

**Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR
Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií**

TKP 28

**TECHNICKO-KVALITATÍVNE PODMIENKY
GEOTECHNICKÝ MONITORING PRE TUNELY
A PRIESKUMNÉ ŠTÔLNE**

účinnosť od: 01. 12. 2016

OBSAH

1	Úvodná kapitola	5
1.1	Vzájomné uznávanie	5
1.2	Predmet technicko-kvalitatívnych podmienok (TKP).....	5
1.3	Účel TKP.....	5
1.4	Použitie TKP	5
1.5	Vypracovanie TKP	6
1.6	Distribúcia TKP	6
1.7	Účinnosť TKP	7
1.8	Nahradenie predchádzajúcich predpisov	7
1.9	Súvisiace a citované právne predpisy	7
1.10	Súvisiace a citované normy.....	8
1.11	Súvisiace a citované technické predpisy rezortu.....	11
1.12	Súvisiace zahraničné predpisy	12
1.13	Použitá literatúra.....	12
1.14	Použité skratky	12
2	Všeobecne.....	12
2.1	Definície pojmov	12
2.1.1	Geotechnický monitoring	12
2.1.2	Inštrumentácia	12
2.1.3	Geotechnické hodnotenie horninového masívu podzemných častí	12
2.1.4	Geologický a geotechnický dozor nadzemných častí	13
2.1.5	Varovné stavy	13
2.1.6	Dokumentácia geotechnického monitoringu	13
2.1.7	Zhotoviteľ geotechnického monitoringu.....	13
2.1.8	Riadenie monitoringu.....	14
2.2	Ciele geotechnického monitoringu	14
2.2.1	Prostriedky geotechnického monitoringu	15
2.2.2	Geotechnický monitoring a riadenie rizík	15
3	Inštrumentácia, merané veličiny a monitorovacie metódy	15
3.1	Inštrumentácia	15
3.2	Merané veličiny.....	15
3.3	Monitorovacie metódy	16
3.3.1	Meranie deformácií.....	16
3.3.2	Merania napätia, tlakov a síl.....	19
3.3.3	Meranie rýchlosti šírenia seizmických vln	20
3.3.4	Meranie teploty	20
3.3.5	Meranie vodného režimu	21
3.3.6	Meranie chemického zloženia vôd	21
3.3.7	Meranie meteorologických veličín	21
3.4	Požiadavky na inštrumentáciu a presnosť meraní	21
3.4.1	Meranie deformácií.....	21
3.4.2	Merania napätia, tlakov a síl.....	28
3.4.3	Meranie rýchlosti šírenia seizmických vln	30
3.4.4	Meranie teploty	30
3.4.5	Meranie vodného režimu	30
3.4.6	Meranie chemického zloženia vôd	31
3.4.7	Meranie meteorologických veličín	31
4	Vykonávanie monitoringu	31
4.1	Všeobecné zásady	31
4.2	Projektovanie monitoringu	31
4.3	Zásady pre výber typu meracieho zariadenia	32
4.4	Výber meracích miest.....	32
4.5	Návrh početnosti (frekvencie) meraní	33
4.5.1	Monitorovanie pred výstavbou.....	34
4.5.2	Monitorovanie počas výstavby	34
4.5.3	Monitorovanie počas prevádzky	34
4.6	Komplexnosť merania	35
4.7	Typické úlohy pri monitoringu výstavby tunelov a prieskumných štôlní	35
4.7.1	Reakcia výrubu a ostenia tunela (prieskumnej štôlnie) na razenie.....	35

4.7.2	Monitoring portálov	43
4.7.3	Monitoring vplyvu razenia na susediace podzemné objekty	44
4.7.4	Monitoring vplyvu geologických anomálií	45
4.7.5	Monitoring priebehu poklesovej kotliny a objektov na povrchu terénu.....	45
4.8	Monitoring pri prerušení razenia a technologických prestávkach	47
4.9	Monitoring pri riešení mimoriadnych udalostí.....	47
4.10	Zvláštnosti monitoringu prieskumných štôlní.....	47
4.11	Geotechnické hodnotenie horninového masívu podzemných častí	48
4.11.1	Všeobecne.....	48
4.11.2	Geologická dokumentácia	48
4.11.3	Zatriedovanie hornín	49
4.12	Hodnotenie odlišností geotechnických podmienok staveniska	50
4.13	Geologický a geotechnický dozor nadzemných častí	50
5	Budovanie systému geotechnického monitoringu	51
5.1	Postupy budovania systému monitoringu.....	51
5.2	Zabezpečenie meradiel.....	51
5.3	Overenie správnej funkcie meradiel – kalibrácia.....	51
5.4	Osadenie meradiel	51
5.5	Uvedenie systému monitoringu do činnosti – nulté meranie.....	51
5.6	Správa o vybudovaní systému monitoringu	52
6	Zber, uskladňovanie a spracovávanie nameraných dát.....	53
6.1	Všeobecné zásady	53
6.2	Ručný zber dát	53
6.3	Samočinný zber dát.....	53
6.4	Primárne dáta	53
6.5	Správa z geotechnického monitoringu	53
7	Archivácia nameraných dát a zabezpečenie ich prístupu užívateľom	53
7.1	Spracovanie a prezentácia dát.....	54
7.1.1	Všeobecné zásady	54
7.1.2	Grafické znázorňovanie dát.....	54
7.2	Súčinnosť účastníkov výstavby pri vykonávaní monitoringu.....	54
8	Hodnotenie monitoringu	55
8.1	Činnosti súvisiace s hodnotením monitoringu	55
8.2	Kancelária monitoringu.....	55
8.2.1	Funkcia kancelárie monitoringu.....	55
8.2.2	Zapojenie kancelárie monitoringu do systému riadenia výstavby	56
8.2.3	Hlavná pozícia kancelárie monitoringu.....	56
8.3	Súčinnosť kancelárie monitoringu so stavebným dozorom investora	57
9	Varovné stavy.....	57
9.1	Základné princípy	57
9.2	Stupne varovných stavov	58
9.3	Kritériá varovných stavov	58
9.3.1	Stav vysokej miery bezpečnosti	59
9.3.2	Stav prípustných zmien	59
9.3.3	Stav medznej prijateľnosti	59
9.3.4	Kritický stav.....	59
9.3.5	Havarijný stav	60
9.4	Niektoré zásady hodnotenia varovných stavov	60
9.5	Hodnotenie výsledkov monitoringu	60
9.6	Prijímané opatrenia	61
9.7	Začlenenie monitoringu do systému riadenia výstavby.....	61
10	Archivácia výsledkov meraní po ukončení výstavby	61
11	Zásady monitoringu počas prevádzkovania tunela	61
11.1	Všeobecné zásady	61
11.2	Ciele monitoringu počas prevádzky tunela.....	62
11.3	Vizuálne prehliadky	62
11.4	Početnosť meraní prostredníctvom prístrojov	62
12	Skúšanie a preberanie prác	62
12.1	Skúšanie.....	62
12.2	Preberanie prác	63

12.2.1	Všeobecne.....	63
12.2.2	Doklady potrebné na preberanie prác	63
12.2.3	Predkladanie správ o priebehu činnosti	63
13	Výmery a platby.....	63
13.1	Všeobecne.....	63
13.2	Časovo viazané náklady na činnosti monitoringu	63

1 Úvodná kapitola

Tieto technicko-kvalitatívne podmienky (TKP) nadväzujú na ustanovenia, pokyny a odporúčania uvedené v TKP 0.

1.1 Vzájomné uznávanie

V prípadoch, kedy táto špecifikácia stanovuje požiadavku na zhodu s ktoroukoľvek časťou slovenskej normy ("Slovenská technická norma") alebo inej technickej špecifikácie, možno túto požiadavku splniť zaistením súladu s:

- (a) normou alebo kódexom osvedčených postupov vydaných vnútroštátnym normalizačným orgánom alebo rovnocenným orgánom niektorého zo štátov EHP a Turecka;
- (b) ktoroukoľvek medzinárodnou normou, ktorú niektorý zo štátov EHP a Turecka uznáva ako normu alebo kódex osvedčených postupov;
- (c) technickou špecifikáciou, ktorú verejný orgán niektorého zo štátov EHP a Turecka uznáva ako normu; alebo
- (d) európskym technickým posúdením vydaným v súlade s postupom stanoveným v nariadení (EÚ) č. 305/2011.

Vyššie uvedené pododseky sa nebudú uplatňovať, ak sa preukáže, že dotknutá norma nezaručuje náležitú úroveň funkčnosti a bezpečnosti.

„Štát EHP“ a Turecko znamená štát, ktorý je zmluvnou stranou dohody o Európskom hospodárskom priestore podpísanej v meste Porto dňa 2. mája 1992, v aktuálne platnom znení.

“Slovenská norma” (“Slovenská technická norma”) predstavuje akúkoľvek normu vydanú Úradom pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky vrátane prevzatých európskych, medzinárodných alebo zahraničných noriem.

1.2 Predmet technicko-kvalitatívnych podmienok (TKP)

Predmetom TKP geotechnického monitoringu pre tunely a prieskumné štôlne na pozemných komunikáciách je definovanie požiadaviek pre projektovanie, inštrumentáciu, vykonávanie a vyhodnocovanie sledovania stavu horninového prostredia v interakcii s výstavbou tunelov a prieskumných štôlní, resp. stavu konštrukcií tunelov a prieskumných štôlní v interakcii s horninovým prostredím a zisťovanie vývoja tohto stavu v čase priamym meraním vybraných fyzikálnych veličín.

Uvedené TKP boli spracované na základe najnovších poznatkov o metódach geotechnického monitoringu (ďalej GTM) a skúseností z realizovaných stavieb.

1.3 Účel TKP

GTM je neoddeliteľnou súčasťou výstavby každej náročnej stavebnej konštrukcie v zložitých inžinierskogeologických a hydrogeologických podmienkach, pričom významne zvyšuje pravdepodobnosť dostatočnej spoľahlivosti predpovedí ďalšieho správania sa sledovaných objektov. Vytvára tak priestor na prijímanie vhodných opatrení na optimalizáciu požiadaviek týkajúcich sa bezpečnosti, kvality a ekonomiky výstavby a v neposlednom rade s predstihom signalizuje nebezpečenstvo vzniku mimoriadnych udalostí, zvyšuje bezpečnosť práce. Zároveň je integrálnou súčasťou riadenia rizík pri realizácii diela.

Východiská pre stanovenie programu GTM spracováva investor a projektant stavby na základe definovania kritických a rizikových miest (analýza rizík projektu) vrátane návrhu opatrení pri prekročení limitných kritérií z hľadiska medzných hodnôt a časového priebehu sledovaného javu, pričom analýza rizík projektu musí byť spracovaná v samostatnej dokumentácii v príslušnom stupni projektovej dokumentácie stavby.

Účelom týchto TKP je poskytnúť základné pravidlá efektívneho používania observačných metód GTM pri výstavbe tunelov a prieskumných štôlní.

1.4 Použitie TKP

Tieto TKP sa vzťahujú na všetky tunely na pozemných komunikáciách (vrátane prieskumných štôlní) budovaných konvenčnými metódami. Pod pojmom konvenčné metódy sa rozumie razenie s aktívnym využitím schopnosti horninového masívu prevziať časť zaťaženia na tunelové ostenie,

napr. „Nová rakúska tunelovacia metóda“, „Sekvenčná tunelovacia metóda“, Adeco- RS, SCL (Razenie pomocou striekaného betónu) a pod.

Pri použití tunelovacích metód využívajúcich tunelovacie stroje a štíty (TBM) sa požiadavky uvedené v týchto TKP vhodne doplnia podľa typu použitého raziaceho mechanizmu a jeho špecifických požiadaviek na sledovanie stroja počas razenia.

Požiadavky na monitoring prieskumných štôlní (najmä kvantitatívne) sa primerane upravujú najmä podľa definície cieľov prieskumných prác, profilu a technológie razenia štôlne, pričom pri návrhu GTM sa musia zohľadniť požiadavky v zmysle [T9].

TKP platia aj na podzemné objekty súvisiace s tunelmi a prieskumnými štôľňami bez ohľadu na ich profil a budúci prevádzkový účel (napr. únikové priechodné a prejazdne cesty, ventilačné šachty, kaverny a pod.).

TKP platia aj pre oblasť identifikovaných svahových deformácií, ktoré sa nachádzajú v zóne ovplyvnenia územia dotknutého výstavbou.

TKP platia aj pre všetky objekty v dosahu vplyvu razenia tunelov a prieskumných štôlní a objekty súvisiace s výstavbou. Ide o:

- pozemné objekty a objekty produktovodov (voda, plyn, ropa), kanalizačných, energetických a telekomunikačných sietí v dosahu vplyvu razenia,
- pozemné komunikácie a železnice v dosahu vplyvu razenia,
- vodohospodárske a vodárenské objekty v dosahu vplyvu razenia,
- podzemné objekty v dosahu vplyvu razenia,
- portály tunelov a prieskumných štôlní,
- pozemné objekty tunelov a prieskumných štôlní,
- stavebné jamy hĺbených úsekov tunelov a prieskumných štôlní,
- geotechnické konštrukcie (zárezy, násypy, oporné a zárubné múry) v predportálových úsekoch súvisiacich s tunelmi a prieskumnými štôľňami.

Podkladom pre návrh GTM by mala byť analýza rizík projektu, ktorá musí byť spracovaná v samostatnej dokumentácii v príslušnom stupni projektovej dokumentácie stavby, pričom by mala jednoznačne obsahovať nasledovné postupy:

- identifikácia rizík (zber údajov, vytypovanie faktorov ohrozenia a ich analýza),
- zhodnotenie nebezpečia v danom horninovom prostredí,
- zhodnotenie expozície horninového prostredia s rizikom vzniku a rozvoja geodynamických javov, citlivosť horninového prostredia, limity únosnosti,
- stanovenie rizika a jeho charakteristika na základe projektu a údajov zo správy z inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu.

Okrem analýzy rizík rozhodujúcim podkladom pre návrh GTM by mali byť výsledky inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu a správa o návrhu konštrukcií podzemných a nadzemných častí tunela, v ktorej sa špecifikujú kritické miesta, mechanizmy a kritériá porušenia, stupne dôležitosti, požiadavky na merané veličiny, časti alebo miesta konštrukcií, ktoré budú monitorované, časový horizont a frekvencia meraní, limitné hodnoty s definovaním varovných stavov.

1.5 Vypracovanie TKP

Tieto TKP na základe objednávky Slovenskej správy ciest (SSC) vypracovala spoločnosť Geoconsult, spol. s r. o., Tomášikova 10/E, 821 03 Bratislava.

Zodpovední riešitelia – Ing. Ľuboš Rojko, PhD., tel. č.: +421905204275, e-mail: lubos.rojko@geoconsult.sk; RNDr. Ivan Jakubis, tel. č.: +421918378151, e-mail: ivan.jakubis@geoconsult.sk

1.6 Distribúcia TKP

Elektronická verzia TKP sa po schválení zverejní na webovom sídle SSC: www.ssc.sk (technické predpisy rezortu).

1.7 Účinnosť TKP

Tieto TKP nadobúdajú účinnosť dňom uvedeným na titulnej strane.

1.8 Nahradenie predchádzajúcich predpisov

Tieto TKP nahrádzajú TKP 28 Geotechnický monitoring pre tunely a prieskumné štólne, MDPT SR: 2010 v celom rozsahu.

1.9 Súvisiace a citované právne predpisy

- [Z1] Zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku v znení neskorších predpisov (stavebný zákon);
- [Z2] vyhláška MŽP SR č. 453/2000 Z. z. ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia stavebného zákona;
- [Z3] vyhláška MŽP SR č. 532/2002 Z. z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti o všeobecných technických požiadavkách na výstavbu a o všeobecných technických požiadavkách na stavby užívané osobami s obmedzenou schopnosťou pohybu a orientácie;
- [Z4] zákon č. 133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov;
- [Z5] vyhláška MDVRR č. 162/2013 Z. z. ktorou sa ustanovuje zoznam skupín stavebných výrobkov a systémov posudzovania parametrov v znení neskorších predpisov;
- [Z6] zákon č. 264/1999 Z. z. o technických požiadavkách na výrobky a o posudzovaní zhody a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z7] opatrenie č. 128/2000 Z. z., ktorým sa vyhlasuje Klasifikácia stavieb;
- [Z8] zákon č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov;
- [Z9] zákon č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov;
- [Z10] zákon č. 335/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z11] Slovenský register stavebných výrobkov;
- [Z12] zákon č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach (geologický zákon) v znení neskorších predpisov;
- [Z13] vyhláška MŽP SR č. 51/2008 Z. z., ktorou sa vykonáva geologický zákon v znení neskorších predpisov;
- [Z14] zákon č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny v znení neskorších predpisov;
- [Z15] zákon č. 223/2001 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z16] zákon č. 478/2002 Z. z. o ochrane ovzdušia a ktorým sa doplna zákon č.401/1998 Z. z. o poplatkoch za znečisťovanie ovzdušia v znení neskorších predpisov (zákon o ovzduší);
- [Z17] zákon č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov;
- [Z18] zákon č. 364/2004 Z. z. o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon);
- [Z19] zákon č. 326/2005 Z. z. o lesoch v znení neskorších predpisov;
- [Z20] zákon č. 137/2010 Z. z. o ovzduší v znení neskorších predpisov;
- [Z21] nariadenie vlády SR č. 269/2010 Z.z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd v znení neskorších predpisov;
- [Z22] zákon č. 17/1992 Zb. o životnom prostredí, v znení neskorších predpisov;
- [Z23] vyhláška MŽP SR č. 33/2015 Z.z, ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona č. 44/1988 Zb. o ochrane a využití nerastného bohatstva (banský zákon) v znení neskorších predpisov;
- [Z24] zákon č. 135/1961 Zb. o pozemných komunikáciách (cestný zákon) v znení neskorších predpisov;
- [Z25] vyhláška FMD č. 35/1984 Zb., ktorou sa vykonáva zákon o pozemných komunikáciách (cestný zákon) v znení neskorších predpisov;
- [Z26] zákon č. 126/2006 Z.z. o verejnom zdravotníctve a o zmene a doplnení niektorých zákonov;
- [Z27] zákon č. 7/2010 Z. z. o ochrane pred povodňami v znení neskorších predpisov;
- [Z28] zákon č. 125/2006 Z. z. o inšpekcii práce a o zmene a doplnení zákona č. 82/2005 Z. z. o nelegálnej práci a nelegálnom zamestnávaní a o zmene a doplnení niektorých zákonov;

- [Z29] zákon č. 138/1992 Zb. o autorizovaných architektoch a autorizovaných stavebných inžinierov v znení neskorších predpisov;
- [Z30] zákon č. 215/1995 Z.z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov;
- [Z31] vyhláška č. 300/2009 Z.z., ktorou sa vykonáva zákon č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov;
- [Z32] vyhláška ÚGKK SR č. 75/2011 Z.z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška ÚGKK SR č. 300/2009 Z. z.;
- [Z33] zákon č. 216/1995 Z. z. o Komore geodetov a kartografov v znení neskorších predpisov;
- [Z34] zákon SNR č. 51/1988 Zb. o banskej činnosti, výbušninách a o štátnej banskej správe v znení neskorších predpisov;
- [Z35] zákon SNR č. 44/1988 Zb. o ochrane a využití nerastného bohatstva (banský zákon);
- [Z36] vyhláška SBÚ č. 21/1989 Zb. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a bezpečnosti prevádzky pri banskej činnosti a činnosti vykonávanej bankým spôsobom v podzemí;
- [Z37] vyhláška MH SR č. 333/1996 Z. z., ktorou sa ustanovujú obvody pôsobnosti obvodných bankých úradov;
- [Z38] vyhláška MH SR č. 208/1993 Z. z. o požiadavkách na kvalifikáciu a overovaní odbornej spôsobilosti pracovníkov pri banskej činnosti vykonávanej bankým spôsobom;
- [Z39] výnos MH SR č. 1/1993 o bankomeračskej dokumentácii pri banskej činnosti a niektorých činnostiach vykonávaných bankým spôsobom;
- [Z40] zákon č. 58/2014 Z. z. o výbušninách, výbušných predmetoch a munícii a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

1.10 Súvisiace a citované normy

STN 72 1001	Klasifikácia zemín a skalných hornín
STN 72 1004	Presiometrická skúška
STN 73 0001	Terminológia eurokódov
STN 73 0002	Navrhovanie nosných konštrukcií stavieb. Základné ustanovenia
STN 73 0005	Modulová koordinácia rozmerov vo výstavbe. Základné ustanovenia
STN 73 0032	Výpočet stavebných konštrukcií zaťažených dynamickými účinkami strojov
STN 73 0037	Zemný tlak na stavebné konštrukcie
STN 73 0090	Geotechnický prieskum
STN 73 0202	Presnosť geometrických parametrov vo výstavbe. Základné ustanovenia
STN 73 0203	Presnosť geometrických parametrov vo výstavbe. Funkčné tolerancie
STN 73 0210-1	Geometrická presnosť vo výstavbe. Podmienky zhotovovania. Časť 1: Presnosť osadenia
STN 73 0212	Presnosť geometrických parametrov vo výstavbe. Kontrola presnosti
STN 73 0270	Presnosť geometrických parametrov vo výstavbe. Kontrola pozemných stavebných objektov
STN 73 0275	Presnosť geometrických parametrov vo výstavbe. Kontrolné meranie líniových stavebných objektov
STN 73 0405	Meranie posunov stavebných objektov
STN 73 0415	Geodetické body
STN 73 0422	Presnosť vytyčovania líniových a plošných stavebných objektov
STN 73 1001	Geotechnické konštrukcie. Zakladanie stavieb
STN 73 1002	Pilotové základy
STN 73 1010	Názvoslovie a značky v geotechnike
STN 73 1370	Nedeštruktívne skúšanie betónu. Spoločné ustanovenia
STN 73 2011	Nedeštruktívne skúšanie betónových konštrukcií
STN 73 2030	Zaťažovacie skúšky stavebných konštrukcií. Spoločné ustanovenia

STN 73 2031	Skúšanie stavebných objektov, konštrukcií a dielcov. Spoločné ustanovenia
STN 73 2412	Zhotovovanie a kontrola pórobetónových konštrukcií
STN 73 3040	Geosyntetika. Základné ustanovenia a technické požiadavky
STN 73 3041	Horninové konštrukcie vystužené geosyntetikou. Technické požiadavky
STN 73 3050	Zemné práce. Všeobecné ustanovenia
STN 73 3052	Násypy, zásypy a obsypy z popola a popolčeka
STN 73 3055	Stavba ciest. Využitie hlušín v cestnom staviteľstve
STN 73 6100	Názvoslovie pozemných komunikácií
STN 73 6101	Projektovanie ciest a diaľnic
STN 73 6125	Stavba vozoviek. Upravené zeminy
STN 73 6133	Stavba ciest. Teleso pozemných komunikácií
STN 73 6614	Skúšky zdrojov podzemnej vody
STN 73 6615	Zachytávanie podzemnej vody
STN 73 7501	Navrhovanie konštrukcií razených podzemných objektov. Spoločné ustanovenia
STN 73 7505	Kolektory a technické chodby pre združené trasy podzemných vedení
STN 73 7507	Projektovanie cestných tunelov
STN 75 1400	Hydrológia. Hydrologické údaje povrchových vôd. Základné ustanovenia
STN 75 1500	Hydrológia. Hydrologické údaje podzemných vôd. Základné ustanovenia
STN 75 1510	Hydrológia. Hydrologické údaje podzemných vôd. Kvantifikácia hydrologického režimu hladín podzemných vôd.
STN 75 1520	Hydrológia. Hydrologické údaje podzemných vôd. Kvantifikácia výdatnosti prameňov
STN EN 1090-2 + A1 (73 2601)	Zhotovovanie ocelových a hliníkových konštrukcií. Časť 2: Technické požiadavky na ocelové konštrukcie (Konsolidovaný text)
STN EN 12063 (73 1022)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Štetovnicové steny
STN EN 12699 (73 1004)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Razené pilóty
STN EN 12715 (73 1006)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Injektáže
STN EN 12716 (73 1007)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Prúdová injektáž
STN EN 13249 + A1 (80 6104)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Vlastnosti požadované pri stavbe pozemných komunikácií a iných dopravných plôch (okrem železníc a vystužovania asfaltových povrchov vozoviek)
STN EN 13251 + A1 (80 6106)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Vlastnosti požadované v zemných stavbách, základoch a podperných konštrukciách
STN EN 13252 + A1 (80 6107)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Vlastnosti požadované v odvodňovacích systémoch
STN EN 13670 (73 2400)	Zhotovovanie betónových konštrukcií
STN EN 14199 (73 1003)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Mikropilóty
STN EN 14475 (73 1009)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Vystužené zemné konštrukcie
STN EN 14487-1 (73 2431)	Striekaný betón. Časť 1: Definície, špecifikácia a zhoda

STN EN 14487-2 (73 2431)	Striekaný betón. Časť 2: Zhotovovanie
STN EN 14679 (73 1023)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Hĺbkové zlepšovanie zemín
STN EN 14731 (73 1008)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Zlepšovanie zemín hĺbkovou vibráciou
STN EN 14968 (75 1509)	Sémantika výmeny údajov podzemných vôd
STN EN 1536 + A1 (73 1002)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Vŕtané pilóty
STN EN 15237 (73 1024)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Zvislé odvodňovanie
STN EN 1537 (73 1005)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Injektované horninové kotvy
STN EN 1538 + A1 (73 1003)	Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Podzemné steny
STN EN 1990 (73 0031)	Eurokód: Zásady navrhovania konštrukcií
STN EN 1991-1-1 (73 0035)	Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné zaťaženia. Objemová tiaž, vlastná tiaž a úžitkové zaťaženia budov
STN EN 1991-1-6 (73 0035)	Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-6: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia počas výstavby
STN EN 1991-1-7 (73 0035)	Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-7: Všeobecné zaťaženia. Mimoriadne zaťaženia
STN EN 1992-1-1 + A1 (73 1201)	Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy
STN EN 1992-1-2 (73 1201)	Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru
STN EN 1997-1 (73 0091)	Eurokód 7: Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 1: Všeobecné pravidlá
STN EN 1997-2 (73 1201)	Eurokód 7: Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 2: Prieskum a skúšanie horninového prostredia
STN EN 1998-1 (73 0036)	Eurokód 8: Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť. Časť 1: Všeobecné pravidlá, seizmické zaťaženia a pravidlá pre budovy
STN EN 1998-5 (73 0036)	Eurokód 8: Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť. Časť 5: Základy, oporné konštrukcie a geotechnické hľadiská
STN EN 206 (73 2403)	Betón. Špecifikácia, vlastností, výroba a zhoda
STN EN ISO 10318-1 (80 6100)	Geosyntetika. Časť 1: Termíny a definície (ISO 10318-1: 2015)
STN EN ISO 14688-1 (72 1003)	Geotechnický prieskum a skúšky. Pomenovanie a klasifikácia zemín. Časť 1: Pomenovanie a opis (ISO 14688-1: 2004)
STN EN ISO 14688-2 (72 1003)	Geotechnický prieskum a skúšky. Pomenovanie a klasifikácia zemín. Časť 2: Princípy klasifikácie (ISO 14688-2: 2005)
STN EN ISO 14689-1 (72 1001)	Geotechnický prieskum a skúšky. Pomenovanie a klasifikácia skalných hornín. Časť 1: Pomenovanie a opis (ISO 14689-1: 2004)
STN EN ISO 22475-1 (72 1005)	Geotechnický prieskum a skúšky. Metódy odberu vzoriek a meranie hladín podzemnej vody. Časť 1: Technické zásady vykonávania (ISO 22475-1: 2006)
STN EN ISO 22476-2 (72 1032)	Geotechnický prieskum a skúšanie. Terénne skúšky. Časť 2: Dynamické penetračné skúšky (ISO 22476-2: 2005)

STN EN ISO 22476-3 (72 1032)	Geotechnický prieskum a skúšanie. Terénne skúšky. Časť 3: Štandardné penetračné skúšky (ISO 22476-3: 2005)
STN ISO 3898 (73 0030)	Základy navrhovania stavebných konštrukcií. Označenia. Všeobecné značky
STN ISO 5667-11 (75 7051)	Kvalita vody. Odber vzoriek. Časť 11: Pokyny na odber vzoriek podzemných vôd
STN ISO 6707-1 (73 0000)	Pozemné a inžinierske stavby. Slovník. Časť 1: Všeobecné termíny
STN ENV 1090-2 (73 2601)	Zhotovovanie oceľových a hliníkových konštrukcií. Časť 2: Technické požiadavky na oceľové konštrukcie (Konsolidovaný text)

Poznámka: Súvisiace a citované normy vrátane aktuálnych zmien, dodatkov a národných príloh.

1.11 Súvisiace a citované technické predpisy rezortu

[T1]	TP 016	Katalóg porúch tunelov na pozemných komunikáciách, MDPT SR: 2005;
[T2]	TP 017	Projektovanie odvodňovacích zariadení na cestných komunikáciách, MDPT SR: 2005;
[T3]	TP 019	Dokumentácia stavieb ciest, MDPT SR: 2006;
[T4]	TP 020	Tunelové názvoslovie, MDPT SR: 2006;
[T5]	TP 021	Vystrojovacie triedy. Časť 1: Cyklické razenie, MDVRR SR: 2016;
[T6]	TP 022	Podzemné stavby. Časť 2: Kontinuálne razenie, MDPT SR: 2006;
[T7]	TP 028	Vykonávanie inžinierskogeologického prieskumu pre cestné stavby, MDPT SR: 2008;
[T8]	TP 050	Príručka monitoringu vplyvu cestných komunikácií na životné prostredie, MDVRR SR: 2011;
[T9]	TP 089	Inžinierskogeologický prieskum pre tunely, MDVRR SR: 2015;
[T10]	TP 090	Ochrana tunelov proti vode a odvodnenie tunelov, MDVRR SR: 2015;
[T11]	TP 091	Monitorovanie betónového ostenia tunelov, MDVRR SR: 2015;
[T12]	TP 095	Prehliadky, údržba a opravy cestných komunikácií. Tunely - stavebné konštrukcie, MDVRR SR: 2015;
[T13]	TP 099	Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov, MDVRR SR: 2015;
[T14]	TKP 0	Všeobecne, MDVRR SR: 2012;
[T15]	TKP 2	Zemné práce, MDVRR SR: 2010;
[T16]	TKP 4	Odvodňovacie zariadenia a chráničky pre inžinierske siete, MDPT SR: 2009;
[T17]	TKP 11	Dopravné značenie, MDVRR SR: 2011;
[T18]	TKP 12	Pilóty razené, MDVRR SR: 2011;
[T19]	TKP 13	Pilóty vŕtané, MDVRR SR: 2011;
[T20]	TKP 15	Betónové konštrukcie všeobecne, MDVRR SR: 2013;
[T21]	TKP 16	Debnenie, lešenie a podperné skruže, MDVRR SR: 2013;
[T22]	TKP 17	Výstuž do betónu, MDVRR SR: 2013;
[T23]	TKP 18	Betón na konštrukcie, MDVRR SR: 2013;
[T24]	TKP 20	Oceľové konštrukcie, MDVRR SR: 2014;
[T25]	TKP 26	Tunely, MDVRR SR: 2015;
[T26]	TKP 30	Špeciálne zakladanie, MDVRR SR: 2012;
[T27]	TKP 31	Zvláštne zemné konštrukcie, MDVRR SR: 2014;
[T28]	TKP 35	Geotechnický monitoring pre objekty líniových častí pozemných komunikácií, MDVRR SR: 2016;
[T29]	VL 2	Teleso pozemných komunikácií, MDVRR SR: 2016;
[T30]	VL 2.2	Teleso pozemných komunikácií. Odvodnenie, MDVRR SR: 2016.

Poznámka: MDVRR SR v súlade so schváleným Metodickým pokynom č. 38/2016 pre tvorbu, schvaľovanie a zverejňovanie technických predpisov v rezorte MDVRR SR schválilo s účinnosťou od 1.7.2016 prečíslovanie databázy platných technických podmienok. Prevodná tabuľka je umiestnená na webovom sídle SSC <http://www.ssc.sk/sk/Technicke-predpisy-rezortu/Zoznam-TP.ssc>.

1.12 Súvisiace zahraničné predpisy

- [T31] Technické podmienky TP-76, Geotechnický průzkum pro navrhování a provádění tunelů pozemních komunikací, Část C, Ministerstvo dopravy České republiky, 2008
- [T32] Technické podmínky TP-237, Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací, Část C, Ministerstvo dopravy České republiky, 2011

1.13 Použitá literatúra

- [L1] Rozsypal A.: Kontrolní sledování a rizika v geotechnice, Bratislava 2001

1.14 Použité skratky

TKP – Technicko-kvalitatívne podmienky

EPH – Európsky hospodársky priestor

RVT – Rozvoj, veda a technika

GTM – Geotechnický monitoring

MDPT SR – Ministerstvo dopravy, pôšt a telekomunikácií Slovenskej republiky

MDVRR SR – Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky

MŽP SR – Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky

MH SR – Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky

ZVS – základná vytyčovací sieť

2 Všeobecne

2.1 Definície pojmov

2.1.1 Geotechnický monitoring

GTM je súhrn činností zameraných na zisťovanie stavu spolupôsobenia stavebnej konštrukcie podzemných a nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní s dotknutým horninovým prostredím a sledovanie vývoja tohto stavu v čase a priestore.

Súčasťou GTM je aj prognózovanie ďalšieho vývoja sledovaného systému (horninový masív – stavebná konštrukcia) na základe hodnotenia jeho predchádzajúceho vývoja a geomechanického modelu horninového prostredia, v ktorom sa dielo realizuje. Výslednou súčasťou GTM je prijímanie vhodných opatrení na udržiavanie vývoja sledovaného systému v medziach požadovaných v dokumentácii a kontrola účinnosti týchto opatrení meraniami vykonávanými v rámci monitoringu.

2.1.2 Inštrumentácia

Inštrumentácia je prístrojová technika a pomocné konštrukcie (vrty, ryhy, geodetické body, prípojky energie a pod.) používané pri GTM. K inštrumentácii patrí aj udržiavanie prístrojovej techniky v stave umožňujúcom spoľahlivé a dostatočne presné výsledky meraní. Súčasťou inštrumentácie je jej kalibrovanie, osadzovanie a kontrola presnosti aj spoľahlivosti osadených prístrojov.

2.1.3 Geotechnické hodnotenie horninového masívu podzemných častí

Pod geotechnickým hodnotením horninového masívu sa rozumie geologická dokumentácia čelby, vrátane stien výrubu, zatriedenie výrubu do vystrojovacích tried a porovnanie skutočných a predpokladaných geotechnických podmienok (zhodnotenie odlišností geotechnických podmienok). Geologická dokumentácia čelby sa vykonáva spravidla po každom zábere razenia. Overuje sa, či skutočne zdokumentované geologické pomery zodpovedajú tým, ktoré sa predpokladali na základe predchádzajúceho inžinierskogeologického prieskumu a ktoré sa použili ako podklad na vypracovanie realizačnej dokumentácie razenia tunelu (prieskumnej štôlne) i monitoringu.

Geotechnické hodnotenie horninového masívu podzemných častí je nevyhnutnou súčasťou monitoringu. Je podkladom pre priebežné vyhodnocovanie výsledkov jednotlivých meraní monitoringu.

2.1.4 Geologický a geotechnický dozor nadzemných častí

Súčasťou GTM je aj geologický a geotechnický dozor nadzemných častí. Pre výkon geologického a geotechnického dozoru platia primerane [T28].

2.1.5 Varovné stavy

V súvislosti s varovnými stavmi sú definované nasledujúce pojmy:

- stupeň varovného stavu,
- kritérium varovného stavu.

Stupeň varovného stavu je určitý stav v správaní horninového masívu a/alebo stavebnej konštrukcie, ktorý má vzťah k stanovenému cieľu GTM a je spojený s určitým opatrením. Čím vyšší je stupeň varovného stavu, tým väčšie je podstupované riziko, t. j. horninový masív či sledovaná stavebná konštrukcia má bližšie k strate stability.

Kritériá varovného stavu sú exaktne alebo empiricky vopred stanovené limitné hodnoty sledovaných veličín súvisiacich s príslušným stupňom varovného stavu a mierou podstupovaného rizika (limitné hodnoty, časový priebeh). Vopred stanovenými hodnotami sledovaných veličín sa rozumejú limitné hodnoty **stanovené v projektovej dokumentácii** vo vzťahu k existujúcemu riziku.

V priebehu výstavby sa môžu hodnoty kritérií varovných stavov upresňovať na základe skutočného správania horninového masívu a stavebných konštrukcií. Toto upresňovanie je v kompetencii projektanta v spolupráci so zhotoviteľom geotechnického monitoringu, investorom a stavebným dozorom za spoluúčasti ostatných účastníkov výstavby a rieši sa operatívne na kontrolných dňoch monitoringu.

2.1.6 Dokumentácia geotechnického monitoringu

Dokumentácia GTM je súbor písomnej a výkresovej, resp. grafickej dokumentácie, ktorá na základe analýzy rizík v úrovni dokumentácie pre stavebné povolenie jednoznačne definuje ciele monitoringu, jeho prostriedky, inštrumentáciu, spôsob vykonávania a hodnotenia výsledkov. Súčasťou dokumentácie je aj definovanie a sumarizácia varovných stavov a návrh frekvencie meraní, ktoré sú vyšpecifikované v projektovej dokumentácii. Pre spracovanie dokumentácie platia [T3].

Dokumentácia na ponuku je dokumentácia GTM na účely výberového konania na zhotoviteľa geotechnického monitoringu. Dokumentácia na ponuku presne definuje rozsah monitoringu, zvláštne technicko - kvalitatívne podmienky jeho vykonávania, ako aj kvalifikačné kritériá a kritéria na výber zhotoviteľa monitoringu. Pre spracovanie dokumentácie platia [T3].

Realizačná dokumentácia GTM je dokumentácia, ktorú vypracuje zhotoviteľ monitoringu pred začatím prác. Integruje monitorovacie práce do konkrétneho systému riadenia stavby a do systému riadenia rizík výstavby diela. Súčasťou realizačnej dokumentácie GTM je projekt geodetických meraní (projekt na meranie posunov a pretvorení) vyhotovený podľa [Z31] a STN 73 0405.

Realizácia GTM, ktorej súčasťou je aj monitorovanie geologických faktorov životného prostredia, spadá v zmysle [Z12] pod geologické práce, z toho dôvodu pre spracovanie realizačnej dokumentácie GTM, ktorá sa týka monitorovania geologických faktorov životného prostredia, platia ustanovenia [Z12] a [Z13].

2.1.7 Zhotoviteľ geotechnického monitoringu

Zhotoviteľ GTM je fyzická alebo právnická osoba, ktorá v potrebnom rozsahu disponuje prístrojovou technikou a skúseným odborným personálom nevyhnutným na realizáciu GTM. Pri komplexnom GTM, súčasťou ktorého je aj monitoring geologických faktorov životného prostredia, musí mať zhotoviteľ oprávnenie na vykonávanie geologických prác – inžinierskogeologický prieskum v zmysle [Z12].

Za účelom zabezpečenia požadovanej odbornosti a kvality je nevyhnutné, aby zhotoviteľ GTM preukázal svoju kvalifikáciu zodpovednými pracovníkmi s nasledujúcou odbornou spôsobilosťou:

- odborná spôsobilosť podľa [Z29],
- odborná spôsobilosť na vykonávanie geologických prác - inžinierskogeologický prieskum vydanú Ministerstvom životného prostredia SR podľa [Z12],
- s oprávnením vydaným príslušným Obvodným banským úradom v zmysle [Z34],

- autorizačné oprávnenie vydané Komorou geodetov a kartografov, vydané v zmysle [Z30].

Požaduje sa, aby zhotoviteľ GTM predložil súbor referencií z vykonávania geotechnického monitoringu na obdobných stavbách.

2.1.8 Riadenie monitoringu

Realizáciu monitoringu v priebehu výstavby riadi tzv. kancelária monitoringu. Pod pojmom kancelária monitoringu sa rozumejú všetky personálne i technické prostriedky zhotoviteľa monitoringu nevyhnutné na riadenie monitorovacích prác a vyhodnocovanie ich výsledkov. Kancelária monitoringu organizuje zároveň zber dát, ich archiváciu v databázach, spracováva ich, hodnotí a využíva na prezentáciu výsledkov monitoringu, ako aj distribúciu údajov ich užívateľom - účastníkom výstavby.

Kancelária monitoringu je súčasťou systému správy, resp. vedenia stavby a systému riadenia rizík. Štruktúra kancelárie monitoringu, jej organizačné usporiadanie, personálne zloženie, zodpovednosti jednotlivých pracovníkov kancelárie, technické i softvérové vybavenie a jej činnosť musia byť podrobne uvedené v realizačnej dokumentácii monitoringu. Kancelária monitoringu musí byť vybavená centrálnym archivačným počítačom na uskladňovanie dát a umožňovať on-line prístup k dátam kompetentným zástupcom účastníkov výstavby.

Medzi základné úlohy kancelárie monitoringu patrí:

- koordinácia jednotlivých spracovateľov a prípadných subdodávateľov monitoringu tak, aby sa merania vykonávali v súlade so schváleným plánom meraní podľa realizačnej dokumentácie monitoringu a v súlade s potrebami výstavby, ako aj platnou legislatívou a technickými predpismi,
- archivovanie primárnych dát a výstupov z databázy a vedenie tejto databázy,
- pravidelná príprava podkladov pre týždenné (alebo v prípade potreby častejšie) hodnotenie výsledkov geotechnického monitoringu (kontrolný deň monitoringu, ďalej KDM),
- priebežné vyhodnocovanie výsledkov meraní vzhľadom na ich vzťah ku kritériám varovných stavov,
- zabezpečovanie toku informácií o výsledkoch meraní, prípadne o dosiahnutí varovného stavu všetkým zodpovedným osobám zúčastnených na výstavbe, prezentácia výsledkov GTM na KDM.

2.2 Ciele geotechnického monitoringu

Základným cieľom GTM je porovnávanie skutočného vývoja sledovaného systému (horninový masív – stavebná konštrukcia a naopak) s predpokladmi uvedenými v realizačnej dokumentácii stavby v zmysle identifikovaného geotechnického rizika.

Konkrétnymi cieľmi GTM je predovšetkým:

- sledovanie stanovených limitných hodnôt a ich časového priebehu v zmysle definovaných varovných stavov,
- overovanie a spresňovanie geotechnického a geomechanického modelu horninového prostredia,
- posúdenie vhodnosti navrhutej technológie v konkrétnych geotechnických podmienkach,
- kontrola účinnosti prijatých opatrení,
- kontrola vplyvu stavebných prác na práva tretích strán,
- bezpečnosť realizácie a právne preukázanie kvality vyhotovovaného diela.

Monitoring musí ďalej zistiť:

- Informácie o pôvodnom stave horninového masívu a o hydrogeologických pomeroch lokality neovplyvnených výstavbou (nulové meranie sledovaných veličín).
- Podklady pre kontrolu správnosti a bezpečnosti vykonávania špeciálnych technológií (napríklad kompenzačných injektáží, zmrazovanie, znižovanie hladiny podzemnej vody a pod.).
- Informácie o vplyve výstavby na životné prostredie (technická seizmicita, pokles hladiny alebo zmeny vlastností podzemnej vody a pod.).

Dostatočná početnosť meraní a dostatočné množstvo meracích objektov sa určuje s ohľadom na konkrétne ciele GTM a špecifické vlastnosti systému horninových masív – stavebná konštrukcia a naopak, v konkrétnych geotechnických podmienkach stavby.

2.2.1 Prostriedky geotechnického monitoringu

Ciele GTM sa dosahujú niekoľkými základnými prostriedkami:

- vizuálnymi prehliadkami celého prostredia dotknutého výstavbou,
- záznamom geotechnických podmienok horninového prostredia dotknutého výstavbou podzemných (čelba) aj nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní,
- meraním reakcie sledovaného systému horninových masív – stavebná konštrukcia na postup výstavby, a to prostredníctvom meracích prístrojov zabudovaných v horninovom prostredí alebo na stavebnej konštrukcii,
- hromadným zberom nameraných dát, ich uchovávaním a spracovaním.

2.2.2 Geotechnický monitoring a riadenie rizík

Pri budovaní každého stavebného diela je nevyhnutné podstúpiť väčšie či menšie riziká, ktoré sú definované v analýze rizík. GTM je základným predpokladom kontroly rizík a ich kvantifikácie. GTM umožňuje predvídať a operatívnymi opatreniami minimalizovať nepriaznivé účinky identifikovaných geotechnických rizík a teda aj znižovať z nich plynúce škody.

3 Inštrumentácia, merané veličiny a monitorovacie metódy

3.1 Inštrumentácia

Inštrumentácia je časť GTM, ktorá sa zaoberá meracou prístrojovou technikou, jej inštaláciou a kalibráciou vrátane pomocných konštrukcií (vrty, ryhy, geodetické body, prípojky energií a pod.). Konkrétnu voľbu meracieho prístroja navrhuje zhotoviteľ GTM v realizačnej dokumentácii. Pri voľbe meracieho zariadenia sa vychádza z definovaného cieľa merania, požiadaviek na presnosť merania, na rozsah meraných veličín, dobu merania, spoľahlivosti merania, odolnosti proti vonkajším vplyvom (atmosférické vplyvy, ohrozenie technológiou výstavby, poškodenie prachom, vlhkom, nároky na energiu, obsluhu a pod.).

Pri voľbe meracieho zariadenia sa ďalej prihliada na:

- pravdepodobné veľkosti očakávaných hodnôt meraných veličín,
- pravdepodobný vývoj meraných veličín v čase,
- možnosti chrániť meracie zariadenie výstavby,
- možnosti automatizácie merania,
- očakávané množstvo meraných dát a doba sledovania.

Konkrétna prístrojová technika a metóda merania sa ďalej volí s prihliadnutím na:

- druh veličín, ktoré budú predmetom merania (deformácia, napätie a pórové tlaky, hladina podzemnej vody a pod.),
- možnosti realizácie pomocných konštrukcií a pripojenia na energiu,
- spôsob merania (metódy merania),
- požiadavky na diaľkový prenos dát, zhromažďovanie dát a ich samočinné spracovanie.

3.2 Merané veličiny

Veličiny obvykle sledované pri GTM výstavby podzemných a nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní sú:

- ❖ deformácie,
 - podpovrchové
 - vertikálne
 - horizontálne
 - priestorové 3D

- povrchové
 - vertikálne
 - horizontálne
 - priestorové 3D
- ❖ napätia, tlaky a sily
 - napätia v stavebných konštrukciách
 - zemné tlaky
 - pórové tlaky
 - sily v kotvách
- ❖ teplota konštrukcií a horniny,
- ❖ vodný režim (hladina podzemnej vody, prietoky na odvodňovacích zariadeniach – odvodňovacie vrty a drenážne systémy),
- ❖ rýchlosť šírenia seizmických vln,
- ❖ meteorologické pomery (zrážky, teplota vzduchu).

3.3 Monitorovacie metódy

3.3.1 Meranie deformácií

3.3.1.1 Geodetické merania na povrchu - Δx , Δy , Δz (m)

Geodetické merania sledujú zmeny polohy Δx , Δy a výšky Δz bodov osadených na povrchu terénu (poklesová kotlina, zosuvné územia, zárezy a násypy predportálových úsekov), zmeny polohy Δx , Δy a výšky Δz bodov osadených na nadzemných geotechnických konštrukciách (portály, oporné a zárubné múry predportálových úsekov) a na pažniciach monitorovacích vrtoch, resp. na existujúcich objektoch v dosahu vplyvu výstavby (poklesová kotlina, zóna ovplyvnenia).

Merania zmien polohy Δx , Δy sa vykonávajú terestrickým meraním trigonometricky a polárnou metódou totálnou stanicou. Na miestach, kde je možné stabilizovať GNSS prijímač, môže sa použiť metóda RTK, pre dosiahnutie vyššej presnosti treba použiť statickú metódu.

Merania zmien výšok Δz sa vykonávajú veľmi presnou niveláciou, presnou niveláciou v súlade s geodetickými predpismi pomocou nivelačných prístrojov ale aj trigonometrickou niveláciou totálnou stanicou vyššej presnosti.

Metodikou merania, ako aj prístrojové vybavenie určuje autorizovaný geodet na základe projektu merania posunov a deformácií GTM a na základe požadovanej presnosti a požiadaviek projektanta stavby.

Na povrchu terénu sa vybudujú geodetické body (piliere, pažnice) a na stavebných objektoch a konštrukciách sa osadia pozorované body (čapy, terčíky, odrazové hranoly, nivelačné značky).

Polohové merania sú pripojené na body základnej vytyčovacej siete (ZVS).

Výškové merania sú pripojené na výškové body štátnej nivelačnej siete (ŠNS) v okolí lokality. Na body ŠNS sú výškovo pripojené body ZVS a vzťažné body rozmiestnené po obvode monitorovaného objektu umiestnené v dostatočnej vzdialenosti od predpokladaného dosahu vplyvu stavebných prác (poklesová kotlina, zóna ovplyvnenia).

Rozsah a presnosť geodetických meraní určuje projektant stavby v spolupráci s geodetom v závislosti od jednotlivých prípadov GTM na povrchu terénu a na geotechnických konštrukciách.

Pre geodetické merania je potrebné vybudovať sieť vzťažných bodov, t. j. bodov, z ktorých sa merania vykonávajú a sieť pozorovaných bodov, t. j. bodov, ktorých pohyb sa sleduje. Parametre (súradnice a výšky) pozorovaných bodov sa určia v nadväznosti na body ZVS stavby. Môžu byť určené v lokálnom súradnicovom systéme, alebo môžu byť pripojené na body štátnej trigonometrickej siete v súradnicovom systéme S-JTSK a výškovo určené vo výškovom systéme Baltskom po vyrovnaní (Bpv).

Zvýšenú pozornosť je nevyhnutné venovať stabilizácii všetkých bodov, je potrebné zabezpečiť ich dostatočnú ochranu tak, aby ich stabilizáciu a meranie neovplyvňovali iné činnosti na stavbe.

Pre merania priestorových zmien je možné použiť aj ďalšie moderné prístrojové vybavenie a metódy, napr. používanie geodetických robotizovaných staníc s kontinuálnym meraním polohových

a výškových zmien, bezkontaktné určovanie priestorových súradníc s vytvorením 3D modelu meraného povrchu (terestrickými laserovými skenermi), pričom požiadavky na tieto merania určuje projektant stavby.

3.3.1.2 Konvergenčné merania - Δl (m)

Konvergenčné merania sa vykonávajú pre stanovenie polohových zmien bodov pri vyšetrení deformácií výrubu a primárneho ostenia podzemných častí tunelov a prieskumných štôlní a deformácií súvisiacich nadzemných objektov, napr. pri meraní deformácií paženia líniových stavebných jám (hlbené úseky), obojstranných zárubných múrov v predportálových zárezoch a pod. Sledujú sa buď vzájomné priblíženia – konvergencia, resp. oddialenie – divergencia bodov alebo sa sledujú absolútne vektory deformácie týchto bodov.

Konvergenčným meraním deformácií podzemných častí tunelov a prieskumných štôlní sa zisťujú posuny bodov inštalovaných pevne do primárneho ostenia (konvergenčné body) v konvergenčných profiloch. V odôvodnených prípadoch sa môžu sledovať aj konvergencie na sekundárnom ostení.

Ak je cieľom monitoringu kontrola hypotézy pretvárania prijatej pre realizačnú dokumentáciu raziacich prác, statické výpočty tunelových ostení, tak sa meračské konvergenčné profily dopĺňajú o ďalšie typy merania – o meranie deformácií v okolí výrubu (tyčové extenzometre, inklinometre, deformetre), tlakové krabice, pri nízkom nadloží aj o geodetické meranie na povrchu terénu (poklesová kotlina). Meračský profil, v ktorom sa vykonávajú dva a viac typov meraní, sa nazýva združený profil.

Združené meračské profily sa osádzajú do reprezentatívnych miest, ktoré boli prijaté ako podklad pre tvorbu geomechanického modelu a hypotézy pretvárania systému hornina – stavebná konštrukcia tunela, resp. prieskumnej štôlne.

Konvergenčné merania nadzemných častí sledujú zmeny dĺžok pri vyšetrení deformácií súvisiacich nadzemných objektov, napr. pri meraní deformácií paženia líniových stavebných jám (hlbené úseky), obojstranných zárubných múrov v predportálových zárezoch a pod. Meranie sa vykonáva medzi dvoma pevne osadenými bodmi s guľovým zhlavím. Body môžu byť usporiadané do osí nasmerovaných do smeru očakávaných pohybov. Môžu byť pevne zabudované do stien stavebných jám alebo do stabilizovaných meračských pilierov pri meraní posunov na povrchu terénu.

Ak sa pri razení tunela, prípadne štôlne, aplikuje observačná metóda a cieľom monitoringu je optimalizovať vystrojenie tunela či štôlne zapojením horninového masívu do prenášania zaťaženia na tunelové ostenie, tak sa postupuje podobne. Združené profily sa potom navyše osádzajú na všetky miesta s oslabením horninového masívu, do anomálnych oblastí a pod.

3.3.1.3 Extenzometrické merania - Δl (m)

Extenzometrické merania slúžia k meraniu relatívnych posunov medzi dvoma bodmi. Meraná je najčastejšia zmena dĺžky medzi meracou hlavou upevnenou na povrchu a koreňom fixovaným v horninovom masíve.

V podzemných častiach tunelov a prieskumných štôlní sa merania využívajú na sledovanie deformácií a overenie rozsahu zóny rozvoľnenia horninového prostredia v okolí výrubu. Pri hlbokých tuneloch (nad 50 m nadložía) sa extenzometre spravidla umiestňujú do vrtov vykonávaných z podzemia priamo v tunely po vyrazení potrebnej časti pre ich inštaláciu. Tieto merania však nezachytia tzv. stratenú konvergenciu. Spravidla bývajú súčasťou už spomenutých združených meracích profilov.

Pri plytkých tuneloch a prieskumných štôlniach a pri nízkom nadloží je omnoho výhodnejšie osádzať extenzometre do vrtov realizovaných z povrchu. Ich fixácia a nulté meranie sa môže vykonať s dostatočným predstihom pred razením. Meraná deformácia je potom celková.

Najčastejšími aplikáciami v nadzemných častiach tunelov a prieskumných štôlní je meranie zmien v geotechnických konštrukciách ako sú oporné a zárubné múry, horninové konštrukcie vystužené geosyntetikou, kde funkciu výstuže plní plošná geosyntetická výstuž a funkciu kotiev plnia úzke geosyntetické pásiky a pod. Extenzometrické merania je možné použiť aj v prípade ťažko prístupných nestabilných skalných svahov, prípadne priamo na inštalovaných kotevných prvkoch (meracie tyčové kotvy).

3.3.1.4 Inklinometrické merania

Inklinometrické meranie je metóda na sledovanie podpovrchových posunov alebo deformácií prostredníctvom merania uhlov vo vodiacej rúre.

Merania vertikálnym inklinometrom - $\Delta u_{x,i}$, $\Delta u_{y,i}$ (m)

Vertikálnym inklinometrom je možné zachytiť podpovrchové vodorovné posuny a najčastejšie sa aplikuje pri monitorovaní deformácií okolia výrubu podzemných častí tunelov a prieskumných štôlní pri nízkom nadloží ako súčasť združených meracích profilov, pri monitorovaní stability portálov a predportálových úsekov tunelov a prieskumných štôlní (násypy, zárezy, oporné a zárubné múry), na sledovanie aktivity pohybov v zosuvných územiach, sledovanie deformácií pažiacich stien stavebných jám (hĺbené úseky) a pod. Meranie sa vykonáva v inklinometrických vrtoch, ktoré sú monitorovacími objektami pre aplikáciu presnej zvislej inklinometrickej metódy. Pri tejto metóde sa zisťujú podpovrchové horizontálne pretvorenia (posuny) na základe merania uhla odklonu od zvislice a jeho zmien. V ojedinelých prípadoch je možné použiť aj kontinuálne merania.

Merania horizontálnym inklinometrom - $\Delta u_{z,i}$ (m)

Metóda horizontálnej inklinometrie využíva princíp kontinuálnej presnej inklinometrie v horizontálnej, resp. subhorizontálnej orientácii, ktorá umožňuje sledovať vývoj vertikálnych deformácií (sadanie podložia) pod zemnými (násypy) a geotechnickými konštrukciami (horninové konštrukcie vystužené geosyntetikou, oporné múry) nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní, potrubnými rozvodmi a pod. Horizontálna inklinometria sa meria v meracích rúrach štandardne zabudovaných v podloží sledovaného objektu.

3.3.1.5 Deformetrické merania - $\Delta u_{z,i}$ (m)

Pre meranie axiálnych deformácií (skrátene, príp. predĺženie) pozdĺž meranej priamky sa používa meranie posuvným deformetrom. Najčastejšími aplikáciami je monitoring deformácií nadložia (poklesová kotlina) podzemných častí tunelov a prieskumných štôlní (pri nízkom nadloží) a monitoring deformácií podložia nadzemných objektov pri plošnom a hĺbkovom zakladaní, deformácie (konsolidácia) telesa násypov vrátane ich podložia, deformácie zásypov, deformácie dna v hlbokých stavebných jamách (odľahčenie výkopom, priťaženie stavebnou konštrukciou) a v hlbokých zárezoch (odľahčenie dna zárezu výkopom). Merania sa realizujú vo zvislých vrtoch vystrojených deformetrickou pažnicou zabudovaných v horninovom prostredí, resp. v zemnej konštrukcii (násype, zásype).

3.3.1.6 Inklinometricko - deformetrické merania - $\Delta u_{x,i}$, $\Delta u_{y,i}$, $\Delta u_{z,i}$ (m)

Kombinovanou metódou sú inklinometricko-deformetrické merania, ktoré umožňujú sledovať vývoj všetkých priestorových (3D) pretvorení v horninovom prostredí, t. j. v osiach horizontálnej roviny (X, Y) ako pri presnej vertikálnej inklinometrii a tiež aj vo vertikálnom smere (v osi Z) ako pri deformetrickom meraní, pričom sa používa špeciálne vystrojenie vrtu. Uplatnenie týchto 3D meraní sa využíva podobne ako pri inklinometrických a deformetrických meraniach.

3.3.1.7 Hydrostatické merania - $\Delta u_{z,i}$ (m)

Hydrostatické meranie je založené na princípe tradičných hadicových vodováh a slúži na dlhodobé sledovanie deformácií (sadanie) stavebných objektov nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní a objektov v zóne ovplyvnenia výstavbou. Meracie body sú osadené snímačmi s kvapalným médiom, ktoré sú navzájom prepojené medzi sebou hadicami. Hladina kvapaliny vymedzuje porovnávaciu rovinu, vzhľadom na ktorú sa meria zvislý pohyb nádob. Jeden zo snímačov je referenčný a je zameriavaný geodeticky alebo je v mieste mimo posunov.

3.3.1.8 Merania náklonov - $\Delta \alpha$, $\Delta \beta$ (°)

Náklony sa merajú prenosnými náklonomermi s elektronickými snímačmi. Na sledované objekty sa pevne zabudujú meracie značky, na ktoré sa samotný merací prístroj uloží len po dobu merania. Princíp dosadania meracieho zariadenia na značky zaručuje presnú reprodukovateľnosť polohy prístroja pri každom meraní. Meracie značky sa upevňujú do betónu, muriva alebo skaly zacementovaním, na oceľové konštrukcie privarením. Podľa druhu merania sa používajú rôzne typy meracích značiek a prípravkov k pootočeniu meracej základne do horizontálnej alebo vertikálnej roviny.

Meranie zmeny náklonov sa využíva pri monitoringu nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní, pažiacich stien stavebných jám hĺbených úsekov a objektov v zóne ovplyvnenia výstavbou. Výhodou merania je včasné rozpoznanie naklonenia objektu v prípadoch, keď nie je možné polohové zmeny merať geodeticky.

3.3.1.9 Dilatometrické merania - Δu_x , Δu_y , Δu_z (m)

Meranie vzájomných pohybov napr. v dilatáciách alebo trhlinách nadzemných častí dotknutých objektov v dosahu stavebných prác (zóna ovplyvnenia) alebo puklinách skalného masívu (portálové a predportálové úseky) a napomáha rozpoznať konkrétne štádium časového vývoja deformačného procesu, ako aj jeho mechaniku. Obzvlášť významné je monitorovanie pohybov pri nestacionárnych procesoch (jednotlivé etapy výstavby, zvetrávanie horninového masívu a pod.). Pohyb v škáre sa môže prejavíť v troch smeroch: ako jej roztvorenie/zovretie, výškový a šmykový posun. Vo väčšine prípadov sa najväčšie pohyby prejavujú v zmene šírky trhliny a preto je väčšina zariadení usporiadaná na ich meranie. Súčasne s meraním posunu sa meria aj povrchová teplota meranej konštrukcie, horniny, na elimináciu vplyvu teplotnej rozťažnosti.

3.3.1.10 Radarová interferometria

Metóda bola vyvinutá a je dnes využívaná najmä na určovanie zmien a deformácií zemského povrchu. Technológia môže pracovať ako v statickom, tak aj v dynamickom móde. Pri takejto extrémnej rozlišovacej schopnosti je možné niektoré akútne geodynamické deje pozorovať aj v čase niekoľkých málo hodín či dní. Pozemná radarová interferometria T-InSAR (Terrestrial Interferometric Synthetic Aperture radar) používa radar s mikrovlnným žiarením na vlnovej dĺžke 1 mm až 1 m. Omnoho nižšie vlnové dĺžky umožňujú získať údaje aj za hmly, v noci, mierneho sneženia a dažďa. Radar vysiela signál a následne ho prijíma. Merania okrem intenzitnej zložky (popisujúcej odrazivé vlastnosti povrchu) obsahujú údaje aj fázovej zložky (na rozdiel od klasických technológií - 3D skenovanie) a táto fázová zložka hovorí priamo o okamžitej vzdialenosti radaru od každého ožiareného bodu. Fázový rozdiel z dvoch radarových snímkov rovnakého územia umožňuje určiť incidenčný uhol, pod ktorým dopadá žiarenie na povrch. Údaje o vzdialenosti, incidenčnom uhle a polohe radaru tak potom umožňujú spočítať nielen tvar snímaného terénu ale aj jeho posuny.

3.3.2 Merania napätia, tlakov a síl

3.3.2.1 Merania napätí v stavebných konštrukciách - $\sigma = \epsilon \cdot E$ (Pa)

Metóda spočíva v meraní pomernej deformácie, ktorou je možné nepriamo vyšetriť napätie v sekundárnom ostení podzemných častí tunelov a prieskumných štôlní, prípadne na oceľových alebo betónových konštrukciách nadzemných objektov (oporné a zárubné múry portálových a predportálových úsekov), prípadne pri hĺbkovom zakladaní konštrukcií (pilóty) a pod. Merania sa vykonávajú pomocou snímačov pretvorenia napr. vibračnými tenzometrami.

3.3.2.2 Merania horninových (zemných) tlakov - p (Pa)

Meraním v podzemných častiach je možné sledovať skutočný horninový (zemný) tlak na ostenie tunela prípadne prieskumnej štólne tlakom. Meradlá (tlakové krabice) sa umiestňujú na povrch výrubu. Meracie body sa umiestňujú do združených meracích profilov, ktoré majú rovnaké usporiadanie v profile ako konvergenčné body. Môžu sa však umiestňovať aj samostatne, napr. na dno tunela a prieskumnej štólne, kde sa očakávajú vyššie tlaky spôsobené napr. prítomnosťou napúčavých hornín.

Pri nadzemných objektoch sa merania využívajú na sledovanie tlaku zeminy na pažiacie konštrukcie stavebných jám a geotechnické konštrukcie pozemnej komunikácie (oporné múry, horninové konštrukcie vystužené geosyntetikou a pod.) ako aj pozorovanie tlakov vo vysokých násypoch a v ich podloží.

3.3.2.3 Merania pórových tlakov vody

Meranie sleduje vývoj pórových tlakov vody podzemných častí tunelov a prieskumných štôlní v okolí výrubu pri nízkom nadloží v málo priepustných a nepriepustných zeminách. Snímače pórových tlakov vody sa v tomto prípade osádzajú do vrtov realizovaných z povrchu.

Meranie pri podzemných častiach tunelov a prieskumných štôlní sa využíva pre sledovanie hydrostatického tlaku na ostenie pri použití celoplošovej izolácie konštrukcie.

Merania pórových tlakov vody nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní v portálových a predportálových úsekoch sa využívajú najčastejšie pre sledovanie hydrostatického tlaku v podloží násypov, prípadne iných geotechnických konštrukcií pre monitorovanie priebehu konsolidácie základovej pôdy stavebného objektu, resp. meranie je možné využiť aj pri monitorovaní zosuvných území. Merania pórových tlakov je možné využiť aj pri monitorovaní výstavby hlbokých stavebných jám (hĺbené úseky). Pórové tlaky vody v zemi sa merajú otvorenými alebo uzavretými piezometrami (snímače pórového tlaku).

3.3.2.4 Meranie sily kotiev

Meranie sily v kotvách poskytuje predstavu o skutočnom zaťažení kotvy, vývoji kotevnej sily v čase a o stabilite celého systému, pričom sa merania využívajú hlavne pri kotvených dočasných a trvalých konštrukciách v podzemných aj nadzemných častiach tunelov a prieskumných štôlní.

V podzemných častiach ide najmä o zabezpečenie stability výrubu, pričom sa najbežnejšie používajú tyčové kotvy (svorníky). Pre meranie sa štandardne používajú meracie tyčové kotvy (svorníky), ktoré majú vo svojom vnútri integrovaný 4-násobný extenzometer. Jednotlivé meracie tyče sú pozdĺž meracej kotvy spojené na štyroch miestach s kotvou, čo umožňuje meranie deformácií a síl v štyroch úsekoch. Meracia kotva má obdobnú únosnosť ako aplikované kotvy, nahrádza teda jednu kotvu.

V nadzemných častiach ide o kotvy (tyčové, lanové) aplikované na portáloch, pažených stavebných jamách (hĺbené úseky), kotvené betónové prahy zárubných a oporných múrov (predportálové úseky), kotvené pilotové steny, pričom okrem vyššie uvedených meracích tyčových kotiev sa pre meranie síl v kotvách môžu inštalovať aj prstencové dynamometre (hydraulické) s priamym meraním sily medzi hlavou kotvy a konštrukciou, prípadne sa na kotvu nasunie magnetoelastický dynamometer, ktorý využíva magnetoelastický jav, t. j. zmenu magnetických vlastností feromagnetického materiálu v dôsledku naň pôsobiacej sily.

Pri sledovaní trvalých kotiev by mal snímač spĺňať kritérium životnosti, t. j. minimálne polovicu navrhovanej životnosti sledovaného objektu. U trvalých kotiev by mal snímač umožňovať prípadné kontinuálne meranie sily.

3.3.3 Meranie rýchlosti šírenia seizmických vln

Pri použití trhacích prác pri razení tunela alebo prieskumnej štôlnie je potrebné monitorovať seizmické a dynamické účinky na okolité stavebné konštrukcie a dotknutú nadzemnú zástavbu. Vibrácie môžu vznikáť aj pri strojnom rozpojovaní, napr. pri použití impaktora, frézy, tunelovacích strojov a pod. Meranie sa môžu vykonávať jednak na mobilných základniach podľa aktuálnej polohy čelby, jednak na stacionárnych meradlách osadených na existujúcich objektoch v zóne ovplyvnenia. Podľa požiadaviek projektu sa stacionárne meradlá šírenia účinkov raziacich prác môžu použiť aj na dotknuté podzemné, resp. nadzemné časti, ktoré sú súčasťou stavby.

Výsledky meraní umožňujú korigovať veľkosť náloží trhacích prác s ohľadom na prostredie v okolí tunela a s ohľadom na zachovanie vlastností horninového masívu v miestach razenia. Snímače rýchlosti kmitania sa zvyčajne inštaluje na obvodové múry príslušných objektov tak, aby umožnil zachytiť amplitúdu seizmickej vlny na úrovni základovej škáry.

3.3.4 Meranie teploty

Väčšina meraných veličín je závislá od teploty, preto je potrebné na vykonanie teplotných kompenzácií merať aj teplotu (konštrukcia, hornina). Pokiaľ meracie zariadenie pre vyššie uvedené metódy nedisponuje snímačom teploty a pre dodržanie predpísanej presnosti je vplyv teploty potrebné zohľadniť, je potrebné teplotu pri každom meraní sledovať s dostatočnou presnosťou a pri vyhodnotení meraní vykonať potrebné korekcie. Merania sa vykonávajú dotykovými alebo bezdotykovými teplomermi.

Merania sa tiež teplota vybraných konštrukcií z liateho betónu a to na vonkajšom a vnútornom líci, tiež sa meria aj vývoj hydratačného tepla počas tuhnutia betónu. Rozdiel teplôt pri vnútornom a vonkajšom líci konštrukcie a na jeho rozličných miestach sú spolu s hodnotami vyvíjaného hydratačného tepla významnými okolnosťami pre dimenzovanie konštrukcie.

3.3.5 Meranie vodného režimu

3.3.5.1 Meranie hladiny podzemnej vody

Úroveň hladiny podzemnej vody je pri viacerých geotechnických konštrukciách dôležitou zložkou ovplyvňujúcou ich stabilitu a životnosť, pričom je aj jedným z nepriaznivých faktorov pri stavových deformáciách. Z toho dôvodu je dôležité poznať režim hladiny podzemnej vody v horninovom prostredí a zároveň limitné hodnoty jej úrovne v zmysle výstupov z geotechnických výpočtov. Zároveň sledovanie režimu hladiny podzemnej vody je kontrolným mechanizmom pre posúdenie správnej funkcie odvodňovacích zariadení zrealizovaných v rámci sanačných opatrení (subhorizontálne odvodňovacie vrty, drenážne systémy a pod.) a pre posúdenie vplyvu stavby na hydrogeologické pomery v širšom okolí stavby (vplyv na dotknuté vodárenské objekty – zdroje pitnej vody pre individuálne a hromadné zásobovanie obyvateľov vodou, zdroje úžitkovej vody pre výrobnú sféru).

Meranie hladiny podzemnej vody sa vykonáva v špeciálne vystrojených vrtoch buď ručne (hladinomerom), prípadne automatizovaným zariadením (snímač vodného tlaku).

3.3.5.2 Meranie prietokov drénovaných vôd

Dôležitým údajom pre sledovanie zmien hydrogeologických pomerov v dotknutom okolí tunela a prieskumnej štôlne je okrem monitoringu hladiny podzemnej vody aj meranie prietokov vôd drénovaných podzemnou časťou diela, pričom najčastejšie sa meria celkové množstvo vody vytekajúcej z tunela a prieskumnej štôlne na ich portáloch prostredníctvom merných prepádov. V ojedinelých prípadoch je možné merať prítoky vody priamo v mieste výverov vo vnútri tunela a prieskumnej štôlne mernými kalibrovanými nádobami s meraním času.

3.3.5.3 Meranie prietokov odvodňovacích zariadení

Meranie prietokov odvodňovacích zariadení podzemných aj nadzemných častí tunela a prieskumnej štôlne je doplnkovou metódou k meraniu režimu podzemnej vody, pričom ide najmä o kontrolu funkčnosti zrealizovaných sanačných opatrení (odvodňovacie vrty, drenážne systémy a pod.). Meranie prietokov (výdatnosti) odvodňovacích vrtoch sa vykonáva na ich vyústení ručne (kalibrovaná nádoba, meranie času), prípadne automatizovane (drenážne systémy) meracím zariadením osadeným na potrubí drenáže (snímače prietoku).

3.3.6 Meranie chemického zloženia vôd

Dôležitým údajom je informácia o chemickom zložení vôd drénovaných podzemnou časťou tunelov a prieskumných štôlní z hľadiska korozívnych účinkov na stavebné konštrukcie (betón).

3.3.7 Meranie meteorologických veličín

Údaje o meteorologických podmienkach (úhrn zrážok, teplotný režim) sú dôležitou súčasťou geotechnického monitoringu a je potrebné im venovať zvýšenú pozornosť z toho dôvodu, že v poslednom období (globálna zmena klímy) významne zvyšujú geotechnické riziká (teplotné a zrážkové anomálie). Údaje sa získavajú buď z meteorologických staníc siete SHMÚ, resp. vybudovaním meteorologických (zrážkomerných) staníc priamo na lokalite sledovanej stavby.

3.4 Požiadavky na inštrumentáciu a presnosť meraní

Inštrumentované zariadenia a meracie prístroje, okrem nižšie uvedených požiadaviek, musia spĺňať kritéria odolnosti voči meteorologickým vplyvom, vplyvom stavebných prác a možnému vandalizmu neoprávnenými osobami.

3.4.1 Meranie deformácií

3.4.1.1 Geodetické merania - Δx , Δy , Δz (m)

V zásade pre geodetické merania musí byť vybudovaný dostatočný počet vzáajných bodov tak, aby bola možná kontrola meraní medzi bodmi navzájom, pričom sieť vzáajných bodov je možné kombinovať, prípadne aj nahradiť bodmi základnej vytyčovacej siete (ZVS) stavby, ktoré spĺňajú nižšie uvedené požiadavky.

Požiadavky na zriadenie vzťažných bodov:

- Body musia byť stabilizované hĺbkovou stabilizáciou, pričom hĺbka stabilizácie je minimálne 2,5 m pod úroveň terénu s rozmermi betónového bloku minimálne 0,6 m x 0,6 m, priemer oceľovej pažnice osadenej v betónovom bloku minimálne \varnothing 250 mm. Pažnica musí byť vyplnená betónom.
- Pre body s nútenou centráciou je pažnica výšky minimálne 1,35 m nad terénom, pre body bez nútenej centrácie je pažnica výšky minimálne 0,20 m nad terénom.
- Body s nútenou centráciou musia byť upravené tak, aby bolo možné na pažnicu osadiť priamo merací prístroj, body bez nútenej centrácie majú v strede pažnice zabetónovanú meraciu značku (klinec).
- Oceľové pažnice musia byť opatrené náterom červenej farby v kombinácii s bielou (vrchná časť pažnice) a označené minimálne jedným ochranným tyčovým znakom s príslušným štítkom s názvom stavby a číslom bodu v zmysle realizačného projektu GTM.
- Minimálny počet bodov s nútenou centráciou a bez nútenej centrácie určí projekt na meranie deformácií.

Požiadavky na zriadenie pozorovaných bodov osadených na povrchu terénu (poklesová kotlina a pod.):

- Body musia byť stabilizované hĺbkovou stabilizáciou, pričom hĺbka stabilizácie minimálne 1 m pod úroveň terénu s rozmermi betónového bloku minimálne 0,4 m x 0,4 m, priemer oceľovej pažnice osadenej v betónovom bloku minimálne \varnothing 130 mm. Pažnica musí byť vyplnená betónom s výškou minimálne 0,20 m nad terénom.
- Body majú v strede pažnice zabetónovanú meraciu značku (napr. klinec).
- Oceľové pažnice musia byť opatrené náterom červenej farby v kombinácii s bielou (vrchná časť pažnice) a označené minimálne jedným ochranným tyčovým znakom s príslušným štítkom s názvom stavby a číslom bodu v zmysle realizačného projektu GTM.
- Minimálny počet pozorovaných bodov určí projektant stavby a projekt na meranie deformácií.

Požiadavky na zriadenie pozorovaných bodov na geotechnických konštrukciách nadzemných častí:

- Pozorované body musia byť stabilizované a signalizované v závislosti na metóde merania a rozmiestnenia vzťažných bodov na geotechnických konštrukciách meračskými značkami (samolepiace odrazové značky, kovové značky so závitom, odrazové hranoly, odrazové terčíky, zabudované čapové a klinecové značky).
- Minimálny počet pozorovaných geodetických bodov a druh meračských značiek určí projektant stavby a projekt na meranie deformácií.

Požiadavky na presnosť geodetických meraní priestorových posunov Δx , Δy , Δz a meracie prístroje:

- Metóda geodetického merania priestorových posunov Δx , Δy , Δz musí byť zvolená v závislosti od požadovanej presnosti merania a od morfológie terénu.
- Pri súčasnom určovaní vodorovných (poloha) a zvislých (výška) posunov Δx , Δy , Δz pre požadovanú presnosť nižšiu ako 1 mm sa môže použiť polárna metóda merania, pričom presnosť metódy merania závisí od použitej totálnej stanice.
- Pri určovaní vodorovných posunov Δx , Δy pre požadovanú presnosť nižšiu ako 10 mm sa môže použiť GNSS technológia.
- Pri určovaní zvislých posunov Δz pre požadovanú presnosť vyššiu ako 1 mm sa použije veľmi presná nivelácia.
- Metóda meraní sa zvolí na základe vypočítanej aposteriornej presnosti určenia posunov, presnosti merania a konfigurácie lokality s predpokladom dosiahnutia vyžadovanej presnosti určenia posunov pri použití danej metódy merania s danými zariadeniami.

3.4.1.2 Konvergenčné merania - Δl (m)

Konvergenčným meraním deformácií podzemných častí tunelov a prieskumných štôlní sa zisťujú posuny bodov inštalovaných pevne do primárneho ostenia (konvergenčné body) v konvergenčných profiloch. V odôvodnených prípadoch sa môžu sledovať aj konvergenzie na sekundárnom ostení.

Minimálny počet konvergenčných bodov v každom meracom profile pri razení na plnú čelbu je 5 bodov. Konvergenčné body sa fixujú do betónu primárneho ostenia tunela, resp. prieskumnej štôlne bez zbytočného odkladu po stabilizačnom nástreku výrubu betónom a to čo najbližšie k čelbe.

Pri razení s členeným výrubom sa počet konvergenčných bodov v meracom profile upravuje tak, aby pri každom zábere bola informácia o pretváraní príslušného ostenia úplná.

Vzájomná vzdialenosť konvergenčných profilov závisí od profilu tunela, geotechnických podmienok, v ktorých sa razenie vykonáva, technológie razenia a konkrétneho cieľu monitoringu. Zvyčajná vzdialenosť medzi konvergenčnými profilmi je 1 až 3 profily výrubu tunela, a to vtedy, ak je konkrétnym cieľom monitoringu kontrola zhody skutočného pretvárania primárneho ostenia tunela (prieskumnej štôlne) s predpokladaným pretváraním.

Pri tuneloch bežných profilov sa meranie vykonáva optickými automatickými totálnymi stanicami. V tom prípade sú výsledkom merania všetky tri zložky priestorového posunu konvergenčného bodu (zvislá, vodorovná v smere pozdĺžnej osi tunela a vodorovná v smere kolmom na pozdĺžnu os tunela).

Požiadavky na osadenie meracích bodov:

- Stabilné upevnenie bodu do meranej konštrukcie (ostenie).
- Miesto merania musí byť označené príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

Pri malých profiloch tunelov a prieskumných štôlní (vzdialenosť bodov do 30 m) sa meranie vykonáva špeciálnymi prenosnými konvergenčnými pásmami. V tom prípade sa meria relatívna zmena vzdialenosti protifaľných konvergenčných bodov. Je vhodné aspoň jeden bod profilu kontrolovať geodeticky. Merací systém pozostáva z osadenia špeciálnych meracích bodov (svorníky), pričom pri malých vzdialenostiach meracích bodov (do 30 m) sa meranie vykonáva pomocou prenosných konvergenčných pásiem. Merací prístroj sa skladá z meracieho pásma, meracích hodínok (analogových alebo digitálnych) a napínacieho zariadenia. Merací prístroj sa počas merania upne na špeciálne meracie svorníky, ktoré sa vopred pevne nainštalujú na primárne ostenie. Merací prístroj je potrebné kalibrovať na kalibračnom ráme pred a po každom meraní a zároveň je potrebné zaznamenávať teplotu pri meraní.

Požiadavky na meracie zariadenie (konvergenčné pásmo):

- Maximálna dĺžka 30 m.
- Presnosť odpočtu $\pm 0,01$ mm.

Požiadavky na presnosť meraní konvergenčným pásmom:

- Požadovaná presnosť v bežných podmienkach (dĺžky do 30 m) $\pm 0,1$ mm.

Pri interpretácii konvergenčných meraní je nevyhnutné využiť aj ostatné výsledky monitoringu (podmienky osadzovania konvergenčných bodov, extenzometrické a inklinometrické merania v tzv. združených profiloch atď.).

Pre konvergenčné merania nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní sa postupuje obdobne.

3.4.1.3 Extenzometrické merania - Δl (m)

Merací systém pozostáva z inštalácie extenzometra a samotného merania. Extenzometer sa skladá z hlavy, tyče v púzdre a z koreňa. Koreň je pevne spojený s tyčou, púzdro slúži k umožneniu voľného pohybu tyče. Podľa podmienok je možné použiť rôzne typy koreňov (injektážne, hydraulické, mechanické). Hlavy extenzometrov majú rôznu konštrukciu v závislosti najmä od spôsobu odčítania (mechanické meradlá, snímače, odčítacie jednotky, datalogy).

Jednoduchý tyčový extenzometer je tyč zakotvená do horninového masívu (vrt), prípadne do geotechnickej konštrukcie. Od koreňa je tyč vedená v ochrannej rúrke k hlave extenzometra, ktorá sa spravidla nachádza na povrchu meranej konštrukcie, resp. terénu. Posun vzhľadom ku koreňu tyče sa meria na hlave extenzometra. Jednoduché extenzometre odlišných dĺžok sa môžu spájať do zväzkov, pričom sa vytvoria viacstupňové extenzometre, s ktorými možno sledovať priebeh dĺžkových deformácií vo zvolených úrovniach.

Požiadavky na osadenie tyčových extenzometrov:

- Stabilné upevnenie koreňa extenzometra do monitorovaného telesa.
- Miesto merania musí byť označené príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

Požiadavky na extenzometre:

- Maximálna dĺžka 150 m, maximálny počet extenzometrov vo zväzku 6 ks.
- Rozsah merania 25 mm - 50 mm, po prestavení do 300 mm.
- Presnosť odpočtu $\pm 0,01$ mm.

Požiadavky na presnosť meraní:

- Požadovaná presnosť v bežných podmienkach (extenzometre dĺžky do 30 m) $\pm 0,1$ mm.

V špeciálnych prípadoch je možné merania vykonávať priamo na inštalovaných meracích tyčových kotvách. Meracie kotvy majú vo svojom vnútri integrovaný 4-násobný extenzometer. Jednotlivé meracie tyče sú pozdĺž meracej kotvy spojené na štyroch miestach s kotvou, čo umožňuje meranie deformácií a síl v štyroch úsekoch. Meracia kotva má obdobnú únosnosť ako aplikované kotvy, nahrádza teda jednu kotvu. S digitálnym meradlom sa meria relatívna vzdialenosť od meracej hlavy k jednotlivým ukotveniam. Rozsah merania je 250 mm a presnosť merania je 0,03 mm.

3.4.1.4 Inklinometrické merania

Merania vertikálnym inklinometrom - $\Delta u_{x,i}$, $\Delta u_{y,i}$ (m)

Inklinometrický systém pozostáva zo zabudovaných špeciálnych inklinometrických výpažníc a z prenosnej inklinometrickej sondy s ovládacím káblom napojeným na odčítaciu jednotku. Inklinometrické výpažnice z PVC sú vybavené pozdĺžnymi drážkami v dvoch na seba kolmých smeroch a zabezpečujú orientáciu sondy v určenom smere. Zabudovávajú sa priamo v konštrukcii (napr. pilota, podzemná stena, základový blok a pod.) a vo vrte. Dĺžku inklinometrickej výpažnice (vrtu) určuje projektant stavby.

Požiadavky na zabudovanie inklinometrickej výpažnice v konštrukcii:

- Pri zabudovaní do konštrukcie sa inklinometrická výpažnica osadzuje priamo do betónu. Drážky vodiacich výpažníc je potrebné orientovať v smere predpokladaných deformácií.
- Inklinometrická výpažnica sa osadí tak, aby zhlavie inklinometrickej výpažnice bolo dostupné aj po zrealizovaní finálnej úpravy konštrukcie (napr. rímsa a pod.).
- Zhlavie inklinometrickej výpažnice sa ochráni oceľovou chráničkou a medzikružie sa dôsledne vyplní BC zálievkou.
- Oceľová chránička priemeru minimálne 130 mm je zapustená do konštrukcie a stabilizovaná betónom konštrukcie. Oceľová chránička a inklinometrická výpažnica je zabezpečená oceľovým uzamykateľným poklopom.
- Oceľová chránička musí byť opatrená náterom červenej farby v kombinácii s bielou (vrchná časť chráničky) a označená minimálne jedným ochranným tyčovým znakom s príslušným štítkom s názvom stavby a označením inklinometra v zmysle realizačného projektu GTM.
- Horná hrana inklinometrickej výpažnice musí byť polohovo a výškovo zameraná.

Požiadavky na zabudovanie inklinometrickej výpažnice vo vrte:

- Pri zabudovaní do vrtu sa inklinometrická výpažnica osadzuje do vrtného otvoru minimálne \varnothing 130 mm, pričom priestor medzi inklinometrickou výpažnicou a stenou vrtu sa dôsledne vyplní bentonitovo-cementovou (BC) zálievkou, ktorej receptúra zodpovedá deformačným vlastnostiam horninového prostredia. Drážky vodiacich výpažníc je potrebné orientovať v smere predpokladaných deformácií.
- Inklinometrická výpažnica sa osadí minimálne 0,5 m nad terén, pričom zhlavie vrtu a inklinometrickej výpažnice sa ochráni oceľovou chráničkou a medzikružie sa taktiež dôsledne vyplní BC zálievkou.
- Oceľová chránička priemeru minimálne 150 mm je zapustená do terénu 1 m a na povrchu terénu je stabilizovaná betónovou pätkou s rozmermi 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m. Oceľová chránička a inklinometrická výpažnica je zabezpečená oceľovým uzamykateľným poklopom.

- Oceľová chránička musí byť opatrená náterom červenej farby v kombinácii s bielou (vrchná časť chráničky) a označená minimálne jedným ochranným tyčovým znakom s príslušným štítkom s názvom stavby a označením inklinometra v zmysle realizačného projektu GTM.
- Horná hrana inklinometrickej výpažnice musí byť polohovo a výškovo zameraná.

Na inklinometrické meranie sa používa inklinometrická sonda dĺžky 500 mm, ktorá obsahuje dva citlivé servomechanické merače zrýchlenia a ktorých osi sú vzájomne otočené o 90°. Počas merania musí byť sonda vedená v drážkach inklinometrickej výpažnice pomocou štyroch vodiacich kolies, pričom je ťahaná zdola nahor pomocou spojovacieho kábla. Merania sa vykonávajú v hĺbkovom intervale po 0,5 m prenosnou odčítacou aparaturou s káblovým prepojením so sondou.

Požiadavky na meráciu sondu:

- Meracia základňa 500 mm.
- Rozsah merania $\pm 53^\circ$ od vertikály, rozlíšenie 0,02 mm na 500 mm.

Požiadavky na presnosť meraní:

- Presnosť meraní v bežných podmienkach $\pm 0,2$ mm na 0,5 m hĺbky.

Súčasťou merania je aj zameranie geodetického (pozorovaného) bodu osadeného na oceľovej ochranke vrtu - polohové a výškové zmeny Δx , Δy , Δz (m). Požiadavky na geodetické merania sú uvedené v čl. 3.4.1.1 týchto TKP.

Merania horizontálnym inklinometrom - Δu_{z_i} (m)

Inklinometrický systém pozostáva zo zabudovaných špeciálnych inklinometrických rúr a z prenosnej inklinometrickej sondy s ovládacím káblom napojeným na odčítaciu jednotku. Inklinometrické rúry z PVC sú vybavené pozdĺžnymi drážkami v pravouhlej orientácii vo zvislom a vodorovnom smere. Zabudovávajú sa priamo v konštrukcii (v základovej škáre). Dĺžku inklinometrickej rúry (meracieho profilu) určuje projektant stavby.

Požiadavky na zabudovanie inklinometrickej rúry:

- V základovej škáre sa inklinometrická rúra inštaluje do ryhy s hĺbkou a šírkou minimálne 30 cm x 30 cm, pričom rúra sa ukladá do pieskového lôžka a obsype sa pieskom 10 cm nad rúru. Ryha sa následne zasype štrkodrvinou frakcie 0/8 mm a zásyp sa zhutní. Drážky vodiacej rúry je potrebné orientovať vo zvislom smere a voči jej pootočeniu pri zabudovaní sa rúra zabezpečí oceľovými platňami rozmerov 30 cm x 30 cm.
- Pre zabezpečenie prístupu meracej sondy sa vyústenie inklinometrických rúr zriadi mimo základovú škáru (napr. v päte násypu). Vyústenie rúr môže byť obojstranné alebo jednostranné a fixuje sa čelným betónovým múrikom s výklenkom pre osadenie uzamykateľných plechových dvierok v oceľovom ráme. Pre verifikáciu meraní sa na výustné múriky osadia geodetické body (klince).
- Manipulačný priestor pred dvierkami s vyústením inklinometrickej rúry musí byť min. 1,5 m.
- Vyústenie inklinometrickej rúry musí byť označené ochranným tyčovým znakom s príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

Vlastné merania sa vykonávajú inklinometrickou sondou dĺžky 1000 mm/500 mm, ktorá je vybavená snímačom náklonu, z oboch strán sondy je konektor, aby bolo možné merať v dvoch polohách, a tým vylúčiť chybu z pootočenia sondy. Sonda s prepojovacím káblom k prenosnej odčítacej aparatúre sa zasúva v drážkach inklinometrickej rúry pomocou tuhého ale ohybného ríľzanového prúta zhodnej dĺžky s osadenou rúrou. Meranie sa vykonáva zväčša v dĺžkových intervaloch 1 m, v každom intervale sa odčíta náklon, ktorý je konvertovaný na posun.

Pre získanie absolútnych hodnôt vertikálnych deformácií je potrebné súčasne s meraním inklinometrickou sondou premerať aj geodetický (pozorovaný) bod osadený na vyústení inklinometrickej rúry (múrik) – výškové zmeny Δz (m). Požiadavky na geodetické merania sú uvedené v čl. 3.4.1.1 týchto TKP.

Požiadavky na meráciu sondu:

- Meracia základňa 500/1 000 mm
- Rozsah merania $\pm 45^\circ$ od horizontály, rozlíšenie 0,02 mm na 500 mm.

Požiadavky na presnosť meraní:

- Presnosť meraní v bežných podmienkach $\pm 0,2$ mm na 0,5 m dĺžky.

3.4.1.5 Deformetrické merania - $\Delta u_{z,i}$ (m)

Deformetrický merací systém pozostáva zo zabudovaných špeciálnych meracích rúr, z prenosnej sondy, nosného napájacieho kábla, ovládacieho sútyčia, vodiacej lišty, odčítacej jednotky a ciachovacieho zariadenia. Meracia rúra je zostavená z deformetrických PVC výpažníc navzájom pospájaných v jednometrových vzdialenostiach teleskopickými meracími spojkami. Zabudovávajú sa priamo v konštrukcii (napr. pilota, základový blok a pod.) a vo vrte. Dĺžku meracej rúry (vrtu) určuje projektant stavby.

Požiadavky na zabudovanie meracej rúry v konštrukcii:

- Pri zabudovaní do konštrukcie sa meracia rúra osadzuje priamo do betónu a osadí sa tak, aby zhlavie rúry bolo dostupné aj po zrealizovaní finálnej úpravy konštrukcie (napr. rímsa a pod.).
- Zhlavie meracej rúry sa ochráni oceľovou chráničkou a medzikružie sa dôsledne vyplní BC zálievkou.
- Oceľová chránička minimálne \varnothing 130 mm je zapustená do konštrukcie a stabilizovaná betónom konštrukcie. Oceľová chránička a meracia rúra je zabezpečená oceľovým uzamykateľným poklopom.
- Oceľová chránička musí byť opatrená náterom červenej farby v kombinácii s bielou (vrchná časť chráničky) a označená minimálne jedným ochranným tyčovým znakom s príslušným štítkom s názvom stavby a označením deformetra v zmysle realizačného projektu GTM.
- Horná hrana deformetrickej výpažnice musí byť polohovo a výškovo zameraná.

Požiadavky na zabudovanie meracej rúry (výpažnice) vo vrte:

- Pri zabudovaní do vrtu sa výpažnica osadzuje do vrtného otvoru minimálne \varnothing 130 mm, pričom priestor medzi výpažnicou a stenou vrtu sa dôsledne vyplní bentonitovo-cementovou (BC) zálievkou, ktorej receptúra zodpovedá deformačným vlastnostiam horninového prostredia.
- Deformetrická výpažnica sa osadí minimálne 0,5 m nad terén, pričom zhlavie vrtu a výpažnice sa ochráni oceľovou chráničkou a medzikružie sa taktiež dôsledne vyplní BC zálievkou.
- Oceľová chránička priemeru minimálne 150 mm je zapustená do terénu 1 m a na povrchu terénu je stabilizovaná betónovou pätkou s rozmermi 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m. Oceľová chránička a deformetrická výpažnica je zabezpečená oceľovým uzamykateľným poklopom.
- Oceľová chránička musí byť opatrená náterom červenej farby v kombinácii s bielou (vrchná časť chráničky) a označená minimálne jedným ochranným tyčovým znakom s príslušným štítkom s názvom stavby a označením deformetra v zmysle realizačného projektu GTM.
- Horná hrana deformetrickej výpažnice musí byť polohovo a výškovo zameraná.

Deformetrické meranie sa vykonáva prenosnou sondou, ktorá sa postupne zasúva do meracej rúry (výpažnice), čo umožňuje vybrať v meracích značkách. V každom meracom intervale sa sonda pootočí pomocou ovládacieho sútyčia o 45° a napnutím medzi dve susediace značky sa zmerajú ich vzájomné vzdialenosti. Signál z vysokocitlivého snímača sa prenáša káblom a digitálne registruje.

Merania sa vykonávajú v hĺbkovom intervale po 1 m prenosnou odčítacou aparaturou s káblovým spojením so sondou.

Požiadavky na meraciu sondu:

- Meracia základňa 1000 mm.
- Rozsah merania ± 50 mm, rozlíšenie 0,01 mm na 1000 mm.

Požiadavky na presnosť meraní:

- Presnosť meraní v bežných podmienkach $\pm 0,1$ mm na 1 m hĺbky.

Súčasťou merania je aj zameranie geodetického (pozorovaného) bodu osadeného na oceľovej ochranke vrtu - polohové a výškové zmeny Δx , Δy , Δz (m). Požiadavky na geodetické merania sú uvedené v čl. 3.4.1.1 týchto TKP.

3.4.1.6 Inklinometricko - deformetrické merania - $\Delta u_{x,i}$, $\Delta u_{y,i}$, $\Delta u_{z,i}$ (m)

Kombinovanou metódou sú inklinometricko-deformetrické merania, ktoré umožňujú sledovať vývoj všetkých priestorových (3D) pretvorení v horninovom prostredí, t.j. v osiach horizontálnej roviny (X, Y) ako pri presnej vertikálnej inklinometrii a tiež aj vo vertikálnom smere (v osi Z) ako pri deformetrickom meraní, pričom sa používa špeciálne vystrojenie vrtu.

Požiadavky na inštrumentáciu a presnosť meraní sú obdobné ako pri vertikálnych inklinometrických a deformetrických meraniach.

3.4.1.7 Hydrostatické meranie - $\Delta u_{z,i}$ (m)

Hydrostatický systém merania sadaní pozostáva z jednotlivých snímačov tlaku, ktoré sú navzájom prepojené. Snímače sa nainštalujú pevne na objekt, ich dispozičné usporiadanie je v rámci výškového rozsahu merania ľubovoľné a určuje ho projektant stavby.

Požiadavky na osadenie snímačov:

- Stabilné upevnenie systému do monitorovaného objektu.
- Miesto merania musí byť označené príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

Požiadavky na snímače:

- Rozsah merania 100 mm – 1 000 mm; rozlíšenie 0,01 mm.
- Teplotný rozsah -20 °C až 80 °C.

Požiadavky na presnosť meraní:

- Požadovaná presnosť v bežných podmienkach 0,1 mm.

3.4.1.8 Merania náklonov - $\Delta \alpha$, $\Delta \beta$ (°)

Náklony sa merajú prenosnými náklonomermi (klinometer) s elektronickými snímačmi. Požiadavky na merania náklonov konštrukcie určuje projektant stavby.

Požiadavky na osadenie meracích značiek:

- Meracie značky sa upevňujú do betónu, muriva alebo skaly zacementovaním, na oceľové konštrukcie privarením. Podľa druhu merania sa používajú rôzne typy meracích značiek a prípravkov k pootočeniu meracej základne do horizontálnej alebo vertikálnej roviny.
- Miesto merania musí byť označené príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

Požiadavky na meracie zariadenie:

- Presnosť dosadnutia prístroja na meraciu značku $\pm 0,002$ mm/m.
- Meracia základňa 200 mm
- Rozsah merania ± 50 mm/m ($+2,86^\circ$), rozlíšenie $\pm 0,001$ mm/m.

Požiadavky na presnosť meraní:

- Presnosť a linearita meraní v bežných podmienkach $< \pm 0,2$ %.

3.4.1.9 Dilatometrické merania - Δu_x , Δu_y , Δu_z (m)

Pre dilatometrické merania sa používajú mechanické a vibračné dilatometre, v prípade neprístupnosti meracieho miesta alebo potreby kontinuálneho záznamu merania je možné použiť elektronické dilatometre. Ide o jednoosé snímače, pre trojosé meranie sa použijú 3 snímače uchytené v špeciálnom prípravku. Požiadavky na dilatometrické merania určuje projektant stavby.

Požiadavky na osadenie meracích značiek:

- Stabilné upevnenie systému do monitorovaného telesa po oboch stranách trhliny.
- Dôležitý je detail dosadnutia meradla do fixovaných značiek. Najvhodnejším je kombinácia gule a kužeľového vybratia.
- Miesto merania musí byť označené príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

Požiadavky na vibračné deformetre:

- Optimálna dĺžka 300 mm.
- Rozsah merania 25 mm, 50 mm, 100 mm; rozlíšenie 0,02 % rozsahu.

Požiadavky na presnosť meraní:

- Požadovaná presnosť v bežných podmienkach 0,1 % rozsahu.
- Súčasne s meraním sa meria aj povrchová teplota stavebnej konštrukcie, resp. horniny na elimináciu vplyvu teplotnej rozťažnosti.

3.4.1.10 Radarová interferometria

Metóda má bežný dosah dostupných aparatúr cca 500 m pri presnosti 0,01 mm až 0,5 mm. Pri takejto extrémnej rozlišovacej schopnosti je možné niektoré akútne geodynamické javy pozorovať aj v čase niekoľkých málo hodín či dní. Vhodné je umiestniť masívnu betónovú základňu na stabilnú časť terénu a na nej buď jednorazovo alebo kontinuálne snímať monitorovaný objekt (terén, konštrukciu). Okrem samotných veľkostí deformácií je veľakrát podstatnejšie sledovať, ktoré časti snímaného objektu sa deformujú v závislosti od času a v akých priestorových rozsahoch.

3.4.2 Merania napätia, tlakov a síl

3.4.2.1 Merania napätí v stavebných konštrukciách - σ (Pa)

Pre nadzemné časti tunelov a prieskumných štôlní sa používajú snímače pretvorenia (vibračné tenzometre), ktoré sa skladajú z dvoch častí: z ocelového drôtu natiahnutého medzi dvoma úchytnými blokmi a z meracej budiacej cievky. Ku monitorovanej konštrukcii sa úchytné bloky môžu pripnúť bodovým zvaráním, lepením alebo priviazaním k betonárskej výstuži. Deformácie konštrukcie vyvolajú vzájomný posun blokov tenzometra, čím sa zmení dĺžka resp. napätie ocelového drôtu, ktoré je merané ako jeho vlastná frekvencia kmitania po vybudení. Odčítacie jednotky vysielajú budiaci impulz pre rozkmitanie drôtu a prevedú periódu výslednej vibrácie priamo na mikrostrainy. Snímače pretvorenia sú dodávané so zabudovaným termistorom umožňujúcim meranie teploty v mieste snímača. Odčítavanie snímačov je možné pomocou prenosných odčítacích jednotiek alebo automaticky v nastavených intervaloch datalogermi. Pre vyhodnotenie meraní v jednotkách napätia je potrebné poznať deformačný modul predmetného stavebného materiálu.

Požiadavky na osadenie tenzometrov:

- Stabilné upevnenie bodu do meranej konštrukcie.
- Miesto merania musí byť označené príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

Požiadavky na meracie zariadenie:

- Činná dĺžka snímača 50 mm ÷ 250 mm.
- Max. rozsah 3 000 $\mu\epsilon$, citlivosť 0,5 $\mu\epsilon$.
- Teplotný rozsah -20 °C ÷ +80 °C.

Napätia v sekundárnom ostení tunelov a prieskumných štôlní je potrebné merať len v odôvodnených prípadoch, kedy je táto požiadavka uvedená v súťažných podmienkach a spracovaná v zvláštnych TKP (ZTKP).

3.4.2.2 Merania horninových (zemných) tlakov - p (Pa)

Pre meranie sa používajú hydraulické tlakové krabice, ktoré nachádzajú uplatnenie pri monitorovaní vývoja tlaku horniny (zeminy) na ostenie podzemných častí tunelov a prieskumných štôlní, resp. na pažiace a oporné konštrukcie portálových a hĺbených úsekov a nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní, ako aj pozorovanie zemných tlakov vo vysokých násypoch a v ich podloží predportálových úsekov.

Hydraulické snímače tlaku pozostávajú zo samotnej tlakovej krabice, pretlakového ventilu a meracej časti. Krabice sú vyplnené olejom alebo ortuťou a vďaka svojmu tvaru (faktor výška/priemer je 0,05 až 0,1) výrazne znižujú chybu zapríčinenú rozdielom deformačných modulov snímača a okolitého materiálu. Tekutina v krabici prenáša tlak zo zaťaženia krabice na membránu ventilu. Pri meraní sa prostredníctvom hydraulického alebo pneumatického meracieho zariadenia sa vyvíja tlak na opačnú stranu membrány, pričom hľadanou veličinou je tlak, pri ktorom dôjde k jej pretlačeniu. Výhodná je kombinácia snímačov tlaku horniny (zeminy) a pórového tlaku vody.

Požiadavky na osadenie tlakových krabíc:

- Stabilné upevnenie krabice do meranej konštrukcie.
- Pri zabudovaní do zemného prostredia by veľkosť zrna zeminy nemala byť väčšia ako jedna desatina priemeru snímača.
- Miesto merania musí byť označené príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

Požiadavky na meracie zariadenie:

- Merací rozsah od 0,5 MPa – 60 MPa.

3.4.2.3 Merania pórových tlakov vody

Pórové tlaky vody sú v prostredí merané bodovo otvorenými alebo uzavretými piezometrami umiestnenými do vrtu, pričom sa často kombinuje s meraním sadania sledovaného objektu. Voľba typu piezometra závisí od priepustnosti horninového prostredia. Otvorené piezometre sú vhodné v priepustnejších zeminách, umožňujú prípadné prepláchnutie. Uzavreté snímače sa používajú v málo priepustných zeminách a pri monitorovaní nestacionárnych dejov.

Otvoreným systémom označujeme merania voľných hladín vody v otvorených rúrkach priemeru cca 2,0 cm, ktoré sú zakončené v mieste merania keramikými alebo umelohmotnými filtrami. Filtrová časť výšky max. 0,5 m sa vo vrte obsype kremičitým pieskom a zvyšná časť vrtu sa utesní. Meranie sa vykonáva elektronickým hladinomerom.

Uzavretý systém predstavuje snímače (vibračné alebo piezorezistívne tlakové), ktoré snímajú vodný tlak priamo na mieste merania pomocou membrány, z ktorej sa prostredníctvom elektrického signálu, hydraulicky alebo pneumaticky sprostredkuje meranie k odčítaciemu miestu. Pokiaľ je meracie miesto vyššie ako miesto odčítania, alebo piezometrický tlak výškovo presahuje miesto odčítania, možno tlak merať priamo manometrom. Uzavreté piezometre sú najčastejšie s rozsahom merania do 0,2 MPa, 0,5 MPa, 1 MPa, 2,5 MPa a 5 MPa. Priemer filtra činí cca. 20 mm. Hodnoty možno odčítavať prenosným zariadením alebo automatizovaným systémom, presnosť meradiel je ± 1 kPa.

Meranie pórových tlakov musí byť neoddeliteľnou súčasťou merania hydrostatického tlaku na ostenie tunelov (pri konštrukciách s celoplášťovou izoláciou) a konsolidácie násypov – meranie horizontálnymi inklinometrami, prípadne hydrostatické meranie.

Miesto merania musí byť označené príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

3.4.2.4 Meranie sily kotiev

Dynamometer hydraulický pozostáva z dvoch pevne spojených ocelových kotúčov s otvorom v strede. Dutina (tlakový priestor) medzi kotúčmi je vyplnená hydraulickou tekutinou. Silu v kotve je možné odčítať priamo na ociachovanom manometri alebo diaľkovo hydraulicky (princíp kompenzačného ventilu) alebo elektricky (elektrický prevodník). Pokiaľ dynamometer nie je možné uložiť na rovinnú plochu je potrebné použiť dve vyrovnávacie platne. Presnosť merania ± 1 % s manometrom (elektrický prevodník $\pm 0,5$ %), teplotná chyba 1,2 % hodnoty zaťaženia pri teplotnom rozdieli 20 °C, rozsah merania: 0 kN -160 kN/ 250 kN/ 500 kN/ 750 kN/ 1 000 kN/ 1 400 kN/ 2 000 kN/ 3 000 kN/ 5 000 kN + rezerva 10 %, rozmery snímačov (v závislosti od rozsahu zaťaženia), priemer stredného otvoru 35 mm - 160 mm, hrúbka snímača 28 mm - 80 mm, celkový priemer snímača 145 mm - 408 mm.

Dynamometer magnetoelastický využíva k svojej činnosti magnetoelastický jav, t. j. zmenu magnetických vlastností feromagnetického materiálu v dôsledku naň pôbiacej sily. Meranie sa realizuje pomocou magnetoelastického snímača v tvare dutého valca, cez ktorý prechádza meraný feromagnetický materiál, a preto sa na kotvu nasúva. Ukončenie káblov musí byť zabezpečené uzamykateľnou skrinkou.

Miesto merania musí byť označené príslušným štítkom s názvom stavby a označením v zmysle realizačného projektu GTM.

3.4.3 Meranie rýchlosti šírenia seizmických vln

Meranie sa vykonáva trojosovými vibrografmi či seizmografmi na mobilných základniach umiestňovaných podľa aktuálnej polohy zdroja seizmických, dynamických a akustických účinkov (poloha čelby). Možné je tiež použiť stacionárne seizmické stanice trvale osadené na jednotlivých ovplyvnených objektoch.

3.4.4 Meranie teploty

Merania sa vykonávajú dotykovými lebo bezdotykovými teplomerami, resp. teplotné snímače sú spravidla súčasťou snímačov tlaku (deformetre, tenzometre).

3.4.5 Meranie vodného režimu

3.4.5.1 Meranie hladiny podzemnej vody

Systém merania pozostáva zariadením špeciálnych výpažníc s perforáciou do vrto (otvorený, resp. uzatvorený systém). Pri otvorenom systéme sa používa prenosný elektrokontaktný hladinomer. Pri uzatvorenom systéme sa do vrtu inštaluje snímač, ktorý zaznamená hodnotu vodného tlaku priamo na mieste merania pomocou membrány, z ktorej sa prostredníctvom elektrického signálu sprostredkuje meranie k zbernici dát. Pokiaľ je meracie miesto vyššie ako miesto odčítania alebo tlak vody výškovo presahuje miesto odčítania, možno tlak merať manometrom. Dĺžku pozorovacieho hydrovrtu určuje projektant stavby.

Požiadavky na zariadenie výpažnice vo vrte:

- Pri zariadení do vrtu sa perforovaná výpažnica osadzuje do vrtného otvoru minimálne \varnothing 130 mm, pričom priestor medzi perforovanou časťou výpažnice (filter) a stenou vrtu sa dôsledne vyplní obsypom (štrkopiesok frakcie 4/8 mm). Ostatná časť v úrovni plnej výpažnice sa utesní ílom. Polohu perforovanej časti je potrebné upresniť na základe údajov z inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu.
- Výpažnica sa osadí minimálne 0,5 m nad terén, pričom zhlavie vrtu a výpažnice sa ochráni oceľovou chráničkou a medzikružie sa taktiež dôsledne vyplní ílom.
- Oceľová chránička priemeru minimálne 150 mm je zapustená do terénu 1 m a na povrchu terénu je stabilizovaná betónovou pätkou s rozmermi 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m. Oceľová chránička a výpažnica je zabezpečená oceľovým uzamykateľným poklopom.
- Oceľová chránička musí byť opatrená náterom modrej farby v kombinácii s bielou (vrchná časť chráničky) a označená minimálne jedným ochranným tyčovým znakom s príslušným štítkom s názvom stavby a označením hydrovrtu v zmysle realizačného projektu GTM.
- Horná hrana výpažnice musí byť polohovo a výškovo zameraná.

Na meranie hladiny podzemnej vody v otvorenom systéme sa používa meracia sonda (elektrokontaktný hladinomer) spúšťaná do vrtu potrebnej dĺžky. Kombinovaný hladinomer môže zároveň merať aj teplotu vody.

Požiadavky na meraciu sondu:

- Rozlíšenie ± 1 cm.
- Presnosť merania teploty $\pm 0,3$ °C

Pri meraní hladiny podzemnej vody v uzatvorenom systéme sa používa snímač tlaku vody.

Tlakový snímač má rozsah merania až do 5 MPa, presnosť merania závisí od zvoleného rozsahu snímača. Pri použití manometra je potrebné zvoliť rozsah podľa údajov z prieskumu.

3.4.5.2 Meranie prietokov drénovaných vôd

Pre meranie celkového množstva vody vytekajúcej z tunela a prieskumnej štólne na ich portáloch sa na vyústení osadzujú kalibrované merné prepady. Pri vyšších prítokoch vody priamo vo vnútri tunela a prieskumnej štólne možno merať množstvo vody priamo v mieste výverov kalibrovanými nádobami s meraním času (stopky).

3.4.5.3 Meranie prietokov odvodňovacích zariadení

Meranie výdatnosti (prietokov) odvodňovacích vrto sa vykonáva pomocou kalibrovanej nádoby s meraním času (stopky).

Meranie prietokov drenážnych systémov sa vykonáva snímačmi osadenými na potrubí. Požiadavky na osadenie snímačov určuje projektant stavby.

3.4.6 Meranie chemického zloženia vôd

Chemické zloženie vôd sa overuje zisťovaním základných fyzikálno-chemických ukazovateľov a stanovením agresivity vôd na betón (ostenie) podzemných častí tunelov a prieskumných štôlní.

3.4.7 Meranie meteorologických veličín

Údaje sa získavajú z meraní na hydrometeorologických stanicach štátnej pozorovacej siete SHMÚ, v prípade požiadaviek na merania priamo na stavbe sa môže vybudovať lokálna hydrometeorologická stanica. V zásade sa meteorologické údaje (zrážky a teploty) vyžadujú v mesačných intervaloch, pri špecifických meraniach môžu byť aj v týždenných, resp. denných intervaloch.

4 Vykonávanie monitoringu

4.1 Všeobecné zásady

Vykonávanie geotechnického monitoringu sa skladá z radu činností, ktoré po sebe nasledujú v logickom slede. Začínajú sa definíciou konkrétnych cieľov monitoringu a jednoznačných otázok, na ktoré má monitoring dať odpoveď. Končí sa informáciou o využití získaných poznatkov pre inžinierske rozhodnutia smerujúce k úspešnej a ekonomickej realizácii objektov podzemných a nadzemných častí tunelov a prieskumných štôlní. Predpoklad využitia výsledkov geotechnického monitoringu je stanovený pred návrhom meracej techniky a stratégie merania.

4.2 Projektovanie monitoringu

Základné požiadavky projektanta stavby, ktoré sú podkladom pre projekt geotechnického monitoringu, sú definované v nasledovných krokoch:

- Vytvorenie základnej hypotézy pretvárania systému horninový masív – stavebná konštrukcia.
- Technicko-ekonomická analýza problému – analýza rizík.
- Definícia základných otázok (návrh konkrétnych cieľov), kvôli ktorým sa monitoring vykonáva.
- Návrh metód meraní a požiadavky na inštrumentáciu.
- Návrh etapizácie a frekvencie meraní.
- Návrh varovných stavov a kritérií pre ich prijímanie.
- Návrh opatrení prijímaných v súvislosti s dosiahnutím jednotlivých varovných stavov.

Tieto podklady sú východiskovými údajmi pre projekt GTM, ktorý obsahuje:

- Sumarizáciu požiadaviek objednávateľa a projektanta stavby.
- Podrobný návrh metodiky a inštrumentácie GTM vrátane textovej a výkresovej dokumentácie (schémy, vzorové rezy, výber meracích miest - situovanie zariadení a pod.).
- Návrh inštrumentácie musí obsahovať postupy inštalácie zariadení GTM v jednotlivých fázach výstavby vrátane finalizácie stavby (ukončenie stavby a prechod na etapu GTM počas prevádzky).
- Podrobný návrh na etapizáciu GTM v súlade s požiadavkami na merania pred výstavbou, počas výstavby a počas prevádzky predmetnej stavby.
- Podrobný návrh frekvencie meraní počas výstavby v súlade s technológiou a postupom stavebných prác.
- Podrobný návrh na plán a zásady zberu dát.
- Spôsob prezentácie meraní (mesačné a ročné správy).
- Návrh o spôsobe archivácie a uskladňovaní dát.
- Návrh prenosu dát k užívateľom.
- Stanovenie varovných stavov a kritérií pre ich prijímanie v súlade s požiadavkami projektanta stavby.

- Návrh technicko-bezpečnostných a technologických opatrení prijímaných v prípadoch dosiahnutia niektorého z varovných stavov v súlade s požiadavkami projektanta stavby.
- Organizačné zabezpečenie monitoringu.

Súčasťou podkladov pre realizáciu GTM je projekt geodetických meraní, ktorý vyhotoví geodet na základe vyššie uvedených podkladov a požiadaviek v súlade s ustanoveniami STN 73 0405.

4.3 Zásady pre výber typu meracieho zariadenia

Používané meracie prístroje musia spĺňať nasledujúce požiadavky:

- Spoľahlivosť merania (významne závisí od odolnosti prístrojov proti vonkajším vplyvom, ako sú klimatické podmienky, prašnosť, čas merania, použitá technológia stavebných prác a pod.). Z hľadiska odolnosti a spoľahlivosti meradiel sa posudzujú možné vplyvy nasledujúcich činiteľov:
 - zmeny teplôt, mráz, účinky ľadu, vplyv slnečného ožiarenia, účinky vlhkosti,
 - chemická korózia v dôsledku podzemnej vody, prísad do betónu a injektážnych zmesí, činnosť baktérií,
 - účinky prachu, špiny, blata,
 - prúdiaca voda,
 - možný vandalizmus,
 - ohrozenie prácami a postupom výstavby,
 - pôsobenie elektrolytov v dôsledku pôsobenia elektrolýzy, disimilačných materiálov a bludných elektrických prúdov,
 - dynamické a seizmické účinky stavebných prác.
- Možnosť overovať za prevádzky správnu funkciu prístrojov (minimálne meranie kľúčových meradiel).
- Prístupnosť prístrojov v priebehu prác, počas pokračovania stavby alebo v dôsledku rozvoja deformácií horninového prostredia.
- Vhodný rozsah meraných hodnôt vzhľadom na očakávané deformačné správanie sledovaného systému (pozri hypotéza pretvárania).
 - najväčšia a najmenšia očakávaná meraná hodnota určuje rozsah meracieho zariadenia,
 - najmenšia očakávaná hodnota rozhoduje o citlivosti, resp. jemnosti odpočtu zariadenia (snaha o čo najväčšiu možnú presnosť merania bez ohľadu na očakávanú veľkosť odčítanej veličiny a jej vzťah k bezpečnosti sledovaného diela nie je žiaduca),
 - vysoká presnosť je oprávnená tam, kde veľmi malé zmeny meraných hodnôt môžu mať vážne dôsledky pre bezpečnosť sledovaného systému, alebo keď treba vo veľmi krátkom časovom rozpätí zisťovať trendy v správaní sledovaného systému.
- Nároky na spoľahlivosť prístrojov sa zvyšujú s celkovou dĺžkou ich činnosti v systéme. Čím sú meracie prístroje a jeho konštrukcia jednoduchšie, tým býva prístroj spravidla odolnejší aj spoľahlivejší.
- Požiadavky na prístrojovú techniku sa posudzujú oddelene podľa ich častí (mechanizmus prístroja, meracie snímače a komunikačný systém pre dopravu dát). Na každý z nich môžu negatívne vplyvy pôsobiť odlišnou intenzitou.
- Voľbu typu meracieho prístroja treba urobiť so znalosťou rozsahov, v akých sa budú merané veličiny pohybovať.
- Veľkosť očakávaných zmien, najmä ich medzné hodnoty majú zásadný význam pre návrh varovných stavov.
- Meranie tej istej veličiny je účelné kontrolovať dvoma nezávislými meracími systémami. Táto kontrola sa vykonáva na vybraných miestach monitorovacieho systému.
- Pri voľbe prístrojov sa berie do úvahy kvalifikácia budúcej obsluhy meradiel.

4.4 Výber meracích miest

Pri výbere meracieho miesta sa vychádza z hypotézy pretvárania a z prognóz miest s nebezpečenstvom iniciácie vzniku nežiaducich javov. Umiestnenie meradiel je v realizačnej dokumentácii geotechnického monitoringu potrebné navrhnuť na najkritickejšie miesta a do reprezentatívnych profilov. Výber meracích miest vychádza z nasledovných aspektov:

- Zistenie najkritickejších miest. Tými sú oslabené zóny v horninovom prostredí a najviac zaťažované miesta stavebnej konštrukcie. Ide o oblasti s najväčšou možnou koncentráciou napätia, pravdepodobné polohy, odkiaľ sa môže rozvinúť nežiaduci jav, či o miesta, ktoré sú

najzraniteľnejšie a s najmenej prijateľnými dôsledkami pretvárania horninového prostredia pre výstavbu.

- Výber profilov, v ktorých možno očakávať reprezentatívne správanie celého horninového prostredia dotknutého výstavbou.

Pri výstavbe tunelov a prieskumných štôlní najkritickejším úsekom býva spravidla portálová oblasť. Pri výbere meracích miest je potrebné na základe identifikácie geotechnických rizík navrhnúť inštrumentáciu a výber meracích miest v dostatočnom rozsahu (obvykle na začiatku, v strede a na konci úseku), pričom sa odporúča do tohto úseku zahrnúť minimálne prvých 50 m podzemnej (razenej) časti, kde sa musia inštalovať meracie zariadenia nielen vo vnútri, ale aj na povrchu (poklesová kotlina) formou združených meracích profilov. V odôvodnených prípadoch na základe analýzy rizík môže byť portálová oblasť dlhšia ako odporúčaná.

Štandardné meracie profily na meranie konvergencií sa umiestňujú obvykle vo vzájomných vzdialenostiach 10 m až 50 m v závislosti od vlastností horninového masívu. Združené meracie profily mimo portálovej oblasti sa obvykle umiestňujú každých 250 m podzemnej časti.

Úpravu počtu meracích miest je potrebné vykonávať v priebehu výstavby podľa získaných priebežných výsledkov merania a na základe vyhodnocovania poznatkov získavaných počas výstavby.

4.5 Návrh početnosti (frekvencie) meraní

Vo všeobecnosti sa početnosť meraní volí v závislosti od očakávanej rýchlosti, s akou sa budú meniť činitele ovplyvňujúce správanie sledovaného horninového masívu a od očakávanej rýchlosti zmien meraných hodnôt. Príliš mnoho meraní zbytočne zaťažuje vyhodnocovanie, zvyšuje jeho neprehľadnosť a bráni v rýchlom oboznámení sa s výsledkami. Je tiež zdrojom zbytočných chýb a navyšuje náklady na geotechnický monitoring. Nízka početnosť meraní môže byť naopak príčinou prehliadnutia dôležitých zmien v správaní sledovaného systému horninový masív – stavebná konštrukcia, neskorého zachytenia nástupu jeho možného progresívneho porušovania a oneskoreného prijatia technicko-bezpečnostných opatrení súvisiacich s varovným stavom.

Početnosť meraní sa odporúča v priebehu výstavby prispôbovať skutočnému deformačnému správaniu sledovaného systému a potrebe jeho vývoja v ďalšom období predvídať a túto predpoveď následne kontrolovať.

Bezprostredne po uvedení meracieho systému do chodu sa v pravidelných intervaloch vykonáva séria nulových (základných) meraní. V priebehu tohto obdobia sa overuje správna činnosť všetkých meradiel, ich ustálenie a získavajú sa poznatky o správaní sledovaného horninového masívu neovplyvnenom výstavbou. Skutočná početnosť následných kontrolných meraní sa prispôbuje týmto požiadavkám. Ak nenastávajú zmeny činiteľov, ktoré ovplyvňujú priebeh pretvárania, početnosť kontrolných meraní sa zvyčajne časom primerane znižuje. Po zrealizovaní základného merania (po nainštalovaní meracích zariadení) sa odporúča minimálna početnosť kontrolných meraní pred výstavbou - 2 kontrolné merania pred výstavbou.

Pri začatí stavebných prác, zrýchlení postupu prác alebo v dôsledku zmien prírodných pomerov v mieste výstavby, sa frekvencia meraní primerane zvyšuje, pričom početnosť meraní musí byť v zásade zadefinovaná projektantom stavby a investorom na základe geomechanického modelu, predpokladu správania sa horninového prostredia a analýzy rizík. Je zrejmé, že frekvencia meraní v kritických miestach stavby je výrazne vyššia, ako v štandardných podmienkach (podzemné časti), pričom v portálovom úseku sa odporúča realizovať kontinuálne merania až do ustálenia všetkých meraných veličín (deformácie, hladina podzemnej vody).

Pri meradlách osadzovaných priebežne s postupom stavebných prác je počiatočná početnosť meraní vyššia (denné, týždenné, mesačné merania), po vyhodnotení trendov a ustáľovaní hodnôt možno vzhľadom na zachovanie výpovednej schopnosti a ekonomiky merania následné merania primerane zredukovať.

Ak sa horninový masív alebo systém horninový masív – stavebná konštrukcia začne správať anomálne, početnosť meraní je potrebné okamžite zvýšiť tak, aby bol deformačný vývoj pod kontrolou (kontinuálne, denné a týždenné merania).

4.5.1 Monitorovanie pred výstavbou

Do začiatku stavebných prác (zemné práce, práce na zakladaní objektov, razenie) parciálnych úsekov, ako aj výstavby jednotlivých stavebných objektov je žiadúce zrealizovať všetky monitorovacie objekty (vrty, geodetické body) navrhnuté v realizačnej dokumentácii GTM, ktoré nie sú viazané na stavebnú pripravenosť. Na všetkých existujúcich aj novovybudovaných monitorovacích objektoch je potrebné vykonať pred výstavbou základné meranie a prvé kontrolné meranie v priebehu 1 mesiaca po inštrumentácii zariadení. Druhé kontrolné meranie je nevyhnutné vykonať tesne pred zahájením stavebných prác.

4.5.2 Monitorovanie počas výstavby

Frekvencia a početnosť meraní počas výstavby je závislá od harmonogramu stavebných prác a možnosti inštrumentácie navrhovaných meracích zariadení. Odporúčaná početnosť vybraných kontrolných meraní GTM je nasledovná:

Početnosť meraní v portálovej oblasti:

- kontrolné meranie hladiny podzemnej vody (v intervaloch á 1x týždenne),
- kontrolné meranie prietokov drénovaných vôd (v intervaloch á 1x denne),
- kontrolné inklinometricko-deformetrické meranie (v intervaloch á 2x týždenne),
- kontrolné geodetické meranie pozorovaných bodov osadených na geotechnických konštrukciách nadzemných častí (v intervaloch á 2x týždenne),
- kontrolné geodetické meranie pozorovaných bodov osadených na inklinometrických, deformetrických, inklinometricko-deformetrických vrtoch (v intervaloch á 2x týždenne),
- kontrolné meranie sily v kotvách (v intervaloch á 2x týždenne),
- kontrolné geodetické merania pozorovaných bodov osadených na teréne - poklesová kotlina (v intervaloch á 2x týždenne),
- konvergenčné merania ako i merania extenzometrické a merania kontaktných napätí (združené profily) v primárnom ostení sa po inštrumentácii meracích zariadení obvykle vykonávajú v intervaloch 2x za deň, následne v intervale 1 deň, 3 dni, 5 dní, 7 dní, 10 dní a ďalej v 14-denných intervaloch pokiaľ bude priebeh meraných veličín zodpovedať predpokladom, merania sa vykonávajú až do ustálenia hodnôt.

Početnosť meraní za portálovou oblasťou:

- kontrolné meranie hladiny podzemnej vody (v intervaloch á 1x mesačne),
- kontrolné meranie prietokov drénovaných vôd (v intervaloch á 1x denne),
- kontrolné inklinometricko-deformetrické meranie (v intervaloch á 1x mesačne),
- kontrolné geodetické meranie pozorovaných bodov osadených na geotechnických konštrukciách nadzemných častí (v intervaloch á 1x mesačne),
- kontrolné geodetické meranie pozorovaných bodov osadených na inklinometrických, deformetrických, inklinometricko-deformetrických vrtoch (v intervaloch á 1x mesačne),
- kontrolné geodetické merania pozorovaných bodov osadených na teréne - poklesová kotlina (v intervaloch á 2x týždenne),
- konvergenčné merania ako i merania extenzometrické a merania kontaktných napätí (združené profily) v primárnom ostení sa po inštrumentácii meracích zariadení obvykle vykonávajú v intervaloch 2 x za deň, následne v intervale 1 deň, 3 dni, 5 dní, 7 dní, 10 dní a ďalej v 14-denných intervaloch pokiaľ bude priebeh meraných veličín zodpovedať predpokladom, merania sa vykonávajú až do ustálenia hodnôt.

Pri razení tunelov a prieskumných štôlní je frekvencia meraní konvergencií, deformácií a napätí totožná. V portálových úsekoch sa v združených profiloch odporúča kontinuálne geodetické (geodetické roboty), inklinometrické a inkli-no-deformetrické meranie vrátane kontinuálneho merania hladiny podzemnej vody, resp. pórových tlakov vody. Merania sa vykonávajú až do ustálenia hodnôt.

Podľa potreby s ohľadom na postup stavebných prác jednotlivých stavebných objektov a parciálnych úsekov, sa môže počet niektorých monitorovacích objektov a interval ich frekvencie sledovania operatívne upraviť (zvýšiť či znížiť).

4.5.3 Monitorovanie počas prevádzky

Po ukončení výstavby a sprevádzkovaní diela sa odporúča vykonávať monitorovacie práce po dobu 3 rokov:

- monitoring režimového sledovania úrovne hladiny podzemnej vody v pozorovacích vrtoch a výdatnosti odvodňovacích vrtov 2x ročne (s ohľadom na obdobie zvýšených atmosférických zrážok – jarné a jesenné obdobie);
- monitoring stability a deformácií nadzemných častí (zárezy, zosuvné svahy, násypy, múry, portály) na vybudovaných pozorovacích vrtoch 1x ročne (jarné obdobie);
- geodetický monitoring deformácií povrchu územia na vybudovaných pozorovacích geodetických bodoch 2x ročne (jarné a na jesenné obdobie).

4.6 Komplexnosť merania

Pri rozhodovaní o komplexnosti merania sa berie do úvahy, že niektoré sledované veličiny umožňujú posúdiť príčiny a iné dôsledky zmien v správaní sledovaného systému. Ďalším dôvodom pre komplexnosť merania je, že na predmetnom mieste môže nastať rozvoj procesov, ktoré sú podmienené radom fyzikálnych príčin, z ktorých každú možno sledovať inými metódami a prístrojmi. Rozličné typy meraní lepšie umožnia overovať správnosť výsledkov, potvrdzovať a vysvetľovať anomálne správanie sledovaného systému.

Spolu so sledovaním zmien všetkých veličín určených v realizačnej dokumentácii monitoringu sa musia zaznamenávať všetky faktory, ktoré môžu ovplyvniť merané dáta. Ide najmä o:

- postup stavebných prác a v ich rámci priebeh zmien zaťažovania posudzovaných meracích profilov,
- všetky odchýlky od obvyklého priebehu sledovaných veličín,
- vznik a priebeh prejavov technologickej nedisciplinovanosti, prerušenie prác, zastavenie prác,
- kolísanie hladiny podzemnej vody,
- dynamické účinky stavebných prác,
- klimatické údaje (zrážky, teplota).

4.7 Typické úlohy pri monitoringu výstavby tunelov a prieskumných štôlní

4.7.1 Reakcia výrubu a ostenia tunela (prieskumnej štólne) na razenie

Základným meraním reakcie výrubu a ostenia na razenie tunela alebo štólne je konvergenčné meranie. Konvergenčné meranie sa môže doplniť o meranie pretvárania horninového masívu okolo výrubu tyčovými extenzometrami, prípadne inklinometrami alebo deformetrami.

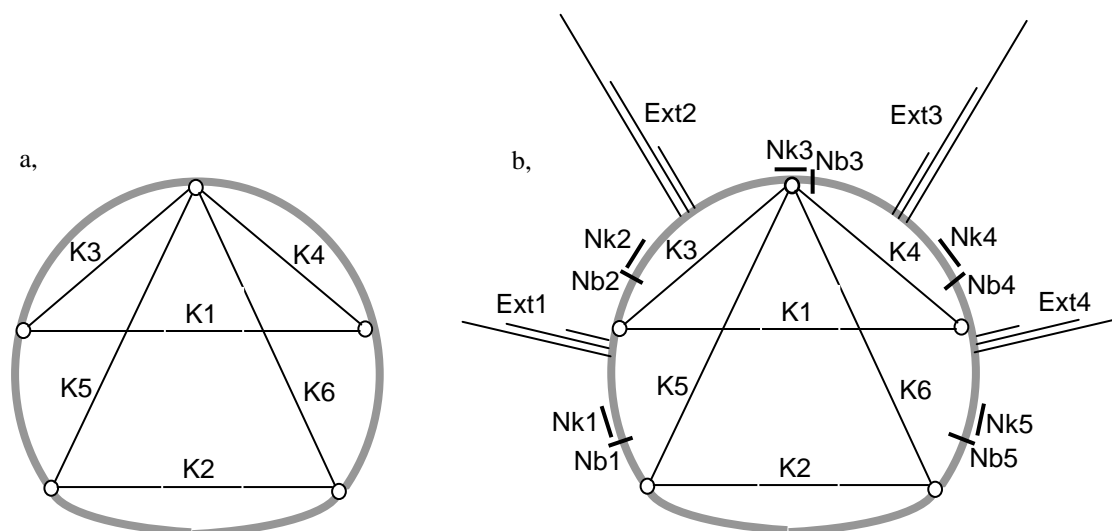
Ďalším typom merania reakcie výrubu a ostenia tunela resp. štólne na raziace práce je meranie napätia na rozhraní betónu primárneho ostenia a horninového masívu (horninový tlak).

Doplňkovým meraním je meranie zmien teploty ovzdušia vo vnútri tunela resp. štólne a meranie vývoja teploty v ostení tunelového objektu (hydratačné teplo).

4.7.1.1 Merania konvergencií

Pod pojmom konvergenčné meranie sa rozumie zisťovanie posunov pevných bodov inštalovaných pevne do primárneho ostenia (konvergenčných bodov). V odôvodnených prípadoch sa na združených profiloch môžu sledovať aj konvergencie na sekundárnom ostení. Konvergenčné body sa fixujú do betónu primárneho ostenia tunela resp. štólne bez zbytočného odkladu po stabilizačnom nástreku výrubu betónom, a to čo najbližšie k čelbe.

Prvé meranie na konvergenčnom bode (tzv. nulové meranie) sa musí urobiť čo najskôr po každom kroku razenia ukončenom dočistením čelby. V zázname o konvergenčnom meraní musí byť informácia o vzdialenosti konvergenčného bodu od čelby v okamžiku osadenia a v okamžiku merania konvergenčného bodu. Zvyčajný minimálny počet konvergenčných bodov v každom meracom profile pri razení na plnú čelbu je päť (obrázok 1).



Obrázok 1 - Geotechnické meracie profily pri razení tunela - primárne ostenie
a, jednoduchý b, hlavný (združený)
(K-konvergenčná dĺžka, Ext-extenzometer, Nk-kontaktné napätie, Nb-napätie v betóne)

Pri razení s členeným výrubom sa počet konvergenčných bodov v meracom profile upravuje tak, aby pri každom zábere bola informácia o pretváraní príslušného ostenia úplná.

Ak sa meračské konvergenčné profily dopĺňajú o ďalšie typy merania (meranie deformácií v okolí výrubu), napr. extenzometrické, inklinometrické, inkli-no-deformetrické, meranie tlakov na ostenie tlakovými krabicami, prípadne pri plytkých tuneloch a v portálových úsekoch o geodetické meranie na povrchu terénu (poklesová kotlina), takýto meračský profil, v ktorom sa vykonávajú dva a viac typov meraní, sa nazýva združený profil. Združené meračské profily sa osádzajú do reprezentatívnych miest, ktoré boli prijaté ako podklad pre tvorbu geomechanického modelu a hypotézy pretvárania systému hornina – stavebná konštrukcia tunelu resp. prieskumnej štôlne. Ak sa pri razení tunela prípadne štôlne aplikuje observačná metóda a cieľom monitoringu je optimalizovať vystrojenie tunela či štôlne zapojením horninového masívu do prenášania zaťaženia na tunelové ostenie, tak sa postupuje podobne. Združené profily sa potom navyše osádzajú na všetky miesta s oslabením horninového masívu, anomálnych oblastí a pod.

Pri prezentácii a hodnotení výsledkov konvergenčných meraní je potrebné brať do úvahy, že reakcia výrubu na razienie tunela závisí od času a táto závislosť má dve zložky:

- Zmenu poľa zaťaženia v dôsledku postupu razienia a vzdďalujúcej sa čelby od meracieho konvergenčného profilu (aj tieto zmeny prebiehajú v čase).
- Je spôsobená reologickým správaním hornín, keď samotná deformácia pri určitej úrovni zaťaženia prebieha v závislosti od času.

Výsledky jednotlivých meraní sa preto znázorňujú ako priebeh deformácie každého konvergenčného bodu v čase. Nevyhnutné je tieto grafické hodnotenia v rovnakom časovom meradle doplniť o znázornenie polohy čelby ku konkrétnemu meračskému konvergenčnému profilu. Polohu každej čiastkovej čelby treba pri delených čelbách znázorňovať (napr. ľavý tunel, pravý tunel, opora, kalota, dno).

Pri hodnotení výsledkov konvergenčných meraní, najmä ak sa použili ako podklad pre stanovenie hodnôt kritérií varovných stavov, treba vziať do úvahy nasledujúce skutočnosti:

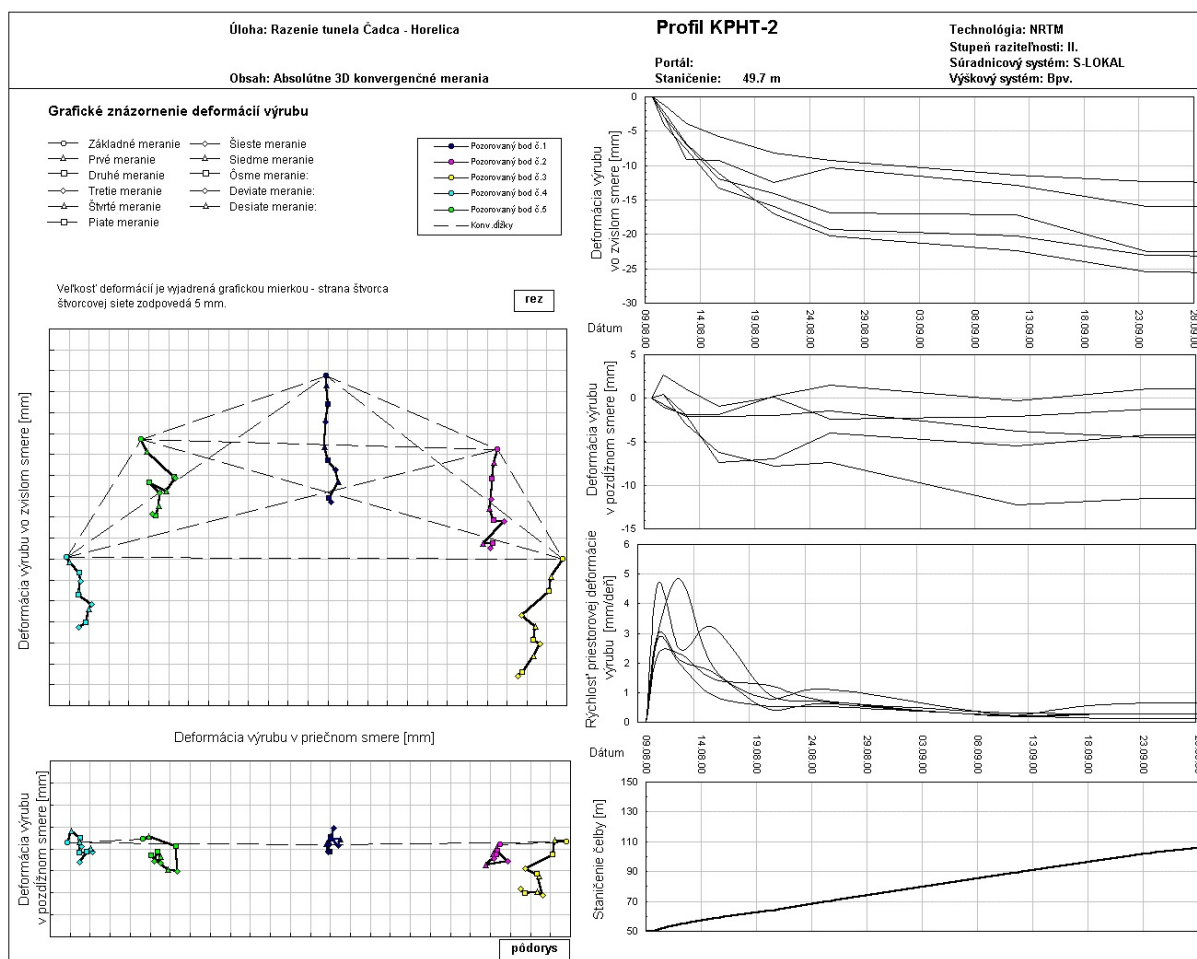
- Deformačný proces horninového masívu je sám o sebe časovo závislý proces.
- V priebehu razienia sa rozdielne uplatňujú rozličné vplyvy, ktoré tento časový priebeh ovplyvňujú.
- Intenzita aj časová sekvencia razienia sa mení. Rozličné technologické prvky razienia sa nasadzujú v rozdielnom čase. Z nich každý sa môže aplikovať rozličným spôsobom a s rozličnou intenzitou.

- Prvé konvergenčné meranie sa môže zaznamenávať v nie úplne rovnakých okamžikoch vzhľadom k časovej sekvencii razenia a aj v rozličných vzdialenostiach od čelby.
- Momentálna orientácia štruktúrnych prvkov horninového masívu k čelbe. Tá sa môže meniť od čelby k čelbe.
- Parametre projektu (geometrické vlastnosti výrubu, dimenzovanie primárneho ostenia, delenie čelby).
- Spôsob vykonávania razenia, časová prestávka nevyhnutná na osadenie monitorovacích bodov a to vrátane neplánovaných technologických prestávok v razení, alebo väčších či menších technologických nedokonalostí v jej priebehu.

Dôsledkami spomínaných skutočností sú neustále prebiehajúce zmeny v spôsobe zaťaženia výrubu a ostenia, ktoré je treba v priebehu razenia spoľahlivo a výstižne dokumentovať tak, aby sa mohli správne premietnuť do hodnotenia zmeraných dát.

Zásadné skreslenie výsledkov konvergenčných meraní vyplýva z toho, že pri počiatkovom konvergenčnom meraní mohla podstatná deformácia v meranom mieste už prebehnúť (stratená konvergencia). Ďalej sa deformácie začínajú rozvíjať už v určitej vzdialenosti pred čelbou (tzv. prekonvergencia). Výsledky konvergenčných meraní, získavaných štandardne pri monitorovaní priebehu razenia tunela sa musia vždy interpretovať s prihliadnutím na tieto možné skreslenia.

Štandardným spôsobom prezentácie výsledkov konvergenčných meraní primárneho ostenia počas razenia tunela alebo prieskumnej štólne je jednoduchý časový priebeh posunov jednotlivých konvergenčných značiek, a to tak vo zvislom, ako aj vo vodorovnom smere. Tieto grafy na časovej osi vždy sprevádzajú znázornenia jednotlivých fáz razenia a čelieb vzhľadom na aktuálny konvergenčný profil (obrázok 2).



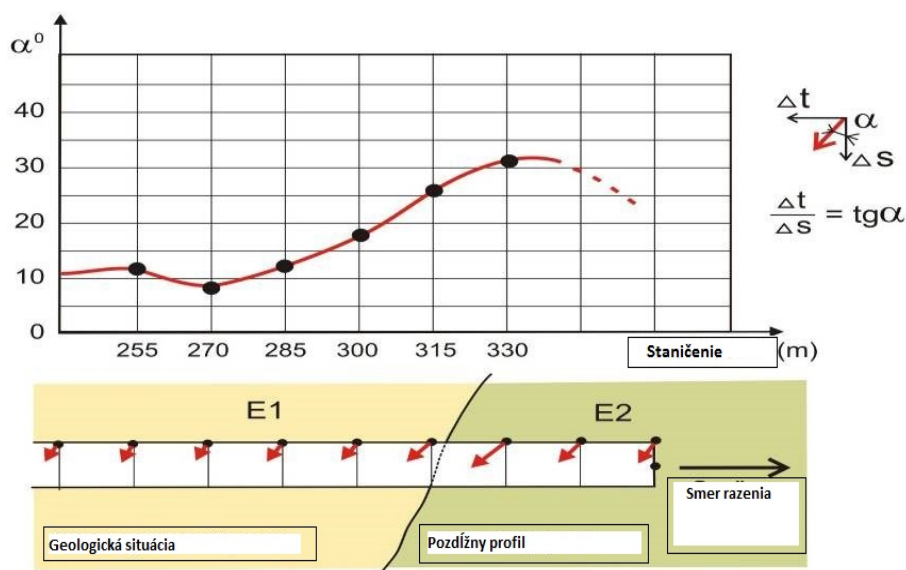
Obrázok 2 – Odporúčený spôsob vyhodnotenia a prezentácie konvergenčných meraní

Znázornenie aktuálnej polohy čelby je mimoriadne dôležité, pretože na časovej osi vymedzuje:

- okamih, keď sa deformácie zrýchľujú v reakcii na ďalší krok razenia (prechod bočných tunelov, jadra, dna),
- okamih, keď už deformácie prebiehajú prakticky za stáleho zaťaženia ostenia horninovým tlakom a v optimálnej situácii by sa mali začať upokojovať, pričom upokojovaním deformácií sa rozumie znižovanie rýchlosti nárastu deformácií.

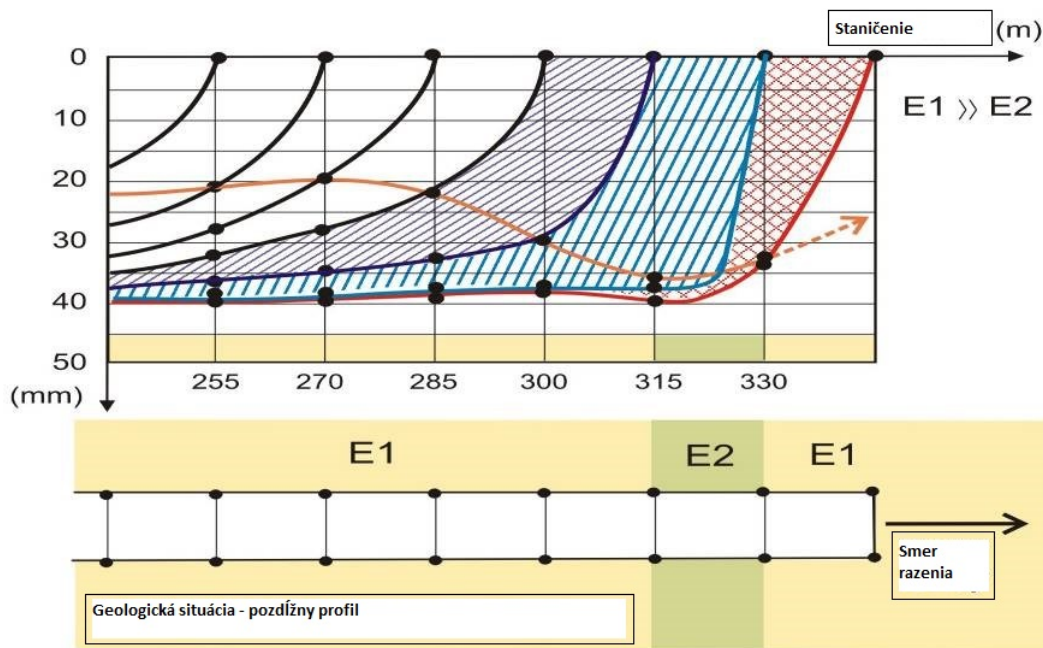
Ďalšou bežnou prezentáciou výsledkov meraní je znázornenie vektoru posunov konvergenčného bodu v rovine kolmej na pozdĺžnu os tunela (vektor je definovaný vodorovnou a zvislou zložkou deformácie konvergenčného bodu – obrázok 2).

Tangenciálna zložka posunu konvergenčného bodu je definovaná ako vodorovná zložka jeho posunu v smere pozdĺžnej osi tunela resp. štólne. Výhodne sa tangenciálna zložka znázorňuje spolu so zvislým sadaním konvergenčného bodu vo vrchole klenby vo forme vektora (obrázok 3).



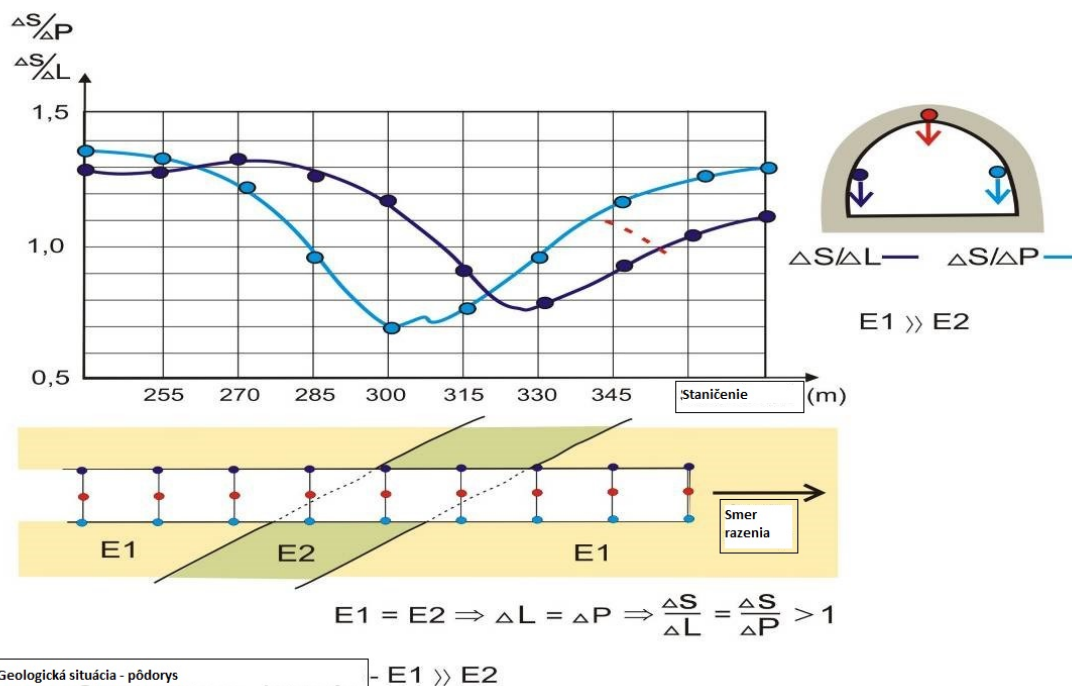
Obrázok 3 – Znázornenie tangenciálnej zložky konvergenčí spolu so zvislým sadaním

Obidve zložky vektora deformácie musia zodpovedať posunom za rovnakých podmienok, t. j. konvergenčné meranie sa musí korigovať na rovnakú vzdialenosť konvergenčných bodov od čelby a rovnakú časovú prestávku medzi dokončením záberu a osadením konvergenčného bodu. Priebežné čiary sú čiary spájajúce hodnoty posunov konvergenčných bodov pozdĺž staničenia tunela resp. štólne, zamerané vždy v rovnakom čase po dokončení záberu prechádzajúceho daným konvergenčným profilom. Výsledky konvergenčného merania sa pre tento spôsob prezentácie korigujú s prihliadnutím na čas, kedy bolo meranie vykonané a na rovnakú vzdialenosť príslušného konvergenčného profilu od čelby (okamih, keď sa vykonávalo nulté meranie – obrázok 4).



Obrázok 4 – Korigovanie výsledkov konvergencií s prihliadnutím na čas

Čiary pomerných posunov dvoch konvergenčných bodov toho istého profilu znázorňujú pozdĺž pozdĺžnej osi tunela príp. štôlne pomerné posuny medzi dvoma vybranými bodmi toho istého konvergenčného profilu. Odporúča sa znázorniť pomer medzi zvislým posunom konvergenčného bodu osadeného vo vrchole klenby primárneho ostenia tunela príp. štôlne, a zvislým posunom konvergenčného bodu osadeného v jednej alebo v oboch oporách primárneho ostenia tunela (štôlne). Pre hodnotenie treba splniť podmienku, že posuny sú zamerané v rovnakom okamžiku po prechode čelby konvergenčným profilom (obrázok 5).



Obrázok 5 – Vyhodnotenie konvergencií po prechode čelby meracím profilom

Tento spôsob grafického znázornenia konvergenčného merania prehľadne vymedzuje úseky tunela (štólne) s nesúmernými deformáciami systému „horninový masív - ostenie“. Rovnakým spôsobom možno znázorňovať aj pomery iných zložiek posunov konvergenčných bodov v jednom konvergenčnom profile (radiálny, tangenciálny a pod.).

Pri prijímaní inžinierskych záverov na základe hodnotenia výsledkov konvergenčných meraní treba zohľadniť možné skreslenia výsledkov konvergenčných meraní majúcich svoj pôvod uvedený v predchádzajúcom texte. Tieto skutočnosti sa musia vziať do úvahy najmä pri:

- využívaní spätných analýz na spresnenie hypotézy pretvárania a vstupných parametrov do matematických modelov systému horninový masív – stavebná konštrukcia,
- pri hodnotení, či sa dosiahli alebo nedosiahli kritériá varovného stavu zvolené projektom,
- výpočte objemovej straty horniny a pod.,
- analýze rizík,
- pri prijímaní technických a technologických opatrení na základe vzniku rozličných úrovní varovných stavov.

Pri interpretácii konvergenčných meraní je nevyhnutné využiť aj ostatné výsledky monitoringu (podmienky osadzovania konvergenčných bodov, extenzometrické a inklinometrické merania v združených profiloch atď.).

Podmienkou osadzovania konvergenčných bodov sa rozumie:

- vzdialenosť konvergenčného profilu od čelby,
- čas, ktorý uplynul medzi dokončením predchádzajúceho záberu razenia a prvým (nultým) meraním konvergenčného bodu.

Pri predvídaní ďalšieho časového priebehu posuvov konvergenčných bodov je okrem extrapolácie ich doteraz zmeraných hodnôt potrebné:

- prognózu doplniť o fyzikálne vysvetlenie sledovaných javov (posunov),
- zobrať do úvahy celkové trendy v sledovaných posunoch,
- priebežne overovať, že skutočne prebiehajúci mechanizmus pretvárania z fyzikálneho hľadiska zodpovedá tomu, ktorý bol podkladom pre realizačnú dokumentáciu raziacich prác, návrh varovných stavov a pre dimenzovanie ostenia tunela resp. prieskumnej štólne.

4.7.1.2 Merania extenzometrami

Viacúrovňové tyčové extenzometre slúžia na zisťovanie rozdelenia deformácií horninového masívu pozdĺž vrty, v ktorom je extenzometer nainštalovaný. Ďalším cieľom merania vo vrtoch pre extenzometre môže byť stanovenie dosahu rozvoľnenia horninovej klenby (najmä pri vrtoch vŕtaných z výrubu), vykonanie ďalších druhov merania (presiometrické skúšky, odber neporušených vzoriek hornín, seizmické merania pozdĺž vrty). Vrty pre extenzometre a ďalšie typy skúšok a meraní v združených monitorovacích profiloch sa preto vykonávajú zásadne ako jadrové.

Výsledky merania sa používajú na stanovenie prekonvergencie, stratenej konvergencie, objemovej straty horniny, na spätné výpočty, ktorých cieľom je spresnenie skutočných mechanických vlastností horninového masívu a na spresnenie geomechanického modelu použitého pre statický návrh tunelových ostení a voľbu hodnôt kritérií varovných stavov.

Zvyčajný počet extenzometrov vymedzujúcich jednotlivé úrovne meraní v jednom extenzometrickom vrte je 3 až 5. Pri plytkých tuneloch približne do (20 – 25) m sa extenzometre osádzajú z povrchu terénu do zvislých vrtoch v počte 3 až 5, v združených profiloch kolmých na pozdĺžnu os tunela (štólne). Zhlavie vrty sa musí geodeticky polohovo zamerať. Najhlbší extenzometer sa vo vrte nad stredom tunela osádza na dno vrty čo najbližšie ku klenbe tunela, približne vo vzdialenosti 0,5 m až 1,0 m.

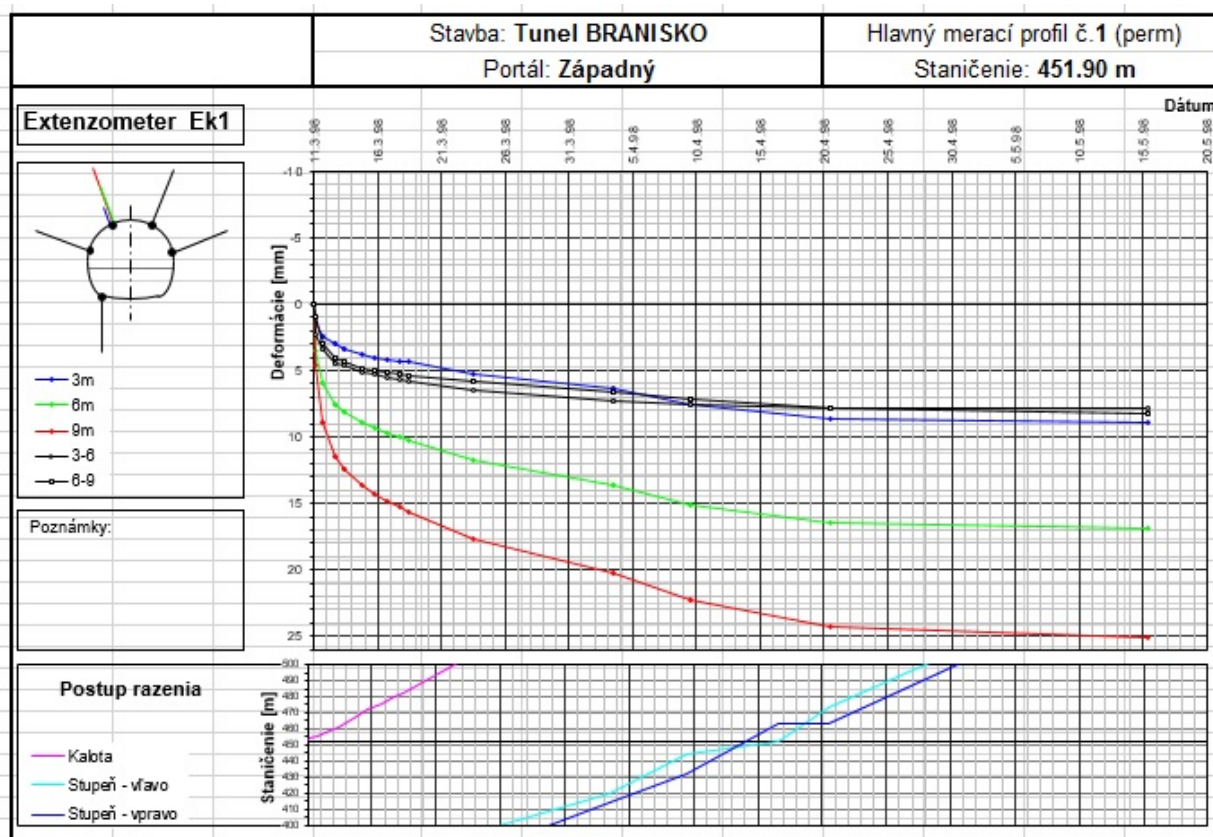
Pri hlbokých tuneloch nad 30 m a viac je obvyklejšie extenzometre osadzovať do vrtoch vŕtaných v tuneli.

V jednom pričnom združenom profile sa osádza 3 až 5 extenzometrických vrtoch. Vrty sa umiestňujú čo najbližšie k čelbe, aby hodnota stratenej konvergencie výrubu bola čo najmenšia. Hĺbka vrtoch a fixácia najhlbšej kotvy musí zasahovať do miest, ktoré už nie sú deformačne ovplyvnené razením tunela (minimálne 3 priemery tunela).

Extenzometrické vrty vŕtané z tunela majú obvykle ďalšie využitie (odber neporušených vzoriek hornín na laboratórne skúšky pretváraných vlastností hornín, presiometrické merania modulu

deformácie, seizmické geofyzikálne merania), pretože informácie o deformáciách sú obmedzené tým, že podstatná časť deformácií horninového masívu odznela v okamžiku.

Odporučený spôsob prezentácie extenzometrických meraní je znázornený na obrázku 6.



Obrázok 6 - Odporučený spôsob prezentácie výsledkov extenzometra

4.7.1.3 Merania inklinometrami

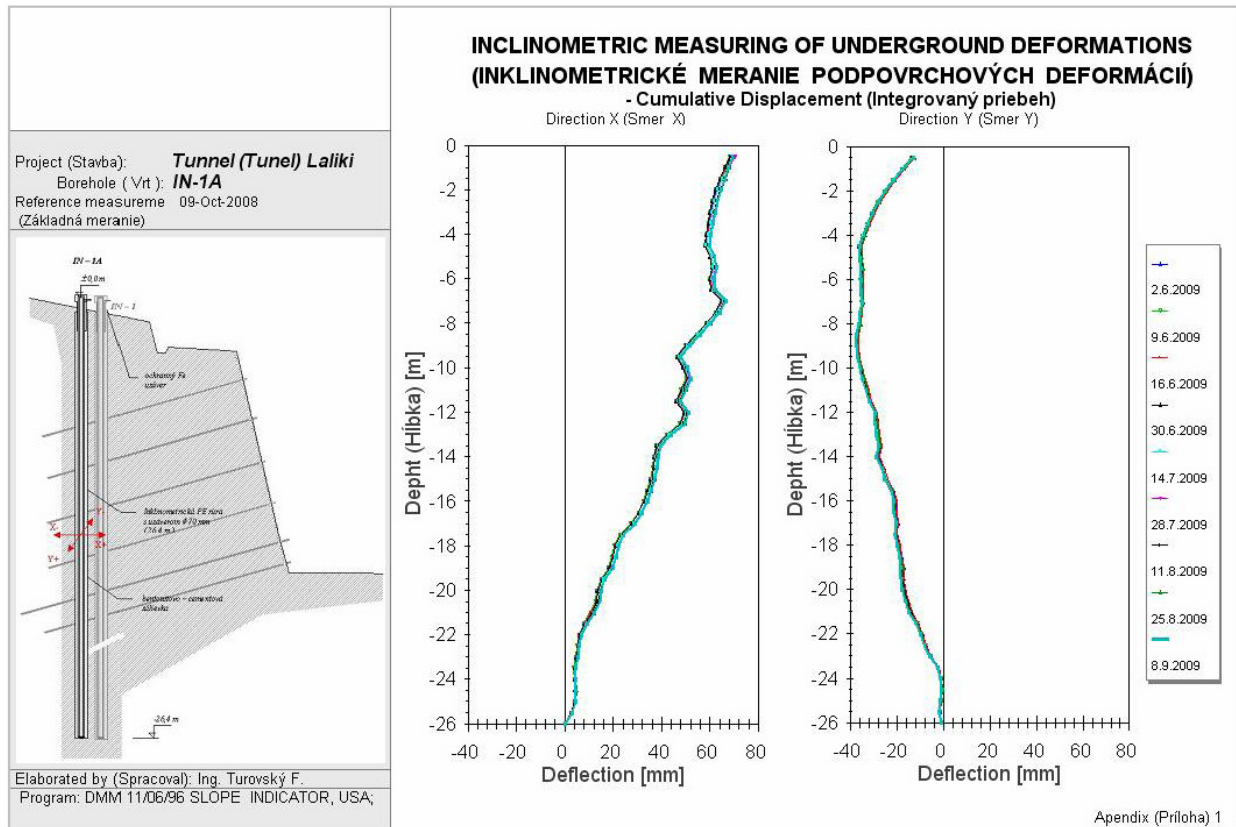
Inklinometrické merania slúžia na sledovanie horizontálnych pohybov masívu. Možno ich využiť na meranie vodorovných deformácií horninového prostredia pred čelbou alebo v blízkosti stien výrubu, po bokoch tunela, na sledovanie stability horninového piliera medzi tunelovými rúrami a na sledovanie ovplyvnenia základov budov vo veľkých hĺbkach v bezprostrednej blízkosti tunela. Pri meraní sa zisťuje náklon vodiacej sondy vo zvlášť vypaženom vrte.

Opakované meranie umožňuje s veľkou presnosťou a spoľahlivosťou určovať rýchlosti prebiehajúcich pohybov, a to v závislosti od časových intervalov medzi jednotlivými meraniami.

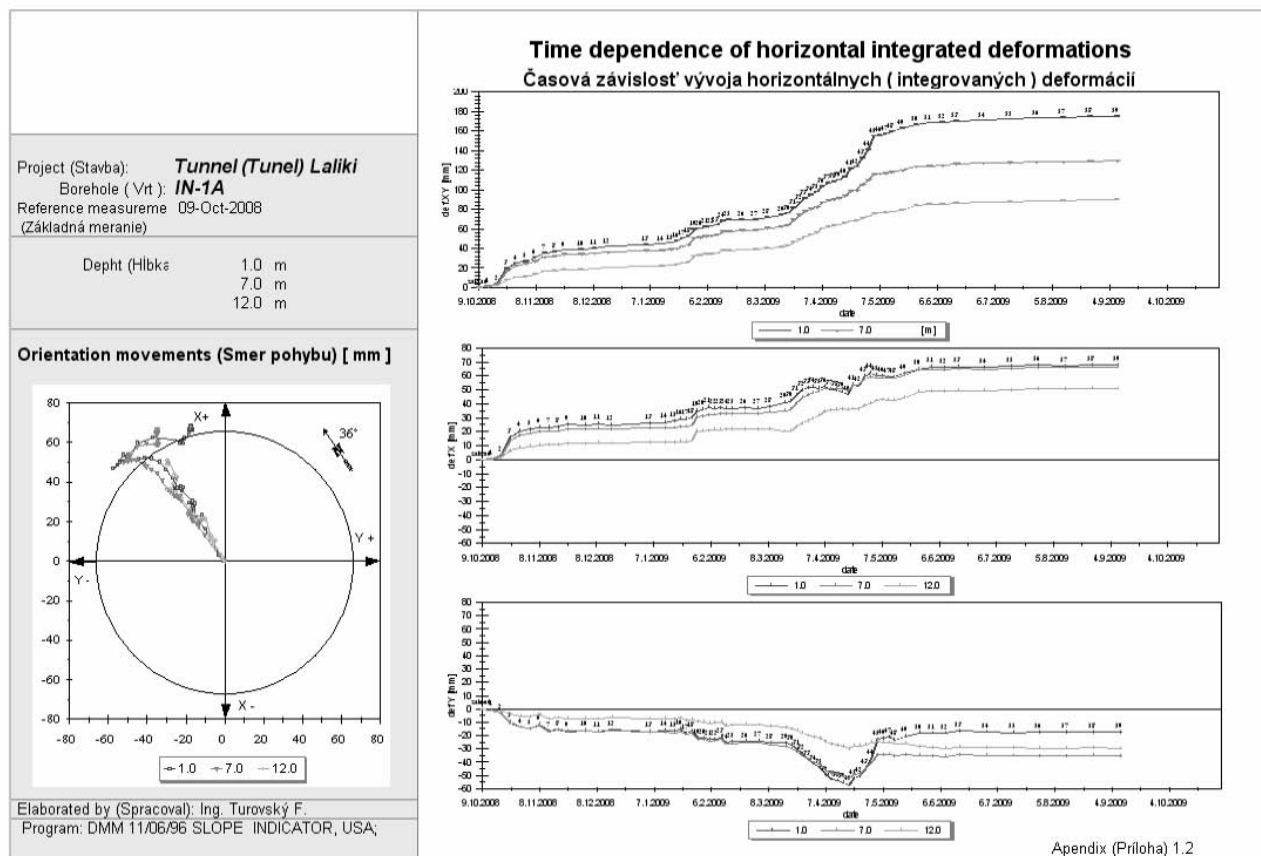
Dno inklinometrického vrtu sa musí umiestniť do takej polohy horninového masívu, ktorá je mimo dosahu zmien poľa napätia a deformácie spôsobených razením tunela prípadne štólne, t. j. pod počvu tunela resp. štólne, minimálne približne 1/2 priemeru tunela resp. štólne. Ak to nemožno zabezpečiť, musí sa počas merania samostatne trigonometricky zameriavať aj zhlavie vrtu, od ktorého sa potom prepočítavajú vodorovné deformácie.

Alternatívou k inklinometrickým a extenzometrickým meraniam je meranie deformetrami (kombinuje extenzometer a inklinometer do jedného meracieho zariadenia v jednom vrte), pozri čl. 3.3.1.6 týchto TKP.

Odporučený spôsob prezentácie výsledkov inklinometrických meraní je znázornený na nasledujúcich obrázkoch 7 a 8.



Obrázok 7 - Odporučený spôsob prezentácie výsledkov inklinometra



Obrázok 8 - Odporúčený spôsob prezentácie výsledkov inklinometra

4.7.1.4 Merania horninového tlaku

Meranie napätosti sa vykonáva na rozhraní výrubu a vonkajšieho povrchu primárneho ostenia tlakovými krabicami. Tlakové meradlá sú rozmiestnené po obvodu ostenia spravidla v počte 3 až 5. Pre voľbu umiestnenia združených monitorovacích profilov platia rovnaké pravidlá ako pre voľbu extenzometrov. Tlakové krabice sa osadzujú na betonársku výstuž pred striekaním betónu.

Výsledky merania slúžia predovšetkým na overenie vývoja priebehu vnútorných síl v primárnom ostení a tlakov horniny na primárne ostenie tunela resp. štólne.

4.7.1.5 Vodorné deformácie horninového masívu pred čelbou a vydutie čelby

Meranie vydutia čelby (extrúzia) a rozdelenie vodorných deformácií v horninovom masíve pred čelbou (vodorné viacúrovňové extenzometre) je pomerne neštandardné meranie a používa sa v odôvodnených prípadoch, keď sa na jeho základe dimenzuje počet vodorných kotiev do čelby, ktoré majú zvýšiť jej stabilitu a najmä znížiť zvislé sadanie povrchu terénu pri plytkých tuneloch razených v mestskej zástavbe.

Na tento účel sa zvyčajne používajú extenzometre z optických káblov. V obmedzenom rozsahu možno tieto merania nahradiť zvislým inklinometrom situovaným pred čelbu, prípadne meraním povrchového vydutia čelby geodeticky.

4.7.2 Monitoring portálov

Stabilita tunelových portálov sa zabezpečuje stavebnými konštrukciami, dočasnými a trvalými. Ich bezpečnosť a stabilita podmieňujú bezpečné začatie aj pokračovanie razenia. Poruchy stability opornej konštrukcie na portáli môžu ohroziť priortálový úsek razeného tunela.

Účelom monitoringu priportálových úsekoch je kontrola ich dostatočnej stability a vývoja deformačného správania. Vývoj deformačného správania priportálových úsekoch sa vykonáva predovšetkým počas ich výstavby (hĺbenie a zaistovanie). V primeranom rozsahu, a podľa špecifických podmienok daného portálu, následne aj počas prevádzky tunela.

Pod pojmom monitoring portálov sa rozumie aj monitoring príľahlých stien zárezu (a pažiacich konštrukcií), ak sa v ňom portál buduje. Stabilita svahov a stien portálov sa sleduje v kombinácii s inklinometrami, extenzometrami, resp. deformetrami. Zhlavie vrtovej je nevyhnutné zameriavať a sledovať geodeticky.

Monitoring portálu musí obsahovať:

- sledovanie deformačného správania vlastnej stavebnej konštrukcie zabezpečujúcej portál (napr. geodetické merania priestorových posunov a sadania),
- sledovanie deformačného správania horninového masívu za konštrukciou zabezpečujúcou portál (napr. inklinometrami, kĺzavými deformetrami a extenzometrami),
- sledovanie zmien napätia v kotvách (napr. dynamometrami),
- sledovanie napätia a teploty na rozperách (napr. tenzometrické snímače),
- sledovanie zmien hladiny podzemnej vody za konštrukciou zabezpečujúcou portál (pozorovacie hydrogeologické vrty),
- sledovanie prítokov vody (množstvo a kvalita),
- seizmické meranie účinkov trhacích prác,
- v prípade pochybností o stabilite svahov príľahlých k portálu je nevyhnutné sledovať vytváranie a vývoj potenciálnych šmykových plôch či stabilitu autonómnych horninových blokov.

Cieľom monitoringu tunelových portálov je poskytnúť účastníkom výstavby kontrolu skutočného správania portálu a umožniť porovnanie so správaním predpokladaným v realizačnej dokumentácii stavby, t.j. získať predovšetkým tieto informácie:

- priebeh deformačného správania vlastnej konštrukcie zabezpečujúcej portál a horninového masívu za touto konštrukciou v priestore a v čase,
- priebeh zmien napätia na vybraných kotvách v čase,
- priebeh zmien napätia na vybraných rozperách v čase,
- priebeh zmien v režime obehu podzemnej vody v okolí portálu v čase,
- polohu prípadných potenciálnych šmykových plôch,
- vývoj deformácií a napätosti horninového masívu priliehajúceho k portálu v dosahu zmien spôsobených stavbou.

4.7.3 Monitoring vplyvu razenia na susediace podzemné objekty

Susediacimi podzemnými objektami sú:

- časti budovanej tunelovej stavby (rozcážky, tunelové prepojky, susedná tunelová rúra atď.),
- iné existujúce podzemné objekty ovplyvnené razením predmetnej tunelovej stavby.

Bezpečnosť a stabilitu susediacich podzemných objektov môže negatívne ovplyvniť postup razenia realizovaného v ich okolí. Negatívnym ovplyvnením sa tu rozumie také zmeny v napätovo - deformačnom stave horninového masívu a z toho vyplývajúce deformácie takého rozsahu, že môžu spôsobiť neprijateľné porušenie susedného podzemného objektu. Miera tohto ovplyvnenia závisí od konkrétnych podmienok danej stavby (projektová dokumentácia, resp. technické riešenie, lokálne geologické pomery a technológie výstavby, predovšetkým razenia).

Konkrétne ciele monitoringu susediacich podzemných stavieb sa určujú s prihliadnutím k vyššie uvedeným faktorom. Monitoring susediacich podzemných objektov musí obsahovať:

- sledovanie vývoja deformačného správania vlastnej konštrukcie susedného podzemného objektu počas razenia tunela, najmä jeho staticky rozhodujúcich prvkov (napr. geodetické sledovanie stabilizovaných meracích bodov vhodnými metódami),

- sledovanie vývoja deformačného správania horninového masívu v okolí konštrukcie susedného podzemného objektu počas razenia tunela (napr. inklinometrami, deformetrami, extenzometrami),
- sledovanie zmien napätosti v okolitých stavebných konštrukciách (kotvy, rozperry, ťahadlá, stĺpy a pod.),
- sledovanie zmeny vodného režimu (prítoky vody – množstvo, hladina podzemnej vody),
- seizmické meranie účinkov trhavých prác pri razení,
- kontrolné fyzické prehliadky susedných podzemných objektov.

Kontrolné prehliadky sa vykonávajú na základe pasportizácie východiskového skutočného stavu existujúceho podzemného objektu, dotknutého razením tunela. Pasportizácia existujúcich podzemných objektov, ktoré môžu byť ovplyvnené razením nového tunela, sa vykonáva v dostatočnom predstihu pred razením, t. j. pred priblížením razenia k objektu na vzdialenosť, v ktorej nastáva deformačné ovplyvnenie objektu razením. Podľa potreby resp. dôležitosti sa môže táto pasportizácia urobiť na úrovni súdnoznaleckej dokumentácie.

Súvisiace podzemné objekty tunela sú monitorované v kontexte celej stavby, pretože tvoria jej súčasť. Realizačná dokumentácia monitoringu musí v tomto prípade riešiť nadväznosti a väzby monitoringu jednotlivých stavebných objektov predmetnej podzemnej stavby. Projekt ich monitoringu musí vychádzať z technológie ich razenia, a to najmä s prihliadnutím na časové nadväznosti ich jednotlivých krokov.

Monitoring susediacich podzemných objektov poskytuje účastníkom výstavby kontrolu skutočného správania sa susediaceho podzemného objektu a umožňuje porovnanie so správaním predpokladaným v realizačnej dokumentácii stavby.

4.7.4 Monitoring vplyvu geologických anomálií

Geologickou anomáliou pri razení tunela sa rozumie neočakávaná náhla zmena pevnostných a pretvárných vlastností priestorovo vymedzenej časti horninového masívu, v ktorých dôsledku dôjde k náhlym významným a nežiaducim napäťovo-deformačným prejavom horninového masívu a výstroje podzemného diela (napr. zistenie priestorovo významnej tektonickej poruchy s výrazne inými pevnostnými a pretvárnymi vlastnosťami ako okolitý horninový masív).

Pri náhlych a nežiaducich napäťovo-deformačných prejavoch ide o také prejavy, ktoré sa v realizačnej dokumentácii razenia a/alebo v realizačnej dokumentácii monitoringu nepredpokladali a môžu ohroziť bezpečnosť a stabilitu podzemného diela, ako aj objektov na povrchu terénu, alebo spôsobiť ich neprijateľné deformácie.

Geologická anomália môže byť priamo overená, t.j. táto priestorovo vymedzená časť horninového masívu sa vyskytne v ploche výrubu, pretože razenie prebieha v blízkosti tejto priestorovo vymedzenej časti horninového masívu a tiež vznikajú náhle a nežiaduce napäťovo-deformačné prejavy.

Ak sa pri razení zistí geologická anomália, je nevyhnutné vykonávanie monitoringu operatívne prispôsobiť tejto skutočnosti s následným rozhodnutím o úprave realizačnej dokumentácie monitoringu.

Geologická dokumentácia v miestach skutočnej alebo predpokladanej geologickej anomálie by mala obsahovať aj prognózu predpokladaných geologických pomerov a to minimálne pre dĺžku rovnajúcej sa priemeru tunelu.

4.7.5 Monitoring priebehu poklesovej kotliny a objektov na povrchu terénu

Porušenie napäťovo-deformačnej rovnováhy horninového masívu výrubom sa prejavuje na povrchu terénu, kde sa vytvára poklesová kotlina. V dôsledku vzniku poklesovej kotliny môže byť ohrozená stabilita a bezpečnosť objektov na povrchu terénu. Preto sa musí priebeh poklesovej kotliny a deformačný vývoj objektov na povrchu terénu monitorovať. Okrem nadzemných stavebných objektov treba venovať pozornosť objektom inžinierskych sietí, ktoré križujú potenciálnu poklesovú kotlinu. Zvýšenú pozornosť treba venovať aj objektom dopravnej infraštruktúry a vodohospodárskym objektom.

Kritériá varovných stavov, najmä kritické a varovné hodnoty stanovuje pri budovách statik, pri objektoch inžinierskych sietí ich správca.

Monitoring priebehu poklesovej kotliny musí obsahovať:

- Sledovanie sadania povrchu terénu v čase (napr. veľmi presnou niveláciou) v meračských profiloch v smere pozdĺžnom a priečnom k pozdĺžnej osi tunelovej rúry. Ďalej sa geodetické meranie veľmi presnou niveláciou robí na všetkých objektoch nadzemnej zástavby v zóne predpokladaného ovplyvnenia podzemného diela razením.
- Sledovanie deformačného správania horninového masívu v priestore medzi povrchom terénu a tunelovou rúrou (napr. inklinometrami, kízavými deformetrami, extenzometrami) v čase.

Geodetické merania sú základným meraním priebehu poklesovej kotliny, merania deformácií horninového masívu sú meraním doplnkovým, umožňujúcim sledovať prejavy porušenia napäťovo-deformačnej rovnováhy horninového masívu výrubom tunelovej rúry na povrchu.

Geodetické meranie sa robí v pozdĺžnych a priečných meračských profiloch. Pozdĺžny meračský profil je profil osadený v rovine pozdĺžnej osi tunelovej rúry alebo rovnobežne s ňou. Priečný meračský profil je profil osadený v smere kolmom na pozdĺžnu os tunelovej rúry v charakteristických bodoch. Priečne profily sú vždy súčasťou tzv. združených profilov. Združený profil je meračský profil, v ktorom sa monitoruje pokles terénu geodeticky aj vo vrtoch. Charakteristické miesta trasy sú napr. miesta s nízkym nadložíom, ulice, hustá nadzemná zástavba atď.

Dĺžka priečného profilu musí zahŕňať celú šírku predpokladanej poklesovej kotliny. Krajnú body priečného profilu sa umiestňujú v dostatočnej vzdialenosti mimo predpokladanej poklesovej kotliny. V realizačnej dokumentácii monitoringu je nutné navrhnúť umiestnenie meračských bodov a technické podmienky ich osadenia tak, aby nedošlo k ovplyvneniu ich pohybov parazitnými vplyvmi. (objemové zmeny spôsobené teplom, namŕzaním, deformáciami spôsobenými stavebnou povrchovou činnosťou v blízkosti bodu a pod.).

Pri predpoklade nebezpečenstva úniku plynu z plynovodov porušených deformáciou poklesovej kotliny, je nutné navrhnúť v rámci monitoringu aj osadenie detektorov plynu a to najmä v priľahlých pivničných priestoroch.

Monitoring objektov na povrchu terénu musí obsahovať:

- Sledovanie napäťovo-deformačného správania charakteristických miest objektu monitorujúceho jeho pretváranie ako celku v čase (napr. geodetické merania, automatické dilatometre, tenzometre, náklonometry) v meračských profiloch v smere pozdĺžnom a priečnom na pozdĺžnu os tunelovej rúry.
- Kontrolné fyzické prehliadky objektov.

Charakteristické miesta objektu sa nachádzajú na staticky významných nosných konštrukciách a ďalších staticky významných prvkoch objektu.

Meranie sa vykonáva výlučne na základe pasportizácie a (znaleckého) statického posúdenia východiskového skutočného stavu objektov v dostatočnom predstihu pred razením. Pasportizácia predstavuje nielen zaevidovanie a klasifikáciu trhlín v múroch príslušného objektu, ale aj celkové posúdenie jeho statického stavu vzhľadom na jeho konštrukciu a vek. Pasportizácia a (znalecké) statické posúdenie východiskového skutočného stavu je podkladom pre rozhodnutie o cieľoch merania na objekte, typoch meradiel a ich umiestnení. Meradlá sa umiestňujú predovšetkým na staticky významné prvky príslušného objektu. Dostatočným predstihom pred razením je také priblíženie čelby razenia k objektu na vzdialenosť, pri ktorom dochádza k deformačnému ovplyvneniu objektu razením.

Cieľom monitoringu priebehu poklesovej kotliny a objektov na povrchu terénu je poskytnúť účastníkom výstavby kontrolu skutočného priebehu poklesovej kotliny a deformačného správania objektov na povrchu terénu a umožniť porovnanie so správaním predpokladaným v realizačnej dokumentácii razenia, t. j. poskytnúť tieto informácie:

- priebeh sadania povrchu terénu v priestore a v čase,
- priebeh sadania, náklonov a vodorovných posunov charakteristických bodov na objektoch na povrchu terénu v priestore a v čase,
- priebeh zmien napätia na vybraných nadzemných konštrukciách v čase,
- priebeh zmien v režime obehu podzemnej vody v okolí stavby v čase,
- kontrola skutočného fyzického stavu objektu na povrchu v čase.

Významným cieľom monitoringu vývoja poklesovej kotliny a objektov v jej dosahu je umožnenie použitia observačnej metódy pri razení tunela (štôlne). To znamená prispôbenie technológie razenia v tuneli tak, aby sa neprekročili povolené kritériá pre nerovnomerné sadania budov a ostatné projektom predpísané deformačné kritériá objektov dotknutých predpokladanou poklesovou kotlinou.

4.8 Monitoring pri prerušení razenia a technologických prestávkach

Prerušením razenia sa rozumie prerušenie na čas dlhší ako je technologická prestávka v rámci pracovného cyklu na čelbe (napr. prestávka v razení na čas nevyhnutne potrebný na dosiahnutie minimálnej pevnosti betónu ostenia umožňujúci vykonanie výrubu, alebo prestávka vyvolaná nevyhnutnosťou presunu osádky a strojovej zostavy na inú čiastkovú čelbu tunela a pod.). Pod pojmom technologická prestávka sa rozumie časový úsek kratší ako prerušenie razenia.

Každé neplánované prerušenie razenia spravidla vedie k ďalšiemu rozvoju deformácií sledovaných systémov, ktoré môže prekročiť hodnoty predpokladané projektom, preto musia byť monitorované deformačné prejavy horninového masívu, ostenia tunela (štôlne), priebeh poklesovej kotliny a objekty na povrchu v predpokladanej zóne ovplyvnenia.

Pri spracovaní návrhu zmien obsahu a rozsahu monitoringu je potrebné zohľadniť predpokladaný čas prerušenia ako aj príčiny prerušenia razenia. Posudzuje sa, či nastali okolnosti, ktoré by mali viesť k prehodnoteniu geomechanického modelu systému horninový masív – stavebná konštrukcia a znovu sa prehodnocujú kritériá varovných stavov v dotknutom mieste.

Počas prerušenia razenia je nutné monitorovať deformačné prejavy horninového masívu, ostenia tunela, priebeh poklesovej kotliny a objekty na povrchu terénu. Monitoring pri prerušení razenia musí spĺňať požiadavky uvedené v čl. 4.7.1.1 až 4.7.1.5 týchto TKP.

4.9 Monitoring pri riešení mimoriadnych udalostí

Za mimoriadnu udalosť sa podľa [Z31] a [Z33] považuje závažná udalosť a nebezpečný stav, prevádzková nehoda (havária) a závažný pracovný úraz. Prevádzková nehoda (havária) je udalosť, pri ktorej sú ohrozené životy alebo zdravie osôb.

Mimoriadnou udalosťou sú ďalej zvaly podzemných diel, na ktorých zvládnutie sa predpokladá čas dlhší ako 24 hodín, alebo ktorých účinky ohrozili alebo by mohli ohroziť objekty na povrchu terénu. Prievaly vôd a zvodnelých materiálov a to aj povrchových, únik a priesak nebezpečných látok do podzemných diel, zosuvy zemín a skalných stien, pri ktorých dochádza k ohrozeniu života a zdravia ľudí, k ohrozeniu bezpečnosti prevádzky vrátane prevádzkovaných zariadení, k ohrozeniu verejných a iných právom chránených záujmov.

Mimoriadna udalosť sa rieši následne podľa osobitne vypracovanej projektovej dokumentácie a spravidla ide o činnosti s podstatne vyšším rizikom než pri razení v ostatných úsekoch tunela, v dôsledku čoho sa predpokladá aj zmena rozsahu prípadne obsahu monitoringu. Predmetom doplnenia môže byť vyššia početnosť meraní, doplnenie o ďalšie meracie miesta ako aj meracie metódy. Zvláštnu pozornosť je potrebné venovať bezpečnostným cieľom monitoringu, prehodnoteniu definícií varovných stavov i kritérií na ich prijímanie.

Monitoring pri riešení mimoriadnej udalosti musí spĺňať požiadavky uvedené v predchádzajúcich kapitolách a vykonáva sa v nadväznosti na postupy stanovené havarijným plánom zhotoviteľa stavebných prác pod vedením vedúceho likvidácie havárie.

4.10 Zvláštnosti monitoringu prieskumných štôlní

Monitoring prieskumných štôlní sa vykonáva podľa týchto TKP s prihliadnutím na nasledujúce skutočnosti:

- Prieskumné štôlne sú podzemné líniové diela s plochou výrubu obvykle do 16 m². Ich hlavným cieľom je získanie poznatkov o geotechnických vlastnostiach horninového masívu ako celku v miestach situovania budúceho definitívneho tunela a poznatkov o priamej reakcii horninového masívu na razenie, na základe čoho je navrhovaná technológia razenia prieskumnej štôlne (maximálne šetrný spôsob rozpojovania) a vystrojovanie výrubu, ktoré musí umožniť vykonať úplnú geologickú dokumentáciu čelby a líca výrubu.

- Uvedeným cieľom musí zodpovedať aj metodika vykonávania monitoringu, najmä inštalácia jednotlivých meračských prvkov a realizácia meraní. Výstupom monitoringu vykonávaného v rámci razenia prieskumných štôlní je predovšetkým získanie úplných poznatkov o reakcii horninového masívu na razenie a stanovenie hodnôt parametrov definujúcich mechanické vlastnosti horninového masívu ako celku.
- Vypracovanie dokumentácie geotechnického prieskumu realizovaného prostredníctvom prieskumnej štôlne, stanovenie podmienok pre výber zhotoviteľa a výkon nezávislého dozoru nad realizáciou prác musia byť zabezpečené odborné spôsobilými osobami.
- Pre spracovanie dokumentácie monitoringu a jeho realizáciu počas razenia prieskumných štôlní platia väčšinou rovnaké pravidlá ako pre monitoring tunela.

Výnimkou sú konvergenčné merania, ktorých cieľom je odvodiť prostredníctvom spätných numerických výpočtov deformačné parametre horninového masívu ako celku. Výsledky konvergenčného merania preto nesmú byť skreslené neskorým osádzaním konvergenčných bodov, stratenou konvergenciou a spolupôsobením tuhosti ostenia na deformáciu výrubu. Konvergenčné body sa preto neosadzujú do ostenia, ale do návrtov realizovaných do horninového masívu ešte pred vystrojením ostenia výrubu. V miestach konvergenčného profilu sa odporúča razenie vykonávať bez použitia trhacích prác (± 1 m).

4.11 Geotechnické hodnotenie horninového masívu podzemných častí

4.11.1 Všeobecne

Geotechnickým hodnotením horninového masívu sa rozumie geologická dokumentácia čelby, vrátane stien výrubu, zatriedenie výrubu do vystrojovacích tried a porovnanie skutočných a predpokladaných geotechnických podmienok (zhodnotenie odlišností geotechnických podmienok). Geologickú dokumentáciu vypracováva odborné spôsobilá osoba v súlade s ustanoveniami geologického zákona a to spravidla po každom kroku razenia.

Overuje sa, či skutočné zdokumentované geologické pomery zodpovedajú tým, ktoré sa predpokladali na základe predchádzajúceho inžinierskogeologického prieskumu a ktoré sa použili ako podklad na vypracovanie realizačnej dokumentácie razenia tunelu (prieskumnej štôlne) i monitoringu.

Geotechnické hodnotenie horninového masívu je nevyhnutnou súčasťou monitoringu. Je podkladom pre priebežné vyhodnocovanie výsledkov jednotlivých meraní monitoringu. Na základe geotechnického hodnotenia horninového masívu sa vykonáva:

- kvantifikácia odlišných podmienok staveniska, príprava podkladov na oceňovanie prác vykonaných navyše, ktoré boli spôsobené odlišnosťou v geotechnických pomeroch, a pri porovnávaní záverov predchádzajúcich etáp geotechnických prípadne inžinierskogeologických prieskumov s poznatkami získanými pri vlastnej stavbe,
- prehodnocovanie geotechnických kategórií, pretriedenie skutočne zistených hornín,
- príprava odporúčaní na úpravy technológie razenia a realizačnej dokumentácie stavby, napríklad konštrukcie primárneho ostenia, technickej stabilizácie svahov zárezov, portálov, injektáže a pod.,
- priebežné posudzovanie vplyvu výstavby na okolitú zástavbu a geofaktorov, ktoré tento vplyv podmieňujú,
- priebežné vykresľovanie zistených geologických pomeroch ako súčasti dokumentácie skutočnej realizácie stavby (pozdĺžny geologický a geotechnický profil a priečne geologické a geotechnické rezy),
- formulácia podnetov pre prípadný doplnkový geotechnický prieskum.

Súčasťou geotechnického sledovania horninového masívu je aj odber neporušených a porušených vzoriek hornín a zemín a laboratórne skúšky na overenie ich fyzikálno-mechanických vlastností, odbory vzoriek podzemných vôd a určenie ich chemického zloženia.

4.11.2 Geologická dokumentácia

Geologická dokumentácia čelieb a stien výrubu sa vykonáva pri každom kroku razenia – zábere. Pod pojmom záber sa rozumie časť výrubu vyrazená počas jedného pracovného cyklu, pričom dĺžka záberu je stredná vzdialenosť od posledného nosníka po nezaistenú čelbu v zmysle [T5].

Geologická dokumentácia sa nemusí robiť iba v odôvodnených prípadoch, pokiaľ sú zabezpečené požadované minimálne údaje.

Dokumentácia čelieb a stien výrubov musí obsahovať minimálne tieto informácie:

- dátum, čas vyhotovenia dokumentácie,
- staničenie čelby,
- meno a priezvisko pracovníka, ktorý dokumentáciu vyhotovil,
- geometrický tvar čelby, prípadne stien výrubu. Na stenách výrubu (prípadne počve a/alebo stropu, ak sa dokumentujú) budú vyznačené mierky vo forme rastrovej mriežky,
- výška nadložia,
- zakres zistených geologických pomerov na čelbe a na stenách výrubu. Geologickými charakteristikami sa rozumejú stratigrafické pomery; sklon a orientácia hlavných diskontinuit (vrátane opisu výplne, rozovrenia, tvaru), hydrogeologické pomery (lokalizácia a veľkosť prítokov podzemnej vody),
- zakres predstihového zabezpečenia čelby (mikropilótové dáždniky, čelbové kotvy, ihlovanie a pod.),
- opis a zatriedenie výrubu (čelba a steny výrubu) podľa tunelárskej klasifikácie a/alebo príslušnej normy,
- zistené technologické informácie – spôsob rozpojovania horniny, dĺžka záberu,
- porovnanie skutočných a predpokladaných geotechnických podmienok (t. j. zhodnotenie odlišností geotechnických podmienok),
- prognóza skutočných geologických pomerov, a to minimálne na dĺžku rovnajúcu sa priemeru tunela.

Geologickú dokumentáciu musí dopĺňať fotografická dokumentácia čelieb a stien výrubov. Tá je prílohou geologickej dokumentácie a obsahuje:

- dátum, čas vyhotovenia dokumentácie,
- staničenie čelby,
- meno a priezvisko pracovníka, ktorý fotografickú dokumentáciu zhotovil,
- zakres zistených geologických pomerov na čelbe a na stenách výrubu – vyznačenie hlavných diskontinuit a lokalizácií prítokov podzemnej vody.

Cieľom geologického dokumentovania a následného vyhodnocovania získaných poznatkov je formulovanie nasledovných faktorov:

- vlastnosti a uloženie hornín, a to najmä z hľadiska vrstevnatosti, kvality vrstevných plôch, súdržnosti, nebezpečenstva vytlačania a zavalovania, priepustnosti, vŕtateľnosť a vhodnosť pre kotvenie,
- priebeh geologických porúch, predpokladané miesta so zvýšenými tlakmi hornín, priebeh pokryvných útvarov, hĺbku zvetrania a hladinu spodnej vody,
- predpokladané tlaky v rozsahu nevyhnutnom na dimenzovanie výstuže a stanovenie spôsobu rozpojovania,
- hydrogeologické a plynové pomery v rozsahu nevyhnutnom na stanovenie bezpečnostných opatrení,
- údaje aj o okolí podzemného diela do vzdialenosti jeho možného ovplyvnenia.

4.11.3 Zatried'ovanie hornín

Horninové prostredie je silne heterogénne (systém plôch nespojitosti, voda v póroch a prasklinách) a anizotropné (z dôvodu stratigrafie, litológie, tektoniky a pod.). Fyzikálne a mechanické vlastnosti horninového masívu sa výrazne odlišujú od vlastností horninového materiálu, z ktorého je masív vytvorený. Je teda nevyhnutné vykonať homogenizáciu prostredí pomocou klasifikačných systémov horninového masívu.

Geotechnické sledovanie skutočných geologických pomerov počas razenia a klasifikácia horninového masívu podľa niektorých z klasifikácií je neoddeliteľnou súčasťou monitoringu. Zatriedenie hornín podľa použitej klasifikácie je jedným z podkladov hodnotenia výsledkov meraní.

Výber vhodného klasifikačného systému sa robí na základe vyhodnotenia podrobného inžinierskogeologického resp. geotechnického prieskumu a musí byť uvedený v dokumentácii monitoringu. Klasifikačné systémy pre horninový masív sú zostavené podľa použiteľnosti (skalné svahy, podzemné konštrukcie – baníctvo, podzemné staviteľstvo), geologického prostredia, požadovaných parametrov (pevnostný, stabilitný, časový faktor) a používanej technológie. Na správne zatriedenie horninového masívu je nevyhnutné v priebehu geotechnického sledovania čelieb odoberať vzorky hornín a priebežne vykonávať laboratórne ale aj terénne skúšky horninového masívu.

Použitie tunelárskych klasifikácií v priebehu prípravy a realizácie tunelovej stavby vychádza z nasledovných aspektov :

- Vo fáze inžinierskogeologického resp. geotechnického prieskumu sa realizujú terénne a laboratórne skúšky vôd, zemín, hornín a masívu tak, aby sa zistili požadované stratigrafické, štruktúrne a pevnostné parametre prostredia. Požiadavky na druh zisťovaných parametrov vychádzajú z voľby výpočtových modelov, ktoré sa použijú pre statický výpočet konštrukcie tunela. Z toho vychádza aj voľba klasifikačných systémov. Výsledkom podrobného inžinierskogeologického resp. geotechnického prieskumu je teda okrem iného aj predbežné zatriedenie horninového masívu podľa vhodných tunelárskych klasifikácií.
- Vo fáze spracovania projektovej dokumentácie stavby a statických výpočtov je objekt tunela rozdelený do vystrojovacích tried. V každej triede sa predpokladajú určité geotechnické vlastnosti masívu. Tie sú vyjadrené intervalom hodnôt podľa zvolenej tunelárskej klasifikácie (alebo niekoľkých klasifikácií).
- Zatriedenie horninového masívu do tried sa berie do úvahy pri voľbe varovných stavov.
- Vo fáze realizácie stavby sa skutočne zistený horninový masív hodnotí podľa tunelárskej klasifikácie. Klasifikácia sa volí rovnaká, ako bola tá, podľa ktorej boli zostavené vystrojovacie triedy vo fáze projektovej dokumentácie.
- V priebehu razenia sa priebežne porovnávajú predpokladané a skutočne zistené vlastnosti horninového prostredia. Pri zistení ohodnotenia masívu odlišného od predpokladov v projektovej dokumentácii sa navrhne zmena vystrojovacej triedy výrubu. Voľba triedy vychádza z intervalov klasifikačného hodnotenia stanovených projektovou dokumentáciou.
- Odporúča sa použitie medzinárodných tunelárskych klasifikačných systémov, v ktorých sa priebežne vykonáva aktualizácia kritérií na základe skúseností z vyhotovovaných stavieb.

Medzi najpoužívanejšie patria:

- NATM – Rabcewicz, 1975
- RMR – Bieniawski, 1974 (1989)
- Q systém – Barton et al., 1974 (1992)
- GSI – Hoek et al., 1995
- ÖNORM B 2203
- QTS – Tesař, 1977
- RQD – Deer et al., 1966
- RSR (CSIR) – Wickham et al., 1972
- BGD – ISRM, 1981

4.12 Hodnotenie odlišností geotechnických podmienok staveniska

Hodnotenie odlišností geotechnických podmienok staveniska je neoddeliteľnou súčasťou výsledkov monitoringu. Vykonáva sa na základe porovnávania predpokladaných geotechnických pomerov staveniska a skutočne zistených pomerov. Hodnotením odlišností geotechnických podmienok staveniska sa jednoznačne stanovujú rozdiely medzi predpokladanými východiskovými geologickými pomermi a skutočnými podmienkami staveniska zistenými pri výstavbe tunela za účelom stanovenia postupu pre kvantifikáciu dopadov na zmluvnú cenu prác.

4.13 Geologický a geotechnický dozor nadzemných častí

Geologický dozor stavby musí priebežne zaznamenávať skutočné inžinierskogeologické a hydrogeologické pomery počas výstavby.

Pre zárezy predportálových úsekov bude inžinierskogeologická dokumentácia spracovaná ako v textovej, tak aj v grafickej forme. Grafická forma bude pozostávať z priečných inžinierskogeologických rezov so vzájomných rozstupom 25 m, v prípade potreby sa táto vzdialenosť zmenší. Textová dokumentácia bude doplnená fotodokumentáciou.

V prípade, že sa počas výstavby vyskytnú iné geotechnické podmienky na stavbe ako sa pôvodne predpokladalo, je geologický a geotechnický dozor stavby povinný túto skutočnosť písomne oznámiť v správe zodpovednému projektantovi a investorovi (záznam v stavebnom denníku je nedostatočný). Správa bude obsahovať ako textovú, tak aj grafickú časť a bude predložená zhotoviteľovi, stavebnému dozorovi a investorovi v termíne do 7 dní od zaznamenania týchto skutočností zápisom v stavebnom denníku.

5 Budovanie systému geotechnického monitoringu

5.1 Postupy budovania systému monitoringu

Postupy budovania systému monitoringu na stavbe sa skladajú z nasledujúcich činností:

- zabezpečenie meradiel,
- overenie správnej funkcie meradiel pred osadením a prípadne ich kalibrácia,
- osadenie meradiel,
- uvedenie systému monitoringu do činnosti, nulté meranie,
- vytvorenie dátovej bázy monitoringu,
- vyhotovenie správy o vybudovaní systému monitoringu.

5.2 Zabezpečenie meradiel

Zabezpečenie meradiel zhotoviteľom sa uskutočňuje na základe jednoznačného stanovenia technických podmienok, aké musia meracie prístroje spĺňať (presnosť odčítania, rozsahy odčítania, dlhodobosť spoľahlivosti prístrojov, odolnosť proti špecifickým vplyvom prostredia, ako je vlhkosť, teplota, prašnosť, agresívna voda a pod.), ktoré musia byť formulované v zadávacej dokumentácii.

5.3 Overenie správnej funkcie meradiel – kalibrácia

Správna činnosť meradla musí byť preukázaná bezprostredne po jeho osadení a potom v intervaloch podľa pokynov výrobcu meradla, a pokiaľ to technické podmienky dovoľujú, tak bez nevyhnutnosti meradlo demontovať a tým prerušovať meranie.

Celý merací systém sa musí podrobovať pravidelnej kalibrácii. Kalibrácia spočíva v tom, že sa prístroj zaťaží známym zaťažením (teplota, sila, deformácie) a za kontrolovaných vonkajších podmienok sa merajú zodpovedajúce hodnoty na prístroji. Spravidla sa kalibrácia vykonáva už v okamžiku dokončenia výroby prístroja, potom pred zabudovaním do systému monitoringu a nakoniec počas monitoringu podľa plánu kalibrácie.

5.4 Osadenie meradiel

Rad meradiel, najmä tých, ktoré sa osadzujú do vrtov, potrebuje na ustálenie svojej činnosti určitý čas, napríklad meradlá pórového tlaku, tlakové podušky a podobne. Jedná sa o niekoľko dní, v niektorých prípadoch aj viac. Počas doby nevyhnutnej na ustálenie hodnôt (pokiaľ sledovaný systém neovplyvňujú stavebné práce) sa musí merať niekoľkokrát, aby sa okamžik ustálenia činnosti meradla jednoznačne preukázal.

Osadenie meracieho prístroja a jeho prvé odčítanie musí prebehnúť ešte pred ovplyvnením horninového prostredia či sledovaného systému stavebnými prácami. Len tak možno dokumentovať celý priebeh správania masívu počas výstavby. Oneskorené začatie merania prináša rad neistôt o správaní sledovaného systému či horninového masívu v čase jeho najväčších zmien a znemožňuje spoľahlivú interpretáciu získaných výsledkov merania.

5.5 Uvedenie systému monitoringu do činnosti – nulté meranie

Prvé merania objektívne neovplyvnené začatím výstavby sú definované ako tzv. nulté merania. Nulté merania sa zaznamenávajú do protokolov či databázy s označením nulté meranie. Ak nie je isté, že ide o nulté meranie a sledovaný systém už bol v okamžiku prvých meraní ovplyvnený

výstavbou, je nevyhnutné túto skutočnosť zdokumentovať a veľkosť tohto ovplyvnenia pre účely interpretácie výsledkov merania odhadnúť.

5.6 Správa o vybudovaní systému monitoringu

Po vybudovaní celého systému monitoringu v jednotlivých etapách (pred výstavbou, resp. po dobudovaní systému počas výstavby), osadení všetkých meracích bodov meracími prístrojmi a uskutočnení nultých meraní, zhotoviteľ geotechnického monitoring vypracuje správu o vybudovaní monitorovacieho systému.

Zmyslom správy o vybudovaní monitorovacieho systému je všetkým užívateľom monitoringu (účastníkom výstavby) poskytnúť úplnú informáciu o tom, kde, ako a aké merania sa vykonávajú a kde, ako a ktoré prístroje sú zabudované.

Zo správy musí vyplývať, aká je presnosť meradiel, s akou spoľahlivosťou možno merania vykonávať a aká je citlivosť meradiel na prípadné vonkajšie vplyvy ako je teplota, vlhkosť a podobne. Je prvotným podkladom pre vyhodnocovanie meraní a interpretáciu výsledkov. Zvláštnu dôležitosť má pri vysvetľovaní príčin namerania anomálnych hodnôt a neočakávaných hodnôt zistených pri meraní. V správe o vybudovaní systému monitoringu je nevyhnutné uviesť všetky okolnosti, ktoré pri osadzovaní jednotlivých meracích zaradení nastali, a ktoré môžu mať vplyv na kvalitu výsledkov dosahovaných meraní.

To je zvlášť dôležité pri prístrojoch, ktoré sú zabudované do stavebných konštrukcií alebo do horninového masívu, a ku ktorým po osadení nie je možný fyzický prístup.

O každom osadení meracieho prístroja sa vyhotovuje protokol o osadení meracieho bodu. Tieto protokoly sú prílohou správy o vyhodnotení systému monitoringu. V protokole o osadení bodu sa uvedú všetky údaje dôležité pre kvalitu merania a identifikáciu výsledku merania v danom meracom bode:

- geologický profil vrtu, do ktorého sa osádzajú meradlá,
- postup osadenia meradla,
- použité súčasti trvale osadených meradiel,
- zapaženie vrtu,
- postup pri realizácii zálievky, obsypu meracej výpažnice, rúry,
- hladina narazenej a ustálenej podzemnej vody,
- polohové a výškové zameranie meradla,
- označenie.

Pri bodoch osadených na stavebnú konštrukciu je nevyhnutné uviesť statickú schému stavebnej konštrukcie a v nej umiestnenie meracích bodov.

Súčasťou každej správy o vybudovaní systému monitoringu je situácia staveniska alebo situácia sledovanej oblasti s vyznačením skutočnej polohy všetkých meracích miest a s rozlíšením jednotlivých druhov meraní. V situácii sa vyznačujú aj všetky stavebné objekty, pre ktoré sa meranie vykonáva. Situácia je doplnená dostatočným počtom geotechnických rezov. V nich sú tiež zakreslené miesta osadenia každého meradla, zhodnotené sú miestne geologické pomery a poloha dotknutých objektov.

Súčasťou správy o vybudovaní systému monitoringu sú aj informácie o nultých meraniach a kalibračné záznamy jednotlivých meradiel.

Ak bude meranie vykonávať iný subjekt než ten, ktorý vybudoval monitorovací systém, je nevyhnutné uviesť aj dostatočne podrobné opisy prístrojov a návody na meranie.

Vypracovanie správy o vybudovaní monitorovacieho systému je nevyhnutným podkladom pre fyzické prevzatie monitorovacieho systému v teréne alebo na stavbe a je súčasťou preberania prác.

6 Zber, uskladňovanie a spracovávanie nameraných dát

6.1 Všeobecné zásady

Namerané dáta geotechnického monitoringu pochádzajú z rozličných miest stavby a sú získané rozličnými metódami. Získané dáta závisia od času, sú ovplyvnené lokalizáciou meraného miesta, použitej technológií a pod. Získané dáta by mali byť zhromažďované centrálnne, aby sa mohli vyhodnocovať vo vzájomných súvislostiach. Dáta z monitorovacieho systému musia byť účastníkom výstavby k dispozícii pre rozhodovací proces bezprostredne po zmeraní. Dáta sa musia nielen spracovať a vyhodnotiť do požadovanej formy, ale musia sa aj rýchlo odovzdať ostatným kompetentným subjektom (ostatní účastníci výstavby).

Zber, spracovanie a vyhodnocovanie dát sa vykonáva podľa realizačnej dokumentácie monitoringu. Zber dát sa môže realizovať ručne alebo samočinne diaľkovo. Rozhodnutie o spôsobe zberu dát sa musí urobiť už v štádiu spracovávania dokumentácie monitoringu, pretože je odvodené od množstva dát, požiadaviek na rýchlosť ich spracovania a od počtu ich užívateľov.

6.2 Ručný zber dát

Ručne získané dáta sa zaznamenávajú do vopred pripravených formulárov. Formuláre pre zber dát obsahujú predpis nielen pre vlastné merané dáta, ale aj pre všetky ostatné faktory, ktoré môžu výsledky meraní priestorovo i časovo ovplyvniť (napr. počasie, zrážky, teplota okolitého prostredia v okamžiku merania, postup prác). Každý záznam musí obsahovať miestne aj časové údaje. Ide o názov lokality, označenie meraného miesta, poradie merania, druh meradla, vrátane údajov o kalibrácii, presný okamžik merania a meno autora merania s podpisom.

6.3 Samočinný zber dát

Samočinný zber dát možno robiť dvoma spôsobmi:

- Snímač je vybavený zariadením, ktoré umožňuje tak samočinný odpočet dát v nastaviteľných časových úsekoch, ako aj ich uloženie do elektronickej pamäti priamo na mieste merania. V určitých časových úsekoch sa potom dáta prenású na elektronický záznamník prenášaný technikom zabezpečujúcim meranie. Dáta sa zo záznamníka potom v kancelárii prenású do počítača.
- Snímače sú prepojené s meracou ústredňou (tzv. datalogger) a tá je spojená on line (vysielačkou, v sieti GPRS a pod.) s ústredňou a počítačom, umiestnenými vo vyhodnocovacej kancelárii. Počítač priebežne riadi odčítavanie, dopravu, roztriedenie aj spracovanie nameraných dát.

Samočinné systémy nenahrádzajú komplexné posúdenie inžinierskeho problému odborne spôsobilým geotechnikom.

6.4 Primárne dáta

Primárne dáta sú dáta priamo získané meraním bez úprav pre vyhodnocovanie. Primárne dáta získané meraním sú v databáze uložené oddelene od analýz, ktoré sa na nich vykonávali. Musí sa zabezpečiť, aby sa primárne dáta nemohli upravovať, meniť alebo neodborným zásahom poškodiť/stratiť.

6.5 Správa z geotechnického monitoringu

Správu z meraní spracováva kolektív zhotoviteľa GTM pod vedením koordinátora monitoringu. Správa sa spravidla vyhotovuje v mesačných intervaloch a výsledky meraní po ich zhodnotení sa odovzdávajú všetkým účastníkom výstavby v tlačenej aj digitálnej forme. Po ukončení výstavby sa pred odovzdaním stavby do užívania spracuje záverečná správa, v ktorej sa stručne zhodnotia výsledky meraní a odporučí sa ďalší postup GTM v etape prevádzky.

7 Archivácia nameraných dát a zabezpečenie ich prístupu užívateľom

Podmienkou operatívneho riadenia geotechnického monitoringu a hodnotenia získaných dát je ich prístupnosť všetkým kompetentným zástupcom účastníkov výstavby. V prípade „online“ prístupu sa odporúča využitie špecializovaných počítačových databáz s napojením na internetovú sieť, v ktorých sú spoločne uložené nielen všetky druhy meraní ale aj všetky informácie o skutočnostiach, ktoré môžu výsledky meraní ovplyvniť. Počítačová databáza musí umožniť export uložených dát do

ďalších podprogramov umožňujúcich operatívne spracovanie dát pre účely ich hodnotenia a interpretácie (časové rady v rozličných mierkach a formách, porovnávanie priebehov rozličných meraní atď.). K týmto dátam musia mať priebežný prístup všetci poverení účastníci výstavby.

7.1 Spracovanie a prezentácia dát

7.1.1 Všeobecné zásady

Dáta získané zo systému monitoringu je treba ukladať a vyhodnocovať tak, aby boli na prvý pohľad zrejmé všetky zmeny od posledného merania a aby sa ihneď prejavili všetky nepravidelnosti v získaných výsledkoch. Výsledky meraní sa spracúvajú a predkladajú tak, aby bolo možné posudzovať trendy vo vývoji správania horninového prostredia. To sa týka tak jeho celku, ako aj jeho dôležitých súčastí. Výsledné trendy v správaní systému horninový masív – stavebná konštrukcia sa potom porovnávajú s prijatou hypotézou pretvárania.

Dáta, ktoré sa raz uložili do dátového súboru, sa spracúvajú rozličnými spôsobmi. Ich voľba závisí od riešeného problému. Pri grafickom zobrazovaní výsledkov merania, najmä ich časových priebehov, sa podľa potreby volia rozličné mierky. To je zvlášť dôležité pri hľadaní trendov pre rozličné, najmä však dlhšie časové obdobia. Odporúča sa, aby internetové rozhranie pre prezeranie výsledkov meraní umožňovalo voliť mierky zobrazení.

Získané dáta sa tiež usporadúvajú do rozličných druhov tabuliek, prehľadov, grafov a pod. Veľké množstvo dát, ktoré vyhovujú svojou homogenitou požiadavkám štatistického počtu, možno podrobovať metódam štatistických rozborov. Pri hodnotení dát spracovávaných počítačom sa nesmie potlačiť úloha inžinierskeho úsudku. Základné programové vybavenie pre hodnotenie dát z monitoringu sa musí odladiť ešte pred začatím meraní.

7.1.2 Grafické znázorňovanie dát

Najbežnejším spôsobom grafického znázornenia sú priebehy meraných hodnôt v závislosti od času a/alebo v závislosti od postupu stavebných prác. Využívajú sa na extrapoláciu ďalšieho priebehu zmien meraných veličín v budúcom období.

Jednoduchý časový priebeh absolútnych hodnôt meraných veličín sa v prípade potreby dopĺňa aj o časový priebeh rýchlostí a časový priebeh zrýchlenia zmien meraných veličín. Zmyslom je nájsť dôležité zmeny v správaní horninového prostredia, posudzovať, či vývoj smeruje k upokojeniu alebo naopak, či pokračuje v progresívnom porušovaní. Pre rozbor časových priebehov je užitočné voliť rozličné mierky. Vhodná miera uľahčí okrem iného rozlíšiť skutočné zmeny v správaní horninového masívu ako celku od časovo obmedzených zmien spôsobených prevažne miestnym rozdelením napätosti, spojených s progresívnym porušovaním.

Ďalším druhom rozboru výsledkov merania je vzájomné porovnávanie vývoja sledovaných veličín s vývojom všetkých možných činiteľov, ktoré môžu sledované hodnoty ovplyvňovať. Také porovnanie odhalí vzťah medzi príčinami a následkami a poskytne podklady k odôvodnenému stanoveniu podkladov pre voľbu varovných stavov.

Najsúhrnnejším spôsobom grafického spracovania dát je plošné alebo dokonca priestorové spracovanie do formy izočiari rovnakých hodnôt sledovaných veličín, kde je rozdelenie povrchu terénu do oblastí, ktoré vykazujú rovnaké hodnoty sledovaných veličín (napríklad izočiary rovnakých poklesov povrchu terénu).

7.2 Súčinnosť účastníkov výstavby pri vykonávaní monitoringu

Geotechnický monitoring je činnosť úzko spätá s činnosťou stavby a jeho výstupy ju významne ovplyvňujú. Účastníci výstavby musia preto pri vykonávaní monitoringu a pri rozhodovacom procese, ktorý naň nadväzuje, úzko spolupracovať. Hlavní účastníci výstavby, ktorých spolupráca a súčinnosť musí byť pri vykonávaní monitoringu, sú:

- zhotoviteľ geotechnického monitoringu,
- zhotoviteľ stavby,
- zhotoviteľ realizačnej dokumentácie stavby,
- obstarávateľ stavby - investor,
- stavebný dozor.

Zhotoviteľ realizačnej dokumentácie stavby navrhuje kritériá varovných stavov a spolupodieľa sa na návrhu opatrení súvisiacich so vznikom varovného stavu.

Spracovanie dokumentácie súvisiacej s projektovou prípravou, realizáciou geodetických meraní a analýza výsledkov geodetických meraní sa uskutoční v súčinnosti s realizátorom geodetických meraní na stavbe.

Súčinnosť zhotoviteľa stavby a investora so zhotoviteľom monitoringu:

V realizačnej dokumentácii monitoringu musia byť podrobne uvedené požiadavky na súčinnosť zhotoviteľa stavby so zhotoviteľom geotechnického monitoringu a požiadavky na podporu zo strany investora. Realizačná dokumentácia stavby aj realizačná dokumentácia monitoringu musia byť vo všetkých aspektoch, týkajúcich sa vykonávania monitoringu, navzájom späté.

Požiadavky zhotoviteľa monitoringu na zhotoviteľa stavby možno rozdeliť do 4 skupín:

- poskytnutie technického zázemia na stavbe,
- zahrnutie prác geotechnického monitoringu počas výstavby do harmonogramu postupu stavených prác (prerušenie prác pri meraní),
- súčinnosť pri budovaní systému monitoringu (osadzovanie meracích bodov, vrtné práce a pod.),
- poskytovanie údajov o postupe výstavby, zmenách technológií a pod.

Poskytovanie údajov o postupe výstavby – súčinnosť so stavebným dozorom investora:

Zhotoviteľ monitoringu musí mať od stavebného dozoru investora pre objektívne hodnotenie výsledkov meraní všetky informácie o priebehu výstavby, o postupe prác a o všetkých javoch, ktoré môžu mať vplyv na výsledky merania (prejavy technologickej nedisciplinovanosti zhotoviteľa výstavby, prestávky a znovu začatie prác, začiatky a ukončenia pracovných cyklov, zmeny v technológii, injektážne tlaky, geologické anomálie prekryté základovou škárou atď.). Spôsob zabezpečenia týchto informácií vrátane zodpovednosti za ich zabezpečenie musí byť popísaný v realizačnej dokumentácii monitoringu.

8 Hodnotenie monitoringu

8.1 Činnosti súvisiace s hodnotením monitoringu

Cieľom hodnotenia výsledkov monitoringu je:

- overenie a spresnenie geotechnického i geomechanického modelu geologického prostredia, v ktorom sa stavba realizuje,
- optimálna korekcia technológie výstavby, vrátane formulácie prognózy predpokladaných skutočných geologických a geotechnických podmienok horninového prostredia,
- kontrola účinnosti prijatých opatrení,
- optimalizácia požiadaviek na ekonomiku a bezpečnosť výstavby,
- kontrola vplyvu výstavby na práva tretích strán,
- preukázanie kvality vyhotovovaného diela.

Hodnotenie monitoringu sa musí vykonávať komplexne, za účasti všetkých kompetentných účastníkov výstavby a nepretržite spolu s postupom výstavby.

8.2 Kancelária monitoringu

8.2.1 Funkcia kancelárie monitoringu

Realizáciu monitoringu v priebehu výstavby tunela (štôlne) riadi tzv. kancelária monitoringu. Pod pojmom kancelária monitoringu sa rozumejú všetky personálne i technické prostriedky zhotoviteľa monitoringu, nevyhnutné na riadenie monitorovacích prác a vyhodnocovanie ich výsledkov.

Kancelária monitoringu organizuje zároveň zber dát, ich archiváciu v databázach, spracováva ich, hodnotí a využíva na prezentáciu výsledkov monitoringu, ako aj distribúciu údajov ich užívateľom - účastníkom výstavby.

Kancelária monitoringu je súčasťou systému správy resp. vedenia stavby a systému riadenia rizík. Riadenie kancelárie monitoringu a jej činnosť je podriadená obstarávateľovi stavby. Štruktúra kancelárie monitoringu, jej organizačné usporiadanie, personálne zloženie, zodpovednosti jednotlivých

pracovníkov kancelárie, technické i softvérové vybavenie a jej činnosť musia byť podrobne uvedené v realizačnej dokumentácii monitoringu.

Kancelária monitoringu musí byť vybavená centrálnym archivačným počítačom na uskladňovanie dát a umožňovať on-line prístup k dátam kompetentným zástupcom účastníkov výstavby. Medzi základné úlohy kancelárie monitoringu patrí:

- koordinácia jednotlivých spracovateľov a prípadných subdodávateľov monitoringu tak, aby sa merania vykonávali v súlade so schváleným plánom meraní podľa realizačnej dokumentácie monitoringu a v súlade s potrebami výstavby, ako aj platnou legislatívou a technickými predpismi,
- archivovanie primárnych dát a výstupov z databázy a vedenie tejto databázy,
- pravidelná príprava podkladov pre týždenné (alebo v prípade potreby častejšie) hodnotenie výsledkov meraní monitoringu,
- priebežné vyhodnocovanie výsledkov meraní vzhľadom na ich vzťah ku kritériám varovných stavov,
- zabezpečovanie toku informácií o výsledkoch meraní, prípadne o dosiahnutí varovného stavu všetkým zodpovedným osobám účastníkov výstavby.

Kancelária monitoringu bez zbytočného odkladu upozorňuje všetkých účastníkov výstavby na zmeny geologických pomerov (odlišné podmienky staveniska) a na vhodnosť zmeny zatriedenia do príslušnej vstrojovacej triedy razenia, prípadne iniciuje zmenu nasadených vstrojovacích prvkov.

Kancelária monitoringu na základe doterajších výsledkov merania a sledovania razenia analyzuje riziká vzniku prípadných mimoriadnych udalostí a stanovuje ich pravdepodobné príčiny.

Ak sa pri meraní zaznamenajú hodnoty približujúce sa kritériám varovných stavov alebo tieto kritériá prekračujú, kancelária monitoringu posudzuje vzniknutú situáciu a v súčinnosti s hlavným geotechnikom navrhuje vyhlásenie príslušného varovného stavu.

Pri definovaní odlišnej podmienky staveniska kancelária monitoringu posudzuje, či vznikli dôvody na kompenzáciu oprávnených nákladov zhotoviteľa a stanovuje podklady na určenie rozsahu týchto kompenzácií.

8.2.2 Zapojenie kancelárie monitoringu do systému riadenia výstavby

Výsledky monitoringu sú dôležitým nástrojom riadenia postupu výstavby, odporúča sa ich prerokovávanie spravidla raz za týždeň na spoločnom rokovaní zodpovedných zástupcov všetkých dotknutých účastníkov výstavby (kontrolný deň monitoringu).

Úlohou kontrolného dňa monitoringu (KDM) je, aby sa s výsledkami meraní, s ich hodnotením i súvislosťami preukázateľne oboznámili všetci účastníci výstavby. Zodpovednosti a kompetencie za prijaté rozhodnutia sa riadia zmluvnými vzťahmi jednotlivých účastníkov výstavby.

Kancelária monitoringu pripravuje na rokovanie KDM štandardné výstupy a hodnotenie meraní. Na požiadanie ktoréhokoľvek oprávneného účastníka výstavby môže pripraviť z meraní zvláštne rozbor, prispôsobené špecifickému problému, ktorý je predmetom spoločného prerokovania výsledkov monitoringu.

8.2.3 Hlavná pozícia kancelárie monitoringu

Stanovenie štruktúry a kompetencií kľúčových pracovníkov kancelárie monitoringu sú nevyhnutné pre jasnú definíciu vzťahov medzi kanceláriou monitoringu a ostatnými účastníkmi výstavby. Preto kompetencie jednotlivých pozícií v kancelárii monitoringu musia byť uvedené v realizačnej dokumentácii monitoringu a späté so štruktúrou riadenia celej výstavby.

Hlavné pozície v štruktúre kancelárie monitoringu sú:

- a) vedúci kancelárie monitoringu,
- b) zodpovedný geotechnik,
- c) zodpovedný geológ,
- d) zodpovedný geodet,
- e) ostatní špecialisti.

Ostatní špecialisti sa dopĺňajú podľa konkrétneho obsahu monitoringu (hydrogeológ, statik, správca databázového systému, zodpovední pracovníci za jednotlivé druhy meraní a pod.).

Vedúci kancelárie monitoringu je zodpovedným zástupcom zhotoviteľa monitoringu, ktorý riadi komplexnú činnosť kancelárie monitoringu.

Zodpovedný geotechnik odborne hodnotí výsledky meraní s kritériami varovných stavov, podáva návrhy na vyhlásenie varovných stavov, úpravy početnosti meraní, vypracúva komplexné geotechnické hodnotenie spolupôsobenia stavby s horninovým masívom a návrhy na ďalší postup monitorovania. V pozícii zodpovedného geotechnika môže pôsobiť len osoba s odbornou spôsobilosťou podľa [Z29].

Zodpovedný geológ v priebehu výstavby hodnotí inžinierskogeologické, hydrogeologické a geotechnické pomery horninového masívu v priebehu výstavby a zodpovedá za spracovanie súvisiacich výstupov v podobe vstupov do databázy monitoringu. Vykonáva komplexné inžinierskogeologické, geotechnické a hydrogeologické sledovanie horninového masívu a jeho porovnanie s predpokladmi prieskumu a so skutočnosťami uvedenými v zadávacích podmienkach, vykonáva zatriedňovanie hornín do technologických tried a inžinierskogeologické prognózy pre ďalšie úseky razenia. V pozícii zodpovedného geológa môže pôsobiť len osoba s odbornou spôsobilosťou podľa [Z12].

Zodpovedný geodet zodpovedá za správnosť vykonania a hodnotenia všetkých geodetických meraní a za spracovanie výsledkov všetkých meraní realizovaných v tuneli (štôlni) ako aj na povrchu vykonaných pre účely GTM. V pozícii zodpovedného geodeta môže pôsobiť len osoba s odbornou spôsobilosťou podľa [Z30].

8.3 Súčinnosť kancelárie monitoringu so stavebným dozorom investora

Kancelária monitoringu nenahrádza činnosť stavebného dozoru investora. Kancelária monitoringu štandardne nevykonáva sledovanie a dozor prebiehajúcich stavebných prác, neodsúhlasuje výkazy vykonaných prác, nekontroluje kvalitu stavebných prác atď. Tieto činnosti patria do výlučnej právomoci stavebného dozoru investora resp. inej nezávislej odborne spôsobilej osobe poverenej obstarávateľom na výkon stavebného dozoru, prípadne autorského dozoru projektanta.

Kancelárii monitoringu bude zhotoviteľ stavby a stavebný dozor poskytovať všetky relevantné informácie o postupe stavebných prác a zistených skutočnostiach pre hodnotenie výsledkov meraní, ktoré môžu mať vplyv na výsledky meraní. Ide predovšetkým o:

- prejavy technologickej nedisciplinovanosti zhotoviteľa stavby, prerušenie razenia, začiatky a ukončenie pracovných cyklov, a pod.,
- zmeny v technológii výstavby, najmä všetky zmeny v technológii a rýchlosti postupu výstavby, postupu razenia, injektážne tlaky, počty kotiev, veľkosti a lokalizácie nadvýlomov atď.,
- geologické anomálie prekryté základovou škárou a/alebo striekaným betónom pred vyhotovením geotechnickej dokumentácie.

Spôsob zabezpečenia týchto informácií vrátane zodpovednosti za ich zabezpečenie musí byť uvedený v realizačnej dokumentácii monitoringu a prerokovaný so zhotoviteľom stavby a s investorom a musí byť zakotvený do zmluvných vzťahov.

9 Varovné stavy

9.1 Základné princípy

Všeobecne sa varovný stav v správaní sledovaného systému definuje ako taká kvalitatívna zmena v jeho správaní, ktorá znamená zásadnú zmenu v úrovni podstupovaného rizika. Pri výstavbe pozemných komunikácií sa sledovaným systémom rozumie interakcia horninový masív – stavebná konštrukcia. Dosiahnutie určitého varovného stavu je podnetom na prijatie určitých technicko-organizačných opatrení. Tieto opatrenia sú nástrojom na udržanie správania sledovaného systému v prijateľných medziach a na odvrátenie následkov vzniku nežiaducich javov počas výstavby. Tieto opatrenia spočívajú v:

- úprave vykonávania vlastného monitoringu (organizačne – zvýšenie/zníženie frekvencie merania, technicky – rozšírenie monitoringu o meračské body atď.),
- úprave realizačnej dokumentácie stavebného objektu,
- úprave technologickej výstavby (sanačné opatrenia, bezpečnosť, riadenie rizík).

V súvislosti s varovnými stavmi sú definované nasledujúce pojmy:

- stupeň varovného stavu,
- kritérium varovného stavu.

Stupeň varovného stavu je určitý stav v správaní horninového masívu a/alebo stavebnej konštrukcie, ktorý má vzťah k stanovenému cieľu monitoringu a je spojený s určitým opatrením. Čím vyšší je stupeň varovného stavu, tým väčšie je podstupované riziko, t. j. horninový masív či sledovaná stavebná konštrukcia má bližšie k strate stability.

Kritériá varovného stavu sú exaktne alebo empiricky vopred stanovené hodnoty sledovaných veličín, súvisiacich s príslušným stupňom varovného stavu a mierou podstupovaného rizika (napr. dosiahnutá veľkosť pretvorenia, rýchlosť pretvorenia a pod.). Vopred stanovenými hodnotami sledovaných veličín sa rozumejú hodnoty stanovené pred začatím výstavby projektantom realizačnej dokumentácie v súčinnosti s hlavným geotechnikom zhotoviteľa monitoringu (ak je známy).

Konkrétne hodnoty kritérií varovných stavov sa stanovujú s ohľadom na napätovo deformačnú odozvu horninového masívu a ovplyvnených stavebných konštrukcií vyvolanú výstavbou. Toto posudzovanie sa vždy vykonáva vo vzťahu k existujúcemu geotechnickému riziku.

V priebehu výstavby sa môžu hodnoty kritérií varovných stavov upresňovať na základe skutočného správania horninového masívu a stavebných konštrukcií. Toto upresňovanie je v kompetencii projektanta stavby.

9.2 Stupne varovných stavov

Pre dokumentáciu stavby sa stanovujú stupne varovných stavov podľa ich naliehavosti. Pod pojmom naliehavosť sa rozumie miera podstupovaného geotechnického rizika.

Posledný stupeň varovného stavu znamená postupovať podľa havarijného plánu pod vedením vedúceho likvidácie havárie v súlade s platnou legislatívou.

V priebehu výstavby sa definície jednotlivých stupňov varovných stavov upresňujú na základe nových poznatkov priebežne získavaných monitoringom. Spolu so spresňovaním stupňov varovných stavov sa upresňujú aj kritériá na ich prijatie. Vychádza sa pritom z napätovo deformačnej odozvy horninového masívu a ovplyvnených stavebných konštrukcií na výstavbu a z hodnotenia vývoja rizík a spolupôsobenia horninového masívu a stavebnej konštrukcie. Podobne sa odporúča vhodne upravovať aj príslušné technicko-bezpečnostné opatrenia. Na začiatku výstavby sa kritériá definujúce jednotlivé stupne varovných stavov volia opatrne a s dostatočnou bezpečnosťou. S rastom poznatkov o vzájomnom vplyve stavby na horninový masív je následne možné upresňovať a stanovovať výstižnejšie definície.

Odporúča sa stanoviť 5 úrovní stupňov varovných stavov:

- stav vysokej miery bezpečnosti,
- stav prípustných zmien,
- stav medznej prijateľnosti,
- kritický stav,
- havarijný stav.

9.3 Kritériá varovných stavov

Kritériá pre varovné stavy sa počas výstavby upresňujú na základe získavaných poznatkov o správaní horninového masívu a sledovanej stavebnej konštrukcie v daných geologických podmienkach. V nadväznosti na komplexné hodnotenie výsledkov meraní monitoringu a na aktuálne varovné stavy sa následne prijímajú opatrenia týkajúce sa:

- merania a vyhodnocovania monitoringu (početnosť meraní, úpravy v typoch a rozsahu meraní, rýchlosť a spôsob vyhodnocovania výsledkov),
- pohotovostného režimu (smeru a rýchlosti informácií a rozhodovacieho procesu v rámci riadenia výstavby a rizík),
- úprav technológie výstavby,
- bezpečnosti práce a jej organizácie.

Konkrétne kritériá varovných stavov sa odvíjajú od určitej hodnoty sledovanej veličiny. Tá je spravidla stanovená statickým výpočtom vykonaným v rámci realizačnej dokumentácii objektu (medzná hodnota „A“). Hodnota „A“ je hodnota zodpovedajúca očakávanému správaniu sledovaného systému (napr. očakávané sadanie a náklon určitého objektu). Ak hodnotu „A“ nemožno jednoznačne určiť výpočtom, (alebo neskôr v priebehu výstavby a v priebehu meraní spätnými výpočtami), stanovuje sa odborným odhadom.

9.3.1 Stav vysokej miery bezpečnosti

Merané hodnoty sú ustálené a sú podstatne nižšie ako 60 % hodnoty sledovanej veličiny „A“ predpokladanej výpočtom pre danú fázu výstavby. Podstupované riziká sú zanedbateľné. Základná charakteristika prijímaných opatrení je:

- Postup merania a sledovania prebieha podľa realizačnej dokumentácie monitoringu, prípadne sa obmedzuje počet niektorých druhov meraní.
- Pri výstavbe sa môžu prijať opatrenia smerujúce k úspore nákladov, napríklad zrýchlenie výstavby, obmedzenie rozsahu sanačných opatrení a pod. Zároveň treba zabezpečiť overenie dôsledkov prijatia týchto opatrení na správanie stavebnej konštrukcie a horninový masív. Pri vysokej miere bezpečnosti je cieľom monitoringu zníženie nákladov, zvýšenie rýchlosti výstavby, optimalizácia úsporných opatrení pri výstavbe pri zachovaní technicko-kvalitatívnych podmienok.

9.3.2 Stav prípustných zmien

Hodnoty meraných veličín sa rýchle ustália a neprekročia hodnotu „A“ sledovanej veličiny predpokladanej pre danú fázu výstavby. Predpokladom dokumentácie zodpovedajú aj geologické pomery. Podstupované riziká sú ešte bezpečne prijateľné. Kritériom pre vyhlásenie tohto stavu je dosiahnutie približne 60 % hodnoty „A“.

Základná charakteristika prijímaných opatrení:

- Postup merania a sledovania prebieha podľa realizačnej dokumentácie monitoringu.
- Výstavba postupuje podľa schválenej realizačnej dokumentácie.

9.3.3 Stav medznej prijateľnosti

Stav medznej prijateľnosti je stav mierne za hranicou hodnôt sledovaných veličín očakávaných projektom či výpočtom. Nie je však ohrozená stabilita sledovaného systému, či dosiahnutý jeho prvý medzný stav. Pod pojmom prvý medzný stav sa rozumie medzný stav únosnosti podľa STN EN 1997-1 7 (ďalej len Eurokód 7). Sledované veličiny, hoci nie sú úplne ustálené, zreteľne smerujú k ustálenému stavu bez prekročenia cca 125 % hodnoty sledovanej veličiny predpokladanej pre danú fázu výstavby výpočtom. Podstupované riziká sú už na hranici prijateľnosti. Základná charakteristika prijímaných opatrení:

- Pri vykonávaní monitoringu: zvýšenie početnosti meraní, prípadne vykonať ďalšie analytické vyhodnotenie vybraných už nameraných dát, spätné výpočty a pod.
- Zvyšujú sa nároky na rýchlosť spracovania a odovzdávania spracovaných dát. Podľa okolností sa môže zaviesť pohotovostný režim. Podľa uváženia sa do systému merania a sledovania zapájajú nové druhy meraní, ktoré pre danú situáciu predpokladá realizačná dokumentácia monitoringu.
- Pri výstavbe: vychádza sa z realizačnej dokumentácie stavebného objektu. Je nevyhnutné v menšom rozsahu počítat aj s prácami navyše. Prijímajú sa opatrenia, aby sa správanie sledovaného systému vrátilo do stavu prípustných zmien. Cieľom monitoringu je vykonávať opatrenia na zabránenie dosiahnutia kritického stavu.

9.3.4 Kritický stav

Kritický varovný stav zodpovedá neprijateľnej úrovni rizík. Vývoj a správanie systému horninový masív – stavebná konštrukcia by bez prijatia mimoriadnych opatrení v technológii výstavby, prípadne bez úpravy realizačnej dokumentácie predstavoval vysoké nebezpečenstvo vzniku nežiaducich javov a v krajnom prípade mimoriadnych udalostí (v zmysle bezpečnostných predpisov). Pre kritický stav je charakteristické, že hodnoty sledovaných veličín prekračujú 125 % hodnoty „A“ sledovanej veličiny pre danú fázu výstavby. Sledované hodnoty však nemajú sklon k ustáleniu a ich rast pokračuje stále rovnakou, aj keď malou rýchlosťou. Základná charakteristika prijímaných opatrení:

- Pri vykonávaní monitoringu: zvýšenie početnosti meraní, prípadne zaradenie nových druhov meraní, ktoré si vyžaduje situácia. Podľa okolností možno zaviesť aj merania, ktoré sa

v realizačnej dokumentácii monitoringu pôvodne nepredpokladali. Početnosť meraní sa upravuje podľa potreby, spravidla je frekvencia minimálne denná.

- Pri vykonávaní stavebných prác: zmeny v technológii výstavby, úpravy realizačnej dokumentácie. V rámci technológie výstavby sa môže pristúpiť aj k opatreniam, o ktorých sa v spracovanej realizačnej dokumentácii pre daný objekt neuvažovalo alebo k opatreniam, ktoré majú charakter prác navyše.

9.3.5 Havarijný stav

Havarijný stav je stav, pri ktorom sledované veličiny začali progresívne rásť. Výrazným spôsobom prekonal 125 % hodnoty "A" sledovanej veličiny v danej fáze výstavby a hodnoty druhého medzného stavu podľa Eurokódu 7 pre predmetnú stavebnú konštrukciu. Systému horninové prostredie – stavebná konštrukcia hrozí strata celkovej stability. Podstupované riziká dosiahli úplne neprípustnú úroveň. Stavbe hrozí mimoriadna situácia a postupuje sa preto podľa schváleného havarijného plánu zhotoviteľa v súlade s platnými bezpečnostnými predpismi. Všetky kompetencie týkajúce sa opatrení na stavbe ako aj pri meraniach monitoringu pri havarijnom stave preberá zhotoviteľ stavby v súlade s bezpečnostnými predpismi.

Cieľom opatrení je predovšetkým ochrana životov a zdravia pracovníkov, ďalej minimalizácia škôd na hmotnom majetku a vytvorenie predpokladov na následné úspešné zvládnutie následkov mimoriadnej udalosti.

9.4 Niektoré zásady hodnotenia varovných stavov

Posudzovanie, či sa dosiahol, alebo nedosiahol varovný stav, treba vykonávať komplexne a s ohľadom najmä na:

- absolútne hodnoty sledovanej veličiny,
- rýchlosť rastu/ustáľovanie hodnôt sledovanej veličiny,
- zrýchlenie/spomalenie s akým sa menia hodnoty sledovanej veličiny,
- mieru zhody teoretickej a skutočnej hodnoty sledovanej veličiny.

Prihliadať treba aj na hodnotenie celkových trendov vo vývoji sledovaných veličín a na komplexné posúdenie správania všetkých sledovaných bodov a veličín, nielen jedného jediného. Vždy treba znovu posúdiť platnosť prijatej hypotézy pretvárania sledovaného systému aj technicko-ekonomickej analýzy následkov vyhlásenia varovného stavu a existujúcich rizík. V odôvodnenom prípade sa kritériá varovných stavov prehodnocujú, čo prináleží do kompetencií projektanta stavby, pričom podklad tvorí:

- Analýza výsledkov monitoringu a návrhy opatrení pri vykonávaní monitoringu (zabezpečuje ich zhotoviteľ monitoringu).
- Analýza priebehu výstavby z hľadiska technológie a realizačnej dokumentácie, ako aj návrhy opatrení pri vlastnej výstavbe (zabezpečuje ich zhotoviteľ stavby).

Podmienkou správneho hodnotenia kritérií varovných stavov je, že sa musia hodnotiť celkové trendy v správaní horninového masívu a sledovanej stavebnej konštrukcie.

9.5 Hodnotenie výsledkov monitoringu

Hodnotenie výsledkov monitoringu sa všeobecne vykonáva podľa zásad uvedených v Eurokóde 7:

- Výsledky získané z monitoringu sa musia vždy vyhodnocovať a vysvetľovať. Vyhodnotenie sa musí urobiť kvantitatívnym spôsobom. Hodnotenie monitoringu musí byť založené „na meraní posunov, napätí a rozboru, ktorý zohľadňuje sled stavebných operácií“, teda predovšetkým postup výstavby a všetkých faktorov, ktoré ich sprevádzajú.

Spôsob spracovania, archivácie a hodnotenia dát z meraní musí spĺňať požiadavku, že získané dáta sú určené na využitie pri rozhodovacom procese výstavby, t. j., že sa musia spracovať a vyhodnotiť bez zbytočného odkladu a priebežne, a preto musia byť kedykoľvek prístupné všetkým kompetentným účastníkom výstavby v centrálnej databáze monitorovacieho systému. Preto sa odporúča, aby databáza a výsledky monitoringu boli prístupné „online“. Hodnotenie výsledkov monitoringu musí obsahovať:

- určenie neistôt pri meraní (t. j. meračské chyby),
- analýzu a vylučovanie systematických chýb vzniknutých pri meraniach,
- priestorový a časový priebeh meraných hodnôt,
- vzájomné porovnanie priestorových a časových priebehov rozličných sledovaných veličín (sumačné čiary deformácií, čiary rýchlostí deformácií v čase, prípadne aj čiary zrýchlenia deformácií v čase, vektor priestorovej zmeny polohy meračského bodu v čase, rezy priebehu deformácií v čase v rozličných meračských bodoch),
- interpretáciu výsledkov meraní, pričom pod pojmom interpretácia sa rozumie zhodnotenie výsledkov meraní vo vzťahu ku kritériám varovných stavov, porovnanie výsledkov meraní s predpokladmi uvedenými v realizačnej dokumentácii,
- formuláciu inžinierskych odporúčaní (na realizáciu monitoringu a na realizáciu výstavby).

Hodnotenie výsledkov monitoringu je v kompetencii zhotoviteľa GTM.

9.6 Prijímané opatrenia

Prijatie varovného stavu určitej úrovne je podnetom na prijatie zodpovedajúcich, vopred pripravených opatrení. Vopred pripravené opatrenia sú organizačné a technické opatrenia, ktorých cieľom je dosiahnuť zmeny vo vývoji sledovaného systému horninový masív – stavebná konštrukcia a zabrániť, aby sa dosiahol varovný stav vyššieho stupňa, resp. aby sa udržal „stav prípustných zmien“:

- úpravy meraní a vyhodnocovanie monitoringu (početnosť meraní, úpravy v typoch a rozsahu meraní, rýchlosť a spôsob vyhodnocovania výsledkov),
- zavedenie pohotovostného režimu (smeru a rýchlosti informácií a rozhodovacieho procesu v rámci riadenia výstavby a rizík),
- úpravy technológie výstavby,
- organizácia bezpečnosti práce.

Vyššie uvedené opatrenia sú navrhované a vykonávané v súlade s realizačnou dokumentáciou objektu a realizačnou dokumentáciou monitoringu, prípadne rozhodnutiami prijatými projektantom stavby na základe výsledkov GTM.

9.7 Začlenenie monitoringu do systému riadenia výstavby

Monitoring poskytuje podklady pre rozhodovanie o postupe výstavby a preto je súčasťou systému riadenia výstavby a zhotoviteľ monitoringu je účastníkom výstavby.

10 Archivácia výsledkov meraní po ukončení výstavby

Stavebník (investor) a zhotoviteľ stavby archivuje na čas záručných lehôt všetky správy (mesačné, súhrnné správy) o výsledkoch monitoringu, vrátane ostatných analýz, spätných výpočtov a protokolov o vyhlásení vyšších než kritických úrovní varovných stavov.

Minimálne počas záručnej doby zhotoviteľ monitoringu archivuje elektronickú formu databázy všetkých výsledkov meraní a správy z monitoringu.

Záverečná správa monitoringu, vrátane elektronickej formy databázy všetkých výsledkov meraní, sa stáva súčasťou dokumentácie skutočného realizovania stavby.

11 Zásady monitoringu počas prevádzkovania tunela

11.1 Všeobecné zásady

Na monitoring vykonávaný v priebehu výstavby tunela nadväzuje monitoring stavebnej konštrukcie tunela počas jeho prevádzky a trvalý monitoring horninového prostredia, v ktorom bol tunel vyrazený (v primeranom rozsahu platí aj pre prieskumné štôlne).

Monitoring počas prevádzky tunela sa vykonáva v rozsahu, ktorý je odôvodnený typom zvolenej stavebnej konštrukcie tunela, charakterom horninového prostredia dotknutého razením tunela a poznatkami získanými pri monitoringu, realizovanom vo fáze výstavby tunela.

Dokumentácia monitoringu počas prevádzky tunela, vrátane voľby jeho cieľov, sa spracováva na základe záverečnej správy o vykonaní monitoringu počas výstavby, dokumentácie skutočnej realizácie výstavby tunela a na základe skúseností a poznatkov získaných pri monitoringu počas výstavby. Dokumentáciu monitoringu tunela počas prevádzky obvykle vypracováva zhotoviteľ dokumentácie pre stavebné povolenie.

Za monitoring tunela počas prevádzky diela je zodpovedný prevádzkovateľ tunela. Monitoring je obvykle vykonávaný nezávislým odborne spôsobilým subjektom.

11.2 Ciele monitoringu počas prevádzky tunela

Monitoring počas prevádzky tunela je podľa špecifických okolností každého projektu zameraný spravidla na:

- aktuálnu kontrolu pretvárania a únosnosti tunelového ostenia vo vytypovaných (extrémne exponovaných) profiloch,
- aktuálnu kontrolu vývoja napätosti v tunelovom ostení a na rozhraní tunelového ostenia a horninového prostredia v týchto profiloch,
- aktuálnu kontrolu vývoja teplôt betónu tunelového ostenia vo zvolených profiloch,
- vývoj vodného režimu v širšom okolí tunela v zóne ovplyvnenia,
- kontrolu funkcie drenážneho systému pozdĺž tunelového ostenia,
- meranie množstva a kvality vody vtekajúcej a vytekajúcej z tunela,
- veľkosť priesakov vody do tunela, kontrolu funkcie hydroizolácií,
- stabilitu a pretváranie (deformácie) portálov tunela,
- pri mestských plytkých tuneloch s nadzemnou zástavbou na kontrolu priebehu poklesovej kotliny a „stability“ nadzemných objektov.

11.3 Vizuálne prehliadky

Neoddeliteľnou súčasťou monitoringu tunela počas jeho prevádzky sú pravidelné vizuálne prehliadky všetkých prístupných častí nosných konštrukcií, miest priesakov, vzniku trhlin v ostení a pod.

Početnosť týchto prehliadok stanovuje prevádzkovateľ tunela s ohľadom na typ stavebnej konštrukcie, charakter horninového prostredia, v ktorom je tunel vyrazený a doterajšie poznatky získané z monitoringu počas výstavby aj počas prevádzky tunela. Odporúčaná základná početnosť vizuálnych prehliadok diela je 1x za mesiac. Hlavné prehliadky tunela sú realizované v súlade s pravidlami určenými prevádzkovým poriadkom.

11.4 Početnosť meraní prostredníctvom prístrojov

Počítateľná početnosť meraní je spravidla raz za štvrt' roka do ustálenia meraných veličín, následne sa početnosť znižuje zvyčajne až na konečnú hodnotu 1x až 2x ročne. Početnosť meraní stanovuje prevádzkovateľ tunela na základe odporúčania, resp. záverov zhodnotenia geotechnického monitoringu za určité obdobie (spravidla 4 roky), ktoré spracováva projektant realizačnej dokumentácie.

12 Skúšanie a preberanie prác

12.1 Skúšanie

Všetky činnosti geotechnického monitoringu majú špecifický charakter, ktorý sa neoveruje bežným skúšaním (preukaznými, kontrolnými, preberacími skúškami a pod.).

12.2 Preberanie prác

12.2.1 Všeobecne

Preberanie prác sa riadi ustanoveniami zmluvy o dielo resp. o poskytovaní služieb. Preberanie prác sa uskutočňuje v dohodnutých časových intervaloch, spravidla za obdobie 1 mesiac po odovzdaní mesačnej správy z GTM, resp. podľa postupu vykonávania prác na základe zmluvných dohôd.

12.2.2 Doklady potrebné na preberanie prác

Zhotoviteľ monitoringu bude predkladať mesačnú, resp. záverečnú správu k fakturácii ako základ pre vyplatenie priebežných platieb. Bude obsahovať stručný prehľad o poskytnutých službách a prehľad vynaložených nákladov podľa odsúhlaseného súpisu položiek.

12.2.3 Predkladanie správ o priebehu činnosti

Zhotoviteľ geotechnického monitoringu vypracuje a predloží nasledovné správy:

- Správu z vybudovania systému GTM pred výstavbou, resp. počas výstavby a to do jedného mesiaca od dátumu začatia výkonu prác. Správa bude poskytovať prehľad o začiatku a postupoch činností zhotoviteľa geotechnického monitoringu.
- Mesačné správy z geotechnického monitoringu do 14 dní po ukončení obdobia, za ktoré sa správa podáva.
- Súčasťou činnosti zhotoviteľa geotechnického monitoringu je aj vypracovanie návrhu aktuálneho plánu meraní a jeho koordinácie na ďalšie obdobie (nasledujúci mesiac). Tieto budú následne zahrnuté s ich vyhodnotením do mesačných správ o postupe prác.
- Záverečnú správu do troch mesiacov po ukončení výkonu činností geotechnického monitoringu, v ktorej sa sumarizujú všetky poskytnuté služby, zhodnotia všetky hlavné problémy, ktoré sa vyskytli počas GTM, všetky zmeny, nároky alebo spory, dodatky a akékoľvek iné podstatné záležitosti vplývajúce na náklady a priebeh GTM, ako aj na realizáciu stavby. Záverečnú správu musí sprevádzať konečná faktúra.
- Osobitné správy zhotoviteľ geotechnického monitoringu vypracuje na pokyn obstarávateľa k akémukoľvek významnému problému, ktorý sa vyskytne počas vykonávania geotechnického monitoringu.

13 Výmery a platby

13.1 Všeobecne

Výmery sa určujú v dĺžkových mierach v metroch, v plošných mierach v metroch štvorcových, v objemových mierach v metroch kubických, hmotnosť v kilogramoch, podľa času v hodinách, pre kusy v celých jednotkách alebo odúčtovacích jednotkách (napr. etapa merania). Rozsah výkonov sa stanovuje podľa výmer určených podľa realizačnej dokumentácie schválenej objednávateľom. Pokiaľ toto nie je možné, stanoví sa rozsah na základe meraní in situ.

Zohľadniť sa majú zmeny v dôsledku odchýliek skutočného a predpokladaného postupu stavebných prác, zistených geologických, resp. geotechnických podmienok odchylných od predpokladaných v zadávacej dokumentácii, výskytu mimoriadnych udalostí, zastavenia prác pred ukončením a inými faktormi, ktoré v čase vypracovania zadávacej dokumentácie resp. uzatvorenia zmluvy neboli známe.

V realizačnej dokumentácii monitoringu musia byť uvedené zásady pre stanovenie prípadných zmien frekvencie meraní v prípade zistenia neustálených deformácií, mimoriadnych udalostí, prerušenia prác, predčasného ukončenia prác a pod.

13.2 Časovo viazané náklady na činnosti monitoringu

Časovo viazané náklady na vybrané činnosti monitoringu sa stanovujú podľa času v mesiacoch alebo výpočtových jednotkách, ktoré sa určia zo zmluvne dohodnutého priebehu stavby a zmluvne stanoveného času výstavby, prípadne zmluvne dohodnuté času na vykonávanie vybraných činností monitoringu pred začatím výstavby a po ukončení stavebných prác. Zohľadniť sa majú zmeny v zmluvnom čase realizácie monitoringu v dôsledku odchýliek skutočného a zmluvného času výstavby, resp. požadovanej doby výkonu činnosti.