

Problematika monitoringu objemovo nestálych zemín a ich vlastností – prípadová štúdia Veselé

IVAN DANANAJ, ALENA KLUKANOVA a PAVEL LIŠČÁK

Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

Problems of monitoring of volume unstable soils and their properties: A case study Veselé (Slovakia)

Soil volume changes were studied in the scope of the Monitoring of Geological Factors System, in the subsystem of Volume Unstable Soils. Monitoring was primarily held in areas with eolian sediments prone to collapse and areas with the occurrence of volume changes due to swelling and shrinking. The Podunajská nížina and Východoslovenská nížina lowlands are the most vulnerable areas in Slovakia. The purpose of monitoring is to observe and evaluate the mechanism of soil volume changes, their manifestations at the surface and changes in the geological environment, and to predict their effects in time and space and also to provide measures for reduction of their effects to an acceptable level. The monitoring consists of registration of objects damaged due to volume changes in the soil and determination of the volume changes cause. A total of 1460 objects have been registered in 138 municipalities. Soil samples for laboratory evaluation of their properties were collected in the areas where soils are susceptible to volume changes. In addition to the basic classification analyses, the tests of collapsibility and swelling were performed. The case study deals with the event of 2007, when a collapse of land occurred in a field near village of Veselé.

Key words: monitoring, volume change, collapse, swelling, registration, loess

Úvod

Veľký počet rôznych porúch alebo havárií stavieb spôsobených objemovými zmenami zemín u nás i v zahraničí vznikol preto, že sa riešeniu problémov nepriaznivých vlastností presadavých a napúčavých sedimentov v praxi nie vždy venuje náležitá pozornosť a v mnohých prípadoch sa navrhujú nevhodné základové konštrukcie. Návrh nevhodných metód zakladania je ovplyvnený rôznymi okolnosťami. Jednou z najväčších príčin je nedostatočná znalosť fyzikálnych a mechanických vlastností zemín tvoriacich podložie. Druhou príčinou je nedostatočná znalosť zmien a procesov v prírodnom prostredí. Treťou príčinou býva šetrenie finančnými prostriedkami na prieskum.

Objemovo nestále zeminy na Slovensku tvoria presadavé zeminy (kvartérne eolické sedimenty), napúčavé íly (neogénne alebo kvartérne íly) a silne prekonsolidované ílovité zeminy. Najnepriaznivejšou a zároveň najnebezpečnejšou vlastnosťou spomedzi objemových zmien je presadavosť. Problematika presadania zemín na Slovensku je o to vážnejšia, že eolické sedimenty zaberajú plochu takmer 7 000 km² (Šajgalík, 1985), čo predstavuje cca 14 % rozlohy Slovenskej republiky. Preto sa súčasťou čiastkového monitorovacieho systému geologických faktorov stalo aj monitorovanie objemovo nestálych zemín. Na začiatku sa tento subsystem venoval výlučne presadaniu zemín v základovej pôde. Pri registrovaní porúch objektov sa ukázalo, že poruchy na objektoch nie sú zapríčinené len

presadavosťou zemín, ale v mnohých prípadoch, najmä na Východoslovenskej nížine, bolo príčinou napúčanie. Od roku 1999 bol preto tento podsystem rozšírený na monitorovanie objemovo nestálych sedimentov. V roku 2007 bolo monitorovanie podsystemu pozastavené a odvtedy prebieha len vo forme sledovania výskytov významného porušenia zemského povrchu, ako napríklad v roku 2007, keď došlo k prepadnutiu pôdy na poli v katastri obce Veselé. Práce súvisiace s monitoringom objemovo nestálych zemín prebiehali najmä na území Podunajskej a Východoslovenskej nížiny. V ojedinelých prípadoch boli odoberané aj vzorky z iných oblastí, ako napríklad zo Záhorskej nížiny, Hornonitrianskej kotliny a podobne (Klukanová et al., 2011).

Objemovo nestále zeminy

Zeminy, ktorých vlastnosti sa pred porušením vnútornej štruktúry a po jej porušení výrazne líšia alebo počas zmeny štruktúry v nich dochádza k výrazným objemovým zmenám, označujeme ako metastabilné. Časť z nich, pri ktorých je rozhodujúca objemová stabilita, označujeme ako zeminy objemovo nestále. Objemová nestabilita sa prejavuje znížením alebo zväčšením objemu. Zmenšenie objemu je spôsobené presadanim alebo zmrašťovaním, zvýšenie objemu napúčaním.

Na obr. 1 sú znázornené územia s pravdepodobným výskytom objemovo nestálych zemín na Slovensku. Podkladom na zostavenie mapy boli Mapa genetických

typov kvartérnych sedimentov (Klukanová in Bodiš et al., 1999) a schéma jemnozrnných sedimentov na Slovensku (Letko a Hrašna in STN 83 8106).

Presadavé zeminy

Štruktúra spraší sa líši od ostatných typov zemín. Majú vysokú pórovitosť, ich štruktúra je makropórová. V prirodzených podmienkach sú spraše a sprašové zeminy únosnými základovými pôdami vďaka cementačným väzbám a bežné sú zárezy dosahujúce výšku 10 metrov. Pri prevlhčení dôjde k porušeniu cementačných väzieb, pričom sa poruší makropórová štruktúra. Porušenie väzieb sa prejaví stratou únosnosti a presadnutím (Pjankov a Azizov, 2008). Presadavé zeminy rozdeľujeme do dvoch skupín, na veľmi presadavé zeminy a presadavé zeminy (Klukanová a Frankovská, 1995). Medzi veľmi presadavé zeminy zaradujeme typické spraše a piesčité spraše. K presadavým zeminám patria eolické piesky, ílovité spraše a sprašoidné sedimenty, ktoré majú prevládajúcu zrnitostnú frakciu prachovitú.

Príčiny presadavosti sú rôzne. Vplýva na ne genéza zeminy, postgenetické procesy, uľahnutosť zeminy, hydrogeologické pomery, minerálne zloženie a pod. Proces presadania je možné rozdeliť do troch fáz, ktoré však neprebiehajú súčasne (Klukanová et al., 1998).

V prvej fáze dochádza k deštrukcii pôvodnej mikroštruktúry, zapríčinennej zvýšením vlhkosti za pôsobenia vonkajšieho tlaku. Zvýšenie stupňa nasýtenia zeminy spôsobuje stratu kapilárnych adhézných síl a značnou mierou znižuje pevnosť väzieb ílovými mostíkmi. Deštrukcia sa prejavuje aj rozrušením ílových povlakov obalujúcich piesčité alebo prachovité zrná kremeňa, resp. iných klastických minerálov. Rozpadajú sa aj agregáty a mikroagregáty, zvyšuje sa rozpúšťanie karbonátov a ich premiestňovanie v zemine.

V druhej fáze nastáva zrútenie mikroštruktúry, čo sa prejavuje premiestňovaním rozrušených ílových obalov.

Pri presune častíc sa uplatňuje vplyv prúdiacej vody vyvolávajúcej sufózne javy a vonkajšie napätie. Ďalšími dôležitými prejavmi sú zmenšenie obsahu karbonátov, zhutnenie štruktúrnych prvkov, zníženie pórovitosti.

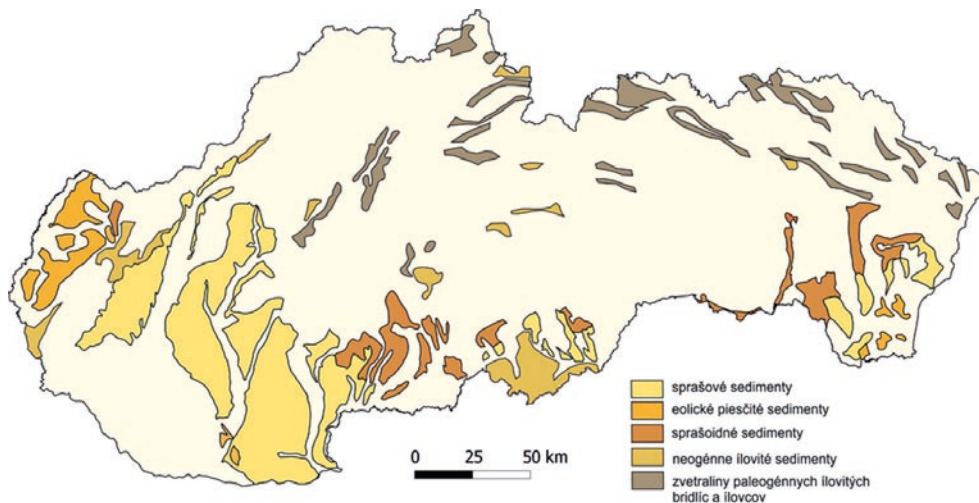
V tretej fáze vzniká po presadnutí nová mikroštruktúra. Zemina nadobúda heterogénnu stavbu oproti pôvodnej, homogénnej. Rozpadnuté sú základné štruktúrne jednotky, t. j. jednotlivé zrná už nie sú dokonale obalené ílovými povlakmi a navzájom sa nespájajú. Mení sa percentuálne zastúpenie jednotlivých veľkostných frakcií pórov. Presadnutá zemina má nižšie percentuálne zastúpenie pórov veľkosti do 0,005 mm. Obsah pórov veľkosti od 0,005 do 0,01 mm má výrazne vyšší. Z uvedeného vyplýva, že hlavnú úlohu pri presadavosti zohráva translokácia rozpadnutých ílových obalov.

Zeminy podliehajúce napúčaniu a zmršťovaniu

Hoci objemovo nestále zeminy zvyčajne nepredstavujú bezprostredné ohrozenie pre zdravie a životy ľudí, opakovaným prevlhčovaním a vysušovaním a následným zväčšovaním a zmenšovaním objemu, a teda opakovanými zmenami napätia, sú významnou príčinou škôd na nehnuteľnostiach. Prejavom takýchto škôd bývajú zvlhnené podlahy, roztrhnuté základy, prasknuté bazény, deformované cesty, pretrhnuté potrubia. Ťažké stavebné konštrukcie (napríklad vysoké komíny) sú schopné odolávať výzdvihu, avšak ľahké konštrukcie, ako cesty a chodníky, nie, čo vedie k ich nerovnomernému sadaniu.

Medzi zeminy náchylné na napúčanie a zmršťovanie patria íly (neogénne alebo kvartérne) a silne prekonsolidované ílovité zeminy charakteru ílovitých bridlíc, ílovcov a pod.. Ich výskyt je znázornený na obr. 1.

Z inžinierskogeologického hľadiska, podľa STN 72 1001, sú za il pokladané jemnozrnné zeminy, v ktorých podstatnú časť tvorí tzv. ílovitá frakcia s veľkosťou zrn menšou ako 2 μm . Íly a ich spevnením vzniknuté ílovce sú tvorené hlavne ílovými minerálmi (illit, montmorillonit,



Obr. 1. Výskyt objemovo nestálych sedimentov na území Slovenska.

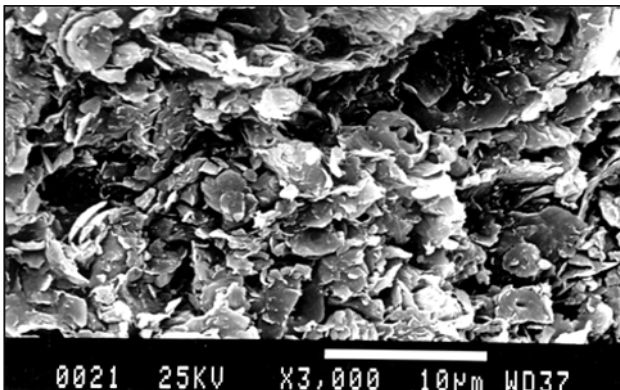
Fig. 1. Volume unstable sediments in Slovakia.

kaolinit, halloysit, antigorit, saponit, stevensit, vermikulit, beidellit, palygorskite, alofán) a prímiesami (kremeň, živce, sludy, rutil, turmalín, amfibol, kalcit, pyrit, oxyhydroxidy Fe a Mn, organické zvyšky, atď.). Napučívanie a plasticita sú vlastnosti ílových minerálov, ktoré závisia od typu väzby a typu medzivrstevného katiónu. Najvýraznejšie napučajú smektitické íly s voštinovou mikroštruktúrou (obr. 2), kde vymeniteľné katióny držia spolu základné vrstvy len elektrostatickými silami. V medzivrstvách prebieha hydratovanie, v dôsledku čoho íl napučíava. Najväčšou plasticitou sa vyznačujú smektitické íly s aktívnymi iónmi Na, ďalej kaolínové, beidellitové a hydrosľudové íly. Plasticitu zvyšujú aj humínové látky.

Pri infiltrácii vody do napúčavej základovej pôdy dochádza k zhoršovaniu jej vlastností. Zväčšenie objemu spôsobené prijímaním vody do kryštalickej mriežky minerálov má za následok vznik vysokých ťahových síl v podpovrchovej vrstve. Keď je suchá zemina zvlhčená, v prvom štádiu napučíavania dochádza k jej expanzii vo všetkých smeroch, pretože ešte môžu byť otvorené trhliny z vysychania. Po ich uzavretí sa už zemina nemôže rozťahovať do strán a dochádza k expanzii len vo zvislom smere, čo spôsobuje výzdvih zeminy (Taboada, 2003).

Pre napučívanie a zmršťovanie je najdôležitejšou podmienkou prítomnosť vysokoplastickej ílovej zeminy. Rozsah a rýchlosť objemových zmien závisia od vnútorných a vonkajších podmienok. Medzi vnútorné podmienky patria minerálne a chemické zloženie hornín, zrnitosť, štruktúra, obsah vody, ulahnutosť, stupeň diagenézy. Z vonkajších podmienok je dôležitý prístup vody a vodných pár, chemické zloženie a fyzikálno-mechanické vlastnosti vody. Dôležitým faktorom je aj hĺbka sezónnych zmien vlhkosti. Lokálne môžu ovplyvniť vlhkosť zeminy, a tým aj správanie objemovo nestálych zemín, zlé odvedenie drenáže, prasknuté potrubia, odkvapové rúry alebo prítomnosť veľkých stromov. Ohrozenie vplyvom napučíavania alebo zmršťovania sa zvyšuje dlhodobými obdobiami sucha a výparom.

Pri strate vody dochádza k zmršťovaniu vplyvom zblížovania štruktúrnych vrstiev. Ak sú v dôsledku straty vody pri vysychaní ťahové napätia väčšie ako sily súdržnosti



Obr. 2. Mikrograf smektitického ílu s voštinovou mikroštruktúrou (foto Klukanová).

Fig. 2. Microphotograph of smectite clay with honeycomb microstructure (photo Klukanová).

zeminy, narastá povrchové napätie, čoho následkom je „potrhávanie povrchu“. Vznikajú otvorené ťahové trhliny polygonálneho tvaru, ktorý najviac zodpovedá minimálnej práci pri pretváraní povrchu. Rozmery a čiastočne aj tvar zmršťovacích puklín v zemine závisia od mnohých faktorov, najmä však od minerálneho zloženia a od klimatických podmienok (teplota, zrážky, atď.). S predlžovaním obdobia sucha sa pukliny zväčšujú a prenikajú viac do hĺbky. Tým sa vytvárajú ďalšie cesty pre prenikanie vody do horninového telesa. Sieť puklín vznikajúcich vysúšaním býva pravidelná a pukliny obyčajne vznikajú na tom istom mieste (Šútor a Gomboš, 2001). Trhliny, hlavne v íloch, podmieňujú deštrukciu budov, líniových stavieb a iných inžinierskych diel.

Monitoring

Základné ciele monitorovania

K základným cieľom monitorovania objemovo nestálych zemín patria:

- regionálna identifikácia výskytu objemovo nestabilných sedimentov,
- registrácia poškodených objektov vo vybratých územiach,
- zmeny rozsahu poškodených objektov v čase,
- sledovanie citlivosti zemín na objemové zmeny,
- zovšeobecnenie poznatkov na iné územie s podobnou geologickou stavbou.

Metódy hodnotenia

Medzi pozorované ukazovatele a metódy hodnotenia v rámci monitorovania patria:

- identifikácia území s výskytom objemovo nestabilných sedimentov,
- registrácia porušených objektov na týchto územiach,
- sledovanie porúch na objektoch, teda kvalitatívnych i kvantitatívnych zmien puklín a trhlín,
- odbery porušených a neporušených vzoriek zemín,
- laboratórne stanovenie fyzikálnych a mechanických vlastností zemín,
- stanovenie minerálneho zloženia zemín,
- sledovanie zmien vnútornej stavby zemín.

Údaje získané pri registrácii porušených objektov boli zaznamenávané do záznamového listu. Záznamový list obsahuje:

- údaje o lokalizácii objektu (geomorfologické začlenenie, okres, názov obce a ulice, číslo domu, pozemku, resp. iná lokalizácia),
- údaje o druhu objektu,
- fotografiu alebo náčrt porušených častí,
- geologickú a geomorfologickú charakteristiku územia,
- opis poruchy (smer, sklon, šírku puklín, zmeny a vplyvy na susedné objekty),
- časový vývoj zmien poruchy od vzniku až po súčasný stav,

- pravdepodobnú príčinu poruchy,
- geotechnické vlastnosti základovej pôdy, ak sú známe.

Pri dokumentácii konkrétnych porúch bola pozornosť najviac zameraná na porušené konštrukčné časti, vek objektu, hĺbku základov, druh použitého stavebného materiálu, činitele, ktoré ovplyvňujú rozšírenie porúch, prípadne boli sledované aj vykonané sanačné práce a zhodnotená ich efektívnosť.

Fyzikálny stav zemín bol sledovaný na neporušených aj porušených vzorkách zemín odoberaných z vrtov, z kopaných šachtíc a z prirodzených odkryvov v blízkosti objektov. Proces presadania, napučovania a zmršťovania zemín bol sledovaný v laboratórnych podmienkach, kde boli stanovené vlhkosť, konzistenčné medze, zrnitostné zloženie, objemová a merná hmotnosť, stupeň nasýtenia, obsah uhľičitanov a organických látok. Pri sprašiach a sprašoidných zeminách boli vykonané špecifické skúšky na zistenie stupňa presadania. Na vybratých vzorkách ílovitých zemín bolo hodnotené napúčanie a napúčací tlak vzoriek. Pomocou SCAN-u bolo sledované minerálne a chemické zloženie a vnútorná stavba, najmä jej zmeny spôsobené presadavosťou, napučaním a zmršťovaním.



Obr. 3. Silné porušenie rodinného domu č. 492 v obci Kamenín po prístavbe, chýba odkvap (foto Klukanová).

Fig. 3. Heavy failure of family house No. 492 in Kamenín after additional construction, downpipe is missing (photo Klukanová).

Frekvencia monitorovania sa pohybovala od priebežnej registrácie objektov až po sledovanie aktivity porúch na objektoch raz za 3 roky. Týmto spôsobom monitorovanie prebiehalo do roku 2007, odkedy sú sledované len významné porušenia zemského povrchu, iné sledovania sú pozastavené.

Výsledky monitorovania

Monitoring objemovo nestálych zemín prebiehal najmä na území Podunajskej a Východoslovenskej nížiny. V ojedinelých prípadoch boli odoberané aj vzorky z iných oblastí, ako napríklad zo Záhorskej nížiny, Hornonitrianskej kotliny a podobne.

Do roku 2007 sa priebežne pokračovalo v registrácii na území Podunajskej a Východoslovenskej nížiny. V oblasti Východoslovenskej nížiny bola skončená 3. etapa, na Podunajskej nížine v časti Trnavskej pahorkatiny 2. etapa registrácie.

Na území Podunajskej nížiny bolo registrovaných 452 porušených objektov v 72 obciach, na území Východoslovenskej nížiny 1 008 porušených objektov v 66 obciach. Príklady porušených objektov sú na obr. 3 a 4.



Obr. 4. Trhliny do 10 cm široké na objekte v obci Pohronský Ruskov, Kostolná ul. č. 8 boli spôsobené zatekaním vody pod základy domu, príčinou bol porušený odkvap (foto Klukanová).

Fig. 4. Cracks up to 10 cm wide on family house in Pohronský Ruskov, Kostolná Street 8, due to water leakage below the building foundation. The leakage was caused by damaged downpipe (photo Klukanová).

Príčiny porúch na objektoch

Príčinami spôsobujúcimi presadenie sú zvýšenie vlhkosti, zvýšenie zataženia alebo zvýšenie vlhkosti aj zataženia.

Zvýšenie vlhkosti nastáva prienikom vody do podlažia. Voda sa do základovej pôdy môže dostávať rôznymi spôsobmi:

- pri budovaní novej cesty,
- prasknutím či neinštalovaním odkvapovej rúry,
- zrážkovou vodou z vyššie položených svahov,
- haváriou vodovodného alebo kanalizačného potrubia,
- vybudovaním zavlažovacieho kanála v blízkosti stavebných diel,
- vyhlbením základovej jamy v susedstve budov.

Zataženie vyvolávajúce presadnutie môže byť statické alebo dynamické. Zvýšenie statického zataženia môže spôsobiť prístavba objektu alebo koncentrácia zataženia preneseného z príslušného objektu. Dynamické zataženie spôsobujú otrasy zo zvýšenej intenzity premávky.

Veľkú časť deštrukcií na objemovo nestálych zemínach spôsobili neodborné či nevedomé ľudské zásahy, napr. hĺbenie základov, neodborné odvedenie vody z odkvapových rúr, netesná podzemná kanalizácia či vodovodné potrubie. Hladký povrch potrubí v zemi nevyužíva ako „privilegovaná“ cesta prúdiacej vody, ktorá na ich obvode môže vytvoriť aj podzemné priestory a kaverny, v dôsledku čoho môže dôjsť k prepadnutiu územia. V menšej miere môžu vzniknúť deštrukcie aj neodborne vykonanými vrtmi, sondami a pod..

Monitorovanie puklín a ich zmeny na vybratých objektoch

Monitorované boli aj pukliny a ich zmeny na vybratých objektoch. Väčšinou boli identifikované opakujúce sa trhliny so šírkou v rozmedzí od desiatín mm až po desiatky mm. Šírka trhlín na budovách závisela od deformačných podmienok. Vyčlenených bolo 6 stupňov trhlín (tab. 1).

Stanovenie fyzikálnych vlastností

Z lokalít boli priebežne odoberané porušené a neporušené vzorky zemín z vrtov, z kopaných šachtíc a prirodzených odkryvov, predovšetkým z Východoslovenskej nížiny a Podunajskej nížiny.

Tab. 1
Rozdelenie trhlín vznikajúcich na budovách vplyvom presadenia
Division of cracks on buildings due to collapse of soil

rozmer trhliny	aktivita trhliny	následky
< 5 mm	neaktívne	estetické
5 – 10 mm	neaktívne	estetické
10 – 30 mm	aktívne	oprava je žiaduca
30 – 70 mm	aktívne	oprava je nutná
70 – 150 mm	aktívne	hrozí deštrukcia
> 150 mm	aktívne	objekt neobývateľný, potrebná sanácia

Hodnoty fyzikálnych vlastností boli stanovené v laboratóriu inžinierskej geológie. Presadavosť bola určovaná laboratórnou skúškou presadavosti neporušenej zeminy v oedometri metódou jednej alebo dvoch kriviek. Stanovil sa koeficient presadavosti I_{mp} [%], resp. I_m [%], a modul presadania M_{pr} [mm · m⁻¹]. Koeficient presadavosti vyjadruje pomer zvislej deformácie skúšobnej vzorky po nasýtení vodou k výške vzorky pred nasýtením pri určitom zvislom napätí:

$$I_{mp} = \frac{\Delta h_p}{h_0} \cdot 100\%$$

kde Δh_p = dodatočné sadnutie vzorky po zaliatí vodou v mm,

h_0 = výška vzorky pred zaliatím vodou v mm.

Modul deformácie predstavuje veľkosť deformácie vrstvy zeminy s hrúbkou 1 m, ktorá vznikne po nasýtení vodou:

$$M_{pr} = \frac{\Delta h_p}{h_0}$$

kde Δh_p = dodatočné sadnutie vzorky po zaliatí vodou v mm,

h_0 = výška vzorky pred zaliatím vodou v m.

Laboratórne boli stanovené hodnoty pomerného napúčania, ktoré umožňujú porovnávať jednotlivé zeminy z hľadiska ich schopnosti napúčať. Skúškou sa modeluje proces prevlhčenia odkrytej horniny. Zvlášť pri odkrytí silne prekonsolidovaných ílovitých zemín dochádza k intenzívnemu nasávaniu vzdušnej vlhkosti, čo iniciuje vznik napúčacích tlakov, ktoré dosahujú hodnoty 150 kPa a viac. Skúška nepriamo podáva informáciu o obsahu ílovitých minerálov v skúšanej hornine a veľmi orientačne aj o povahe týchto minerálov. Napúčanie sa stupňuje v závislosti od obsahu minerálov v rade kaolinity – illity – smektity. Hodnotený bol aj potenciál napúčania pomocou aktivity ílových minerálov.

Medza tekutosti, medza plasticity, medza zmršťovania a index plasticity závisia jednak od minerálneho zloženia, ale aj od obsahu ílu prítomného vo vzorke zeminy. Napríklad zemina s vysokým obsahom častíc kaolinitu môže mať podobný index plasticity ako iná zemina s menším obsahom illitových alebo smektitových častíc. Na ich odlíšenie slúži charakteristika známa ako index ílovej (koloidnej) aktivity I_A (Powrie, 1997), ktorá súvisí s merným povrchom ílového minerálu. Aktivita ílu sa vyjadruje ako podiel indexu plasticity I_p a percentuálneho podielu ílového zrna < 0,002 mm v zrnitostnom zložení zeminy:

$$I_A = \frac{I_p}{J}$$

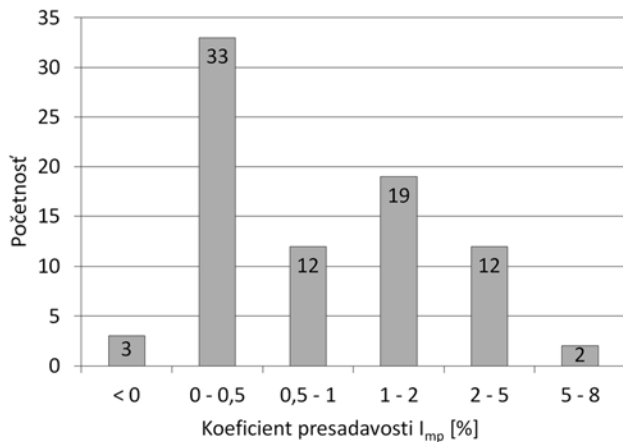
kde I_p je index plasticity, J je množstvo častíc menších ako 0,002 mm [%] alebo podiel častíc menších ako 0,002 mm k časticiam menším ako 0,5 mm na krivke zrnitosti (Zavoral, 1987).

Z hodnôt ílovej aktivity pomocou tzv. Van der Merveho alebo Juhoafrickej metódy klasifikácie potenciálu objemových zmien ílových zemín možno odhadnúť náchylnosť zemín na objemové zmeny (Mc Carthy, 1998). V grafe sa vynáša podiel frakcie < 0,002 mm na osi x a index plasticity I_p na osi y.

Zmrašťovanie zemín ako jav, ktorý často spôsobuje poruchy stavieb, sa modeluje laboratórnou skúškou zmrašťovania na neporušených vzorkách. Hodnotia sa pritom ich zmeny týkajúce sa množstva a veľkosti v čase. Zmrašťovanie je dané nielen spôsobom konsolidácie, ale aj počiatočným stupňom nasýtenia. Medza zmrašťovania w_s bola stanovená nepriamo pomocou medze tekutosti a medze plasticity.

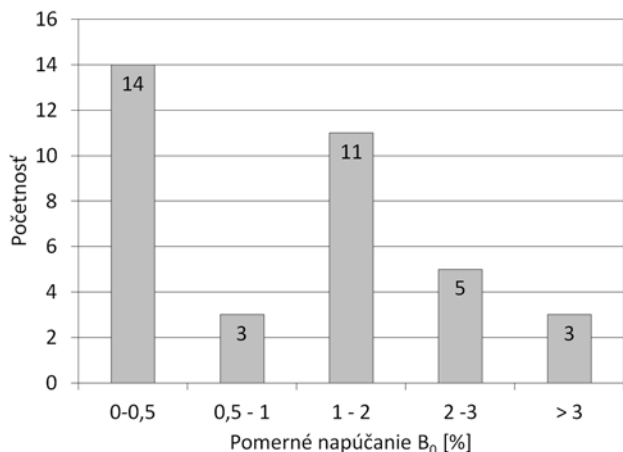
Výsledky

Celkovo bolo vykonaných 81 stanovení presadavosti. Histogram početnosti (obr. 5) ukazuje, že najvyšší počet hodnôt koeficientu presadavosti I_{mp} spadá do oblasti od 0 do 0,5 %. V troch vzorkách (dve z lokality Trebišova a jedna z lokality Senca) veličina I_{mp} dosiahla zápornú hodnotu,



Obr. 5. Histogram početnosti hodnôt koeficientu presadavosti.

Fig. 5. Collapsibility coefficients histogram.



Obr. 6. Histogram početnosti hodnôt pomerného napúčania.

Fig. 6. Relative swelling histogram.

čo znamená, že vzorka vôbec nepresadla, naopak, napučala. Tieto vzorky sú však zatriedené ako íl, resp. silt s veľkou plasticitou. Maximálna hodnota I_{mp} bola zistená vo vzorkách z Trnavy (5,17 %) a Zelenča (6,8 %).

Napúčanie bolo stanovené celkovo v 35 vzorkách. Maximálna hodnota pomerného napúčania dosiahla 3,74 % a minimálna 0 %. Z histogramu početnosti (obr. 6) je zrejme, že najviac vzoriek bolo v rozsahu pomerného napúčania B_0 0 – 0,5 % a 1 – 2 %. Najvyššiu hodnotu napúčania, teda nad 3 %, dosiahli 3 vzorky (z lokalít Veľké Leváre, Drábsko, Morovno).

Z hodnôt medze tekutosti a indexu plasticity bol pomocou Van der Merveho metódy stanovený potenciál napúčania. Skúmané zeminy boli následne rozdelené do štyroch kategórií na zeminy s veľmi veľkým, veľkým, stredným a nízkym potenciálom (obr. 7).

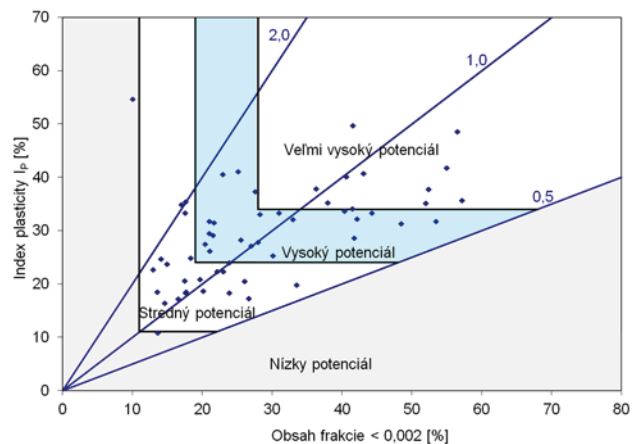
Z obrázku je zrejme, že väčšina skúmaných zemín má vysoký až veľmi vysoký potenciál napúčania. Len dve vzorky na základe použitých kritérií spadajú do oblastí s nízkym potenciálom napúčania.

Prípadová štúdia Veselé

V novembri roku 2007 bol ŠGÚDŠ obecným úradom vo Veselom pri Piešťanoch upozornený na jav prepadnutia pôdy na poli v katastri obce. Po vykonaní obhliadky lokality bol v typických sprašiach identifikovaný kráter s priemerom 1,5 m, hlboký približne 3,5 m (obr. 8) a smerom do hĺbky sa rozširujúci na priemer 4,5 m (obr. 9).

Keďže nebolo jasné, či ide o prirodzenú príčinu (pseudokras, presadnutie spraší) alebo o antropogénnu príčinu (studňa, vrt, sýpka, podzemná chodba), situácia bola preskúmaná podrobnejšie.

V uvedenej lokalite boli vykonané dve vrtné sondy. Sonda V1 bola umiestnená do skolabovaného materiálu približne v strede kaverny. Sonda V2 bola situovaná do vzdialenosti približne 6 m od stredu kaverny, do súvrstvia spraší. Vrtne práce umožnili získať predstavu o zmene



Obr. 7. Potenciál napúčania zemín podľa Van der Merveho metódy. Čiary označené 0,5, 1,0 a 2,0 reprezentujú hranice hodnôt indexu ílovej aktivity.

Fig. 7. Soil swelling potential according to Van der Merve method. Lines marked as 0,5, 1,0 and 2,0 represent borders of clay activity index values.

v litologickom zložení zemín a odobrať porušené vzorky do hĺbky 6,5 m. V profiloch vrtov bolo odobratých 8 reprezentatívnych vzoriek na klasifikačné laboratórne analýzy zemín.

Skúmané územie leží medzi obcami Veselé a Dubovany (obr. 10). Podľa geomorfologického členenia patrí do oblasti Podunajskej nížiny, do celku Podunajská pahorkatina, oddielu Dolnovážska niva, časti Dudvážska mokrad (Mazúr a Lukniš, 1986).

Na stavbe územia sa zúčastňujú sedimenty neogénu a kvartéru. Bezprostredné podložie kvartéru tu tvoria brakické až sladkovodné sedimenty *ivánskeho súvrstvia* panónskeho veku, tvorené nevápnitými a vápnitými ílmi s medzivrstvami pieskov a štrkov, prechádzajúce do sladkovodných jemnozrnných pieskov, ktoré sa striedajú

s pestrofarebnými ílmi a miestami aj so štrkami (Biela, 1978; Salai, 1981).

Kvartér je na báze budovaný spodnopleistocénnymi fluvioimnickými až fluviálnymi sedimentmi tvorenými zvodneným drobnozrnným monomiktným kremitým štrkom až piesčitým štrkom s preplástkami modrosivých piesčitých ílov. Smerom do nadložia dominujú sezónne zvodnené fluviálne polymiktné stredozrnné až hrubozrnné piesčité štrky *vyššej strednej terasy* Váhu risského veku (Maglay et al., 2011). Vrchné časti fluviálnej akumulácie sú zastúpené preplavenými sedimentmi sprašového komplexu, a to ílovitými hlinami až ílmi, často s vysokým obsahom organických prímiesí.

V nadloží fluviálnych sedimentov sú deponované eolické sedimenty vo forme sprašových sérií prevažne



Obr. 8. Kráter na poli pri obci Veselé (foto Dananaj).

Fig. 8. Crater in the field near Veselé (photo Dananaj).



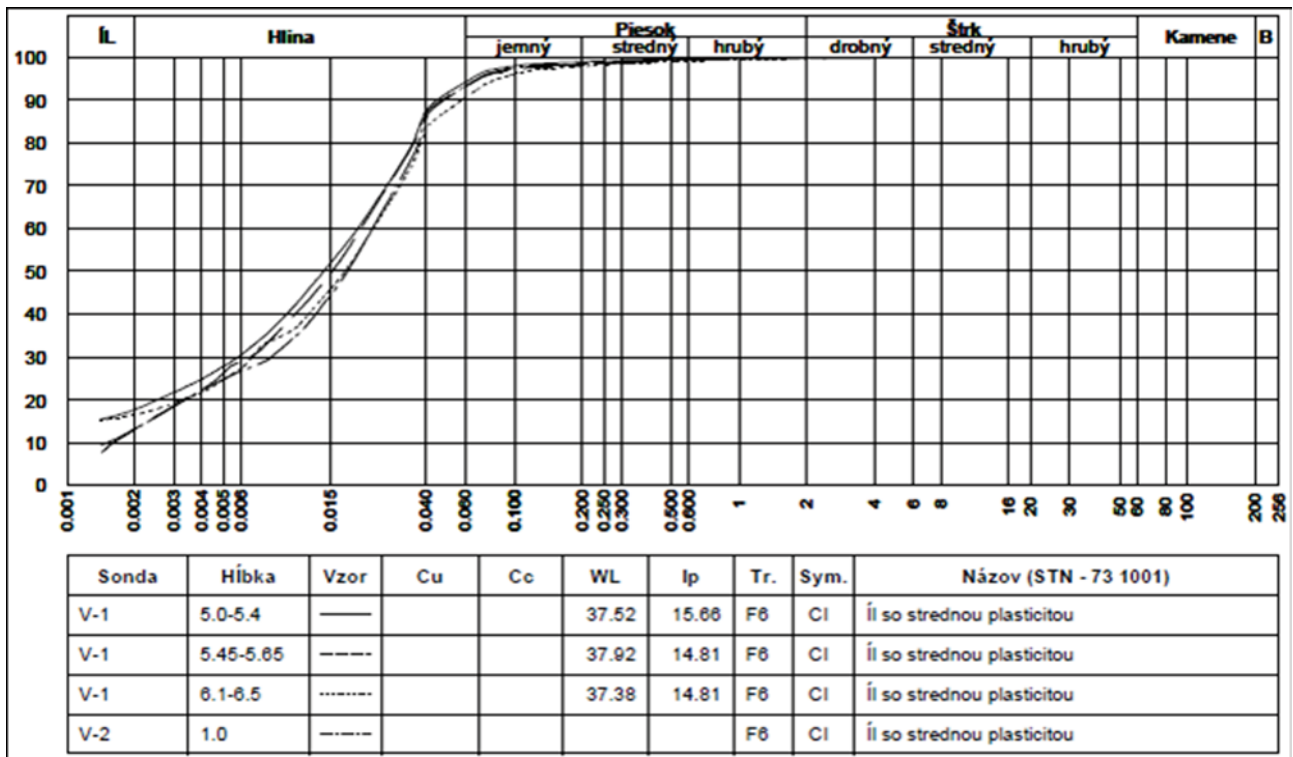
Obr. 9. Kráter na poli pri obci Veselé – detail (foto Dananaj).

Fig. 9. Crater in the field near Veselé (photo Dananaj).



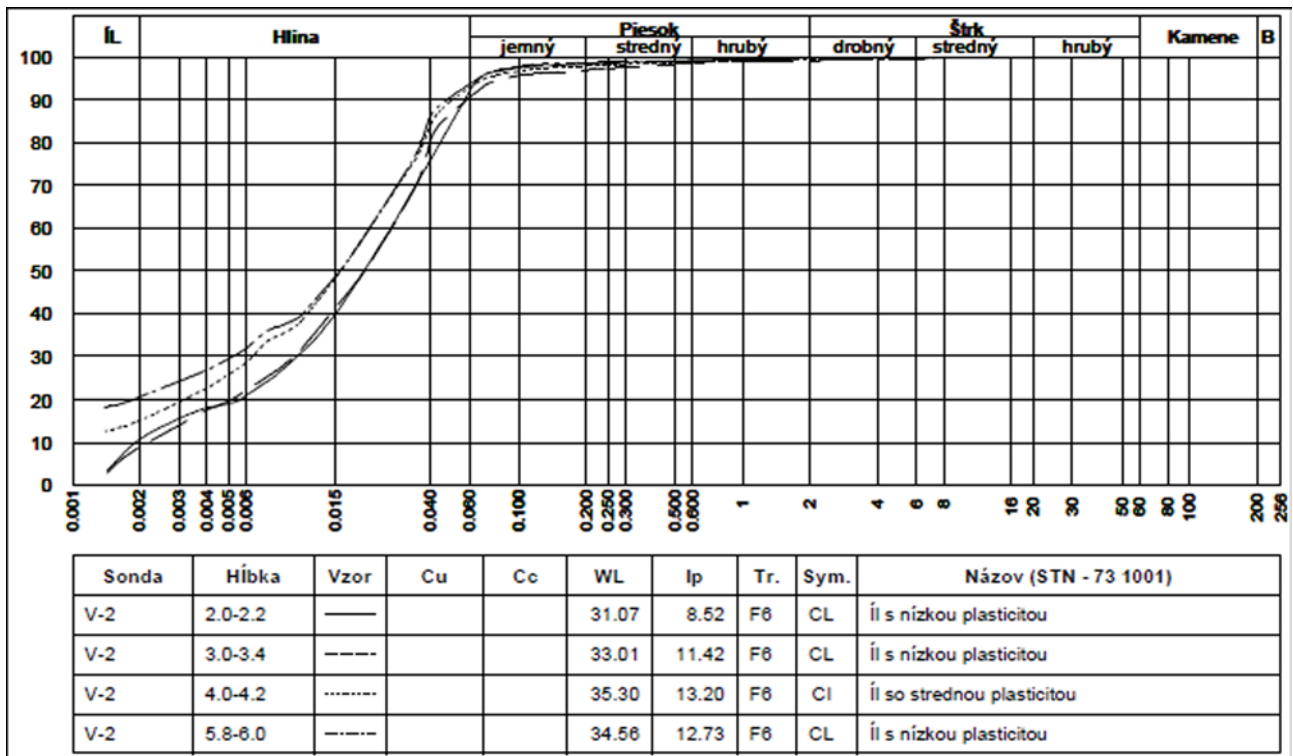
Obr. 10. Lokalizácia miesta prieskumu (© Google Earth).

Fig. 10. Location of investigated area (© Google Earth).



Obr. 11. Krivky zrnitosti zemín 1.

Fig. 11. Soil particle size distribution curves 1.



Obr. 12. Krivky zrnitosti zemín 2.

Fig. 12. Soil particle size distribution curves 2.

vrchnopleistocénneho veku. Ich hrúbka je variabilná (5 až 20 m) v závislosti od reliéfu a morfológie podkladu. Spráše boli naviate už na vymodelovaný povrch pahorkatiny. Časť sprašového pokryvu je risského, väčšinou však wümského veku. Piesčité spraše a sprašové hliny sú žltohnedej farby. Obsahujú pomerne drobné (1 – 2 cm) vápenaté konkrécie. Vo väčších hĺbkach pribúda podiel ílovitej zložky. V tomto prípade ide o hnedé, červenohnedé až svetlohnedé hlinité, ílovité a ílovito-piesčité zeminy.

Deluviálne sedimenty sa nachádzajú na okolitých svahoch úvalín a úvalinovitých dolín. Ide o preplavené spraše a sprašové hliny, často ílového charakteru tmavšej farby s menším obsahom CaCO_3 .

V laboratóriu inžinierskej geológie ŠGÚDŠ bolo vykonaných 8 stanovení vlhkosti, 8 rozborov zrnitosti, 8 stanovení konzistenčných medzí (medza tekutosti w_L a medza plasticity w_p) a 7 stanovení obsahu uhličitanov (obr. 11 a 12 a tab. 2).

Laboratórnymi analýzami bola v obidvoch sondách potvrdená prítomnosť typických spraší. Ide o zeminy charakteru ílov s označením CL až CI v zmysle STN 72 1001, teda o nízko až stredne plastické íly. V sonde V1 boli identifikované len zeminy tuhej konzistencie, v sonde V2 bol zaznamenaný prechod od tvrdej konzistencie v horných horizontoch cez pevnú konzistenciu v prechodnej zóne až po tuhú konzistenciu zhruba od hĺbky 4,0 m.

Charakteristický bol tiež úbytok uhličitanov smerom nadol, kde horizont okolo 1,0 m obsahoval až 17 % karbonátov a v horizonte od 4,0 m bol obsah uhličitanov nulový. Výsledky naznačujú, že tento jav je spojený s prítomnosťou kapilárnej zóny v sprašiach, ktorá sa nachádza nad súvrstvom zvodnených aluviálnych terasových štrkov (obr. 13).

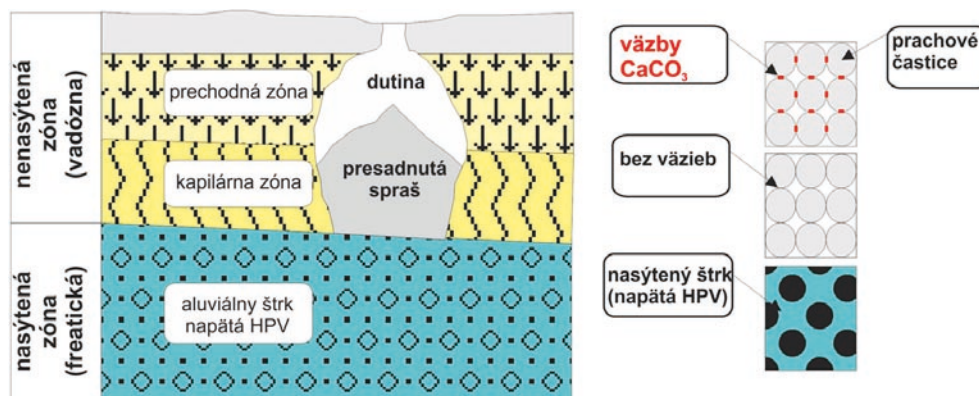
Nasvedčuje tomu aj prudký nárast vlhkosti od cca 11 % v horných horizontoch až po 22 % v hĺbke 6,0 m. V dôsledku vylúhovania karbonátov, ktoré predstavujú tmeliacu zložku obalujúcu jednotlivé aleuritické častice, dochádza k rapidnému oslabeniu štruktúrnych väzieb, ako aj k nárastu pórovitosti. Na rozhraní terasových štrkov a spraše sa vytvorila kaverna, ktorá sa rozširuje smerom nahor. Navyše, jemné aleuritické častice, ktoré opadávajú zo stropu, môžu byť odnášané v dôsledku prúdenia podzemnej vody cez zvodnené štrky.

Po skončení prieskumu pred začiatkom jarných prác na poli bol kráter zasypaný. Pozdĺž prístupovej cesty k skúmanému územiu bolo pozorovaných niekoľko menších prepadlín (obr. 14). Tie sa nachádzali v línii zavlažovacieho systému, čo indikuje jeho nesprávnu inštaláciu, prípadne úniky vôd.

Fenomén náhleho kolapsu spraší je na Slovensku dobre známy a v minulých rokoch zaznamenali podobné udalosti, ako sa stali v obci Veselé, tiež v Cíferi a Mária Családe (obr. 15).

Tab. 2
Výsledky klasifikačných rozborov
The results of classification analyses

Sonda	Hĺbka h [m]	Vlhkosť w_n [%]	Medza tekutosti w_L [%]	Medza plasticity w_p [%]	Index plasticity I_p [%]	Index konzistencie I_c [%]	Konzistencia	Trieda	Symbol	Obsah uhličitanov O_u [%]
V-1	5,0 – 5,4	22,2	37,52	21,86	15,66	0,98	tuhá	F6	CI	0,5
V-1	5,45 – 5,65	24,65	37,92	23,11	14,81	0,9	tuhá	F6	CI	4,25
V-1	6,1 – 6,5	24,7	37,38	22,57	14,81	0,86	tuhá	F6	CI	0,1
V-2	1	11,8								
V-2	2,0 – 2,2	12,1	31,07	22,55	8,52	2,23	tvrdá	F6	CL	17,06
V-2	3,0 – 3,4	17,86	33,01	21,59	11,42	1,33	tvrdá	F6	CL	11,54
V-2	4,0 – 4,2	19,63	35,3	22,1	13,2	1,19	pevná	F6	CI	0
V-2	5,8 – 6,0	21,97	34,56	21,83	12,73	0,99	tuhá	F6	CL	0



Obr. 13. Schéma vzniku skúmaného javu.

Fig. 13. Mechanism of the phenomenon origin.

V prípade bezprostredného ohrozenia človeka alebo majetku sa podobné správy dostávajú aj do médií. Príkladom je prípad prepadnutia záhrady v Trnave. Správa vyšla v novinách SME v pondelok 30. 6. 2008 (SME, 2008, <http://tv.sme.sk/v/4727/cast-zahrady-sa-im-prepadla.html>). V záhrade vznikla približne dva a pol metra hlboká jama s priemerom asi tri metre. Stena bola pravidelná. Verzia, že tadiaľ viedla podzemná chodba do Bieleho Kostola z tureckých čias, sa nepotvrdila. Predpokladá sa, že išlo o zaspanú studňu, hoci sa nezistila jej konštrukcia. Do jedného metra ide o ornicu, pod ňou je spraš. Majiteľ jamu zasypal.

Ďalším prípadom bola správa o kráteri, ktorý ohrozuje statiku bytového domu v Novom Meste nad Váhom, z pondelka 22. 9. 2008 v denníku SME (SME, 2008, <http://www.sme.sk/c/4087878/trojmetrovy-krater-ohrozuje-statiku-bytového-domu.html>). Na Karpatskej ulici v Novom Meste nad Váhom sa v suteréne domu vytvoril kráter hlboký vyše troch metrov a široký dva metre. Stabilita objektu bola narušená, podľa statika nehrozila havarijná situácia okamžite, avšak z dlhodobého hľadiska to bol neudržateľný stav. Problém vznikol, pretože do podlažia 43-ročnej stavby asi 20 až 30 rokov stekala voda z odvodňovacieho rigola, ktorá násyp vyplavila a vytvorila hlboký kráter.

Zhrnutie poznatkov z monitorovania

Objemovo nestále zeminy tvoriace základovú pôdu sú z inžinierskogeologického hľadiska nebezpečné, v mnohých prípadoch vyvolávajú porušenie podzákľadia a havárie základových konštrukcií alebo objektov na nich postavených. Z tohto dôvodu objemovo nestále zeminy zaradujeme k nespoľahlivým základovým pôdam. Presadanie, zmršťovanie a napúčanie sú vlastnosti zemín spôsobujúce objemovú nestabilitu, vedúcu k nežiaducim zmenám základovej pôdy.

Na registrovaných objektoch boli najviac postihnuté okenné otvory, rohy obvodových stien, vstupné brány a portály. Hlavnými príčinami porúch na objektoch je infiltrácia vody do podzákľadia objektov a s ňou súvisiace zhoršovanie vlastností zemín, ako aj zníženie únosnosti



Obr. 14. Podobné krátery pozdĺž prístupovej cesty (foto Dananaj).
Fig. 14. Similar crater near the access road (photo Dananaj).

základovej pôdy, nárast nerovnomerného sadania základov po preťažení podlažia, možnosť presadnutia zeminy v dôsledku pôsobiaceho zvislého napätia v prípade, keď je zemina nasýtená vodou na kritickú vlhkosť presadnutia. Preťaženie podlažia vyvoláva vznik trhlín na budovách od lokálneho výskytu nadmerných šmykových napätí spôsobených v základoch a v nosných horných častiach budov. Môže byť zapríčinené nedostatočnou šírkou plošných základov vlastnej budovy, prípadne koncentráciou zaťaženia preneseného z príslušného objektu (napríklad statickými účinkami výškovej budovy) alebo dynamickými účinkami z cesty alebo železnice s častou alebo občasnou dopravou ťažkotonážnymi vozidlami.

Prvé trhliny základových a nosných konštrukcií vrchnej stavby budovy vznikajú na mieste, kde pôsobí maximálna priečna sila, teda aj maximálne šmykové napätie, pričom trhliny sú orientované v smere plochy pôsobenia tohto napätia a rozovierajú sa v smere kolmom na smer ich pôsobenia.

Popri uvedených faktoroch pôsobiacich na veľkosť deformácií a šírenie porúch rozhoduje tiež časový faktor, v ktorom sa zatažovací proces uskutočňuje. Príčinami porúch na objektoch je teda nerovnomerné sadanie v závislosti od zvislého napätia, ktoré pôsobí na základovú pôdu, a zmeny fyzikálno-mechanických vlastností prebiehajúce vplyvom zvyšovania plasticity a štruktúrnych zmien podlažia tvoreného presadavými sedimentmi v časovom slede podľa množstva zatečenej vody do podzákľadia budovy alebo zvýšeného zaťaženia (príťaženie vlastnou stavbou, príťaženie susednou stavbou, otrasy spôsobené vozidlami, atď.).



Obr. 15. Kolaps pôdy pri Mária Családe (foto Liščák).
Fig. 15. Crater at Mária Csalad (photo Liščák).

Záver

Monitorovanie objemovo nestálych zemín okrem nesporného teoretického prínosu v poznaní ich štruktúry a laboratórne zisťovaných vlastností prinieslo rad cenných praktických výsledkov. Preukázalo sa, že poruchy na stavbách sú zapríčinené viacerými faktormi, pričom objemové zmeny zemín podzákľadia môžu (ale nemusia) predstavovať jeden z najdôležitejších. Jednoznačne sa preukázalo, že najčastejšou príčinou porúch je prítomnosť zvýšeného množstva vody v základovej pôde a s tým súvisiace objemové zmeny zemín. Na tieto skutočnosti boli upozornení viacerí majitelia poškodených objektov a po odstránení prvej príčiny poruchy bola vo viacerých prípadoch monitorovaním preukázaná stabilizácia prostredia stavby a jej základov. Vďaka monitorovaniu sa takto vykonala aj rozsiahla edukačno-popularizačná činnosť vo veľkom množstve obcí postavených na objemovo nestálych zeminách.

Po podrobnej registrácii javov v rokoch 1994 – 2000 boli systematické monitorovacie práce v rámci tohto pod-systému značne obmedzené a od roku 2007 vzhľadom na nedostatok finančných prostriedkov zastavené a zamerali sa iba na riešenie náhlych havárií v predmetnom prostredí. Príkladom takéhoto riešenia je opísaná problematika v lokalite Veselé pri Piešťanoch. Vďaka bohatým poznatkom získaným počas monitorovania môžeme analogické prípady kvalifikovane riešiť aj v budúcnosti a súčasne tak obohatovať vlastný súbor teoretických i praktických poznatkov o objemovo nestálych zeminách a o ich vplyve na stavebnú činnosť v rôznych častiach Slovenska.

Podakovanie. Autori príspevku vyjadrujú vďaka MŽP SR za umožnenie publikovať čiastkové výsledky riešenia úlohy Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory, subsystém – Objemovo nestále zeminy.

References

- BIELA, A., 1978: Hlboké vrty v zakrytých oblastiach vnútorných Západných Karpát. Záhorská nížina, Podunajská nížina. *Region. Geol. Západ. Karpát*, 10, 1 – 223.
- BODIŠ, D., RAPANT, S., KHUN, M., KLUKANOVÁ, A., LEXA, J., MACKOVÝCH, D., MARSINA, K., PRAMUKA, S. & VOZÁR, J., 1999: Geochemický atlas Slovenskej republiky – Riečne sedimenty. *GS SR, Bratislava*, 145 s.
- KLUKANOVÁ, A. & FRANKOVSKÁ, J., 1995: Monitoring of collapsible soils in Slovakia. *Slovak Geol. Mag.*, 3, 179 – 190.
- KLUKANOVÁ, A., IGLÁROVÁ, L., WAGNER, P., HRAŠNA, M., FRANKOVSKÁ, J., MIKITA, S., CIPCIAR, A., BAJTOŠ, P., SMOLÁROVÁ, H., GLUCH, A., VLČKO, J., BODIŠ, D., ONDRÁŠIK, M., ONDREJKA, P., LIŠČÁK, P., PAUDITŠ, P., PETRO, L., DANANAJ, I., HAGARA, R. & MOCZO,

- P., 2011: Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory (správa za obdobie 2002 – 2009), monitorovanie GF ŽP. *MŽP SR, Št. Geol. Úst. D. Štúra*, 920 s.
- KLUKANOVÁ, A., WAGNER, P., IGLÁROVÁ, L., ONDRÁŠIK, M., JÁNOVÁ, V., LIŠČÁK, P., MATYS, M., VLČKO, J., KOVÁČIKOVÁ, M., HRAŠNA, M., BODIŠ, D., MOCZO, P., FRANKOVSKÁ, J., RAPANT, S., JELÍNEK, R., PAUDITŠ, P., PETRO, L., POLAŠČINOVÁ, E., KOVÁČIK, M., SCHERER, S., KRISTEKOVÁ, M., LABÁK, P., DANANAJ, I., SPIŠÁK, Z., JADROŇ, D., VYBÍRAL, V., HOLZER, R., MALGOT, M., BALIAK, F., JÁNOŠ, J., GAJDOŠ, V., LETKO, V. & MIKA, R., 1998: Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia Slovenskej republiky, stav k 31. 12. 1997. Čiastková záverečná správa. *GS SR, Bratislava*.
- MAGLAY, J., PRISTAŠ, J., NAGY, A., FORDINÁL, K., ELEČKO, M., HAVRILA, M., BUČEK, S., KOVÁČIK, M. (BA), HÓK, J., BARÁTH, I., KUBEŠ, P., KUCHARIČ, L., MALÍK, P., KLUKANOVÁ, A., LIŠČÁK, P., ONDRÁŠIK, M., ZUBEREC, J., BALÁŽ, P., ČURLÍK, J. & ŠEFČÍK, P., 2011: Vysvetlivky ku geologickej mape Podunajskej nížiny – Trnavskej pahorkatiny 1 : 50 000. *Vyd. D. Štúra, ŠGÚDŠ, Bratislava*, 322 s.
- MAZÚR, E. & LUKNIŠ, M., 1986: Geomorfologické členenie SSR a ČSSR. 1. vydanie. *Slovenská kartografia, Bratislava*.
- MC CARTHY, D. F., 1998: Essentials of Soil Mechanics and Foundation. Basic Geotechnics, 5th edition, Prentice Hall, New Jersey, 730 p.
- PJANKOV, S. A. & AZIZOV, Z. K., 2008: Механика грунтов, Учебное пособие, Ульяновский государственный технический университет, 103 s.
- POWRIE, W., 1997: Soil Mechanics. Concepts and Applications, Chapman & Hall, London UK, 420 p.
- STN 83 8106, 2004: Skládkovanie odpadov. Tesnenie skládok odpadov. Navrhovanie, zhotovovanie, kontrola a technické požiadavky, schéma Jemnozrnné sedimenty na Slovensku.
- STN 72 1001, 2010: Klasifikácia zemín a skalných hornín.
- SALAI, M., 1981: Závlahy pozemkov zo zdrže Sĺňava, 5. stavba – Veselé, IGP. *Hydroconsult, Bratislava*, 30 s.
- ŠAJGALÍK, J., 1985: Spráše Slovenských Karpát a ich inžiniersko-geologické vlastnosti. Doktorská dizertačná práca. *Slovenská vysoká škola technická, Stavebná fakulta, Bratislava*, 372 s.
- ŠÚTOR, J. & GOMBOŠ, M., 2001: Kvantifikácia pôdneho sucha ilovitohlinitých pôd. Bioklimatologické pracovné dni 2001: Extrémy prostredia (počasie) – limitujúce faktory bioklimatologických procesov, Medzinárodná vedecká konferencia, Račková dolina, 7 s.
- TABOADA, M. A., 2003: Soil Shrinkage Characteristics in Swelling Soils, Lecture given at the College on Soil Physics, Trieste, 3 – 21.
- ZAVORAL, J. (ed.), 1987: Metodiky laboratorných zkoušek v mechanice zemin a hornin. I. Mechanika zemin – metodiky, ČGÚ Praha, 190 s.
- <http://tv.sme.sk/v/4727/cast-zahrady-sa-im-prepadla.html>) 30. 6. 2008.
- <http://www.sme.sk/c/4087878/trojmetrovy-krater-ohrozuje-statiku-bytoveho-domu.html>) 22. 9. 2008.

Rukopis doručený 7.11.2012

Revidovaná verzia doručená 15. 1. 2013

Rukopis akceptovaný red. radou 27.2. 2013

Problems of monitoring of volume unstable soils and their properties: A case study Veselé (Slovakia)

Eolian sediments cover nearly 7 000 km², which is approximately 14 % of the total area of Slovakia. Soil volume changes are studied within the project Partial Monitoring System – Geological Factors, the Subsystem of Volume Unstable Soils. The environmental monitoring has been

carried out in Slovakia since 1993. At the beginning, the Subsystem was focused on collapsible soils. Registration of objects disorders has shown that the failure was caused not only by collapsing soils, but in many cases, especially in the Východoslovenská nížina Lowland (Eastern Slovakia),

by the swelling. Since 1999, this Subsystem was therefore extended to monitoring of the volume unstable sediments. The Subsystem has been interrupted in 2007 due to the reallocation of the budget to emergency landslides. Since then only a monitoring of considerable events of Earth's surface material rupture has run, such as a collapse of land in the cadastre of Veselé in 2007.

The purpose of monitoring is to watch and evaluate the mechanism of volume changes of soil, surface signs and changes of the geological environment, to predict their effects in time and space and also provide measures for reduction of their effects to an acceptable level.

The monitoring was conducted mainly on the territory of Podunajská nížina and Východoslovenská nížina lowlands. The volume unstable soils in Slovakia are collapsible soils (Quaternary eolian sediments), swelling clays (Neogene and Quaternary clays, Fig. 2) and strongly overconsolidated clayey soils. Fig. 1 shows areas with soils prone to volume changes in Slovakia.

The volume unstable soils usually do not pose an immediate threat to the health and lives of people. However repeated wetting and drying resulting in cyclic enlarging and contraction of volume, and thus repeated stress changes, are a significant cause of damage to property.

The goals of the monitoring

The fundamental goals of the volume unstable soils monitoring include regional identification of the volume unstable sediments, registration of damaged buildings, changes in the number of damaged buildings in time, monitoring of the volume unstable soils sensitivity and knowledge generalization for other areas with similar geological structure.

Characteristics and evaluation methods of the monitoring include identification of areas with the occurrence of the volume unstable sediments, inventory of damaged buildings (Figs. 3 and 4), objects failure monitoring, i.e. qualitative and quantitative changes in cracks (Tab. 1), sampling of disturbed and undisturbed soil samples, laboratory determination of physical and mechanical properties of soils, determination of mineral composition of soils and study of internal structure of soils.

When registering damaged objects, collected data were recorded in a data sheet. The data sheet includes location information, type of objects information, photograph or drawing of damaged parts, geological and geomorphological characteristics of the area, description of failure changes, failure changes over time, probable cause of failure and foundation soil properties, if known. The undisturbed and disturbed soil samples were taken for the laboratory soil characterization. Basic classification analyses were performed, as well as determination of carbonate content, organic matter, collapsibility (loess) and swelling (swelling soil) tests. Total of 452 damaged buildings in 72 municipalities on the territory of the Podunajská nížina Lowland were registered, as well as 1 008 damaged buildings in 66 municipalities within the Východoslovenská nížina lowland.

Increase in humidity, load increment, or combination of both, are the most often reasons of collapses.

Results

The total of 81 soil collapsibility tests and 35 of swelling measurements were performed. The results are shown in histograms (Figs. 5 and 6).

The highest values of the collapsibility coefficient were detected in samples from Trnava and Zeleneč (value more than 5). Liquid and plasticity limit values were used for Van der Merve method, which defines swelling potential. Studied soils were divided into four categories with very high, high, medium, and low swelling potential (Fig. 7).

The registered objects were mostly affected at window openings, corners of exterior walls, gateways and portals. The main causes of objects failures were infiltration of water into the subsoil and related deterioration of soil properties, as well as the reduction of foundation soil bearing capacity, foundation uneven subsidence due to overload.

The damaged buildings owners have been informed on the causes of failure and instructed what to do and after removal of the primary cause of the problem the following monitoring demonstrated numerous cases of the environment, building and foundation stabilizations. Due to monitoring an extensive educational and popularization activities were done in a large number of villages built on volume unstable soil.

Case study Veselé

Soil collapse occurred in the agricultural soil near the municipality of Veselé in November 2007. A crater with diameter of 1.5 m, and about 3.5 m deep was identified in a typical loess soil (Figs. 8, 9 and 10). Two boreholes were drilled at the site and 8 samples were collected for soil classification and other laboratory analyses. The laboratory analyses confirmed the presence of typical loess in both probes (Figs. 11 and 12; Tab. 2). There has been found a shift from hard consistency in the upper horizons through a solid consistency in the transitional zone to the stiff consistency at the depth of about 4.0 m. There was also a conspicuous downward depletion in carbonates content, from 17 % at the top to 0 % at a depth of 4.0 m. The phenomenon is probably related to the presence of capillary zone in loess, which is located above water-logged alluvial terrace gravels (Fig. 13). Leaching out of carbonates, which represent bonding component enclosing individual aleuritic particles, led to a rapid weakening of the structural bonds and to an increase in porosity. A cavern was formed at the contact of terrace gravels and loess. Moreover, fine aleuritic particles falling from the top at the contact of loess with underlying terrace gravels, could have been transported by the groundwater flow (hydraulic piping) through the gravel aquifer.

Similar craters were observed near the road to the studied locality (Fig. 14). Similar cases of soil collapse were reported from Maria Csalad (Fig. 15), Cífer, Trnava, Nové Mesto nad Váhom, etc.