

Klimatická zmena ako faktor nestability v podmienkach Slovenska

Climate Change as a Factor of Instability in Slovakia

Martin Bednarik^{1*}, René Putiška¹, Rudolf Tornyai¹, Bibiána Brixová¹, Róbert Csizmadia²

¹ Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky, mbednarik@uniba.sk, Slovensko

² GEOFOS, s.r.o., Žilina, Slovensko

* korešpondujúci autor

Abstrakt

Geologická stabilita Západných Karpát je čoraz viac vystavená zrýchľujúcim sa účinkom globálnej klimatickej zmeny. Na Slovensku sa tento fenomén prejavuje predovšetkým extrémnymi zrážkovými udalosťami a dlhotrvajúcimi obdobiami sucha. Tieto podmienky vplyvajú na kolísania hladín podzemnej vody a priamo ovplyvňujú geodynamickú stabilitu inžinierskogeologických formácií. Tento príspevok hodnotí súčasné vzorce stability a geologické riziká v troch odlišných regiónoch: Podunajská pahorkatina (Dolné Semerovce), Hornonitrianska kotlina (Dolné Vestenice) a vulkanické štruktúry Štiavnických vrchov (Podhorie). Na základe analýzy technických správ a geologických prieskumov vykonaných v týchto oblastiach pozorujeme významnú koreláciu medzi geologickou stavbou a náchylnosťou na nestabilitu vyvolanú klimatickou zmenou. Syntézou údajov z týchto lokálne špecifických prieskumov sa tak príspevok zameriava na redefinovanie „obrazu stability“ Slovenska. Argumentuje tým, že tradičná klasifikácia inžinierskogeologických stabilitných rájónov sa musí aktualizovať, aby odrážala zvýšenú frekvenciu geodynamických rizík vyvolaných klimatickými extrémami.

Kľúčové slová: Klimatická zmena, Zosuv, Stabilita svahu, Sanácia, Západné Karpaty

Abstract

The geological stability of the Western Carpathians is increasingly exposed to the accelerating effects of global climate change. In Slovakia, this phenomenon manifests primarily through extreme precipitation events and prolonged periods of drought. These conditions affect groundwater level fluctuations and directly influence the geodynamic stability of engineering geological formations. This paper evaluates current stability patterns and geological hazards in three distinct regions: the Danubian Hills (Podunajská pahorkatina – Dolné Semerovce), the Upper Nitra Basin (Hornonitrianska kotlina – Dolné Vestenice), and the volcanic structures of the Štiavnica Mountains (Štiavnické vrchy – Podhorie). Based on the analysis of technical reports and geological surveys conducted in these areas, we observe a significant correlation between geological structure and susceptibility to climate-induced instability. By synthesizing data from these site-specific surveys, the paper aims to redefine Slovakia's "stability image." It argues that the traditional classification of engineering geological stability zones must be updated to reflect the increased frequency of geodynamic hazards triggered by climate extremes.

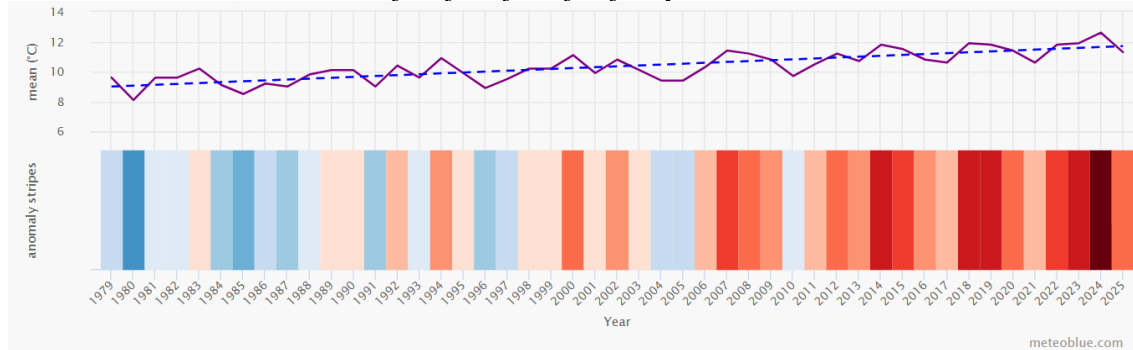
Keywords: Climate change, Landslide, Slope stability, Remediation, Western Carpathians

1. Úvod

Svahové deformácie predstavujú jeden z najvýznamnejších prejavov exogénnych geodynamických procesov nielen v Slovenskej republike, ale v celom regióne strednej Európy. Podľa Atlasu máp stability svahov Slovenskej republiky bolo doteraz zdokumentovaných celkovo 21 190 svahových deformácií. Tieto javy zasahujú územie s rozlohou 257,5 tisíce hektárov, čo zodpovedá 5,25 % z celkového územia Slovenska. Prevažná väčšina týchto geodynamických porúch je klasifikovaná ako zosuvy s 19 104 registrovanými prípadmi, čo predstavuje 90,2 % všetkých zaznamenaných svahových deformácií. Toto je informácia pre stabilné pomery na Slovensku do roku 2006 (Atlas stability svahov, 2006). Zásadná zmena nastáva v roku 2010. Počas tohto obdobia viedli extrémne zrážkové udalosti v máji a júni k vysokej saturácii svahových sedimentov, čo následne aktivizovalo viac ako 570 nových svahových deformácií na ploche približne 293 hektárov. Tieto udalosti podčiarkujú vysokú citlivosť geologického prostredia na klimatické spúšťače a zdôrazňujú neustálu nevyhnutnosť systematického hodnotenia stability (Jánová et al., 2021). V globálnom meradle je čoraz viac dokumentovaná korelácia medzi meniacimi sa klimatickými vzorcami, kumulatívnymi zrážkami a reaktivizáciou zosuvov, čo zdôrazňuje rastúcu hrozbu hydrogeomorfologických rizík v prechodných klimatických zónach (Froude & Petley, 2020; Gariano & Guzzetti, 2021; Ma & Yin, 2022; Vassallo et al., 2023; Sidle & Bogaard, 2024).

2. Prípádová štúdia: Dolné Semerovce

Podľa geotektonického vývoja a regionálneho geologického členenia (Atlas krajiny Slovenskej republiky, 2002) patrí študované územie do juhovýchodnej časti Podunajskej panvy, konkrétne do celku Želiezovská depresia. Geologickú stavbu tvoria neogénne a kvartérne sedimenty. Širšie okolie obce Dolné Semerovce zasahuje do štiavnického stratovulkánu, konkrétne do jeho južnej okrajovej zóny.

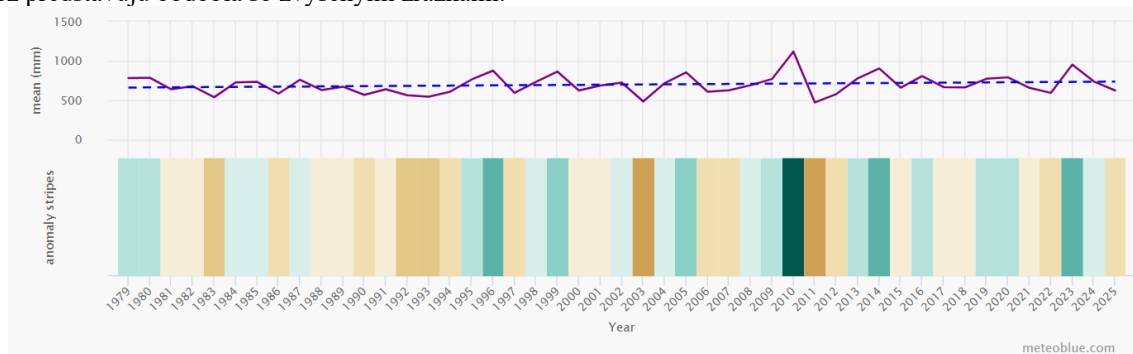


Obr. 1 Priemerná ročná teplota vzduchu, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Dolné Semerovce (zdroj: meteoblue.com).

Fig. 1 Mean annual air temperature, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Dolné Semerovce (source: meteoblue.com).

Podľa údajov Meteoblue zaznamenal širší región významné dôsledky klimatickej zmeny s nárastom priemernej ročnej teploty až o 2,5 °C v porovnaní s rokom 1979. Trendová čiara vykazuje lineárny stúpajúci charakter. Na obr. 1, farba príslušných stĺpcov predstavuje priemernú teplotu pre daný rok (modrá označuje chladnejšie roky a červená teplejšie roky). Od roku 2010 sa študované územie nachádza takmer výlučne v teplejšom teplotnom rozsahu.

Pokiaľ ide o zrážky, priemerný ročný trend sa blíži k 750 mm (obr. 2). Trendová čiara má tiež lineárny stúpajúci charakter. V grafe zelené stĺpce predstavujú vlhkejšie roky a hnedé stĺpce označujú suchšie roky. Rok 2010 (označený najtmavšou zelenou) jednoznačne predstavuje rok s najvyššími úhrnmi zrážok – s anomáliou +413 mm nad priemerom – čo pravdepodobne spustilo svahový pohyb. Medzi ďalšie roky s anomálnymi hodnotami patria roky 2014 a 2023, pričom posledný menovaný vykazuje hodnotu +243 mm nad priemerom. Roky 2016, 2019 a 2020 taktiež predstavujú obdobia so zvýšenými zrážkami.



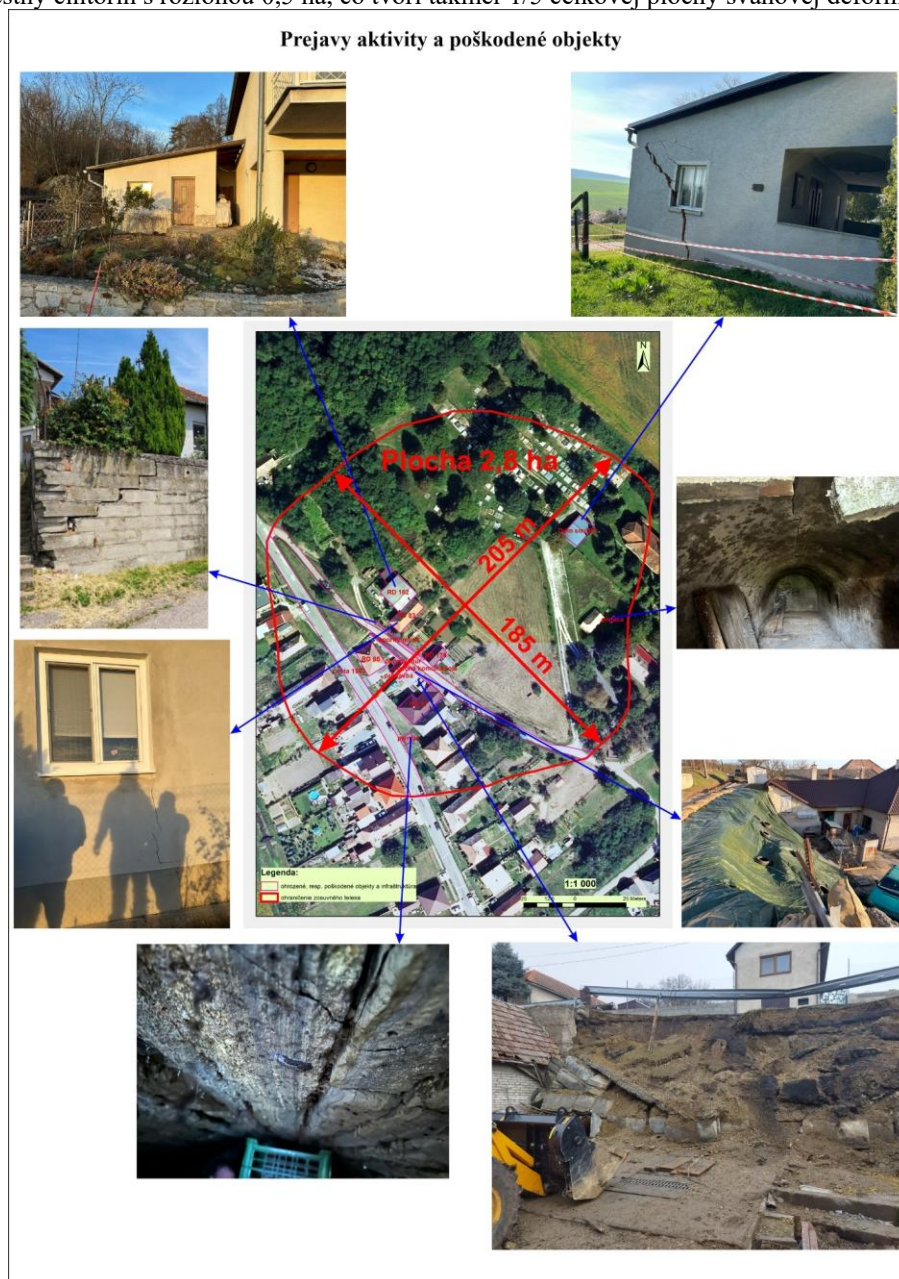
Obr. 2 Priemerný ročný úhrn zrážok, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Dolné Semerovce (zdroj: meteoblue.com).

Fig. 2 Mean annual precipitation, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Dolné Semerovce (source: meteoblue.com).

Svahová deformácia

V dôsledku aktivity svahového pohybu sa v skorých ranných hodinách 29. decembra 2023 zrútil 16 metrov dlhý úsek oporného múru za prístavbou rodinného domu. Svahový pohyb je klasifikovaný ako aktívny zosuv. Zosuv je dlhý 205 m a dosahuje šírku 185 m. Celková rozloha svahovej deformácie je 2,8 ha. Prejavy deformácie sú zobrazené na obr. 3. Bazálna šmyková plocha sa nachádza v hĺbke približne 20 m. Primárnymi príčinami svahového pohybu sú klimatické faktory. V rámci hodnoteného svahu sa geometria ani využitie územia za posledné štyri

desaťročia výrazne nezmenili. Dom smútku bol postavený začiatkom 70. rokov 20. storočia a zrútený oporný múr bol vybudovaný v polovici 80. rokov (1985–1986). Významnú infiltračnú oblasť v odtrhovej zóne deformácie predstavuje miestny cintorín s rozlohou 0,5 ha, čo tvorí takmer 1/5 celkovej plochy svahovej deformácie.



*Obr. 3 Prejavy aktivity svahového pohybu na infraštruktúre obce a stavebných objektoch.
Fig. 3 Manifestations of slope movement activity on village infrastructure and building structures.*

Na základe inžinierskogeologického prieskumu, technických prác a geofyzikálnych meraní bol vytvorený matematický model svahu pre analýzu stability pomocou softvéru GEO 5 (modul Stabilita svahu). Hodnotený svah predstavuje územie s vysokým stupňom zosuvného rizika a aktívnymi prejavmi svahových pohybov. Okrem identifikovaných šmykových plôch bolo analyzovaných niekoľko hypotetických šmykových plôch na celom svahu, a to s optimalizáciou aj bez nej.

Sanácia

Táto lokalita bola sanovaná pomocou oporného múru, ktorý slúži ako trvalá stabilizačná konštrukcia. Sanácia zahŕňala inštaláciu štrkových pilót spolu s odvodňovacími vrtmi, ako aj zabezpečenie zosunutého svahu

dočasnou kľincovanou zemnou konštrukciou. Oporný múr má premenlivú výšku od 4,376 m do 4,766 m a je priečne rozdelený do troch sekcií. Základ je široký 2,3 m, s vyložením 0,50 m na ľicnej strane a 1,2 m na rubovej strane. Na ľicnej strane je výška základu 0,549 m, zatiaľ čo na rubovej strane je to 0,5 m. V rámci základu bol vybudovaný šmykový ozub (stabilizačný klin) s rozmermi 0,5 x 0,5 m na zabezpečenie lepšej stability oporného múru. Horná hrana základu má sklon 7 %. Driek múru je vybudovaný na základe cez pracovnú škáru a je spojený so základom pomocou výstuže. Šírka drieku je 0,6 m na úrovni pracovnej škáry a 0,3 m v korune. Zmenšenie šírky drieku múru je navrhnuté vo výške 2,616 m od pracovnej škáry. Múr má celkovú dĺžku 15,09 m pozdĺž osi kontrolnej línie (obr. 4). Odvodnenie podzemnej vody za zadným lícom drieku oporného múru je navrhnuté pomocou pozdĺžnej drenáže. Povrchová voda nad korunou oporného múru je odvádzaná do priekopových žľabov s minimálnou šírkou 0,50 m, ktoré sa nachádzajú na opačnej strane cesty ako oporný múr.



Obr. 4 Oporný múr v obci Dolné Semerovce.
Fig. 4 Retaining wall in the village of Dolné Semerovce.

3. Prípadová štúdia: Dolné Vestenice

Mezozoické triasové wettersteinské dolomity sú prekryté svahovými sedimentami v jemnozrnnnej íľovitej fácií (F6 CI, F8 CH alebo CV). V tomto nepriepustnom prostredí absolútne prevláda povrchový odtok zrážkovej vody v smere sklonu svahu s následnou akumuláciou v morfológicky predisponovaných častiach svahu. Súčasné klimatické podmienky a antropogénna činnosť (zmena využívania územia hodnotenej obytnej zóny z pastvín a sádov na stavebné pozemky) spôsobili reaktivizáciu svahových pohybov. Pokiaľ ide o analýzu minulého vývoja svahových pohybov, k dispozícii sú informácie z roku 1950. Na ortofotomape (tuzvo.sk, obr. 5) z čias, kedy ani jedna zo spomínaných ulíc nebola, je viditeľný rozvinutý plošný aktívny zosuv s rozmermi 60 x 80 m.

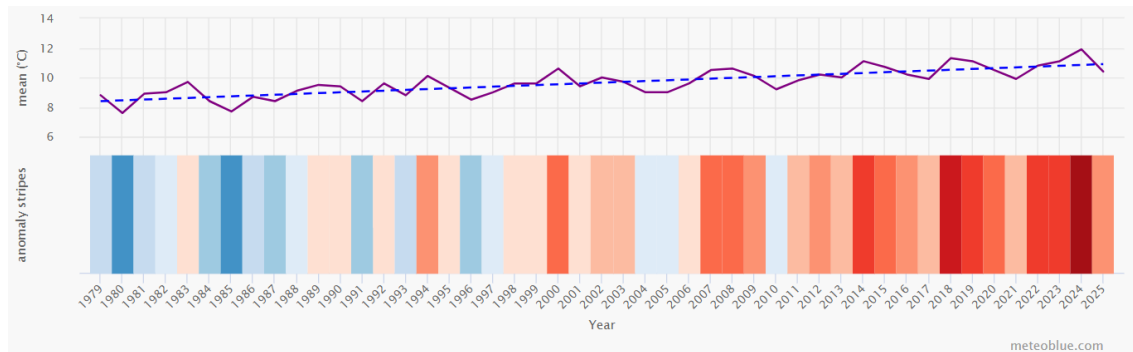
Hlavným znakom vývoja teploty v obci Dolné Vestenice je jednoznačný a dlhodobý nárast priemernej ročnej teploty až o 2,5 °C v porovnaní s rokom 1979, pričom trendová čiara vykazuje lineárny stúpajúci charakter. Pri porovnaní s obcou Dolné Semerovce vidíme úplne identický priebeh klimatickej zmeny, keďže v oboch lokalitách dochádza k rovnakému otepľovaniu širšieho regiónu. Analýza teplotných pásov (anomaly stripes) v Dolných Vestenicách potvrdzuje, že kým v prvej polovici sledovaného obdobia prevládali chladnejšie roky (modrá farba), od roku 2010 nastal v oboch obciach rovnaký zlom – obe územia sa odvtedy nachádzajú takmer výlučne v nadpriemerne teplom (oranžovom až sýtočervenom) rozsahu, čo dokazuje plošný vplyv otepľovania na tomto území. (obr. 6).

V oblasti zrážok sa priemerný ročný trend v Dolných Vestenicách pohybuje na úrovni okolo 750 mm (obr. 7) a rovnako ako v Dolných Semerovciach vykazuje mierne stúpajúcu lineárnu tendenciu. Grafické znázornenie strieda vlhkejšie zelené roky so suchšími hnedými obdobiami, pričom absolútnym spoločným extrémom pre obidve obce bol rok 2010 s najtmavšou zelenou farbou a anomáliou až +413 mm nad dlhodobým priemerom. Tento extrémny úhrn zrážok vyvolal rovnaké riziká (napr. aktiváciu svahových pohybov) v oboch katastrofách. Zhoda medzi Dolnými Vestenicami a Dolnými Semerovcami pokračuje aj pri ďalších anomálnych rokoch, kedy v oboch obciach vykazovali výrazný prebytok zrážok roky 2014, 2016, 2019, 2020 a najmä rok 2023 s hodnotou +243 mm nad priemerom.



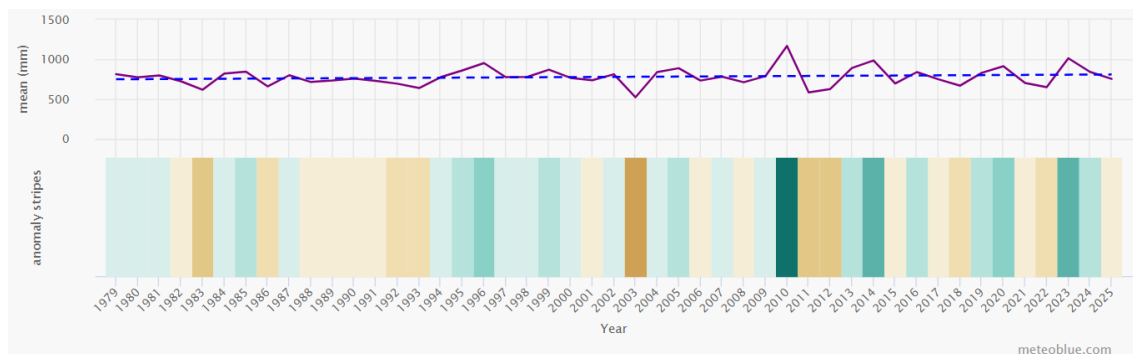
Obr. 5 Plošný zosuv medzi ulicami Kopanice a Ľudovíta Štúra na historickej ortofotomape z roku 1950 (zdroj: <https://mapy.tuzvo.sk/hofm/>).

Fig. 5 Areal landslide between Kopanice and Ľudovíta Štúra streets on a historical orthophotomap from 1950 (source: <https://mapy.tuzvo.sk/hofm/>).



Obr. 6 Priemerná ročná teplota vzduchu, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Dolné Vestenice (zdroj: meteoblue.com).

Fig. 6 Mean annual air temperature, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Dolné Vestenice (source: meteoblue.com).



Obr. 7 Priemerný ročný úhrn zrážok, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Dolné Vestenice (zdroj: meteoblue.com).

Fig. 7 Mean annual precipitation, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Dolné Vestenice (source: meteoblue.com).

Svahová deformácia

Svahová deformácia tak vytvorila bariéru v centrálnej časti svahu medzi spomínanými ulicami, kde sa v súčasnosti hromadí zrážková voda stekajúca po svahu z Kopanicej ulice. Následne bol tento konkávno-konvexný zosuvný

reliéf upravený násypmi, zásypmi a zárezmi päty v dolnej časti, aby sa prispôbil súčasnému využitiu územia. Okrem toho bola na Kopanickej ulici vybudovaná asfaltová cesta, ktorej však chýba odvodňovací systém, čo výrazne prispieva k aktivácii svahových pohybov. Na základe vyhodnotenia inklinometrických meraní vyvodzujeme, že šmyková plocha sa nachádza v hĺbke 4,8 m a periodické merania naznačujú nárast aktivity. Zosuv poškodil niekoľko obytných budov a miestnu komunikáciu (obr. 8). Na lokalite bol vykonaný komplexný inžinierskogeologický prieskum. Boli realizované tri inklinometrické vrty vybavené snímačmi pórmového tlaku a bol vykonaný geofyzikálny prieskum.



Obr. 8 Antropogénno-zosuvný reliéf v centrálnej časti ulice Kopanice a deformovaná cesta.
Fig. 8 Anthropogenic-landslide relief in the central part of Kopanice Street and the deformed road.

Sanácia

Technické riešenie pre trvalú stabilizáciu svahu je navrhnuté v dvoch etapách. Sanácia spočíva v konštrukcii pilótovej steny a zachytení a odvedení zrážkových vôd mimo zosuvného telesa. Prvá etapa sanačných opatrení bola ukončená a druhá etapa by mala bezprostredne nadväzovať. Pilótová stena má celkovú dĺžku 146,2 m pozdĺž svojej osi. V pôdoryse je segmentovaná, aby kopírovala trasu existujúcej cesty. Nachádza sa v trvalom zábere obce. Stenu tvorí 122 pilót s priemerom 900 mm. Navrhované dĺžky pilót sa pohybujú od 3 m do 11,5 m s osovým rozstupom 1,2 m. Pilótová stena vytvára pre daný úsek stabilizačný raster. Vytýčenie steny vychádza z bodov umiestnených pozdĺž osi pilótovej steny. Pilóty boli vŕtané z existujúcej cesty. Vrty boli pažené a konštrukcia je trvalá. Výstuž pilót vo forme zváraných armatúrnych košov pozostáva z ocele B500B s minimálnym krytím zvislej výstuže 90 mm, zabezpečeným plastovými dištančnými prvkami. Na prepojenie pilótovej steny bol v korune vybudovaný železobetónový úložný prah (stužujúci veniec). Prah je vystužený oceľovými prútmi a pozdĺžne rozdelený na dilatačné celky. Konštrukcia má šírku 1 m, výšku 0,9 m a celkovú dĺžku 146,2 m (obr. 9). Na ochranu proti vode a zemnej vlhkosti je zadný líc železobetónového prahu v kontakte so zeminou chránený jedným penetračným náterom a dvoma nátermi asfaltového laku za studena.

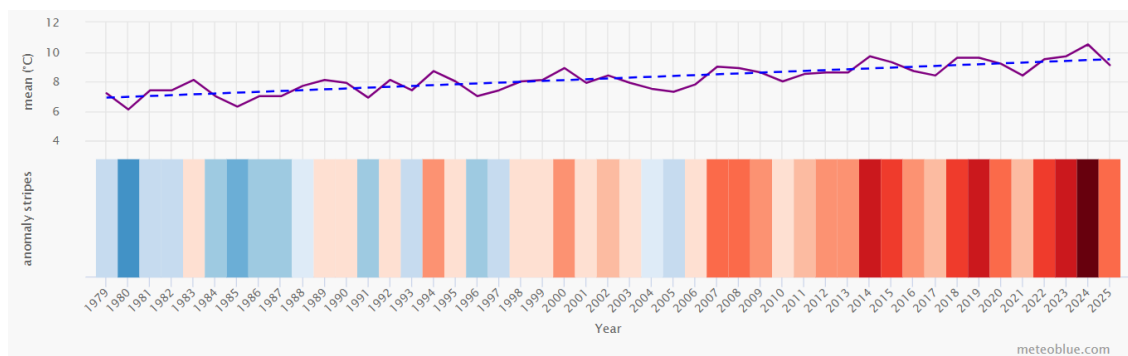


Obr. 9 Proces sanačných prác – výstavba pilótovej steny.
Fig. 9 Process of remediation works – construction of a pile wall.

4. Prípadová štúdia: Podhorie – Žakýl

Študované územie sa nachádza v katastrálnom území obce Podhorie v okrese Banská Štiavnica, situované vo východnej časti intravilánu. Predstavuje typické vulkanické prostredie. Geologickú stavbu tvoria produkty neogénneho vulkanizmu – predovšetkým andezitové tufy a brekcie. Horninový masív je výrazne tektonicky porušený a intenzívne zvetraný, pričom produkty zvetrávania (eluvialne a svahové sedimenty) majú charakter ílovitých zemín s nízkou šmykovou pevnosťou. Hodnotená časť intravilánu Podhoria predstavuje územie náchylné na zosúvanie. Táto náchylnosť je určená predovšetkým geologickou stavbou, ako aj klimatickými a morfológickými podmienkami. Medzi geodynamické javy vyskytujúce sa v širšom okolí patria svahové pohyby ako plazenie a zosúvanie. Zosuvy sú viazané najmä na svahové sedimenty a zóny zvetrávania podložného horninového masívu.

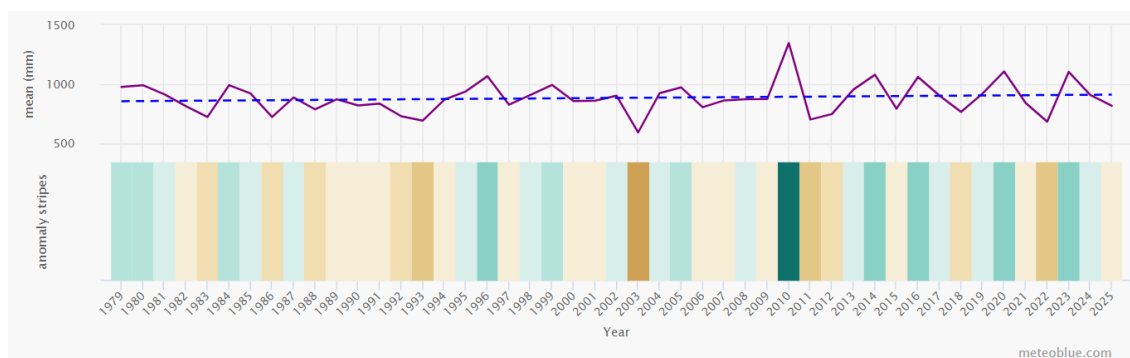
Hlavným znakom vývoja teploty v obci Podhorie je lineárne stúpajúci trend priemernej ročnej teploty s celkovým nárastom o približne 2,5 °C od roku 1979, čo sa z hľadiska dynamiky otepľovania presne zhoduje s obcami Dolné Semerovce a Dolné Vestenice. Pri porovnaní absolútnych hodnôt je však Podhorie prejavom svojej geografickej polohy celkovo chladnejšou lokalitou – kým v Dolných Vesteniciach a Semerovciach sa priemerné teploty pohybujú v teplejšom rozsahu od cca 8,5 °C do 12 °C, v Podhorí začínajú historicky na úrovni okolo 7 °C a v najhorúcejších rokoch dosahujú približne 10 °C. Napriek tejto nižšej teplotnej základni vykazuje vizualizácia teplotných pásov (anomaly stripes) identický regionálny prejav klimatickej zmeny: počiatočné dekády sú charakteristické chladnejšími modrými tónmi, no od roku 2010 (s viditeľným nástupom teplých rokov už od roku 2007) nastáva v Podhorí rovnako trvalý posun do nadpriemerne teplého oranžového až sýtočerveného spektra, s extrémne horúcim rokom 2024 na samotnom konci grafu (obr 10).



Obr. 10 Priemerná ročná teplota vzduchu, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Podhorie - Žakýl (zdroj: meteoblue.com).

Fig. 10 Mean annual air temperature, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Podhorie - Žakýl (source: meteoblue.com).

V oblasti zrážok vykazuje obec Podhorie taktiež mierne stúpajúcu lineárnu trendovú čiaru, avšak s podstatne vyšším dlhodobým priemerom, ktorý sa pohybuje na úrovni okolo 850 až 900 mm, na rozdiel od suchšieho priemeru 750 mm v Dolných Semerovciach a Dolných Vesteniciach. Napriek tomuto celkovo vlhšiemu charakteru klímy je časové striedanie anomálií v Podhorí úplne identické s oboma porovnávanými obcami. Absolútnym historickým vrcholom meraní zostáva mimoriadne kritický rok 2010 s najtmavším zeleným stĺpcom, kedy celkový úhrn zrážok v Podhorí prudko vyskočil nad 1300 mm (čo odráža rovnakú regionálnu anomáliu s prebytkom vyše 400 mm nad priemer a s tým spojené riziko zosuvov). Veľmi tesnú regionálnu zhodu s Dolnými Semerovcami a Dolnými Vestenicami potvrdzujú aj ostatné anomálne roky, kedy sa identicky v grafe Podhoria objavujú výrazné zrážkové nadpriemery v rokoch 2014, 2016, 2020 a najmä v roku 2023, kedy ročný úhrn opäť výrazne presiahol hranicu 1100 mm (obr. 11).



Obr. 11 Priemerný ročný úhrn zrážok, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Podhorie - Žakýl (zdroj: meteoblue.com).

Fig. 11 Mean annual precipitation, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Podhorie - Žakýl (source: meteoblue.com).

Svahová deformácia

Havarijná svahová deformácia zaberá plochu 4,5 hektára. Hodnotená aktívna havarijná svahová deformácia bola vymedzená v rámci rozsiahlejšieho zosuvného územia. Odlučná hrana tejto svahovej deformácie je takmer totožná s hranicou pozemkov nad rodinným domom č. 156. Výrazne vyvinuté čelo aktívnej havarijnej svahovej deformácie zasahuje do blízkosti rodinných domov č. 180, 181 a 155. Riešená havarijná svahová deformácia staticky narušila miestnu komunikáciu v obci Podhorie, ktorá slúži ako jediné dopravné spojenie medzi katastrálnymi územiami Teplá a Žakýl. Deformácie vykazovali neustály progres, čo predstavovalo riziko prerušenia cestného spojenia medzi týmito časťami obce. V dôsledku toho by sa Žakýl stal nedostupným nielen pre obyvateľov, ale aj pre záchranné zložky. Svahové pohyby sa v súčasnosti prejavujú na ceste III. triedy medzi katastrálnymi územiami Teplá a Žakýl, ako aj na rodinnom dome č. 156 a oplotení (obr. 12).



Obr. 12 Prejav svahových pohybov na oplotení parcely 573/1 a cesty III triedy vedúcej do časti Žakýl.

Fig. 12 Manifestation of slope movements on the fencing of plot 573/1 and the class III road leading to the Žakýl part.

Sanácia

V rámci podrobnej projektovej dokumentácie bola navrhnutá pilótová stena s osovou dĺžkou 45,3 m. V pôdoryse je stena segmentovaná a kopíruje hranicu pozemku. Stenu tvorí 38 pilót s priemerom 0,9 m a dĺžkou 15 m s osovým rozstupom 1,2 m. Pilótová stena bude tvoriť stabilizačný raster pre daný úsek. Pilóty budú vŕtané z existujúcej cesty pomocou pažených vrtov a konštrukcia je trvalá. Výstuž pilót vo forme zváraných armatúrnych košov je z ocele B500B s minimálnym krytím zvislej výstuže 80 mm, zabezpečeným plastovými dištančnými prvkami. Na prepojenie pilótovej steny bude v jej korune vybudovaný železobetónový úložný prah. Prah je vystužený oceľovými prútmi a pozdĺžne rozdelený na dilatčné celky. Konštrukcia má šírku 1 m, výšku 0,9 m a

celkovú dĺžku 45,5 m (obr. 13). Na ochranu proti vode a zemnej vlhkosti bude zadný líc železobetónového prahu v kontakte so zeminou chránený jedným penetračným náterom a dvoma nátermi asfaltového laku za studena. Pracovná škára bude utesnená bentonitovou šnúrou alebo páskou. Hlboké odvodnenie je riešené horizontálnymi odvodňovacími vrtmi. Je navrhnutých päť horizontálnych vrtov, každý s dĺžkou 80 m. Odvedenie povrchovej vody pozdĺž pilótvej steny bude realizované odvodňovacou priekopou širokou 0,5 m uloženou v betónovom lôžku hrúbky 0,15 m. Tieto priekopy budú odvádzať vodu do zrekonštruovaného priepustu pod cestou.



Obr. 13 Pohľad na dokončený oporný múr a zabezpečenú komunikáciu.
Fig. 13 View of the completed retaining wall and secured road.

5. Stabilné pomery

Keď sa pozrieme na mapu Atlasu stability svahov (obr. 14), ktorý odráža stabilné pomery na Slovensku do roku 2006, vidíme, že prevažná väčšina územia obcí (Dolné Semerovce, Dolné Vestenice či Podhorie - Žakýl) spadá do stabilných území - zelených zón, prípadne do žltých oblastí, ktoré sú klasifikované ako rajóny potenciálne nestabilných území, súčasný vývoj situáciu zásadne mení. V dôsledku prebiehajúcej klimatickej zmeny sa totiž stabilita svahov stáva dynamickejšou a nepredvídateľnejším fenoménom. Aj v týchto doteraz relatívne bezpečných alebo len potenciálne ohrozených lokalitách sa čoraz častejšie začínajú objavovať nové svahové deformácie. Hlavným spúšťačom sú extrémne výkyvy počasia – najmä dlhotrvajúce suchá striedané náhlými privalovými zrážkami, ktoré dokážu rýchlo nasýtiť podložie vodou a prudko zvýšiť hydrostatický tlak v póroch zemín. Tento faktor, v kombinácii s necitlivými antropogénnymi zásahmi do terénu, vedie k tomu, že mapové podklady zachytávajúce historickú stabilitu už nemusia plne reflektovať realitu v teréne, a zosuvné procesy sa tak aktivujú aj tam, kde doteraz neboli bežné.



Obr. 14 Atlas stability svahov vybraných záujmových území: a) Dolné Semerovce, b) Dolné Vestenice, c) Podhorie (Žakýl).

Fig. 14 Slope stability atlas of selected areas of interest: a) Dolné Semerovce, b) Dolné Vestenice, c) Podhorie (Žakýl).

6. Záver

Stabilitné pomery Západných Karpát prechádzajú pod vplyvom globálnej klimatickej zmeny výraznou transformáciou. Exaktné klimatické dáta z platformy meteoblue.com jednoznačne potvrdzujú spoločné dlhodobé trendy vo všetkých troch sledovaných regiónoch (Podunajská pahorkatina, Hornonitrianska kotlina a Štiavnické vrchy): Nárast priemernej ročnej teploty vzduchu o približne 2,5°C od roku 1979, pričom od roku 2010 sa lokality nachádzajú takmer výlučne v nadpriemerne teplom teplotnom rozsahu. Pozorujeme aj mierne stúpajúci lineárny trend zrážok s prítomnosťou extrémnych anomálií. Absolútnym regionálnym maximom bol kritický rok 2010 (anomália +413mm nad priemer), pričom ďalšie zrážkovo anomálne roky (2014, 2016, 2019, 2020 a najmä 2023 s prebytkom +243 mm) pôsobia ako priame hydro-geomorfologické spúšťače svahových deformácií. Historické mapové podklady (so stabilitnou situáciou do roku 2006) klasifikujú väčšinu záujmových území obcí Dolné Semerovce, Dolné Vestenice a Podhorie ako stabilné územia (zelené zóny), prípadne potenciálne nestabilné (žlté zóny). Súčasný vývoj však túto historickú paradigmu zásadne mení. Vplyvom klimatických extrémov – kedy dlhotrvajúce suchá striedajú náhle privalové zrážky vyvolávajúce extrémne kolísanie hladín podzemnej vody a kritické zvyšovanie pórového tlaku – sa aktivizujú svahové pohyby aj v týchto relatívne stabilných oblastiach. Tento stav jasne demonštruje reálne riziko spojené s klimatickou zmenou, ktorá premieňa bezpečné lokality na zóny s vysokým zosuvným rizikom. Z toho dôvodu je nevyhnutné redefinovať celkový „obraz stability“ Slovenskej republiky a aktualizovať tradičnú klasifikáciu stabilných rajónov, aby reflektovala dynamické prejavy klimatických extrémov v prebiehajúcom storočí.

Pod'akovanie Tento príspevok bol podporený grantmi Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky (zmluva č. 1/0347/25; 1/0182/23; 1/0180/24), Agentúry na podporu výskumu a vývoja (VV-MVP-24-0197) a projektom VAIA č. 09I04-03-V02-00002 financovaným Európskou úniou – NextGenerationEU – prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti Slovenskej republiky.

Zoznam použitej literatúry

- Froude M. J. & Petley D. N., 2020: *Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016*. – Natural Hazards and Earth System Sciences 20, 3, str. 733–755.
- Gariano S. L. & Guzzetti F., 2021: *Landslides in a changing climate*. – Earth-Science Reviews 214, 103491.
- Jánová V., Liščák P., Kopecký M. et al., 2021: *Zosuvy na Slovensku [Landslides in Slovakia]*. – Slovak Environment Agency. Banská Bystrica. ISBN 978-80-8213-055-6.
- Landscape Atlas of the Slovak Republic, 2002: Bratislava: Ministry of Environment of the Slovak Republic and Banská Bystrica: Slovak Environment Agency, 2002. 344 p. ISBN 80-88833-27-2.
- Ma Z. & Yin K., 2022: *Monitoring and early warning of landslides triggered by cumulative rainfall*. – Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 14, 4, str. 1120–1132.
- Sidle R. C. & Bogaard T. A., 2024: Dynamic pore pressure responses in unstable slopes: Re-evaluating hydro-geomorphic triggers. – Geomorphology 445, 108980.
- Vassallo R., Pagano L. & Comegna L., 2023: *Landslide hazard assessment in transitioning climatic zones: Case studies from continental Europe*. – Engineering Geology 312, 106942.