32 %).

Stupeň ohrozenia objektov je závislý od viacerých faktorov, predovšetkým však od typu a aktivity svahovej deformácie, jej rozsahu a hĺbkového priebehu, pozície ohrozeného objektu voči svahovej deformácii, atď. Stavebné objekty sú najviac ohrozované zosuvmi.

Z celkového počtu 21 190 zaregistrovaných svahových deformácií boli na 625 poruchách realizované sanačné opatrenia, čo predstavuje necelé 3 % (2,95 %) čiastočne alebo úplne sanovaných svahových deformácií. Z hľadiska použitia sanačných metód k najčastejšie používaným metódam patrili: odvodnenie svahu (34,2 %), stabilizačné konštrukcie (22,5 %), kombinácie stabilizačných konštrukcií a odvodnenia (16 %), zemné úpravy tvaru svahu (11,5 %), kombinácia zemných úprav svahu a odvodnenia (6,6 %), kombinácia zemných úprav svahu a stabilizačných konštrukcií (3,5 %). Zvyšných 5,7 % pripadá na ostatné metódy.



Obr. 6.8: Plošná a percentuálna porušenosť krajov SR svahovými deformáciami

Tab. 6.8: Kvantifikovanie objektov ohrozených svahovými deformáciami podľa Atlasu zosuvov (Šimeková a kol., 2006)

Druh ohrozeného objektu	Rozsah ohrozenia
Pozemné stavby (obytné, hospodárske a iné budovy)	27 920 objektov
Ostatné stavby (vodojemy, cintoríny, ihriská, mosty a iné)	600 objektov
Lokality s ohrozením viac ako 50 objektov*	168 lokalít
Diaľnice a cesty I. triedy	98 816 m
Cesty II. a III. triedy	571 408 m
Železnice	67 210 m
Produktovody nadzemné	1 116 056 m
Plynovody	101 180 m
Ropovody	3 500 m
Vodovody	290 925 m

* ohrozené obce, mestské časti, chatové a záhradkárske oblasti, ktoré úplne alebo čiastočne ležia na územiach postihnutých svahovými deformáciami

6.4 Aplikácia výsledkov Atlasu zosuvov v praxi

Vzhľadom na to, že Atlas zosuvov predstavuje komplexné digitálne mapové dielo zobrazujúce svahové deformácie v rámci celého územia SR, voľne dostupné aj na internete prostredníctvom mapového servera ŠGÚDŠ (<http://apl.geology.sk/atlassd/>), môže byť a často aj býva využívaný na rôzne zámery. Pri praktickom používaní Atlasu zosuvov vyplynuli aj mnohé jeho nedostatky a príklady nesprávneho používania

na účely, na ktoré tento mapový podklad, predovšetkým vzhľadom na prehľadnosť mierky a s tým súvisiacu generalizáciu zosuvných plôch, nie je vhodný. Nedostatky Atlasu zosuvov sa prejavujú predovšetkým pri pokusoch, resp. snahách aplikovania zosuvných území z Atlasu zosuvov do podkladov väčších mierok, napr. pri tvorbe územných plánov a pri hodnotení konkrétnych stavebných lokalít.

6.4.1 Nedostatky Atlasu zosuvov

Nedostatky Atlasu zosuvov možno rozdeliť do niekoľkých skupín.

1. Nedostatky vyplývajúce z mierky zobrazenia (obr. 6.9):
 - generalizácia a deformácia hraníc svahových deformácií pri transformovaní z podrobnejších východiskových mapových podkladov do mierky 1 : 50 000;
 - spájanie zložených viacgeneračných zosuvov a iných svahových deformácií, ako aj zosuvov bezprostredne na seba nadväzujúcich alebo ležiacich v tesnej blízkosti a ich registrácia ako jednej svahovej deformácie (jedno číslo);
 - znázornenie maloplošných svahových deformácií (väčšinou pri rozmeroch < 20 × 50 m) iba piktoqramom;
 - disproporcie (deformácie) medzi samotnými topografickými podkladmi rôznych mierok.

2. Nedostatky vyplývajúce z neuskutočnenia celoplošného mapovania:
 - nedá sa vylúčiť existencia doteraz nezaregistrovaných svahových deformácií, a to aj v relatívne stabilných územiach (v rájónovej mape zelené plochy).

3. Nedostatky vyplývajúce zo starnutia mapového diela (ukončenie v r. 2006):
 - nedochádza k systematickej aktualizácii stavu o novo zaregistrované, novo vzniknuté a reaktivizované svahové deformácie – napr. v roku 2010 po masívnej aktivizácii zosuvov, predovšetkým v oblasti východného Slovenska, ŠGÚDŠ Bratislava zaregistroval 577 nových aktívnych zosuvov pomocou presných GPS meraní (Liščák a kol., 2010). Tu je však potrebné podotknúť, že na ŠGÚDŠ je naďalej systematicky budovaná databáza svahových deformácií SR, pričom

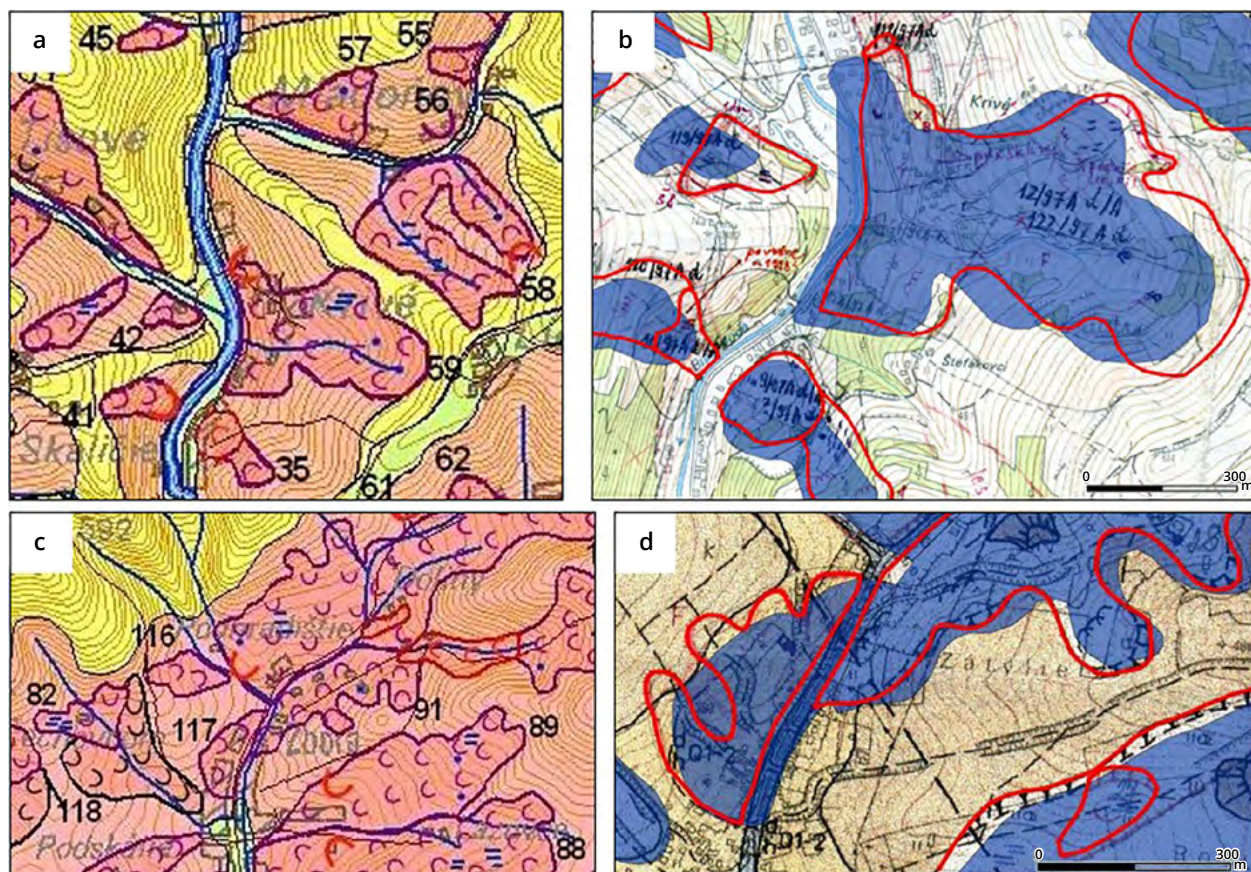
svahové deformácie z Atlasu zosuvov, po ich náležitej topologickej korekcii, predstavujú základ databázy.

4. Nedostatky vyplývajúce z nepresného zobrazenia svahových deformácií vo východiskových podkladoch (inžinierskogeologických mapách a iných podkladoch) z objektívnych i subjektívnych dôvodov, napr.:

- terénne mapovanie vykonávané bez presného registrovania obrysov a morfológických prvkov svahových deformácií modernými geodetickými a GPS prístrojmi, iba na základe vizuálnej konfrontácie konkrétneho územia v teréne s topografickým podkladom príslušnej mierky (väčšinou 1 : 10 000);
- nepresné, prípadne zastarané topografické mapové podklady používané pri mapovacích prácach;
- výskyt svahových deformácií bez výraznejších morfológických prejavov napomáhajúcich ich jednoznačnej identifikácii a ohraňovaniu (zastreté sekundárnou modeláciou

erózo-denudačnými a zvetrávacími procesmi alebo antropogénnou činnosťou, napr. stavebná alebo poľnohospodárska činnosť);

- stav vegetácie pri mapovaní terénu (husté porasty, divoko rastúca a bujná vegetácia, znemožňujúca najmä v letnom a neskoršom jarnom období pohyb mapujúcej osoby a zastierajúca morfológické tvary svahových deformácií);
- neprístupnosť terénu z hľadiska zastavanosti alebo iného využívania územia (oplotené súkromné areály, vojenské priestory a iné).
- nepresné zmapovanie a nesprávne údaje vplyvom nedostatočnej skúsenosti a znalosti, prípadne aj nedôslednosti mapujúceho geológa (napr. nesprávne určenie hraníc svahovej deformácie, zámena výrazných geologicko-tektonických líniových prvkov reliéfu za odlučné hrany svahových deformácií, nesprávna identifikácia polohy hlavne pri plošne menších zosuvoch, nesprávny odhad vzdialenosti...);
- subjektívny prístup mapujúceho geológa pri ťažšie identifikovateľných svahových deformáciách.



Obr. 6.9: Ilustrácie nedostatkov Atlasu máp stability svahov SR v mierke 1 : 50 000 vyplývajúce z mapovej mierky. Vysvetlivky: a, c – výsek z rájónovej mapy stability územia Atlasu zosuvov v mierke 1 : 50 000; b, d – výsek z pracovnej podkladovej mapy Atlasu zosuvov v mierke 1 : 10 000, so zvýraznenými obrysami zosuvov (červená čiara) a podfarbenými plochami, predstavujúcimi plochy zosuvov transformovaných z mapy Atlasu zosuvov do topografického podkladu ZM 10

6.4.2 Prínos Atlasu zosuvov

Napriek spomenutým nedostatkom prínos Atlasu máp stability svahov SR v M 1 : 50 000 je nesporný:

- Atlas máp stability svahov SR predstavuje prehľadné mapové dielo, spracované v digitálnej podobe v prostredí GIS, zobrazujúce výskyt svahových deformácií, rozlíšených podľa typu a aktivity v rámci celého územia SR jednotnou metodikou. Zároveň v prehľadnej mierke klasifikuje celé územie Slovenska podľa náchylnosti na svahové pohyby.
- Pre každú svahovú deformáciu zaregistrovanú v Atlase zosuvov je vypracovaný pasport (databáza) svahovej deformácie s jej podrobnou charakteristikou, územným začlenením, určením stupňa preskúmanosti, s číselnými údajmi o rozlohe a ohrozených objektoch, príčinách vzniku a o prípadnej sanácii, ktoré zároveň tvoria základ rozsiahleho štatistického súboru.
- Údaje o preskúmanosti uvedené v pasporte svahovej deformácie obsahujú odkaz na východiskové podrobnejšie mapové podklady, pokiaľ k príslušnej svahovej deformácii existujú. Väčšina týchto podkladov je prístupná v archíve Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava (pri predchádzajúcej viacnásobnej registrácii toho istého zosuvného územia z rôznych podkladov a s rôznou interpretáciou, bez rekognoskácie terénu v rámci spracovania Atlasu zosuvov, bol väčšinou uprednostňovaný podklad s podrobnejšou mierkou mapovania a podklad časovo aktuálnejší).
- Zostavením Atlasu zosuvov došlo k doplneniu existujúceho registra zosuvov o nové svahové deformácie a k eliminácii sporných údajov o svahových deformáciách vzniknutých pri predchádzajúcej viacnásobnej registrácii, resp. mapovaní tej istej lokality v rámci rôznych etáp registrácie alebo iných geologických úloh.
- Novo zaregistrované svahové deformácie, ako aj v teréne konfrontované a priestorovo korigované svahové deformácie, boli pri spracovaní Atlasu zosuvov v rámci prvotnej dokumentácie primárne zakreslené na pracovný mapový topografický podklad v M 1 : 10 000, ktorý je uložený v zhotoviteľských spoločnostiach. Od roku 2012 ŠGÚDŠ v Bratislave pracuje na digitalizácii svahových deformácií z máp prvotnej dokumentácie Atlasu zosuvov do topografického podkladu ZB GIS.
- Všetky číselné údaje (o rozlohe svahovej deformácie, rozsahu ohrozených objektov) boli do pasportov odvodené z existujúcich podrobnejších podkladov alebo z pracovných máp prvotnej dokumentácie Atlasu zosuvov.
- Údaje o jednotlivých svahových deformáciách spracované v pasportoach poskytli databázu zaujímavých analýz o plošnom i početnom výskyte svahových deformácií a ich základných atribútov podľa geomorfologického, inžinierskogeologického a územno-správneho členenia územia SR, ako aj v rámci celého územia SR.

6.4.3 Použitelnosť výstupných máp Atlasu zosuvov

Použitelnosť výstupných máp Atlasu zosuvov je limitovaná vzhľadom na vyššie spomenuté nedostatky Atlasu zosuvov, predovšetkým však na použitú prehľadnú mierku zobrazenia 1 : 50 000. Využitie máp Atlasu zosuvov možno zrekapitulovať nasledovne:

a) Vhodné použitie:

- ako prvotný zdroj informácií o výskyte zosuvov v záujmovom území pri riešení rôznych geologických úloh a plánovaní využitia krajiny;
- pri orientačnom posudzovaní vhodnosti územia na výstavbu, resp. iného využitia územia v širšom meradle a stanovení optimalizácie jeho využitia;
- pri orientačnom posúdení väčších investičných zámerov, napr. posúdenie variantných trás komunikácií, vodohospodárskych diel a iných náročných stavebných objektov (etapa inžinierskogeologickej štúdie a orientačného inžinierskogeologického prieskumu);
- pri projektovaní inžinierskych diel v etape technickej štúdie, EIA a dokumentácie stavebného zámeru.

b) Podmienečne vhodné použitie:

- pri tvorbe územných plánov v stredných a malých mierkach;
- fyzickými a právnickými osobami pri kúpe pozemkov;
- stavebnými komisiami miestnych samospráv pri stavebnom konaní a udeľovaní stavebného povolenia;
- pre potreby poisťovacích spoločností z hľadiska poistenia nehnuteľností;
- ako podklad vyjadrenia MŽP SR pri prerokúvaní územnoplánovacej dokumentácie z hľadiska vymedzenia rizík využitia územia.

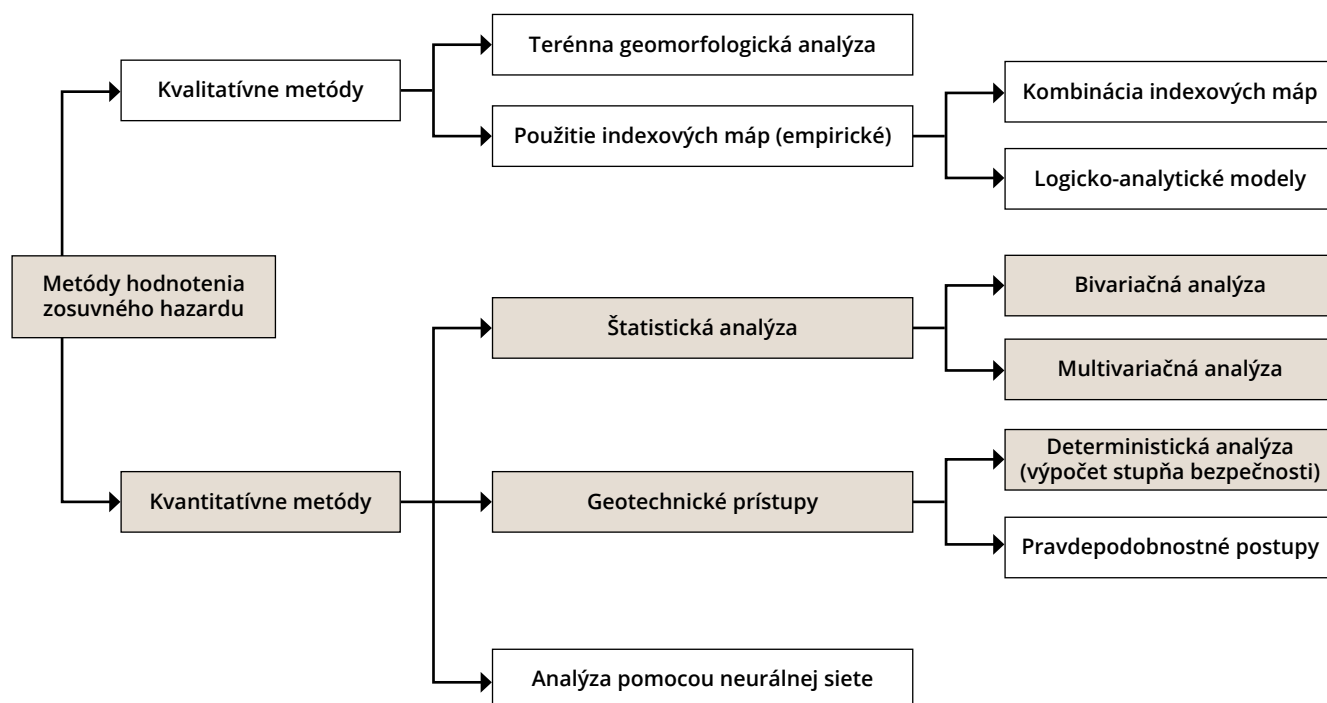
V prípade podmienečne vhodného použitia je nutné mapy z Atlasu zosuvov overiť štúdiom podrobnejších podkladov, pokiaľ existujú, predovšetkým však posúdiť územie skúseným inžinierskym geológom (terénna obhliadka). Platí by malo pravidlo, že žiaden mapový podklad by nemal byť nadradený konkrétnemu prístupu odborníka-geológa k hodnotenému územiu.

7. KVANTITATÍVNE METÓDY HODNOTENIA VZNIKU SVAHOVÝCH DEFORMÁCIÍ NA SLOVENSKU (NÁCHYLNOSŤ, HAZARD, RIZIKO)

V mnohých oblastiach sveta predstavujú svahové deformácie významnú environmentálnu hrozbu s nepriaznivým sociálno-ekonomickým dosahom a vzbudzujú oprávnený záujem mnohých odborníkov. Tento sa sústreďuje najmä na definovanie faktorov vzniku zosuvov a na ich základe na vytvorenie prognózy, ktorá by s vysokou mierou pravdepodobnosti predpovedala možný výskyt svahových porúch v budúcnosti. Výsledkom tohto záujmu je vznik a rozvoj mnohých

metód hodnotenia a prognózovania zosuvného hazardu. Hodnotenie geologických hazardov a rizík so zameraním na vznik svahových porúch môže byť zohľadnené buď kvalitatívne (empiricky), napr. hodnotením vplyvu faktora na stabilitu svahu na základe skúsenosti, alebo exaktne, využitím kvantitatívnych numerických metód.

Všeobecné rozdelenie metód hodnotenia zosuvného hazardu podáva schéma na obr. 7.1.



Obr. 7.1: Prehľad metód hodnotenia zosuvného hazardu (podľa Aleotti a Chowdhury, 1999)

Pri hodnotení možnosti potenciálneho vzniku nežiaducich geodynamických javov sa postupuje najprv v rovine kvalitatívnej, až následne nastupuje kvantifikácia rizika. Geologické hazardy ako podstatná zložka georizík súvisia s charakterom geologického prostredia a tektonického režimu, geomorfologickými, klimatickými a hydrogeologickými pomermi územia, ako aj sekundárnou krajinnou štruktúrou a antropogénno-technogénnymi zásahmi do geologického prostredia. Geologické riziká rôznym spôsobom súvisia s ďalšími rizikami, ako sú ekonomické, technické, organizačné, stavebné a pod.

V súčasnosti sa v rámci aktuálnych trendov zameriava pozornosť na tvorbu detailných máp zosuvného hazardu a rizika, kompatibilných s novými digitálnymi topografickými podkladmi (ZB GIS, ortofotomapy, LiDAR). Využívanie dostupnej výkonnej techniky (GIS, priestorové databázy), nevyhnutnej pri spracovaní často veľmi veľkého množstva údajov a pomerne náročných matematických výpočtov, umožňuje pri tvorbe máp široké využitie kvantitatívnych a numerických metód hodnotenia zosuvného hazardu a rizika. Medzi najpoužívanjšie exaktné prístupy k riešeniu danej problematiky patria deterministické prístupy a štatistické metódy.

7.1 Deterministická analýza

Deterministické metódy vychádzajú zo skúsenosti expertov hodnotiacich zosuvný hazard a riziko priamo v teréne (podobne ako empirické metódy) alebo z kombinácie indexových máp, pričom využívajú analytické nástroje v prostredí GIS. Sú založené na geotechnickom prístupe, najnovšie tiež na analýze pomocou neurálnych sietí (Jelínek, 2005).

Z kvantitatívnych metód patrí deterministická analýza medzi najexaktnejšie, pretože vstupné indexové mapy často vychádzajú zo zistených laboratórnych (prípadne tabuľkových) hodnôt a použité metódy hodnotenia stability svahov vychádzajú z exaktných stabilitných vzorcov, t. j. nie sú založené na štatistických odhadoch. Deterministické prístupy sa preto používajú skôr v menších územiach s relatívne geologicky a morfológicky homogénnymi podmienkami a s dostatkom geotechnických a numerických údajov, napr. pri hodnotení stability v lokálnych územných

celkoch a jednotlivých zosuvoch. Pri väčších územných celkoch nie je spomenutá metóda vhodná kvôli nedostatku detailných vstupných údajov najmä o fyzikálno-mechanických vlastnostiach zeminy, hĺbke hladiny podzemnej vody a pod. (van Westen, 1993).

Výsledkom deterministickej analýzy je zvyčajne výpočet stupňa bezpečnosti v rámci deterministickej alebo pravdepodobnostnej analýzy. Pri neurálnych sieťach ide o umelý systém, ktorý môže riešiť „inteligentné“ úlohy podobným spôsobom, ako by ich riešil ľudský mozog.

V minulosti sa využitím deterministickej analýzy na výpočet rôznych stabilitných scenárov na území známych aktívnych monitorovaných zosuvov v katastri Ľubietovej a Veľkej Čausy zaoberal najmä Jelínek (2005), Jelínek, Wagner (2007). Kralovičová a kol. (2014) riešili pomocou deterministickej analýzy stabilitu zosuvu v Chmiňanoch.

7.2 Štatistické metódy

Štatistické metódy sú založené na exaktnom porovnaní, následnom štatistickom spracovaní a zhodnotení vzťahov medzi relevantnými faktormi vplyvujúcimi na stabilitu svahov a reálnym výskytom svahových porúch. Vychádzajú z predpokladu, že zákonitosti distribúcie sledovaného javu sa v čase nemenia a svahové deformácie sa budú v budúcnosti vyskytovať v rovnakých podmienkach, ako vznikali v minulosti a súčasnosti. Na základe tohto faktu je možné vytvoriť prognózu a pomocou analytických nástrojov GIS ju premietnuť do priestorového modelu a mapového zobrazenia.

Štatistické prognózy výskytu zosuvov sú založené na hodnotení podobnosti súboru podmienok v postihnutých oblastiach, z toho vyplývajúceho postupu

prác od dôslednej inventarizácie zosuvov cez mapovanie faktorov prírodného prostredia (parametrov), ktoré súvisia s výskytom zosuvov, klasifikáciu súboru faktorov podľa stupňa náchyllosti územia na zosúvanie na základe štatistického vzťahu medzi jednotlivými faktormi a reálnym výskytom svahových porúch až po záverečnú syntézu a kompiláciu výslednej prognózne mapy.

Výsledné prognózne mapy rozdeľujú územie do stanoveného počtu rájónov náchyllosti na zosúvanie. Z týchto máp je možné odvodiť kritické miesta, na ktorých sa dá v budúcnosti, za predpokladu výskytu spúšťacích udalostí (triggerov) a faktorov, prednostne očakávať vznik svahových deformácií.

7.2.1 Prehľad a vývoj štatistických metód v hodnotení zosuvného hazardu

Medzi štatistickými metódami majú najvýznamnejšie miesto dve metódy, resp. skupiny metód: *bivariačná* a *multivariačná*. V prípade bivariačnej analýzy je každý vstupný parameter porovnaný s mapou distribúcie zosuvov osobitne. Výhodou bivariačnej analýzy je možnosť zohľadnenia váhy každého vstupného parametra, vypočítanej na základe intenzity výskytu zosuvov (density) v jednotlivých triedach parametra. Váhy jednotlivých vstupných parametrov sa zohľadňujú pri záverečných kompiláciách výsledných máp. Multivariačná analýza v širšom slova zmysle uvažuje so vzájomnou kombináciou viacerých (resp. všetkých) vstupných parametrov simultánne s mapou distribúcie zosuvov. Kombináciou tried v rámci jednotlivých vstupných parametrických máp vzniknú

tzv. *kvázi-homogénne celky* (unique condition units – UCU). V tomto prípade nemá význam akceptovať váhy jednotlivých parametrov, pretože dôležitosť každého parametra je daná jeho početnosťou a opakovaním triedy parametra vo viacerých kombináciách v rámci UCU. Multivariačná analýza navyše čiastočne zohľadňuje tiež vzájomné interakcie a vplyvy medzi jednotlivými vstupnými faktormi.

Prvé príklady použitia štatistického prístupu v hodnotení zosuvného hazardu publikovali Carrara (1983, 1988) a Carrara a kol. (1990, 1991). Na uvedené práce nadviazali neskôr viacerí autori, ktorí problematiku kvantitatívneho hodnotenia zosuvného hazardu s využitím GIS ďalej zdokonaľovali a aplikovali na mnohých územiach (Atkinson, Massari,

1998; Guzzetti a kol., 1999; Gupta, Joshi, 1990; Jäger, Wiecek, 1994, atď.). Zhrnutie metodiky aplikácie GIS v analýze zosuvného hazardu je v prácach Carraru a kol. (1995) a van Westena (1993a,b). Van Westen (1993a) podrobne rozoberá základné princípy rôznych prístupov v bivariačnej (resp. „univariačnej“), ako aj v multivariačnej analýze. Z praktického hľadiska sú pozoruhodné najmä práce Irigaray, Chacón (1996); Clerici (2002); Süzen, Doyuran (2004); Joshi a kol. (1997). Komplexné zhrnutie problematiky hodnotenia zosuvného hazardu, stručnú charakteristiku a schému rozdelenia najpoužívanejších metód (vrátane štatistických) podávajú prehľadnou formou Aleotti, Chowdhury (1999).

Na Slovensku, s výnimkou pionierskych prác (Vlčko a kol., 1980), sa aplikácii exaktných kvantitatívnych metód hodnotenia zosuvného hazardu až do začiatku 21. storočia nikto systematicky nevenoval. V období 2001 až po súčasnosť vzniklo viacero postupových prác a štúdií, ako aj vedeckých publikácií zaoberajúcich sa praktickou aplikáciou štatistických metód v hodnotení zosuvného hazardu. V počiatočnom období sa práce zameriavali skôr na teoretické

princípy štatistických metód a ich praktickú aplikáciu vo vybraných územiach prevažne v mierke 1 : 50 000, vzhľadom na dostupné podkladové mapy a potrebné údaje (Pauditš, Bednarik, 2002; Bednarik a kol., 2005; Jurko a kol., 2005; Pauditš a kol., 2005). Neskôr sa prípadové štúdie a praktické aplikácie zameriavali na tvorbu máp zosuvného hazardu v menších územiach a v detailnejšej mierke (Bednarik, 2007, 2011; Magulová, 2009; Petrydesová, 2012; Pauditš a kol., 2014). V súčasnosti sa pozornosť zameriava na špecifické teoretické a praktické aspekty daných metód (Bednarik & Pauditš, 2010; Bednarik a kol., 2014 atď.), ako aj komplexné hodnotenia väčších územných celkov vrátane cezhraničných oblastí (Bednarik, Liščák, 2010; Holec a kol., 2013; Pauditš – Petro – Pačajová, in Pramuka a kol., 2017). Pozornosť si zasluhuje najmä pilotný projekt s názvom Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších územiach flyšového pásma (Grman a kol., 2011), v rámci ktorého bola vytvorená mapa zosuvného hazardu na území severozápadného a severovýchodného Slovenska s rozlohou 4 042,23 km², zobrazeného na 285 mapových listoch v mierke 1 : 10 000.

7.2.2 Terminológia a princípy rastrového údajového modelu a mapovej algebry

Geoinformačné systémy (GIS) sú vo všeobecnosti chápané ako špeciálny prípad počítačových informačných systémov, v ktorých sa väčšina údajov viaže na priestorovo lokalizované objekty, javy alebo udalosti (podľa definície Clark, 1999). Jedným zo základných okruhov využitia GIS je modelovanie a analýza dynamických priestorových procesov prostriedkami numerických a štatistických metód (Tuček, 1998; Hofierka, 2003; Hofierka a kol., 2014). V prípade rastrového dátového modelu GIS je najmenšou jednotkou, ku ktorej sa viažu atribúty, bunka rastra (grid cell). Množina buniek rastra predstavuje pravidelnú numerickú maticu v dvojrozmernom priestore (grid). Každá bunka rastra je georeferencovaná, t. j. definovaná párom súradníc v reálnom dvojrozmernom geografickom priestore a najmenej jedným numerickým atribútom – kvantifikátorom, ktorý tvorí základný vstup do matematických operácií.

Vzťah medzi numerickými hodnotami buniek v gride môže byť buď spojitý alebo diskretný. V prípade spojitých hodnôt existujú medzi susediacimi bunkami rastra plynulé prechody (napr. plynulo sa meniace hodnoty nadmorských výšok). Naopak, diskretné dátové pole má hranice medzi odlišne klasifikovanými

areálmi ostré, bez plynulých prechodov (nie je možné znázorniť formou izolínií). Zmenu topológie gridu zo spojitého na diskretný umožňuje proces reklasifikácie do stanovených intervalov a, naopak, proces interpolácie umožňuje dopočítať prázdny priestor medzi diskretnými vstupnými bodmi (Hofierka a kol., 2014).

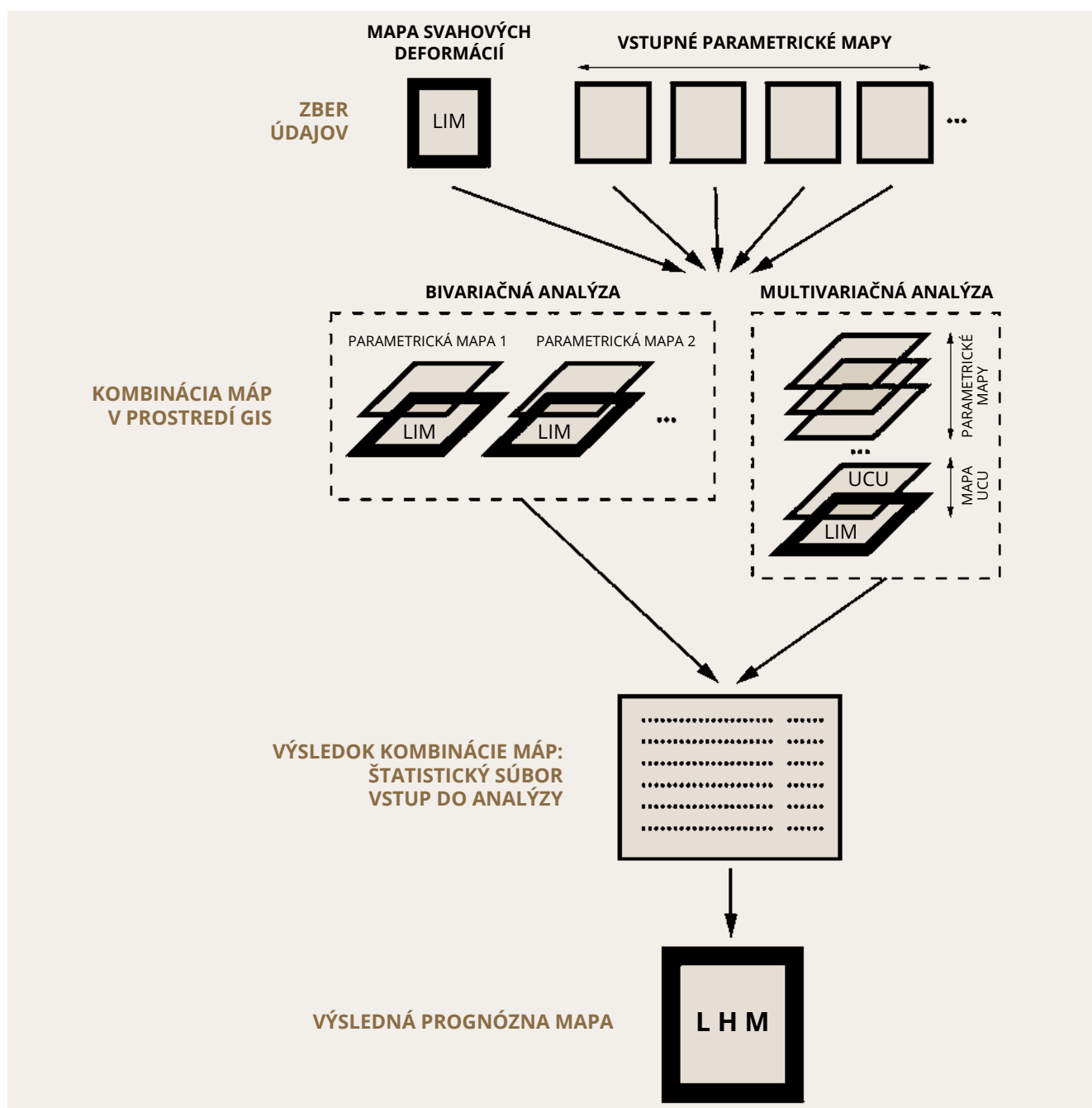
V prípade vstupu do štatistických analýz je vhodné použiť reklasifikované dátové polia (napr. sklon svahov rozdelený do 6 intervalov, orientáciu svahov do 4 kvadrantov a pod.).

Najčastejšie využívaným analytickým nástrojom na spracovanie priestorových údajov v rastrovom modeli je tzv. mapová algebra (Shapiro, Westervelt, 1992; Hofierka a kol., 2014). Poskytuje možnosti manipulácie s číselnými hodnotami v bunkách rastra ako s členmi aritmetických výrazov a argumentov funkcií, pri ktorých používa tak bežné základné matematické operácie (sčítanie, násobenie atď.), ako aj komplikovanejšie programátorské procedúry a postupy (podmienkové algoritmy, cykly a pod.). Naprogramované postupy a výpočty v rámci mapovej algebry je zvyčajne možné ukladať, upravovať a následne znova spúšťať pomocou krátkych programov (skriptov).

7.2.3 Metodický postup

Metodický postup tvorby máp zosuvného hazardu štatistickými metódami v podmienkach Slovenskej

republiky bol viackrát publikovaný od roku 2002 a prakticky overený viacerými prípadovými štúdiami.



Obr. 7.2: Schematický náčrt metodického postupu zostavenia prognózne mapy zosuvného hazardu pomocou štatistickej analýzy (Pauditš, 2005)

Metodika štatistického hodnotenia a prognózovania zosuvného hazardu je založená na vhodnom výbere súboru faktorov stability svahov a ich hodnotení na základe porovnania s reálnym výskytom svahových deformácií v sledovanom území. Vychádzajúc z uvedeného, potenciálny budúci výskyt zosuvov sa predpokladá v rovnakých podmienkach ako v minulosti, resp. v súčasnosti. Súbor faktorov, ktorý sa v prostredí GIS štatisticky zhodnotí na základe porovnania s priestorovou distribúciou registrovaných svahových deformácií, sa následne metódou extrapolácie aplikuje do rovnakých terénnych jednotiek v celom hodnotenom území, kde sa tiež predpokladá

v analogicky priaznivých podmienkach v budúcnosti možný výskyt svahových deformácií. Tým vznikne nová prognóza mapy, rozdeľujúca záujmové územie do určitého počtu zón s rôznym stupňom náchylnosti na zosúvanie. Je zrejmé, že vyčlenené zóny na základe štatistického prístupu je možné aplikovať iba v danom území, v ktorom sa štatistické hodnotenie vykonalo, a teda extrapolácia nemá všeobecnú platnosť, t. j. nemožno terénne jednotky rovnako klasifikovať aj v iných územiach, kde sa podmienky náchylnosti územia na zosúvanie môžu mierne odlišovať.

Všetky uvedené metódy predpokladajú v princípe zhodný všeobecný metodický postup a líšia sa iba

v samotnej aplikácii štatistických metód. Postupnosť prác je možné zhrnúť do nasledujúcich bodov (obr. 7.2):

Mapovanie a registrácia zosuvov – je nevyhnutným predpokladom štatistickej analýzy a aplikácie vyššie uvedených postupov. Zosuvy môžu byť inventarizované z rôznych druhov archívnych údajov, máp, diaľkového prieskumu Zeme a pod. Na tvorbu mapy aplikáciou štatistických metód je však nevyhnutná ich terénna verifikácia a doplnkové mapovanie so zameraním na presný priebeh a polohu jednotlivých prvkov mapovaných entít. Úrad geodézie, kartografie a katastra SR (ÚGKK SR) zabezpečuje od roku 2017 dodávateľským spôsobom nový digitálny model reliéfu DMR 5.0 celého územia Slovenskej republiky, vytvorený z údajov leteckého laserového skenovania. Toto dielo predstavuje v súčasnosti najpresnejší dostupný podklad na celoštátnej úrovni zakreslením svahových deformácií (a iných geologických objektov) so submetrovoú, ba až decimetrovoú presnosťou.

Mapovanie vstupných parametrov. Rôzne prírodné a antropogénne faktory, ktoré majú vplyv na stabilitu

svahov, predstavujú v štatistickej analýze zosuvného hazardu dôležité vstupné premenné. Výber vstupných faktorov je osobitný pre každé sledované územie a závisí vo veľkej miere od individuálneho posúdenia podmienok a odbornej skúsenosti riešiteľa.

Implementácia do GIS. Každý vstupný faktor musí byť pred vstupom do GIS kvantifikovaný a priestorovo vyjadrený formou príslušnej indexovej (parametrickej) mapy. Každá parametrická mapa predstavuje určitý systém, ktorého zložky tvoria jednotlivé kvantifikované triedy (indexy) parametra.

Štatistická analýza. Samotná štatistická analýza pozostáva zo vzájomného porovnania indexových máp s mapou zosuvov v prostredí GIS na základe exaktných pravidiel a aplikovaných štatistických metód.

Zostavenie prognózne mapy. Kompilácia finálnej prognózne mapy predstavuje záverečný krok celého metodického postupu. Spôsob rozdelenia a odvodenie konečného počtu rájónov v mape predstavuje tvorivú a z hľadiska konečného výsledku veľmi zodpovednú etapu, ktorá taktiež vo veľkej miere závisí od individuálneho prístupu riešiteľa, najmä jeho erudície a použitého postupu.

7.2.4 Technická príprava parametrických máp

Ako už bolo spomenuté vyššie, technológia rastrovo orientovaných GIS a mapovej algebry predpokladá pomerne precíznu prípravu vstupných parametrických (indexových) máp, často spojenú s konverziou prvotne vektorových údajových vrstiev do rastrovej formy, v ktorej prebiehajú všetky prezentované štatistické a matematické operácie (obr. 7.3).

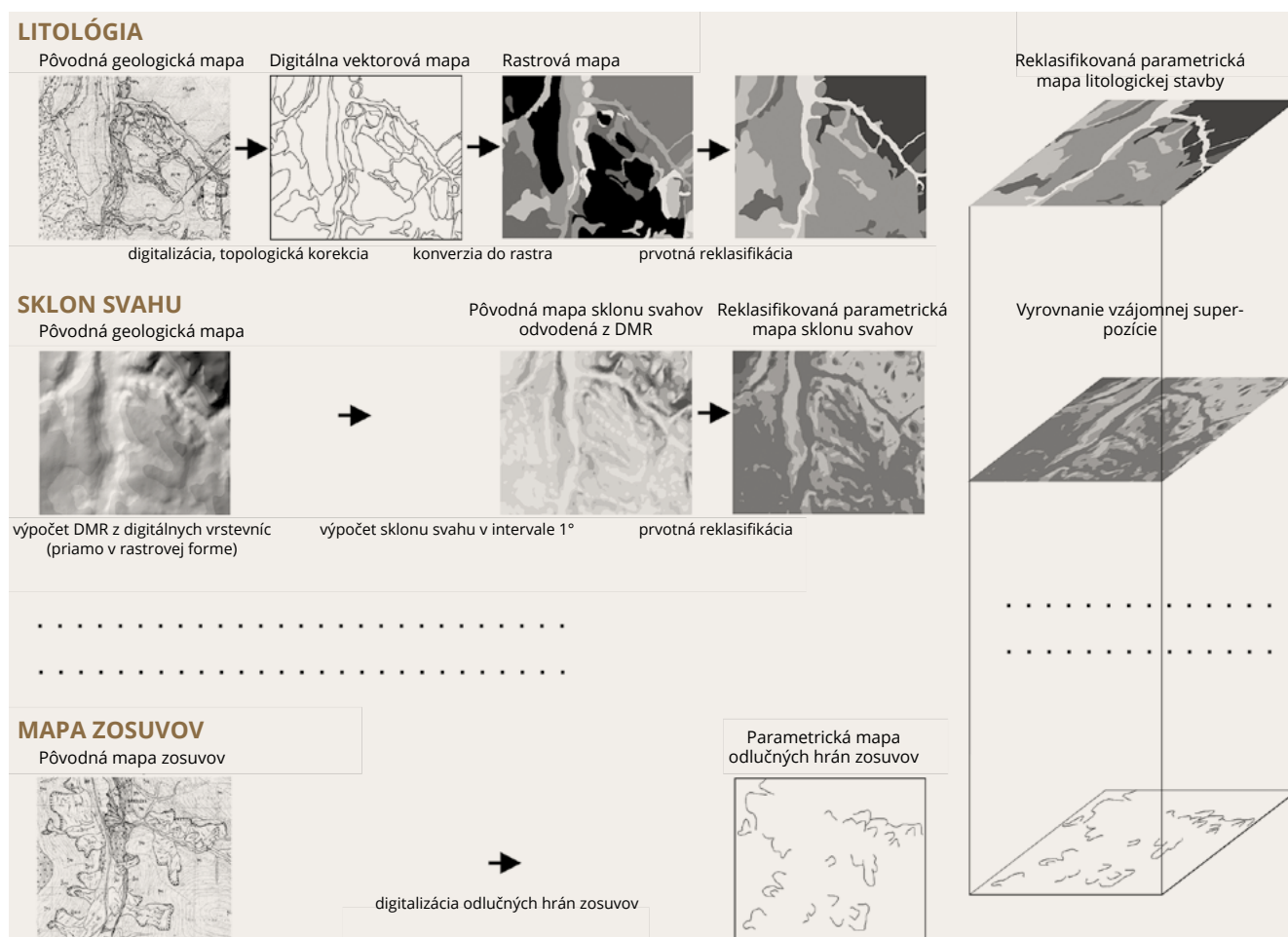
Každá parametrická mapa reprezentovaná údajovou vrstvou v prostredí GIS predstavuje priestorovú distribúciu parametra, ktorý vstupuje do štatistickej analýzy. Aby bolo možné s takouto mapou v prostredí GIS manipulovať, musí spĺňať určité nevyhnutné technické požiadavky. Základnou požiadavkou, kladenou na parametrickú mapu, je jej polohová presnosť. Parametrické mapy bývajú často odvodené z viacerých zdrojov rôznych tematických a špeciálnych máp na rôznych kartografických podkladoch, digitálnych vektorových máp, údajov DPZ (LiDAR-u), ortofotomáp, družicových snímok a pod. Polohová presnosť takýchto zdrojov býva rôzna a vyplýva najmä z mierky, spôsobu a presnosti snímania, a pod.

Po konverzii do rastrovej formy je potrebné brať ohľad tiež na zosúladenie všetkých vstupných parametrických máp z hľadiska geometrie gridu. To znamená, že každá parametrická mapa musí mať v danom území rovnaký počet buniek s rovnakou veľkosťou, inak by mohli byť výsledky štatistických analýz vysoko skreslené a nehodnoverné. Veľkosť bunky je zvolená na základe požadovanej presnosti a mierky, prípadne tiež podľa požadovanej kvality

tlačeného výstupu. Všeobecne platí, že pri údajoch odvodených z máp stredných a veľkých mierok je dostatočná veľkosť bunky 10 × 10 m; detailnejší grid, s menšími bunkami a vysokými nárokmi na výkon výpočtovej techniky, obyčajne nemá pre tieto mierky vyššiu výpovednú hodnotu. V prípade kvality tlače však platí pravidlo, že čím je veľkosť bunky menšia, t. j. rozlíšenie rastra vyššie, tým je výstup technicky kvalitnejší.

Parametrické mapy, ktoré boli pôvodne získané a generované už v rastrovej forme: napr. DEM a z neho odvodené morfometrické parametre georeliéfu (sklon svahu a krivosť reliéfu) a pôvodne znázorňovali distribúciu vstupného faktora formou spojitých hodnôt, je potrebné transformovať do rastrových máp s diskretnými hodnotami, oddelenými vzájomnou „ostrou“ hranicou. Proces prevodu plynule spojitých hodnôt do oddelených intervalov sa nazýva prvotná reklasifikácia. Pravidlá reklasifikácie rôznych parametrických máp bývajú rôzne, väčšinou nie sú založené na exaktných postupoch, ale na skúsenostiach autorov a menia sa v závislosti od ich názoru a charakteru vstupného parametra v hodnotenej oblasti (obr. 7.4 a 7.5).

Zmyslom prvotnej reklasifikácie parametrických máp je dosiahnutie čo najmenšieho počtu kategórií (tried) v každej parametrickej mape, z dôvodu získania čo najmenšieho počtu výsledných kvázi-homogénnych celkov (UCU) pri vzájomnej kombinácii v prípade multivariačnej analýzy. Ak by boli pri vstupe



Obr. 7.3: Schematický náčrt metodického postupu prípravy parametrických máp (Paudiš, 2005)

použité neklasifikované mapy alebo mapy obsahujúce veľké množstvo pôvodných jednotiek (napr. v pôvodnej geologickej mape), počet výsledných UCU počas multivariačnej analýzy by narástol do obrovských – a v podstate nezmyselných – rozmerov. Výsledok by bol potom veľmi náročný na finálne

spracovanie. Naopak, pri zisťovaní váhy (korelačného, resp. informačného koeficienta) parametra v prípade bivariačnej analýzy je vhodnejšie pracovať s čo najväčším množstvom údajov v štatistickom súbore, t. j. s prvotne nereklasifikovanými parametrickými mapami.

7.2.5 Bivariačná analýza s využitím váh vstupných parametrov

Ako už bolo spomenuté, v prípade bivariačnej analýzy sa porovnáva každá parametrická mapa s mapou zosuvov osobitne. Ide teda o porovnanie vždy dvoch vstupných parametrov, z ktorých jeden (mapa zosuvov) predstavuje dichotomickú premennú, reprezentovanú v binárnej mape hodnotou 1 (TRUE), resp. 0 (FALSE). S hodnotou 1 v mape zosuvov sa porovnáva každá kategória v parametrickej mape, predstavujúca premennú triedu parametra. Výsledkom je tabuľka obsahujúca dvojkombinácie, kde jedno z čísiel znamená triedu v parametrickej mape a druhé číslo (0/1) prítomnosť alebo neprítomnosť zosuvu.

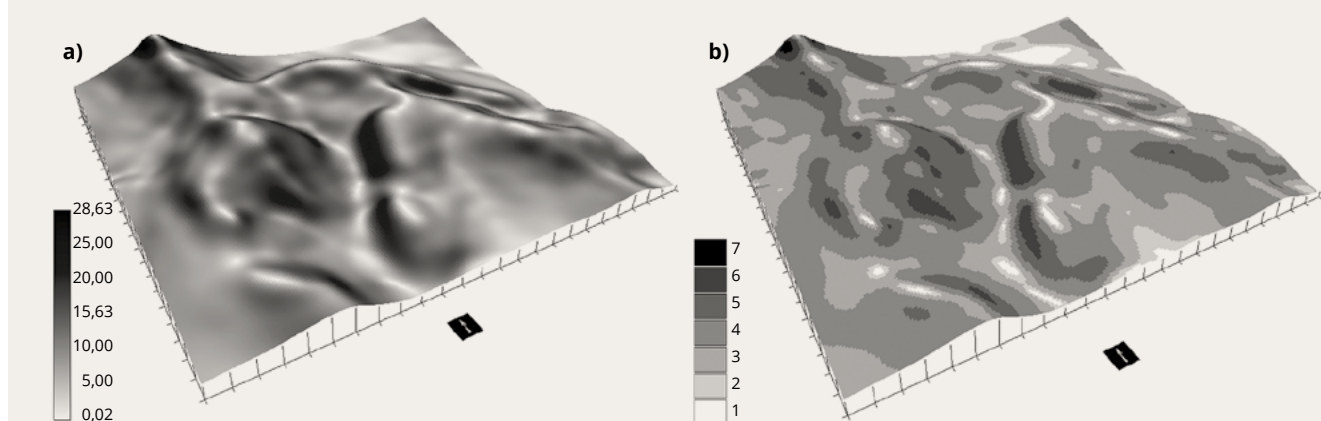
Keďže mapa zosuvov býva vyjadrená formou sekvencií buniek rastra reprezentujúcich odlučnú hranu zosuvu ako líniu, rozhodujúci je počet buniek zosuvov v každej triede parametra.

Výsledkom kombinácie je teda určenie celkového počtu buniek so zosuvmi a bez zosuvov v jednotlivých triedach parametrov.

Ďalším krokom je výpočet tzv. density – hustoty výskytu sledovaného javu v jednotlivých triedach parametrickej mapy. Density vyjadruje počet buniek na území so zosuvmi v každej triede parametra v pomere k celkovému počtu buniek v triede parametra. Tento faktor sa môže navyše zohľadniť v pomere k celkovému počtu buniek, ktorú daná trieda parametrickej mapy zaberá v rámci celého sledovaného územia, a tak stanoviť váhu triedy na základe celkovej intenzity výskytu.

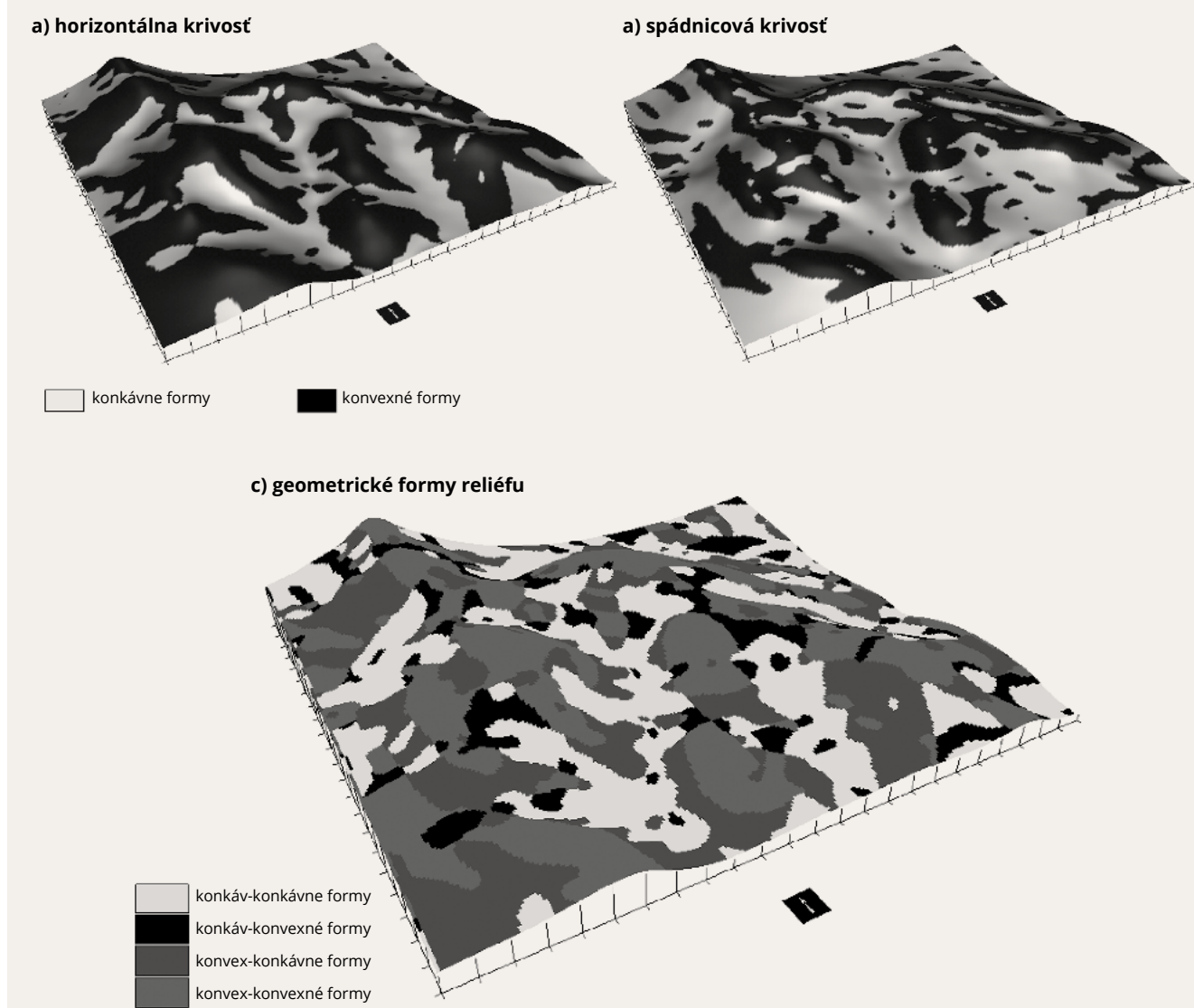
Výpočet density je v princípe jednoduchý, pokiaľ je mapa zosuvov vyjadrená dichotomicky formou binárneho gridu (T/F). Ak sú zosuvy v parametrickej mape reprezentované formou línií odlučných hrán (MSUE;

SKLON SVAHOV – REKLASIFIKÁCIA



Obr. 7.4: Reklasifikácia sklonitosti územia – spojité pole na diskkrétne hodnoty (Pauditš, 2005)

KRIVOSTI A GEOMETRICKÉ FORMY RELIÉFU



Obr. 7.5: Prezentácia krivosti a geometrických foriem reliéfu (Pauditš, 2005)

Clerici, 2002), údaj o počte buniek je možné prepočítať na jednotku dĺžky (napr. na základe pomeru dĺžky strany a uhlopriečky základnej bunky; Jurko, 2003) a intenzita býva vyjadrená formou celkovej dĺžky MSUE (v metroch) na km² plochy triedy parametra. V prípade reprezentácie zosuvov ako rastrových plošných entít sa počet buniek prepočítava na plochu (m²) a intenzita býva vyjadrená v percentách alebo v promile (Bednarik, Pauditš, 2010). Prepočty sú samozrejme zaťažené chybou vyplývajúcou z aproximácie na veľkosť bunky, všeobecne však veľkosť bunky presnosť výpočtu a hodnovernosť výsledku hodnoty denzity výrazne neovplyvňuje. Napr. pri veľkosti územia 5 × 5 km je rozdiel v presnosti pri veľkosti bunky 10 × 10 m a 2 × 2 m rádovo v desatinách percenta.

Takto získaná hodnota density v podstate vyjadruje je početnosť zosuvných udalostí v danej triede. Napr. pri porovnaní litologickej stavby s mapou zosuvov zistíme, že štatisticky najviac postihnutých území na jednotku plochy pripadá na flyšové sedimenty s prevahou ílovitých hornín a pod.

Z uvedeného je zrejmé, že veľký vplyv na výsledok budú mať nepresnosti, vyplývajúce z nedôslednej technickej prípravy parametrických máp, najmä rozdiely v polohovej presnosti a vzájomnej superpozícii. Výsledky z nezosúladených a polohovo nepresných máp môžu byť veľmi skreslené a zavádzajúce.

Na základe vypočítanej hustoty výskytu zosuvov je možné každú parametrickú mapu znova reklasifikovať. Pri tzv. druhotnej reklasifikácii sa existujúcim triedam v parametrickej mape priradia nové numerické hodnoty, ktoré reprezentujú štatisticky určenú náchylnosť na zosúvanie osobitne pre každú triedu. Vznikne tak nová reklasifikovaná parametrická mapa, v ktorej najvyššiu číselnú hodnotu predstavuje trieda najviac náchylná na zosúvanie a, naopak, trieda s najnižšou numerickou hodnotou je náchylná najmenej.

Výsledkom bivariačnej analýzy je finálna mapa zosuvného hazardu, ktorá vznikne váženým súčtom všetkých druhotne preklasifikovaných parametrických máp. Pred samotným záverečným súčtom je teda nevyhnutné určiť váhu každého zo vstupných parametrov, resp. každej triedy parametra.

7.2.6 Stanovenie váhy vstupných premenných

Váha každej vstupnej premennej uvádza jej informačnú hodnotu v analýze zosuvného hazardu. Čím vyššia je váha premennej, tým je relevantnejšie jej použitie v hodnotení zosuvného hazardu. Váhu každej vstupnej premennej určuje miera korelácie hodnôt v parametrickej mape s údajom konštantnej hodnoty 1 (TRUE) v indexovej mape svahových deformácií, t. j. hodnoty znamenajúcej výskyt zosuvov. Ak je miera korelácie hodnôt v parametrickej mape s výskytom

Ďalším nevyhnutným krokom pred záverečným sčítaním je vyrovnanie počtu kategórií v každej vstupnej parametrickej mape, podľa parametrickej mapy s najväčším počtom tried (parameter z/m_i v rovnici 1). Ak by toto vyrovnanie neprebehlo pred záverečným súčtom, parametrické mapy s menším počtom tried by vstupovali do sčítania so skreslenými hodnotami, resp. podhodnotené, čím by sa čiastočne znehodnotila vypočítaná váha každého z parametrov.

Výsledný vzťah pre záverečné sčítanie v bivariačnej analýze v prípade výpočtu váhy parametra ako celku je nasledujúci:

$$y = \sum_{i=1}^n \frac{z}{m_i} * C * W_i \quad (1)$$

kde:

- y – hodnota vo finálnej mape,
- i – číslo príslušnej parametrickej mapy (1, 2, n),
- z – počet tried v parametrickej mape s najvyšším počtom kategórií,
- m_i – počet tried v príslušnej parametrickej mape,
- C – hodnota triedy v druhotne reklasifikovanej parametrickej mape,
- W_i – váha príslušného vstupného parametra.

Výsledkom takéhoto sčítania je spojitý interval hodnôt ohraničený vyrovnaným súčtom najnižších a najvyšších hodnôt v každej z parametrických máp v celom záujmovom území. Uvedený interval hodnôt je potrebné na záver rozdeliť do zvoleného počtu tried zosuvného hazardu. Aktuálne platná smernica pre tvorbu máp náchylnosti územia na zosúvanie (Kováčik, 1996; smernica MŽP SR, 1999) rozoznáva tri stupne, resp. rajóny stability územia: rajón nestabilných území, rajón potenciálne nestabilných území a rajón stabilných území. Intervaly je vhodné zvoliť buď na základe rovnomerného rozdelenia výsledku na tri rovnaké časti, alebo použiť exaktnejšie postupy (Pauditš a kol., 2005; Pauditš, 2006). Na záverečné rozdelenie môže byť tiež použitá päťstupňová klasifikačná škála: náchylnosť nízka, mierna, stredná, vysoká a veľmi vysoká, ktorá rajonizáciu územia vystihuje detailnejšie (Bednarik, Liščák, 2010; Holec a kol., 2013; Petrýdesová, 2012).

zosuvov vysoká, jednoznačne možno konštatovať, že parameter má výrazný vplyv na vznik a distribúciu svahových porúch v študovanej oblasti.

Zo samotného princípu váženia vyplýva, že je možné hodnotu váhy vstupného parametra využiť iba v prípade bivariačnej analýzy, keď do záverečného súčtu druhotne reklasifikovaných parametrických máp vstupuje iba vážená hodnota. V prípade multivariačnej metódy nie je možné použiť váženie hodnôt

v uvedenom zmysle slova, pretože do porovnania s mapou zosuvov vstupujú všetky parametrické mapy súčasne. Váhu parametra je však možné určiť z výsledku multivariačnej metódy – matice kombinácií hodnôt zo všetkých vstupných parametrických máp – na základe analýzy početnosti a rozdelenia pravdepodobnosti niektorým zo známych štatistických postupov (Studentov, χ^2 test a pod.). Takto získanú váhu je možné použiť opäť iba v prípade bivariačnej analýzy.

Spôsoby výpočtu váh vstupných parametrov bývajú rôzne. Je možné určiť váhu parametra ako celku (Vlčko a kol., 1980) alebo váhu jednotlivých tried (kategórií) v rámci parametrickej mapy (van Westen, 1993; Donati, Turrini, 2002; Süzen, Doyuran, 2004). Každý z použitých spôsobov má svoje špecifiká a rôznu mieru využiteľnosti v konkrétnom území. Napr. na území, kde sledujeme závislosť výskytu svahových deformácií od určitého faktora, v ktorom chýba nejaká kategória (napr. severná orientácia svahu) majúca určitý vplyv na výskyt zosuvov, môžeme mylne priradiť takémuto parametru ako celku nízku váhu, keďže všetky zvyšné kategórie nevykazovali výraznú štatistickú koreláciu. Je preto potrebné vždy použiť taký spôsob váženia, ktorý zohľadňuje jednak špecifiká sledovaného územia, ale aj charakter hodnôt vo vstupných parametrických mapách. Odporúčané je vždy počítat váhu každého parametra osobitne pre špecifické sledované územie, resp. použiť na každom území subjektívny spôsob váženia.

V snahe dosiahnuť čo najpresnejší výsledok výpočtu váhy parametra je potrebné pracovať s čo najväčším počtom vstupných údajov. Preto je výhodné počítat váhu parametra ešte pred prvotnou klasifikáciou parametrov do tried. Napr. ak počítame váhu faktora sklonu svahu (ľubovoľnou metódou), je lepšie použiť pôvodné vstupné spojité pole hodnôt, a nie iba určitý menší počet kategórií po primárnej klasifikácii. Podobne je potrebné postupovať vo všetkých prípadoch, kde pôvodný grid existoval vo forme spojitého dátového poľa.

V modelovom území je použité stanovenie váhy parametra ako celku na základe hodnoty entropie a informačného koeficienta. Prakticky použiteľný, najmä v prostredí GIS, a exaktný spôsob určovania

relevantnosti a výpočtu váhy jednotlivých vstupných parametrov uvádzajú Vlčko a kol. (1980). Prezentovaný postup vychádza z princípu bivariačnej analýzy, kde sa určuje intenzita výskytu svahových deformácií (p_{ij}) v jednotlivých triedach vstupných parametrov. Spôsob určenia váhy parametra ako celku vychádza z určenia entropie (H_j) a maximálnej entropie (H_{jmax}) systému podľa vzťahov:

$$H_j = \sum_{i=1}^{S_j} [(p_{ij}) * \log_2(p_{ij})]$$

Kde:

H_j – entropia,

S_j – počet zložiek v systéme – tried v parametrickej mape ($j = 1, \dots, n$),

p_{ij} – pravdepodobnosť vzniku svahových pohybov v jednotlivých kategóriách – intenzita výskytu zosuvov v triede parametra ($i = 1, \dots, S_j$).

$$H_{jmax} = \log_2 * S_j$$

kde:

H_{jmax} – maximálna entropia,

S_j – počet tried v parametrickej mape ($j = 1, \dots, n$).

Informačný koeficient I_j je určený podľa vzťahu:

$$I_j = \frac{H_{jmax} - H_j}{H_{jmax}}$$

pre $j = 1, 2, \dots, n$.

Výsledok nadobúda hodnotu v intervale 0 – 1. Čím je bližší hodnote 1, tým viac vstupný parameter narušuje stabilitu daného systému. Hľadanú váhu parametra V_j tvorí súčin informačného koeficienta I_j a priemernej pravdepodobnosti p_j (predstavuje reálne hodnoty pravdepodobnosti pre jednotlivé triedy všetkých parametrov):

$$V_j = I_j * p_j$$

pre $j = 1, 2, \dots, n$.

Vypočítanú hodnotu váhy každého parametra je možné dosadiť do vzorca (1) ako hodnotu W_j na stanovenie výsledných kategórií náchylnosti územia na zosúvanie v bivariačnej analýze.

7.2.7 Podmienková analýza

Multivariačná analýza v širšom slova zmysle je založená na porovnaní všetkých vstupných parametrov súčasne ako nezávislých premenných s mapou zosuvov. Z mapy zosuvov (dichotomickej premennej) sa neberie do úvahy iba hodnota 1, ale aj hodnota 0 (FAL-SE), ktorá má rovnako dôležitú výpovednú hodnotu.

V prípade podmienkovej analýzy (*conditional analysis*; Carrara a kol., 1995; Chung a kol., 1995; Clerici,

2002) získame vzájomnou súčasnou kombináciou všetkých vstupných parametrov rozsiahlu tabuľku, obsahujúcu všetky kombinácie kategórií vo všetkých vstupných parametrických mapách, ktoré sú vo vzájomnej superpozícii. Kombinácie všetkých kategórií v parametrických mapách tvoria vo výslednej mape nové areálové prvky, predstavujúce kvázi-homogénne celky (UCU; Clerici, 2002). Napr. ak máme nad

sebou v mape sklonov svahov kategóriu 6 (10 – 15°), v litologickej mape kategóriu 4 (nečlenené deluviálne sedimenty) a v mape krajiny pokrývky triedu 3 (smrekový les), výsledný kvázi homogénny celok bude tvoriť kombinácia [6.4.3] a pod.

Pri súčasnom porovnaní s mapou zosuvov zistíme, že v tejto kombinácii sa nachádzajú odlučné hrany v celkovej dĺžke XY m (kombinácia [6.4.3.1]) a naopak, bez zosuvov sa táto kombinácia nachádza na celkovej ploche XY m² ([6.4.3.0]). Výsledná tabuľka teda obsahuje rovnaký počet záznamov (riadkov), ako je celkový počet vzájomných kombinácií všetkých kategórií vo všetkých vstupných parametrických mapách vrátane mapy zosuvov. Tento počet môže rádovo dosahovať niekoľko tisíc až desiatok tisíc.

Pred vstupom do multivariačnej analýzy nie je potrebná žiadna druhotná reklasifikácia ani žiadne váženie parametra. „Váha“ (sila) parametra (resp. triedy parametra) sa v tomto prípade určí „sama“ na základe opakujúcej sa určitej hodnoty v jednotlivých parametrických mapách. Početnosť opakujúcej sa hodnoty v matici kategórií je možné určiť exaktne pomocou známych štatistických metód a postupov (napr. χ^2 a i.). Pre samotnú multivariačnú podmienkovú analýzu (v zmysle Clerici, 2002) však takto určená „váha“ nemá žiadny význam.

Podobne ako v prípade bivariačnej analýzy sa výsledné kombinácie, kde sa nachádzajú zosuvy (hodnota 1 v mape zosuvov), opätovne zoradia na základe vypočítanej intenzity výskytu pomeru počtu buniek UCU so zosuvmi k celkovej ploche UCU. Výsledok po zoradení udáva v prvých riadkoch tabuľky také kombinácie kategórií zo vstupných parametrických máp, ktoré sú z hľadiska náchyllosti na zosúvanie najnebezpečnejšie. Naopak, v posledných riadkoch sa nachádzajú kombinácie, ktoré obsahujú veľmi malý počet buniek odlučných hrán zosuvov. Tieto môžu byť spôsobené tiež systematickými chybami a nedodržaním technického postupu počas prípravy parametrických máp. Hranica počtu buniek, ktoré sú ešte zapríčinené prípadnou chybou prípravy údajov, sa musí určiť empiricky, individuálne pre každý projekt, na základe posúdenia kvality a zdroja vstupných údajov.

V prípade použitia väčšieho počtu vstupných parametrov môžu nastať prípady, že niektoré UCU sú zosuvmi postihnuté vo veľmi vysokej miere (až 100 %),

aj keď ich plošná rozloha je zanedbateľná (často ide o 1 – 2 bunky z niekoľkých miliónov). Hodnota intenzity výskytu zosuvov v takýchto UCU je veľmi vysoká a posúva UCU na najvyššie miesta v poradí štatistického hodnotenia náchyllosti. Takýmto chybným prípadom sa nedá vyhnúť, je však možné pri hodnotení zanedbať také UCU, pri ktorých celkový počet buniek rastra je napr. menší ako 50.

Postup záverečnej kategorizácie územia do stanoveného počtu zón môže vychádzať z nasledovných princípov (Jurko, 2003):

- výpočet priemernej hodnoty intenzity výskytu zosuvov (M_d – mean density) v sledovanom území v rámci tých UCU, ktoré sú postihnuté zosuvmi (hodnota MSUE 1 v mape zosuvov) na základe pomeru celkového počtu buniek v danom území a sumárneho počtu buniek odlučných hrán. Priemerná intenzita výskytu zosuvov v rámci územia pokrytého „postihnutými“ UCU predstavuje strednú hodnotu stredného intervalu vypočítanú v ‰:

$$M_d = \frac{N_{pix} MSUE}{N_{pix total}} * 1000$$

- hľadaný rozsah intervalu intenzít výskytu zosuvov v každej kombinácii (C_i – class interval) je možné určiť na základe vzťahu:

$$C_i = \frac{M_d * 2}{N_{intervalov}}$$

- celkový počet kombinácií na územiach postihnutých svahovými poruchami sa následne rozdelí do stanoveného počtu zón na základe vypočítaného rozsahu intervalu ($0 - C_i$); ($C_i + 1 - (C_i * 2)$); ($C_i * 2 + 1 - (C_i * 3)$); ... atď.

Pri záverečnom rozdelení všetkých existujúcich kombinácií (UCU) do konečných zón zosuvného hazardu je možné využiť program v prostredí mapovej algebry (*shell script*; Clerici, 2002; Bednarik a kol., 2005), alebo tiež prostredie relačných databáz s možnosťami využitia jazyka SQL. V prípade využitia jazyka SQL v prostredí relačnej databázy sa pracuje s rozsiahlou tabuľkou, ktorá obsahuje súradnice buniek rastra, hodnoty kombinácií a nové priradené kategórie náchyllosti na zosúvanie.

7.3 Modelové územie Hlohovec – Sereď

7.3.1 Vstupné parametre

V modelovom území Hlohovec – Sereď je hodnotených spolu 5 vstupných parametrov: litológia, sklon svahu, krivosť reliéfu, vzdialenosť územia od vodných tokov a krajinná pokrývka, resp. súčasná krajinná

štruktúra. Každý faktor vstupuje do štatistickej analýzy formou rastrovej parametrickej mapy, ktorej technická príprava predpokladá precízny prístup. Polohová presnosť zdrojových máp je prispôbená

záväznému topografickému podkladu v Slovenskej republike – ZBGIS (Základná báza GIS topografických údajov), použiteľnému pre mierky 1 : 10 000 a väčšie (až do mierok katastrálnych máp: 1 : 2 280).

Litológia. Faktor geologickej stavby územia premietnutý do indexovej mapy litologických celkov považujeme z hľadiska metodiky za jeden z najdôležitejších. Okrem samotného charakteru litologického zloženia hornín je pri hodnotení náchylnosti územia na zosúvanie potrebné zohľadniť tiež štruktúrne charakteristiky horninového prostredia ako celku. Priestorové rozloženie litologických typov na území významnou mierou kontroluje vznik a výskyt svahových deformácií v záujmovom území.

Mapa litologických jednotiek v modelovom území bola primárne odvodená z digitálnej geologickej mapy v mierke 1 : 50 000 (Káčer a kol., 2005), ktorá bola následne upravená a prispôbená topografickému podkladu ZBGIS v mierke 1 : 10 000, najmä s ohľadom na priebeh vodných tokov v aluviálnych nivách a v doline Váhu. Pôvodných 20 litologických jednotiek bolo prvotne reklasifikovaných do 9 tried na základe podobnosti inžinierskogeologických vlastností (obr. 7.6, tab. 7.1). Najväčšie priestorové rozšírenie v sledovanom území zaberajú eolické sedimenty reprezentované sprašami a sprašovými hlinami (trieda 7), ktoré sa rozprestierajú na viac ako 46 % rozlohy územia.

Georeliéf. Morfometrické parametre georeliéfu (sklon svahu a normálová krivosť) prezentujú parametre odvodené z digitálneho modelu reliéfu (DMR) vytvorené v prostredí programu ArcGIS Spatial Analyst pomocou jeho implementovaných interpolačných funkcií a nástrojov (TOPO To Raster/TOPO GRID), ktoré generujú hydrologicky korektný DMR povrch z bodových, líniových a polygónových vstupných dát. Ako zdrojové dáta na tvorbu DMR boli použité vrstevnice zo základných máp v mierke 1 : 10 000, georeferencovaných v súradnicovom systéme S-JTSK. Výsledný raster reprezentoval maticu bodov nadmorských výšok v hodnotách s pohyblivou desatinnou čiarkou a bol reklasifikovaný do 5 diskretných intervalov – hypsografických stupňov (obr. 7.6). Rozdiel v minimálnej a maximálnej nadmorskej výške je relatívne malý (iba 180 m). Viac ako 45 % modelového územia spadá do druhej triedy (140 – 180 m n. m.).

Sklon svahu patrí medzi najdôležitejšie geomorfologické faktory, ktoré výrazne ovplyvňujú stabilitu svahu. Každý svah má svoju kritickú hodnotu veľkosti sklonu, po prekročení ktorej už nie je stabilný a dochádza k zosúvaniu. V digitálnej forme predstavuje grid sklonu svahov maticu hodnôt veľkostí gradientov poľa nadmorských výšok v stupňoch. V predkladanej štúdii boli tieto hodnoty reklasifikované do 9 tried (obr. 7.6) v zmysle metodiky LANDEP (Miklós,

Izakovičová, 1997). Z tabuľky vyplýva, že v záujmovom území vysoko prevládajú mierne až veľmi mierne sklony svahov (pod 2° stupne), ktoré tvoria viac ako 33 % územia. Túto oblasť, tvorenú prevažne aluviálnymi nivnými naplaveninami Váhu, považujeme z hľadiska zosuvného hazardu za stabilnú, avšak často býva postihnutá akumuláčnými zónami zosuvov. Oblasť, ktoré sú najviac postihnuté svahovými deformáciami, zaberajú viac ako 53 % územia (triedy 5 a 6). Svahy so sklonom väčším ako 17° (triedy 7, 8 a 9) zaberajú veľmi malú plochu, iba 1,12 % záujmového územia.

Ďalším geomorfologickým znakom, odvodeným z digitálneho modelu georeliéfu, je *krivosť reliéfu*. Parameter zakrivenia reliéfu podstatne ovplyvňuje dynamiku toku povrchovej vody na reliéfe (rýchlosť toku, konvergencia a divergencia) a často sa používa pri hodnotení erózie pôdy povrchovým tokom vody (Hofierka, 2003; Hofierka a kol., 2014). V prostredí GIS je možné vypočítať niekoľko typov krivosti: normálovú, tangenciálnu, strednú atď. Najpoužívanejším typom krivosti, ktorý bol použitý tiež v predkladanej štúdii, je kombinácia typu normálovej a tangenciálnej krivosti (*plan curvature*). Kým normálová krivosť ovplyvňuje dynamiku toku (zrýchľovanie a spomaľovanie), ktorá významne vplýva na erózne a akumulčné procesy, tangenciálna krivosť (v smere dotýčnice k vrstevnici) ovplyvňuje konvergenciu (zbiehavosť) a divergenciu toku. Zohľadnenie oboch druhov krivosti dohromady umožňuje presnejšie porozumieť toku vody po povrchu georeliéfu. Výsledná rastrová mapa krivosti reliéfu (Obr. 7.6) bola preklasifikovaná do troch tried v zmysle prác Pauditsa (2005, 2006) a Bednarika (2007): konvexné (kladné hodnoty), konkávne (záporné hodnoty) a lineárne (hodnoty blízko 0 – inflexné body). Počas procesu reklasifikácie boli použité

Tab. 7.1: Zoznam reklasifikovaných litologických jednotiek s pôvodným číslom v zdrojovej litologickej mape

Trieda	Opis
1	antropogénne, organické sedimenty (3, 38)
2	holocénne fluvialne sedimenty (1, 24, 25)
3	holocénne proluviálne sedimenty (26)
4	pleistocénne terasy (4, 5, 11, 28)
5	svahové uloženiny (18, 20, 40)
6	splachové a proluviálne sedimenty (14, 124)
7	eolické sedimenty – spraše a sprašové hliny (16, 681)
8	neogénne sedimenty – prevažne štrkovité (22, 1 721)
9	neogénne sedimenty – prevažne ílovité (23)

nasledujúce intervaly: menej ako $-0,00025$ (konkávne formy), od $-0,00025$ do $0,00025$ (lineárne formy) a hodnoty viac ako $0,00025$ (konvexné formy). Konkávne a konvexné reliéfne formy boli v roku 2006 v modelovom území pomerne rovnomerne rozložené, s miernou prevahou konvexných.

Vzdialenosť od vodných tokov. Laterálna erózia vodných tokov, podmývajúcich svahy na ich erózných brehoch, môže ovplyvniť stabilitu svahov v bezprostrednej blízkosti tokov. Spôsobuje najmä denudáciu päty svahu a zároveň nasýtenie horninového prostredia vodou, čím sa výrazne znižuje veľkosť pasívnych síl pôsobiacich proti zosúvaniu. Vzďialenosť od tokov možno v GIS prostredí vypočítať pomocou rôznych vzdialenostných analýz. Najjednoduchším spôsobom je určiť 2D euklidovskú vzdialenosť pomocou funkcie priamočiarej vzdialenosti (*straight-line distance*). Rastrový výstup vyjadruje nameranú euklidovskú vzdialenosť od každej bunky k najbližšiemu toku. Vzdialenosti sa merajú v projekčných jednotkách rastra (v prípade S-JTSK v metroch) a sú vypočítané vzhľadom na súradnice geometrických stredov buniek. Ako podklad na zostavenie parametrickej mapy bola použitá podrobná vektorová mapa vodných tokov v mierke 1 : 10 000. Konečná rastrová mapa bola reklasifikovaná do 8 tried (obr. 7.6). Najvyššie percento zaujíma oblasť vzdialená od tokov v rozmedzí 500 až 1 000 m ($27,5 \text{ km}^2$). Do vzdialenosti 250 m od tokov je takmer 25 % plochy územia, z čoho iba 3 % sú do vzdialenosti 50 m.

Krajinná pokrývka (súčasná krajinná štruktúra). Parameter vyjadruje stav súčasnej krajiny pokrývky a aktuálneho využitia územia vrátane charakteru *vegetačného porastu*. Vegetačná pokrývka vplýva na stabilitu svahov najmä zadržiavaním zrážok (retenciou), rozdielnou schopnosťou výparu (evapotranspirácie) a tiež rozložením a hĺbkovým dosahom svojho koreňového systému. V nemalej miere vplýva stav vegetačného porastu aj na odolnosť územia voči vodnej erózii pôdy, ktorá tiež

často ovplyvňuje stabilitu svahu. Problematika vegetácie a stability svahu je podrobne zhrnutá v práci Greenwaya (1987).

Mapa *súčasnej krajiny pokrývky* bola zostavená na základe topografického podkladu v mierke 1 : 10 000 (GKÚ, Bratislava). Pôvodná vektorová mapa pozostávala z polygónov reprezentujúcich prvky krajiny štruktúry a bola konvertovaná do rastrovej formy s veľkosťou bunky $5 \times 5 \text{ m}$. Priestorová distribúcia jednotiek krajiny pokrývky je znázornená v mape na obr. 7.6. Záujmové územie medzi Hlohovcom a Sereďou je prevažne využívané ako poľnohospodárska oblasť, preto je 77,5 % územia pokryté ornou pôdou. Svahové deformácie tu postihujú tiež osídlené územia a infraštruktúru, pokrývajúce 8,19 % celkovej rozlohy posudzovaného územia.

Mapa zosuvov (obr. 7.7) predstavuje v analýze zosuvného hazardu dôležitú vstupnú premennú, s ktorou sa porovnávajú všetky parametrické mapy. V rastrovej mape je reprezentovaná ako dichotomická premenná formou binárneho gridu (0/1).

V predkladanej štúdii bola zvolená interpretácia zosuvov formou línií reprezentujúcich predĺžené hlavné odlučné hrany (MSUE, obr. 7.8; Clerici, 2002; Bednarik, Paudiš, 2010). Tieto interpretujú náchylnú oblasť lepšie ako celé plochy telies zosuvov vrátane akumuláčnej časti. Ak by sa totiž akumuláčnej časti, ktoré neraz zasahujú aj do stabilných prostredí (napr. aluviálnych nív) zahrnuli do analýzy, výsledky by boli výrazne skreslené a nedôveryhodné (Bednarik, Paudiš, 2010). Celkovo je v záujmovom území postihnutých svahovými deformáciami cca $5,98 \text{ km}^2$ (597,98 ha) z celkovej plochy $89,4 \text{ km}^2$, čo predstavuje 6,68 % plochy územia. Predĺžené hlavné odlučné hrany postihujú oveľa menšiu časť územia, a to iba $0,29 \text{ km}^2$ (0,32 % z celkovej plochy územia). Výskyt svahových deformácií v jednotlivých triedach vstupných parametrických máp je spracovaný a prezentovaný v nasledujúcich kapitolách.

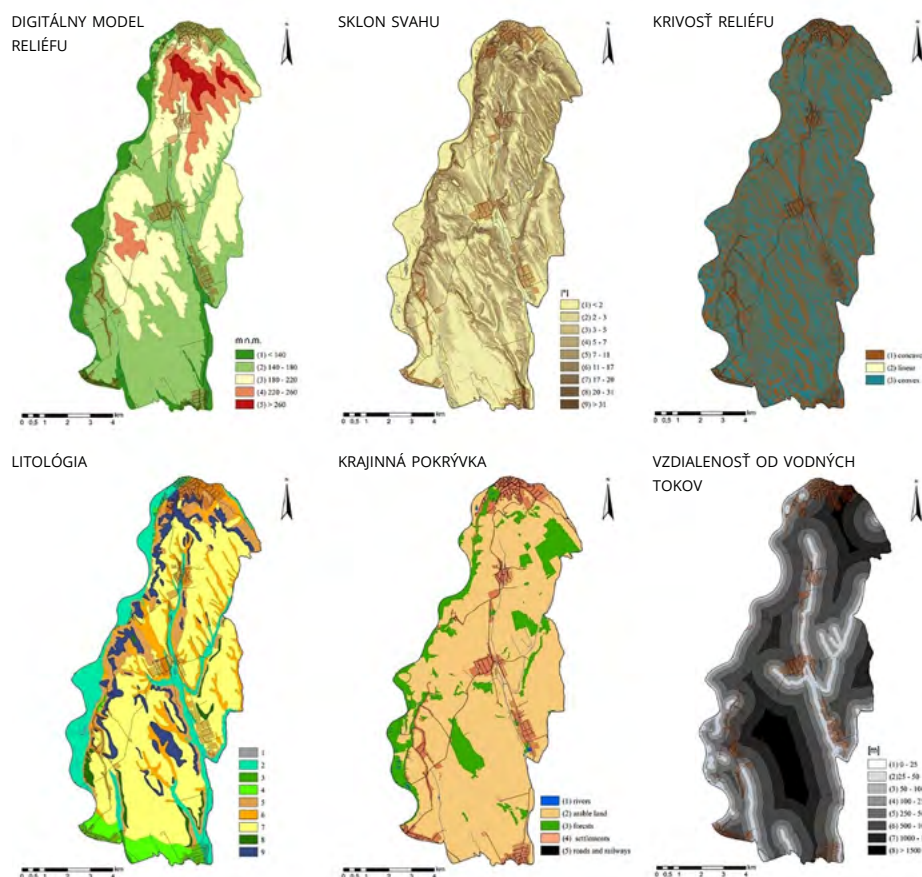
7.3.2 Bivariačná analýza s váhou parametra ako celku

V zmysle vyššie prezentovanej metodiky boli postupne všetky vstupné parametrické mapy analyzované štatistickým porovnaním s mapou zosuvov. V bivariačnej analýze sa porovnávala s mapou zosuvov každá mapa osobitne, teda súčasne sa porovnávali vždy iba dva parametre: litológia/zosuvy; sklon svahu/zosuvy atď. Tab. 7.2 obsahuje aj priestorovú distribúciu svahových deformácií v jednotlivých triedach každej parametrickej mapy. Výsledkom vzájomného porovnania sú nasledujúce závery:

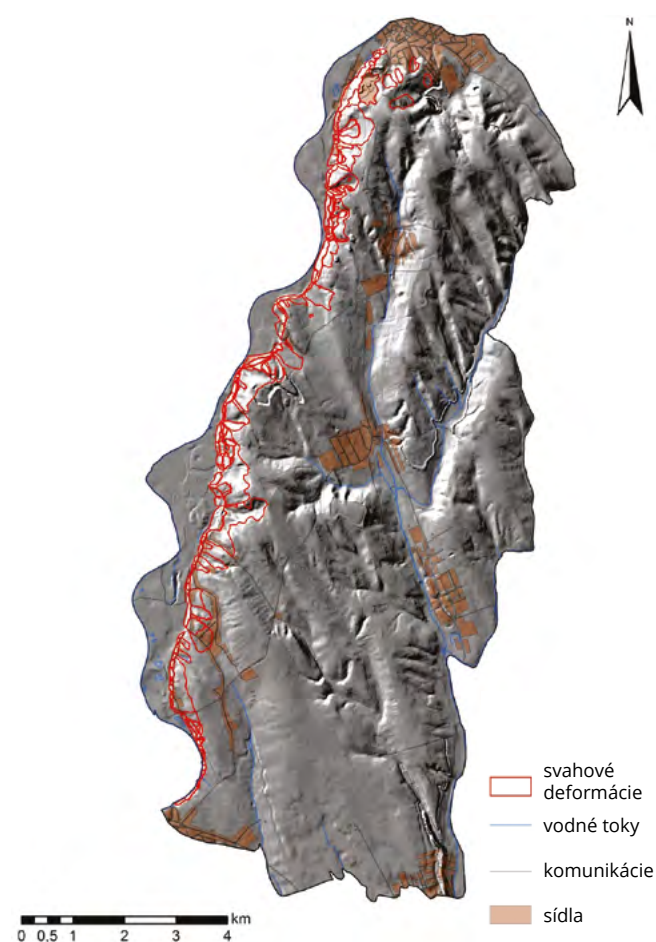
Výskyt svahových deformácií je najčastejší v neogénnych ílových sedimentoch, v ktorých bolo zaregistrovaných takmer 70 % všetkých odlučných

hrán a trhlín. Tieto litologické jednotky pokrývajú 20 % rozlohy záujmového územia.

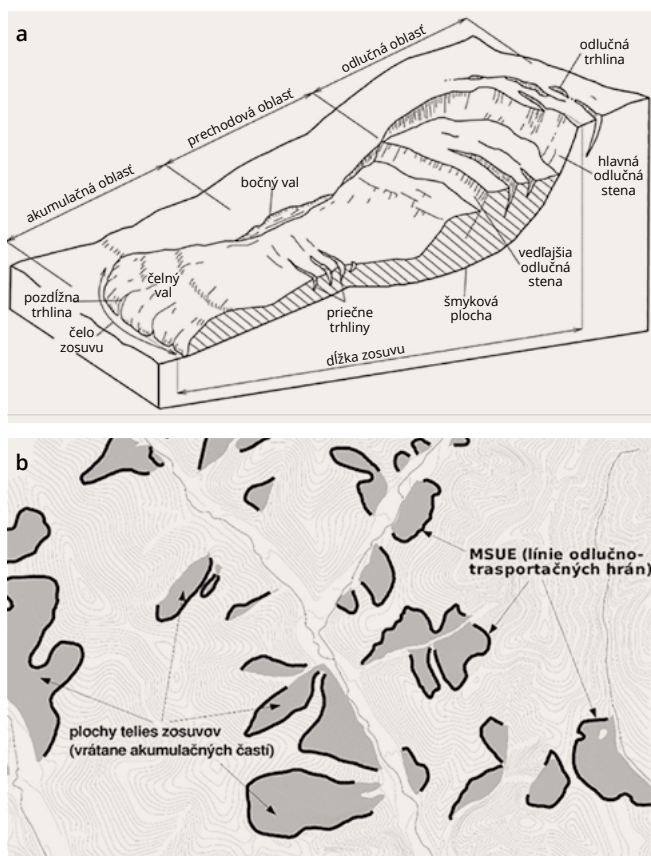
Výskyt svahových deformácií v študovanej oblasti nie je výrazne ovplyvnený nadmorskou výškou, väčšinou sa vyskytujú v nižších polohách do 220 m n. m. Tento fakt je zapríčinený hlavne vplyvom bočnej erózie toku rieky Váh na stabilitu blízkych svahov v minulosti. Najviac zosuvov (70 %) sa nachádza v triedach vo výškovom intervale (hypsografickom stupni) 140 – 180 m n. m., ktorý zaberá viac ako 45 % územia sledovanej oblasti. Stupne nad 220 m n. m. (12 % rozlohy záujmového územia) zahŕňajú menej ako 9 % všetkých zaregistrovaných svahových deformácií.



Obr. 7.6: Reklasifikované vstupné parametrické mapy (Petrýdesová, 2012)



Obr. 7.7: Mapa svahových deformácií Hlohovec – Sereď (Petrýdesová, 2012)



Obr. 7.8: Interpretácia línie odlučnej hrany (MSUE) na zosuve: a) schematický blokdigram idealizovaného zosuvu s vyznačením MSUE (upravené podľa Clerici, 2002); b) princíp odvodnenia MSUE z plošného znázornenia zosuvu v mape

Tab. 7.2: Priestorová distribúcia jednotlivých tried (P_t) s výskytom svahových deformácií (P_z) a výpočtom váh jednotlivých vstupných parametrov (Petrýdesová, 2012)

Vstupný faktor	Trieda	P_t [km ²]	P_t [%]	P_z [km ²]	P_z [%]	p_{ij}	(p_{ij})	H_j	$H_{j(max)}$	$H_{j(max)}-H_j$	$avgp_{ij}$	I_j	V_j	red ₂
Sklon svahov	1	29,636	33,148	0,003	1,015	0,0001	0,0006	2,117	3,170	1,053	0,020	0,332	0,006584	1
	2	12,502	13,984	0,003	0,930	0,0002	0,0012							2
	3	17,747	19,851	0,013	4,278	0,0007	0,0040							3
	4	11,644	13,024	0,023	7,913	0,0020	0,0113							4
	5	11,470	12,830	0,074	24,882	0,0064	0,0360							5
	6	4,658	5,210	0,085	28,686	0,0182	0,1021							6
	7	0,739	0,827	0,029	9,900	0,0396	0,2220							8
	8	0,799	0,893	0,058	19,699	0,0729	0,4089							9
	9	0,209	0,234	0,008	2,697	0,0382	0,2140							7
Využitie krajiny	1	0,132	0,147	0,000	0,000	0,000	0,000	1,355	2,322	0,967	0,004	0,417	0,001723	0
	2	69,369	77,591	0,106	35,974	0,002	0,074							3
	3	12,574	14,064	0,177	59,976	0,014	0,682							5
	4	6,405	7,165	0,009	2,891	0,001	0,065							2
	5	0,924	1,033	0,003	1,158	0,004	0,179							4
Litologické celky	1	0,141	0,158	0,000	0,000	0,000	0,000	1,980	3,170	1,189	0,003	0,375	0,001293	0
	2	13,282	14,856	0,000	0,000	0,000	0,000							0
	3	0,170	0,190	0,000	0,000	0,000	0,000							0
	4	4,286	4,794	0,012	4,202	0,003	0,094							6
	5	9,553	10,685	0,152	51,319	0,016	0,512							9
	6	10,240	11,453	0,038	12,893	0,004	0,120							7
	7	41,622	46,555	0,037	12,597	0,001	0,029							4
	8	1,644	1,838	0,002	0,668	0,001	0,039							5
	9	8,467	9,471	0,054	18,321	0,006	0,206							8
Vzdialenosť od tokov	1	2,746	3,072	0,001	0,499	0,001	0,024	2,341	3,000	0,659	0,003	0,220	0,000609	3
	2	2,329	2,605	0,005	1,666	0,002	0,095							4
	3	4,539	5,076	0,022	7,567	0,005	0,222							6
	4	12,854	14,378	0,082	27,866	0,006	0,289							8
	5	19,303	21,590	0,096	32,322	0,005	0,223							7
	6	27,508	30,769	0,089	30,081	0,003	0,146							5
	7	14,342	16,041	0,000	0,000	0,000	0,000							0
	8	5,783	6,469	0,000	0,000	0,000	0,000							0
Krivosť reliéfu	1	42,928	48,015	0,127	42,780	0,003	0,431	1,173	1,585	0,412	0,002	0,260	0,000592	2
	2	0,213	0,238	0,000	0,017	0,000	0,034							1
	3	46,264	51,747	0,169	57,203	0,004	0,535							3
DMR	1	10,777	12,054	0,036	12,242	0,0034	0,3105	1,691	2,322	0,631	0,002	0,272	0,000588	4
	2	40,487	45,286	0,208	70,477	0,0051	0,4758							5
	3	27,176	30,397	0,046	15,413	0,0017	0,1550							3
	4	8,718	9,751	0,006	1,868	0,0006	0,0586							2
	5	2,247	2,513	0,000	0,000	0,0000	0,0000							0

Zo štatistického porovnania s mapou sklonu svahov vyplýva, že najkritickejšou kategóriou v sledovanom území, do ktorej spadá 53 % všetkých registrovaných svahových deformácií, je interval od 7 do 17°. Najväčší výskyt (28 %) sa nachádza v triede 6, v intervale 11 – 17°. Na základe klasifikácie Hrašnu (1980, in Matula a kol., 1983) výskyt zosuvov sa sústreďuje v jemne modelovaných svahoch s miernymi sklonmi (5 – 17°), kde je zaregistrovaných viac ako 61 % výskytu svahových deformácií. Strmé svahy (> 17°) zahŕňajú iba 1,9 % výskytu zosuvov v sledovanej oblasti, ale bolo tu zaznamenaných až 32,2 % odlučných hrán a trhlín.

Napriek faktu, že krivosť reliéfu významne ovplyvňuje nielen tok vody, ale aj pohyb mäs po povrchu reliéfu, priestorová distribúcia výskytu zosuvov na konkávných a konvexných plochách georeliéfu je takmer rovnaká. Mierna prevaha bola zaznamenaná na konvexných plochách.

Výskyt zosuvov v závislosti od vzdialenosti od vodných tokov bol zistený najmä v intervale od 250 do 1 000 m (62 % z celkového počtu zaregistrovaných deformácií). Výskyt zosuvov v sledovanom území je ovplyvnený tiež šírkou aluviálnej nivy Váhu. Lokálne je šírka nivy znížená v závislosti od meandrovania Váhu a v týchto zúžených miestach sa do vzdialenosti do 250 m od toku nachádza až 37 % zaregistrovaných zosuvov.

Študovaná oblasť sa využíva najmä ako poľnohospodárska pôda. Spolu s lesmi zaberajú viac ako 90 % územia. Zosuvy sa teda najviac vyskytujú v týchto triedach krajinej pokrývky (6 % rozlohy týchto kategórií).

Na základe porovnania hustoty výskytu svahových deformácií bola jednotlivých triedam parametrických máp priradená nová numerická hodnota (sekundárna reklasifikácia). Najvyššia numerická hodnota bola priradená triedam s najvyššou hustotou výskytu zosuvov a najnižšiu hodnotu získali triedy s najnižšou hustotou, vyjadrujúcou zároveň náchylnosť danej triedy na tvorbu svahových deformácií. Následne boli stanovené váhy jednotlivých parametrov v zmysle vyššie uvedenej metodiky (Vlčko a kol., 1980). Výsledky uvádza tab. 7.2., kde sú jednotlivé vstupné parametre zoradené zostupne podľa hodnoty vypočítanej váhy

(W_i). Z tabuľky vyplýva, že najvýraznejší efekt vplyvu na priestorovú distribúciu svahových deformácií v študovanej oblasti majú sklon svahov, geologické pomery a krajinná pokrývka.

Výsledkom bivariačnej štatistickej analýzy je mapa zosuvného hazardu (obr. 7.9) zostavená na základe váženého súčtu sekundárne reklasifikovaných hodnôt jednotlivých tried vo vstupných parametrických mapách. V prostredí GIS má rovnica nasledujúci tvar:

$$y = \text{"dem_recl_2"} * 1,8 * 0,000588312 + \\ \text{"slope_recl_2"} * 1 * 0,006583607 + \\ \text{"curv_recl_2"} * 3 * 0,000591835 + \\ \text{"gl_recl_2"} * 1 * 0,001292551 + \\ \text{"vvt_recl_2"} * 1,125 * 0,000608825 + \\ \text{"Induse_recl_2"} * 1,8 * 0,001723118$$

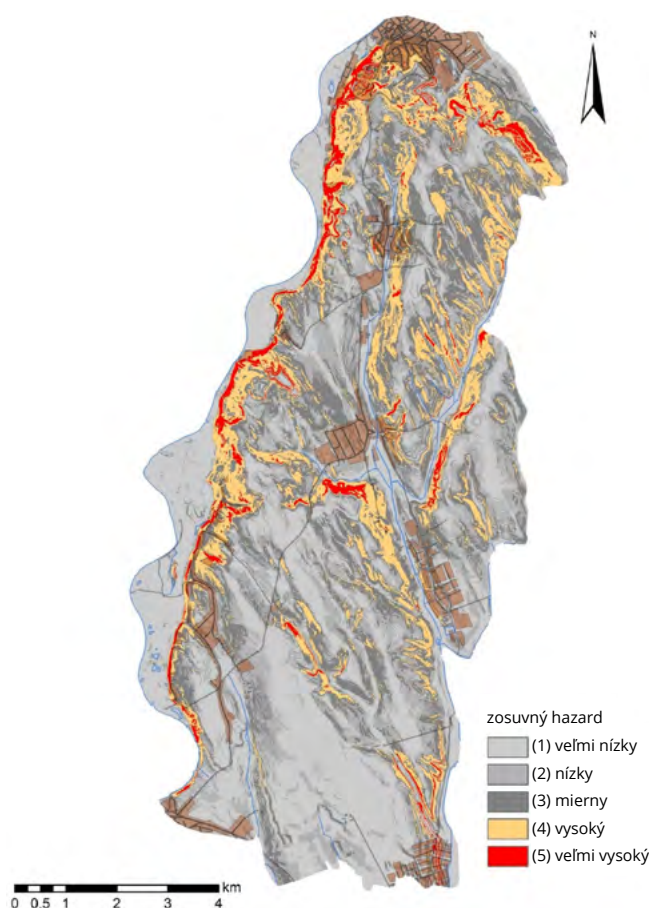
Výsledok váženého súčtu predstavuje spojitý interval hodnôt < 0,0146497; 0,102494 >, ktorý reprezentuje rozdielny stupeň zosuvného hazardu. Výsledná mapa vo všeobecnosti môže byť rozdelená na základe zvolenej metodiky do 3, resp. 5 tried. V uvedenej prípadovej štúdii bola výsledná mapa rozdelená na základe metódy Jenks Natural breaks implementovanej do GIS do 5 tried (stupňov hazardu) s nasledujúcimi intervalmi:

1. Veľmi nízky stupeň: < 0,014649742; 0,03807494 >;
2. Nízky stupeň < 0,03807494; 0,048754074 >;
3. Mierny stupeň < 0,048754074; 0,059777696 >;
4. Vysoký stupeň < 0,059777696; 0,075968641 >;
5. Veľmi vysoký stupeň < 0,075968641; 0,102494232 >.

Priestorovú distribúciu tried (rajónov) zosuvného hazardu stanovených bivariačnou metódou s váhou parametra zobrazuje tab. 7.3. Rajón s veľmi vysokým stupňom hazardu pokrýva takmer 3 % územia a spolu s triedou s vysokým stupňom hazardu zaberajú takmer 17 % plochy záujmovej oblasti. Podľa jednoduchej verifikácie, pozostávajúcej z porovnania jednotlivých rajónov s veľmi vysokým a vysokým stupňom hazardu s existujúcimi svahovými deformáciami, bolo vypočítané, že v týchto dvoch triedach bolo zaregistrovaných viac ako 90 % zosuvov.

Tab. 7.3: Priestorová distribúcia tried v mape zosuvného hazardu: celková rozloha a rozloha svahových deformácií v jednotlivých triedach (Petrýdesová, 2012)

Trieda	Stupeň zosuvného hazardu	Priestorová distribúcia triedy		Priestorová distribúcia zosuvov v jednotlivých triedach [%]
		[km ²]	[%]	
1	veľmi nízky	30,83	34,48	0,740
2	nízky	23,39	26,16	2,544
3	mierny	20,02	22,39	6,334
4	vysoký	12,74	14,25	31,250
5	veľmi vysoký	2,44	2,72	59,140



Obr. 7.9: Mapa zosuvného hazardu vytvorená bivariačnou štatistickou analýzou (Bednarik, 2007)

7.3.3 Multivariačná podmienková analýza

Princíp podmienkovej analýzy je založený na simultánnom porovnaní všetkých vstupných parametrov ako nezávislých premenných s mapou registrovaných svahových deformácií. Výstupom priestorovej analýzy založenej na topografickej superpozícii parametrických máp v prostredí GIS je komplexná matica pozostávajúca zo 6 648 možných kombinácií všetkých tried vo vstupných mapách kombinovaných do kvázi-homogénnych celkov (UCU – unique-conditions units). Po štatistickom porovnaní s mapou zosuvov 655 UCU bolo postihnutých svahovými deformáciami a vo zvyšných 5 993 UCU zosuvy neboli zaznamenané.

Tab. 7.4 uvádza príklad kombinácií (UCU). Čísla v prvom stĺpci tabuľky reprezentujú triedy v parametrických mapách v poradí: litológia – aktuálna krajinná pokrývka – vzdialenosť od vodných tokov – krivosť reliéfu – sklon svahov – hypsografický stupeň. Druhý stĺpec tabuľky udáva celkový počet buniek UCU (N_{pix}) a tretí stĺpec počet buniek UCU so zosuvmi, resp. vo vzájomnej superpozícii s odlučno-transportačnými líniami zosuvov (N_{pix}^{MSUE}). Štvrtý stĺpec reprezentuje hustotu výskytu zosuvov (D) pre každú UCU vypočítanú na základe pomeru počtu buniek

UCU obsahujúcich zosuvy k celkovému počtu buniek v rámci celej UCU, vyjadrenú v promile (‰).

Posledný stĺpec v tabuľke (susc. 5) podáva stupeň náchyllosti danej UCU na zosúvanie. Porovnanie počtu UCU so zosuvmi v celej záujmovej oblasti s počtom buniek MSUE v najnebezpečnejšej 5. triede (rajóne) zosuvného hazardu je uvedené v tab. 7.5.

Tab. 7.4: Príklad výsledkov multivariačnej podmienkovej analýzy (Petrýdesová, 2012)

UCU	N_{pix}	N_{pix}^{MSUE}	D	susc. 5
9.3.3.3.6.2	39	25	641,03	5
5.3.5.1.9.2	191	48	251,31	5
9.3.5.3.5.3	780	12	15,38	5
5.2.6.1.5.2	2 884	38	13,18	4
9.2.6.1.5.3	7 301	94	12,87	4
9.4.5.1.6.2	196	2	10,20	4
5.2.6.1.6.3	2 486	25	10,06	4
9.3.4.1.5.2	101	1	9,90	3
9.2.6.3.5.4	4 563	45	9,86	3
5.2.6.3.6.4	411	4	9,73	3
7.2.6.3.3.2	18 982	76	4,00	2
9.2.5.1.2.3	259	1	3,86	2
9.3.3.3.8.2	261	1	3,83	2
9.2.6.3.4.4	1 836	6	3,27	1
5.2.6.3.3.3	7 645	24	3,14	1
9.2.6.1.2.4	340	1	2,94	1
5.2.6.1.1.3	2 055	1	0,00	1
9.2.5.1.3.2	2 634	1	0,00	1
9.2.5.1.5.2	2 762	1	0,00	1

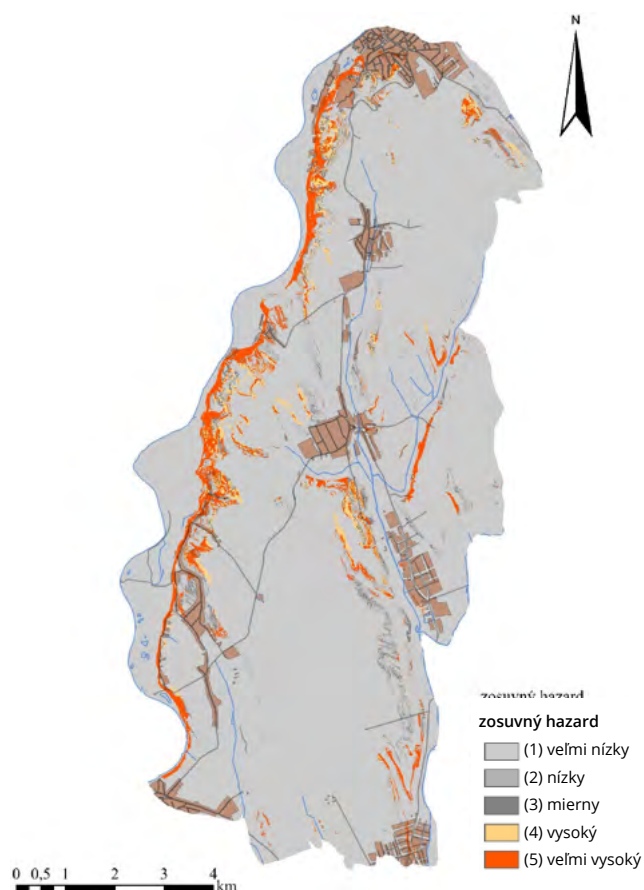
Na základe výsledkov prezentovaných v tab. 7.4 a tab. 7.5 môžeme skonštatovať nasledujúce skutočnosti: zosuvy sa vyskytujú prevažne v kvartérnych svahových uloženinách v nadloží neogénnych sedimentov so zvýšeným obsahom ílu, v prostredí ktorých bolo zaznamenaných 231 kombinácií so zosuvmi (zo 655). To znamená, že tieto kategórie sú vysoko postihnuté zosuvmi, čo korešponduje tiež s výsledkami bivariačnej analýzy. Triedy zodpovedajúce holocénnym aluviálnym a proluviálnym sedimentom (2 a 3) nie sú postihnuté svahovými deformáciami.

V poradí druhé miesto v prvom stĺpci tab. 7.5 patrí aktuálnej krajinnéj pokrývke. V intenzívne poľnohospodársky využívanom záujmovom území sú najviac postihnutými oblasťami orná pôda a lesy.

Ďalším dôležitým faktorom ovplyvňujúcim stabilitu svahu je sklon svahu. Z výsledkov štatistickej kombinácie so zosuvmi je zrejماً dominancia svahov

Tab. 7.5: Porovnanie počtu UCU so svahovými deformáciami v celej oblasti s počtom UCU so svahovými deformáciami v triede 5 vo výslednej mape zosuvného hazardu (Petrýdesová, 2012)

Parameter	Trieda	N_{pix} (MSUE)	N_{pix} (MSUE) v triede 5 mapy zosuvného hazardu
Litológia	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
	4	57	52
	5	231	171
	6	144	122
	7	84	55
	8	13	6
	9	126	75
Krajinná pokrývka	1	0	0
	2	209	85
	3	354	315
	4	56	47
	5	36	34
Vzdialenosť od toku	1	23	23
	2	43	41
	3	83	76
	4	133	108
	5	209	146
	6	164	87
	7	0	0
	8	0	0
Krivosť reliéfu	1	351	208
	2	2	2
	3	302	271
Sklon svahu	1	18	9
	2	23	8
	3	50	22
	4	86	45
	5	154	111
	6	143	116
	7	86	81
	8	74	70
	9	21	19
Hypsografický stupeň	1	148	140
	2	394	298
	3	86	39
	4	27	4
	5	0	0



Obr. 7.10: Mapa zosuvného hazardu vytvorená multivariačnou podmienkovou analýzou (Bednarik, 2007)

v triede od 7 do 17°, prednostne v kombinácii s litologickými triedami 5 a 9. Tieto výsledky sú veľmi podobné výsledkom bivariačnej analýzy. Výsledná mapa (obr. 7.10) je rozdelená do 5 stupňov, zodpovedajúcich rajonizácii zosuvného hazardu s nasledujúcimi intervalmi:

1. Veľmi nízky stupeň < 0,0; 1,322 >;
2. Nízky stupeň < 1,322; 2,646 >;
3. Mierny stupeň < 2,646; 3,966 >;
4. Vysoký stupeň < 3,966; 5,288 >;
5. Veľmi vysoký stupeň > 5,288.

Priemerná intenzita výskytu svahových deformácií (M_d) v študovanej oblasti je 3,307 ‰ a interval triedy (C_i) má hodnotu 1,322. Z dôvodu eliminácie náhodných technických chýb je prvý interval priradený k UCU bez zaznamenaných svahových deformácií a spolu reprezentujú rajón s veľmi nízkym stupňom hazardu (5 993 UCU). Priestorová distribúcia kategórií zosuvného hazardu je uvedená v tab. 7.6 spolu s porovnaním s percentuálnou rozlohou výskytu svahových deformácií v rámci postihnutých UCU (rajón s vysokým a veľmi vysokým stupňom hazardu). V týchto dvoch triedach (4 a 5) sa vyskytuje takmer 90 % všetkých zaregistrovaných zosuvov v študovanej oblasti.

Porovnanie výsledkov bivariačnej a multivariačnej analýzy

Z výsledkov obidvoch štatistických analýz (bivariačnej aj multivariačnej podmienkovej) vyplýva definovanie najpriaznivejších podmienok vzniku svahových deformácií. Tie sa vyskytujú prednostne na svahoch so sklonom 7 – 17° budovaných neogénnymi sedimentmi s vyšším obsahom ílu, využívaných ako orná pôda alebo les s nadmorskou výškou 140 – 180 m n. m. Komplexné posúdenie kategórií s najvyšším a najnižším stupňom hazardu v študovanej oblasti podáva tab. 7.7.

Ako najstabilnejšie oblasti sa ukazujú holocénné aluviálne a proluviálne sedimenty v okolí vodných tokov (riečna niva). Napriek tomu, že najmenej náchylná kategória v mape vzdialeností od vodných tokov a v mape hypsografických stupňov je na území, kde tieto litologické jednotky absentujú, je to zapríčinené spôsobom interpretácie svahových deformácií v parametrickej mape zosuvov (formou línií odlučno-transportačných hrán). Celé telesá svahových deformácií do analýzy nevstupovali z dôvodu, že akumulčné časti zosuvov často zasahujú do aluviálnych nív, ktoré môžeme z hľadiska zosuvného hazardu považovať za stabilné. Ak by vstúpili do štatistickej analýzy zosuvy ako plošné telesá vrátane akumulčných častí, výsledky analýzy by mohli byť skreslené a nedôveryhodné.

Tab. 7.6: Priestorová distribúcia kategórií zosuvného hazardu a zosuvmi postihnutých oblastí v rámci jednotlivých kategórií (Petrýdesová, 2012)

Trieda	Stupeň hazardu	Priestorová distribúcia tried		Priestorová distribúcia zosuvov v rámci jednotlivých tried [%]
		[km ²]	[%]	
1	veľmi nízky	80,85	90,43	3,66
2	nízky	2,52	2,81	3,97
3	mierny	1,05	1,17	2,98
4	vysoký	1,50	1,68	5,91
5	veľmi vysoký	3,49	3,90	83,48

Porovnanie priestorovej distribúcie rájónov zosuvného hazardu vypočítaných obidvoma spôsobmi štatistickej analýzy zobrazuje tab. 7.8, v ktorej je percentuálne prezentovaná plošná distribúcia zosuvov v jednotlivých rájónoch. Rozdiely v hodnotách reprezentujú rozdielnosť prístupov v oboch metodikách; žiadna z nich nie je natoľko odlišná, aby sa výsledné čísla diametrálne líšili. Za najviac spoľahlivú (po exaktnej verifikácii) považujeme v prezentovanej prípadovej štúdii multivariačnú podmienkovú analýzu.

Tab. 7.7: Posúdenie kategórií s najvyšším a najnižším stupňom hazardu v jednotlivých parametrických mapách (Petrýdesová, 2012)

Vstupný parameter	Kategória s najvyšším hazardom	Kategória s najnižším hazardom
Uhol sklonu	5, 6 (7 – 17°)	1, 2 (< 2°)
Krajinná pokrývka	2, 3 (orná pôda; les)	1 (rieky)
Litológia	5, 9 (svahové sedimenty s ílmi)	1, 2, 3 (antropogénne holocénné sedimenty)
Vzdialenosť od toku	5 (250 – 500 m)	7, 8 (> 1 000 m)
Krivosť reliéfu	1 (konkávne plochy)	2 (lineárne plochy)
Hypsografický stupeň	2 (140 – 180 m n. m.)	5 (> 260 m n. m.)

Tab. 7.8: Porovnanie výsledkov multivariačnej a bivariačnej analýzy (Petrýdesová, 2012)

Trieda	Stupeň hazardu	Priestorová distribúcia tried bivariačná analýza [%]		Priestorová distribúcia zosuvov bivariačná analýza [%]	
		bivariačná analýza [%]	multivariačná analýza [%]	bivariačná analýza [%]	multivariačná analýza [%]
1	veľmi nízky	34,48	90,44	0,74	3,66
2	nízky	26,16	2,81	2,54	3,97
3	mierny	22,39	1,17	6,33	2,98
4	vysoký	14,25	1,68	31,25	5,91
5	veľmi vysoký	2,72	3,90	59,14	83,48

V priebehu procesu verifikácie bol veľmi vysoký a vysoký stupeň zosuvného hazardu porovnaný s reálnym výskytom zaregistrovaných svahových deformácií. Na základe tohto porovnania môžeme konštatovať, že rozdiel medzi multivariačnou a bivariačnou štatistickou analýzou je cca 1 %. V prípade

multivariačnej analýzy je plocha postihnutá zosuvmi v 5. triede (veľmi vysoký stupeň hazardu) takmer o 25 % vyššia ako v prípade bivariačnej analýzy. Plocha postihnutá zosuvmi v prvých troch triedach hazardu je v oboch prípadoch takmer identická.

7.3.4 Porovnanie prezentovanej metodiky s doterajšími empirickými postupmi

Čo sa týka zhodnotenia principiálnych výhod (resp. nevýhod) štatistických metód analýzy zosuvného hazardu s využitím GIS oproti dosiaľ bežne používaným postupom, jednoznačne je možné skonštatovať nasledovné skutočnosti:

- výhodou kvantitatívnych štatistických prístupov oproti geotechnickým modelom založeným napr. na analýze údajov o fyzikálno-mechanických vlastnostiach je väčšia dostupnosť vstupných údajov, ktorých získanie nie je až tak technicky a finančne náročné ako v prípade potrebného množstva fyzikálnych parametrov; táto skutočnosť jednoznačne zvyšuje použitie štatistických metód v regionálnych mierkach,
- za predpokladu dodržania všetkých vyššie uvedených postupov a zásad poskytujú štatistické metódy v prostredí GIS omnoho komplexnejšie výsledky; do analýzy zosuvného hazardu je možné exaktne zahrnúť také parametre, ktoré dosiaľ pri bežných postupoch boli hodnotené zvyčajne iba vizuálne a empiricky (napr. parametre georeliéfu), resp. neboli hodnotené vôbec (priemerné časové úhrny zrážok, vzdialenosti od tokov atď.),

- zraniteľnosť obidvoch štatistických metód vyplýva najmä z presnosti vstupných podkladov: mapy rôznej kvality z rôznych zdrojov, rôznych mierok a súradnicových systémov, problémy pri ich transformáciách a vzájomnom zosúladovaní a, ako už bolo spomenuté, subjektívny prístup k precíznosti pri príprave parametrických máp veľmi vplývajú na konečný výsledok,
- uvedené postupy sú z dôvodu komplikovanosti aj napriek zodpovednému prístupu k príprave dát náchylné na tvorbu chýb,
- okrem presnosti a kvality technickej prípravy vstupných údajov má však na výsledok hodnotenia rozhodujúci vplyv úplnosť a úroveň spracovania vstupnej mapy rozšírenia zosuvov na území,
- možnosť subjektívneho prístupu pri uvedených postupoch sa obmedzuje na výber vstupných parametrov, kritérií prvotnej reklasifikácie parametrických máp, výber štatistickej metódy a na kontrolu a prípadnú korekciu čiastkových výsledkov (najmä v prípade bivariačnej analýzy); na rozdiel od klasického postupu, kde sa vo výraznejšej miere uplatňuje individuálny prístup a odborné skúsenosti riešiteľa úlohy najmä pri zostavovaní záverečnej mapy.

7.4 Verifikácia prognózných máp

Po zostavení prognózne mapy je nevyhnutné vyhodnotiť jej výpovednú hodnotu – teda mapu verifikovať. V 80-tych rokoch, v čase, keď vznikali prvé mapy náchylnosti územia na zosúvanie pomocou mapovej algebry implementovanej do GIS prostredí, boli tieto verifikované vizuálnym porovnaním prognózne mapy s mapou registrovaných svahových deformácií (Brabb, 1984).

Najdôležitejším kritériom na hodnotenie kvality prognózne mapy je zostavenie modelu úspešnosti, ktorý posudzuje vzťah medzi prognózou a mapou

registrácie svahových deformácií. Model úspešnosti vo všeobecnosti porovnáva hustotu zosuvov v mape registrácie svahových deformácií (prítomnosť, resp. absencia svahovej deformácie, binárny raster 1/0) s rôznymi stupňami náchylnosti v prognózne mape náchylnosti na zosúvanie, resp. v mape zosuvného hazardu.

V literatúre možno nájsť viaceré techniky verifikácie prognózných máp. Overené sú postupy pomocou metód štatistickej úspešnosti a ROC kriviek (Receiver Operating Characteristic Curves).

7.4.1 Metódy štatistickej úspešnosti

Základom pri hodnotení úspešnosti je kontingenčná (vzťahová) tabuľka, ktorá porovnáva registrované a prognózované zosuvy, a to kombináciou správnych a nesprávnych pozitívnych a negatívnych zatriedení zosuvov náhodným výberom rovnakého počtu pixelov

z oboch rastrov. Pozitívne zatriedenie predstavujú nestabilné oblasti a negatívne zatriedenie predstavujú stabilné oblasti. Pri konštrukcii kontingenčnej tabuľky je nevyhnutné zadať kritickú hodnotu – hranicu rozhodovania, mieru pravdepodobnosti

Tab. 7.9: Kontingenčná tabuľka na hodnotenie úspešnosti modelu (Frattini a kol., 2010)

Registrovaný	Prognózovaný		Celkom
	Negatívne_stabilné_-_0	Pozitívne_nestabilné+_1	
Negatívne_stabilné_-_0	(-/-) stabilné/stabilné, true negative, tn	(+/-) nestabilné/stabilné, false positive, fp	N
Pozitívne_nestabilné+_1	(-/+) stabilné/nestabilné, false negative, fn	(+/+) nestabilné/nestabilné, true positive, tp	P
Celkom	Np	Pp	T

(cut-off value, decision level), ktorá rozdeľuje oblasti na stabilné a nestabilné. Potom sa zatriedenie získané z prognóznych máp porovná so správnym, získaným z máp registrácie svahových deformácií podľa kontingenčnej tabuľky (tab. 7.9).

Kontingenčná tabuľka analyzuje vzťah medzi dvoma alebo viacerými kategorickými premennými. Prvýkrát ju použil Karl Pearson v roku 1904. Kontingenčná tabuľka má toľko riadkov a stĺpcov, koľko je kategórií v prognóze. V našom prípade ide o dichotomickú premennú (dve kategórie – present/absence u registrovaných zosuvov a stable/unstable v prognózej mape).

V súvislosti s verifikáciou prognóznych máp je možno použiť viaceré metódy štatistickej úspešnosti. Práce s touto tematikou nie sú veľmi frekventované, azda najkomplexnejšie sa v poslednej dobe uvedenou problematikou zaoberali Frattini, Crosta a Carrara (2010), ktorí opisujú vo svojej práci najčastejšie používané metódy štatistickej úspešnosti (použité symboly v rovniciach zodpovedajú symbolom v kontingenčnej tab. 7.9):

Efektívnosť (Úspešnosť alebo Percentuálna správnosť, Efficiency – E, Accuracy or Percent correct) percentuálne hodnotí výskyt registrovaných zosuvov, ktoré sú korektne predpovedané v prognóznom modeli. Výsledok je značne ovplyvnený hustotou najväčšej triedy, väčšinou stabilných území.

$$E = \frac{tp + tn}{T}$$

Pravdivá pozitívna (TP, true positive rate) a nepravdivá pozitívna hodnota (FP, false positive rate) nie sú samostatné štatistické metódy na overenie úspešnosti modelu, pretože neberú do úvahy false positive (fp) a false negative (fn) hodnoty, ale sú nevyhnutné napr. na konštrukciu ROC kriviek. Počítajú sa podľa nasledujúcich rovníc:

$$TP = \frac{tp}{tp + fn} = \frac{tp}{P}$$

$$FP = \frac{fp}{fp + tn} = \frac{fp}{N}$$

Kritický index úspešnosti (Threat score, Critical Success Index – CSI) hodnotí podiel registrovaných zosuvov a/alebo prognózovaných zosuvov, ktoré boli korektne predpovedané. Viac-menej závisí od frekvencie zosuvných udalostí (nižšia hodnota pre zosuvy s nižšou frekvenciou výskytu).

$$CSI = \frac{tp}{tp + fn + fp}$$

Nezávislý kritický index (Equitable threat score, Gilbert skill score – GSC) hodnotí podiel registrovaných zosuvov a/alebo prognózovaných zosuvov, ktoré boli korektne predpovedané. Podiel je modifikovaný pre udalosti typu true positive (územie nestabilné/nestabilné), posudzované pre náhodne vybrané oblasti.

$$GSC = \frac{tp - tp_{random}}{tp + fn + fp - tp_{random}},$$

$$\text{kde } tp_{random} = \frac{(tp + fn)(tp + fp)}{T}$$

Pierceov kvalifikovaný odhad (Pierce's skill score – PSC, True skill statistic) pracuje so všetkými údajmi z kontingenčnej tabuľky, pričom zanedbáva frekvenciu výskytu jednotlivých zosuvných udalostí.

$$PSC = \frac{tp}{tp + fn} - \frac{fp}{fp + tn} = TP - FP$$

Heidkeho kvalifikovaný odhad (Heidke skill score – HSS, Cohen's kappa) hodnotí podiel korektných zatriedení.

$$HSS = \frac{tp + tn - E}{T - E},$$

$$\text{kde } E = \frac{1}{T} [(tp + fn)(tp + fp) + (tn + fn)(tn + fp)]$$

Koeficient úspešnosti (Odds ratio – OR) hodnotí podiel medzi úspešnosťou pravdivej predpovede k nepravdivej prognóze. *Odds ratio* znamená teda podiel šanci, pravdepodobnosť výskytu javu voči jeho absencii. Táto štatistická metóda je založená na pravdepodobnosti výskytu zosuvnej udalosti, ale nemôže byť aplikovaná v prípade, ak niektorá z buniek kontingenčnej tabuľky je nulová.

$$OR = \frac{tp.tn}{fn.fp}$$

Kvalifikovaný koeficient úspešnosti (Odds ratio skill score – ORSS, Yule's Q) podobne ako koeficient úspešnosti hodnotí podiel medzi úspešnosťou pravdivej predpovede k nepravdivej prognóze, ale nadobúda hodnoty medzi – 1 a 1.

$$ORSS = \frac{tp.tn - fp.fn}{tp.tn + fp.fn}$$

7.4.2 ROC krivky

Správnosť, presnosť alebo precíznosť modelu je najčastejšie hodnotená pomocou ROC kriviek (ROC – Receiver Operating Characteristic, vo voľnom preklade prijímacie operačné charakteristiky). ROC analýza bola vyvinutá počas druhej svetovej vojny na hodnotenie účinnosti radarových prijímačov na detekciu cieľov. Veľkosť plochy pod krivkou (AUC – Area Under Curve) určuje celkovú kvalitu prognózneho modelu; čím je plocha väčšia, tým je model úspešnejší. Maximálna plocha grafu je 1 (ideálny model), plocha modelu s úspešnosťou 50 % má AUC

= 0,5 (trivial model). To znamená, že čím je veľkosť plochy bližšia k hodnote 1, tým je model presnejší. ROC krivka je konštruovaná podľa kontingenčných tabuliek, ich počet zodpovedá počtu hraničných hodnôt (cutoff values, threshold values). Následne sa vypočíta pre každú kontingenčnú tabuľku pravdivá a nepravdivá pozitívna hodnota (FP a TP). Tieto hodnoty definujú tvar ROC krivky. Čím je ROC krivka bližšie k ľavému hornému rohu, tým je hodnotený model kvalitnejší a s tým, samozrejme, narastá hodnota AUC.

7.4.3 Výsledky verifikácie prognózných máp zosuvného územia Hlohovec – Sereď

Tri kontingenčné tabuľky veľkosti 2 × 2 boli zostrojené na dve kategórie – present/absence pre registrované zosuvy a stable/unstable územia v prognózne mape. Hodnotených bolo 59 805 pixelov náhodne (randomly) vybraných z rastra registrovaných zosuvov a 59 805 pixelov z rastra prognózy zosuvného hazardu. Hraničné hodnoty boli zvolené na úrovni miery pravdepodobnosti 0,4; 0,6 a 0,8.

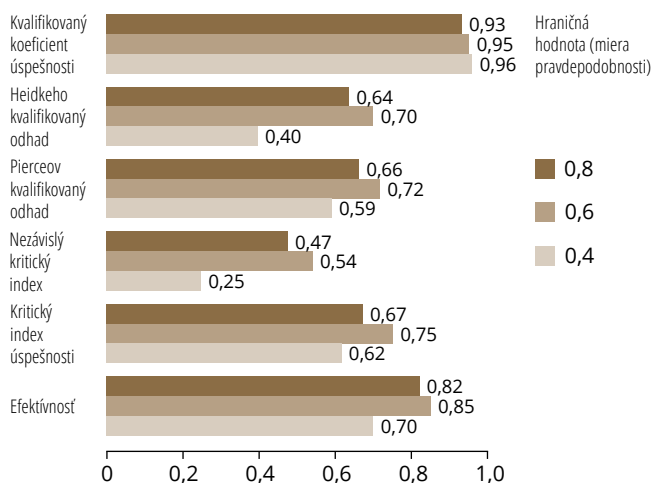
Podľa kontingenčných tabuliek boli následne vypočítané štatistické úspešnosti bivariačného modelu zosuvného územia Hlohovec – Sereď. Výsledky

(tab. 7.10, obr. 7.11) ilustrujú, že podľa väčšiny z metód štatistickej úspešnosti aplikovaný bivariačný model zodpovedá kvalitne zostavenému štatistickému modelu. Najnižšie hodnoty úspešnosti boli vypočítané pomocou Gilbertovho nezávislého kritického indexu pri všetkých hraničných hodnotách a podľa Heidkeho kvalifikovaného odhadu hraničnej hodnoty 0,4. Toto však nemusíme považovať za neúspech vzhľadom na obmedzenia vyplývajúce z definícií oboch výpočtov.

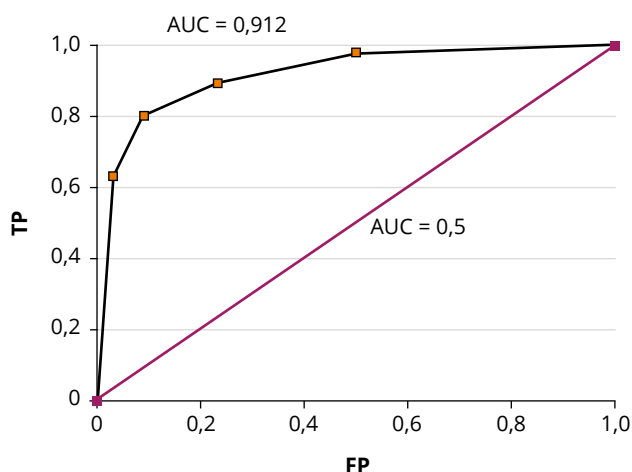
Na konštrukciu ROC krivky (obr. 7.12) boli použité rovnaké kontingenčné tabuľky pre hraničné hodnoty

Tab. 7.10: Výsledky štatistickej úspešnosti modelu Hlohovec – Sereď (Bednarik, 2007)

Metóda	Hraničná hodnota 0,4	Hraničná hodnota 0,6	Hraničná hodnota 0,8
Efektívnosť (Efficiency)	0,70	0,85	0,82
Pravdivá pozitívna hodnota (true positive rate)	0,63	0,80	0,89
Nepravdivá pozitívna hodnota (false positive rate)	0,04	0,09	0,23
Kritický index úspešnosti (Critical Success Index)	0,62	0,75	0,67
Nezávislý kritický index (Gilbert skill score)	0,25	0,54	0,47
Pierceov kvalifikovaný odhad (Pierce's skill score)	0,59	0,72	0,66
Heidkeho kvalifikovaný odhad (Heidke skill score)	0,40	0,70	0,64
Koeficient úspešnosti (Odds ratio)	45,29	42,20	27,60
Kvalifikovaný koeficient úspešnosti (Yule's Q)	0,96	0,95	0,93



Obr. 7.11: Porovnanie výsledkov jednotlivých metód štatistickej úspešnosti bivariačného modelu (Bednarik, 2007)

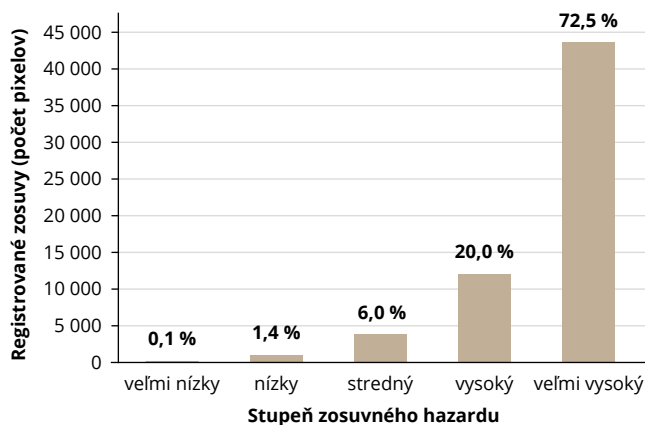


Obr. 7.12: ROC krivka bivariačného modelu s určením veľkosti plochy pod krivkou (AUC) (Bednarik, 2007)

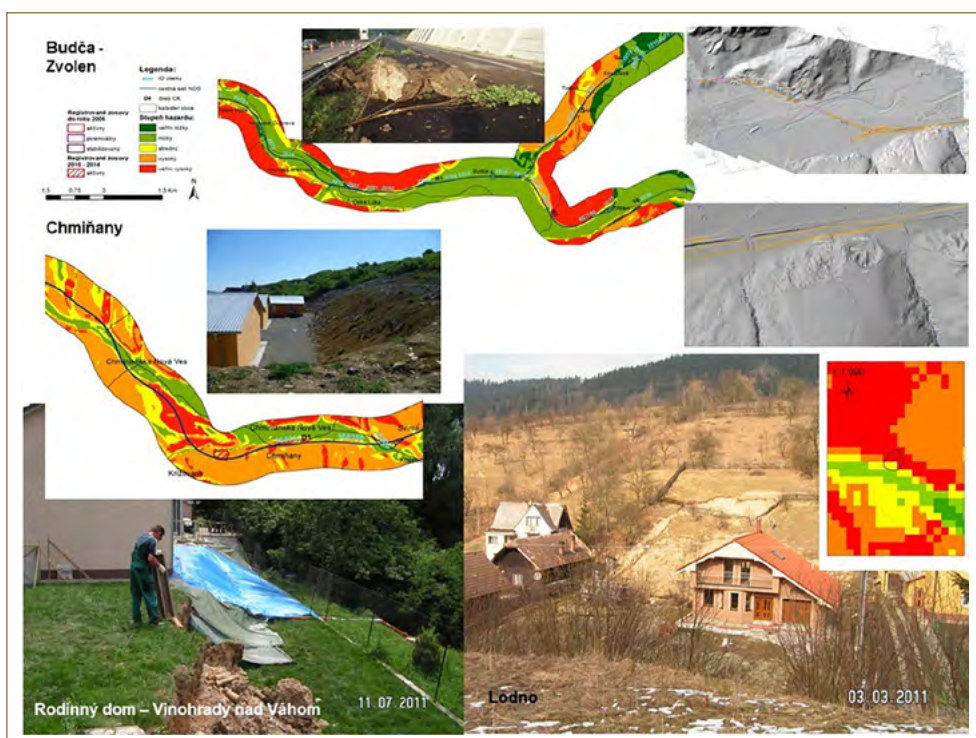
0,4; 0,6 a 0,8. Krivka je v tomto prípade definovaná tromi bodmi na základe vypočítaných hodnôt FP a TP. Veľkosť plochy pod krivkou má hodnotu 0,912, čo spolu so strmou krivkou preukazuje úspešnosť prognózneho modelu zostaveného na základe bivariačnej štatistickej analýzy.

Viacero autorov v rámci verifikácie prognózných máp používa najjednoduchší spôsob, a to mapové, resp. rastrové prekrytie mapy registrovaných svahových deformácií s prognóznou mapou (Bednarik, 2001; 2007, Nandi, Shakoar, 2009, Constantin a kol., 2010). Na obr. 7.13 je znázornené percentuálne zastúpenie registrovaných zosuvov (počet pixelov) v jednotlivých stupňoch zosuvného hazardu bivariačného modelu Hlohovec – Sereď. Z obrázku vyplýva, že úspešnosť modelu je pri 4. a 5. stupni hazardu (t. j. vysoký a veľmi vysoký stupeň zosuvného hazardu) 92,5 %; tento výsledok je veľmi blízky hodnote AUC 91,2 %.

Najvyšší stupeň verifikácie (priama verifikácia) predstavuje skutočnosť, keď prognózovaný jav v mape zosuvného hazardu nastane. Takýchto príkladov máme v poslednej dekáde mnoho. Na ďalšom obrázku uvádzame niektoré z nich (obr. 7.14).



Obr. 7.13: Percentuálne zastúpenie registrovaných zosuvov v rôznych stupňoch prognózneho zosuvného hazardu (Bednarik, 2007)



Obr. 7.14: Príklady priamej verifikácie prognózných máp

8. ROK 2010 – ROK ZOSUVOV NA SLOVENSKU

Svahové deformácie predstavujú jeden z najnebezpečnejších geodynamických procesov na Slovensku. Z hľadiska ich vzniku bol mimoriadnym predovšetkým rok 2010, keď extrémne zrážky počas mája a júna spôsobili vysoké nasýtenie svahových sedimentov vodou a vznik viac ako 570 nových svahových deformácií s plochou cca 293 ha. Z nich viac ako sto ohrozovalo životy, zdravie a majetok obyvateľov v postihnutých lokalitách, zvyšné zdevastovali poľnohospodársku a lesnú pôdu, životné prostredie a ľudské diela. V roku 2010 boli svahové deformácie také početné, že tento rok je geológmi považovaný za „rok zosuvov na Slovensku“.

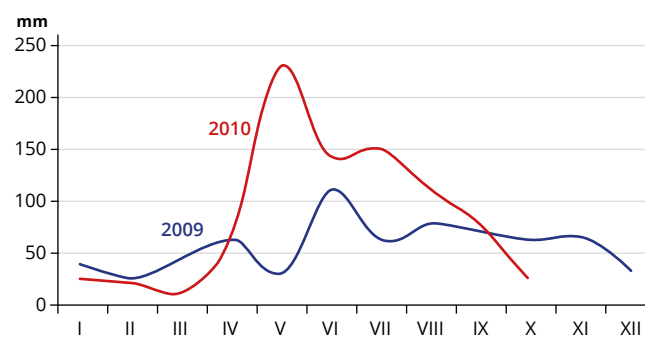
Najviac postihnutými oblasťami Slovenska boli najmä okresy Prešovského a Košického kraja: Prešov, Stará Ľubovňa, Stropkov, Kežmarok, Bardejov, Svidník, Košice-okolie, Košice-mesto, Michalovce, Trebišov, Rožňava a Spišská Nová Ves (Liščák a kol., 2010). Ojedinele boli zosuvy zaznamenané aj v iných okresoch.

Hlavnou príčinou vzniku mimoriadne veľkého počtu zosuvov boli predovšetkým dlhotrvajúce dažde počas mája a začiatkom júna 2010, 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.

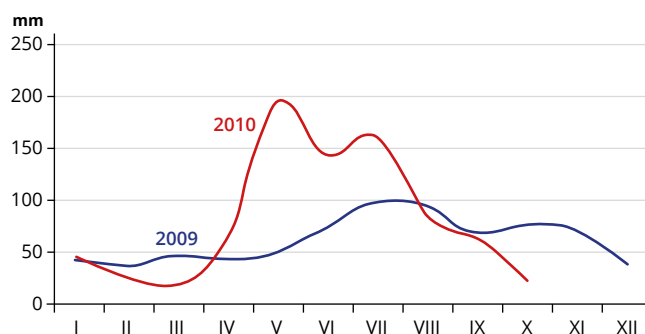
Fakt, že išlo o skutočne historické májové zrážky, potvrdzuje aj skutočnosť, že na takmer 400 zrážkomerných staniciach boli preknané doposiaľ zaznamenané rekordy mesačných úhrnov zrážok za mesiac máj. Problémom májových a júnových zrážok bola nielen ich značná výdatnosť a veľký priestorový rozsah opakujúci sa v hneď po sebe nasledujúcich vlnách, ale aj to, že zrážky zväčša vypadali v oblastiach,

ktoré boli už dostatočne nasýtené zrážkami z predošlých poveternostných situácií (Pecho a kol., 2010). Na grafoch č. 8.1 a 8.2 sú znázornené mesačné úhrny zrážok v zrážkomerných staniciach Prešov – planetárium a Chmiňany za roky 2009 a 2010. Na porovnanie uvádzame aj údaje z dlhodobého pozorovania za roky 1961 – 1980, kde dlhodobý priemerný ročný úhrn zrážok na stanici v Prešove bol 596 mm a za obdobie 1901 – 2002 bol 619 mm (Čepčková, 2003). Ročný úhrn zrážok na stanici Prešov za rok 2009 bol 731,1 mm a za rok 2010 (január až november) 819,6 mm. Na zrážkomernej stanici Chmiňany za rok 2009 bol 679,1 mm a za rok 2010 (január až november) 857,5 mm.

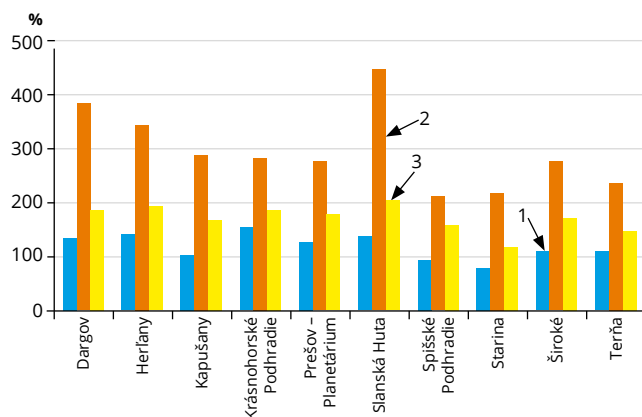
Za pozornosť stoja mesačné úhrny zrážok z oboch staníc (tab. 8.1 a 8.2), keď v máji predstavujú zrážkové úhrny niekoľkonásobok priemerných mesačných úhrnov za predchádzajúce roky. V mesiaci máj je to v Chmiňanoch 3,5-násobok a v Prešove 2,7-násobok priemerného mesačného úhrnu.



Graf 8.1: Grafické znázornenie mesačných úhrnov zrážok (mm) zo stanice Chmiňany za roky 2009 a 2010 (Tupý a kol., 2010)



Graf 8.2: Grafické znázornenie mesačných úhrnov zrážok (mm) zo stanice Prešov – planetárium za roky 2009 a 2010 (Tupý a kol., 2010)



Obr. 8.1: Percentuálny pomer medzi zrážkovými úhrnmi z roku 2010 a dlhodobým priemerom vo vybraných časových intervaloch. 1 – mesiace január až apríl, 2 – mesiac máj, 3 – mesiace január až jún (Liščák a kol., 2010)

Tab. 8.1: Priemerné úhrny zrážok (mm) zo stanice Chmiňany (Tupý a kol., 2010)

Mesiace	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
2000	25,8	38,5	37,9	46,9	93,6	78,7	128,9	63,3	52,1	4,2	32,3	30,8	633,0
2001	40,0	9,2	59,0	73,7	31,0	108,8	182,1	23,5	73,0	12,3	37,4	7,7	657,7
2002	2,5	9,5	9,0	24,1	84,2	73,5	202,0	71,0	44,6	69,4	12,5	19,4	621,7
2003	18,3	17,0	13,5	27,0	52,1	49,1	79,2	38,9	71,5	44,9	13,3	11,5	436,3
2004	8,9	46,2	10,2	33,4	108,2	81,3	215,4	76,5	18,4	50,0	49,4	5,9	703,8
2005	17,3	46,6	2,6	67,5	97,0	102,1	148,4	190,8	81,8	14,0	26,6	55,8	850,5
2006	8,6	17,3	45,0	49,7	77,5	157,9	28,7	146,7	4,0	19,8	18,9	5,8	579,9
2007	44,7	39,6	42,2	8,6	41,8	79,2	83,4	76,8	115,4	92,4	14,2	20,4	658,7
2008	23,9	5,4	42,1	35,6	32,1	70,8	224,2	66,4	39,7	47,2	17,7	43,3	648,4
2009	37,8	24,7	45,6	62,0	31,4	107,0	61,5	77,1	70,9	62,1	65,9	33,1	679,1
2010	25,0	21,9	11,6	64,3	228,1	141,9	150,2	111,3	79,0	24,2			857,5

Tab. 8.2: Priemerné úhrny zrážok (mm) zo stanice Prešov – planetárium (Tupý a kol., 2010)

Mesiace	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
2000	36,1	40,3	44,8	47,0	76,5	83,4	140,9	45,7	51,5	3,0	32,7	34,6	636,5
2001	45,5	12,8	59,0	66,3	20,9	93,1	156,1	21,8	69,6	17,0	46,8	10,7	619,6
2002	9,0	9,0	6,7	16,0	62,2	90,1	145,9	58,4	70,2	73,3	13,0	21,5	575,3
2003	29,2	28,0	13,2	33,1	87,6	42,0	97,0	58,5	65,0	53,2	19,3	13,9	540,0
2004	16,0	56,7	15,2	38,6	104,9	115,6	275,6	89,7	27,7	57,2	55,7	7,0	859,9
2005	31,6	30,2	6,3	53,4	96,4	90,3	162,3	206,7	87,0	11,5	21,5	54,1	851,3
2006	10,2	21,7	55,5	31,4	111,6	130,9	13,4	110,9	6,1	23,0	4,3	7,0	526,0
2007	44,3	39,3	31,2	11,7	48,4	83,9	109,6	61,8	135,2	76,8	21,4	25,4	689,0
2008	22,3	2,9	28,5	38,8	32,9	59,0	196,0	70,0	51,6	45,3	20,8	51,7	619,8
2009	42,1	36,8	47,2	42,7	49,1	73,3	97,2	93,4	67,2	76,2	68,5	37,4	731,1
2010	42,3	25,7	18,2	64,6	193,0	143,5	162,3	84,4	62,6	23,0			819,6

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 pôdy vodou po predchádzajúcich dažďoch oslabili svahy horninových masívov náchylných na zosúvanie. Toto oslabenie malo za následok vznik a vývoj početných zosuvov, ktoré spôsobili obrovské materiálne škody na majetku obyvateľov, miest a obcí, štátu a súkromných spoločností.

Okrem Nižnej Myšle, kde vznikol najhorší 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 stave permanentného ohrozenia bolo cca 400 pozemných stavieb.

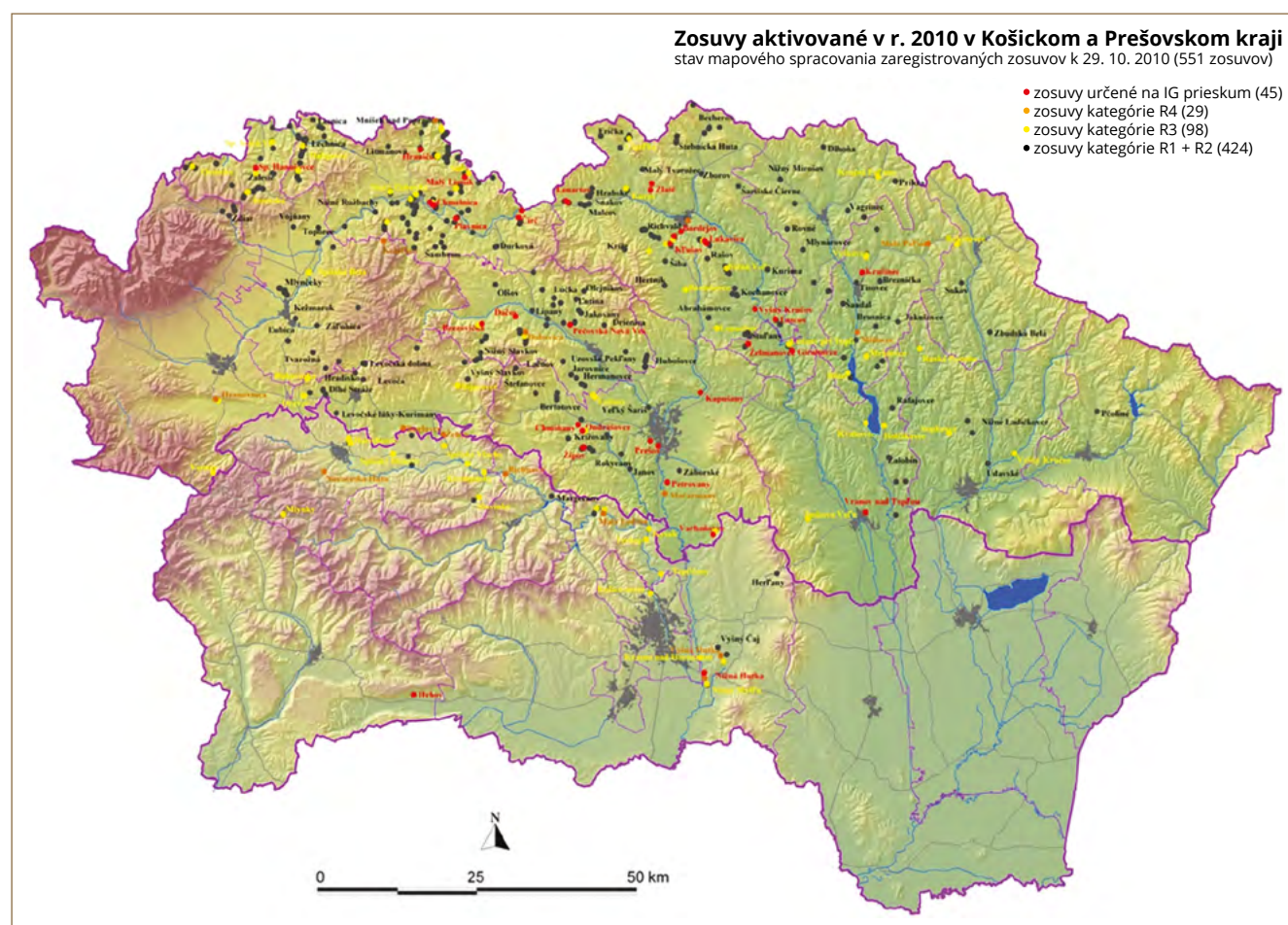
8.1 Registrácia svahových deformácií

Registráciu nových svahových deformácií zabezpečovalo MŽP SR prostredníctvom odborníkov zo

ŠGÚDŠ. Práve mimoriadna situácia v roku 2010 preverila pohotovosť a akcieschopnosť štátnej geologickej

služby a potvrdila jej význam pre štát a zároveň pre obyvateľov v postihnutých oblastiach. Registrácia svahových deformácií bola začatá hneď v júni 2010, keď desiatky obcí boli nútené vyhlásiť mimoriadne situácie a žiadali štát o pomoc. Veľkým prínosom k cieľenej (a nie chaotickej) registrácii svahových deformácií bola spolupráca MŽP SR s Ministerstvom vnútra SR, ktoré vďaka svojim obvodným úradom spolupracujúcim s postihnutými obcami poskytovalo ministerstvu denné hlásenia o vzniknutých zosuvoch a mimoriadnych udalostiach. Geológovia tak mohli byť okamžite nasmerovaní do postihnutých obcí, kde okrem samotnej registrácie vzniknutých zosuvov

mohli poskytovať obyvateľom cenné rady a odporúčania na svojpomocnú realizáciu okamžitých protihavarijných opatrení. Tie v mnohých prípadoch pomohli zmierniť následky svahových pohybov a znížiť škody na majetku, najmä na rodinných domoch. Registrácia bola financovaná a realizovaná prostredníctvom geologickej úlohy Registrácia, zhodnotenie a protihavarijné opatrenia na novovzniknutých deformáciách v roku 2010 v Prešovskom a Košickom kraji (Liščák a kol., 2010). Úloha bola ukončená záverečnou správou, ktorá na základe zostavenej databázy svahových deformácií odporučila najviac postihnuté lokality na vykonanie prieskumných prác a následnej sanácie.



Obr. 8.2: Mapa Košického a Prešovského kraja so zosuvmi aktivizovanými v roku 2010 (Liščák a kol., 2010)

8.2 Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov

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. v priebehu cca dvoch mesiacov, prostredníctvom geologickej úlohy Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov, vzniknutých

v roku 2010 (Jánová, Liščák, 2010). V rámci tohto projektu bolo riešených 58 zosuvov v 36 obciach, kde svahové deformácie najviac ohrozovali životy, zdravie a majetok obyvateľov. Realizácia prieskumných prác jednotlivých lokalít bola realizovaná v nasledujúcich obciach: Prešov-mesto, Petrovany, Chmiňany, Ondrašovce, Žipov, Varhaňovce, Čirč, Chmeľnica, Hraničné, Malý Lipník, Becherov, Lascov, Bardejovská Zábava,

Kľušovská Zábava, Lenártov, Vyšný Kručov, Zlaté, Lukov, Brezovička, Ďačov, Pečovská Nová Ves, Krušinec, Lukavica, Košice-mesto – Dargovských hrdinov, Krásna nad Hornádom, Košice-okolie Družstevná pri Hornáde, Vyšná Hutka, Nižná Hutka, Hrhov, Vyšný Čaj, Šenkvice, Rudník, Giraltovce, Spišské Hanušovce, Plavnica a Nová Baňa.

Hlavným cieľom geologickej úlohy v jednotlivých častiach prieskumu 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 vybraných zosuvov, realizácia okamžitých protihavarijných opatrení v kritických miestach a na ideový návrh sanácie geologického prostredia porušených území.

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

Vzhľadom na závažnosť situácie bola najväčšia pozornosť venovaná zosuvu v obci Nižná Myšľa. Dňa 4. 6. 2010 v nočných hodinách došlo v tejto obci k vzniku katastrofálneho zosuvu s ničivými následkami, ktoré ohrozili životy obyvateľov a spôsobili závažné majetkové škody. Zosuv má rozmery cca 1 500 × 500 m a stále nie je stabilizovaný. Poškodil 40 domov, z ktorých 16 malo úplne narušenú statiku a stali sa neobývatelnými (obr. 8.3, 8.5, 8.6). Porušené boli tiež inžinierske siete – vodovod, plynovod, kanalizácia a elektrická sieť (obr. 8.4), čo spôsobilo vylúčenie obyvateľnosti vo viac ako 50 domoch. Evakuovaných bolo 144 osôb.

Tab. 8.3: Poškodené a ohrozené komunikácie v Košickom a Prešovskom kraji (Liščák a kol., 2010)

		Cesty I. triedy [m]		Cesty II. a III. triedy a miestne komunikácie [m]		Železnice [m]	
	okres	Porušené	Ohrozené	Porušené	Ohrozené	Porušené	Ohrozené
801	Gelnica	0	0	48	53	0	45
806	Košice-okolie	0	0	477	2 234	0	78
802	Košice I	0	0	0	52	0	0
808	Rožňava	0	0	0	0	0	0
810	Spišská Nová Ves	0	0	111	494	0	23
kraj	Košice spolu	0	0	636	2 833	0	146
	okres	Porušené	Ohrozené	Porušené	Ohrozené	Porušené	Ohrozené
701	Bardejov	0	0	237	2 074	0	55
702	Humenné	0	0	101	997	0	0
703	Kežmarok	0	0	110	1 072	0	67
704	Levoča	0	0	185	436	0	0
705	Medzilaborce	0	0	25	44	0	0
706	Poprad	27	138	33	92	0	0
707	Prešov	0	61	992	2 733	0	30
708	Sabinov	0	0	297	1 921	0	0
709	Snina	0	0	14	14	0	0
710	Stará Ľubovňa	0	97	578	1 532	0	66
711	Stropkov	0	0	527	2 448	0	0
712	Svidník	0	0	270	1 074	0	0
713	Vranov nad Topľou	0	0	200	280	0	0
kraj	Prešov spolu	27	296	3 569	14 717	0	218



Obr. 8.3: Zosuvom porušený rodinný dom v Nižnej Myšli (foto: V. Jánová)



Obr. 8.4: Zosuvom porušená miestna komunikácia a elektrické vedenie (foto: V. Jánová)



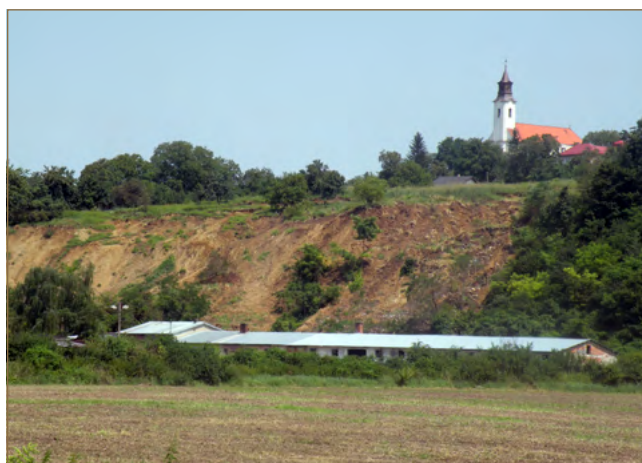
Obr. 8.5: Odľučnou hranou zosuvu porušené schody do kostola (foto: V. Jánová)



Obr. 8.6: Rodinné domy s porušenou statikou museli byť zbúrané (foto: K. Házyová)



Obr. 8.7: Budovanie kontajnerových bytov pre evakuovaných obyvateľov (foto: V. Jánová)



Obr. 8.8: Čelo zosuvu v Nižnej Myšli (foto: V. Jánová)

Núdzové ubytovanie evakuovaných obyvateľov bolo riešené vybudovaním sídliska s kontajnerovými bytmi (obr. 8.7). MŽP SR predložilo k tejto mimoriadnej situácii správu na rokovanie vlády Slovenskej republiky, ktorá na svojom zasadnutí dňa 9. júna 2010 prijala uznesenie č. 408/2010 k správe o katastrofálnom zosuve

v obci Nižná Myšľa, na základe ktorého boli z rezervy predsedníčky vlády (I. Radičová) vyčlenené finančné prostriedky na inžinierskogeologický prieskum. Zároveň bola ministrom financií uložená úloha zabezpečiť finančné prostriedky na sanáciu a ministrom životného prostredia úloha zabezpečiť realizáciu potrebných prác.

Inžinierskogeologický prieskum, ktorého výsledkom bol aj ideový návrh sanácie, bol ukončený v decembri 2010 (Tometz a kol., 2010).

Vzhľadom na veľmi nepriaznivé geologické pomery (vysokoplastické a napúčavé íly), rozsah a charakter zosuvu (obrovská plocha, hĺbka hlavnej šmykovej plochy až 14 m pod povrchom terénu, prítomnosť viacerých výverov a horninových krýh rozmerov desiatok metrov tvorených tufmi a tufitmi) (obr. 8.8)

boli na zabezpečenie sanácie nevyhnutné desiatky 100 – 150 m dlhých subhorizontálnych odvodňovacích vrtov (niekoľko vejárov rozmiestnených po celej obci), pilótové steny (časť z nich kotvených), zárubné múry, vybudovanie komplexného systému povrchového odvodnenia a obnova inžinierskych sietí. Za účelom monitorovania bolo potrebné budovať monitorovaciu sieť. Náklady na uvedené práce boli vyčíslené na cca 5 mil. eur.

8.3. Sanácia havarijných zosuvov

Na základe výsledkov prieskumných prác z roku 2010, ktoré obsahujú aj návrhy sanačných opatrení, sekcia geológie a prírodných zdrojov MŽP SR po konzultácii s viacerými odborníkmi vyčísli celkové náklady na sanáciu geologického prostredia na cca 19 mil. eur v 20 prioritných lokalitách (z toho 5 mil. eur sa počítalo na Nižnú Myšľu). Vzhľadom na nedostatok finančných prostriedkov pridelených zo štátneho rozpočtu mohlo MŽP SR v rokoch 2011 – 2012 zabezpečiť len prvú etapu sanácie vo vybraných lokalitách, kde bolo identifikované najväčšie riziko poškodenia rodinných domov. Sanáciu geologického prostredia bolo preto potrebné vykonať etapovite a práce rozložiť na viac rokov.

Každý z riešených havarijných zosuvov si vyžadoval individuálny prístup k riešeniu sanácie, ktorý zohľadňoval rozdielne geologické, hydrogeologické a geomorfologické podmienky zosuvného územia. Prvá etapa sanačných prác, ktorá bola ukončená v marci 2012, bola zameraná na zamedzenie vzniku ďalších svahových deformácií na porušených svahoch, na odstránenie príčin a následkov havarijných zosuvov, prípadne na zníženie negatívnych účinkov faktorov svahových pohybov. Sanácia pozostávala zo súboru geologických, stavebných a iných technických prác zameraných na zabezpečenie stabilizácie porušeného územia. Súčasťou riešenia geologických úloh bolo monitorovanie zosuvných území počas sanácie. Na sanovanom území bola v nevyhnutnom rozsahu obnovená základná infraštruktúra územia porušená svahovými deformáciami.

Finančné prostriedky na sanáciu boli vyčlenené zo štátneho rozpočtu a viacerým postihnutým obciam boli poskytnuté aj prostredníctvom Environmentálneho fondu. Sanačné práce boli vykonané v desiatkach obcí, na ilustráciu uvádzame niektoré z nich.

Šenkvice – aktívna svahová deformácia vznikla v júni 2010 po intenzívnych dlhotrvajúcich dažďoch. Postupne v priebehu 3 týždňov boli svahovými pohybmi výrazne ohrozené dva rodinné domy na Ružovej ulici, ďalej bola porušená záhrada, zničené stromy a oplotenie medzi susediacimi pozemkami v dĺžke cca

35 m. V tesnej blízkosti pri rodinných domoch vznikla súvislá strmá odlučná hrana dĺžky 40 m a výšky 3 m, s morfológicky výraznými poklesnutými stupňami terénu o 2 – 3 m. Nad odlučnou hranou, v tesnej blízkosti rodinných domov, vznikli otvorené trhliny a zátrhy, ktoré svedčili o retrográdnom rozširovaní zosuvu v smere proti svahu. Výrazné bolo aj bočné ohraničenie zosuvu s poklesom terénu cca 2 m. Šmyková plocha, rotačno-planárneho tvaru, bola overená v hĺbke 4,0 – 5,5 m, na rozhraní ílovitých a piesčitých neogénnych zemín. Geologická stavba tu tvorí priaznivú štruktúru pre vznik svahovej deformácie. Územie je budované neogénnym súvrstvom, v ktorom sa striedajú tenké polohy piesčitých zemín až pieskov s ílovitými vysoko plastickými zeminami, a sú prekryté kvartérnymi jemnozrnnými zeminami hrúbky 2 – 3 m. Jemnozrnné zeminy v letných mesiacoch rýchlo vysychajú a zmrašťujú sa, tvoria sa v nich otvorené trhliny, ktoré umožňujú vsakovanie zrážkových vôd. Infiltrácia zrážkovej vody má v porušenom území osobitne priaznivé podmienky, nakoľko územie bolo porušené systémom hlboko siahajúcich trhlín. Špecifickou črtou stavby územia je prítomnosť priepustnej piesčitej polohy v hornej časti zosuvného svahu, ktorá spôsobuje neustále nasycovanie zosuvných zemín vodou. V dôsledku vrstevnatej stavby horninového prostredia sa vytvára v čase zvýšených atmosférických zrážok viac horizontov podzemnej vody. V rámci prvej etapy sanačných opatrení bol v odlučnej časti zosuvu (obr. 8.9) vybudovaný kotvený gabiónový múr výšky 3,5 m, šírky 1,0 m a dĺžky 20 m kotvený sústavou zvislých a šikmých mikropilót (obr. 8.10). Súčasťou sanačných prác bolo vybudovanie drenáže, vsakovacej jamy a odvodňovacieho potrubia oporného múru, ako aj vybudovanie ďalších odvodňovacích rigolov, zhutnenie povrchu zosuvného telesa a jeho zatrávnenie (Žabková a kol., 2012).

V rámci druhej etapy sanačných prác bol vybudovaný druhý gabiónový múr, kombinovaný so železobetónovým vencom dĺžky 18 m, založený na kotvených mikropilótach. Múr predstavuje pokračovanie gabiónového múra z prvej etapy sanácie a zabezpečuje

stabilitu ďalších domov na Ružovej ulici. Zároveň bolo zabezpečené odvedenie podzemných a zrážkových vôd (Fekeč a kol., 2014). Tretia etapa sanácie geologického prostredia bola zameraná na doplnenie sanačných opatrení v telese zosuvu (transportačnej a akumuláčnej oblasti). Na dosiahnutie stabilizácie porušeného svahu bolo realizované drenážno-stabilizačné rebro (obr. 8.11) v celkovej dĺžke 133,08 m s hĺbkou od 1,45 do 6,0 m. V uzlových bodoch drenážnych vetiev sú osadené kontrolné šachty a voda zachytená drenážno-stabilizačným rebrom je vyvedená a napojená na potrubie zaústené do Stoličného potoka (Fekeč a kol., 2015).

Nižná Hutka – Havarijný zosuv je súčasťou rozsiahleho zosuvného územia na ľavom svahu údolia rieky Torysy. V dôsledku nepriaznivých klimatických pomerov v zimnom polroku (september 2009 – marec 2010) a dlhodobých a výdatných zrážok majúci charakter prívalových zrážkových anomálií v mesiacoch apríl až júl 2010 došlo k vzniku a aktivizácii svahových deformácií – početných a rozsiahlych častí potenciálnych (dočasne ukludnených) starších zosuvov (obr. 8.12). Výsledkom bol vznik zosuvu svahu za novostavbou rodinného domu a množstva porúch na objektoch starších rodinných domov, malých zárubných múrov vybudovaných pri terénnych úpravách, poškodenie miestnej komunikácie prakticky v intraviláne celej obce.

V skúmanom území vrtmi zistená hrúbka deluviálnych sedimentov je 11 až 13 m. Sú reprezentované



Obr. 8.9: Odľučná hrana zosuvu v obci Šenkvice (foto: V. Jánová)



Obr. 8.10: Zosuv v Šenkviach po ukončení sanácie (foto: M. Bednarik)

premiesenými – chaoticky priestorovo usporiadanými polohami prevažne jemnozrnných zemín charakteru ílu so strednou, vysokou a veľmi vysokou plasticitou. V ílovitých polohách je veľmi častá prímies piesčitého ílu a ílovitého jemnozrnného piesku, tufitických materiálov a vrstvičiek tufitických pieskov sivej až svetlosivej farby. V podloží deluviálnych sedimentov sa vyskytujú sedimenty neogénu. Tvoria ho íly s nízkou až veľmi vysokou plasticitou, silt s nízkou a vysokou plasticitou, s polohami ílovitých jemnozrnných pieskov a tufov – tufitov. Podzemná voda má mierne napätú až napätú hladinu. Šmykové plochy sú na rozhraní kvartérnych a neogénnych sedimentov v hĺbke 8,0 až 13,0 m ojedinele aj hlbšie.

Sanačné práce boli zamerané na povrchové a podpovrchové odvodnenie celého územia obce realizáciou 200 m subhorizontálnych odvodňovacích vrtov, 500 m odvodňovacích rigolov a 700 m drenážnych rýh.

Petrovany – Svahová deformácia vznikla aktivizáciou časti rozsiahleho potenciálneho zosuvu. Zosuv má v smere V – Z (v smere spádnice) dĺžku 150 – 160 m, šírku približne 70 – 130 m. Plocha aktívneho zosuvu dosahovala 3 500 m². Zosuvné teleso malo zreteľné morfológické formy – výraznú odlučnú hranu s dĺžkou 150 m a výškou 0,5 až 1 m. V nižších polohách svahu boli prítomné mnohé ďalšie čiastkové odtrhnutia, predovšetkým priamo nad domom č. 324. Tie dosahovali výšku 1,5 m a obnažovali najvrchnejšiu časť šmykovej plochy. Transportačná časť bola mierne zvlnená a miestami bola silne zamokrená. Aktívna šmyková plocha rotačno-planárneho charakteru sa nachádzala v hĺbke 2,5 až 3,5 m. Akumulačná časť zosuvu bola výrazná a takmer sa dotýkala rodinného domu (obr. 8.13). Zosuv vznikol v dôsledku priaznivých geologických pomerov (neogénne ílovité a piesčité súvrstvia) a extrémnych zrážok v máji a júni 2010, ktoré spôsobili nasýtenie a prevlhčenie



Obr. 8.11: Výstavba drenážno-stabilizačného rebra na zosuve v Šenkviach (Fekeč a kol., 2015)

deluviálnych sedimentov, zvýšenie napätosti vody v póroch a hydrostatického tlaku a následne zmenu fyzikálno-mechanických vlastností zemín.

Sanačné práce boli zamerané hlavne na odvodnenie zosuvného svahu. Vybudované boli tri subhorizontálne odvodňovacie vrty v celkovej dĺžke 300 m s vyústením do záchytnej šachty a odvedením vody povrchovým rigolom v dĺžke 30 m. Čelo zosuvu bolo zabezpečené gabiónovým múrom (obr. 8.14)

Čadca – Stabilizácia aktívneho zosuvu v miestnej časti Rieka s čelom v kontakte s miestnym tokom, kde hrozilo jeho prehradenie (obr. 8.15), bola zabezpečená sústavou predpätých tyčových kotiev so železobetónovým roštom v spodnej časti zosuvu cca 2 m od miestneho toku (obr. 8.16), štyrmi subhorizontálnymi vrtmi a kamenným rebrom s drenážou, ktorý je vybudovaný v strede zosuvu.

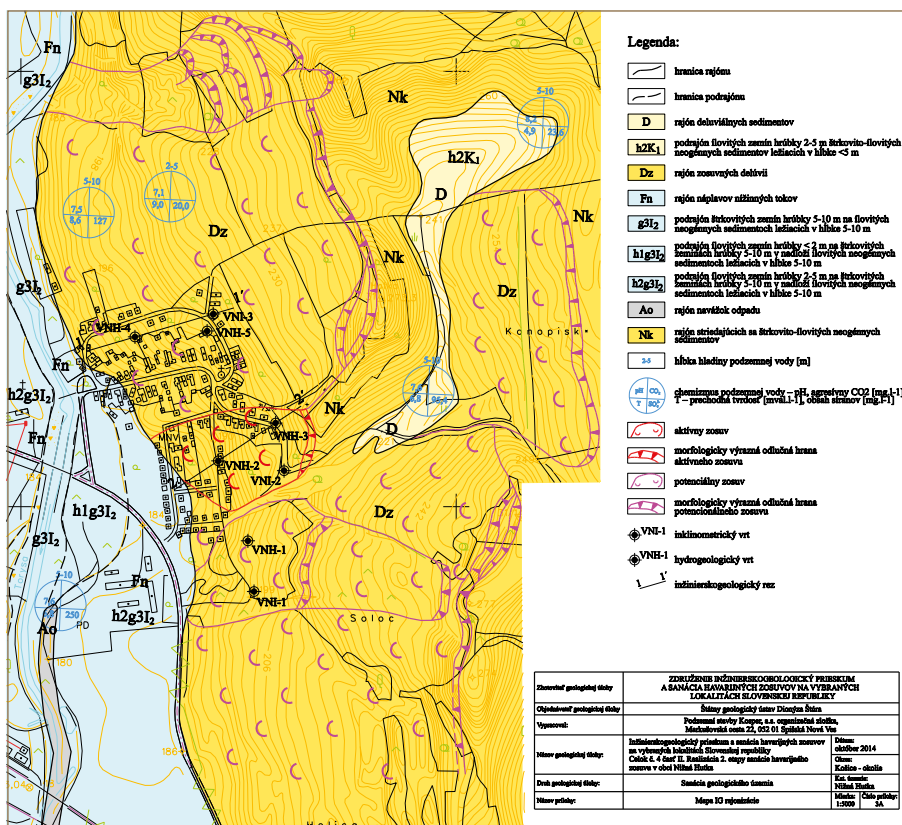
Krupina – V meste Krupina v lokalite Nad Kotlom došlo v roku 2010 a najmä na prelome rokov 2010/2011 k výraznej aktivizácii svahového pohybu, ktorý predstavoval priame i nepriame ohrozenie stavieb, majetku, či života obyvateľov. Svahová deformácia tejto lokality pozostáva z potenciálneho zosuvného územia o ploche 36 040 m² tiahnuceho sa vo svahu od alúvia Krupinice až po lom s miestnym názvom Baňa a z aktívneho zosuvu vyvinutého v päte svahu (akumulačnej časti potenciálneho zosuvu), na rozhraní svahu a aluviálnej nivy Krupinice o výmere 415 m² (obr. 8.17 a 8.18). Príčinou vzniku týchto aktívnych foriem zosúvania boli nadmerné a dlhotrvajúce zrážky a dotovanie územia odvádzanou povrchovou

zrážkovou vodou, pri ktorých došlo k vysokému nasýteniu zemín vodou a zníženiu ich šmykových pevností v dôsledku zmien konzistencie. K vzniku aktívneho zosuvu prispel aj ďalší antropogénny faktor, a to priťaženie hrany svahu navážkami, ako aj vybudovaným oplotením s betónovým múrikom. Vznik zosuvu bol podmienený priaznivými inžinierskogeologickými pomermi – svahmi budovanými deluviálnymi vysokoplastickými ílmi, existenciou starších zosuvných delúvií, strmostou svahov a niektorými nevhodnými antropogénnymi zásahmi do geologického prostredia, ako je priťaženie hrany svahu. K aktivizácii zosuvu mohlo prispieť tiež nevhodné prevedenie zachytených povrchových vôd zo širšieho územia v oblasti opustenej lomu do predmetného geologického prostredia.

Prieskumné práce a okamžité protihavarijné opatrenia boli zrealizované v roku 2011 (Liščák, a kol., 2011). Cieľom okamžitých protihavarijných opatrení bolo vybudovanie dvoch drenážno-stabilizačných rebier (obr. 8.19 a 8.20). V rámci následnej sanácie bol vybudovaný gabiónový oporný múr v čele zosuvu s dĺžkou 30 m, výškou 2 až 3 m (obr. 8.21). Jeho súčasťou bolo aj povrchové a podpovrchové odvedenie zrážkových a podzemných vôd.

Kapušany – V júni 2010 sa v lokalite Pod hradom zaktivoval plošný zosuv o rozmeroch cca 540 × 150 m, ktorého odľučná oblasť na niektorých miestach zasahuje až takmer k andezitom Kapušianskeho hradného vrchu, ležiacim na hutianskom súvrství vnútrokarpatského paleogénu (obr. 8.22). Zosuv poškodil 20 rodinných domov, 7 z nich bolo neobývatelných

(obr. 8.23, 8.24). Vrchná odlučná hrana zosuvu je na niektorých miestach veľmi výrazná a pokles terénu tu dosahuje 0,5 až 1,0 m, pričom šírka vzniknutej trhliny dosahuje na niektorých miestach až 0,5 m. Bočné hrany zosuvu sú na mnohých miestach zastreté vegetáciou a potlačené plasticitou deluviálnych sedimentov. Výrazne sa prejavujú hlavne na cestných telesách, ale na mnohých miestach sú viditeľné aj vo voľnom teréne.



Obr. 8.12: Mapa svahových deformácií v obci Nižná Hutka (Petercová in Fekeč a kol., 2014)



Obr. 8.13: Čelo aktívneho zosuvu v Petrovanoch zasahujúce k rodinnému domu (foto: V. Jánová)



Obr. 8.14: Gabiónový múr vybudovaný v rámci sanačných prác v obci Petrovany (foto: V. Jánová)



Obr. 8.15: Čelo zosuvu Čadca – Rieka zasahujúce do vodného toku (foto: M. Novotný)



Obr. 8.16: Kotvený železobetónový rošt zabezpečujúci čelo zosuvu v Čadci (foto: M. Novotný)



Obr. 8.17: Zosuv v meste Krupina v lokalite Nad Kotlom (foto: K. Házyová)



Obr. 8.18: Zosuvom porušený svah v meste Krupina (foto: V. Jánová)



Obr. 8.19: Budovanie drenážno-stabilizačného rebra na zosuve v Krupine (foto: P. Liščák, T. Bvoc)



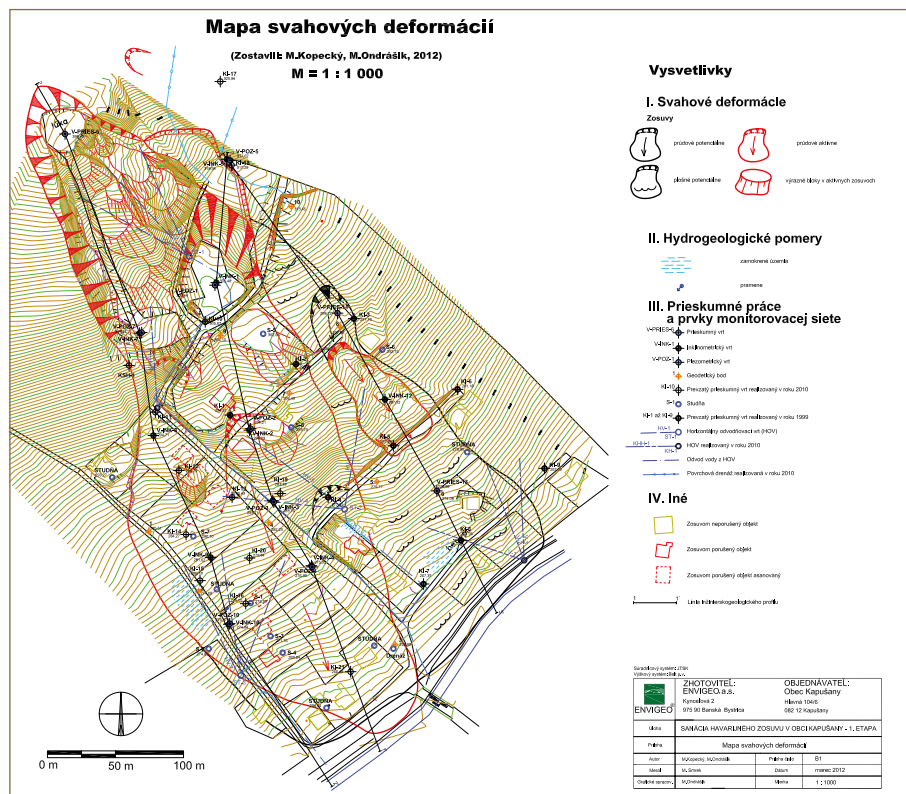
Obr. 8.20: Schéma umiestnenia stabilizačno-drenážnych rebier v lokalite Krupina (Liščák a kol., 2011)



Obr. 8.21: Zosuv po ukončení sanačných prác (foto: K. Házyová)

Akumulačná oblasť zosuvu je nevýrazná, pozorovateľná je iba v juhozápadnej časti územia pri cestnom moste cez rieku Sekčov, kde došlo dokonca k miernemu porušeniu mostnej konštrukcie (trhliny do veľkosti 2 – 5 mm). Mierne deformácie v tejto akumuláčnej časti zosuvu sú viditeľné aj na asfalte cestného telesa (obr. 8.25). V tejto časti akumuláčnej časti zosuvu zasahuje až do koryta rieky Sekčov.

V rámci rozsiahleho plošného zosuvu sa aktivovalo viacero menších plošných a prúdových zosuvov. Z nich najväčší sa vyvinul v juhozápadnej časti v oblasti starej zástavby na ulici Pod hradom. Odľučná oblasť tohto čiastkového zosuvu prebieha tesne nad posledným rodinným domom, pričom pokles územia tu predstavuje cca 0,5 m. Hlavná šmyková plocha v tomto zosuve prebieha v hĺbke viac ako 10 m. Dĺžkové šmykové plochy boli identifikované v hĺbke cca 3 – 4 m, pretože v tejto hĺbke boli zaznamenané najväčšie posuny betónových skruží existujúcich studní. Zosuv teda postihol hlavne plastické deluviálne sedimenty – íly s rôznym obsahom klastických úlomkov andezitov a spôsobil ich poprehýbanie a čiastočné potrhávanie (Grech, 2010).



Obr. 8.22: Mapa svahových deformácií v lokalite v Kapušanoch – Pod hradom (Kopecký, Ondrášik in Laffers a kol., 2012)



Obr. 8.23: Vľavo zosuvom poškodený rodinný dom (foto: V. Jánová), vpravo postupná asanácia toho istého objektu (foto: P. Gombos)



Obr. 8.24: Rodinné domy, ktoré museli byť asanované v dôsledku aktívneho zosuvu v Kapušanoch (foto: V. Jánová, K. Házyová)



Obr. 8.25: Porušenie násypu a vozovky prístupovej cesty zosuvom v Kapušanoch (foto: V. Jánová)



Obr. 8.26: Vrtanie subhorizontálnych odvodňovacích vrtov v Kapušanoch (foto: F. Lafférs)

Na geologickej stavbe územia sa podieľajú horniny paleogénu, neogénu a kvartéru. Podložné paleogénne horniny eocénného veku budované ílovcami, prachovcami a pieskovecami boli postihnuté sarmatským vulkanizmom. Paleogénne súvrstvie bolo porušené, polámané, vrstvy boli vztýčené, čím dochádzalo k rýchlejšiemu zvetrávaniu masívu a vznikli podmienky na prestup atmosférických zrážok do horninového prostredia. Územie bolo v minulosti niekoľkokrát pretvorené svahovými poruchami, čomu nasvedčujú porušené zóny (šmykové pásma) zdokumentované i v podložných paleogénnych horninách. Neogénne horniny sú reprezentované andezitovými vulkanitmi, ktorých telesá tvoria výrazné morfológické vyvýšeniny, lebo sú odolnejšie voči zvetrávaniu ako paleogénne ílovce. Kvartér je zastúpený deluviálnymi, fluviálnymi a antropogénnymi uloženinami. Hrúbka zosuvných delúvií je od 4,5 do 22,1 m. Uvedené zosuvné územie bolo v geologickej minulosti určite viackrát aktivizované, čo je zrejmé aj zo zistenia viacerých úrovní šmykových plôch. Aktivizačné faktory v minulosti boli: erózna činnosť rieky Sekčov a klimatické extrémny vyvolávajúce zvýšenie hydrostatického tlaku v zosuvnom telese. Najvýznamnejším faktorom (príčinou) aktivizácie svahových pohybov v roku 2010 boli hlavne klimatické



Obr. 8.27: Budovanie drenážno-stabilizačného rebra v roku 2019 na zosuve Kapušany (foto: P. Tupý)

pomery – celoplošné (na celom území Slovenska) zrážkové anomálie (Lafférs a kol., 2012).

Prvá etapa sanácie realizovaná v roku 2012 bola zameraná na vybudovanie subhorizontálnych odvodňovacích vrtov z rôznych úrovní terénu, z troch stanovišť po troch vrtoch (9 × 90 m, spolu 810 bm) s cieľom znížiť hladinu podzemnej vody. Vybudované



Obr. 8.28: Pohľad na sanovaný svah zosuvu v Kapušanoch, kde bola pôvodne plánovaná individuálna bytová výstavba (foto: V. Jánová)

tiež boli odvodňovacie šachty na zachytenie vôd zo subhorizontálnych vrtov a povrchové rigoly na odvedenie zachytených vôd až do povrchového toku.

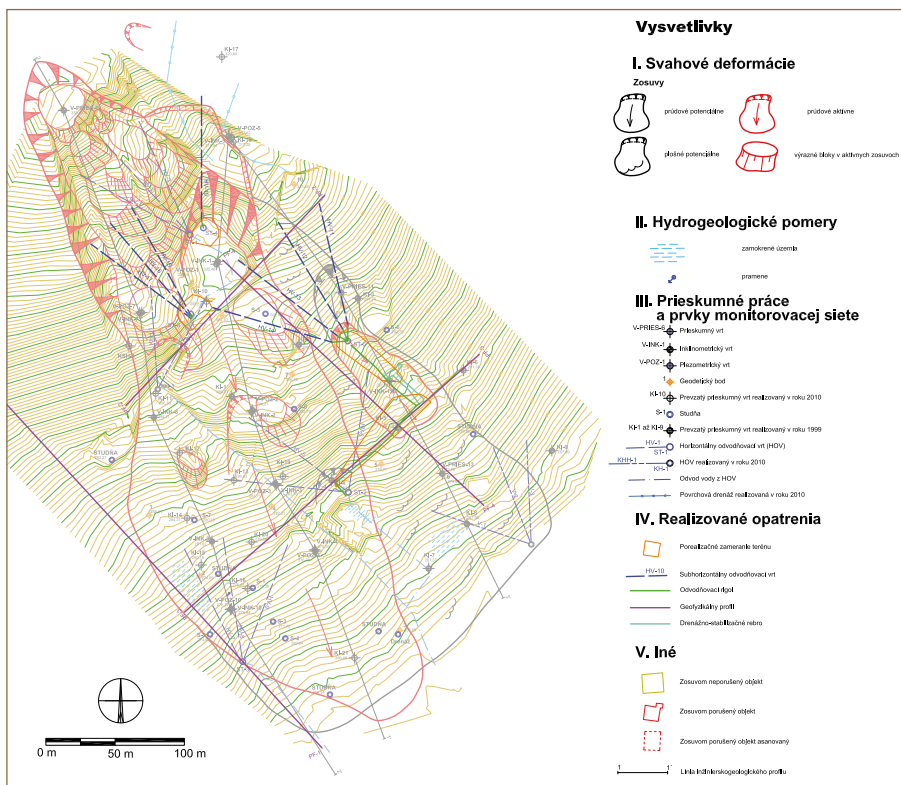
Druhá etapa sanácie realizovaná v roku 2014 pokračovala v odvodňovaní územia prostredníctvom ďalších subhorizontálnych vrtov s metrážou 720 bm (obr. 8.26), odvodňovacích rigolov a bolo vybudované drenážno-stabilizačné rebro s dĺžkou 43 m a hĺbkou až 5,5 m (obr. 8.27).

Tretia etapa sanácie bola realizovaná v roku 2019 a bola financovaná z OP KŽP. V rámci tejto etapy boli vyvŕtané tri subhorizontálne odvodňovacie vrty s metrážou 340 bm na miestach, kde podzemná voda

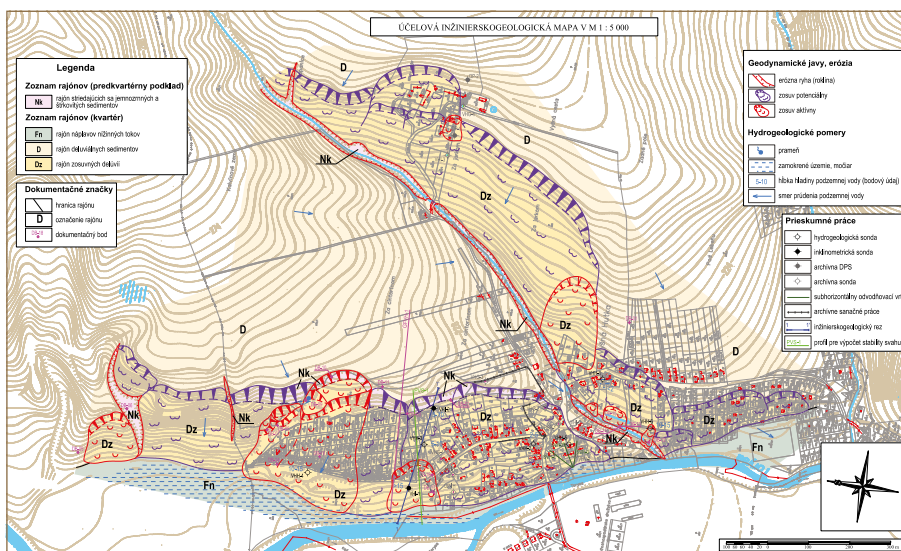
permanentne zhoršovala stabilné pomery. Vybudované bolo ďalšie drenážno-stabilizačné rebro, spevnené a nespevnené rigoly, vykonané bolo utesnenie trhlín a úpravy svahu.

Napriek vyššie uvedeným trom etapám sanácie je zosuvný svah veľmi citlivý na akékoľvek ľudské zásahy (obr. 8.28) a je nevhodný na individuálnu bytovú výstavbu, ktorá tu bola pôvodne plánovaná. Svah je monitorovaný pomerne hustou sieťou monitorovacích objektov najnovšie doplnenou o 3 kútové odražače, monitorujúce zosuvné územie vďaka družicovej technológii InSAR (Ondrejka a kol., 2020). Mapa realizovaných sanačných opatrení je na obr. 8.29.

Vyšná Hutka – Katastrálne územie obce Vyšná Hutka a jej širšie okolie je porušené plošne rozsiahlymi svahovými deformáciami typu zosúvania, pričom dané územie je pokračovaním rozsiahlych zosuvov na západných svahoch Toryskej pahorkatiny od obce Nižná Myšľa, cez Nižnú a Vyšnú Hutku s pokračovaním v smere na Košickú Polianku (obr. 8.30)



Obr. 8.29: Mapa realizovaných sanačných opatrení v roku 2014 (Lafférs a kol., 2014)

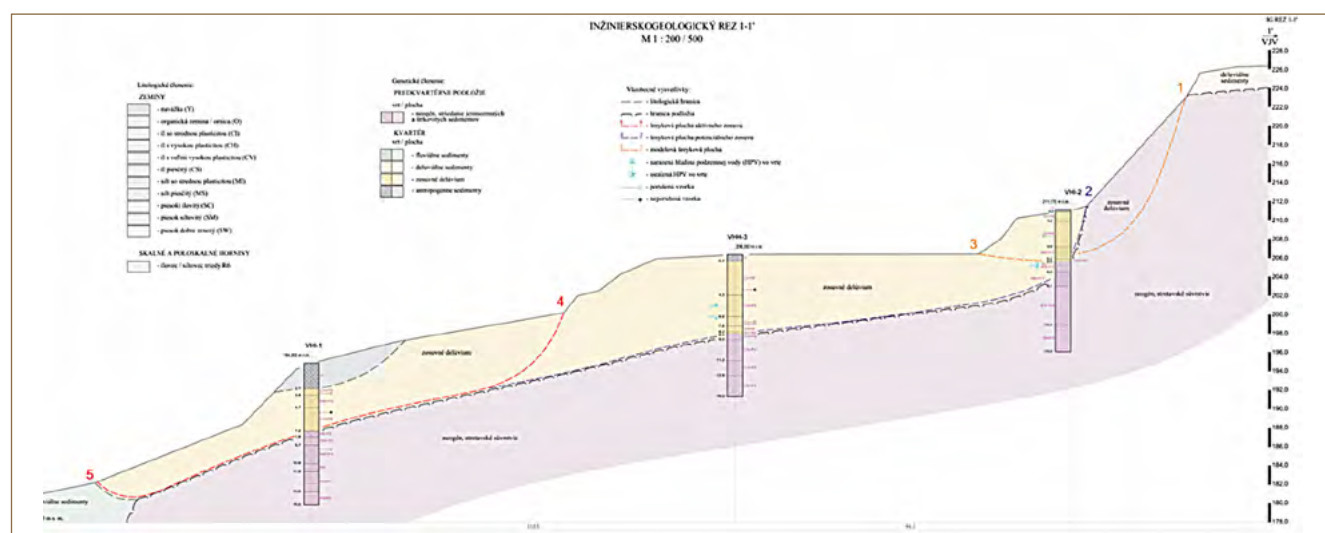


Obr. 8.30: Účelová inžiniersko-geologická mapa zosuvného územia vo Vyšnej Hutke (Fekeč a kol., 2014)

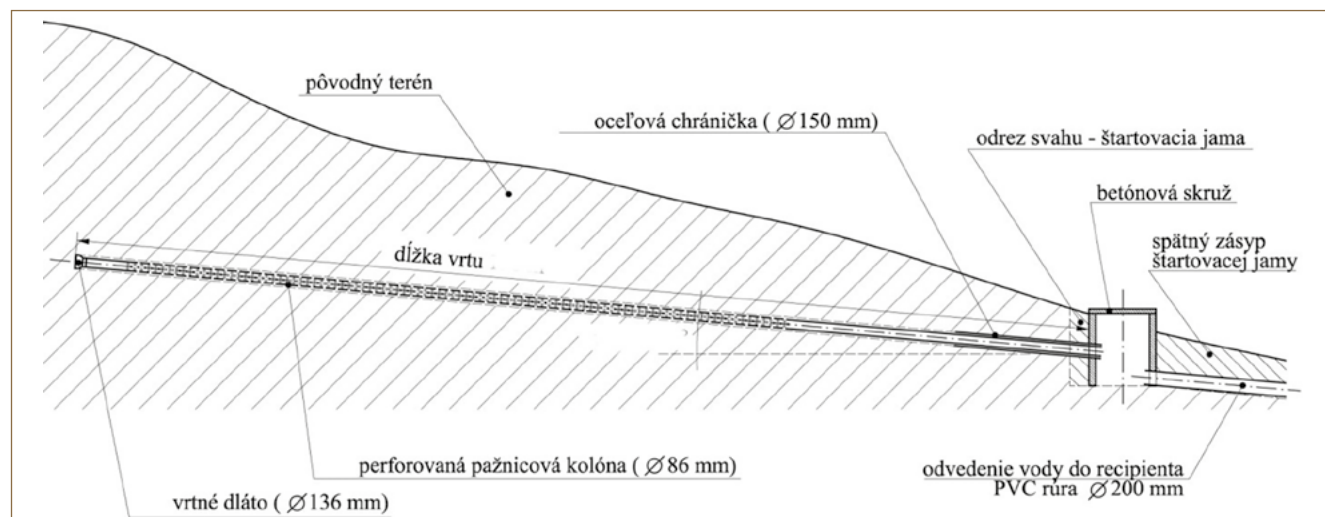
Odľučné oblasti plošných zosuvov miestami zasahujú až po hrebeňovú časť kotlinovej pahorkatiny, ich akumulčná časť zasahuje až po okraj aluviálnej nivy Torysy, resp. v okrajovej časti prekrýva fluvialne náplavy. Povrch zosuvného územia je nevýrazne zvlnený (stupňovitý), typické ostré zosuvné morfológické prejavy sú miestami zastreté plošnou eróziou, poľnohospodárskou a stavebnou činnosťou. Zosuv, ktorý vznikol v dôsledku nepriaznivých klimatických pomerov, najmä výdatných zrážkových anomálií a povodní v mesiacoch máj a jún 2010, poškodil 2 a ohrozil 14 rodinných domov. Rotačno-planárne šmykové plochy boli identifikované na rozhraní kvartérnych a neogénnych sedimentov v hĺbke 9,0 – 14,0 m p. t. Prvotnou príčinou a hlavným faktorom vzniku svahových deformácií v lokalite Vyšná Hutka bola erózia päty svahu vodným tokom Torysa za spolupôsobenia vplyvu podzemnej vody v masíve zosuvného svahu. Územie je budované neogénnym subhorizontálne uloženým súvrstvom ílov, pieskov a štrkov s polohami

tufov a tufitov, miestami s plytkým pokryvom kvartérnych sedimentov. Mnohonásobné striedanie vrstiev s rozdielnymi pevnostnými vlastnosťami, navyše lokálne zvodnenými, vytvára priaznivú štruktúru na vznik a rozvoj svahových pohybov. Veľmi nízkou šmykovou pevnosťou sa vyznačujú tufitické jemnozrnné zeminy s obsahom minerálov skupiny montmorillonitu. Tieto v súvislejších polohách najčastejšie vytvárajú aj predisponované šmykové plochy (obr. 8.31). Časté horizontálne a vertikálne striedanie ílov, pieskov a štrkov nevytvára priaznivé podmienky vzniku významnejších akumulácií podzemnej vody. Vznikajú izolované zvodnené horizonty, často s niekoľkými zvodňami pod sebou s rôzne napätou hladinou podzemnej vody.

Príčinou epizodickej reaktivizácie svahového pohybu sú anomálie atmosférických zrážok. Ich vsak vzhľadom na morfológickú tvárnosť a geologickú stavbu územia je obmedzený. Pre napájanie zvodní sú významné zrážky malej intenzity s dlhým trvaním



Obr. 8.31: Inžinierskogeologický rez zosuvom vo Vyšnej Hutke (Fekeč a kol., 2014)



Obr. 8.32: Schematický rez subhorizontálnym odvodňovacím vrtom (Fekeč a kol., 2014)

a snehová pokrývka. K aktivácii svahového pohybu prispievajú tiež úniky vody zo žump, nedokonalé odvádzanie zrážkových vôd, ako aj účelové odrezy a zásahy do svahu v dôsledku ľudskej činnosti.



Obr. 8.33: Vyústenie subhorizontálnych odvodňovacích vrtov vo Vyšnej Hutke (foto: P. Fekeč)

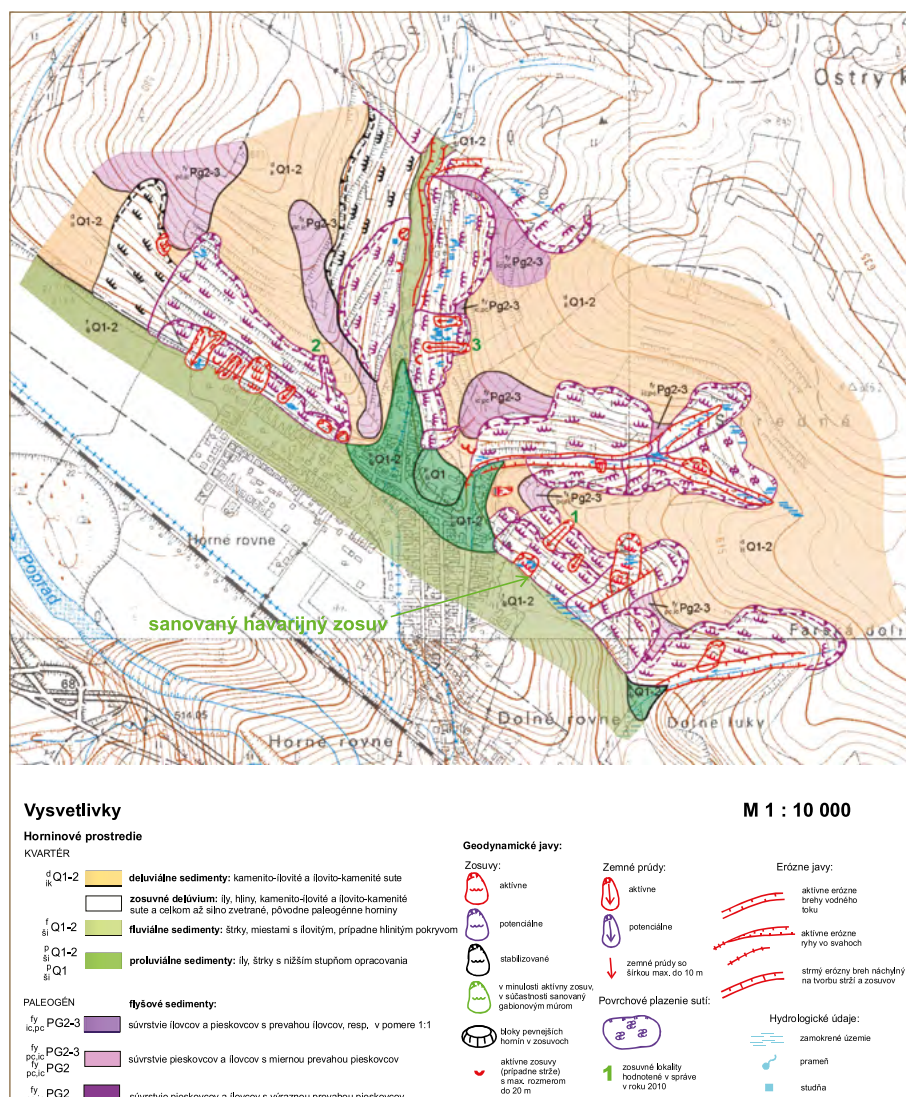
Sanačné práce boli orientované na vybudovanie drenážnych rýh v miestach, kde reliéf terénu neumožňuje prirodzený odtok (na území nad a pod cintorínom medzi rodinnými domami) a odvodňovacích cestných rigolov na zachytenie a odvedenie povrchovej vody. Odvodnenie zosuvného svahu bolo riešené realizáciou troch subhorizontálnych vrtov o celkovej dĺžke 200 m (obr. 8.33). Schematický rez subhorizontálnym odvodňovacím vrtom je na obr. 8.32.

Chmeľnica – V dôsledku mimoriadne výdatných zrážok a povodňovej situácie v máji a júni 2010 vzniklo v Chmeľnici 18 nových zosuvov a zemných prúdov (obr. 8.34). Jeden z najväčších zosuvov spôsobil zosunutie časti cintorína. K jeho aktivizácii došlo po extrémnych zrážkach a po predchádzajúcom odľahčení päty svahu antropogénnou činnosťou (odrez na výstavbu domu smútku). V oblasti došlo k vysokému nasýteniu zemín vodou, čo malo za následok zníženie ich šmykových pevností.

Zosuv má plošný tvar s rozmermi cca 40 × 40 m. Zosuv vážne poškodil časť cintorína, kde došlo do-

konca k exhumácii hrobov. Nad vzniknutou výraznou odtrhovou hranou výšky cca 6 m hrozilo zrútenie ďalších hrobov (obr. 8.35 a 8.36). Aby nedošlo k ďalšej devastácii cintorína retrográdnym rozšírením novovzniknutého zosuvu pozdĺž ďalšej šmykovej plochy, bolo potrebné už v rámci prieskumu v roku 2010 realizovať pomerne nákladné okamžité protihavarijné opatrenia. Na cintoríne bol v nevyhnutnom rozsahu vybudovaný drenážno-stabilizačný zásyp v kombinácii s gabiónovým múrom dĺžky 17,0 m, výšky 2,5 m, šírky 2,0 m, založený na zhutnenom štrkovom základe hĺbky 2,5 m (obr. 8.37). Medzi gabiónovým múrom a odtrhovou stenou bol vytvorený stupňovitý zásyp, tak aby siahal až po hranu odtrhovej steny, nad ktorou sa nachádzajú ohrozené hroby. Celá konštrukcia bola vytvorená z materiálov, ktoré majú aj drenážny účinok.

Prešov – Horárska ulica – Lokalita svahových deformácií Horárska ulica (obr. 8.38) sa nachádza v jednej z krátkych erozívnych dolín, ktoré čle-



Obr. 8.34: Účelová inžinierskogeologická mapa svahových deformácií v obci Chmeľnica (Šimeková a kol., 2012)



Obr. 8.35: Odlučná hrana zosuvu na cintoríne v obci Chmelnica (foto: V. Jánová)



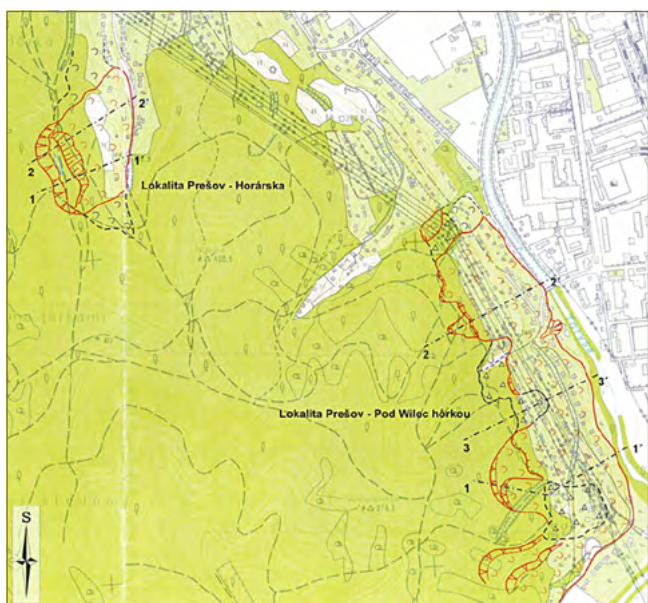
Obr. 8.36: Detail odlučnej hrany zosuvu v Chmelnici (foto: V. Jánová)



Obr. 8.37: Pohľad na sanovaný svah na cintoríne v Chmelnici (foto: J. Šimeková)

za neobývateľné. Príklady porušenia stavieb dokumentujú obr. 8.39 a 8.40.

Zosuv o rozlohe 300×250 až 350 m porušuje svah na výšku 55 až 75 m. Zosuv je stredne hlboký, s hĺbkou bazálnej šmykovej plochy 8 až 20 m. Odlučná oblasť je výrazná, s výškou odtrhovej hrany 15 až 20 m. Je dotváraná plytkými zosuvmi. Bočné ohraničenie je prevažne zreteľné. Čelo akumulácie je zastreté zasypáním eróznej ryhy a stavebnými úpravami pri rodinných domoch. Povrch deformácie je miestami stupňovitý. Výrazné stupne (bloky) sa nachádzajú najmä v odlučnej oblasti, miestami tiež v akumuláčnej časti zosuvu. Najväčší blok v odlučnej oblasti je uklonený proti svahu. V jeho tyle je bezodtoková depresia, v ktorej sa v čase zvýšených atmosférických zrážok vytvára jazierko. Po aktivizácii svahovej deformácie v roku 2010 sa vytvorili čerstvé trhliny



Obr. 8.38: Mapové zobrazenie svahových deformácií v Prešove (Tupý a kol., 2010)



Obr. 8.39: Poškodený rodinný dom v Prešove na Horárskej ulici (foto: V. Jánová)

v odtrhovej hrane zosuvu (šírka trhlín 10 až 80 cm, výška poklesu 0 až 80 cm), ako aj trhliny a valy pri ohraničení zosuvu (obr. 8.41). V dôsledku redistribúcie stavu napätosti v zosuvnej mase došlo tiež k početným poruchám stavebných objektov. Zosunutím je postihnutá pripovrchová, zvetraná časť flyšového masívu spolu s deluviálnym pokryvom.

Svah sa v minulosti zosunul v dôsledku hĺbkovej erózie miestneho potoka za spolupôsobenia vztľaku podzemnej vody vo svahu. Zosunutý svah sa permanentne dotvára pomalým plazivým pohybom po viacerých šmykových plochách. Epizodicky, vplyvom extrémnych alebo dlhotrvajúcich zrážok, resp. pri náhlom topení snehovej pokrývky (najmä v kombinácii s dažďom) dochádza k presýteniu pôdneho profilu a k reaktivizácii zosuvného pohybu najmä po plytších šmykových plochách do hĺbok 3 až 5 m (Tupý a kol., 2010).

V roku 2010 bol v lokalite realizovaný orientačný geologický prieskum a navrhnuté boli sanačné opatrenia, smerujúce najmä k úprave hydrologických a hydrogeologických pomerov územia systémom rígov, drenážnych rýh, drenážno-stabilizačných rebier a celou sieťou odvodňovacích vrtov. Odporúčania boli smerované tiež k opravám podzemných rozvodov a vedení, ktoré sa nachádzajú v hodnotenom území, nakoľko na mnohých miestach došlo k ich porušeniu. Úniky vôd z netesnej kanalizácie mohli prispievať k destabilizácii hodnoteného územia. Okrem priamych sanačných opatrení bolo odporúčané v zosuvnom území prehodnotiť a regulovať spôsob využitia územia. Čiastočne sa to dotýka majiteľov/prenajímateľov lesných pozemkov a z veľkej miery mesta, ktoré povoľuje a reguluje výstavbu a využitie tohto územia. Situácia, ktorá vznikla, je veľmi dobrým dôvodom na revíziu platného územného plánu mesta ako záväzného dokumentu na využitie územia. Stavebná uzávera na územiach postihnutých zosúvaním a povoľovanie stavieb na ohrozených územiach na základe realizovaného inžinierskogeologického prieskumu pre každý objekt/súbor objektov by mali byť striktne dodržiavané. V konečnom dôsledku, navrhnutý postup umožní šetriť prostriedky stavebníkov, mestského i štátneho rozpočtu (Tupý a kol., 2010).

Prešov – Pod Wilec hôrkou – Lokalita svahových deformácií Pod Wilec hôrkou sa nachádza na severovýchodne exponovanom svahu podmývanom riekou Torysa a je súčasťou frontálneho zosuvu postihujúceho pravý svah údolia Torysy od prielomu Dúbrava až po územie južne od obce Haniska (obr. 8.38).

Spodná, nezalesnená časť svahu (pod vrstevnicami 290 až 300 m) sa využíva prevažne na záhradky s rekreačnými chatami. Pozdĺž ulice Pod Wilec hôrkou sú situované tiež rodinné domy (cca 40 objektov). Na väčšine stavebných objektov (rodinné domy, hospodárske



Obr. 8.40: Trhliny na rodinnom dome v Prešove na Horárskej ulici (foto: V. Jánová)



Obr. 8.41: Otvorené trhliny v telese zosuvu v Prešove na Horárskej ulici (foto: V. Jánová)



Obr. 8.42: Dom v zosuvnom území Pod Wilec hôrkou s porušenou statikou, ktorý musel byť asanovaný (foto: V. Jánová)



Obr. 8.43: Detaily z porušených rodinných domov v lokalite Pod Wilec hôrkou (foto: V. Jánová)

prístavby, garáže, rekreačné chaty) boli pri registrácii svahovej deformácie pozorované známky statického porušenia (praskliny a trhliny vo vrchnej stavbe i v základoch, deformácie podláh i múrov), porušenie, resp. odtrhnutie pomocných konštrukcií (chodníky, schodiská, oporné múry), strihnutie domových studní a pod.

Príklady porušenia stavieb dokumentujú obr. 8.42 a 8.43. Jeden dom bol kvôli ťažkému poškodeniu určený statikom na demoláciu. Porušená bola tiež infraštruktúra. Miestna komunikácia bola miestami deformovaná, popraskaná. Podmočenie miestnej komunikácie a vývery vody vo vozovke v blízkosti vodohospodárskeho objektu boli dôsledkom porušenia vodovodného radu. Miestami boli vykrivené aj stĺpy elektrického vedenia.

Lokalita Pod Wilec hôrkou je porušená rozsiahlou a zložitou svahovou deformáciou o rozlohe 1 100 × 250 až 400 m a porušuje svah na výšku 60 až 100 m. Podstatnú časť svahovej deformácie tvoria zosuvy. Miestami, v rigidnejšej hornine so zvýšeným podielom pieskovca sa vyskytujú tiež blokové poruchy (blokove rozpadliny a blokove polia). Blokove poruchy predstavujú kategóriu hlbokých, resp. stredne hlbokých svahových deformácií rigidnej horniny rozvoľnenej pomalým, plazivým pohybom na morfológicky zreteľné až výrazné bloky. Blokove rozpadliny sa vyznačujú diferencovaným pohybom horninových blokov (pootočením, posunom, zabáraním), bez výraznejšieho horizontálneho pohybu. Blokove polia vznikajú plazivým pohybom, rozvlečením blokov po svahu. Povrch deformácie je stupňovitý.

V rozpadajúcich sa blokoch sa vytvárajú trhliny a kráterovité prepahliská s bezodtokovými depresiami hlboké 5 až 20 m. Stavebné objekty situované na

trhlinách v blokoch boli porušené. Podľa výsledkov geofyzikálneho prieskumu a podľa hĺbky prepahlísk bolo zistené, že blokove poruchy zasahujú do hĺbky 20 až 30 m i viac.

Zosuvy predstavujú kategóriu svahových gravitačných pohybov zeminy (horniny) premiestenej po svahu zosúvaním, t. j. relatívne rýchlym, krátkodobým, respektíve opakovaným pohybom pozdĺž šmykovej plochy (zóny) alebo viacerých šmykových plôch.

Zosuvy porušujúce svah Pod Wilec hôrkou sú stredne hlboké, s hĺbkou bazálnej šmykovej plochy 5 až 15 m. Tvary a ohraničenie zosuvov sú miestami zreteľné, miestami sú zastreté denudáciou, vegetáciou a antropogénnymi úpravami, najmä pozdĺž komunikácií, liniek vysokého napätia, na stavebných parcelách a v záhradkárskech kolóniách. Odľučná oblasť zosuvov je prevažne zreteľná s výškou odtrhovej hrany 3 až 6 m. Povrch deformácie v zalesnenej časti svahu je nerovný, zvlnený, v odlesnenej časti svahu je stupňovitý upravený. Ohraničenie akumulácie voči náplavom Torusy je zreteľné. Po aktivizácii deformácie v roku 2010 sa vytvoril rad čerstvých tvarov (trhliny a poklesy v odľučnej oblasti i v zosuvnej mase, vytlačanie zeminy, čiastkové akumulácie valy, plytké čiastkové zosuvy malého plošného rozsahu). V dôsledku redistribúcie stavu napätosti v zosuvnej mase došlo tiež k početným poruchám stavebných objektov. Čerstvé trhliny v odľučnej oblasti sú otvorené, široké 10 až 50 cm, s výškou poklesu 10 až 150 cm. Zosunutím je postihnutá pripovrchová, zvetraná časť flyšového masívu spolu s pokryvom deluviálnych sedimentov.

Prvotnou príčinou a hlavným faktorom svahových deformácií v oboch lokalitách v Prešove je erózia päty svahu vodným tokom za spolupôsobenia vplyvu podzemnej vody v masíve zosuvného svahu.

Podzemná voda pôsobí pórovým tlakom, hydrostatickým a hydrodynamickým tlakom, ako aj degradáciou pevnostných parametrov horniny. Erózna ryha v centre doliny v lokalite Horárska ulica je v súčasnosti zasypaná. Rieka Torysa je v intraviláne mesta regulovaná a v súčasnosti neeroduje svah Pod Wilec hôrkou.

Príčinou epizodickej reaktivizácie svahového pohybu sú anomálie atmosférických zrážok. Ďalším významným faktorom sú neupravené odtokové pomery. Pri silnejších dažďoch a pri topení snehu sa v neodvedených bezodtokových depresiách hromadí povrchová voda, ktorá infiltruje do zosuvných mäs a okrem už spomínaných účinkov pôsobí na šmykovej ploche ako mazadlo. Nedostatok rigolov pozdĺž ciest a ich nedostatočná údržba brzdia povrchový odtok. Z antropogénnych faktorov uvádzame na prvom mieste „riadenú“ ťažbu dreva metódou holorubov. Holoruby nepriaznivo ovplyvňujú vodný režim svahu. K aktivizácii svahového pohybu prispievajú tiež úniky vody zo žump, septikov a porušeného vodovodu, ako aj podkopanie svahu pri stavebných úpravách (Tupý a kol., 2010).

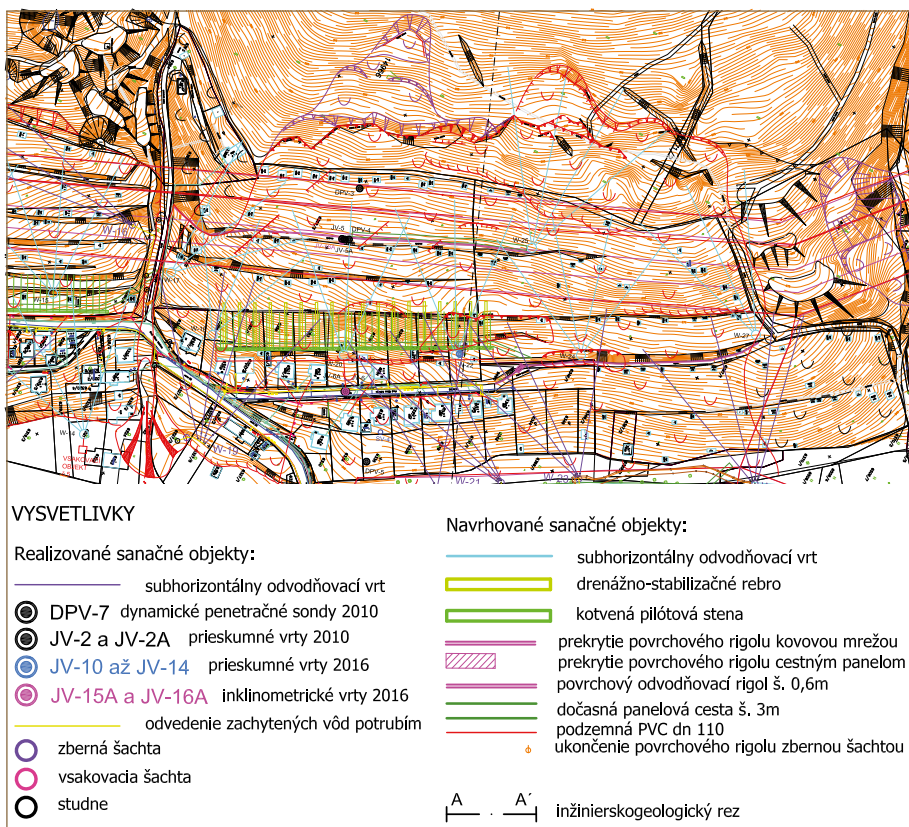
V lokalite bol realizovaný orientačný inžiniersko-geologický prieskum v roku 2010 a 1. etapa sanácie v roku 2017. V rámci sanácie boli vybudované vejare subhorizontálnych odvodňovacích vrtov z 10 stanovíšť v celkovej metráži 4 660 m a objekty odvádzajúce zachytené vody mimo územie zosuvu (kanalizácia, vsakovacie objekty, objekty vyústenia vôd do povrchového toku). Mapa realizovaných a navrhovaných sanačných prvkov je na obr. 8.44. Lokalita

je pravidelne monitorovaná pracovníkmi oddelenia IG ŠGÚDŠ (v rámci ČMSGF do roku 2018 (Ondrejka a kol., 2019); od roku 2018 v rámci geologickej úlohy Monitoring svahových deformácií).

Nižná Myšľa – Zosuv v Nižnej Myšli patrí spolu s veľkým zosuvom v Handlovej (1960) a zosuvom v Riečnici (1962) medzi najväčšie a najničivejšie svahové deformácie na Slovensku. Prvé náznaky porušenia svahu bolo možné pozorovať už v utorok 1. júna 2010, keď popraskali múry jedného rodinného domu do takej miery, že museli zasahovať hasiči. Intenzívnejší pohyb bol potom zaznamenaný o dva dni neskôr, keď sa otvorené trhliny objavili aj na ďalších domoch a na viacerých miestach v obci bolo cítiť unikajúci plyn. Ku katastrofálnemu porušeniu svahu došlo dňa 4. júna 2010 okolo druhej hodiny v noci. Z domov zasiahnutých zosúvaním sa ozývalo silné praskanie a vrzganie, ľudia vystrašení vybiehali na ulicu, psy brechali. O pár minút bola na nohách celá dedina. Všetkým bolo rýchlo jasné, že sú ohrozené životy ľudí a tiež ich ťažko nadobudnutý majetok. Dielo skazy bolo zreteľne vidieť až ráno. V priebehu niekoľkých hodín sa z 200 obyvateľov obce stali bezdomovci. Dvadsať domov bolo silno porušených a ďalších dvadsaťpäť celkom neobývatelných. Okrem domov boli porušené inžinierske siete, miestne komunikácie a mnohé hospodárske budovy (obr. 8.45 až 8.53).

Hlavná odlučná hrana zosuvu sa nachádzala v bezprostrednej blízkosti kostola. Jej výška kolísala od 0,5 m do 4 m. Kostol ako zázrakom ostal neporušený. Celé teleso zosuvu bolo silno rozčlenené, terén bol

nápadne zvlnený a povydúvaný do neobvyklých tvarov. Na viacerých miestach boli vytvorené zamokrené miesta a bezodtokové depresie. Na svahu sa nachádzali početné otvorené trhliny, v ktorých sa zhromažďovala voda, čo ešte viac zhoršovalo nerovnovážne podmienky na svahu. V hornej časti porušeného svahu boli vytvorené zreteľné stupne s poklesom až niekoľko metrov. Šmykové plochy identifikované



Obr. 8.44: Výrez z mapy realizovaných a navrhovaných sanačných prvkov na zosuve v Prešove – Pod Wilec hôrkou (Ilkanič a kol., 2017)

vrtnými prácami sa nachádzali v hĺbkach 14 – 20 m. Sú dôkazom toho, že v minulosti tu boli zosuvy viacerých generácií a že katastrofálny zosuv nebol prvým, ktorý postihol svahy, na ktorých leží obec.

Zosuvné masy boli silno nasýtené vodou, čo bol dôsledok dlhotrvajúcich výdatných dažďov. Kým dlhodobá priemerná hodnota mesačných úhrnov zrážok

za mesiac máj sa v oblasti Nižnej Myšle pohybuje na úrovni 60 mm, v máji 2010 bol tento mesačný úhrn zrážok až 229 mm, t. j. až 3,8-násobne vyšší ako po iné roky. Mimoriadne intenzívne zrážky boli identifikované ako hlavná príčina katastrofálneho zosuvu. Za tragickú je potrebné považovať najmä skutočnosť, že katastrofálny zosuv vznikol na mieste staršieho



Obr. 8.45: Odlučné hrany v rôznych častiach zosuvu v Nižnej Myšli (foto: Ľ. Petro)



Obr. 8.46: Zosuvom silno poškodené rodinné domy (foto: Ľ. Petro)



Obr. 8.47: Zosuvom deštruovaný chodník do kostola (foto: V. Jánová)



Obr. 8.48: Poškodené rodinné domy museli byť asanované (foto: V. Jánová)

zosuvu, ktorý bol zmapovaný viac ako dvadsať rokov pred katastrofou pracovníkmi ŠGÚDŠ Z. Spišákom a Ľ. Petrom. Jeho časť pod miestnym cintorínom bola dokonca v minulosti sanovaná.

Zosuvné územie, na ktorom je obec Nižná Myšľa postavená, sa nachádza na južnom výbežku Torskej pahorkatiny, na Varhaňovskom chrbte, medzi

údoliami riek Hornádu a Olšavy. Rozloha svahovej deformácie v skúmanom území presahuje plochu cca 50 ha.

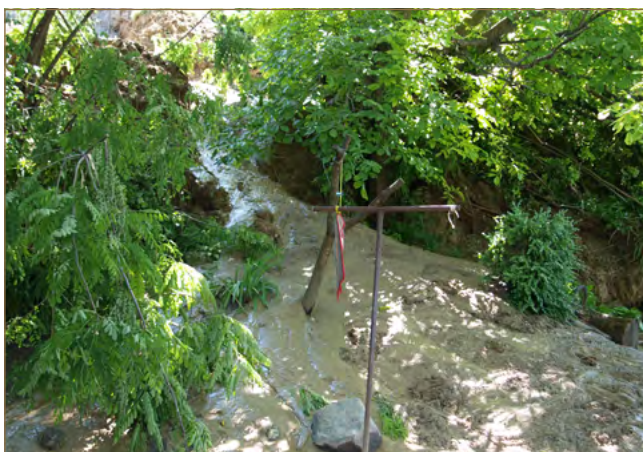
MŽP SR, ktoré je zodpovedné za prieskum, monitorovanie a sanáciu havarijných zosuvov, začalo bezprostredne po katastrofálnom zosuve so zabezpečovaním prieskumných prác. Cieľom realizácie



Obr. 8.49: Zosuvom poškodené miestne komunikácie (foto: Ľ. Petro)



Obr. 8.50: Trhliny v múroch (foto: V. Jánová)



Obr. 8.51: Rozbahnené zosuvné masy v dôsledku poškodených potrubí a vyvrátené elektrické stĺpy sú dôkazom poškodenia inžinierskych sietí (foto: Ľ. Petro)

orientačného inžinierskogeologického prieskumu bolo spresniť inžinierskogeologické pomery porušeného územia, zhodnotiť intenzitu porušenia svahu, stanoviť príčiny vzniku svahových deformácií, realizovať technické a laboratórne práce za účelom zistenia priestorového usporiadania a hĺbky šmykových plôch, vypočítať stabilitu svahu vo viacerých profiloch, realizovať okamžité protihavarijné opatrenia a vypracovať ideový návrh sanačných prác zabezpečujúcich stabilitu územia.

Prieskumné práce boli ukončené v októbri 2010. Prieskum potvrdil prítomnosť veľmi priaznivej geologickej štruktúry pre vznik svahových deformácií v oblasti Nižnej Myšle. Štruktúra pozostáva z plastických ílovitých súvrství, v nadloží ktorých vystupujú polohy tufov a tufitov a tiež vložky štrkov a pieskov. V dôsledku geologicko-geomorfologického vývoja územia došlo k obnaženiu kontaktu vrchných priepustných a podložných nepriepustných hornín charakteru ílov. Vplyvom zvetrávania hornín dochádzalo na svahoch k výraznej zmene pevnostno-deformačných charakteristík ílovitých zemín (hlavne k znižovaniu ich šmykovej pevnosti),

k zmene vlhkosti zemín a zvýšeniu ich objemovej hmotnosti, čo viedlo k vytvoreniu vhodných geologických a hydrogeologických podmienok vzniku zosuvu (Tometz a kol., 2010).

Sanačné práce rozsiahleho zosuvu boli zamerané na odvodnenie poškodeného územia a na zlepšenie stability územia, hlavne centrálnej časti obce. V rámci prvej etapy sanačných prác boli realizované nasledujúce sanačné prvky:

- Kotvená pilóťová stena pod kostolom zabezpečuje stabilitu svahu v odlučnej časti zosuvu. Tvoria ju širokopriemerové pilóty (priemer 600 mm), dĺžky 10,0 m a 13,0 m, usporiadané v línii lomeného tvaru, v hornej časti spojené železobetónovým nosníkom so stienkou. Nosníky sú v dolnej časti svahu kotvené trvalými horninovými kotvami dĺžky 25,0 m v sklone 25 – 35° (obr. 8.53).
- Kotvená pilóťová stena na Malej Nemeckej a Obchodnej ulici pozostáva z piatich úsekov, ktoré kopírujú súčasný stav terénu; pilóty sú usporiadané v línii lomeného tvaru. Pilóťové steny tvoria širokopriemerové pilóty (priemer 600 mm) dĺžky 10,0 – 13,0 m, v hornej časti spojené



Obr. 8.52: Pohľad z čela zosuvu a na čelo zosuvu (foto: V. Jánová)



Obr. 8.53: Porušené územie pod kostolom pred sanáciou a po sanácii (foto: L. Petro, V. Jánová)

železobetónovými nosníkmi so stienkou, v dolnej časti kotvené trvalými horninovými kotvami. (obr. 8.54 a 8.55).

- Hĺbkové odvodnenie zosuvného územia bolo zabezpečené pomocou subhorizontálnych odvodňovacích vrtov vejárovite usporiadaných z viacerých vrtných stanovišť. V záujmovom území bolo realizovaných 25 subhorizontálnych odvodňovacích vrtov dĺžky 55 – 100 m zo 7 stanovišť v celkovej dĺžke 2 100 m. Stanovišťa vrtov boli navrhnuté v prevažne obývanej časti obce v niekoľkých výškových úrovniach (obr. 8.56). Odvodňovanie územia subhorizontálnymi vrtmi sa následne prejavilo znížením hladín podzemných vôd v niektorých piezometrických vrtoch. Odvodňovacie vrty boli zvedené do revízných šácht z betónových skruží s betónovým poklopom. Voda zo šácht bola odvedená do priekopy, resp. do recipientu zberným potrubím z PVC rúr.
- Súčasťou hĺbkového odvodnenia bola aj štrková stena vybudovaná pozdĺž Hlbokej ulice, ktorá tvorí drenážny prvok zachytávajúci jednotlivé zvodne v rôznych úrovniach terénu. Pozostáva z vrtov priemeru 600 mm, hĺbky 9,5 – 10,0 m. Vrty sú vyplnené dreveným materiálom požadovanej frakcie. Povrch štrkovej steny je utesnený vrstvou nepriepustnej zeminy.
- Podpovrchové odvodnenie bolo realizované systémom drenážnych odvodňovacích rebier vo svahu pod kostolom, kde zachytávajú vodu z plytších horizontov. Vykopané boli pomocou rýpadla do hĺbky 1 – 5 m pri zachovaní spádu dna rebra. Na tieto rebrá nadväzuje hlavná vetva drenážnych rebier, ktorá vedie Repiskou ulicou, pozemkami asanovaných domov a ústí do štrkovej steny. Hlavná vetva drenážnych rebier bola realizovaná technológiou navzájom prepojených štrkových pilót, podobne ako štrková stena. Povrch drenážnych



Obr. 8.54: Pohľad na odľučnú hranu zosuvu na ulici Malá Nemecká a na kotvenú železobetónovú stenu počas výstavby a pred ukončením sanácie (foto: Ľ. Petro, V. Jánová, K. Házyová)



Obr. 8.55: Pohľad na Obchodnú ulicu pred sanáciou a po sanácii (foto: V. Jánová)

- rebier bol utesnený vrstvou nepriepustnej zeminy hrúbky 0,5 m. Realizované odvodnenie územia sa v časti zosuvného svahu prejavilo poklesom hladiny podzemnej vody v niektorých vrtoch a studniach, pričom časť odvodňovacích vrtov zostala stále aktívna a odvodňovala časť masívu.
- Sanácia kultúrneho domu a obecného úradu bola zabezpečená kotvenou pilóťovou stenou. Pozostáva z dvoch častí, ktoré sú spojené mikropilóťovou stenou. Mikropilóty boli vŕtané v zúženom priestore medzi budovou kultúrneho domu a príľahlou hospodárskou budovou. Celkovo bolo realizovaných 41 veľkopriemerových pilót priemeru 600 mm, dĺžky 10,0 m a 11,0 m a 13 ks ťahových mikropilót dĺžky 15 m v sklone 30°. Pilóťové steny sú v hornej časti spojené železobetónovými nosníkmi so stienkou. Mikropilóťovú stenu tvoria dva rady mikropilót v počte 8 ks, hĺbky 10,0 m, v hornej časti je stena vybavená železobetónovým nosníkom. (obr. 8.57),
 - Rekultivačné práce a nevyhnutná obnova infraštruktúry – v rámci týchto prác sa realizovali terénne úpravy najviac poškodených úsekov miestnych ciest a chodníkov, realizovaná bola asanácia a odstránenie ruín schodišťa ku kostolu, potrháných plotov a oporných múrikov. Tiež boli vykonané terénne úpravy a upravená bola najviac porušená komunikácia v centrálnej časti obce. Terénne úpravy predstavovali svahovanie strmých odtrhov, zarovnanie lokálnych bezodtokových depresíí, utesnenie otvorených trhlín a zatrávnenie povrchu, aby sa zamedzilo infiltrácii povrchových (zrážkových) vôd. Vykonané úpravy zlepšili odtokové pomery, plnia funkciu protieróznej ochrany svahu a prispievajú k celkovej stabilite územia (obr. 8.58 až 8.60).
- Druhá etapa sanačných prác bola realizovaná v roku 2014 a bola zameraná na sanáciu ohrozeného

objektu základnej školy a zvýšenie stability zosuvného svahu v severnej časti obce. Na monitorovanie hladín podzemných vôd v súvislosti s realizovanými sanačnými prácami bolo vybudovaných 12 nových piezometrických vrtov. V päte svahu bola vybudovaná kotvená pilóťová stena, ktorá zabezpečuje čelo zosuvu (obr. 8.61). Na odvodnenie svahu boli realizované subhorizontálne vrty, situované po oboch stranách pilóťovej steny (Grech a kol., 2014).

Tretia etapa sanácie havarijného zosuvu bola sústredená do centrálnej časti obce, približne vymedzenej ulicami Strmá, Repiská a Obchodná, do oblasti s pretrvávajúcimi svahovými pohybmi, dokumentovaných inklinometrickými meraniami vykonávanými ŠGÚDŠ a hláseniami miestnych občanov. Zameraná bola na doplnenie doteraz realizovaných geologických a sanačných prác v aktívnej časti obce, s cieľom zamedzenia vzniku ďalších geodynamických procesov na porušenom území, zabezpečenia stability existujúcich objektov a ochrany života a majetku obyvateľov. V rámci tretej etapy sanačných prác bola vybudovaná drenážna štrková stena dĺžky 70,1 m (140 pilót priemeru 600 mm, hĺbky 6,7 – 10,4 m, vyplnených drveným kamenivom, celková metráž 1 217,0 bm) a realizované hĺbkové odvodnenie územia prostredníctvom 8 subhorizontálnych vrtov s celkovou dĺžkou 640 m (Laurenčík, 2015) (obr. 8.62 a 8.63). Odvádzanie vody subhorizontálnymi vrtmi a drenážnou štrkovou stenou sa v súčasnosti javí ako efektívne, jeho skutočný dosah na stabilitu sa však preukáže až v procese dlhodobšieho monitorovania horninového prostredia v tejto oblasti (Šimeková a kol., 2015).

Porušený svah v Nižnej Myšli neustále monitorujú pracovníci ŠGÚDŠ. Sledujú sa hlavne zmeny hladiny podzemnej vody vo vybraných monitorovacích vrtoch, výdatnosti subhorizontálnych odvodňovacích vrtov a vykonávajú sa merania na inklinometrických



Obr. 8.56: Budovanie podpovrchového odvodnenia a vybudované subhorizontálne odvodňovacie vrty (foto: V. Jánová, L. Petro)



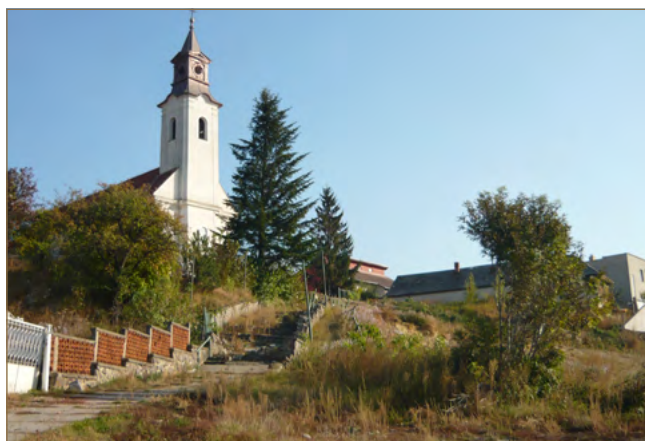
Obr. 8.57: Poškodený obecný úrad a stav po vybudovaní pilótovej podzemnej steny (foto: V. Jánová)



Obr. 8.58: Poškodená miestna komunikácia a jej stav po oprave (foto: Ľ. Petro, V. Jánová)



Obr. 8.59: Zosuvom zdeformovaná komunikácia a jej stav po sanácii (foto: V. Jánová)



Obr. 8.60: Územie pod kostolom porušené zosuvom a po ukončení sanačných a rekultivačných prác (foto: V. Jánová, K. Házyová)



Obr. 8.61: Čelo zosuvu za základnou školou, v strede budovanie kotvenej pilótovej steny, vpravo jej výsledný vzhľad (foto: Ľ. Petro, V. Jánová, K. Házyová)



Obr. 8.62: Drenážna štrková stena – vľavo vŕtanie štrkových pilót, v strede zásyp štrkodrvou, vpravo upravený povrch terénu so zabudovaným piezometrom (Laurenčík a kol., 2015)



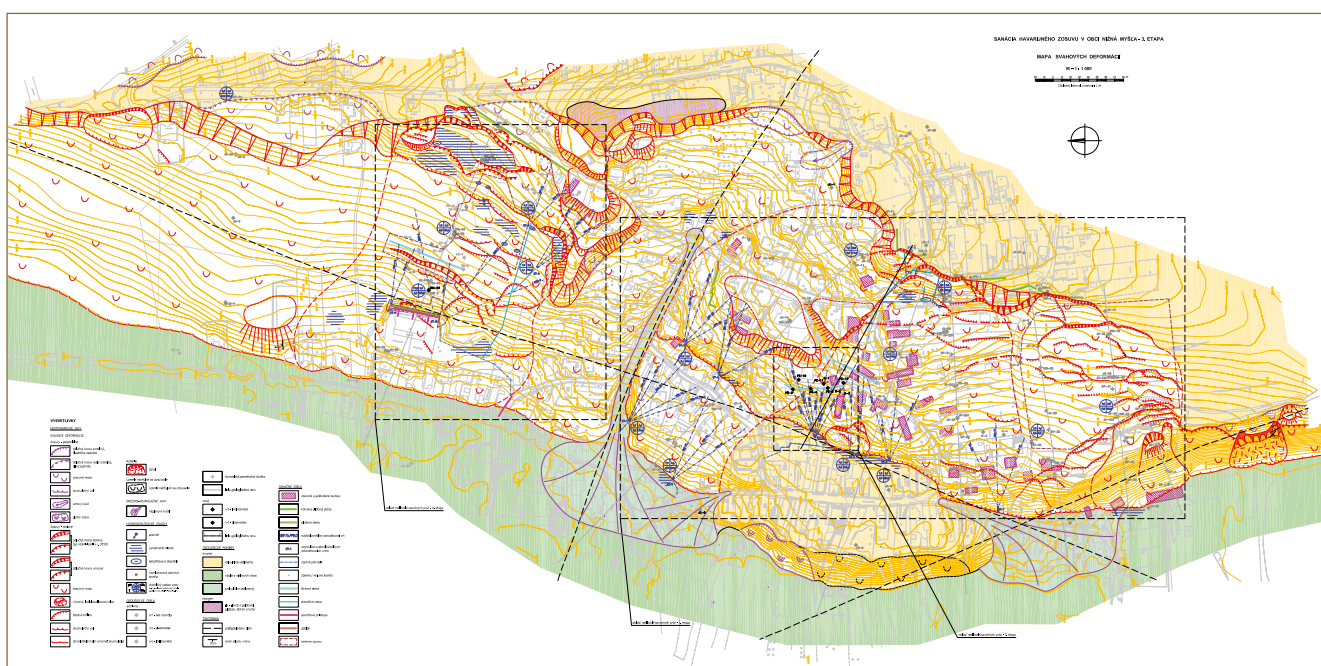
Obr. 8.63: Subhorizontálne odvodňovacie vrtý – vľavo zaústenie do zbernej šachty, vpravo povrchová úprava terénu v mieste zbernej šachty (Laurenčík a kol., 2015)

vrtoch. V záujme nezhoršovania súčasného stavu stability svahu bolo obci odporúčané vyhlásiť stavebnú uzáveru na celom území porušenom katastrofálnym zosuvom (obr. 8.64). Rozsah porušenia a rozmiestnenie sanačných prvkov možno vidieť na účelovej

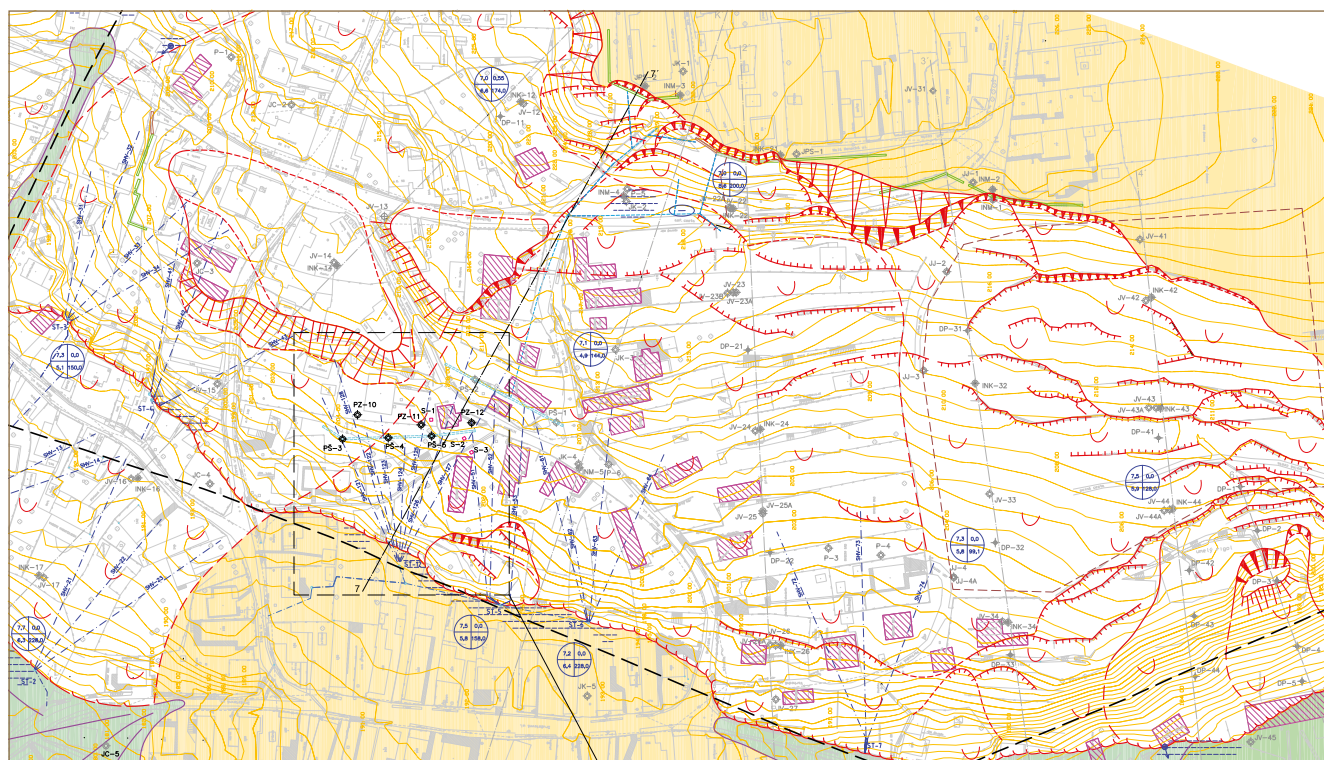
inžinierskogeologickej mape svahových deformácií v M 1 : 10 000 (obr. 8.65) (Sláma, Gomolčák, 2015 in Laurenčík a kol., 2015). Počet porušených rodinných domov a rozmiestnenie sanačných prvkov je zrejme z obr. 8.66 a 8.67.



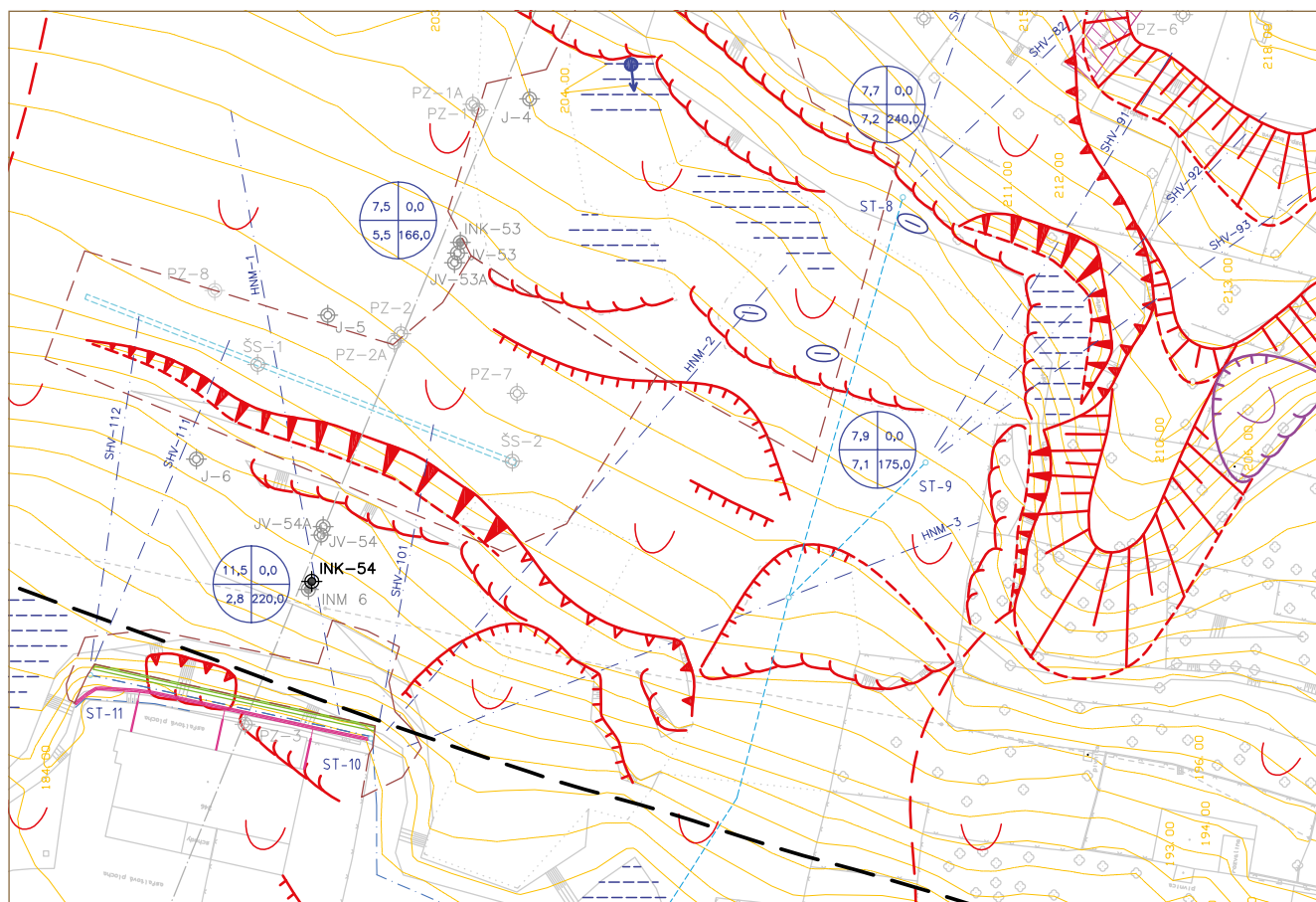
Obr. 8.64: Rozsah porušenia územia obce Nižná Myšľa (Ondrus, 2020)



Obr. 8.65: Mapa svahových deformácií územia obce Nižná Myšľa (Sláma, Gomolčák, 2015)



Obr. 8.66: Z detailu mapy svahových deformácií je zrejmý počet porušených rodinných domov (ružová šrafa) a rozsah podpovrchového odvodnenia subhorizontálnymi odvodňovacími vrtmi (modré vejáre) (Sláma, Gomolčák, 2015)



Obr. 8.67: Výsek zo západnej časti mapy svahových deformácií (nad základnou školou) so znázornením sanačných prvkov; kotvená pilótová stena (zelená farba), štrková stena a drenážne rebrá (tyrkysová farba), vejáre subhorizontálnych odvodňovacích vrtov (modrá farba) (Sláma, Gomolčák, 2015)

9. METÓDY INŽINIERSKOGEOLOGICKÉHO PRIESKUMU SVAHOVÝCH DEFORMÁCIÍ

Výsledkom prieskumu na svahovými deformáciami porušených svahoch má byť návrh optimálneho spôsobu ich stabilizácie alebo spôsobu využitia zosuvného územia. Počas inžinierskogeologického prieskumu treba zistiť všetky okolnosti, ktoré ovplyvňujú stabilitu svahu, aby boli k dispozícii spoľahlivé údaje o inžinierskogeologických pomeroch svahu. Treba predovšetkým zistiť:

- podmienky a faktory, ktoré ovplyvňujú celkový režim stability svahu;
- údaje o plošnom rozsahu svahovej poruchy;
- údaje o jestvujúcich, resp. možných šmykových plochách (hlbke svahovej poruchy);
- fyzikálno-mechanické vlastnosti hornín, najmä ich pevnostné charakteristiky;
- režim podzemných vôd;
- aktivitu (stabilitu) súčasných svahových pohybov;
- optimálny spôsob stabilizácie svahu.

Pred začatím prieskumných prác sa podľa platných predpisov, t. j. podľa zákona č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach (geologický zákon) v znení neskorších predpisov, vypracuje projekt geologickej úlohy, v ktorom je spravidla zahrnutý návrh mapovacích a sondovacích prác, návrh metód určenia polohy šmykových plôch, metódy terénnych režimových pozorovaní, rozsah laboratórnych prác, prípadne návrh pokusných sanačných prác.

Inžinierskogeologický prieskum definuje geologický zákon ako prieskum, ktorým sa skúmajú inžinierskogeologické pomery a hydrogeologické pomery územia najmä na účely územného plánovania, dokumentácie a zakladania stavieb vrátane skúmania stability územia náchylného na zosúvanie a na účely spracúvania geologických podkladov na návrhy na stabilizáciu územia.

Rozsah navrhovaných geologických prác závisí od etapy inžinierskogeologického prieskumu, t. j. či ide o orientačný, podrobný alebo doplnkový prieskum. Jednotlivé etapy inžinierskogeologického prieskumu definuje vyhláška MŽP SR č. 51/2008 Z. z., ktorou sa vykonáva geologický zákon v znení neskorších predpisov. Pri rozdelení inžinierskogeologického prieskumu na etapy sa:

- a) v orientačnom prieskume vykonáva súbor geologických prác potrebných na zistenie základných charakteristík územia a na zásadné posúdenie

možnosti a vhodnosti územia na výstavbu alebo na iné využitie; na zosuvných územiach sa skúmajú aj príčiny vzniku deformácií, posudzuje sa potreba ich stabilizácie, prípadne sanácie, navrhujú a realizujú sa okamžité protihavarijné opatrenia,

- b) v podrobnom prieskume vykonávajú práce, na ktorých základe sa spracúvajú podklady na spracovanie projektovej dokumentácie výstavby s návrhmi na zakladanie stavieb, a na zosuvných územiach pri objektoch ohrozených zosuvom sa určia podmienky na zabezpečenie stability územia náchylného na zosúvanie,
- c) v doplnkovom prieskume vykonávajú geologické práce, ktorými sa pri výstavbe alebo prevádzke stavby spresňujú získané geologické poznatky, sleduje sa správanie stavby a účinky jej prevádzky s ohľadom na konkrétne geologické podmienky a na jej vplyv na životné prostredie.

Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií sa prevažne realizuje v určitých logicky po sebe nasledujúcich etapách:

- Štúdia, posudok – uvedená etapa slúži na odhadnutie zosuvného rizika na hodnotenom území, a to predovšetkým na základe štúdia archívnych podkladov a terénnej rekognoskácie územia. V uvedenej etape sa používajú terénne prieskumné práce a odber vzoriek iba ojedinele. Výsledkom tejto etapy je posúdenie vhodnosti územia na výstavbu, prípadne orientačné stanovenie ohrozenia územia svahovými deformáciami.
- Etapa orientačného inžinierskogeologického prieskumu – v uvedenej etape sa prevažne využívajú jednoduché a rýchle terénne prieskumné práce, ako sú napr. geofyzikálne metódy (kap. 9.1.3.4). Je možné zrealizovať aj prieskumné sondovacie práce. Výsledkom by malo byť stanovenie plošného a hĺbkového rozsahu zosuvného územia a odporúčania pre ďalšiu etapu.
- Etapa podrobného inžinierskogeologického prieskumu – táto etapa je veľmi komplexná za použitia prieskumných metód uvedených v tejto kapitole. Táto etapa by mala poskytnúť rozhodujúce údaje, ktoré objasnia príčiny vzniku svahovej deformácie a budú slúžiť na optimálny návrh jej sanácie. V uvedenej etape by sa mal v socio-ekonomicky najvýznamnejších lokalitách vybudovať aj

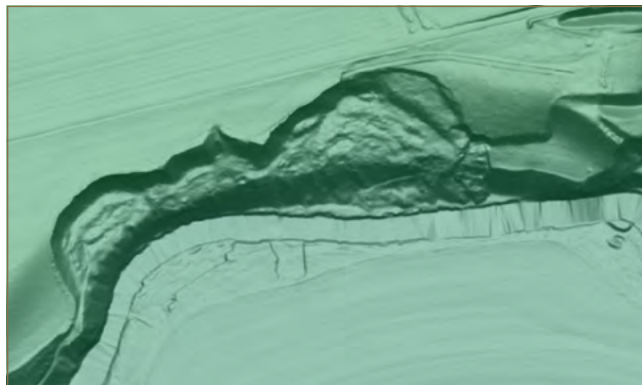
monitorovací systém sledovania svahového pohybu a režimu podzemných vôd v zosuvnom území.

- Etapa doplnkového inžinierskogeologického prieskumu – v tejto etape sa získavajú doplňujúce informácie, ktoré nebolo možné získať v podrobnej etape.

V prípadoch malých jednoduchých zosuvných území stačí vykonať iba etapu podrobného prieskumu.

V prípade havarijných zosuvov vzhľadom na časovú tieseň je možné niektoré etapy zlúčiť. V takom prípade

sa o nutných prieskumných prácach rozhoduje priamo na mieste podľa situácie, pričom sa nemusí pred vlastným začatím záchranných prác vypracovať projekt geologickej úlohy. Prieskum v tomto prípade býva veľmi často spojený so sanáciou, pri ktorej sú sanačné prvky (pilóty, horizontálne odvodňovacie vrty, drenážne rebrá a pod.) vyhodnocované ako prieskumné diela.



Obr. 9.1: Frontálny zosuv nad brehom Ipľa pri obci Kubáňovo na LiDAR-ovej snímke (zdroj: zbgis.skgeodesy.sk/)

9.1 Metódy geologického prieskumu

Metódy geologického prieskumu zosuvných svahov môžeme rozdeliť na:

- štúdium archívnych podkladov,
- rekognoskácia územia, terénne mapovanie – vytvorenie mapy,
- terénne technické prieskumné práce,
- terénne a laboratórne skúšky vlastností hornín,
- posúdenie stability svahov.

9.1.1 Štúdium archívnych podkladov

Štúdium archívnych podkladov predstavuje prvý krok riešenia geologickej úlohy. Zahŕňa nielen rešerš a výber údajov zo záverečných správ zhromaždených v archíve geofondu ŠGÚDŠ, ale aj štúdium mapových podkladov verejne dostupných na internetových portáloch, napr.: ŠGÚDŠ (www.geology.sk) zhromažďuje, aktualizuje a poskytuje informácie z Atlasu máp stability svahov Slovenskej republiky, súčasťou ktorého je Mapa náchylnosti územia na svahové deformácie v M 1 : 50 000, z Registra svahových deformácií, alebo z Čiastkového monitorovacieho systému – Geologické faktory – Zosuvy a iné svahové deformácie. GKÚ

poskytuje podrobný digitálny model reliéfu DMR 5.0, generovaný z leteckého laserového skenovania (z LiDAR-u), ktoré sú pre identifikáciu svahových deformácií cenným zdrojom informácií. Samozrejme, keďže výskyt svahových deformácií odráža predovšetkým geologicko-tektonickú stavbu územia, je potrebné naštudovať si dostupné geologické a hydrogeologické mapy. Ako je uvedené v kap. 5, dôležitým podkladom pred rekognoskáciou v teréne môže byť využitie vysokopresného digitálneho modelu reliéfu generovaného z leteckého, prípadne pozemného, laserového skenovania (obr. 9.1). Taktiež je potrebné urobiť excerpciu všetkých archívnych prieskumných prác v oblasti.

9.1.2 Rekognoskácia terénu a mapovanie

Nevyhnutnou súčasťou prípravných prác geologického prieskumu svahových deformácií je terénna obhliadka (rekognoskácia) terénu. Počas nej sa geológ oboznámi so stavom porušenia terénu, rozsahom a aktivitou svahového pohybu a pozorne sleduje všetky detaily deformácií na povrchu územia, t. j. hlavnú odlučnú hranu, dlhšie odlučné hrany, trhliny, bočné valy, čelo deformácie, zamokrené miesta. Podrobne tiež sleduje porušenie svahovou deformáciou priamo zasiahnutých a prilahlých objektov, napr. rodinných domov a hospodárskych objektov, cestných komunikácií, eklektrických vedení a pod. Užitočná prítomnosť býva komunikácia s obyvateľmi zasiahnutého územia, vnútorná obhliadka rodinných domov, kontrola hladiny vody v studniach a deformácií ich vystrojenia a pod.

Identifikácia aktívnych zosuvov je relatívne jednoduchá vďaka nasledujúcim znakom:

- Zvlnený povrch zosuvu je v ostrom kontraste s nezvlneným povrchom stabilnej časti svahu (obr. 9.2),
- Prítomnosť čerstvej odlučnej steny (odlučnej hrany) (obr. 9.3),
- Prítomnosť bočného valu zosuvu,
- Prítomnosť čelného valu v spodnej časti zosuvu (obr. 9.4),
- Prítomnosť trhlín na svahu (obr. 9.5),
- Prítomnosť zamokrených území a bezodtokových depresíí (obr. 9.6),
- Prítomnosť porušených pozemných stavieb (obr. 9.7),

- Porušené inžinierske stavby (obr. 9.8),
- Naklonené stožiare nadzemných vedení alebo napnuté drôty medzi stožiarmi nadzemných vedení (obr. 9.9),
- Prítomnosť rôznym smerom naklonených stromov (tzv. opitý les) (obr. 9.10).

Na rozdiel od aktívnych zosuvov je identifikácia potenciálnych a stabilizovaných zosuvov oveľa obtiažnejšia, pretože veľa morfológických znakov spomenutých v predchádzajúcom texte je buď málo zreteľných, prípadne úplne zastretých. Preto by mal identifikáciu takýchto zosuvov vykonávať skúsený inžiniersky geológ.



Obr. 9.2: Zvlnený a potrháný povrch zosuvného územia v Liptovskej Štiavničke a v Nižnej Myšli (foto: V. Jánová)



Obr. 9.3: Odlučné hrany na zosuvoch v obciach Banka, Šenkvice (foto: V. Jánová), Podkozince (foto: P. Liščák) a Veľký Krtíš (foto: B. Ondrášiková)



Obr. 9.4: Čelá zosuvov v obciach Nižná Myšľa (foto: V. Jánová), Veľký Krtíš (foto: P. Ondrejka), Banka a Chmiňany (foto: V. Jánová)



Obr. 9.5: Otvorené trhliny na zosuvoch v Kapušanoch a vo Veľkom Krtíši (foto: V. Jánová, P. Ondrejka)



Obr. 9.6: Bezodtokové depresie na zosuvoch v Liptovskej Štiavničke a v Liptovských Matiašovciach (foto: V. Jánová)



Obr. 9.7: Detaily poškodených objektov v Nižnej Myšli (foto: Ľ. Petro)



Obr. 9.8: Ukážky poškodených inžinierskych stavieb v obciach Miňovce a Nižná Myšľa (foto: V. Jánová)



Obr. 9.9: Deštrukcia stožiaru VVN v obci Dubovica (2010) a naklonené stĺpy elektrického vedenia v Nižnej Myšli (foto: P. Liščák, V. Jánová)



Obr. 9.10: „Opitý“ les na zosuvných lokalitách Kraľovany a Machnáč – Drietoma (foto: V. Jánová, P. Liščák)

Pri potenciálnych zosuvoch sa nevyskytujú žiadne čerstvé morfológické znaky, ale je možné približne stanoviť obrys zosuvu na základe charakteristickej morfológie terénu (obr. 9.11) aj napriek nevýraznej odľučnej a akumuláčnej oblasti.

Stabilizované zosuvy niekedy ťažko identifikuje aj skúsený inžiniersky geológ, pretože prevažná časť morfológických znakov je zastretá, častokrát prekrytá antropogénnymi zásahmi do geologického prostredia a identifikácia prebieha iba na základe zachovaných útržkov zosuvnej morfológie (obr. 9.12).

Takéto zosuvy môžeme pozorovať na územiach tvorených „mäkkými“ zeminami neogénu, kde je zosuvná morfológia rýchlo zastretá eróznou-akumulátnou činnosťou prírody alebo i človeka (obrábanie pozemkov a pod.) A môže sa stať, že tzv. fosílné (pochované) zosuvy sú identifikované až počas výstavby (napr. zosuv Mikšová, obr. 11.26).

Z uvedeného vyplýva, že vizuálnou identifikáciou zosuvov môže byť poverený iba skúsený inžiniersky geológ s dostatočnými poznatkami nielen o morfológii, ale aj o geologickej stavbe a vývoji územia.

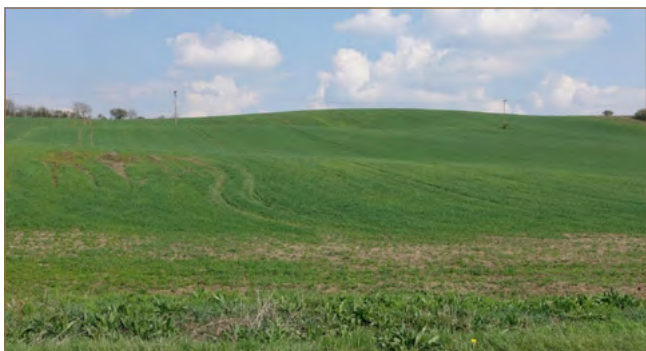
V prípade aktívnych havarijných zosuvov geológ spolupracuje so starostom alebo primátorom obce a navrhuje nevyhnutné záchranné geologické práce a realizáciu okamžitých protihavarijných opatrení. Rýchla pomoc a rady geológa hrajú v tomto prípade významnú úlohu, nakoľko navrhnuté opatrenia, napr.

rýchle povrchové odvodnenie svahu, môžu zabrániť rozšíreniu svahového pohybu a predchádzať ďalším škodám na majetku.

Pri terénnej obhliadke si spravidla geológ vytvorí základnú predstavu o rozsahu a charaktere porušenia územia. Na základe pracovnej hypotézy následne navrhuje projekt terénnych a laboratórnych prác (Ondrášik, Rybář, 1991).

Podrobné inžinierskogeologické mapy stability svahov v mierke 1 : 500 až 1 : 2 000 sú základným dokumentom, ktorý sa využíva ako podklad na stabilitnú analýzu a návrh stabilizácie územia. Veľká pozornosť sa venuje priamemu terénnemu mapovaniu. Do topografického podkladu sa zaznamená samotná svahová porucha, t. j. jej ohraničenie (obr. 9.13), pričom musí byť jasne rozlíšená jej odľučná, transportačná a akumuláčná oblasť (obr. 9.14).

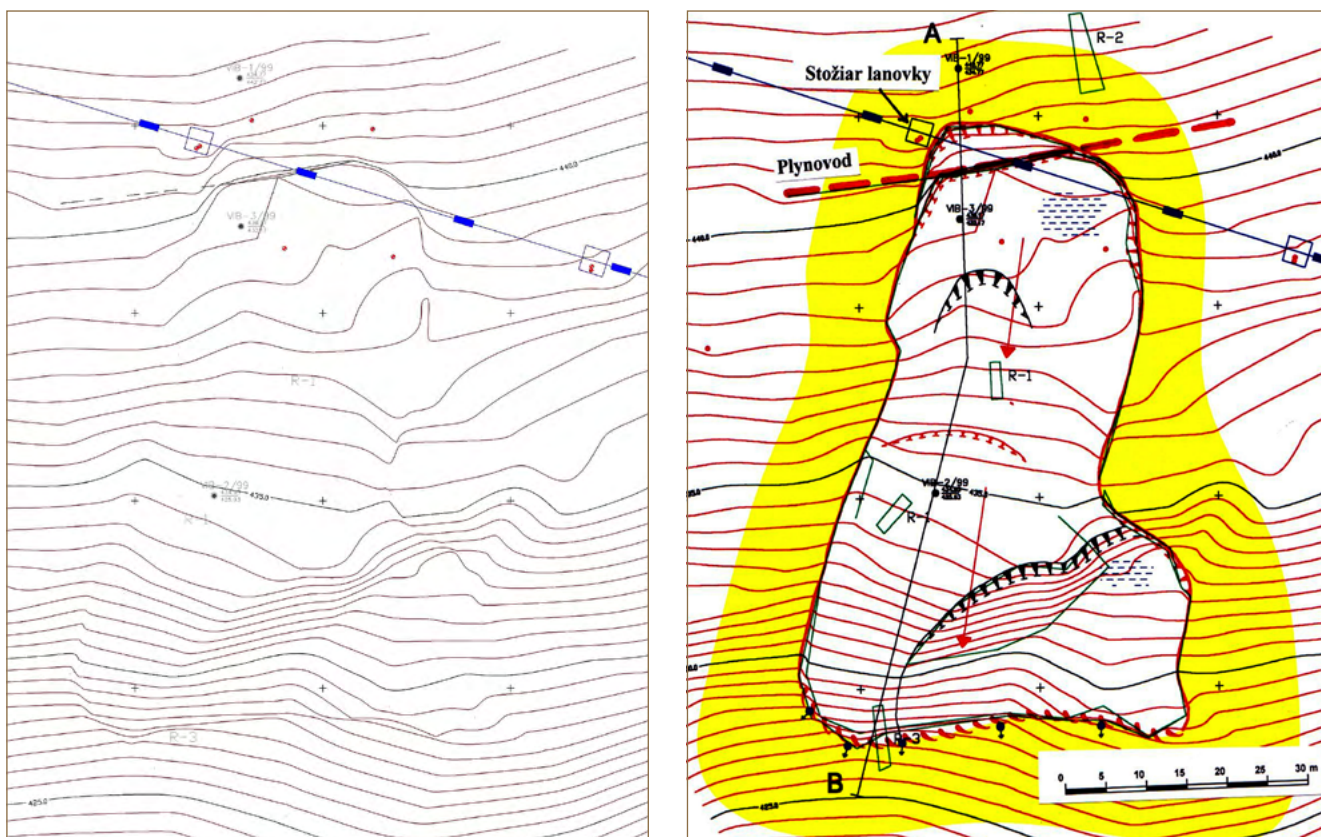
V mape sa presne vykreslí priebeh odľučnej steny, zaznamenajú sa údaje o jej tvare, výške, sklone atď. Ide o dôležité údaje, ktoré sa využívajú pri objasnení priebehu bazálnej šmykovej plochy (obr. 9.15). Pri mapovaní sa venuje pozornosť zisteniu a vykresleniu ťahových trhlín nad hlavnou odľučnou oblasťou. Ich prítomnosť naznačuje možnosť rozširovania sa pohybu proti svahu. Mechanizmus pohybu možno určiť aj na základe presne vykreslených ťahových trhlín v odľučnej a strednej časti poruchy. Striedanie ťahových trhlín s prejavmi tlačných zón (vypukliny,



Obr. 9.11: Typická morfológia potenciálneho zosuvu (foto: M. Kopecký)



Obr. 9.12: Morfológia stabilizovaného zosuvu so zachovanou odľučnou oblasťou (foto: M. Kopecký)



Obr. 9.13: Topografický podklad a vykreslenie aktívneho zosuvu – zosuv pri kóte Bánoš v Banskej Bystrici (Kopecký, Ilkanič, 1999)

trávnaté zábyly, atď.) poskytujú prehľad o priebehu čiastkových šmykových plôch.

V akumulačnej časti sa masy pohybujúcich sa hornín nasúvajú na svoje predpolie, ktoré môže byť aj vytláčané. Preto sa v čelách zosuvov zaznamenávajú východy čiastkových šmykových plôch, radiálne trhliny, násunové valy atď. Ak je čelo prekryté mladšími sedimentmi, tak dolné ohraňenie svahovej deformácie sa zisťuje ťažko. Bočné ohraňenie udávajú bočné šmykové plochy, resp. zóny, ktoré je však možné zaznamenať iba pri aktívnych zosuvoch.

V podrobnej účelovej inžinierskogeologickej mape svahovej poruchy sa ďalej vyznačia všetky prejavy podzemných vôd, t. j. pramene, močiare, jazierka, povrchové toky atď.

V súčasnosti sa pri mapovaní zosuvov využívajú aj metódy laserového skenovania povrchu terénu, či už

9.1.3 Terénne technické prieskumné práce

Ďalšími prácami, ktoré majú za úlohu získať doplňujúce informácie o charaktere zosuvov (hrúbka, priebeh šmykových plôch, podzemná voda a jej charakter, vlastnosti zemín a pod.), sú terénne technické prieskumné práce. Môžu byť buď priame, pri ktorých sa odoberajú vzorky hornín (prieskumné vrty, kopané šachty a iné) a podzemnej vody, alebo nepriame bez odoberania vzoriek (geofyzikálne metódy, penetračné skúšky, geodetické práce a pod.).

pozemného alebo leteckého, napr. obr. 5.3, 9.1, 9.16, prípadne z ortofotosnímkov.

Detailná mapa sa potom využíva ako podklad pri rozmiestňovaní prieskumných vrtov a šachtíc, na situovanie geodetických pozorovacích bodov, geofyzikálnych profilov a rozmiestnenie zariadení a objektov na monitorovanie. Z detailnej mapy sa vychádza pri navrhovaní rozmiestnenia okamžitých protihavarijných opatrení (obr. 9.17). Je to dokument, ktorý sa používa aj pri navrhovaní definitívnych sanačných prác.

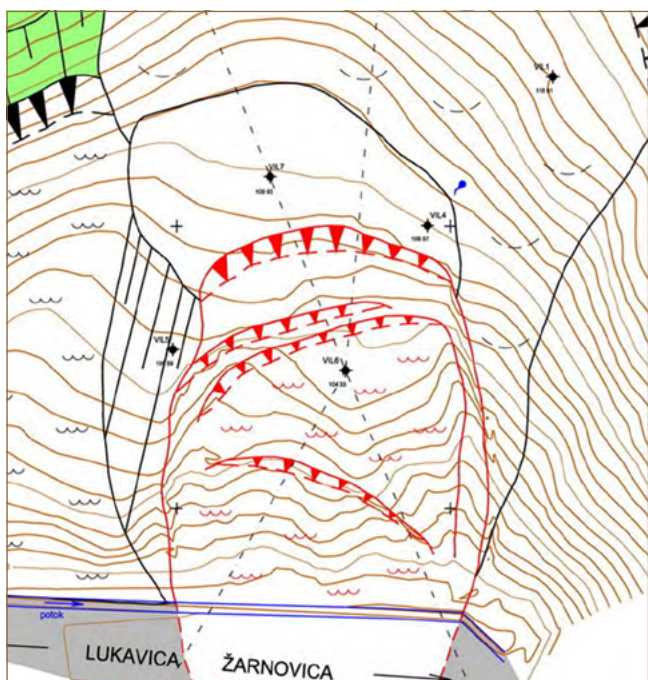
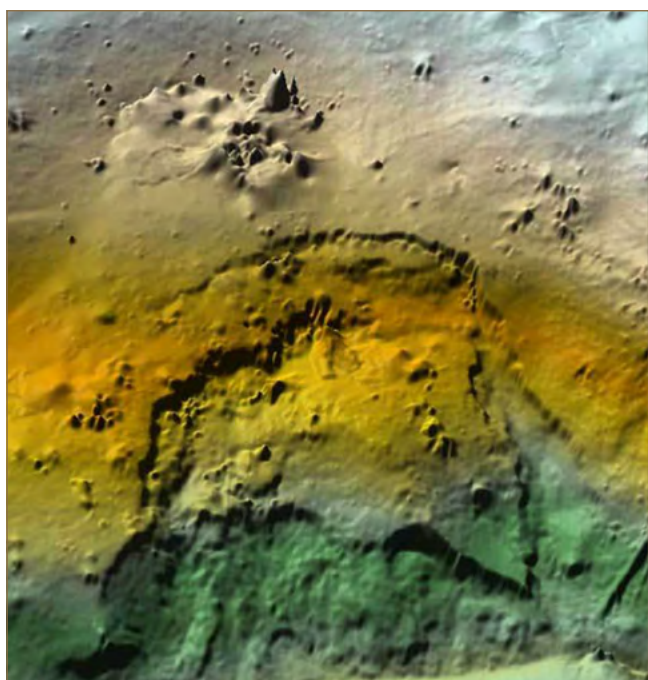
V prípade aktivizácie lokálnej časti rozsiahleho zosuvného územia sa spravidla robí aj účelová inžinierskogeologická mapa (obr. 9.18)



Obr. 9.14: Bočné ohraňenie, odlučná oblasť a čelo zosuvu (foto: M. Kopecký)



Obr. 9.15: Odlučná hrana zosuvu v Kraľovanoch a detail šmykovej plochy (foto: V. Jánová)



Obr. 9.16: Vytvorenie mapy aktívneho zosuvu z leteckého laserového skenovania (zdroj: zbgis.skgeodesy.sk, Kopecký, M.)

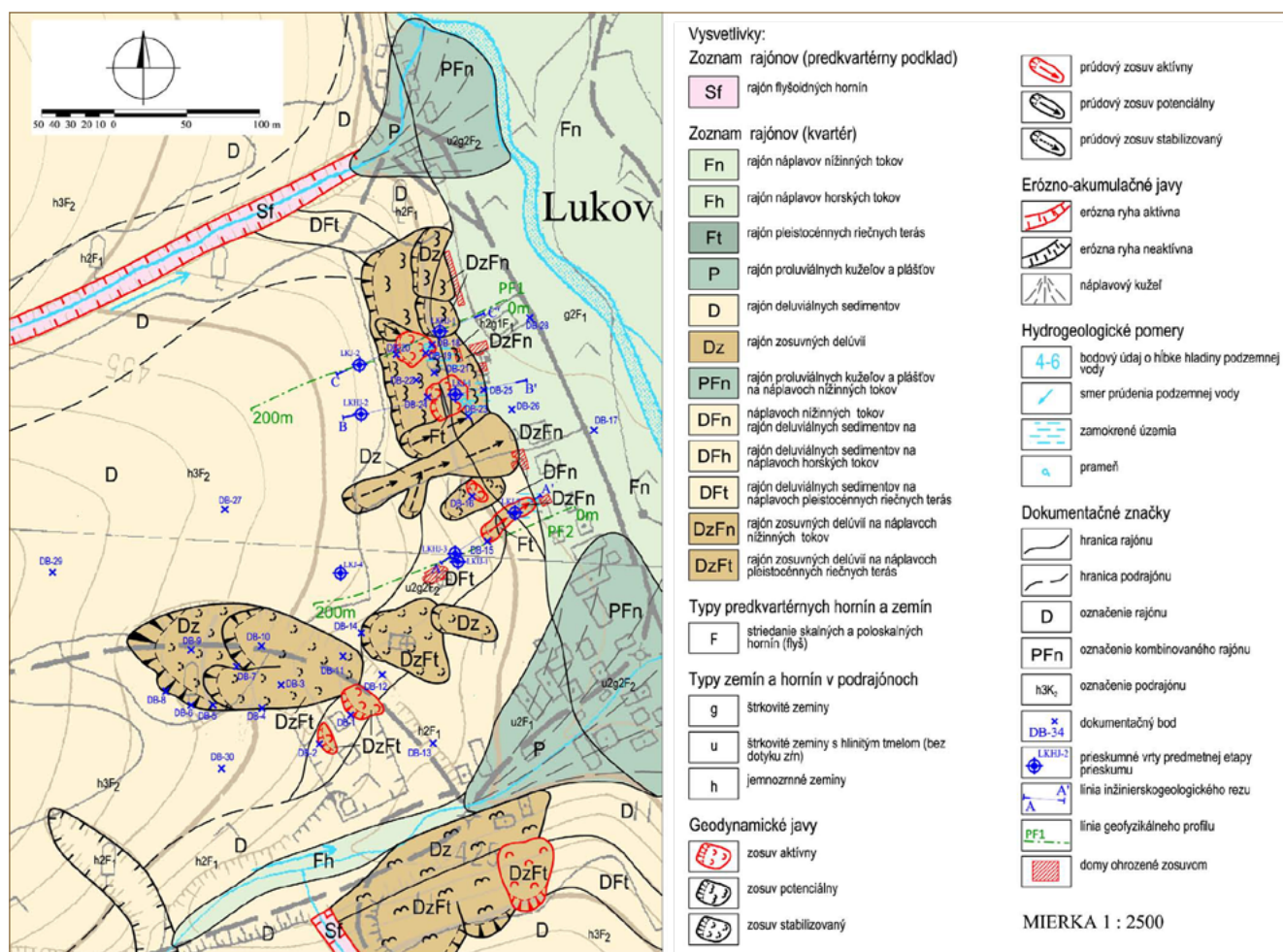


Obr. 9.17: Ukážka ideového návrhu sanačných opatrení v lokalite Vinohrady nad Váhom (Liščák, 2011)

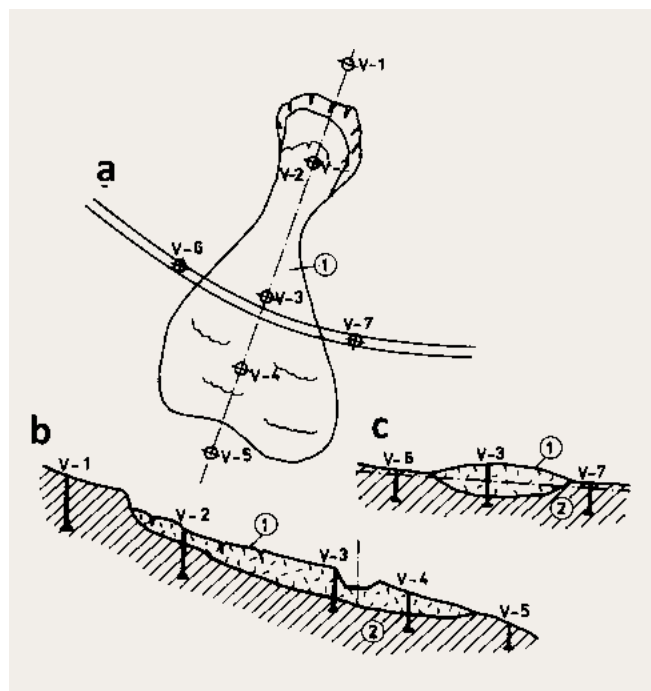
9.1.3.1 Sondovacie práce

Sondovacie práce (prieskumné vrty a kopané šachtice) slúžia v zosuvnom území na:

- zistenie geologických pomerov,
- zistenie hydrogeologických pomerov,
- odber vzoriek zemín a hornín a podzemných vôd na laboratórne analýzy,
- osadenie meracích zariadení na sledovanie pohybovej aktivity svahu,
- **stanovenie hĺbky a priebehu šmykovej plochy, resp. sústavy šmykových plôch** – je to najdôležitejšia úloha prieskumných prác.



Obr. 9.18: Príklad účelovej inžinierskogeologickej mapy z lokality Lukov (Havčo a kol., 2010)



Obr. 9.19: Príklad rozmiestnenia prieskumných prác v prúdovom zosuve (Malgot, Kopecký, 2003); a – posudzovaná trasa, b – pozdĺžny profil zosuvu, c – priečny profil zosuvu, 1 – teleso zosuvu, 2 – neporušené podložie

Rozmiestnenie prieskumných prác

Prieskumné práce by sa mali situovať nielen v samotnom zosuvnom telese, ale aj mimo neho (obr. 9.19), aby mohol byť zostavený reprezentatívny profil. V závislosti od veľkosti zosuvného územia je možné rozmiestniť prieskumné práce vo viacerých profiloch.

Hĺbka prieskumných prác

Prieskumné práce musia mať takú hĺbku, aby dosiahli až neporušené prostredie pod telesom zosuvu. To znamená, že musia siahať pod najhlbšiu (bazálnu) šmykovú plochu. Takže kopané šachtice je možné použiť v plytších zosuvoch (cca do 5 m) a vrtá v hlbších zosuvoch. Hĺbku vrtu je možné predikovať podľa morfológie zosuvu, predovšetkým na základe tvaru a výšky odlučnej a akumulačnej oblasti zosuvu.

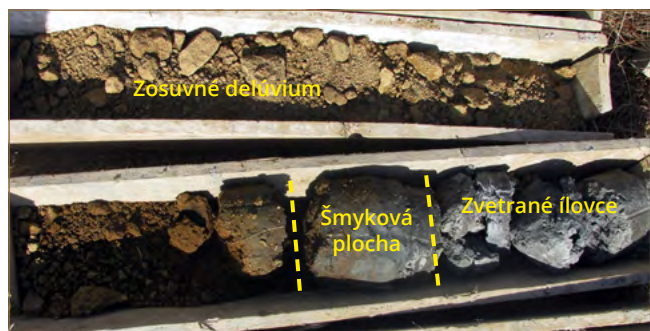
Stanovenie hĺbky a charakteru šmykových plôch

Pre vizuálne stanovenie prítomnosti šmykových plôch je nevyhnutné realizovať vrtné práce jadrovým spôsobom, v skálnych horninách dvojitoú jadrovnícou.

Určenie šmykových plôch vo vrtaných sondách nie je jednoduché. Je absolútne nevyhnutné, aby sa vrtalo jadrovým spôsobom. **Dilatantné** šmykové plochy možno identifikovať podľa prítomnosti typických (vyleštených) tenkých klzných plôšok. Tento prípad je

však vzhľadom na porušenie zemín pri vŕtaní zriedkavý. Aby sa dosiahol 100 % výnos jadra, pri prieskume zosuvov sa vŕta najčastejšie bez výplachu. Pri takomto vŕtaní však vznikajú v samotnom vrtnom jadre mnohé vodorovné šmykové plochy v dôsledku jeho preklzovania.

Polohu šmykovej plochy v ťahovej zóne zosuvu možno predpokladať na základe zvýšenia vlhkosti zeminy a zníženia jej objemovej hmotnosti a pevnosti v šmyku. **Kontraktantné šmykové zóny** sa prejavujú



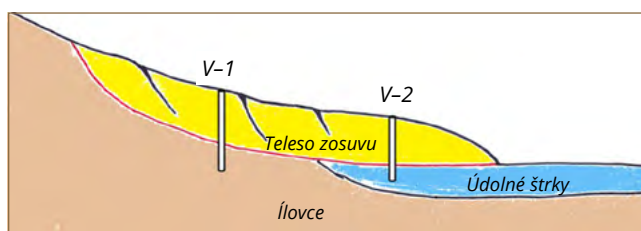
Obr. 9.21: Záchytená šmyková plocha vo vrtnom jadre na kontakte suťových delúvií a podložných zvetraných ílovcov – Vrt V-1 (Kopecký, 2010)



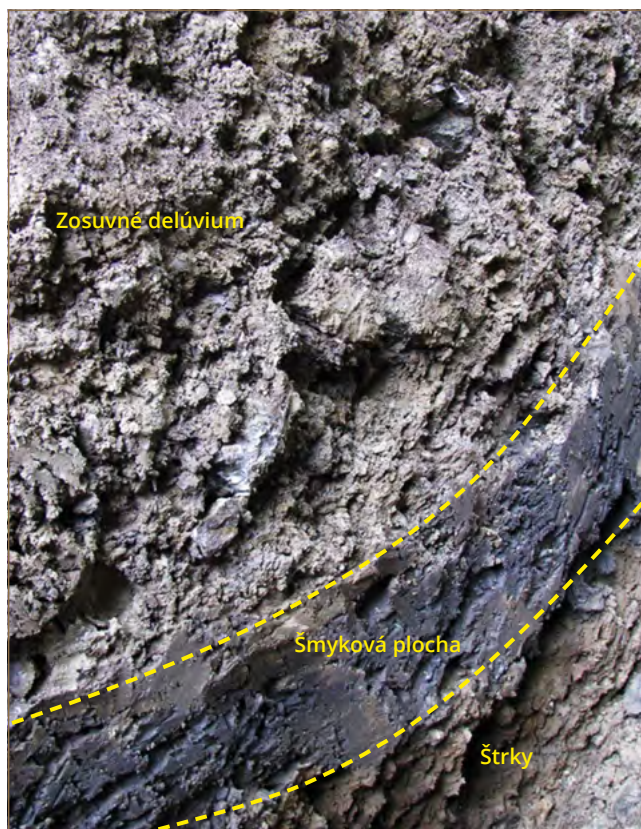
Obr. 9.22: Záchytená šmyková plocha vo vrtnom jadre na kontakte ílovitých delúvií a štrkov aluviálnej nivy – Vrt V-2 (Kopecký, 2010)



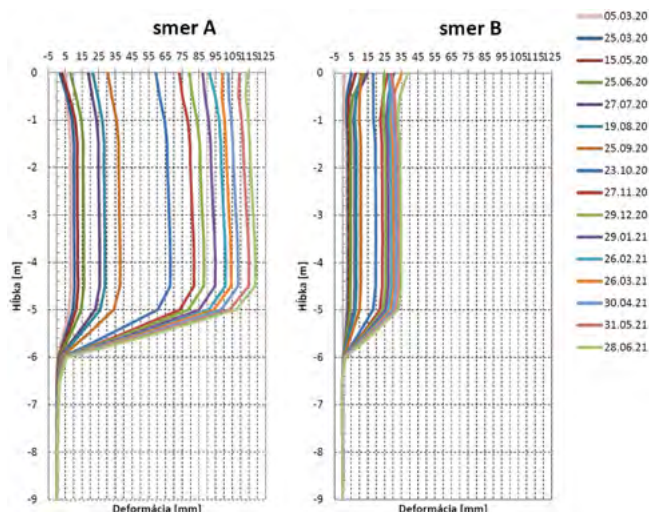
Obr. 9.24: Záchytená šmyková plocha (posun skruže) v domovej studni (foto: M. Kopecký)



Obr. 9.20: Stanovenie priebehu šmykových plôch na základe vyhodnotenia vrtného jadra – vrty V-1 a V-2 (lokalita Bardejovská Zábava, Kopecký, 2010)



Obr. 9.23: Záchytená šmyková plocha v kopanej šachtici (Kopecký, 2010)



Obr. 9.25: Záchytená šmyková plocha v inklinometrickom vrte v hĺbke cca 5,0 m (Kopecký, Brček, 2021)

intenzívnym prehnietením. **Krípové zóny** (zóny plavivého pretvárania) obsahujú mnohé usmernené diferenciálne šmykové plôšky. Sú vyleštené a nie sú priebežné. Materiál je tu intenzívne premiešaný.

V praxi sa často určujú šmykové plochy iba na základe nepriamych príznakov, napr. podľa zmeny farby (oxidácia v telese zosuvu spôsobuje iný odtieň sfarbenia zeminy), orientácie vrstevnatosti (či je uloženie vrstiev pôvodné alebo porušené – zmenené) a stupňa celkovej porušenosti zemín a hornín. Často sa bazálna šmyková plocha jednoducho stotožňuje s rozhraním medzi kvartérnymi sedimentmi a predkvartérnym podložíom (obr. 9.20 a 9.21). Prípadne ak je čelo zosuvu nasunuté na fluvialné štrky, tak je pomerne zrejme poloha šmykovej plochy na uvedenom kontakte (obr. 9.20 a 9.22).

Priebehy šmykových plôch sa vizuálne s najväčšou presnosťou zistia v kopaných sondách a šachticiach (obr. 9.23). Pri prieskume aktívnych zosuvov ich však z bezpečnostných dôvodov nemožno použiť (bez zaistenia stability stien výkopu). Používanie šachtíc obmedzuje aj prítomnosť podzemnej vody v zosuvoch.

Šmykové plochy zosuvov je možné zaznamenať aj nepriamo – napr. porušením stavebných objektov v hĺbke, tak ako to bolo zaznamenané na zosuve v Kapušanoch v domovej studni, kde došlo v oblasti šmykovej plochy k posunutiu skruží (obr. 9.24).

Najpresnejšie je možné stanoviť polohu šmykových plôch monitorovaním v špeciálne zabudovaných vrtoch (inklinometroch) (obr. 9.25).

9.1.3.2 Geofyzikálne metódy

Aplikovateľnosť rôznych geofyzikálnych metód závisí od konkrétnych geologických podmienok, ale v princípe možno konštatovať, že ich výhodou je rýchlosť, flexibilita a použitie v teréne nedostupnom pre technické práce využívané v inžinierskej geológii. Geofyzikálne metódy sú nedeštruktívne a v neposlednom rade je ich výhodou aj pomerne nízka cena.

Povrchové geofyzikálne metódy

Geoelektrické metódy

Geoelektrické metódy tvoria najrozsiahlejšiu skupinu prieskumných geofyzikálnych metód a sú aj najčastejšie využívané v rámci jednotlivých etáp inžinierskogeologického prieskumu. Pomocou geoelektrických metód môžeme horniny diferencovať na základe ich odporu, permitivity a elektrochemickej aktivity.

VES (vertikálne elektrické sondovanie) a OP (odporové profilovanie) poskytujú relatívne kvalitné informácie o rozložení merného odporu v horninovom prostredí, avšak hustota informácie pri klasickej metodike nie je veľká a s hĺbkou klesá.

Elektrická odporová tomografia (Electrical Resistivity Tomography – ERT) – Táto metóda spája výhody OP a VES; pri pravidelnom kroku merania (zvyčajne do

Hydrogeologickým pomerom zosuvného územia je potrebné venovať veľkú pozornosť, nakoľko pri stabilite svahov hrajú rozhodujúcu úlohu. Dôležitou úlohou pri prieskumných prácach je stanoviť výskyt a charakter hladín podzemných vôd, prípadne ich priesakov a priebeh pórových tlakov. Počas realizácie prieskumných diel je nutné zaznamenať každý prítok, resp. priesak podzemnej vody do vrtu. Tieto údaje sú nevyhnutné pri návrhu zabudovania monitorovacieho vrtu na sledovanie tlakových pomerov podzemných vôd. Stanovenie hĺbky prítokov podzemných vôd v prieskumnom diele je dôležité aj z toho hľadiska, že prítok vody sa často viaže na polohu šmykovej plochy. Preto by sa mali v zosuvných územiach vrtať prieskumné vrty bez použitia výplachu.

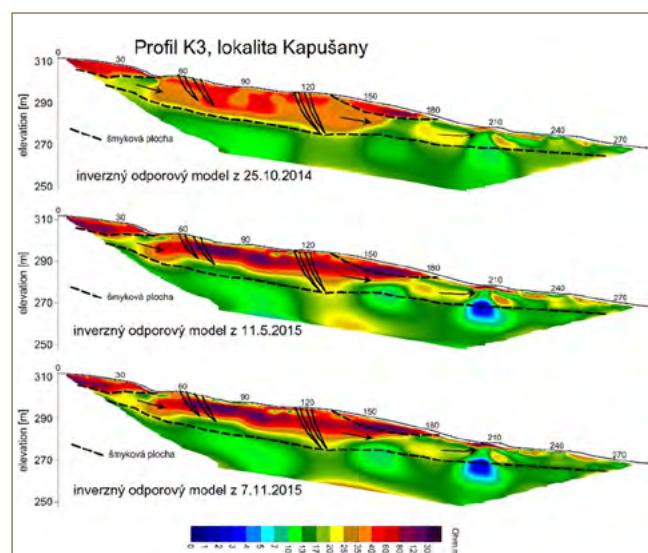
Prieskumné vrty slúžia nielen na stanovenie hĺbky hladiny podzemnej vody, ale aj na sledovanie jej zmien v závislosti od zrážkových pomerov, výšky hladiny v povrchovom toku, príp. vodnej nádrži. Dôležité je tiež overenie výskytu napätých horizontov podzemných vôd a sledovanie ich zmien.

V prípade, ak sa plánuje realizácia piezometrického a inklinometrického vrtu vedľa seba (dvojčka), je dôležité najskôr hĺbiť inklinometrický a následne piezometrický vrt. Je to potrebné z dvoch dôvodov: jednak sa v mieste inklinometra zistia hĺbky prítokov podzemných vôd a tomu sa prispôsobí zabudovanie piezometra, na druhej strane zálievka z inklinometrického vrtu neupchá filtračné časti piezometra.

Geofyzikálne merania poskytujú spojité informácie (líniové alebo plošné; 2D i 3D) oproti bodovým informáciám, ktoré sa získavajú z technických prác.

Geofyzikálne metódy sa delia na povrchové a na karotážne (predstavujúce súbor meraní vo vrtoch). V ďalšom texte sa uvádza len opis metód, ktoré sa využívajú pri prieskume svahových deformácií.

10 m) poskytuje spojitú informáciu pozdĺž meraného profilu do hĺbky. ERT merania predstavujú v súčasnosti modernú a často využívanú geofyzikálnu metódu pri inžinierskogeologických prieskumoch. Na základe zmien merného elektrického odporu možno získať významné výsledky a informácie týkajúce sa napríklad litológie (Jongmans a Garambois, 2007), štruktúry a geometrie zosuvu (laterálne rozšírenie a hrúbka). Z výsledkov je tiež možné identifikovať šmykové plochy medzi zosuvnou masou a neporušeným geologickým prostredím, prípadne priestorové zmeny hydrogeologických parametrov (pórovitosť a obsah vody). Výsledky ERT meraní je možné prezentovať v 2D rezoch a v 3D priestore (obr. 9.26).



Obr. 9.26: Ukážka 2D prezentácie výsledkov ERT meraní na zosuve v Kapušanoch – časové inverzné rezy rezistivity (Kušnirák a kol., 2016)

Elektrochemické metódy

Tieto metódy skúmajú elektrochemické polia vznikajúce v horninovom prostredí vplyvom elektrochemických procesov. Patria sem polia hlavne elektrochemického, filtračného a difúzneho pôvodu. Najčastejšie aplikovanou metódou v inžinierskogeologickom prieskume je metóda spontánnej polarizácie (SP). Metódu SP je možné použiť aj v zosuvných územiach na zistenie infiltrácie, akumulácie, resp. pohybu podzemnej vody. Aparatúra na meranie spontánnej polarizácie pozostáva z dvoch nepolarizovateľných elektród, ktoré sú pripojené na potenciometer.

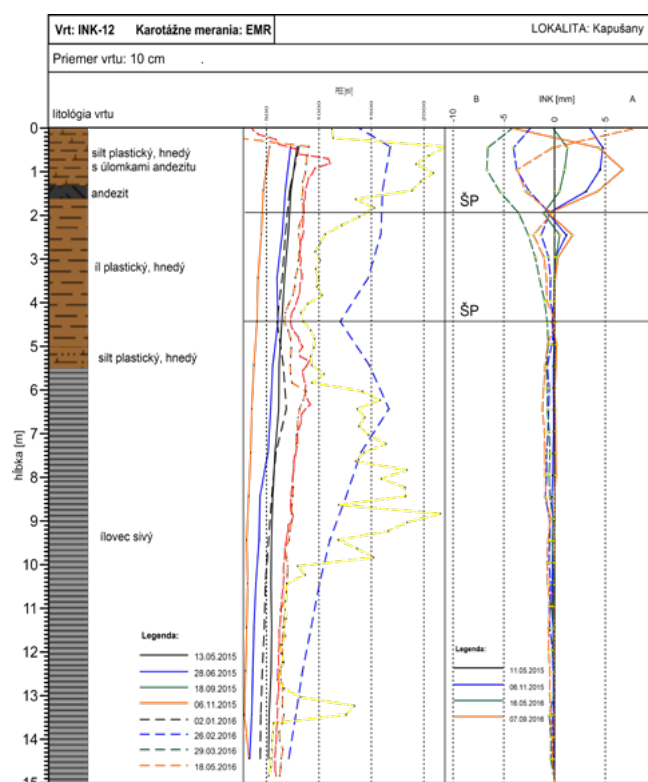
Elektromagnetické metódy

Zo širokej škály elektromagnetických metód sa pri plytkom inžinierskogeologickom prieskume (do hĺbky prvých desiatok metrov) najčastejšie využíva metóda dipólového elektromagnetického profilovania (DEMP) a Georadar (GPR). Pri riešení problematiky svahových deformácií sa metóda DEMF najviac využíva na ohraňovanie zosuvného územia. Na základe opakovaných meraní je možné sledovať zmeny vodivosti prostredia v dôsledku zmien nasýtenia vodou v jednotlivých častiach svahovej deformácie.

Na prieskumy v zosuvných územiach pomocou GPR je vhodné frekvenčné spektrum v rozmedzí 50 – 300 MHz, ktoré poskytuje informácie do hĺbky ~25 m. Nespornou výhodou využitia georadaru je jeho citlivosť umožňujúca identifikovať vo všeobecnosti veľmi tenké šmykové plochy, ktoré sa v prípade nízkeho odporového kontrastu medzi stabilnou a nestabilnou časťou skúmaného územia pri prieskume metódou ERT neprejavajú (Sass a kol., 2008).

Seizmické metódy

Seizmické metódy sú založené na rozdielnych rýchlostiach šírenia a absorpcie elastických vln



Obr. 9.27: Príklad časozberného záznamu merania EMR a inklinometrického merania v lokalite Kapušany pri Prešove vo vrte INK-12 (Kušnirák a kol., 2016)

v horninovom prostredí. Na inžinierskogeologické účely má význam hlavne fakt, že rýchlosť šírenia elastickej vlny v prostredí je funkciou modulov elasticity, Poissonovho čísla a hustoty materiálu.

Rádiometrické metódy

Rádiometrickými metódami sa meria obsah prírodných rádionuklidov v prostredí, uvoľňovaných pri rozpade rádioaktívnych minerálov v horninách. V prípade svahových deformácií metóda môže prispieť k vymedzeniu hlavných častí svahovej deformácie, ohraňovaniu zosuvných blokov alebo k lokalizácii odlučnej hrany (pri zastretých formách zosuvov) na základe zmenenej plynopriepustnosti materiálu zosuvnej oblasti (Kušnirák a kol., 2016).

Merania vo vrtoch – karotážne metódy

Karotážne metódy predstavujú súbor meraní vo vrtoch. Vrtne varianty povrchových geofyzikálnych metód vo všeobecnosti používajú sondu s meracím zariadením, ktorá sa spúšťa do vrtu v pravidelných hĺbkových intervaloch (metráž je uvedená na vodiacom kábli); registračná aparatúra je umiestnená najčastejšie na povrchu. V ďalšom texte sú opísané karotážne metódy využiteľné v inžinierskogeologickom prieskume:

Indukčná karotáž (IK) je určená na zistenie meraného odporu hornín vo vrtoch. Indukčná karotáž je vhodná na zistenie litologickej stavby, identifikáciu



Obr. 9.28: Detail šmykovej plochy z Kraľovianskeho zosuvu (foto: M. Ondrášik) a šmykovej plochy zo zosuvu v Šenkviach (foto: V. Jánová)

priepustných polôh aj šmykových zón v rámci zosuvných telies.

Neutrón-neutrón karotážou (NNK) je možné významne doplniť alebo overiť výsledky terénnych a laboratórnych meraní v oblasti prieskumu hĺbkového porušenia svahu, detekcie priebehu šmykových plôch a zisťovania geotechnických parametrov pre stabilitné výpočty vo forme informácií o vlhkosti hornín a zemín detegovaných vrtom a ich pórovitosti vo vertikálnom reze (Mareš a kol., 1983).

9.1.4 Terénne a laboratórne skúšky vlastností hornín

Rozsah terénnych a laboratórnych skúšok vlastností hornín závisí od typu skúmanej svahovej deformácie a od charakteru horninového prostredia. Analýzou

Vlastnosti horninového prostredia stanovené v teréne

Z terénnych skúšok sa na hodnotenie horninového prostredia využívajú predovšetkým statické a dynamické penetračné skúšky, kde znížené odpory môžu znamenať prítomnosť oslabených šmykových

Metóda elektromagnetického žiarenia (z angl. EMR – electromagnetic radiation) je založená na registrácii elektromagnetických emisií produkovaných v horninovom prostredí rôznymi mechanizmami. Príklad časozberného záznamu merania EMR a inklinometrického merania v lokalite Kapušany vo vrte INK-12 je na obr. 9.27. V oblastiach šmykových plôch (ŠP) zistených inklinometrickým meraním sa pozoruje znížená aktivita poľa EMR, čo je spôsobené poklesom napätostného stavu prostredia v okolí šmykovej plochy.

vlastností zemín a hornín odobratých z prieskumných diel, prípadne odkryvov sa získavajú vstupy pre stabilitné výpočty.

zón. Na stanovenie vlastností skalných a poloskalných hornín je možné využiť aj presiometrické a dilatrometrické skúšky. Vlastnosti horninového masívu zahŕňajúce vrstevnatosť a puklinovitosť



Obr. 9.29: Vzorka zeminy zo šmykovej plochy v krabicovom a kruhovom šmykovom prístroji po ukončení skúšky (foto: M. Kopecký)

alebo diskontinuity môžu byť nepriamo preskúmané zafažovacími skúškami a skúškami šmykovej pevnosti pozdĺž puklín. V poloskalných horninách

sa môžu vykonať doplnkové skúšky v teréne alebo veľkorozmerové laboratórne skúšky na blokových vzorkách.

Vlastnosti horninového prostredia stanovené v laboratóriu

Okrem vzoriek z telesa svahových deformácií je veľmi dôležité odoberať predovšetkým vzorky zemín a hornín zo šmykových plôch, prípadne zón.

Z prieskumných diel sú odoberané vzorky zemín a hornín na laboratórne rozbor. Kvalita odobraných vzoriek musí spĺňať kritériá STN EN ISO 22475-1. Na stanovenie granulometrického rozboru, určenie vlhkosti, konzistenčných medzí (medza tekutosti a medza plasticity) postačuje kvalita 3. a 4. kvalitatívnej triedy, t. j. porušené vzorky so zachovanou vlhkosťou. Na stanovenie objemovej hmotnosti, mernej hmotnosti a šmykových a deformačných parametrov sa požadujú vzorky 1. a 2. kvalitatívnej triedy – „neporušené“ vzorky, ktoré sa dajú len použitím metód odberu vzoriek kategórie A – majú zachovanú štruktúru a vlhkosť. Aby bolo možné riešiť stabilitné úlohy, je nevyhnutné čo najpresnejšie poznať predovšetkým parametre šmykovej pevnosti zemín a hornín v oblasti oslabených, resp. šmykových plôch alebo zón. Pri prieskume sa preto musí venovať pozornosť odberu neporušených vzoriek z nich. Pri ich odbere je niekedy vhodné hĺbiť 2 vrty vedľa seba. Prvým sa zistí hĺbka šmykovej plochy a v druhom, realizovanom v tesnej blízkosti, sa odobere z tejto hĺbky neporušená vzorka.

Najvýhodnejšie je odobrať neporušenú vzorku priamo z odkrytej šmykovej plochy alebo z kopanej šachtice (obr. 9.28).

9.1.5 Posúdenie stability svahov

Posúdenie stability svahu predstavuje neoddeliteľnú súčasť záverečnej správy z inžinierskogeologického prieskumu svahových deformácií. Musí byť realizované dôsledne a zodpovedne, pretože predstavuje podklad pre statika a projektanta pri návrhu sanačných opatrení. Pri stabilitnom výpočte je úlohou inžinierskeho geológa správne pretransformovať inžinierskogeologický profil na matematický stabilitný profil a na ňom realizovať výpočty. Pri aktívnych svahových deformáciách, predstavujúcich vysoký stupeň zosuvného rizika (ohrozuje životy a majetok obyvateľstva, prípadne infraštruktúru), je vhodné spracovávať aj predbežné stabilitné výpočty počas prebiehajúceho prieskumu, ktoré by mali napomôcť aj pri návrhu okamžitých protihavarijných opatrení. Návrhy trvalých sanačných opatrení vychádzajú potom z komplexných výsledkov inžinierskogeologického prieskumu svahových deformácií, teda sú postavené na základe zhodnotenia výsledkov

Ak je už svah porušený, pri stabilitných analýzach je potrebné počítať s parametrami reziduálnej šmykovej pevnosti (ϕ_r a c_r). Zisťujú sa reverzibilnou metódou v čelustovom (krabicovom) prístroji alebo v kruhovom šmykovom prístroji (obr. 9.29).

V niektorých prípadoch je vhodné určiť parametre reziduálnej pevnosti spätnými stabilitnými výpočtami (pri predpoklade, že stupeň stability $F_s \leq 1$ a $c_{rez} = 0$ kPa). Takto zistená hodnota reziduálnej šmykovej pevnosti, ktorá reprezentuje priemernú šmykovú pevnosť na celej šmykovej ploche, je veľmi cenná pri výpočtoch účinnosti navrhovaných sanačných opatrení.

Laboratórne analýzy zahŕňajú aj analýzu chemického zloženia podzemnej vody, najmä v prípadoch, ak sa porušený svah nachádza v zastavanom území. Chemické vlastnosti podzemnej vody umožňujú zistiť, či svahová deformácia nevznikla napríklad v dôsledku porušeného vodovodného alebo kanalizačného potrubia.

Výsledkom inžinierskogeologického prieskumu stability svahu v skúmanej lokalite je zostrojenie výpočtového modelu stability svahu, na ktorom sa vhodnou metódou vykoná stabilitná analýza. Metódy stabilitných analýz svahov, ktoré tvoria zeminy a skalné horniny, sú veľmi odlišné.

technických terénnych prác, skúšok a laboratórnych rozborov.

Vo všeobecnosti sú riešené dve rôzne skupiny úloh pri posudzovaní stability svahov:

- stabilita svahov na územiach náchylných na zosúvanie (kde sa svahové pohyby ešte neprejavili a považujeme ich z hľadiska aktivity za stabilizované alebo potenciálne),
- stabilita svahov na území, v ktorom sa zosuvy už vyskytli (z pohľadu aktivity aktívne a potenciálne) – v tomto prípade vo výpočte používame reziduálne parametre šmykovej pevnosti.

V súčasnosti je na trhu viacero softvérových balíkov na výpočet stability svahov, od jednoduchších v 2D priestore po zložitejšie, využívajúce napr. metódu konečných prvkov, a aj v 3D priestore. Jedným z dostupných a aj užívateľsky dobre spracovaných je modul Stabilita svahov zo skupiny programov GEO5.

Výpočet stability zemných svahov

Pri stabilitných výpočtoch sa v slovenskej praxi používajú najmä klasické riešenia, ktoré vychádzajú zo skúmania statickej rovnováhy na medzi porušenia zemného telesa. V zemine vznikne jedna alebo niekoľko čiastkových šmykových plôch, pri väčších hrúbkach hovoríme o šmykovej zóne.

Na posúdenie stability svahov je nevyhnutné mať nasledujúce informácie:

- potrebné je poznať geometrický tvar svahu – výpočtový profil v súčasnosti najčastejšie možno zadať pomocou geodetického zamerania GNSS, z ortofoto alebo z LiDAR-ového zamerania,
- rozhrania jednotlivých litologických vrstiev – na základe dokumentácie z vrtných prác, in situ skúšok, a pod.,
- úroveň hladiny podzemnej vody a režimové pozorovania – z prieskumných prác a monitorovania,
- tvar a priebeh šmykových plôch – z prieskumných prác a inklinometrických meraní,
- fyzikálne a mechanické vlastnosti (parametre šmykovej pevnosti – najmä efektívne alebo totálne parametre šmykovej pevnosti, a to vrcholové i reziduálne – uhol vnútorného trenia a kohézie (súdržnosť),
- stavebný, resp. antropogénny zásah do svahu – hodnota priťaženia svahu od výstavby, plánovanej výstavby, plánovaných zárezov, násypov a pod.

Modul Stabilita svahu geotechnického softvéru GEO5 rieši stabilitu svahu s kruhovou (rotačnou, valcovou), respektíve polygonálnou (tangenciálnou, rovinnou) šmykovou plochou, pričom využíva dvojrozmerný model zemného telesa. Takýto dvojrozmerný profil sa analyzuje za predpokladu podmienok rovinného pretvorenia.

Po vytvorení matematického modelu sa vyberá vhodná výpočtová metóda, ktorá závisí od tvaru šmykovej plochy. V prípade zistenia kruhovej šmykovej plochy je možné použiť metódy: Bishop, Fellenius/Petterson, Janbu zjed., Spencer, Morgenstern-Price; pre polygonálnu šmykovú plochu: Sarma, Janbu zjed., Spencer, Morgenstern-Price.

Pri uvažovaní o hodnotách šmykových parametrov zistených počas inžinierskogeologického prieskumu je možné použiť spätné výpočty. V princípe ide o hľadanie hodnôt súdržnosti (c) a uhla vnútorného trenia

(ϕ), pri ktorých sa požadovaný stupeň stability (F_s) rovná 1. Pri zosuvoch, kde je dobre overený priebeh šmykovej plochy a sú správne zamerané pozdĺžne profily a aspoň orientačne objasnené úložné a hydrogeologické pomery, je možné uprednostniť stanovenie vlastností hornín spätnými výpočtami stability pred zisťovaním vlastností hornín laboratórnymi skúškami (Ondrášik a kol., 2011).

Program umožňuje výber metodiky výpočtu, najčastejšie sa používa výpočet, ktorého výsledok je stupeň stability (bezpečnosti) (F_s) alebo výpočet podľa EN 1997.

Stupeň stability predstavuje číselné vyjadrenie pomeru pasívnych síl, ktoré pôsobia proti porušeniu svahu, k aktívnym šmykovým silám, ktoré majú tendenciu posunúť horniny tvoriace svah, označujeme ho symbolom F_s a vyjadruje sa vzťahom:

$$F_s = \frac{\sum P}{\sum A}$$

kde: $\sum P$ – súčet pasívnych síl pôsobiacich vo svahu,
 $\sum A$ – súčet aktívnych síl pôsobiacich vo svahu.

Pri trvalých stavbách sa vyžaduje stupeň stability svahu $\geq 1,5$; pri dočasných stavbách $\geq 1,3$; pri seizmickom namáhaní 1,0 – 1,1.

Pri posúdení stability svahu podľa Eurokódu7 je podstatná voľba návrhového postupu a čiastkových súčiniteľov výpočtu. Vo všetkých návrhových postupoch pritom dochádza k redukcii síl a zaťaženia.

Počíta sa hodnota využitia svahu V_u , ktorá sa porovnáva so 100 %. Hodnota využitia má potom tvar:

$$V_u = \frac{M_a}{M_p} 100 \% < 100 \%$$

kde: M_a – zosúvajúci moment,
 M_p – vzdorujúci moment.

V návrhovom postupe 2 je vzdorujúci moment M_p stanovený z neredukovaných parametrov zemín, ale s vplyvom redukcie odporu na šmykovej ploche pomocou súčiniteľa γ_{Rs} . V návrhovom postupe 1 a návrhovom postupe 3 sa na stanovenie celkového odporu M_p redukujú šmykové parametre zemín – uhol vnútorného trenia a súdržnosť.

9.2 Príklady z praxe

Ako príklad uvádzame posúdenie stability svahu komplexnej svahovej deformácie v katastri obce Ivachnová. Zosuv Ivachnová (obr. 9.30) je vyvinutý na úpätí ľavého svahu údolia Váhu, južne od obce Ivachnová, cca 180 m severne od kóty Bežan (670 m n.

m.), v nadmorskej výške 505 – 555 m n. m. Zasahuje aj do trasy plánovanej diaľnice D1. Svahová deformácia má plošný charakter, je zložená z potenciálnych a aktívnych prúdových zosuvov a menších a väčších blokov paleogénnych hornín a terasových sedimentov.

Posudzované zosuvné územie má šírku cca 400 m a dĺžku 200 m. Morfológia zosuvného svahu je členitá.

9.2.1 Vstupné parametre stabilitných výpočtov

Reliéf

Výpočtový profil má celkovú dĺžku 395 m; začiatok je situovaný na výškovej kóte 502,9 m n. m. a prechádza vrtmi J-367, 27/INK-1, IV-63, PV-66, IV-80, IV-81 a končí na kóte 573,4 m n. m.

Terén posudzovaného svahu vzhľadom na sklonitosť patrí k miernym svahom so stredným sklonom. V mieste výpočtového profilu je to $10,1^\circ$ s výškovými kótami od 502,9 do 573,5 m n. m., vo výškovom systéme Balt po vyrovnaní.

Parametre šmykovej pevnosti a objemovej tiaže

Parametre šmykovej pevnosti a objemovej tiaže vstupujúce do stabilitných výpočtov boli spracované z analýzy výsledkov realizovaných inžinierskogeologických prieskumov. Vzhľadom na to, že posudzovaný svah predstavuje zloženú aktívnu svahovú deformáciu,

Úroveň hladiny podzemnej vody

V stabilitných výpočtoch boli modelované štyri stavy hladiny podzemnej vody, tieto vychádzajú z údajov o narazenej a ustálenej hladine podzemnej



Obr. 9.30: Situovanie výpočtového profilu – červená línia. Podklad: LiDAR-ové zameranie (Bednarik, 2019)

boli použité okrem vrcholových efektívnych šmykových parametrov aj reziduálne šmykové parametre.

V tab. 9.1 uvádzame parametre zemín tak, ako boli použité v stabilitných výpočtoch v prostredí modulu Stabilita svahu.

vody v čase realizácie samotných prieskumných vrtov a z analýzy GTM – maximálna úroveň HPV.

Tab. 9.1: Parametre horninového prostredia vstupujúce do stabilitných výpočtov (Bednarik, 2019)

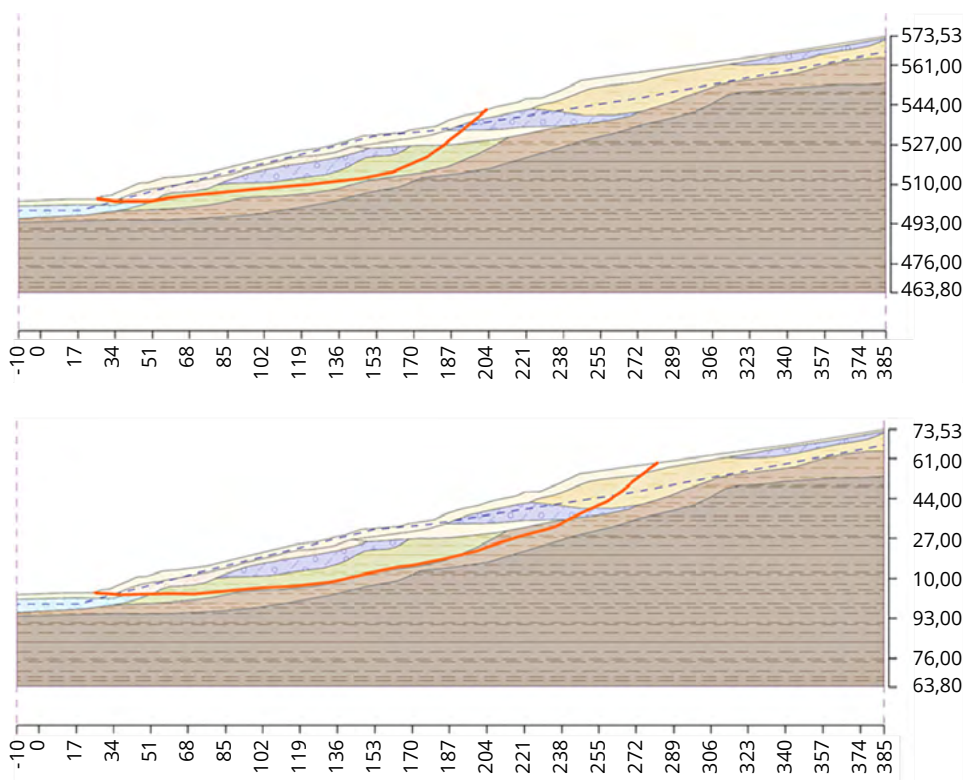
Číslo	Názov	Vzorka	ϕ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Paleogénne sedimenty silno zvetrané		12,40	8,00	21,40
2	Paleogénne sedimenty slabo zvetrané		28,00	14,40	20,50
3	Paleogénne sedimenty zdravé		38,40	36,00	25,20
4	Zosuvné delúvium kamenito-hlinité		12,80	3,20	20,30
5	Zosuvné delúvium ílovité		11,20	2,40	20,00
6	Polygenetické íly		13,00	7,20	20,80
7	Terasové sedimenty		24,00	6,40	20,80
8	Fluviálne sedimenty		27,20	0,00	19,60
9	Aluviálne sedimenty		21,60	4,80	18,80

Šmykové plochy

Na stabilitné výpočty boli šmykové plochy konštruované ako zložené (rotačno-planárne). Šmykové plochy boli modelované pozdĺž celého zosuvného telesa, prepočítaných bolo aj niekoľko hypotetických šmykových plôch valcového aj rovinného tvaru.

Z analýzy výsledkov GTM boli získané informácie o hĺbkach šmykových plôch, resp. deformácii a aktivite pohybov.

Obr. 9.31 ukazuje priebehy a tvary zistených šmykových plôch na základe analýzy geotechnických monitorovaní.



Obr. 9.31: Matematický model výpočtového profilu, šmyková plocha 1 a šmyková plocha 2 (Bednarik, 2019)

9.2.2 Stabilitné výpočty

Stabilitné výpočty boli realizované výpočtovým softvérom GEO5, modul Stabilita svahu (spoločnosti FINE, s. r. o., verzia 2019.20). Na výpočtovom profile po zadání vstupných parametrov bol zvolený klasický

výpočet stupňa stability F_s . Stupeň stability je počítaný pomocou Sarmovej metódy. V tab. 9.2 sú uvedené stupne stability F_s podľa Sarmu jednotlivých modelovaných úrovní hladiny podzemnej vody.

Tab. 9.2: Stupne stability F_s podľa Sarmu jednotlivých modelovaných úrovní HPV (Bednarik, 2019)

Šmyková plocha	Stupeň stability F_s HPV narazená	Stupeň stability F_s HPV ustálená	Stupeň stability F_s HPV maximálna z GTM	Stupeň stability F_s HPV znížená
1	1,00	0,92	0,89	1,25
2	1,18	1,14	1,07	1,39

9.3 Prieskum svahových deformácií v skalných horninách

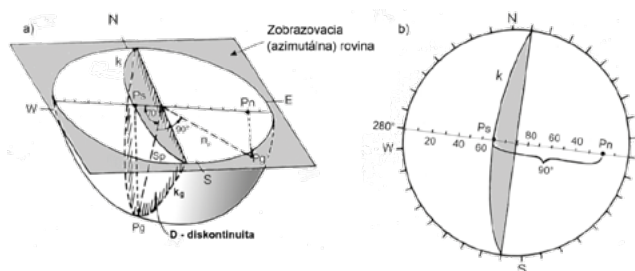
Terénne prieskumné práce, ktoré sa využívajú v inžinierskegeologickom prieskume skalných svahov, slúžia na zistenie trojrozmerného modelu horninového prostredia, ktoré bude dotknuté projektovanou výstavbou. Na skalných svahoch a zárezoch sa realizujú:

- priame prieskumné práce (vrtné a kopné) a metódy odberu vzoriek,
- meranie smeru a sklonu diskontinuít, hustoty, drsnosti, priebežnosti, povrchovej pevnosti tzv. 10 štruktúrnych znakov podľa ISRM (ISRM, 1977),

- vhodné terénne skúšky na blokoch hornín, testovanie pevnosti na úlomkoch prístrojom PLT, a ostatné vhodné testy v zmysle STN EN 1997-2,
- zisťovanie výskytu, režimu a vlastností puklinovej podzemnej vody v horninovom prostredí,
- geofyzikálne práce (povrchové i karotážne),
- mapovacie práce a meračské práce.

Cieľom inžinierskogeologického prieskumu je:

- zistiť čo najkomplexnejšie informácie o inžinierskogeologických a hydrogeologických pomeroch skalného masívu a zárezu,
- zistiť hlavné systémy diskontinuít a ich orientáciu pomocou štruktúrnej analýzy skalného masívu,
- spracovať kinematickú analýzu a stanoviť pravdepodobnosti výskytu jednotlivých mechanizmov porušenia svahu (planárne porušenie, klinové porušenie, blokové preklápanie),
- v nestabilných častiach svahu (zárezu) spresniť informácie o hĺbkach šmykových plôch, o režime podzemných vôd a o geotechnických parametroch vstupujúcich do stabilitných výpočtov,
- stanoviť potrebné vstupné parametre analýzy trajektórií blokov (tvar a rozmer blokov, charakteristické rezy, koeficient reštitúcie v tangenciálnom a normálovom smere), ak to je potrebné na projekt sanácie geologického prostredia, prípadne vykonať kalibračné spustenia blokov po svahu,
- stanoviť hladinu podzemnej vody, priepustnosť puklín, alebo identifikovať priesakové množstvá vody,
- stanoviť stupeň agresivity podzemnej vody v miestach ich kontaktu s betónovými a oceľovými konštrukciami a jeho zmien v čase a posúdiť potrebu protikorózneho ochrany,
- klasifikovať horninový masív podľa klasifikácií skalných svahov (SMR, Qslope a iné) v nadväznosti na požiadavky projektového riešenia (Barton a Bar, 2016),
- zistiť údaje o režime podzemnej vody v skalnom svahu alebo záreze, (kolísanie hladín podzemných vôd v čase), v prípade potreby navrhnúť spôsoby odvodnenia zárezov,
- vyhodnotiť merania z etáp geotechnického monitorovania v čase orientačného prieskumu (v prípade existencie) a spracovať návrh na geotechnické monitorovanie s konkrétnymi monitorovacími prvkami,
- poskytnúť podklad projektu geotechnického monitorovania v priebehu zárezu,
- stanoviť vlastnosti skalného materiálu potrebné na výpočet stability – objemová hmotnosť, pevnosť v jednoosovom tlaku (pod lisom, PLT prístrojom), modul deformácie, modul elasticity,

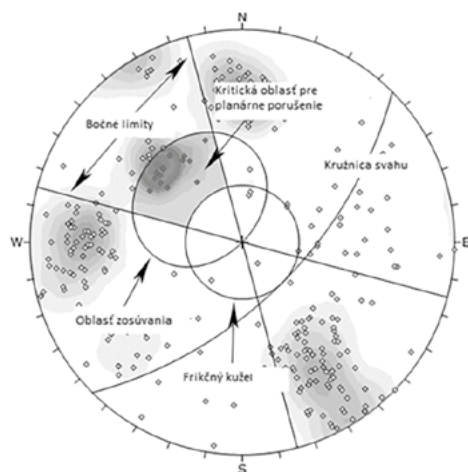


Obr. 9.32: Príklad zobrazenia diskontinuity $280^\circ/70^\circ$ v sférickej projekcii; a) zobrazovaná plocha diskontinuity (D), b) spôsoby vyjadrenia polohy diskontinuity v projekcii (TP114, 2020)

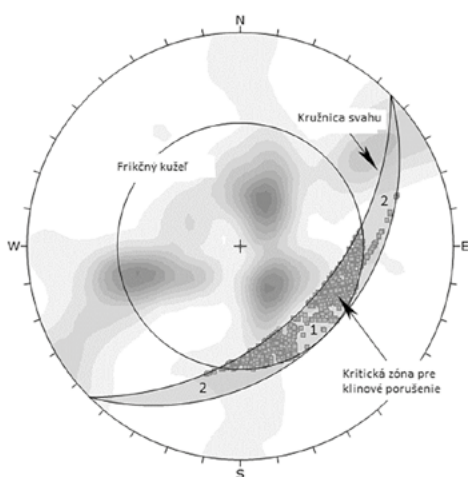
- stanoviť vlastnosti diskontinuít potrebné na výpočet stability (Drusa a kol., 2013) (uhol vnútorného trenia v puklinách), koeficient drsnosti JRC, pevnosť povrchu diskontinuít JCS (Schmidtovým kladivkom), šmykové parametre výplne ϕ , c , otvorenosť a priebežnosť puklín, atď.) (Drusa a kol., 2012),
- stanoviť hĺbku rozvoľnenia (zvetrania) skalného masívu,
- stanoviť výnos jadra RQD (v prípade existencie prieskumných vrtov),
- určiť možnosti využitia skalných hornín zo zárezov do násypov,
- stanoviť triedy ťažiteľnosti (STN 73 3050).

Pri stanovení metodiky, charakteru a rozsahu prieskumných prác podrobného inžinierskogeologického prieskumu sa vychádza z dovtedy získaných poznatkov, predovšetkým z výsledkov orientačného inžinierskogeologického prieskumu a používajú sa ustanovenia STN EN 1997-2 v etape podrobného prieskumu.

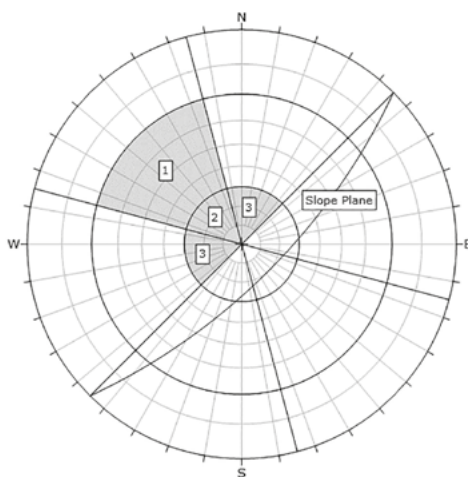
Inžinierskogeologický prieskum skalných svahov sa zameriava predovšetkým na štruktúrnu analýzu skalného masívu formou rekognoskácie terénu s meraním orientácie diskontinuít a iných štruktúrnych prvkov skalného masívu na zaznamenanie do tektonogramov. Vykonáva sa meraním pomocou geologického kompasu, v nedostupných častiach svahu horolezeckou technikou, alebo sa vyhodnocuje z 3D mračna bodov získaného zameraním skalného svahu laserovým skenerom, alebo ako výstup spracovania snímok skalného svahu pomocou digitálnej fotogrametrie. Výsledkom štruktúrnej analýzy je tektonogram (obr. 9.32) s vyznačením pólů diskontinuít a štatistické spracovanie orientácií jednotlivých systémů diskontinuít. Súčasťou rekognoskácie skalného masívu je aj stratigrafická a petrografická analýza hornín z odkryvov, detailné zmapovanie výverov podzemnej vody aj s ich základnou fyzikálno-chemickou analýzou, charakterizovanie morfológicky dôležitých terénnych tvarov, prípadne charakteristika iných



Obr. 9.33: Príklad tektonogramu s vyznačením kritickej zóny (sivá oblasť) planárneho blokového porušenia v projekcii pólov do Schmidtovej siete na zobrazenie dolnej hemisféry (TP114, 2020)



Obr. 9.34: Príklad tektonogramu s vyznačením kritickej zóny prienikov diskontinuít (oblasť 1) klinového porušenia po dvoch plochách a po jednej ploche – (oblasť 2), zostavené v projekcii smerov sklonov do Schmidtovej siete, dolnej hemisféry (TP114, 2020)



Obr. 9.35: Príklad tektonogramu s vyznačením kritických zón 1, 2 a 3 priesečkov diskontinuít preklápania blokov (toppling) (TP114, 2020)

geologicky dôležitých fenoménov (spôsob zvetrávania hornín a pod.). Často je potrebné dôkladné očistenie skalného svahu od vegetačného pokryvu a zemín, najmä pri použití diaľkových metód prieskumu (laserový skener, fotogrametrické zameranie).

9.3.1 Kinematická analýza

Kinematická analýza umožňuje prvotné overenie možnosti výskytu rôznych mechanizmov porušenia skalných masívov (planárne ušmyknutie, klinové porušenie, preklápanie) na základe analýzy orientácie diskontinuít v stereografickej projekcii vo vzťahu k orientácii svahu a uhlu vnútorného trenia v puklinách. Metodické aspekty kinematickej analýzy jednotlivých typov porušenia sú uvedené nižšie:

- **Kinematická analýza na planárne ušmyknutie** je analýza možnosti šmyku po jednej šmykovej ploche v závislosti od uhla vnútorného trenia. Výsledkom je tektonogram s vyznačením nebezpečnej oblasti (sivá plocha), v ktorej póly diskontinuít s orientáciou spadajúcou do tejto oblasti sú náchylné na planárne porušenie (obr. 9.33). V súlade s Goodmanom (Hudson a Harrison, 1997) sa aplikujú bočné limity planárnych porušení, za ktorými už ušmyknutie nenastane kvôli veľkému odklonu azimutov diskontinuít od smeru sklonu skalného svahu.
- **Kinematická analýza na klinové porušenie** skúma možnosť ušmyknutia blokov vzniknutých priesečkom dvoch diskontinuít vo vzťahu k orientácii svahu a uhlu vnútorného trenia na puklinách. Ako vidno na obr. 9.34, priesečníky diskontinuít spadajúce do oblasti 1 sú náchylné na vznik tohto typu porušenia. Treba mať na pamäti, že kinematická analýza posúva všetky diskontinuity do stredu projekcie (do jedného miesta), čo v realite nezodpovedá podmienkam vo svahu, takže nie všetky priesečky musia v skutočnosti nastať.
- **Kinematická analýza na preklopenie (toppling)** je posúdenie možnosti preklopenia blokov v súlade s opísanými podmienkami. Kľúčovými predispozíciami na tento spôsob porušenia sú
 - a) prítomnosť dvoch systémov diskontinuít, ktorých priesečníky sa ukladajú smerom do svahu a vytvárajú diskrétne bloky;
 - b) prítomnosť tretieho systému diskontinuít, ktorý oddeľuje bloky tak, že sú schopné pootočená alebo šmyku po základni bloku. Výsledný tektonogram má 3 kritické zóny (obr. 9.35). Zóny 1 a 2 sú tzv. primárne kritické zóny, kde priesečníky diskontinuít zapadajúce do svahu, sú vo vnútri bočných limitov podobne ako pri planárnom porušení.

Terénne skúšky a merania sa počas inžinierskogeologického prieskumu realizujú predovšetkým za účelom spresnenia charakteristických hodnôt vlastností horninového prostredia a priestorového vymedzenia litologických komplexov. Požaduje sa, aby pri vyhodnocovaní terénnych skúšok boli využité výsledky z vrtných a výsledky z laboratórnych skúšok podľa STN EN 1997-2 (pevnosť v prostom tlaku, priečny ťah, modulov deformácie a pružnosti, Poissonovo číslo, stanovenie fyzikálnych vlastností,...). V odôvodnených prípadoch je možné realizovať aj veľkorozmerové statické zaťažovacie skúšky doskou a šmykové skúšky na horninových blokoch, príp. využiť i ďalšie metódy overovania pevnostno-deformačných parametrov horninového masívu (konvergenčné merania, inklinodeformetrické merania,

extenzometrické merania, stanovenie primárnej napätosti a pod.).

Laboratórne skúšky sa vykonávajú predovšetkým za účelom klasifikácie skalných hornín. V etape podrobného inžinierskogeologického prieskumu sa okrem klasifikačných skúšok realizujú na odobratých vzorkách prevažne laboratórne skúšky na určenie geotechnických parametrov, vstupujúcich do geotechnických výpočtov vo fáze navrhovania stabilizačných konštrukcií. V prípade hornín sú to skúšky tlakovej pevnosti pod lisom na vzorkách po nasiaknutí a po zmrazovacích cykloch, skúšky ťahovej pevnosti (brazílsky test). Laboratórne rozbor podzemných vôd slúžia na zistenie stupňa agresivity na betónové a ocelové konštrukcie podľa STN EN 206+A1.

9.3.2 Výber klasifikácie horninového masívu

Výstupom IGP stabilizácie skalných svahov a zárezov by malo byť klasifikovanie horninového masívu podľa niektorej z klasifikácií vykonanej na charakteristických úsekoch skalného svahu:

- klasifikácia podľa SMR (Romana, 1993),
- klasifikácia podľa Qslope (Barton a Bar, 2016),
- klasifikácia podľa indexu kvality hornín (RQD) (Palmström, 2009),
- klasifikácia podľa geologického indexu pevnosti (GSI),
- klasifikácia podľa Bieniawského (RMR) (Bieniawski, 1989),
- klasifikácia podľa Nórskeho geotechnického inštitútu – Bartonova (QB) (Barton a Bar, 2016).

Klasifikácia RHRS

Princípom pôvodnej klasifikácie RHRS – *Rockfall Hazard Rating System* (Cala a kol., 2012; Wyllie a Mah, 2004) je hodnotenie rizikovosti skalného zrútenia, kde riziko vyjadruje mieru poškodenia objektov, ohrozenie osôb s ich frekvenciou výskytu v mieste dopadu a hazard ako pravdepodobnosť vzniku javu.

Hodnotenie hazardu je zostavené do 12-tich kritérií, ktoré zohľadňujú – výšku svahu, účinnosť záchytných opatrení, priemerné riziko zdržania vozidiel v mieste pádu, dĺžku rozhľadu na zastavenie vozidla,

Klasifikácia RMR

Geomechanická klasifikácia RMR – *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989), je klasifikáciou veľmi vhodnou do našich geologických pomerov rozpukaných masívov a používa sa hlavne v podzemnom staviteľstve. Horninový masív sa najprv rozdelí na priestorovo vymedzené celky s podobnými geotechnickými a petrografickými parametrami, a následne sa vykoná hodnotenie v každom úseku zvlášť. Je to klasifikácia pomocou 6-tich parametrov, ktorú neskôr

Požiadavky na výber použitej klasifikácie (klasifikácií) majú byť formulované projektantom stabilizačných opatrení skalného svahu v nadväzujúcej etape projektovej prípravy, prípadne v predošlej etape, pokiaľ nie je projektant nadväzujúcej etapy známy.

Použité klasifikácie by mali byť špecifikované už pri zadávaní požiadaviek na inžinierskogeologické prieskumné práce skalného svahu. Voľba klasifikácie sa prispôsobuje geologickým, geotektonickým a klimatickým podmienkam v mieste stavby. Týmto sa predchádza doplnkovému prieskumu alebo sondovaniu, ak daná klasifikácia nebola požadovaná.

šírku komunikácie, stupeň rozpukania, trenie na puklinách, náchylnosť na eróziu svahu, veľkosť možných nestabilných blokov, objem skalného zrútenia, klimatické pomery na svahu a históriu lokality. Jednoduchým súčtom bodového hodnotenia z uvedených dvanástich kritérií je potom vyhodnocované riziko spojené so skalným zrútením v danom úseku. Orientačne platí, že svahy s hodnotami pod 300 bodov nevyžadujú sanačný zásah, pri dosiahnutí 500 bodov a viac ide o havarijné stavy.

vylepšil Palmström (Palmström, 2009). Výsledné hodnotenie masívu je dané súčtom klasifikačných bodových hodnotení:

$$RMR = A1 + B1 + B3 + C2 + D1 + D3 + D4 + D5 + F, (1)$$

kde sa jednotlivé hodnotenia pridelujú podľa:

- pevnosti horniny v tlaku alebo ťahu – A1,
- indexu RQD – B1,
- vzdialenosti diskontinuít – B3,

- orientácie diskontinuít k osi zárezu – C2,
- charakteru diskontinuít D1, D3, D4 a D5,
- režimu podzemnej puklinovej vody F.

Klasifikácia SMR

Táto účelová klasifikácia vznikla na základe potreby detailnejšieho hodnotenia skalných svahov, pretože bolo nutné odčleniť sa od typických klasifikácií tunelov a pokúsiť sa ich modifikovať. Na základe tohto snaženia bola uvedená do praxe klasifikácia SMR – *Slope Mass Rating* (Romana, 1993), ktorá modifikuje výsledky klasifikácie RMR pomocou opravných koeficientov F v tvare:

$$SMR = RMR + (F1.F2.F3) + F4, \quad (2)$$

Hodnotenie svahu Q_{slope}

Ďalšou z radu modifikácií tunelových klasifikácií je empirické hodnotenie skalného svahu pomocou indexu Q_{slope} (Barton a Bar, 2016). Ten vychádza zo známeho indexu Q – *Rock Tunnelling Quality Index*, odvodeného Bartonom a Bandisom (1980). Úprava indexu spočíva vo špecifických zmenách hodnotenia vstupných parametrov zodpovedajúcich prostrediu skalného svahu. Obmedzením použitia tohto kritéria je výška svahu $H < 30$ m a sklon max. 90° , takto upravený index definuje hodnoty:

9.3.3 Určenie stabilného sklonu skalného svahu

Barton a Bar (2016) odvodili na základe korelácie viac ako 200 hodnotených svahov jednoduchú rovnicu, ktorá určuje stabilný generálny sklon

9.3.4 Stupeň stability skalného svahu

Stupeň stability skalného svahu F_s v zmysle klasickej teórie predstavuje odolnosť svahu voči porušeniu a následnému pohybu, vo svojej podstate predstavuje pomer medzi pasívnymi a aktívnymi silami na svahu (šmykové porušenia), príp. je to pomer medzi pasívnymi a aktívnymi momentmi (porušenie v odtrhnutí – previsy).

V zmysle návrhového postupu 3 podľa STN EN 1997-1 je stupeň stability definovaný ako % čerpania šmykovej pevnosti (< 100 % stabilné, > 100 % nestabilné svahy) a stabilné analýzy sa riešia postupnou redukciou parametrov šmykovej pevnosti. Pri dočasných svahoch výkopov zárezov postačuje podľa klasickej teórie stupeň stability $F_s = 1,2 - 1,3$; pri trvalých skalných svahoch $F_s = 1,5$ a kotvených skalných svahoch je to $F_s = 2,0$.

Podľa RMR klasifikácie je hodnotená časť svahu klasifikovaná do piatich tried I. až V.

kde: $F1$ [-] reprezentuje vzájomný smer sklonu svahu a diskontinuity,
 $F2$ [-] sklon svahu,
 $F3$ [-] vzájomný sklon svahu a diskontinuity,
 $F4$ [-] spôsob vzniku skalného svahu.

Vzhľadom na diskrétny spôsob stanovenia opravných koeficientov bola neskôr vykonaná ich spresňujúca matematická formulácia kontinuálnym spôsobom pomocou cyklometrických funkcií.

$$Q_{slope} = \frac{RQD}{J_n} \cdot \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \cdot \frac{J_{wice}}{SRF_{slope}} \quad (3)$$

V rovnici pre Q_{slope} sú prvé dva členy totožné s určením indexu Q , zmenený bol J_w na index J_{wice} zohľadňujúci dlhodobú klimatickú expozíciu povrchu svahu a SRF_{slope} bol tiež upravený. Okrem týchto korekcií systém umožňuje zohľadniť vplyv prevládajúceho systému diskontinuít a oslabené miesta svahu.

nezabezpečeného skalného svahu pomocou parametra Q_{slope} výšky max. 30 m:

$$\beta = 20 \cdot \log_{10} Q_{slope} + 65^\circ \quad (4)$$

Pri stabilitných výpočtoch je veľmi dôležitá dĺžka hodnotenia skalného svahu, je totiž rozdiel, či sa posudzuje svahová lavička, čiastkový zárez alebo celý strmý svah. Komplikované strmé svahy prestúpené viacerými systémami puklín riešime analytickými výpočtovými modelmi s predpokladaným modelom porušenia a implementovanými kritériami šmykovej pevnosti podľa Coulomba, Pattona, Bartona, Poncelleta, Griffitha a i. (Drusa a kol., 2012).

Presnejšími sú numerické výpočty pomocou hraničných prvkov DEM, implementované v softwarových produktoch (napr. UDEC, PFC2D, EDEM) alebo aj kombinované s metódou konečných prvkov FEM. Na modelovanie sutinových prúdov a kamenných prúdov sú vhodné bezsieťové metódy (*Meshless method*) a metódy prúdenia častíc (*Particle flow code*) (Drusa a kol., 2012).

10. MONITOROVANIE SVAHOVÝCH DEFORMÁCIÍ

Z pomerne veľkého množstva svahových porúch, ktoré sa v predchádzajúcich obdobiach aktivizovali, resp. reaktivizovali v rôznych častiach našej republiky, sa do pozornosti dostali hlavne tie, ktoré priamo ohrozujú, prípadne poškodzujú niektorú z cestných komunikácií, železničných tratí alebo budovy a iné celospoločensky významné objekty infraštruktúry. Tieto svahové poruchy zostali, prirodzene, citlivým predmetom záujmu i po realizácii protihavarijných či sanačných opatrení. Z logických dôvodov sa na týchto územiach zabezpečujú merania, ktorými sa získava základný obraz o vývoji zosuvotvorných faktorov a o pohybovej aktivite. S monitorovacími aktivitami sa začína už pri prieskumných a sanačných prácach. Spravidla ide len o pozorovanie zmien hĺbky hladiny podzemnej vody, prípadne sa vykonajú jedna či dve etapy meraní pohybovej aktivity. Vzhľadom na relatívne krátky, časovo ohraničený interval riešenia prieskumných prác, výsledky monitorovania len málokedy podávajú komplexný obraz o stabilitných pomeroch zosuvného územia a jeho vývoji. V mnohých prípadoch po uplynutí doby sanačných, príp. prieskumných prác, sú monitorovacie merania ukončené a vo väčšine prípadov končí i starostlivosť o monitorovacie objekty.

Vďaka určitej zmene v celkovom chápaní významu a dôležitosti dlhodobého a hlavne pravidelného monitorovania svahových porúch sa v roku 1993 začala riešiť úloha Čiastkový monitorovací systém Geologické faktory (ČMS GF, svahové deformácie sú riešené v rámci subsystému O1 – Zosuvy a iné svahové deformácie – Klukanová, 1998), ktorej objednávatelom je MŽP SR a zhotoviteľom ŠGÚDŠ Bratislava. Vďaka tejto úlohe je zabezpečené monitorovanie v socio-ekonomicky najvýznamnejších lokalitách svahových deformácií z celého územia Slovenska. Lokality boli

vybrané tak, aby sa nachádzali v základných geologických jednotkách v rámci regionálneho geologického členenia územia Slovenska (v súlade s inžinierskogeologickou rajonizáciou Slovenska – Matula a Pašek, 1986), aby reprezentovali najrozšírenejšie typy svahových porúch, no predovšetkým ide o tie svahové deformácie, ktoré sú významné z celospoločenského hľadiska (ohrozujúce významné objekty technosféry – Wagner a kol., 2000).

Významným medzníkom v monitorovaní svahových deformácií na našom území bol prechod od prevažne etapových meraní v off-line režime na kontinuálne merania v on-line režime. Zariadenia, umožňujúce on-line prenos údajov boli inštalované v najcitlivejších zosuvných lokalitách: zosuvné územie Okoličné, kde je ohrozená významná železničná trať medzi Žilinou a Košicami, a zosuv Veľká Čausa, ktorý ohrozuje južnú časť IBV obce. V tejto súvislosti je treba spomenúť geologickú úlohu Monitoring zosuvných deformácií riešenú v rámci OP KŽP, v rámci ktorej je plánovaná inštrumentácia monitorovacím zariadeniami s kontinuálnym záznamom a s on-line prenosom v 20 najvýznamnejších zosuvných lokalitách.

Monitorovacie merania na svahových deformáciách sa vykonávajú množstvom rôznych metód. Vzhľadom na rozdielnú podstatu meraných parametrov, ktoré sú podmienené typom svahovej deformácie, je možné metódy rozdeliť do troch skupín:

- metódy monitorovania zosuvov,
- metódy monitorovania svahových pohybov typu rútenia,
- metódy monitorovania svahových pohybov charakteru plazenia.

V tejto kapitole sú sumarizované jednotlivé monitorovacie metódy, ako aj praktické poznatky a skúsenosti z doterajších meraní.

10.1. Zosuvy

10.1.1. Monitorovacia sieť zosuvných lokalít na Slovensku

Pri výbere reprezentatívnych lokalít boli síce zohľadnené spomenuté hľadiská, avšak v priebehu riešenia sa počet monitorovaných lokalít upravoval podľa aktuálnych celospoločenských požiadaviek i podľa aktuálneho stabilitného stavu. Obdobie do roku 2010 je možné z pohľadu počtu lokalít vnímať pomerne konzistentne. Súbor monitorovaných lokalít sa

vyvíjal a upravoval minimálne, a to hlavne podľa spoločenských požiadaviek a výsledkov monitorovania. Pozastavenie, resp. utlmenie monitorovacích aktivít, bolo len v prípadoch, keď výsledky meraní dlhodobo naznačovali priaznivú stabilitnú situáciu. Kritériá výberu lokalít mali približne rovnakú váhu a medzi monitorovanými zosuvmi boli tie, ktoré aktuálne

predstavovali hrozbu pre jestvujúce objekty technosféry, prípadne išlo o územia, v ktorých boli ohrozené významné investičné zámery. Do monitorovacieho systému boli takto zaradené lokality ako napr. Morovnianske sídlisko v Handlovej (prvé sídlisko na Slovensku, ktoré bolo v rokoch 1974 až 1977 vedome postavené na území, postihnutom svahovými poruchami – Nemčok, 1982); zosuvný svah medzi Hlohovcom a Sereďou (územie s projektovaným vodným dielom Sereď – Hlohovec; celková šírka zosuvného územia je až 18 km a ide o najväčší frontálny zosuv na našom území – Otepka a kol., 1983), zosuvný svah v katastri mesta Liptovský Mikuláš pri Okoličnom (zosuv, ohrozujúci prevádzku na hlavnej železničnej trati Žilina – Košice – Fussgänger a kol., 1977) a mnohé iné.

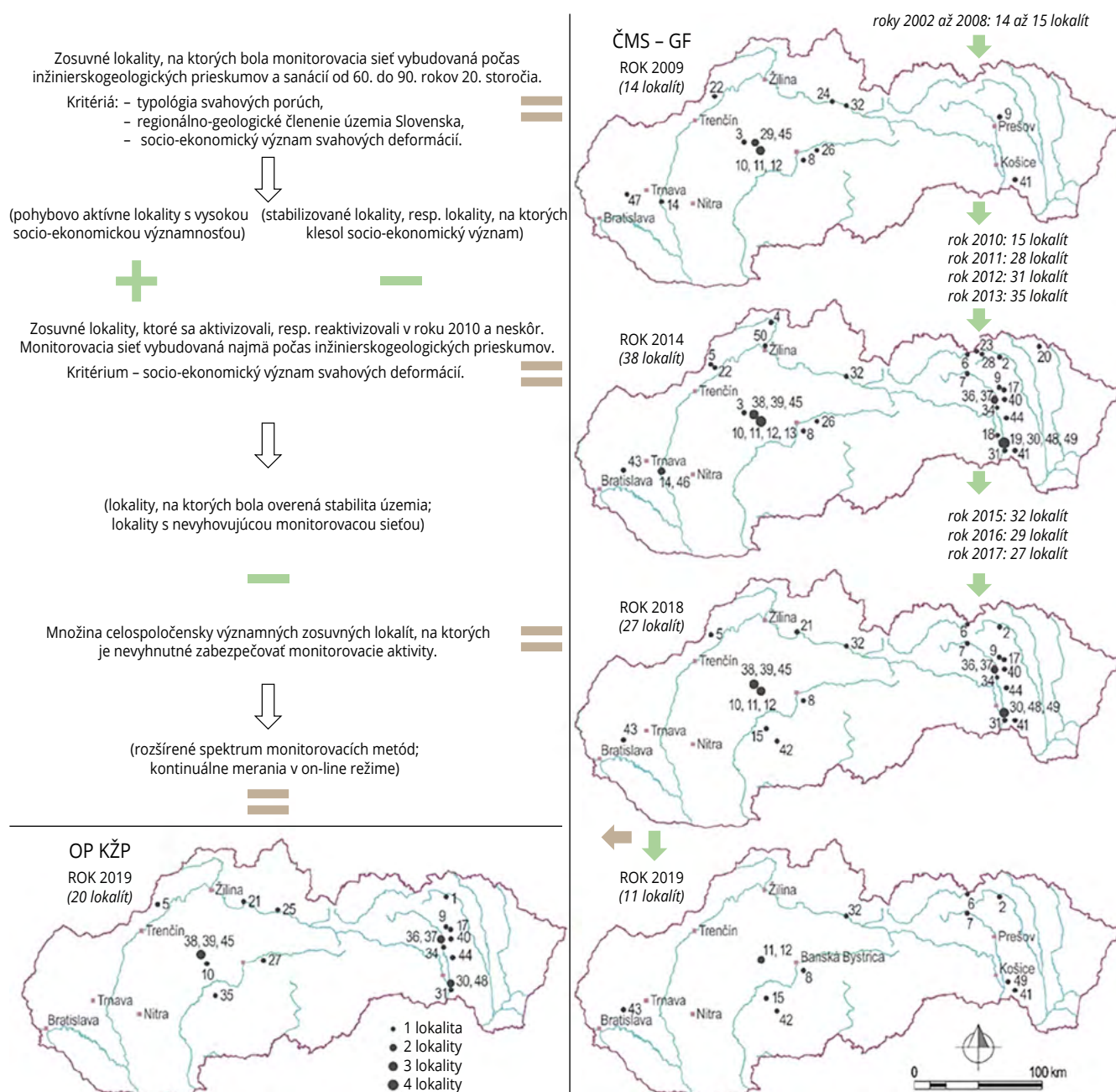
Výrazná zmena v rozsahu monitorovaných lokalít nastala v roku 2011. V súvislosti so vznikom veľkého počtu nových zosuvov v roku 2010 bola množina zosuvných lokalít výrazne rozšírená. Išlo o zosuvy, ktoré vznikli v dôsledku intenzívnych zrážok a zapríčinili výrazné škody na infraštruktúre, stavebných objektoch a mnohých ďalších objektoch. Najväčšia koncentrácia novovzniknutých zosuvov bola zaznamenaná na Východnom Slovensku. Rozsahom postihnutia, ale i mierou vzniknutých ekonomických škôd a strát, bola najviac poznačená obec Nižná Myšľa. V dôsledku aktivizácie zosuvného pohybu bolo v tejto obci poškodených 136 domov (38 domov muselo byť asanovaných – Tometz a kol., 2010). Podobne, stabilitne nepriaznivá situácia bola zaznamenaná i v obci Kapušany, v ktorej bolo zničených 11 domov (Lafférs a kol., 2012). Na západnom Slovensku bola najväčšia situácia v obci Šenkvice, kde zosuv ohrozoval viacero rodinných domov na Ružovej ul. (Žabková a kol., 2010). Do ČMS GF boli takto zaradené viaceré zosuvné lokality, ktoré predstavovali priamu hrozbu pre obyvateľov a infraštruktúru obcí, teda hlavným aspektom výberu nových zosuvných lokalít bol ich socio-ekonomický význam. Zosuvné lokality boli do monitorovacieho systému zaraďované postupne, tak ako na nich počas prieskumných, protihavarijných či sanačných prác bola budovaná sieť monitorovacích objektov – Nižná Myšľa (monitorovacia sieť bola budovaná v etapách, a to v období od roku 2010 do roku 2014 – Tometz a kol., 2010; Sláma a kol., 2012; Grech a kol., 2014 in Šimeková a kol., 2014), Kapušany (Lafférs a kol., 2012), Varhaňovce (Tupý a kol., 2010), Vyšná Hutka (prieskum – Grman a kol., 2010, sanácia – Fekeč a kol., 2014 in Šimeková a kol., 2014), a mnohé iné. V nasledujúcich rokoch pribúdali ďalšie lokality. Išlo o územia, na ktorých sa aktivizácia, resp. reaktivizácia svahového pohybu prejavila neskôr, najmä v roku 2013 – Kralovany (prieskum – Liščák a kol., 2013), Prievdza (mestské časti Hradec a Veľká Lehôtka; prieskum – Ilkanič a kol., 2013; Fekeč a Ilkanič,

2014 in Šimeková a kol., 2014 a sanácia – Tupý a kol., 2014 in Ondrejka a kol., 2014) a ďalšie.

V dôsledku zaradenia nových svahových deformácií, ktoré postupne pribúdali po roku 2010, boli v roku 2014 zabezpečované monitorovacie aktivity v 38 zosuvných lokalitách (obr. 10.1). Išlo o najvyšší počet zosuvných lokalít monitorovaných v rámci riešenia úlohy ČMS GF súčasne. V nasledujúcich rokoch sa postupne súbor monitorovaných zosuvov optimalizoval.

Už v roku 2015 boli prerušené monitorovacie aktivity v ôsmich lokalitách. Išlo o zosuvy, na ktorých bol preukázaný potenciálne stabilný stav (napr. lokality Bojnice, Kvašov), alebo existujúca monitorovacia sieť neumožňovala primerane hodnotiť stabilitné pomery zosuvného územia (napr. lokality Vinohrady nad Váhom, Krajná Poľana). Podobne, i v nasledujúcich rokoch boli prehodnocované výsledky meraní a lokality, v ktorých sa monitorovanie ukázalo ako neefektívne, boli postupne preradené na najnižšiu (tzv. udržiavaciu) úroveň monitorovania (zber údajov o klimatických faktoroch a archivácia nameraných údajov). Postupnou optimalizáciou sa dospelo k súboru lokalít, ktorý si vyžaduje náležitú pozornosť a monitorovacie merania v týchto lokalitách prebiehajú i v súčasnosti (obr. 10.1, tab. 10.1).

Druhý významný medzník v monitorovaní zosuvov na Slovensku je spojený s geologickou úlohou Monitoring zosuvných deformácií, ktorá sa začala riešiť v roku 2018. Jej hlavným cieľom je zlepšenie prevencie zosuvných rizík monitorovaním tých svahových deformácií, ktoré z pohľadu spoločensko-ekonomickej významnosti, v zmysle stupnice, odporúčanej Európskou komisiou pre hodnotenie multirizika (Marzocchi a kol., 2009), predstavujú najzávažnejšie zosuvné lokality v rámci Slovenskej republiky. Vzhľadom na vyššiu úroveň monitorovania, ktorá spočíva vo vyspelejšej technickej vybavenosti monitorovacích objektov, vyššej frekvencii záznamu jednotlivých javov, ale aj v rozšírenom spektre sledovaných faktorov, je ambíciou spresniť prognózu vývoja stability, presnejšie definovať kritické stavy tých parametrov (napr. hydrogeologických, príp. klimatických), ktoré rozhodujúcou mierou ovplyvňujú stabilitu svahových deformácií, a tak sa priblížiť k modelovému riešeniu systémov včasného varovania. Úloha sa rieši prevažne v lokalitách, ktoré boli pôvodne monitorované v rámci riešenia ČMS GF (16 lokalít), pričom pri výbere sa zohľadňovalo najmä socio-ekonomické kritérium. Celkovo je v rámci geologickej úlohy monitorovaných 20 lokalít (tab. 10.1). Keďže pri riešení projektu sa uvažuje s rozšírením spektra monitorovaných ukazovateľov, výber metód bol prehodnotený a navrhnuté boli i merania sprievodných veličín (napr. meranie klimatických faktorov – zrážkových úhrnov, teploty a vlhkosti vzduchu, rýchlosť a smer vetra, veľkosť



Obr. 10.1: Monitorovacia sieť zosuvných lokalít na Slovensku v rámci riešenia úlohy ČMS GF, podsystém Zosuvy a iné svahové deformácie a projektu OP KŽP. Zobrazenie zmien v počte lokalít od roku 2009 do roku 2019. Čísla označujú jednotlivé monitorované lokality v súlade s tab. 10.1. (zostavil: P. Ondrejka)

radiácie a vlhkosť pôdy), ktoré majú podstatný vplyv na zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody, výdatnosti odvodňovacích vrtov a v konečnom dôsledku i veľkosť pohybovej aktivity. V rámci realizácie nových monitorovacích bodov boli vybudované i pomerne špeciálne objekty (kútové odrážače), slúžiace pri monitorovaní pohybovej aktivity technológiu InSAR.

Ďalším dôležitým bodom budovania monitorovacej siete je funkčná technická infraštruktúra, zabezpečujúca on-line prenos nameraných veličín do centra monitorovania. Jej fungovanie spočíva predovšetkým v kontinuálnom – on-line zbere údajov a ich prenose do monitorovacieho centra (obr. 10.2). Na prenos

údajov je plánované využívať technológiu Internetu vecí (IoT – *Internet of Things*). On-line tok údajov bude nasmerovaný do budovaného informačného systému, kde sa budú jednotlivé výsledky priebežne analyzovať a vyhodnocovať. Uvedená technológia umožní rýchlejšie identifikovať kritické udalosti, čím sa podstatne zvyšuje časový náskok, potrebný na informovanie orgánov štátnej správy a miestnej samosprávy na vykonanie adekvátnych opatrení, spojených s ochranou obyvateľstva a infraštruktúry. V prípade úspešného zvládnutia všetkých krokov dôjde k vytvoreniu efektívneho systému monitorovania svahových pohybov, vhodného na budovanie systémov včasného varovania.

Tab. 10.1: Prehľad monitorovaných zosuvných lokalít

P.č.	Zosuvná lokalita	Riešené v rámci ČMS GF	Riešené v rámci OP KŽP	IG región	IG oblasť	Geologická stavba
1	Bardejov – pravoslávny chrám		2019 –	RKF	OVH	Sedimenty flyšového charakteru
2	Bardejovská Zábava	2011 –		RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
3	Bojnice	1995 – 2014		RNTV	OVHK	Sedimenty flyšového charakteru
4	Čadca	2013 – 2014		RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
5	Červený Kameň	2014 – 2018	2019 –	RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
6	Čirč	2013 –		RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
7	Đačov	2011 –		RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
8	Dolná Mičiná	1995 –		RN	OVV	Neogénne vulkanity
9	Fintice	1996 – 2018	2019 –	RKF*	OFV	Neogénne vulkanity a ich kontakt s paleogénnymi sedimentmi
10	Handlová – 1960	1994 – 2018	2019 –	RN*	OVH	Neogénne vulkanity
11	Handlová – Kunešovská cesta	1999 –		RNTV	OVHK	Neogénne vulkanity
12	Handlová – Morovnianske sídlisko	2000 –		RNTV	OVHK	Neogénne vulkanity
13	Handlová – Žiarska ulica	2010 – 2014		RN	OVH	Neogénne vulkanity
14	Hlohovec-Posádka	1997 – 2014		RNTV	OVKN	Neogénne sedimenty
15	Hodruša-Hámre	2015 –		RN	OVH	Neogénne vulkanity
16	Chmiňany	2011 – 2012		RNTV	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
17	Kapušany	2011 – 2018	2019 –	RN	OVH	Neogénne vulkanity a ich kontakt s paleogénnymi sedimentmi
18	Košice – Dargovských hrdinov	2011 – 2015		RNTV	OVHK	Neogénne sedimenty
19	Košice-Krásna	2011 – 2016		RNTV	OVHK	Neogénne sedimenty
20	Krajná Poľana	2013 – 2014		RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
21	Kraľovany	2015 – 2018	2019 –	RJP	OVJP	Skalné horniny mezozoického a predmezozoického veku
22	Kvašov	2005 – 2014		RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
23	Lenartov	2011 – 2015		RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
24	Liptovská Mara	1994 – 2010		RNTV	OVHK	Sedimenty flyšového charakteru
25	Liptovská Štiavnica		2019 –	RNTV	OVHK	Sedimenty flyšového charakteru
26	Ľubietová – 1977	1995 – 2014		RN	OVH	Neogénne vulkanity
27	Ľubietová – nad ihriskom		2019 –	RN	OVH	Neogénne vulkanity
28	Lukov	2011 – 2015		RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
29	Malá Čausa	1997 – 2008		RNTV	OVHK	Neogénne sedimenty
30	Nižná Hutka	2011 – 2018	2019 –	RNTV	OVHK	Neogénne sedimenty
31	Nižná Myšľa	2011 – 2018	2019 –	RNTV	OVHK	Neogénne vulkanity
32	Okoličné	1995 –		RNTV	OVHK	Sedimenty flyšového charakteru
33	Pečovská Nová Ves	2011 – 2013		RNTV	OVHK	Sedimenty flyšového charakteru

P.č.	Zosuvná lokalita	Riešené v rámci ČMS GF	Riešené v rámci OP KŽP	IG región	IG oblasť	Geologická stavba
34	Petrovany	2012 – 2018	2019 –	RNTV	OVHK	Neogénne sedimenty
35	Podhorie		2019 –	RN	OVH	Neogénne vulkanity
36	Prešov – Horárska ul.	2011 – 2018	2019 –	RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
37	Prešov – Pod Wilec Hôrkou	2011 – 2018	2019 –	RKF*	OFV	Sedimenty flyšového charakteru
38	Prievidza-Hradec	2014 – 2018	2019 –	RN	OVH	Neogénne vulkanity
39	Prievidza-Veľká Lehôtká	2014 – 2018	2019 –	RN	OVH	Neogénne vulkanity
40	Ruská Nová Ves	2012 – 2018	2019 –	RNTV*	OVHK	Neogénne sedimenty v kontakte s neogénnymi vulkanitmi
41	Slanec – TP	2003 –		RN	OVH	Neogénne vulkanity
42	Svätý Anton	2015 –		RN	OVH	Neogénne vulkanity
43	Šenkvice	2012 –		RNTV	OVKN	Neogénne sedimenty
44	Varhaňovce	2011 – 2018	2019 –	RNTV*	OVHK	Neogénne sedimenty v kontakte s neogénnymi vulkanitmi
45	Veľká Čausa	2002 – 2018	2019 –	RNTV*	OVHK	Neogénne vulkanity a ich kontakt s neogénnymi a paleogénnymi sedimentmi
46	Vinohrady nad Váhom	2013 – 2014		RNTV	OVKN	Neogénne sedimenty
47	Vištuk	1995 – 2006		RNTV	OVKN	Neogénne sedimenty
48	Vyšná Hutka	2011 – 2018	2019 –	RNTV	OVHK	Neogénne sedimenty
49	Vyšný Čaj	2011 –		RNTV	OVHK	Neogénne sedimenty
50	Žilina-Vranie	2014 – 2016		RKF	OFV	Sedimenty flyšového charakteru

Vysvetlivky: RJP – Región jadrových pohorí, RKF – Región karpatského flyša, RNTV – Región neogénnych tektonických vkleslín, RN – Región neovulkanitov, OFV – Oblasť flyšových vrchovín, OVHK – Oblasť vnútrohorských kotlín, OVKN – Oblasť vnútrokarpatských nížin, OVH – Oblasť vulkanických hornatín, OVJ – Oblasť vysokých jadrových pohorí, * – Svahový pohyb sa nachádza na hraniciach inžinierskogeologických celkov

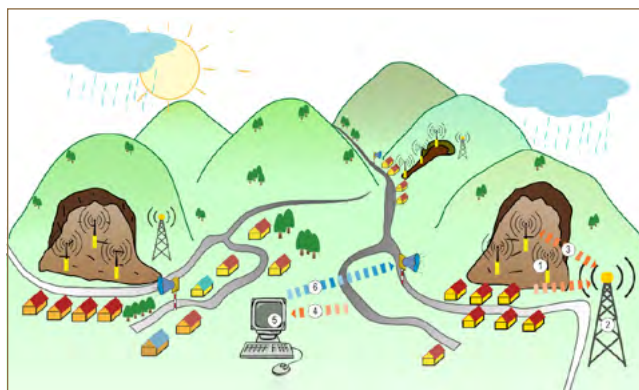
10.1.2. Metódy monitorovania svahových pohybov

V tab. 10.2 je uvedený zoznam najčastejšie využívaných metód monitorovania zosuvov v podmienkach Západných Karpát, ale i vo svete.

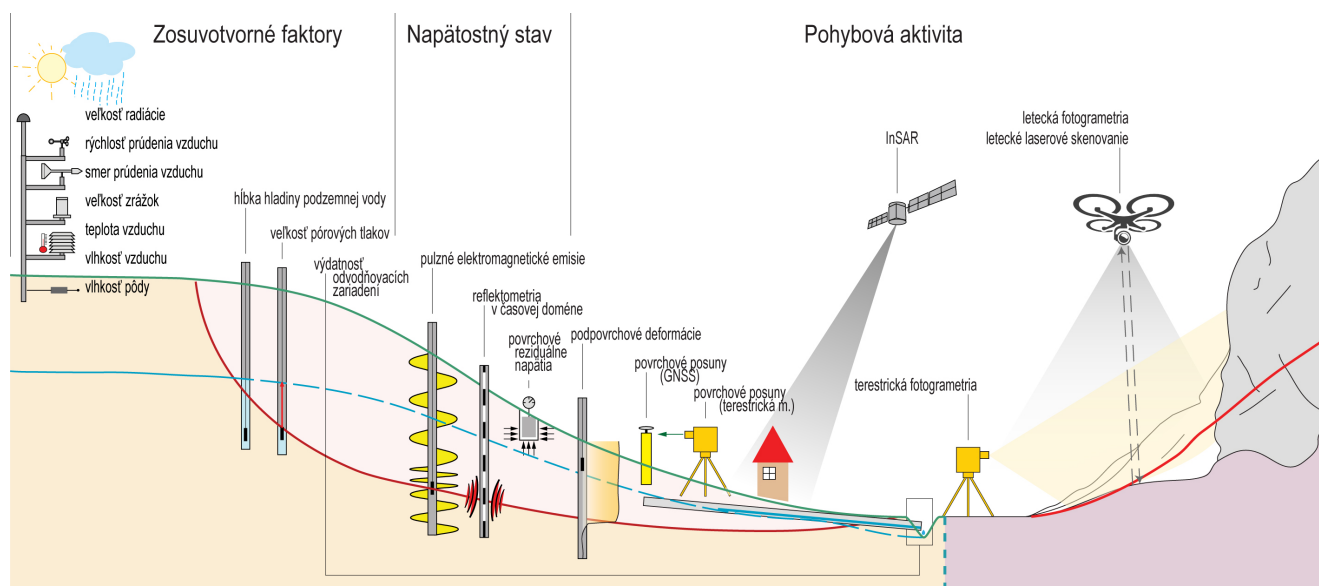
Metódy monitorovania (obr. 10.3) využívané v rámci riešenia oboch spomenutých úloh, ale i v bežnej praxi inžinierskogeologického prieskumu vychádzajú z dlhoročných tradícií, ale aj zo súčasných trendov. Najpoužívanejšie monitorovacie metódy boli opísané vo viacerých publikáciách (Wagner a kol., 2000; Wagner a kol., 2002, Trangoš a kol., 2013, Gróf, 2015 a iné), najkomplexnejšie v práci autorov Wagner a kol. (2010).

10.1.2.1. Monitorovanie klimatických faktorov

Klimatické faktory sú v našich podmienkach hlavnou príčinou aktivizácie, resp. reaktivizácie svahových porúch. Ak si zrekapitulujeme najvýznamnejšie svahové deformácie, ktoré vznikli na našom území za posledných približne 60 rokov (od katastrofálneho



Obr. 10.2: Schéma budovanej senzorovej siete a technickej infraštruktúry (1 – senzorová sieť s integrovaným vysielateľom LPWAN, 2 – lokálny uzol (Gateway) LPWAN, 3 – prenos signálu medzi bodmi senzorovej siete a lokálnym uzlom, 4 – internetové spojenie medzi lokálnym uzlom a centrálnym uzlom, 5 – centrálny uzol (ŠGÚDŠ Bratislava), 6 – systém včasného varovania). (zostavil: P. Ondrejka)



Obr. 10.3: Monitorovacie metódy na zosuvoch (zostavil: P. Ondrejka)

zosuvu v Handlovej z roku 1960), tak môžeme konštatovať, že práve klimatické faktory zohrávali dôležitú úlohu pri ich aktivizácii (napr. zosuv z Handlovej z roku 1960 – Nemčok, 1982, zosuv v Ľubietovej z roku 1977 – Fussgänger a kol., 1978; v 90-tych rokoch sa aktivizovalo viacero zosuv, napr. Bojnice, Malá a Veľká Čausa a ďalšie – Jadroň a Mokrá, 1999; viaceré zosuvy z roku 2006 – Wagner a kol., 2007; viac ako 550 zosuvov z roku 2010 – Liščák a kol., 2010, Petro a kol., 2012, kamenito-hlinité prúdy vo Vrátnej z roku 2014 – Liščák a kol., 2014 a iné).

Základné monitorovacie aktivity sú teda zamerané na sledovanie viacerých klimatických faktorov, ktoré priamo či nepriamo determinujú kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody. Informácie o klimatických faktoroch sú zvyčajne preberané zo siete staníc SHMÚ. Pri monitorovaní zosuvných území je však niekoľko prípadov, počas ktorých bolo možné klimatické ukazovatele sledovať priamo v zosuvných lokalitách (Veľká Čausa a Okoličné). Inštalované zariadenia, ktorých súčasťou bol i hladinomer pracovali v hodinových intervaloch a zaznamenávali veľkosti zrážkových úhrnov a teploty vzduchu v on-line režime. Zároveň umožňovali, na základe zadaných limitných hodnôt (intenzita a veľkosť zrážkového úhrnu, limitné úrovne hladiny podzemnej vody),

10.1.2.2. Monitorovanie režimových ukazovateľov

Prítomnosť a pôsobenie vody v zosuvnom prostredí je vo všeobecnosti vnímaná negatívne. Meranie hladiny podzemnej vody patrí teda k základným monitorovacím metódam na zosuvných územiach.

Pojem „režimové ukazovatele“ sa zaužíval na označenie meraní, ktoré súvisia s monitorovaním podzemnej vody v horninovom prostredí. V zosuvných územiach rozlišujeme dve základné skupiny

vysielanie varovnej správy na predvolené telefónne čísla.

Progres v oblasti monitorovania klimatických faktorov na zosuvných územiach predstavuje meteorologická stanica navrhnutá v lokalite Nižná Myšľa. Okrem meraní veľkosti zrážok a teploty vzduchu umožňuje sledovať aj ďalšie parametre: vlhkosť vzduchu, vlhkosť pôdy, rýchlosť a smer prúdenia vzduchu, veľkosť radiácie (slnečného svitu). Zabezpečené je i meranie zrážok, ktoré spadnú vo forme snehu; na tento účel bol navrhnutý vyhrievaný zrážkomer. Žiaľ, nepodarilo sa vyriešiť problematiku merania snehovej pokrývky, resp. jej vodnej hodnoty. Na tento účel sa využíva viacero priamych meraní (založené buď na objemovej alebo váhovej metóde), avšak všetky sú určené len pre profesionálne klimatické stanice, čo znamená, že i náklady na ich obstaranie sú pomerne vysoké. Uvedená instrumentácia okrem presného merania zrážkových úhrnov umožňuje stanoviť aj veľkosť potenciálnej evapotranspirácie. Samozrejme, otázka stanovenia veľkosti evapotranspirácie je podstatne komplexnejšia. Okrem spomenutých ukazovateľov je potrebné zohľadňovať viacero faktorov, napr. vplyv biometrických charakteristík porastu (pri výpočte referenčnej hodnoty evapotranspirácie v zmysle FAO – Allen a kol., 1998 in Matejka, Hurtalová, 2005).

údajov. Prvú, primárnu skupinu, predstavujú merania, ktoré podávajú informáciu o kolísaní podzemnej vody v horninovom prostredí. Vyjadrené sú buď hĺbkou hladiny podzemnej vody pod úrovňou terénu (v m alebo nadmorskou výškou v m n. m.) alebo, v prípade meraní pórového tlaku, priamo v kPa. Druhú skupinu, ktorú je možné označiť ako sekundárnu, predstavujú merania objemu vôd,

Tab. 10.2: Aplikované a perspektívne metódy monitorovania zosuvných území

Meraný ukazovateľ	Monitorovacie merania/prístrojové vybavenie			
	ČMS – GF		OP KŽP	Perspektívne
	Minulosť	Aktuálne		
Klimatické faktory	Zrážkové úhrny	Informácie preberané zo siete staníc SHMÚ	Zrážkové úhrny	Vodná hodnota snehovej pokrývky
	Teplota vzduchu		Teplota vzduchu	
			Vlhkosť vzduchu	
			Rýchlosť a smer vetra	
			Veľkosť radiácie	
			Vlhkosť pôdy	
Režimové faktory	Vodivosť vody	Hĺbka HPV • terénny pozorovateľ • automatický hladinomer • snímač pórových tlakov	Hĺbka HPV • terénny pozorovateľ • automatický hladinomer • snímač pórových tlakov	
		Teplota podzemnej vody • automatický hladinomer	Teplota podzemnej vody • automatický hladinomer	
			Vlhkosť pôdy	
		Výdatnosť odvodňovacích zariadení (terénny pozorovateľ)	Výdatnosť odvodňovacích zariadení • terénny pozorovateľ • automatický prietokomer	
Pohybová aktivita		Povrchové posuny (geodetické metódy: • terestrické a GNSS, • terestrická a letecká fotogrametria [optické skenovanie], • terestrické laserové skenovanie, • radarová interferometria – InSAR)	Povrchové posuny (geodetické metódy: • terestrické a GNSS, • terestrická a letecká fotogrametria [optické skenovanie], • terestrické laserové skenovanie, • radarová interferometria – InSAR)	Povrchové posuny (letecké laserové skenovanie – LiDAR)
		Podpovrchové deformácie: • prenosný variant inklinometrickej sondy • stacionárny variant inklinometrickej sondy	Podpovrchové deformácie • prenosný variant inklinometrickej sondy • stacionárny variant inklinometrickej sondy	Podpovrchové deformácie • automatické inklinometrické systémy • priestorový systém merania Trivec
Napätostný stav	PRN			TDR
	PEE			

Vysvetlivky: HPV – hladina podzemnej vody, PEE – pole pulzných elektromagnetických emisií, PRN – povrchové reziduálne napätia, TDR – reflektometria s časovou doménou, GNSS – Global Navigation Satellite System

vytekajúcich z drenážnych zariadení (merané v l.s^{-1}).

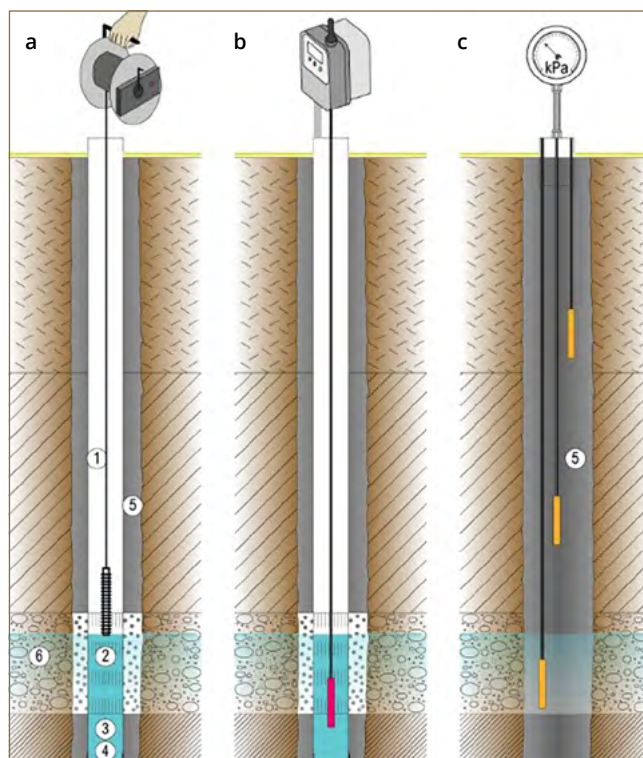
Doterajšia prax jednoznačne preukázala, že meranie hĺbky hladiny podzemnej vody sa v našich podmienkach stalo základnou metódou monitorovania zosuvných území.

V minulosti sa merania zabezpečovali hlavne počas prieskumu a prebiehali len krátkodobo, spravidla niekoľko mesiacov. Vďaka ČMS GF však máme viacero prípadov, keď je hladina podzemnej vody monitorovaná viac ako 20 rokov. Napríklad v lokalite Veľká Čausa sa vo viacerých vrtoch realizujú merania hladiny podzemnej vody nepretržite od roku 1995. Od polovice deväťdesiatych rokov do súčasnosti boli monitorovacie merania zabezpečované v 41 lokalitách. Celkovo počas obdobia monitorovania boli zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody pozorované v 472 monitorovacích objektoch. V súčasnosti (v roku 2020) sa monitorovacie aktivity vykonávajú na 246 objektoch (228 vrtov – terénnymi pozorovateľmi, 18 vrtov – v 14 lokalitách – automatickými hladinomerami a 5 snímačmi pórových tlakov – v 3 lokalitách). V rámci štatistického prehľadu je zaujímavý údaj o počte záznamov z obdobia monitorovania. Terénni pozorovatelia vykonali viac ako 110 tisíc meraní a automatickými hladinomerami sa zabezpečili približne 2 milióny záznamov. Merania pórových tlakov sú zabezpečované relatívne krátku dobu a v malom počte vrtov. V období ich prevádzky bolo vykonaných približne 10 000 meraní.

Merania sa spravidla vykonávajú v objektoch, ktoré boli vybudované počas prieskumov a sanácií. Spravidla ide o hydrogeologické vrty vystrojené malopriemerovými pažnicami, ktoré sú ukončené plastovými alebo keramickými filtrami. Filtračné časti vrtu (s dĺžkou cca 0,5 m) sú obsypané kremičitým pieskom alebo jemným štrkom a zvyšná časť vrtu je utesnená ílovým tesnením (obr. 10.4).

Na Slovensku je zaužívaná prax, že na sledovanie zmien hĺbky hladiny podzemnej vody sa budujú tzv. „pozorovacie“ vrty s priemerom nad 100 mm (hydrogeologický vrt s pomerne dlhou filtračnou časťou). Ich aplikovateľnosť pri monitorovaní zmien hĺbky hladiny podzemnej vody je limitovaná typom geologického prostredia. V prostrediach, v ktorých sa vyskytuje viacero zvodnených horizontov s odlišnými hydraulickými vlastnosťami, alebo v oblastiach s prevažne jemnozrnnými sedimentmi majú údaje o hĺbke hladiny podzemnej vody namerané v takýchto vrtoch nižšiu spoľahlivosť.

Merania hĺbky hladiny podzemnej vody sú zabezpečované prevažne v spolupráci s terénnymi pozorovateľmi, ktorí ich vykonávajú formou kontrolných etapových meraní pomocou Rangovej píšťaly alebo jej elektronickej alternatívou. Výhodou manuálneho spôsobu merania je, že pri zavádzaní režimových



Obr. 10.4: Meranie hladiny podzemnej vody. V otvorených systémoch: a – pomocou Rangovej píšťaly, b – pomocou automatického hladinomeru; v uzavretých systémoch, c – meranie pomocou snímačov pórového tlaku. (1 – neperforovaná časť pažnice, 2 – filtračná časť pažnice, 3 – kalník, 4 – dno vrtu, 5 – ílové tesnenie, 6 – zvodnená vrstva) (zostavil: P. Ondrejka)

pozorovaní v nových lokalitách je možné merania začať súčasne na väčšom počte vrtov, čo by pri inštrumentácii automatickými hladinomerami bolo ekonomicky náročné. Zaškolení pracovníci sú schopní merať aj niekoľko desiatok vrtov súčasne. Nedostatkým takéhoto monitorovania je nízka frekvencia meraní a možný výskyt chýb v nameraných údajoch (v závislosti od kvalifikovanosti a spoľahlivosti pozorovateľov).

V súčasnosti, ale rovnako aj v predchádzajúcom období, prevládala snaha, aby v najvýznamnejších zosuvných lokalitách boli merania hĺbky hladiny podzemnej vody zabezpečované kontinuálne, teda automatickými hladinomerami. V rámci technických, ale najmä investičných možností boli vo viacerých celospoločensky významných lokalitách inštalované automatické hladinomery, ktoré okrem zmien úrovne hladiny podzemnej vody často zaznamenávajú i jej aktuálnu teplotu. Princípy merania hĺbky hladiny podzemnej vody automatickými hladinomerami sú rôzne: plavákové, ultrazvukové, radarové atď.; v inžierskogeologickej praxi sú však najčastejšie využívané hydrostatické (tlakové) hladinomery. Automatické hladinomery fungujúce na tomto princípe merajú tlak, resp. výšku vodného stĺpca, ktorý sa nachádza

nad meracou sondou. Nespornou výhodou je, že monitorovacie zariadenie kompenzuje vplyv zmien atmosférického tlaku.

V oboch prípadoch merania, teda bez ohľadu na spôsob a frekvenciu záznamu, ide spravidla o hodnoty relatívne, vyjadrované hĺbkou hladiny podzemnej vody v metroch od povrchu terénu, prípadne i absolútne, vyjadrené nadmorskou výškou hladiny podzemnej vody.

V poslednom období sa čoraz častejšie stretávame s implementáciou zariadení, umožňujúcich priame meranie pórových tlakov v uzatvorených systémoch. Na meranie sa využívajú vibračné alebo piezorezistívne tlakové snímače, ktoré snímajú vodný tlak priamo v hĺbke osadeného zariadenia, a to pomocou membrány, z ktorej sa prostredníctvom elektrického signálu, hydraulicky alebo pneumaticky sprostredkuje nameraná hodnota k odčítaciemu miestu (MDVRR, 2016). Inštalácia snímačov pórových tlakov je sústredená do oblasti šmykových plôch (tesne pod šmykovú plochu) tak, aby bolo možné sledovať zmeny tlaku v tomto, zo stabilitného hľadiska významnom horizonte. Výsledky meraní pórových tlakov vody umožňujú spoľahlivé posúdenie stabilitného stavu vo väčšine výpočtových modelov.

Doplňujúcim meraním, ktoré prispieva k lepšiemu chápaniu zložitého procesu dopĺňania zásob podzemnej vody, je meranie pôdnej vlhkosti. Merania sú plánované na územiach infiltrácie zrážkových vôd v pásme prevzdušnenia, čo zabezpečí informácie o stave nasýtenosti tohto horizontu, ohraničeného

terénom a úrovňou hladiny podzemnej vody, vďaka čomu bude možné prognózovať vývoj zmien hĺbky hladiny podzemnej vody v závislosti od očakávaných zrážkových udalostí. Pôdne vlhkomery pracujú na rôznych princípoch: objemovom, odporovom, s využitím zadržiavania neutrónov molekulami vody (neutrónový) a s využitím zadržiavania gama žiarenia molekulami vody (vlhkomer s gama žiaričom) atď. Na účely kontinuálneho monitorovania sa najčastejšie využívajú objemové, prípadne odporové vlhkomery.

Súčasťou režimových pozorovaní sú i merania prietoku, resp. výdatnosti odvodňovacích zariadení, situovaných v zosuvných územiach. Meraniami sa sleduje efektívnosť tohto, z hľadiska stability, mimoriadne dôležitého sanačného opatrenia. Monitorovanie je zabezpečované prevažne prostredníctvom terénnych pozorovateľov. Pri meraní sa sleduje čas potrebný na naplnenie určitého objemu nádoby. V súčasnosti sú vo viacerých zosuvných lokalitách navrhnuté kontinuálne meracie zariadenia. Ide buď o ultrazvukové prietokomery s Dopplerovým senzorom rýchlosti, ktoré merajú rýchlosť a výšku voľne tečúcej hladiny v žľabe alebo člnkové prietokomery. Inštalácia jednotlivých typov automatických prietokomerov je závislá od veľkosti prietoku na odvodňovacom zariadení. Na odvodňovacích zariadeniach s prietokmi nad 100 l. min⁻¹ je možné využiť ultrazvukové snímače, naopak, pri nízkych hodnotách sú efektívne prietokomery, pracujúce na princípe preklápania sa člnkov s presne definovaným objemom.

10.1.2.3. Monitorovanie pohybovej aktivity

Meranie pohybovej aktivity je základom monitorovania na zosuvoch. Na jej meranie sa využíva viacero metód. Z praktického hľadiska ich možno rozdeliť do dvoch skupín. Prvú skupinu tvoria metódy, ktorými možno zaznamenávať pohybovú

aktivitu na úrovni terénu (na zjednodušenie označené ako meranie posunov). Druhú skupinu predstavujú metódy, ktoré umožňujú sledovať pohybovú aktivitu pod úrovňou terénu (označené ako meranie deformácií).

Merania posunov

Pri sledovaní posunov sú najčastejšie aplikované rôzne terestrické geodetické metódy, ktoré majú v tejto oblasti použitia najbohatšiu tradíciu. Podstata terestrických metód zostáva v zásade rovnaká, avšak vďaka výraznému progresu v kvalite meracej techniky i v spôsoboch spracovávanía údajov sa postupne dosahuje čoraz väčšia presnosť meraní. Pri monitorovaní posunov sa používajú nasledujúce geodetické metódy:

Geodetická terestrická metóda (priestorová polárna metóda – založená na meraní uhlov a dĺžok) je v posledných rokoch do značnej miery dopĺňaná alebo nahrádzaná družicovou technológiou GNSS (Globálne navigačné satelitné systémy), ktorá je v geodézii využívaná na veľmi presné meranie priestorovej polohy diskretných bodov. Napriek nesporným výhodám a búrlivému vývoju meracej technológie GNSS

z hľadiska metodického i inštrumentálneho nemôže na zosuvných územiach zatiaľ úplne nahradiť klasické terestrické metódy vzhľadom na to, že v zalesnených častiach územia má technológia výrazné obmedzenia.

Z aplikovaných metód pri monitorovaní zosuvných území (napr. skalný zosuv v katastri obce Kľačany) bolo využitá technológia optického skenovania (s využitím snímkov z pozemnej a leteckej fotogrametrie). Aplikáciou tejto metódy je možné vytvoriť modely povrchov s vysokým geometrickým rozlíšením (Fraštia, 2009), teda 3D modely s hustým (bodovým) pokrytím povrchu. Metóda je využívaná predovšetkým na objekty s náhodne premenlivou textúrou a nie príliš členitou štruktúrou. Princíp metódy je založený na korelácii (podobnosti) dvoch obrazov, ktoré sú vytvorené z rôznych pozícií, čím je potom možné rekonštruovať

priestorové vzášky lúčov a z nich odvodiť priestorovú polohu bodov, resp. prvkov zaznamenaných na digitálnych obrazoch (Fraštia, 2012a). Výhoda fotogrametrických meraní vo všeobecnosti spočíva v optickom bezkontaktnom meraní a vo fotografickom zázname reality s vysokým stupňom rozlíšenia. Takéto záznamy pokrývajú celú lokalitu a je možné sa k nim kedykoľvek vrátiť a domerať požadované parametre. Majú teda aj vysokú dokumentačnú a archivačnú hodnotu (Wagner a kol., 2010).

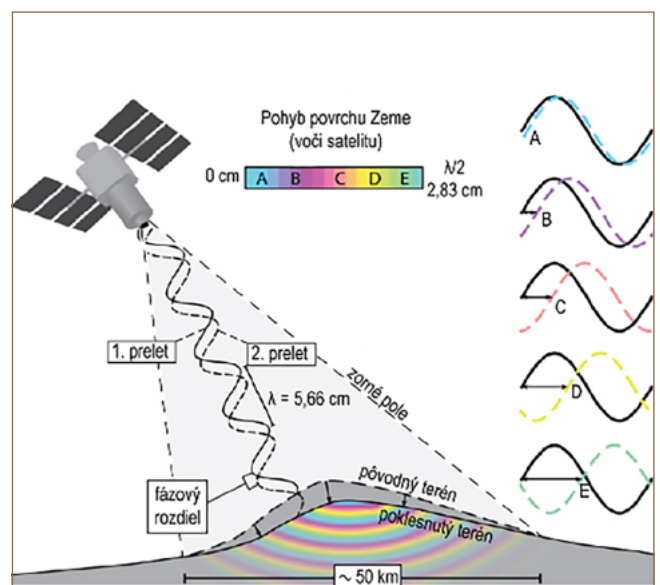
K modernejším metódam zberu priestorových údajov patrí meranie, ktoré je založené na (terestrickom) laserovom skenovaní. Vyznačuje sa mimoriadne rýchlym zberom údajov s vysokou hustotou priestorových bodov. Používané (pulzné) skenery majú dosah merania až niekoľko sto metrov s nepatrným poklesom presnosti v závislosti od narastajúcej vzdialenosti. Výsledkom laserového skenovania je tzv. mračno bodov, teda množina diskretných priestorových bodov definovaných súradnicami XYZ (Fraštia, 2009). Nespornou výhodou a perspektívou tejto technológie je spracovanie údajov vo forme tzv. rozdielových máp, ktoré podávajú komplexný obraz o zmenách na sledovanom povrchu svahovej deformácie.

V posledných rokoch sa v rámci metód aplikovaných pri monitorovaní zosuvov prejavil výrazný nástup geodetických technológií založených na diaľkovom prieskume Zeme. Vo väčšine prípadov ide o technológie využiteľné predovšetkým pri regionálnom výskume. K najpoužívanejším monitorovacím technológiám z tejto skupiny možno zaradiť LiDAR (*Light Detection And Ranging*) a InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*).

V prípade technológie LiDAR ide o letecké laserové skenovanie (orientované na svetelné vlny dĺžky cca 1 μm). Ako platforma sa využívajú lietadlá, ktoré sú okrem samotného lasera vybavené aj zariadením na určenie jeho polohy (GNSS) a orientácie (IMU – *inerciálny merací systém*). Dosah LiDAR prístrojov sa pohybuje od 1 000 do 2 000 m pri presnosti meranej dĺžky 1 cm. Výšková presnosť generovaného digitálneho modelu reliéfu (DMR) závisí predovšetkým od hustoty meraných bodov. Nevýhodou je nefunkčnosť zariadenia v prípade hmly, dažďa a snehu, keďže voda značne absorbuje svetelné vlnenie vlnových dĺžok používaných týmito laserovými prístrojmi (Wagner a kol., 2010).

Pri presnom monitorovaní deformácií veľkých častí zemského povrchu (a tiež jeho technogénnej zložky) sa v poslednej dobe úspešne využíva monitorovacia technológia InSAR. Metódy tejto technológie patria v súčasnosti medzi najdynamickejšie sa rozvíjajúce v oblasti diaľkového prieskumu Zeme. Techniky radarovej interferometrie nachádzajú uplatnenie napríklad pri geodeticko-geologickom monitorovaní

prírodných nebezpečenstiev (svahové pohyby, zemetrasenia, vulkanická činnosť), pozorovaní pretvorení veľkých, ale aj malých stavebných objektov (vodné diela, atómové elektrárne, priemyselné závody, mosty, výškové budovy), tvorbe digitálneho modelu reliéfu, klasifikácii druhov krajiny pokrývky a pri monitorovaní a prieskumoch životného prostredia. Hlavným dôvodom širokého uplatnenia tejto technológie je možnosť využívať družicové radarové merania nezávisle od počasia, v dennej alebo nočnej dobe snímokovania s vysokým priestorovým rozlíšením a pokrytím veľkej oblasti jednou snímkom. Dôležitým faktorom je tiež nižšie ekonomické zaťaženie pri zachovaní podobnej presnosti v porovnaní s tradičnými geodetickými metódami (InSAR, 2015).



Obr. 10.5: Základné princípy radarovej interferometrie. Dva prelety satelitu ponad deformujúci sa povrch Zeme (1. prelet – plná vlna – pôvodný terén; 2. prelet družice [približne rovnakým orbitálnym miestom ako v prípade 1. preletu] – prerušovaná vlna – deformovaný povrch) (Global Volcanism Program, 2012).

Družicová radarová interferometria využíva elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou od 3 cm do 25 cm (oblasť frekvenčných pásiem L, C a X; – využíva radarové vlnové dĺžky – mikrovlny – s hodnotou 5,6 cm vo viacerých frekvenčných pásmach). Vysielať je vo forme pulzov aktívnym radarovým systémom na družici smerom k Zemi, ktoré je po interakcii so zemským povrchom následne prijaté späť. Zo signálu sa využíva amplitúda a fáza prijatého elektromagnetického vlnenia (obr. 10.5).

Pri interferometrickom spracovaní sa používa minimálne dvojica snímok, pričom sa primárne využíva fázová zložka. Ak chceme určiť deformácie zemského povrchu za určité obdobie, je nutné pracovať so snímkami, ktoré sú vyhotovené z rovnakého miesta

na obežnej dráhe družice, ale v rôznych časových okamihoch. Principiálne ide o rozdiel fázovej zložky signálu medzi korešpondujúcimi obrazovými elementmi z prvého a druhého (n-tého) preletu družice nad daným územím (obr. 10.5; Ferreti a kol., 2007). Rozdiel fáz sa následne opraví o účinok zakrivenia Zeme, topografie, vplyvu atmosféry, nepresnosti určenia dráhy družice a zobrazí sa na danom území vo forme interferenčných pásov. Takto získaný diferenčný interferogram je prvým ukazovateľom miery deformácie na danom území (InSAR, 2015).

Jednou z pokročilých metód družicovej radarovej interferometrie je metóda využívajúca prirodzené alebo umelo vytvorené odrážače so stabilnou elektromagnetickou odozvou InSAR. Technológia je založená na identifikácii bodov na snímke (odrážačov), ktoré vykazujú vysokú stabilitu fázy signálu počas celého obdobia sledovania územia. Ide hlavne o objekty vytvorené ľudskou činnosťou, napr. budovy, mosty, oporné múry, monumenty, veľké antény, stožiare,

Merania deformácií

Pri monitorovaní zosuvných území má svoje nezastupiteľné miesto meranie deformácií. Výsledky meraní sú v svojej podstate príbuzné nameraným posunom; však merania sa vykonávajú podpovrchovo, najčastejšie priamo v zosuvnom telese. Z viacerých metód je najviac využívaná metóda presnej inklinometrie. V podstate ide o karotážnu metódu, ktorá slúži na zisťovanie priestorového priebehu (zakrivenia) vrtu (Gajdoš a Wagner, 2005). Meraním sa získavajú informácie o podpovrchových posunoch, resp. deformáciách, prostredníctvom merania uhlov (MDVRR, 2016). Vzhľadom na kvalitu výstupov, ktoré uvedená metóda podáva (veľkosti vektorov deformácie v celom meranom profile), sa popri iných metódach, ako napr. aplikácia priechodomero a kyvadiel, stala dominantnou. Súčasne možno konštatovať, že prevažná väčšina novších metód merania deformácií je odvodená práve zo základného typu merania presnou inklinometriou. V zosuvných územiach sú merania zabezpečované na monitorovacej sieti, tvorenej špeciálne vystrojenými vrtmi práve na tento účel – tzv. inklinometrické vrty. Ich špecifikum spočíva v pažnici, ktorá má v celej svojej dĺžke systém drážok. Uvedené drážky zabezpečujú presné vedenie sondy vo vertikálnom smere, čo umožňuje opakovateľnosť meraní na tom istom mieste počas celého obdobia monitorovania.

V súčasnosti je na trhu pomerne veľa produktov, avšak na základe princípu merania (typu senzoru) je ich možné rozdeliť do dvoch skupín – digitálne a vibračné. Z hľadiska počtu snímaných rovín ich možno rozdeliť na jedno a dvojsové.

V najaktívnejších oblastiach, resp. v oblastiach, v ktorých sú zvýšené nároky na informáciu

ktoré sa nachádzajú v záujmovej oblasti. Tieto body (odrážače) môžeme chápať ako „prirodzenú sieť bodov GNSS“, ktorá slúži na plošné sledovanie stability daného územia (Ferreti a kol., 2001, Kampes, 2006).

V súčasnosti je monitorovanie technológiou InSAR zabezpečované v ôsmich lokalitách: Kapušany, Nižná Myšľa, Prešov – Horárska ulica, Prešov – Pod Wilec hôrkou, Prievidza-Hradec, Prievidza-Veľká Lehôtka, Ruská Nová Ves, Vyšná Hutka (niektoré výsledky z monitorovania zosuvných lokalít technológiou InSAR boli prezentované v prácach Bakoň a kol., 2015, Ondrejka a kol., 2016, Czikhhardt a kol., 2017). Na tento účel boli vybudované špeciálne monitorovacie zariadenia – kútové odrážače, ktoré slúžia ako umelý odrazový objekt na radarovej snímke (s radarovým odrazom voči okoliu väčším ako 10 dB). Zariadenia sú navrhnuté a skonštruované tak, aby zabezpečovali dobrú odrazivosť obidvoch dráh letu družíc ESA Sentinel-1 (pásmo elektromagnetického žiarenia C – vlnová dĺžka od 3,75 do 7,5 cm).

o deformácii, napr. na miestach kontaktu zosuvného územia s objektmi infraštruktúry, sú merania zabezpečované kontinuálne prostredníctvom stacionárnych inklinometrických sond. Pri týchto meraniach sa uplatňuje vyššia frekvencia záznamu ako v prípade meraní prenosným variantom (spravidla ide o každodenné merania).

Metóda stacionárnej inklinometrie umožňuje jedným zariadením merať vývoj deformácií len v určitej hĺbke (vo väčšine prípadov je takéto zariadenie zostavené z dvoch snímačov, ktorých meracie roviny sú orientované kolmo na seba – dvojsové). V prípade záujmu o sledovanie deformácie vo viacerých hĺbkových úrovniach alebo dokonca v celom profile inklinometrického vrtu je možné inštalovať do vrtu viacero takýchto stacionárnych zariadení. Z ekonomického hľadiska ide o nákladnejší spôsob merania. V súčasnosti sú na trhu rôzne produkty, ktoré sú priamo určené na sledovanie deformácie vo viacerých hĺbkach súčasne. Ide o tzv. reťazec snímačov usporiadaných nad sebou, umožňujúci meranie paralelne vo viacerých hĺbkach. Takéto zariadenia sa inštalujú priamo do inklinometrických vrtov (využívajú vodiace kolieska a drážky inklinometrickej pažnice; Gróf, 2015). Perspektívnou alternatívou pri meraní podpovrchovej deformácie môžu byť automatické inklinometrické systémy, ktoré boli overené na viacerých zosuvných územiach a fungujú ako robotické zariadenia s tým, že meracia sonda je v určitých definovaných časových intervaloch spúšťaná do vrtu. Merania sa zabezpečujú v celej dĺžke vrtu (Lollino a kol., 2002). Okrem už spomínaných možných alternatív merania podpovrchovej deformácie sú v určitých špecifických prípadoch

využívané i systémy umožňujúce merať deformácie v troch na seba navzájom kolmých smeroch (Trivec) (Willenberg a kol., 2002) alebo v horizontálne uložených pažniciach.

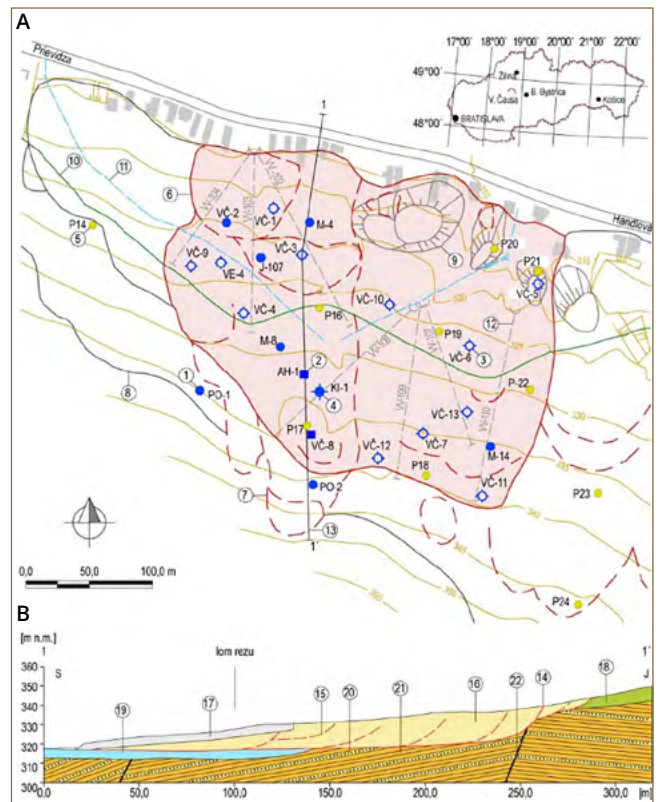
Pestrosť technického prevedenia premietnutá do rôznorodých modifikácií tejto metódy vychádza z jej nezastupiteľného postavenia v širokom spektre riešení geotechnických úloh (okrem zosuvov sú to najmä veľké stavebné diela, líniové stavby, tunely atď.).

10.1.2.4. Merania napätostného stavu masívov

V praxi sa pri sledovaní pohybu na šmykových plochách, i keď menej často, stretávame s metódou TDR (z angl. *Time Domain Reflectometry* – *Reflektometria s časovou doménou*). Ide o metódu, ktorá vychádza zo zaznamenávania elektrických impulzov, odrazených od vytvorenej prekážky (napr. od ohybu pažnice). Uvedená metóda teda slúži na identifikáciu hĺbky šmykových plôch. Systém TDR je postavený na vysielaní a prijímaní elektromagnetických impulzov prostredníctvom koaxiálnych káblov. Princíp metódy vychádza zo samotných vlastností koaxiálneho kábla. Šmykové a ťahové deformácie kábla, spôsobené pohybmi zosuvného telesa, majú významný vplyv na koeficient odrazu kábla (Aghda a kol., 2018). Z praxe poznáme viaceré riešenia, keď sa koaxiálne káble inštalovali priamo do inklinometrických vrtov. Na základe výsledkov meraní metódou TDR a presnou inklinometriou autori Aghda a kol. (2018) usúdili, že metóda TDR je citlivejšia a je schopná sledovať i minimálne deformácie. V podmienkach Západných Karpát sa metóda overovala vo viacerých zosuvných lokalitách, napr. Brusno a Kľačany (napr. Drusa a kol., 2009, 2010, Drusa a Chebeň, 2012).

V nedávnej minulosti bola pri monitorovaní zosuvných území pomerne úspešne aplikovaná metóda, založená na meraní poľa pulzných elektromagnetických emisií (PEE). Metóda vychádza z meraní prirodzeného (impulzného) elektromagnetického vlnenia, ktoré vzniká v určitých častiach horninového prostredia pri jeho deformácii v dôsledku pôsobenia mechanického napätia, vyvolaného prírodnými alebo umelými silami (Vybíral a Wagner, 2002), čo umožňovalo identifikovať miesta koncentrácie napätí v rôznych hĺbkach v rámci sledovaného profilu (meraného vrtu).

Pravidelné meranie poľa PEE poskytuje určitý obraz o napätostnom stave zosuvných území, ide však o nepriame údaje, ktoré sú hodnotené zväčša v semikvantitatívnych škálach. Navyše, spracovanie údajov PEE je pomerne komplikované a vyžaduje erudovaných odborníkov, ktorí majú bohaté skúsenosti s monitorovaním jednotlivých zosuvných lokalít. Pri hodnotení zosuvných lokalít je potrebné popri sledovaní aktivity poľa pulzných elektromagnetických



Obr. 10.6: Zosuvné územie v južnej časti obce Veľká Čausa. A – situácia zosuvného územia, B – schematický geologický profil 1–1' (spracovaný podľa Wagnera a kol., 2002), 1 – hydrogeologické vrt, 2 – hydrogeologické vrt so zabudovaným hladinomerom, 3 – inklinometrické vrt, 4 – vrt so zabudovaným inklinometrom, 5 – body geodetickej siete, 6 – aktívny zosuv, 7 – zosuvné stupne a zátrhy, 8 – staršie zosuvy, 9 – premiestnené bloky vulkanitov, 10 – hranica terasy, 11 – odvodňovacie rigoly, 12 – odvodňovacie vrt, 13 – línia schematického profilu, 14 – bazálna šmyková plocha, 15 – parciálne šmykové plochy, 16 – zosuvné delúvium, 17 – stabilizačno-drenážny sanačný prvok, 18 – deluviálne sedimenty, 19 – terasové sedimenty Handlovky, 20 – neogénne pieskovce, 21 – neogénne ílovce, 22 – tektonické línie

emisií zabezpečiť podporné metódy, ktorými sa namerané výsledky spresňujú – monitorovanie hladiny podzemnej vody, alebo overujú – napr. merania metódou presnej inklinometrie.

Dlhoročné skúsenosti s aplikáciou tejto metódy preukázali v niektorých prípadoch aj jej prognostický charakter. Vo viacerých prípadoch boli na základe koncentrácie napätí vopred vytipované kritické oblasti, v ktorých neskôr došlo k zvýšenej pohybovej aktivite. Postupy, ale aj viaceré praktické výsledky z aplikácie uvedenej metódy sú zhrnuté v prácach Vybíral a Wagner (1999, 2002, 2003 a 2004). Použité boli napr. v lokalitách Vištuk, Veľká Čausa, Handlová, Dolná Mičiná, Fintice, Okoličné, Klieštiná a inde.

Ďalšou z metód, využívaných v minulosti, je meranie povrchových reziduálnych napätí (Fussgänger

a Jadroň, 1977). Výsledkom merania povrchových reziduálnych napätí je informácia o veľkosti a charaktere napätí, pôsobiacich v povrchových častiach zosuvu v danom bode a v danom okamihu merania.

Veľkosť i charakter napätí sú premenlivé v čase a iba porovnanie s predchádzajúcim meraním môže naznačiť trend vývoja napätostného stavu v danej časti zosuvného územia.

10.1.3. Poznatky a skúsenosti z monitorovania zosuvov na Slovensku (na príklade Veľká Čausa)

Vďaka dlhodobu riešenej úlohe ČMS GF sa okrem poznatkov a skúseností, týkajúcich sa aplikácie jednotlivých monitorovacích metód, získalo i veľké množstvo údajov, ktoré charakterizujú stabilný stav jednotlivých zosuvných území. V nasledujúcej časti sú na reálnom

prípade zosuvnej lokality Veľká Čausa prezentované výsledky spracovania niektorých nameraných veličín. Postupnosť prezentovaných monitorovacích metód je v súlade s tab. 10.2, teda vychádza z logickej nadväznosti jednotlivých procesov v prírodných podmienkach.

10.1.3.1 Opis lokality Veľká Čausa

Zosuv postihuje úpätie severných svahov pohoria Vtáčnik čím vážne ohrozuje zástavbu v južnej časti obce. Periodické aktivizácie zosuvného pohybu, ktoré demonštrujú náchylnosť územia na zosúvanie, sú zdokumentované v správach z obdobia jednotlivých prieskumov a opakovaných sanačných prác (Lehocký a kol., 1969; Otepka a kol., 1976; Mesko a kol., 1985). Posledná výrazná aktivizácia zosuvu so sprievodným poškodením viacerých domov v obci bola zaznamenaná na jar roku 1995 (Jadroň a Mokrá, 1999).

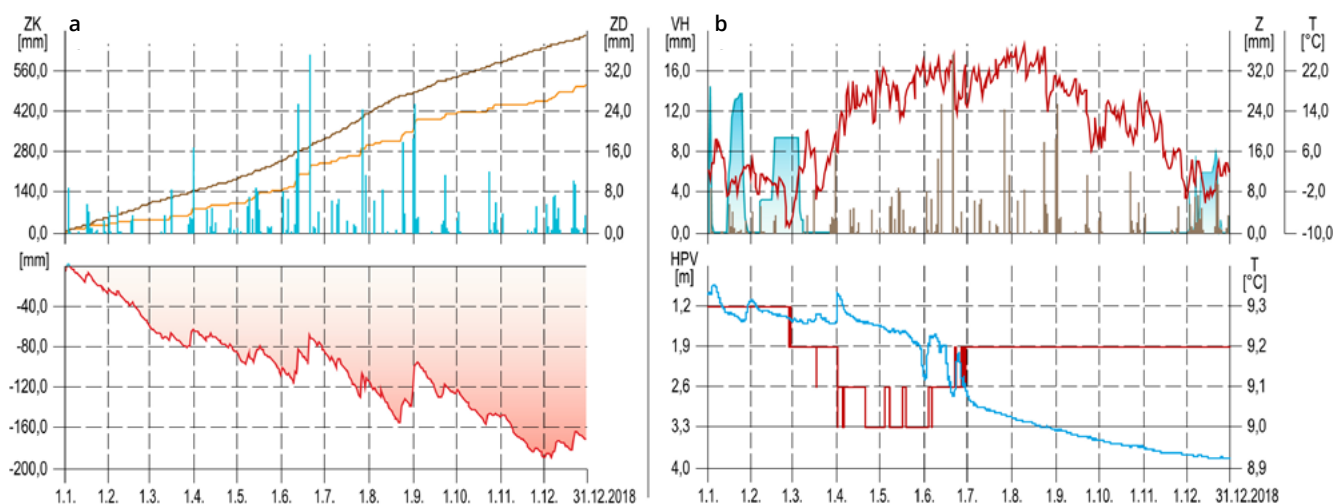
Náchylnosť územia na zosúvanie súvisí s geologicko-tektonickou stavbou územia, priaznivou na vznik a rozvoj svahových porúch. Rigidné polohy vulkanitov (andezity a aglomerátové tuфы) v horných častiach svahu sa zabávajú a tlakovo pôsobia na ílovité podložie (neogénne sedimenty, ležiace subhorizontálne na paleogénnych flyšových horninách). Navyše, horné časti svahov vytvárajú priaznivé prostredie na infiltráciu povrchových vôd, ktoré sa akumulujú v miestach

kontaktných tufov s nepriepustným podložíom. Nahromadená voda preniká do zosuvných hmôt, koncentruje sa v nepravidelných, prevažne piesčitých polohách a vztlakovo pôsobí na nadložné zosuvné materiály. Pokryvné kvartérne útvary v opisovanej zosuvnej lokalite zastupujú neporušené deluviálne sedimenty, fluviaálne sedimenty a zosuvné delúviá (obr. 10.6).

Z minulosti, z obdobia predchádzajúcich prieskumných a sanačných prác, sa v zosuvnej lokalite zachovala relatívne hustá sieť pozorovacích objektov, na ktorej sa od roku 1995 realizujú monitorovacie merania (Wagner a kol., 2002). Zmeny v režime podzemných vôd sú zaznamenávané v 17 objektoch, z toho v troch kontinuálne (tab. 10.3) pomocou automatických hladinomerov. Merania pohybovej aktivity zosuvných hmôt sa v lokalite realizujú na sieti geodetických bodov na povrchu a presnou inklinometriou vo vrtoch v rôznych hĺbkových úrovniach (tab. 10.3).

Tab. 10.3: Charakteristika monitorovacej siete a frekvencia meraní v lokalite Veľká Čausa

Typ merania	Počet objektov	Charakteristika objektu	Názov objektov	Frekvencia merania
Geodetické	10	pilier	P14, P16 – P24	1- až 3-krát ročne
Inklinometrické	14	inklinometrický vrt	VČ-1 – VČ-13, VE-4	1- až 2-krát ročne
	1	inklinometrický vrt so zabudovaným stacionárnym inklinometrom	KI-1	1-krát za deň
Režimové	14	piezometrický vrt	J-107, M-4, M-8, M-14, PO-1, PO-2, VČ-3, VČ-4, VČ-5, VČ-6, VČ-7, VČ-11, VČ-13, VE-4	1-krát týždenne (52-krát ročne)
	3	piezometrický vrt s automatickým hladinomerom	AH-1, VČ-2, VČ-8	1-krát za hodinu (8 760-krát ročne)
	19	odvodňovací vrt		1-krát týždenne (52-krát ročne)



Obr. 10.7: Spracovanie klimatických ukazovateľov zo stanice SHMÚ – Prievidza: a) porovnanie kumulovaných zrážkových úhrnov z roku 2018 s dlhodobými priemernými zrážkovými úhrnmi (kumulatívne ročné zrážkové úhrny s postupom 1 deň – horný graf: modrá farba – denné zrážkové úhrny, oranžová farba – kumulatívny ročný zrážkový úhrn vypočítaný zo zrážkových úhrnov z roku 2018, hnedá farba – kumulatívny ročný zrážkový úhrn vypočítaný z priemerných denných zrážkových úhrnov, ktoré boli zaznamenané v období od 1. januára 1999 do 31. decembra 2017; dolný graf: rozdiel medzi zrážkovými úhrnmi z roku 2018 a dlhodobými priemernými zrážkovými úhrnmi, červená farba – vypočítaný deficit zrážkových úhrnov v roku 2018; b) porovnanie klimatických a režimových ukazovateľov; horný graf: simulácia vodnej hodnoty snehovej pokrývky – modrá farba (polygón) – vývoj vodnej hodnoty snehovej pokrývky simulovaný na základe teplotného indexového modelu (Holko a kol., 2005b in Pekárová a Szolgay, 2005), hnedá farba – denné zrážkové úhrny, dolný graf: priebeh hĺbky hladiny a teploty podzemnej vody vo vrte VC-8 v zosuvnej lokalite Veľká Čausa – modrá farba (lína) – hĺbka hladiny podzemnej vody, červená farba – teplota podzemnej vody (spracoval: P. Ondrejka)

10.1.3.2. Hodnotenie zosuvotvorných faktorov

V zosuvnom území Veľká Čausa boli v minulosti práve klimatické pomery a s nimi spojené kolísanie podzemnej vody rozhodujúcim faktorom stabilitného vývoja. Po sanácii, ktorá bola zrealizovaná v druhej polovici 90-tych rokov minulého storočia, sa situácia do určitej miery zmenila, avšak stabilita zosuvného územia je i naďalej závislá od vývoja uvedených zosuvotvorných faktorov. Hodnotenie klimatických pomerov a sledovanie zmien hĺbky hladiny podzemnej vody má preto v tomto území veľký význam. Na podkladoch, získaných zo stanice SHMÚ Prievidza (z roku 2018 – obr. 10.7) a údajov z automatického hladinomera, bola vykonaná analýza, ktorej výsledky potvrdzujú vzájomný vzťah oboch hodnotených ukazovateľov.

Z porovnania nameraných denných zrážkových úhrnov v kumulatívnej forme (obr. 10.7 – oranžová farba) s priebehom referenčnej kumulatívnej krivky (hnedá farba) vyplýva, že zrážky v roku 2018 boli výrazne podpriemerné. Zo názorného rozdielu medzi referenčnými a hodnotenými kumulatívnymi hodnotami (červený polygón) vyplýva, že v roku 2018 bolo možné zrážkový deficit sledovať počas celého roka, a to i napriek intenzívnym jarným a letným zrážkam.

Z porovnania klimatických faktorov a režimových ukazovateľov zároveň vyplýva, že deficitné zrážky sa

prejavili i na kolísaní hladiny podzemnej vody, ktorá mala počas celého roka zostupný trend (obr. 10.7b). Krátkodobé vzostupy súvisia buď priamo so zrážkovými udalosťami alebo s topením snehovej pokrývky, ktorá je vyjadrená vodnou hodnotou (simulovaná na základe teplotného indexového modelu podľa vzťahov odvodených Holkom a kol., 2005b in Pekárová a Szolgay, 2005). V januári a sčasti aj vo februári je vidieť, že obdobia kumulácie zrážok v snehovej pokrývke sú spojené s poklesom hladiny podzemnej vody. Naopak, obdobia jej topenia sú sprevádzané vzostupom hladiny podzemnej vody. Vzťah medzi zrážkovou činnosťou a zmenami hĺbky hladiny podzemnej vody je pozorovateľný prakticky len v zimnom a čiastočne v jarnom období. Od júla sa zrážkové úhrny na zmene hladiny podzemnej vody prejavujú len minimálne. Uvedený stav je možné pripísať prejavom evapotranspirácie, ktorá je v jarnom a hlavne letnom období mimoriadne výrazná. Výsledok jej pôsobenia sa prejavuje i v nasýtenosti pásma prevzdušnenia, čo nepriamo dokumentuje i vývoj klimatických faktorov a režimových ukazovateľov počas jesenného obdobia. Práve v tomto období, teda po ukončení vegetačného obdobia a poklese teplôt, keď je možné v súvislosti so zrážkovou činnosťou logicky očakávať vzostup hladiny podzemnej vody, hladina podzemnej vody naďalej

mierne klesá. Je možné predpokladať, že zrážky ktoré spadli v tomto období, boli postupne využité na nasycovanie pásme prevzdušnenia. Z hľadiska stability zosuvného územia má zaznamenaný vývoj klimatických faktorov a režimových ukazovateľov pozitívny vplyv na svahový pohyb.

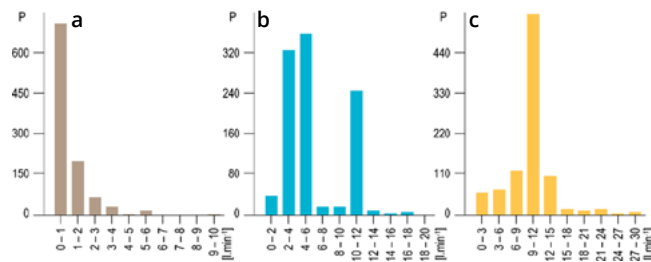
Z dlhodobých pozorovaní a čiastočne i z prezentovaných údajov vyplýva, že počas roka sa striedajú obdobia, pri ktorých dochádza k dopĺňaniu zásob podzemnej vody, s obdobiami s jej postupným uvoľňovaním. Ide o proces, ktorý je možné sledovať prakticky na všetkých monitorovaných zosuvných územiach.

Výdatnosť odvodňovacích zariadení

Špecifické postavenie v rámci monitorovania režimových ukazovateľov má hodnotenie výdatnosti drenážnych zariadení. Meraniami je sledovaná funkčnosť jedného z najdôležitejších sanačných opatrení – subhorizontálnych odvodňovacích vrtov. Cieľom odvodňovacích zariadení je zachytiť a odvieť vodu nachádzajúcu sa telese zosuvu, ale najmä v oblasti šmykovej plochy, častokrát s napätou hladinou.

V lokalite Veľká Čausa bolo počas sanačných prác vybudovaných 19 subhorizontálnych odvodňovacích vrtov. Väčšina z nich je dodnes v dôsledku kolmatácie suchá, funkčné sú len tri vrty (VV-108, VV-109 a VV-110), ktoré podzemnú vodu odvádzajú celoročne (obr. 10.8). Najefektívnejší z nich je vrt VV-110 s prietokmi dosahujúcimi až do $80 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, najčastejšie však 9 až $12 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$.

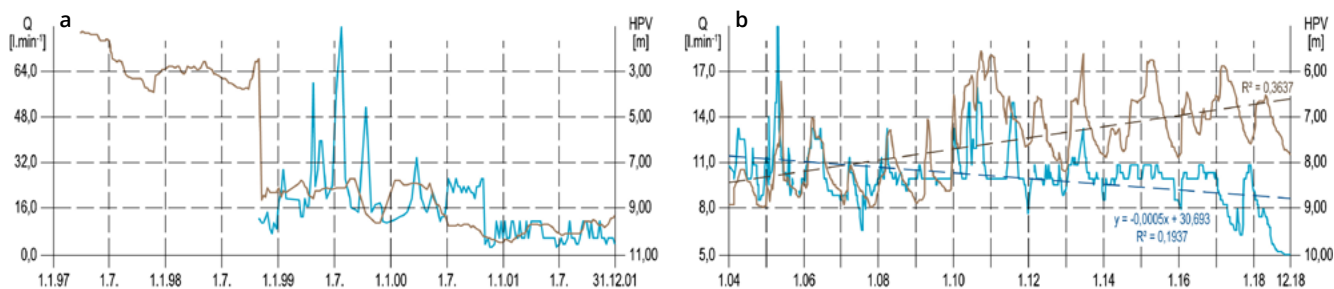
Pri hodnotení účinnosti odvodňovacieho vrtu VV-110 bol ako indikátor efektívnosti použitý vývoj hladiny podzemnej vody vo vrte VČ-11. Hladina podzemnej vody v tomto vrte pred realizáciou odvodňovacieho vrtu kolísala v intervale od 1,24 do 3,88 m pod terénom. Prakticky hneď po vybudovaní odvodňovacieho vrtu došlo k jej výraznému poklesu. Počas jednej etapy meraní (sedem dní – november 1998 – obr. 10.9)



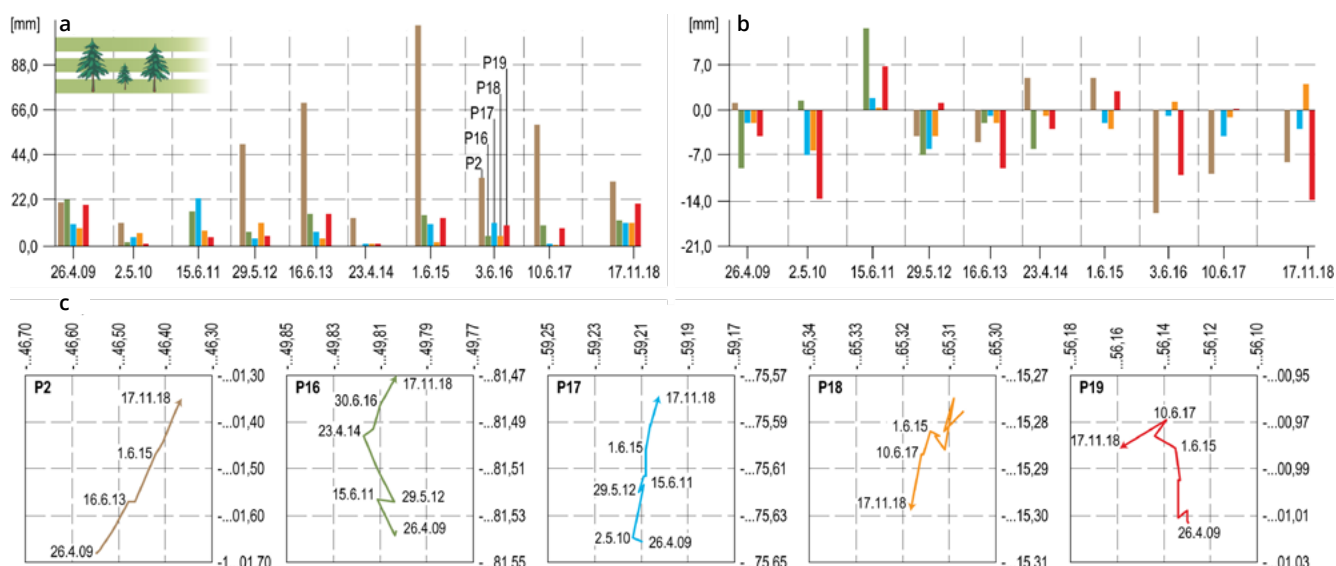
Obr. 10.8: Početnosť výskytu jednotlivých hodnôt výdatnosti odvodňovacích zariadení počas monitorovaného obdobia v lokalite Veľká Čausa; a – VV-108 (analyzované obdobie (AO): júl 1997 – december 2018), b – VV-109 (AO: máj 1995 – december 2018), c – VV-110 (AO: október 1998 – december 2018) (spracoval: P. Ondrejka)

klesla hladina o viac ako 6 m a v období po sanácii až do konca roka 2018 sa nachádzala v intervale od 5,53 do 10,48 m pod terénom. Z nameraných údajov vyplýva, že odvodňovací vrt zachytil zvodnený horizont (sledovaný vrtom VČ-11) a natrvalo znížil hladinu podzemnej vody v zosuvnom území.

Kolísania výdatnosti a hĺbky hladiny podzemnej vody majú v spomenutých objektoch určité spoločné črty, nie je však možné medzi nimi sledovať priamu koreláciu. Zmeny oboch veličín súvisia s ročnými obdobiami. Maximálne hodnoty sú zvyčajne namerané v zimnom a jarnom období a naopak, najnižšie v letnom a jesennom období. Z dlhodobého časového radu meraní je zrejmé, že hodnoty výdatnosti majú zostupný trend a naopak, hodnoty hĺbky hladiny podzemnej vody vzostupný trend. Uvedený stav indikuje zhoršovanie stabilitného stavu zosuvu a zároveň i znižovanie účinnosti zariadení hĺbkového odvodňovania. Je vysoko pravdepodobné, že pokles výdatnosti súvisí so starnutím a postupným zanášaním vrtov. V rokoch 2017 a 2018, práve v období maximálnych stavov hladiny podzemnej vody, boli v odvodňovacom vrte pozorované poklesy výdatnosti.



Obr. 10.9: Pribeh výdatnosti horizontálneho odvodňovacieho vrtu VV-110 a hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrte VČ-11 v lokalite Veľká Čausa; a) obdobie realizácie horizontálneho odvodňovacieho vrtu VV-110 (výdatnosť – modrá farba – os Q; hĺbka hladiny podzemnej vody – hnedá farba – os HPV), b) vývoj monitorovaných ukazovateľov po roku 2004 a trendy ich vývoja (výdatnosť – modrá farba os Q, hĺbky hladiny podzemnej vody – hnedá farba – os HPV; čiarkovanou čiarou sú znázornené trendové čiary oboch hodnotených faktorov) (spracoval: P. Ondrejka)



Obr. 10.10: Vývoj horizontálnych a vertikálnych posunov na vybraných bodoch geodetickej siete v zosuvnom území Veľká Čausa; a) polohový smer (v hornom rohu je ilustračne naznačené obdobie s lesným porastom a bez neho), b – vertikálny smer; c) priebehy nameraných vektorov na vybraných bodoch geodetickej siete v období rokov 2009 až 2018 (spracoval: P. Ondrejka)

10.1.3.3. Hodnotenie výsledkov monitorovania pohybovej aktivity

Pod pojmom monitorovanie pohybovej aktivity sa rozumie pomerne široký okruh aplikácie možných monitorovacích metód a technológií. V zásade všetky podávajú informáciu a veľkostiach priestorových,

resp. polohových zmien v sledovanom bode. V nasledujúcej podkapitole je venovaná pozornosť tým metódam, ktoré boli aplikované v zosuvnej lokalite Veľká Čausa.

Merania posunov

V zosuvnej lokalite Veľká Čausa boli v minulosti pri sledovaní pohybovej aktivity využívané výlučne terestrické merania. Po roku 2008, vďaka rozvoju družicových technológií bola terestrická metóda doplnená technológiou GNSS. Vďaka družicovej technológii sa podarilo zvýšiť frekvenciu monitorovacích meraní z jedného merania za rok na tri merania za rok (v období rokov 2011 až 2014).

Z výsledkov meraní je najzaujímavejší vývoj posunov v oblasti bodu P2 (obr. 10.10). Bod sa nachádza v okrajovej (západnej) časti zosuvného územia (mimo územia zobrazeného v situačnej mape – obr. 10.6). Nárast pohybovej aktivity v tomto bode bol pozorovaný

v roku 2012 (Fraštia, 2012b). Do roku 2011 sa posuny nad 25 mm v tomto bode vyskytovali len ojedinele. Ukázalo sa, že namerané posuny po roku 2011 súvisia s odstránením lesného porastu v oblasti nad monitorovaným územím. Odlesnením došlo k strate evapotranspiračného potenciálu, ktorý existujúci les predstavoval, čo spôsobilo vzostup hladiny podzemnej vody, a teda i zhoršenie stabilitných pomerov v tejto časti svahovej deformácie. I keď v tejto oblasti nemáme priame záznamy o zmenách hĺbky hladiny podzemnej vody, situácia s odlesnením síce nepriamo, ale zato názorne dokumentuje zmenu v režime hladiny podzemnej vody pred a po odlesnení.

Meranie deformácií

Zo širokého spektra metód využívaných pri pod-povrchovom monitorovaní pohybovej aktivity azda najpreukázanejšie informácie o stabilitnom stave zosuvného telesa poskytuje metóda **presnej inklinometrie**. V lokalite Veľká Čausa sú inklinometrické merania realizované od roku 1995. Aktuálne sú funkčné 3 vrty, väčšina vrtov bola porušená v dôsledku svahového pohybu. Pomerne vysoká pohybová aktivita, sledovaná prevažne v centrálnej časti zosuvu, bola podnetom na inštaláciu stacionárnej inklinometrickej sondy (do vrtu KI-1), ktorou boli zabezpečené

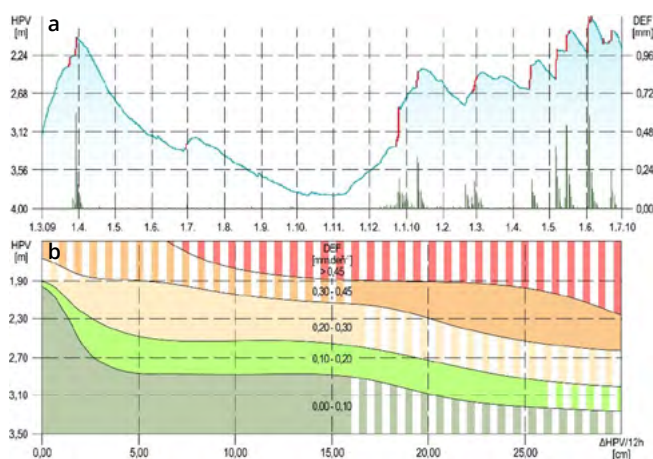
kontinuálne merania deformácií priamo na úrovni šmykovej plochy. Vďaka spoločnej prevádzke stacionárneho inklinometra a automatického hladinomeru (vo vrte AH-1) bol definovaný vplyv kolísania hĺbky hladiny podzemnej vody na vývoj deformácií (obr. 10.11 – Ondrejka a kol., 2011).

Predpokladáme, že zaznamenané vzostupné zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody, sledované pomocou automatického hladinomeru, mali výrazný vztlakový účinok na teleso zosuvu, čo sa prejavovalo nárastom pohybovej aktivity na šmykovej ploche. Počas roku

2010 sa táto situácia, vďaka intenzívnym zrážkovým udalostiam, zopakovala niekoľkokrát. V extrémnom prípade bola počas 24 hodín nameraná deformácia s hodnotu 1,07 mm (1. jún 2010). V opačnom prípade, v obdobiach, počas ktorých zmeny hladiny podzemnej vody mali zostupný charakter alebo hladina stúpala len mierne (od 1 do cca 4 cm za 24 hod.), boli na šmykovej ploche namerané relatívne nízke hodnoty deformácie. Monitorovaním sa potvrdilo, že v oblasti šmykovej plochy sa intenzívne vzostupné zmeny hladiny podzemnej vody vždy prejavujú nárastom pohybovej aktivity. Medzi veľkosťou intenzívnej vzostupnej zmeny hladiny podzemnej vody a výslednou deformáciou, ktorá sa prejavovala prakticky okamžite, nebol však lineárny vzťah. Závislosť medzi jednotlivými hodnotenými faktormi ovplyvňovala hĺbka podzemnej vody, ktorá bola zaznamenaná pred jej intenzívnym vzostupom. Z nameraných hodnôt bol odvodený vzťah, ktorý je možné vyjadriť nasledovne: so znižujúcou sa hĺbkou hladiny podzemnej vody pod terénom a pri rovnakej veľkosti vzostupu hladiny podzemnej vody počas dvanásťhodinového intervalu veľkosť deformácie narastá.

Uvedené skutočnosti vytvorili priestor na definovanie určitých závislostí medzi hĺbkou hladiny podzemnej vody, intenzitou vzostupu hladiny a veľkosťou deformácie za 24 hod. Z podkladov, získaných monitorovaním jednotlivých faktorov, bolo odvodených päť charakteristických stavov, ktoré umožňujú kvantifikovať orientačnú veľkosť očakávanej deformácie (obr. 10.11) (Ondrejka a Wagner, 2012).

Z hľadiska budovania systému včasného varovania majú získané poznatky veľký význam. V čase overenia vzťahu medzi režimovými ukazovateľmi a pohybovou aktivitou bolo v prevádzke automatické zariadenie (obsahujúce snímače na meranie hĺbky hladiny a teploty podzemnej vody, zrážkových úhrnov a teploty vzduchu), ktoré umožňovalo využívať hodnoty z odvodených vzťahov v systéme včasného varovania. Definované boli tri limitné úrovne hladiny podzemnej vody a tri limitné hodnoty intenzity vzostupu hladiny podzemnej vody (zároveň boli odvodené limitné hodnoty zrážkových úhrnov). V prípade prekročenia limitných hodnôt systém vysielal



Obr. 10.11: Spracovanie údajov o hladine podzemnej vody a pohybovej aktivite v lokalite Veľká Čausa; a – porovnanie zmien hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrte AH-1 (modrá línia; červené línie – intenzívne vzostupné zmeny hladiny podzemnej vody) a deformácií, zaznamenaných stacionárnym inklinometrom na úrovni šmykovej plochy vo vrte KI-1 (zelené stĺpce), b – vzťah medzi kolísaním hladiny podzemnej vody a deformáciou nameranou na šmykovej ploche (polia so súvislou farebnou plochou – overený vzťah zmien hĺbky hladiny podzemnej vody a veľkosti deformácie, oblasť vyjadrená farebnými prúžkami – predpokladaný vplyv zmien hĺbky hladiny podzemnej vody na veľkosť deformácie). HPV – hĺbka hladiny podzemnej vody pod povrchom terénu, DEF – deformácia na šmykovej ploche v mm za 24 hod., $\Delta HPV/12 h$ – stúpnutie hladiny podzemnej vody počas dvanásťhodín, ODEF – očakávaná deformácia (Ondrejka a kol., 2011)

varovanie, ktoré malo formu krátkej textovej správy a bolo rozosielené na predvolené telefónne čísla. Navyše, po demontáži stacionárneho inklinometra bolo možné na základe odvodených vzťahov prognózovať vývoj aktuálnej pohybovej aktivity.

Z hľadiska trendov v monitorovaní zosuvných území je potrebné zabezpečiť postupný prechod od prevažne etapového ku kontinuálnemu monitorovaniu v celospoločensky najvýznamnejších lokalitách a jeho transformáciu do efektívnych systémov včasného varovania.

10.2 Pomalé (plazivé) svahové pohyby

V zmysle u nás používanej klasifikácie (Nemčok a kol., 1974) je plazenie jednou zo štyroch základných skupín svahových pohybov, ktoré môžu byť podpovrchové (hlbinné) alebo povrchové. Výsledné formy svahových porúch (deformácií) v rámci tejto

skupiny sú uvedené v kap. 4. Monitorovanie svahových deformácií typu plazenja sa už desiatky rokov úspešne realizuje na nasledujúcich lokalitách: Veľká Izra, Sokol, Košícký Klečenov, Jaskyňa pod Spišskou a Spišský hrad.

10.2.1 Monitorovacie metódy

Podľa medzinárodne uznávanej klasifikácie svahových pohybov, typov a procesov (Varnes, 1978) je rýchlosť plazivých pohybov horninových hmôt extrémne malá ($\leq 0,06 \text{ m.rok}^{-1}$). Na meranie takýchto pomalých pohybov sa používajú rôzne geodetické metódy (napr. metóda polárnych súradníc, trigonometrické metódy, metóda zámernej krivky, fotogrametrické metódy, geometrická nivelácia, hydrostatická nivelácia) alebo špeciálne metódy (napr. tenzometre, dilatometre TM-71, meradlá typu SOMET).

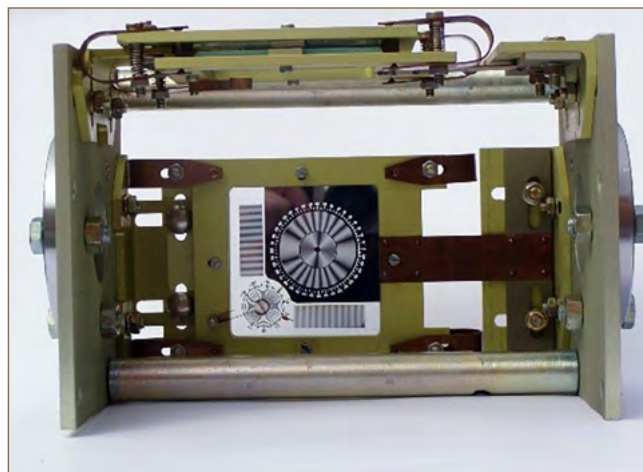
Opticko-mechanický dilatometer TM-71

Na systematické a dlhodobé monitorovanie pomalých (plazivých) pohybov sa na našom území používajú predovšetkým špeciálne opticko-mechanické dilatometre typu TM-71 a prenosné meradlo typu SOMET (*Demountable Mechanical Strain Gauge alebo Crack Gauge*). Merania prístrojmi TM-71 od roku 1992 vykonávajú pracovníci ŠGÚDŠ Košice, v niektorých lokalitách v spolupráci s odborníkmi z Ústavu štruktúry a mechaniky hornin AV ČR v. v. i. Praha (USMH AV ČR) a Katedry inžinierskej geológie (KIG) PriF UK Bratislava. Merania SOMET-om od roku 2000 realizujú pracovníci ŠGÚDŠ Bratislava a Košice, v niektorých lokalitách aj pracovníci uvedenej KIG.

Dilatometer TM-71 (terčové mēřidlo) skonštruoval B. Košťák (1969) a je chránený dvoma patentmi (č. 131631 a 246454) v rámci bývalej Československej republiky (obr. 10.12). Ide o opticko-mechanický prístroj využívajúci optickú interferenciu (moiré efekt), pričom relatívny pohyb dvoch prilahlých horninových blokov pozdĺž pozorovanej poruchy sa realizuje vzájomným posunom dvoch meracích jednotiek (terčov) vybavených optickými mriežkami, ktoré sú orientované v dvoch na seba kolmých rovinách. Zo vzájomnej interferencie mriežok sa posun vyhodnocuje ako excentricita terčov. Pohyby registrované týmto meradlom indikujú posuny pozdĺž súradnicových osí prístroja x , y , z a rotácie pozdĺž roviny XY a XZ . Os x je vždy v horizontálnej rovine a súhlasí s osou prístroja. Spravidla býva kolmá na smer poruchy (trhliny). Os y leží tiež v horizontálnej rovine a je kolmá na os x . Os z je vertikálna. Posuny takto udávané možno vo všeobecnosti interpretovať nasledovným spôsobom: x – zmena šírky trhliny (extenzia, kontrakcia), y – horizontálny šmyk blokov v smere poruchy (trhlina), z – vertikálny šmyk

Prenosné meradlo SOMET

Napriek spoľahlivosti získaných výsledkov pomocou meradiel TM-71 sa v posledných rokoch na monitorovanie pomalých svahových pohybov, resp. deformácií vznikajúcich v dôsledku pôsobenia rôznych geologických procesov v podloží historických objektov,



Obr. 10.12: Opticko-mechanický dilatometer typu TM-71 (foto: Ľ. Petro)

(pokles alebo zdvih) jedného z blokov pozdĺž poruchy (trhlina). Sústavou matematických rovníc zohľadňujúc priestorovú polohu prístroja a priestorovú orientáciu trhlina možno vyhodnotiť pohyb blokov. Novším typom prístroja sa dá sledovať a merať aj pootočenie (rotácia) blokov, a to okolo vertikálnej osi z , teda v rovine XY , resp. horizontálnej osi y , teda v rovine XZ . Odčítanie údajov z dilatometra sa môže robiť vizuálne, pomocou špeciálneho fotografického papiera alebo automaticky pomocou videokamery. Najčastejšie sa údaje zbierajú raz za mesiac. Nasledujúce charakteristiky dilatometra odrážajú jeho konštrukciu a použité materiály (hliník, sklo, chróm, meď, mosadz/pokovovaná oceľ):

- 3D meranie (mikro)posunov,
- dlhodobá odolnosť voči klimatickým vplyvom (voda, teplotné zmeny, blesky/bludné prúdy),
- jednoduchá manipulácia a údržba,
- vysoká presnosť (neautomatický/automatický typ – posuny $0,01 \text{ mm}$; rotácie $0,01 \text{ grad}$ /posuny $0,005 \text{ mm}$; rotácie $0,0055 \text{ grad}$) (Rowberry a kol., 2016),
- citlivosť umožňuje koreláciu výsledkov so seizmickými udalosťami.

Dilatometer sa inštaluje medzi dve oceľové hruškovité konzoly (rúry alebo tyče) votknuté do oboch protiľahlých stien trhliny medzi horninovými blokmi, ktorej šírka nepresahuje 2 m . Meranie pohybov na trhlinaх užších než $0,5 \text{ m}$ vyžaduje špeciálnu inštaláciu konzol.

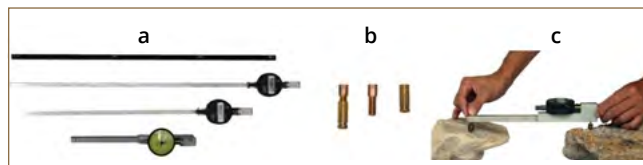
začali využívať pomerne nenáročné a lacné prenosné meradlá typu SOMET (názov podľa výrobcu v ČR).

Použitie prenosného meradla sa javí ako vhodné v takých lokalitách, resp. pri takých trhlinaх, kde TM-71 nemožno inštalovať kvôli vysokej miere rizika jeho

poškodenia (veľké finančné straty), alebo sú technické obmedzenia jeho inštalácie (šírka trhliny > 2 m).

Prenosné meradlo SOMET (obr. 10.13) je vyrobené z invarovej tyče s lokalizovanými výstupmi na osadené pevné body. Jeden výstup je fixný, druhý prenáša zmenu vzdialenosti pevných bodov na meracie zariadenie. Dĺžka tyče je nastaviteľná v závislosti od použitej tyče (napr. 25, 50, 75 a 100 cm), takže je možné ním merať jednoosové posuny horninových blokov alebo stavebných objektov na nich postavených pozdĺž/naprieč trhlín rôznej šírky. Meracie zariadenie pozostáva z indikačných hodínok CU 60 a 40 s delením 0,01 mm. Bežne sa v praxi osadzujú tri meracie body po oboch stranách trhliny (poruchy, diskontinuity), a to tak, že dva body (1 a 2) sú na kvázi stabilnom bloku a tretí (3) na bloku, kde sa očakáva pohyb. Takéto rozmiestnenie meracích bodov umožňuje meranie translačného

pohybu, t. j. relatívnej zmeny vzdialenosti medzi bodmi. Praktizujú sa aj merania pohybu dvoch susedných blokov pomocou dvoch fixovaných bodov. Monitorovanie pohybu pomocou meradla SOMET s ohľadom na charakterizovanie horninového prostredia umožňuje získať výsledky porovnateľné s meradlom typu TM-71 za predpokladu, že pohyb aj rotácia nastali v tej istej rovine.



Obr. 10.13: Prenosný dilatometer typu SOMET (a), meracie tĺče (konzoly) zhotovené z mosadze (b), názorná ukážka merania (c) (foto: M. Brček)

10.2.2 Monitorovacia sieť na Slovensku využívajúca dilatometre TM-71 a SOMET

Prvé merania pomalých pohybov dilatometrom TM-71 (starý typ) začali na našom území už v roku 1972 v lokalite Čierny Váh a trvali do roku 1977. V roku 1973 pribudol ďalší v zosuvnej lokalite Steny (Malá Fatra). Tento prístroj je najstarším funkčným na našom území. V rokoch 1975 – 1987 fungovalo v lokalite Veľká Studňa pri Banskej Bystrici 10 dilatometrov. Merania na Spišskom hrade začali koncom roka 1979 a začiatkom roka 1980. Tri dilatometre starého typu TM-71 boli inštalované na troch rôznych miestach hradu. Dva z nich boli situované medzi travertínovými blokmi z dvoch strán Perúnovej skaly a jeden v priečnej vnútornej stene na druhom nádvorí hradu (Fussgänger, 1985). Vo Veľkej Fatre bol v lokalite Štrochy inštalovaný jeden dilatometer v roku 1981. Monitorovanie Oravského hradu rovnakým typom dilatometra začal v roku 1983. V roku 1992 bolo v rámci čiastkovej úlohy *Inžinierskogeologický výskum pre optimálne využitie krajiny a ochranu životného prostredia*, ktorú zastrešovala štátna výskumná úloha ZP-547-008-03 *Výskum geologických faktorov životného prostredia* na Spišskom hrade inštalovaných 6 dilatometrov TM-71 nového typu. V roku 1993 sa na ŠGÚDŠ začala riešiť geologická úloha *Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia*, ktorú dodnes finančne zabezpečuje a garantuje MŽP SR. V rámci subsystému 06 *Stabilita horninových masívov pod historickými objektmi* uvedenej úlohy boli po jednom inštalované dilatometre TM-71 v lokalitách Lietava (1995) a Strečno (1996). Na Spišskom hrade pribudol v roku 2003 ďalší. V rámci subsystému 01 *Zosuvy a iné svahové deformácie* boli dilatometre TM-71 postupne inštalované v zosuvných lokalitách

Veľká Izra (1992), Košický Klečenov (1992, 1995), Sokol (1992) a Jaskyňa pod Spišskou (2007).

Sieť stanovišť na historických objektoch monitorovaných prístrojmi SOMET sa začala budovať v roku 1995 (stredoveký kláštor pri Skalke nad Váhom) a postupne sa rozšírila na Spišský hrad (2000 a 2001), hrady Lietava, Kostoľany pod Tribečom, Uhrovec a Skalka nad Váhom (2000), Plavecký hrad (2002, 2004), hrady Čachtice (2003), Pajštún (2003, 2004), Devín (2004) a Trenčiansky hrad (2006).

V dôsledku rôznych príčin (napr. zničenia prístrojov, dlhodobého nepreukázania nestability) boli niektoré monitorovacie zariadenia demontované a niektoré lokality opustené. Podrobné údaje o inštalovaní a fungovaní všetkých dilatometrov TM-71 a SOMET, ako aj o výsledkoch meraní vo všetkých historických objektoch na našom území sú zhrnuté v práci Petro a kol. (2012).

Okrem monitorovania pomalých (plazivých) pohybov podložia historických objektov alebo ich porušených častí a zosuvov sa od roku 2000 na našom území systematicky sledujú aj veľmi pomalé pohyby pozdĺž vybraných neotektonických porúch/zlomov (subsystém 02 *Tektonická a seizmická aktivita územia*). Ide o lokality – tunel Branisko (2000), Demänovská jaskyňa Slobody (2001), Ipeľ (2002), Dobrá Voda (2004), Banská Hodruša a Vyhne (2005). V súčasnosti je na území SR monitorovaných celkovo 36 lokalít, niektoré z nich aj v spolupráci s odborníkmi z ÚSMH AV ČR.

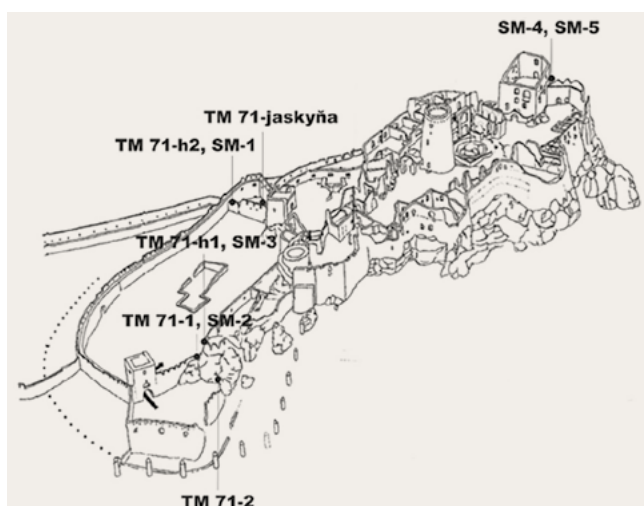
Výsledky zo všetkých monitorovacích lokalít v rámci subsystémov 01, 02 a 06 sa zverejňujú na internetovej stránke ŠGÚDŠ (<http://dionysos.gssr.sk/cmsgf/node/4>).

10.2.3 Meranie plazivých pohybov dilatometrami TM-71 – Spišský hrad (príkladová štúdia)

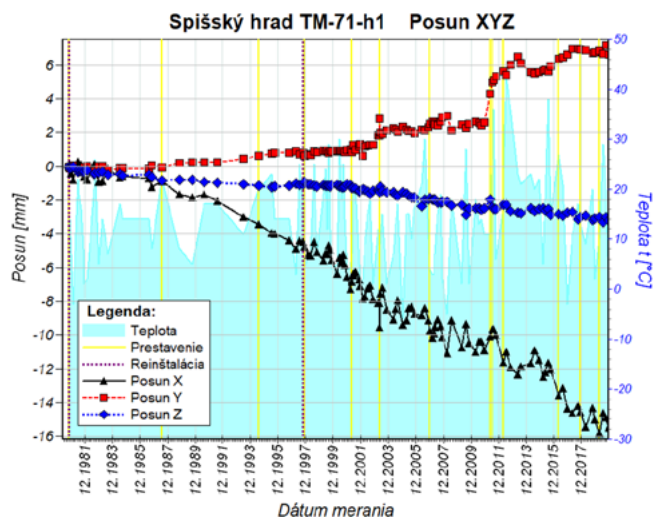
Spišský hrad je postavený na výraznej morfolologickej elevácii nachádzajúcej sa v Hornádskej kotline. Ide o travertínovú kopu, ktorá leží na flyšových ílovcoch a pieskovcoch hutianskeho súvrstvia podtatranskej skupiny (Gross a kol., 1999). Travertínové teleso je porušené početnými zlomami, trhlinami a puklinami a jeho hrúbka presahuje 50 m. Medzi puklinami dominujú dva subvertikálne systémy (Vlčko a Petro, 2002) so smermi sklonu $220^\circ - 250^\circ/80^\circ - 90^\circ$ (SZ-JV) a $250^\circ - 270^\circ/85^\circ$ (SSZ-JJV až S-J). Práve na zlomy a pukliny sú viazané tri jaskyne (Podhradská, Puklinová a Temná), ktoré boli na hrade registrované pri terénnom výskume (Fussgänger, 1985). V dôsledku pôsobenia gravitácie, ale aj zvetrávania a krasovatenia došlo k rozpadu travertínového telesa na množstvo rôzne veľkých a hrubých blokov. Vzhľadom na mäkké ílovité podložie sa tieto bloky postupne pomaly posúvali po podloží a podliehali procesu mechanického rozpadu a chemického rozkladu (krasovatenie). Tento proces prebieha aj v súčasnosti a má charakter plazenia (creep). Kým v centrálnej, najvyššej časti, má kopa charakter blokovej rozpadliny, v periférnych častiach ide o formu blokového poľa. Mnohé bloky dosahujú výšku 25 – 30 m, sklon $70^\circ - 80^\circ$, niekedy až 90° , ba vyskytujú sa i previsy. Z antropogénnych faktorov zhoršujúcich stabilitu hradného vrchu treba spomenúť jeho priťaženie samotnými historickými objektmi a v minulosti aj seizmické otrasy spôsobované odstrelní v neďalekom kameňolome Dreveník.

Nové systematické monitorovanie pomalých (plazivých) pohybov na Spišskom hrade začalo v roku 1992 inštaláciou 6 dilatometrov TM-71 pracovníkmi košického pracoviska vtedajšieho Geologického ústavu D. Štúra. Tieto sa nachádzali vo vnútorných nádvo-riach ale aj pod vonkajšími múrmi hradu. V dôsledku zničenia niektorých z nich vandalmi bola monitorovacia sieť rekonštruovaná. Meracie trne na meranie mikroposunov meradlom SOMET boli na hrade inštalované v roku 2000 a 2001. Pozícia v súčasnosti fungujúcich monitorovacích bodov na hrade je zrejmä z obr. 10.14.

Z piatich dnes funkčných dilatometrov TM-71 sú uvedené výsledky najstaršieho z nich. Prístroj starého typu s pôvodným označením P1 bol na hrade (za Perúnovou skalou) inštalovaný v roku 1980. V roku 1997 musel byť kvôli silnému poškodeniu náhlým posunom bloku (cca 1,5 cm pokles) nahradený novým prístrojom (TM-71-h1). Vďaka špeciálnemu softvéru MSDilat (Stercz, 2004) sa podarilo zachovať kontinuitu meraní. Do roku 2009 sa údaje namerané prístrojom odčítavali s frekvenciou 1 – 7-krát ročne. Výnimkou bol rok 1992, z ktorého údaje chýbajú. V posledných rokoch sa údaje odčítavajú 3 – 4-krát ročne. Výsledky takmer 40 ročných meraní potvrdzujú veľmi pomalý pokles Perúnovej skaly (travertínového bloku pod ňou), jej nakláňanie smerom na V (otváranie trhliny) a rotáciu na SV (obr. 10.15). Priemerná rýchlosť otvárania trhliny je $0,4 \text{ mm.rok}^{-1}$.



Obr. 10.14: Stanovišťa na Spišskom hrade monitorované dilatometrami TM-71 a SOMET (Ľ. Petro s použitím kresby A. Fialy; Fiala a kol., 1988)



Obr. 10.15: Graf posunu travertínového bloku pod Perúnovou skalou pozdĺž osí x (otváranie trhliny), y (šmykový posun pozdĺž trhliny) a z (pokles) zostavený na základe údajov z dilatometra TM-71-h1 za monitorovacie obdobie 1980 – 2019 (Ľ. Petro, 2019)

10.3. Náznaky rúťivých pohybov v lokalite Demjata – príkladová štúdia

10.3.1 Stručná charakteristika lokality

Zárez cesty 1. triedy Prešov – Bardejov č. 5/15 sa nachádza cca 700 m severne od obce Demjata. Vytvorený bol začiatkom deväťdesiatych rokov v prostredí paleogénneho flyšového súvrstvia. Vzhľadom na intenzívne rozvolňovanie vyšších partií zárezu dochádzalo k ohrozeniu premávky na ceste. Z tohto dôvodu bol vybudovaný záchytný múr s výškou cca 2 m. Priestor medzi múrom a svahom sa už vo viacerých miestach prakticky zaplnil úlomkami horniny a bloky väčších rozmerov, uvoľnené z vyšších častí svahu, sa môžu zrútiť priamo na cestnú komunikáciu.

10.3.2 Prehľad monitorovacích aktivít

Metódy monitorovacích meraní, počty a označenia jednotlivých monitorovacích objektov, ako aj frekvencia meraní sú zhrnuté v tab. 10.4.

a/ Dilatometrické merania

a1/ Dilatometer SOMET

Merania sa vykonávajú na stanovišti č. 3 (obr. 10.16), kde sú na troch výrazných lavicovitých blokoch inštalované štyri meracie body – E1 (prvý blok), E2, E3 (druhý blok) a E2' (tretí blok). Body E1, E2 a E3 sú inštalované pre meradlo dĺžky 25 cm a vzdialenosť bodov E1 – E2' je pre meradlo dĺžky 70 cm. Stanovište č. 4 (body E4 a E5) sa nachádza na opačnej stene zárezu cesty.

Pokračovanie pohybov skalných lavíc v oblasti južného ukončenia pravej strany skalného zárezu (stanovište 3) bolo zistené aj v roku 2017. V ročnom monitorovacom cykle bol zaznamenaný pohyb uvoľneného horninového bloku v podloží okrajovej lavice na profile E1 – E2 veľkosti 0,098 mm, na profile E1 – E3 bola pozorovaná stagnácia (posuv 0,002 mm). Samotná okrajová lavica (profil E1 – E2') sa v monitorovacom cykle roku 2017 posunula o 0,474 mm. V porovnaní s rokom 2016 posuv vrchnej okrajovej lavice pokračuje zhodnou intenzitou ako v roku 2016 (v roku 2016 bolo v profile E1 – E2' zaznamenaný posuv 0,55 mm) a naopak v jej podloží pohyb pokračoval rovnako ako v roku 2016 menej intenzívne (v oboch profiloch E1 – E2 aj E1 – E3 bol zaznamenaný posuv 0,04 mm).

Merania realizované v protilahlej strane zárezu na profile E4 – E5 (stanovište č. 4) v roku 2017 zaznamenali zmenu šírky diskontinuity o 0,183 mm, v predchádzajúcom roku 2016 bol evidovaný posuv 0,01 mm (obr. 10.17).

a2/ Meradlo posuvov

Meracie body na aplikáciu meraní meradlom posuvov sú inštalované na stanovišti č. 3 (zhodnom so

Monitorovacie pozorovania, sústredené na južnú časť východnej steny zárezu, sa v lokalite vykonávali metódami fotogrametrie od roku 1995. Od roku 2000 sa rozsah meraní rozšíril o dilatometrické pozorovania vo vybraných úsekoch monitorovanej steny zárezu a obnovili sa i merania mikromorfologických zmien skalnej steny (obr. 10.16). V súčasnosti je aplikácia fotogrametrických metód monitorovania pozastavená. Podrobnejšie informácie o lokalite sú súčasťou správ z predchádzajúceho obdobia (napr. Iglárová a kol., 2011).

stanovišťom pre dilatometer Somet), na ktorom sú inštalované body D1, D2, D3, D4, D5 a na stanovišti č. 1 (body D8 a D9 – obr. 10.17). Skalný blok, na ktorom bol umiestnený bod stanovišta č. 2, sa zrútil. Na každom zo stanovišť sú body nainštalované tak, aby zachytávali posuv blokov, oddelených výraznou diskontinuitou.

V roku 2017 bolo na stanovišti č. 3 pozorované zintenzívnenie pohybu uvoľnej okrajovej lavice, sprevádzaný útlmom pohybov lavice v jej podloží. Medzi bodmi D3 – D5, ktoré kontrolujú posuvy okrajovej lavice stanovišta 3 bolo pozorované rozvolnenie o 0,28 mm, oproti roku 2016, keď bol zaznamenaný posuv (zúženie) o 0,66 mm. Meranie profilu medzi bodmi D3 – D4, ktorý zaznamenáva pohyb horninového bloku v podloží okrajovej lavice, dokumentovalo v ročnom

Tab. 10.4.: Prehľad monitorovacích aktivít uskutočnených v lokalite Demjata

Metódy monitorovania	Monitorovacie objekty	
	Počet	Označenie
Dilatometrické merania:		
• Dilatometer SOMET	6	E1, E2, E3, E2', E4, E5
• Meradlo posuvov	7	D1, D2, D3, D4, D5, D8, D9a
Mikromorfologické zmeny povrchu horniny (MZ)	16	2 stanovištia MZ
Meranie zrážkových úhrnov	1	Stanica SHMÚ Kapušany (59220)
Meranie počtu mrazových dní	2	Stanice SHMÚ Bardejov (11962), Prešov-vojsko (11955)

monitorovacom cykle 2017 stagnáciu posuvov (nepatrné rozšírenie o 0,08 mm), pričom v roku 2016 bolo naopak zaznamenané zúženie profilu o 0,66 mm.

Na stanovišti č. 1 pretrváva nezvratný trend uvoľňovania skalného bloku. Rozvolňovanie diskontinuity

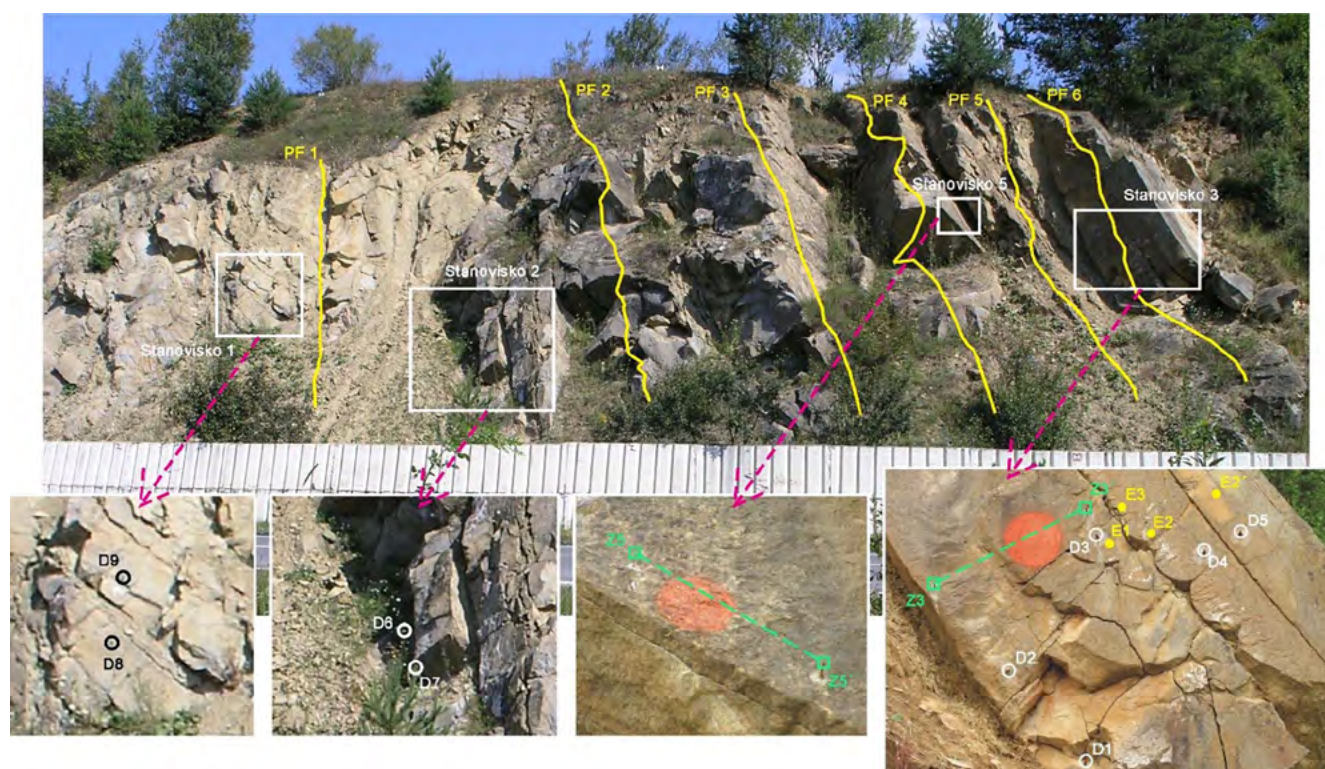
b/ Merania mikromorfologických zmien

Monitorovanie mikromorfologických zmien sa začalo v roku 1995, avšak v dôsledku skalného zrútenia v roku 1999 došlo k zničeniu profilu. Merania sa obnovili až v roku 2007 na dvoch profiloch (stanovište

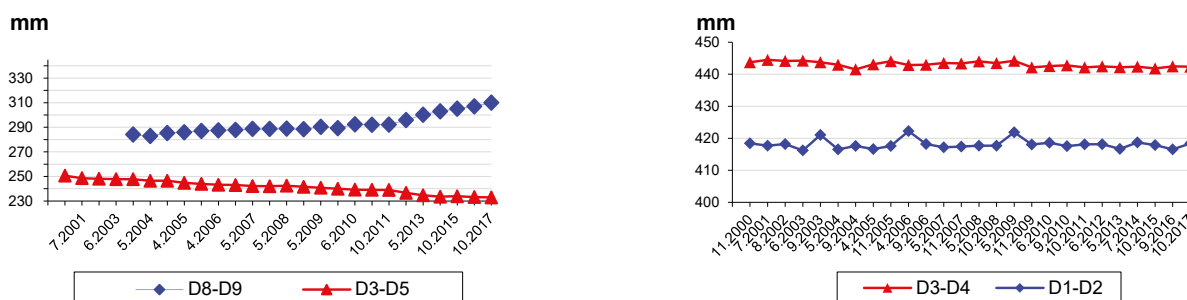
medzi bodmi D8 – D9 pokračovalo v roku 2017 s mierne zvýšenou intenzitou oproti v roku 2016. Zaznamenané bolo rozšírenie diskontinuity o 3,02 mm, v predchádzajúcom roku sa puklina rozšírila o 1,88 mm (obr. 10.17).

3 s bodmi Z3 a Z3' a stanovište 5 s okrajovými bodmi Z5 a Z5' – obr. 10.16).

Meraniami bol v profile 3 zaznamenaný celkový priemerný prírastok skalného povrchu (za 11 rokov



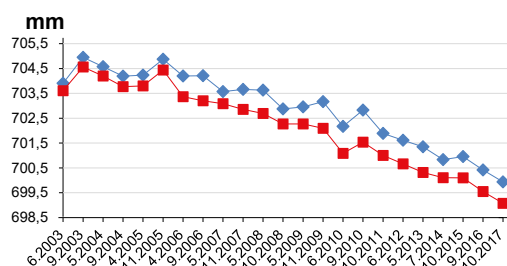
Obr. 10.16: Rozmiestnenie pozorovaných profilov a bodov na monitorovanom úseku zárezu cesty pri obci Demjata. PF1 až PF6 – profily na stereofotogrametrické merania (Iglárová a kol., 2011). Vysvetlivky: Stanovisko 1: pozorovacie body D8 a D9 na merania meradlom posuvov; Stanovisko 2: zrútené; Stanovisko 3: pozorovacie body E1, E2, E3 a E2' na merania dilatometrom SOMET; pozorovacie body D1, D2, D3, D4 a D5 na merania meradlom posuvov, body Z3 a Z3' na upevnenie meradla mikromorfologických zmien povrchu skalnej steny; Stanovisko 4 (pozorovacie body E4 a E5): nachádza sa na protihľej stene skalného zárezu; Stanovisko 5: body Z5 a Z5' na upevnenie meradla mikromorfologických zmien povrchu skalnej steny.



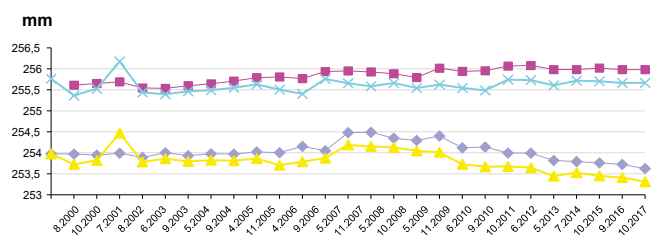
Obr. 10.17a: Výsledky dlhodobého merania posuvu blokov v lokalite Demjata meradlom posuvov. Grafy s korekciou nameraných hodnôt zohľadňujú zmeny podmienok a techniky merania (označené príponou kor. – údaje v nich sú upravované v závislosti od hodnoty nameranej vzdialenosti medzi bodmi E2 – E3, situovanými na jednom samostatnom horninovom bloku) (www.geology.sk)

monitorovania) v masíve + 0,03 mm a v profile 5 + 0,65 mm (obr. 10.18). V porovnaní s meraním 2017 bol v profile 3 zaznamenaný priemerný prírastok skalného povrchu 0,22 mm a v profile 5 + 0,115 mm.

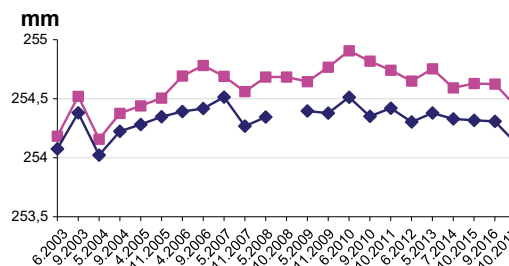
V bodoch 6 a 7 profilu 3, kde dochádza k prírastku skalného povrchu (teda k vydúvaniu masívu), bolo v blízkom období očakávané odlúpnutie väčšej šupiny horniny.



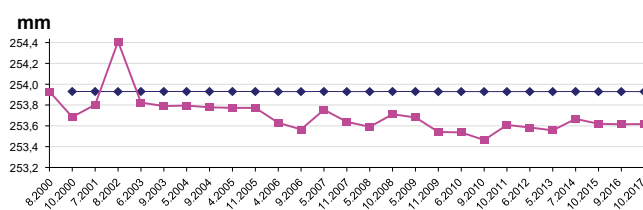
— E1-E2' kor.



— E1-E2 kor. — E1-E3 kor. — E1-E2 — E1-E3



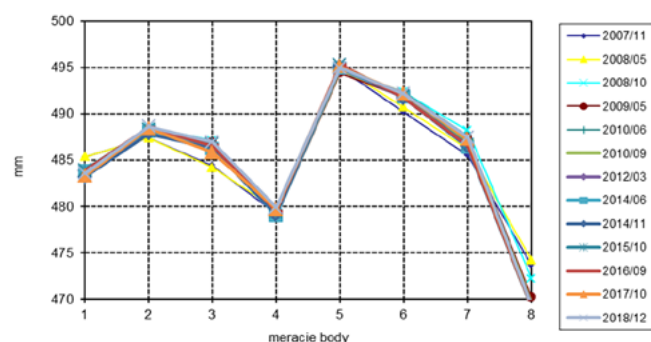
— E4-E5 kor. — E4-E5



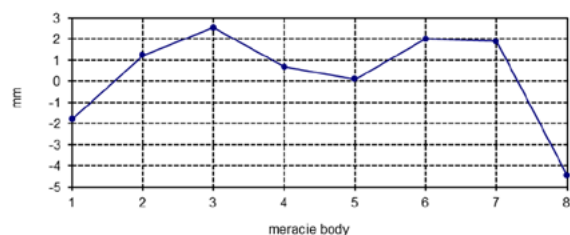
— E2-E3 kor. — E2-E3

Obr. 10.17b: Výsledky dlhodobého merania posuvu blokov v lokalite Demjata dilatometrom Somet. Grafy s korekciou nameraných hodnôt zohľadňujú zmeny podmienok a techniky merania (označené príponou kor. – údaje v nich sú upravované v závislosti od hodnoty nameranej vzdialenosti medzi bodmi E2 – E3, situovanými na jednom samostatnom horninovom bloku) (www.geology.sk)

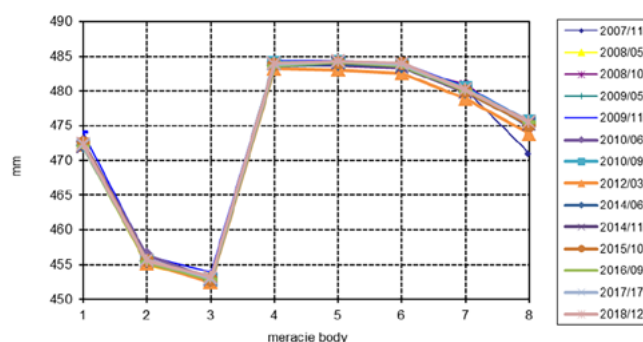
Mikromorfologické zmeny – Demjata 3-3'



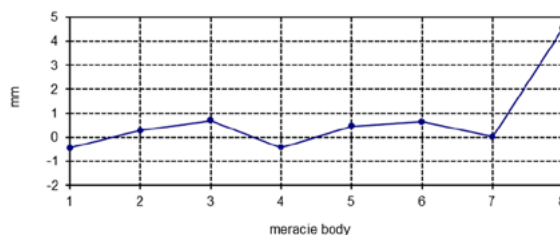
Suma mikromorfologických zmien povrchu horniny [mm] 2007 – 2018



Mikromorfologické zmeny – Demjata 5-5'



Suma mikromorfologických zmien povrchu horniny [mm] 2007 – 2018



Obr. 10.18: Výsledky spracovania dlhodobých meraní (2007 – 2018) mikromorfologických zmien skalného povrchu v lokalite Demjata (www.geology.sk)

11. METÓDY SANÁCIE ZOSUVNÝCH SVAHOV

Pri návrhu stabilizačných a sanačných opatrení treba vychádzať z daných podmienok a faktorov nestability zosuvného svahu. Správna diagnóza príčin vzniku svahových porúch je rozhodujúca pri návrhu účinnej sanačnej metódy. Taktiež je nevyhnutné monitorovanie na spresnenie diagnózy príčin vzniku zosuvov a taktiež na kontrolu účinnosti sanačných opatrení.

Sanáciu je možné realizovať vo svahoch tvorených zeminami alebo skalnými horninami.

Podľa princípu realizácie a spôsobu pôsobenia na svah možno sanačné metódy rozdeliť na viaceré základné typy:

- úpravy tvaru svahu,
- odvodnenie svahu,
- technické sanačné a stabilizačné opatrenia,
- ochranu svahu pred zvetrávaním a eróziou – skalné masívy.

11.1 Úpravy tvaru svahu

Stabilitu zosuvného svahu možno zlepšiť zmenšením objemu zemného telesa vo vyšších polohách svahu (odrezy), alebo jeho zväčšením v „pasívnej“ oblasti, pri päte svahu (prísypy – obr. 11.1). Úpravy tvaru svahu sa môžu realizovať:

- celkovým zmiernením sklonu svahu,
- odľahčením svahu výkopom v odľučnej oblasti zosuvov,
- zriaďovaním priťažovacích prísypov a násypov v päte zosuvov,
- odstránenie celého zosunutého materiálu a nahradenie vhodným materiálom.

Najčastejšie používaná metóda z vyššie uvedených spočíva v priťažení päty zosuvných svahov. Realizácia priťažovacieho prísypu má výhodu, že na jeho budovanie môže byť využitý aj inak nepoužiteľný materiál z výkopov na stavbe, ktorý by inak musel byť skládkovaný. Na realizáciu prísypu však musí byť dostatočný priestor pred čelom zosuvu. Pri vysokých prísypoch je však nutné zhodnotiť aj ich samotnú stabilitu a je dôležité,

aby bola pod priťažovacím prísypom zabudovaná drenážna vrstva z priepustnej zeminy a prísyp bol dostatočne zhutnený. V prípade extrémnych prísypov je možné ich budovať ako vystužené prísypy.

Pri dopravných stavbách sa uvedená metóda používa predovšetkým na sanáciu porušených násypov, napr. zosunutý násyp železničnej vlečky pri Devínskej Novej Vsi (obr. 11.3).

Sanácia zosuvov prostredníctvom prísypov v ich čelách sa na Slovensku použila aj v lokalitách väčších rozmerov. Známa je sanácia tzv. starého handlovského zosuvu, kde boli sanované čelá zosuvov na oboch stranách údolia Handlovky stabilizačným násypom so zatrubneným potokom Handlovky a nepomenovaného potoka. Materiál násypu tvorí hlušina pochádzajúca z ťažby hnedého uhlia (obr. 11.4).

Pri sanácii zosuvov menších rozmerov je možné vymeniť zosunutý materiál za materiál vhodnejší, napr. hrubokamenitý (obr. 11.5). Takýmto spôsobom sa napríklad sanujú zosúvajúce sa svahy v diaľničných a cestných zárezoch v deluviálnych sedimentoch (obr. 11.6).

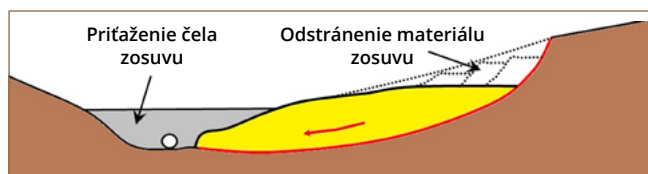
11.2 Metódy odvodnenia svahov

Podľa skúseností voda zohráva rozhodujúcu úlohu pri vzniku väčšiny svahových pohybov. Z uvedeného vyplýva, že metódy definitívnej sanácie svahov založené na ich odvodnení patria medzi najúspešnejšie, a preto aj najčastejšie používané (cca až v 90 – 95 % prípadoch – Fussgänger, 1987). Takisto v prípadoch nevyhnutnosti rýchlej stabilizácie havarijných aktívnych zosuvov sú najčastejšie používané ako prvé okamžité stabilizačné opatrenia. Avšak na účinné a ekonomické využitie

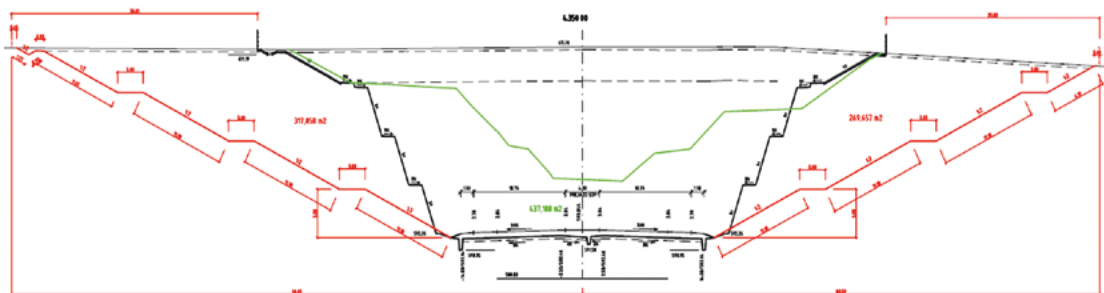
odvodňovacích metód je potrebné poznať hydrogeologické pomery svahov a ich vzťah ku klimatickým podmienkam v oblasti.

Pri odvodnení svahov je potrebné odvieť podzemnú vodu z telesa zosuvu, ale takisto zabrániť prenikaniu povrchovej vody do neho. Z uvedeného hľadiska môžeme metódy odvodnenia rozdeliť na 3 hlavné skupiny:

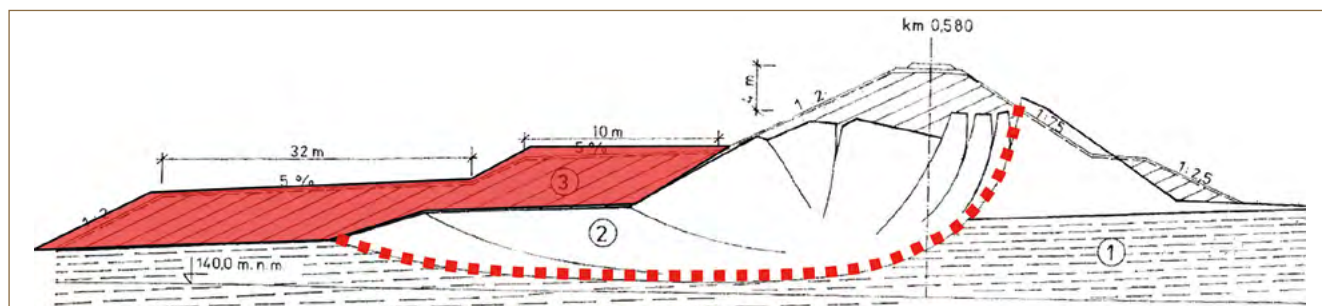
- metódy povrchového odvodnenia,
- metódy podpovrchového odvodnenia,
- špeciálne metódy.



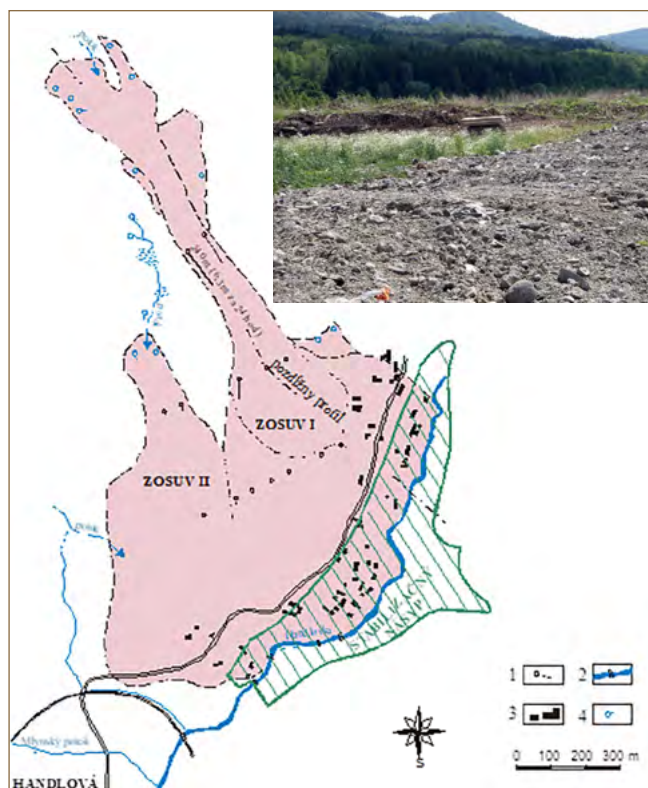
Obr. 11.1: Kombinácia prísypu v čele zosuvu a odstránenie časti zosuvu z jeho odlučnej oblasti (M. Kopecký)



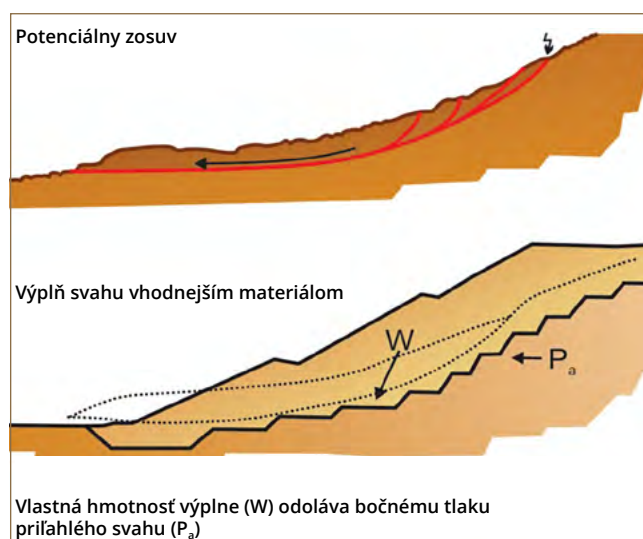
Obr. 11.2: Zmiernenie sklonu svahu z 3:1 (čierna čiara) na 1:2 (červená čiara) po zosuve v úvodnom výkope (zelená čiara) na diaľnici D1 Jánovce – Jablonov (M. Kopecký)



Obr. 11.3: – Sanácia zosuvu železničnej vlečky; 1– neo-génne íly, 2 – teleso zosuvu násypu, 3 – príťažovací prísyp a nové teleso násypu (podľa Nemčok, 1982)



Obr. 11.4: Situácia stabilizačného násypu Handlová: 1 – pohyb meraných bodov od januára do konca mája 1961; 2 – kamenné stupne zriadené v koryte Handlovky; 3 – zničené obydlia; 4 – pramene v odlučnej oblasti (Mokrý a kol., 2004) a pohľad na stabilizačný násyp (foto: K. Házyová)



Obr. 11.5: Schéma nahradenia telesa zosuvu vhodným materiálom – so zazubením podložia (M. Kopecký)



Obr. 11.6: Zosuv svahu (hrúbka 5 m) odrezu na križovatke Lietavská Lúčka (D1 – Višňové) a jeho výmena za lomové kamenivo (foto: M. Kopecký)



Obr. 11.7: Obvodová priekopa a rigol na zosuve na diaľnici D1 pri Chmiňanoch (foto: M. Kopecký)

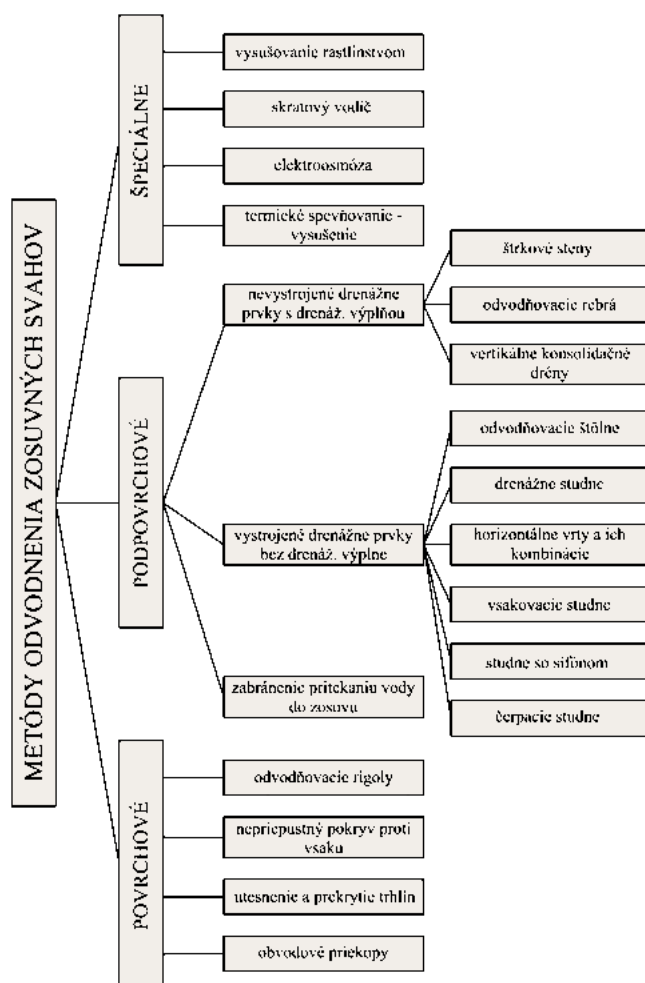


Obr. 11.8: Príklady obvodových nespevnených rigolov a rigolu spevneného geotextíliou (foto: V. Jánová)

11.2.1 Metódy povrchového odvodnenia

Metódy povrchového odvodnenia slúžia na zamedzenie infiltrácie zrážkovej vody a ich rýchle odvedenie z povrchu svahu a na zamedzenie prítoku povrchovej vody z vyšších polôh svahu. Medzi hlavné sanačné opatrenia povrchového odvodnenia patria:

- obvodové priekopy – budujú sa nad odlučnými hranami zosuvov a po obvodu zosuvov. Zachytávajú a odvádzajú vodu, ktorá by z vyšších častí svahu vtekala do zosuvných más poruchami a trhlinami v odlučnej oblasti, a tak by sa dostávala až na šmykovú plochu,



Obr. 11.9: Metódy odvodňovania zosuvných svahov (Kopecký a kol., 2013)



Obr. 11.10: Príklady spevnených odvodňovacích rigolov na zosuvoch Varhaňovce, Gribov, Kapušany a Nižná Myšľa (foto: V. Jánová)

- odvodňovacie priekopy a rigoly – odvádzajú povrchové vody z telesa svahovej poruchy. Ich trasa má byť volená tak, aby bolo možné odvodniť časté bezodtoké depresie a odviešť vodu z prameňov a od subhorizontálnych odvodňovacích vrtov (obr. 11.10 a 11.11),
- utesnenie trhlín, škár a puklín – na zosuvných svahoch vznikajú hlboké trhliny, orientované prevažne kolmo ku smeru pohybu, ktoré často siahajú spravidla až do šmykovej zóny. Trhliny je potrebné ručne upchať materiálom z relatívne nepriepustných zemín z najbližšieho okolia, prípadne



Obr. 11.11: Odvodňovacie rigoly na zosuve v Prievidzi (foto: K. Házyová)



Obr. 11.12: Svah po utesnení trhlín na zosuve v Kapušanoch (foto: V. Jánová)



Obr. 11.13: Prekrytie otvorených trhlín v zosuve v obci Šenkvice (foto: K. Házyová)



Obr. 11.14: Prekrytie trhlín v odľučnej oblasti zosuvu na násype trasy R4 pri Svidníku (foto: M. Kopecký)



Obr. 11.15: Prekrytie aktívneho zosuvu v obci Chmiňany (foto: V. Jánová)

technologickými zmesami (obr. 11.12). Toto je potrebné zabezpečiť v zosuvoch, ktoré sú v pohybe, pričom táto činnosť si často vyžaduje niekoľkonásobné opakovanie a kontrolu. Po ukludnení pohybu je nutné vyplniť ich ílom, živicami a pod.

- prekrytie trhlín, resp. častí svahu fóliami – metóda pokrytia častí svahu, prípadne celého svahu fóliami z umelých hmôt je veľmi rýchlou i lacnou dočasnou metódou proti infiltrácii vody do telesa svahovej poruchy (obr. 11.13 až 11.15),

- vytvorenie nepriepustného pokryvu – na svahu sa vytvorí ochranný pokryv, napr. postrekom živicami, naftou, resp. špeciálnymi chemickými látkami. V dnešných podmienkach z hľadiska ochrany životného prostredia je potrebné použitie týchto metód citlivo zvažovať.

Všetky povrchové odvodňovacie zariadenia je potrebné kontrolovať a udržiavať, pretože úniky nimi sústredenej vody môžu zapríčiniť porušenie svahu.

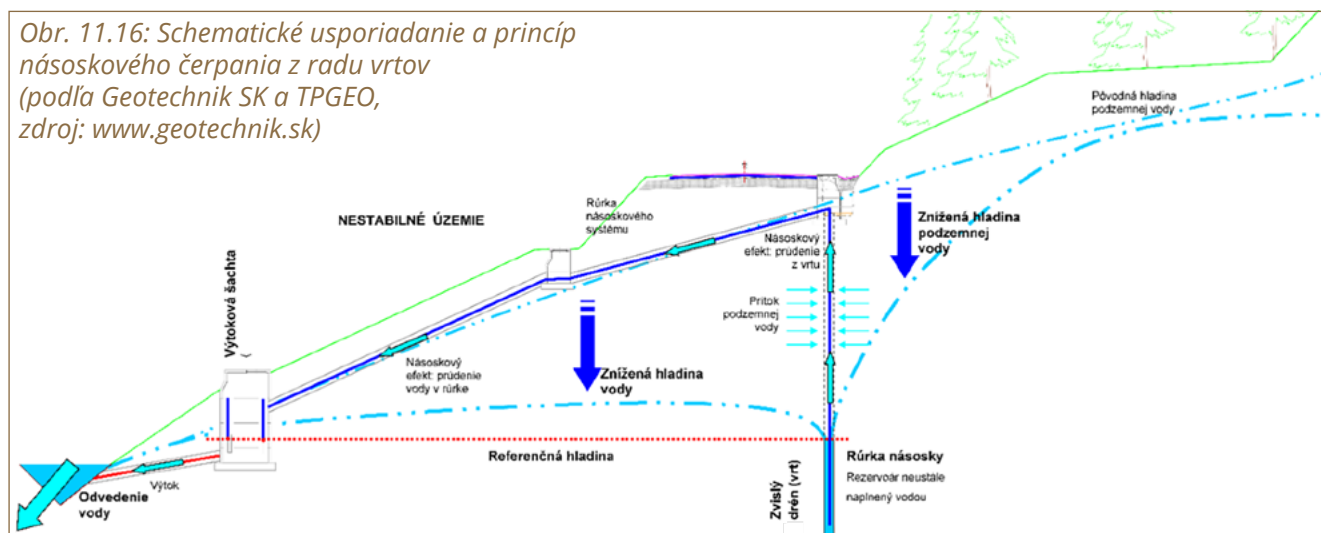
11. 2. 2 Metódy podpovrchového odvodnenia

Podpovrchové odvodnenie zosuvného územia je veľmi účinné a často sa používa. Jeho výrazná účinnosť v určitých prípadoch zvädza niekedy k preceňovaniu tejto metódy. Prednosť pred ostatnými metódami by táto technológia mala dostať vtedy, ak jej príspevok k stabilizácii je väčší ako pri alternatívnej metóde, alebo pri rovnakom zlepšení stupňa stability svahu sú preukázateľne lacnejšie. Na jej použitie je však treba mať dobré znalosti o geologickej stavbe územia a najmä o hydrogeologických pomeroch svahu. Medzi metódy podpovrchového (hlbkového) odvodnenia patria:

- čerpace (vertikálne) studne – uvedená metóda sa používala ako dočasná sanačná metóda, ktorá mala za úlohu dosiahnuť rýchle ukludnenie zosuvu. V súčasnosti s rozvojom automatizácie (spínanie čerpadla podľa výšky HPV) sa stáva aj trvalou metódou sanácie. Využitie má predovšetkým v zosuvných telesách, kde absentuje spojitá hladina podzemnej vody. Pri ekonomickom zhodnotení metódy je potrebné počítať s vyššími nákladmi pri čerpaní vody. U nás boli studne použité napr. v Dolnom Kubíne.
- sifónové drény – u nás zriedkavo používanou metódou znižovania hladiny podzemnej vody v zosuvnom území je metóda odvodnenia pomocou

násoskových (niekedy je používaný výraz sifónových) vrtov, resp. sústav vrtov. Uvedená sanačná metóda je založená na princípe fungovania násosky, keď s pomocou trubice/rúrky ponorenej do dvoch nádob (s kvapalinou – vodou) umiestnených v rôznej nadmorskej výške prúdi voda bez použitia čerpadla z vyššie umiestnenej nádoby proti gravitácii, do nádoby umiestnenej v nižšej časti svahu, nachádzajúcej sa v úrovni referenčnej roviny (obr. 11.16). V našom prípade bez použitia čerpadla prúdi voda z radu sanačných vrtov do zberného potrubia, čím dochádza k zníženiu hladiny podzemnej vody na území, kde sú takéto vrty vyvrtané. Keď hladina podzemnej vody stúpne, napr. z dôvodu výdatnejších zrážok, dosiahne úroveň, v ktorej je porušená rovnováha medzi atmosférickým tlakom a tlakom vodného stĺpca a následne dochádza k spusteniu systému a nastáva prietok vody. Aktivuje sa automatický výpusť uložený v zbernej – výtokovej šachte. Na udržanie stáleho prietoku v násoskovom potrubí je potrebné zabezpečiť, aby atmosférický tlak pôsobil na obidva voľné povrchy na každom konci potrubia, resp. aby bol každý koniec ponorený do nádoby s vodou. Uvedený násoskový systém si vyžaduje pravidelné kontrolné návštevy a preverenie jeho funkčnosti.

Obr. 11.16: Schematické usporiadanie a princíp násoskového čerpania z radu vrtov (podľa Geotechnik SK a TPGeo, zdroj: www.geotechnik.sk)



- subhorizontálne vrty – subhorizontálne odvodňovacie vrty sú prevažne zabudované perforovanými oceľovými rúrami (obr. 11.17) priemeru prevažne okolo 100 mm a dĺžky do 200 m. Sklon vrtov je závislý od priebehu šmykových plôch a výskytu podzemnej vody, prevažne je to od 2 do 10° (obr. 11.18). Ako sanačná metóda sú vhodné najmä na odvodnenie výrazne vzájomne prepojených zvodnených horizontov väčších hrúbok. Ich použitie však nie je vhodné v hrubých polohách pelitických hornín alebo mohutných delúviách. Treba tu použiť veľa vrtov, pretože ich plošný dosah je v týchto materiáloch minimálny. Obvykle sa účinnosť odvodňovacích vrtov hodnotí podľa toho, či z vrtu vyteká voda a najmä jej objem za jednotku času. To je veľmi zjednodušené a často nesprávne zvolené kritérium. Vytekajúce množstvo vody z vrtu nie je také dôležité, ako je dôležité zníženie vztlakových účinkov podzemnej vody vo svahu.

V rozsiahlych zosuvných územiach sa často používa systém vejárov subhorizontálnych vrtov. Ich vyústenie môže mať rôzne technické riešenia (obr.



Obr. 11.17: Počiatočná výdatnosť odvodňovacieho horizontálneho vrtu na zosuve Chmiňany (foto: M. Kopecký)



Obr. 11.18: Vrtanie subhorizontálneho odvodňovacieho vrtu na zosuve v Kapušanoch a vejára odvodňovacích vrtov na zosuve vo Varhaňovciach (foto: K. Házyová)



Obr. 11.19: Príklady ukončenia subhorizontálnych odvodňovacích vrtov (foto: V. Jánová)

11.19), pričom požiadavkou je, aby voda bola bezpečne odvedená mimo zosuvného územia.

- Drenážne studne – v niektorých prípadoch (mierne svah, hlboká šmyková plocha atď.) nie je možné situovať horizontálne odvodňovacie vrty (HOV) z povrchu terénu tak, aby bola zabezpečená ich účinnosť. Vtedy je možné využiť metódu drenážnych studní. Ide vlastne o veľkopriemerovú

studňu, z ktorej sú po obvode odvrátané horizontálne vrty. Z nich vyteká voda do studne, odkiaľ je vyčerpávaná alebo odvádzaná pomocou ďalšieho horizontálneho vrtu mimo odvodňovanú oblasť (obr. 11.20 a 11.21).

- Odvodňovacie (stabilizačné) rebrá – reprezentujú drenážne prvky umiestnené v smere spádnic svahu, kde je zabezpečený odtok infiltrovanej vody

gravitačným spôsobom do pozdĺžnej drenáže na päte svahu. Pokiaľ rebro nesiahá pod šmykovú plochu, označujeme ho ako odvodňovacie (plávajúce) rebro. Veľmi často sa najmä v dopravnom stavitelstve používajú na sanáciu svahov zárezov a odrezov (obr. 11.22). Pri ich budovaní je možné použiť dostupné mechanizmy (rýpadlá, bagre a pod.). Medzi rebrá môžeme podľa ich charakteru zaradiť aj tzv. *stabilizačné drény* (Fussgänger, 1996), kde ide o ryhy značnej dĺžky (až 100 m) zasahujúce pod šmykovú plochu vyplnené lomovým kamením vhodnej frakcie (obr. 11.23). Filtračná vrstva je obalená geotextíliou a na dne je položená drenážna rúrka na rýchle odvádzanie zachytenej vody (obr. 11.24). Pri agresívnom charaktere tejto vody je potrebné použiť inertný filtračný materiál (napr. andezit) a plastové drenážne rúrky.

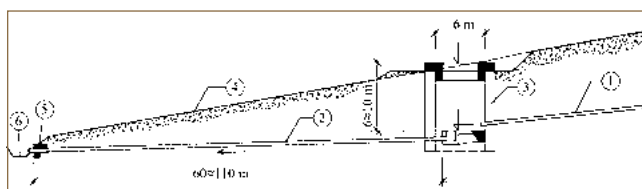
- Drenážne štrkové steny – princíp odvodnenia zostáva v podstate rovnaký ako u drenážnych rebrí. Orientované sú však prevažne kolmo na sklon svahu a rozdielna je aj technológia ich budovania (obr. 11.25). V súčasnosti sa najčastejšie používa technológia prerezávaných štrkových pilót, keď sa môže vytvoriť súvislá odvodňovacia stena do hĺbky aj viac ako 20 m. Voda z porušeného územia je plošne drénovaná štrkovou stenou do jej spodnej časti, odkiaľ je odvádzaná gravitačne, prípadne vodorovnými vrtmi mimo zosuvného územia.
- Odvodňovacie štôlne – predstavujú veľmi kvalitný, ale zároveň aj veľmi nákladný sanačný prvok. Jeho použitie je výhodné predovšetkým pri svahových deformáciách veľkých rozmerov. Po obvode štôlne sa lúčovitým spôsobom realizujú odvodňovacie vrty, ktorými sa sťahuje podzemná voda zo zosuvných mas do štôlne (obr. 11.26).

Pri realizácii ľubovoľného typu spôsobu odvodnenia vo svahu je potrebné pamätať na to, že nesprávne realizovaná drenáž môže byť horšia ako žiadna.

11.2.3 Špeciálne metódy odvodnenia (vysušovania)

Medzi špeciálne sanačné metódy zamerané na odvodňovanie môžeme zaradiť nasledovné metódy:

- Vysušovanie zosuvného svahu rastlinami – rastliny potrebujú na svoj rast vodu, ktorú odsávajú z podložia, čím ho vysušujú a zlepšujú jeho pevnostné charakteristiky. Na stabilizáciu svahov sú vhodné najmä listnaté dreviny, ktorých koreňový systém preniká do väčších hĺbok, majú väčšiu spotrebu vody a výpar ako ihličnaté dreviny. Porastom možno spevniť iba plytké plošné potenciálne zosuvy. Metóda bola použitá napr. na zosuve v Prosieku (Smolka a kol., 2008). Zosuvy s hlbokými šmykovými plochami nemožno sanovať iba vysádzaním porastu.



Obr. 11.20: Sanácia pomocou HOV realizovaných zo šachty: 1 – vejár horizontálnych vrtov, 2 – odvodňovací vrt, 3 – šachta vytvorená z vrtaných pilót, 4 – povrch terénu, 5 – betónový výpust, 6 – recipient – povrchový tok (podľa Flimmel, 1997)



Obr. 11.21: Šachta s horizontálnymi vrtmi v Handlovej – Morovnianske sídlisko (foto: Z. Jasovský)



Obr. 11.22: Odvodňovacie rebrá cez zosuvné územie – diaľnica D1 Hubová – Ivachnová (foto: M. Kopecký)



Obr. 11.23: Drenážne prvky na zosuvoch v Stránskom, Pečovskej Novej Vsi a v Banke (foto: J. Šimeková, K. Háziová)



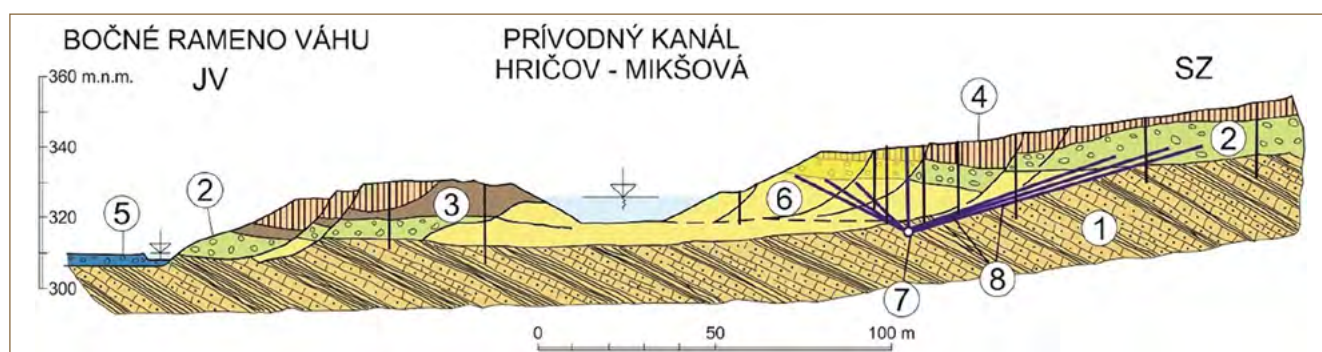
Obr. 11.24: Ukážka budovania odvodňovacích rebier na zosuvoch Prievidza-Hradec, Krupina a Kapušany (foto: K. Házyová)

- Elektroosmóza – slúži na hĺbkové odvodnenie, a tým aj spevnenie málo priepustných zemín (íllov), kde sa nedajú použiť klasické odvodňovacie metódy. Rozdiel je v tom, že voda neprúdi k drenážnemu prvku gravitáciou, ale najmä účinkom elektrického poľa. V praxi sa využíva uvedený jav tak, že sa do zeme osadzuje anóda a katóda, pričom účinkom elektrického prúdu voda prúdi od anódy ku katóde, kde sa odčerpáva. Ako príklad môže slúžiť elektroosmóza v lokalite Veľká Čausa (Vilumsen, Arvensis, 1996). Horizontálne odvodňovacie vrty boli zapojené ako katódy a slúžili na odvádzanie naakumulovanej vody. Systém anód pozostával zo siete vertikálnych oceľových tyčí, umiestnených pozdĺž horizontálnych vrtov. Na dovtedy suchom horizontálnom vrte bol vplyvom elektroosmózy generovaný výtok vody.
- Termické spevňovanie zemín – spaľovaním nafty alebo plynu v zapažených vrtoch. Pôsobením vysokej teploty sa odstraňuje voda z pórov a pri veľmi



Obr. 11.25: Budovanie drenážnej štrkovej steny na zosuve v Nižnej Myšli (foto: K. Házyová)

vysokých teplotách nadobúdajú zeminy vlastnosti keramickej hmoty. Metóda je vhodná najmä v prípade ílovitých zemín. U nás bola metóda otestovaná na zosuve v Okoličnom, no bez významnejšieho úspechu, nakoľko zeminy obsahovali príliš veľa vody (Jadroň, 1980).



Obr. 11.26: Sanácia zosuvu na prívodnom kanáli Hričov – Mikšová pri Starovci: 1 – zlepenca a bridlice (paleogén), 2 – terasové štrky (pleistocén), 3 – interglaciálne sily, 4 – sprašové hliny, 5 – štrky údolnej nivy, 6 – zosuv, 7 – odvodňovacia štôľňa, 8 – odvodňovacie vrty (podľa Nemčok, 1982)

11.3 Technické stabilizačné a sanačné opatrenia v zeminách

Technické stabilizačné a sanačné opatrenia zabezpečujú alebo zvyšujú stabilitu svahov v zeminách a skalných horninách. V zeminách sa realizujú zabudovaním umelých nosných a spevňujúcich prvkov, medzi ktoré patrí:

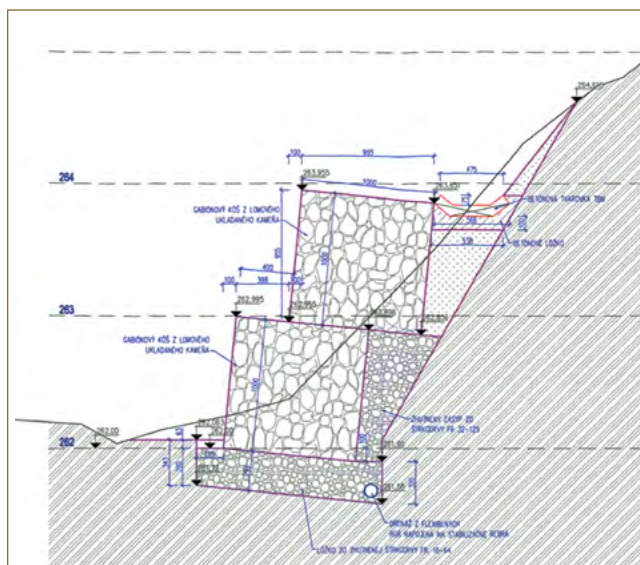
- výstavba zárubných a oporných múrov,
- kotvenie stien a svahov výkopov,
- zriaďovanie podzemných stien a pilótových stien,
- kombinácia týchto metód.

Uvedené metódy sú zamerané predovšetkým na statické zabezpečenie svahov, kde tieto konštrukcie odolávajú silám od zosuvu. Pristupuje sa k nim, keď zlyhávajú metódy odvodnenia. Treba však zdôrazniť, že ani jedna sanačná metóda nie je univerzálna. Výhody jednotlivých metód sa prejavajú najmä vtedy, keď sa použijú vo vhodných podmienkach, ktoré sú prieskumom vopred dôsledne overené.

- Výstavba zárubných a oporných múrov – tieto zvyšujú stabilitu svahov gravitačným pôsobením, t. j. priťažením pasívnej zóny svojou relatívne veľkou hmotnosťou. Ak sa budujú subtilne tenkostenné obkladové a zárubné múry, potom sa vyžadované spevnenie pasívnej zóny zosuvného svahu dosiahne ich spriahnutím s horninovým masívom kotvami (obr. 11.30 až 11.33). Stále viac sa využívajú na zabezpečenie svahov zárubné a oporné múry zhotovené z gabiónov (ekokošov) (obr. 11.27, 11.28). V prípade potreby môžu byť aj tieto múry kotvené (obr. 11.29). Často predstavujú ekonomickejšie a rýchlejšie riešenie ako betónové múry.
- Kotvenie svahov – kotvenie svahov výkopov a zárezov sa realizuje vtedy, keď je predpokladaná šmyková plocha vo väčšej hĺbke pod povrchom, t. j. svah nemožno stabilizovať jednoduchými povrchovými sanačnými opatreniami. Pri navrhovaní je potrebné dbať predovšetkým na dostatočnú dĺžku kotiev a spoľahlivé roznesenie predpínacích síl z hlavíc kotiev na okolitú horninu. Kotvy prenášajú predpínaciu silu na svah cez betónové alebo oceľové platne, prípadne cez betónové prahy. Dôležité však je, aby korene kotiev zasahovali za šmykovú plochu (obr. 11.34).
- Horizontálne stabilizačné konštrukcie – jednou z takýchto konštrukcií je modulárny systém ErdoX Terra. Predstavuje prefabrikovanú oceľovú konštrukciu, ktorá prioritne slúži na sanáciu zosuvov, zabezpečenie nestabilných svahov, vytváranie oporných konštrukcií, realizáciu protipovodňových hrádzí, reguláciu riek, realizáciu záchytných systémov, protilavínovú ochranu a podobne. Ide o pružnú, stabilizačnú a súčasne priepustnú konštrukciu. Vyznačuje sa nízkou hmotnosťou

a jednoduchou manipuláciou. Konštrukcia sa skladá z predného panela, rúrového tyčového prvku, stabilizačných lán a kotevného prvku, pomocou ktorého je ukotvená v jednom bode (lanová kotva, betónová doska, oceľová doska) (obr. 11.35). Voľba ukotvenia závisí od geotechnických podmienok, morfológie, lokality a konkrétneho projektu. Konštrukcia umožňuje spätné využitie odťaženého materiálu, čo je výhodou v relatívne ťažko prístupnom teréne s jednostranným prístupom (Prelovský, Sňahničan, 2019). Modulárny systém ErdoX Terra bol použitý napr. na zabezpečenie stability prístupovej cesty v Kraľovanoch (obr. 11.36).

- Zemné kotvy predstavujú konštrukčné prvky, ktorých úlohou je prenášať ťahové sily od konštrukcie do únosnej vrstvy horninového prostredia. Technológia spočíva v zabudovaní dočasnej alebo trvalej zemnej kotvy na ukotvenie inej geotechnickej konštrukcie – múru, pažiacej steny, prikotvenie základu existujúceho objektu pri jeho podkopení alebo stabilizácii, kotvenie paženia stavebných jám, prikotvenie nových základov osadených vo svahoch, stabilizáciu zosuvných území a podobne. Kotvy sa dajú realizovať ako tyčové – výstroj betonárska výstuž alebo špeciálne vyrobená kotevná tyč, respektíve ako lanové (2- až 8-lanové). Realizujú sa zabudovaním výstroja kotvy (ťahlová a koreňová časť) do vrtu vyplneného cementovou zaliievkou. Po čiastočnom zatuhnutí sa vykonáva jednostupňová alebo viacetapová injektáž koreňa kotvy a po zatuhnutí koreňa sa vykoná predopnutie kotiev voči opornej konštrukcii (www.stavextop.sk).



Obr. 11.27: Schéma budovania gabiónových múrov (Jasovská, 2012)



Obr. 11.28: Príklady použitia oporných múrov z gabiónov pri sanácii porušených svahov v obciach: a – Banka (foto: K. Házyová), b – Likavka (foto: P. Tupý), c – Kojšov (foto: K. Házyová), d – Šenkvice (foto: M. Bednarik)

- Mechanické zemné kotvy predstavujú podobný systém ako zemné kotvy, ale s tým rozdielom, že jej konštrukčná stavba dovoľuje inštaláciu bez vrtnia a bez injektáže. Tento typ kotiev sa zavádza do zeme mechanickým alebo hydraulickým zarážaním. Okrem toho, že ide o veľmi ekologický spôsob inštalácie, prináša aj ďalšie technické a ekonomické benefity. Konštrukčne sa mechanická kotva skladá z kotviacej tyče, kotviacej hlavy, roznášacej platne a skrutky (obr. 11.37). Sila z kotvy sa na povrch zabezpečovanej konštrukcie (svahu) prenáša cez roznášaciu platňu pomocou matice. Dĺžka mechanických zemných kotiev môže byť variabilná – od 2,0 do 15,0 m. Potrebná únosnosť kotvy závisí od veľkosti kotviacej hlavy, typu a stavu zeminy, v ktorej je zakotvená kotviaca hlava. Mechanické zemné kotvy Zubor sa používajú najmä na zabezpečenie stability svahov, štetovnicových stien, oporných múrov, gabiónových konštrukcií, prípadne iných geotechnických konštrukcií (Sňahníčan, Prelovský, 2018).
- Pilótové a podzemné steny – pilótové steny sa často používajú namiesto zárubných stien na stabilizáciu svahov výkopov v zeminách. Ich hlavnou výhodou je, že môžu byť zriadené ešte

pred vyhlbením zárezu, majú spravidla menšiu hrúbku ako súvislé zárubné múry a budujú sa úplne mechanizovane. Nevýhodou je ich vysoká cena a potreba zriadiť príjazdové komunikácie pre ťažké, špeciálne mechanizmy. Pilótové steny môžu byť jednoradové a viacradové, votknuté, kotvené alebo navzájom spriahnuté. Z pohľadu priemeru môžu byť zhotovené z mikropilót alebo širokopiomerových pilót. Používajú sa aj ako stabilizačné opatrenia na zabezpečenie zosuvných svahov (obr. 11.39), aj keď ich účinnosť limituje relatívne malá vodorovná únosnosť. Postup budovania kotvenej pilótovej steny na zosuve v Hodruši-Hámroch je na obr. 11. 40 až 11.45. Celkove bolo v lokalite zrealizovaných 52 ks pilót jednotnej dĺžky 12 m, v úhrnnej metráži 624 m. Na zabezpečenie celkovej stability pilótovej steny boli použité trvalé lanové horninové kotvy dĺžky 26 m, s dĺžkou koreňa 10 m. Celková dĺžka kotiev je 676 m. Sklon kotiev od horizontály je v konštantnej hodnote 25°. Vzájomná vzdialenosť kotiev sa štandardne pohybuje v hodnote 3 m (Gomolčák a kol., 2015).

- Kombinovaný spôsob zabezpečenia stability svahov – na zabezpečenie stability svahov, resp.



Obr. 11.29: Kotvený gabiónový múr na Muráni (foto: B. Prelovský)



Obr. 11.30: Kotvený oporný múr na zosuve Nižná Myšľa (foto: V. Jánová)



Obr. 11.31: Sanácia zosuvom poškodeného kostola v obci Nižná Myšľa pomocou kotveného oporného múra (foto: V. Jánová)



Obr. 11.32: Výstavba kotveného oporného múra v čele zosuvu v Nižnej Myšli nad základnou školou (foto: V. Jánová)



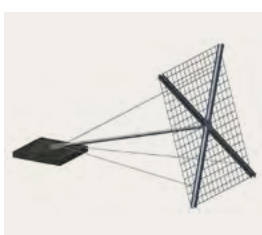
Obr. 11.33: Dokončený kotvený oporný múr nad základnou školou v obci Nižná Myšľa (foto: V. Jánová)

sanáciu zosuvov, sa spravidla používa kombinácia viacerých opatrení. Najčastejšou kombináciou je kotvenie zárubných a oporných múrov, resp. kombinácia kotvenia s plošným spevňovaním

armovaných torkrétom a striekaným betónom. Súčasťou týchto metód je zvyčajne aj podpovrchové odvodnenie, zachytenie a odvedenie povrchových vôd nad aktívnou zónou zosuvu.



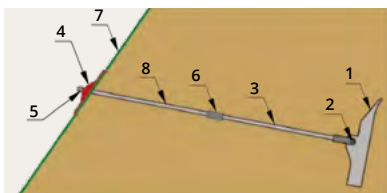
Obr. 11.34: Kotvenie porušeného svahu v Košiciach, Ul. 1. mája (foto: K. Házyová) a kotvený oporný múr v obci Červený Kameň (foto: V. Jánová)



Obr. 11.35: Konštrukcia ErdoX Terra (vľavo) a spôsob jej zabudovania (vpravo) (Prelovský, Sňahničan, 2019)



Obr. 11.36: Konštrukcia ErdoX Terra po zabudovaní v Kralovanoch (Prelovský, Sňahničan, 2019)



Obr. 11.37: Schéma mechanickej zemnej kotvy ZUBOR (vľavo); (1 – kotviaca hlava, 2 – kĺbové spojenie, 3 – kotevná tyč, 4 – roznášacia platňa, 5 – poistná matica, 6 – spojovník, 7 – povrch zabezpečovanej konštrukcie) a obrázok hlavy kotvy (vpravo) (Prelovský, Sňahničan, 2018)

Príkladom kombinovaného spôsobu sanácie zosuvného svahu je sanácia zosuvu Chmiňany, cez ktorý je vedená trasa diaľnice (obr. 11.46). Boli tu použité nasledovné spôsoby sanácie:

- horizontálne odvodňovacie vrty (HOV) v počte 46 ks o celkovej metrácii 6 551 m,
- kotvená pilótová stena nad rímskymi domami,
- dvojradová pilótová stena pod diaľnicou,
- 3 múry nad diaľnicou,
- povrchové odvodnenie (rigoly),
- stabilizačný prísyp v päte zosuvu – zabezpečuje celkovú stabilitu zosuvného územia,
- štrková stena navrhnutá na zabezpečenie celkovej stability zosuvného územia, a to drénovaním podzemnej vody prichádzajúcej z oblasti nad odľučnou hranou zosuvu. Jej dĺžka je cca 222 m a maximálna hĺbka 13,5 m. Odvedenie vôd je zabezpečené gravitačne a 3 odvodňovacími vrtmi,
- preložka potoka Jakubovianka – posun koryta toku kvôli stabilizačnému prísypu a protipovodňová ochrana územia (vrátane nových sociálnych bytov).



Obr. 11.38: Zarážanie mechanických kotiev hydraulickým kladivom na pásovom podvozku na stavbe D1 Budimír – Bidovce (Prelovský, Sňahničan, 2018)



Obr. 11.39: Sanácia zárezu v zosuve na trase R4 Košice – Milhošť pilótovou stenou: a) aktivizácia zosuvu pred dokončením pilótovej steny, b) dokončená pilótová stena (foto: M. Kopecký)



Obr. 11.40: Vŕtanie pilóty – vrt je chránený výpažnicou (a) a betonáž pilóty (b) v lokalite Hodruša-Hámre (Gomolčák a kol., 2015)



Obr. 11.41: Pohľad dovnútra pilóty pred betonážou (a) a na hlavy železobetónových pilót (b) (Gomolčák a kol., 2015)



Obr. 11.42: Zriadenie armatúry kotevného mostíka a osadenie prechodiek kotiev (a) a betonáž kotevného mostíka (b) (Gomolčák a kol., 2015)



Obr. 11.43: Vŕtanie horninových kotiev (a) a príprava lanovej horninovej kotvy (b) (Gomolčák a kol., 2015)



Obr. 11.44: Osadenie lanovej horninovej kotvy (a) a zálievka vnútra kotvy (b) (Gomolčák a kol., 2015)



Obr. 11.45: Osadené lanové horninové kotvy (a) a pohľad na dokončenú kotvenú pilótovú stenu s napnutými horninovými kotvami (b) v lokalite Hodruša-Hámre (Gomolčák a kol., 2015)

11.4 Problémy v extrémnych zosuvných územiach

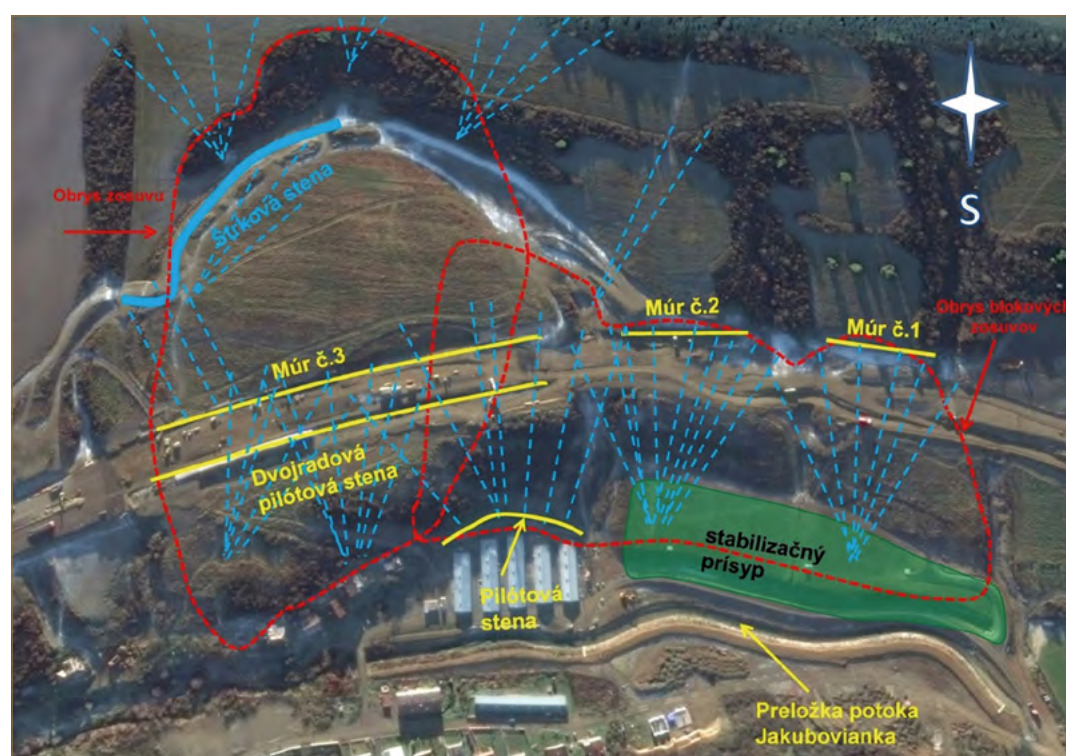
Často sa stretávame s prípadmi, že zosuvy dosahujú enormné rozmery a ich sanácia by bola ekonomicky náročná a navyše aj v prípade realizácie sanácie na hranici technických možností by nebola zaručená jej dlhodobá účinnosť. V takom prípade je možné:

- prekonať zosuvné územie mostom,
- prekonať zosuvné územie tunelom,
- opustiť zosuvné územie a preložiť ohrozené objekty.

Príkladom takéhoto zosuvného územia je skalný zosuv v Kraľovanoch, ktorý vznikol v marci 2013 a k aktivizácii ktorého prispela aj ťažba dolomitu

v povrchovom lome Kraľovany II. Zosuvným územím bola plánovaná trasa diaľnice D1 v úseku Turany – Hubová (obr. 11.47). Vzhľadom na vznik zosuvu bolo navrhnuté variantné riešenie trasovania diaľnice (v obr. 11.48 označené ako variant V1 a subvariant V1a). Modifikovaný údolný variant V1 bol rozpracovaný v dvoch alternatívach V1 a V1a.

Modifikácia variantu V1 predstavuje mierny posun trasy v kritickom mieste v oblasti Šútovských jazier tak, aby sa trasa oddialila od zosuvného územia. Modifikovaný variant V1a je vedený južne od Šútovských jazier. Od pôvodného úseku sa odkláňa približne v km 1,5. Dĺžka modifikovanej časti trasy



Obr. 11.46: Situácia kombinácie sanačných opatrení na zosuve Chmiňany (modrou čiarou sú vyznačené vejáre subhorizontálnych odvodňovacích vrtov) (Kopecký, 2015)

je cca 3,0 km. Súčasťou modifikovaného úseku je nový mostný objekt v miestnej časti Rieka a nový diaľničný tunel dĺžky cca 500 m popod vrchol kóty Malá Fatra (567,7 m n. m.). Po napojení na pôvodnú

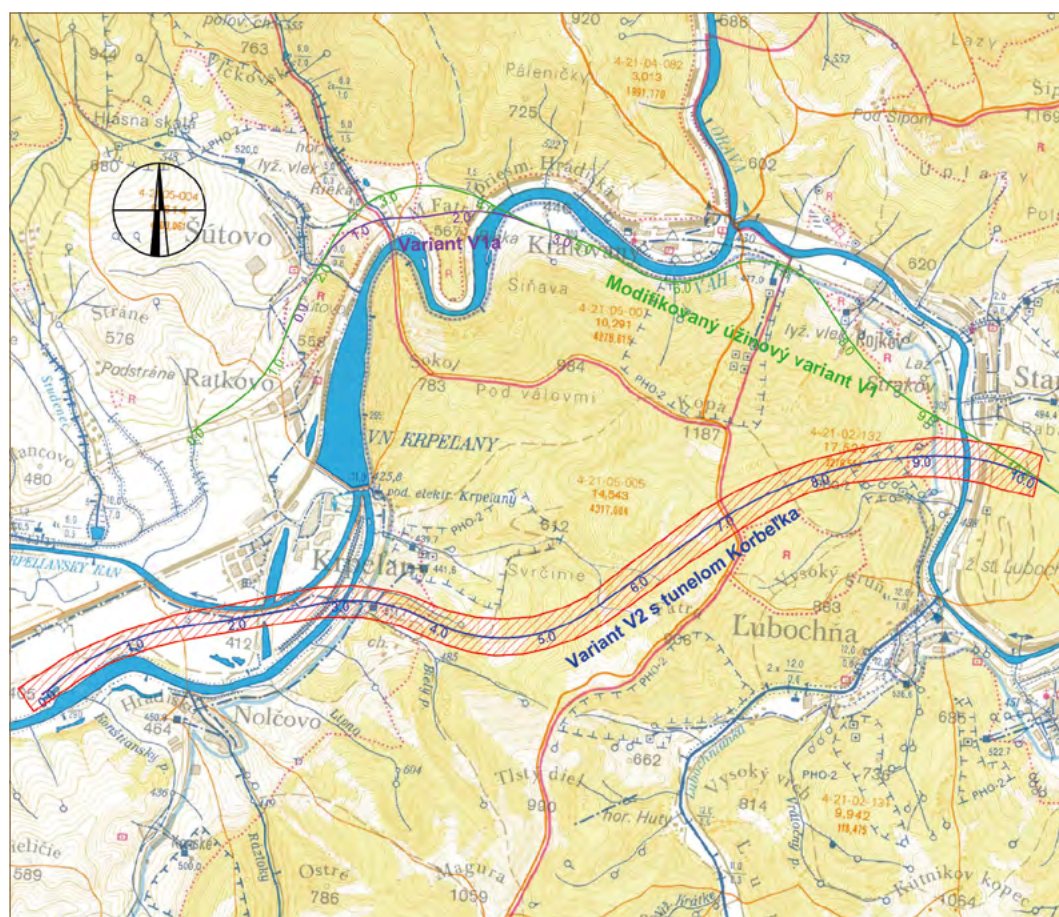
trasu je tento variant ďalej totožný s variantom V1. Neskôr bol navrhnutý aj variant V2 – tunel Korbeľka (obr. 11.49) s celkovou dĺžkou cca 5 800 m (Kuvik a kol., 2014).



Obr. 11.47: Pôvodný návrh trasy diaľnice D1 v oblasti Šútova (Grenčíková a kol., 2010)



Obr. 11.48: Modifikované varianty trasy diaľnice D1 v okolí Šútova (Grenčíková a kol., 2014)



Obr. 11.49:
Situácia variantu
V2 diaľnice
D1 s tunelom
Korbetka
v porovnaní
s predchádzajúcimi
variantmi (Kuvik
a kol., 2014)

11.5 Sanácia skalných svahov a zárezov

Súčasťou komplexnej ochrany skalného svahu je nielen budovanie ochranných a stabilizujúcich konštrukcií, ale aj vykonanie ďalších opatrení, ktorými sú povrchové odstraňovanie nestabilných blokov, spevňovanie, čistenie a škárovanie, odvodnenie, vyplňovanie kaverien, lokálne podchytyvanie previsov.

Okrem bežných opráv svahov po dažďovej erózií alebo lokálnom uvoľnení blokov zo svahu, akékoľvek návrhy na zhotovenie ochranných a stabilizujúcich konštrukcií by mal riešiť skúsený geotechnik na základe realizovaného inžinierskogeologického prieskumu skalného svahu. Nevhodný spôsob sanácie môže v krátkom časovom horizonte spôsobiť ďaleko vážnejšie problémy, ba dokonca môže aktivovať skalný zosuv.

Rozhodnutie o technickom spôsobe zabezpečenia stability skalného svahu musí rešpektovať:

- geologické a hydrogeologické pomery na svahu,
- odolnosť horninového prostredia voči procesom zvetrávania,
- miestne klimatické pomery,
- musí garantovať dostatočnú bezpečnosť počas návrhovej doby životnosti,
- vplyv výkonu zimnej údržby a iné vplyvy (bludné prúdy, agresívne prostredie),
- budúce prevádzkové náklady potrebné na vykonávanie údržby a opráv.

Ochranné opatrenia je možné rozdeliť podľa rozsahu na:

- opatrenia značnej veľkosti a významu, kde je nutné vypracovať komplexné zhodnotenie stavu riešenej oblasti a navrhnuť detailné návrhy riešenia navrhovaných riešení,
- drobné opatrenia, pri ktorých, ak je to opodstatnené, je možné aplikovať zjednodušené prístupy.

Návrhové životnosti stabilizačných opatrení s ohľadom na prostredie, v ktorom sa nachádzajú, sú u sietí a bariér minimálne 30 rokov a pri kombinovaných konštrukciách-galériách a kotvených sieťach minimálne 100 rokov.

Ak je komplikované predpovedať všetky vplyvy na životnosť stabilizujúcich prvkov, je možné spoľahlivosť a funkčnosť v čase kontrolovať metódami geotechnického monitorovania s pravidelnými prehliadkami.

Ochranné a stabilizačné opatrenia a s nimi súvisiace špeciálne konštrukcie členíme podľa miesta ich realizácie a funkcie na aktívne a pasívne.

Prehľad možných aktívnych a pasívnych stavebnotechnických opatrení na zabezpečenie stability skalných svahov sú zhrnuté v tab. 11.1 a obr. 11.50.

11.5.1 Aktívne opatrenia

Úprava a reprofiliácia skalného svahu

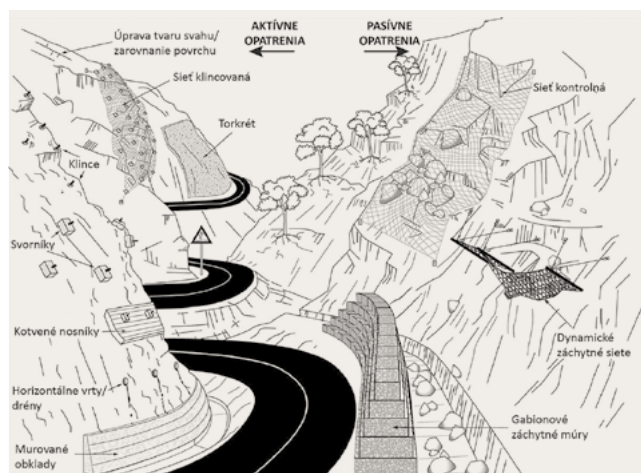
Tieto opatrenia sú jednoduché a veľmi účinné, pri väčších výškach svahov zárezov sú však ťažko realizovateľné. Ak sklon svahu nemožno zmierniť alebo inak upraviť z priestorových dôvodov, musíme ho stabilizovať, napr. zárubným múrom. Často je vhodným opatrením zriaďovanie svahových lavičiek alebo záchytných priekop pozdĺž komunikácie alebo železničnej trate, ktoré slúžia na akumuláciu svahových zvetralín a drobných blokov horniny.

Plošná stabilizácia skalných svahov

V súčasnom období prevládajú požiadavky na minimalizáciu záberov pozemkov pri hĺbení zárezov a budovaní násypov ciest a diaľnic, ako aj železničných tratí, čo sa dá docieľiť budovaním zabezpečených strmých svahov. Vzhľadom na ich prístupnosť je ideálnym riešením budovať tieto svahy ako bezúdržbové, zelené, alebo pokryté vhodnou vegetáciou s určitým typom ochrany proti dažďovej erózii a hlbšiemu zvetrávaniu.

Pokrytie svahu ochrannými oceľovými sieťami

Pokiaľ je strmý skalný svah stabilný a odolnosť horniny voči zvetrávaniu je dostatočná, avšak hrozí postupné uvoľňovanie blokov na strmom svahu, riešením je pokrytie svahu oceľovými sieťami (drôtenými panelmi) prichytenými krátkymi tyčovými kotvami (obr. 11.51). Pevnosť siete, ako aj hustota potrebného kotvenia sú predmetom konkrétneho návrhu. Štandardne používanými typmi sietí sú:



Obr. 11.50: Vybrané ochranné a stabilizačné opatrenia a konštrukcie používané na skalných svahoch (upravené podľa Hearn, 2011)

Plošná stabilizácia sa vzťahuje na spevnenie svahov predovšetkým použitím stabilizačných systémov z oceľových sietí, výstužných protieróznych rohoží, resp. iných plošných prvkov v kombinácii s kotviacimi prvkami (zemné klince, kotvy, svorníky).

- oceľové dvojzákrutové siete s vpletenými lanami,
- oceľové jednozákrutové siete s diagonálnymi okami,
- lanové biaxiálne panely tvorené ortogonálne spletenými lanami.

Oceľové siete môžu byť kombinované s protieróznymi rohožami.

Ochrana svahu oceľovým stabilizačným 3D systémom

V prípade riešenia ochrany strmých skalných svahov (alternatívne aj zvetraných svahov so zeminami), kde je požiadavka na vytvorenie vegetačného pokryvu, prípadne bezúdržbového povrchu svahu (výplň kamenivom), je obtiažne použitie ochranných oceľových sietí. V týchto prípadoch je riešením aplikácia 3D stabilizačného systému. Tento systém je tvorený oceľovou 3D rohožou, ktorá sa ukladá diagonálnym

spôsobom na svah, následne je ukotvená systémovými T-klincami, alebo je upevnená na už existujúce stabilizujúce prvky (klince, kotvy). Celý systém je doplnený oceľovými lanami a distribučnými tyčami.

Rohože sa po fixácii vyplnia vhodnou štrkodrvinou alebo zeminou na prirodzené zazelenanie, prípadne sa aplikuje hydrooosť podľa predpisu dodávateľa tejto technológie.

Injektáže

Použitie inektažných zmesí je zamerané predovšetkým na spevnenie horninového prostredia, na zníženie filtrácie vody a s tým spojené minimalizovanie negatívnych účinkov vyplývajúcich zo zmrazovacích

cyklov. Medzi hlavné druhy materiálov používaných na inektaž patria malty na báze cementu a živice (obr. 11.52 a obr. 11.53).

Hĺbkové škárovanie a nástreky torkrétu

Striekaný betón sa používa na spevnenie skalných svahov charakterizovaných rozptýlenými a povrchovými nestabilitami. Zároveň striekaná betónová vrstva utesňuje diskontinuity povrchu svahu a chráni ich

pred povrchovými a hlbokými zmenami v dôsledku pôsobenia poveternostných podmienok. Striekaná betónová vrstva musí byť v záujme správneho fungovania ukotvená k masívu vhodnými kotviacimi

Tab. 11.1: Opatrenia na zabezpečenie stability skalných svahov (Drusa a kol., 2013)

Aktívne opatrenia				
Úprava tvaru svahu	Odvodnenie svahu	Ochrana proti zvetrávaniu, erózii	Spevňovanie povrchu svahu	
• odťaženie nestabilných častí • odľahčenie v aktívnej zóne • zmiernenie sklonu svahu • priťažovacie kamenné lavice	Povrchové • rigoly • žľaby • trativody • vodné skoky Hĺbkové • drenážne rebrá • šachty, studne • štôlne	• zahumusovanie • výsadba krovin • kotvené siete s vegetačným pokryvom • utesnenie škár a trhlín • plášte z torkrétu • obkladové múry • spevňovanie brehov • ochranné matrace	• povrchové • hĺbkové • ochranné siete • kotvenie blokov • plošné kotvenie • klincovanie a nástrek torkrétu • injektovanie • podmurovanie a podchytávanie previsov	
Pasívne opatrenia a konštrukcie				
Ľahké bariéry a oplotenia	Ťažké bariéry	Stabilizujúce konštrukcie	Ochranné konštrukcie	Zemné valy a priekopy
• drevené záchytné bariéry • ľahké oplotenia	• flexibilné záchytné bariéry • dynamické bariéry	• zárubné a oporné múry • mikropilótové steny • pilótové steny • prefabrikované steny • kotvené steny	• ochranné steny, múry • galérie • hĺbené tunely	• záchytné priekopy, valy • valy z vystuženej zeminy

prvkami – klincami alebo svorníkmi. Tieto opatrenia sa vykonávajú podľa charakteru svahu, stavu jeho zvetrania, exponovanosti a používajú sa hlavne na svahoch suchých, rozpukaných s dobrou puklinovou priepustnosťou podzemnej vody. Vhodné sú pre skalné svahy prestúpené viacerými systémami

puklín (diskontinuít), v ktorých by zatekajúca voda urýchlila proces zvetrávania vplyvom zamŕzania vody v puklinách.

Cieľom hĺbkového škárovania je zabrániť priesaku vody do masívu. Škára sa na povrchu očistia od humusu a porastu (obr. 11.54 a obr. 11.55) a škárovacími



Obr. 11.51: Ukážka ochranných sietí na skalnom brale v Strečne (foto: V. Jánová)



Obr. 11.52: Detail skalného bloku pod hradom Strečno zaisteného HEA panelmi po vykonanej injektáži živicom Geoflex (Fekeč a kol., 2017)

pištoľami sa vyplnia cementovou maltou a následne zahladia (obr. 11.56). Ak je hornina náchylná na plošné zvetrávanie, prekryje sa vrstvou torkrétu na celom povrchu.

Torkrétové nástreky však nie sú vhodné, ak je v skalnom masíve prítomná presakujúca voda, alebo je hornina na povrchu namrzavá. V takomto prípade uzatvorením povrchu skalného masívu sa zvýšia vztlakové účinky vody na puklinách a stabilitné pomery sa výrazne zhoršia.

Odvodnenie svahov

V prípade skalných svahov je dôležité nebrániť vode v puklinovom systéme, aby sa dostala na povrch a bola odvedená do pozdĺžnych odvodňovacích prvkov komunikácie alebo železničnej trate. Na odvodnenie svahov sa používajú šikmé odľahčovacie vrty v miestach zvodnenia skalného svahu. V prípade sústredených výronov puklinovej vody sa tieto zachytávajú pomocou rebier, ktoré môžu byť vyplnené kamennou rovnatinou, štrkodrvinou alebo sa použijú gabiónové koše. Ak pri intenzívnych zrážkach steká po svahu voda, táto sa musí zachytávať priekopami

Kotvenie nestabilných častí svahu

Kotvenie a klincovanie je najrozšírenejšou sanačnou metódou nestabilných svahov a zárezov. Kotvy na rozdiel od klincov sú predpínané a pomocou nich sa vnášajú aktívne stabilizujúce sily. Používajú sa lanové alebo tyčové kotvy, ktoré sa volia podľa prostredia a potrebnej predpínacej sily. Kotvy ako hlavný prvok stabilizácie sa využívajú vtedy, keď je stabilita skalného svahu nedostatočná (obr. 11.57). Návrh kotiev, ich dĺžka, hustota rozmiestnenie a smer kotvenia je predmetom komplexného posúdenia svahu autorizovaným inžinierom. Sústredená sila sa od kotvenia zvyčajne prenáša cez železobetónové pätky,



Obr. 11.53: Realizácia injektážnych vrtov do priemeru 93 mm a dĺžky 4 m na jednom z kritických skalných blokov pod hradom Strečno (Fekeč a kol., 2017)

alebo pozdĺžnymi rigolmi, prípadne drénmi ešte pred hranou zárezu. Dlhé plochy svahu je potrebné prerušiť svahovými lavičkami, alebo realizovať jednoduché svahové opevnenia geosyntetickými rohožami, 3D panelmi a pod. Drenážne rigoly môžu byť zhotovené s použitím geosyntetických výrobkov – drenážnych geokompozitov, pri ktorých musí byť vykonané kapacitné posúdenie dlhodobej návrhovej prietochnej kapacity drénu v daných okrajových podmienkach a s ohľadom na návrhovú životnosť.



Obr. 11.54: Čistenie skalného brala v Strečne od zvetralín a vegetácie (Fekeč a kol., 2017)



Obr. 11.55: Odstraňovanie nestabilných blokov hornín zo skalného brala v Strečne; a, b, c – nestabilný skalný blok pred jeho odstránením, d – „vankúš“ z lomového kameňa na ochranu vozovky pred poškodením, e – odstraňovanie úlomkov deštruovaného skalného bloku po jeho páde (Bohátka, 2017)

prefabrikované rošty a rebrá zostavené z prefabrikátov, prípadne sú tieto pomocné konštrukcie vybetónované priamo na mieste kotvenia. Pri návrhu a posudzovaní sa overuje odolnosť voči pretrhnutiu kotvy v jej predpínacej časti, jej vytrhnutiu z koreňovej časti,

ďalej sa overuje jej priemer a dĺžka koreňovej časti na upnutie požadovanej sily do horninového prostredia, ako aj interná stabilita svahu s kotvou. Pri návrhu posúdení platia príslušné normy a ostatné technické predpisy.

Obkladové múry

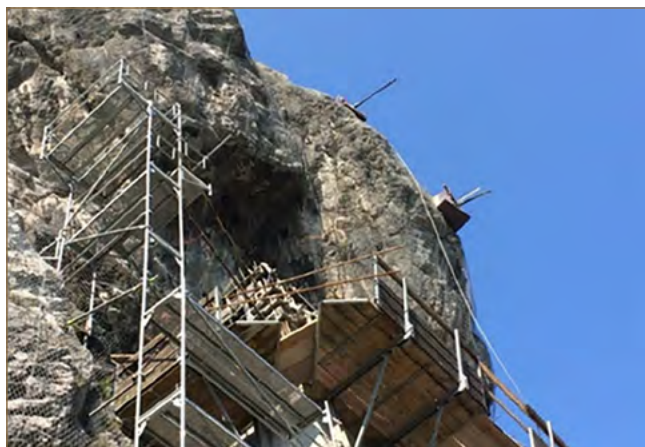
Na ochranu častí svahov proti zvetrávaniu sa zhotovujú kamenné obkladové múry, na väčšie plochy prefabrikované múry. Dobrý estetický vzhľad majú aj obkladové gabiónové múry kombinované so záchytnými konštrukciami. V súčasnosti sa tento spôsob ochrany svahov využíva skôr pri sanačných prácach alebo rekonštrukčných prácach menšieho rozsahu. Typ obkladu (kamenný, prefabrikovaný, gabiónový) by mal byť navrhnutý podľa požiadaviek investora.

11.5.2 Pasívne opatrenia

Pasívne opatrenia tvoria hlavne systémy závojevých spevnení z ocelových sietí, ľahkých tuhých



Obr. 11.56: Aplikácia striekaného betónu v jednom z komínov v skalnom brale v Strečne (Fekeč a kol., 2017)



Obr. 11.57: Kotvami stabilizovaný previs na skalnom brale v Strečne (foto: V. Jánová) a kotvami stabilizované lavice pieskovca v lokalite Huty (zdroj: www.google.sk/maps)

bariér (plotov) do 100 kJ, flexibilných a dynamických bariér (100 – 10 000 kJ), ochranných valov (2 500 – 25 000 kJ). Účinky na pasívne opatrenia sa musia definovať vhodnou analýzou dynamického správania sa uvoľneného skalného bloku, aby bolo možné stanoviť jeho trajektóriu (obr. 11.58), rýchlosť a kinetickú energiu. Na základe tejto analýzy je možné navrhnúť vhodné a dostatočne účinné pasívne opatrenie.

Pri voľbe pasívnych konštrukcií a opatrení je potrebné vykonať analýzu kinematickej energie, ktorá sa môže pri uvoľnenom a rotujúcom bloku na svahu indikovať v mieste dopadu, zadržania.

Typ pasívnych skalných opatrení sa volí s ohľadom na ich priestorové umiestnenie a schopnosť zachytiť padajúce skalné bloky. Určenie typu pasívneho prvku na základe úrovne energie zadržania prezentuje obr. 11.59.

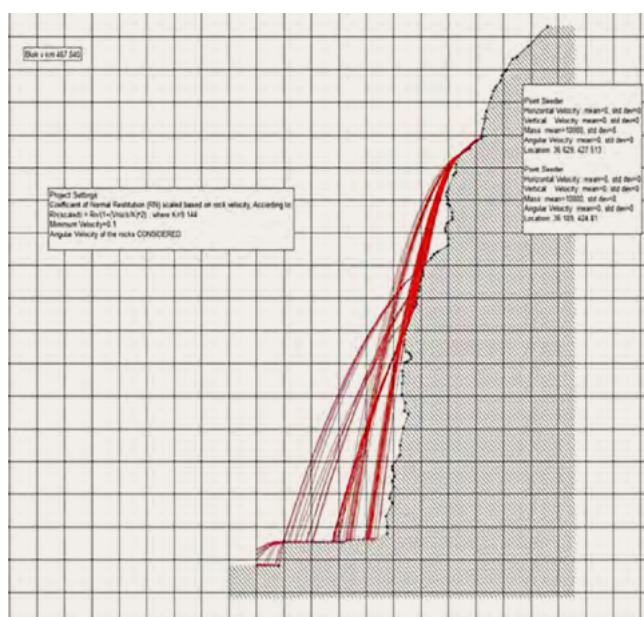
Záchytné prvky a bariéry sa vždy testujú na dva typy kinetickej energie, a to SEL (*Service Energy Level*) – prevádzková úroveň energie – a MEL (*Maximum Energy Level*) – maximálna úroveň energie.

Lahké tuhé ploty a drevené bariéry

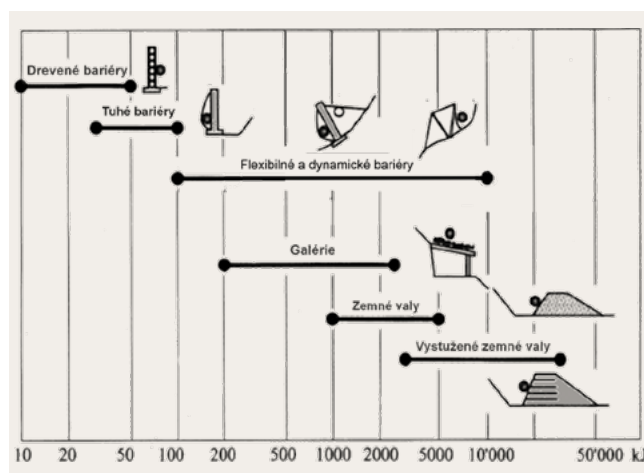
Sú jednoduchým pasívnym prvkom ochrany na svahu (obr. 11.60). Navrhujú sa iba v prípadoch nízkej záchytnej energie do 100 kJ. Tam, kde je energia vyššia, musia sa navrhovať dynamické bariéry. V súčasnosti sa stále častejšie používajú na ochranu pred padajúcimi kameňmi mobilné plotové bariéry, ktorých inštalácia je pomerne jednoduchá. Betónové segmenty sú opatrené otvormi na inštaláciu jednotlivých panelov bariéry a segmenty sú navzájom ľahko prepojitelné (obr. 11.61).

Dynamické bariéry

Dynamické bariéry sú pasívne záchytné plotové systémy tvorené zo sústavy prvkov umožňujúcich zachytenie padajúcich blokov. Vďaka svojej konštrukcii sú schopné pohltiť veľkú časť kinetickej energie (obr. 11.62 a 11.63).



Obr. 11.58: Ukážka výpočtu predpokladaných trajektórií pádu menších skalných blokov (Fekeč a kol., 2017)



Obr. 11.59: Jednoduchá pomôcka na určenie typu ochrannej konštrukcie na základe určenia maximálnej kinetickej energie [kJ] (TP114, 2020)



Obr. 11.60: Príklad použitia drevených bariér pod skalným bralom v Strečne a na ceste na Donovaly (zdroj: www.google.sk/maps)



Obr. 11.61: Príklad mobilných plotových bariér Geobrugg (zdroj: www.geobrugg.com)

Pri výbere a návrhu bariéry je potrebné dbať na typ kategórie, pretože tá určuje záchytnú schopnosť dynamickej bariéry pri ďalších dopadoch. Pravdepodobnosť, že medzi prvým dopadom a opravou bariéry nenastane žiaden ďalší náraz, je veľmi nízka a je preto veľmi dôležité, aby bariéra dovtedy mala čo najväčšiu zostatkovú výšku a záchytnú plochu.

Rovnako dôležitým faktorom, ako je energetická trieda bariéry, je parameter maximálnej deformácie bariéry pri MEL teste. Tento je vyjadrený ako dĺžka (m) maximálneho kolmého posunu siete záchytného poľa bariéry v smere dopadu bloku meraná rovnobežne s rovinou referenčného sklonu svahu, od najspodnejšieho počiatočného bodu siete záchytného poľa bariéry pred MEL testom a po ňom, viď. schéma na obr. 11.64.

Deformácia bariéry je dôležitá s ohľadom na umiestnenie bariéry v teréne, berúc do úvahy chránenú infraštruktúru (v prípade obmedzených

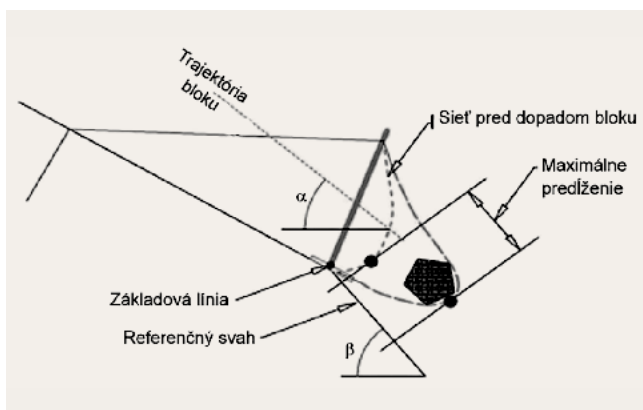
priestorových možností je nevyhnutné preferovať dynamické bariéry s čo najnižšou mierou deformácie).



Obr. 11.62: Dynamická bariéra na ochranu cesty na Donovaly (zdroj: www.google.sk/maps)



Obr. 11.63: Dynamická bariéra v obci Kozelník bola kvôli nedostupnosti terénu inštalovaná za pomoci vrtuľníka (foto: A. Ilkanič)



Obr. 11.64: Maximálna deformácia siete záchytného poľa bariéry pri MEL teste (TP114, 2020)



Obr. 11.65: Kombinácia dynamických bariér s obkladovými múrmi na ceste R2 v úseku Budča – Zvolen (foto: B. Prelovský)

Závojové systémy z ocelových sietí

Jednoduché závojové systémy sú tvorené zo sietí inštalovaných pozdĺž svahu bez priebežných kotvových prvkov, uchytených len v korune, prípadne v päte svahu (obr. 11.66). Sú určené na obmedzovanie trajektórie a rýchlosti padajúceho skalného bloku. Sú vhodné len v kombinácii s pozdĺžnou akumulácnou priekopou alebo v prípade dostatočného priestoru na akumuláciu materiálu v päte.

Oporné a zárubné múry

V prípade inžinierskych stavieb sú veľmi častým prvkom stabilizácie strmých svahov zárubné a oporné múry (obr. 11.67), ktoré umožňujú realizovať stavby v zmenšenom dopravnom priestore mestských zástavieb alebo v prípadoch zložitého reliéfu územia.

Oporné a zárubné múry sa zhotovujú:

- z простého betónu, železobetónu, prefabrikovaného betónu, pohľadového betónu,
- z kameňa – riadkového a kyklopského muriva,
- z betónu s kamenným obkladom.



Obr. 11.66: Ukážka závojového systému z ocelových sietí (zdroj: www.geobrugg.com)

Nakoľko bolo budovanie takýchto múrov zdĺhavé a náročné nielen na finančné prostriedky, ale aj



Obr. 11.67: Výstavba železobetónového oporného múra na stabilizáciu previsov nad štátnou cestou 1. triedy pod hradom Strečno (foto: V. Jánová, K. Házyová)

na pracovnú silu a nedala sa uplatniť mechanizácia murárskych prác, začali sa budovať subtilnejšie tenkostenné obkladové a zárubné múry, pričom spevnenie pasívnej zóny svahu zárezu, násypu, respektíve odkopu sa dosiahne ich spriahnutím s horninovým masívom pomocou kotiev. Podľa hĺbky potenciálnej

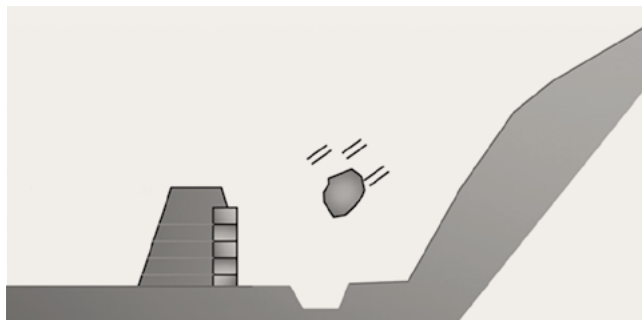
Vystužené strmé svahy a zemné valy

Vystužené strmé svahy a valy sa realizujú so zvislými stenami s vertikálnym lícovým prvkom vyplneným kamenivom alebo ako strmé svahy s prekladanými čelami a s vonkajšou konštrukciou z biodegradovateľného materiálu, ako zelené bezúdržbové svahy.

Zemné valy sú jednoduchým a účinným opatrením, ktoré dokáže zachytiť a absorbovať energiu rotujúcich blokov po strmých svahoch. V prípade valov sa môžu použiť modulárne systémy využívané pri vystužovaní zemín, pri vytváraní mechanicky stabilizovaných násypov. Základný prefabrikovaný prvok môže byť vyrobený z dvojzákrutovej ocelevej siete, geosyntetickej alebo biodegradovateľnej rohože, panelu zo zvaranej siete a oceľových podpier. Zemné valy môžu byť navrhnuté ako strmé svahy so sklonom

šmykovej plochy pod povrchom sa používajú prútové alebo lanové kotvy, ktorých koreň musí byť uchytený v masíve za predpokladanou šmykovou plochou. V závislosti od technických možností dodávateľa, estetických požiadaviek, topografických a stabilitných podmienok sa volí spôsob ich výstavby.

45 – 70° alebo čiastočne zvislé alebo uklonené svahy opevnené drôto-kamennými košmi (obr. 11.68).



Obr. 11.68: Schéma vystuženého ochranného valu s priekopou (TP114, 2020)

Múry z drôto-kamenných košov

Tieto esteticky dobre pôsobiace konštrukcie, nazývané aj gabiónové múry, sa používajú na novo budované konštrukcie dopravných stavieb, ale aj pri sanácii a rekonštrukcii múrov, sanácii zosuvov, budovaní protihlukových stien, na spevňovanie a ochranu skalných svahov vystavených zvetrávaniu (obr. 11.69).

Hlavné výhody gabiónových konštrukcií:

- vysoká estetická úroveň,
- zlepšenie stabilitných pomerov v čase,
- možnosť budovať konštrukciu v zimnom období, bez mokrého procesu,
- výstavba bez technologických prestávok, bezdilatčné riešenie, využívanie materiálov z miestnych zdrojov.

Drôto-kamenné koše sú zvárané alebo pletené drôtené konštrukcie vyplnené kameňom, zhotovené buď priamo na mieste uloženia alebo plnené v lome a prepravené ako hotové na stavbu. Pri návrhu konštrukcie sa postupuje podobne ako pri gravitačnom múre. Na oporné a zárubné múry sa uvažuje s pôsobením aktívneho zemného tlaku a s účinkami od pohyblivého



Obr. 11.69: Múr z drôto-kamenných košov zabezpečujúci skalný odkryv na Devínskej ceste (foto: B. Prelovský)

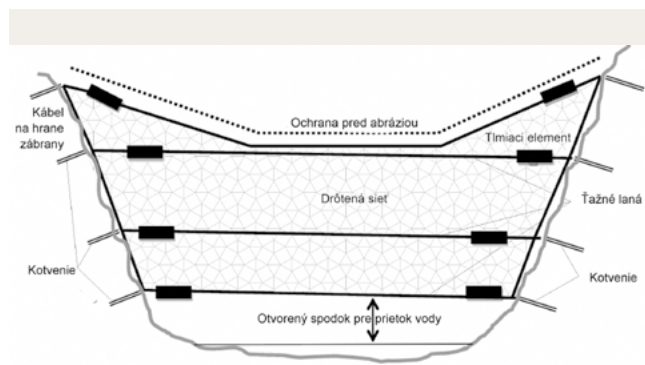
zaťaženia. Následne sa určí vhodný vonkajší sklon oporných múrov. Štandardne to je 10 : 1, 7 : 1 alebo 5 : 1. Pri aplikácii gabiónových múrov použitých v rámci ochrany skalných svahov sa preferujú tie gabiónové koše, ktoré majú vzhľadom na namáhanie, charakter prostredia a možné poškodenie priaznivejšie pevnostno-deformačné charakteristiky.

Flexibilné záchytné bariéry proti sutinovým prúdum

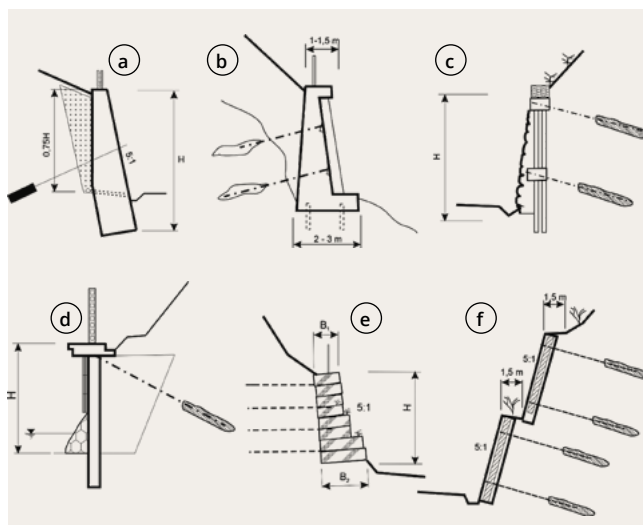
Pri vedení komunikácií a železničných tratí horskými oblasťami častokrát nastáva fenomén ich zaplavenia nánosmi sutinového prúdu. Deje sa tak pri intenzívnych dažďoch alebo aj pri rýchlom topení snehu v horských oblastiach, keď aj malé občasné potoky, po niekoľkonásobnom zvýšení prietoku vody po strmom svahu, strhávajú zo sebou erodované úlomky skalného podlažia – vznikajú tzv. sutinové (kamenité) prúdy.

Flexibilné zábrany sa inštalujú do miest s predpokladaným ohrozením kamenito-hlinitým prúdom ešte pred vyústením blízkosti komunikácie alebo inej infraštruktúry. Skladajú sa zo zakotvených horizontálnych lán s tlmiacimi elementmi po okrajoch, na ktorých je naviazaná záchytná flexibilná sieť. Výkonosť flexibilných zábran je definovaná schopnosťou

pohltiť statické a dynamické zaťaženie od sutinového prúdu počas celého trvania sutinového prúdu až do momentu údržby (vyčistenia) bariéry. Pri skúškach flexibilných bariér sa takisto sleduje a zaznamenáva maximálna deformácia bariéry. Flexibilné zábrany sa podľa konštrukcie rozlišujú na zábrany so stĺpmi (dĺžka $L > 15$ m) a zábrany bez stĺpov (dĺžka $L < 15$ m). Zábrany bez stĺpov sa skladajú zo zakotvených



Obr. 11.70: Základné usporiadanie typickej flexibilnej zábrany proti kamenitým prúdom (TP114, 2020)



Obr. 11.71: Príklady oporných a zárubných konštrukcií dopravných stavieb: a) gravitačný múr, b) kotvený múr vo svahu na mikropilótach, c) dvojradová kotvená mikropilótová stena, d) kotvená pilótová stena, e) gabiónový oporný múr, f) kotvený zárubný múr s vystuženými rebrami a výplňou medzi nimi (TP114, 2020)



Obr. 11.72: Príklady záchytných múrov na odkryvoch severne od obce Demjata a na ceste medzi Liptovskými Matiašovcami a Hutami (zdroj: www.google.sk/maps)

horizontálnych lán s tlmiacimi elementmi po okrajoch, na ktorých je naviazaná záchytná flexibilná sieť

Kombinované spôsoby zabezpečenia stability svahov

Prispievajú k celkovej stabilite zemných konštrukcií. Sú tvorené predovšetkým odvodňovacími a stabilizačnými rebrami, ktoré sú účinným opatrením, klasickými zárubnými a opornými múrmi, podmurovaním a podchycovaním previsov (obr. 11.71). Z uvedených metód vyplýva, že na sanáciu zosuvov sa vo väčšine prípadov používa kombinácia viacerých sanačných opatrení, či už je to kombinácia kotvenia zárubných a oporných múrov alebo kombinácia kotvenia s plošným

Záchytné steny, galérie, tunely

Zriaďovanie záchytných stien a galérií možno zaradiť medzi klasické technické opatrenia, ktoré sa využívajú na zabezpečenie prevádzky stavebného diela pod svahom, pričom samotné výrazne nezvyšujú stabilitu svahu. Záchytné steny sa využívajú na zachytávanie úlomkov horniny padajúcich zo steny, prípadne na zachytenie drobných úlomkov a zeminy splavovanej zo steny (obr. 11.72 a 11.73).

Priťaženie a čiastočné podopretie päty svahu sú iba sekundárnym stabilizačným faktorom. Záchytný priestor za opadovou stenou sa musí pravidelne čistiť. Galérie sa zriaďujú na ochranu líniových dopravných stavieb, potrubných vedení a iných vedení na exponovaných svahoch v horskom teréne, ktoré ohrozujú uvoľnené balvany, skalné a snehové lavíny, plytké zosuvy atď. Tým, že galéria prekrýva komunikáciu alebo železničnú trať (obr. 11.74) a podopiera svah, je zabezpečená nepretržitosť premávky. Najčastejšie sa

(obr. 11.70). Flexibilné bariéry sa navrhujú na záchytné tlaky od 60 kPa do 280 kPa.

spevňovaním klincovaním a torkrétom spolu s kotvením cez vystužené monolitické prahy a nosníky.

Nevyhnutnou súčasťou každej z uvedených metód je odvodnenie aktívnej zóny a odvedenie povrchových vôd nad aktívnou zónou zosuvu. Optimálne využitie jednotlivých metód závisí od dostatočne presného určenia príčin nestability inžinierskogeologickým prieskumom a od odbornej a technickej vyspelosti projekčných a realizačných prác.

galérie budujú vo vysokohorskom teréne na príjazdoch k priesmykom a tunelom.

Pri návrhu stien, galérií a tunelov je potrebné:

- vyriešiť návrhovú výšku a posúdiť konštrukcie stĺpov a dosiek,
- navrhnuť zakladanie stĺpov na vonkajšej časti,
- navrhnuť vrstvu alebo systém tlmenia alebo rozptyľovania nárazov na stropnú časť galérie,
- navrhnuť systémy na odvádzanie a zber vody.

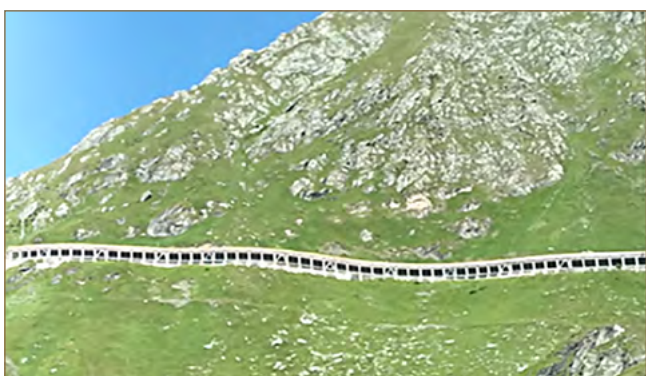
Na Slovensku je ochranná galéria plánovaná pod hradom Strečno, kde je frekventovaná cesta 1. triedy permanentne ohrozovaná opadávaním skalných úlomkov a skalnými zrúteniami. S jej výstavbou sa uvažuje až po dokončení tunela Višňové, nakoľko stavbu nie je možné realizovať bez trvalej odstávky dopravy. Vizualizácia plánovanej galérie je na obr. 11.76.



Obr. 11.73: Gabiónová záchytná stena pred Hronskou Dúbravou (zdroj: www.google.sk/maps)



Obr. 11.74: Príklad ochrannej galérie zo Švajčiarska (zdroj: www.geobrugg.com)



Obr. 11.75: Príklad ochrannej galérie a ochranného tunela pre turistov pod Grossglocknerom v Rakúsku (foto: V. Jánová)



Obr. 11.76: Vizualizácia ochrannej galérie popod Strečno (Novotný a kol., 2015)

ZÁVER

Svahové pohyby sú v súčasnosti nepochybne najvýznamnejším geohazardom, ktorý ohrozuje územie Slovenska. Proces štúdia tohto fenoménu prešiel v posledných desaťročiach niekoľkými vývojovými etapami, odzrkadľujúcimi nielen momentálny stav poznania a využívania dostupných technológií, ale aj stupeň rozvoja spoločnosti a jej požiadaviek na elimináciu tohto nepriaznivého javu. V súčasnosti, v súvislosti s obzvlášť diskutovanou problematikou očakávanej klimatickej zmeny, sa problematika svahových deformácií čoraz častejšie, popri povodniach a veterných kalamitách, objavuje v mediálnom priestore.

Kým v prvej polovici 20. storočia bolo posudzovanie problémov stability svahov spojené najmä so zásahmi človeka do prírodného prostredia pri výstavbe investičných projektov infraštruktúry a viacerí vtedajší odborníci si osvojili názor, že v našich prírodných podmienkach nehrozia rozsiahle svahové pohyby väčších rozmerov, po katastrofálnom zosuve v Handlovej v rokoch 1960/1961 sa vnímanie problematiky svahových pohybov výrazne zmenilo. Obava z možného výskytu svahových pohybov obdobného rozsahu v iných častiach územia Slovenska a ich sprievodných nepriaznivých dôsledkov podnietili systematický výskum svahových deformácií počnúc ich inventarizáciou a mapovaním najzraniteľnejších oblastí. Výsledkom tejto dlhoročnej cieľavedomej činnosti bolo v roku 2006 publikovanie Atlasu máp stability svahov SR v mierke 1 : 50 000 pre celé územie Slovenskej republiky.

Prudký nástup výpočtovej techniky prakticky vo všetkých odboroch ľudskej činnosti a s tým spojený rozvoj informačných technológií inicioval nové metodiky hodnotenia stability územia s postupným prechodom na zostavovanie máp zosuvného hazardu a rizika. Čoraz väčší význam začala nadobúdať prevencia nepriaznivých účinkov svahových pohybov a s ňou súvisiace monitorovanie socio-ekonomicky najzraniteľnejších lokalít a postupné vytváranie systémov včasného varovania pred zosuvmi. Významný pokrok zaznamenávame aj vo vývoji sanačných techník a technológií.

Okrem toho sa zmenilo celospoločenské povedomie o zosuvoch. Nepochybne, záujmom štátu, odbornej ale i laickej verejnosti je uprednostnenie aktivít prognostického a preventívneho charakteru a princípov optimálneho „spolužitia“ obyvateľstva so „zosuvmi“ v záujme optimálneho využitia územia Slovenska. V tejto súvislosti však musíme uviesť, že čoraz častejšie dochádza k stretom záujmov medzi investičnými zámermi, vedenými vidinou zisku a realitou, ktorou horninové prostredie, náchylné na svahové pohyby, ale aj iné geologické hazardy, nepochybne je.

Napriek nepopierateľnému pokroku, metódam a metodikám výskumu a prieskumu svahových deformácií a množstvu nápravných opatrení sa tak stále stretávame s aktivizáciou, resp. vznikom svahových pohybov, najmä v súvislosti s extrémnymi zrážkovými javmi. Príkladom posledného obdobia bola klimatická anomália máj a jún 2010 – označovaná odbornou komunitou ako „rok zosuvov na Slovensku“, ktorá spôsobila aktiváciu veľkého množstva svahových pohybov. Treba však zdôrazniť, že vývoj v poznaní svahových deformácií v posledných desaťročiach sa pozitívne odzrkadlil aj v takýchto extrémnych situáciách – nové zosuvy boli zaznamenané s použitím nových technológií na existujúcich a funkčných databázach, sú zakreslené v kartografických dokumentoch náchylnosti územia na svahové deformácie so spresnením prispievajúcich faktorov a v nevyhnutných prípadoch sa socio-ekonomicky najvýznamnejšie zosuvy stabilizujú na základe inžinierskogeologických prieskumov a z nich vyplývajúcich optimálnych sanačných metód. Súčasný stav určite nie je porovnateľný s možnosťami inžinierskogeologickej komunity v súvislosti so zosuvom v Handlovej, keď sa začal systematický výskum a prieskum svahových deformácií.

Historický výskum svahových pohybov na Slovensku je názorným príkladom rozvoja odborného poznania fenoménu „zosuvov“, ale aj hľadania odpovedí z celospoločenského hľadiska. Autori príspevku sa pokúsili načrtnúť logistiku základných etáp tohto dlhého procesu. Ich cieľom bolo nielen zachovať životne dôležité informácie o histórii systematického štúdia svahových deformácií na Slovensku, ale aj ilustrovať súbor ponaučení na optimalizáciu riešenia aktuálnych problémov s využitím najmodernejších technológií, so zameraním na multidisciplinárne riešenia.

Na záver, dovoľte nám, autorom tejto publikácie, poďakovať našim učiteľom, „starcom“, a vo viacerých prípadoch aj vzácnym priateľom, ktorí založili dnes už legendárnu a celosvetovo akceptovanú „slovenskú zosuvársku školu“. Na tomto mieste musíme v prvom rade uviesť kolektív okolo pána doc. RNDr. Arnolda Nemčoka, ktorý v roku 1982 publikoval skutočne nadčasové dielo *Zosuvy v slovenských Karpatoch*, ale aj pána prof. Ing. Milana Matulu, DrSc., zakladateľa katedry inžinierskej geológie PríF UK, a jeho tím, doc. RNDr. Igora Modlitbu, CSc., ktorý vybudoval oddelenie inžinierskej geológie na ŠGÚDŠ, a tiež mnohých žiakov, ktorých „naši starci“ vchovali.

Je na nás, na ich žijúcich žiakoch, na našich žiakoch a nasledovníkoch, aby sme úroveň slovenskej zosuvárskej školy zachovali v prospech obyvateľov našej krajiny.

LITERATÚRA

- Aghda, S. M., Fatemi, Ganjalipour, K. & Nabiollahi, K., 2018: Comparison of performance of inclinometer casing and TDR technique, *Journal of Applied Geophysics*, Volume 150, 2018, s. 182 – 194, ISSN 0926-9851, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.01.022>.
- Aleotti, P. & Chowdhury, R. 1999: Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. In: *Bulletin of Engineering geology and Environment*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. ISSN 1435-9529, 1999, Vol. 58, č. 1, s. 21 – 44.
- Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M., 1998: Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy, 300 s. In: Matejka, F., Hurtalová, T., 2005: Vzťah medzi potenciálnou a referenčnou evapotranspiráciou. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed): *Seminár Evaporace a evapotranspirace*, Brno, s. 39 – 46. ISBN 80-86690-24-5.
- Atkinson, P. M. & Massari, R., 1998: Generalized linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy. *Computers and Geosciences*, 24, 4, s. 373 – 385.
- Atlas krajiny Slovenskej republiky, 2002: 1. vyd. Bratislava; Ministerstvo životného prostredia SR; Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia, 344 s.
- Bakoň, M., Papčo, J., Perissin, D., Lazický, M., Sousa, J. J., Hlaváčová, I., Bátorová, K., Ondrejka, P., Liščák, P., Pauditš, P. & Real, N., 2015: Monitoring of landslide activity in Slovakia territory using multi-temporal InSAR techniques. In: *Fringe 2015 Workshop [elektronický zdroj]: proceedings*. Frascati, Italy, 23. – 27. 3. 2015. [s. l.]: European Space Agency, 2015, CD-ROM, [5]. ISSN 1609-042X. ISBN 978-92-9092-295-7.
- Baliak, F., Mahr, T. & Malgot, J., 1979: Svahové pohyby v karpatskom flyši na Slovensku – etapová správa. Úloha: Zákonitosti svahových deformácií v rôznych geologických štruktúrach Slovenska. Bratislava: SF SVŠT, 67 s., 6 príl., 1 d.
- Baliak, F., 1978: Svahové poruchy v mezozoiku vysokých pohorí slovenských Karpát. Manuskript. SVŠT, Bratislava.
- Baliak, F., Malgot, J. & Jánová, V., 1993: Slope failures in the western tract of the Liptov Basin. *Západné Karpaty, Sér. Hydrogeol. a Inž. Geol.*, č. 11, Bratislava.
- Baliak, F. & Stríček, I., 2012: 50 rokov od katastrofálneho zosuvu v Handlovej. *Miner. Slov.*, č. 44, č. 2, s. 119 – 130.
- Barton N. & Bandis S., 1980: Some Effects of Scale on the Shear Strength of Rock Joints, Mierkový efekt na šmykovú pevnosť na horninových diskontinuitách. *J. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.* 17, s. 69 – 73.
- Barton, N. R. & Bar, N., 2016: Empirical slope design for hard and soft rocks using Qslope. *Empirický návrh sklonov svahu pre skalné a poloskalné horniny pomocou Qslope*, ARMA 16 – 384. Texas. 8 s.
- Bednarik, M., 2001: Hodnotenie náchylnosti územia Handlovej kotliny na svahové pohyby. Diplomová práca. PriF UK, Bratislava, 2001. 40 s.
- Bednarik, M., Clerici, A., Tellini, C. & Vescovi, P., 2005: Using GIS GRASS in Evaluation of Landslide Susceptibility in Termina Valley in the Northern Apennines (Italy). In: Moser, M. (ed.): *Proceedings of the Conference on Engineering Geology: Forum for Young Engineering Geologists*, Friedrich-Alexander-University of Erlangen-Nurnberg, DGGT Erlangen-Nurnberg, s. 19 – 24.
- Bednarik, M., 2007: Hodnotenie zosuvného rizika pre potreby územnoplánovacej dokumentácie. PhD. práca. PriF UK, Bratislava 130 s.
- Bednarik, M. 2008: Hodnotenie zosuvného hazardu na trase železnice Kralupy – Liptovský Mikuláš. Rigor. práca. PriF UK, Bratislava. 50 s.
- Bednarik, M. & Liščák, P., 2010: Landslide susceptibility assessment in Slovakia. *Miner. Slov.* 42/2/2010, s. 193 – 204. ISSN 0369-2086.
- Bednarik, M. & Pauditš, P., 2010: Different ways of landslide geometry interpretation in a process of statistical landslide susceptibility and hazard assessment: Horná Súča (western Slovakia) case study. In: *Environmental Earth Sciences*, 61, č. 4, ISSN s. 1866 – 6280, s. 733 – 739.
- Bednarik, M., 2011: Štatistické metódy pri hodnotení zosuvného hazardu a rizika. Habilitačná práca. PriF UK, Bratislava, 2011. 94 s.
- Bednarik, M., Pauditš, P. & Ondrášik, R., 2014: Rôzne spôsoby hodnotenia úspešnosti máp zosuvného hazardu: bivariačný verzus multivariačný štatistický model. *Acta Geologica Slovaca (AGEOS)*, 6 (1), 2014, s. 71 – 84.
- Bednarik, M., Šimeková, J., Žec, B., Grman, D. & Boszák, M., 2014: A Large-Scale Landslide Hazard Assessment within the Flysch Formation in Slovakia. *Slovak Geol. Mag.*, 1/2014, s. 65 – 78.
- Bednarik, M., Tornay, R., Holzer, R., Putiška, R., Jurík, I., Jurčák, S. & Liška, L., 2019: Zhodnotenie súčasného stavu aktivity blokových svahových deformácií ohrozujúcich vybrané cestné úseky. Košice: EDGE INVESTMENT, s. r. o., 2019. 60 s., 0 príl., 1 d.
- Beracko, I. & Tyleček, B., 1973: Handlová II – prieskum zosuvov, lokalita I – inžinierskogeologické pomery. Manuskript – archív IGHP Žilina, 15 s.
- Beracko, I. & Fussgänger, E., 1980: Handlová – staré zosuvy. Záverečná správa zo sanačno-prieskumných prác. Manuskript – archív IGHP Žilina, 14 s.

- Bieniawski, Z. T., 1989: Engineering rock mass classifications, klasifikácia horninových masívov, New York: Wiley & Sons. ISBN 0-471-60172-1
- Bohátka, J., 2017: Skalné bralo Strečno – riešenie mimoriadnej situácie skalného bloku v km 467.040. Manuskript archív Geofondu. ŠGÚDŠ Bratislava.
- Brabb, E. E., 1984: Innovative approaches to landslide hazard mapping. 4th International symposium on Landslides, 1, Toronto, s. 307 – 324.
- Cala, M., Flum, D., Roduner, A., Rüegger, R. & Wartmann, S., 2012: TECCO Slope stabilisation system and RUVOLUM Dimensioning Method, AGH Cracow 2012, Stabilizačný systém TECCO a metóda dimenzovania RUVOLUM, ISBN 978-3-033-03267-5
- Carrara, A., 1983: Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Mathematical Geology*, 15, 3, s. 403 – 427.
- Carrara, A., 1988: Landslide hazard mapping by statistical method: A „Black Box“ approach. In: *Proceedings of workshop on natural disasters in European Mediterranean countries*, Conzilio nazionale delle ricerche, Perugia, Italy, s. 205 – 224.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. & Reichenbach, P., 1990: Geographical information systems and multivariate models in landslide hazard evaluation. In: *ALPS 90 (Alpine Landslide Practical Seminar) Proceedings of the 6th International Conference and Field Workshop on Landslide*. Università degli Studi de Milano, Italy, s. 17 – 28.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. & Reichenbach, P., 1991: GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 5, s. 427 – 445.
- Carrara, A., Cardinali, M. & Guzzetti, F. 1992: Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. In *ITC Journal*, č. 2, The Netherlands, s. 172 – 183.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. & Reichenbach, P., 1995: GIS-based techniques for mapping landslide hazard. [online]. [cit. 26. 04. 2014]. Available at: CNR-CIOC Bologna, CNRIRPI Perugia: <http://deisl58.deis.unibo.it/gis/chapto.htm>.
- Castellanos Abella, E. A., 2008: Multi-scale landslide risk assessment in Cuba, Utrecht, Utrecht University. Doctoral thesis.
- Clarke, K. C., 1999: *Getting started with Geographic Information Systems*. Prentice Hall Upper Saddle River, 338 s.
- Clerici, A., 2002: A GRASS GIS based shell script for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. In: Ciolli, M. & Zatelli, P. (eds.): *Proceedings of the Open source GIS – GRASS users conference*, Trento, Italy. P, s. 1 – 17.
- Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M. C. & Vlaicu, M., 2010: The landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). In: *Environmental Earth Sciences*, DOI 10.1007/s12665-010-0724-y, Published online: 05 September 2010.
- Cruden, D. M. & Varnes, D. J., 1996: *Landslide Types and Processes*, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: s. 36 – 75.
- Czikhardt, R., Papčo, J., Bakoň, M., Liščák, P., Ondrejka, P. & Zlocha, M., 2017: Ground Stability Monitoring of Undermined and Landslide Prone Areas by Means of Sentinel-1 Multi-Temporal InSAR, Case Study from Slovakia. *Geosciences* 2017, 7(3), 87; doi: 10.3390/geosciences7030087.
- Čabalová D. & Šamaliková M., 1992, *Inžinierska geológia*. Vysokoškolská učebnica Stavebnej fakulty STU so zameraním na výstavbu pozemných stavieb. Alfa, Bratislava.
- Čepčėková, E., Hlavatá, H. & Dunajský, E., 2003: Dlhodobé zmeny atmosférických zrážok na Východoslovenskej nížine. SHMÚ Bratislava.
- Čertík, P., Badíková, N., Hagara, R., Nagy, Z., Gálik, T., Kurilla, M., Madaj, M., Henkelová, M. & Šulko, J., 1999: Zhodnotenie opatrení pri prieskume a stabilizácii zosuvov v Handlovskej kotline, orientačný prieskum Bratislava: Inco-Banské projekty, 182 s., 27 príl., 1 d.
- Dananaj, I., Liščák, P., Ondrejka, P., Brček, M., Baráth, I., Iglárová, L. & Putiška, R., 2012: Orientačný inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Krupina. *Geol. Práce, Správy* 119. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, s. 53 – 65. ISSN 0433-4795.
- Demian, M., Hrašna, M., Holzer, R., Letko, V., Liščák, P., Frnčo, M., Vrábľová, M., Husár, R., Pánek, M. & Marček, R., 1990: Blžsko-Pokoradzská tabuľa – zosuvy. Manuskript. archív geofondu, ŠGÚDŠ, Bratislava, 181 s.
- Demian, M., Malgot, J., Baliak, F., Bartók, J., Sluka, V., Huljak, Š. & Frličková, M., 1994: Zvolenská kotlina – zosuvy, orientačný prieskum. Žilina, INGEО, 113 s., 134 príl., 2 d.
- Demian, M., 2002: Regionálny prieskum svahových deformácií, v Ľubovnianskej vrchovine a v západných Nízkyh Beskydách – časť Osturňa, Veľká a Malá Franková, orientačný IGP Bratislava: MŽP SR, Žilina: INGEО, 14 s., 29 príl., 2 d.
- Demian, M., Baliak, F., Sluka, V., Frličková, M., Lenková, M., Buček, L. & Huliak, Š., 2003: Regionálny prieskum svahových deformácií v Ľubovnianskej vrchovine a v západných Nízkyh Beskydách, orientačný IGP Bratislava, MŽP SR, Žilina, INGEО. 58 s., 175 príl., 2 d.
- Donati, L. & Turrini, M. C., 2002: An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology*, 63, 3, s. 277 – 289.
- Drusa, M., Decký, M., Marschalko, M., Zgútová, K., Trojanová, K., Vangel, J., Kubík, B. & Starší, B., 2013: Navrhovanie a kontrola zemných konštrukcií dopravných stavieb, Edis Žilinskej univerzity, 522 s. ISBN 978-80-554-0823-1.
- Drusa, M. & Chebeň, V., 2012: Implementation of TDR Technology for Monitoring of Negative Factors of Slope Deformations, *Proceedings of SGEM 2012*, Vol II. indexed in WoSc, s. 143 – 150. ISSN 1314-2704.
- Drusa, M., Chebeň, V., Masarovičová, S. & Prohovníková, P., 2009: Implementácia metódy TDR pre monitoring svahových deformácií, *Polní geotechnické metody: 29. mezinárodní seminář*. Sborník AZ Consult, spol. s r. o., 2009, s. 19 – 24. ISSN 1213-1237.

- Drusa, M., Chebeň, V. & Vlček J., 2010: TDR technology for monitoring of road embankment in land slide area, Theoretical foundation of civil engineering: XIX Slovak-Polish-Russian Seminar: Žilina, Slovakia. ASV, s. 299 – 304. ISBN 978-5-93093-763-3.
- Drusa, M. & Chebeň, V., 2012: Implementation of TDR technology for monitoring of negative factors of slope deformations. In: 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference and EXPO – Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2012, Vol. 2. Sofia: STEF92 Technology, 2012, S. 143 – 150 – SCOPUS
- Drusa M., Sitányiová D., Bellanová S., Nguyen G. & Mužík J., 2012: Inžinierska geológia, BTO Print, ISBN 978-80-970248-5-7.
- Drusa, M., Chebeň, V. & Prohrovnikova, P., 2013: Functionality of TDR piezometers and inclinometers for monitoring of slope deformations. In: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, Vol. 2. Sofia : STEF92 Technology, 2013, s. 157 – 164 – SCOPUSEAD 230025-00-0106 EAD 340059-00-0106 (ETAG 027)
- Encyclopædia Britannica, 1999: <https://www.britannica.com/science/topography-geology#/media/1/599655/19386>.
- Fekeč, P. & Ilkanič, A., 2014: Realizácia protihavarijných opatrení vo Veľkej Lehôtke, v Hradci a Kraľovanoch (celku č. 6 časti II). Združenie inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky, Kospér, a.s., Spišská Nová Ves. In: Šimeková, J., Liščák, P., Ondrejka, P., Žilka, A., Mašlárová, I., Petro, L. & Gonda, S., 2014: Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. MŽP SR, ŠGÚDŠ Bratislava. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 33 s.
- Fekeč, P., Piovarči, I., Komoň, J., Vrabel, B. & Karchňák, D., 2014: Realizácia 2. etapy sanácie havarijného zosuvu v obci Vyšná Hutka. Združenie inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky, Kospér, a.s., Spišská Nová Ves. In: Šimeková, J., Liščák, P., Ondrejka, P., Žilka, A., Mašlárová, I., Petro, L. & Gonda, S., 2014: Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. MŽP SR, ŠGÚDŠ Bratislava. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 33 s.
- Fekeč, P., Vrabel, B. & Karchňák, D., 2015: Sanácia havarijného zosuvu v obci Šenkvice – 3. etapa, čiastková záverečná správa geologickej úlohy: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Svätý Anton a sanácia havarijných zosuvov v obciach Nižná Myšľa a Šenkvice. Spišská Nová Ves: Pozemní stavby Kospér, Banská Bystrica: ENVIGEO, 2015. 25 s., 21 príl., v 1 d.
- Fekeč, P., Bohátka, J., Olišar, P. – Mažgut, M., Prelovský, B. & Sekyra, Z., 2017: Sanácia skalného brala Strečno. Záverečná správa zo sanácie geologického prostredia. Manuskript archív Geofondu, ŠGÚDŠ, Bratislava. 39 s., 25 príl., 1 d.
- Ferreti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., Rocca, F. & Massonet, D., 2007: InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. ESA Publications.
- Ferreti, A., Prati, C. & Rocca, F., 2001: Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39 (1), s. 8 – 20.
- Fiala, A., Vallašek, A. & Lukáč, G., 1988: Spišský hrad. Vydavateľstvo Osveta, s. 78 – 79.
- Flimmel, I., 1977: Horizontal drainage borings and cast-in-situ pile walls as stabilization treatment of landslides in sedimentary rocks. Bulletin of the Intl Assn of Engineering Geology. 1977. Issue Number: 16, s. 168 – 170.
- Fraštia, M., 2009: Meranie geometrických vlastností horninového prostredia geodetickými a fotogrametrickými metódami. In: M. Kohút a L. Šimon (ed.): Spoločný geologický kongres Českej a Slovenskej geologickej spoločnosti. Zborník abstraktov a exkurzný sprievodca, Bratislava, s. 62 – 63.
- Fraštia, M., 2012a: Laserové verzus optické skenovanie skalných masívov. In: Miner. Slov., 44, s. 177 – 184. ISSN 0369-2068.
- Fraštia, M., 2012b: Veľká Čausa 2012. Geodetická dokumentácia. Katedra geodézie SvF STU Bratislava, 13 s. a prílohy. Manuskript, archív Oddelenia inžinierskej geológie ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Fraštia, M., Marčiš, M., Kopecký, M., Liščák, P. & Žilka, A., 2014: Complex geodetic and photogrammetric monitoring of the Kraľovany rock slide. In: Journal of Sustainable Mining. – Vol. 13, č. 4 (2014), s. 12 – 16.
- Frattini, P., Crosta, G. & Carrara, A., 2010: Techniques for evaluating the performance of landslide susceptibility models. In: Engineering Geology, Vol. 111, 2010, s. 62 – 72.
- Fussgänger, E., 1985: Poznatky z terénneho výskumu plazivých svahových pohybov travertínových blokov na Spišskom hrade. Miner. Slov., 17, s. 15 – 24.
- Fussgänger, E. & Baliak, F., 1987: Súčasný metódy efektívnej sanácie zosuvov. Celoštátna konferencia – Geotechnické problémy výstavby v sklonitom teréne. Dom techniky ČSVTS Bratislava. 1987
- Fussgänger, E., Jadroň, D. & Litva, J., 1976: Okoličné – prieskum zosuvu. Manuskript – archív geofondu, ŠGÚDŠ, Bratislava, 163 s.
- Fussgänger, E. & Jadroň, D., 1977: Engineering geological investigation of the Okoličné landslide using measurement of stresses existing in soil mass. Bull. IAG (Krefeld), 16, s. 203 – 209.
- Fussgänger, E., Jadroň, D., Banský, M. & Tyleček, B., 1978: Ľubietová – prúdový zosuv. SGÚ Bratislava, IGHP, n. p. Žilina. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, s. 79 s. a prílohy.
- Fussgänger, E., Smolka, J. & Jadroň, D., 1996: Stabilizácia havarijných zosuvov Hornej Nitry. In: Wagner, P. (ed.): Investigation and stabilization of the landslides in Slovakia. Proceedings of Conference, Nitrianske Rudno. SAIG, Bratislava, s. 162 – 173.
- Gajdoš, V. & Wagner, P., 2005: Spôsob spracovania údajov z meraní presnej inklinometrie pri monitoringu svahových pohybov. Miner. Slov., 37, s. 563 – 568.
- Global Volcanism Program, 2012: Report on Mauna Loa (United States). In: Wunderman, R (ed.), Bulletin of the Global Volcanism Network, 37 : 5. Smithsonian Institution. <http://dx.doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN201205-332020>.

- Gomolčák, M., Sláma, M. & Tunega, O., 2015: Sanácia havarijného zosuvu Hodruša Hámre, sanácia geologického prostredia. Košice: GEOKONTAKT, 25 s., 18 príl., 1 d.
- Greenway, D. R., 1987: Vegetation and slope stability. In: Anderson, M. & Richards, K. (eds.): Slope Stability, John Wiley & Sons Ltd., s. 187 – 229.
- Grecula, P., Bartalský, J., Cambel, B., Herčko, I., Kaličiak, M., Matula, M., Melioris, L., Polakovič, D., Slavkay, M., Sombathy, L. & Šefara, J., 2006: História geológie na Slovensku, Zväzok 2. Štátny geologický ústav D. Štúra, Bratislava. 919 s. ISBN 80-967018-8-6.
- Grech, J. & Harničár, A., 2010: Kapušany – pod Hradom – zosuv 2010, orientačný IGP Prešov: RNDr. Grech Ján, 2010. 20 s., viaz. príl., 1 d.
- Grech, J., Sláma, M., Laurenčík, J., Gomolčák, M. & Mišove, P., 2014: Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky, Časť I. Sanácia havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa – 2. etapa. In: Šimeková, J., Liščák, P., Ondrejka, P., Žilka, A., Mašlárová, I., Petro, L. & Gonda, S., 2014: Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. MŽP SR, ŠGÚDŠ Bratislava. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 33 s.
- Grenčíková, A. & Žabková, E., 2002: Prehodnotenie svahových deformácií najzraniteľnejších území flyšového pásma Západných Karpát orientačný IGP. Bratislava: MŽP SR, Žilina: INGEO, 41 s., 34 príl., 2 d.
- Grenčíková, A., Sluka, V., Gejdoš, T., Demian, M., Smoleňák, J., Záthurecký, A. & Žabková, E., 2002: Zhodnotenie zosuvného a povodňového rizika najzraniteľnejších území flyšového pásma Západných Karpát s návrhom potrebných opatrení na ich elimináciu, orientačný IGP. Žilina: INGEO, 44 s., 23 príl., 2 d.
- Grenčíková, A., Gažúr, J. & Coplák, M., 2010: Diaľnica D1 Turany – Hubová (úsek 2), doplnkový IGP – II. Etapa. Žilina: GEOFOS, 42 s., 41 príl., 1 d.
- Grenčíková, A., Kubiš, M., Smoleňák, J., Gažúr, J., Copláková, J., Sklenárová, D., Flimmel, J. & Fraštia, M., 2014: Diaľnica D1 Turany – Hubová, orientačný inžinierskogeologický prieskum pre modifikovaný úsek – variant V1 a subvariant V1a, IGP. Žilina: GEOFOS, Žilina: GEOPAS, 2014. 78 s., 41 príl., 1 d.
- Grman, D., Boszaková, M., Magdošková, M., Takáč, P., Wanieková, D., Žec, B., Balážová, R., Hajduková, J., Syčev, V., Udič, M., Stercz, M., Žurbej, J., Bednarik, M., Laho, M., Liščák, P., Pálení, Mil., Pálení, Mich., Sluka, V., Smolka, J., Smolka, M., Šimeková, J., Farkašovský, R., Jacko, S. & Janočko, J., 2011: Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších územiach flyšového pásma v M 1:10 000, orientačný inžinierskogeologický prieskum, záverečná správa, GEO Slovakia, Košice.
- Grman, D., Boszaková, M., Magdošová, M., Ondrejka, J., Potančok, L., Syčevová, M., Takáč, P., Udič, P., Dvořák, M. & Ádámová, M., 2010: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v Košickom kraji. MŽP SR, Bratislava, GEO Slovakia, s. r. o., Košice. Manuskript – Geofond, Bratislava, 22 s.
- Gróf, V., 2015: Geotechnický monitoring portálových oblastí tunelov v podmienkach Slovenska, Tunely a podzemné stavby 2015, 11. – 13. 11. 2015 Žilina. Dostupné na internete: http://www.sta-ita-aite.sk/files/tps-2015/prispevky/Sekcia3/03_Grof_geotech_monitoring.pdf
- Gross, P. (ed.), Buček, S., Ďurkovič, T., Filo, I., Karoli, S., Maglay, J., Nagy, A., Halouzka, R., Spišák, Z., Žec, B., Vozár, J., Borza, V., Lukáčik, E., Mello, J., Polák, M. & Janočko, J., 1999: Geologická mapa Popradskej kotliny, Hornádskej kotliny, Levočských vrchov, Spišsko-šarišského medzihoria, Bachurne a Šarišskej vrchoviny 1 : 50 000. Vyd. Geologický ústav D. Štúra a MŽP SR, Bratislava.
- Gupta, R. & Joshi, B. C., 1990: Landslide hazard zoning using the GIS approach – A case study from the Ramganga catchment, Himalayas. Engineering Geology, 28, 1 – 2, s. 119 – 131.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & Reichenbach, P., 1999: Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-case study, central Italy. Geomorphology, 31, 1 – 4, s. 181 – 216.
- Hamblin, W.K., 1991: Introduction to physical geology. Macmillan Publishing Company, New York.
- Havčo, J., Sterz, M., Polaščinová, E., Spišák, Z. & Kopecký, M., 2010: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov vzniknutých v roku 2010. Časť č. 3 Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okrese Bardejov. Lokalita: Lukov. Manuskript archív Geofondu, ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Havčo, J., Sterz, M., Polaščinová, E., Spišák, Z. & Kopecký, M., 2010: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov vzniknutých v roku 2010. Časť č. 3 Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okrese Bardejov. Lokalita: Bardejovská Zábava, Manuskript archív Geofondu, ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Hearn, G. J. (ed.) 2011: Slope Engineering for Mountain Roads. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 24.
- Hofierka, J., 2003: Geografické informačné systémy a diaľkový prieskum Zeme. (Vysokoškolské skriptá). Prešovská Univerzita. Fakulta humanitných a prírodných vied. VŠ učebné texty, 116 s.
- Hofierka, J., Kaňuk, J. & Gallay, M., 2014: Geoinformatika. Vysokoškolské učebné texty. UPJŠ v Košiciach, Prírodovedecká fakulta, Košice, 2014. 190 s. ISBN 978-80-8152-178-2
- Holzer, R. & Letko, V., 1993: Uhrovský hrad. Čiastková záverečná správa. In Vlčko, J. a kol., 1998: Inžinierskogeologická pasportizácia vybraných historických objektov. MŽP SR – KIG PrIF UK Bratislava.
- Holec, J., Bednarik, M., Sabo, M., Minár, J., Yilmaz I. & Marschalko, M., 2013: A small-scale landslide susceptibility assessment for the territory of Western Carpathians. Natural Hazards, 69, 1, s. 1081 – 1107.
- Holko, L., Kostka, Z. & Pecušová, Z., 2005b: Sneh. In: Pekárová, P., Szolgay, J. (red.), 2006: Scenáre zmien vybraných zložiek hydrosféry a biosféry v povodí Hrona a Váhu v dôsledku klimatickej zmeny. Prvé vydanie. VEDA, Bratislava, 496 s.

- Hrašna, M., 1980: Kvantitatívne klasifikácie geodynamických a hydrogeologických javov na inžinierskogeologických mapách. Etapová správa. KIG – PFUK Bratislava.
- Hudson, J. A. & Harrison, J. P., 1997: Engineering rock Mechanics: An introduction to the principles. Published by Elsevier Science Ltd.
- Hutchinson, J. N., 1995: Landslide Hazard Assessment Keynote Paper. In: Bell, DH, Ed., Landslides, Proceeding of 6th International Symposium on Landslides, Christchurch, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, s. 1805 – 1841.
- Chung, C., Fabri, A. G. & Van Westen, C. J., 1995: Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation. In: Carrara, A. & Guzetti, F. (eds.): Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, s. 107 – 142.
- Iglárová, L., Pauditš, P. & Drotár, D., 2012: Informačný systém údajov z monitoringu geologických faktorov. Miner. Slov., roč. 44, č. 4, s. 473 – 484.
- Ilkanič, A., Jasovská, A., Nigrínyová, J., Pilko, M., Vasilko, T. & Smrek, M., 2013: Inžinierskogeologický prieskum postihnutých lokalít v miestnych častiach Veľká Lehôtka a Hradec. Podrobný inžinierskogeologický prieskum. MŽP SR, Bratislava, ENVIGEO, Banská Bystrica. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 50 s.
- Ilkanič, A., Jasovský, Z. & Vasilko, T., 2017: Sanácia havarijného zosuvu na ulici Pod Wilec hôrkou v Prešove, sanácia geologického prostredia. Banská Bystrica: ENVIGEO, 2017. 20 s., 9 viaz. príl., 1 d.
- Ilkanič, A., 2018: Kozelník – sanácia svahu, sanácia geologického prostredia. ENVIGEO, Banská Bystrica.
- Ingár, K. & Wagner, P., 2004: Analýza vzniku, vývoja a súčasného stavu katastrofálneho handlovského zosuvu z rokov 1960/1961. Miner. Slov., roč. 36, č. 2, s. 119 – 128.
- Ingár, K., Auxt, A., Oroszlány, J., Prelovský, B. & Šňahničan, J., 2018: Realizácia stabilizácie svahu nad prístupovou cestou (úsek č. 3) v km 5,22 – 5,44, Kraľoviansky zosuv v koridore trasy D1 Turany – Hubová, sanácia geologického prostredia. Manuskript archív Geofondu, ŠGÚDŠ, Bratislava. 14 s., 7 viaz. príl., 1 d.
- InSAR, 2015: Dostupné na internete: <http://insar.sk/wp-content/uploads/2015/03/8.pdf>
- Irigaray, C., & Fernández, T. (eds.), 1996: Methodology for Landslide Susceptibility Mapping by Means of a GIS. Application to the Contraviesa Area (Granada, Spain), Proceedings of the 8th ICFL'96, Madrid, Balkema, Rotterdam, s. 163 – 171.
- Irigaray, C. & Chacón, J., 1996: Methodology for the analysis of landslide determinant factors by means of a GIS: Application to the Colmenar area (Malaga, Spain). In: Chacón, J.,
- ISRM, 1977: International Society for Rock Mechanics: Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, Int. Journal of Rock Mechanics. Vol. 15, p.p. 319 – 368. Oxford. 1977.
- Jadroň, D., 1980: Svahové poruchy Okoličné, rigorózna práca. IGHP n. p., Žilina.
- Jadroň, D., Záthurecký, A., Baliak, F., Grenčíková, A., Fussgänger, E., Kopecký, M., Malgot, J., Sluka, V., Smoleňák, J., Žabková, E., Andrisková, O., Coplák, M., Demian, M., Hudák, J., Holeša, Š., Kubiš, M., Matejček, A., Mokrý, M., Rusnák, M., Solčiansky, R., Svrčková, A., Vantruba, M. & Vlček, M., 2005: Zhodnotenie efektívnosti prieskumno-sanačných prác a účinnosti stabilizačných opatrení na zosuvoch v rôznych geologických štruktúrach Slovenska, orientačný IGP. Bratislava MŽP SR, Žilina INGEOL – ighp. 49 s., 137 príl., 1 d.
- Jadroň, D. & Mokrý, M., 1999: Havarijné zosuvy Hornej Nitry a Stredného Pohronia. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 57 s.
- Jánová, V., Kováčik, M. & Modlitba, I., 1985: Svahové deformácie na lokalite Zázrivá – Veľká Havrania. Západné Karpaty, Séria Hydrogeol. a inž. Geológia, č. 6. GÚDŠ Bratislava.
- Jánová, V., 1997: Sledovanie dynamiky vývoja zvetrávacích procesov v poloskalných horninách. Zborník prednášok z 3. geotechnickej konferencie. STU – Bratislava. 1997. Bratislava, s. 33 – 38.
- Jánová, V., Liščák, P., 1998: Monitoring procesov zvetrávania na vybraných cestných a železničných zárezoch. Zborník referátov z 1. konferencie Geológia a životné prostredie. GSSR Bratislava.
- Jánová, V., 2000: Analyses of slope failures in the Orava region. 8th International Symposium on Landslides, 26 – 30 June 2000, Cardiff, United Kingdom.
- Jánová, V., 2008: Monitoring procesov zvetrávania vo vybraných typoch sedimentárnych hornín. Dizertačná práca. Univerzita Komenského v Bratislave. Prírodovedecká fakulta.
- Jánová, V. & Liščák, P., 2010: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov, vzniknutých v roku 2010. Rámcový projekt geologickej úlohy, MPŽPaRR SR sekcia geológie a prírodných zdrojov, MŽP SR Bratislava.
- Jánová, V. & Liščák, P., 2011: Slovensko 2010: Rok havarijných zosuvov. Enviromagazín, 1/2011.
- Jánová, V. & Házyová, K., 2011: Nižná Myšľa – katastrofálny zosuv. Enviromagazín, 1/2011.
- Jánová, V., Házyová, K. & Kováčiková, M., 2012: Problémy spojené s prieskumom a sanáciou aktuálnych havarijných zosuvov na Slovensku. Zborník prednášok z konferencie Inžinierska geológia 2012, Vysoké Tatry – Nový Smokovec, 14. a 15. 6. 2012.
- Jánová, V. & Greifová, Ž., 2014: Program prevencie a manažmentu zosuvných rizík (2014 – 2020). MŽP SR Bratislava.
- Jasovská, A., 2012: Krupina – sanácia havarijného zosuvu – I. etapa – Gabiónový múr, sanácia geologického prostredia. Manuskript, archív Geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Jäger, S. & Wieczorek, G. F., 1994: Landslide susceptibility in the Tully Valley area, Finger Lakes region, New York. USGS Open-File-Report, s. 94 – 615.
- Jelínek, R. & Wagner, P., 2007: Landslide hazard zonation by deterministic analysis (Veľká Čausa landslide area, Slovakia). Landslides, Springer-Verlag, 2007, 4, s. 339 – 350. DOI 10.1007/s10346-007-0089-9.

- Jelínek, R., 2005: Deterministický prístup pri hodnotení hazardu Ľubietovského zosuvu. In: Miner. Slov., roč. 37, č. 1, ISSN 0369-2086, s. 65 – 74.
- Jelínek, R. & Wagner, P., 2007: Landslide hazard zonation by deterministic analysis. (Veľká Čausa landslide area, Slovakia). In: Landslides. ISSN 1612-510X, 2007, roč. 4, č. 4, s. 339 – 350.
- Jongmans, D. & Garambois, S., 2007: Geophysical investigation of landslides: a review. In: Bulletin de la Société Géologique de France, Vol. 178 (2), s. 101 – 112.
- Joshi, J., Majtán, Š. & Omura, H., 1997: Debris flow disaster in Harihara, Japan. Acta Geologica Universitatis Gomeniane, 52, s. 59 – 60.
- Jurko, J., 2003: Mapa náchylnosti územia Liptovskej kotliny na zosúvanie. Diplomová práca. PriF UK, Bratislava, 47 s.
- Jurko, J., Paudiš, P. & Vlčko, J., 2005: Landslide susceptibility zonation using GIS statistical approach. In: Proceedings of the International Symposium on Latest natural disasters new challenges for engineering geology, geotechnics and civil protection, Sofia, s. 1 – 7.
- Káčer, Š., Antalík, M., Lexa, J., Zvara, I., Fritzman, R., Vlachovič, J., Bystrická, G., Brodianska, M., Potfaj, M., Madarás, J., Nagy, J., Maglay, J., Ivanicka, J., Gross, P., Rakús, M., Vozárová, A., Buček, S., Boorová, D., Šimon, L., Mello, J., Polák, M., Bezák, V., Hók, J., Teták, F., Konečný, V., Kučera, M., Žec, B., Elečko, M., Hraško, L., Kováčik, M. & Pristaš, J., 2005: Digitálna geologická mapa Slovenskej republiky v mierke 1 : 50 000 a 1 : 500 000. MŽP SR, ŠGÚDŠ.
- Kampes, B. M., 2006: Radar Interferometry: Persistent Scatterer Technique. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Klukanová, A., 1998: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. In: zborník konferencie Geológia a životné prostredie 1, SAIG, Katedra inž. geológie PriF UK Bratislava, GS SR. Vyd. D. Štúra, Bratislava, ISBN 80-85314-90-8, s. 123 – 126.
- Klukanová, A., 2002: Čiastkový monitorovací systém Geologické faktory ako súčasť monitorovacieho systému životného prostredia SR. Geol. Práce, Správy, Č. 106, s. 9 – 14.
- Kopecký, M., Baliak, F. & Malgot, J., 1997: Geotechnické problémy výstavby komunikácie cez Kurovské sedlo do Poľskej republiky. Inžinierske stavby, roč. 45, č. 4 – 5, s. 134 – 136.
- Kopecký, M. & Ilkanič, A., 1999: Bánoš – zosuv 09. Inžinierskogeologický prieskum. Záverečná správa. EnviGeo, s. r. o. B. Bystrica.
- Kopecký, M., 2003: Hodnotenie vplyvu krátkodobých intenzívnych zrážok na vznik a reaktivizáciu zosuvov v SR. In: Zakládání staveb – Brno 2003 : 31.konference se zahraniční účastí/Brno, Česká republika, 3. – 4. 11. 2003. Brno : CERM, 2003, s. 215 – 220.
- Kopecký, M., 2004: Možnosti prognózovania vzniku zosuvov v SR na základe analýzy klimatických a hydrogeologických pomerov. In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Řada hornicko-geologická. Roč. 50, č. 2 (2004), s. 63 – 71.
- Kopecký, M. & Magula, P., 2005: Monitoring na Veľkomarskom zosuve – analýza doterajších výsledkov a návrhy nových postupov. In: Proceedings of Conference Works of TBD and special measurements, Bratislava, s. 160 – 165.
- Kopecký, M., 2007: Vplyv klimatických a hydrogeologických pomerov na vznik zosuvov v SR. Časopis Podzemná voda 2/2007.
- Kopecký, M., Martinčeková, T., Šimeková, J. & Ondrášik, M., 2008: Atlas zosuvov – výsledky riešenia geologickej úlohy. In: Frankovská, J., Liščák, P. & Ondrášik, M. (eds.): Geology and the environment. Proceed. of 6th Conf., SAIG, Bratislava, s. 105 – 110.
- Kopecký, M. & Antolová, D., 2011: Vedenie trasy dopravných stavieb v zosuvných územiach. In: Geotechnické problémy líniových stavieb [elektronický zdroj]: 10. slovenská geotechnická konferencia s medzinárodnou účasťou. Bratislava, SR, 30. – 31. 5. 2011. Bratislava: STU v Bratislave, s. 41 – 50.
- Kopecký, M., Ondrášik, M. & Antolová, D., 2013: Polstoročné skúsenosti z využívania horizontálnych odvodňovacích vrtov v zosuvných územiach na Slovensku. Geotechnika, Časopis pro zakládání staveb, mechaniku zemin a inženýrskou geologii Roč.16, č. 2. ISSN 1211-913X. 2013., s. 14 – 20.
- Kopecký, M., Ondrášik, M. & Antolová, D., 2014: Geotechnical Monitoring of Landslides on Slopes of Water Reservoirs. Slovak Geol. Mag., 1/2014, s. 115 – 126.
- Kopecký, M., 2015: Analýza opodstatnenosti sanačných opatrení v zosuvnom území Chmiňany v trase diaľnice D1 (km 87,50 – 88,10) s ohľadom na bezpečnú prevádzku diaľnice a ochranu majetku a života ľudí. Záverečná správa. Katedra Geotechniky SvF STU Bratislava. 33 str.
- Kopecký, M., Ondrášik, M., Brček, M. & Janták, V. 2019: Risk Analysis of the Motorway Routes in Landslides Area. In: World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS 2018) : proceedings. 18 – 22 June 2018, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2019.
- Kopecký, M. & Brček, M., 2021: Partizánska Ľupča – zosuv na účelovej komunikácii ku skládke TKO. Analýza inklinometrických meraní a hladín podzemných vôd. Záverečná správa za obdobie jún 2020 až jún 2021. Katedra geotechniky. SvF STU Bratislava, 13 str.
- Kováčik, M. & Kováčiková, M., 1987: Prognóza vzniku svahových deformácií v oblasti stredného Považia (JZ časť Javorníkov), čiastková záverečná správa (tematická), doba riešenia: 1986 – 1987, názov čiastkovej úlohy: Ochrana životného prostredia pred následkami zosúvania. Názov štátnej úlohy: Inžinierskogeologický výskum vybraných oblastí SSR. Bratislava: GÚDŠ, 1987. 22 s., 4 príl., 1 d.
- Kováčik, M. & Suchánková, Z., 1993: Systematic inventory of slope deformations in the Slovak Republic, its use and possibilities. In: Novosad, S. & Wagner, P. (eds.): Landslides. Proceedings of 7th International Conference and Field Workshop, Bratislava. A. A. Balkema. Rotterdam, Brookfield, s. 43 – 50.

- Kováčik, M., Jánová, V., Ondrášik, M., Liščák, P., Modlitba, I., Iglárová, L., Kováčiková, M., Gabauer, G. & Klukanová, A., 1993: Súbor inžinierskogeologických máp geofaktorov životného prostredia. Región Horná Nitra, čiastková záverečná správa, doba riešenia: 1991 – 1993. Bratislava: GÚDŠ, 84 s., 4 map. príl.
- Kraľovičová, L., Bednarik, M., Trangoš, I. & Jelínek, R., 2014: Landslide Hazard Assessment Using Deterministic Analysis – a Case Study from the Chminany Landslide, Eastern Slovakia. *Slovak Geol. Mag.*, 1/2014, Dionýz Štúr State Geological Institute, s. 79 – 88.
- Kuchár, Š., 1996: Handlová – svahové deformácie. Niečo z histórie. In: Wagner, P. (ed.): Investigation and stabilization of the landslides in Slovakia. Proceedings of Conference, Nitrianske Rudno. SAIG, Bratislava, s. 97 – 105.
- Kušnirák, D., Dostál, I., Putiška, R. & Mojzeš, A., 2016: Complex geophysical investigation of the Kapušany landslide (Eastern Slovakia). In: Contributions to Geophysics and Geodesy, Vol. 46/2, s. 111 – 124.
- Kuvík, M., Grenčíková, A., Bohyník, J., Gažúr, J., Sinak, M., Stolárik, L., Coplák, M., Copláková, J., Holeša, Š., Kubiš, M., Borovský, M., Flimmel, J., Huljak, Š., Haviarová, D., Soták, J., Biroň, A., Pristaš, P. & Turovský, F., 2014: Diaľnica D1 Turany – Hubová, modifikovaný údoľný variant V1 a subvariant V1a a variant V2 s tunelom Korbelka, orientačný IGP. Bratislava: CAD-EKO, Žilina: Geoexperts, Žilina: GEOFOS, Žilina: GEOPAS, Liptovský Mikuláš: Správa slovenských jaskýň, Banská Bystrica: Geologický ústav SAV, 2014. 136 s., 22 príl., 1 d.
- Lafférs, F., Ilkanič, A., Jasovská, A., Antolová, D., Kopecký, M. & Ondrášik, M., 2012: Kapušany – sanácia havarijného zosuvu v obci – I. etapa, sanácia geologického prostredia. ENVIGEO, Banská Bystrica. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, archív. č. 91881, 40 s.
- Lafférs, F., Jasovský, Z. & Škarba, R., 2014: Realizácia 2. etapy sanácie havarijného zosuvu v obci Kapušany. Čiastková záverečná správa úlohy: Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Laurenčík, J. & Sluka, V., 2015: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Svätý Anton, podrobný IGP, čiastková záverečná správa geologickej úlohy: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Svätý Anton a sanácia havarijných zosuvov v obciach Nižná Myšľa a Šenkvice. Košice: GEOKONTAKT, 2015. 16 s., 23 – 38 príl., v 1 d.
- Lehocký, M., Mach, C. & Dolejší, F., 1969: Morovno – Veľká Čausa – zosun, sanačný inžinierskogeologický prieskum. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 10 s.
- Liščák, P., Bednarik, M., Feranec, J., 2009: Landslide hazard in afforested territories of Slovakia. Proceedings of the 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE), May 4 – 8, 2009, Stresa, Italy.
- Liščák, P., Pauditš, P., Petro, L., Iglárová, L., Ondrejka, P., Dananaj, I., Brček, M., Baráth, I., Vlačky, M., Németh, Z., Záhorová, L., Antalík, M., Repčiak, M. & Drotár, D., 2010: Registration and evaluation of newly evolved slope failures in Prešov and Košice regions in 2010. In: *Miner. Slov.*, roč. 42, s. 393 – 406.
- Liščák, P., Klukanová, A., Jánová, V., 2012: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov a jeho odpovede na potreby spoločnosti (Partial Monitoring System of Geological Factors and Its Responses to the Public Needs). *Miner. Slov.*, 44, 4, 325 – 330. Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086.
- Liščák, P., Ondrejka, P., Fraštia, M., Kopecký, M., Šimeková, J., Žilka, A., Pauditš, P., Kováčik, M. & Balík, D., 2013: Monitoring pohybovej aktivity havarijného skalného zosuvu v obci Kľačany, orientačný inžinierskogeologický prieskum. MŽP SR, ŠGÚDŠ Bratislava. Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDŠ.
- Liščák, P., Ondrejka, P., Šimeková, J., Petro, L., Pauditš, P., Žilka, A., Mašlárová, I., Iglárová, L. & Madarás, J., 2014: Aktuálne havarijné zosuvy na Slovensku (2011 – 2014). In: *Geologické práce. Správy*, č. 125 (2014), s. 71 – 88. ISSN 0433-4795.
- Liščák, P., Žilka, A., Šimeková, J., Jelínek, R., Olšavský, M., Pešková, I., Pauditš, P. & Fraštia, M., 2016: Vrátna valley catastrophic event 2014 – from shallow landslides to debris flows. In: *Aktuálne problémy v inžinierskej geológii a geotechnike. Zborník 8. konferencie s medzinárodnou účasťou. Nový Smokovec, SR*, 16. – 17. 6. 2016. Slovenská technická univerzita, Bratislava. ISBN 978-80-227-4573-4.
- Lollino, G., Arattano, M. & Cuccureddu, M., 2002: The use of the Automatic InclinoMetric System (AIS) for landslide early warning: the case of Cabella Ligure (North-Western Italy). *Physics and Chemistry of the Earth* 27, s. 1545 – 1550. DOI: 10.1016/S1474-7065(02)00175-4.
- Magulová, B., 2009: Použitie GIS pre tvorbu máp geohazardov ako podkladov pre urbanizačné plánovanie. *Acta Geologica Slovaca (AGEOS)*, 1, 1, s. 25 – 32.
- Mahr, T., Malgot, J., Baliak, F., Sikora, J. & Hric, V., 1984: Svahové poruchy v Liptovskej kotline – Záverečná správa. Manuskript – archív geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 151 s.
- Mahr, T., Baliak, F., Malgot, J. & Nemčok, A., 1985: Mapa svahových porúch západného ukončenia Liptovskej kotliny, M 1:10 000. Slovenská kartografia, Bratislava.
- Malgot, J., Baliak, F. & Mahr, T., 1976: Králiky – Kordíky – prieskum zosuvov, orientačný IGP Žilina: IGHP, Bratislava: Slovenský geologický úrad, 1976. 111 s., 28 príl., 1 d.
- Malgot, J., Baliak, F. & Mahr, T., 1983: Mapa svahových porúch Vtáčnika 1 : 10 000. Tlač Slovenská kartografia.
- Malgot, J. & Baliak, F., 1999: Problems of slope stability of engineering constructions in Slovakia. In: *Proceed. Conf. Geotechnical days 1999. Inf. centrum České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Praha*, s. 50 – 55.
- Malgot, J., Baliak, F., Čabalová, D., Mahr, T. & Nemčok, A., 1973: Inžinierskogeologické mapovanie Handlovskej kotliny. Manuskript – archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 131 s.
- Malgot, J. & Kopecký, M., 2003: Inžinierska geológia a hydrogeológia. Skriptá. Bratislava : STU v Bratislave, 2003. 215 s.

- Mareš S., Karous M., Landa I., Mazáč O., Müller K. & Müllerová J., 1983: Geofyzikální metody v hydrogeologii a inženýrské geologii. Vydavatelství SNTL/ALFA, Praha, 200 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.
- Masný, M., Vrábek, P., Peterková, M., Gejdoš, T., Slivovský, M., Ižvolt, L. & Mušková, M., 1997: Okres Dolný Kubín – pasportizácia svahových deformácií vo vzťahu k cestnej a železničnej sieti a k trasám hlavných produktovodov Stredoslovenského kraja a vybraných okresov (BJ, HN, SK, TV) Východoslovenského kraja, orientačný prieskum, čiastková ZS. Bratislava: MŽP SR, Žilina: INGEO, 1997. 27 s., 62 príl., 2 d.
- Masný, M., Gejdoš, T., Ižvolt, L., Kratochvíl, M. & Rothmeier, R., 1998: Okres Žilina – pasportizácia svahových deformácií vo vzťahu k cestnej a železničnej sieti a k trasám hlavných produktovodov Stredoslovenského kraja a vybraných okresov (BJ, HN, SK, TV) Východoslovenského kraja, orientačný prieskum, čiastková ZS Žilina: INGEO, Bratislava: MŽP SR, 25 s., 32 príl., 2 d.
- Masný, M., Záthurecký, A., Sluka, V., Gejdoš, T., Ižvolt, L. & Rothmeier, R., 1999: Okres Liptovský Mikuláš – pasportizácia svahových deformácií vo vzťahu k cestnej a železničnej sieti a k trasám hlavných produktovodov Stredoslovenského kraja a vybraných okresov (BJ, HN, SK, TV) Východoslovenského kraja, orientačný prieskum Bratislava: MŽP SR, Žilina: INGEO, 31 s., 41 príl., 2 d.
- Masný, M., Demian, M., Rusnák, M., Gejdoš, T. & Kratochvíl, M., 2000: Pasportizácia svahových deformácií vo vzťahu k cestnej a železničnej sieti a k trasám hlavných produktovodov Stredoslovenského kraja a vybraných okresov (BJ, HN, SK, TV) Východoslovenského kraja – okres Rimavská Sobota, orientačný prieskum. Bratislava MŽP SR, Žilina INGEO, 2000. 38 s., 37 príl., 2 d.
- Masný, M., Demian, M., Gejdoš, T., Ižvolt, L. & Kratochvíl, M., 2001: Pasportizácia svahových deformácií vo vzťahu k cestnej a železničnej sieti a k trasám hlavných produktovodov Stredoslovenského kraja a vybraných okresov (BJ, HN, SK, TV) Východoslovenského kraja, orientačný IGP. Žilina: INGEO, 2001. 40 s., 31 príl., 2 d.
- Matejka, F. & Hurtalová, T., 2005: Vzťah medzi potenciálnou a referenčnou evapotranspiráciou. In J. Rožnovský – T. Lit-schmann (Eds.) Seminár Evaporace a evapotranspirace. Brno, 2005, s. 39 – 46. ISBN 80-86690-24-5.
- Matula, M., Nemček, A., Pašek, J., Řepka, A. & Špůrek, M., 1963: Sesuvná území ČSSR. Souhrnná závěrečná zpráva Manuscript, archiv geofondu, Ústřední ústav geologický, Praha, 55 s.
- Matula, M., Ondrášik, R., Holzer, R., Wagner, P., Hrašna, M. & Letko, V., 1983: Metódy inžinierskogeologického výskumu. Vysokoškolské skriptá, PriF UK Bratislava, 223 s.
- Matula, M. & Pašek, J., 1986: Regionálna inžinierska geológia ČSSR. Vyd. Alfa – SNTL, 295 s., Bratislava, Praha.
- MDVRR, 2016: Geotechnický monitoring pre tunely a prieskumné štôlne. Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií. Dostupné na internete https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/tkp/tkp_28_2016.pdf
- Mesko, M., Otepka, J., Menzelová, O., Novotný, P. & Štofko, S., 1985: Veľká Čausa – prieskumno-sanačné práce. Manuscript, archiv geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 40 s.
- Modlitba, I. & Jánová, V., 1983: Registrácia svahových deformácií Rimavskej kotliny. GÚDŠ Bratislava.
- Modlitba, I., Kováčik, M., Ivanička, J. & Klinec, A., 1987: Prognóza vzniku svahových deformácií v Breznianskej kotline, čiastková záverečná správa; Názov štátnej úlohy: Inžinierskogeologický výskum vybraných oblastí SSR; Názov čiastkovej úlohy: Ochrana životného prostredia pred následkami zosúvania, doba riešenia: 1984 – 1988 Bratislava: GÚDŠ, 1987. 41 s., viaz. príl., 1 d.
- Modlitba, I., Jánová, V., Kováčik, M., Krippel, M., Liščák, P., Petro, L., Spišák, Z., Vančíková, I., Iglárová, L., Lobík, M., Šarík, M. & Ondrášik, M., 1991: Výsledky registrácie svahových deformácií na území Slovenska v roku 1991. Publ. ŠGÚDŠ Bratislava, 57 – 62 s.
- Modlitba, I., Kováčik, M., Kováčiková, M., Jánová, V., Ondrášik, M., Petro, L. & Spišák, Z., 1991: Zostavovanie máp geologických faktorov 1 : 50 000 (metodická príručka), čiastková záverečná správa, 1991 – 1993, názov čiastkovej úlohy: Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia SR v mierke 1 : 50 000, názov úlohy: Výskum GFŽP. Bratislava: GÚDŠ, 1991. 78 s., viaz. príl., 1 d.
- Modlitba, I. & Klukanová, A., 1996: Výsledky registrácie a pasportizácie zosuvných území na Slovensku. In: Wagner, P. (ed.): Investigation and stabilization of the landslides in Slovakia. Proceed. of Conf., Nitrianske Rudno. SAIG, Bratislava, s. 14 – 18.
- Mokrá, M., Jadroň, D., Beracko, I. & Zuberec, M., 2004: Handlová – pozorovací systém na stabilizačnom násype v údolí Handlovky, orientačný IGP, Manuscript archiv Geofondu Bratislava. 92 s., 34 príl., 1 d.
- Montgomery, C. W., 1989: Fundamentals of Geology. Wm. C. Brown Publishers.
- Nandi, A. & Shakoar, A., 2009: A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. In: Engineering Geology, Vol. 110, 2009, s. 11 – 20.
- Nemček, A., Malgot, J. & Mahr, T., 1972: Stabilita územia pozdĺž železnice Hlohovec – Lužianky – Kozárovce, IG prieskum stability svahov a svahových deformácií Bratislava: SVŠT-Katedra geotechniky, 1972. 23 s., 5 príl., 1 d.
- Nemček, A., Pašek, J. & Rybář, J., 1974: Dělení svahových pohybů. In: Sborník geol. věd. Ř. HIG Praha, roč. 11, s. 77 – 93.
- Nemček, A., Baliak, F., Mahr, T. & Malgot, J., 1975: Systematický výskum svahových deformácií na Slovensku. Manuscript – archiv geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava. 202 s.

- Nemčok, A., Baliak, F., Mahr, T. & Malgot, J., 1977: Svahové pohyby v neovulkanických pohoriach Slovenska. Manuskript. Geofond, Bratislava.
- Nemčok, A., Baliak, F., Mahr, T. & Malgot, J., 1979: Svahové pohyby v karpatskom flyši na Slovensku. Manuskript. Geofond, Bratislava.
- Nemčok, A., Baliak, F., Mahr, T. & Malgot, J., 1980: Výskum zákonitostí vzniku a vývoja svahových deformácií v geologických štruktúrach Slovenska. Manuskript – archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava. 200 s.
- Nemčok, A., 1982: Zosuvy v slovenských Karpatoch. Bratislava: Veda, 319 s.
- Novotný, M. & Mišúth, K., 2012: Čadca – Rieka – sanácia havarijného zosuvu – I. etapa, záverečná správa zo sanácie geologického prostredia. Žilina: RNDr. Novotný Miroslav, 2012. 18 s., 11 viaz. príl., 1 d.
- Novotný, M., Slivovský, M., Fraštia, M., Mužík, J., Šíma, J., Slašťan, P., Pistová, D., Vlčko, J. & Greif, V., 2015: Inžinierskogeologický prieskum skalného brala v Strečne, podrobný IGP. Žilina: RNDr. Miroslav Novotný, 2015. 43 s., 9 príl., 1 d.
- Ondrášik, R., Rybár, J., 1991: Dynamická inžinierska geológia. Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1991, 267 s.
- Ondrášik, R. & Gajdoš, V., 2001: Geologické riziká a ich hodnotenie v projektovej príprave. In Miner. Slov., roč. 33, č. 4, ISSN 0369-2086, s. 361 – 368.
- Ondrášik, M., Smolárová, H., Čížek, P., Gluch, A., Marsina, K., Siráňová, Z., Kordík, J., Slaninka, I., Marcin, D., Malík, P., Švasta, J., Potfaj, M., Dlapa, P., Ďuriš, M., Juráni, B., Mičuda, R., Šimkovic, I., Frankovská, J., Dananaj, I., Liščák, P., Jelínek, R., Pauditš, P., Ondrejka, P., Šefčíková, B., Magalová, D., Okoličányiová, K., Pristaš, J. & Hók, J., 2005: Súbor regionálnych máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Myjavská pahorkatina a Biele Karpaty. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 78 s.
- Ondrášik, R., Vlčko, J. & Fendeková, M., 2011: Geologické hazardy a ich prevencia. 2. dopl. vyd. Bratislava: Univerzita Komenského, 2011. 288 s. ISBN 978-80-223-2956-9.
- Ondrejka, P., Wagner, P. & Gróf, V., 2011: Využitie stacionárneho inklinometra na tvorbu systémov včasného varovania na zosuvoch. Geotechnika, roč. 14, č. 1 – 2, s. 19 – 23.
- Ondrejka, P., Liščák, P., Dananaj, I., Gregor, M., Slaninka, I., Brček, M. & Putiška, R., 2012: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Vinohrady nad Váhom, časť Kamenica. Geol. Práce, Správy 119, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, s. 79 – 90. ISSN 0433-4795.
- Ondrejka, P. & Wagner, P., 2012: Monitorovanie zosuvov a iných svahových deformácií v období rokov 2002 až 2009. In: Miner. Slov., 44, 4, s. 331 – 350.
- Ondrejka, P., Wagner, P., Žilka, A., Balík, D., Petro, L., Iglárová, L. & Fraštia, M., 2014: Main Results of the Slope Deformations Monitoring. Slovak Geol. Mag., 1/2014, s. 89 – 114.
- Ondrejka, P., Bakoň, M., Papčo, J., Liščák, P. & Žilka, A., 2016: Monitoring aktivity zosuvného územia Prievidza-Hradec. In: Geotechnika, 1/2016, s. 3 – 12.
- Ondrejka, P., Ondrus, P., Liščák, P., Dananaj, I., Mašlár, E., Mašárová, I., Petro, L., Magalová, D., Iglárová, L., Ondrášiková, B. & Grega, D., 2019: Podsystem 01 Zosuvy a iné svahové deformácie, Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory. Ročná správa za rok 2018. ŠGÚDŠ. Dostupné na: https://dionysos.geology.sk/cmsgf/files/Hodn_monitor_2018/01_Zosuvy_2018.pdf
- Ondrejka, P., Ondrus, P., Liščák, P., Dananaj, I., Mašlár, E., Mašárová, I., Petro, L., Magalová, D., Iglárová, L., Ondrášiková, B., Grega, D., Pačajová, K., Eged, M. & Pauditš, P., 2020: Podsystem 01 Zosuvy a iné svahové deformácie, Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory. Ročná správa za rok 2019. ŠGÚDŠ. Dostupné na: https://dionysos.geology.sk/cmsgf/files/Hodn_monitor_2019/01_Zosuvy_2019.pdf
- Ondrus, P., 2019: Zhodnotenie dlhodobého monitorovania svahových deformácií a efektívnosti sanačných opatrení na zosuvnom území Nižná Myšľa. Rigorózná práca. 60 s., 2 prílohy.
- Otepka, J., Tichý, Š., Roháčiková, A., Fekeč, J. & Obernauer, M., 1976: Veľká Čausa – prieskum a sledovanie zosuvov: predbežný inžinierskogeologický prieskum. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, č. 38736, 79 s.
- Otepka, J., Menzelová, O., Mesko, M., Čubříková, E., Škripeková, L., Čellár, S., Abelovič, J., Čerňanský, J. & Bláha, P., 1983: Hlohovec – Sereď, prieskum a sanácia zosuvov. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava. 120 s.
- Otepka, J., Menzelová, O., Škripeková, L., Roháčiková, A., Štofko, S. & Vybíral, V., 1997: Svahové poruchy v regióne Bielych Karpát a Myjavskej pahorkatiny, orientačný prieskum. Bratislava: MŽP SR, Košice: GEOCONSULT, 101 s., 164 príl., 2 d.
- Palmström, A., 2009: Combining the RMR, Q, and RMI classification systems, Kombinácia klasifikačných systémov RMR, Q a RMI, www.rockmass.net.
- Pauditš, P. & Bednarik, M., 2002: Using GRASS in evaluation of landslide susceptibility in Handlovská kotlina Basin. In: Ciolli, M. & Zatelli, P. (eds.): Proceedings of the Open source GIS-GRASS user's conference 2002, Trento, Italy.
- Pauditš, P. & Bednarik, M., 2002: Using GIS in evaluation of landslide susceptibility in Handlovská kotlina basin. In: Landslides – Proceedings of the 1st European conference on landslides. Lisse: Balkema Publishers, ISBN 90-5809-393-X, s. 437 – 441.
- Pauditš, P., 2005: Hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie s využitím štatistických metód v prostredí GIS. PhD. práca. PriF UK Bratislava. 153 p.
- Pauditš, P., Vlčko, J. & Jurko, J., 2005: Využívanie štatistických metód pri hodnotení náchylnosti územia na zosúvanie. In: Miner. Slov., roč. 37, č. 4, ISSN 0369-2086, s. 529 – 538.
- Pauditš, P., 2006: Hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie s využitím štatistických metód v prostredí GIS. Geol. Práce, Správy 112, ŠGÚDŠ, Bratislava, s. 41 – 58.

- Pauditš, P. & Bednarik, M., 2006: Rôzne spôsoby interpretácie svahových deformácií v štatistickom hodnotení zosuvného hazardu. In: *Geológia a životné prostredie 2006*, ISBN 80-88974-78-X, s. 1 – 10.
- Pauditš, P., Kraľovičová, L. & Bednarik, M., 2014: Landslide Hazard Assessment Using Spatial Statistical Methods. *Slovak Geol. Mag. Vol. 1/2014*, s. 41 – 63. ISSN: 1335-096X.
- Pauditš, P., Petro, L. & Pačajová, K., 2017: Mapa náchylnosti územia na svahové pohyby. In: Pramuka, S. a kol., 2017: Súbor máp geofaktorov životného prostredia regiónu Ondavská vrchovina v mierke 1 : 50 000. Záverečná správa – Príloha D 7: Inžinierskogeologické mapy (Petro, L., a kol.). ŠGÚDŠ, Bratislava.
- 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, s. 69 – 80.
- Pekárová, P. & Szolgay, J. (Ed.), 2005: Scenáre zmien vybraných zložiek hydrosféry a biosféry v povodí Hrona a Váhu v dôsledku klimatickej zmeny. Bratislava: Veda, 2005. 496 s. ISBN 80-224-0884-0.
- Petro, L., Klukanová, A., Spišák, Z., Kováčik, M., Matula, M., Hrašna, M., Ondrášik, R., Iglárová, L., Jánová, V., Kováčiková, M. & Frankovská, J., 1989: Metodické pokyny pre zostavovanie máp geologických faktorov životného prostredia. GÚDŠ Bratislava.
- Petro, L., Frankovská, J., Matys, M., Wagner, P. (eds.), Bednarik, M., Grunner, 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. ŠGÚDŠ, Bratislava. 465 s. ISBN: 978-80-88974-99-4.
- Petro, L., Liščák, P. & Ondrejka, P., 2012: Assessment of selected active landslides in Slovakia in 2011. *Miner. Slov.*, roč. 44, č. 2, s. 111 – 121. ISSN 1338-3523.
- Petro, L., Jánová, V., Žilka, A., Ondrejka, P., Liščák, P. & Balík, D., 2014: Catastrophic landslide in Nižná Myšľa village (Eastern Slovakia). *Proceedings of World Landslide Forum 3*, 2 – 6 June 2014, Beijing.
- Petro, L., Vlčko, J., Košťák, B., Iglárová, L. & Liščák, P., 2016: Long-term monitoring of selected historical objects in Slovakia. In: J. Frankovská, T. Durmeková (Eds.), *Proc. of the 8th Slovak Conference of Geo-Engineering*, Vysoké Tatry – Nový Smokovec, 16. –17. June, 2016. STU, Bratislava, s. 247 – 248. ISBN 978-80-227-4573-4.
- Petrýdesová, L., 2012: Hodnotenie zosuvného hazardu v modelovom území Hlohovec Sereď. Dizertačná práca. PriF UK, Bratislava, 2012, 206 s.
- Pramuka, S., Bačová, N., Bajtoš, P., Gluch, A., Hlodák, M., Kováčik, M., Mašlár, E., Mašárová, I., Pauditš, P., Petro, L., Šefčík, P. & Siska, M., 2017: Súbor máp geofaktorov životného prostredia regiónu Ondavská vrchovina v mierke 1: 50 000, orientačný GP ŽP Bratislava: MŽP SR, Bratislava: ŠGÚDŠ, 2017. 170 s., 23 príl., 1 d.
- Prelovský, B. & Šňahníčan, J., 2018: Mechanické kotvy na stabilizáciu svahov a zosuvov. *Časopis Inžinierske stavby* 6/2018. Jaga Bratislava.
- Prelovský, B. & Šňahníčan, J., 2019: Zabezpečenie stability prístupovej cesty v Kraľovanoch pomocou modulárneho systému ErdoX Terra. *Časopis ASB* 2/2019.
- Rockfall protective measures – Ochranné opatrenia proti skalným zrúteniam, Part 4: Definitive and executive design, Finálny a realizačný návrh, 2012 – talianska norma.
- Romana, M. R., 1993: A geomechanical Classification for slopes: Slope Mass Rating. – In: J. A. Hudson (ed.): *Comprehensive Rock Engineering, Principles, Practice & Projects*, Vol. 3, Pergamon Press, s. 575 – 600. Oxford.
- Rowberry, M. D., Kriegner, D., Holy, V., Frontera, C., Llull, M., Olejnik, K. & Marti, X., 2016: The instrumental resolution of a moire extensometer in light of its recent automatisisation. *Measurement*, 91, s. 258 – 265.
- Sass, O., Bell, R. & Glade, T., 2008: Comparison of GPR, 2D-resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the Öschingen landslide, Swabian Alb (Germany). In: *Geomorphology*, Vol. 93, s. 89 – 103.
- Shapiro, M. & Westervelt, J., 1992: *r.mapcalc. An Algebra for GIS and Image Processing*. U.S. Army CERL, Champaign, Illinois, U.S.A., s. 422 – 425.
- Sláma, M., Gomolčák, M., Komoň, J., Turovský, F., Tunega, O., Mišove, P., Bačo, J., Vrábľová, K. & Pastierik, S., 2012: Nižná Myšľa – sanácia havarijného zosuvu – I. etapa, sanácia geologického prostredia, odborný geologický dohľad. Geokontakt, Košice. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, archívne č. 94530, 57 s.
- Slivovský, M., 1977: Gravitational deformation of valley slopes in tectonically structured rock masses. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, Krefeld, Vol. 16, s. 114 – 118.
- Slivovský, M., 1979: K problému stability hlbokých zárezov. *Proceedings of Conference of University of Transport*, Žilina, s. 176 – 182.
- Sluka, V., Páleníč, M., Laurenčík, J., Mišuth, K. & Novotný, M., 2014: Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijného zosuvu v obci Banka pri Piešťanoch, orientačný IGP a sanácia geologického prostredia. Žilina: Geotrend, 2014. 33 s., 1 príl., 1 d.
- Smernica MŽP SR., 1999: Smernica MŽP SR z 25. júna 1999, číslo 3/99 – 3 na zostavovanie inžinierskogeologických máp v mierke 1 : 50 000. *Vestník MŽP SR*, ročník VII, časť 6, 1999, s. 36 – 71.
- Smernica MŽP SR., 2000: Smernica MŽP SR z 13. apríla 2000, číslo 2/2000 o zásadách spracovania a odovzdávania úloh a projektov v Geografickom informačnom systéme. *Vestník MŽP SR*, ročník VIII, časť 2, 2000, s. 35 – 41.
- Spišák, Z., Polaščinová, E., Kaličiak, M. & Karoli, S., 1987: Vplyv geologickej stavby územia na vznik a rozvoj svahových deformácií v severnej časti Košickej kotliny a Slanských vrchov, tematická správa, doba riešenia: 1985 – 1988. Názov čiastkovej úlohy: Ochrana životného prostredia pred následkami zosúvania. Názov štátnej úlohy: Inžinierskogeologický výskum vybraných oblastí SSR. Bratislava: GÚDŠ. 66 s., 10 príl., 1 d.

- Spišák, Z., Stercz, M. & Polaščinová, E., 2013: Snina – skládka TKO, podrobný inžinierskogeologický prieskum, záverečná správa, TERRA-GEO s. r. o.
- Stercz, M., 2004: SMDilat – aplikácia na vyhodnocovanie meraní dilatometrom TM-71 programovaná v jazyku Delphi pre platformu MS Windows (+ MS Windows XP).
- STN EN 1997-2/AC – Eurokód 7. Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 2: Prieskum a skúšanie horninového prostredia. 2010.
- STN 73 3050 – Zemné práce. Všeobecné ustanovenia. 1986.
- Süzen, M. L. & Doyuran, V., 2004: A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. *Environmental Geology*, 45, 5, s. 665 – 679.
- Šimeková, J., Martinčeková, T., Abrahám, P., Gejdoš, T., Grenčíková, A., Grman, D., Hrašna, M., Jadroň, D., Záthurecký, A., Kotrčová, E., Liščák, P., Malgot, J., Masný, M., Mokrá, M., Petro, L., Polaščinová, E., Solčiansky, R., Kopecký, M., Žabková, E., Wanieková, D., Baliak, F., Caudt, L., Rusnák, M. & Sluka, V., 2006: Atlas máp stability svahov SR v M 1 : 50 000, orientačný IGP. MŽP SR, INGEO – ighp, Katedra geotechniky SvF STU, ŠGÚDŠ, GEOKONZULT, PriF UK.
- Šimeková, J., Bednarik, M., Grman, D., Boszák, M. & Sluka, V., 2011: Inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií v najohrozenejších územiach flyšového pásma v M 1 : 10 000, orientačný IGP. Bratislava: MŽP SR, Košice: GEO Slovakia, 2011. 196 s., 868 príl., 4 d.
- Šimeková, J., Sluka, V., Smolka, M. & Havčo, J., 2012: Chmeľnica – sanácia havarijného zosuvu v obci – 1. etapa – geologická časť, sanácia geologického prostredia. Žilina: Geotrend, 18 s., viaz. príl., 1 d.
- Šimeková, J., Liščák, P., Ondrejka, P., Žilka, A., Mašlárová, I., Petro, L. & Gonda, S., 2014: Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky, Časť I. Sanácia havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa – 2.etapa, Časť II. Inžinierskogeologický prieskum a sanácia prioritných havarijných zosuvov, orientačný a doplnkový IGP. Bratislava: MŽP SR, Bratislava: ŠGÚDŠ, 33 s., 111 príl., 3 d.
- Šimeková, J., Liščák, P., Jánová, V. & Martinčeková, T., 2014: Atlas of Slope Stability Maps SR at Scale 1:50,000 – its results and use in practice. *Slovak Geol. Mag.*, 1/2014, s. 19 – 30.
- Šimeková, J., Liščák, P., Žilka, A., Petro, L., Laurenčík, J., Gomolčák, M., Sláma, M., Tometz, L., Fekeč, P., Vrábek, B. & Sluka, V., 2015: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Svätý Anton a sanácia havarijných zosuvov v obciach Nižná Myšľa a Šenkvice, záverečná správa, orientačný IGP. Bratislava: MŽP SR, Bratislava: ŠGÚDŠ, 2015. 20 s., 38 príl., 1 d.
- Tarbut, E. J. & Lutgens, F.K., 1990: The Earth. Merrill Publishing Company.
- Tometz, L., Blišťan, P., Harabinová, S., Leššo, J., Nyárhidy, J. & Turovský, F., 2010: Nižná Myšľa – havarijný zosuv, inžinierskogeologický prieskum. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 59 s.
- TP 114, 2020: Ochranné a stabilizujúce konštrukcie skalných svahov a zárezov na dopravných stavbách, Slovenská správa ciest, 2020.
- Trangoš, I., Bednarik, M. & Petrýdesová, L., 2013: Metódy monitorovania svahových deformácií používané pri výstavbe diaľničných úsekov na Slovensku. In: Člověk, stavba a územní plánování 7. Fakulta stavební ČVUT, Praha, s. 179 – 186, ISBN 978-80-01-05225-9.
- Tuček, J., 1998: Geografické informační systémy. Principy a praxe. Computer Press, Praha, 1998a. 424 s.
- Tupý, P., Ilkanič, A., Bvoc, T., Kopecký, M., Gomolčák, M. & Sláma, M., 2010: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov, vzniknutých v roku 2010. Časť č. 1 – Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okrese Prešov. MŽP SR, Bratislava, ENVIGEO, a. s., Banská Bystrica. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 111 s.
- Tupý, P., Ilkanič, A., Masiar, R. & Mišuth, K., 2014: Sanácia havarijných zosuvov v Hradci a vo veľkej Lehôtke (časť I.). Skupina dodávateľov Sanácia Prievidza, TMG, a. s. Prievidza, Envigeo, a. s. Banská Bystrica. In: Ondrejka, P., Liščák, P., Šimeková, J., 2014: Sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách okresu Prievidza. MŽP SR, ŠGÚDŠ Bratislava. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, s. 37.
- Tupý, P., Laffers, F., Csizmadia, R., Kopecký, M., Jasovská, A., Nigrínyová, J., Ilkanič, A., Masiar, R., Veselý, V. & Prelovský, B., 2019: Sanácia svahovej deformácie na lokalite Kapušany, Sanácia svahových deformácií na vybraných lokalitách Slovenska (1) – časť 2 Sanácia svahových deformácií na lokalitách Kapušany, Ondrašovce, Petrovany, Sanácia geologického prostredia. Bratislava: MŽP SR, Banská Bystrica: ENVIGEO, 2019. 50 s., 13 viaz. príl., 1 d.
- Van Westen, C. J., 1993a: GISSIZ – Training Package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation. Part 1: Theory. UNESCO – International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Project on Geo-Information for environmentally Sound Management of of Natural Resources (ITC Publication No. 15). Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation.
- Van Westen, C. J., Van Duren, I., Kruse, H. M. G. & Terlien, M. T. J., 1993b: GISSIZ – Training Package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation. Part 2: Exercises. UNESCO – International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Project on Geo-Information for environmentally Sound Management of Natural Resources (ITC Publication No. 15). Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation.
- Varnes, D. J., 1978: Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R. L., Krizek, R. J., (Eds.), Special report 176: Landslides: Analysis and Control. TRB, National Academy of Sciences, Washington, D.C., Special Report 176, Chapter 2., s. 11 – 33.
- Varnes D. J., 1984: IAGC Commission on landslides and other mass movements on slopes, Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural hazards no. 3, Paris: UNESCO, ISBN 92-3-101895-7. 63 s.
- Vaškovský, I., 1977: Kvartér Slovenska, Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.

- Vilumsen, A. & Arvensis, M., 1996: Elektroosmóza – perspektívna metóda sanácie zosuvov. Konferencia Výskum, prieskum a sanácia zosuvných území na Slovensku, Nitrianske Rudno 1996, s. 130 – 137.
- Vlčko, J., Wagner, P. & Rychlíková, Z., 1980: Spôsob hodnotenia stability svahov väčších územných celkov. In: Miner. Slov., roč. 12, č. 3, s. 275 – 283. ISSN 0369-2086.
- Vlčko, J. & Petro, L., 2002: Monitoring of subgrade movements beneath historic structures. In: J. L. van Roy & C. A. Jermy (Eds.) Proc. of 9th Int. Congress IAEG, Durban, South Africa, (CD-ROM), s. 1432 – 1437.
- Vrábel, P., Grenčíková, A., Kotrčová, E., Frličková, M., Molčan, T., Huljak, Š. & Flimmel, J., 2000: Povodie Oravy – svahové poruchy, orientačný inžinierskogeologický prieskum. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 140 s.
- Vráblová, K. & Jánová, V., 2013: Sanácia havarijného zosuvu v Nižnej Myšli. Enviromagazín 1/2013.
- Vybíral, V. & Wagner, P., 1999: Príspevok metódy PEE k posúdeniu stability svahov v priestore vodného diela Sereď – Hlohovec. In: Zborník 4. geotechnickej konferencie Prognóza a verifikácia v geotechnickom inžinierstve, SvF STU, Bratislava, s. 227 – 231.
- Vybíral, V. & Wagner, P., 2002: Interpretácia výsledkov meraní poľa PEE pri monitorovaní svahových deformácií. In: Zborník konferencie Geológia a životné prostredie 3, SAIG, SAH, KIG PriF UK a ŠGÚDŠ, Bratislava, s. 31 – 34.
- Vybíral, V. & Wagner, P., 2003: Aplikácia metódy PEE pri analýze vývoja zosuvov. In: Zborník 6. medzinárodnej geotechnickej konferencie SvF STU, s. 73 – 78, ISBN 80-227-1890-4.
- Vybíral, V. & Wagner, P., 2004: Hodnotenie stability územia na základe výsledkov merania poľa PEE. In: Zborník konferencie Geológia a životné prostredie 4, SAIG, SAH, KIG PriF UK a ŠGÚDŠ, Bratislava, s. 71 – 75, ISBN 80-88974-54-2.
- Wagner, P., Malgot, J., Modlitba, I. & Andor, L., 2000: History and perspectives of landslide studies in Slovakia. Miner. Slov., roč. 32, č. 4, s. 335 – 339.
- Wagner, P., Iglárová, L. & Petro, L., 2000: Methodology and some result of slope movements monitoring in Slovakia. In: Miner. Slov., roč. 32, s. 359 – 367.
- Wagner, P., Iglárová, L., Petro, L. & Scherer, S., 2002: Monitorovanie zosuvov a iných svahových deformácií. Geol. práce, Spr., 106, s. 21 – 42.
- Wagner, P., Scherer, S., Jadroň, D., Mokrá, M. & Vybíral, V., 2002: Analysis of landslide monitoring results. In: Rybář, J., Stemberk, J. & Wagner, P. (eds.): Landslides, Proc. The first European Conference on Landslides. A. A. Balkema, s. 471 – 476.
- Wagner, P., Ondrejka, P. & Bjel, D., 2006: Systémy včasného varovania na zosuvných územiach. In: Wagner, P., Klukanová, A. & Frankovská, J. (eds.): Geológia a životné prostredie 5. Zborník konferencie Geológia a životné prostredie 5, SAIG, ŠGÚDŠ Bratislava, s. 14, CD 13 s.
- Wagner, P., Ondrejka, P. & Klukanová, A., 2007: Aktuálne problémy monitorovania svahových deformácií na Slovensku. In: Zprávy o geologických výzkumech v roce 2006. ČGS, Praha, s. 167 – 170.
- Wagner, P., Ondrejka, P., Iglárová, L. & Fraštia, M., 2010: Aktuálne trendy v monitorovaní svahových pohybov. Miner. Slov., roč. 42, č. 2, s. 229 – 240.
- Willenberg, H., Spilmann, T., Eberhardt, E., Evans, K., Loew, S. & Maurer, H. R., 2002: Multidisciplinary monitoring of progressive failure processes in brittle rock slopes – Concepts and system design. In: Rybář, J., Stemberk, J. & Wagner, P. (eds.): Landslides, Proc. The first European Conference on Landslides. A. A. Balkema, s. 477 – 483.
- Wyllie, C. & Mah, W. (2004) Rock Slope Engineering Civil and Mining, Taylor & Francis Group, London and New York, 431 s.
- Záruba, Q. & Myslivec, A., 1942: Sesuvy na dopravních stavbách ve flyšových oblastech. Techn. Obzor, Praha.
- Záruba, Q., 1954: Sesuvy v neogénnych uloženinách na severním okraji Turčanské kotliny. Věst. Ústř. Úst. geol., roč. 29, č. 2, Praha, s. 77 – 81.
- Záruba, Q., 1957: Poznámky k metodologii geologického průzkumu pro přehrady v oblasti karpatského flyše. Vod. Hospod., Praha.
- Záruba, Q. & Mencl, V., 1958: Rozbor sesuvu u Klačan na Váhu. Rozpravy ČSAV, roč. 68, č. 5, Praha, s. 1 – 34.
- Záruba, Q. & Mencl, V., 1969: Landslides and their control. Amsterdam, London, New York, Elsevier, Academia, Praha, 221 s.
- Žabková, E., Grenčíková, A., Vrábel, P., Sluka, V., Frličková, M., Molčan, T., Lenková, M., Buček, L. & Flimmel, J., 2003: Povodie Kysuce – svahové deformácie, orientačný IGP Žilina: INGEO, 2003. 85 s., 218 príl., 2 d.
- Žabková, E., Záthurecký, A., Žilka, A., Kotrčová, E., Lenková, M., Méry, V., Frličková, M. & Kováčik, J., 2010: Inžinierskogeologický prieskum vybraných havarijných zosuvov Slovenska, časť č. 6. MŽP SR, Bratislava, INGEO – ighp, s. r. o., Žilina. Manuskript, archív geofondu ŠGÚDŠ, Bratislava, 38 s.
- Žabková, E., Záthurecký, A., Meretta, P., Sluka, V., Bednarik, M. & Šimeková, J., 2012: Sanácia havarijného zosuvu v Šenkviaciach – I. etapa, sanácia geologického prostredia a odborný geologický dohľad. Žilina: INGEO – ighp, Žilina: Geotrend, 2012. 8 s., viaz. príl., 1 d.

Internetové zdroje:

www.geobrugg.com	www.sta-ita-aites.sk
www.geology.sk	www.rockmass.net
www.geotechnik.sk	www.stavextop.sk
www.google.sk/maps	www.vlaky.net
www.hzs.sk	https://zbgis.skgeodesy.sk
	https://www.google.sk/maps

ISBN: 978-80-8213-056-3



9 788082 130563

Aktivita sa realizuje v rámci národného projektu

Zlepšovanie informovanosti a poskytovanie poradenstva v oblasti zlepšovania kvality životného prostredia na Slovensku.

Projekt je spolufinancovaný z Kohézneho fondu EÚ v rámci Operačného programu Kvalita životného prostredia (2014 – 2020).