

Analýza vplyvov pôsobiacich na kolísanie hladiny podzemnej vody v zosuvných územiach

Analysis of impacts on groundwater level fluctuations in landslide areas

PETER ONDREJKA¹

¹Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava 11, peter.ondrejka@geology.sk

© Autori 2021. Vydal ŠGÚDŠ. Licencia Creative Commons BY 4.0. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Abstrakt. V tejto práci sú zhrnuté poznatky dlhodobého monitoringu hĺbky hladiny podzemnej vody v zosuvných územiach. Riešením geologickej úlohy *Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory* sa okrem priamych výsledkov spočívajúcich v údajoch o hĺbke hladiny podzemnej vody zhromaždili aj viaceré poznatky, ktoré vytvorili podmienky na hodnotenie kvality monitorovacej siete. V príspevku sú podrobne analyzované modelové prípady nesprávneho zariadenia monitorovacích objektov a ich vplyv na zakreslenie priebehu monitorovanej hladiny podzemnej vody. Zároveň je zdokumentovaný aktuálny stav monitorovacej siete a načrtnuté sú aj riešenia jej modernizácie.

KLúčové slová: *Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory*, monitoring zosuvov, meranie hĺbky hladiny podzemnej vody, monitorovacia sieť

Abstract. The presented work summarizes the findings of long-term monitoring of the groundwater level in our territory. By solving the geological task *Partial monitoring system – Geological factors (PMS – GF)*, in addition to direct results, consisting of data on the depth of the groundwater level, also several findings were gathered which created the conditions for assessing the quality of the monitoring network. The paper analyses in detail the model cases of incorrect installation of monitoring objects and their impact on the distortion of the monitored groundwater level. At the same time, the current state of the monitoring network is documented and solutions for its modernisation are outlined.

Key words: *Partial monitoring system – Geological factors*, landslide monitoring, groundwater table depth measurement, monitoring network

Úvod

Z pomerne veľkého množstva zosuvov, ktoré sa v posledných rokoch aktivovali v rôznych častiach našej republiky, sa do pozornosti dostali hlavne tie, ktoré priamo ohrozili, prípadne poškodili stavebné objekty alebo časti celospoločensky významnej infraštruktúry. Tieto zosuvy zostávajú predmetom záujmu aj po vybudovaní protiuharvarijných či sanačných opatrení. Z logických dôvodov sa v týchto územiach zabezpečujú merania, ktorými sa získava základný obraz o vývoji zosuvotvorných faktorov, ale aj pohybovej aktivity. S monitorovacími aktivitami sa zvyčajne začína už pri prieskumných a sanačných prácach. Spravidla ide o pozorovanie zmien hĺbky hladiny

podzemnej vody, prípadne sa vykoná jedna či dve etapy meraní pohybovej aktivity. Vzhľadom na relatívne krátky, časovo ohraničený interval riešenia prieskumných prác výsledky monitoringu len málokedy podávajú komplexný obraz o stabilitných pomeroch zosuvného územia a jeho vývoji. Vďaka určitej zmene v celkovom chápaní významu a dôležitosti dlhodobého, a hlavne pravidelného monitorovania zosuvných území sa v roku 1993 začala riešiť úloha *Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory (ČMS – GF, svahové deformácie sa riešia v rámci subsystému 01 – Zosuvy a iné svahové deformácie – Klukanová, 1998)*. Jej objednávatelom je Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky a zhotovovateľom Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ) Bratislava. Vďaka tejto úlohe je zabezpečené monitorovanie zosuvných lokalít na celom území Slovenskej republiky. Počas riešenia úlohy nastali v skupine monitorovaných lokalít viaceré zmeny. Medzi najvýznamnejšie zmeny možno zaradiť rozšírenie monitorovacej siete v súvislosti s reaktiváciou veľkého množstva zosuvov v roku 2010. V období od roku 2011 do roku 2017 sa monitorovacie aktivity zabezpečované počas jednotlivých rokov vykonávali na viac ako 40 lokalitách so svahovými deformáciami (max. počet bol v roku 2014 – až 53 lokalít; zo skupiny zosuvov bolo monitorovaných 39 lokalít). V roku 2019 bolo 16 zosuvných lokalít, dlhodobo monitorovaných v rámci ČMS – GF, zaradených do geologickej úlohy *Monitoring zosuvných deformácií*, ktorá sa rieši v rámci *Operačného programu Kvalita životného prostredia (Prioritnej osi 3: Podpora riadenia rizík, riadenia mimoriadnych udalostí a odolnosti proti mimoriadnym udalostiam ovplyvneným zmenou klímy)*. Geologická úloha *Monitoring zosuvných deformácií* sa vykonáva od roku 2018. Fyzické merania sa však vykonávajú od roku 2019; do konca roku 2018 sa všetky merania zabezpečovali v rámci ČMS – GF. V rámci uvedenej geologickej úlohy sa monitoruje celkovo 20 najvýznamnejších zosuvných lokalít na našom území.

Počas 25-ročného obdobia riešenia úlohy ČMS – GF sa realizáciou monitorovacích meraní vytvorila rozsiahla databáza údajov. Táto databáza už dlhodobo poskytuje priestor na rozličné analýzy a vytváranie korelačných

vzťahov medzi jednotlivými parametrami (klimatické faktory – režimové faktory – ukazovatele pohybovej aktivity a napätostného stavu). Väčšina doteraz vykonaných analýz mala za cieľ definovať vzťahy medzi zosuvotvornými faktormi a pohybovou aktivitou, ktorý predstavuje ťažisko systémov včasného varovania na zosuvoch.

V tomto príspevku je pozornosť venovaná nameraným režimovým ukazovateľom v období od roku 1993 do roku 2018. Po roku 2018 v súvislosti so zaradením najvýznamnejších zosuvných lokalít do geologickej úlohy *Monitoring zosuvných deformácií* nastali viaceré zmeny v rozsahu a frekvencii vykonávaných meraní. Pozornosť je venovaná najmä praktickým poznatkom a skúsenostiam pri meraní hladiny podzemnej vody, ktoré boli získané počas dlhého obdobia monitorovania.

Poznatky a skúsenosti z monitorovania režimových ukazovateľov na zosuvoch

Pojem „režimové ukazovatele“ sa zaužíval na označenie meraní, ktoré súvisia s monitorovaním podzemnej vody v horninovom prostredí. V zosuvných územiach rozlišujeme dve základné skupiny údajov. Prvú primárnu skupinu predstavujú merania, ktoré podávajú informáciu o kolísaní podzemnej vody v horninovom prostredí. Sú vyjadrené buď hĺbkou hladiny podzemnej vody pod úrovňou terénu (v metroch alebo absolútnou hodnotou nadmorskej výšky v m n. m.), alebo v prípade meraní pórového tlaku priamo v kPa. Druhú skupinu, ktorú je možné označiť ako sekundárna, predstavujú merania objemu vody vytekajúcej z drenážnych zariadení. Meraniami sa sleduje efektívnosť tohto sanačného prvku. Nameraný údaj je dôležitý pri hodnotení úspešnosti sanačných prác a zároveň predstavuje východisko na prípadné prehodnotenie použitých postupov pri sanácii, resp. návrh vhodnejších stabilizačných opatrení.

Pri posudzovaní zmien hĺbky hladiny podzemnej vody v zosuvných územiach sa ukázalo, že popri otázkach spojených s kvantitatívnou stránkou zaznamenávaných údajov je nevyhnutné riešiť aj otázky týkajúce sa ich kvality.

V prípade kvantitatívnej požiadavky bolo riešenie pomerne jednoznačné; monitoring na báze etapových kontrolných meraní sa postupne nahrádzal kontinuálnym záznamom (merania s hodinovým intervalom). Spomedzi všetkých sledovaných ukazovateľov bol prechod ku kontinuálnym meraniam najlepšie zvládnutý práve v prípade hladín podzemnej vody. V rámci technických, ale najmä investičných možností boli na viaceré lokality nainštalované automatické hladinometry, ktoré okrem zmien úrovne hladiny podzemnej vody zaznamenávali aj jej aktuálnu teplotu. Na väčšine vrtov sa však merania aj naďalej zabezpečovali formou kontrolných meraní v spolupráci s terénnymi pozorovateľmi (merania sa vykonávali Rangovou píšťalou, resp. jej elektronickým variantom).

Medzníkom v monitorovaní hladiny podzemnej vody na našom území bol prechod od meraní v režime offline na merania v režime online. Na zosuvných lokalitách Okolíčné a Veľká Čausa boli nainštalované automatické hladinometry, ktoré posielali namerané údaje prostredníctvom siete GSM (v prevádzke boli od roku 2005 do roku 2016). Zariadenia vďaka integrovanej klimatickej stanici umožňovali

sledovať aj veľkosť zrážkových úhrnov, teplotu vzduchu a teplotu vody. Zariadenia disponovali varovným systémom, ktorý bol založený na kritických hodnotách stavu hladiny podzemnej vody a veľkosti/intenzity zrážkových úhrnov. Varovania sa podávali prostredníctvom krátkych textových správ. Vďaka riešeniu geologickej úlohy *Monitoring zosuvných deformácií*, ale aj novým technickým možnostiam sa v súčasnosti rovnaký prístup pri monitorovaní zosuvov presadzuje na 20 najvýznamnejších zosuvných lokalitách (aktuálne prebieha príprava inštrumentácie na online monitoring na 20 zosuvných lokalitách).

Pri hodnotení kvalitatívnej zložky nameraných údajov je nutné konštatovať, že na Slovensku bola a, žiaľ, ešte stále pretrvávajúca prax, že na sledovanie zmien hĺbky hladiny podzemnej vody sa budujú tzv. pozorovacie vrty s priemerom viac ako 100 mm (hydrogeologický vrt) s pomerne dlhou filtračnou časťou. Zároveň sa objavujú aj prípady, keď v snahe rozšíriť monitorovaciu sieť o nové „piezometrické vrty“ sa na tieto účely budovali aj tzv. viacúčelové vrty, napr. inklinometrické vrty s perforovanou inklinometricou pažnicou.

V poslednom období pri budovaní monitorovacích objektov na meranie hĺbky hladiny podzemnej vody na zosuvoch sa čoraz častejšie popri otvorených piezometroch začínajú objavovať aj zariadenia umožňujúce meranie pórového tlaku (so snímačom pórového tlaku priamo v oblasti šmykovej plochy).

Vďaka dlhodobému monitoringu sa okrem veľkého množstva nameraných údajov zozbieral aj súbor cenných skúseností a poznatkov, ale aj určitých chýb, ktorým nebolo možné predísť. Prezentované výsledky sú z rokov 2017 a 2018, v niektorých prípadoch kvôli obraznejšiemu vyjadreniu analyzovaného javu sú však predložené aj staršie výsledky.

Stručný prehľad zabezpečovania monitoringu hladiny podzemnej vody

Vďaka riešeniu ČMS – GF poznáme viacero prípadov, keď hladina podzemnej vody je monitorovaná viac ako 20 rokov. Napríklad na lokalite Veľká Čausa (ktorá je aktuálne monitorovaná v rámci geologickej úlohy *Monitoring zosuvných deformácií*) sa vo viacerých vrtoch realizovali merania hladiny podzemnej vody nepretržite od roku 1995, teda bezmála 25 rokov. Od polovice deväťdesiatych rokov do roku 2018 sa monitorovacie merania zabezpečovali na 41 lokalitách (tab. 1). Viaceré z nich sa ale monitorovali len krátkodobo. V roku 2018 prebiehali monitorovacie merania podzemnej vody na 25 lokalitách. Počas obdobia monitorovania zmien hĺbky hladiny podzemnej vody bolo pozorovaných celkovo 472 monitorovacích objektov. Žiaľ, viaceré z nich nespĺňali kritériá „piezometrického vrtu“, resp. boli dlhodobo suché a v dôsledku toho sa postupne vyradovali. Na konci roku 2018 sa monitorovacie aktivity vykonávali na 246 objektoch (228 terénnymi pozorovateľmi a 18 automatickými hladinometermi na 14 lokalitách a 5 snímačmi pórového tlaku na 3 lokalitách). V rámci štatistického prehľadu je zaujímavý údaj o počte záznamov z obdobia monitorovania (do konca roku 2018). Terénni pozorovatelia vykonali viac ako 107 tisíc meraní a automatickými

hladinomeri (v 31 objektoch) sa zabezpečilo viac ako milión osemstatisíc meraní. Merania pórového tlaku sa zabezpečujú krátkodobo a v malom počte vrtov. Za obdobie ich prevádzky (do konca roku 2018) zaznamenali približne 4 600 meraní.

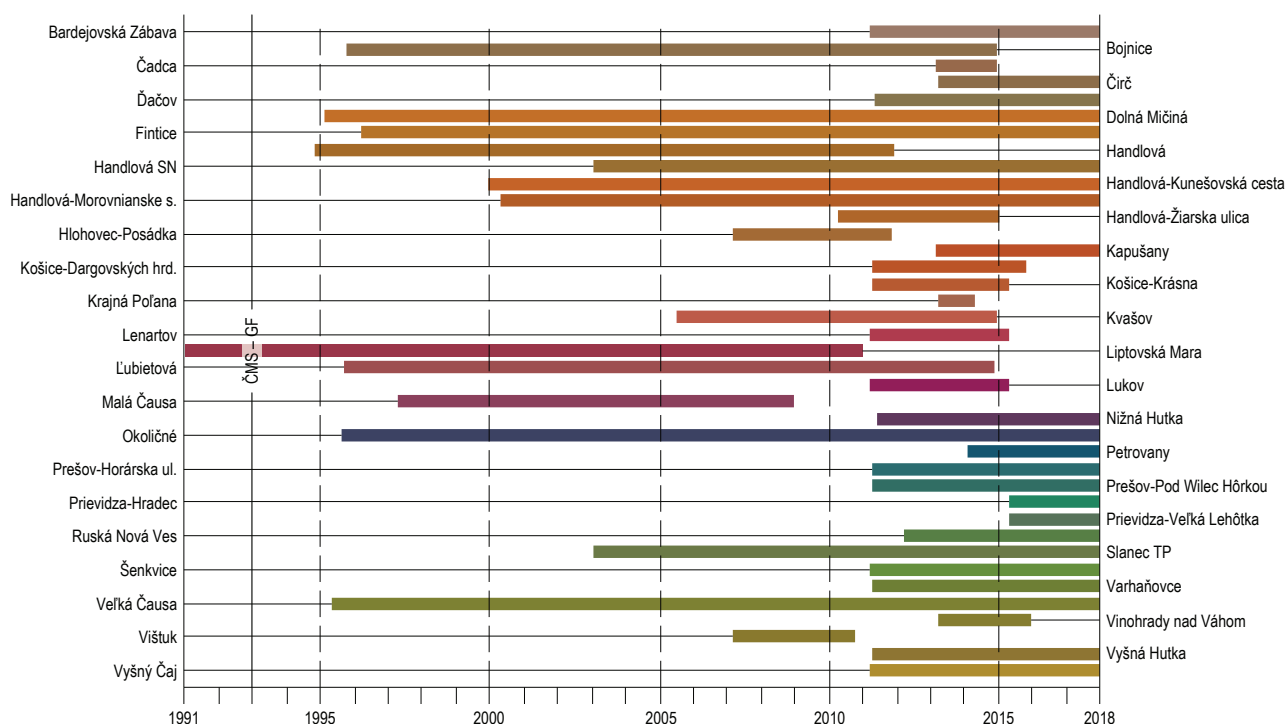
Ako vyplýva z uvedených údajov, monitorovanie tohto parametra nie je v rámci monitorovacej siete na rovnakej úrovni. Frekvencia, a teda aj počet záznamov, ktorý zabezpečujú terénni pozorovatelia, je neporovnateľný s výsledkami, ktoré sú schopné poskytnúť automatické

Tab. 1. Prehľad monitorovania hladiny podzemnej vody na jednotlivých zosuvných lokalitách v rámci riešenia geologickej úlohy ČMS – GF do roku 2018.

Tab. 1. Overview of groundwater level monitoring at individual landslide localities within the Partial monitoring system – Geological factors (PMS – GF) until 2018.

Spôsob merania	Frekvencia	Zosuvná lokalita	Počet monitorovacích objektov	Počet zaznamenaných hodnôt
Terénny pozorovateľ	týždeň a menej	Bojnice, D. Mičiná, Handlová-Kunešovská cesta, Handlová-Žiarska ul., Kvašov, M. Čausa, N. Myšľa, Okoličné, Prievidza-Hradec, -Veľká Lehôtka, V. Čausa	200	65 007
	dva týždne	Čadca, Handlová-Mor. s., L. Mara, Vinohrady n. Váhom	86	34 575
	viac ako mesiac	Bardejovská Zábava, Čirč, Ďačov, D. Mičiná, Fintice, Handlová-1 960, Hlohovec-Posádka, Kapušany, Krajná Poľana, Košice-Dargovských hrd., -Krásna, Lenartov, Ľubietová, Lukov, N. Hutka, Petrovany, Prešov-Horárska ul., -Pod Wilec Hôrkou, Ruská N. Ves, Slanec-TP, Varhaňovce, Vištuk, V. Hutka, V. Čaj	145	7 992
Automatický hladinomer	hodina	Červený Kameň, D. Mičiná, Fintice, Handlová-Morovnianske s., Hodruša-Hámre, Kapušany, Krajná Poľana, Kraľovany, Liptovská Mara, Nižná Myšľa, Okoličné, Prešov-Horárska ul., -Pod Wilec Hôrkou, Sv. Anton, Šenkvice, V. Čausa, V. Hutka	33	1 847 273
	deň	Handlová-Kunešovská cesta	3	4 745
Snímač pórového tlaku	deň	Handlová-1 960, Handlová-Morovnianske sídlisko, N. Myšľa	5	4 633

Poznámka: Vo všetkých otvorených piezometrických vrtoch sa merania zabezpečovali prostredníctvom terénnych pozorovateľov; v období prevádzky automatických hladinomerov boli terénne merania prerušené.



Obr. 1. Zabezpečovanie režimových údajov na jednotlivých zosuvných lokalitách monitorovaných v rámci úlohy ČMS – GF do roku 2018.

Fig. 1. Time period of regime data tracking at individual landslide localities monitored within the task of PMS – GF until 2018.

hladinomery. Na porovnanie: najdlhší kontinuálny (hodinový) záznam o hladine podzemnej vody z vrtu JM-6 (lokalita Dolná Mičiná; monitorovaný od roku 2002 do konca decembra 2018) predstavuje 146 481 meraní; najdlhšie monitorovaný vrt na lokalite Veľká Čausa VČ-6, v ktorom sa merania zabezpečovali od roku 1995 (obr. 1) s týždenným intervalom, poskytuje v súčasnosti 1 129 záznamov. Interval meraní terénymi pozorovateľmi sa pohybuje od jedného merania za týždeň až po jedno meranie za mesiac. V prípade, ak sa merania vykonávajú v dlhších časových úsekoch (mesiac a viac), nie je možné zachytiť charakter kolísania hladiny podzemnej vody, a teda môžeme hovoriť len o „inventarizácii monitorovacej siete“. Z dlhodobého hľadiska však aj takéto výsledky poukazujú na určité trendy – vzostup alebo pokles hladiny podzemnej vody. Vzhľadom na obmedzené finančné zdroje sa pri monitorovaní hladiny podzemnej vody na zosuvných lokalitách často stretávame s mesačným intervalom režimových meraní.

Automatické zariadenia sa umiestňovali podľa celospoločenského významu lokality. Spravidla sa inštalovali jeden až dva, ojedinele však aj tri automatické hladinomery na jednu zosuvnú lokalitu, výnimočne, a to na lokalite Nižná Myšľa, boli nainštalované súčasne 4 automatické hladinomery.

Pri monitorovaní zmien hĺbky hladiny podzemnej vody sa všeobecne za najefektívnejšie považuje použitie snímačov pórového tlaku, ktoré umožňujú meranie vztlaku podzemnej vody v oblasti šmykovej plochy. Na monitorovaných zosuvoch riešených v rámci úlohy ČMS – GF boli týmito zariadeniami vybavené vrty na lokalitách: Handlová – zosuv z roku 1960, Handlová-Morovnianske sídlisko (na oboch lokalitách sú inštalované po dva snímače do jedného vrtu, teda monitorujú sa dva odlišné hĺbkové horizonty) a Nižná Myšľa (jeden snímač v jednom vrte). Frekvencia ich záznamu je nastavená na jedno meranie za deň. Aj napriek overenej spoľahlivej prevádzke inštalovaných prístrojov a preukázanej efektívnosti uvedeného spôsobu monitorovania zmien hĺbky hladiny podzemnej vody (najmä v jemnozrnnom sedimentárnom prostredí) sa naďalej budujú prevažne tzv. pozorovacie vrty.

Hodnotenie nameraných údajov hladiny podzemnej vody

Popri frekvencii záznamu je pri hodnotení režimu podzemnej vody rovnako dôležitá aj dĺžka monitorovaného obdobia. Čím je záznam o zmenách hladiny podzemnej vody dlhší, tým rozmanitejšie klimatické vplyvy sú v ňom zachytené. Vo všeobecnosti, na základe dlhodobého sledovania zmien hladiny podzemnej vody v jednotlivých vrtoch môžeme konštatovať, že minimálne hladiny sa začínajú objavovať počas jesenného obdobia a naopak, maximálne v jarnom období. Prirodzene, kolísanie hladiny podzemnej vody počas roka determinuje aj samotné geologické prostredie, najzreteľnejšie však extrémne klimatické pomery. Za zmienku stojí mimoriadne vlhký rok 2010, počas ktorého na veľkej časti staníc SHMÚ boli prekonané dlhodobé maximá májových a júnových zrážkových úhrnov. Táto skutočnosť sa prejavila rekordným vzostupom hladiny podzemnej vody. Vo viacerých prípadoch hladiny

podzemnej vody pretrvali na úrovni dlhodobého maxima až do konca roka. Navyše, v nasledujúcom roku 2011 aj napriek nízkym zrážkovým úhrnom kolísanie hladiny podzemnej vody naďalej ovplyvňovali zrážky zaznamenané v roku 2010. Zmeny hladiny podzemnej vody boli spravidla veľmi intenzívnymi vzostupmi, v niektorých prípadoch aj niekoľko desiatok centimetrov za 24 hodín, čo sa premietlo do zvýšenej pohybovej aktivity zaznamenatej inklinometrickými a geodetickými meraniami.

Anomálne zmeny hladiny podzemnej vody v mnohých prípadoch vytvorili priaznivé podmienky na reaktiváciu monitorovaných zosuvov, predovšetkým nesanovaných (pohybová aktivita sa však zvyšuje aj v územiach, na ktorých v minulosti prebehli sanačné práce; napr. na lokalite Veľká Čausa v súvislosti s klimatickými pomermi z roku 2010 došlo k deformáciám, ktoré spôsobili „ustrihnutie“ viacerých inklinometrických vrtoch, a to aj napriek širokému spektru sanačných opatrení). V tejto súvislosti zásluhou súbehu kontinuálnych záznamov z automatického hladinometra a stacionárneho inklinometra boli overené priame vzťahy medzi anomálnym kolísaním hladiny podzemnej vody a zvýšenou pohybovou aktivitou (Ondrejka et al., 2011). Definovanie týchto vzťahov umožnilo prognózovať očakávanú veľkosť deformácie aj bez priamych meraní pohybovej aktivity. Na vytvorenie takýchto vzťahov je však nevyhnutné odlišiť anomálne kolísanie hladiny podzemnej vody spôsobené klimatickými javmi od anomálií, ktoré sú v jednotlivých vrtoch spôsobené ich nekvalitným zabudovaním. Pod kvalitou zabudovania pritom možno chápať celý rad faktorov, počnúc návrhom situovania vrtu až po jeho finálne zabudovanie (z hľadiska monitorovania je dôležitý aj priemer vrtu, osadenie filtračnej časti piezometra a dokonalé utesnenie zvyšnej časti vrtu). V niektorých prípadoch však práve spôsob zabudovania monitorovacieho objektu významnou mierou prispieva k vytváraniu abnormalít v správaní podzemnej vody. Pri analýze režimu podzemnej vody, napr. počas ročnej periódy, vznikla séria otázok, ktoré súviseli s genézou jej kolísania. V tejto súvislosti treba priznať, že pri manuálnych meraniach je nemožné úplne eliminovať chybné záznamy. Tieto chyby sú však ojedinelé, nesystémové, často veľmi výrazné, a teda je možné pomerne ľahko ich identifikovať a odstrániť. Naopak, ako problematické sa javia zmeny, ktoré sú systematické, relatívne pravidelné a ich výskyt je zriedkavý, nie však ojedinelý. Takéto zmeny sú do veľkej miery spojené s vystrojením monitorovacieho vrtu.

V súvislosti s klimatickými výkyvmi sa stretávame s výskytom pozitívnej vztlakovej hladiny podzemnej vody (úroveň hladiny nad terénom). Pri hodnotení kolísania hladiny podzemnej vody, hlavne pri hodnotení jej maximálneho stavu, je v tomto prípade mimoriadne problematické stanoviť reálnu hodnotu piezometrickej výšky. Určitou pomôckou sú namerané hodnoty prietoku na ústí ochrannej pažnice. Vzhľadom na pomyselný depresný kužel, ktorý sa tvorí neustálym vytekaním podzemnej vody, je však jej stanovenie pomerne náročné. Opačný problém nastáva v prípade, keď hladina podzemnej vody klesá po úroveň dna vrtu.

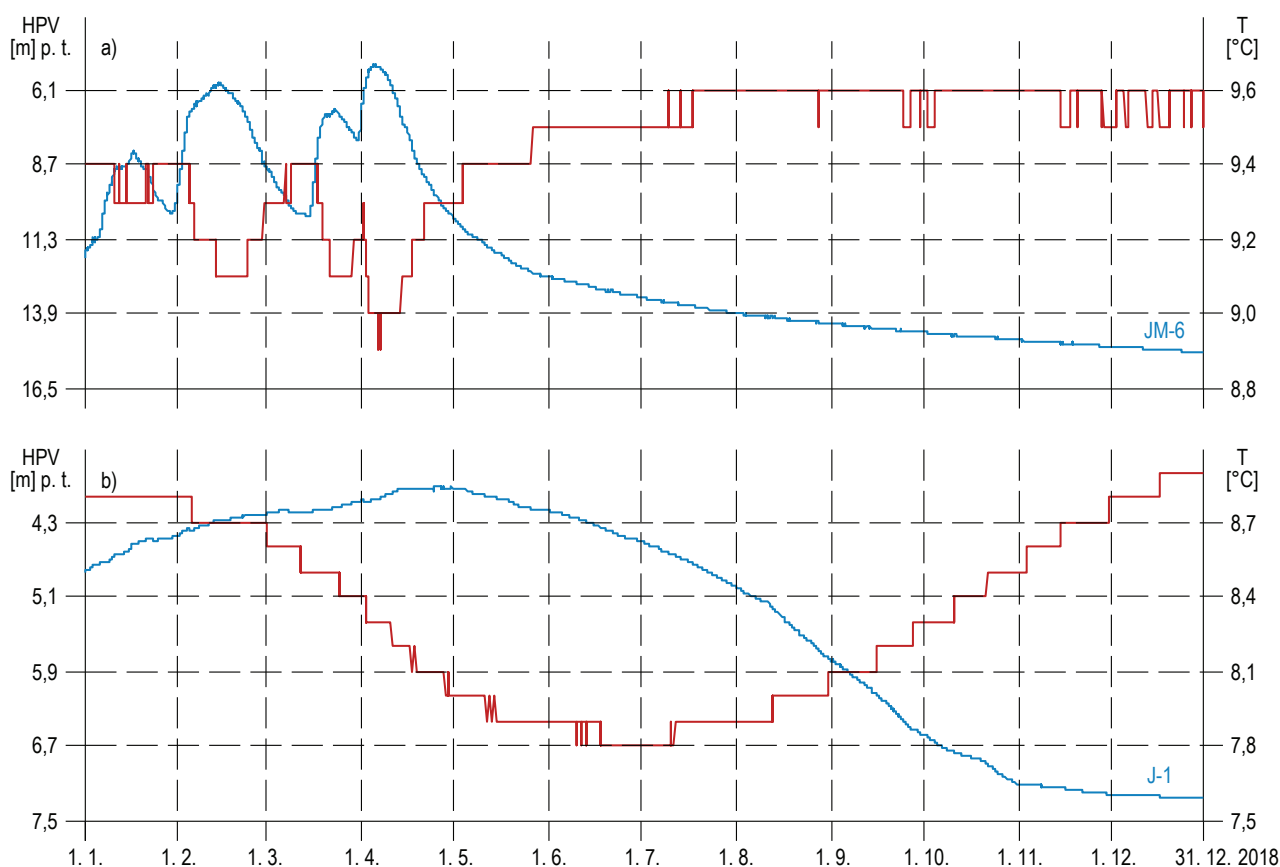
Vďaka pribúdajúcim skúsenostiam a v mnohých prípadoch aj vďaka modernejšiemu technickému vybaveniu postupne nachádzame racionálne vysvetlenia niektorých diskutabilných a ťažko vysvetliteľných javov. V nasledujúcej časti príspevku sú prezentované modelové prípady, charakteristické pre určité typy pozorovacích vrtov a určité typy hydrogeologických prostredí. Na tieto účely bolo analyzovaných 230 monitorovacích objektov na 25 lokalitách. Podkladom boli údaje z celého obdobia monitorovania. Výsledne bolo definovaných 8 modelových príkladov. Prezentované modelové prípady kolísania hladiny podzemnej vody súvisia hlavne s kvalitatívnym stavom monitorovacieho objektu. Hlavný cieľ predloženej analýzy spočíva v spresnení obrazu o stave hladiny podzemnej vody na jednotlivých zosuvných lokalitách.

Kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody prezentované na obr. 2 poukazuje na prirodzený režim pozemnej vody, na ktorom sa neprejavujú vedľajšie vplyvy zabudovania vrtu, resp. tieto vplyvy sú len minimálne. Záznamy pochádzajú z lokalít Dolná Mičiná (vrt JM-6) a Okoličné (vrt J-1); kolísanie hladín podzemnej vody bolo zachytené automatickými hladinomeri. Výber jednotlivých piezometrov bol zámerný. Zachytávajú totiž odlišné hydrogeologické štruktúry. V prvom prípade ide o prostredie neogénnych pyroklastických hornín charakteru tufov a tufitov (Jadroň et al., 1998), v druhom prípade ide o zosuvné územie vyvinuté

v prostredí centrálnokarpatského paleogénu s charakterom jemno- až hruborytmického flyšu s prevahou ílovcov (Jadroň, 1980).

Prezentované kolísanie hladiny podzemnej vody v oboch prípadoch poukazuje na obdobia dopĺňania jej zásob a postupného uvoľňovania. Na lokalite Dolná Mičiná môžeme predpokladať, že hladina podzemnej vody v prvom kvartáli reaguje na zrážky, resp. zimné a jarne uvoľňovanie vody zo snehovej pokrývky. Na základe vývoja jej teploty je možné odhadovať, že zrážky podieľajúce sa na dopĺňaní zásob podzemnej vody pochádzajú z jesenného a zimného obdobia. Maximálna hladina bola zaznamenaná 5. apríla (5,18 m pod terénom) a najnižšia teplota 7. apríla (8,9 °C). Od prvej polovice apríla až do konca roka má hladina podzemnej vody výlučne klesajúcu tendenciu. Jarne (máj, jún) a letné zrážky sa na jej vývoji prejavujú len minimálne.

Odlišná situácia je v prípade vývoja hladiny podzemnej vody vo vrte J-1 (na lokalite Okoličné). Hladina má počas prvých štyroch mesiacov mierne vzostupný trend a maximálna hodnota je dosiahnutá na konci apríla. Dôležité však je, že retardácia pri dopĺňaní zásob podzemnej vody je oproti predchádzajúcemu prípadu oveľa výraznejšia. Zrážková voda zo zimného obdobia sa k hladine podzemnej vody dostala až v letnom období (uvedené tvrdenie je na základe teploty podzemnej vody). Rozdielny je aj charakter vývoja hladiny podzemnej vody v období jej poklesu.



Obr. 2. Priebeh hĺbky hladiny a teploty podzemnej vody; lokality: a – Dolná Mičiná, vrt JM-6; b – Okoličné, vrt J-1. Modrá – kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody, červená – teplota podzemnej vody.

Fig. 2. Groundwater level and temperature profile; localities: a – Dolná Mičiná, borehole JM-6; b – Okoličné, borehole J-1. Blue – groundwater depth fluctuations, red – groundwater temperatures.

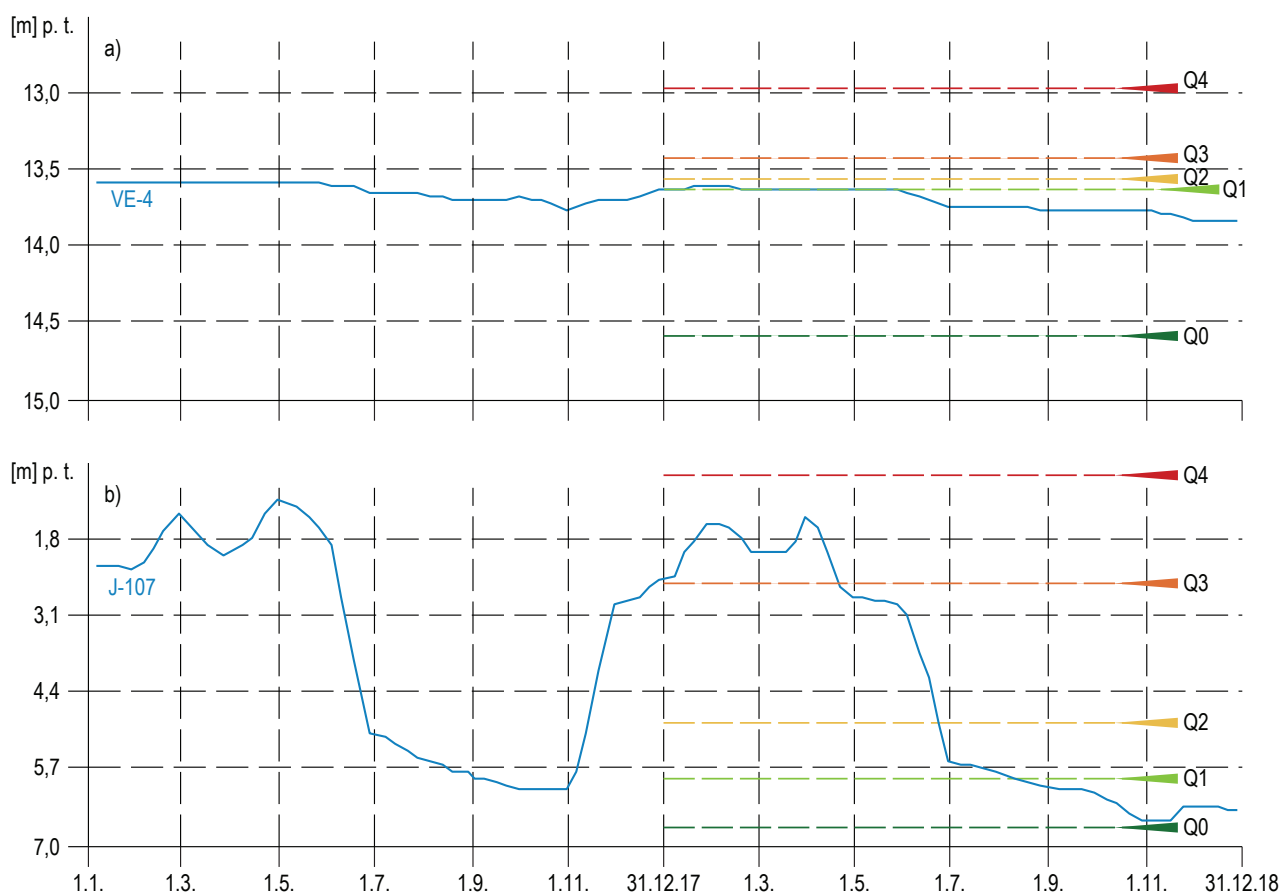
Spoločný znak oboch načrtnutých príkladov spočíva vo viac-menej pravidelne sa opakujúcom ročnom cykle, a to počas celého obdobia monitorovania.

Na obrázkoch 3 až 10 sú prezentované alternatívne príklady, pri ktorých možno predpokladať, v niektorých i priamo preukázať, že kolísanie hladiny podzemnej vody nesúvisí so zákonitostami režimových zmien a že hĺbka hladiny podzemnej vody je do určitej miery sekundárne skreslená samotným zabudovaním monitorovacieho objektu.

V prvom prípade (obr. 3) je prezentovaná situácia, v ktorej je hladina podzemnej vody monitorovaná vo vrte, ktorý bol pôvodne vybudovaný na iný účel – inklinometrický vrt, resp. bol vybudovaný ako „viacúčelový“ (napr. aj na sledovanie napätostného stavu metódou pulzných elektromagnetických emisií). Myšlienka využiť inklinometrickú zárubnicu aj na účely režimových pozorovaní je v zásade chvályhodná. Inklinometrické zárubnice boli pred zabudovaním do vrtu perforované. Čas však ukázal, že takýto spôsob budovania vrtov v mnohých prípadoch nevyhovuje

účelom monitorovania režimových ukazovateľov (žiaľ, ani inklinometrických meraní). V prípadoch, pri ktorých je plánované využiť jeden vrt súčasne na inklinometrické merania a režimové pozorovania, je vhodnejšie do vrtu osadiť viacero samostatných zárubníc (jedna inklinometrická a jedna alebo dve piezometrické s malým priemerom), prípadne priamo do vrtu inštalovať snímače pórového tlaku.

Prezentované údaje o priebehu hladiny podzemnej vody (obr. 3) pochádzajú z lokality Veľká Čausa z vrtov VE-4 (vrt bol vybudovaný v roku 1996 – inklinometrická pažnica; Jadroň a Mokrá, 1999) a J-107 (vybudovaný v roku 1975 – piezometrický vrt; Otepka et al., 1976), ktorý bol použitý na porovnanie. Vrt VE-4 má pomerne dlhú perforovanú časť, a to v intervale od 3,0 do 9,0 m. Z nameraných hladín v rokoch 2017 a 2018, ale aj zo štatistických ukazovateľov (nultý až štvrtý kvartil), ktoré charakterizujú obdobie monitorovania do konca roku 2017, vyplýva, že hladina sa nachádza podstatne hlbšie, než je filtračná časť vrtu. Predpokladáme, že kolísanie vo vrte súvisí s netesnosťou na spojoch inklinometrickej zárubnice.



Obr. 3. Priebeh hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrtoch na zosuvnej lokalite Veľká Čausa; a – vrt VE-4 – hladina vo vrte, ktorý bol primárne vybudovaný na metódu presnej inklinometrie; b – vrt J-107 – pozorovací (piezometrický) vrt. Modrá – kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody; Q0 – nultý kvartil (minimálny stav hladiny podzemnej vody); Q1 – prvý kvartil; Q2 – druhý kvartil; Q3 – tretí kvartil; Q4 – štvrtý kvartil [maximálny stav hladiny podzemnej vody; štatistické ukazovatele boli odvodené z údajov, ktoré boli v jednotlivých vrtoch zaznamenané do konca roku 2017 (VE-4 – od marca 1997, J-107 – od mája 1995)].

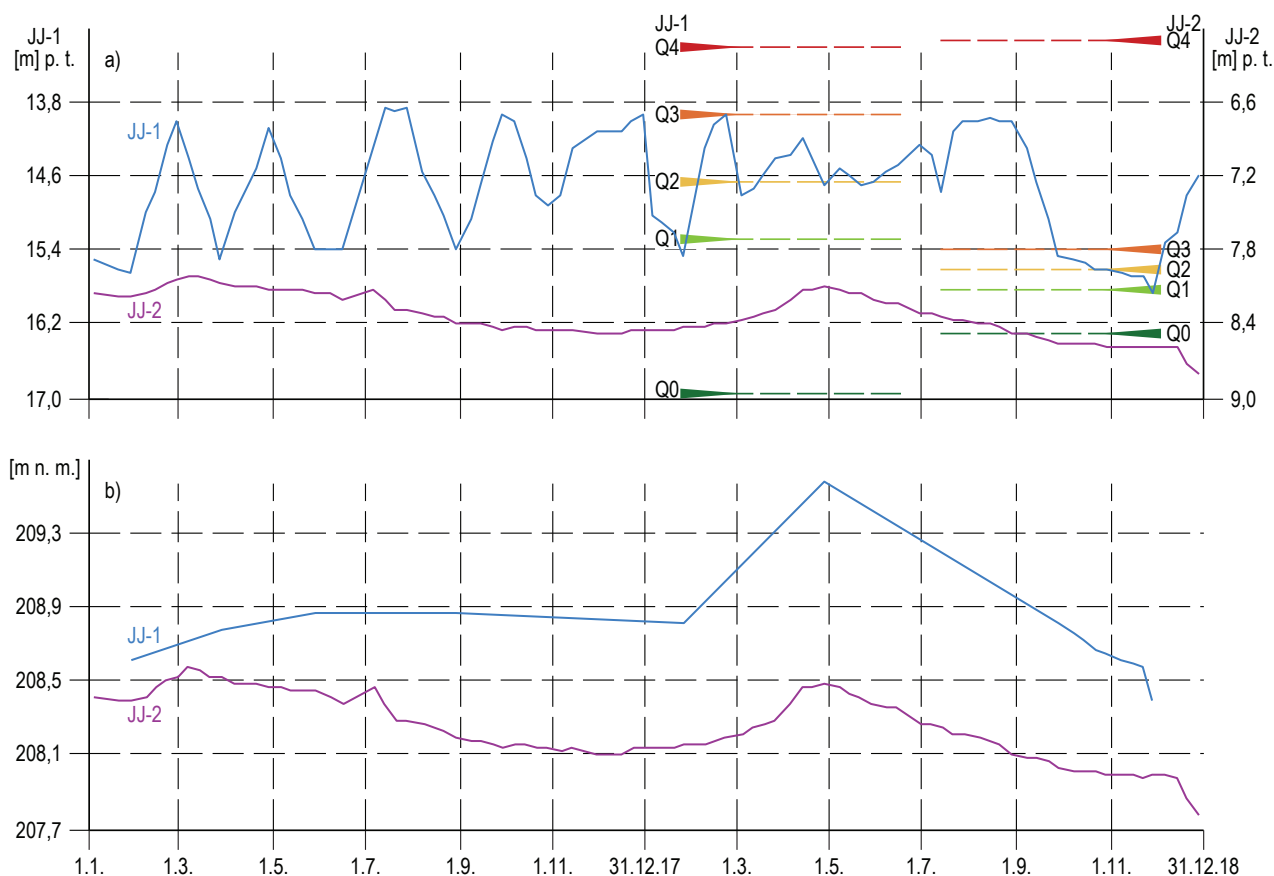
Fig. 3. Groundwater depth in boreholes at the Veľká Čausa landslide site; a – well VE-4 – level in the well, which was primarily built for the method of precise inclinometry; b – well J-107 – observation (piezometric) well. Blue – groundwater level fluctuations; Q0 – zero quartile (minimum groundwater level); Q1 – first quartile; Q2 – second quartile; Q3 – third quartile; Q4 – fourth quartile [maximum groundwater level; statistical indicators were derived from data recorded in individual wells until the end of 2017; (VE-4 – since March 1997, J-107 – since May 1995)].

Nameraná amplitúda počas prezentovaného dvojročného obdobia (január 2017 – december 2018: 99 záznamov) dosiahla 0,24 m. Zaznamenané kolísanie, aj keď minimálne, korešponduje so zmenami hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrte J-107. Uvedený typ „perforácie“ (netesnosť na spojoch inklinometrickej zárubnice) nezabezpečuje spoľahlivé výsledky o stave hladiny podzemnej vody a namerané hodnoty majú veľmi malú váhu.

Druhým častým javom je, že zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody sú spôsobené vodou, ktorá priteká z vyšších častí vrtu z neznámej hĺbky. Pretekajúca voda pochádza zo zvodnených kolektorov podzemnej alebo hypodermickej vody, ktoré nie sú monitorované. Tento úkaz sa vyznačuje krátkodobými, nepravidelnými, ale zato výraznými vzostupnými zmenami hladiny podzemnej vody. Terénni pozorovatelia neraz pri meraní takýchto vrtov poukazujú na tajomný zvuk pripomínajúci hučanie a uvedený jav pripisujú samotnému procesu zosúvania.

Prezentovaný príklad na obr. 4 pochádza z lokality Nižná Myšľa. Vrtv JJ-1 a JJ-2 (vybudované v roku 2010; Tometz et al., 2010) sú od seba vzdialené niekoľko desiatok

metrov po spádnici svahu. Filtračné časti oboch vrtov sú zabudované do oblasti štrkovitých až piesčitých sedimentov. V prípade vrtu JJ-2 predpokladáme, že kolísanie hladiny podzemnej vody nie je sekundárne ovplyvnené. Naopak, vo vrte JJ-1, ktorý sa nachádza o niekoľko metrov vyššie vo svahu, dochádza k pomerne častým a výrazným zmenám hĺbky hladiny podzemnej vody. Priebeh hladiny sa vyznačuje veľmi výraznou dynamikou kolísania. Tieto zmeny však nemajú súvis s ročným cyklom a v danej oblasti ich nie je možné pripísať ani účinku drenážneho zariadenia (resp. čerpania vody z okolitých vrtov obyvateľmi obce). Predpokladáme, že do vrtu voda priteká z vyšších častí. Na overenie tejto domnienky boli zo súboru údajov nameraných vo vrte JJ-1 vybraté tie hodnoty, v prípade ktorých je možné predpokladať minimálny vplyv natekania vody z vyšších častí vrtu (minimálne hodnoty – obr. 4b – modrá línia). Pri porovnaní absolútnych hodnôt z oboch vrtov je pozorovateľná pomerne dobrá zhoda v kolísaní oboch hladín. Žiaľ, týždenný interval meraní neumožňuje presnejšie identifikovať pôvod (zrážková, hypodermická alebo podzemná), hĺbku a ani intenzitu pritekajúcej vody.



Obr. 4. Priebeh hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrtoch na zosuvnej lokalite Nižná Myšľa: a – porovnanie neupravených záznamov o hladine podzemnej vody vo vrtoch JJ-1 a JJ-2; b – korekcia priebehu hladiny podzemnej vody vo vrte JJ-1 na základe vývoja zmien hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrte JJ-2. Modrá – vrt JJ-1 – hladina vody vo vrte s prítokom podzemnej vody z plyššieho horizontu z neznámej hĺbky; fialová – vrt JJ-2 – prirodzený vývoj kolísania hĺbky hladiny podzemnej vody. Štatistické ukazovatele boli odvodené z údajov, ktoré boli v jednotlivých vrtoch zaznamenané od marca 2011 do decembra 2017.

Fig. 4. Groundwater level depth in boreholes at the Nižná Myšľa landslide site: a – comparison of unadjusted groundwater level records in wells JJ-1 and JJ-2; b – correction of the course of groundwater level in well JJ-1. Blue – well JJ-1 – water level in the well with inflow of groundwater from a shallower horizon from unknown depth; purple – well JJ-2 – natural development of groundwater depth fluctuations. Statistical indicators were derived from data recorded in individual wells from March 2011 to December 2017.

Tretí typ sekundárneho ovplyvnenia monitorovanej hladiny podzemnej vody bol zaznamenaný automatickým hladinomerom vo vrte KHG-2 (vybudovaný v roku 2014; Fekeč et al., 2014) na lokalite Červený Kameň. Ide o piezometrický vrt situovaný do aktívnej oblasti prúdového zosuvu, ktorý ohrozuje obecnú komunikáciu.

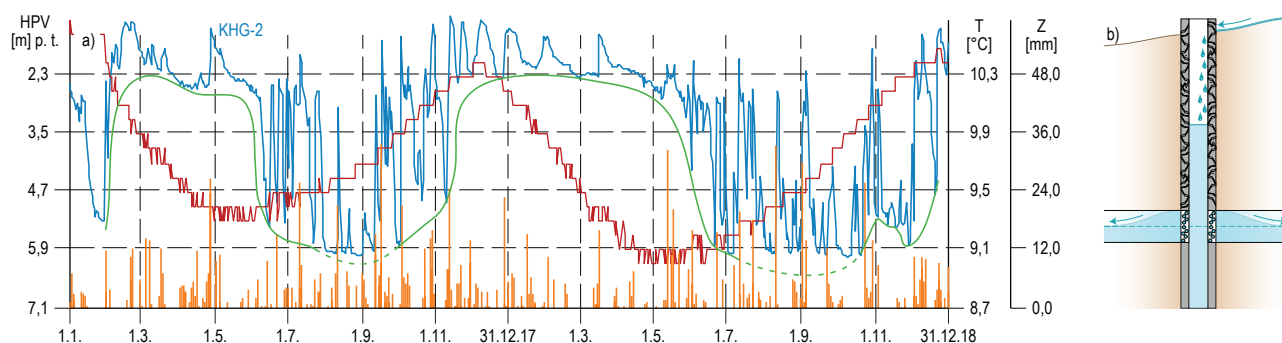
Režim podzemnej vody sledovanej v tomto vrte prakticky hneď od začiatku monitorovacieho obdobia naznačoval veľmi výraznú dynamiku jej kolísania. Hladina podzemnej vody mení svoju hĺbku v závislosti od zrážkových úhrnov (na overenie boli použité zrážky zo stanice SHMÚ Červený Kameň). Počas monitorovaného obdobia intenzita vzostupu hĺbky hladiny podzemnej vody neraz presiahla 2 m za 1 hodinu (max. vzostup $2,85 \text{ m} \cdot \text{hod}^{-1}$ – 6. augusta 2016). Na základe uvedenej skutočnosti usudzujeme, že zmeny hladiny podzemnej vody do veľkej miery ovplyvňuje pritekajúca voda priamo z povrchu terénu, prípadne z hypodermického horizontu. Uvedený úsudok potvrdili aj rekonštrukčné práce z roku 2020, ktoré boli zamerané na utesnenie nadzemnej a podpovrchovej časti vrtu. Počas realizácie prác sa ukázalo, že vo vystrojení vrtu úplne absentovala tesniaca časť, čo umožnilo povrchovej vode natekať priamo do vrtu.

Z nameraných údajov je však pozoruhodné kolísanie teploty vody vo vrte (obr. 5). Jej priebeh kopíruje idealizovaný stav dopĺňania zásob podzemnej vody súvisiaci s pravidelným ročným cyklom. Otvára sa teda otázka, či v prípade vrtu, do ktorého zreteľne tečie voda z povrchu, je možný takýto teplotný režim.

Z podrobnejšej analýzy priebehu hladiny podzemnej vody vyplýva, že okrem jej náhlych vzostupov je možné sledovať aj určité sezónne vplyvy, ktoré sú na obr. 5 vyjadrené zelenou líniou. Navyše, predpokladáme, že hladina v tomto vrte počas letného a jesenného obdobia klesá pod úroveň inštalácie samotnej sondy.

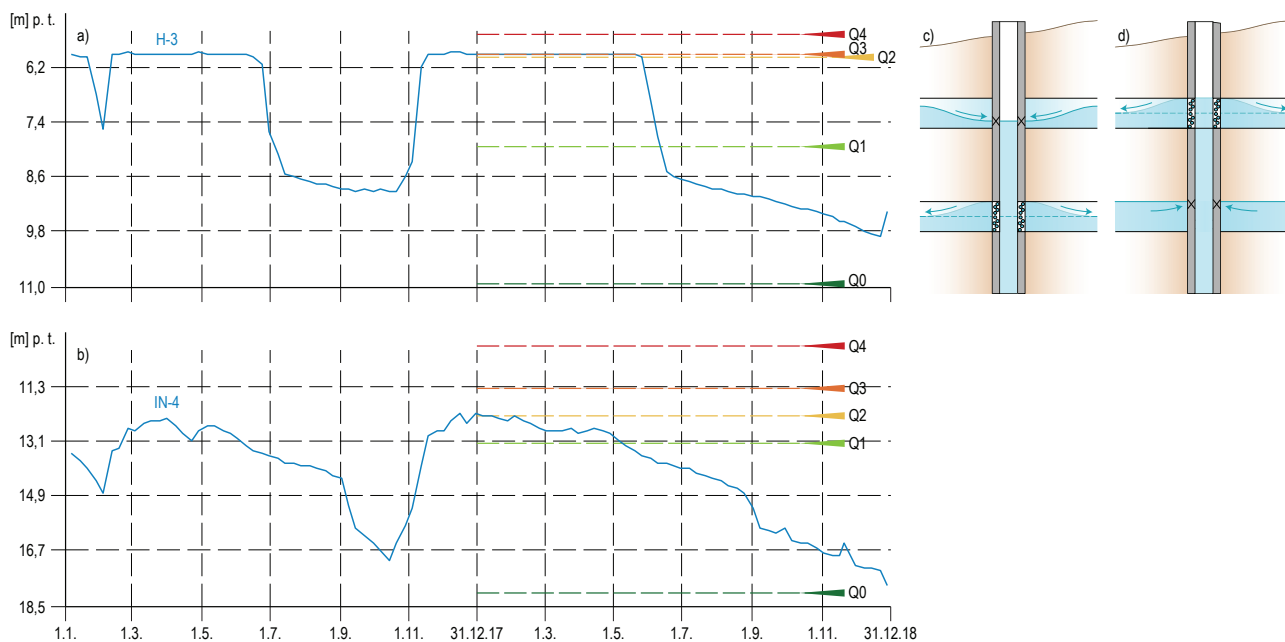
Štvrtý modelový prípad je spätý s prepojením viacerých zvodnených horizontov (minimálne dvoch – obr. 6). Kým

v predchádzajúcich príkladoch sa sekundárne kolísanie vody prejavovalo nepravidelnými, ale intenzívnymi zmenami, vo vrte H-3 je to presne naopak (prírodný priebeh hladiny podzemnej vody je prezentovaný na príklade vrtu IN-4; oba vrty sú situované v prostredí handlovského zosuvu – stabilizačný násyp – príťažovací val). Pri prvom pohľade na priebeh hladiny z jednotlivých vrtov je zrejmé, že maximálne hodnoty súvisia so zimným a jarným obdobím a naopak, minimálne s letným a jesenným obdobím. Ide teda o logický vývoj zmien hĺbky hladiny podzemnej vody. Neobvyklá je ale hladina vo vrte H-3 v čase maximálneho stavu, keď sa neprírodzene udržuje na jednej úrovni. Tento prípad nie je ojedinelý, naopak, ide o pomerne rozšírený jav. Podobné prípady zaznamenali nezávisle od seba viacerí terénni pozorovatelia, teda nepresnosti zo strany pozorovateľov je možné vylúčiť. Uvedená situácia sa v tomto vrte opakuje každoročne a dlhodobo, nie však počas celého monitorovaného obdobia. Hladina na začiatku monitorovaného obdobia kolísala prirodzene v intervale od 7,91 do 10,94 m pod terénom (rok 2003; kolísanie počas monitorovaného obdobia vyjadrujú štatistické ukazovatele). Merania hladiny boli od januára 2004 do polovice augusta 2005 prerušené. Práve v tomto období nastal vo vrte jav, ktorý spôsobil prepojenie pôvodne monitorovaného horizontu s vyššie položeným horizontom alebo s horizontom s vyšším hydraulickým gradientom. Predpokladáme, že k prepojeniu došlo v dôsledku porušenia ílového tesnenia vplyvom tlakového účinku podzemnej vody. Z hľadiska interpretácie nameraných údajov je však dôležité, že priebeh zaznamenatej hladiny zachytáva viacero javov (obr. 6c, d). Predpokladáme, že hladina je vo vrte dotovaná z horizontu 5,89 m pod terénom (na tejto úrovni sa vyskytuje počas maximálnych stavov; 2. a 3. kvartil). Druhou dôležitou skutočnosťou je, že kolísanie hladiny vo vrte je ovplyvňované schopnosťou zvodnených (priepustných) vrstiev odvádzať pritekajúcu vodu. Predpokladáme, že pritekajúca voda je drénovaná pôvodne monitorovaným horizontom, ktorý sa



Obr. 5. Priebeh hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrte KHG-2 na zosuvnej lokalite Červený Kameň spolu so zrážkovými úhrnmi zo stanice SHMÚ Červený Kameň: a – namerané a interpretované hodnoty [modrá – hladina vody vo vrte s prítokom povrchovej vody (os s označením HPV; záznam z automatického hladinomera); zelená – predpokladané kolísanie podzemnej vody po korekcii údajov; červená – teplota podzemnej vody (os s označením T); oranžová – denné zrážkové úhrny (os s označením Z)]; b – modelový príklad natekania povrchovej vody do vrtu cez nedokonale utesnený vrt.

Fig. 5. The groundwater level in the KHG-2 well at the Červený Kameň landslide locality together with precipitation totals from the Červený Kameň SHMÚ station: a – measured and interpreted values [blue – water level in the well with surface water inflow (axis marked HPV; record from automatic level meter); green – expected groundwater fluctuation after data correction; red – groundwater temperature (axis marked T); orange – daily precipitation totals (axis marked Z)]; b – model example of surface water inflow into a well through an imperfectly sealed well.



Obr. 6. Priebeh hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrtoch na zosuvnej lokalite Handlová z roku 1960 (stabilizačný násyp): a – vrt H-3 – hladina podzemnej vody vo vrte, v ktorom sa prepojili viaceré zvodnené horizonty; b – vrt IN-4 – piezometrický vrt s prirodzeným kolísaním hladiny podzemnej vody; c – prepojenie dvoch zvodnených horizontov – hladina podzemnej vody vo vrte je dotovaná z plytšieho horizontu a hlbší horizont má drenážnu funkciu; d – alternatívne riešenie – hladina podzemnej vody vo vrte je dotovaná z hlbšieho horizontu s väčším hydraulickým gradientom a plytší horizont má drenážnu funkciu. Modrá – kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody. Štatistické ukazovatele boli odvodené z údajov, ktoré boli v jednotlivých vrtoch zaznamenané od januára 2003 do decembra 2017.

Fig. 6. Groundwater depth in boreholes at the Handlová landslide site from 1960 (Stabilization embankment): a – well H-3 – groundwater level in the borehole, in which several aquifers were connected; b – well IN-4 – piezometric borehole with natural groundwater level fluctuations; c – connection of two irrigated horizons – groundwater level in the borehole is subsidized from a shallower horizon and the deeper horizon has a drainage function; d – the groundwater level in the well is subsidized from a deeper horizon with a larger hydraulic gradient and the shallower horizon has a drainage function. Blue – groundwater depth fluctuations. Statistical indicators were derived from data recorded in individual wells from January 2003 to December 2017.

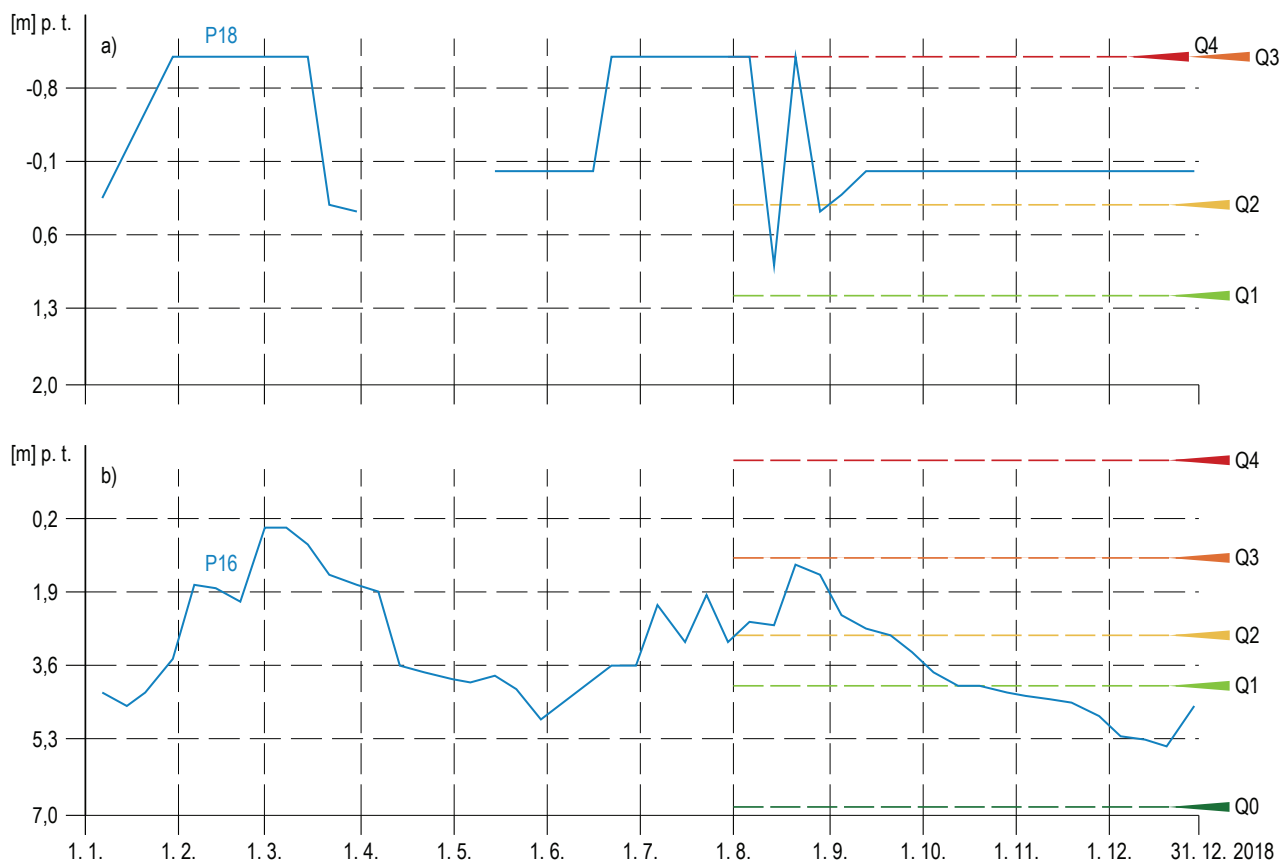
nachádza v hĺbke zhruba 9 m pod terénom (nevyklúčujeme ani možnosť, pri ktorej by podzemná voda „pritekala“ z horizontu približne 9 m pod terénom a dotovala by horizont v hĺbke okolo 6 m pod terénom). Z nameraných hodnôt vyplýva, že filtračné parametre „drenážnej vrstvy“, v ktorej sa voda stráca, bez väčších problémov prijímajú prakticky všetku „pritekajúcu“ vodu.

Piaty príklad znázornený na obr. 7 zachytáva priebeh hladiny vo vrte, v ktorom sa podzemná voda z monitorovaného horizontu „stráca“. Použitý príklad je z lokality Handlová-Morovnianske sídlisko (vrty: P-18 a P-16 vybudované v roku 2002; Šimeček, 2002). Oboma vrtnami sa monitorujú zvodnené horizonty, ktoré sa vyznačujú pomerne výraznou vztlakovou hladinou podzemnej vody. V oboch vrtoch boli počas monitorovaného obdobia namerané hladiny nad úroveň terénu, častejšie vo vrte P-18 (prakticky každý rok). Vrt P-18 je ale zaujímavý hlavne kvôli kolísaniu hladiny počas monitorovaného obdobia. V čase maximálnych stavov (zimné a čiastočne jarné obdobie) vystupuje hladina podzemnej vody nad úroveň terénu a následne počas letného obdobia klesá výrazne hlboko, až pod úroveň dna vrtu. Výrazné vzostupy hladiny vo vrte sú spojené s monitorovaním vztlakového horizontu a naopak, jej náhle poklesy sú zas späté s funkciou hĺbkového odvodnenia (oba vrty sú vybudované v dosahu hĺbkového odvodnenia subhorizontálnych vrtní ústiach do podzemnej šachty s označením „D“; uvedená šachta je súčasťou rozsiahleho

odvodňovacieho systému, vybudovaného pre potreby stabilizácie Morovnianskeho sídliska, ktoré bolo vedome postavené v zosuvnom území; Nemček, 1982). Predpokladáme, že medzi monitorovacím vrtnom P-18 a odvodňovacím vrtnom (HVD-1) sa postupne (po roku 2004) začali vytvárať určité „preferované“ cesty, ktorými voda z vrtu odteká. Dôležitým výsledkom vykonanej analýzy vo vrte P-18 je, že namerané zmeny nevyjadrujú kolísanie v prostredí monitorovaného horizontu tak, ako je to v prípade vrtu P-16, ale odrážajú schopnosť hornín viesť vodu z vrtu smerom k drenážnemu zariadeniu.

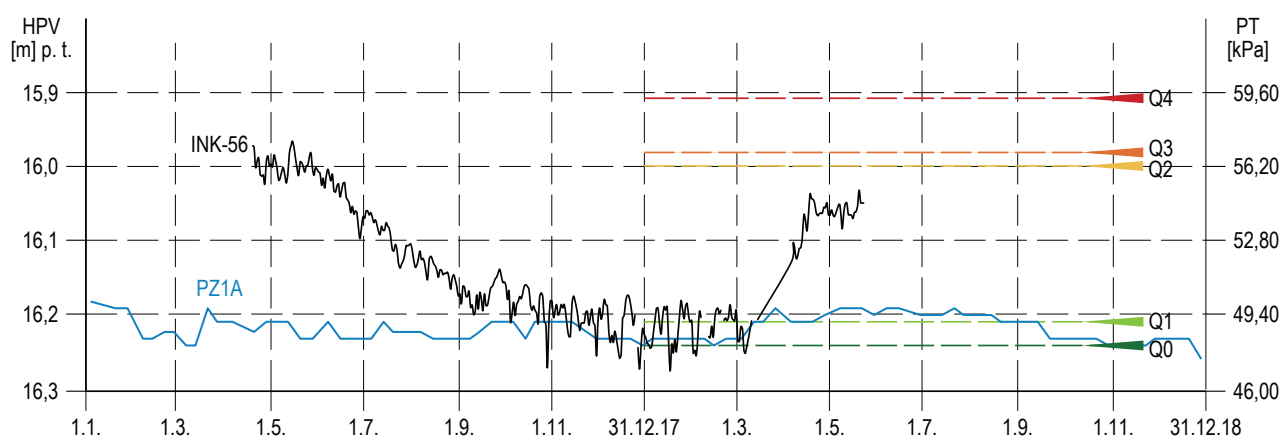
V prípade, ak na stratu vody vo vrte má vplyv drenážny účinok hĺbkového odvodnenia, možno daný stav hodnotiť kladne. Na dosiahnutie podobného efektu boli na lokalitách Prievidza-Hradec a Veľká Lehôtka počas sanácie budované podobné vrty – štrkové pilóty, ktoré prepájali viaceré zvodnené horizonty a vodu zvädzali k drenážnym zariadeniam. Ak by však strácajúca sa voda nasycovala hlbšie štruktúry zosuvného územia, išlo by o negatívny fenomén, ktorý môže nepriaznivo vplyvať aj na stabilitu územia.

Šiesty príklad opisuje všeobecný problém monitorovania hladiny podzemnej vody v zosuvných oblastiach na našom území. Ide o problém aplikácie monitorovacích vrtní s relatívne veľkým priemerom. Na budovanie tzv. pozorovacích vrtní, ktorých priemer je obvykle väčší ako 100 mm, upozorňujú Gróf a Turovský (2010). Tieto vrty považujú



Obr. 7. Priebeh hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrtoch na zosuvnej lokalite Handlová-Morovnianske sídlisko: a – vrt P18 – hladina podzemnej vody v netesnom monitorovacom vrte (drenážne prejavy v hlbších častiach vrty); b – vrt P16 – piezometrický vrt s prirodzeným kolísaním hladiny podzemnej vody. Modrá – kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody. Štatistické ukazovatele boli odvodené z údajov, ktoré boli v jednotlivých vrtoch zaznamenané od januára 2003 do decembra 2017.

Fig. 7. Groundwater level depth in boreholes at the Handlová-Morovnianske settlement site: a – well P18 – groundwater level in a leaking monitoring well (drainage manifestations in the deeper parts of the well); b – well P16 – piezometric well with natural groundwater level fluctuations. Blue – groundwater depth fluctuations. Statistical indicators were derived from data recorded in individual wells from January 2003 to December 2017.



Obr. 8. Vývoj režimových ukazovateľov vo vrtoch na zosuvnej lokalite Nižná Myšľa. Modrá – vrt PZ1A – zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody, čierna – vrt INK-56 – priebeh pórového tlaku. Štatistické ukazovatele boli odvodené z údajov, ktoré boli zaznamenané od novembra 2014 do decembra 2017.

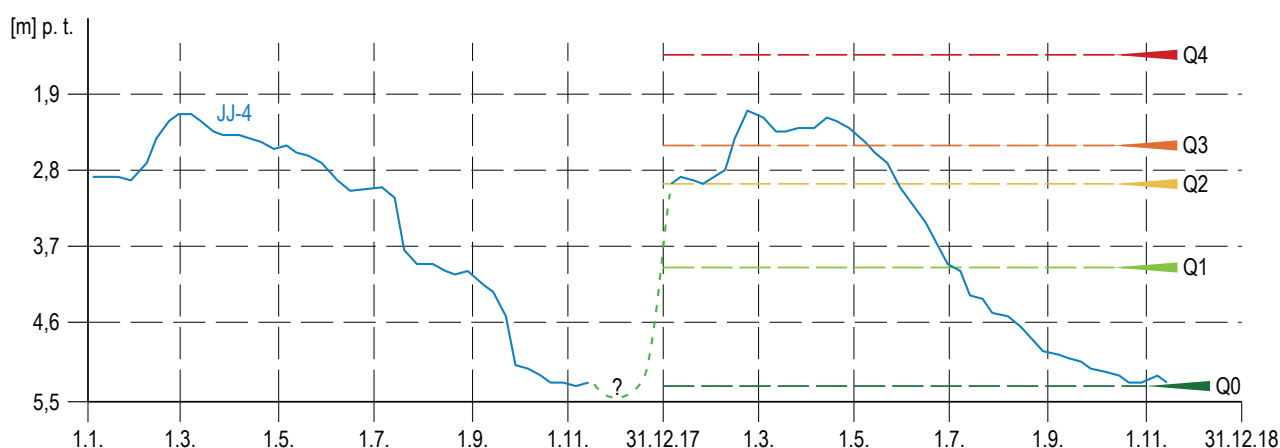
Fig. 8. Development of regime indicators in boreholes at the Nižná Myšľa landslide site. Blue – well PZ1A – changes in groundwater level depth, black – well INK-56 – the course of pore pressure. Statistical indicators were derived from data recorded from November 2014 to December 2017.

za nepoužiteľné na účely geotechnického monitoringu, zvlášť vtedy, ak sú budované v jemnozrnnom prostredí. V prípade otvorených piezometrov (s voľnou hladinou) navrhujú používať podstatne menší priemer alebo priamo snímače pórového tlaku. V prípade našej monitorovacej siete je tiež niekoľko vrtov, v ktorých zmeny hladiny podzemnej vody sú mimoriadne malé. Na dlhodobom priebehu hladiny v podobných vrtoch nie je možné sledovať prakticky žiadne zákonitosti súvisiace s ich ročným cyklom. Takéto prejavy boli zaznamenané na viacerých lokalitách (napr. Fintice, Handlová-stabilizačný násyp, Handlová-Morovianske sídlisko, Kapušany a iné), najčastejšie sa s nimi stretávame na lokalite Nižná Myšľa. Počas dvojročného obdobia 2017 až 2018 bolo až v 19 vrtoch (zo 68 vrtov) kolísanie hladiny podzemnej vody menšie ako 0,5 m.

Predpokladáme, že v prípade, ktorý je zobrazený na obr. 8, je daný stav spätý s nesprávne zvolenou veľkosťou

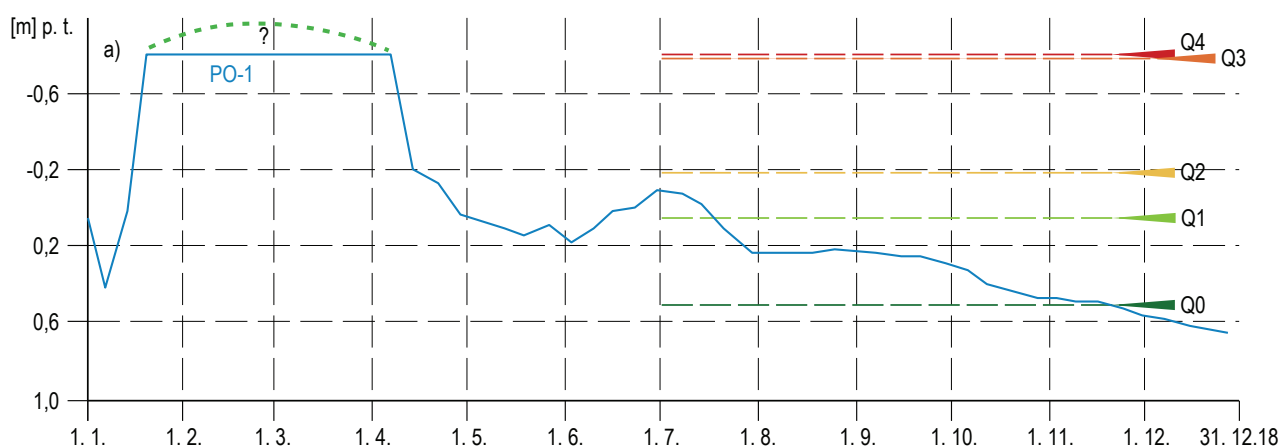
priemeru monitorovacieho objektu. Porovnávaný priebeh zmien pochádza z vrtov PZ1A („pozorovací“ vrt s voľnou hladinou) a INK-56 (snímač pórového tlaku), ktoré sú lokalizované v zosuvnej oblasti Nižná Myšľa nad základnou školou (Grech et al., 2014). Snímač pórového tlaku je umiestnený v hĺbke 14,5 m pod terénom. Na základe porovnania záznamov z oboch monitorovacích zariadení usudzujeme, že namerané hodnoty hĺbky vody vo vrte PZ1A nezodpovedajú reálnemu kolísaniu podzemnej vody. Z meraní snímačom pórového tlaku vyplýva, že hladina podzemnej vody sa v tomto prostredí vyvíja v závislosti od jednotlivých ročných období.

Pomerne častý problém, s ktorým sa stretávame pri sledovaní režimových ukazovateľov, je to, že amplitúda kolísania hladiny podzemnej vody má väčší rozsah, ako je samotná hĺbka vrtu. Základný problém, ktorý tu vzniká, je, že nevieme s istotou interpretovať rozsah kolísania



Obr. 9. Priebeh hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrte JJ-4 na zosuvnej lokalite Nižná Myšľa. Modrá – kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody. Štatistické ukazovatele boli odvodené z údajov, ktoré boli zaznamenané od novembra 2015 do decembra 2017.

Fig. 9. The groundwater level in the well JJ-4 at the landslide locality Nižná Myšľa. Blue – groundwater level fluctuations. Statistical indicators were derived from data recorded from November 2015 to December 2017.



Obr. 10. Priebeh hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrte s piezometrickou úrovňou nad ústím pažnice (PO-1) na zosuvnej lokalite Veľká Čausa. Modrá – kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody. Štatistické ukazovatele boli odvodené z údajov, ktoré boli zaznamenané od augusta 2007 do decembra 2017.

Fig. 10. The groundwater level in the borehole with a piezometric level above the mouth of the casing (PO-1) at the landslide locality Veľká Čausa. Blue – groundwater level fluctuations. Statistical indicators were derived from data recorded from August 2007 to December 2017.

podzemnej vody v priestore monitorovaného vrtu. Na obrázku 9 je prezentovaný priebeh hladiny podzemnej vody vo vrte JJ-4 na lokalite Nižná Myšľa (vrt je situovaný v južnej časti zosuvného územia). Kolísanie hladiny v tomto vrte je každoročne spojené s poklesom do väčšej hĺbky, než je hĺbka samotného vrtu. Výnimku predstavuje len rok 2018, počas ktorého sa hladiny podzemnej vody aj v čase minimálnych stavov udržiavali pomerne vysoko nad dnom vrtu. Z hľadiska stability je opisovaný pokles hladiny pozitívny jav. Pri hodnotení podobných vrtov, najmä ak „strata“ hladiny je periodická a pravidelne sa vyskytuje približne v rovnakom období, môžeme z hľadiska stability za významné považovať tie roky, počas ktorých k podobnému poklesu nedošlo.

Posledným a relatívne častým sprievodným javom pri sledovaní režimových ukazovateľov je pozitívna piezometrická výška hladiny podzemnej vody. K jej prelivu cez ústie pažnice dochádza menej často, väčšinou však vystupuje len tesne nad úroveň terénu, rádo je to niekoľko centimetrov, alebo ide o prvé decimetre. Interpretovať priebeh piezometrickéj úrovne v takýchto prípadoch nie je problém. Väčšie ťažkosti vznikajú v situáciách, keď hladina presahuje okraj pažnice a z vrtu vyteká.

Prezentovaný príklad na obr. 10 pochádza z lokality Veľká Čausa z vrtu PO-1. Vrt je lokalizovaný do aktívnej zóny odlučnej časti frontálneho zosuvu. Aj napriek tomu, že voda z vrtu vyteká, jej objem sa nesleduje; zabezpečujú sa len merania hĺbky hladiny podzemnej vody.

Určité skúsenosti so stanovením piezometrickéj výšky na základe sledovaného objemu vody (v l . min⁻¹) vytekajúcej z vrtu máme z lokality Okoličné. Do roku 2015 tu boli monitorované 2 vrty (JH-14 a JH-17), z ktorých pravidelne vytekala voda. Počas celého obdobia monitorovania týchto vrtov sa vyššia výdatnosť prejavovala vo vrte JH-14. Jej priemerná hodnota za obdobie 20 rokov (1995 až 2015) dosahovala až 11,0 l . min⁻¹. Je zrejme, že piezometrická úroveň v tomto vrte siahala vysoko nad úroveň terénu. Stanoviť jej hĺbku (výšku) sa podarilo vďaka konzultáciám s RNDr. P. Malíkom, PhD. (z oddelenia hydrogeológie a geotermálnej energie ŠGÚDŠ). Vzťah medzi výdatnosťou a jej piezometrickou výškou bol určený na základe všeobecných postupov hydrauliky podzemnej vody (Mucha a Šestakov, 1987). Z obdobia výskytu jej maximálnej výdatnosti (60 l . min⁻¹ v roku 1997) bola stanovená piezometrická úroveň s hodnotou 18,3 m nad terénom.

Zo skúseností teda vieme, že v obdobiach, počas ktorých dochádza k prelivu podzemnej vody, môže piezometrická úroveň dosahovať aj niekoľko metrov nad terénom. Podobne je to aj v prípade vrtu PO-1 vo Veľkej Čause. Vztlaková hladina bola v tomto vrte narazená v hĺbke 3,5 m pod terénom v oblasti výraznej šmykovej plochy. Vztlak podzemnej vody na šmykovú plochu v obdobiach s prelivom môže dosahovať aj niekoľko metrov. Treba podotknúť, že táto oblasť sa dlhodobo prejavuje pomerne vysokou pohybovou aktivitou. Súčasne treba dodať, že uvedený vrt má aj drenážnu funkciu, čo pôsobí pozitívne na stabilitu danej časti územia.

Cieľom predloženej analýzy, ktorá je zosumarizovaná v tab. 2, bolo poukázať na skutočnosť, že údaje o hĺbke

hladiny podzemnej vody, ako sú zaznamenané pozorovateľom (alebo automatickým hladinomerom), nemusia vždy odzrkadľovať reálny stav. Uvedený kritický prístup pri hodnotení stavu hladiny podzemnej vody považujeme za odôvodnený, a to obzvlášť v zosuvných územiach, v ktorých je práve aktuálny stav hĺbky hladiny podzemnej vody ukazovateľom stavu stability. Naopak, zanedbaním kritického prístupu pri interpretácii nameraných výsledkov často dochádza k skresleniu informácie o skutočných hydrogeologických pomeroch v jednotlivých monitorovaných zosuvných územiach.

Z analýzy nepriamo vyplýva aj skutočnosť, že údaje, ktoré pozorovatelia zabezpečujú s frekvenciou minimálne jedenkrát za týždeň, podávajú pomerne výstižný obraz o kolísaní hladiny podzemnej vody v zosuvných územiach. Vzhľadom na množstvo piezometrov, v ktorých sa merania vykonávajú týmto spôsobom, majú pri podobných analýzach veľký význam (netýka sa to meraní, ktoré sa vykonávajú s mesačným, prípadne väčším intervalom). Aj napriek uvedeným skutočnostiam sú pri objasňovaní zákonitostí režimu podzemnej vody nenahraditeľným zdrojom informácií výsledky meraní zabezpečované automatickými hladinomerami.

Záver

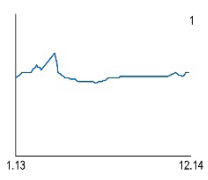
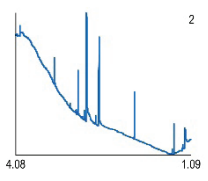
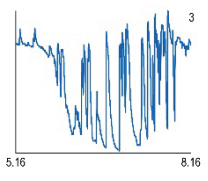
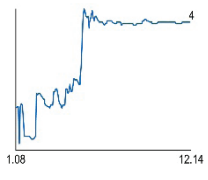
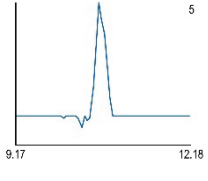
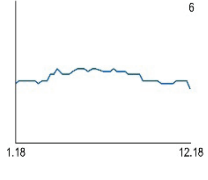
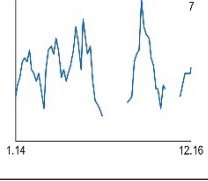
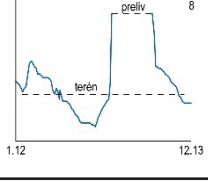
Na základe výsledkov dlhoročného riešenia úlohy *Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory*, ale aj iných úloh spojených s problematikou stability svahov, môžeme konštatovať, že v našich podmienkach prirodzenú stabilitu svahov najviac ovplyvňujú klimatické faktory, predovšetkým zrážkové úhrny. V zákonitej postupnosti sa klimatické faktory prejavujú vzostupom hladiny podzemnej vody a vyúsťujú do priamych prejavov nestability v podobe aktivácie svahového pohybu. V tejto súvislosti sa meranie hĺbky hladiny podzemnej vody stalo základnou metódou monitorovania zosuvných území. Ilustruje to aj skutočnosť, že prakticky pri každom inžinierskogeologickom prieskume zosuvných území sa pozornosť sústreďuje na aktuálny stav hladiny podzemnej vody. Váha informácie o stave podzemnej vody stúpa v súvislosti s jej využitím pri posudzovaní aktuálneho stupňa stability a dimenzovaním sanačných opatrení.

Význam prezentovanej analýzy spočíva hlavne v spresnení informácie o reálnych hydrogeologických pomeroch posudzovaného územia. V dôsledku nesprávnej interpretácie nameraných výsledkov sme si aj my neraz vytvorili nesprávnu predstavu o kolísaní podzemnej vody v horninovom prostredí. Vďaka pribúdajúcim skúsenostiam z rozširujúcej sa monitorovacej siete sme postupne dospeli k teórii o sekundárnych vplyvoch pôsobiacich na kolísanie vody v monitorovaných objektoch.

Uvedený kritický prístup, pri ktorom bola zohľadnená analýza kolísania podzemnej vody, zohrával dôležitú úlohu aj pri výbere objektov určených na monitorovanie zmien hĺbky hladiny podzemnej vody počas riešenia úlohy ČMS – GF. Vo viacerých prípadoch po preukázaní, že sledovaná hladina podzemnej vody mala vplyvom nesprávneho technického zabudovania vrtu skreslený priebeh, sa

Tab. 2. Typové prejavy možného skreslenia monitorovanej hladiny podzemnej vody v jednotlivých monitorovacích objektoch v období riešenia úlohy ČMS – GF.

Tab. 2. Type manifestations of possible distortion of the monitored groundwater level in individual monitoring facilities in the period of solving the PMS – GF task.

Priebeh HPV	Prejavy	Typový príklad
1. Priebeh hladiny vo vrte vybudovanom na použitie inej monitorovacej metódy	Kolísanie vody vo vrte sa odlišuje od priebehu hladiny podzemnej vody v ostatných piezometrických vrtoch. Zmeny ročnej amplitúdy sú výrazne menšie ako v okolitých vrtoch. Kolísanie hladiny nekorešponduje s ročným cyklom, napr. vzostup hladiny v letnom období (v čase, keď v ostatných vrtoch je pozorovaný jej pokles).	
2. Priebeh hladiny vody vo vrte s prítokom podzemnej vody z plytšieho horizontu z neznámej hĺbky	Časté, nepravidelné a intenzívne zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody. Kolísanie hladiny môže byť v niektorých prípadoch spojené s výskytom intenzívnych zrážok. V niektorých prípadoch hladina kolíše viac ako 10 m. Vo všeobecnosti, hladiny podzemnej vody v opísaných vrtoch môžu mať pravidelný ročný cyklus, sprevádzaný však náhlymi krátkodobými vzostupmi.	
3. Priebeh hladiny vody vo vrte s prítokom povrchovej vody	Časté, nepravidelné a intenzívne zmeny hĺbky hladiny podzemnej vody, ktoré dosahujú až úroveň terénu. Kolísanie hladiny je spojené s výskytom zrážok. V niektorých prípadoch hladina kolíše viac ako 10 m. Za určitých okolností je v týchto vrtoch možné sledovať známky ročného cyklu kolísania hladiny podzemnej vody.	
4. Priebeh hladiny vody vo vrte po prepojení viacerých zvodnených horizontov	Kolísanie vody vo vrte ovplyvňuje hladina s väčším hydraulickým gradientom. Jej zmeny za určitých okolností kopírujú ročný cyklus kolísania podzemnej vody. Všeobecne sú v týchto vrtoch pozorované prudké a intenzívne vzostupy a zostupy hladiny. Maximálna hladina je nápadne ohraničená hĺbkou, z ktorej voda do vrtu prestupuje (alebo naopak, vrstvy, v ktorej sa voda stráca). V niektorých prípadoch sa voda nachádza na jednej úrovni niekoľko týždňov, mesiacov, ba aj rokov.	
5. Priebeh hladiny v netesnom monitorovacom vrte (drenážne prejavy v hlbších častiach vrtu)	Hladina sa zväčša nachádza na jednej úrovni a jej zmeny nastávajú relatívne náhle. Zmeny hladiny sú výsledkom pôsobenia hydraulického gradientu zvodnenej vrstvy, ktorá je monitorovaná, a drenážnou schopnosťou okolia vrtu, ktorou je voda odvádzaná.	
6. Priebeh hladiny podzemnej vody vo vrte s veľkým priemerom („pozorovací vrt“)	Zmeny hladiny počas roka sú minimálne, rádovo v centimetroch. Kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody vo vrte súvisí s ročným cyklom len v minimálnej miere.	
7. Priebeh hladiny podzemnej vody vo vrte s nedostatočnou hĺbkou	Narušenie kontinuity priebehu hladiny podzemnej vody, spôsobené jej poklesom pod úroveň dna vrtu. Komplikovaná interpretácia kolísania počas ročného cyklu.	
8. Priebeh hladiny podzemnej vody vo vrte s piezometrickou úrovňou nad ústím pažnice	Záporné hodnoty hĺbky hladiny podzemnej vody. V prípade prelivu cez pažnicu – komplikovaná interpretácia jej hĺbky (výšky) z dôvodu vytvárania fiktívneho depresného kužeľa.	

1 – vrt VE-4 (zosuv Veľká Čausa); 2 – vrt AH-2 (zosuv Okoličné); 3 – vrt KHG-2 (zosuv Červený Kameň); 4 – vrt P-29 (zosuv Handlová-Morovnianske sídlisko); 5 – vrt PZ-7 (zosuv Nižná Myšľa); 6 – vrt PZ-1A (zosuv Nižná Myšľa); 7 – vrt P-10 (zosuv Handlová-Morovnianske sídlisko); 8 – PO-1 (zosuv Veľká Čausa); na osi x je vyjadrený čas vo formáte mesiac, rok.

monitorovacie merania pozastavili, prípadne bol odinštalovaný automatický hladinomer a premiestnený do perspektívnejšieho vrtnu. Uvedená optimalizácia bola dôležitá z hľadiska efektívneho využívania nielen ľudského, ale aj technického potenciálu. Napríklad v roku 2018 sa hladina podzemnej vody monitorovala až v 246 vrtoch, z toho automatickými hladinomerami v dôsledku ich obmedzeného počtu len v 18 monitorovacích vrtoch. To znamená, že na zabezpečenie meraní v ostatných vrtoch bolo nutné nasadenie veľkého počtu terénnych pozorovateľov.

Veľká zmena vo frekvencii monitorovania sa aktuálne rieši prostredníctvom geologickej úlohy *Monitoring zosuvných deformácií v rámci OP KŽP*. Na potreby monitorovania zmien hĺbky hladiny podzemnej vody je navrhnutá inštrumentácia, ktorá bude poskytovať výlučne kontinuálny záznam (hodinový, prípadne denný). Rovnaký prístup sa bude presadzovať aj pri monitorovaní výdatnosti odvodňovacích zariadení. Domnievame sa, že zvýšenie frekvencie meraní odvodňovacích zariadení, ktoré boli sledované výlučne prostredníctvom terénnych pozorovateľov s relatívne nízkou frekvenciou, prispieje k návrhu vhodného spôsobu hodnotenia efektívnosti odvodňovacích vrtnov.

Pod'akovanie

Prezentované výsledky boli získané dlhodobým riešením úlohy *Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory*, ktorej objednávateľom je Ministerstvo životného prostredia SR a realizátorom ŠGÚDŠ. V príspevku boli zároveň použité aj informácie z geologickej úlohy *Monitoring zosuvných deformácií*, ktorá sa rieši v rámci *Operačného programu Kvalita životného prostredia* (Prioritnej osi 3: *Podpora riadenia rizik, riadenia mimoriadnych udalostí a odolnosti proti mimoriadnym udalostiam ovplyvneným zmenou klímy*). Pod'akovanie patrí aj recenzentom doc. RNDr. Petrovi Wagnerovi, CSc., a prof. RNDr. Miloslavovi Kopeckému, PhD., ako aj redakcii časopisu.

Literatúra

- Fekeč, P., Sluka, V. a Páleník, M., 2014b: Realizácia inžierskogeologického prieskumu havarijného zosuvu a realizácia protihavarijných opatrení v obci Červený Kameň (Projekt č. 7 časti II). In: Šimeková, J., Liščák, P., Ondrejka, P., Žilka, A., Mašlárová, I., Petro, E. a Gonda, S., 2014: Inžierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 33 s.
- Grech, J., Sláma, M., Laurenčík, J., Gomolčák, M. a Mišove, P., 2014: Inžierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Časť I. Sanácia havarijného zosuvu v obci Nižná Myšľa – 2. etapa. In: Šimeková, J., Liščák, P., Ondrejka, P., Žilka, A., Mašlárová, I., Petro, E. a Gonda, S., 2014: Inžierskogeologický prieskum a sanácia havarijných zosuvov na vybraných lokalitách Slovenskej republiky. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 33 s.
- Gróf, V. a Turovský, F., 2010: Monitoring geotechnických objektov pri výstavbe rýchlostných komunikácií. Bratislava, ASB, JAGA GROUP. <https://www.asb.sk/stavebnictvo/inzierske-stavby/geotechnika/monitoring-geotechnických-objektov-pri-vystavbe-rychlostnych-komunikácií>
- Jadroň, D., 1980: Svahové poruchy Okoličné. Rigorózna práca. Manuskript. Bratislava, archív Katedry inž. geol., PriF UK.
- Jadroň, D. a Mokrá, M., 1999: Havarijné zosuvy Hornej Nitry a Stredného Pohronia. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 57 s.
- Jadroň, D., Wagner, P. a Jelínek, R., 1998: Monitoring sanovaného zosuvu v Dolnej Mičinej. In: Zb. referátov z 1. konf. Geológia a životné prostredie. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 83 – 86.
- Klukanová, A., 1998: Mapovanie a monitorovanie geologických faktorov životného prostredia. In: Geológia a životné prostredie 1. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, ISBN 80-85314-90-8, 123 – 126.
- Mucha, I. a Šestakov, V. M., 1987: Hydraulika podzemných vôd. Bratislava, ALFA – Praha, SNTL, 344 s.
- Nemčok, A., 1982: Zosuvy v slovenských Karpatoch. Bratislava, Veda, 319 s.
- Ondrejka, P., Wagner, P. a Gróf, V., 2011: Využitie stacionárneho inklinometra na tvorbu systémov včasného varovania na zosuvoch. Geotechnika, 1 – 2, 19 – 23.
- Otepka, J., Tichý, Š., Roháčiková, A., Fekeč, J. a Obernauer, M., 1976: Veľká Čausa – prieskum a sledovanie zosuvov: predbežný inžierskogeologický prieskum. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra (arch. č. 38736), 79 s.
- Šimeček, M., 2002: Vonkajší oblúk Morovnianskeho sídliska. Manuskript. Prievidza, TMG.
- Tometz, L., Blišťan, P., Harabinová, S., Leššo, J., Nyárhidy, J. a Turovský, F., 2010: Nižná Myšľa – havarijný zosuv, inžierskogeologický prieskum. Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra, 59 s.

Summary

Many years of experience and a much data from a large number of landslide sites, located in different geological environments and in different climatic conditions, gained by solving the task of Partial monitoring system – Geological factors (PMS – GF), allowed to create a comprehensive view of the issue of groundwater table depth fluctuations within monitored landslide bodies. The data database currently collects approximately 2 million groundwater table level (GWT) records from 472 monitoring facilities. However, the analysis of the measured data has shown that not all recorded values of the groundwater table level reflect its real state. It has turned out that the credibility of the measured results is directly proportional to the quality of technical equipment and also to the primary purpose of individual monitoring objects. The results of the analyses also show that several of the monitored wells do not meet the criteria of a quality piezometric well. The results of the analysis are particularly important in those landslide areas where the current development of groundwater table level is an indicator of a stability status. The analysed cases of groundwater table level fluctuations are shown sequentially in Figs. 2 to 10. These are changes in the groundwater table level, which were measured by a field observer or an automatic monitoring device. In the presented examples, the groundwater table level values are largely secondarily affected, e. g. by fitting the piezometric borehole itself. The identified impacts are summarized in tab. 2. It should be noted, however, that the results of the analyses

presented revealed a number of facts, but were not sufficient to provide unequivocal answers in all cases.

In conclusion, it can be stated that in connection with the monitoring of regime indicators, there have been experienced several positive changes compared to the past. In the previous period, prior to the solving the task of PMS – GF, the measurements had been performed only for a short time span, mostly during the survey. Thanks to the solved task, long-term and especially systematic monitoring of groundwater table level changes was ensured at the

same time at plenty of the landslide sites. In addition, in the most important localities, groundwater table level measurements were provided continuously – by automatic level meters, exceptionally also using pore pressure sensors.

Manuskript doručení:	21. 1. 2022
Revidovaná verzia doručená:	18. 2. 2021
Manuskript akceptovaný redakčnou radou:	24. 2. 2022

