

## Zhodnotenie dlhodobého monitorovania svahových deformácií a efektívnosti sanačných opatrení na zosuvnom území Nižná Myšľa

### *Evaluation of long-term slope deformation monitoring and remedial works effectiveness at landslide area Nižná Myšľa*

PETER ONDRUS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, peter.ondrus@geology.sk

© Autori 2022. Vydal ŠGÚDŠ. Licencia Creative Commons BY 4.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)  
<https://doi.org/10.56623/gps.138.3>

**Abstrakt.** V roku 2010 došlo v Nižnej Myšli k aktivácii rozsiahlych svahových deformácií, ktorými bola postihnutá veľká časť obce. Vzhľadom na rozsah postihnutého územia, závažnosť prejavov, a najmä katastrofické následky, ktoré spôsobili v zastavanej časti obce, boli svahové poruchy v Nižnej Myšli vyhodnotené ako druhý najničivejší zosuv v zdokumentovanej histórii Slovenska. Takmer bezodkladne po ničivej udalosti nasledoval podrobný inžinierskogeologický prieskum, ktorý poskytol informácie o rozšírení a charaktere svahových deformácií a priniesol prvé výsledky monitoringu. Monitorovacie aktivity prebiehajú nepretržite až dodnes. Postupom času boli dobudované siete monitorovacích objektov potrebných na sledovanie podpovrchových deformácií a vykonávanie režimových pozorovaní hladiny podzemnej vody. Monitorovanie prinieslo rozsiahly súbor dát za dlhšie časové obdobie. Vďaka tomu je zosuvné územie Nižná Myšľa územím, kde je vybudovaná najrozsiahlejšia sieť monitorovacích objektov. Súčasne s monitorovaním prebiehala hlavná aktivita – sanácia geologického prostredia v troch na seba nadväzujúcich etapách. Cieľom tejto práce je podať komplexný prehľad o vykonaných sanačných opatreniach, o dátovom súbore z monitoringu svahových deformácií a vybraných zložiek životného prostredia, ale najmä poskytnúť súhrnné zhodnotenie informácií získaných monitorovaním a poukázať na súvislosti vývoja meraných parametrov s vykonanými technickými sanačnými opatreniami. Z pravidelne sa opakujúcej analýzy a vyhodnotenia údajov vyplýva, že za celé obdobie pozorovania najzávažnejšie vyznievajú výsledky inklinometrických meraní celkových deformácií a ich prírastkov za jednotlivé etapy merania. Územie je charakteristické aj naďalej pretrvávajúcou aktivitou rozsiahlych zosuvov, najmä v južnej časti obce, ktorá bola aj v roku 2010 najviac postihnutá a predstavuje časť centrálnej zástavby Nižnej Myšle, ale aj v severnej časti na zosuvnom svahu od Staničnej ulice vrátane areálu základnej školy až po Hlavnú ulicu. Predovšetkým do týchto oblastí smerovali aj sanačné práce počas prvej, druhej a tretej etapy sanácie zosuvného územia. Napriek pomerne veľkému rozsahu sanačných prác a na základe zhodnotenia ich účinnosti môžeme konštatovať, že územie postihnuté svahovými poruchami bolo sanované len čiastočne, v závislosti od schválených finančných prostriedkov. Aj preto možno dosiaľ vykonané sanačné opatrenia považovať za neúplné, hlavne v súvislosti s pretrvávajúcou pohybovou aktivitou v jednotlivých častiach územia. Mali by byť dobudované podľa návrhov z vykonaných geologických prác a so zohľadnením výsledkov monitorovania. Podstatnou a nanajväčš dôležitou úlohou by malo byť postupné vykonanie sanačných prác tak, aby zabezpečili stabilitu územia v čo najvyššej možnej miere, pretože zabezpečiť úplnú stabilitu územia je vzhľadom na jeho rozsiahlosť, zložitosť pomerov a charakter svahových deformácií technicky a finančne nereálne. Z dlhodobého hľadiska je potrebné, aby sa

načné práce zvýšili schopnosť územia odolávať podobným nepriaznivým klimatickým udalostiam, aké nastali v júni roku 2010.

**Kľúčové slová:** zosuvy, monitoring, sanácia, inklinometrické merania, stabilita svahu

**Abstract.** In 2010, extensive slope deformations were activated in Nižná Myšľa Village, which affected a large part of the village. Due to the extent of the affected area, the severity of the manifestations and especially the catastrophic consequences they caused in the built-up area of the village, the slope failures in Nižná Myšľa were evaluated as the second most destructive landslide event in the documented history of Slovakia. Almost immediately after the devastating event, a detailed engineering geological survey followed, which provided information on the extension, nature of slope deformations and became the basis for the design of the monitoring system. Monitoring activities have been ongoing since 2011 and continue to the present. By gradual upgrade of the monitoring objects network for monitoring subsurface deformations and for groundwater regime observations, a large data set was obtained over a longer period of time. Thanks to this, the Nižná Myšľa landslide area is one of the Slovak sites where the largest network of monitoring objects is built. At the same time by monitoring, the main activity took place – remediation of the geological environment in three successive stages. The aim of this work is to provide a comprehensive overview of the implemented remediation measures, an overview of dataset obtained from monitoring of slope deformations and selected environmental components, but mainly on the basis of these data, comprehensive evaluation of monitoring data obtained by monitoring and evaluation of the development of measured parameters with technical remediation measures. From the regularly repeated analysis of the parameters as well as from the evaluations results, the most significant results for the whole period of the site monitoring are the results of inclinometric measurements of total deformations and their increments for individual phases of measurement. The area is characterized by ongoing large-scale landslide activity, especially in the southern part of the village, which was also the most affected in 2010 and represents part of the central part of Nižná Myšľa, along with the northern part on the landslide from Staničná ulica Street, including the Elementary school area up to Hlavná ulica Street. In particular, remediation works during the first, second and third stages of the landslide remediation were directed to these areas. Despite a relatively large scope of remedy works and the evaluation of their effectiveness, the vast territory affected by slope failures was only partially rehabilitated depending on the approved funds. Therefore, even the remedial measures implemented so far are only partial, mainly in connection with the persistent movement activity in individual

parts of the territory and should be completed according to the proposals from the geological works carried out and taking into account the results of monitoring. The basic objective should be a gradual implementation of remediation work so as to ensure the stability of the territory to the greatest possible extent, as ensuring the complete stability of the territory is technically and financially unrealistic due to its extent, complexity and slope deformation character. In the long term, redevelopment work needs to increase the territory's ability to withstand similar adverse climatic events as occurred in June 2010.

**Key words:** landslides, slope monitoring, remediation, inclinometric measurements, slope stability

## 1. Úvod

Hodnotenie územia Slovenska z pohľadu výskytu geodynamických javov vyplýva z pomerne rôznorodej geomorfológie terénu v niektorých častiach územia, zložitej geologickej stavby a výskytu prírodných a antropogénnych faktorov, ktoré sú rozhodujúce pre vznik a vývoj geodynamických javov a ktorých priebeh v čase má variabilnú intenzitu.

Z regionálneho pohľadu má výskyt svahových deformácií na niektorých územiach Slovenska značné plošné rozšírenie. Od roku 1961 prebiehala systematická identifikácia svahových deformácií na našom území a výskum procesov ich vzniku a vývoja. Bola vypracovaná klasifikácia svahových deformácií vyskytujúcich sa v jednotlivých geomorfologických jednotkách s podobnou geologickou predispozíciou a podobnými mechanizmami ich vzniku a metodika na sanáciu jednotlivých typov svahových deformácií (Nemčok, 1982). Od počiatočného stavu mapovania územia z pohľadu výskytu svahových deformácií bolo zaregistrovaných 24 222 svahových deformácií rôzneho typu, najmä zosuvov, ktoré predstavujú viac ako 90 % z celkového počtu svahových deformácií. Ich plošné zastúpenie na území Slovenska predstavuje viac ako 5,25 % (Liščák et al., 2019a) a na základe podrobnejšieho mapovania vybraných území s najčastejším výskytom svahových deformácií sa ich výskyt naďalej spresňuje. Systematické spracovanie zdokumentovaných svahových deformácií vyústilo do vypracovania *Registra svahových deformácií a Atlasu map stability svahov SR*, ktoré sú uverejnené na webovom Mapovom portáli Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave (ŠGÚDŠ), a *Map náchylnosti územia na svahové deformácie*. Najväčšia pozornosť z hľadiska početnosti výskytu a priameho ohrozenia zdravia, životov a majetku je venovaná zosuvom. Dlhodobo sa vykonáva monitoring zosuvných lokalít s najväčším sociálno-ekonomickým významom, ktorý slúži ako podklad na ďalší prieskum a sanáciu svahových deformácií v rámci projektov v pôsobnosti Ministerstva životného prostredia SR (MŽP SR). Takisto realizácia najmä infraštruktúrnych projektov si vyžaduje podrobný prieskum týchto javov, zohľadnenie v procese spracovania projektovej dokumentácie, ich sanáciu a monitorovanie. V predchádzajúcich rokoch boli vykonané alebo aj v súčasnosti v rámci *Operačného programu Kvalita životného prostredia (OP KŽP)* sa riešia geologické úlohy zamerané na identifikáciu, registráciu a inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií vo vybraných regiónoch Slovenska

(Liščák et al., 2018), na inžinierskogeologický prieskum havarijných zosuvov (Mašlárová et al., 2021) a sanáciu vybraných zosuvov s najvyšším stupňom ohrozenia životov alebo majetku (Jánová et al., 2021). Na niektorých zosuvných lokalitách Slovenska dlhodobo pokračuje monitorovanie zosuvných území v rámci projektu *Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory (ČMS – GF)*. Zosuvy s vysokým sociálno-ekonomickým rizikom sa od roku 2018 monitorujú prostredníctvom geologickej úlohy *Monitoring zosuvných deformácií* (Ondrejka et al., 2018a).

Nevyhnutnosť systematickej identifikácie zosuvov, hodnotenia území z hľadiska výskytu možných svahových deformácií, ich výskum a dlhodobé monitorovanie s cieľom ich sanácie vyplýva z potreby posudzovania ohrozenia obyvateľstva a majetku geodynamickými javmi, postupmi v procese územného plánovania a v neposlednom rade aj orientovaním výstavby do náročnejšieho geologického prostredia.

Na hodnotenie zosuvného rizika, vykonávanie prieskumu a navrhovanie sanačných opatrení je nevyhnutná čo najpodrobnejšia analýza údajov získaných z doterajších úloh a projektov. Komplexným spôsobom sa podrobne preskúmali, prípadne sanovali alebo dlhší čas monitorovali zosuvy, ktoré mali katastrofálne následky alebo priamo ohrozujú obyvateľstvo alebo objekty (existujúce budovy, líniové stavby), resp. znemožňujú plánované využitie územia. Ako príklad možno uviesť zosuv v Kapušanoch postihujúci viacero rodinných domov, z ktorých niektoré boli neobývatel'né (Jánová et al., 2021) a museli byť asanované. Príkladom zosuvu, ktorý podstatným spôsobom ovplyvňuje prebiehajúcu výstavbu diaľničnej siete, je zosuv na západnom portáli tunela Čebrať pri Hrboltovej (miestna časť Ružomberka), ktorý si vyžiadala zmenu trasy diaľnice a zmenu projektového riešenia tunelových objektov (Šembera et al., 2018). Jedným z faktorov, ktorý výrazne ovplyvňuje plánované trasovanie úseku diaľnice D1 v tomto území, je aj skalný zosuv aktivovaný v roku 2013 na svahu pri obci Kral'ovany (Kuvik et al., 2014).

Za výnimočné obdobie z hľadiska vzniku svahových deformácií možno považovať jaré obdobie roku 2010. Vplyvom mimoriadne vysokých úhrnov zrážok sa aktivovalo veľké množstvo zosuvov, najmä na východnom Slovensku. Tieto zosuvy ohrozením zástavby obcí alebo cestných komunikácií vyvolali havarijné stavy alebo mimoriadne situácie (Liščák et al., 2010). Jedným z najlepších zdokumentovaných a podrobne sledovaných zosuvov bol aj katastrofálny zosuv v obci Nižná Myšľa, ktorý sa reaktivoval v roku 2010 v mieste existujúcich potenciálnych zosuvov. Tri parciálne aktivované zosuvy mali za následok deštrukciu desiatok obytných domov a zničenie inžinierskych sietí a komunikácií. Táto havarijná situácia si vyžiadala realizáciu okamžitých havarijných opatrení, podrobný prieskum, sanáciu zosuvných svahov a rozsiahly monitoring celého zosuvného územia v obci. Komplexné zhodnotenie východiskového stavu stabilitných pomerov územia s údajmi o aktivite svahových pohybov, účinku vybudovaných sanačných opatrení spolu s porovnaním zozbieraných dát pri dlhodobom monitoringu môže podať obraz o spôsobe riešenia stabilitných pomerov aktívneho

zosuvu. Výsledkom by mali byť odporúčania ďalších potrebných sanačných opatrení a návrh sledovania účinnosti sanácie.

## 2. Cieľ práce

Tento článok si kladie za cieľ vykonať analýzu výsledkov monitoringu za roky 2011 – 2018 (v tomto období sa lokalita Nižná Myšľa monitorovala prostredníctvom geologickej úlohy *Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory*) vo vzťahu k jednotlivým etapám sanačných prác a odporučiť ďalší postup možného zlepšenia stability územia. Dostatočnosť vybudovaných sanačných opatrení musí byť naďalej preukázaná dlhodobým monitoringom, plošne pokrývajúcim celé zosuvné územie. To bude predpokladom modelovania správania územia pri mimoriadnych klimatických a geologických udalostiach, ako sú napríklad mimoriadne úhrny zrážok alebo seizmické otrasy. Sledovanie dlhodobej aktivity zosuvov by malo viesť k zhodnoteniu potreby vybudovania systému včasného varovania obyvateľstva pri zaznamenaní prekročenia kritických ukazovateľov aktivity svahových pohybov.

## 3. Stručná geologická a inžinierskogeologická charakteristika územia

Posudzované územie s výskytom aktívnych svahových deformácií, ktoré v lete 2010 spôsobili havarijnú situáciu priamo v zastavanej časti obce vrátane jedného z najničivejších zosuvov v histórii Slovenska vôbec, sa nachádza v južnej časti Košickej kotliny na južnom výbežku Toryskej pahorkatiny označovanom ako Varhaňovský chrbát, medzi poriečnymi nivami vodných tokov Hornádu a Olšavy (Laurenčík et al., 2015). Varhaňovský chrbát je morfológická vyvýšenina neogénneho vulkanicko-sedimentárneho komplexu sarmatského veku. Vytvára tektonickú štruktúru s výzdvihovým charakterom formovanú zlomovými štruktúrami, pričom obmedzujúce zlomy prebiehajú dolinou rieky Torysa a na ľavej strane doliny rieky Olšava. Prevažnú väčšinu chrbta tvorí stretavské súvrstvie (íly, ílovce a prachovce s polohami štrkov, pieskov a ryolitových tufov). Na západnom a severovýchodnom okraji výbežku Varhaňovského chrbta vystupujú polohy redeponovaných stredno- až hrubozrnných ryolitových tufov a tufitov a epiklastické vulkanické pieskovce stredného sarmatu (*Geologická mapa Slovenska M 1 : 50 000, 2013*). Neogénne sedimenty zväčša na povrch nevystupujú, ale sú prekryté kvartérnymi sedimentmi delúvií, prevažne charakteru ílu, piesčitého ílu a ílovitého piesku, v malej miere aj prolúviálnymi náplavami. Západná časť obce má prevažne rovinatý charakter poriečnej nivy. Budujú ju najmladšie fluviálne náplavy Torysy (hlinité sedimenty s horizontom nivných pôd, piesčité íly). Bázu tvoria štrky dnovej výplne (Kaličiak et al., 1996a).

Z hľadiska inžinierskogeologickej rajonizácie patrí centrálna a východná časť obce Nižná Myšľa, kde vystupuje stretavské súvrstvie v ílovito-siltovitom vývoji s polohami štrkov, pieskov a ryolitových tufov, do rajónu Nk – Rajón striedajúcich sa jemnozrnných až štrkovitých sedimentov molasovej formácie, resp. do rajónu Ve – Rajón

epiklastických hornín rajónu neovulkanitov (tufy a tufity). Fluviálne náplavy Torysy a Olšavy patria do rajónu Fn – Rajón náplavov nížinných tokov (<http://apl.geology.sk/temapy/> – *Mapa inžinierskogeologických rajónov Slovenska 1 : 50 000*). Medzi najvýznamnejšie geodynamické javy tohto územia sa zaraďujú svahové deformácie, neotektonické poruchy, seizmicita a výmoľová erózia. Svahy budované kvartérnymi a neogénnymi sedimentmi, resp. vulkanicko-sedimentárnymi horninami sú často postihnuté svahovými poruchami rôzneho tvaru a plošného rozsahu, s rôznou hĺbkou priebehu šmykovej plochy a rôznou aktivitou (Kaličiak et al., 1996b). Tieto svahové poruchy budú predmetom podrobnejšieho opisu v nasledujúcich kapitolách. Na vznik geologickej stavby územia priaznivej pre vývoj svahových deformácií majú vplyv najmä zlomy aktívne v kvartéri, ktoré boli buď reaktivované na starších poklesových neogénnych zlomoch, alebo vznikli v kvartéri. Medzi najmladšie tektonické línie, ktoré vymedzujú čiastkové hrasťové štruktúry v rámci Košickej kotliny, patria zlomy s.-j. smeru prebiehajúce dolinami Torysy a Olšavy. Zlom v doline Torysy spôsobujúci výzdvih Varhaňovského chrbta (Janočko, 1989, ex Kaličiak et al., 1996b) vytvoril predispozíciu na abráznu činnosť rieky Torysa v päte vyvýšeniny Varhaňovského chrbta a tým aj podrezávanie svahu a vznik svahových deformácií.

Územie katastra obce Nižná Myšľa z hľadiska seizmického ohrozenia patrí do oblasti s hodnotou referenčného špičkového seizmického zrýchlenia  $agR = 0,40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  na podloží A. Ide o skalné podložie alebo inú geologickú formáciu, ktorá môže obsahovať najviac 5 m menej tuhého materiálu v povrchovej vrstve (STN EN 1998-1/NA/Z2).

Eróznymi ryhami ako prejavom aktívnej výmoľovej erózie sú v pahorkatinnom reliéfe krajiny najviac postihnuté svahy budované ílovito-štrkovitými, málo spevnenými neogénnymi horninami (Kaličiak et al., 1996b).

Z hydrogeologického hľadiska má stretavské súvrstvie obmedzenú medzizrnnú priepustnosť. V dôsledku prevládajúcich jemnozrnných hornín (íl, ílovec, siltovec) a nesúvislého vývoja kolektorov v tomto prostredí nie sú vhodné podmienky na formovanie významnejších akumulácií podzemnej vody. Striedanie priepustných a nepriepustných polôh vo vertikálnom i horizontálnom smere je príčinou vzniku niekoľkých etážovo usporiadaných, často nesúvislých, občasných aj trvalejších zvodní s voľnou i napätou hladinou. V zóne aerácie v hĺbke 0,5 až 6 m sa miestami zistilo slzenie podzemnej vody, miestami aj zavesené zvodne sčasti s voľnou hladinou, sčasti s mierne napätou hladinou, s výstupom o 0,8 až 2,6 m. Hlbšie zvodne, miestami s voľnou, miestami s napätou hladinou (s výstupom o 2 až 10 m), sa nachádzajú v hĺbke 7 až viac ako 25 m (Laurenčík et al., 2015).

## 4. Svahové deformácie v katastri obce Nižná Myšľa

Okrem prác regionálneho geologického výskumu sa geologický výskum územia v Nižnej Myšli do roku 2010 orientoval prevažne na inžinierskogeologický prieskum v súvislosti s plánovanou výstavbou a trasami líniových



stavieb (cesty, produktovody) a na hydrogeologický prieskum.

Systematický regionálny výskum zameraný na registráciu zosuvov na Slovensku prebehol prvýkrát na začiatku 60. rokov 20. storočia. Tento výskum bol súčasťou rozsiahlej úlohy na registráciu zosuvov na území vtedajšej ČSSR a bol vyvolaný vznikom katastrofálneho zosuvu v Handlovej v roku 1960. V rámci riešenia tejto úlohy sa v správe z registrácie zosuvov na juhovýchodnom a východnom Slovensku (Buroš et al., 1963) výskyt zosuvov priamo v obci Nižná Myšľa zvlášť nespomína. V bezprostrednom okolí obce Nižná Myšľa boli zaregistrované porušené svahy v údolí Hornádu medzi Košicami a Krásnou nad Hornádom (v súčasnosti Krásna – mestská časť Košíc). Uvedené svahy sú súvisle postihnuté v dĺžke zhruba 3 km blokovými zosuvmi a zosuvmi po rotačných šmykových plochách. Takisto je opísaných viacero väčších aj menších zosuvov v Košickej kotline. Svahová deformácia z tohto výskumu nachádzajúca sa v katastri Nižnej Myšle je v *Registri svahových deformácií* uvedená pod registračným číslom 54 184 ako potenciálny zosuv menších rozmerov na poľnohospodárskej pôde južne od zastavanej časti obce.

Výskytu geodynamických javov – zosuvov – sa venoval Ondrejka (1985). Posudzoval inžinierskogeologické a hydrogeologické pomery úseku cesty III. triedy pod cintorínom v Nižnej Myšli. Táto prístupová komunikácia k železničnej stanici (v súčasnosti Staničná ulica) bola v tom čase postihnutá aktívnymi prejavmi zosúvania. Vo svojej práci autor spomína, že svahovými pohybmi je postihnuté rozsiahlejšie územie. Výpočet stability svahu a návrh sanačných opatrení bol orientovaný na celé územie so stabilizovanými zosuvmi na východnom svahu pod cintorínom s konštatovaním, že územie je potrebné riešiť ako celok. Správa z vykonanej sanácie nie je k dispozícii, ale cesta bola neskôr v roku 1990 zabezpečená pilótovou stenou v dĺžke približne 150 m (údaje o hĺbke založenia nie sú k dispozícii).

Svahové deformácie zaznamenané v súvislosti s vybudovanými líniovými inžinierskymi dielami (cesty, železnice) boli predmetom prieskumu v roku 1983 a 1992. Vo vybudovanom záreze širokorozchodnej železničnej trate v km 74,780, nachádzajúcom sa sz. od centra obce Vyšná Myšľa, v roku 1982 vznikol plošne malý zosuv na ľavej strane zárezu. Z vykonaného prieskumu (Pílný a Sedlmajer, 1983) vyplynulo, že vznik zosuvu bol podmienený sklonom svahu zárezu a vnikaním povrchovej vody do svahu zárezu. Táto svahová deformácia je zaznamenaná v *Registri svahových deformácií* pod evidenčným číslom 76 937 ako potenciálny zosuv s vykonanou sanáciou (zemné úpravy tvaru svahu), potenciálne ohrozujúci širokorozchodnú trať. Zosuv je však v *Registri svahových deformácií* pri zobrazení mierky 1 : 50 000 nesprávne umiestnený ssv. od okraja obce. Zmienka o vzniku zosuvu na svahu zárezu je ešte počas budovania širokorozchodnej trate v roku 1965. V záreze s hĺbkou až 8 m s budovaným sklonom 1 : 4 vplyvom daždivého počasia vznikol zosuv, ktorý sa postupne rozšíril na dĺžku 50 m, až k hornej hrane svahu. Zaujímavosťou je zvolený spôsob sanácie pomocou 42 pilót dĺžky 6 m, baranených do vopred predvrtaných dier hl-

bokých 4 m, s pažením svahu pomocou železobetónových dosiek umiestnených za pilótami, pieskovou drenážou za touto konštrukciou a upravením sklonu svahu pomerom 1 : 5 (Záruba a Mencl, 1969).

Ďalším inžinierskogeologickým prieskumom z roku 1992 sa posudzovali pomery v mieste zosuvu na štátnej ceste III/5524 v priestore medzi križovatkou cesty II/552 Hutka – Nižná Myšľa a železničnou traťou Košice – Čierna nad Tisou (v súčasnosti cesta III/3368). V záverečnej správe z prieskumu sa uvádza, že v širšom okolí posudzovaného aktívneho zosuvu sa nachádzajú rozsiahle zosuvy, z ktorých väčšina je stabilizovaná (Ondrejka, 1992). Aj aktívny zosuv vznikol v mieste staršieho zosuvu, pričom aktiváciu strednej a dolnej časti svahu mohli podmieniť aj antropogénne vplyvy – vybudovanie zárezu železničnej trate (odľahčenie akumulácie časti stabilizovaného zosuvu), resp. následná strata funkčnosti odvodňovacieho rigolu v záreze železničnej trate v kombinácii s výdatnými zrážkami. Na základe výpočtov stability svahov bolo odporúčané zrealizovať sanačné opatrenia zamerané na zabezpečenie spodnej časti svahu pilótovou stenou, hĺbkové odvodnenie svahu a zabezpečenie funkčnosti povrchového odvodnenia. Táto svahová deformácia je vedená v *Registri svahových deformácií* pod evidenčným číslom 58 981 ako aktívny zosuv, ale s vykonanými sanačnými opatreniami vo forme stabilizačných konštrukcií, potenciálne ohrozujúci cestu a železničnú trať. Zosuv je v registri vedený pod lokalitou Nižná Hutka, pretože je súčasťou rozsiahleho zosuvného svahu pokračujúceho smerom na sever do katastra obce Nižná Hutka.

Svahové deformácie v obci Nižná Myšľa a jej okolí sú zachytené na *Geologickej mape Slanských vrchov a Košickej kotliny – južná časť* (Kaličiak et al., 1996a). Tieto svahové deformácie predstavujú najvýznamnejšie geobariéry mapovaného územia a sú zaradené medzi zosuvy recentného veku. Veľký počet zosuvov sa uvádza najmä v južnej časti chrbta Viničnej (južne od Košickej Novej Vsi) a Varhaňovského chrbta (južne od Košických Oľšian). Ako morfológicky najnápadnejší je opísaný frontálny zosuv medzi štátnou cestou Košice – Košická Nová Ves a Krásnou nad Hornádom dlhý viac ako 6 km (v súčasnosti Košice, mestská časť Krásna) v bezprostrednom okolí obce Nižná Myšľa (severne od obce). V hornej časti má charakter stabilizovaného zosuvu, v dolnej časti má charakter potenciálneho zosuvu s častým výskytom recentných aktívnych plošných i prúdových zosuvov (Kaličiak et al., 1996b). Priamo v katastri obce Nižná Myšľa je na geologickej mape (Kaličiak et al., 1996a) zakreslený zosuv postihujúci západnú časť južného výbežku Varhaňovského chrbta v dĺžke približne 1 200 m prebiehajúci celou strednou časťou obce zo severu na juh. Toto zosuvné územie v obci Nižná Myšľa bolo zmapované už predtým v rámci úlohy *Výsledky registrácie svahových deformácií na území Slovenska* v roku 1991 (Modlitba et al., 1991) a v roku 1992 v rámci projektu *Výskum geologických faktorov životného prostredia regiónu Košická kotlina a Slanské vrchy* (Divinec, 1993).

V *Atlase máp stability svahov SR 1 : 50 000* (Šimeková et al., 2006) je zosuv v Nižnej Myšli na ploche 37,2 ha zaradený medzi potenciálne (dočasne upokojené)



svahové deformácie, ohrozujúci cestu, železnicu, stavby a nadzemné i podzemné produktovody. Zosuvná oblasť je z hľadiska stability zaradená do rajónu nestabilných území s vysokým stupňom náchylnosti územia na aktiváciu, resp. vznik svahových deformácií (územia nestabilné a územia s vysokým rizikom aktivácie svahových pohybov vplyvom prírodných podmienok a územia veľmi citlivé na negatívne antropogénne zásahy).

Aktivita zosuvných deformácií sa významným spôsobom prejavila v roku 2010, keď vplyvom nepriaznivých klimatických podmienok vznikli aktívne havarijné a katastrofálne zosuvy priamo v zastavanej časti obce Nižná Myšľa aj v katastroch viacerých ďalších obcí Košického samosprávneho kraja. Na viacerých havarijných a katastrofálnych zosuvoch následne prebiehal inžinierskogeologický prieskum, okamžité protihavarijné opatrenia a sanácia. Vzniknuté aktívne zosuvy, širokej verejnosti dobre známe ako katastrofálny zosuv v centre obce Nižná Myšľa, ich prieskum a etapy sanácií budú podrobnejšie opísané v nasledujúcich kapitolách. Zosuvy v obci Nižná Myšľa, ktoré boli podrobnejšie zmapované od roku 2010, sú v *Registri svahových deformácií* zaregistrované pri zobrazení na topografickom podklade v mierke 1 : 50 000 a na podklade v mierke 1 : 10 000.

#### 4.1. Typ, rozsah a vývoj svahových deformácií

Objektom analýzy tejto práce sú svahové deformácie, ktoré sa aktivovali v roku 2010 na mieste starších stabilizovaných, potenciálnych a čiastočne aj aktívnych zosuvov priamo v intraviláne obce Nižná Myšľa (Ondrus, 2019).

Svahovými deformáciami je postihnutý celý západný svah Varhaňovského chrbta v intraviláne obce (obr. 1). Svah orientovaný na západ má relatívne mierny sklon. V minulosti bol však podrezávaný erozívnou činnosťou rieky Torysa, a preto na jeho úpätí, na kontakte s alúviom rieky Torysa, sú jeho sklony výrazne strmé. Takáto geomorfologická konfigurácia terénu vytvorila podmienky na vznik plošne rozsiahlych svahových deformácií siahajúcich od päty svahu až po hrebeň chrbta. Svahové deformácie sa plošne rozprestierajú od hrebeňa západným smerom až po päť svahu v údolí rieky Torysa, iba sčasti sú vyvinuté aj na východnom svahu od hrebeňa. Odlučné hrany rozsiahlych zosuvov prebiehajú na hrebene prevažne v smere S – J, transportačná oblasť zosuvov je vyvinutá v zástavbe obce a akumulčné časti zosuvov sú vytlačené v päte svahu, takisto v zastavanej časti obce. Dĺžka územia postihnutého svahovými deformáciami je približne 1 700 m a jeho šírka v centrálnej časti obce je približne 400 m. Plocha zosuvného územia predstavuje 43,26 ha.

Plošne rozsiahle svahové deformácie majú charakter zosuvov s výrazne vyvinutými odlučnými hranami, parciálnymi odlučnými hranami, výrazne vyvinutými akumulčnými valmi a zvlnením terénu v transportačnej a akumulčnej oblasti zosuvov. Okrem plošne rozsiahlych zosuvov sú vyvinuté aj čiastkové zosuvy menších rozmerov alebo zosunuté bloky a sporadicky sa vyskytujú aj svahové deformácie typu blokových polí až skalných zrútení a zemných prúdov.

Severné ohraničenie týchto aktívnych zosuvov (reaktívovaných zosuvov z roku 2010) a starších potenciálnych zosuvov sa začína približne 1 000 m na juh od križovatky ciest III/3368 a II/522 Nižná Myšľa – Bohdanovce v území severne od zastavanej časti obce. Výrazne vyvinuté odlučné hrany s výškou až 10 m sa tiahnu v smere S – J pozdĺž Staničnej ulice s čiastočnou zástavbou až k cintorínu. Pri cintoríne odlučné hrany aktívnych zosuvov prechádzajú až nad pilótovej stenu vybudovanú v minulosti na sanáciu zosuvom poškodenej cesty k železničnej stanici a pokračujú v smere S – J v lokálne nezastavanej časti územia medzi Obchodnou ulicou a Kopaničnou ulicou. Odtiaľ sú odlučné hrany zosuvov vyvinuté v smere SV – JZ a prebiehajú tesne popod historickú budovu bývalého kláštora pôvodne z 13. storočia (v súčasnosti Myšlianske obecné múzeum) a popod budovu kostola zo 17. storočia až na Obchodnú ulicu (odlučná hrana vysoká 4 m). Odtiaľ odlučná časť zosuvov pokračuje v smere SSV – JJZ cez lúky až k južnej hranici obce. V tejto poľnohospodársky využívannej južnej časti je vyvinutých viacero systémov trhlín v smere S – J.

Transportačná časť zosuvov má nerovný, miestami zvlnený alebo stupňovitý povrch. Najmä v severnej časti sa vyskytovali početné zamokrené miesta s vlhkomilnou vegetáciou. Ojedinele vyvierali aj občasné a stále pramene s nepatrnou výdatnosťou. Niektoré morfológické znaky svahových deformácií, najmä odlučné hrany a trhliny, boli následne premodelované terénnymi úpravami počas sanačných prác. V transportačnej časti sú miestami vyvinuté parciálne odlučné hrany, systémy parciálnych trhlín a parciálne zosuvy a zosunuté bloky.

Akumulačné časti plošne rozsiahlych zosuvov sú vytvorené na päte svahov a na kontakte s alúviom rieky Torysa. V severnej časti sú akumulčné valy zosuvov pozorovateľné nad cestou a pozdĺž cesty III/3368, ktorá prechádza cez obec (Hlavná ulica), až po križovatku s Poštovou ulicou. V centrálnej časti zástavby obce sa akumulčná časť nachádza vyššie vo svahu a južnejšie schádza pozdĺž Družstevnej ulice. Odtiaľ, znovu na päte svahu, pokračuje akumulčná časť viac-menej v smere S – J až na južný koniec obce. Na južnom cípe zosuvného územia za budovou bývalého poľnohospodárskeho družstva na svahu tvorenom tufitickými horninami je aktívne skalné zrútenie s plochou 2 300 m<sup>2</sup>.

Zosuvy, v roku 2010 reaktívované na miestach starších potenciálnych zosuvov, majú na základe výsledkov inžinierskogeologického prieskumu (Sláma et al., 2012) stanovené bazálne šmykové plochy v hĺbke 14 – 21 m (centrálne časti obce), samostatné zosuvné bloky v hĺbke 2 – 6 m. Zosuvy v južnej časti obce majú šmykové plochy v hĺbke 6 – 15 m a parciálne zosuvy v hĺbke 5 – 9 m. Výrazný aktívny zosuv pod Staničnou ulicou smerom k budove základnej školy má hĺbku bazálnej šmykovej plochy 15 – 17,5 m, viacero parciálnych šmykových plôch plytších zosuvov má hĺbku 5 – 8 m. Tvar šmykových plôch je rotačno-planárny a aktívované zosuvy majú charakter retrográdnych zosuvov.

Ako už bolo uvedené, na západnom svahu v obci Nižná Myšľa sa vyskytovali stabilizované a potenciálne svahové deformácie už pred rokom 2010. Miestami sa na zosuvnom svahu aktivovali svahové poruchy, ako to bolo v roku 1985,



**Obr. 1.** Zamerané svahové deformácie v Nižnej Myšli (upravené podľa Slámu a Gomolčáka, 2012, in Sláma et al., 2012) na podklade © ZBGIS; označené číslami z *Registra svahových deformácií*, znázornené na topografickom podklade 1 : 10 000 (zdroj: <http://apl.geology.sk/geofond/zosuvy/>).

**Fig. 1.** Measured slope deformations in Nižná Myšľa (modified from Sláma and Gomolčák, 2012, in Sláma et al., 2012) on the basis of © ZBGIS; marked with numbers from the *Register of slope deformations* shown on a 1:10,000 topographic base (source: <http://apl.geology.sk/geofond/zosuvy/>).



keď aktívne vzniknutý zosuv ohrozoval ulicu k železničnej stanici (Staničná ulica) a vyžiadala si sanáciu svahu. K reaktivácii zosuvov – vzniku aktívnych katastrofálnych zosuvov – došlo v jarnom období roku 2010 po období dlhotrvajúcich intenzívnych zrážok. V mesiaci máj zrážkový úhrn predstavoval 229,7 mm a tým bol niekoľkonásobne prekročený mesačný úhrn za dlhšie časové obdobie vo výške 59,6 mm (Tometz et al., 2010). Zrážky pokračovali aj na začiatku júna a trvali až do 5. júna 2010. V tomto čase došlo ku katastrofálnemu poškodeniu územia obce. V máji bolo zaznamenané zosúvanie svahu pod cestou ku stanici, už predtým sanovanou (Tometz et al., 2010). Takisto v dňoch 1. – 3. júna 2010 sa na niektorých domoch v obci začali objavovať trhliny, bol porušený vodovod, kanalizácia a plynovod, a to tak, že bolo cítiť unikajúci plyn (Sláma et al., 2012). Následne došlo v obci k mimoriadnej živelní udalosti spôsobenej aktiváciou viacerých ničivých rozsiahlych zosuvov. Akcelerácia svahových pohybov nastala 4. júna 2010 o druhej hodine v noci. Aktivovali sa zosuvy, ktoré za niekoľko hodín poškodili viacero rodinných domov, podzemné i nadzemné inžinierske siete, cesty a terén. Náhle zrýchlenie svahových pohybov bolo sprevádzané silnými zvukovými efektmi (praskaním, vízganím) a nepokojným správaním domácich zvierat (Sláma et al., 2012). Strach obyvateľov bol natoľko veľký, že v noci začali v panike vybiehať zo svojich domovov. Počas zosúvania bolo silno porušených 20 domov a ďalších 25 sa stalo úplne neobývatelnými, z toho 32 muselo byť zbúraných pre narušenú statiku. Najhoršia situácia bola v centre obce v území pod kostolom, kde sa v jeho blízkosti vytvorila odlučná hrana vysoká 0,5 až 4 m a bolo poškodených viacero domov a infraštruktúra (obr. 2).

Zosuvy so svojimi prejavmi a následkami ohrozili životy obyvateľov obce a spôsobili veľké škody na majetku (zhruba 30 miliónov eur), našťastie si však táto živelná ka-

tastrofa nevyžiadala obeť na životoch. Veľký počet ľudí prišiel náhle o svoje domovy, pričom z ohrozenej oblasti muselo byť evakuovaných až 144 osôb. V tej chvíli nebola jasná prognóza vzniku ďalších zosuvov alebo ďalšieho vývoja svahových pohybov. V obci bola vyhlásená mimoriadna situácia na odvrátenie okamžitých následkov a na záchranu života a majetku ľudí. Krátko po tom bol v júni až októbri zrealizovaný inžinierskogeologický prieskum na zistenie stabilných pomerov lokality. Spolu s ním sa vykonali okamžité protihavarijné opatrenia, monitorovali sa zosuvotvorné faktory a aktivita zosuvných telies a boli navrhnuté ideové sanačné opatrenia na zamedzenie vzniku a vývoja ďalších svahových pohybov. Pohybová aktivita v zosuvnom území sa obnovila opäť v júni 2011 (Jánová a Házyová, 2011). V nasledujúcich rokoch 2012 až 2015 prebiehali ďalšie etapy prieskumných a sanačných prác. Aktivita svahových pohybov počas dlhodobého monitorovania lokality a závislosť aktivity od vybudovaných sanačných opatrení je obsahom ďalších kapitol.

Svahové deformácie v obci Nižná Myšľa možno podľa ich priestorovej pozície rozdeliť do štyroch územných častí obce. Toto ich priestorové rozšírenie bude slúžiť aj na hodnotenie samostatných vyčlenených oblastí postihnutých svahovými deformáciami v rámci celého zosuvného územia. V severnej časti sa vyskytujú dva zosuvy veľkých rozmerov (svahové deformácie č. 383106002 s plochou približne 122 000 m<sup>2</sup> a 38310604 s plochou približne 67 500 m<sup>2</sup>), na ktorých sú vyvinuté výrazné odlučné hrany tiahnuce sa pozdĺž Staničnej ulice až k miestu, kde bol v minulosti vybudovaný oporný múr na sanáciu zosuvu aktivovaného v roku 1985. Severnejší z týchto zosuvov (383106002) je vyvinutý v území prevažne bez súvislej zástavby. Individuálna zástavba nových rodinných domov sa nachádza na západnej strane Staničnej ulice priamo v odlučných hranách zosuvov a akumulčná časť zosuvu

zasahuje aj do zástavby na severnom okraji obce na Hlavnej ulici. Zosuv 383106004 pod Staničnou ulicou zasahuje na východ aj budovu základnej školy a zástavbu rodinných domov na Hlavnej ulici, kde je málo výrazná akumulčná časť zosuvu. Celý svah, v minulosti už sanovaný oporným múrom s dĺžkou 150 m, má výrazne vyvinuté odlučné hrany, na svahu sú trhliny, akumulčné valy a čiastkové odlučné hrany (priamo na svahu nad budovou základnej školy). Tento zosuv predstavuje jeden z dvoch hlavných (najväčších) zosuvov, ktoré sa aktivovali v roku 2010, s výraznými prejavmi svahových pohybov. Prevažná časť tohto zosuvu je v nezastavanom území (odluč-



**Obr. 2.** Zosuvom deštruovaná, v tom čase novovybudovaná komunikácia na ulici Repiská (archív oddelenia IG ŠGÚDŠ, 4. 6. 2010).

**Fig. 2.** The newly built communication on Repiská Street destroyed by a landslide (Archive of the EG department SGIDŠ, 4 June 2010).



ná a transportačná časť zosuvu). V tejto severnej časti územia sú ešte vyvinuté svahové deformácie plošne menších rozmerov (383106003, 383106005). Zosuv 383106003 má plochu približne 2 700 m<sup>2</sup> a bol aktivovaný v roku 2010 v najsevernejšej časti Staničnej ulice. Odľučná hrana svahovej deformácie 383106005 je vyvinutá nad Staničnou ulicou v priestore cintorína a ďalšie zosuvné telesá sú na západnom svahu pod Staničnou ulicou. Plocha zosuvov je približne 4 400 m<sup>2</sup>.

Územie smerom ďalej na juh (už centrálna časť obce), v rozsahu ulíc Poštová, Obchodná, Mäsiarska, Strmá a Školská, sa rozprestiera v priestore rozsiahlych svahových deformácií 383106006 s plochou približne 67 000 m<sup>2</sup> a 38310609 s plochou približne 59 500 m<sup>2</sup>. V tomto priestore sú vyvinuté aj menšie svahové deformácie: zosuv 383106018, resp. zosuvný blok na križovatke Obchodnej, Strmej a Hlbokej ulice, potenciálny zosuv 383106007 a potenciálna svahová deformácia charakteru zemného prúdu 383106008.

V roku 2010 mali najničivejšie následky svahové deformácie v južnej časti obce aktivované priamo pod budovou kostola a budovou bývalého kláštora (v súčasnosti Myšlianske obecné múzeum). Z nich je plošne najrozsiahlejší zosuv 3831106010 (približne 78 000 m<sup>2</sup>), ktorý svojimi ničivými následkami postihol zástavbu rodinných domov na uliciach Obchodná, Repiská a Hlboká. Priestor južnej časti tohto zosuvu je nezastavaný a využíva sa ako záhrady a pasienky. Práve tento zosuv počtom poškodených domov, infraštruktúry a terénu je najničivejší zo zosuvov vzniknutých v roku 2010. Vyznačoval sa výrazne vyvinutými odľučnými hranami s výškou do 4 m (odľučná hrana pod kostolom), viacerými čiastkovými odľučnými hranami, ktoré poškodili najviac domov nachádzajúcich sa priamo v ich priestore, trhlinami a zvlnením terénu. V jeho pokračovaní na juh, v mieste využívanom ako záhrady, je vyvinutých viacero systémov pozdĺžnych trhlín. Najjužnejšia časť územia obce na západnom úpätí svahu (s veľmi strmým sklonom svahu) je postihnutá plošne menšími svahovými deformáciami (3831106014, 3831106015, 3831106016 a 3831106017) s aktívnymi, potenciálnymi a stabilizovanými formami, z toho svahová deformácia 3831106015 predstavuje skalné zrútenie vyvinuté v polohách ryolitových tufov. Takisto v strmom úpätí svahu pod centrálnou časťou obce (Družstevná ulica) sú vyvinuté potenciálne, resp. stabilizované zosuvné svahy (označené ako svahové deformácie 3831106012 a 3831106013).

Ďalšou oblasťou, kde boli zaznamenané prejavy zosúvania, je východný svah pod cintorínom. V roku 2010 tu vznikol zosuv s odľučnou hranou s dĺžkou približne 75 m. V priestore tohto zosuvu nebol dosiaľ realizovaný inžinierskogeologický prieskum.

#### 4.2. Monitorovanie svahových deformácií

Od roku 2010, keď sa aktivovali zosuvy, po realizácii inžinierskogeologického prieskumu sa na lokalite vykonával monitoring pohybovej aktivity zosuvných území (zosuvných telies a celého zosuvného územia – inklinometrické vrty), vybraných zložiek geologického prostredia (hladina podzemnej vody) a účinnosti sanačných opatrení

(výdatnosť odvodňovacích vrvtov). Vykonávaný monitoring možno rozdeliť na krátkodobý (etapy realizované v rámci geologických úloh inžinierskogeologického prieskumu a sanácie) a na dlhodobý, ktorý sa vykonáva od roku 2011 a pokračuje aj v súčasnosti. Z obdobia krátkodobého monitoringu sú výsledky spracované v záverečných správach; ich prehľad je uvedený v tab. 1. V súvislosti s nadväzujúcimi etapami sanačných prác a vykonávaním meraní aj medzi jednotlivými etapami údaje z monitoringu podávajú pri niektorých pozorovacích objektoch prehľad vývoja parametrov za dlhšie časové obdobie, ktorý je uvedený v záverečných správach zo sanačných prác (Sláma et al., 2012; Grech et al., 2014; Laurenčík et al., 2015).

Dlhodobý monitoring na sociálno-ekonomicky najvýznamnejších zosuvných územiach na Slovensku zabezpečoval ŠGÚDŠ prostredníctvom geologickej úlohy *Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory, Podsystem 01 Zosuvy a iné svahové deformácie*. Lokalita Nižná Myšľa bola v tejto geologickej úlohe monitorovaná od roku 2011 do roku 2018 [inklinometrické merania, merania hĺbky hladiny podzemnej vody, merania výdatnosti odvodňovacích zariadení, technológia radarovej interferometrie InSAR (z angl. *Interferometric Synthetic Aperture Radar*) na prirodzených odrazivých bodoch a údaje zrážkových úhrnov zo staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ)]. Merania sa začali vykonávať na obmedzenom počte pozorovacích objektov (šiestich inklinometrických vrtoch, piatich piezometrických vrtoch, dvoch subhorizontálnych odvodňovacích vrtoch) a postupne, ako boli budované nové pozorovacie objekty, tieto objekty boli zaradené do monitorovacej siete na dlhodobé pravidelné merania. Merania sa vykonávali v pravidelných intervaloch rozložených v čase počas kalendárneho roku a dlhodobo sa ustálili na počte 2 – 3 inklinometrické merania ročne, týždenné merania hladín podzemnej vody, týždenné merania výdatnosti odvodňovacích zariadení a spracovanie údajov z denných úhrnov zrážok. Merania sa neprerušene vykonávali od ich začiatku v roku 2011 do roku 2018. Počet pozorovacích objektov kolísal podľa stabilitej situácie územia, niektoré vrty museli byť z pozorovacej siete vyradené pre ich zničenie alebo nefunkčnosť (nadmerná deformácia inklinometrickej pažnice vplyvom svahového pohybu – „stiahnutie“ vrty), alebo boli vylúčené pre ich nízku výpovednú hodnotu. Monitorovacie metódy boli v roku 2016 doplnené o sledovanie pohybovej aktivity prostredníctvom diaľkového prieskumu Zeme technológiou radarovej interferometrie InSAR. Na analýzu pohybov prostredníctvom tejto novej, dynamicky sa rozvíjajúcej metódy sa využívali stabilné odrazové prvky – prirodzené odrazáče pokrývajúce širšie územie katastra obce Nižná Myšľa. Výsledky monitorovania sa každoročne vyhodnocujú a poskytujú orgánom štátnej správy a v prípade znepokojivých zistení aj samosprávam obcí. Tieto výsledky umožňujú, okrem iného, kontrolu účinnosti vykonaných sanačných opatrení, a teda aj účelnosti vynaložených prostriedkov na elimináciu zosuvného hazardu (Ondrejka et al., 2018a).

Od začiatku roku 2019 je lokalita Nižná Myšľa monitorovaná prostredníctvom geologickej úlohy *Monitoring*

**Tab. 1.** Prehľad vykonaných monitorovacích aktivít v rámci etáp krátkodobého monitoringu.

**Tab. 1.** Overview of performed monitoring activities in the stages of short-term monitoring.

Rok začiatku krátkodobého monitoringu	Autor záverečnej správy	Monitorované obdobie	Typ monitorovacích objektov	Počet objektov	Označenie monitorovacích objektov
2010	Tometz et al., 2010	24. 8. – 7. 10. 2010	inklinometrické (nové vrty)	6	INM-1, INM-2, INM-3, INM-4, INM-5, INM-6
2010	Tometz et al., 2010	24. 8. – 7. 10. 2010	piezometrické (nové vrty)	23	JS-1, JS-2, JS-2A, JS-3, JS-4, JS-4A, JC-1, JC-2, JC-3, JC-4, JC-5, JK-1, JK-2, JK-3, JK-4, JK-5, JK-5A, JK-6, JJ-1, JJ-2, JJ-3, JJ-4, JJ-4A
2011	Sláma et al., 2012	13. 1. 2011 – 19. 3. 2012	inklinometrické (existujúce vrty)	6	INM-1, INM-2, INM-3, INM-4, INM-5, INM-6
2011	Sláma et al., 2012	28. 3. 2011 – 10. 4. 2012	piezometrické (existujúce vrty)	29*	JS-1, JS-2, JS-2A, JS-3, JS-4, JS-4A, J-1, J-1A, J3A, J-5, J-6, J-6A, JC-1, JC-2, JC-3, JC-4, JC-5, JK-1, JK-2, JK-3, JK-4, JK-5, JK-5A, JK-6, JJ-1, JJ-2, JJ-3, JJ-4, JJ-4A
2012	Sláma et al., 2012	2. 3. – 11. 4. 2012	inklinometrické (nové vrty)	18	INK-12, INK-14, INK-16, INK-17, INK-21, INK-22, INK-24, INK-26, INK-32, INK-34, INK-42, INK-43, INK-44, INK-51, INK-52, INK-53, INK-55, JPS-2
2012	Sláma et al., 2012	13. 2. – 10. 4. 2012	piezometrické (nové vrty)	36	JV-11, JV-12, JV-14, JV-15, JV-16, JV-17, JV-18, JV-22, JV-22A, JV-23, JV-23A, JV-23B, JV-24, JV-25, JV-25A, JV-26, JV-26A, JV-27, JV-31, JV-33, JV-34, JV-35, JV-41, JV-42, JV-43, JV-43A, JV-44, JV-44A, JV-45, JV-51, JV-52, JV-53, JV-53A, JV-54, JV-54A, JV-55
2014	Grech et al., 2014	20. 3. 2014 – 11. 9. 2014**	inklinometrické (existujúce vrty)	5	INM-6, INK-51, INK-52, INK-53, INK-55
2014	Grech et al., 2014	2. 5. – 19. 9. 2014	piezometrické (existujúce vrty)	7	JV-51, JV-52, JV-53, JV-53A, JV-54, JV-54A, JV-55
2014	Grech et al., 2014	2. 5. – 19. 9. 2014	piezometrické (nové vrty)	12	PZ-1, PZ-1A, PZ-2, PZ-2A, PZ-3, PZ-4, PZ-5, PZ-5A, PZ-6, PZ-7, PZ-8, PZ-9
2015	Laurenčík et al., 2015	10. 12. 2015***	inklinometrické (nové vrty)	1	INK-54
2015	Laurenčík et al., 2015	13. 3. – 31. 3. 2015	piezometrické (existujúce vrty)	5	JK-4, S-1, S-2, S-3, P-6
2015	Laurenčík et al., 2015	13. 3. – 31. 3. 2015	piezometrické (nové vrty)	6	PZ-10, PZ-11, PZ-12, PŠ-3, PŠ-4, PŠ-5
2015	Laurenčík et al., 2015	13. 3. – 31. 3. 2015	subhorizontálne odvodňovacie vrty (nové vrty)	8	SHV-127, SHV-126, SHV-124, SHV-122, SHV-125, SHV-123, SHV-128, SHV-121

\* do meraní boli zahrnuté aj staršie vrty realizované v roku 1985 (Ondrejka, 1985)

\*\* meranie sa vykonávalo kontinuálne aj medzi krátkodobými etapami, a to dňa 4. 9. 2013

\*\*\* merania zabezpečované stacionárnou inklinometrickou sondou od 10. 12. 2015

zosuvných deformácií. Tento projekt prebieha v rámci Operačného programu *Kvalita životného prostredia*, Prioritnej osi 3: *Podpora riadenia rizík, riadenia mimoriadnych udalostí a odolnosti proti mimoriadnym udalostiam ovplyvneným zmenou klímy*, investičnej priority 3.1: *Podpora investícií na riešenie osobitných rizík, zabezpečiť predchádzanie vzniku katastrof a vyvíjanie systémov zvládania katastrof*, špecifického cieľa 3.1.2: *Zvýšenie účinnosti preventívnych a adaptačných opatrení na elimináciu environmentálnych rizík* (okrem protipovodňových opatrení). V počiatočnej fáze projektu boli typy a frekvencie meraní ponechané podľa predchádzajúceho monitoringu ČMS – GF. V ďalších etapách projektu sa na jednotlivých

pozorovaných lokalitách v rámci Slovenska budujú siete pozorovacích objektov pozostávajúce z novobudovaných vrtovej a rekonštrukcie existujúcich využívaných vrtovej. Na lokalite Nižná Myšľa bude do konca roku 2023 vybudovaná kompletná monitorovacia sieť pozostávajúca z inklinometrických vrtovej, vrtovej s osadenými snímačmi pórového tlaku, piezometrických vrtovej, snímačov vlhkosti osadených do vrtovej, klimatickej stanice a vybudovaných prvkov – kútových odražačov pre technológiu InSAR. Veľkým prínosom novobudovanej siete vrtovej bude aj inovatívny spôsob zabezpečenia zberu a prenosu meraných údajov, a to kontinuálny on-line zber údajov z osadených automatických zariadení vo vrtovej a ich prenos do centra monitoringu

v sídle ŠGÚDŠ prostredníctvom technológie Internetu vecí (Ondrejka et al., 2018a).

#### 4.3. Sanačné opatrenia na lokalite

Vzhľadom na to, že svahové deformácie postihujú značnú časť zastavaného územia obce, ich výrazná aktivita v roku 2010 mala katastrofálne následky na zástavbu a infraštruktúru (inžinierske siete, komunikácie) a terén. Taktiež vzhľadom na náchylnosť zosuvného územia na opätovnú aktiváciu svahových pohybov a odôvodnené obavy zo vzniku ďalších svahových pohybov sa už takmer okamžite po ich vzniku pristúpilo k riešeniu mimoriadnej situácie. Na základe uznesenia vlády Slovenskej republiky č. 408/2010 z 9. júna 2010 MŽP SR zabezpečilo realizáciu inžinierskogeologického prieskumu a okamžitých protihavarijných opatrení. Súbežne s tým na základe vyhlásenej mimoriadnej situácie v obci v rámci opatrení na odvrátenie následkov živej katastrofy sa vykonali nevyhnutné zásahy – úprava terénu a plôch, demolácia poškodených objektov, oprava vodovodu a kanalizácie, ako aj zvedenie výverov vody. Lokalita Nižná Myšľa bola v roku 2010 spolu s viacerými ďalšími územia postihnutými zosuvmi zaradená do zoznamu prioritných lokalít, na ktorých bolo potrebné zabezpečiť prieskum a sanáciu havarijných zosu-

vov (list splnomocnenca vlády SR pre územnú samosprávu, integrovaný manažment povodí a krajiny č. 4478/2017-7). V roku 2011 (10. júna) došlo k lokálnej reaktivácii svahových pohybov a v obci bola vyhlásená mimoriadna situácia (Sláma et al., 2012). Následne v rokoch 2012 až 2015 sa uskutočnili tri etapy sanácie zosuvného územia.

Inžinierskogeologický prieskum realizovaný v júni až októbri 2010 zahŕňal vykonanie okamžitých protihavarijných opatrení v území nad budovou základnej školy postihnutom rozsiahlym plošným zosuvom. Realizovali sa dva prieskumno-sanačné subhorizontálne odvodňovacie vrty. V záverečnej správe (Tometz et al., 2010) je na základe vykonaných prieskumných prác a stabilitných výpočtov vypracovaný ideový návrh sanácie havarijného zosuvu. Tento prieskum bol zameraný na rozsiahle zosuvné územie v intraviláne obce, ktoré pozostávalo hlavne z dvoch veľkých aktívnych zosuvov (v severnej časti pod Staničnou ulicou a v južnej časti pod kostolom), a na niekoľko plošne menších zosuvov. Odporúčané sanačné opatrenia (Tometz et al., 2010) možno rozdeliť do skupín – tab. 2. Navrhované sanačné opatrenia spolu s opatreniami spojenými s nakladaním so zrážkovou a odpadovou vodou by podľa konštatovania v záverečnej správe mali zabezpečiť stabilitu hodnoteného územia (Tometz et al., 2010).

**Tab. 2.** Prehľad ideového návrhu sanačných opatrení z inžinierskogeologického prieskumu v roku 2010 (podľa Tometza et al., 2010).

**Tab. 2.** Overview of the conceptual design of remediation measures from the engineering geological survey in 2010 (according to Tometz et al., 2010).

Ideový návrh sanačných opatrení	Typ prác	Činnosti	Rozsah prác	Situovanie
Tometz et al., 2010	podpovrchové odvodnenie	stabilizačno-odvodňovacie rebrá	500 bm	v miestach situovania vejárov odvodňovacích vrtov v zosuve pod Staničnou ulicou, v severnej časti zosuvného územia, na východnom svahu pod cintorinom
		pätňý drén	30 m	v mieste už realizovaných odvodňovacích vrtov HNM-1 a HNM-2, ktoré sa majú doplniť ďalším odvodňovacím vrtom HNM-3 a ďalšími stanovišťami odvodňovacích vrtov, a v miestach plytkej podpovrchovej drenáže
		plytká podpovrchová hydromelioračná drenáž	925 m	na odvodnenie zamokrených miest a bezodtokových depresí v zosuve pod Staničnou ulicou, v severnej časti zosuvného územia, na východnom svahu pod cintorinom
	hlbkové odvodnenie	subhorizontálne odvodňovacie vrty	2 500 bm	8 stanovišť vrtov s 3 až 4 vejárovito usporiadanými vrtmi (25 vrtov s priemernou dĺžkou 100 m) vrátane už zhotovených 2 vrtov HNM-1 a HNM-2
	oporné konštrukcie	oporná pilótová stena	200 až 250 m	na zabezpečenie stability kostola a domov na Malej Nemeckej ulici s odhadnutým hlbkovým dosahom 30 m (3 750 bm pilót)
	ostatné protizosuvné opatrenia	terénne úpravy, zemné práce	5 ha	zasypanie odlučných hrán, zosvahovanie, hydroosev, vegetačné úpravy terénu (výsadba drevín a krovín)
	odporúčané opatrenia, ktoré sa majú realizovať ako súvisiace a vykonať mimo sanačných prác odvádzanie zrážkovej vody zo striech do rigolov odvádzanie splaškovej odpadovej vody riadenie stavebných a výkopových prác, aby negatívne nezasiahli do stabilitných pomerov lokality			povrchové odvedenie zrážkovej vody pomocou rigolov pozdĺž ciest a chodníkov odvádzanie zrážkovej vody zo striech do rigolov odvádzanie splaškovej odpadovej vody riadenie stavebných a výkopových prác, aby negatívne nezasiahli do stabilitných pomerov lokality



Podľa záverov a odporúčaní inžinierskogeologického prieskumu z roku 2010 bol vo februári 2012 vypracovaný realizačný projekt sanácie *Nižná Myšľa – sanácia havarijného zosuvu – 1. etapa*, ktorý zahŕňal doplnkový inžinierskogeologický prieskum a sanáciu geologického prostredia (Vrábľová a Jánová, 2013). Podľa predpokladu najväčšieho ohrozenia a potreby ochrany ohrozených objektov bola sanácia orientovaná na centrálnu a južnú časť zástavby obce. Súčasťou sanačných prác bol aj doplnkový inžinierskogeologický prieskum rozsiahleho zosuvu pod Staničnou ulicou (nad budovou základnej školy). Prvá etapa sanácie prebehla v druhej polovici februára a v marci roku 2012.

Vzhľadom na rozsiahlosť zosuvného územia sa technické a ekonomické zabezpečenie sanácie riešilo postupne vo viacerých etapách. V roku 2012 prebehla sanácia zosuvného územia iba v obmedzenom rozsahu (najmä statické zabezpečenie svahu v blízkosti najviac ohrozených objektov, hĺbkové odvodnenie centrálnej a južnej časti zosuvného územia). Z hľadiska postupnosti bolo odporúčané vykonať ďalšie etapy sanácie, ktorými by sa doplnili sanačné opatrenia v ohrozenej centrálnej a južnej časti obce. Naprojektovali a vykonali by sa sanačné opatrenia aj v celom zosuvnom území, najmä v severnej časti nad budovou základnej školy a v pokračovaní Staničnej ulice, ako aj na východnom svahu pod cintorínom. V záverečnej správe z prvej etapy sanácie z roku 2012 (Sláma et al., 2012) bola zhodnotená vykonaná sanácia a boli uvedené odporúčania na ďalšie sanačné práce. Vzhľadom na veľkosť zosuvného územia, charakter svahových deformácií (šmykové plochy vo väčšej hĺbke) a potenciál územia na aktiváciu zosuvov týmito opatreniami síce nie je možné dosiahnuť trvalo stabilný stav územia (Sláma et al., 2012), ale sú nevyhnutné

na zlepšenie stabilných pomerov, odvodnenie zosuvných telies a tým zníženie rizika poškodenia objektov a ohrozenia obyvateľov.

Druhá etapa sanačných prác sa uskutočnila v roku 2014 v rámci geologickej úlohy *Inžinierskogeologický prieskum a sanácie havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky – Časť I. Sanácia havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa – 2. etapa*. V tejto etape boli sanačné práce orientované do severnej časti zosuvného územia. Vykonalo sa stabilné zabezpečenie svahu priamo nad budovou základnej školy a čiastočné hĺbkové odvodnenie a zvedenie drenážnej vody na svahu medzi budovou základnej školy a Staničnou ulicou. Aj po zrealizovaní čiastkovej sanácie v rámci 2. etapy bolo potrebné vykonať ešte ďalšie sanačné práce zamerané na odvodnenie zosuvného svahu v južnej časti územia, stabilné zabezpečenie ohrozenej časti budovy bývalého kláštora (v súčasnosti Myšlianske obecné múzeum), doplnenie odvodňovacích prvkov v severnej časti územia, ako aj východného svahu pod cintorínom. Na zabezpečenie päty svahu v južnej časti a sanovanie výrazne vytlačeného čela zosuvu nad bývalou budovou družstva bol navrhnutý stabilizačný prísyp s objemom 10 000 m<sup>3</sup> a úpravy terénu na ploche 10 000 m<sup>2</sup> (Grech et al., 2014).

Koncom roku 2014 bola vyhlásená verejná súťaž na vykonanie inžinierskogeologického prieskumu v obci Svätý Anton a sanáciu havarijných zosuvov v obciach Nižná Myšľa a Šenkvice. Spočívala vo vypracovaní projektov geologickej úlohy, projektov technických riešení sanácie a realizácie sanácie a súvisiacich prác. V prvej polovici roku 2015 následne prebehli sanačné práce v Nižnej Myšli, ktoré predstavovali 3. etapu riešenia zlepšenia stabilných

**Tab. 3.** Prehľad monitorovacích aktivít na lokalite Nižná Myšľa v rokoch 2011 – 2018 (podľa: Ondrejka et al., 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019).

**Tab. 3.** Overview of monitoring activities at the Nižná Myšľa site in 2011–2018 (according to: Ondrejka et al., 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b, 2019).

Obdobie (kalendárny rok)	Druh meraní	Počet monitor. objektov	Monitorovacie objekty
2011	inklinometrické merania	5	INM-1, INM-2, INM-3, INM-5, INM-6
	hĺbka hladiny PV	5	JJ-1, JJ-2, JK-1, JK-2, JK-4
	výdatnosť odvodňovacích zariadení	3	HNM-1, HNM-2, HNM-3
	zrážkové úhrny	3	stanice SHMÚ Čaña (indikatív 60140), Vyšný Čaj (indikatív 60120), Košice-letisko (indikatív 60120)
2012	inklinometrické merania	21	INM-2, INM-3, INM-5, INM-6, INK-12, INK-14, INK-16, INK-17, INK-21, INK-22, INK-24, INK-26, INK-32, INK-34, INK-42, INK-43, INK-44, INK-51, INK-52, INK-53, INK-55
	hĺbka hladiny PV	5	JJ-1, JJ-2, JK-1, JK-2, JK-4
	výdatnosť odvodňovacích zariadení	3	HNM-1, HNM-2, HNM-3
	zrážkové úhrny	3	stanice SHMÚ Čaña (indikatív 60140), Vyšný Čaj (indikatív 60120), Košice-letisko (indikatív 60120)

Tab. 3 – pokračovanie.

Obdobie (kalendárny rok)	Druh meraní	Počet monitor. objektov	Monitorovacie objekty
2013	inklinometrické merania	20	INM-2, INM-5, INM-6, INK-12, INK-14, INK-16, INK-17, INK-21, INK-22, INK-24, INK-26, INK-32, INK-34, INK-42, INK-43, INK-44, INK-51, INK-52, INK-53, INK-55
	hĺbka hladiny PV	51	J-1, JC-1, JC-2, JC-3, JC-4, JC-5, JJ-1, JJ-2, JJ-3, JK-1, JK-2, JK-3, JK-4, JK-6, JS-1, JS-2, JS-2A, JS-3, JS-4, JS-4A, JV-11, JV-12, JV-14, JV-15, JV-18, JV-22, JV-23, JV-23A, JV-23B, JV-24, JV-25, JV-25A, JV-26, JV-26A, JV-27, JV-31, JV-33, JV-35, JV-41, JV-42, JV-43, JV-43A, JV-44, JV-45, JV-51, JV-53, JV-53A, JV-54A, P-1, P-3, P-6
	hĺbka hladiny PV meraná automatickým hladinomerom	4	JV-17, JV-22, JV-44, JV-54
	výdatnosť odvodňovacích zariadení	28	INM-1, INM-2, INM-3, ST-1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 2/1, 2/2, 2/3, 3/1, 3/2, 3/3, 3/4, 4/1, 4/2, 4/3, 5/1, 5/2, 5/3, 6/1, 6/2, 6/3, 6/4, 7/1, 7/2, 7/3
	zrážkové úhrny	3	stanice SHMÚ Čaña (indikatív 60140), Vyšný Čaj (indikatív 60120), Košice-letisko (indikatív 60120)
2014	inklinometrické merania	20	INM-2, INM-5, INK-12, IN-14, INK-16, IN-17, INK-21, INK-22, INK-24A, INK-26, INK-32, IN-34, INK-42, INK-43, INK-44, INK-51, INK-52, INK-53, INK-55
	hĺbka hladiny PV	59	J-1, JC-1, JC-2, JC-3, JC-4, JC-5, JJ-1, JJ-2 JJ-3, JK-1, JK-2, JK-3, JK-4, 6, JS-1, JS-2, JS-2A, JS-3, JS-4, JS-4A, JV-11, JV-12, JV-14, JV-15, JV-16, JV-18, JV-22, JV-23, JV-23A, JV-23B, JV-24, JV-25, JV-25A, JV-26, JV-26A, JV-27, JV-31, JV-33, JV-34, JV-35, JV-41, JV-42, JV-43, JV-43A, JV-44, JV-45, JV-51, JV-52, JV-53, JV-53A, JV-54, JV-54A, JV-55, P-1, P-2, P-3, P-4, P-6, PZ-1, PZ-1A, SŠ-1
	hĺbka hladiny PV meraná automatickým hladinomerom	4	JV-17, JV-22, JV-44, JV-54
	výdatnosť odvodňovacích zariadení	28	INM-1, INM-2, INM-3, ST-1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 2/1, 2/2, 2/3, 3/1, 3/2, 3/3, 3/4, 4/1, 4/2, 4/3, 5/1, 5/2, 5/3, 6/1, 6/2, 6/3, 6/4, 7/1, 7/2, 7/3
	zrážkové úhrny	3	stanice SHMÚ Čaña (indikatív 60140), Vyšný Čaj (indikatív 60120), Košice-letisko (indikatív 60120)
2015	inklinometrické merania	21	INM-2, INM-3A, INM-5, INK-12, INK-14, INK-16, INK-17, INK-21, INK-22, INK-24A, INK-26, INK-32, INK-34, INK-42, INK-43, INK-44, INK-51, INK-52, INK-53, INK-55, INK-56
	stacionárne inklinometre	2	INK-12, INK-56
	hĺbka hladiny PV	72	J-1, JC-1, JC-2, JC-3, JC-4 JC-5, JJ-1, JJ-2, JJ-3, JJ-4, JK-1, 3, 4, 6, JS-1, 2, 2A, 3, 4, 4A, JV-11, 12, 15, 16, 18, 22, 23, 23A, 23B, 25, 25A, 26, 26A, 27, 31, 33 až 35, 41 až 43, 43A, 44, 45, 51 až 53, 53A, 54A, 55, P-1, 3až 5, 6, PŠ-3, PZ-1, 1A, 2, 2A, 4, 5, 5A, 6 až 12, ŠS-1, 2
	hĺbka hladiny PV meraná automatickým hladinomerom	4	JV-17, JV-22, JV-44, JV-54
	výdatnosť odvodňovacích zariadení	37	HNM-1, HNM-2, HNM-3, SHV-11, SHV-12, SHV-13, SHV-14, SHV-15, SHV-21, SHV-22, SHV-23, SHV-31, SHV-32, SHV-33, SHV-34, SHV-51, SHV-52, SHV-53, SHV-61, SHV-62, SHV-63, SHV-64, SHV-71, SHV-72, SHV-73, SHV-81, SHV-82, SHV-91, SHV-92, SHV-93, SHV-101, SHV-111, SHV-112, ST-12
	zrážkové úhrny	3	stanice SHMÚ Čaña (indikatív 60140), Vyšný Čaj (indikatív 60120), Košice-letisko (indikatív 60120)
2016	inklinometrické merania	21	INM-2, INM-3A, INM-5, INK-12, INK-14, INK-16, INK-17, INK-21, INK-22, INK-24A, INK-26, INK-32, INK-34, INK-42, INK-43, INK-44, INK-51, INK-52, INK-53, INK-55, INK-56
	stacionárne inklinometre	2	INK-12, INK-56
	radarová interferometria	premen. počet snímkov	Sentinel-1: dráha č. 102 (374 prirodzených odražačov), dráha č. 153 (356 prirodzených odražačov)
	hĺbka hladiny PV	68	J-1, JC-1, 2, 3, 4, 5, JJ-1, 2 a 4, JK-1, 3, 4 a 6, JS-1, 2, 2A, 3, 4 a 4A, JV-11, 12, 15, 16, 18, 22, 23, JV-23A, 25, 25A, 26, 27, 31, 33, 34, 35, 41, 42, 43, 44, 45, 51, 52, 53, 53A, 54A a 55, P-1, 3, až 6, PŠ-3, PZ-1, 1A, 2, 2A, 4, 5, 5A, 6 až 12, ŠS-1 a 2
	hĺbka hladiny PV meraná automatickým hladinomerom	4	JV-17, JV-22, JV-44, JV-54

Tab. 3 – pokračovanie.

Obdobie (kalendárny rok)	Druh meraní	Počet monitor. objektov	Monitorovacie objekty
2016	výdatnosť odvodňovacích zariadení	37	HNM-1, HNM-2, HNM- 3, SHV-11, SHV-12, SHV-13, SHV-14, SHV-15, SHV-21, SHV-22, SHV-23, SHV-31, SHV-32, SHV-33, SHV-34, SHV-51, SHV-52, SHV-53, SHV-61, SHV-62, SHV-63, SHV- 64, SHV-71, SHV-72, SHV-73, SHV-81, SHV-82, SHV-91, SHV-92, SHV-93, SHV-101, SHV-111, SHV-112, ST-12
	zrážkové úhrny	2	stanice SHMÚ Čaňa (indikatív 60140), Vyšný Čaj (indikatív 60120)
2017	inklinometrické merania	13	INM-2, INM-5, INK-12, INK-22, INK-24A, INK-26, INK-32, INK-34, INK-42, INK-43, INK-44, INK-52, INK-53, INK-56
	stacionárne inklinometre	2	INK-14, INK-56
	radarová interferometria	premen. počet snímkov	Sentinel-1: dráha č. 102 (390 prirodzených odrážačov), dráha č. 153 (359 prirodzených odrážačov)
	hĺbka hladiny PV	68	J-1, JC-1 až 5, JJ-1, 2 a 4, JK-1, 3, 4 a 6, JS-1, 2, 2A, 3, 4 a 4A, JV-11, 12, 15, 16, 18, 22, 23, JV-23A, 25, 25A, 26, 27, 31, 33, 34, 35, 41, 42, 43, 44, 45, 51, 52, 53, 53A, 54A a 55, P-1, 3, až 6, PŠ-3, PZ-1, 1A, 2, 2A, 4, 5, 5A, 6 až 12, ŠS-1 a 2
	hĺbka hladiny PV meraná automatickým hladinomerom	4	JV-17, JV-22, JV-44, JV-54
	výdatnosť odvodňovacích zariadení	34	HNM-1, až 3, SHV-11 až 15, SHV-21 až 23, SHV-31 až 34, SHV-51 až 53, SHV-61 až 64, SHV-71 až 73, SHV-81 a 82, SHV-91 až 93, SHV-101, SHV-111 a 112, ST-12
	zrážkové úhrny	2	stanice SHMÚ Čaňa (indikatív 60140), Vyšný Čaj (indikatív 60120)
2018	inklinometrické merania	14	INK-12, INK-21, INK-22, INK-24A, INK-26, INK-32, INK-34, INK-42, INK-43, INK-44, INK-52, INK-53, INK-55, INK-56
	stacionárne inklinometre	2	INK-14, INK-56
	radarová interferometria	premen. počet snímkov	Sentinel-1: dráha č. 102 (prirodzených odrážačov), dráha č. 153 (prirodzených odrážačov)
	hĺbka hladiny PV	69	J-1, JC-1 až 5, JJ-1 až 4, JK-1, 3, 4, JS-1, 2, 2A, 3, 4 a 4A, JV-11, 12, 15, 16, 22, 23, 23A, 25, 25A, 26, 26A, 27, 31, 33, 34, 35, 41, 42, 43, 43A, 44, 45, 51, 52, 53, 53A, 54A a 55, P-1, P-2 až 6, PZ-1, 1A, 2, 2A, 4, 5, 5A, 6 až 12, ŠS-1 a 2
	hĺbka hladiny PV meraná automatickým hladinomerom	2	JV-17, JV-22
	výdatnosť odvodňovacích zariadení	31	HNM-1 až 3, SHV-11 až 15, SHV-31 až 34, SHV-51 až 53, SHV-61 až 64, SHV-71 až 73, SHV-81 a 82, SHV-91 až 93, SHV-101, SHV-111 a 112, ST-12
	zrážkové úhrny	2	stanice SHMÚ Čaňa (indikatív 60140), Vyšný Čaj (indikatív 60120)

pomerov na zosuvnej lokalite. Boli zamerané lokálne iba na južnú časť územia a riešili hĺbkové odvodnenie plytších zosuvov medzi Strmou a Obchodnou ulicou a ulicou Repiská. Ako hlavný sanačný prvok bola vybudovaná drenážna štrková stena a sieť subhorizontálnych odvodňovacích vrtov napojených na drenážnu stenu (Laurenčík et al., 2015).

V porovnaní s návrhmi z predchádzajúcich prieskumov a sanácií (Tometz et al., 2010; Sláma et al., 2012; Grech et al., 2014), vykonané sanačné opatrenia boli zrealizované v obmedzenom rozsahu (čiastkové opatrenia). Riešia len najviac ohrozené časti zosuvného územia a niektorých častí územia postihnutého svahovými deformáciami sa nedotkli. Pokiaľ ide o rozsah a charakter svahových deformácií, pomery tohto postihnutého územia sú veľmi zložité. Na sanáciu lokality sa zabezpečilo finančné a technické krytie prác a na základe výsledkov prieskumov a monitorovania ich bolo možné realizovať postupne vo viacerých fázach. Napriek tomu ani pozitívne výsledky vykonaných sanač-

ných prác nemôžu vyriešiť stabilné pomery lokality v celom rozsahu a s uspokojivým definitívnym výsledkom.

Porovnanie zrealizovaných sanačných prác so stabilným stavom lokality sledovaným prostredníctvom krátkodobých monitorovacích etáp a prostredníctvom dlhodobého monitoringu zosuvných telies a celého zosuvného územia v rámci projektu ČMS – GF je obsahom nasledujúcich kapitol tejto práce.

## 5. Zhodnotenie výsledkov dlhodobého monitorovania svahových deformácií

Monitorovanie svahových deformácií a vybraných zložiek geologického prostredia na zosuvnom území Nižnej Myšle sa začalo systematicky vykonávať od roku 2011. Vrty vybudované v období jún – október v rámci inžinierskogeologického prieskumu v roku 2010 boli prebraté do geologickej úlohy ČMS – GF, podsystém 01 *Zosuvy a iné svahové deformácie*, riešenej ŠGÚDŠ. Postupne, ako sa



budovala a dopĺňala sieť pozorovacích objektov na lokalite v rámci jednotlivých etáp sanácií v rokoch 2012, 2014 a 2015 (tab. 3), boli tieto objekty zahrnuté do dlhodobého monitoringu svahových deformácií geologickej úlohy ČMS – GF. Počet meraných objektov sa menil aj v závislosti od funkčnosti vrtovej alebo v dôsledku prerušenia sledovania parametrov vo vrtoch pre ich nízku kvalitu a výpovednú hodnotu.

Od roku 2019 je lokalita sledovaná prostredníctvom projektu *Monitoring zosuvných deformácií*.

### 5.1. Vývoj monitorovaných parametrov za roky 2011 – 2018

Intenzitu svahových pohybov bolo možné sledovať vizuálne bezprostredne po vzniku katastrofálnej udalosti v Nižnej Myšli. Ako uvádzajú v záverečnej správe Sláma et al. (2012), rýchlosť svahových pohybov odhadnutá z vizuálneho sledovania 4. júna 2010 bola v milimetroch až centimetroch za hodinu. Pri inžinierskogeologickom prieskume v roku 2010 boli zhotovené aj monitorovacie inklinometrické vrty INM-1 až INM-6 (august – september 2010). Takmer ihneď po ich zhotovení sa začali vykonávať inklinometrické merania v rámci krátkodobého monitoringu na zistenie východiskového stavu aktivity svahových deformácií. Vrty boli situované v miestach plošne najväčších zmapovaných zosuvov a zároveň v oblastiach s najintenzívnejšími prejavmi zosúvania. Päť vrtovej bolo situovaných v južnej časti zosuvného územia (širšia oblasť pod kostolom) a jeden (INM-6) na svahu nad budo-

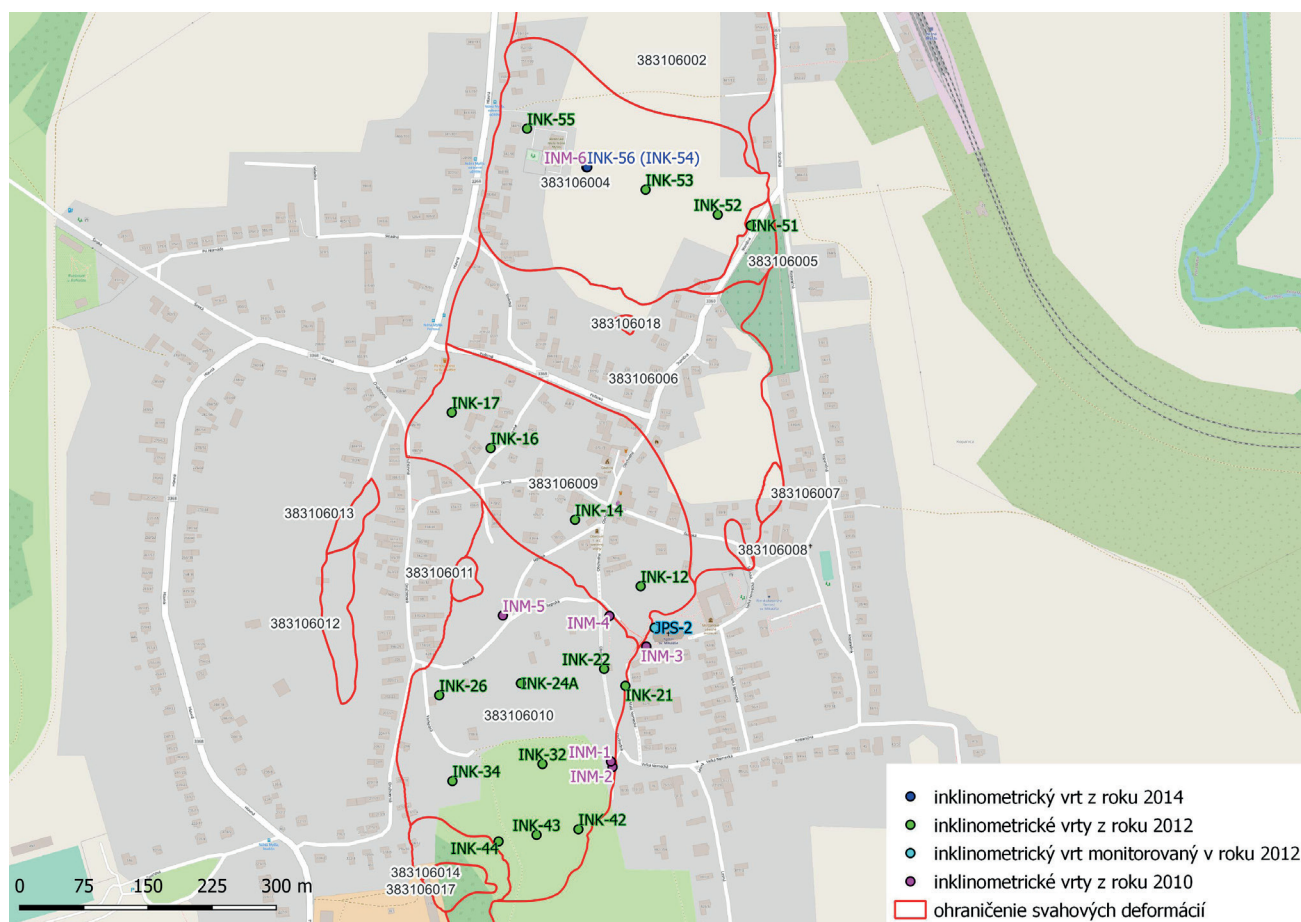
vou základnej školy. V období približne od 24. 8. do 7. 10. 2010 boli namerané etapové deformácie v hodnotách približne od 1,09 do 19,47 mm, čo po ich prepočte na rýchlosť pohybu za mesiac a za rok predstavuje extrémne hodnoty deformácie (tab. 4). V ďalšom texte je veľkosť deformácií z inklinometrických meraní vyjadrená vo forme rýchlosti za rok, v prípade extrémne veľkých hodnôt vo forme rýchlosti za mesiac. V súvislosti s tým treba poznamenať, že svahové pohyby majú vo všeobecnosti charakter rázovej povahy v závislosti od vývoja zosuvotvorných faktorov. Z monitorovania viacerých svahových deformácií na území Slovenska je zistené, že viaceré aktívne zosuvy sa vyznačujú pokračujúcim svahovým pohybom. Aj pri pomerne intenzívnom svahovom pohybe sú však etapy, pri ktorých dochádza k relatívnemu zrýchleniu alebo naopak, spomaleniu svahového pohybu. Na hodnotenie vývoja intenzity svahových deformácií za dlhšie časové obdobie bol na lokalite Nižná Myšľa zvolený spôsob vyjadrenia ich veľkosti vo forme rýchlosti za rok, ale pri tom sú dôležité práve etapy s rýchlejšim alebo pomalším vývojom svahového pohybu (pri hodnotení bližšie uvedené v ďalšom texte).

Ďalšie inklinometrické merania sa vykonávali počas krátkodobých etáp (tab. 3), ale kontinuálnosť meraní bola zabezpečená aj mimo krátkodobých etáp. Do siete pozorovaných inklinometrických vrtovej boli postupne zahrnuté aj novovybudované vrty počas jednotlivých etáp sanácie a výsledky monitoringu sú spracované v záverečných správach z geologických úloh (Sláma et al., 2012; Grech et al., 2014; Laurenčík et al., 2015). Od novembra 2011 boli vybudované inklinometrické vrty

**Tab. 4.** Výsledky inklinometrických meraní za východiskové obdobie 24. 8. – 7. 10. 2010 (podľa Tometz et al., 2010) a ich prepočet na rýchlosť deformácie za mesiac a za rok.

**Tab. 4.** Results of inclinometric measurements for the starting period 24/08/2010–07/10/2010 (according to Tometz et al., 2010) and their conversion to the rate of deformation per month and per year.

Inklinometrický vrt	Obdobie inklinometrických meraní	Nameraná deformácia			Prepočet na rýchlosť pohybu	
		Hĺbka [m]	Posun [mm]	Azimut [°]	mm . mesiac <sup>-1</sup>	mm . rok <sup>-1</sup>
INM-1	9. 9. – 7. 10. 2010	1,5	1,27	92	1,27	16,56
		4,0	1,09	54	1,09	14,21
		16,0	0,20	78	0,20	2,61
INM-2	24. 8. – 7. 10. 2010	1,5	7,25	288	4,61	60,14
		3,0	3,25	311	2,07	26,96
		13,5	1,49	345	0,95	12,36
INM-3	16. 9. – 7. 10. 2010	1,0	2,24	80	2,99	38,93
		7,0	1,81	77	2,41	31,46
		12,5	0,58	107	0,77	10,08
INM-4	24. 8. – 7. 10. 2010	1,5	15,13	277	9,63	125,51
		6,5	18,02	278	11,47	149,48
		14,5	19,47	274	12,39	161,51
INM-5	9. 9. – 7. 10. 2010	1,5	9,09	291	9,09	118,49
		9,5	8,49	291	8,49	110,67
		12,0	0,80	34	0,80	10,43
INM-6	16. 9. – 7. 10. 2010	1,5	4,78	302	6,37	83,08
		7,0	4,27	299	5,69	74,22
		14,5	3,32	297	4,43	57,70



Obr. 3. Prehľadná situácia vybudovaných a monitorovaných inklinometrických vrtov.

Fig. 3. A overview of the built and monitored inclinometric wells.

začlenené do úlohy ČMS – GF a merania v nich, ako aj v novovybudovaných vrtoch v jednotlivých etapách sanácie sa za obdobie od roku 2011, resp. 2012 alebo 2015 vykonávali kontinuálne do roku 2018. Sú spracované v ročných správach z monitoringu (Ondrejka et al., 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018b a 2019). Merania naďalej kontinuálne pokračujú od roku 2019 v projekte *Monitoring zosuvných deformácií*.

Zo šiestich vybudovaných inklinometrických vrtov v roku 2011 vrt INM-4 s nameranými najväčšími prvotnými deformáciami v roku 2010 bol už na konci roku 2011 nepriechodný v hĺbke 14,5 m pre nadmernú deformáciu inklinometrickej pažnice, ktorú zapríčinil stále postupujúci svahový pohyb. Tento vrt bol situovaný priamo pod odľučnou oblasťou katastrofálneho zosuvu pod kostolom. V plošne rozsiahlych zosuvných telesách pod kostolom (južná časť zosuvného územia) vykazovali vrty INM-2 a INM-5 (z roku 2010) v ďalších obdobiach veľké prírastky deformácií. Najvyššia rýchlosť pohybu bola 29,41 mm za rok v období leto až jeseň 2013 (INM-5 v hĺbke 9,5 m), resp. v povrchovej vrstve až 34,55 mm za rok v období leto až jeseň 2016 (INM-2). V tejto južnej časti zosuvného územia bola v roku 2012 doplnená sieť inklinometrických vrtov o ďalších 9 objektov (INK-21, INK-22, INK-24, INK-26, INK-32, INK-34, INK-42, INK-43, INK-44), pričom takmer všetky, okrem INK-21, ktorý je nad odľučnou hranou zosuvu, a okrem INK-24 a INK-26 dosahovali

etapovite veľkú intenzitu pohybov (od približne 1,5 mm až po extrémnu hodnotu 93,58 mm za rok vo vrte INK-22 v období od jesene 2016 do jari 2017). Vyššia intenzita pohybu bola zaznamenaná vo vrtoch v zosuve priamo pod kostolom, ktorý sa pri aktivácii v roku 2010 vyznačoval najkatastrofálnejším dosahom na zástavbu obce. Naopak, relatívne menšiu intenzitu pohybu vykazovali vrty v nezastavanej časti zosuvného územia na juhu obce.

V centrálnej časti zosuvného územia boli v roku 2012 vybudované inklinometrické vrty (INK-12, INK-14, INK-16, INK-17). Z nich vrtmi INK-12 a INK-14 sa sledujú šmykové plochy v strednej hĺbke (9,0 až 10,5 m). Tieto merania dlhodobo vykazujú stabilné prírastky deformácií, pričom rýchlosť pohybu vyjadrená v milimetroch za rok sa v hĺbke šmykových plôch pohybuje od približne 1 do 13 mm. Vrty INK-16 a INK-17 v akumuláčnej časti zosuvu sa počas sledovaného obdobia vyznačujú stabilne malými prírastkami deformácií a rýchlosť pohybu je maximálne 2,5 mm za rok (INK-17), resp. vo vrte INK-16 v roku 2013 to bolo 7,3 mm, ale v ďalších rokoch postupne klesala na 0,83 mm za rok.

V zosuvnom území pod Staničnou ulicou (zosuvný svah nad budovou základnej školy) bol v roku 2010 zhotovený inklinometrický vrt INM-6. Tento vrt vykazoval vo väčšej hĺbke (13,58 m pod terénom) intenzívne deformácie, ktoré najmä od jari 2013 stúpali až na hodnotu intenzity pohybu 52,38 mm za rok. Touto akceleráciou pohybu sa v roku

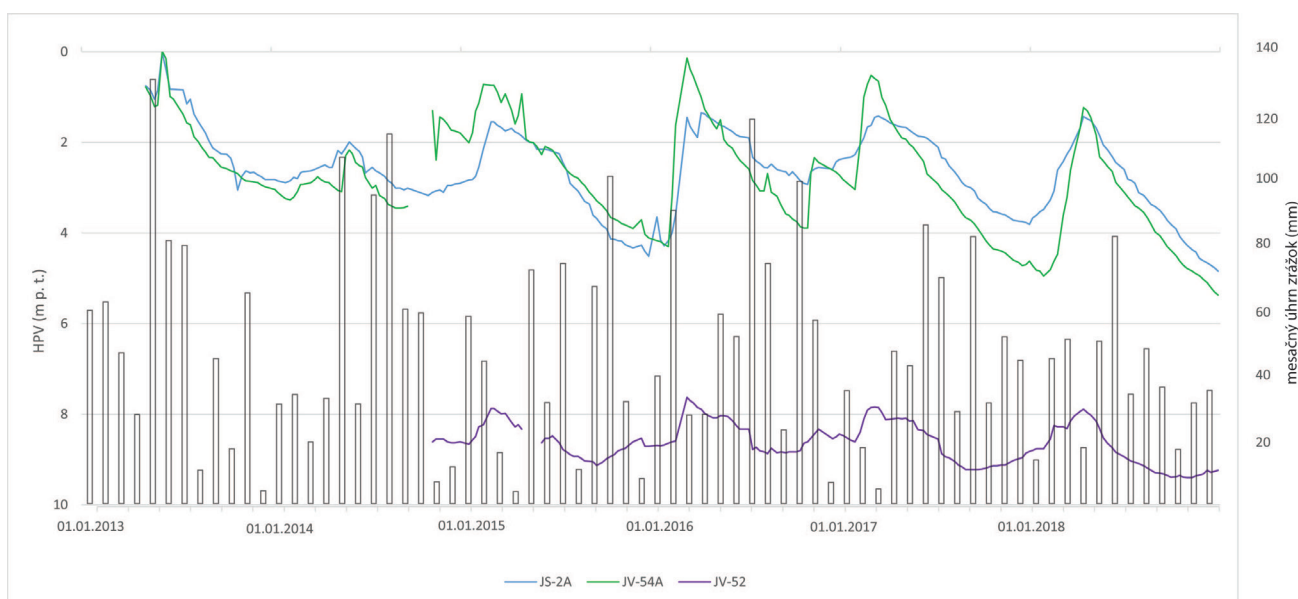
2014 narušila jeho priechodnosť (strihnutie vrtu). Tento vrt bol v roku 2012 doplnený ďalšími inklinometrickými vrtmi v profile od Staničnej ulice až po akumuláciu čast' zosuvu pod budovou školy (vrtvy INK-51, INK-52, INK-53, INK-55) a v roku 2015 bol zdeformovaný vrt INM-6 nahradený novým vrtom INK-54. Vrt INK-51 je situovaný nad odľučnou hranou najväčšieho zosuvu na Staničnej ulici. Oproti ostatným vrtom vykazoval relatívne malé prírastky deformácií, no po obnovení meraní v tomto vrte bol v poslednom období od jesene roku 2016 do jari 2019 zaznamenaný vyšší prírastok deformácie s rýchlosťou pohybu približne 4,3 mm za rok. Vrtvy INK-52 a INK-53 však v odľučnej a transportačnej časti zosuvu vykazovali etapovite veľké prírastky deformácií a rýchlosť pohybu dosahovala hodnotu až 40 mm za rok (INK-52 v období leto až zima 2014), resp. 52,49 mm za rok (INK-53 v období jeseň 2015 až jar 2016).

Na lokalite sa dlhodobo vykonávajú aj režimové pozorovania hladiny podzemnej vody v piezometrických vrtoch. V roku 2011 a 2012 sa režimové pozorovania vykonávali v obmedzenom počte vrtov (5 vrtov) a od roku 2013 boli medzi pozorovacie objekty prevzaté aj vrtvy vybudované v roku 2010 (23 vrtov) a v roku 2012 (36 vrtov). Výber vrtov na režimové pozorovania závisel od vystrojenia vrtu (zachytenie zvodnenej vrstvy). V roku 2014 bolo dobudovaných ďalších 12 vrtov, prevažne v severnej časti zosuvného územia. Počet vrtov, v ktorých sa vykonávajú režimové pozorovania, sa dlhodobo pohybuje od 51 do 72 objektov, keďže niektoré vrtvy boli z pozorovaní vyradené (zničené, strihnuté) a väčší počet vrtov vykazuje, že hladina sa nachádza pod úrovňou dna vrtu (viac ako 10 vrtov je po celý rok suchých). Vývoj hĺbky hladiny podzemnej vody sa analyzuje v ročných správach z monitoringu. Z analýzy meraní za dlhšie časové obdobie od roku 2013

do roku 2017 vyplýva, že amplitúda zmien hĺbky hladiny podzemnej vody dosahuje len minimálne hodnoty, cyklicky sa opakujú jej vzostupy a zostupy, súvisiace najmä s klimatickými faktormi (Ondrejka et al., 2018b).

Minimálne úrovne sú vo všeobecnosti viazané na mesiac december, ale ich výskyt v rámci lokality je dosť nejednotný; všeobecne prevláda druhá polovica roka. Naopak, výskyt maximálnych stavov hladiny podzemnej vody je vo veľkej časti vrtov spojený s mesiacom jún, resp. marec. V období monitorovania sa hladina podzemnej vody viackrát dostala do blízkosti terénu, resp. presahovala jeho úroveň. Ide najmä o vrtvy JS-2A (0,02 m pod terénom; 201,84 m n. m.), JS-3 (0,03 m pod terénom; 196,48 m n. m.) a JV-54A (0,01 m nad terénom; 192,55 m n. m.). Zaujímavosťou je, že všetky uvedené maximálne stavy boli namerané prakticky v rovnakom období, v prvej polovici júna 2013. Hladina podzemnej vody v uvedených vrtoch počas suchších období klesá až do hĺbky od 4,3 do 8,79 m pod terénom (Ondrejka et al., 2018b). Vývoj úrovne hladiny podzemnej vody plytkého zvodneného horizontu vo vrte JS-2A a vo vrte JV-54A (v severnej časti zosuvného územia) a vývoj úrovne hladiny podzemnej vody hlbšieho zvodneného horizontu vo vrte JV-52 (v severnej časti zosuvného územia) je znázornený na obr. 4. Ako vyplýva z obr. 4, plytký a hlbší zvodnený horizont vykazujú veľmi podobný vývoj zmien úrovne hladiny podzemnej vody, najmä pokiaľ ide o náhle stúpnutie hladiny podzemnej vody. To napovedá, že tieto zvodnené horizonty rovnako reagujú na zrážky v infiltračnej oblasti.

Jedným z hlavných sanačných prvkov na lokalite sú subhorizontálne odvodňovacie vrtvy. Výdatnosť odvodňovacích vrtov sa merala počas realizácie sanačných prác a následne vybudované odvodňovacie vrtvy boli zahrnuté do monitoringu na sledovanie účinnosti sanačných opatrení – funkčnosti vrtov a ich dlhodobej výdatnosti. Dôležitým



**Obr. 4.** Vývoj zmien úrovne výšky hladiny podzemnej vody v metroch pod terénom za dlhšie časové obdobie (2013 – 2019) vo vrtoch JS-2A, JV-52 a JV-54A (spracované podľa Ondrejku, 2012 – 2018, doplnené o údaje z roku 2019) a mesačných úhrnov zrážok zo stanice SHMÚ Čaňa (indikatív 60140).

**Fig. 4.** Changes of the groundwater level in meters below the ground over a longer period of time (2013–2019) in the wells JS-2A, JV-52 and JV-54A (processed according to Ondrejka, 2012–2018, supplemented with data from 2019) and monthly rainfall totals from SHMI Čaňa station (indicative 60140).



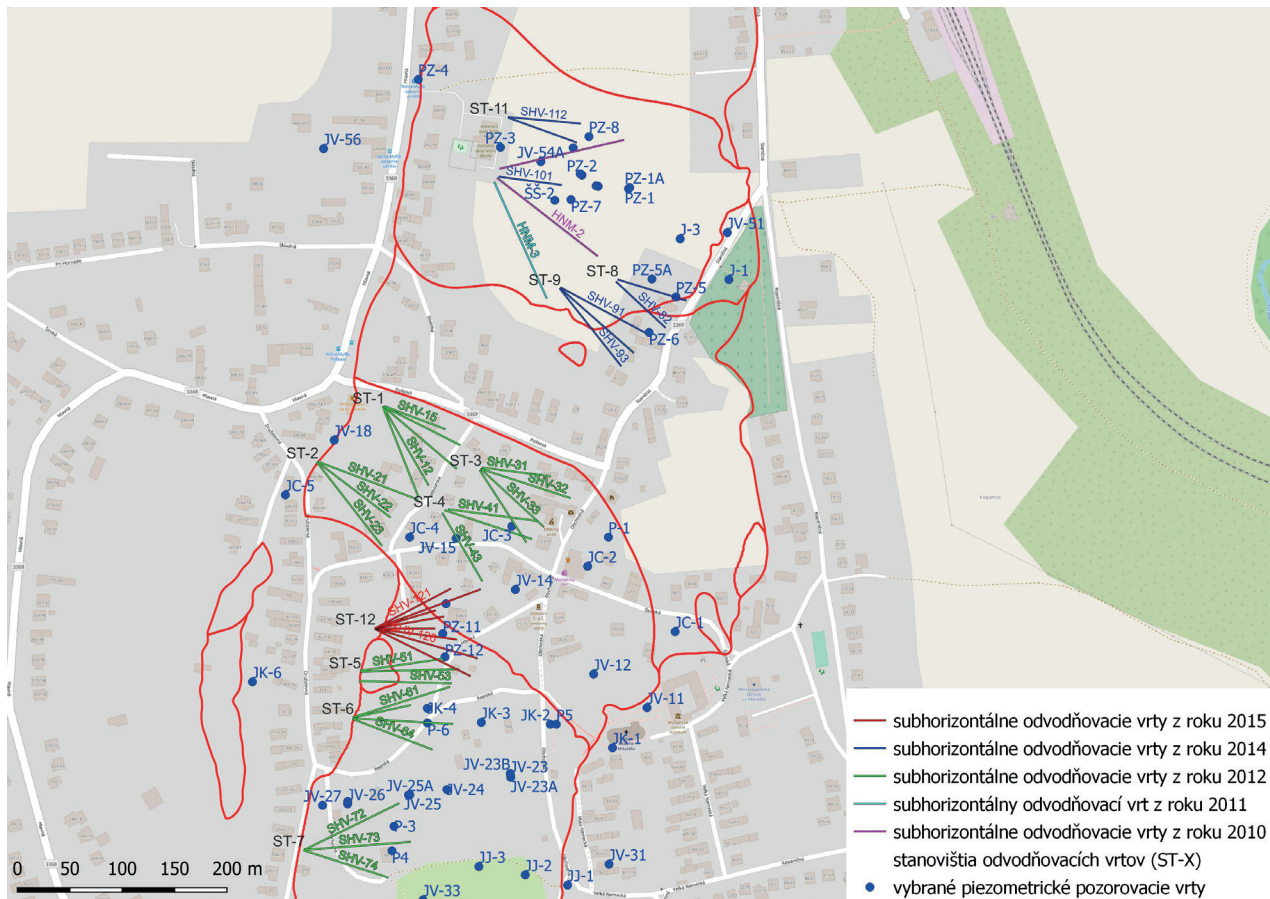
parametrom je okamžitá výdatnosť vrtov pri ich realizácii, ktorá napovedá o úspešnosti navrtania zvodneného horizontu v zosuvných telesách. V roku 2010 boli vyvrátené 3 odvodňovacie vrtv v zosuve nad budovou základnej školy (obr. 5). V roku 2012 sa zrealizovalo 25 vrtov zoskupených do 8 vejárov, v roku 2014 bolo vyvrátených 8 odvodňovacích vrtov zo 4 stanovišť. V roku 2015 v akumuláčnej časti zosuvu v priestore Hlbokoj ulice bolo doplnených 8 odvodňovacích vrtov z jedného stanovišťa. Východiskové údaje výdatnosti odvodňovacích vrtov sú uvedené v tab. 5.

Z vybudovaných odvodňovacích vrtov dlhodobu merateľnú hodnotu výdatnosti dosahujú vrtv SHV-12, SHV-13, SHV-14, SHV-15, SHV-51, SHV-52, SHV-53, SHV-61, SHV-63, SHV-64, SHV-82, SHV-91, SHV-111, SHV-112 a spoločne vrtv na stanovišti ST-12, ktoré sú zaústené do spoločného zberného potrubia. Naopak, dlhodobu suché sú vrtv HNM-1, HNM-2, HNM-3, SHV-31, SHV-32, SHV-33, SHV-34, SHV-71, SHV-72, SHV-73, SHV-81, SHV-92, SHV-93 a SHV-101. Na ostatných vrtoch bolo meranie prerušené alebo namerané hodnoty nemajú žiadnu výpovednú hodnotu.

Sumárne vyššiu hodnotu výdatnosti (priemer za dlhšie časové obdobie  $2,99 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ) dosahujú odvodňovacie vrtv na stanovišti ST-1 v centrálnej časti zosuvného územia (medzi Poštovou a Mäsiarskou ulicou), situované na spodnej hrane veľkého zosuvného telesa. Vrtv v ich dĺžke vrtania zhruba 70 m pravdepodobne zachytili zvodnenú vrstvu kvartérnych pieskov, ktoré aj počas prieskumných

prác boli zvodnené. V akumuláčnej časti veľkého zosuvu pod kostolom sa už v minulosti vyskytovalo zamokrené územie. V roku 2012 tu boli situované dve stanovišťa odvodňovacích vrtov (ST-5 a ST-6), ktoré takisto dlhodobo vykazujú vyššie hodnoty výdatnosti (priemer za dlhšie časové obdobie  $2,87 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Z nich sú vrtv SHV-52, SHV-53 a SHV-61 zaústené do štrkovej steny hlbokoj 9,5 – 10,0 m, vybudovanej medzi ulicou Repiská a Hlbokou ulicou. Týmto hĺbkovým a podpovrchovým odvodnením je zachytená úroveň podzemnej vody s napätou hladinou v hĺbke približne 7,0 m, ktorá predstavuje aj hĺbku šmykovej plochy čiastkových plytších zosuvov. Do ďalšej drenážnej štrkovej steny vybudovanej v roku 2015 medzi Strmou a Hlbokou ulicou (v zosuvných telesách v centrálnej časti a pod kostolom) je zaústených 8 vrtov zo stanovišťa ST-12. Ich spoločná výdatnosť dosahuje priemernú hodnotu  $0,92 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  za dlhšie časové obdobie. Tieto odvodňovacie zariadenia narazili hladinu podzemnej vody na báze kvartérnych piesčitých sedimentov s drobnými obliakmi štrku uloženými na nepriepustnom podloží tvorenom ílmi.

Ako jedna z progresívnych monitorovacích metód sa na lokalite Nižná Mysľa začala v roku 2016 využívať metóda aplikovanej radarovej interferometrie InSAR. Táto metóda umožňuje presné určovanie a monitorovanie deformácií zemského povrchu. Jednou z pokročilých technológií družicovej radarovej interferometrie je metóda využívajúca prirodzené alebo umelo vytvorené odrážače so stabilnou elektromagnetickou odpoveďou PSInSAR (*Persistent*



Obr. 5. Situovanie subhorizontálnych odvodňovacích vrtov realizovaných v období od roku 2010 do roku 2015.  
 Fig. 5. Situation of subhorizontal drainage wells built in the period 2010 to 2015.



**Tab. 5.** Nameraná výdatnosť subhorizontálnych odvodňovacích vrtov pri ich realizácii a po skončení vrtania (podľa: Tometz et al., 2010; Sláma et al., 2012; Grech et al., 2014; Laurenčík et al., 2015) a ich dlhodobá výdatnosť (spracované podľa Ondrejku, 2012 – 2018).

**Tab. 5.** Measured yields of subhorizontal drainage wells during their implementation and after completion of drilling (according to: Tometz et al., 2010; Sláma et al., 2012; Grech et al., 2014; Laurenčík et al., 2015) and their long-term yield (processed according to Ondrejka, 2012–2018).

Étapa sanácie	Stanovište SHV	SHV	Dĺžka [m]	Výdatnosť po narazení zvodnenej vrstvy	Výdatnosť po skončení vrtania	Dlhodobá priemerná výdatnosť	
				[l . min <sup>-1</sup> ]	[l . min <sup>-1</sup> ]	[l . min <sup>-1</sup> ]	
IG prieskum vrátane okamžitých protihavarijných opatrení (2010)	nad ZŠ	HNM-1	120	–	0,00 – 2,4	suchý	
		HNM-2	120	–	1,2 – 3,0	suchý	
Doplnený vrt	nad ZŠ	HNM-3	120	–	–	suchý	
1. etapa sanácie (2012)	ST-1	SHV-11	80	7,50	12,00	suchý	
		SHV-12	90	10,20	1,80		0,78
		SHV-13	85	nezistená	kvapkanie		0,02
		SHV-14	91	nezistená	4,50		0,21
		SHV-15	60	nezistená	1,20		1,97
	ST-2	SHV-21	100	nezistená	kvapkanie	nemeraný	
		SHV-22	86	nezistená	kvapkanie	nemeraný	
		SHV-23	100	19,80	10,20	nemeraný	
	ST-3	SHV-31	65	nezistená	suchý	suchý	
		SHV-32	88	nezistená	kvapkanie	suchý	
		SHV-33	80	nezistená	suchý	suchý	
		SHV-34	81	nezistená	suchý	suchý	
	ST-4	SHV-41	85	nezistená	suchý	nemeraný	
		SHV-42	85	nezistená	0,90	nemeraný	
		SHV-43	75	nezistená	slabé kvap.	nemeraný	
	ST-5	SHV-51	74	nezistená	3,90		0,49
		SHV-52	94	nezistená	15,60		2,25
		SHV-53	85	nezistená	19,80		0,13
	ST-6	SHV-61	94	nezistená	10,02	suchý	0,06
		SHV-62	55	nezistená			2,20
		SHV-63	94	nezistená			0,22
		SHV-64	80	nezistená	12,00		
	ST-7	SHV-72	100	nezistená	kvapkanie	suchý	
		SHV-73	100	nezistená	suchý	suchý	
		SHV-74	83	nezistená	suchý	nemeraný	

Tab. 5 – pokračovanie.

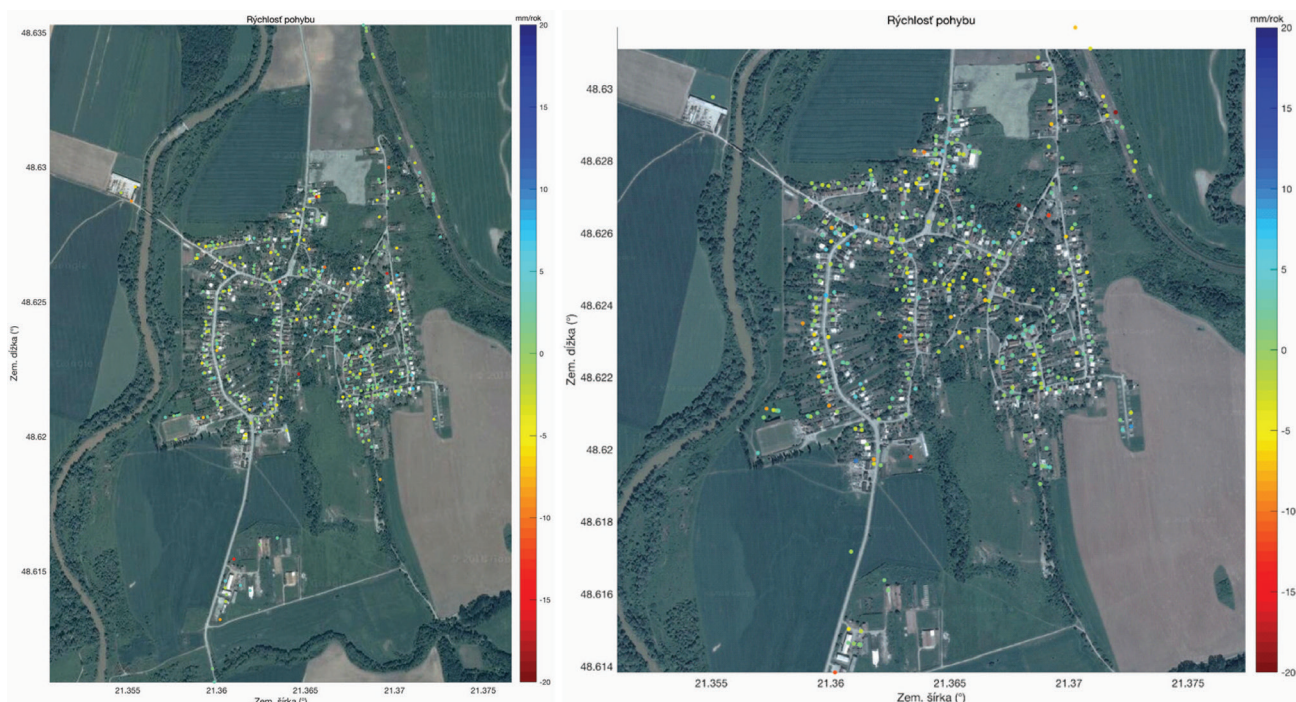
Etapa sanácie	Stanovište SHV	SHV	Dĺžka [m]	Výdatnosť po narazení zvodnenej vrstvy	Výdatnosť po skončení vrtania	Dlhodobá priemerná výdatnosť	
				[l . min <sup>-1</sup> ]	[l . min <sup>-1</sup> ]	[l . min <sup>-1</sup> ]	
2. etapa sanácie (2014)	ST-8	SHV-81	67	nezistená	0,18	suchý	0,26
		SHV-82	63	nezistená	9,00		
	ST-9	SHV-91	90	nezistená	3,60		0,19
		SHV-92	92	nezistená	kvapkanie	suchý	
		SHV-93	93	nezistená	slabé kvap.	suchý	
	ST-10	SHV-101	59	nezistená	0,02	suchý	
	ST-11	SHV-111	68	nezistená	suchý		0,10
		SHV-112	68	nezistená	suchý		0,31
3. etapa sanácie (2015)	ST-12	SHV-121	80	40,20	0,54		0,92 (spoločná výdatnosť – vrty sú zachytené do jedného zberného potrubia)
		SHV-122	50	kvapkanie	0,01		
		SHV-123	65	kvapkanie	slabé kvap.		
		SHV-124	50	kvapkanie	0,02		
		SHV-125	77	kvapkanie	0,00		
		SHV-126	100	0,36	0,30		
		SHV-127	100	37,80	0,78		
		SHV-128	105	4,14	0,33		

*Scatterer 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. Metóda umožňuje využívať družicové radarové merania nezávisle od počasia či denného alebo nočného času snímokovania s vysokým priestorovým rozlíšením a pokrytím veľkej oblasti jednou snímkou. Družicová radarová interferometria využíva elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou od 3 do 25 cm (oblasť frekvenčných pásiem L, C a X). Je vysielané vo forme pulzov aktívnym radarovým systémom na družici smerom k Zemi a po interakcii so zemským povrchom následne prijaté späť. Zo signálu sa využíva amplitúda a fáza prijatého elektromagnetického vlnenia. Pri interferometrickom spracovaní sa používa minimálne dvojica snímok, pričom primárne sa 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 (obr. 6). Princiálne ide o rozdiel fázovej zložky signálu medzi korešpondujúcimi obrazovými elementmi z prvého a druhého (n-tého) preletu družice nad daným územím (Ferreti et al., 2007).

Na analýzu územia Nižnej Myšle prostredníctvom metódy InSAR sa využívajú snímkové súbory z družíc Sentinel-1A/B, vzostupná dráha č. 102 a zostupná dráha č. 153. Z režimu preletu družice Sentinel-1A/B sa získavajú ra-

darové snímky, ktoré sa následne spracúvajú. V území sú vybrané prirodzené odrazové body, ktoré musia spĺňať kritériá vhodnosti na analýzu prostredníctvom porovnávania radarových snímok. Počet prirodzených odrážačov (objektov) sa môže meniť v závislosti od splnenia kritérií a ich počet na lokalite je limitovaný výskytom takýchto vhodných objektov v príslušnej časti územia (v Nižnej Myšli sa ako vhodné prirodzené odrazové body využívajú prevažne strechy budov). Z analýzy metódou stabilných odrazových prvkov (PSInSAR) vyplýva, že väčšina územia obce bola v roku 2017 relatívne stabilizovaná, ale s výskytom bodov dosahujúcich výraznejšie hodnoty rýchlosti, ktoré môžu indikovať lokálne deformácie, zmeny na zemskom povrchu alebo môžu byť dôsledkom vyššieho šumu v interferometrickej fáze (Papčo a Bakoň, 2018).

Údaje o klimatických pomeroch (úhrny zrážok) na lokalite sa získavajú z údajov SHMÚ na zrážkomerných stanicách Čaňa (indikatív 60140), Vyšný Čaj (indikatív 60120) a Košice-letisko (indikatív 60120), ktoré sú v blízkosti obce Nižná Myšľa. Hodnoty mesačných úhrnov, denných úhrnov zrážok, prípadne kumulovaných úhrnov zrážok sa používajú pri nepriamom hodnotení nameraných ukazovateľov úrovne hladiny podzemnej vody, výdatnosti odvodňovacích zariadení, ako aj pri posúdení klimatických pomerov na lokalite v jednotlivých časových obdobiach relevantných na hodnotenie stability situácie územia.



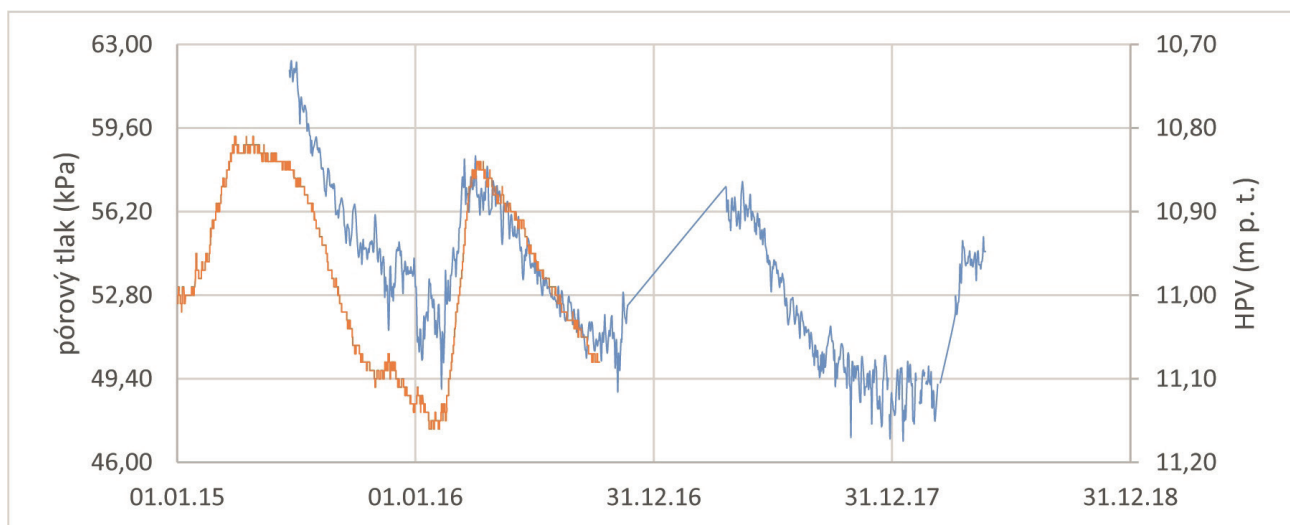
**Obr. 6.** Rýchlosť pohybu sledovaných stabilných odrazových bodov v smere dráhy lúča na lokalite Nižná Myšľa v roku 2017: a – vzostupná dráha č. 102; b – zostupná dráha č. 153 (spracoval Ondrejka podľa Papča a Bakoňa, 2018).

**Fig. 6.** The speed of movement of the observed stable reflection points in the direction of the beam path at the Nižná Myšľa location in 2017: a – ascending track no. 102; b – descending track no. 153 (edited by Ondrejka according to Papčo and Bakoň, 2018).

### 5.2. Porovnanie výsledkov jednotlivých metód monitorovania

Na lokalite Nižná Myšľa bola od roku 2010 vybudovaná pomerne rozsiahla sieť monitorovacích objektov na meranie podpovrchových deformácií metódou presnej inklinometrie v inklinometrických vrtoch na vykonávanie režimových pozorovaní zmien hladiny podzemnej vody. Výbudovanie väčšieho počtu subhorizontálnych odvodňovacích vrtov umožnilo sledovanie výdatnosti prvkov tohto

hlbkového spôsobu odvodnenia zosuvných telies. V blízkosti lokality sa nachádzajú zrážkomerné stanice SHMÚ, ktoré umožňujú porovnať namerané hodnoty sledovaných ukazovateľov so základnými relevantnými klimatickými údajmi. Ako doplnujúci spôsob monitorovania bola zavedená metóda diaľkového prieskumu Zeme prostredníctvom metódy InSAR, využívajúcej väčší počet vhodných prirodzených odrazových bodov pokrývajúcich celé zosuvné územie.



**Obr. 7.** Porovnanie údajov zo snímača pórového tlaku (modrá; vrt INK-56) a automatického hladinomera (oranžová; vrt JV-54) (Ondrejka, 2012 – 2018).

**Fig. 7.** Comparison of pore pressure sensor data (blue; well INK-56); values in kPa and automatic level gauge (orange; well JV-54); values in m below ground (Ondrejka, 2012–2018).



Napriek rozsiahlej sieti monitorovacích objektov na veľkej ploche zosuvného územia a dlhému časovému obdobiu zberu a spracovania údajov obmedzený počet použitých typov metód monitoringu neumožňuje priame porovnanie jednotlivých metód. Na porovnanie by bolo potrebné použiť metódy, ktoré poskytujú údaje v rovnakých alebo porovnateľných veličinách (napr. zvislé a vodorovné zmeny povrchu terénu vyjadrené v dĺžkových mierach) alebo ktoré sa dajú korelovať (napr. deformácie inklinometrických pažníc pod povrchom s nameranými hodnotami zmien povrchu terénu). Podľa druhu použitých metód na lokalite je čiastočné porovnanie možné z nameraných údajov z inklinometrických meraní a zmien povrchu terénu meraných prostredníctvom technológie InSAR, hoci, ako bolo uvedené a ako je analyzované ďalej, súbor doterajších meraní neposkytuje dáta s takou výpovednou hodnotou, ktoré by umožnili vytvorenie priameho korelačného vzťahu medzi týmito metódami. V prípade indikovaných deformácií metódou InSAR môže byť príčinou iná geometria snímania pri zostupnej aj vzostupnej obežnej dráhe, ale aj zameranie spracovania na odhad pohybovej tendencie v rámci 1 roka. Využitie kompletného súboru snímok (od roku 2014) a tým väčšieho počtu vstupných údajov by potenciálne mohlo poukázať na dlhodobý vývoj deformácie v sledovaných bodoch, ktorý sa môže líšiť od ročných lineárnych trendov. Prevažná väčšina bodov s identifikovanou pohybovou tendenciou prislúcha k budovám, ktorých konštrukcie podliehajú rýchlejšej degradácii, respektíve potenciálne indikujú prítomnosť svahových pohybov. Odporúča sa preto individuálne hodnotenie jednotlivých bodov, resp. skupiny bodov v príslušnej časti sledovanej lokality. Rovnako vhodné je doplniť spracovanie o radarové snímky s vyšším priestorovým rozlíšením (TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed, ALOS-2), vykonať dôkladnú inšpekciu s porovnaním s pozemnými meraniami a zakomponovaním hodnotiteľa so znalosťou lokálnych špecifik a tiež možného deformačného charakteru daného sledovaného územia (Papčo a Bakoň, 2018).

Porovnanie zmien úrovne hladiny podzemnej vody a zrážkových úhrnov umožňuje získať predstavu o charaktere obehu podzemnej vody v kolektoroch, či už rýchlou reakciou úrovne hladiny podzemnej vody na zrážky, oneskorenou reakciou na zrážky alebo overením prepojenosti kolektorov. Pomerne vysokú mieru závislosti vykazujú aj merania výdatnosti odvodňovacích vrtov a zrážkových úhrnov. Podáva to obraz o ich účinnosti a technickej efektívnosti vybudovaných vrtov alebo podpovrchových prvkov odvodnenia (podpovrchová drenáž, podzemné štrkové steny so zaústenými odvodňovacími vrtmi).

Obmedzený súbor údajov poskytuje meranie pórového tlaku zo snímača osadeného vo vrte INK-56 v hĺbke priebehu šmykovej plochy (14,5 m pod terénom). Ondrejka (2012 – 2018) porovnal hodnoty pórového tlaku a deformácie meranej pomocou stacionárneho inklinometra osadeného v hĺbke 14,5 m vo vrte INK-56 a takisto vývoj ukazovateľa pórového tlaku a vývoja úrovne hladiny podzemnej vody v susednom piezometrickom vrte JV-54. Zatiaľ čo jasná závislosť medzi úrovňou hladiny podzemnej vody a hodnotou pórového tlaku sa potvrdila a je ilustrovaná na obr. 7, zaznamenané deformácie zo stacionárneho inklinometra

nereagujú priamo úmerne nameraným hodnotám zo snímača pórového tlaku.

Exaktné porovnanie výsledkov monitorovacích metód nie je možné, ale rozsiahly súbor údajov z jednotlivých metód umožňuje nepriame porovnanie účinnosti sanačných opatrení a ukazovateľov z monitorovania, analýzu stabilného stavu zosuvného územia a vývoja monitorovaných parametrov, ako aj zhodnotenie územia z hľadiska pokrytia monitorovacími objektmi alebo potreby ich doplnenia v jednotlivých častiach územia.

### 5.3. Kritické zhodnotenie doterajšieho spôsobu monitorovania lokality

Z objektívneho hľadiska je potrebné oceniť prístup zainteresovaných strán, ktoré umožnili vykonať podrobný a doplnkový inžinierskogeologický prieskum a sanáciu geologického prostredia v troch na seba nadväzujúcich etapách na vysokej odbornej úrovni. Aj vzhľadom na veľké škody, ktoré spôsobili zosuvy v roku 2010, spoločenská a finančná zainteresovanosť pri riešení problematiky zosuvov v Nižnej Myšli umožnila získať podrobný prehľad o geologickom prostredí a charaktere svahových deformácií a vykonať geologické práce a sanačné opatrenia v takom rozsahu, v akom sa na žiadnej zosuvnej lokalite na Slovensku doteraz neaplikovali. Potrebné je však konštatovať, že rozsiahlosť územia postihnutého svahovými deformáciami, ich charakter a prírodné a spoločenské podmienky neumožňujú s obmedzenými technickými a finančnými prostriedkami dosiahnuť trvalo stabilný stav celej lokality a ani pokryť lokalitu takou hustou sieťou monitorovacích bodov, ktoré by podávali dostatočnú predstavu o vývoji svahových deformácií v čase a priestore. Napriek tomu, že na tejto lokalite je hustá a rozsiahla sieť pozorovacích objektov, absentujúce metódy monitorovania alebo plošné pokrytie niektorých častí lokality neumožňujú získať kompletný a dostatočne výpovedný obraz o vývoji aktívnych i potenciálnych zosuvných telies a zosuvného územia ako celku.

Nedostatky v systéme monitorovania, ktoré sú však závislé od spoločenských, finančných a technických okolností, možno rozdeliť do viacerých oblastí. Prvou oblasťou je absencia niektorých typov metód monitorovania svahových pohybov a stability celého zosuvného územia. Využívajú sa iba dve metódy priameho merania deformácie územia. Základnou metódou je vykonávanie presnej inklinometrie v inklinometrických vrtoch na podpovrchové meranie deformácií a tým aj analýzu svahových pohybov. Z tejto metódy je vďaka veľkému počtu vybudovaných inklinometrických vrtov k dispozícii pomerne rozsiahla databáza údajov a analýza meraných ukazovateľov v čase. Na doplnenie sa používa takisto bodová metóda, technológia InSAR na väčšom množstve prirodzených odrazových bodov v celej lokalite, ktorá podáva obraz o deformáciách povrchu územia. Interpretácia prirodzených bodov, ktoré do analýzy spracovania radarových snímok vstupujú s rôznou vzájomnou kvalitou, a hlavne ich dôveryhodnosť, pokiaľ ide o jednoznačnosť vzťahovania nameraných deformácií týchto objektov výlučne na svahové pohyby, nie je možná. Uvádzajú to aj autori analýzy (Papčo a Bakoň, 2018,

2019). Z dostupných metód merania pohybov povrchu územia na lokalite doteraz neboli zavedené geodetické merania svahových pohybov na vybudovanej sieti geodetických bodov metódou veľmi presnej nivelácie (terestrické merania) a takisto ani novšie využívaná družicová metóda (globálne navigačné satelitné systémy – GNSS). Od používania terestrickej metódy sa pri sledovaní svahových pohybov postupne prechádza výlučne na používanie metódy GNSS, resp. tieto metódy sa môžu vzájomne dopĺňať alebo môžu slúžiť na porovnanie nameraných hodnôt. Ak by sme z hľadiska zvyšujúcej sa presnosti merania pomocou GNSS prístrojov preferovali túto metódu, bodové pole by bolo vytvorené zo stabilizovaných geodetických bodov. Alternatívne by sa ako náhrada alebo doplnenie poľa stabilizovaných bodov zvolila sieť terénnych bodov, ktoré dostatočne vyhovujú kritériám opakovateľnosti meraní a ich vyhodnotenia. Týmto meraniami by sa mohli porovnávať hodnoty nameraných podpovrchových deformácií z inklinometrických meraní alebo doplniť časti územia, kde nie sú vybudované inklinometrické vrty a kde by sa vykonávalo geodetické meranie polohových a výškových zmien bodov.

Druhým problémom, ktorý sa väčšinou vyskytuje pri používaní bodových metód monitorovania vo všeobecnosti, ako aj pri použití monitorovania zosuvných území, je nedostatočné pokrytie monitorovacími objektmi. Okrem finančných obmedzení, ktoré určite predstavujú najviac limitujúci faktor, počet potenciálnych objektov závisí aj od spoločenských a technických obmedzení (využívanie územia, vlastnícke vzťahy, technická realizovateľnosť a dostupnosť). Na lokalite sa nachádzajú časti územia alebo samotné svahové deformácie, kde nie je zabezpečený monitoring v inklinometrických vrtoch ani geodetické merania, ale využíva sa technológia InSAR s obmedzenou možnosťou výskytu prirodzených odrážačov a obmedzenou jednoznačnosťou analýzy výsledkov. Týka sa to niektorých veľkých zosuvov a väčšieho počtu aktívnych alebo potenciálnych, plošne menších svahových deformácií. Najmä v severnej časti územia (svahové deformácie č. 383106002, 383106003, 383106005) nie sú vybudované žiadne inklinometrické vrty (jedine 6 piezometrických vrtoch v profile svahovej deformácie 38310602). Ide o menej zastavanú časť obce, no aj v tomto území došlo k výrazným prejavom aktivity svahových deformácií, podobne ako v centrálnej a južnej časti obce. Vzhľadom na prevažne trávnatý a krovinatý porast tejto časti územia bez väčšieho počtu budov absentuje aj dostatočný počet prirodzených bodov na pozorovanie metódou InSAR. Od roku 2010, keď rozsiahle a ničivé zosuvy postihli veľkú časť obce, o aktivite tohto územia nemáme žiadne výsledky z priamych pozorovacích metód. Za nepriame by sa dali považovať iba prípadné deformácie na budovách, ktoré by boli nahlásené občanmi. Podobne nie je pokryté ani územie s výskytom svahových deformácií na sever od Poštovej ulice (svahové deformácie č. 38310606, 383106007, 383106008, 383106018), aj keď v tejto oblasti boli prejavy zosuvných pohybov menšie, neboli výrazne poškodené domy a menšie zosuvy majú iba potenciálny charakter. Monitorovanie pomocou metódy InSAR v rokoch 2016 – 2017 neposkytlo výrazné výsledky

zmien povrchu terénu, na základe ktorých by sa táto lokalita dala považovať za prioritnú na sledovanie pohybovej aktivity. Úplne oprávnené riešiteľské organizácie vybavili hustou sieťou inklinometrických vrtoch centrálnu a južnú časť územia, pretože v tejto časti bola pozorovaná najvýraznejšia aktivita svahových pohybov a vznikli aj mimoriadne vysoké škody vplyvom prírodnej katastrofy. Plošne menšie svahové deformácie charakteru zosuvov a skalného zrútenia s aktívnymi, potenciálnymi a stabilizovanými formami (383106012, 383106013, 383106014, 383106015, 383106016, 383106017) nie sú pokryté objektmi na pozorovanie podpovrchových deformácií. Okrem toho, pre zalesnenie nie je možné na tomto území detegovať vhodné prirodzené odrážače na využitie technológie InSAR. Monitorovacie objekty tu v predchádzajúcom období riešiteľské organizácie neumiestnili vzhľadom na aktívnejšie zosuvy s vyšším spoločenským a ekonomickým významom. Keďže tieto územia nie sú zastavané, resp. sa v súčasnosti po zbúraní poškodených objektov (časť budovy bývalého poľnohospodárskeho družstva) nevyužívajú, nie je prioritou do týchto miest umiestňovať nové monitorovacie objekty.

Dôležitá je potreba získať aspoň základné údaje o východnom svahu pod cintorinom (východne od Staničnej ulice), kde boli v minulosti zaznamenané prejavy svahových deformácií. Vzhľadom na závažnejšie postihnuté časti ostatného územia obce sa v tejto oblasti neuvažovalo s inžinierskogeologickým prieskumom ani monitoringom.

Za tretiu oblasť relatívnych nedostatkov monitorovacej siete možno označiť kvalitatívne parametre monitorovania, medzi ktoré patrí meniacia sa kvalita vybudovaných objektov v čase (poškodenie, zničenie, vystrojenie) alebo manuálny spôsob zberu dát (z inklinometrických, piezometrických a odvodňovacích vrtoch). Tieto skutočnosti sa do veľkej miery zlepšia prostredníctvom projektu *Monitoring zosuvných deformácií* zahŕňajúceho zosuvné lokality najvyššieho sociálno-ekonomického významu. Jeho súčasťou je aj rekonštrukcia vybraných existujúcich inklinometrických vrtoch a piezometrických vrtoch, vybudovanie nových vrtoch na osadenie snímačov pórového tlaku a snímačov vlhkosti v zosuvnom území Nižnej Myšle. Do zrekonštruovaných vrtoch budú osadené stacionárne inklinometrické sondy a automatické hladinomery. Zber dát bude z osadených prístrojov zabezpečený on-line a bude prenášaný do centra monitoringu prostredníctvom Internetu vecí (IoT). Tým sa dosiahne vyššia kvalita získavania údajov o lokalite, oveľa vyššia úroveň obsahu získavaných údajov z meraní a neporovnateľne vyššia frekvencia meraní zo všetkých objektov (nepretržité merania v hodinových intervaloch). Dosiahne sa aj lepšia operatívnosť vyhodnocovania údajov, identifikácie a riadenia rizík, ako aj možnosť informovania dotknutých subjektov. S takýmto zdokonalením sa v prípade potenciálnych alebo akútnych havarijných udalostí podstatnelepší časový náskok potrebný na informovanie orgánov štátnej správy a na vykonanie adekvátnych opatrení spojených s ochranou obyvateľstva a infraštruktúry (Ondrejka et al., 2018b). Umiestnenie konštrukčne optimalizovaných pasívnych kútových odrážačov do preferovaných zosuvných území (3 objekty), ako aj referenčného

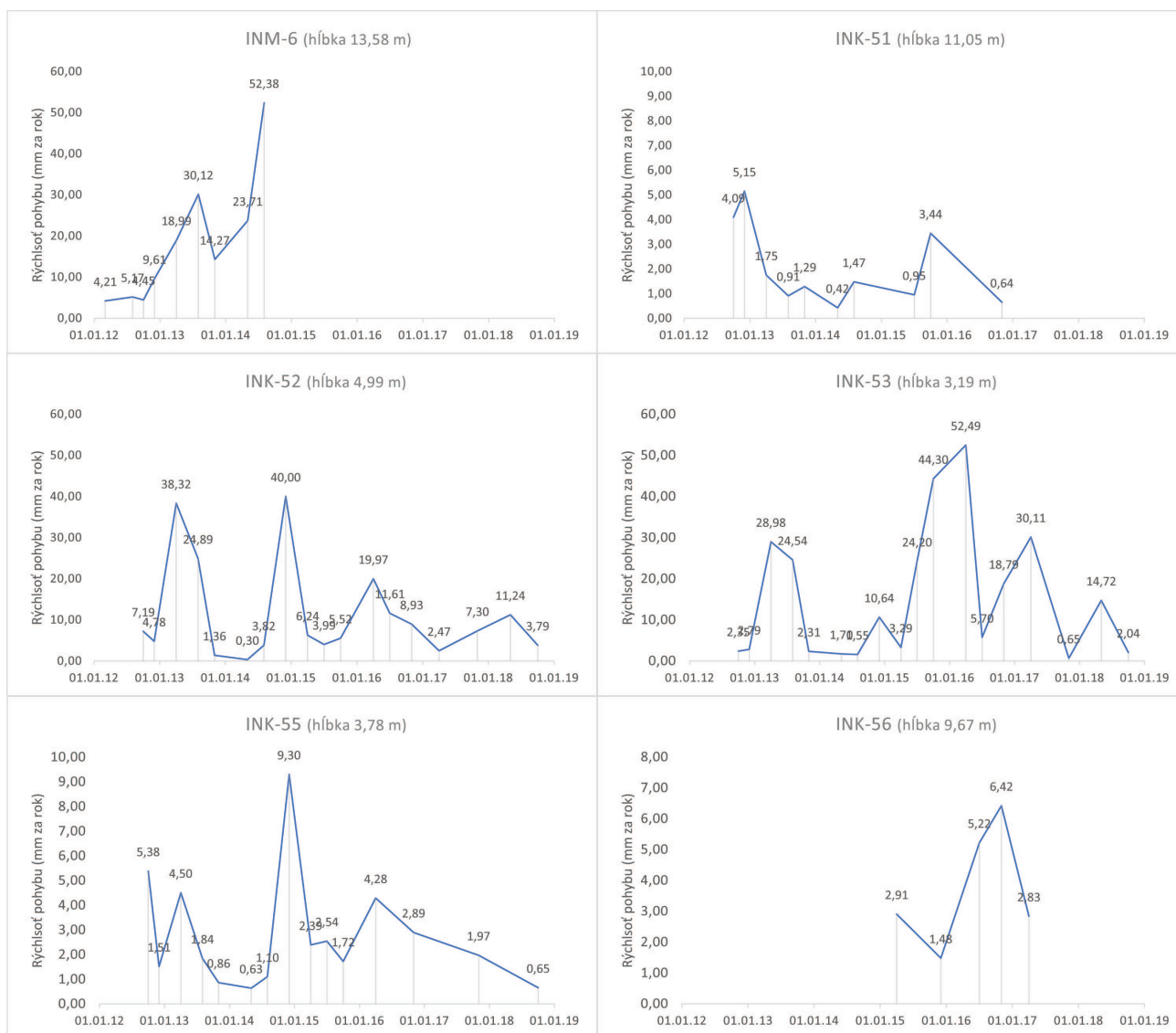
pasívneho kútového odrážača do stabilného územia (1 objekt) umožňuje získať vyššiu kvalitu vstupných dát na vyhodnocovanie družicových snímok.

#### 5.4. Stabilitný stav lokality

Za posledné roky (2016 – 2018) boli zaznamenané veľké hodnoty deformácií z inklinometrických meraní hlavne v troch častiach zosuvného územia. Prvou je odľučná oblasť južného zosuvného územia v priestore Obchodnej ulice: vrt INK-22 približne 65 m na JZ od kostola a vrt INM-2 približne 155 m na JJZ od kostola (obr. 3). Táto oblasť vykazovala vysoké hodnoty deformácií aj v predchádzajúcich obdobiach a v období jeseň 2016 až jar 2017 bola zaznamenaná vysoká hodnota prírastku deformácie prepočítaná na rýchlosť pohybu, ktorá dosahovala extrémnu hodnotu, 93,58 mm za rok (obr. 10). Nameraný vektor

pohybu v tomto vrte je najväčší za celé monitorované obdobie (Ondrejka et al., 2018b). V tom istom období veľká rýchlosť pohybu bola zaznamenaná aj vo vrte INM-2, a to až 30,88 mm za rok. V roku 2018 bola nameraná mimoriadne vysoká hodnota deformácie aj vo vrte INK-24A (až 43,5 mm za rok). Keďže ide o odľučnú oblasť zosuvu, v týchto vrtoch sa šmykové plochy nachádzajú plytko pod terénom, približne 1,8 – 4,5 m. Zosuvná oblasť pod kostolom vykazuje pomerne stabilne vyššie hodnoty deformácií aj vo vrtoch INM-5, INK-32, INK-34 a INK-44 situovaných nižšie v zosuvnom telese. Sledované šmykové plochy vo vrtoch INM-5 a INK-32 sú v hĺbke približne 9,0 – 9,5 m.

Druhou oblasťou, kde boli za obdobie 2016 – 2018 zaznamenané veľké podpovrchové deformácie, je územie pod Staničnou ulicou (nad budovou základnej školy). Vo vrte INK-52, v odľučnej oblasti zosuvu, bola nameraná rýchlosť pohybu od 2,47 do 11,24 mm za rok. Ešte väč-



**Obr. 8.** Výsledky inklinometrických meraní za obdobie 2012 – 2018 vyjadrené v rýchlosti pohybu (mm za rok) v hĺbke predpokladaných šmykových plôch vo vybraných vrtoch (spracované podľa údajov Ondrejku, 2012 – 2018) – severná časť zosuvného územia Nižná Myšľa.

**Fig. 8.** The results of inclinometric measurements for the period 2012–2018 expressed in movement rate (mm per year) in the depths of assumed shear planes in selected wells (processed according to Ondrejka data, 2012–2018) – the northern part of the Nižná Myšľa landslide area.



šie deformácie boli namerané vo vrte INK-53 situovanom v strednej časti zosuvu a po prepočte na rýchlosť pohybu v hĺbke šmykovej plochy dosahovali až 52,49 mm za rok. Vysoké hodnoty deformácie sa etapovými meraniami zistili aj vo vrte INK-56 (pôvodne označený ako INK-54), ktorý bol vybudovaný počas 3. etapy sanácie namiesto znefunkčneného vrtu INM-6. V tomto vrte je osadený stacionárny inklinometer a snímač pórového tlaku a vykonávajú sa v ňom aj etapové merania. Preto sa používa nové označenie monitorovacieho objektu INK-56. Napriek tomu je od roku 2016 do konca roku 2018 vo vrtoch INK-52, INK-53 a INK-55 pozorovaný trend poklesu rýchlosti pohybu (obr. 8). V poslednom období od jesene roku 2016 do jari 2019 bol zaznamenaný zvýšený prírastok deformácie aj vo vrte INK-51 v odľučnej oblasti zosuvu.

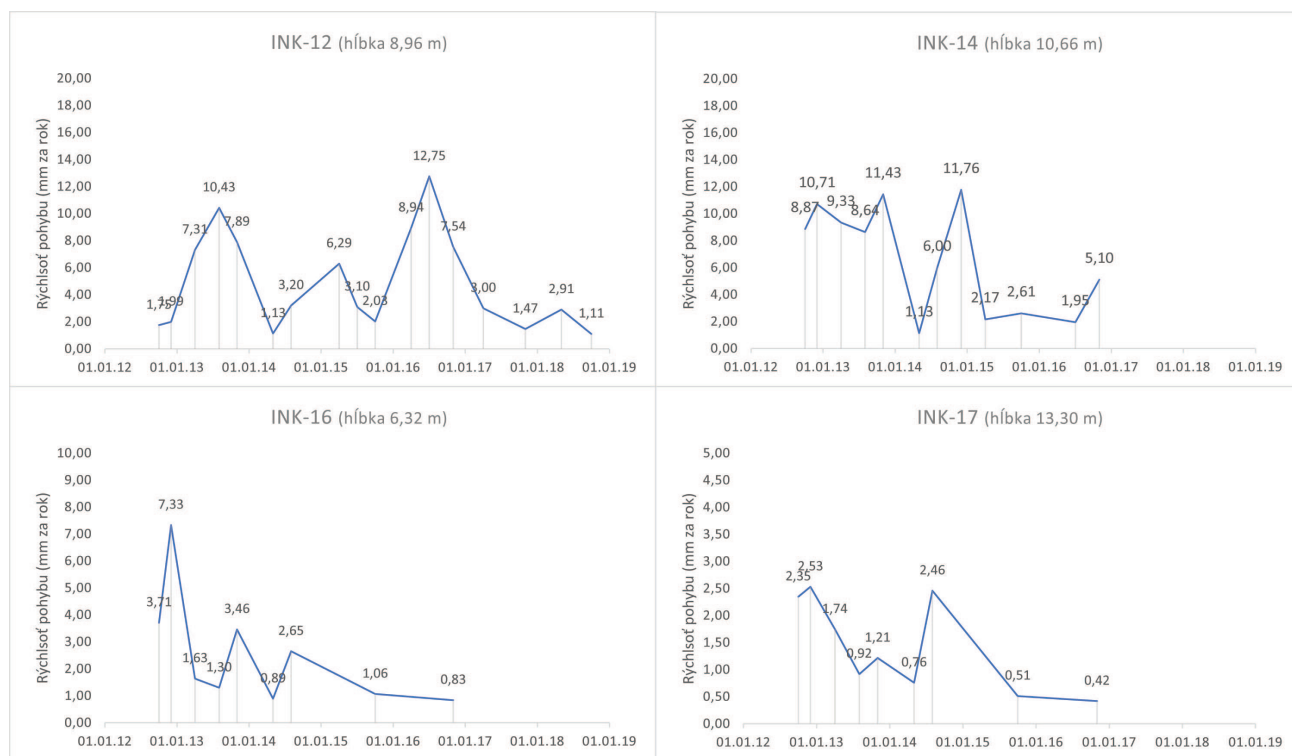
Centrálna časť obce predstavuje tretiu oblasť, kde bol zaznamenaný nárast pohybovej aktivity, a to vo vrte INK-14N (stacionárna inklinometrická sonda) na križovatke Hlbokej, Strmej a Obchodnej ulice. Na šmykovej ploche v hĺbke približne 11,0 m tam bola zaznamenaná deformácia vyjadrená rýchlosťou pohybu v období od novembra 2017 do druhej polovice mája 2018 až 29,2 mm za rok a 20,87 mm za rok v období od mája 2018 do konca roku 2018 (Liščák et al., 2019b). Zvýšené hodnoty deformácie boli namerané aj vo vrte INK-12, ale pri meraniach v tomto vrte je od druhej polovice roku 2016 do konca roku 2018 pozorovaný trend poklesu pohybovej aktivity.

Výsledky meraní v uvedených inklinometrických vrtoch poukazujú na pretrvávajúci nepriaznivý stabilitný stav

týchto častí územia. Potvrdzujú to aj zistenia z roku 2019, keď 31. 5. 2019 vo vrte INK-53 bola pozorovaná nepriechodnosť inklinometrickej pažnice v hĺbke šmykovej plochy (približne 3,2 m pod terénom). Indikuje to mimoriadnu deformáciu od posledného vykonaného merania. O pretrvávajúcich svahových pohyboch by mohli svedčiť aj sťažnosti na výskyt prasklín v domoch obyvateľov bývajúcich na Strmej ulici zo septembra 2019, ktoré by mohli súvisieť aj s intenzitou svahových pohybov. Podľa výsledkov analýzy stabilných prirodzených odrazových bodov PrInSAR, ako uvádzajú Papčo a Bakoň (2018, 2019), bol v niekoľkých prípadoch pozorovaný poklesávajúci trend vývoja deformácie (vzostupná dráha č. 102: Kopaničná ulica, hostinec na rohu Školskej a Staničnej ulice, zostupná dráha č. 153 – okolie Slivkovej, Skladnej a Hlavnej ulice), ktorý sa strieda s výzdvihovým charakterom pohybu polohovo blízkych odrážačov (vzostupná dráha č. 102 a okolie Strmej ulice pri hostinci s poklesovým charakterom).

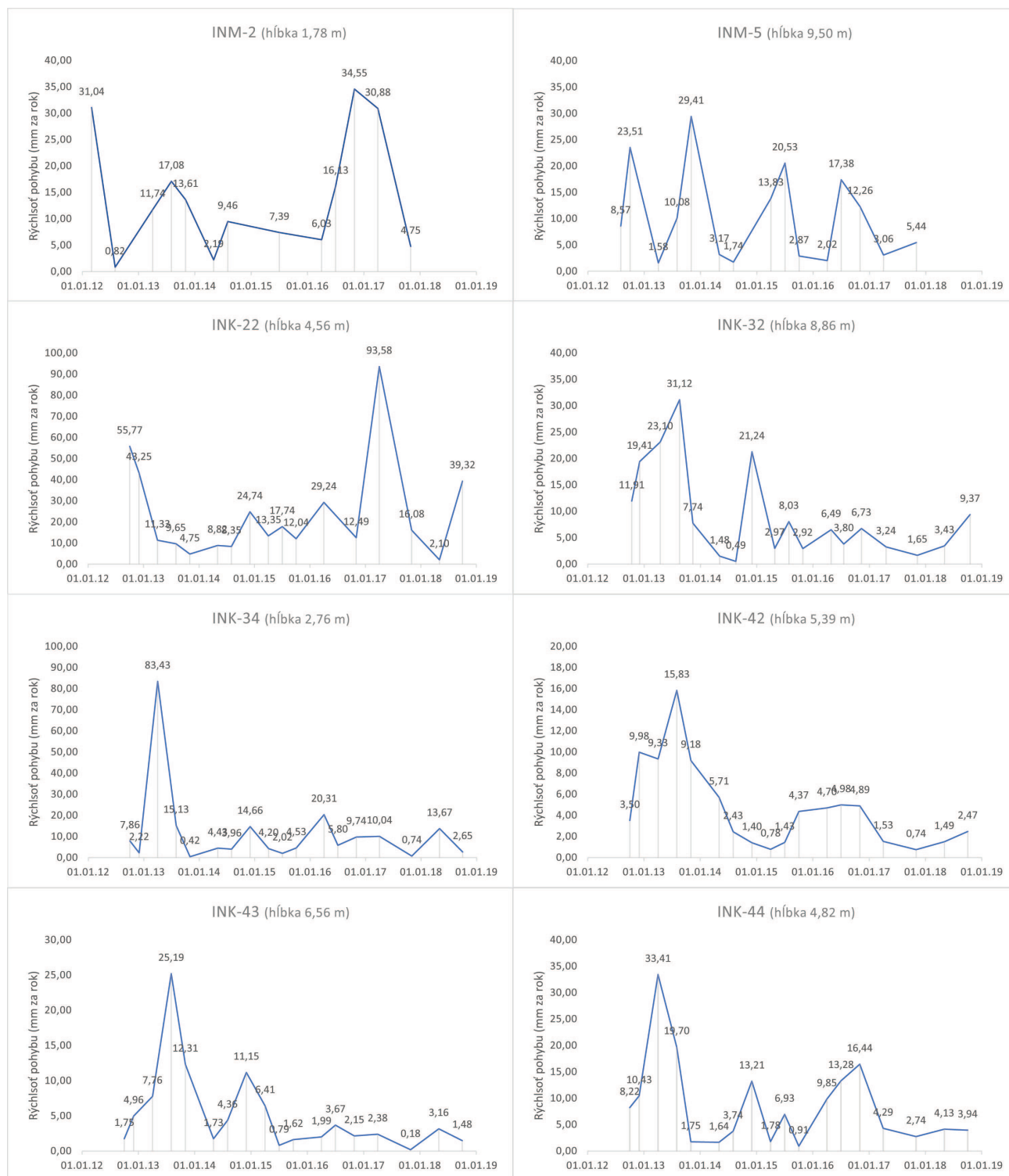
## 6. Vyhodnotenie účinnosti sanačných opatrení

Ako kritérium účinnosti sanačných opatrení možno nepriamo použiť výsledky z monitorovania aktivity svahových pohybov a meraných parametrov, ktorými sú údaje o hĺbke hladiny podzemnej vody. Priamo je možné merať účinnosť subhorizontálnych vrtoch prostredníctvom ich výdatnosti, a to najmä v čase hĺbenia vrto, ale aj dlhodobo v závislosti od klimatických pomerov. Je potrebné zohľadniť technické riešenie sanačných metód, kompletnosť ich



**Obr. 9.** Výsledky inklinometrických meraní za obdobie 2012 – 2018 vyjadrené v rýchlosti pohybu (mm za rok) v hĺbke predpokladaných šmykových plôch vo vybraných vrtoch (spracované podľa údajov Ondrejku, 2012 – 2018) – centrálna časť zosuvného územia Nižná Myšľa.

**Fig. 9.** The results of inclinometric measurements for the period 2012–2018 expressed in movement rate (mm per year) in the depths of assumed shear planes in selected wells (processed according to data of Ondrejka, 2012–2018) – the central part of the Nižná Myšľa landslide area.



**Obr. 10.** Výsledky inklinometrických meraní za obdobie 2012 – 2018 vyjadrené v rýchlosti pohybu (mm za rok) v hĺbke predpokladaných šmykových plôch vo vybraných vrtoch (spracované podľa údajov Ondrejku, 2012 – 2018) – južná časť zosuvného územia Nižná Myšľa.

**Fig. 10.** The results of inclinometric measurements for the period 2012–2018 expressed in movement rate (mm per year) in the depths of assumed shear planes in selected wells (processed according to Ondrejka data, 2012–2018) – the southern part of the Nižná Myšľa landslide area.

vybudovania, ako aj stavebné a terénne úpravy v celom zosuvnom území, ktoré by ich mohli ovplyvniť. Dôležitým faktorom hodnotenia účinnosti sanačných opatrení je vzťah meraných parametrov a klimatických údajov, najmä zrážkových úhrnov za dlhšie časové obdobie (ročný úhrn zrážok, mesačný úhrn zrážok), ale aj výrazne nadpriemerné alebo podpriemerné denné úhrny zrážok alebo kumulované zrážky za pretrvávajúce zrážkové obdobie. Napriek zohľadneniu všetkých ukazovateľov možno účinnosť sanačných opatrení vyhodnotiť iba relatívne. Z technického pohľadu nie je možné dosiahnuť ich úplnú efektívnosť a z ekonomického pohľadu nebolo možné ich vybudovať v celom rozsahu, resp. ich rozsah je potrebné určovať aj podľa hodnotenia účinnosti už vybudovaných opatrení a vývoja sledovaných ukazovateľov. Napriek tomu je takéto čiastočné hodnotenie účinnosti sanačných opatrení potrebné a môže pomôcť pri navrhovaní a optimalizácii projektu ďalších sanačných prác. Je potrebné, aby boli navrhnuté a vybudované s čo najväčšou možnou účinnosťou.

### 6.1. Technické riešenie sanačných opatrení

Ihneď po vzniku katastrofálneho zosuvu (jún – október 2010) sa urobil inžinierskogeologický prieskum. Počas neho sa na svahu nad budovou základnej školy zrealizovali ako **prieskumno-sanačné práce** dva subhorizontálne odvodňovacie vrty v celkovej dĺžke 240 m (tab. 6). Z tohto stanovišťa bol doplnený aj odvodňovací vrt HNM-3 v dĺžke 120 m. Vrty boli situované v tomto plošne veľkom zosuve reaktivovanom v júni 2010 namiesto najviac postihnutej centrálnej časti zástavby obce, a to preto, lebo v tomto priestore už boli k dispozícii výsledky starších prieskumov (Ondrejka, 1985), ktoré umožnili lokalizovať odvodňovacie vrty podľa známych úložných a hydrogeologických pomerov v telese zosuvu. Vrty s najväčšou pravdepodobnosťou zachytili zvodnené tuftické polohy, v ktorých sa na ich rozhraní s ílovitými vrstvami akumuluje podzemná voda. Preto boli počas vrtania v obidvoch subhorizontálnych vrtoch zaznamenané výraznejšie prítoky podzemnej vody (Tometz et al., 2010). Tieto okamžité protihavarijné opatrenia možno považovať za **nultú etapu sanácie**.

Technické práce **1. etapy sanácie** z roku 2012 (Sláma et al., 2012) boli vykonané s cieľom zlepšenia stabilných pomerov južnej časti obce a zamedzenia retrográdneho šírenia svahových deformácií vyššie do svahu. Práce boli naprojektované do centrálnej zástavby obce (centrálnej a južnej časti zosuvného územia) vymedzenej priestorom medzi ulicami Poštová, Obchodná, Repiská a Družstevná a v menšom rozsahu aj v južnej zástavbe obce nad

Družstevnou ulicou. V tomto území sa vzhľadom na hustotu zastavanosti a s očakávaním dotvarovania svahových deformácií predpokladalo, že bez realizácie sanačných opatrení by mohli nastať najväčšie škody. Zmenou projektu už počas realizácie sanačných prác bola schválená aj sanácia kultúrneho domu a obecného úradu kotvenou pilótovej stenou a mikropilótami. Súčasťou bolo aj vykonanie inžinierskogeologického prieskumu svahovej deformácie, ktorá ohrozuje základnú školu v severnej časti zástavby obce (Sláma et al., 2012). Vypracovaný projekt z hľadiska rozsahu a postupnosti prác, ktoré sa považujú za najnevyhnutnejšie, bol prioritne orientovaný na centrálnu a južnú časť zosuvného územia. Neobsahoval sanačné práce (odvodnenie zosuvného svahu) v severnej časti (pod Staničnou ulicou, nad ZŠ a pokračovaním Staničnej ulice smerom na sever), kde sa v rámci zosuvného územia nachádza aktívny zosuv veľkých rozmerov preukázaný inklinometrickým meraním, keď v roku 2010 boli zaznamenané výrazné vektory pohybov.

Sanačné práce boli zrealizované v tomto rozsahu:

- podzemná kotvená pilótovej stena a mikropilóty – okolo kostola, na Malej Nemeckej a Veľkej Nemeckej ulici, okolo kultúrneho domu a obecného úradu (SO-01, SO-03),
- hĺbkové a podpovrchové odvodnenie: drenážne rebra, podzemná drenážna stena, subhorizontálne odvodňovacie vrty (SO-02),
- terénne úpravy (svahovanie odtrhov, utesnenie trhlín, rekultivačné práce).

Práce na kotvenej pilótovej stene (SO-01) v úseku pod kostolom prebehli sčasti už na jar v roku 2011 ako záchranné práce organizované obcou v spolupráci s útvarom civilnej obrany, ale v lete roku 2011 boli pozastavené. Bolo zhotovených 52 železobetónových pilót s priemerom 600 mm a dĺžkou 10 – 13 m v osovej vzdialenosti 1,0 až 1,2 m. Pokračovanie a dokončenie prác bolo predmetom stavebného objektu SO-01. V roku 2012 sa pilótovej stena v mieste zhotoveného železobetónového nosníka ukotvila šiestnástimi lanovými kotvami s dĺžkou 25 m (spolu 400 m). Kotvená pilótovej stena na Malej Nemeckej a Veľkej Nemeckej ulici bola v troch úsekoch čiastočne vybudovaná v roku 2011 (85 pilót s hĺbkou 10 – 13 m v celkovej metráži 1 000 m) a v roku 2012 sa práce dokončili jej ukotvením a kompletne sa vybudovali zvyšné 2 úseky (61 pilót s hĺbkou 10 m a celkovou metrážou 610 m). Na ukotvenie všetkých piatich úsekov pilótovej steny sa použilo 47 lanových kotiev s dĺžkou 18 – 22 m (spolu 894 m).

**Tab. 6.** Prehľad vykonaných okamžitých protihavarijných opatrení v roku 2010 (podľa Tometz et al., 2010).

**Tab. 6.** Overview of immediate emergency measures implemented in 2010 (according to Tometz et al., 2010).

Etapa sanácie	Druh prác	Objekty	Označenie	Rozsah prác	Poznámka
IG prieskum vrátane okamžitých protihavarijných opatrení (2010)	hĺbkové odvodnenie	subhorizontálne odvodňovacie vrty	HHM-1, HNM-2	240 m	plošný zosuv pod Staničnou ulicou (nad budovou ZŠ)
		subhorizontálne odvodňovacie vrty	HNM-3	120 m	doplnený SHV zo stanovišťa nad budovou ZŠ



Kotvená pilótovej stena na zabezpečenie ohrozených objektov obecného úradu a kultúrneho domu (SO-03) bola rozdelená do dvoch úsekov. V priestore medzi nimi, kde nebol prístup pre pilótovaciu súpravu, sa zrealizovala mikropilótovej stena. Prvý úsek kotvenej pilótovej steny má dĺžku 25 m a tvorí ju 24 železobetónových pilót s hĺbkou 11,0 m, druhá časť má dĺžku 19,5 m so železobetónovými pilótami do hĺbky 10,0 m. Pilóty sú v hornej časti spojené železobetónovým nosníkom. Na zabezpečenie celkovej stability pilótovej stien boli na ukotvenie železobetónového nosníka použité ťahové šikmé mikropilóty (13 ks mikropilót s dĺžkou 15,0 m a celkovou metrážou 195,0 m). Mikropilótovej stena medzi dvomi úsekmi pilótovej steny je zhotovená na dĺžku 4,6 m z mikropilót v dvoch radoch – spolu 8 ks mikropilót s dĺžkou 10 m, celkovo 80 m.

Odvodnenie svahu (SO-02) sa realizovalo ako hĺbkové odvodnenie a ako podpovrchové odvodnenie. Na hĺbkové odvodnenie bolo vyhlbených 25 subhorizontálnych odvodňovacích vrtov dĺžky 55,0 – 100,0 m, celkovo 2 110 m, zhotovených zo siedmich stanovišť ST-1 až ST-7. Drenážna voda je zberným potrubím zvedená do revízných šácht (zo stanovišť ST-1 až ST-6) alebo zberným potrubím do priekopy (zo stanovišť ST-7). Časť odvodňovacích vrtov zo stanovišť ST-5 a ST-6 je napojená na drenážnu štrkovú stenu vybudovanú pozdĺž Hlbokej ulice. Drenážna

stena má dĺžku 59 m, pozostáva zo 107 vŕtaných pilót s priemerom 600 mm (z toho 79 pilót má hĺbku 10,0 m a 28 má hĺbku 9,5 m). Pilóty sú vyplnené štrkovou drvinou frakcie 0/63 mm a na povrchu je drenážna stena utesnená vrstvou nepriepustnej zeminy s hrúbkou 0,5 m.

Podpovrchové odvodnenie je vybudované ako drenážne rebrá na odvedenie vody z plytších horizontov v najkritickejšej časti zosuvu pod kostolom. Drenážne rebrá boli vybudované v dvoch variantoch – ako vŕtané štrkové pilóty do hĺbky 5,0 – 7,0 m alebo ako kopaná ryha do hĺbky 1,2 – 5,0 m. Úseky so štrkovými pilótami s celkovou dĺžkou 127,5 m sú tvorené vŕtanými pilótami s priemerom 600 mm (celkovo 232 pilót s celkovou metrážou 1 495,5 m) vyplnenými štrkovou drvinou frakcie 0/63 mm s povrchom utesneným nepriepustnou zemínou s hrúbkou 0,5 m. Kopané drenážne rebrá majú celkovú dĺžku 169,5 m. Na dno hlavných vetiev kopaných drenážnych rebier je uložená drenážna rúrka s priemerom 110 mm s obsypom z drveného kameniva fr. 8/16 mm do výšky 0,3 m nad dnom rebra. Vyššie je rebro zasypané drveným kamenivom fr. 63/125 mm a povrch je utesnený 0,5 m hrubou vrstvou nepriepustnej zeminy. Vŕtaná časť drenážnych rebier je zaústená do štrkovej steny pozdĺž Hlbokej ulice.

Okrem stavebných objektov SO-01, SO-02 a SO-03 boli naprojektované a zrealizované dokončovacie práce: rekultivácia, gabiónové múry a spevnené chodníky (tab. 7).

**Tab. 7.** Prehľad vykonaných sanačných opatrení v roku 2011 – 2012 (podľa Gomolčáka a Baču, 2012, in Sláma et al., 2012).

**Tab. 7.** Overview of remediation measures implemented in 2011–2012 (according to Gomolčák and Bača, 2012, in Sláma et al., 2012).

Etapa sanácie	Druh prác	Objekty	Označenie	Rozsah prác	Poznámka
1. etapa sanácie (2012)	stabilitné konštrukcie	kotvená pilótovej stena	KPS-1 (SO-01)	55,0 m	pod kostolom (časť zrealizovaná v roku 2011, dokončenie v roku 2012)
		kotvená pilótovej stena	KSP-2 (SO-01)	163,96 m	na Malej Nemeckej a Veľkej Nemeckej ulici
		kotvená pilótovej stena + mikropilótovej stena	SO-03	44,5 m + 4,6 m	na zabezpečenie budov obecného úradu a kultúrneho domu
	hĺbkové odvodnenie	subhorizontálne odvodňovacie vrty	SO-02 (02/1) (SHV-11, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 23, 31, 32, 33, 34, 41, 42, 43, 51, 52, 53, 61, 62, 63, 64, 72, 73, 74)	2 110 m	25 SHV zo 7 stanovišť ST-1 až ST-7, zvedenie drenážnej vody systémom potrubí a šácht
		drenážna štrková stena	SO-02 (02/1)	59,0 m	pozdĺž Hlbokej ulice
	podpovrchové odvodnenie	drenážne rebrá (vŕtané pilóty)	SO-02 (02/2)	127,5 m	2 úseky
		drenážne rebrá (kopané ryhy)	SO-02 (02/2)	169,5 m	7 úsekov
	dokončovacie práce	rekultivácia		26 000 m <sup>2</sup>	terénne úpravy (zemné práce)
		gabiónové múry	–	43,5 m <sup>3</sup>	3 úseky
		spevnené chodníky		1 054 m <sup>2</sup>	2 úseky
	doplňkový IG prieskum				

Rekultiváciou bol upravený povrch terénu s trhlinami a odlučnými hranami čiastkových zosuvov. Zemnými prácami boli odstránené terénne stupne, utesnené otvorené trhliny a povrch bol upravený do jednotného sklonu. Tým sa odstránili bezodtokové depresie. Zemné práce boli vykonané na ploche 26 000 m<sup>2</sup>. Gabiónové múry boli vybudované ako predĺženia kotvených pilótových stien na lepšiu úpravu okolitého terénu, resp. na zriadenie spevnených chodníkov. Boli vybudované 3 úseky gabiónových múrov s celkovou dĺžkou 24,5 m. Výplň gabiónových košov tvorí drvené kamenivo fr. 32/63 mm, pričom pohľadové plochy sú z opracovaných kamenných blokov z rozobratého schodiska pod kostolom. Spevnené chodníky boli vybudované v dvoch úsekoch v centrálnej časti obce z drveného kameniva a s povrchom zo štrkovej drvinvy fr. 0/16 mm.

**2. etapa** sanačných prác (Grech et al., 2014) bola orientovaná na zosuvný svah nad budovou základnej školy (rozsiahly zosuv pod Staničnou ulicou). Hlavným stabilitným prvkom je kotvená pilótová stena vybudovaná v záreze svahu za budovou základnej školy. Má dĺžku 56 m a je zhotovená z 56 železobetónových pilót s priemerom 600 mm v jednotnej osovej vzdialenosti 1,0 m. Pilóty majú hĺbku 13,0 m (celková dĺžka pilót je 728 m). Výstuž hlavy pilóty je prepojená s konštrukciou kotveného železobetónového nosníka v hornej časti opornej steny. Nosník, rozdelený na 7 dilatačných celkov, je ukotvený pomocou 28 trvalých zemných lanových kotiev s dĺžkou 32 a 34 m umiestnených v osovej vzdialenosti 2,0 m (celková dĺžka kotiev je 924 m). Na nosníku je zhotovená železobetónová stienka a medzi svahom a železobetónovou stienkou je zabudovaný drén (obr. 11). Konštrukcia drénu pozostáva z filtračnej geotextílie na dne a stenách. Na dne ryhy je uložená drenážna rúrka s priemerom 100 mm, ktorá je obsypaná hrubým kamenivom fr. 8/16 mm vo vrstve s hrúbkou 0,3 m. Na obsype je drenážna vrstva z hrubého kameniva

fr. 32/63 mm, zhora obalená filtračnou geotextíliou, vrchná časť je zasypaná nepriepustnou zemínou s hrúbkou 0,5 m.

Hĺbkové odvodnenie pozostáva z drenážnej štrkovej steny na svahu nad budovou základnej školy a subhorizontálnych vrtov napojených na štrkovú stenu alebo odvodňujúcich svah pod Staničnou ulicou. Drenážna štrková stena s dĺžkou 89,2 m je zhotovená zo štrkových pilót s priemerom 600 mm (162 vrtov hlbokých 8 m s celkovou metrážou 1 296 m vyplnených štrkovou drvinou fr. 0/63 mm). Horná časť štrkovej steny pod terénom je utesnená vrstvou nepriepustnej zeminy s hrúbkou asi 1,0 m. Na štrkovú stenu sú napojené 3 subhorizontálne vrty zo stanovišť ST-10 a ST-11 (vrty SHV-101, SHV-111, SHV-112) s celkovou dĺžkou 195 m. Ďalšie 2 stanovišťa odvodňovacích vrtov sú v hornej časti zosuvu pod Staničnou ulicou. Dĺžka vrtov je od 63 do 93 m (spolu 405 m). Drenážna voda je zvedená zberným a drenážnym potrubím do zberných šácht a odtiaľ do povrchových priekop.

Povrchové odvodnenie predstavujú zberné a drenážne potrubia, ktoré zvädzajú drenážnu vodu z odvodňovacích vrtov do zberných šácht, a povrchové priekopy na zaústenie zvedenej drenážnej vody do existujúcich priekop. Zberné potrubie má 3 úseky v celkovej dĺžke 192,7 m. Na zbernom potrubí sú vybudované zberné šachty. Obnovené bolo aj odvedenie vody z kuchyne základnej školy v dĺžke 23,0 m. Drenážne potrubie vedené po svahu je vybudované ako drenážne rebro z drenážnych rúrok s obsypom z hrubého kameniva fr. 8/16 mm. Na obsype je vybudovaná drenážna vrstva z hrubého kameniva fr. 32/63 mm. Drenážne rebro je na dne ryhy, na stenách a na hornom povrchu obalené filtračnou geotextíliou a horná časť zasypaná s hrúbkou asi 0,5 m pod povrchom je z nepriepustnej zeminy. Hĺbka drenážneho potrubia je 1,5 – 2,3 m. Na drenážnom potrubí sú vybudované revízne šachty. Drenážne potrubie je zaústené do zberného potrubia. Drenážna voda je zo zberného potru-



**Obr. 11.** Druhá etapa sanácie: kotvená pilótová stena nad budovou základnej školy – osadené trvalé horninové kotvy v železobetónovom nosníku a zhotovovanie zárubnej stienky a drénu za stienkou (Gomolčák, 2014).

**Fig. 11.** The second stage of remediation: anchored pile wall above the Elementary school building – installed permanent rock anchors in the reinforced concrete beam and construction of the frame wall and the drain behind the wall (Gomolčák, 2014).

**Tab. 8.** Prehľad vykonaných sanačných opatrení v 2. etape v roku 2014 (podľa Gomolčáka, 2014).

**Tab. 8.** Overview of remediation measures implemented in the 2nd stage in 2014 (according to Gomolčák, 2014).

Etapa sanácie	Druh prác	Objekty	Označenie	Rozsah prác	Poznámka
2. etapa sanácie (2014)	stabilitné konštrukcie	kotvená pilótová stena	SO-01	55,98 m	nad budovou ZŠ
	hlbkové odvodnenie	drenážna štrková stena	SO-02 (02-1)	89,2 m	na svahu nad budovou ZŠ
		subhorizontálne odvodňovacie vrty	SO-02 (02-2): SHV-81, 82, 91, 92, 93, 101, 111, 112	600 m	8 SHV zo 4 stanovišť ST-8 až ST-11
	povrchové odvodnenie	zberné potrubie	SO-02 (02-3)	192,7 m + 23,0 m	3 úseky zberného potrubia + odvod vody zo ZŠ
		drenážne potrubie	SO-02 (02-3)	200,4 m	2 úseky drenážneho potrubia
		povrchové priekopy	SO-02 (02-3)	105,4 m	2 úseky
	terénne úpravy	zemné práce	–	10 011 m <sup>2</sup>	–
doplňkový IG prieskum					

bia ďalej zaústená do povrchových priekop. Tieto spevnené priekopy odvádzajú vodu zo zberného potrubia, ako aj zrážkovú vodu zo strechy a spevnenej plochy za základnou školou do existujúcich priekop. Spevnené priekopy sú vybudované z betónových priekopových tvaroviek a v mieste plochy za základnou školou z odvodňovacích žľabov na vysoké zaťaženie.

V miestach realizovaných prác, ako aj na svahu výrazne postihnutom trhlinami a odlučnými hranami čiastkových zosuvov sa vykonali terénne úpravy (miestami odstránenie vegetácie, odstránenie terénnych stupňov, zarovnanie terénu, utesnenie trhlín, vyspádovanie terénu a tým aj odstránenie bezodtokových depresí a zatrávenie plôch). Terénne úpravy sa vykonali na ploche 10 011 m<sup>2</sup>. V tabuľke 8 je uvedený prehľad realizovaných sanačných prác.

Sanačné práce v 3. etape (Laurenčík et al., 2015) lokálne riešili hlbkové odvodnenie plytších zosuvov medzi Strmou a Obchodnou ulicou a ulicou Repiská. Pozostávajú z hlbkového odvodnenia: drenážnej štrkovej steny a subhorizontálnych odvodňovacích vrtov (tab. 9). Drenážna štrková stena má dĺžku 70,1 m a je situovaná v zástavbe

medzi Strmou a Hlbokou ulicou. Je zhotovená ako štrkové pilóty z vŕtaných pilót s priemerom 600 mm do hĺbky 6,7 až 10,4 m vyplnených štrkovou drvinou fr. 0/63 mm. Bolo vyvŕtaných 140 pilót v celkovej metráži 1 217 m. Povrch drenážnej steny je utesnený nepriepustnou zeminou vo vrstve s hrúbkou zrubu 1,0 m.

Odvodnenie štrkovej steny zabezpečuje 8 subhorizontálnych odvodňovacích vrtov zhotovených z jedného štartovacieho stanovišťa. Ich dĺžka je 56 až 105 m (celkove 640 m). Voda z odvodňovacích vrtov je zvedená zberným potrubím do zbernej šachty. Na overenie geologických a hydrogeologických pomerov a návrh sanačných prác v tejto časti územia sa zrealizovali monitorovacie objekty a bol vykonaný monitoring. Súčasťou prác bola aj rekonštrukcia strihnutého inklinometrického vrtu INM-6.

### 6.2. Porovnanie účinnosti sanačných opatrení v jednotlivých časových etapách

Účinnosť sanačných opatrení hodnotíme v časovej postupnosti podľa navrhovaných a zrealizovaných sa-

**Tab. 9.** Prehľad vykonaných sanačných opatrení v 3. etape v roku 2015 (podľa Laurenčíka et al., 2015).

**Tab. 9.** Overview of remediation measures implemented in the 3rd stage in 2015 (according to Laurenčík et al., 2015).

Etapa sanácie	Druh prác	Objekty	Označenie	Rozsah prác	Poznámka
3. etapa sanácie (2015)	hlbkové odvodnenie	drenážna štrková stena	–	70,1 m	medzi Strmou a Hlbokou ulicou
		subhorizontálne odvodňovacie vrty	SHV-121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128	640 m	8 SHV z 1 stanovišťa ST-12, zberná šachta a zberné potrubie
	monitoring, inklinometrický vrt				



načných opatrení a v porovnaní s výsledkami monitoringu (inklinometrické merania, merania úrovne hladiny podzemnej vody, výdatnosť odvodňovacích vrtov a klimatické pomery územia). Samostatne hodnotíme jednotlivé časti zosuvných území, na ploche ktorých sa realizovali sanačné práce a sú na nich umiestnené monitorovacie objekty. V prípade relevantnosti je uvedené aj porovnanie s výsledkami nameraných pohybov povrchu terénu technológiou InSAR.

V severnej časti zosuvného územia sa v roku 2010 realizovali subhorizontálne odvodňovacie vrty HNM-1 (26. – 31. 6. 2010) a HNM-2 (28. 7. – 4. 8. 2010); dátum, keď bol doplnený odvodňovací vrt HNM-3, dokumentácia prác neuvádza. Tieto okamžité protihavarijné opatrenia boli lokalizované nad budovou základnej školy. Vzhľadom na rozsah svahovej deformácie ich možno považovať iba za čiastočné sanačné práce. Vyplýva to aj z návrhu na vykonanie ďalších sanačných prác a je to uvedené v záverečnej správe z inžinierskogeologického prieskumu z roku 2010, v rámci ktorého sa tieto odvodňovacie vrty realizovali. Návrh obsahuje vybudovanie sústavy stabilizačných drénov zaústených do pätného drénu, doplnenie subhorizontálnych odvodňovacích vrtov a vybudovanie plynkej melioračnej drenáže. Tieto navrhované práce sa dotýkali podstatnej časti zosuvného telesa nad školou (zosuvný svah pod Staničnou ulicou), na ktoré nadväzovali aj ďalšie sanačné opatrenia v zosuvnom území severnejšie od tohto aktívovaného zosuvu.

Prvé inklinometrické merania v zosuve nad základnou školou sa vykonali v období od 9. 9. 2010 do 7. 10. 2010, a to iba na jednom inklinometrickom vrte INM-6. Meraniami sa preukázali veľké namerané deformácie v hĺbke 1,5 m pod povrchom, v hĺbke 7,0 m, ako aj v hĺbke 14,5 m pod povrchom. Pri prepočte na rýchlosť pohybu deformácie v hĺbke predpokladanej šmykovej plochy 14,5 m ide o rýchlosť približne 4,43 mm za mesiac a približne 57,70 mm za rok (tab. 4). Tieto prvé namerané hodnoty deformácií poukazujú na veľkú aktivitu svahových pohybov s pravidelnými týždennými prírastkami deformácií a jasne identifikovateľnou šmykovou plochou v hĺbke 14,5 m. Výsledky poukazujú na to, že v pohybe je celá masa zosuvu a navrhované ďalšie sanačné opatrenia sú potrebné až nevyhnuté. V návrhu z roku 2010 sa odporúčajú sanačné práce, ktoré by mali spočívať v hĺbkovom a povrchovom odvodnení telesa zosuvu a v terénnych úpravách. Pozícia zosuvného svahu je bezprostredne nad budovou školy a terénne úpravy za budovou školy sa zarezávajú do zosuvného svahu. Už pri realizácii 1. etapy sanácie, ktorá sa zamerala na centrálnu a južnú časť územia so zástavbou zničenú katastrofickými zosuvmi, bolo správne navrhnuté aj stabilizačné opatrenie tohto svahu kotvenou pilótovou stenou umiestnenou za budovou základnej školy (s potrebou vybudovať aj predtým navrhované opatrenia na hĺbkové a povrchové odvodnenie a povrchové úpravy terénu s miestami zamokrenia a výskytom trhlín).

V ďalšom období priestor svahových deformácií v severnej časti územia nebol cieľom vykonávanej 1. etapy sanácie geologického prostredia. Tá riešila zosuvné územie centrálnej a južnej časti obce (najkatastrofálnejšie

poškodená časť obce s hustou zástavbou). Sanácia tohto územia sa začala až počas 2. etapy sanácie prebiehajúcej v roku 2014. Dovtedy tu pokračoval monitoring zosuvného svahu s pôvodným inklinometrickým vrtom INM-6 a doplnenými inklinometrickými vrtmi z roku 2012 INK-51, INK-52, INK-53 a INK-55 (tab. 1). Výsledky monitoringu sú k dispozícii z etáp krátkodobého monitoringu počas jednotlivých etáp sanácie (a s vykonanými nadväzujúcimi meraniami aj medzi etapami) a z dlhodobého monitoringu v rámci geologickej úlohy ČMS – GF. Pri porovnaní výsledkov monitoringu za obdobie od roku 2012 do leta 2014, keď sa v tomto priestore začali kompletnejšie sanačné opatrenia, monitoring v rámci sanačných prác preukázal výslednú deformáciu 34,84 mm (za obdobie od 14. 2. 2012 do 20. 3. 2014). Počas dlhodobého monitoringu ČMS – GF bola nameraná výsledná deformácia 37,31 mm (za obdobie od 5. 12. 2011 do 5. 5. 2014). Rýchlosť pohybu dosahovala maximálne hodnoty až 30,12 mm za rok (obr. 8).

Počas tejto druhej etapy sanácie bola kotvená pilótová stena s dĺžkou 55,98 m v odreze za budovou základnej školy vybudovaná v období od 23. 4. do 6. 6. 2014 a ukotvená bola 14. – 18. 7. 2014 (Gomolčák a Bačo, 2012). Boli zrealizované aj odvodňovacie vrty v celkovej dĺžke 600 m, drenážna štrková stena s dĺžkou 89,2 m na svahu nad základnou školou a systém hĺbkového a podpovrchového odvodnenia spolu s terénnymi úpravami.

Napriek vykonaným sanačným prácam pohyb svahu pokračuje ďalej, ako je zrejme z inklinometrických meraní vo vrtoch INM-6 (do 18. 8. 2014 bola stúpajúca tendencia deformácie taká veľká, že následne bol ustrihnutý svahovými pohybmi), INK-52, INK-53, INK-55 a INK-54, ktorý bol vybudovaný namiesto nefunkčného vrtu INM-6. Celý zosuvný svah od odlučnej oblasti pod pilótovou stenou vybudovanou v roku 1990 až po akumuláciu časť pod budovou školy vykazuje v období 2014 – 2018 veľké prírastky deformácií a ide o jednu z najaktívnejších častí zosuvného územia. Od roku 2016 do konca roku 2018 je možné pozorovať vo vrtoch INK-52, INK-53 a INK-55 mierny pokles rýchlosti pohybu, no ich hodnota je napriek tomu veľká (až 30,11 mm za rok vo vrte INK-53 v období od 10. 11. 2016 do 19. 4. 2017). Vrt, ktorý sa vyznačoval najväčšími nameranými deformáciami, v dôsledku takýchto veľkých prírastkov deformácie bol v máji 2019 znefunkčnený.

Účinnosť odvodňovacích vrtov v závislosti od klimatických podmienok v zosuve nad základnou školou ilustruje aj ojedinele veľká výdatnosť vrtov HNM-1, HNM-2 a HNM-3 v máji až júni 2013, keď boli namerané aj veľké zrážkové úhrny zo stanice SHMÚ Čaña (mesačné úhrny zrážok za celý mesiac máj dosahovali až 131,5 mm, za jún 2013 dosahovali 81,5 mm a za júl 2013 dosahovali 80,0 mm). Tieto vrty od júla 2013 vykazujú dlhodobu žiadnu alebo veľmi zriedkavo len minimálnu výdatnosť, pretože úlohu odvodňovania prevzali novovybudované vrty počas 2. etapy sanácie na stanovišti ST-11 (najmä vrty SHV-111 a SHV-112 zaústené do drenážnej štrkovej steny, ktoré vykazujú merateľné hodnoty) a sčasti aj vrty na stanovištiach ST-8 a ST-9. Niektoré z nich však majú minimálnu až nulovú výdatnosť, podobne ako vrt SHV-101

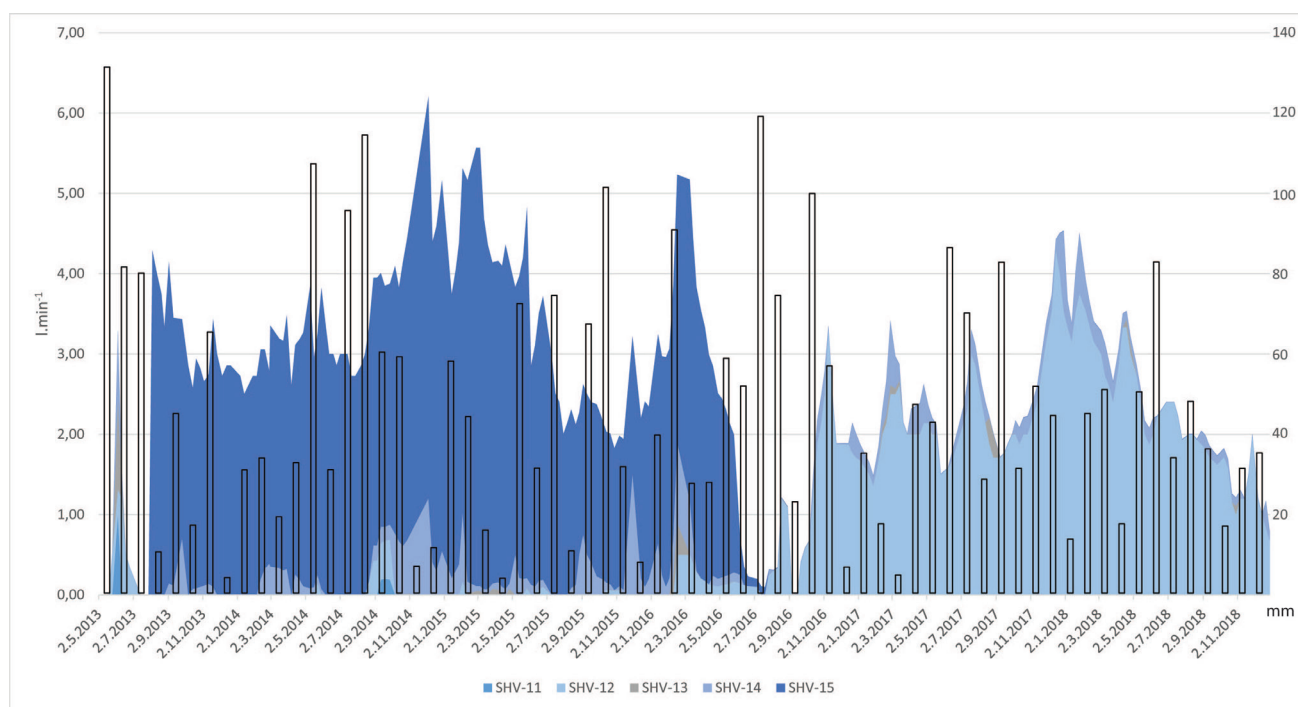
zaústený do drenážnej štrkovej steny zo stanovišťa ST-10, ktorý je dlhodobo suchý.

V centrálnej časti zosuvného územia (centrálne zástavba obce na Poštovej, Mäsiarskej a Strmej ulici) boli sanačné opatrenia vykonané v roku 2012 pri prvej etape sanácie. V tomto priestore muselo byť po aktivácii zosuvov v roku 2010 zbúraných viacero budov. Okrem statického zabezpečenia ohrozených budov kultúrneho domu a obecného úradu boli sanačné práce v roku 2012 zamerané na odvodnenie územia postihnutého svahovými deformáciami sústavou subhorizontálnych vrtov. Tieto vrtvy boli vybudované zo štyroch štartovacích jám. Sú zoskupené do vejárov s tromi až piatimi vrtmi a zaberajú strednú a spodnú časť zosuvného územia.

Na plošne veľkej svahovej deformácii 383106006 (Slivková a Poštová ulica) nie je vybudovaná sieť monitorovacích objektov a neboli tu vykonané ani sanačné práce. Tie boli koncentrované v centrálnej časti v priestore rozsiahlej svahovej deformácie 383106009 (Mäsiarska, Strmá a Obchodná ulica). V tomto priestore bol vo vrte INK-12 od leta 2016 do konca roku 2018 zaznamenaný klesajúci trend rýchlosti svahových pohybov (obr. 9), no vo vrte INK-14N bol v roku 2018 zaznamenaný nárast deformácie s hodnotami rýchlosti pohybu viac ako 20 mm za rok (Liščák et al., 2019b). Výsledky meraní pohybov povrchu metódou InSAR (Papčo a Bakoň, 2018, 2019), ktoré sú k dispozícii za obdobie 2016 až 2018, indikujú poklesávajúci trend vývoja deformácie v priestore hostinca na rohu Školskej a Staničnej ulice. Tento trend sa strieda s výzvihovým charakterom pohybu polohovo blízkych odrážačov (vzostupná dráha č. 102 a okolie Strmej ulice pri hostinci s poklesovým charakterom).

Zo všetkých štyroch vybudovaných stanovišť odvodňovacích vrtov iba vrtvy na stanovišti ST-1 (SHV-11, SHV-12, SHV-13, SHV-14, SHV-15) vykazujú v čase merateľné hodnoty výdatnosti. Navyše, vrt SHV-23 na stanovišti ST-2 dosahoval veľkú počiatočnú výdatnosť do polovice roku 2015, ale v roku 2016 bol poškodený a prestal sa merať. Ostatné vrtvy majú väčšinou minimálnu výdatnosť alebo sú suché. Výdatnosť vrtov na stanovišti ST-1 dosahovala v roku 2017 a 2018 priemerne vyššie hodnoty, ako bol priemer za predchádzajúce roky (SHV-12 a SHV-14). V zimnom období 2017/2018 boli maximálne hodnoty výdatnosti vrtu SHV-12 dokonca vyššie, ako boli maximálne počiatočné hodnoty po zhotovení vrtu. Ku koncu roku 2018 mala výdatnosť klesajúci charakter, čo bolo reakciou na deficit zrážok v jesennom období. Na obr. 12 sú k nameranej výdatnosti odvodňovacích vrtov na stanovišti ST-1 znázornené mesačné úhrny zrážok. Výdatnosť vrtov priamo závisí od denných úhrnov zrážok, resp. v prípadoch dlhšie trvajúcich zrážok od kumulovaných zrážok. Prejavuje sa to najmä v jarnom období (prejavuje sa aj vplyv topenia snehovej pokrývky), ale aj v jesennom období. Výrazná súvislosť výdatnosti vrtov s úrovňami hladiny podzemnej vody v hlbších horizontoch v sledovaných vrtoch sa nezistila. Nezistila sa ani skutočnosť, že by tieto vrtvy prevzali úlohu iných odvodňovacích zariadení v tomto priestore svahových deformácií.

Južná časť obce pod kostolom (ulice Obchodná, Hlboká, Repiská, Varhedná), najviac postihnutá svahovými deformáciami, bola sanovaná v prvej etape v roku 2012 a v tretej etape v roku 2015. Prvé sanačné opatrenia sa začali budovať na jar 2011 (pilóty kotvenej pilótovskej steny pod kostolom a na Malej Nemeckej a Veľkej Nemeckej



**Obr. 12.** Výdatnosť odvodňovacích vrtov na stanovišti ST-1 za obdobie od 11. 5. 2013 do 28. 12. 2018 a mesačné úhrny zrážok zo stanice SHMÚ Čaña (indikatív 60140) za obdobie od 1. 5. 2013 do 31. 12. 2018.

**Fig. 12.** Yield of drainage wells at site ST-1 for the period from 11/05/2013 to 28/12/2018 and monthly rainfall totals from SHMI Čaña station (indicative 60140) for the period from 01/05/2013 to 31/12/2018.

ulici) ako záchranné práce, potom boli práce dokončené začiatkom roku 2012 v rámci 1. etapy sanácie (ukotvenie KPS-1 pod kostolom, dokončenie pilót a ukotvenie KPS-2 na Malej Nemeckej a Veľkej Nemeckej ulici). Ďalšie rozsiahle sanačné práce spočívali najmä v hĺbkovom odvodnení (subhorizontálne odvodňovacie vrty, drenážne štrkové steny) a podpovrchovom odvodnení (drenážne rebrá).

Rýchlosť svahových pohybov odhadnutá na základe vizuálneho pozorovania 4. 6. 2010, teda niekoľko hodín po katastrofických nočných zosuvoch v tejto časti územia, bola približne v milimetroch až centimetroch za hodinu (Sláma et al., 2012). Po zhotovení inklinometrických vrtoch v lete 2010 sa ihneď začalo s krátkodobou etapou inklinometrických meraní, aby sa vedela odhadnúť ďalšia prognóza vývoja svahových pohybov. V období od 9. 9. do 7. 10. 2010 boli až mimoriadne veľké deformácie namerané vo vrtoch INM-4 a INM-5 a vo vrte INM-3 na svahu priamo pod kostolom, ale veľké mesačné prírastky deformácií boli aj v pokračovaní výraznej odľučnej oblasti na juh od kostola vo vrtoch INM-1 a INM-2 (vrt INM-1 bol situovaný nad odľučnou hranou). Tie po prepočte na rýchlosť pohybu dosahovali extrémne hodnoty, 60,14 až 161,51 mm za rok v smere pohybu na predpokladaných šmykových plochách (tab. 4). V období od 7. 10. 2010 do 16. 3. 2012, resp. 19. 3. 2012, resp. 11. 4. 2012 dosahovala rýchlosť pohybu v týchto vrtoch na predpokladaných šmykových plochách hodnoty od 18,85 do 49,00 mm za rok. Je to síce vo vrtoch INM-4 a INM-5 zníženie rýchlosti približne o dve tretiny, ale napriek tomu sú to extrémne vysoké hodnoty. Zníženie intenzity svahových pohybov mohlo byť ovplyvnené nižšími úhrnmi zrážok, ktoré boli v jesenných mesiacoch roku 2011 a v zimných mesiacoch roku 2012 pod dlhodobým normálom (podľa Slámu et al., 2012).

V období po zrealizovaných sanačných opatreniach nebol pozorovaný pokles prírastkov deformácií v inklinometrických vrtoch zabudovaných v roku 2010. Vo vrte INM-5, ktorého oblasť odvodňovali stanovištia odvodňovacích vrtoch ST-5 a ST-6, sa síce pozoroval pokles prírastku deformácie, ale tento trend nie je smerodajný, pretože v ďalších obdobiach sa pravidelne striedali etapy s výrazne diferencovanými prírastkami deformácie. Obdobie od jesene 2012 do jesene 2013 sa, naopak, vyznačovalo vysokými hodnotami deformácií a výrazným nárastom pohybovej aktivity vo väčšine vrtoch v tomto území (Ondrejka et al., 2014). Nárast pohybovej aktivity môže súvisieť s vyššími úhrnmi zrážok (po sebe nasledujúce mesiace s vyššími úhrnmi zrážok v jesennom období 2012, zimnom a jarnom období 2013). Od jesene 2013 do jesene 2014 boli prírastky deformácií a rýchlosti pohybov vo väčšine vrtoch nižšie, okrem vrty INK-22, kde po poklese hodnôt v predchádzajúcom období začali prírastky deformácií podstatne narastať (obr. 10). Pokles deformácie v ostatných vrtoch okrem INK-22 môže súvisieť s nízkymi zrážkovými úhrnmi v letných mesiacoch roku 2014.

Ďalšie sanačné opatrenia vykonané v roku 2015 pozostávali z dôsledného odvodnenia v priestore Strmej a Hlbokej ulice a ulice Repiská (drenážna štrková stena s dĺžkou 70,1 m zo 140 štrkových pilót s hĺbkou 6,7 až 10,4 m a 8 subhorizontálnych odvodňovacích vrtoch v celkovej dĺžke 640 m, ktoré sú zaústené do drenážnej štrkovej steny).

Účinnosť zrealizovaných odvodňovacích vrtoch v tejto časti zástavby obce najviac zničenej zosuvmi je od vysokej počiatkovej výdatnosti po zhotovení aj v ďalšom období veľmi dobrá. Najmä vrty na stanovištiach ST-5 a ST-6 vykazujú v dlhodobom období za roky 2013 až 2018 vysokú úroveň výdatnosti a dosahujú priemernú hodnotu približne 2,5 l . min<sup>-1</sup>. Rovnako účinné sú aj odvodňovacie vrty na stanovišti ST-12 napojené na drenážnu štrkovú stenu, ktoré dosahujú dlhodobú priemernú hodnotu výdatnosti 0,92 l . min<sup>-1</sup>.

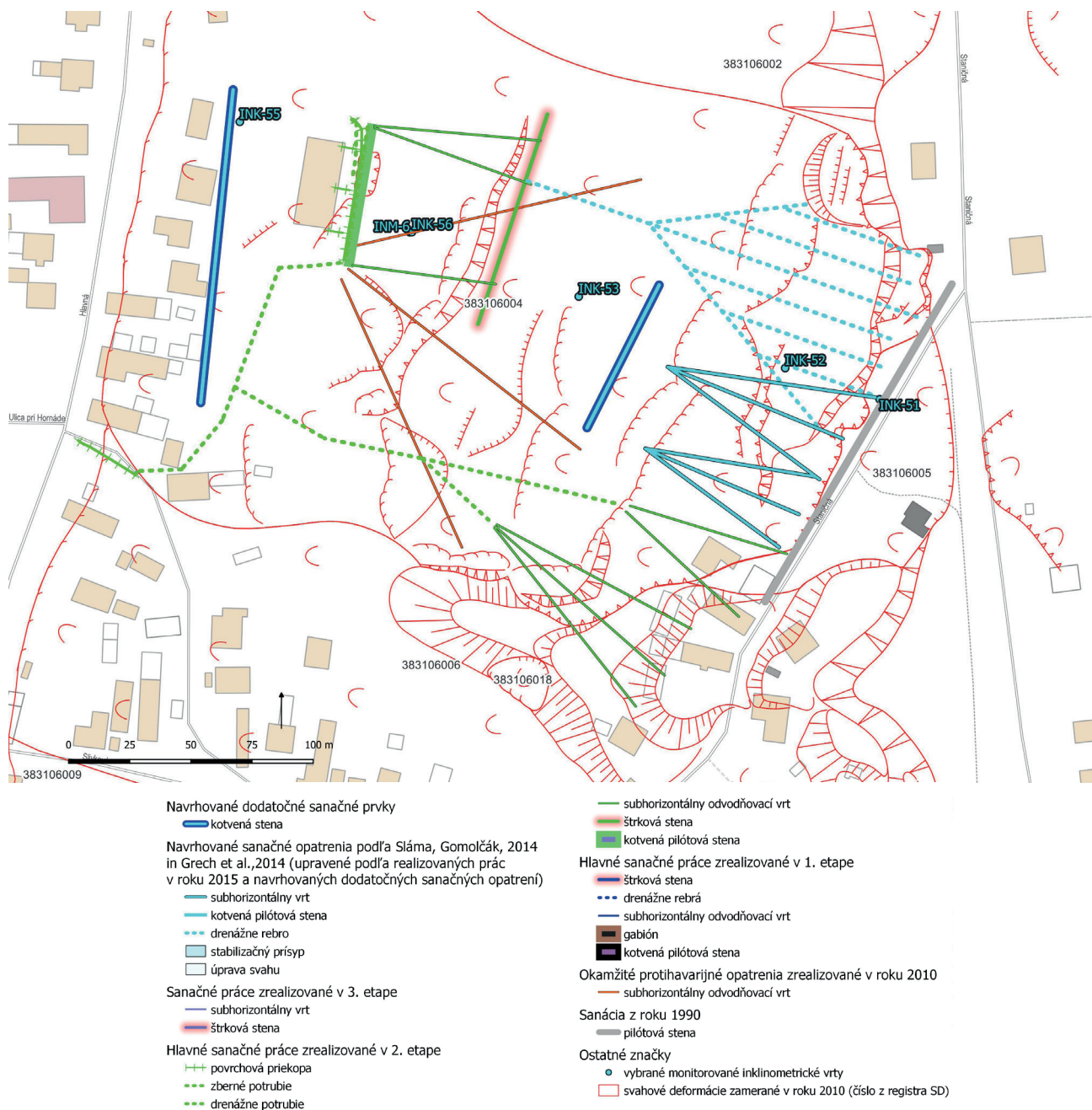
### 6.3. Súčasný stav sanačných objektov a návrh ďalších sanačných opatrení

Celému zosuvnému svahu pod Staničnou ulicou postihnutému výraznými formami svahových deformácií je potrebné vzhľadom na aktivitu svahových pohybov venovať náležitú pozornosť pri monitorovaní, ako aj pri plánovaní doplnenia sanačných opatrení. Vykonalie ďalších sanačných opatrení (navrhnutých podľa záverov z 2. etapy sanácie) sa podľa výsledkov monitorovania javí ako nevyhnutné. Navrhnuté sú odvodňovacie vrty v celkovej dĺžke 400 m, drenážne rebrá s hĺbkou 4 – 6 m v celkovej dĺžke až 700 m a úprava terénu na ploche 10 000 m<sup>2</sup>. Polovica odvodňovacích vrtoch realizovaných v 2. etape (vrty SHV-82, SHV-91, SHV-111, SHV-112) dosahuje merateľnú výdatnosť. Preto aj doplnenie hĺbkového a podpovrchového odvodnenia, ako je navrhované (Sláma a Gomolčák, 2014) v hornej časti zosuvu, by malo mať účinok na odvodnenie plytkých zvodnených horizontov, ako aj hlbších zvodnených horizontov so vztlakovým účinkom. Vztlaková voda z priepustných polôh v hĺbke približne 5,0 m vystupuje do výšky približne 2,0 m pod terénom. Hlbší zvodnený horizont v hĺbke približne 11,0 m vystupuje do výšky približne 7,0 m pod terénom (Sláma et al., 2012). Problémom môže byť návrh odvodňovacích vrtoch v tejto hĺbke, pretože ide o prevažne nepriepustné zeminy. Systém drenážnych rebier neodporúčame zaústiť do existujúcej štrkovej steny, ale odvieť drenážnym kanálom mimo nej. Odvodnenie hornej časti zosuvného svahu by malo dosiahnuť určitý efekt, je však potrebné deformácie sledovať naďalej na celom svahu, lebo hodnoty deformácií sú veľké aj v hornej časti svahu (pod staršou pilótovou stenou na Staničnej ulici), v strednej časti svahu nad školou, ako aj v akumuláčnej časti pod budovou školy. Vzhľadom na veľké deformácie a pohyb celého zosuvného svahu bude potrebné zväžiť vybudovanie technicky a finančne náročnej stabilitej konštrukcie (kotvená podzemná stena do hĺbky viac ako 25 m), ktorá by zasahovala pod bazálnu šmykovú plochu zosuvu vyvinutú v hĺbke približne 15,0 až 17,5 m (obr. 16). V tomto území vyznačujúcom sa veľkou pohybovou aktivitou je potrebné uvažovať o ďalšej kotvenej podzemnej stene na svahu v priestore nad vrtom INK-53, kde sú vyvinuté aktívne parciálne zosuvy (obr. 13). Podobným spôsobom sa osvedčila už v roku 1990 vybudovaná kotvená stena, ktorá zlepšila nepriaznivý stav v odľučnej oblasti zosuvu na Staničnej ulici v roku 1985. S veľkou pravdepodobnosťou je možné predpokladať, že bez jej vybudovania by zosuvy v roku 2010 poškodili aj priestor tejto ulice, keďže potenciálne odľučné hrany svahových deformácií sa nachádzajú vyššie vo svahu, v priestore cintorína.



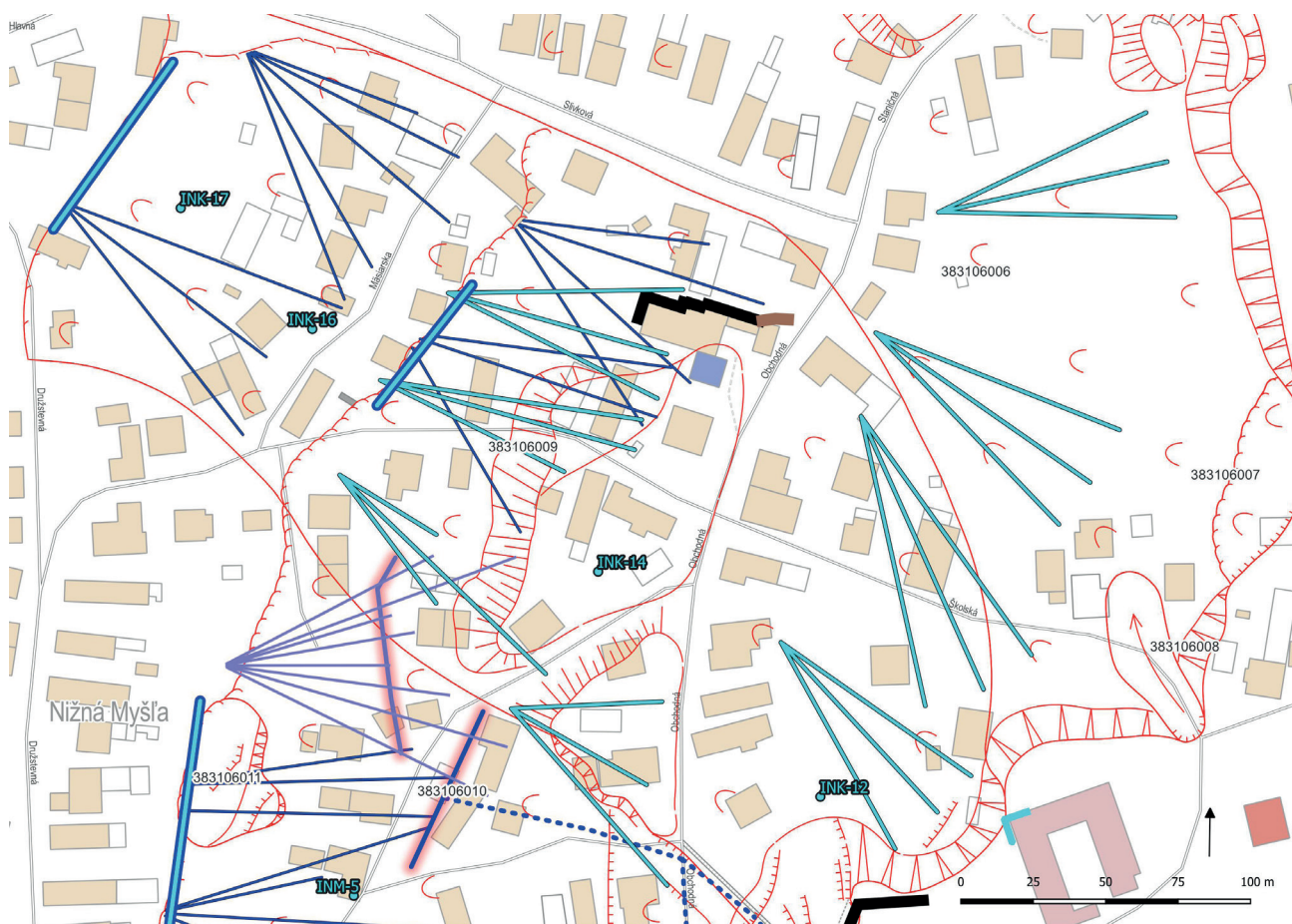
V centrálnej časti územia (Poštová, Mäsiarska, Strmá a Obchodná ulica) je okrem sanačných prác vykonaných v roku 2012 navrhované hĺbkové odvodnenie spodnej, strednej a hornej časti zosuvného svahu. Odporúča sa priebežne vyhodnocovať výsledky monitoringu všetkých sledovaných ukazovateľov a v prípade pokračujúceho trendu prírastkov deformácií v hornej časti zosuvného územia a prípadného vzostupu úrovne hladiny podzemnej vody vybudovať monitorovacie objekty v telese zosuvu 383106006 na sledovanie vývoja celého zosuvného územia (svahové deformácie 383106006 a 383106009) a s cieľom prehodno-

tenia potreby vybudovania sanačných opatrení v priestore týchto svahových deformácií. Na zvýšenie stability tohto zastavaného územia by bolo možné vybudovať kotvené podzemné steny, pričom spodný úsek s hĺbkou založenia podzemnej steny viac ako 25 m by bol situovaný v akumulačnom vale zosuvu medzi Poštovou a Družstevnou ulicou a druhý, horný úsek na svahu medzi Poštovou a Strmou ulicou na zachytenie parciálnych zosuvov s plytšími šmykovými plochami (obr. 14 a 16). Predstavujú technicky a ekonomicky náročné stavebné diela, ktorých potreba vyplýva z hodnotenia aktivity územia a prípadných rizík.



**Obr. 13.** Prehľadná situácia vykonaných najdôležitejších sanačných prác a navrhovaných sanačných prác (spracované podľa Slámu a Gomolčáka, 2014) a ďalších odporúčaných sanačných opatrení v severnej časti zosuvného územia; na podklade ZBGIS© (Ústav geodézie, kartografie a katastra SR); legenda k obr. 13, 14 a 15.

**Fig. 13.** An overview of the most important remedial works carried out and proposed remedial works (processed according to Sláma and Gomolčák, 2014) and other recommended remedial works in the northern part of the landslide area; shown on ZBGIS© topographic base (Geodesy, Cartography and Cadastre Authority SR); legend for Figs. 11, 12 and 13.



**Obr. 14.** Prehľadná situácia vykonaných najdôležitejších sanačných prác a navrhovaných sanačných prác (spracované podľa Slámu a Gomolčák, 2014) a ďalších odporúčaných sanačných opatrení v centrálnej časti zosuvného územia.

**Fig. 14.** An overview of the most important remedial works carried out and proposed remedial works (processed according to Sláma and Gomolčák, 2014) and other recommended remedial works in the central part of the landslide area.

Sanačné práce v priestore južnej časti zosuvného územia, v minulosti najviac postihnutej zástavby obce, mali väčší rozsah v 1. etape. Následne boli doplnené ďalšími odvodňovacími prácami v 3. etape, ktorá sa zamerala výlučne na zlepšenie pomerov v tejto časti územia s dlhodobými prejavmi nestability územia. Návrh pokračujúcich sanačných opatrení si kládol za úlohu najmä zabezpečiť odvodnenie zosuvného svahu pomocou odvodňovacích vrtov. Z nich boli zrealizované len vrty stanovišťa ST-12 v spodnej časti spolu so štrkovou stenou. Predpokladaná dĺžka odvodňovacích vrtov mala spolu v južnej, ako aj centrálnej časti dosiahnuť 4 200 m v sedemnástich vejároch, z čoho sa vybudovalo iba 8 vrtov na stanovišti ST-12 v celkovej dĺžke 640 m. Na plošne rozsiahlom nezastavanom území v južnej časti bol navrhnutý systém drenážnych rebier s hĺbkou 5 – 6 m zaústených do plošného stabilizačného prísypu. Stabilizačný prísyp má zabezpečiť zvýšenie pasívnych síl v akumuláčnej oblasti na svahu s veľmi strmým sklonom a vytlačeným čelom zosuvu, ktorý v roku 2010 zapríčinil deštrukciu stavieb družstva nachádzajúceho sa pod svahom. Bolo navrhnuté aj stabilné zabezpečenie rohu budovy bývalého kláštora (v súčasnosti Myšlianske obecné múzeum), ktorý je ohrozený retrográdnym šírením odtrhov v odľučnej oblasti pomocou kotvenej pilótovej steny so zalomením celkovej dĺžky 30 m. Okrem toho je navrhnutý

gabiónový múr nad Družstevnou ulicou s dĺžkou približne 70 m a terénne úpravy nad stabilizačným prísypom.

Za opodstatnený dôvod vykonania ďalších neodkladných sanačných prác možno považovať jednak údaje o celkovej deformácii za obdobie 2012 – 2018, ktoré sa v najaktívnejších častiach zosuvného územia pod kostolom pohybujú v hodnotách viac ako 50 mm, jednak ročné prírastky deformácií, ktoré za posledné roky predstavujú hodnoty rýchlosti pohybov od 1,5 až po extrémne hodnoty 93,5 mm za rok. Dosiaľ vykonané sanačné práce možno považovať len za čiastočné. Je to však nevyhnutná reakcia na katastrofálne zosuvy z roku 2010. Zmierňujú dlhodobu pretrvávajúci nepriaznivý stabilný stav. Dosiahnutie pozitívneho stabilného stavu svahovej deformácie č. 383106010 by si vyžadovalo nesmiernu technickú, ale hlavne finančnú investíciu. Neexistuje reálny predpoklad dobudovania takýchto opatrení a z geomorfologického hľadiska a z hľadiska náhynosti územia na zosúvanie sa ani nepredpokladá dosiahnutie úplnej stabilizácie tohto prostredia. Preto ďalšie opatrenia musia byť zamerané tak, aby zabezpečili stabilitu územia v čo najvyššej možnej miere s prijateľnými nárokmi na technické, finančné a spoločenské zabezpečenie. Realizáciu sanačných prác v neposlednom rade obmedzuje aj zastavanosť územia, resp. možnosť prípadného presídlenia, aby neboli obyva-





**Obr. 15.** Prehľadná situácia vykonaných najdôležitejších sanačných prác a navrhovaných sanačných prác (spracované podľa Slámu a Gomolčáka, 2014) a návrh ďalších odporúčaných sanačných opatrení v južnej časti zosuvného územia.

**Fig. 15.** An overview of the most important remedial works carried out and proposed remedial works (processed according to Sláma and Gomolčák, 2014) and other recommended remedial works in the southern part of the landslide area.

telia ohrození alebo aby bolo možné budovať technicky náročné sanačné konštrukcie v tomto priestore. V prípade pretrvávajúceho nepriaznivého stavu, resp. akcelerácie deformácií svahu, alebo aj v prípade často sa vyskytujúcich klimatických udalostí s veľmi nepriaznivým vplyvom na stabilitu územia bude potrebné zväziť potrebu dobudovania rozsiahlych statických opatrení (podzemné steny, kotvenie svahu). Takéto opatrenia si však vyžadujú rozsiahlu technickú prípravu, veľké finančné náklady a rozhodovanie medzi alternatívou premiestnenia určitej časti zástavby alebo budovania náročných stabilizačných konštrukcií. Cieľom z dlhodobého pohľadu musí byť zabezpečenie funkčného (tradičného a plánovaného) využitia územia, ktorým je zástavba, infraštruktúra, ako aj zvázenie environmentálnych a sociálnych aspektov využitia územia ako celku. Účink iných spôsobov sanácie (elektroosmóza, termické spevňovanie) v týchto pomeroch z hľadiska efektivity, ako aj na základe skúseností z ich sporadických pokusných realizácií na iných zosuvných lokalitách (napr. Jadroň et al., 1999) by bol neistý. Z dôvodu vybudovanej zástavby a infraštruktúry nie je použiteľné ani budovanie relatívne jednoduchého a účinného opatrenia, priťažovacích lavíc a prísypov.

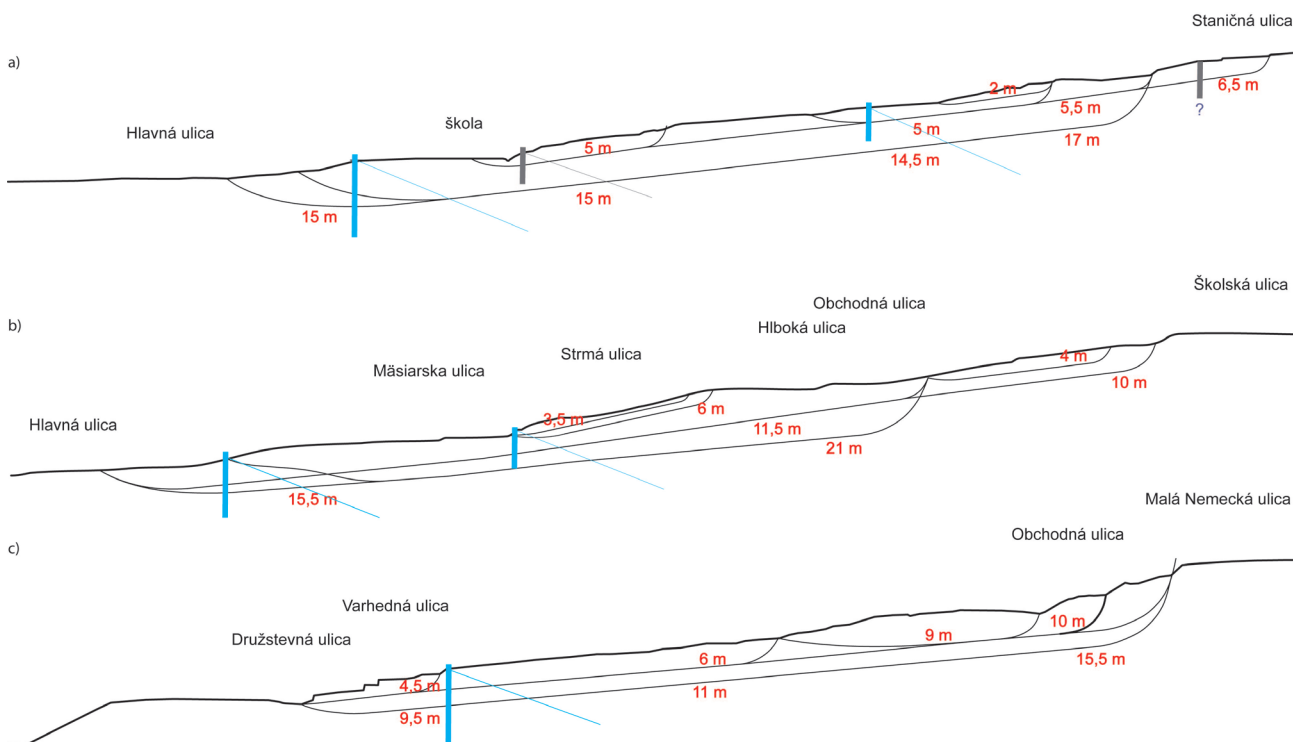
Okrem hĺbkového a podpovrchového odvodnenia, stabilizačného prísypu a podchytenia rohu budovy ako

doplňujúce sanačné práce, o ktorých sa dá vzhľadom na zastavanosť územia uvažovať, sa navrhujú podzemné kotvené steny situované v akumulačnom vale medzi ulicou Repiská a Družstevnou ulicou a na strmom svahu pod Varhednou ulicou. Pilótové steny by mali hĺbku 20, resp. 15 m (pod Varhednou ulicou). Ich situovanie je idealizované, pri riešení majetkovo-právnych vzťahov k pozemkom by bolo vhodné pilótové steny posunúť vyššie do svahu. Ďalšiu kotvenú podzemnú stenu je možné vybudovať na svahu v širšom okolí vrtu INM-5 a INK-24, pričom hĺbka založenia by mala byť približne 17 m (obr. 15 a obr. 16).

Potreba a dimenzovanie sanačných prvkov musí byť súčasťou ďalšej etapy hodnotenia stabilných pomerov, ktorá bude predchádzať samotnej sanácii. Na základe výpočtov stability svahu spolu so zohľadnením výsledkov monitoringu, ako aj zo spoločensko-ekonomických podmienok vyplynie optimálny harmonogram postupu sanačných prác, ich rozsah a navrhované parametre geotechnických konštrukcií. Pri návrhu sanačných opatrení je potrebné zohľadniť viaceré aspekty, ktoré si vyžadujú spoluprácu inžinierskych geológov a geotechnikov v odbore inžinier statiky stavieb.

Najsevernejšia časť zosuvného územia (svahové deformácie 383106002 a 383106003) bola navrhnutá na saná-





**Obr. 16.** Schematické profily s vyznačením existujúcich stabilných konštrukcií (kotvená pilótovej stena, pilótovej stena – sivá farba) a orientačne navrhované umiestnenie dodatočných kotvených konštrukcií – modrá farba; priebeh šmykových plôch – čierna farba; a hĺbky šmykových plôch: a) profil SZZ – JVV v priestore severnej časti zosuvného územia, b) profil SSZ – JJV v priestore centrálnej časti zosuvného územia, c) profil Z – V v priestore južnej časti zosuvného územia (upravené podľa Slámu a Gomolčáka, 2012).

**Fig. 16.** Schematic profiles with the marking of existing stability structures (anchored pile wall and pile wall – gray color) and tentatively proposed location of additional anchored structures – blue color; course of shear surfaces – black color; and depths of shear surfaces: a) NWW–SEE profile in the area of the northern part of the landslide area, b) NNW–SSE profile in the area of the central part of the landslide area, c) W–E profile in the area of the southern part of the landslide area (adapted from Sláma and Gomolčák, 2012).

ciu už v roku 2010 (Tometz et al., 2010), no doplňujúci inžinierskogeologický prieskum sa nevykonával. V tejto časti územia nie sú umiestnené ani pozorovacie inklinometrické vrty, a preto návrh sanačných prác z roku 2010 (ich potrebu a rozsah) by bolo potrebné overiť doplňujúcim inžinierskogeologickým prieskumom a monitoringom.

Ohrozená časť obce na východných svahoch v priestore Staničnej a Kopaničnej ulice nebola dosiaľ objektom inžinierskogeologického prieskumu. Popri najväčšie poškodených častiach obce a aktivovaných zosuvoch s katastrofálnymi účinkami pokrývajúcimi celý západný svah bol tento priestor s potenciálnym zosuvným rizikom predmetom len okrajového hodnotenia. Návrhu zabezpečenia tohto územia musí predchádzať podrobný inžinierskogeologický prieskum a monitoring vykonaný aspoň v minimálnom rozsahu.

## 7. Záver

Prezentovaná práca sa zameriava na zhodnotenie zosuvného územia v obci Nižná Myšľa. Boli analyzované všetky dostupné údaje z obdobia od vzniku svahových pohybov, ktoré nastali v júni 2010, až do roku 2018. Dáta zahŕňali informácie z monitoringu zložiek prírodného prostredia a účinnosti sanačných opatrení. Na základe týchto výsledkov a hodnotenia skutkového stavu, ako aj realistických predpokladov ďalších prác možno zdôrazniť niektoré

špecifické znaky, ktorými sa zosuvy v Nižnej Myšli vyznačovali už od ich vzniku.

V prvom rade možno zdôrazniť kroky, ktoré boli vykonané bezprostredne po vzniku a zistení situácie v obci a vyústili do sanačných prác v nasledujúcich rokoch. Je potrebné oceniť hlavne okamžitú reakciu verejného sektora a vyčlenenie finančných prostriedkov na sanačné práce v niekoľkých na seba nadväzujúcich etapách. Tomuto hlavnému cieľu logicky predchádzal a ihneď po vzniku katastrofálnych zosuvov bol iniciovaný podrobný inžinierskogeologický prieskum na stanovenie príčin vzniku zosuvov a prognózy správania územia v najbližšom období. Keďže zosuvy v Nižnej Myšli možno považovať za druhé najničivejšie zosuvy v modernej histórii Slovenska ihneď za katastrofálnym zosuvom v Handlovej (1960), je potrebné hodnotiť aj reakciu kompetentných orgánov bezprostredne po vzniku situácie. Vyhlásenie a riadenie mimoriadnej situácie v obci sa vyznačovalo promptnou a efektívnou reakciou, na ktorej sa podieľali viaceré zložky štátnej správy. Ihneď po zistení, že ide o zosuvy, boli na posúdenie a riešenie stavu prizvaní geológovia. Bez meškania sa vykonávali okamžité opatrenia na záchranu životov a majetku ľudí, na zmiernenie a odstraňovanie následkov svahových pohybov. Súbežne s tým sa ihneď riešil inžinierskogeologický prieskum a odhad rozsahu prác na zabezpečenie územia, ako aj jeho prevenciu pred potenciálnym výskytom ďalších nepriaznivých javov.

Jednoznačným faktorom, ktorý inicioval vznik zosuvov, boli extrémne zrážky. V roku 2010, najmä v jarnom období, dosahovali na prevažnej väčšine územia Slovenska úhrny atmosférických zrážok extrémne hodnoty. Ako uvádzajú Pecho et al. (2010), boli prekonané dlhodobé mesačné rekordy na takmer 400 zrážkomerných staniách. Vysoký zrážkový úhrn za máj a začiatok júna spôsobil na území Slovenska aj hydrologicky nepriaznivú situáciu a vznik povodní, ako aj mimoriadne veľký počet aktivovaných zosuvov, a to hlavne na východnom Slovensku. Konkrétne v oblasti okolia Nižnej Myšle dosiahli zrážky v mesiaci máj viac ako 300 % dlhodobého mesačného priemeru. Obdobie s mimoriadne výdatnými zrážkami pretrvalo aj začiatkom júna, keď sa aktivovali zosuvy a vznikla povodňová situácia.

V týchto súvislostiach je potrebné spomenúť špecifické pomery zosuvného územia v katastri Nižnej Myšle. Celé zosuvné územie zaberá veľkú plochu (viac ako 432 000 m<sup>2</sup>) a tvorí ho komplex plošne na seba nadväzujúcich rozsiahlych svahových deformácií. Niektoré z nich vznikli už v dávnej minulosti a v roku 2010 sa reaktivovali a dosiahli najničivejšie následky jednak v južnej, husto zastavanej časti, jednak v severnej časti územia. Svahové poruchy v oboch spomenutých častiach obce majú bazálne šmykové plochy vo väčšej hĺbke (15 až 21 m). Je to veľmi výrazne obmedzujúcim faktorom pri stabilizácii zosuvov, ako aj celého územia. V priestore veľkých zosuvov sú vyvinuté ďalšie aktívne parciálne svahové deformácie, ktoré môžu odlišným spôsobom reagovať na nepriaznivé klimatické podmienky.

Vďaka zrealizovanému podrobnému inžinierskogeologickému prieskumu a trom na seba nadväzujúcim etapám sanácie geologického prostredia s doplňujúcim inžinierskogeologickým prieskumom bolo umožnené od začiatku pozorovať ukazovatele vývoja zosuvného územia. Postupným dobudovaním a prevádzkovaním siete monitorovacích objektov sa zabezpečil rozsiahly súbor meraných veličín. Pravidelným vyhodnocovaním nameraných ukazovateľov sa získala základná predstava o vývoji veličín v čase a v jednotlivých častiach územia. Zosuvné územie v Nižnej Myšli možno vďaka počtu monitorovacích objektov označiť za jedno z najpodrobnejšie sledovaných zosuvných území. Je to potenciál na ďalšie, efektívnejšie využitie monitorovacích objektov.

Prvoradým cieľom inžinierskogeologického prieskumu a monitorovania ukazovateľov zosuvného územia bolo vyhodnotiť stabilitné pomery a optimálnym spôsobom navrhnúť potrebné sanačné opatrenia, aby sa pri ich technickej realizácii a vynaložených finančných prostriedkoch dospelo k ich čo najvyššej účinnosti. Ako vyplýva z inžinierskogeologického hodnotenia lokality, t. j. na základe zistenej hĺbky bazálnych šmykových plôch a aktivity svahových pohybov, úplnú stabilitu územia v celom zosuvnom území nie je možné dosiahnuť. Vzhľadom na technické a finančné možnosti vykonané sanačné práce mali za cieľ poskytnúť opatrenia na čo najväčšie zmiernenie nepriaznivých prejavov svahových porúch a čiastočné dlhodobé zlepšenie stabilitných pomerov. Práce boli orientované na

zníženie úrovne hladiny podzemnej vody, statické zabezpečenie ohrozených objektov a terénne úpravy tak, aby sa minimalizovali negatívne účinky infiltrácie zrážkovej vody do telesa zosuvu.

Navrhované sanačné opatrenia boli teda zrealizované len čiastočne, t. j. v rozsahu najpotrebnejších prác. Podľa stupňa aktivity a ohrozenia je v jednotlivých častiach zosuvného územia potrebné dobudovať sanačné opatrenia, vykonávať údržbu zrealizovaných sanačných objektov a naďalej vykonávať monitoring. Po zabezpečení finančných prostriedkov a realizácii druhej etapy sanácie v roku 2014 a tretej etapy v roku 2015 na základe prehodnotenia *Programu prevencie a manažmentu zosuvných rizík na obdobie rokov 2021 – 2029* je lokalita Nižná Myšľa zaradená do zoznamu lokalít havarijných zosuvov odporúčaných na sanáciu geologického prostredia. Predpokladané obdobie riešenia sú roky 2023 – 2025 a odhadovaný objem výdavkov je 550 000,00 eur (MŽP SR, 2020). Vykonanie ďalších sanačných prác tak pripadá do úvahy v ďalšom období alebo po prehodnotení platného programu na základe výsledkov monitoringu a hodnotenia závažnosti zosuvného rizika a ohrozenia.

Popri vykonaných sanačných prácach sa dôraz kládol aj na dodržiavanie zásad vedúcich k vhodnému nakladaniu so zachytenou odpadovou a dažďovou vodou, čo takisto do určitej miery ovplyvňuje zosuvné pomery v oblasti. Z pohľadu samosprávy je potrebné trvať na dodržiavaní týchto zásad a dohliadať na ich plnenie. Rovnako sa to týka stavbe uzávery a vykonania prípadných nevhodných zásahov do konfigurácie terénu, ktoré by mali negatívny vplyv na stabilitné pomery územia.

Ako ďalší predpoklad je nevyhnutné udržiavať a prevádzkovať funkčnú monitorovaciu sieť s operatívnym vyhodnocovaním výsledkov. Tým sa zaoberá projekt *Monitoring zosuvných deformácií*, ktorým sa spôsob zberu, prenosu a vyhodnocovania dát posúva na vyššiu kvalitatívnu úroveň. Vzhľadom na perspektívnu budúcnosť monitoringu možno očakávať, že projekt má potenciál vyústiť až do vybudovania systému včasného varovania pri prekročení kritických hodnôt sledovaných parametrov. Je potrebné zdôrazniť aj to, že cieľom pravidelného vyhodnocovania výsledkov monitoringu by mali byť odporúčania na vykonávanie takých opatrení, ktoré by v čo najväčšej miere riešili aktuálne stabilitné pomery.

Dlhodobým cieľom hodnotenia, smerovania pozornosti a technickej a ekonomickej podpory riešenia stabilitných pomerov celého tohto zosuvného územia musí byť práca na projekte a dobudovanie takých sanačných prác, ktoré eliminujú súčasný nepriaznivý stav a budú v čo najväčšej možnej miere zabezpečovať schopnosť územia odolávať podobným nepriaznivým klimatickým udalostiam, aké nastali v júni roku 2010.

## Podakovanie

Výsledky dlhodobého monitoringu boli získané z riešenia úlohy *Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory*, ktorej objednávateľom je Ministerstvo životného prostredia SR a riešiteľom Štátny geologický ústav Dionýza

Štúra v Bratislave. Od 1. 1. 2019 sa monitorovacie aktivity na lokalite Nižná Myšľa vykonávajú v rámci projektu *Monitoring zosuvných deformácií (Operačný program Kvalita životného prostredia, Prioritná os 3: Podpora riadenia rizík, riadenia mimoriadnych udalostí a odolnosti proti mimoriadnym udalostiam ovplyvneným zmenou klímy)*. Jeho riešiteľom je Štátny geologický ústav Dionýza Štúra. Za poskytnutie cenných informácií z riešenia úlohy *Monitoring zosuvných deformácií* osobitne ďakujeme zodpovednému riešiteľovi RNDr. Petrovi Ondrejkoovi, PhD. Ako hlavný zdroj údajov boli použité výsledky z prieskumných a sanačných prác na lokalite Nižná Myšľa od zodpovedných riešiteľov: doc. Ing. Ladislav Tometz, PhD., Mgr. Miroslav Sláma, RNDr. Ján Grech a RNDr. Ján Laurenčík. Zvlášť cenné informácie poskytujú čiastkové výsledky z vykonávaných sanačných prác a doplnkového inžinierskogeologického prieskumu pod vedením RNDr. Miroslava Gomolčáka. Za poskytnutie užitočných rád z oblasti riešenia problematiky svahových deformácií patrí vďaka vedúcemu oddelenia inžinierskej geológie ŠGÚDŠ RNDr. Pavlovi Liščákovi, CSc. Ďakujeme aj recenzentom RNDr. Martinovi Brčekovi, PhD., a doc. RNDr. Petrovi Wagnerovi, CSc., za veľmi podrobné posúdenie práce a za poskytnutie množstva konštruktívnych pripomienok a odporúčaní, ako aj redakcii časopisu.

## Literatúra

- Atlas máp stability svahov Slovenskej republiky (online), 2017: Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra. Dostupné na internete: <https://www.geology.sk/geoinfoportal/mapovy-portal/atlas/atlas-map-stability-svahov-slovenskej-republiky/>.
- Buroš, J., Dorotjak, V., Gomolčák, F. a Kupec, J., 1963: Správa o registrácii zosuvov na juhovýchodnom a východnom Slovensku. Názov úlohy: Zosuvné územia ČSSR. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (č. 13600), 22 s.
- Divinec, L., 1993: Výskum geologických faktorov životného prostredia. Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia SR v mierke 1 : 50 000. Región: Košická kotlina a Slanské vrchy. Záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (č. 82918), 21 s.
- Ferreti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., Rocca, F. a Massonet, D., 2007: InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. ESA Publications. Noordwijk, 250 s.
- Geologická mapa Slovenska M 1 : 50 000 (online), 2013: Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra. Dostupné na internete: <http://mapserver.geology.sk/gm50js/>.
- Gomolčák, M. a Bača, J., 2012: Projekt skutočného vyhotovenia. In: Sláma, M. (ed.): Nižná Myšľa – sanácia havarijného zosuvu – I. etapa. Záverečná správa zo sanácie geologického prostredia. Manuskript. Košice, Geokontakt.
- Gomolčák, M., 2014: Projekt skutočného vyhotovenia. In: Grech, J. (ed.): Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky: Časť I. Sanácia havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa – 2. etapa. Záverečná správa. Manuskript. Košice, Geokontakt.
- Gomolčák, M., 2015: Fotodokumentácia sanačných prác. In: Laurenčík, J. (ed.): Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Svätý Anton a sanácia havarijných zosuvov v obciach Nižná Myšľa a Šenkvice: Časť I. Sanácia havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa – 3. etapa. Čiastková záverečná správa. Manuskript. Košice, Geokontakt.
- Grech, J., Sláma, M., Laurenčík, J., Gomolčák, M. a 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. Záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (č. 94454), 48 s.
- Jadroň, D., Mokrá, M. a Červená, J., 1999: Havarijné zosuvy Hornej Nitry a Stredného Pohronia. Lokalita A – Veľká Čausa. Záverečná správa. Manuskript. Žilina, INGEO, 57 s.
- Jánová, V. a Házyová, K., 2011: Slovensko 2010: Rok havarijných zosuvov. Nižná Myšľa – katastrofálny zosuv. Enviromagazín (Banská Bystrica), 1, 20.
- Jánová, V., Liščák, P., Kopecký, M., Bednarik, M., Šimeková, J., Ondrášik, M., Pauditš, P., Tupý, P., Petro, L., Ondrejka, P., Greif, V. a Ondrus, P., 2021: Zosuvy na Slovensku. Banská Bystrica, Slovenská agentúra životného prostredia, 214 s. ISBN 978-80-8213-055-6.
- Kaličiak, M. (ed.), Baňacký, V., Janočko, J., Karoli, S., Žec, B., Petro, L. a Spišák, Z., 1996a: Geologická mapa Slanských vrchov a Košickej kotliny – južná časť 1 : 50 000. Bratislava, GS SR. ISBN 80-85314-63-0.
- Kaličiak, M. (ed.), Baňacký, V., Bodnár, J., Dubéciová, A., Jaco, S., Janočko, J., Jetel, J., Karoli, S., Petro, L., Spišák, Z., Syčev, V., Zlinská, A. a Žec, B., 1996b: Vysvetlivky ku Geologickej mape Slanských vrchov a Košickej kotliny – južná časť 1 : 50 000. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra. ISBN 80-85314-58-4.
- Kuvik, 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., Bíroň, A. a Pristaš, P., 2014: Diaľnica D1 Turany – Hubová, modifikovaný údolný variant V1 a subvariant V1a a variant V2 s tunelom Korbeľka. Orientačný inžinierskogeologický prieskum. Manuskript. Bratislava, CAD-ECO, 135 s.
- Laurenčík, J., Sláma, M., Tometz, L. a Gomolčák, M., 2015: Inžinierskogeologický prieskum havarijného zosuvu v obci Svätý Anton a sanácia havarijných zosuvov v obciach Nižná Myšľa a Šenkvice: Časť I. Sanácia havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa – 3. etapa. Čiastková záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (č. 94453), 28 s.
- List splnomocnenca vlády SR pre územnú samosprávu, integrovaný manažment povodí a krajiny č. 4478/2011-7 z apríla 2011 a Príloha k listu č. 4478/2011-7. Dostupný na: <https://archiv.vlada.gov.sk/krajina/data/files/7733.pdf>.
- Liščák, P., Pauditš, P., Petro, L., Iglárová, E., Ondrejka, P., Dananaj, I., Brček, M., Baráth, I., Vlačiky, M., Németh, Z., Záhorová, E., Antalík, M., Repčiak, M. a Drotár, D., 2010: Registration and evaluation of newly evolved slope failures in Prešov and Košice regions in 2010. Miner. Slov., 42, 4, 393 – 406.
- Liščák, P., Mašlár, E. a Ondrejka, P., 2019a: Geologické hazardy na Slovensku a ich prejavy v rámci Trenčianskeho kraja. Prednáška: Tematická porada zamestnancov odborov krízového riadenia, 20. marec 2019, Domov Speváckeho zboru Slovenských učiteľov Trenčianske Teplice.
- Liščák, P., Ondrejka, P., Ondrus, P., Petro, L., Bajtoš, P., Gluch, A., Zeman, I., Iglárová, E., Kordík, J. a Bodiš, D., 2019b: Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory, informácia o stave monitorovania geologických faktorov životného prostredia s poukázaním na hroziace havárie a možnosti predchádzania týmto haváriám. Manuskript. Bratislava, MŽP SR – archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 15 s.



- Liščák, P., Paudits, P., Petro, E., Jelínek, R., Ondrejka, P., Dananaj, I., Mašlár, E., Mašlárová, I., Ondrášiková, B. a Fraštia, M., 2018: Identifikácia, registrácia a inžinierskogeologické mapovanie svahových deformácií (A1). Projekt geologickej úlohy, etapa orientačný inžinierskogeologický prieskum. Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra, 62 s.
- Mapa inžinierskogeologických rájónov Slovenska 1 : 50 000 (online), 2017: Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/temapy/>.
- Mašlárová, I., Mašlár, E., Liščák, P., Ondrus, P., Ondrejka, P., Jelínek, R., Stercz, M., Dananaj, I., Gužík, M., Matlovičová, J. a Iglárová, E., 2021: Inžinierskogeologický prieskum svahových deformácií – 3. etapa. Projekt geologickej úlohy. Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra, 63 s.
- Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, 2020: Program prevencie a manažmentu zosuvných rizík (2021 – 2029). Bratislava, MŽP SR, 66 s.
- Modlitba, I., Jánová, V., Kováčik, M., Krippel, M., Liščák, P., Petro, E., Spišák, Z., Vančíková, I., Iglárová, E., Lobík, M., Šarik, M. a Ondrášik, M., 1991: Výsledky registrácie svahových deformácií na území Slovenska v roku 1991. Čiastková záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 74 s.
- Nemčok, A., 1982: Zosuvy v slovenských Karpatoch. Bratislava, Veda, Vyd. Slov. Akad. Vied, 319 s.
- Ondrejka, J., 1985: Nižná Myšľa – cintorín – zosuv, jednostupňový IGP. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (č. 71900), 12 s.
- Ondrejka, J., 1992: Nižná Myšľa – zosuv na štátnej ceste III/5524, jednostupňový IGP. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (č. 78108), 15 s.
- Ondrejka, P., 2012 – 2018: Údaje z geologickej úlohy ČMS – Geologické faktory. Archív autora.
- Ondrejka, P., Iglárová, E., Petro, E. a Jelínek, R., 2012: Zosuvy a iné svahové deformácie. Správa za rok 2011 (v rámci úlohy ČMS – Geologické faktory). Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 99 s.
- Ondrejka, P., Petro, E., Iglárová, E. a Jelínek, R., 2013: Zosuvy a iné svahové deformácie. Správa za rok 2012 (v rámci úlohy ČMS – Geologické faktory). Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 381 s.
- Ondrejka, P., Petro, E., Iglárová, E. a Jelínek, R., 2014: Zosuvy a iné svahové deformácie. Správa za rok 2013 (v rámci úlohy ČMS – Geologické faktory). Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 280 s.
- Ondrejka, P., Petro, E., Iglárová, E. a Jelínek, R., 2015: Zosuvy a iné svahové deformácie. Správa za rok 2014 (v rámci úlohy ČMS – Geologické faktory). Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 333 s.
- Ondrejka, P., Petro, E., Iglárová, E. a Jelínek, R., 2016: Zosuvy a iné svahové deformácie. Správa za rok 2015 (v rámci úlohy ČMS – Geologické faktory). Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 331 s.
- Ondrejka, P., Petro, E., Iglárová, E., Jelínek, R. a Liščák, P., 2017: Zosuvy a iné svahové deformácie. Správa za rok 2016 (v rámci úlohy ČMS – Geologické faktory). Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 335 s.
- Ondrejka, P., Liščák, P., Ondrášiková, B., Cibula, R., Dananaj, I. a Iglárová, E., 2018a: Projekt geologickej úlohy – Monitoring zosuvných deformácií. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 124 s.
- Ondrejka, P., Petro, E., Iglárová, E., Liščák, P., Dananaj, I., Mašlár, E., Mašlárová, I., Ondrášiková, B., Magalová, D., Ondrus, P. a Wagner, P., 2018b: Zosuvy a iné svahové deformácie. Správa za rok 2017 (v rámci úlohy ČMS – Geologické faktory). Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 370 s.
- Ondrus, P., 2019: Zhodnotenie dlhodobého monitorovania svahových deformácií a efektívnosti sanačných opatrení na zosuvnom území Nižná Myšľa. Rigorózna práca. Manuskript. Bratislava, archív PriF UK, 60 s.
- Papčo, J. a Bakoň, M., 2018: Monitoring svahových pohybov v lokalite Nižná Myšľa technológiou radarovej interferometrie z družíc (InSAR). In: Ondrejka, P. (ed.) 2018: Zosuvy a iné svahové deformácie. Správa za rok 2017 (v rámci úlohy ČMS – Geologické faktory). Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 23 s.
- Papčo, J. a Bakoň, M., 2019: Monitoring svahových pohybov v lokalite Nižná Myšľa technológiou radarovej interferometrie z družíc (InSAR). Manuskript. Bratislava, InSAR, 32 s.
- Pecho, J., Faško, P., Lapin, M., Kajaba, P., Mikulová, K. a Šťastný, P., 2010: Extrémne atmosférické zrážky na jar a na začiatku leta 2010 na Slovensku. Dostupné na: [http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/clanky\\_old/Pecho\\_et\\_al\\_2010\\_2.pdf](http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/KMIS/clanky_old/Pecho_et_al_2010_2.pdf).
- Pilný, V. a Sedlmajer, K., 1983: Vyšná Myšľa – ŠRT – sanácia zväzáním km 74,7 – 75,0, IGP. SÚDOP, Pardubice. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (č. 58966), 12 s.
- Register svahových deformácií (online). Bratislava, 2017: Bratislava, Št. Geol. Úst. D. Štúra. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/geofond/zosuvy/>.
- Sláma, M., Gomolčák, M., Komoň, J., Turovský, F., Tunega, O., Mišove, P. a Bačo, J., 2012: Nižná Myšľa – sanácia havarijného zosuvu – I. etapa. Záverečná správa zo sanácie geologického prostredia. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (č. 92021), 59 s.
- Sláma, M. a Gomolčák, M., 2012: Mapa svahových deformácií M 1 : 1 000, Mapa sanačných opatrení M 1 : 1 000, Fotodokumentácia porušeného územia. In: Sláma, M. (ed.): Nižná Myšľa – sanácia havarijného zosuvu – I. etapa. Záverečná správa zo sanácie geologického prostredia. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra.
- Sláma, M. a Gomolčák, M., 2014: Mapa svahových deformácií M 1 : 1 000, Mapa sanačných opatrení M 1 : 1 000. In: Grech, J. (ed.): Inžinierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky: Časť I. Sanácia havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa – 2. etapa. Záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra.
- STN EN 1998-1/NA/Z2: Eurokód 8. Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť. Časť 1: Všeobecné pravidlá, seizmické zaťaženia a pravidlá pre budovy. Národná príloha. Zmena 2. Bratislava, Slovenský ústav technickej normalizácie, 2012, 8 s.
- Šembera, I., Šembera, T., Holíková, J., Trnka, A., Malík, P. a Kopecný, M., 2018: Odborný posudok k navrhovanej činnosti. Diaľnica D1 Hubová – Ivachnová. Zmena trasy. Bratislava, EKOJET, 86 s.
- Šimeková, J., Martinčeková, T., Masný, M., Mokrý, M., Petro, E., Polaščinová, E., Solčiansky, R., Kopecný, M., Žabková, E. a Wanieková, D., 2006: Atlas máp stability svahov SR M 1 : 50 000. Bratislava, Ministerstvo život. prostr. SR, 155 s.
- Tometz, L., Blišťan, P., Harabinová, S., Leško, J., Nyárhidy, J. a Turovský, F., 2010: Nižná Myšľa – havarijný zosuv, orientačný IGP. Záverečná správa. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (č. 90486), 59 s.

Vrábľová, K. a Jánová, V., 2013: Sanácia havarijného zosuvu v Nižnej Myšli. *Enviromagazín*, 1, 28 – 29.

Záruba, Q. a Mencl, V., 1969: Sesuvy a zabezpečování svahů. Praha, Akademia, nakl. Čs. akad. věd, 224 s.

## Summary

A summary of interrelated information and data is available from the results of the engineering geological survey, remedial works (2010–2015) and monitoring of the Nižná Myšľa site within the project Partial monitoring system – Geological factors (2011–2018), which served for the analysis of the initial state, level knowledge of engineering-geological conditions and the impact of rehabilitation works on landslide-forming factors and measured indicators. Through a retrospective analysis of the results from the individual monitoring methods of the landslide site, supplemented by a critical assessment of the influence of climatic factors, the work attempts to respond to the basic questions, whether the effectiveness of the remedial works is achieved and, in particular, evaluate the current state, the need to carry out further remedial measures, as well as to predict a possible development of landslide bodies activity in the future. When evaluating the effectiveness of the remediation measures carried out, a specific feature of the site appears as a limiting factor for drawing conclusions, which is the significantly large extent of damage to the natural and anthropogenic environment by slope deformations 200 to 400 m long with basal shear planes at a depth of 15–21 m (Fig. 16). It is confirmed that in the case of the Nižná Myšľa location, these factors are strongly counterbalanced by the limited technical and financial possibilities of remediation. As it is illustrated in the northern part of the landslide area, despite relatively extensive rehabilitation (tab. 6 and tab. 8), including works that were already carried out in 1990, the results of monitoring, especially the results of inclinometric measurements are unfavorable (Fig. 8), which confirms and information about the shearing of the inclinometric borehole INK-53 in the course of 2019. High values of deformations have been recorded for a long time, especially in the southern part of the landslide area in the area of Obchodná Street and its surroundings, especially boreholes INK-22 and INM-2 (Fig. 10). The third area with high movement activity is the central part of the landslide area at the intersection of Hlboká, Strmá and Obchodná streets – inclinometric well INK-14 (Fig. 9). From the analysis of the activity state since the completion of the third stage of remediation, the results of measured indicators that directly or indirectly indicate the effectiveness of remediation works (capacity of

drainage wells, inclinometric measurements, groundwater level measurements) until the end of 2018 (within the monitoring activities of the PMS – GF) and accounting for climatic factors, the remedial measures are evaluated as partially effective. It should be emphasized that with the existence of deep basal shear planes and the activity of slope movements, it is not possible to achieve a complete stability of the territory in the entire landslide area. The remedial measures carried out so far were designed in such a way that, to the greatest possible extent, depending on financial possibilities, they mitigate the negative effects of the emergency situation caused by the significant and widespread reactivation of extensive landslides and partially improve the stability conditions and allow the functional use of the territory to be preserved as much as possible. The implementation of the recommended rehabilitation works for the entire landslide area (Figs. 13, 14 and 15) must be planned depending on the functional (traditional and planned) use of the area and the development of the monitored parameters. The prerequisite is the operation of a functional monitoring network with operative evaluation of results, which is the subject of the works of the Monitoring of Slope Deformations project, which aims to shift the methods of data collection, transmission and evaluation to a higher qualitative level. Looking to the future, the results of this project could lead to the construction of an early warning system when the critical values of the monitored parameters are exceeded. Of the total options available for the territory, however, with a strong consideration of socio-economic aspects (e.g. other use of the territory, overall rehabilitation), when choosing the option of rehabilitation, even if gradually implemented, the estimated expenses in the Program for the Prevention and Management of Landslide Risks (2021–2029) published by the Ministry of the Environment of the Slovak Republic in 2020 are significantly insufficient. The long-term goal of assessing, directing focus and technical and economic support and solving the stability conditions of this entire landslide area must be the completion of rehabilitation works that eliminate the current unfavourable condition and shall, to the greatest extent possible, ensure the ability of the area to withstand similar adverse climatic events as occurred in June of 2010.

Rukopis doručení:	20. 9. 2022
Revidovaná verzia doručená:	20. 10. 2022
Rukopis akceptovaný redakčnou radou:	5. 12. 2022