

Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií na vybraných lokalitách v rokoch 2018 – 2019

Engineering geological investigations of slope deformations at selected localities in the period 2018 – 2019

EDUARD MAŠLÁR¹, INGRID MAŠLÁROVÁ¹, PETER ONDRUS², RÓBERT JELÍNEK³, MARIÁN STERCZ⁴, KATARÍNA PAČAJOVÁ⁴ a ĽUBOMÍR STAŠIK¹

¹Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, regionálne centrum Spišská Nová Ves, Markušovská cesta 1, 052 40 Spišská Nová Ves, eduard.maslar@geology.sk, ingrid.maslarova@geology.sk, lubomir.stasik@geology.sk,

²Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, peter.ondrus@geology.sk

³Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, regionálne centrum Banská Bystrica, Zelená 5, 974 04 Banská Bystrica, robert.jelinek@geology.sk

⁴Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, regionálne centrum Košice, Jesenského 8, 040 01 Košice, marian.stercz@geology.sk, katarina.pacajova@geology.sk

© Autori 2020. Vydal ŠGÚDŠ. Licencia Creative Commons BY 4.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Abstrakt. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ) v rokoch 2018 – 2019 riešil geologickú úlohu s názvom *Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií – 1. etapa*. Cieľom geologickej úlohy bolo zlepšenie prevencie zosuvných rizík zabezpečením inžinierskogeologického prieskumu tých svahových deformácií, ktoré z hľadiska spoločensko-ekonomickej významnosti (ohrozenie života a majetku) a z toho vyplývajúceho zosuvného rizika podľa stupnice odporúčanej Európskou komisiou na hodnotenie multirizika predstavujú v súčasnosti najzávažnejšie zosuvné lokality v rámci Slovenskej republiky. V rámci 1. etapy inžinierskogeologických prieskumov svahových deformácií bolo vybratých 13 lokalít na území Slovenska. Svahové deformácie takmer na všetkých zvolených lokalitách ohrozujú rodinné domy a často ohrozujú aj infraštruktúru – elektrické vedenia, cesty a pod. V tomto príspevku sa pozornosť orientuje na zhrnutie výsledkov prieskumov, a to najmä z pohľadu charakteristiky, príčin vzniku, posúdenia stupňa stability a návrhu sanácie skúmaných svahových deformácií.

KLúčové slová: inžinierskogeologický prieskum, svahová deformácia, zosuv, stabilita svahov

Abstract. In the period 2018 – 2019, the State Geological Institute of Dionýz Štúr carried out a geological task termed *Engineering Geological Survey of Slope Deformations – Stage 1*. The aim of the geological task was to improve the prevention of landslide risks by providing an engineering geological investigation of those slope deformations which, in terms of socio-economic significance (danger to life and property) and the resulting landslide risk according to the scale recommended by the European Multi-Risk Assessment Commission, are currently the most serious landslide sites in the Slovak Republic. Within the 1st stage of engineering geological surveys of slope deformations, 13 localities in the territory of Slovakia were selected. Slope deformations endanger family houses in almost all the localities in question, they often endanger the infrastructure – power lines, roads, etc. The paper focuses on summarizing the results of surveys, especially in terms of characteristics, causes, assessment of the degree of stability and the design of remediation of the examined slope deformations.

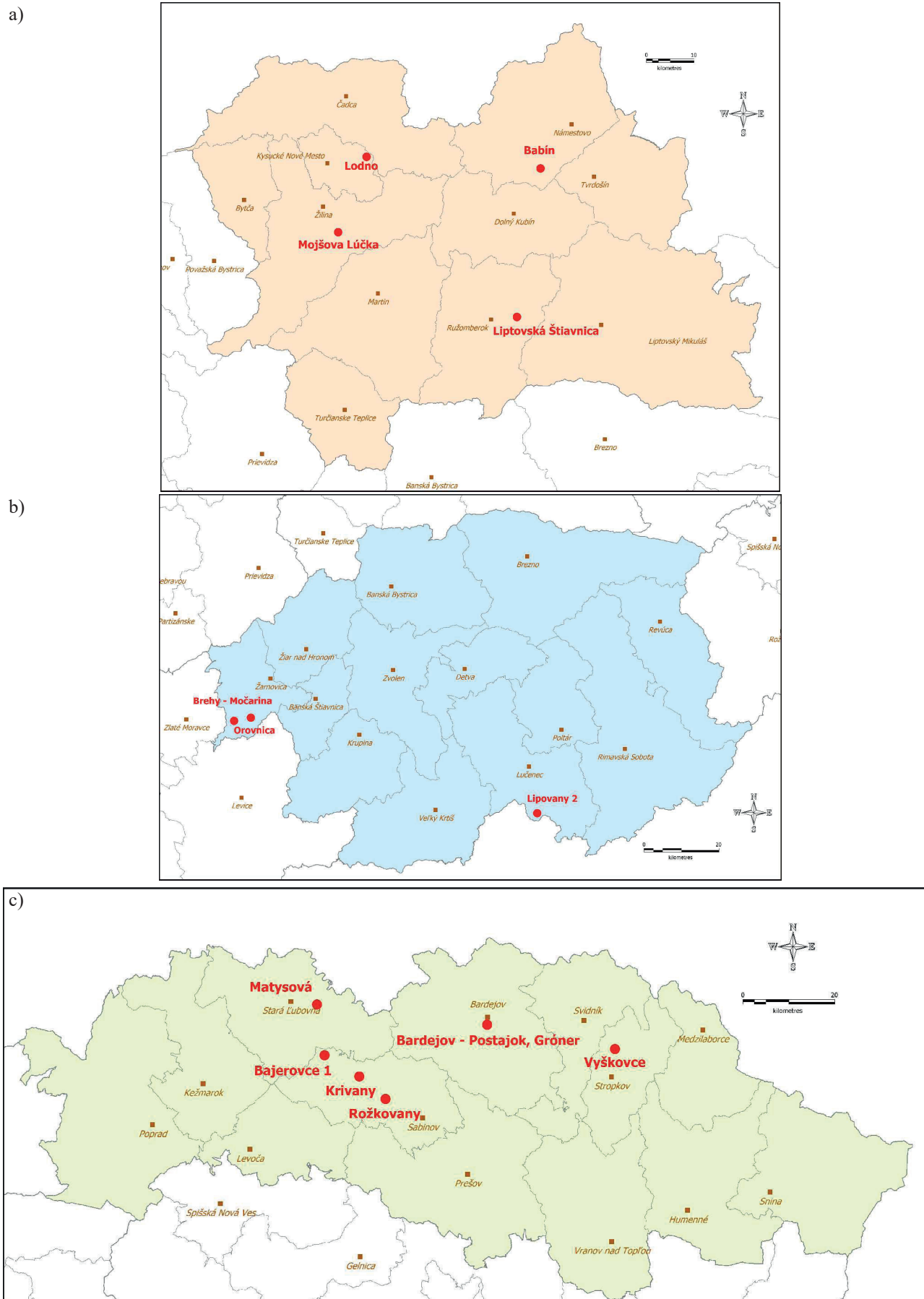
Key words: engineering geological investigation, slope deformation, landslide, slope stability

1. Úvod

Svahové deformácie v poslednom období spôsobili a naďalej spôsobujú na území Slovenska značné materiálne škody (na budovách, cestách, inžinierskych sieťach a pod.). Aktivácia svahových deformácií je spojená predovšetkým s čoraz častejším výskytom atmosférických dažďových zrážok s vysokým úhrnom, ktoré súvisia s globálnymi klimatickými zmenami.

Problematika svahových deformácií sa v súčasnosti na Slovensku rieši prostredníctvom *Programu prevencie a manažmentu zosuvných rizík (2014 – 2020) – aktualizácia*, ktorý vychádza zo schváleného uznesenia vlády Slovenskej republiky č. 248 z 23. 5. 2018. Tento strategický plánovací dokument vychádza z aktuálnej koncepcie geologického výskumu a geologického prieskumu územia Slovenskej republiky, ktorá bola schválená uznesením vlády SR č. 549/2017, a je určený pre oblasť prevencie a manažmentu zosuvných rizík.

Prieskum svahových deformácií sa zintenzívnili najmä od roku 2010, keď sa v dôsledku intenzívnych dažďových zrážok aktivoval veľký počet zosuvov a iných svahových deformácií (Liščák et al., 2010). Na základe identifikácie svahových deformácií sa v roku 2010 realizovali prieskumné práce prevažne v oblasti východného Slovenska, napr. v Košickom kraji na lokalitách Košice-mesto – Dargovských hrdinov, Krásna nad Hornádom, Košice-okolie – Družstevná pri Hornáde, Vyšná Hutka, Nižná Hutka, Hrhov, Nižná Hutka a Vyšný Čaj (Grman et al., 2010), v Prešovskom kraji v okresoch Prešov (Tupý et al., 2010a), Stará Ľubovňa (Šimeková et al., 2010), Bardejov (Havčo et al., 2010), Sabinov a Stropkov (Tupý et al., 2010b). V neskoršom období sa uskutočnil inžinierskogeologický prieskum ďalších havarijných zosuvov vo viacerých mestách a obciach, napr. Krupina (Liščák et al.,



Obr. 1. Situácia lokalít s realizáciou prieskumov svahových deformácií: a) v Žilinskom kraji, b) v Banskobystrickom kraji, c) v Prešovskom kraji.

Fig. 1. Location of the studied landslide sites: a) in the Žilina Region, b) in the Banská Bystrica Region, c) in the Prešov Region.

2011a), Vinohrady nad Váhom – časť Kamenica (Liščák et al., 2011b), Brusno (Jelínek et al., 2013), Likavka, Košice vrátane sanácie, Červený Kameň, Žilina-Vranie vrátane protihavarijných opatrení (Šimeková et al., 2014) a Svätý Anton (Šimeková et al., 2015).

V rámci tejto geologickej úlohy (Mašlár et al., 2019) sa realizoval inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií na ďalších 13 lokalitách, ktorých aktivácia je datovaná do obdobia rokov 2010 – 2013, a to v Žilinskom kraji na štyroch lokalitách (Babín, Liptovská Štiavnica, Mojšova Lúčka a Lodno), v Banskobystrickom kraji na troch lokalitách (Brehy-Močarina, Lipovany 2 a Orovnica) a v Prešovskom kraji na šiestich lokalitách (Krivany, Matysová, Bajerovce 1, Rožkovany, Vyškovce a Bardejov – Postajok a Gróner). Lokalizácia realizovaných prieskumov zosuvov je uvedená na obr. 1 a v tab. 1.

Tab.1. Súradnice svahových deformácií na prieskumných lokalitách.

Tab. 1. Coordinates of slope deformations at survey sites.

Názov lokality	Súradnice svahovej deformácie v ETRS (centroid)	
	E	N
Babín	382 217,37	5 466 016,34
Liptovská Štiavnica	378 900,63	5 434 751,10
Mojšova Lúčka	340 487,13	5 450 626,27
	340 507,54	5 450 610,21
	340 537,74	5 450 581,66
Lodno	345 641,53	5 466 687,04
Brehy-Močarina	326 796,91	5 363 295,92
Lipovany 2	404 615,02	5 341 550,34
Orovnica	322 405,39	5 362 280,25
Krivany	493 098,66	5 447 008,54
Matysová	483 255,60	5 462 261,78
Bajerovce 1	485 512,97	5 451 403,13
Rožkovany	499 121,28	5 442 506,20
Vyškovce	548 610,56	5 455 614,72
Bardejov – Postajok, Gróner	520 405,39	5 459 863,35

2. Metódy

Na dosiahnutie cieľov riešených úloh sa vykonával súbor geologických prác, technické, vzorkovacie, laboratórne, geodetické a geofyzikálne práce, výpočty stability a vyhodnotenie prác so záverečným spracovaním. Vzhľadom na rozsah technicky náročných geologických prác sa prieskumné geologické práce zabezpečovali formou subdodávok, ktoré zabezpečovali firmy ENVIGEO, a. s., Banská Bystrica a Združenie GEO Slovakia, s. r. o. – GEO-KONTAKT, s. r. o., Košice.

V rámci **archívnej excerptie** sa ukázalo, že miera preskúmania jednotlivých lokalít je pomerne nízka. Zdrojom

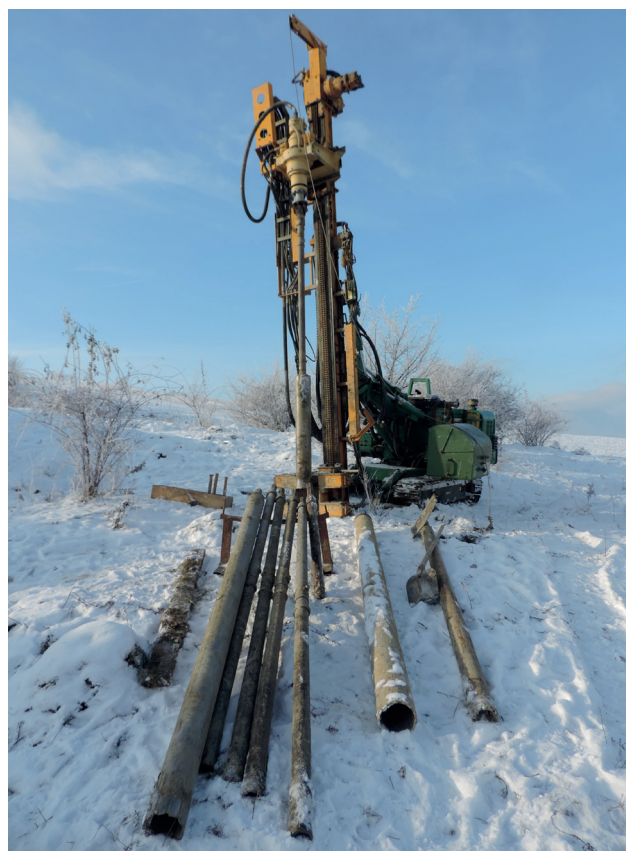
archívnych údajov boli predovšetkým správy z obhliadok zosuvov [archív oddelenia IG ŠGÚDŠ, archív oddelenia geofondu, údaje oddelenia geologických informačných systémov (www.geology.sk) a údaje (najmä o atmosférických zrážkach) SHMÚ (www.shmu.sk)].

Inžinierskogeologické mapovanie sa sústredilo najmä na výskyt a prejavy svahových deformácií a súvisiacich hydrogeologických javov. Kvôli mapovému zobrazeniu javov sa vychádzalo zo značiek na zobrazenie javov v zmysle smernice MŽP SR č. 1/1996-3.2 na zostavovanie inžinierskogeologických máp zo dňa 15. 3. 1996.

V priebehu riešenia geologickej úlohy sa priebežne vykonávala **geologická dokumentácia** doplnená o fotografickú dokumentáciu. Súčasne bol zdokumentovaný opis a vyznačenie odberov vzoriek. Súčasťou geologickej dokumentácie sú aj zápisy z vytýčenia technických prác, záznamy o vyradení hmotnej dokumentácie, prevádzkových záznamy realizácie vrtov (vrtné denníky), výsledky laboratórnych rozborov a skúšok a pod.

Na priame overovanie inžinierskogeologických a hydrogeologických pomerov sa realizovali **technické práce**. Inžinierskogeologické vrty sa robili s výnosom vrtného jadra. Prevažná časť bola bez vystrojenia. Na vybraných lokalitách boli niektoré inžinierskogeologické vrty zabudované ako inklinometrické alebo piezometrické, a to:

- na lokalite Liptovská Štiavnica 5 inklinometrických vrtov (obr. 2) a 4 piezometrické vrty,
- na lokalite Orovnica 2 piezometrické vrty.



Obr. 2. Realizácia inklinometrického vrtu na lokalite Liptovská Štiavnica (foto: E. Mašlár).

Fig. 2. Implementation of an borehole inclinometer at the Liptovská Štiavnica site.

Tab. 2. Rozsah technických prác realizovaný v rámci jednotlivých prieskumných lokalít.

Tab. 2. Scope of technical works carried out within individual surveyed sites.

Názov lokality	Vrtné práce		Kopané sondy		Dynamické penetračné skúšky	
	počet [ks]	[m]	počet [ks]	[m]	počet [ks]	[m]
Babín	1	10	1	4		
Liptovská Štiavnica	9	145				
Mojšova Lúčka	8	100				
Lodno	1	6	1	4	3	15,5
Brehy-Močarina	2	18	2	4	5	33,5
Lipovany 2	6	50				
Orovnica	4	48				
Krivany	1	8			1	4,0
Matysová	3	20			3	14,0
Bajerovce 1	2	16				
Rožkovany	3	30			2	16,8
Vyškovce	3	30			3	16,0
Bardejov – Postajok, Gróner	1	8	1	4		
Spolu:	44	489	5	16	17	99,8

S prihliadnutím na dostupnosť terénu (sklonové pomery) sa ako prieskumné diela realizovali aj kopané sondy a dynamické penetračné skúšky. Prehľad počtu a rozsahu technických prác je uvedený v tab. 2.

Vzorkovacie práce zahŕňali odbery vzoriek zemín (porušených a neporušených) z vrtného jadra a kopaných sond a vzoriek podzemnej vody. Z celkového počtu 134 vzoriek bolo odobratých 81 porušených vzoriek, 39 neporušených vzoriek a 14 vzoriek vody.

Laboratórne práce sa vykonávali s cieľom stanovenia fyzikálno-mechanických vlastností zemín a chemického zloženia podzemnej vody a zistenia jej agresívnych vlastností pôsobiacich na oceľ a betón. V tabuľke 3 je uvedený druh a rozsah laboratórnych rozborov a šmykových skúšok na vzorkách zemín a počet rozborov vody.

V rámci **geodetických** meraní sa na jednotlivých lokalitách urobilo geodetické (polohopisné a výškopisné) vytyčenie a zameranie všetkých realizovaných technických diel (celkovo 66 vrtov, kopaných sond a dynamických penetračných skúšok) a geodetické zameranie stabilných a geofyzikálnych profilov. S cieľom vyhotovenia mapového topografického podkladu potrebného na zostavenie inžinierskogeologickej mapy, presnú lokalizáciu svahových deformácií a návrh sanačných opatrení sa uskutočnilo geodetické zameranie územia svahových deformácií a ich širšieho okolia v podrobných mierkach. Na lokalite Babín sa urobilo aj geodetické vytyčenie a zameranie realizovaných okamžitých protihavarijných opatrení.

Cieľom **geofyzikálnych** meraní bolo spresniť geologickú stavbu prostredia v miestach profilov, určiť hrúbku a charakter kvartérnych zemín, lokalizovať priebeh predkvartérneho podložja a zistiť jeho litologický charakter, určiť zosuvné šmykové plochy a zóny svahových deformácií a určiť miesta priebehu vertikálnych poruchových zón (tektonických línii). Geofyzikálne práce s celkovým rozsahom 970 m profilovania prebiehali na lokalitách Babín,

Lodno, Brehy-Močarina, Rožkovany a Vyškovce. Bola použitá metóda elektrickej odporovej tomografie (ERT). Interpretácia meraní sa spresňovala na základe vyhodnotenia prieskumných diel.

Tab. 3. Druh a rozsah realizovaných laboratórnych prác z jednotlivých prieskumných lokalít.

Tab. 3. Type and scope of performed laboratory works for individual surveyed sites.

Názov lokality	Rozbor porušenej vzorky [ks]	Rozbor neporušenej vzorky [ks]	Krubicová šmyková skúška reziduálna [ks]	Rozbor vody [ks]
Babín	3	2	1	1
Liptovská Štiavnica	16	8	8	2
Mojšova Lúčka	11	6	4	2
Lodno	3	2	2	1
Brehy-Močarina	8	2	2	1
Lipovany 2	10	2	2	2
Orovnica	6	2	2	0
Krivany	3	1	1	0
Matysová	4	2	2	1
Bajerovce 1	4	2	2	1
Rožkovany	7	3	3	1
Vyškovce	3	6	1	1
Bardejov – Postajok, Gróner	3	1	1	1
Spolu	81	39	31	14

Stabilitné výpočtové hodnotenie svahových deformácií vychádzalo zo zostrojených rezov svahovými deformáciami. Na výpočet stability sa využívali vstupné informácie ako geometrický tvar šmykovej plochy, objemová hmotnosť zemín nad šmykovou plochou, pevnostné vlastnosti zemín, úroveň hladiny podzemnej vody a jej napätosť, ktoré boli získané z výsledkov terénnych a laboratórnych prác. Výpočty stability svahových deformácií sa robili rôznymi výpočtovými metódami, ktoré sú uvedené v tab. 4.

Tab. 4. Použité metódy výpočtov stability svahov postihnutých svahovými deformáciami.

Tab. 4. Methods used for calculating the stability of slopes affected by slope deformations.

Lokalita	Metóda výpočtu stability svahovej deformácie
Babín	Sarma
Liptovská Štiavnica	Morgestern – Price
Mojšova Lúčka	Sarma
Lodno	Sarma
Brehy-Močarina	Bishop
Lipovany 2	Sarma
Orovnica	Sarma
Krivany	Sarma, Spencer
Matysová	Sarma
Bajerovce 1	Sarma
Rožkovany	Sarma, Spencer
Vyškovce	Petterson
Bardejov – Postajok, Gróner	Petterson

Záverečná správa (Mašlár et al., 2019) dokumentuje výsledky riešenia geologickej úlohy. Súčasťou záverečnej správy úlohy sú čiastkové záverečné správy inžinierskogeologických prieskumov svahových deformácií na jednotlivých lokalitách.

3. Výsledky

3.1. Aktualizované geologické poznatky

Realizované prieskumné práce v rámci riešených 13 lokalít doplnili a spresnili poznatky o geologickej stavbe. Geologické pomery boli overené priamo realizáciou vrtných prác, prípadne kopaných sond. Na základe ich geologickej dokumentácie bolo možné určiť zastúpenie, hrúbku a litologický charakter jednotlivých genetických typov kvartérnych sedimentov, hĺbku a litologický charakter predkvartérneho podložja. Tieto údaje o geologických pomeroch boli súčasťou východiskových informácií pri hodnotení inžinierskogeologických pomerov území určených na prieskumy. Určiť litologické rozhrania dopomohla aj realizácia dynamických penetračných sond. Geologické pomery sa spresňovali aj geofyzikálnymi prácami. V rámci

vytýčených profilov sa líniovo overovala hrúbka a rozhrania vrstiev zemín kvartérnych sedimentov a bol lokalizovaný priebeh úrovne predkvartérneho podložja. V tabuľke 5 je uvedená charakteristika geologického prostredia skúmaných svahových deformácií so spresnením charakteristiky kvartérnych zemín získanej z prieskumných prác na jednotlivých lokalitách.

3.2. Hydrogeologické poznatky

Charakteristiku hydrogeologických pomerov, dôležitých vo vzťahu k hodnoteniu území z hľadiska svahových deformácií na jednotlivých lokalitách, poskytli predovšetkým výsledky dokumentácie vrtných prieskumných prác. Nimi sa overovala prítomnosť, hĺbka a úroveň narazenej a ustálenej hladiny podzemnej vody. Následne v širších priestorových súvislostiach bol interpretovaný priebeh úrovne hladín podzemnej vody a hydraulická spojitosť podzemnej vody s povrchovým tokom, prípadne medzi zvodnenými horizontmi.

Geologické prostredie svahových deformácií, zastúpené vysokým podielom jemnozrnnej frakcie zosuvných kvartérnych zemín, je charakterizované nízkymi hodnotami hydraulických parametrov. Napríklad na lokalite Rožkovany sa z kriviek zrnitosti výpočtami zistili koeficienty filtrácie podľa Hazena a Bayera, resp. Koženého, pohybujúce sa v prípade jemnozrných zemín triedy F6 rádoovo od 10^{-10} až do 10^{-9} m · s⁻¹ a v prípade zemín triedy F2 rádoovo 10^{-9} m · s⁻¹.

Obdobie, ktoré predchádzalo realizácii prieskumov na lokalitách, bolo charakterizované nízkym úhrnom atmosférických zrážok. Napríklad priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok na zrážkomernej stanici Jakubovany (v blízkosti lokalít Krivany a Rožkovany) bol v porovnaní s rokmi 2010 a 2013 až 2017 v roku 2018 najnižší. Táto skutočnosť sa odrazila aj na hodnotení hydrogeologických pomerov prieskumných lokalít.

V rámci prieskumov na lokalitách bol zaznamenaný veľmi nízky stav úrovni hladín podzemnej vody v prieskumných vrtoch. Na viacerých lokalitách na niektorých vrtoch nebola zaznamenaná hladina podzemnej vody, a to na lokalitách Liptovská Štiavnica, Mojšova Lúčka, Lipovany 2, Matysová a Rožkovany. Na niektorých lokalitách sa technickými prácami nezistila aktuálne žiadna prítomnosť podzemnej vody (lokality Orovnica, Krivany a Bardejov – Postajok a Gróner), prípadne sa zistilo iba presakovanie, resp. slzenie podzemnej vody (lokality Lodno a Vyškovce).

Na väčšine prieskumných vrtoch bola overená hladina podzemnej vody so vztlakovými účinkami (s prejavom napätej hladiny), čo je významná skutočnosť z hľadiska jej negatívneho účinku na stabilitu svahových deformácií. Výnimkou sú lokality Babín a Bajerovce 1 s identifikovanou voľnou hladinou podzemnej vody. Vyššia miera napätosti hladín podzemnej vody (2 – 2,5 m) bola overená na niektorých vrtoch na lokalitách Liptovská Štiavnica a Mojšova Lúčka. Maximálny vztlak 3,3 m sa zistil na lokalite Liptovská Štiavnica. Je potrebné zdôrazniť, že zistené hodnoty vztlaku zodpovedajú obdobiu s nízkym

Tab. 5. Geologické prostredie v oblastiach svahových deformácií.

Tab. 5. Characteristics of the geological environment in areas of slope deformations.

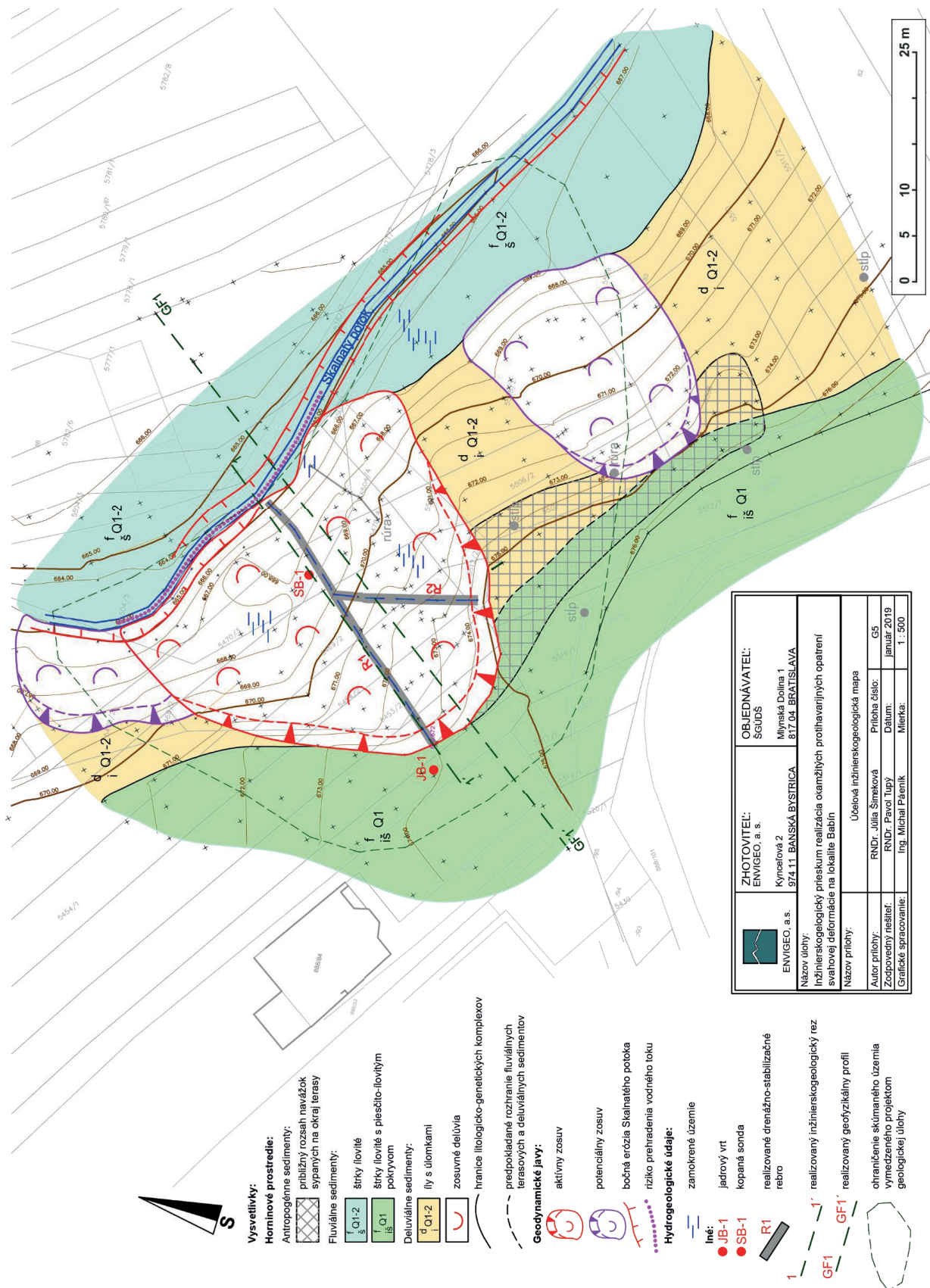
Názov lokality	Geologické prostredie v oblastiach svahových deformácií					
	Predkvartérne					Kvartérne
	Predkvartérny geologický útvar	Tektonická jednotka (skupina)	Súvrstvie	Vek	Litologická charakteristika	Charakteristika
Babín	vonkajšie flyšové pásmo	magurský príkrov, oravskomagurská faciálno-tektonická jednotka	malcovské súvrstvie	eocén – oligocén	sivé vápnné ílovice a pieskovce s vložkami ílovcov menilitového typu	– zosuvné deluviálne sedimenty – ílovité zeminy, – zosunuté antropogénne navážky, – fluviaálne sedimenty strednej terasy nad odlučnou hranou zosuvu, – ílovité štrky s pokryvom piesčitého ílu v hrúbke 1,0 m**
Liptovská Štiavnica	vnútrokarpatský paleogén	podtatranská skupina	hutianske súvrstvie	eocén – oligocén	ílovice v absolútnej prevahe nad pieskvcami a zlepcami*	– zosuvné deluviálne sedimenty – ílovité a siltovité zeminy s úlomkami ílovcov a pieskvcov, – zosunuté antropogénne sedimenty zastúpené ílovitými štrkami
Lodno	vonkajšie flyšové pásmo	magurský príkrov, bystrická faciálno-tektonická jednotka	zlínske súvrstvie	eocén	bystrické vrstvy: vápnné glaukonitické pieskovce, drobové pieskovce, arkózové pieskovce, slieň, lastúrnaté rozpadavé vápnné bystrické ílovice (flyš)	– zosuvné deluviálne ílovité zeminy a ílovito-kamenité sutiny
Mojšova Lúčka	vnútrokarpatský paleogén	podtatranská skupina	hutianske súvrstvie	eocén – oligocén	ílovice v absolútnej prevahe nad pieskvcami a zlepcami*	– zosuvné deluviálne ílovité sedimenty, – štrkovité sedimenty zosunutých reliktov vysokých náplavových kužeľov, – fluviaálne sedimenty Straňavského potoka – piesčité íly ***
Brehy-Močarina	neovulkanity	andezitové vulkanity stredného Slovenska	formácie: I. etapa vývoja štiavnického stratovulkánu	stredný miocén	extruzívne dómy a krátke hrubé prúdy hyperstenicko-amfibolických andezitov	– zosuvné deluviálne sedimenty – íly a piesčité íly, – fluviaálne štrkovité sedimenty obecného potoka***
Lipovany 2	neogén	–	bukovinské súvrstvie	miocén	bukovinské súvrstvie: štrky, piesky, pestré íly*	– zosuvné deluviálne ílovité a siltovité zeminy
Orovnica	neovulkanity	andezitové vulkanity stredného Slovenska	formácie: I. etapa vývoja štiavnického stratovulkánu	stredný miocén	lávové prúdy augiticko-hyperstenických andezitov a lávové brekie pyroxenických andezitov	– zosuvné deluviálne ílovité sedimenty
Bajerovce 1	vnútrokarpatský paleogén	podtatranská skupina	hutianske súvrstvie	eocén – oligocén	ílovice v absolútnej prevahe nad pieskvcami a zlepcami	– zosuvné deluviálne íly, piesčité íly, štrkovité íly
Bardejov – Postajok, Gróner	vonkajšie flyšové pásmo	magurský príkrov, bystrická faciálno-tektonická jednotka	zlínske súvrstvie	eocén	bystrické vrstvy: zväzky vrstiev drobových pieskvcov magurského typu	– zosuvné deluviálne íly, piesčité íly, štrkovité íly
Krivany	vnútrokarpatský paleogén	podtatranská skupina	hutianske súvrstvie	eocén – oligocén	ílovice v absolútnej prevahe nad pieskvcami a zlepcami	– zosuvné deluviálne ílovité sedimenty s úlomkami ílovcov a pieskvcov
Matysová	vonkajšie flyšové pásmo	magurský príkrov, oravskomagurská faciálno-tektonická jednotka	raciborské súvrstvie	eocén – oligocén	vápnné ílovice, pieskovce (flyš)	– zosuvné deluviálne sedimenty – íly, piesčité a štrkovité íly až ílovité štrky, – fluviaálne ílovité štrky až štrkovité íly potoka Lipník***
Rožkovany	vnútrokarpatský paleogén	podtatranská skupina	hutianske súvrstvie	eocén – oligocén	ílovice v absolútnej prevahe nad pieskvcami a zlepcami	– zosuvné deluviálne ílovité zeminy s premenlivým obsahom úlomkov pieskvcov a ílovcov
Vyškovce	vonkajšie flyšové pásmo	magurský príkrov, račianska faciálno-tektonická jednotka	zlínske súvrstvie	eocén	všetínske vrstvy: bystrické ílovice, pieskovce s glaukonitom, arkózové pieskovce a zlepenca (flyš)	– zosuvné deluviálne ílovité zeminy s nepravidelným výskytom úlomkov pieskvcov, s častou prímiesou piesčitej frakcie

Vysvetlivky:

* zasiahnuté svahovou deformáciou

** nezasiahnuté svahovou deformáciou, ale dotujú teleso svahovej deformácie podzemnou vodou

*** v podloží akumuláčnej časti svahovej deformácie



Obr. 3. Inžinierskogeologická mapa lokality Babin.
 Fig. 3. Engineering geological map from the locality Babin.

Tab. 8. Prehľad faktorov zapríčínujúcich vznik svahových deformácií na skúmaných lokalitách.

Tab. 8. Overview of the factors causing slope deformations in the investigated localities.

Názov lokality	Faktory vzniku svahových deformácií									
	Prírodné faktory						Antropogénne faktory			
	nadmerné zrážkové úhrny ^{*1}	bočná erózia povrch. toku ^{*2}	dotácia povrch. vody do zosuvu	prestup podz. vody z vyšších terás	geotech. pomery	sklonové pomery	prítlačovanie hornej časti svahu	podkopanie päty svahu	dotácia povrch. vody z infraštruktúry	morfologické zmeny terénu vplyvom využitia krajiny
Babín	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	
Liptovská Štiavnica	✓				✓			✓		
Mojšova Lúčka	✓		✓	✓	✓			✓		
Lodno	✓				✓	✓				
Brehy-Močarina	✓				✓			✓		
Lipovany 2	✓			✓	✓					
Orovnica	✓				✓		✓			
Krivany	✓	✓	✓		✓				✓	
Matysová	✓				✓					✓
Bajerovce 1	✓	✓			✓				✓	
Rožkovany	✓				✓			✓		✓
Vyškovce	✓				✓					
Bardejov – Postajok, Gróner	✓				✓	✓		✓		

Vysvetlivky:

*1 a následne vyvolaná zvýšená saturácia horninového prostredia a zhoršenie hydrogeologických pomerov

*2 vyvolaná vysokými zrážkovými úhrnmi



a)



b)

Obr. 4. Plošná svahová deformácia na lokalite Lodno so stavom v roku: a) 2011 (foto: P. Liščák), b) 2018 (foto: E. Mašlár).

Fig. 4. Planar slope deformation at the locality Lodno, situation in: a) 2011 (Photo: P. Liščák), b) 2018 (Photo: E. Mašlár).

Informácie o inžinierskogeologických pomeroch územia poskytla dokumentácia z inžinierskogeologických vrto-
tov a kopaných sond, doplnená o výsledky laboratórných rozborov zemín a vôd. Dynamické penetračné skúšky umožnili získať údaje o litologických rozhraniach v skúmanom geologickom profile a výpočtové inžinierskogeologické charakteristiky zemín.

Inžinierskogeologické pomery územia v plošnom rozsahu vyjadrujú inžinierskogeologické mapy zostavené v rámci jednotlivých prieskumných lokalít. Prehľad plošného rozsahu mapovania poskytuje tab. 6.

Na obrázku 3 je uvedený príklad zostavenia inžinierskogeologickej mapy na lokalite Babín.

Svahové deformácie majú vlastnú špecifikáciu tak z hľadiska plošného rozšírenia a tvarovej charakteristiky, ako aj genetickej príslušnosti v rámci geologického prostredia a litologickej charakteristiky zosuvných zemín. Prehľadná charakteristika svahových deformácií zistená prieskumnými prácami je uvedená v tab. 7.

Skúmané svahové deformácie majú prevažne plošný charakter (obr. 4). Vznik frontálnych svahových deformácií bol dokumentovaný v súvislosti s existenciou líniových morfológických prvkov, a to erózných zárezov povrchových tokov (lokality Krivany a Bajerovce 1) a zárezu cesty (lokality Bardejov – Postajok a Gróner). Frontálne zosuvy sú však z hľadiska plošného rozmeru veľmi malé. Najmenej početné zastúpenie majú prúdové zosuvy, no najväčší zosuv z riešených svahových deformácií je práve prúdového charakteru a bol skúmaný na lokalite Liptovská Štiavnica. Svahové deformácie z hľadiska ich plošného rozsahu sú prevažne malé alebo veľmi malé.

Posudzované svahové deformácie zasiahli šmykovou plochou prostredie deluviálnych zemín (D), niekde však zasahujú aj do geneticky odlišného geologického prostredia, a to:

- v hornej časti svahových deformácií na lokalite Liptovská Štiavnica do vnútrokarpatského paleogénu zastúpeného ílovcami s absolútnou prevahou nad pieskocami [Si(p)],
- na lokalite Mojšova Lúčka v hornej časti svahovej deformácie do terasových proluviálnych sedimentov – reliktov vysokého náplavového kužeľa (Ft) a v podloží do vnútrokarpatského paleogénu (Sp-i_{podl}) zastúpeného ílovcovo-pieskovcovým súvrstvom s výraznou prevahou pieskocov,
- na lokalite Lipovany 2 v podloží do neogénnych, prevažne ílovitých zemín (Ni_{podl}).

Z hľadiska charakteru zosuvného materiálu prevažuje výskyt jemnozrnných zemín. Najväčšie zastúpenie majú íly so strednou plasticitou s označením (trieda a symbol) F6 CI.

Na skúmaných lokalitách boli identifikované viaceré prírodné a antropogénne faktory zapríčiňujúce vznik svahových deformácií. Prehľad príčin vzniku svahových deformácií na jednotlivých lokalitách uvádza tab. 8.

Zrážkové úhrny ako primárna príčina vzniku svahových deformácií dosahovali v čase vzniku, resp. aktivácie svahových deformácií anomálne hodnoty.

3.4. Stabilitné posúdenie svahových deformácií

Na všetkých skúmaných lokalitách sa rôznymi výpočtovými metódami na inžinierskogeologických rezoch (obr. 5) určoval stupeň stability svahových deformácií. V tabuľke 9 je uvedený prehľad výsledkov výpočtov stability zosuvných svahov vykonávaných na jednom, resp. dvoch výpočtových profiloch (s označením 1., resp. 2. výpočtový profil) v rámci jednotlivých prieskumných lokalít.

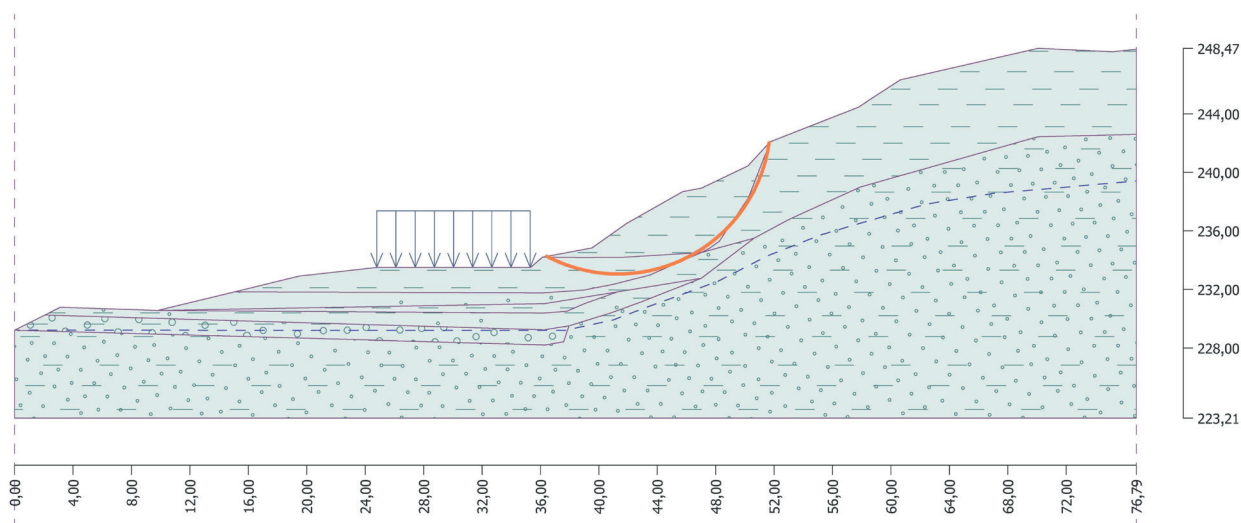
3.5. Okamžité protihavarijné opatrenia

Okamžité protihavarijné opatrenia sa realizovali na lokalite Babín. Ich cieľom bolo zvýšiť stabilitu svahovej deformácie a tým znížiť jej negatívny vplyv na využitie územia.

Bolo vybudované vetvené drenážno-stabilizačné rebro (s dĺžkou 46 m) s odvedením vody mimo zosuvného územia do miestneho recipienta. Výkopové práce a zasypanie rebra priepustným štrkovým materiálom sa vykonali „kráčajúcim“ bagrom zn. Menzi Muck (obr. 6). Hlavná vetva rebra dosahuje dĺžku 31,5 m a hĺbku zhruba do 1,5 – 1,8 m. Bočná vetva dosahuje dĺžku 14,5 m a hĺbku asi 1,5 – 2,0 m. Jeho vybudovanie zvýšilo stabilitu svahovej deformácie, čo potvrdili aj výpočty. Svahovú deformáciu však aj naďalej možno považovať za nestabilnú a je nutné realizovať sanačné opatrenia.

3.6. Ideový návrh sanačných opatrení

Súčasťou vyhodnotenia inžinierskogeologických prieskumov svahových deformácií sú ideové návrhy sanačných



Obr. 5. Príklad výpočtového stabilitného rezu na lokalite Brehy-Močarina.

Fig. 5. Example of computational stability section at the locality Brehy-Močarina.

Tab. 9. Výsledky výpočtu stupňa stability na prieskumných lokalitách.
 Tab. 9. Results of the degree of stability calculations at surveyed sites.

Lokalita	Stupeň stability podľa uvažovania úrovne hladiny podzemnej vody										Počet výpočt. šmyk. plôch na profiloch				
	bez		s uvažovaním v čase prieskumu (veľmi suché obdobie)		s predpokladanou zvýšenou		s maximálnou		po realizácii sanačných opatrení						
	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.					
	výpočtový profil														
Babín	1,10						0,87					0,93*1			1
Liptovská Štiavnica				1,44 – 1,50	1,35 – 1,63								1,28 – 1,29	1,26 – 1,42	2/2
Mojšova Lúčka – záhradkárska osada Pod vrchom	1,53 1,62 – 1,70*3			1,35 1,34 – 1,39*3			0,99 1,12*3								1/2
Mojšova Lúčka-Hyrov 1	1,67 1,42 – 2,0*3			1,91*3			1,04 1,1 – 1,22*3								1/2
Lodno	1,09 1,10*3						0,99 1,02*3								1/1
Brehy-Močarina				0,92 – 1,37	0,87 – 1,54*2					0,74 – 1,11	0,87 – 1,52*2				4/4
Lipovany 2				1,71 – 2,07	1,19 – 1,41					1,18 – 1,45	0,94 – 1,09				4/4
Orovnica				0,78 – 1,69						0,69 – 1,76					6
Krivany	1,12 – 1,13									0,83 – 0,92					1
Matysová	0,99	1,00					0,99	1,00		0,83	0,77				1/1
Bajerovce 1	1,04			1,04			1,02			0,75					1
Rožkovany	1,01 – 1,2			1,01 – 1,2						0,73 – 0,87					2
Výskovce	1,18 – 1,21 1,39*3						0,68 – 1,14 1,08 – 1,32*3			0,51 – 0,55 0,67*3					3/1
Bardejov – Postajok, Gróner	1,2						1,02 – 1,14			0,81					1

Přsvětivky:

*1 – po realizácii okamžitých protihavarijných opatrení

*2 – na profile v potenciálnom zosuvnom území

*3 – na rovnomernom profile v dosahu potenciálneho zosuvu

Tab. 10. Návrh sanácie svahových deformácií na prieskumných lokalitách.
 Tab. 10. Proposed methods for remediation of slope deformations at surveyed sites.

Názov lokality	SANAČNÉ OPATRENIA																							
	STABILIZAČNÉ						ODVODŇOVACIE						ZEMNÉ						OSTATNÉ					
	opory (gabióny) múr	zárubný múr na mikropilótach	kotvená pilótová/mikropilótová stena	príťaženie páty svahu	stabilizačná konštrukcia v čele zosuvu	drenážno-stabilizačné rebro	subhorizont. odvodňovacie vrtý	podpovrch. drenážne rhyhy	odvodňovacie povrch. dreňy (rigoly)	terénne úpravy	preložka transform. stožiaru	protierózne opatrenia brehu povrchového toku	úprava povrch. toku ²⁾	biorekultivácia	odstránenie nestabilných drevin	zamedzenie skládokovania odpadů na svahovej deformácii								
Babín					✓			✓	✓						✓									
Liptovská Štiavnica			✓		✓m	✓		✓																
Mojšova Lúčka – záhradkárska osada Pod vrchom				✓		✓		(✓)	✓															
Mojšova Lúčka-Hyrov 1				✓A2				✓A1	✓A1															
Mojšova Lúčka-Hyrov 2					✓																			
Lodno	✓A1				✓A1																			
Brehy-Močarina	✓			✓	✓																			
Lipovany 2					✓																			
Orovnica					✓					✓														
Krivany ¹⁾	✓							✓			✓													
Matysová	✓			✓				✓					✓											
Bajerovce 1	✓A2							✓			✓A1	✓	✓											
Rožkovany									✓				✓											
Výškovec			✓			✓						✓												
Bardejov – Postajok, Gróner		✓													✓									

Usvetlivky:

(✓) – prípadné použitie sanačnej metódy

✓A – alternatívne riešenie

✓m – s ohľadom na výsledky monitoringu

1) – potrebné zosilnenie sanačných opatrení s dokumentom „Prípojovodňové opatrenia na Krivianskom potoku v obci Krivany“

2) – potrebné realizovať v súčasnosti so správcom povrchového toku

opatrení (tab. 10), ktoré sú podkladom na následnú realizáciu sanácie geologického prostredia postihnutého svahovými deformáciami.



Obr. 6. Realizácia drenážno-stabilizačného rebra na lokalite Babín (foto: R. Jelínek).

Fig. 6. Implementation of drainage-stabilization rib in the locality Babín.

4. Záver

Realizácia inžinierskogeologických prieskumov svahových deformácií poskytla detailné údaje o inžinierskogeologických pomeroch území postihnutých svahovými deformáciami na 13 lokalitách Slovenska. Výsledky geologickej úlohy sú východiskom vypracovania projektu a následnej realizácie sanácie svahových deformácií, ktorá je potrebná na zabezpečenie stabilizácie zosuvných území a minimalizáciu ohrozenia životov, majetku obyvateľov a životného prostredia vplyvom svahových deformácií.

Kvôli potrebám zhodnotenia inžinierskogeologických pomeroz zosuvných území sa geologické prostredie skúmalo technickými prácami – vrtmi (44), kopanými sondami (5), dynamickými penetračnými sondami (17), vzorkovacími (134 vzoriek zemín a vody), laboratórnymi, geodetickými a geofyzikálnymi prácami (970 m profilovania). Inžinierskogeologické mapovanie sa uskutočnilo na celkovej ploche s rozlohou 87,04 ha.

Na monitorovanie vývoja svahových pohybov v budúcom období bolo na lokalite Liptovská Štiavnica zabudovaných 5 inklinometrických vrtov. Na sledovanie zmien úrovne hladín podzemnej vody boli na lokalite Liptovská Štiavnica zabudované 4 a na lokalite Orovnica 2 piezometrické vrty. Kvôli zníženiu negatívnych vplyvov svahovej deformácie na využitie územia a kvôli zvýšeniu jeho

stabilizácie bolo na lokalite Babín v rámci okamžitých protihavarijných opatrení vybudované vetvené drenážno-stabilizačné rebro.

Skúmané svahové deformácie majú prevažne plošný charakter, v menšom počte boli zdokumentované frontálne a prúdové zosuvy. Najväčší zosuv zo skúmaných svahových deformácií je prúdového charakteru a bol zistený na lokalite Liptovská Štiavnica. Dosah šmykových plôch bol overený na prieskumných lokalitách v hĺbke 1 až 9,4 m pod úrovňou terénu.

Vznik svahových deformácií na skúmaných lokalitách zapríčinili viaceré prírodné a antropogénne faktory. Nadmerné úhrny atmosférických zrážok boli iniciátorom aktivácie svahových deformácií v rokoch 2010 – 2011 na všetkých lokalitách. Z hľadiska stability svahových deformácií boli za obdobia s normálnym alebo zvýšeným úhrnom atmosférických zrážok na takmer všetkých hodnotených svahových deformáciách vypočítané hodnoty stupňa stability $F_s < 1$.

Zhodnotenie prieskumných prác umožnilo vypracovanie ideových návrhov sanačných opatrení, pričom takmer na všetkých skúmaných lokalitách spočívajú v kombinácii stabilizácie a odvodnenia zosuvného územia. Najčastejšie navrhovanými sanačnými opatreniami sú drenážno-stabilizačné rebrá (na 7 lokalitách) a oporné (prevažne gabiónové) múry (na 5 lokalitách).

PodĎakovanie

Príspevok vznikol na základe výsledkov projektu operačného programu *Kvalita životného prostredia, Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií – 1. etapa*, ktorý bol spolufinancovaný Európskou úniou/Európskym fondom regionálneho rozvoja (ITMS kód: 310031N709).

Autori ďakujú za cenné pripomienky recenzentom M. Bednarikovi a P. Liščákovi, ako aj vedeckému redaktori O. Pelechovi.

5. Literatúra

- Cornforth, D. H., 2005: *Landslides in practice*. Hoboken, New Jersey, John Wiley, 596 s.
- Grman, D., Boszaková, M., Magdošová, M., Ondrejka, J., Potančok, L., Syčevová, M., Takáč, P., Udič, P., Dvořák, M. a Ádámová, M., 2010: *Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v Košickom kraji*. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 22 s.
- Havčo, J., Stercz, M., Polaščinová, E., Spišák, Z. a Kopecký, M., 2010: *Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov, vzniknutých v roku 2010. Časť č. 3: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okrese Bardejov*. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 44 s.
- Jelínek, R., Liščák, P., Ondrejka, P., Šimeková, J., Olšavský, M., Dananaj, I., Pauditš, P., Bottlik, F., Gregor, M., Ilkanič, A., Tupý, P. a Jasovská, A., 2013: *Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Brusno. Záver. správa*. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 45 s.
- Liščák, P., Pauditš, P., Petro, L., Iglárová, E., Ondrejka, P., Dananaj, I., Brček, M., Baráth, I., Vlačíky, M., Németh, Z.,

- Záhorová, E., Antalík, M., Repčiak, M. a Drotár, D., 2010: Registration and evaluation of newly evolved slope failures in 2010 in Prešov and Košice regions. *Miner. Slov.*, 42, 2, 393 – 406.
- Liščák, P., Ondrejka, P., Brček, M., Dananaj I., Baráth, I., Iglárová, E. a Melicherčík, J., 2011a: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Krupina. Záver. správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 40 s.
- Liščák, P., Ondrejka, P., Dananaj, I., Gregor, M., Slaninka, I., Brček, M. a Melicherčík, J., 2011b: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Vinohrady nad Váhom – časť Kamenica. Záver. správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 48 s.
- Mašlár, E., Mašlárová, I., Liščák, P., Schmiedlová, J., Jelínek, R., Stercz, M., Pačajová, K., Stašik, L., Grech, J., Tupý, P., Bednarik, M., Boszáková, M., Debnár, J., Drozdová, M., Fabian, V., Gomolčák, M., Hajduková, J., Ilkanič, A., Jajčíštinová, S., Jasovská, A., Jasovský, Z., Kavulič, J., Kopecký, M., Magdošková, M., Masiar, R., Nigrínyová, J., Páleník, M., Potančok, L., Pramuk, V., Sláma, M., Sluka, V., Syčev, V., Šimeková, J., a Tornyai, R., 2019: Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií – 1. etapa. Záver. správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 69 s.
- Šimeková, J., Sluka, V., Smolka, M., Flimmel, J., Hajčík, J. a Šúty, P., 2010: IG prieskum havarijných zosuvov v okrese Stará Ľubovňa, časť 7. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 57 s.
- Šimeková, J., Liščák, P., Ondrejka, P., Žilka, A., Mašlárová, I., Petro, E. a Gonda, S., 2014: Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Záver. správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 33 s.
- Šimeková, J., Liščák, P., Žilka, A. a Petro, E., 2015: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Svätý Anton a sanácia havarijných zosuvov v obciach Nižná Myšľa a Šenkvice. Záver. správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 20 s.
- Tupý, P., Ilkanič, A., Bvoc, T., Kopecký, M., Gomolčák, M. a Sláma, M., 2010a: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov, vzniknutých v roku 2010. Časť č. 1: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okrese Prešov. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 111 s.
- Tupý, P., Ilkanič, A., Gomolčák, M., Scherer, S. a Bvoc, T., 2010b: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov, vzniknutých v roku 2010. Časť č. 4: Inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov v okresoch Sabinov a Stropkov. Záver. správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 105 s.

Summary

The paper summarizes the results of engineering geological survey of slope deformations performed in 13 localities: Babín, Liptovská Štiavnica, Mojšova Lúčka, Lodno, Brehy-Močarina, Lipovany 2, Orovnica, Krivany, Matysová, Bajerovce 1, Rožkovany, Vyškovce, Bardejov – Postajok and Gróner (Fig. 1). For the purpose of evaluating the

engineering geological conditions of the landslide areas, the geological environment was investigated by technical works (boreholes, trial pits, dynamic penetration probes), sampling, laboratory, geodetic and geophysical works. The field work included also the engineering geological mapping. Borehole inclinometers were installed in the locality Liptovská Štiavnica to monitor the evolution of the slope deformations in the future. Piezometric boreholes were built in the Liptovská Štiavnica and Orovnica localities to monitor changes in groundwater table levels. To reduce the negative effects of slope deformation on land use and increase its stabilization, a branched drainage-stabilization rib was implemented at the locality Babín as part of immediate anti-emergency measures. The investigated slope deformations are predominantly of translational (planar) character, in a lesser amount also frontal landslides and flow-shaped slides were documented. The largest studied slope deformation was investigated at the locality Liptovská Štiavnica and represents flow-shaped slide. The depth of the slip planes varied at the surveyed localities between 1 to 9.4 m.

The formation of the studied slope deformations was caused by several natural and anthropogenic factors, while prolonged or extreme rainfall events were the trigger of the slope deformations at all localities in the period 2010/2011. In terms of the stability of slope deformations, for periods with normal or increased total atmospheric precipitation, the values of the slope stability $F_s < 1$ were calculated for almost all studied sites.

The evaluation of the engineering geological survey works enabled preparation of draft proposals for slope deformation remediation measures. In the most of the examined localities the remediation measures are represented by the combination of stabilization and drainage measures. The most frequently proposed remediation measures are drainage-stabilization ribs and retaining (mostly gabion) walls.

The implementation of engineering geological survey of slope deformations provided detailed data on the engineering geological conditions of the areas affected by slope deformations in 13 localities in Slovakia. The results of the survey are the starting point for the project preparation and subsequent implementation of the slope deformations remediation, in order to ensure the stabilization of landslide areas and minimize the threat to life and property of inhabitants and the environment due to slope deformations.

Rukopis doručený:	7. 12. 2020
Revidovaná verzia doručená:	12. 2. 2021
Rukopis akceptovaný redakčnou radou:	29. 4. 2021