

GEOTECHNICKÝ MONITORING PORTÁLOVÝCH OBLASTÍ TUNELOV V PODMIENKACH SLOVENSKA

GEOTECHNICAL MONITORING OF TUNNEL PORTAL AREAS IN CONDITION OF SLOVAK REPUBLIC

Vladimír Gróf¹

ABSTRAKT

Príspevok prezentuje skúsenosti z plánovania, inštrumentácie a vykonávania kontrolných meraní na portáloch dopravných tunelov v Slovenskej republike počas ich realizácie. Analyzovaná je vhodnosť rôznych monitorovacích metód pri zabezpečovaní dočasnej stability portálov. Pozornosť bude sústredená na meranie deformácií pod povrchom a na povrchu, napätí a tlakov v geotechnických konštrukciách ako aj v horninovom masíve a to manuálnym aj automatizovaným spôsobom. Stručne budú predstavené aj nové možnosti modernej meracej techniky pri kontrole kvality prevedenia geotechnických objektov.

ABSTRACT

The article presents experience from planning, instrumentation and executing of control measurements on the portals of transport tunnels in Slovak Republic during their implementation. The suitability of different monitoring methods in order to ensure temporary stability of the portals is analyzed and attention will be focused on measuring of subsurface and surface deformations, tension and pressure in geotechnical constructions as well as in rock mass in both manual and automated way. The new possibilities of modern measurement technology which is used for checking the quality of design of geotechnical objects will be also presented in brief.

1 Úvod

V deväťdesiatych rokoch minulého storočia sa po desaťročiach absencie výstavby tunelov na Slovensku začalo s prípravou a realizáciou líniových podzemných diel. Už pri prvých projektoch sa ukázalo, že v slovenských podmienkach bude významným problémom stabilita portálových oblastí. Problémy boli zaznamenané na východnom portáli tunela Branisko a západnom portáli prieskumnej štôlne pre tunel Višňové. Podpovrchové deformácie tu dosahovali značné hodnoty a bezprostredne ohrozovali postup výstavby a jej bezpečnosť. Geotechnický monitoring (GTM) sa v tom období nevykonával systematicky. Za uplynulých 20 rokov bol zaznamenaný v Slovenskej republike významný pokrok nielen v oblasti GTM-inštrumentácie, v prenose dát, ale aj v celkovom prístupe kompetentných. Došlo aj k spracovaniu predmetných technologických predpisov (TKP časť 28 a 35 pre cestné staviteľstvo). Predpokladom, aby geotechnický monitoring splnil očakávania zúčastnených na výstavbe, je vypracovanie kvalitného projektu a jeho profesionálna realizácia. Článok podáva prehľad o súčasnom stave a možnostiach meracích metód a systémov. Pozornosť je venovaná aj meraniam slúžiacim na kontrolu prevedenia geotechnických konštrukcií.

¹ Ing. Vladimír Gróf, PhD, Geoexperts, spol. s r.o., Smaragdová 588/3, 010 09 Žilina, tel.: 041/5006915, e-mail: grof@geoexperts.sk

2 Zameranie polohového priebehu vrtu

Geotechnické zabezpečenie portálovej oblasti spravidla vyžaduje realizáciu vrtov, ktoré musia byť presne orientované, aby splnili svoju úlohu – napríklad znížili pórové tlaky vody na šmykovej ploche (odvodňovacie vrty) alebo vytvorili ochrannú klenbu budúceho výrubu (dáždnik). Na druhej strane nesmú tieto vrty poškodiť stávajúce objekty (inžinierske siete, monitorovacie vrty, kotvy a pod.) a zasahovať do budúceho výrubu tunela. K zameraniu polohy týchto vrtov existuje viacero meracích systémov. V zásade rozlišujeme meracie systémy určené pre zameranie vrtov vystrojených oceľovými výpažnicami alebo pre zameranie vrtov, v ktorých nie sú prítomné oceľové rúry. Pre meranie zvislých vrtov slúži špeciálny vertikálny inklinometer so sútyčím pre stanovenie orientácie.

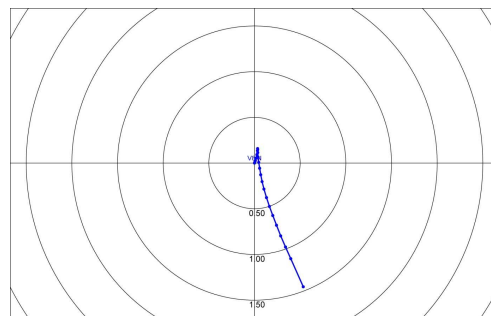
Maxibor je deflektometer pracujúci na optickom princípe s integrovaným snímačom merajúcim uhol. Meracia sonda sa v krokoch rovnajúcich sa polovičnej dĺžke sondy postupne centricky zasúva do vrtu; v každom meracom bode sa stanoví zmena smeru vrtu vo vzťahu k predošlej pozícii. Dĺžka sondy je 8,5 alebo 6,5 m a jej priemer 44 mm. Presnosť merania je 1/1000 dĺžky vrtu, teda pri 100 m dlhom vrte $\pm 0,1$ m v určení jeho polohy. Maxibor sa využíva najmä pre zameranie subhorizontálnych vrtov s oceľovými výpažnicami (rúrami); najčastejšie aplikácie sú kotvy, dáždniky a zmrazovanie zemín. Maxibor nie je možné použiť pre vertikálne vrty a šikmé s odklonom do $\pm 10^\circ$ od vertikály.

Gyrosmart zameriava smer vrtu zotrvačnickým kompasom (gyrokompasom). Voľne sa pohybujúci symetrický zotrvačník (gyroskop) si uchováva smer svojej osi otáčania. K určeniu polohy vrtu sa využíva smer meracej sondy vzťahujúci sa k tejto osi otáčania. Gyrosmart pracuje nezávisle od magnetického poľa a teda nezaznamenáva žiadne magnetické deklinácie. Dĺžka sondy je 1,8 m, jej priemer 40 mm. Presnosť merania náklonu činí $\pm 0,2^\circ$, azimutu $\pm 0,5^\circ$. Gyrosmart sa využíva na zameranie vrtov vystrojených oceľovou rúrou.

Multismart stanovuje smer sondy vzťahujúci sa k magnetickým pólom Zeme. Používa sa vo vrtoch, v ktorých nie je žiadne podstatné rušenie magnetického poľa Zeme. Nemožno ho teda spoľahlivo aplikovať vo vrtoch s oceľovými výpažnicami alebo vrtoch, ktoré prebiehajú vedľa zemných kotiev, dáždnikov, oceľového vystuženia a magneticky pôsobiacej horniny. Dĺžka sondy je 1,8 m; jej priemer 38 mm. Presnosť merania náklonu činí $\pm 0,2^\circ$, azimutu $\pm 0,3^\circ$. Najčastejšie aplikácie sú v nezapažených vrtoch veľkej hĺbky. Pokiaľ je zapažený len počiatočný úsek vrtu, je možné v mnohých prípadoch Multismart použiť s tým, že sa počiatočný úsek zameria geodeticky.

Špeciálny vertikálny inklinometer je vybavený dvojosým veľmi presným snímačom náklonu. Meracia sonda je opatrená centrovaním a v krokoch sa zasúva pomocou sútyčia do vrtu. Sútyčie je tuhé, aby bolo odolné voči krúteniu a slúži k orientácii sondy. Meranie vrtu sa vykonáva v dvoch polohách sondy, čím sa výrazne eliminujú možné chyby merania. Dĺžka sondy je 1,5 m; jej priemer 70 mm. Presnosť merania náklonu činí $\pm 0,5$ mm/m, azimutu $\pm 2^\circ$. Inklinometer sa používa najmä na zameranie vertikálnych zapažených aj nezapažených vrtov do hĺbky 50 m. Pri odklone vrtu od vertikály väčšom ako 10° presnosť merania výrazne klesá.

Namerané hodnoty z meracích systémov sa zaznamenávajú elektronicky a možno ich vyhodnotiť bezprostredne po meraní numericky aj graficky a to buď v súradnicovom systéme alebo ako odchýlka od predpísaného smeru a náklonu (obr.1).



Obr.1 Výstup z polohového zamerania vrtu
Fig.1 Borehole Surveying

3 Meranie dlhodobej sily v kotvách

Na meranie dlhodobej sily v predpäťých kotvách neboli v 90-tych rokoch aplikované snímače, ale zhlavie vybratých kotiev sa upravovalo tak, aby sa mohla v budúcnosti sila v kotve zmerať pomocou hydraulického lisu. Nakoľko kotvy sú umiestnené na ťažko prístupných miestach, uvedené riešenie sa v praxi neosvedčilo a na západnom portáli tunela Horelica z tohto titulu nie je možné vykonávať kontrolné merania sily v kotvách. Neskôr sa presadili dynamometre – hydraulické snímače umiestnené pod hlavou kotiev. Sila v nich sa odčíta priamo na manometri (napr. západný portál tunela Višňové) alebo prostredníctvom elektrického prevodníka je signál privedený k spoločnému miestu zberu dát. V ostatných rokoch sa presadzujú u lanových kotiev aj magnetoelastické snímače, aplikované napríklad na portáli železničného tunela Turecký vrch. Nevyhnutným predpokladom výberu konkrétneho typu dynamometra je poznanie veľkosti maximálnej kotevnej sily a priemeru resp. usporiadania kotevných lán alebo tyče. Inštaláciu dynamometrov vykonáva spravidla samotný zhotoviteľ kotiev. Neodporúča sa využívať neoverené meracie systémy a nekvalitné snímače, pretože výmena chybného dynamometra je časovo aj technologicky náročná.

4 Meranie dlhodobej sily v klincoch (svorníkoch)

V zemných klincoch a im príbuzných prvkoch (svorníkoch), kde sa prenos zaťaženia do horninového prostredia uskutočňuje prostredníctvom celého povrchu prvku, nie je zmyselné merať silu pod hlavou kotvy. Na meranie sily v klincoch sa vyrábajú špeciálne meracie klince. Merací kliniec (svorník) je rovnakého typu a dĺžky ako normálny kliniec aplikovaný na monitorovanom objekte, má ale integrované extenzometre alebo tenzometre pre meranie predĺženia svojho tela. V praxi sa často volia 4 hĺbkové úrovne – napríklad sa vyrobí merací kliniec dĺžky 6m, umožňujúci merať predĺženia v jednotlivých meracích úsekoch 0 – 1,5 m; 1,5 – 3 m; 3 – 4,5 m; 4,5 – 6 m. Z týchto nameraných hodnôt možno vypočítať sily v klinci, pričom treba zohľadniť nielen oblasť pružnosti ale aj plasticity. Samotné meranie sa vykonáva číselníkovým odchýľkomerom, posuvným digitálnym meradlom alebo odčítacou jednotkou pre zvolený typ tenzometrov.

5 Meranie tlaku vody v horninovom masíve portálu

Vrtné firmy sú u nás často dopytované budovaním studní pre obyvateľstvo a pre vrtné osádky je vystrojenie takejto studne zaužívaným štandardom. Pokiaľ objednávateľ geotechnického monitoringu v zosuvnom území nie je dostatočne kompetentný, vystrojí mu vrtná osádka hydrogeologický monitorovací vrt štandardne ako malopriemerovú studňu, teda nevhodne. Piezometrické meranie v rúrach perforovaných vo viac metrových úsekoch, či dokonca po celej hĺbke (s výnimkou tesnenia na povrchu), totiž s vysokou pravdepodobnosťou neposkytnú v zosuvných územiach dostatočne detailné informácie o skutočnom potenciáli podzemnej vody, nakoľko vertikálna geologická heterogenita je v zosuvoch veľmi častá. Skutočné nárasty tlaku vody v póroch málo priepustnej zeminy ($k < 10^{-6}$ m/s) tak ostanú neodhalené, nakoľko je tento potenciál odbúraný „by-passom“ do priepustnejších vrstiev zeminy. Autor sa domnieva, že viacero svahových pohybov pri budovaní dopravnej infraštruktúry u nás sa neočakávalo práve z dôvodu straty týchto informácií. Na Slovensku býva taktiež zvykom v rámci geologického prieskumu zosuvných území portálov obvyklé inštrumentovať dvojičku monitorovacích vrtov: jeden ako hydrogeologický a druhý ako inklinometrický vrt. Ich vzájomná vzdialenosť býva nezriedka príliš malá a tak dochádza pri ich realizácii k zakolmatovaniu filtra piezometra bentonitocementovou (BC) zálievkou z inklinometrického vrtu. Tým znova dochádza k strate informácií resp. skresleniu hodnôt skutočných tlakových pomerov vody, žiaľ, podobne ako

v predošlom prípade nie na stranu bezpečnosti. Je preto potrebné, aby sa hydrogeologický vrt nielen zabudoval ako piezometrický (s krátkymi filtračnými úsekmi) ale aj vo väčšej vzdialenosti od inklinometrického vrtu. Ak z dosiaľ uvedeného vyplýva, že piezometrické merania si vyžadujú v nehomogénnom horninovom prostredí bodový charakter, teda utesnenie krátkej filtračnej časti zhora aj zospodu, vynára sa otázka, či nevyužiť aplikovanú bentonito-cementovú zálievku v inklinometrickom vrte na utesnenie jednotlivých úrovní piezometrov, ktoré by boli umiestnené v tomto vrte. Autor sa domnieva, že pokiaľ pri inštrumentácii tohto inkliho-piezometrického vrtu bude prítomný kompetentný geológ alebo geotechnik, je táto možnosť prípustná. Ohľadne typu piezometrov, sú 3 možnosti inštrumentácie:

a, Perforujeme krátky úsek samotnej inklinometrickej pažnice. Táto možnosť je obvyklá len v spodnej časti inklinometrického profilu, najmä ak vrt siaha až do skalného podlažia a chceme vyšetriť tlak vody v jeho puklinách. Inklinometrický profil má pomerne veľký priemer a tým je referenčný čas (čas potrebný na odmeranie skutočnej zmeny tlaku vody) u málopriepustných zemín príliš dlhý. Zároveň treba dbať, aby sa do vnútra inklinometrického profilu neinfiltrovali nečistoty a tým neznížila presnosť meraní podpovrchových deformácií.

b, Popri inklinometrickej pažnici inštalujeme otvorené mikropiezometre. Otvorené mikropiezometre sú plastové rúrky malého priemeru (cca. 12 až 16 mm), ktoré sú v záujmovej hĺbke ukončené krátkym filtrom. Tento typ piezometra je lacný a spoľahlivý, pokiaľ pohyb na šmykovej ploche neznemožní samotné meranie. Na merania využívame špeciálne elektronické mikrohladinomery priemeru len cca. 6 mm. Pokiaľ používame jemnozrný obsyp filtra, je inštalácia v rôznych polohách najmä hlbších vrtov náročná. V praxi sa ale využívajú rôzne metódy, ako sa obsypu filtra piezometra vyhnúť. Ak si uvedomíme, že najčastejšie vrtáme priemerom 110 mm a v zosuvoch používame inklinometrické profily s vonkajším priemerom až 84 mm, môžeme filter piezometra viacmenej oprieť o stenu vrtu a celý vrt vyplniť bentonitocementovou zálievkou. Skúsené firmy majú rôzne techniky prečistenia filtra piezometra resp. narušenia tesnosti tuhnúcej zálievky v mieste filtra.

c, Popri inklinometrickej pažnici inštalujeme uzavreté piezometre (snímače). Uzavreté snímače predstavujú merací systém najlepšie vystihujúci skutočné pórové tlaky vody, nakoľko objem vody potrebný k zaznamenaniu zmeny tlaku je nepatrný. Sú viac odolné podpovrchovým deformáciám a umožňujú nielen diskkrétne merania, ale aj automatizovaný kontinuálny záznam použitím zbernice dát. Zabudovaný snímač nie je ale možné ani prepláchnuť, ani vymeniť – preto odporúčame používať kvalitnú meraciu techniku, ktorá vydrží merať spoľahlivo viacero rokov. Predovšetkým je dôležité antikoročné prevedenie a dlhodobá stabilita „nuly“, prípadne integrované kalibračné zariadenie. Vibračné piezometre tieto požiadavky spĺňajú, navyše vybavené špeciálnym filtrom nevyžadujú filtračný obsyp – môžu byť zaliatie bentonito-cementovou zálievkou spolu s inklinometrickou rúrou (*Gróf, Valter, 2009*). Nevýhodou je cena, jeden nainštalovaný vibračný piezometer renomovaného výrobcu vyjde na cca. 400,- Eur. Ak však uvážime, že cena samotného jednoduchého piezometrického vrtu budovaného ako dvojča s inklinometrom, je cca. 90,- Eur/m, predstavuje aj pri tejto variante inkliho-piezometrický vrt ekonomickejšie riešenie.

6 Meranie podpovrchových deformácií

Popri inklinometrických meraniach sa v Slovenskej republike využívali trojvektorové merania spájajúce koncepciu inklinometrických a deformetrických meraní už pri razení prieskumnej štôlne Ovčiarsko či pri realizácii západného portálu tunela Horelica. Tým sa získaval komplexný obraz o priestorovom priebehu deformácii pozdĺž meranej priamky a teda

bolo možné odlíšiť stabilitný problém od deformačného. Inou častou aplikáciou bolo vyšetriť veľkosť a orientáciu preddeformácii pred čelbou razenia podzemného diela ako aj následne sledovať oblasť rozvoľnenia horninového masívu vplyvom výrubu. Dnes sú inklino-deformetrické vrty štandardom pri sledovaní priortálových úsekov s nízkym nadložíím (v súčasnosti napr. západný portál tunela Považský Chlmec).

Skúsenosti z realizácie inklinometrických a deformetrických vrto v poukazujú na časté chyby pri budovaní týchto monitorovacích vrto, ktoré spočívajú v dvoch často praktizovaných nesprávnych postupoch:

a, BC-zálievka sa neaplikuje do odvráteného a inklinometrickým profilom vystrojeného vrtu zospodu injektorom, ale leje sa do vrtu zhora. Vo vrte naplnenom podzemnou alebo technologickou vodou sa tým zálievka rozriedi a nezodpovedá požiadavkám. Ak si je vrtná osádka toho vedomá a zvolí hustejšiu zálievku, často sa stane, že táto neklesne až na dno vrtu, ale utesní vrt v nejakej medzipolohe (zátku), pod ktorú sa už zálievka nedostane. Do monitorovacích vrto s prítomnosťou vody je preto bezpodmienečne nutné tlačiť zálievku odspodu.

b, Vrtná osádka po zaplnení vrtu BC-zálievkou okamžite inštaluje oceľovú ochranku vrtu, ktorú pribetónuje na ústie vrtu. Tým sa síce umožní merať inklinometricky a geodeticky čo najskôr, ale zálievka ešte nejaký čas preniká do priepustnejších polôh horninového prostredia a tak vznikne vo vrte pod povrchom nedoliaty úsek v dĺžke nezriedka aj niekoľko metrov, v ktorom sa inklinometrický profil môže voľne pohybovať.

Uvedené dve chyby pri budovaní inklinovrto sa prejavujú pri vyhodnocovaní inklinometrických meraní priebehom deformačnej krivky v tvare „S“. Nie sú to pohyby horninového prostredia, ale pretváranie sa inklinometrického profilu v zle zabudovanom vrte.

Stabilita svahov v portálových oblastiach sa tradične monitoruje prostredníctvom inklinometrických a piezometrických meraní. Pokiaľ piezometrické merania možno bez problémov automatizovať, štandardné inklinometrické merania sa musia vykonávať ručne vo vopred navrhnutých časových intervaloch. To je jednak finančne nákladné, jednak hrozí, že k neočakávanému pohybu na šmykovej ploche dôjde medzi jednotlivými etapami meraní a nebude teda možné naň operatívne reagovať. Preto sa v súčasnosti čoraz častejšie používajú vertikálne stacionárne (In-Place) inklinometre. Predpokladom efektívneho použitia stacionárnych inklinometrov je poznanie hĺbky šmykovej plochy, aby reťazec náklonomerných snímačov nemusel byť dlhý a teda drahý. Využívané sú najmä snímače MEMS (Micro-Electro-Mechanical Sensor) s tým, že vývoj ide smerom k čoraz väčšej automatizácii - automatizované meranie v dvoch polohách, dokonca robotizovaný (automatizovane sa pohybujúci) in-place inklinometer.



Obr. 2 Zbernice dát pre stacionárny inklinometer
Fig. 2 Dataloggers In-Place Inclinometer

7 Geodetické polohové meranie portálového územia

Inklinometrické meranie podpovrchových deformácií má relatívny charakter. Preto sa snažíme zvoliť takú hĺbku inklinometrického vrtu, aby sme mali istotu pevného bodu v päte vrtu. Požiadavku, aby sa aj napriek tomu na ústie inklinometrického vrtu (t.j. oceľovú ochranku vrtu) nainštalovala značka umožňujúca polohové geodetické meranie, považujem za správnu a to z dvoch dôvodov: jednak nám takýto bod umožní absolutizovať výsledky merania v prípade, že sa päta vrtu pohne (šmyková plocha bude vo väčšej hĺbke než päta vrtu) a jednak budeme môcť po prípadnom ustíhnutí vrtu pohybom na šmykovej ploche pokračovať v meraní deformácií aspoň na povrchu. Osobne by som ale považoval za zmysluplné merať geodeticky body na ústí vrtu len v týchto dvoch prípadoch a samozrejme po ich inštalácii ako východiskové (základné) meranie. V svojej 20-ročnej praxi som sa stretával so zhodnými výsledkami týchto dvoch meracích metód zväčša v mestských podmienkach pri monitorovaní deformácií pažiacich stien stavebných jám. V podmienkach zosuvných svahov dochádzalo často pri porovnaní hodnôt deformácie na povrchu terénu nameraných inklinometricky a geodeticky k sklamaniu z ich nesúladu. Za zdroj tohto nesúladu nepovažujem argument, že inklinometrické meranie je o dva rády presnejšie ako optické polohové meranie. Nemôžeme totiž presnosť meracej sondy vertikálneho inklinometra vydávať za systémovú presnosť celého meracieho zariadenia pre vertikálnu inklinometriu (sonda, kábel, odčítacia jednotka, meracie profily, kvalita zabudovania vrtu a subjektívne chyby zapríčinené meračom). Takáto systémová presnosť vertikálnej inklinometrie sa vo vrte hlbokom 30 m pohybuje podľa výrobcov v rozmedzí 2,5 až 5 mm, čo zodpovedá dosahovanej presnosti geodetických polohových meraní zosuvných území vykonávaných tachymetrami (5 mm). Tento fakt treba ale interpretovať tak, že ak odchýlky z nepresnosti budú u týchto dvoch meraní opačne orientované, vznikne centimetrový nesúlad v deformácii na povrchu. Nakoľko treba ale na šmykovej ploche prikladať vážnosť už i malým posunom v milimetroch, aby sme mohli včas reagovať na začínajúci pohyb po šmykovej ploche vhodnými stavebnými opatreniami, začnú namerané centimetrové odchýlky na povrchu vzbudzovať nedôveru v korektnosť nameraných hodnôt. Nedôveru zväčša stupňujú veľké deformácie namerané geodeticky na oceľových ochrankách vrtov, ktoré majú pôvod v premrznutí terénu, kolízii so stavebnými a poľnohospodárskymi strojmi, obtieraní sa dobytku, ako aj vandalizme.

V posledných rokoch v geotechnickej praxi sa popri tradičných meracích metódach, založených na inštalácii meracích miest priamo in situ, uplatňujú aj systémy diaľkového monitoringu spočívajúce v pozorovaní pohybov povrchu terénu. Pre geotechnický monitoring pohybu povrchu zosuvného územia sú v súčasnosti k dispozícii nasledovné diaľkové systémy:

- Robotizovaná totálna stanica (RTS) a bezhranolová robotizovaná totálna stanica (RRTS),
- Diferenciálny globálny polohový systém (D-GPS),
- Terestrická radarová interferometria: radar s reálnou (TInRAR) alebo syntetickou aparátúrou (TInSAR),
- Satelitná SAR interferometria (SInSAR,)
- Terestrické laserové skenovanie (TLS),
- Digitálna fotogrametria a obrazová korelácia (DP-DIC).

Hodnotenie jednotlivých metód je založené na presnosti, časovom rozlíšení, informačnej hustote, geometrii deformácií, spoľahlivosti a správnosti dát, stupni interakcie s povrchom/stavbou, cenou, priestorové rozlíšením, atmosférickým šumom, maximálnym operačným dosahom a veľkosťou monitorovanej oblasti (vid'. tab. 1).

Tabuľka 1 Kvalitatívne hodnotenie diaľkových systémov (Mazzanti, 2012)
 Table 1 Qualitative evaluation of remote techniques (Mazzanti, 2012)

	presnosť	časové rozlíšenie	priestorové rozlíšenie	hustota	geometria deformácií	interakcia	rozloha oblasti	operačný dosah	spoľahlivosť dát	atmosférický šum	cena
TLS											
TInSAR											
RTS											
RRTS											
SInSAR											
DP											
D-GPS											

veľmi nízka	nízka	stredná	vysoká	veľmi vysoká
-------------	-------	---------	--------	--------------

Výbornou metódou pre monitoring zosuvných území je na základe hodnotenia uvedeného v tabuľke č. 1 terestrická radarová interferometria so syntetickou aparatórou - efektívna za každého počasia, s veľmi vysokou vnútornou a vonkajšou presnosťou a vysokou hustotou informácií a rozlohou monitorovanej oblasti. Vhodné je aj terestrické laserové skenovanie, ktoré je síce menej presné a neefektívne v daždivom a oblačnom počasí, ale vďaka 3D-modelom poskytuje veľmi dobré zobrazenie výsledkov, veľmi vysokú hustotu informácií a meranie na veľké vzdialenosti. V stavebnej praxi u nás je najpoužívanejšia RTS metóda, ktorej výhodou je presný 3D-monitoring nenáročný na spracovanie dát. Nevýhodou je potreba cieľa (hranolov) a nižšia presnosť na veľké vzdialenosti.

8 Bezdrôtová sieť snímačov v portálovej oblasti

V oblasti portálov sa v rámci geotechnického monitoringu merajú rôzne veličiny, rôznymi meracími metódami a na rôznych meracích miestach, vzdialených od seba desiatky metrov, situovaných mnohokrát v ťažko prístupnom teréne (napríklad južný portál tunela Turecký vrch). Požiadavke vedeniu stavby, aby boli výsledky meraní dodávané operatívne, teda v čo najkratšom čase, možno vyhovieť v takomto prípade len tým, že sa merania zautomatizujú a zabezpečí sa on-line vizualizácia dát v kancelárii zariadenia staveniska. To sa doposiaľ na Slovensku dialo zväčša prostredníctvom káblového vedenia (napr. geotechnický monitoring severného portálu tunela Sitina). V hrubých podmienkach stavby je káblové vedenie vždy zraniteľný prvok, navyše pri poškodení jedného snímača nastane výpadok aj všetkých ďalších snímačov, ktoré sú situované za ním. Špecifickým fenoménom na Slovensku je aj skutočnosť, že káble priťahujú zlodejov a vandalov viac ako čokoľvek iné. Oblasť portálov ohrozujú najmä zosuvy. Tie sa monitorujú na povrchu geodetickými metódami a pod povrchom geotechnickými meracími metódami. Ide o podstatne odlišné meracie metódy. Pre geodetické metódy sa núka využiť totálne stanice alebo diferenciálne GPS. D-GPS si ale vyžadujú inštaláciu aspoň dvoch prístrojov, ktoré sú nielen finančne nákladné, ale majú aj vysokú spotrebu energie. To si vyžaduje prívod elektrickej energie alebo fotovoltaické zariadenie, čo nás opäť privádza k už uvedeným problémom.

Perspektívnym meracím systémom sa z pohľadu dnešného vývoja meracej techniky javí WSN (Wireless Sensor Network) - bezdrôtová sieť snímačov, ktoré sa samé organizujú. Jednotlivé uzly takejto siete nie sú vzájomne pospájané káblami, ale vymieňajú si dáta rádiovým spojením. Výpadok jedného uzla v sieti možno kompenzovať prevedením signálu na iný prenosový úsek, takže chýba len informácia z chybného snímača. Bezdrôtová sieť snímačov je v podstate počítačová sieť zostavená z malých počítačov – senzorových uzlov – ktoré

vzájomne komunikujú za účelom zvládnutia spoločnej úlohy, v našom prípade efektívneho zberu a prenosu nameraných hodnôt podávajúcich obraz o stabilnom stave portálovej oblasti. Jadrom sensorového uzla je procesor s pamäťou. Sieť uzlov tvorí jednak samotnú sieť bodov pre deformačné meranie povrchu terénu (meranie vzájomnej vzdialenosti uzlov na princípe merania rýchlosti vzduchu), jednak na uzly sa môžu pripojiť geotechnické snímače pre meranie pórového tlaku vody, náklonu, dráhy, kotevnej sily alebo teploty. Okrem normálnych sensorových uzlov je potrebná v každej sieti aj základná stanica, tá mimo iného komplexne spracováva dáta a prenáša ich do staníc mimo siete (napr. cez GSM).

9 Záver

Už začiatok výstavby dopravných tunelov na Slovensku v 90-tych rokoch bol poznamenaný stabilitnými problémami portálových oblastí a to na východnom portáli tunela Branisko a západnom portáli prieskumnej štôlne pre tunel Višňové. V ďalších rokoch sa geotechnickému monitoringu venovala systematická pozornosť, čo iste taktiež prispelo k úspešnému zabezpečeniu stability portálov ďalších tunelov vo výstavbe. Z rôznych typov kontrolných meraní GTM sa aplikovali predovšetkým geodetické merania posunov bodov na povrchu, merania podpovrchových deformácií v troch smeroch a merania síl v kotvách. Súčasný vývoj smeruje jednoznačne k automatizácii meraní a ich online prezentácii na internete. Najväčšou výzvou v najbližších rokoch na Slovensku bude preto podľa názoru autora automatizácia inklinometrických meraní v portálových oblastiach a aplikácie systémov diaľkového monitoringu spočívajúci v pozorovaní pohybov povrchu terénu.

10 Zoznam použitej literatúry

Gróf, V., Valter, M. (2009): Inštrumentácia piezometrických vrtov bez pieskového obsypu. SILNICE ŽELEZNICE 1/2009, Konstrukce Media Ostrava.

Mazzanti, P. (2012): Remote monitoring of deformation. An overview of the seven methods described in previous GINs. Geotechnical Instrumentation News, December 2012.

Sollberger, P., Stössel, Z., Janek, Klaper, M., Kister, B., Naterop, D., Wörsching, H.(2008): Drahtlose sensornetzwerke – ein neues Instrument für die Überwachung und Frühwarnung in Naturgefahren, Messen in der Geotechnik, 23. + 24. Oktober 2008, TU Braunschweig, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Heft Nr. 87, 2008