

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

TP 05/2015

**TECHNICKÉ PODMIENKY
MONITOROVANIE BETÓNOVÉHO OSTENIA TUNELOV**

účinnosť od: 01.07.2015

OBSAH

1	Úvodná kapitola	6
1.1	Vzájomné uznávanie	6
1.2	Predmet technických podmienok (TP)	6
1.3	Účel TP	6
1.4	Použitie TP	6
1.5	Vypracovanie TP	6
1.6	Distribúcia TP	6
1.7	Účinnosť TP	6
1.8	Nahradenie predchádzajúcich predpisov	6
1.9	Súvisiace a citované právne predpisy	7
1.10	Súvisiace a citované normy	7
1.11	Súvisiace a citované technické predpisy a podmienky	8
2	Všeobecne	9
2.1	Monitorovanie ako súčasť výstavby a prevádzky tunela	9
2.2	Význam monitorovania pre zvýšenie bezpečnosti a spoľahlivosti	9
2.3	Monitorovanie ako signalizácia vzniku mimoriadnych situácií	9
2.4	Monitorovanie ako podklad pre údržbu a opravy tunela	9
2.5	Rozsah platnosti	9
2.5.1	Vymedzenie platnosti TP pre betónové tunelové ostenia	9
2.5.2	Zvláštne technicko-kvalitatívne podmienky (ZTKP)	9
2.6	Základné pojmy	9
2.6.1	Monitorovanie	9
2.6.2	Technické zariadenia monitorovania	10
2.6.3	Monitorovací systém	10
2.6.4	Objednávateľ monitorovania	10
2.6.5	Projektovanie a dokumentácia monitorovania	10
2.6.6	Zhotoviteľ monitorovania	11
2.6.7	Správca tunela	11
2.6.8	Prevádzkovateľ monitorovacieho systému	11
2.6.9	Zhotovenie monitorovania	11
2.6.10	Riadenie monitorovania	11
2.7	Ciele monitorovania	11
2.7.1	Komparatívny a prognostický význam monitorovania	11
2.7.2	Monitorovanie z hľadiska riadenia výstavby a prevádzky tunela	11
2.7.3	Monitorovanie ako nástroj kontroly kvality	11
2.7.4	Monitorovanie a riadenie rizík	11
3	Vlastnosti sekundárneho ostenia tunela, sledované pri výstavbe a prevádzke	12
3.1	Všeobecne	12
3.2	Prostredie v tunelovej rúre	12
3.2.1	Meranie prostredia v tunelovej rúre	12
3.2.2	Koncentrácia oxidu uhoľnatého	12
3.2.3	Koncentrácia oxidov dusíka	12
3.3	Deformácie betónového tunelového ostenia	12
3.3.1	Deformácie priečných profilov betónového ostenia	12
3.3.2	Deformácie betónovej tunelovej rúry	13
3.4	Pomerné deformácie a napätosť v betóne ostenia	13
3.4.1	Pomerné deformácie v betóne	13
3.4.2	Nepriame zisťovanie napätosti v betóne	13
3.4.3	Zisťovanie napätosti v betóne uvoľňovaním napätí	13
3.5	Kvalita betónu a výstuže v ostení	13
3.5.1	Javy ovplyvňujúce kvalitu betónu a výstuže	13
3.5.2	Pevnosť betónu	14
3.5.3	Modul pružnosti betónu	14
3.5.4	Odolnosť voči prieniku kvapalín a plynov	14
3.5.5	Kvalita výstuže v ostení	14
3.6	Poruchy v sekundárnom ostení a ich rozvoj	14
3.6.1	Trhliny v betóne	14
3.6.1.1	Príčiny vzniku trhlín	14
3.6.1.2	Parametre trhlín a význam ich monitorovania	14

3.6.1.3	Aktivita trhlín	15
3.6.2	Degradácia betónu	15
3.6.2.1	Degradácia betónu v dôsledku zatekania	15
3.6.2.2	Karbonatizácia betónu	15
3.6.2.3	Chemická korózia betónu a výstuže	16
3.6.2.4	Alkalické rozpínanie kameniva v betóne	16
3.6.2.5	Biologická korózia betónu	16
3.6.2.6	Degradácia betónu pôsobením tepla	16
3.6.2.7	Strata pasivačnej schopnosti krycej betónovej vrstvy	16
3.6.2.8	Korózia výstuže	16
4	Meracie a skúšobné metódy používané pri monitorovaní ostenia a ich aplikácia	16
4.1	Všeobecne	16
4.2	Spôsoby monitorovania	17
4.2.1	Vizuálne kontroly	17
4.2.2	Merania meracími prístrojmi a systémami	17
4.2.2.1	Meracie prístroje mechanické a elektromechanické	17
4.2.2.2	Meracie prístroje optické a elektro-optické	17
4.2.2.3	Tenzometre	18
4.2.2.4	Odporové tenzometre	18
4.2.2.5	Strunové tenzometre	18
4.2.2.6	Optické tenzometre	18
4.2.2.7	Ultrazvukové prístroje	18
4.2.2.8	Prístroje na zisťovanie korózie výstuže	18
4.2.2.9	Snímače korozívneho prostredia v betóne	18
4.2.2.10	Teplomery	18
4.2.2.11	Skúšky in situ	19
4.2.2.12	Tvrdomerne skúšky	19
4.2.2.13	Akustické skúšky	19
4.2.2.14	Skúšky pH betónu a skúšky obsahu chloridov v betóne	19
4.2.2.15	Laboratórne skúšky	19
4.2.2.16	Skúšky fyzikálno-mechanických vlastností	19
4.2.2.17	Skúšky chemických vlastností betónu	19
4.3	Monitorovanie kvality ovzdušia v tuneli	19
4.3.1	Monitorovacie stanice kvality ovzdušia v tuneli	19
4.3.2	Prenos a spracovanie údajov	19
4.4	Monitorovanie geometrických parametrov ostenia	20
4.4.1	Konvergenčné merania	20
4.4.2	Líniové merania	20
4.4.3	Náklonomerné merania	20
4.4.4	3D merania	20
4.5	Monitorovanie mechanických vlastností betónu	20
4.5.1	Meranie pevnosti betónu tvrdomerom	20
4.5.2	Meranie dynamického modulu pružnosti ultrazvukom	20
4.6	Monitorovanie pomerných deformácií a napätí	21
4.6.1	Všeobecne	21
4.6.2	Deformometrické merania	21
4.6.3	Nepriame meranie napätosti - tenzometrické merania pomerných pretvorení	21
4.6.3.1	Meranie odporovými tenzometrami	21
4.6.3.2	Meranie strunovými tenzometrami	22
4.6.3.3	Meranie optickými tenzometrami	22
4.6.4	Zisťovanie napätosti metódou uvoľňovania napätí	22
4.6.4.1	Zárezová kompenzačná metóda (Metóda plochého lisu)	22
4.6.4.2	Metóda jadrového vývrtnu	22
4.7	Monitorovanie prestupu agresívnych látok v krycej betónovej vrstve	22
4.7.1	Zisťovanie hrúbky karbonatizácie	22
4.7.2	Zisťovanie obsahu chloridov v betóne	23
4.8	Monitorovanie korózie výstuže	23
4.8.1	Monitorovanie vzniku korozívneho prostredia z povrchu betónového ostenia	23
4.8.2	Monitorovanie korozívneho prostredia zabudovanými snímačmi korózie	23
4.8.3	Overenie výskytu korózie endoskopom	23

4.9	Monitorovanie vzniku, aktivity a rozvoja trhlin	23
4.9.1	Zisťovanie šírky trhlin	23
4.9.2	Zisťovanie hĺbky trhlin	23
4.9.3	Sledovanie aktivity trhlin	24
4.9.3.1	Všeobecne	24
4.9.3.2	Sledovanie aktivity trhlin pomocou sadrových terčikov	24
4.9.3.3	Optické mriežky	24
4.9.3.4	Meranie aktivity trhlin pomocou mechanických a elektrických deformometrov	24
4.10	Doplňujúce merania a skúšky vlastností konštrukčných materiálov	24
4.10.1	Meranie teploty v betóne	24
4.10.2	Skúšky pevnosti a modulu pružnosti betónu	24
4.10.3	Dotvarovanie a zmrašťovanie betónu	25
5	Projekt monitorovania	25
5.1	Dokumentácia pre vybudovanie a prevádzkovanie monitorovania	25
5.1.1	Obsah dokumentácie	25
5.1.1.1	Všeobecne	25
5.1.1.2	Dokumentácia monitorovania ako súčasť dokumentácie DSP	25
5.1.1.3	Zadávací dokumentácia monitorovania	25
5.1.1.4	Realizačná dokumentácia monitorovania	26
5.1.1.5	Dokumentácia monitorovania, zhotovená počas prevádzky tunela	26
5.1.2	Vypracovanie a schvaľovanie dokumentácie	26
5.2	Návrh systému monitorovania	26
5.2.1	Model vývoja vlastností a porúch ostenia	26
5.2.2	Výber meraných veličín	26
5.2.3	Výber meracích metód a zariadení	27
5.2.4	Výber meracích miest	27
5.2.5	Časový plán monitorovania	27
5.2.6	Technicko-ekonomický rozbor riešenia systému monitorovania	27
5.3	Rizikové hodnoty monitorovaných veličín	27
5.3.1	Všeobecne	27
5.3.2	Výpočtová a medzná hodnota sledovanej veličiny	28
5.3.3	Limitná hodnota sledovanej veličiny	28
6	Vybudovanie systému monitorovania	28
6.1	Etapy budovania systému monitorovania	28
6.2	Obstarávanie meradiel a snímačov, ich overenie a inštalácia	28
6.2.1	Výber dodávateľa	28
6.2.2	Adjustácia a kalibrácia meracích prístrojov	28
6.2.3	Inštalácia meracích prístrojov, snímačov a značiek	29
6.3	Napojenie meradiel a snímačov na zbernice a meracie stanice	29
6.3.1	Zhotovenie a kontrola káblových vedení a meracích zberníc	29
6.3.2	Inštalácia stabilných meracích zberníc a meracích staníc	29
6.4	Skúšky monitorovacích podsystemov	29
6.4.1	Funkčné skúšky	29
6.4.2	Nulové meranie	29
6.5	Správa o zhotovení monitorovacieho systému	29
7	Prevádzka monitorovacieho systému	30
7.1	Použitie monitorovacieho systému počas výstavby	30
7.2	Zber dát a výsledkov skúšok	30
7.2.1	Všeobecné zásady	30
7.2.2	Ručný zber dát	30
7.2.3	Automatizovaný zber dát	30
7.2.4	Archivácia a zálohovanie dát	31
7.3	Spracovanie, vyhodnotenie a analýza dát	31
7.3.1	Spracovanie a vyhodnotenie dát	31
7.3.2	Analytická správa o výsledkoch monitorovania	31
7.3.3	Návrh opatrení pre prevádzku a údržbu na základe výsledkov monitorovania	31
7.3.4	Prípustný stav	31
7.3.5	Stav hraničnej prijateľnosti	32
7.3.6	Kritický stav	32
8	Úlohy jednotlivých účastníkov výstavby a prevádzky tunela pri monitorovaní ostenia	32

8.1	Úlohy projektanta tunela a projektanta monitorovacieho systému.....	32
8.2	Súčinnosť zhotoviteľa stavby a investora so zhotoviteľom monitorovania.....	32
8.3	Súčinnosť správcu tunela a prevádzkovateľa monitorovania.....	32

1 Úvodná kapitola

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 alebo iných medzinárodných noriem.

1.2 Predmet technických podmienok (TP)

Predmetom týchto TP je monitorovanie sekundárneho betónového tunelového ostenia. Toto monitorovanie predstavuje opakujúci sa súbor kontrolných činností, súvisiacich s jeho výstavbou a prevádzkou.

1.3 Účel TP

Účelom TP je definovať požiadavky na obsah a postupy monitorovania. Úlohou monitorovania je získavať informácie, ktoré umožňujú spresňovať posúdenia bezpečnosti a spoľahlivosti a životnosti budovanej a neskôr prevádzkovej konštrukcie.

1.4 Použitie TP

Tieto TP sa budú používať pri príprave projektovej dokumentácie tunela, zhotovení dokumentácie monitorovania, zhotovení a prevádzke systému monitorovania.

1.5 Vypracovanie TP

Tieto TP vypracovala na základe objednávky Národnej diaľničnej spoločnosti, a.s. Bratislava, spoločnosť VUIS Mosty s.r.o., Gogoľova 18, 851 01 Bratislava. Spracovateľ: Ing. Ján Kucharík, CSc., Tel.: 0903752596, e-mail: kucharik.vuismosty@stonline.sk .

1.6 Distribúcia TP

Elektronická verzia TP sa po schválení zverejní na webovej stránke SSC: www.ssc.sk (technické predpisy) a na webovej stránke MDVRR SR: www.mindop.sk (doprava, cestná doprava, cestná infraštruktúra, technické predpisy).

1.7 Účinnosť TP

Tieto TP nadobúdajú účinnosť dňom uvedeným na titulnej strane.

1.8 Nahradenie predchádzajúcich predpisov

Tieto TP nenahrádzajú žiadny iný predpis.

1.9 Súvisiace a citované právne predpisy

- [Z1] Zákon č. 135/1961 Zb., o pozemných komunikáciách (cestný zákon), v znení neskorších predpisov;
- [Z2] zákon č. 71/1967 Zb. o správnom konaní (správny poriadok) v znení neskorších predpisov;
- [Z3] zákon č.50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon) v znení neskorších predpisov;
- [Z4] vyhláška FMD č.35/1984 Zb., ktorou sa vykonáva zákon o pozemných komunikáciách (cestný zákon) v znení neskorších predpisov
- [Z5] zákon č. 44/1988 Zb. o ochrane a využití nerastného bohatstva (banský zákon) v znení neskorších predpisov;
- [Z6] vyhláška SBÚ č. 21/1989 Zb. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a bezpečnosti prevádzky pri banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom v podzemí;
- [Z7] zákon č. 17/1992 Zb. o životnom prostredí v znení neskorších predpisov;
- [Z8] zákon č. 215/1995 Z. z. o geodézii a kartografii v znení neskorších predpisov;
- [Z9] 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;
- [Z10] zákon č.142/2000 Z. z o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z11] vyhláška MŽP SR č. 453/2000 Z. z. ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia stavebného zákona;
- [Z12] opatrenie ŠÚ SR č. 128/2000 Z. z., ktorým sa vyhlasuje Klasifikácia stavieb;
- [Z13] zákon č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny v znení neskorších zákonov;
- [Z14] zákon č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z15] zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z16] zákon č.133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov;
- [Z17] vyhláška MDVRR SR č. 162/2013 Z. z., ktorou sa ustanovuje zoznam skupín stavebných výrobkov;
- [Z18] Slovenský register stavebných výrobkov.

1.10 Súvisiace a citované normy

STN EN 1990 (73 0031)	Eurokód. Zásady navrhovania konštrukcií
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 (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 0091)	Eurokód 7. Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 2: Prieskum a skúšanie horninového prostredia
STN EN 1998-5 (73 0036)	Eurokód 8. Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť. Časť 5: Základy, oporné konštrukcie a geotechnické hľadiská
STN EN 13670 (73 2400)	Zhotovovanie betónových konštrukcií
STN EN 206-1 (73 2403)	Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda
STN EN 1090-2+A1 (73 2601)	Zhotovovanie oceľových a hliníkových konštrukcií. Časť 2: Technické požiadavky na oceľové konštrukcie (Konsolidovaný text)
STN EN 12504-1 (73 1303)	Skúšanie betónu v konštrukciách. Časť 1: Vzorky z jadrového vŕtania. Odber, preskúmanie a skúška pevnosti v tlaku
STN EN 12504-2 (73 1303)	Skúšanie betónu v konštrukciách. Časť 2: Nedeštruktívne skúšanie. Stanovenie tvrdosti odrazovým tvrdomerom
STN EN 12504-3 (73 1304)	Skúšanie betónu. Časť 3: Odtrhová skúška

STN EN 12504-4 (73 1304)	Skúšanie betónu. Časť 4: Určenie rýchlosti ultrazvukového impulzu
STN EN 14630 (73 2109)	Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Skúšobné metódy. Skúšanie hĺbky karbonatizácie v zatvrdnutom betóne fenolftaleínovou metódou
STN EN 14629 (73 2150)	Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Skúšobné metódy. Stanovenie obsahu chloridov v zatvrdnutom betóne
STN 72 1001	Klasifikácia zemín a skalných hornín
STN 73 0037	Zemný tlak na stavebné konštrukcie
STN 73 0090	Geotechnický prieskum
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 1001	Geotechnické konštrukcie. Zakladanie stavieb
STN 73 1370	Nedeštruktívne skúšanie betónu. Spoločné ustanovenia
STN 73 1374	Kombinovaná nedeštruktívna metóda skúšania betónu
STN 73 1371	Ultrazvuková impulzová metóda skúšania betónu
STN 73 1373	Tvrdomerné metódy skúšania betónu
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 3050	Zemné práce. Všeobecné ustanovenia
STN 73 6100	Názvoslovie pozemných komunikácií
STN 73 6101	Projektovanie ciest a diaľnic
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

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

1.11 Súvisiace a citované technické predpisy a podmienky

[T1]	TS 1003	Dokumentácia tunelov , MDPT SR: 2003;
[T2]	TP 10/2005	Katalóg porúch tunelov na pozemných komunikáciách , MDPT SR: 2005
[T3]	TP 09C-1/2005	Prehliadky, údržba a opravy cestných komunikácií. Tunely - stavebné konštrukcie, MDPT SR: 2005;
[T4]	TP 03/2006	Dokumentácia stavieb ciest , MDPT SR: 2007, prílohy 01 až 13 , príloha 14
[T5]	TP 05/2006	Tunelové názvoslovie , MDPT SR: 2006;
[T6]	TP 06-1/2006	Podzemné stavby. Časť 1: Cyklické razenie, MDPT SR: 2006;
[T7]	TP 06-2/2006	Podzemné stavby. Časť 2: Kontinuálne razenie, MDPT SR: 2006;
[T8]	TP 07/2008	Vykonávanie inžinierskogeologického prieskumu pre cestné stavby, MDPT SR:2008;
[T9]	TP 11/2011	Požiarne bezpečnosť cestných tunelov, MDVRR SR: 2011;
[T10]	TP 13/2011	Príručka monitoringu vplyvu cestných komunikácií na životné prostredie, MDVRR SR: 2011;
[T11]	TP 03/2015	Inžinierskogeologický prieskum pre tunely, MDVRR SR: 2015;
[T12]	TP 04/2015	Ochrana tunelov proti vode a odvodnenie tunelov, MDVRR SR: 2015;
[T13]	TKP časť 0:	Všeobecne, MDVRR SR: 2012;
[T14]	TKP časť 2:	Zemné práce, MDVRR SR: 2011;
[T15]	TKP časť 4:	Odvodňovacie zariadenia a chráničky pre inžinierske siete, MDPT SR: 2010;
[T16]	TKP časť 11:	Dopravné značenie, MDVRR SR: 2011;
[T17]	TKP časť 15:	Betónové konštrukcie všeobecne, MDVRR SR: 2013;
[T18]	TKP časť 16:	Debnenie, lešenie a podperné skruže, MDVRR SR: 2013;
[T19]	TKP časť 17:	Výstuž do betónu, MDVRR SR: 2013;
[T20]	TKP časť 18:	Betón na konštrukcie, MDVRR SR: 2013;
[T21]	TKP časť 20:	Oceľové konštrukcie, MDVRR SR: 2014;
[T22]	TKP časť 26:	Tunely, MDVRR SR: 2015;

- [T23] TKP časť 30: Špeciálne zakladanie, MDVRR SR: 2012;
[T24] TKP časť 31: Zvláštne zemné konštrukcie, MDVRR SR: 2014.

2 Všeobecne

2.1 Monitorovanie ako súčasť výstavby a prevádzky tunela

Tunely predstavujú náročné inžinierske diela, ktoré sa realizujú v komplikovaných podmienkach. Vlastný proces zhotovenia spôsobuje, že dochádza k časovo premenlivej interakcii s okolitým horninovým prostredím. Predikcia veličín, vyjadrujúcich pôsobenie horninového prostredia je zložitá a pri budovaní diela dochádza k ich spresňovaniu, čo je úlohou geotechnického monitorovania.

Monitorovanie ostenia tunela umožňuje sledovať jeho odozvu na pôsobenie okolitého prostredia. Parametre odozvy sú dané nielen veľkosťou pôsobiacich namáhání a vplyvov, ale aj kvalitatívnymi parametrami budovaného ostenia. Monitorovanie vybraných veličín odozvy konštrukcie pri výstavbe a prevádzke preto predstavuje súčasť kontroly kvality návrhu ostenia a tiež jeho zhotovenia.

2.2 Význam monitorovania pre zvýšenie bezpečnosti a spoľahlivosti

Tunely ako podzemné dopravné stavby sa vyznačujú vysokými požiadavkami na bezpečnosť, predovšetkým vzhľadom na svoj hospodársky a strategický význam. Bezpečnosť tunela je daná na prvom mieste vysokou bezpečnosťou a spoľahlivosťou návrhu. Úlohou monitorovania je získavať informácie, ktoré umožňujú spresňovať posúdenia bezpečnosti a spoľahlivosti budovanej konštrukcie a jej životnosti, a vykonať potrebné zmeny v realizačnej dokumentácii alebo pláne údržby.

2.3 Monitorovanie ako signalizácia vzniku mimoriadnych situácií

Počas prevádzky tunela sa môžu vyskytnúť situácie, ktoré ovplyvnia bezpečnosť premávky a jazdný komfort. Monitorovanie ostenia umožňuje takéto situácie včas predvídať a prijať potrebné opatrenia v oblasti obmedzenia dopravy, údržby alebo opravy.

2.4 Monitorovanie ako podklad pre údržbu a opravy tunela

Výsledky monitorovania poskytujú obraz o meniacej sa odolnosti konštrukcii ostenia voči pôsobeniu zaťaženia a vplyvov. Odolnosť ostenia je ovplyvňovaná pôsobením horninového prostredia ale aj vnútorného prostredia v tunelovej rúre, ktoré vďaka výfukovým plynom a aplikácii agresívnych materiálov pri zimnej údržbe spôsobuje degradáciu betónu a výstuže ostenia.

Degradácia ostenia má dve základné fázy (pasívnu a aktívnu), ktoré sa líšia vizuálnym prejavom. V pasívnej fáze, ktorej začiatok a postup je možné kontrovať pomocou monitorovania je možné prijímať opatrenia v rámci údržby a opráv, ktoré spomalia, alebo zastavia degradáciu. Tieto sú ekonomicky efektívnejšie ako realizácia opráv viditeľných porúch betónu a výstuže.

2.5 Rozsah platnosti

2.5.1 Vymedzenie platnosti TP pre betónové tunelové ostenia

Tieto TP sa vzťahujú na všetky cestné tunely s monolitickým betónovým a železobetónovým sekundárnym ostením. Vzťahujú sa aj na betónové časti tvoriace integrálnu súčasť tunela (portály, zálivy). Nevzťahujú sa na okolité stavby ako sú oporné múry, kotvené steny a pod.

2.5.2 Zvláštne technicko-kvalitatívne podmienky (ZTKP)

Pre jednotlivé stavby tunelov budú pre betónové ostenia vypracované ZKTP. ZKTP budú reflektovať konkrétne podmienky a konštrukčné riešenia stavby. V oblasti monitorovania spresnia požiadavky týchto TP.

2.6 Základné pojmy

2.6.1 Monitorovanie

Monitorovanie je súbor činností, ktorých cieľom je zisťovanie stavu a chovania sa konštrukcie. Tieto činnosti sa vykonávajú kontinuálne alebo opakovane dlhší časový úsek a teda registrujú aj

zmeny vlastností konštrukcie. Súčasťou monitorovania je pravidelné vyhodnocovanie a analýza výsledkov monitorovacích činností. Na ich základe a prognóze vývoja vlastností konštrukcie sa prijímajú opatrenia zamerané na zachovanie dlhodobu bezpečného a prevádzkovo komfortného stavu konštrukcie.

2.6.2 Technické zariadenia monitorovania

Monitorovanie pozostáva z troch základných skupín činností:

- Vizualne pozorovania viditeľných zmien konštrukcie (vznik a rozvoj porúch)
- Kontinuálne alebo periodické meranie vybraných veličín pomocou meracích zariadení
- Opakované vykonávanie skúšok (napr. na odobratých vzorkách), potrebných pre stanovenie vybraných parametrov konštrukcie

Každá skupina činností využíva technické zariadenia, kam patria predovšetkým meracie prístroje a zostavy, určené pre terénne merania alebo laboratórne skúšky.

Technické zariadenia monitorovania sú predovšetkým:

- Meracie značky na konštrukcii
- Zabudované snímače
- Povrchové snímače
- Meracie prístroje (mechanické, optické, elektrické, elektro-optické)
- Príslušenstvo (káble, zbernice, meracie základne, pevné body, atď.)

2.6.3 Monitorovací systém

Monitorovací systém predstavuje súbor prostriedkov (hardvérových aj softvérových), ktorými sa monitorovanie uskutočňuje. Monitorovací systém tvoria základné moduly (časti systému zamerané na konkrétny sledovaný parameter):

- a. Meracie moduly
- b. Skúšobné moduly
- c. Dopĺňujúce merania a skúšky
- d. Matematické moduly
- e. Analytické moduly

Meracie a skúšobné moduly tvoria technické zariadenia monitorovania (pozri článok 2.6.2).

Dopĺňujúce merania a skúšky sa nevykonávajú na sledovanej konštrukcii ale napr. na vzorkách vyrobených z rovnakého betónu ako ostenie. Slúžia na kalibráciu (napr. nedeštruktívne stanovenie pevnosti) alebo sledovanie parametrov v definovanom prostredí (napr. objemové zmeny betónu).

Matematické moduly slúžia na spracovanie a vyhodnocovanie meraní. Jednoduché moduly slúžia napr. na vyhodnocovanie geodetických meraní, meraní pomocou tenzometrov tvrdomerných skúšok a pod. Zložitejšie moduly slúžia napr. na stanovenie napätí v betóne z meraní pomerných deformácií strunovými tenzometrami.

Analytické moduly predstavuje najmä tabuľkové a grafické spracovanie zistených parametrov konštrukcie za určitý časový úsek a porovnanie ich hodnôt s predpokladmi návrhu a stanovenými rizikovými hodnotami jednotlivých sledovaných veličín.

2.6.4 Objednávateľ monitorovania

Objednávateľ monitorovania je v prípade cestných tunelov právnická osoba, ktorá je nositeľom zodpovednosti voči štátu za ich výstavbu a prevádzku. Objednávateľ zabezpečuje výberové konanie na projektanta, zhotoviteľa a prevádzkovateľa monitorovania, a zodpovedá za stanovenie potrebného obsahu a rozsahu monitorovania. Objednávateľom v čase výstavby tunela a v čase jeho prevádzky spravidla nie je tá istá právnická osoba resp. organizačná jednotka.

2.6.5 Projektovanie a dokumentácia monitorovania

Projektovanie monitorovania je činnosť, ktorej cieľom je zhotovenie dokumentácie monitorovania. Projektovanie dokumentácie monitorovania sa riadi rovnakými zásadami ako projektovanie stavebného diela avšak má isté osobitosti vzhľadom na to, že je to medziodborová záležitosť.

Zhotoviteľ dokumentácie musí mať dostatočné znalosti z oblasti statiky a technológie zhotovenia predmetnej stavby tunelových ostení a rovnako aj znalosti a skúsenosti z monitorovania vlastností stavebnej konštrukcie. Zhotoviteľ dokumentácie monitorovania zodpovedá za stanovenie potrebného obsahu a rozsahu monitorovania

2.6.6 Zhotoviteľ monitorovania

Zhotoviteľ monitorovania je fyzická alebo právnická osoba s potrebnými znalosťami, skúsenosťami a oprávneniami. Je vhodné ak inštaláciu monitorovacieho systému, jeho testovanie ako aj následné merania a skúšky vykonáva ten istý zhotoviteľ. Špeciálne inštalácie a merania môžu byť zabezpečené kvalifikovanými subdodávateľmi.

2.6.7 Správca tunela

V čase prevádzky tunela je správca tunela hlavným kontrolným orgánom monitorovania, oboznamuje sa so správami za jednotlivé obdobia monitorovania a na základe vyhodnotenia ich obsahu operatívne riadi potrebné činnosti.

2.6.8 Prevádzkovateľ monitorovacieho systému

Prevádzkovateľ monitorovacieho systému vykonáva všetky monitorovacie činnosti v súlade s dokumentáciou monitorovania a jej harmonogramom. Predovšetkým vykonáva požadované merania a sledovania a tieto spracúva. Zodpovedá tiež sa fungovanie monitorovacieho systému, jeho pravidelnú kontrolu a údržbu.

2.6.9 Zhotovenie monitorovania

Zhotovenie monitorovania obsahuje všetky činnosti pre zabezpečenie fungovania monitorovania v stanovených časových etapách stavby a prevádzky objektu. Zhotovenie monitorovania sa vykonáva podľa schválenej dokumentácie.

2.6.10 Riadenie monitorovania

Riadenie monitorovania pozostáva z organizovania a usmerňovania jednotlivých činností (merania, skúšky, spracovanie a archivácia získaných údajov, vyhodnocovanie a analytické spracovanie výsledkov, príprava podkladov pre rozhodovacie procesy).

2.7 Ciele monitorovania

2.7.1 Komparatívny a prognostický význam monitorovania

Základným cieľom monitorovania je porovnávanie sledovanej veličiny s predpokladmi realizačnej dokumentácie. Okrem toho na základe výsledkov monitorovania sa vykonáva prognóza budúceho vývoja sledovanej veličiny alebo javu. Na základe týchto informácií sa prijímajú rozhodnutia, potrebné pre zachovanie bezpečnosti stavby a účastníkov premávky.

2.7.2 Monitorovanie z hľadiska riadenia výstavby a prevádzky tunela

Monitorovací systém sa buduje postupne. Niektoré podsystemy sa uvádzajú do činnosti okamžite po inštalácii a umožňujú získavať informácie počas zhotovovania stavby (napr. vývoj hydratačného tepla, zrenie a objemové zmeny betónu), aktivácie úseku stavby (napr. po demontáž debnenia). Tieto údaje môžu ovplyvniť časový priebeh výstavby alebo vyvolať korekciu technológie výstavby.

2.7.3 Monitorovanie ako nástroj kontroly kvality

Odchýlky hodnôt sledovaných parametrov od predpokladov projektu môžu byť spôsobené zmenou zaťaženia a vplyvom pôsobiacich na konštrukciu, nedokonalosťou výpočtového modelu alebo nedodržaním kvalitatívnych parametrov pri výstavbe. Preto je monitorovanie aj účinný nástroj pre posúdenie kvality návrhu a zhotovenia.

2.7.4 Monitorovanie a riadenie rizík

Monitorovanie umožňuje prognózovať a obmedzovať vznik nežiaducich javov pri budovaní a prevádzke tunela. Je preto dôležité z hľadiska eliminácie prípadných škôd s negatívnym ekonomickým

dosahom. Z tohto pohľadu je monitorovanie hlavným prostriedkom kontroly možných rizík (pravdepodobnosť výskytu nežiaduceho javu a jeho ekonomických dôsledkov). Umožňuje kvantifikovať tieto riziká a prijímať účinné opatrenia.

3 Vlastnosti sekundárneho ostenia tunela, sledované pri výstavbe a prevádzke

3.1 Všeobecne

Realizáciou podzemnej stavby dochádza k porušeniu primárneho stavu rovnováhy v okolitom horninovom masíve. Dochádza k prerozdeleniu napätí a koncentrácia napätí za výrubom dosahuje niekoľkonásobne vyššie hodnoty v porovnaní s primárnou napätosťou. Táto zmena stavu napätosti spôsobuje zmenu deformačného stavu, ktorý sa prejavuje zvyšovaním tlaku na ostenie tunela.

Počas prevádzky tunela sa môžu meniť geotechnické podmienky najmä v dôsledku pôsobenia podzemnej vody. Zmenou geotechnických podmienok dochádza k zmenám namáhania tunelového ostenia. Toto namáhanie sa vyznačuje variabilitou pôsobenia v jednotlivých úsekoch.

Na bezpečnosť majú vplyv aj seizmické účinky. Seizmické zaťaženie spôsobuje vynútené kmitanie konštrukcie tunela.

Prevádzka v tuneli spôsobuje statické a dynamické zaťaženie. Okrem častého zaťaženia (zaťaženie dopravou) sú to aj mimoriadne účinky (nárazy vozidiel, požiar a pod.) Prevádzka tunela spôsobuje vznik prostredia, ktoré obsahuje plyné a kvapalné látky, škodlivé pre užívateľov, vybavenie a konštrukčné materiály ostenia. Sú to predovšetkým exhaláty z výfukových plynov motorov ale aj chemikálie z posypových materiálov zimnej údržby komunikácií.

Všetky spomenuté účinky menia podmienky pôsobenia okolitého prostredia zvonka či z vnútra tunelovej rúry. Zmenu geologických podmienok registruje geotechnické monitorovanie tunela. Prejavy týchto meniacich sa podmienok na vlastnej konštrukcii sekundárneho ostenia registruje monitorovanie deformačného a napätostného stavu a materiálových vlastností ostenia. Nadmerné namáhanie tunelového ostenia môže vyvolať vznik porúch, ohrozujúcich bezpečnosť a komfort premávky v tuneli ako aj bezpečnosť a životnosť konštrukcie ostenia.

Degradačné procesy v betóne vyvolávajú zmeny mechanických vlastností betónu a koróziu výstuže a spôsobujú oslabenie ostenia a tým zhoršenie jeho bezpečnosti a trvanlivosti. Z pohľadu dlhodobej prevádzky je potrebné veličiny vyjadrujúce buď priamo spomínané javy alebo ich vonkajšie prejavy zaznamenávať a vyhodnocovať a včas prijímať potrebné opatrenia.

3.2 Prostredie v tunelovej rúre

3.2.1 Meranie prostredia v tunelovej rúre

Prostredie v tunelovej rúre je charakteristické tým, že v pomerne malom priestore dochádza k hromadeniu plyných a kvapalných látok obsahujúcich škodliviny. Tieto môžu byť škodlivé z hľadiska pôsobenia na ľudský organizmus alebo sú škodlivé pre stavebné materiály ostenia. V tuneloch sa sledujú koncentrácie hlavne koncentrácie oxidu uhoľnatého (CO) a oxidov dusíka (NO_x).

3.2.2 Koncentrácia oxidu uhoľnatého

Oxid uhoľnatý je vysokotoxický a horľavý plyn, ktorý vzniká pri nedokonalom spaľovaní uhlíka ako aj iných zlúčenín, obsahujúcich uhlík. V tuneloch sú zdrojom CO výfukové plyny automobilov.

3.2.3 Koncentrácia oxidov dusíka

Molekula oxidu dusnatého je reaktívna a nestála. V ovzduší reaguje s kyslíkom a vzniká jedovatý oxid dusičitý (NO_2). Oxid dusnatý vzniká ako produkt spaľovania v automobilových motoroch.

3.3 Deformácie betónového tunelového ostenia

3.3.1 Deformácie priečných profilov betónového ostenia

V dôsledku interakcie s horninovým prostredím dochádza v priebehu výstavby a počas prevádzky k deformáciám priečných rezov. Tieto sa prejavujú :

- a) horizontálnymi a vertikálnymi posunmi bodov priečného rezu;
- b) zmenou vzájomnej vzdialenosti bodov priečného rezu.

Zo zmien deformácií priečných profilov je možné posúdiť veľkosť pôsobiaceho zaťaženia a odolnosť a bezpečnosť konštrukcie. Ustálenie týchto deformácií signalizuje obnovenie stavu rovnováhy. Neustálenosť znamená, že je potrebné zvážiť dodatočné stabilizačné opatrenia.

3.3.2 Deformácie betónovej tunelovej rúry

Tunelová rúra je líniová stavba. Počas výstavby a prevádzky môže dôjsť k zmenám tvaru a polohy jednotlivých línií, kriviek spájajúcich rovnaké body priečných rezov v priečnom i pozdĺžnom smere. U vybraných sledovaných bodov môže dôjsť vzájomne k priestorovému posunu (3D), ktorý má zvislú, priečnu vodorovnú a pozdĺžnu vodorovnú zložku.

Z výsledkov monitorovania deformácií tunelovej rúry je možné posúdiť veľkosť pôsobiacich zaťažení a vplyvov na tvarovú stabilitu a bezpečnosť tunelového ostenia.

3.4 Pomerné deformácie a napätosť v betóne ostenia

3.4.1 Pomerné deformácie v betóne

Zmeny pomerných deformácií sú prejavom zmien napätosti v jednotlivých oblastiach tunelového ostenia. V ostení vzniká priestorová napätosť a preto aj zmeny pomerných deformácií sa sledujú v troch na seba kolmých smeroch. Pre posúdenie namáhania ostenia sú rozhodujúce napätia v priečnom reze a preto hlavná pozornosť je venovaná pomerným deformáciám v rovine sledovaného priečného rezu.

Pomerné deformácie je možné sledovať vo vnútri ostenia, alebo na jeho povrchu. Pre stanovenie absolútnych zmien pomerných deformácií je potrebné začať merať tieto veličiny hneď po betonáži ostenia. Veľkosť zmien pomerných deformácií za určité časové obdobie sa skladá z troch základných zložiek:

- a) zmena deformačného stavu, vyvolaná zmenou napätosti v betóne;
- b) zmena deformačného stavu, vyvolaná objemovými zmenami betónu (dotvarovanie a zmrašťovanie);
- c) zmena deformačného stavu, vyvolaná zmenami teploty (teplotného gradientu).

3.4.2 Nepriame zisťovanie napätosti v betóne

Statické posúdenie betónových a železobetónových prierezov je založené na posúdení odolnosti prierezu na účinok vznikajúcich vnútorných síl. Prejavom pôsobenia vnútorných síl je existencia napätí. Ich priame meranie v betóne je obtiažne a nie je známa spoľahlivá a bežne dostupná metóda.

Nepriame zisťovanie napätosti v betóne je založené na meraní pomerných deformácií, konkrétne tej časti celkovej pomernej deformácie, ktorá je vyvolaná pôsobením napätosti od účinkov vnútorných síl od vonkajšieho zaťaženia. Za týmto účelom sa pre nepriame monitorovanie napätosti zhotovuje matematický model pre vyhodnotenie napätí z nameraných pomerných deformácií.

3.4.3 Zisťovanie napätosti v betóne uvoľňovaním napätí

Metódy uvoľňovania napätí umožňujú jednorazové zistenie napätosti v povrchovej vrstve betónu. Ich princíp je založený na umelom zásahu do povrchu betónu, ktorý spôsobí, že v určitom mieste nastane po jeho vykonaní stav nulovej napätosti vo všetkých smeroch.

Vyvolaná zmena sa prejaví na povrchu zmenou deformačného stavu. Meraním vzniknutých deformácií po uvoľnení sa stanovuje veľkosť pôvodnej napätosti. Pre stanovenie je potrebný matematický modul pre konkrétny postup a parametre metódy.

3.5 Kvalita betónu a výstuže v ostení

3.5.1 Javy ovplyvňujúce kvalitu betónu a výstuže

Pre bezpečnú a spoľahlivú funkciu ostenia je dôležité, aby základné materiálové zložky jeho konštrukcie mali požadované vlastnosti a tieto si zachovali počas celej doby prevádzky tunela. V prípade betónu sú to jeho pevnostné charakteristiky, ktoré sa môžu meniť v prípade, že v betóne dochádza ku chemickým reakciám. Tie môžu byť spôsobené pôsobením vlhkosti alebo chemických kvapalných a plyných látok, zdrojom ktorých sú predovšetkým výfukové splodiny a rozmrazovacie posypové látky. K zmenám môže dôjsť aj vzájomným pôsobením zložiek betónu.

3.5.2 Pevnosť betónu

Pevnosť betónu v tlaku je základný parameter pre navrhovanie a posudzovanie betónových konštrukcií. Jej veľkosť sa vyvíja v čase. Pevnosť betónu v tlaku nie je jednoznačná vlastnosť. Definuje sa na základe zistenia na normových skúšobných vzorkách. Pri použití nedeštruktívnych metód (tvrdomerné skúšky) alebo vytrhávacích skúškach sa používajú vzťahy, ktoré transformujú namerané výsledky skúšok na hodnoty normových pevností. Pre nevystužené ostenia predstavuje dôležitý údaj aj pevnosť betónu v ťahu. Tá je dôležitá pri posudzovaní odolnosti na vznik trhlín. Pre bežné praktické prípady sa pri posudzovaní konštrukcie používajú normové charakteristiky betónu konkrétnej triedy. Do príslušnej triedy sa betón ostenia (vybranej časti) zatrieďuje na základe výsledkov skúšok. Pôsobením degradačných vplyvov sa môžu vlastnosti betónu a teda ja pevnosť meniť, iná je na povrchu iná v hĺbke. Tento jav je potrebné pri posúdení ostenia zohľadniť.

3.5.3 Modul pružnosti betónu

Modul pružnosti vyjadruje závislosť medzi napätím a deformáciou betónu a je preto dôležitý parameter pri vyčíslení predpokladaných pretvorení ostenia. Rovnaký význam má pri posúdení skutočného namáhania konštrukcie na základe meraní deformačného stavu. Podobne ako pevnosť betónu aj modul pružnosti sa v čase mení. Pri zrení betónu hodnoty pevnosti a modulu pružnosti narastajú, pri degradácii betónu klesajú.

Pri spracovaní výsledkov monitorovania je preto potrebné poznať jeho aktuálnu hodnotu, zodpovedajúcu veku a stavu betónu. Meranie okamžitej hodnoty modulu pružnosti je dôležité pri aplikácii nepriamych spôsobov zisťovania napätí v betóne (metóda uvoľňovania napätí).

3.5.4 Odolnosť voči prieniku kvapalín a plynov

V prípadoch keď je ostenie vystužené betonárskou výstužou, vrstva betónu nad výstužou zabezpečuje jej ochranu pred vznikom korózie. Úlohou monitorovania je sledovať schopnosť krycej vrstvy plniť svoju ochrannú funkciu. Odolnosť a stav ochrannej funkcie krycej betónovej vrstvy sa kontroluje pomocou meraní hrúbky skarbonatizovanej vrstvy a obsahu difundovaných chloridových iónov v konkrétnej vrstve betónu. Vznik korozívneho prostredia v určitej hĺbke je možné registrovať pomocou snímačov.

3.5.5 Kvalita výstuže v ostení

Základnou sledovanou vlastnosťou betonárskej výstuže je vznik a rozvoj korózie. Korózia výstuže spôsobuje oslabenie jej účinného prierezu, čím vplyva na únosnosť ostenia. Ďalším negatívnym faktorom je, že produkty korózie niekoľkonásobne zväčšujú svoj objem a vyvolávajú expanzné pnutia, ktoré sa prejavujú poruchami betónu (trhliny, odlamovanie betónu a pod.).

3.6 Poruchy v sekundárnom ostení a ich rozvoj

3.6.1 Trhliny v betóne

3.6.1.1 Príčiny vzniku trhlín

Trhliny v betóne vznikajú počas výstavby a počas prevádzky betónovej konštrukcie. Z hľadiska životnosti betónového tunelového ostenia predstavujú nežiaduci jav, ktorého výskyt je potrebné riešiť. Trhliny urýchľujú degradačné procesy v betóne a výstuži nakoľko umožňujú intenzívnejšie pôsobenie vlhkosti a agresívnych kvapalných a plyných látok. Pri monitorovaní ostenia sa sleduje vznik a výskyt trhlín, ktoré majú rôznu príčinu vzniku:

- a) trhliny, vzniknuté ako dôsledok namáhania ostenia;
- b) trhliny, vzniknuté ako dôsledok chemických procesov v betóne a výstuži.

V prvom prípade sa jedná o tzv. statické trhliny, ktoré sú signálom možného preťaženia konštrukcie. Priebeh statických trhlín zodpovedá namáhaniu ostenia (vznikajú v ťahaných oblastiach a orientované sú kolmo na smer pôsobenia ťahových napätí). V druhom prípade sa jedná o trhliny rôzne orientované (s výnimkou trhlín nad výstužou).

Osobitú kategóriu predstavujú trhliny, ktoré vznikajú počas výstavby, najčastejšie ako dôsledok zmrašťovania betónu. Tieto trhliny sa za istých okolností môžu v ťahaných oblastiach betónu aktivizovať.

3.6.1.2 Parametre trhlín a význam ich monitorovania

Pri kontrole trhlín sa zisťuje:

- a) druh trhliny;
- b) priebeh trhliny;
- c) šírka trhliny;
- d) zmeny šírky trhliny;
- e) stav trhliny z hľadiska prostredia.

Z hľadiska hĺbky a priebehu v priereze konštrukcie rozlišujeme trhliny:

- a) povrchové, nachádzajúce sa v blízkosti povrchu, často krát vytvárajúce sieťovú štruktúru;
- b) rozpojovacie, zasahujúce celý prierez alebo ucelenú časť prierezu (rebro, ťahaná oblasť...).

Z hľadiska šírky trhliny rozdeľujeme trhliny na :

- a) vlasové, šírky do 0,2 mm;
- b) tenké, šírky od 0,2 mm do 1,5 mm;
- c) hrubé, šírky od 1,5 mm do 3,0 mm;
- d) praskliny, šírky nad 3 mm.

Prostredie vo vnútri trhliny z hľadiska výskytu vody možno klasifikovať ako:

- a) suché (S), charakterizované suchými okrajmi betónu na povrchu trhliny, prístup vody k trhline nie je možný, resp. je dlhodobo vylúčený;
- b) vlhké (V), charakterizované vlhkými okrajmi betónu v oblasti trhliny, farebnou zmenou v oblasti trhliny bez viditeľného vytekania vody, náznakmi vytekania vody v minulosti;
- c) mokré (M), vyplnené stojacou vodou, charakterizované rozoznateľnou vodou v oblasti trhliny, vodou kvapkajúcou z trhliny;
- d) vyplnené tečúcou vodou (TV), charakterizované súvisle vytekajúcou vodou z trhliny. Prostredie vo vnútri trhliny môže byť znečistené mechanicou nečistotou a chemickými výluhmi, ktoré môžu tvoriť súvislé alebo nesúvislé vyplnenie dutiny. Uvedené znečistenia môžu výrazne redukovať

zistenú šírku trhliny, a tým aj vhodnosť aplikácie jednotlivých technológií na opravy trhlín. Pri trhlínach sa sledujú ich vlastnosti, ktoré sú dôležité pre návrh vhodnej a účinnej technológie sanácie.

Monitorovanie trhlín sa prevádza za účelom zdokumentovania polohy, šírky a rozvoja trhlín v konkrétnej časti ostenia.

3.6.1.3 Aktivita trhlín

Pri hodnotení opakovaných meraní je dôležité posúdenie, či zistený stav trhlín je stabilizovaný alebo dochádza s narastajúcim časom k jeho zmenám. Registrácia takýchto zmien (sledovanie aktivity trhlín) predstavuje samostatnú kapitolu v rámci monitorovania trhlín. Posúdenie aktivity trhlín je rozhodujúcim faktorom pri návrhu stavebného zásahu do ostenia z hľadiska posúdenia bezpečnosti a životnosti konštrukcie ostenia a ovplyvňuje potrebu a rozsah stavebného zásahu.

3.6.2 Degradácia betónu

3.6.2.1 Degradácia betónu v dôsledku zatekania

Betón je stavebný konštrukčný materiál, v ktorom sú jednotlivé zložky spájané cementovým spojivom. Väčšina degradačných procesov je viazaná na prítomnosť vody a vzduchu. Voda sa do betónu dostáva z vonku v dôsledku nedostatočnej funkcie hydroizolácie a tiež zvnútra zanášaním kolesami áut a rozstrekaním ako aj kondenzovaním vodnej pary. Hlavným degradačným procesom spojeným s vodou je vymývanie cementového tmelu. Okrem neestetického vizuálneho efektu (mokré škvrnky, výkveti, záclony, inkrustácie) dochádza aj k zníženiu pevnosti betónu. Voda a vzduch spôsobujú koróziu výstuže a rozvoj ďalších porúch (pozri 3.5.5).

Prítomnosť vody spôsobuje, že v betóne dochádza k rozrušovaniu v dôsledku pôsobenia zmrazovacích a rozmrazovacích cyklov.

Pri monitorovaní sa zaznamenáva charakter a rozsah porúch.

3.6.2.2 Karbonatizácia betónu

Karbonatizácia betónu je chemický proces, pri ktorom pôsobením atmosférického CO₂ nastáva postupná premena vážnych hydratačných produktov cementu v betóne najmä hydroxidů

vápenatého – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na kryštalické modifikácie uhličitanu vápenatého – CaCO_3 . Zároveň klesá alkalita betónu až pod hodnotu pH 9,5, čo urýchľuje proces korózie výstuže. Proces karbonatizácie sa z tohto dôvodu monitoruje vo vystužených častiach ostenia.

3.6.2.3 Chemická korózia betónu a výstuže

Chemickú koróziu betónu a výstuže v tunelovom ostení spôsobujú chloridové ióny z roztokov posypových solí pri zimnej údržbe komunikácií. V dôsledku toho, že tunelová rúra predstavuje uzavretý priestor pôsobia tieto látky koncentrovanejšie ako v prípade iných dopravných stavieb (mosty, oporné múry).

Pôsobením chloridových iónov dochádza k chemickým reakciám so zložkami betónu a predovšetkým ku korózii výstuže, ktorá prebieha intenzívnejšie rýchlejšie ako korózia pôsobením iba vody a kyslíka. Pri monitorovaní chemickej korózie sa sleduje obsah chloridov v jednotlivých vrstvách krycej vrstvy. Možno je tiež sledovať postup tzv. korozívnej vlny pomocou snímačov korózie.

3.6.2.4 Alkalické rozpínanie kameniva v betóne

K alkalickému rozpínaniu kameniva v betóne dochádza v prípadoch, keď kamenivo obsahuje vysoký podiel amorfného oxidu kremičitého, ktorý reaguje so sodnými a/ alebo draselnými iontami, obsiahnutými v cemente za prítomnosti vody. Následkom týchto reakcií vzniká gél, ktorý spôsobuje expanzné tlaky v mikroštruktúre betónu. Tieto sa prejavujú vznikom charakteristických trhlín. Vlastný proces monitorovania alkalicko-kremičitej reakcie nie je štandardizovaný. Monitorujú sa vznikajúce trhliny, pri ktorých je dôležité správne identifikovať príčinu ich vzniku.

3.6.2.5 Biologická korózia betónu

Biologická korózia betónu je spôsobená pôsobením mikroorganizmov (baktérie) a vegetácie (plesne, machy). Ich pôsobením dochádza k narušeniu vzhľadu povrchu betónu a k degradácii povrchových betónových vrstiev. Pri monitorovaní sa registruje rozsah korózie a charakter vzniknutých porúch.

3.6.2.6 Degradácia betónu pôsobením tepla

Pôsobenie vysokých teplôt vznikajúcich napr. pri požiari negatívne vplyva na mechanické vlastnosti betónu a výstuže. Po požiari v tunelovej rúre sa takáto oblasť podrobne zdiagnostikuje a určí sa rozsah poškodenia, prípadne sa vykoná potrebný stavebný zásah. Takejto oblasti sa venuje pri monitorovaní zvýšená pozornosť.

3.6.2.7 Strata pasivačnej schopnosti krycej betónovej vrstvy

Zdravý nepoškodený betón vytvára pre výstuž ochrannú vrstvu tým, že okolo výstuže sa nachádza alkalické prostredie (pH=12,5), ktoré stabilizuje oxidy železa. Pôsobením vlhkosti, karbonatizácie, chemickej a biologickej korózie dochádza k zníženiu alkality a depasivácii krycej betónovej vrstvy. Za depasiváciu sa považuje pokles pH pod hodnotu 9,5. K depasivácii celej krycej betónovej vrstvy nad výstužou dochádza postupne. Schopnosť krycej vrstvy chrániť výstuž sa posudzuje zo zistenia pH a obsahu chloridov v betóne.

3.6.2.8 Korózia výstuže

Korózia ocelevej výstuže vzniká v dôsledku pôsobenia kyslíka za prítomnosti vody. Pôsobenie ďalších látok z chemickej a biologickej korózie betónu proces korózie výstuže urýchľuje. Výstuž sa podieľa na schopnosti nosnej konštrukcie odolávať pôsobeniu zaťaženia a vplyvom. Jej oslabením (oslabenie profilov), ale aj narušením spolupôsobenia s betónom, sa táto schopnosť znižuje.

Kontrola stavu výstuže je preto dôležitým faktorom pri posúdení bezpečnosti a životnosti ostenia. Pravdepodobný výskyt korózie výstuže sa zisťuje nedeštruktívne metódami založenými napr. na meraní elektrického potenciálu alebo odporu. Presnejšia je priama vizuálna kontrola cez vyvŕtané otvory. Oslabenie výstuže (zmenšenie profilu) sa dá zistiť iba meraním vo vybúraných sondách.

4 Meracie a skúšobné metódy používané pri monitorovaní ostenia a ich aplikácia

4.1 Všeobecne

Meracie a skúšobné metódy môžeme z hľadiska účelu rozdeliť na:

- a) metódy pre monitorovanie prostredia v tuneli pôsobiaceho na ostenie;
- b) metódy pre monitorovanie geometrických zmien tvaru ostenia;
- c) metódy pre monitorovanie napätosti v ostení;
- d) metódy pre monitorovanie degradácie a porúch betónovej konštrukcie ostenia.

Z hľadiska trvania a opakovateľnosti rozoznávame:

- a) jednorázové metódy;
- b) metódy umožňujúce opakované meranie;
- c) metódy nepretržité (kontinuálne).

Pri jednorázových metódach sa neinštalujú žiadne časti meracích systémov ani celé meracie systémy (napr. tvrdomerné metódy merania pevnosti betónu).

Pri metódach umožňujúcich opakované meranie sa inštalujú na celú dobu životnosti tunela časti meracích systémov (meracie body, značky alebo snímače). Tieto inštalované časti zabezpečujú, že sa opakovane meria ten istý parameter za rovnakých podmienok. Zabudované časti meracieho systému sú napr. geodetické body a značky ale tiež napr. strunové tenzometre.

Pri nepretržitých – kontinuálnych metódach sa do tunela inštalujú celé meracie systémy. Jedná sa hlavne o systémy, kde meracou jednotkou sú elektrické snímače, napojené pomocou káblov na meráciu a záznamovú jednotku. Typickým príkladom je napr. kontinuálne meranie teploty. Snímače teploty sú zabudované v ostení a meracie zariadenie je spoločné pre viacero teplomerov. Teplota sa zaznamenáva v ľubovoľných (aj veľmi krátkych) intervaloch a hodnoty sa ukladajú do pamäťového média meracieho zariadenia alebo riadiaceho počítača.

4.2 Spôsoby monitorovania

4.2.1 Vizúálne kontroly

Vizúálne kontroly sú základnou metódou pravidelného monitorovania. Vo svojej podstate sa neodlišujú od vizuálnych kontrol pri hlavných prehliadkach. Sledujú sa predovšetkým zmeny povrchu betónu ostenia (zatekanie, trhliny, farebné zmeny). Keďže sa jedná o súčasť celkového monitorovania, dôraz sa kladie na kontrolu oblastí, kde boli zistené napr. nadmerné deformácie. Zistené zmeny sa zaznamenávajú grafickými alebo fotografickými metódami.

4.2.2 Merania meracími prístrojmi a systémami

4.2.2.1 Meracie prístroje mechanické a elektromechanické

Patria sem priame mechanické merače (napr. zvinovací meter, posuvné meradlo) a široká škála deformometrov – meradiel schopných pomocou prevodov odmerať veľmi malé rozdiely 0,001 mm - 0,1 mm. Najjednoduchšie deformometre sú tzv. indikátorové hodinky. Tieto sú súčasťou mechanických deformometrov so základňou. Meria sa nimi vzdialenosť dvoch pevne osadených bodov (terčíkov) a zisťuje sa pomerná deformácia betónu, alebo zmena šírky trhlín. Mechanické prístroje a systémy, ktoré s nimi pracujú sú najjednoduchšie, dostatočne presné a preto najpoužívanejšie. Ich nevýhodou je priame odčítavanie nameraných veličín, ktoré neumožňujú diaľkový prenos dát.

V elektromechanických deformometroch sa posuny registrujú pomocou merania zmien elektrických vlastností vyvolaných pohybom meracieho hrotu snímačov. Najčastejšie sú elektrické snímače konštruované ako induktívne alebo potenciometrické. Tieto prístroje umožňujú diaľkový prenos dát. Na druhej strane vyžadujú pravidelnú kalibráciu.

Samostatnú kapitolu tvoria elektrické kyvadlové prístroje. Pohybujúce sa kyvadlo má definovaný zvislý smer aj pri náklone meracieho prístroja. Vzniknutá odchýlka od zvislého smeru sa registruje elektricky.

4.2.2.2 Meracie prístroje optické a elektro-optické

Optické prístroje sú založené na efekte optických šošoviek, ktoré zväčšujú obraz. Najjednoduchšie sú mikrometrické lupy a mikroskopy pre meranie širokých trhlín.

Z geodetických prístrojov sa najčastejšie používajú optické nivelačné prístroje a to pre meranie výškových zmien a teodolity pre meranie uhlov. Elektro-optické prístroje pracujú s laserovým lúčom a združujú často niekoľko funkcií. Napr. totálne stanice okrem výškových zmien merajú aj uhlové zmeny a zmeny vzdialenosti.

Optické a elektro-optické systémy sú spoľahlivé. Umožňujú za krátky čas obsiahnuť veľkú sledovanú oblasť. Elektro-optické systémy sú veľmi presné, nevýhodou je závislosť na teplote a zmenách atmosférického tlaku.

K optickým prístrojom patria aj endoskopy, ktoré umožňujú podpovrchovú kontrolu cez tenké otvory.

4.2.2.3 Tenzometre

Tenzometre sú meracie prístroje na meranie pomerných deformácií. Veľkosť pomernej deformácie sa pri nich neurčuje na základe priameho merania zmeny dĺžky základne, ale využíva sa princíp, že zmenou dĺžky meracej základne sa menia iné vlastnosti zabudovaného meracieho prvku (elektrický odpor, frekvencia kmitajúcej struny, vlnová dĺžka odrazeného svetla a pod.).

4.2.2.4 Odporové tenzometre

Konštrukčne predstavujú odporové tenzometre fóliu s tenkými vodičmi. Pracujú na princípe nárastu odporu pri predlžovaní vodiča. Odporové tenzometre sa lepia na povrch betónového ostenia. Ich prednosťou je cenová dostupnosť, jednoduchá inštalácia a možnosť diaľkového prenosu dát. Nevýhodou je náročnosť zabezpečenia stability pri dlhších meraniach.

4.2.2.5 Strunové tenzometre

Strunové tenzometre sú konštruované tak, že medzi krajnými bodmi meracej základne je natiahnutá oceľová struna. Zmena vzdialenosti medzi bodmi základne sa prenáša do zmeny frekvencie kmitajúcej struny. Pri meraní sa zaznamenáva frekvencia kmitajúcej struny, čo je mechanická veličina, neovplyvňovaná elektrickými javmi v okolí snímača. To je veľkou prednosťou týchto snímačov z hľadiska diaľkového prenosu dát.

4.2.2.6 Optické tenzometre

Tenzometre z optických vlákien, zabudované do konštrukcie, fungujú buď na princípe merania zmeny dĺžky optického vlákna spojeného s konštrukciou, ktorá sa prejaví na zmene času odrazu svetelného impulzu, alebo využívajú tzv. Bragg efekt, keď zabudovaná mriežka v optickom vlákne odráža iba svetlo konkrétnej vlnovej dĺžky, ktorá sa mení v závislosti na napätí v nej vyvolanom.

4.2.2.7 Ultrazvukové prístroje

Táto skupina prístrojov pracuje na princípe, že rýchlosť zvuku pri prechode materiálom je závislá na hustote a elastických vlastnostiach (module pružnosti). Na základe uskutočnených meraní pri vhodnej voľbe druhu a polohy sond je možné získať informácie o základných vlastnostiach betónu ako je modul pružnosti a pevnosť ale aj o rovnomernosti zhutnenia betónu, trhlinách a ich hĺbke, dutinách v betóne, poškodení vplyvom rozmrazovacích cyklov alebo požiarom .

4.2.2.8 Prístroje na zisťovanie korózie výstuže

Prístroje na meranie korózie využívajú skutočnosť, že korózia výstuže je elektrochemický proces. Najrozšírenejšie sú prístroje založené na meraní elektródového potenciálu. Meria sa veľkosť elektrického potenciálu medzi výstužou a elektródou, pohybujúcou sa po povrchu betónu. Elektródy je možné spájať do skupín a celý proces tak výrazne zrýchliť.

4.2.2.9 Snímače korozívneho prostredia v betóne

Snímače korozívneho prostredia registrujú zmeny prostredia v betóne vzhľadom na podmienky vzniku korózie. Snímače sú najčastejšie konštruované tak, že obsahujú sadu oceľových prvkov (v tvare menších profilov výstuže alebo tenkých drôtikov), umiestnených v rôznych vzdialenostiach od povrchu výstuže. Pri prenikaní koróziu vyvolávajúcich látok do betónu sa registruje zmena odporu alebo prerušenie prvkov.

4.2.2.10 Teplomery

Teplotné merania sú nevyhnutnou súčasťou monitorovania deformačného a napätostného stavu ako aj šírky trhlín. Spravidla sa vykonávajú ako kontinuálne. Na teplotné merania sa používajú elektrické teplomery (napr. odporové teplomery, termočlánky). Niektoré snímače majú v sebe integrované vlastné teplomery (strunové tenzometre).

4.2.2.11 Skúšky in situ

Opakovanými skúškami in situ sa monitorujú javy, ktorých sledovanie nie je možné zabezpečiť inštaláciou meracích bodov alebo prístrojov. Z bežne aplikovaných skúšobných metód sa pri monitorovaní ostenia používajú tvrdomerné skúšky, akustické skúšky, skúšky karbonatizácie v betóne, skúšky obsahu chloridov v betóne a ďalšie.

4.2.2.12 Tvrdomerné skúšky

Tvrdomerné metódy sú založené na meraní tvrdosti materiálu pomocou narážaného úderníka s definovanou energiou, ktorého veľkosť odrazu je úmerná tvrdosti. Na základe veľkosti odrazu sa matematickým prevodom stanovuje zodpovedajúca pevnosť betónu. Tvrdomernými skúškami sa kontroluje zmena kvality betónu na povrchu ostenia.

4.2.2.13 Akustické skúšky

Viacero skúšobných metód využíva na zisťovanie vlastností betónovej konštrukcie meranie rýchlosti šírenia sa zvuku. Najviac rozšírené ultrazvukové prístroje pracujú na princípe, že rýchlosť zvuku pri prechode materiálom je závislá na hustote a elastických vlastnostiach (module pružnosti). Na základe uskutočnených meraní pri vhodnej voľbe druhu a polohy sond je možné získať informácie o základných vlastnostiach betónu ako je modul pružnosti a pevnosť ale aj o rovnomernosti zhutnenia betónu, trhlinách a ich hĺbke, dutinách v betóne, poškodení vplyvom rozmrazovacích cyklov alebo požiarom.

4.2.2.14 Skúšky pH betónu a skúšky obsahu chloridov v betóne

Na zisťovanie zmeny pH betónu sa v teréne najčastejšie používajú skúšky nástrekom kvapalných indikátorov na povrch betónu. Pre zisťovanie obsahu chloridov je rozšírená terénna metóda RCT (Rapid chloride test). Obsah chloridov sa stanovuje z odvrtaného betónového prášku.

4.2.2.15 Laboratórne skúšky

Laboratórne skúšky sa vykonávajú na odobratých vzorkách betónu. Slúžia spravidla pre doplnenie a vyhodnotenie údajov z monitorovania. Patria sem skúšky fyzikálno-mechanických vlastností a chemických vlastností.

4.2.2.16 Skúšky fyzikálno-mechanických vlastností

Tieto skúšky sa vykonávajú na jadrových vývrtoch z betónu ostenia. Upravené vývrty sa skúšajú podľa príslušných technických noriem. Zisťuje sa najmä pevnosť betónu v tlaku a modul pružnosti. Tieto skúšky sa vykonávajú najmä vtedy, ak povrchové merania vykazujú znaky nepresnosti a je potrebné zistiť vlastnosti na nezdegradovanom betóne.

4.2.2.17 Skúšky chemických vlastností betónu

Vykonávajú sa v prípadoch, keď výsledky monitorovania poukazujú na degradáciu betónu. Skúšky umožňujú stanoviť zloženie betónu, obsah preniknutých agresívnych látok v jednotlivých hĺbkach pod povrchom pre posúdenie prostredia a identifikáciu druhu chemickej alebo biologickej korózie a pod.

4.3 Monitorovanie kvality ovzdušia v tuneli

4.3.1 Monitorovacie stanice kvality ovzdušia v tuneli

Monitorovanie kvality ovzdušia sa vykonáva pomocou staníc, určených pre jedno alebo viaczložkové monitorovanie. Spravidla sa používajú kompaktné stanice, umožňujúce okrem viaczložkového monitorovania škodlivých látok (CO, NO_x, SO₂, O₃), tiež sledovanie meteorologických údajov (teplota, tlak, vlhkosť).

4.3.2 Prenos a spracovanie údajov

V prípade tunelov, ktoré majú vlastný dispečing sú monitorovacie stanice spojené káblami s riadiacim počítačom, kde sa merania vyhodnocujú a ukladajú na pamäťové médium. V prípade, že sa používa diaľkový prenos dát, stanice bývajú vybavené modemom GPRS a dáta sa prenášajú cez mobilnú telefónnu sieť cez internetové pripojenie.

4.4 Monitorovanie geometrických parametrov ostenia

4.4.1 Konvergenčné merania

Vykonávajú sa v stanovených profiloch. V profile sa inštaluje minimálne 5 konvergenčných bodov. Zmena ich polohy sa najčastejšie sleduje geodeticky pomocou totálnej stanice (elektro-optický teodolit s diaľkomerom). Výhodou takéhoto postupu je, že meracie stanovište môže byť voľné. Súčasťou meracej metódy je softvér pre riadenie a vyhodnocovanie merania. Pre každý bod sa stanoví relatívna zmena posunu v horizontálnom a vertikálnom smere (x a y). Konvergenčné merania sa vykonávajú pri vylúčení premávky.

4.4.2 Líniové merania

Vykonávajú sa na pevne inštalovaných bodoch na povrchu ostenia pomocou geodetických metód (metóda veľmi presnej nivelácie). Líniovými meraniami sa sleduje sadanie objektu. Merania sa vykonávajú tak, aby sa získali absolútne hodnoty výškových posunov. Rovnako ako pri konvergenčných meraniach aj merania sadania sa vykonávajú počas dopravnej výluky.

4.4.3 Náklonomerné merania

Prípadný náklon ostenia ako dôsledok nerovnomerného sadania je možné registrovať pomocou meracieho zariadenia. Náklonomerné merania je možné realizovať aj v čase, keď iné merania nie sú dostupné. Na meranie sa používajú elektronické inklinometre, pracujúce na princípe kyvadla. Meracie prístroje sa pripevňujú na pevne zabudované meracie značky, na ktoré sa prístroj osádza počas merania, v prípade kontinuálnych meraní dlhodobo. Metóda umožňuje diaľkové meranie a elektronický prenos a archiváciu meracích dát.

4.4.4 3D merania

3D merania umožňujú sledovať zmenu polohy vybraných bodov vo všetkých troch smeroch (x,y,z). Používajú sa elektro-optické geodetické prístroje, ktoré sa inštalujú na pevne zabudované podstavce, alebo voľne na statív. Súčasťou metódy je špeciálny tunelový merací a vyhodnocovací softvér. 3D merania je možné vykonať i 3D scannerom,

4.5 Monitorovanie mechanických vlastností betónu

4.5.1 Meranie pevnosti betónu tvrdomerom

Tvrdomerné skúšobné zariadenia sú prístroje, ktorými sa vyvodzujú miestne poruchy, pretvorenia alebo pružné reakcie na povrchu betónu, ktoré sa dajú merať a z ktorých je možné vyhodnotiť ukazovateľ vlastnosti betónu. Pre betónové konštrukcie sú najpoužívanejšie tvrdomery typu Schmidt (Schmidtovo kladivko), ktoré pracujú na princípe odrazu úderníka, ktorého veľkosť zodpovedá tvrdosti betónu. Model N má kalibrovaný rozsah meraní $10 \text{ N/mm}^2 - 70 \text{ N/mm}^2$.

Tvrdomernou skúškou pomocou Schmidtovho kladivka sa stanovuje spravidla kocková pevnosť betónu, a to ako :

- pevnosť s nezaručenou presnosťou, ktorá sa vyhodnotí na základe obecného, resp. smerného kalibračného vzťahu;
- spresnená pevnosť, kde sa pevnosť vyhodnotí na základe určujúceho kalibračného vzťahu alebo súčiniteľom α .

Skúšky sa vykonávajú na upravenom (obrušenom) povrchu a postupuje sa podľa noriem STN EN 12504-2 a STN 73 1373. Pre vyhodnotenie skúšok sa používa STN EN 206-1.

Opakované merania, ktorých účelom je vývoj pevnosti v dôsledku degradácie betónu sa vykonávajú na nových, príslušne upravených skúšobných plochách.

Pre presnosť meraní je dôležité dodržať prepísaný postup pre výber a úpravu skúšobných ako ja postup vlastného merania. Rovnako dôležité je dodržanie požiadaviek na kontrolu a kalibráciu meracieho prístroja.

4.5.2 Meranie dynamického modulu pružnosti ultrazvukom

Ultrazvuková impulzná metóda Je založená na meraní rýchlosti šírenia impulzov pozdĺžneho ultrazvukového vlnenia v betóne. Pri vlastnom meraní sa zisťuje čas prechodu čela zväzku ultrazvukového vlnenia na dráhe medzi snímacou a budiacou sondou. Metóda umožňuje vykonávať skúšky priamo na konštrukcii, alebo na odobratých vzorkách (valce zhotovené z jadrového vývrtnu). Postup skúšania je v normách STN EN 12504-4 a STN 73 1371. V normách sú uvedené podmienky

pre vykonávanie skúšok (dĺžka meracej základne, teplota betónu, kvalita povrchu betónu v meranej základni, umiestnenie a vzájomná poloha sond, parametre ultrazvukového impulzového budiča a jeho kalibrácia). Zo zistenej hodnoty dynamického modulu pružnosti je možné odvodiť hodnotu statického modulu pružnosti a posúdiť kvalitu skúšaného betónu. Modul pružnosti predstavuje dôležitý údaj pre posúdenie napätostného stavu betónovej konštrukcie na základe zisteného deformačného stavu. Sledovanie napätosti je dôležité pre posúdenie bezpečnosti konštrukcie.

4.6 Monitorovanie pomerných deformácií a napätí

4.6.1 Všeobecne

Monitorovaním pomerných deformácií a napätí v betóne sa má predísť zníženiu bezpečnosti konštrukcie ostenia v dôsledku vyčerpania kapacity únosnosti. K vyčerpaniu únosnosti dôjde narastaním napätí. Prejavom zmien pôsobiacich napätí sú v zmysle elementárnej pružnosti zmeny pomerných deformácií, ktoré je možné registrovať ako dĺžkové zmeny v definovanom smere. Nakoľko snímače pre priame meranie napätia v betóne nie sú bežne dostupné, stav napätosti sa monitoruje buď cez meranie pomerných deformácií s následnou transformáciou na hodnoty napätí, alebo nepriamo napr. metódou uvoľňovania napätí.

Pre bezpečnosť a stabilitu ostenia je dôležité, aby namáhania v jednotlivých prierezoch ostenia neprekročili prípustné hodnoty.

Výber metód a meracích komponentov závisí od toho, či sa monitorovací systém inštaluje počas výstavby, alebo sa na ostenie inštaluje po jeho zhotovení, či už pred uvedením do prevádzky alebo počas prevádzky tunela.

4.6.2 Deformometrické merania

Deformometrické merania možno charakterizovať ako merania zmeny dĺžky Δl pomerne krátkej meracej základne l . Zmeny dĺžky meracej základne môžu byť spôsobené:

- reologickými zmenami betónu;
- zmenou napätia v betóne v dôsledku pôsobiaceho zaťaženia;
- zmenou teploty a následnou rozťažnosťou konštrukčných materiálov.

Pri meraní zmien dĺžky meracej základne sa vyhodnocujú pomerné deformácie, ktorých výsledné hodnoty obsahujú všetky tri uvedené zložky. Vzhľadom na charakter betónu ako aj konštrukčného materiálu sa odporúča dĺžka meracej základne $l > 200$ mm. Meranie zmien základne sa vykonáva viacerými spôsobmi. V zásade sa rozlišuje meranie na povrchu betónu a meranie vo vnútri betónu.

Príložené deformometre (mechanické alebo elektrické majú dva meracie hroty), ktoré sa vkladajú do základne, vytvorenej dvojicou kovových terčiek, upevnených na betónový povrch. Meranie príložnými deformometrami možno charakterizovať ako nízko nákladové, jedným prístrojom je možné merať viacero základní. Nevýhodou je, že pri meraní musí byť zabezpečený prístup k základniam, rovnako registrácia výsledkov nie je automatizovaná.

Na meranie pomerných deformácií na povrchu je možné použiť aj pevne inštalované meradlá. Meracia základňa môže mať rôzne konštrukčné usporiadanie. Základom sú dva pevné elementy, upevnené na povrch betónu. Posun sa meria buď mechanickými alebo elektrickými meradlami posunu. Prednosťou tohto systému je, že merania možno vykonávať dlhodobo. V prípade použitia elektronických meradiel je možné vykonať kontinuálne merania bez prístupu k základni a uskutočniť diaľkový prenos a registráciu dát.

Povrchové deformometrické merania sa využívajú aj pri meraní zmien širok alebo posunov línii nespojitosti (trhliny, dilatačné škáry a pod.).

4.6.3 Nepriame meranie napätosti - tenzometrické merania pomerných pretvorení

4.6.3.1 Meranie odporovými tenzometrami

Odporové tenzometre sa lepia na hladký neporušený betónový povrch. Tenzometre sa pomocou káblov spájajú s meracím zariadením. Ako elektrické snímače umožňujú odporové tenzometre automatizované meranie a zber údajov. Istý problém predstavuje stabilita pri dlhodobých a prerušovaných meraniach. Prednosťou odporových tenzometrov sú ich nízka nákladovosť a jednoduchá inštalácia. Najzložitejšou časťou procesu inštalácie je zabezpečenie vodotesnosti pripojenia tenzometrov na meracie káble.

4.6.3.2 Meranie strunovými tenzometrami

Väčšina strunových tenzometrov je konštruovaná na zabetónovanie v konštrukcii. Pre zabezpečenie stálosti polohy musia byť fixované o betonársku výstuž. Zabudovanými strunovými tenzometrami je možné monitorovať celý proces zrenia betónu, aktivácie tunelového ostenia, vývoja napätostného a deformačného stavu.

Povrchové strunové tenzometre majú na koncoch kotviace doštičky, ktoré sa upevňujú na povrch betónovej konštrukcie.

Strunové tenzometre patria k najspoľahlivejším a preto aj najviac používaným meracím technológiám pre monitorovanie napätostného a deformačného stavu betónových konštrukcií. Zabudované tenzometre spolu s meracími káblami sú spoľahlivo chránené. Meracie miesto je možné voliť vo vhodnej polohe. Meraná veličina (frekvencia kmitajúcej struny) nie je ovplyvňovaná indukovanými elektrickými poľami iných zariadení. Proces monitorovania je možné plne automatizovať.

4.6.3.3 Meranie optickými tenzometrami

Optické tenzometre sú konštrukčne i materiálovo najnáročnejšie. Ich prednosťou je možnosť vytvárať dlhé meracie základne, čo je pri nehomogenite betónu významná prednosť. Optické tenzometre sa pripájajú na meráciu jednotku pomocou optických káblov, čo zvyšuje náročnosť inštalácie a prevádzky.

4.6.4 Zisťovanie napätosti metódou uvoľňovania napätí

4.6.4.1 Zárezová kompenzačná metóda (Metóda plochého lisu)

Zásah do konštrukcie pre vyvolanie stavu nulovej napätosti na okraji predstavuje vytvorenie zárezu kotúčovou pílou. Predtým, ako sa vytvorí vlastný zárez, sa kolmo na os zárezu osadia meradlá deformácií vytvorených meracích základní a odčíta sa stav pred uvoľnením (stav I.). Vytvorením zárezu v tvare kruhového vrchlíka dôjde k uvoľneniu napätia a k zmene na stav po uvoľnení (stav II.) V tomto stave sa do zárezu vloží plochý lis. Zväčšovanie tlaku v lise sa prenáša do okolia zárezu a spôsobuje zmenu dĺžky meracích základní. Táto sa počas zväčšovania tlaku v lise priebežne sleduje a vyhodnocuje. Ak veľkosť deformácií nameraná na základniach dosiahne opätovne stav I, predpokladá sa, že napätie, ktoré vyvodzuje lis, sa rovná pôvodnému napätiu v betóne. Presnosť metódy ovplyvňuje hĺbka zárezu. S vyššou hrúbkou sa dosahuje aj vyššia presnosť. Metóda je obzvlášť vhodná pre prvky z prostého betónu. V prípade železobetónových konštrukcií je problém vyhnúť sa porušeniu prútov betonárskej výstuže pri vytváraní zárezu.

4.6.4.2 Metóda jadrového vývrtu

Zo známych metód uvoľňovania napätí je táto najprepracovanejšia a pre stanovenie napätosti v betónových konštrukciách najpoužívanejšia. Zásah do konštrukcie, predstavujúci uvoľnenie napätí, je jadrový vývrt priemeru optimálne 100 mm, minimálne 50 mm. Pred vyvrtaním jadra sa okolo predpokladaného vrtu osadí viacnásobná tenzometrická ružica (najvhodnejšie sú odporové tenzometre). Po pripojení ružíc na meracie zariadenie sa zaháji kontinuálne meranie. Meranie pokračuje počas vrtania až do uvoľnenia jadra. Hĺbka vrtu musí spĺňať podmienku, že sa rovná minimálne dvojnásobku priemeru vrtu. Vyhodnotenie meraní je o niečo zložitejšie, nakoľko úplné uvoľnenie napätosti sa vyskytuje iba na okraji vrtu, kým tenzometre zasahujú do okolitej oblasti, kde sa napätie znižuje postupne. Veľkosť napätí sa stanovuje na základe teoreticky odvodených a experimentálne overených vzťahov.

Pre zabezpečenie požadovanej presnosti merania (0,25 MPa) je dôležité presne stanoviť veľkosť modulu pružnosti a v sledovanom reze vykonať viac meraní. Na stanovenie veľkosti statického modulu pružnosti je možné využiť odobratý jadrový vývrt.

4.7 Monitorovanie prestupu agresívnych látok v krycej betónovej vrstve

4.7.1 Zisťovanie hrúbky karbonatizácie

Na zisťovanie zmeny pH betónu sa v teréne najčastejšie používajú skúšky nástrekom kvapalných indikátorov. Existuje celý rad indikátorov, kde dochádza k farebnému prechodu pri inej hodnote pH. Tzv. dúhový test používa nástrek zmesou indikátorov, ktoré menia farbu v rozsahu pH 5 - 13 pH. Tzv. fialový test je najrozšírenejší. Používa roztok roztokom fenolftaleínu, ktorý má hodnotu pH

farebného prechodu 9,5. Indikátory sa aplikujú na jadrové vývrty z betónu ostenia bezprostredne po ich odobratí.

Pre stanovenie hrúbky skarbonatizovaného betónu fenolftaleínovou metódou platí STN EN 14630, ktorá stanovuje rozmery vývrtu a spôsob stanovenia hrúbky.

4.7.2 Zisťovanie obsahu chloridov v betóne

Pri terénnych meraniach sa bežne používa RCT (Rapid chloride test) – metóda pre pomerne presné a rýchle stanovenie obsahu chloridov. Metóda umožňuje stanoviť obsah chloridov (v % hmotnostných jednotiek betónu) v ľubovoľne hlboko sa nachádzajúcej vrstve betónu a umožňuje sledovať vývoj koncentrácie difundovaných chloridov po výške krycej betónovej vrstvy.

Na meranie obsahu chloridov sa z príslušnej vrstvy odvíja malé množstvo betónového prášku, ktoré sa nechá zreagovať s analytickým roztokom (presné množstvo v skúšobnej nádobke). Po zreagovaní sa meria elektrický potenciál roztoku pomocou elektródy napojenej na merací prístroj. Vlastnému meraniu predchádza kalibrácia elektródy v skúšobných roztokoch a zostrojenie kalibračnej krivky. Výhodou metódy je možnosť získať okamžité výsledky a upraviť počet miest odberu prášku podľa aktuálneho stavu v danom mieste.

4.8 Monitorovanie korózie výstuže

4.8.1 Monitorovanie vzniku korozívneho prostredia z povrchu betónového ostenia

Na monitorovanie pravdepodobného výskytu korozívneho prostredia existuje viacero nedeštruktívnych metód. Cieľom ich aplikácie je zhotovenie máp povrchu konštrukcie s oblasťami, kde sa s väčšou alebo menšou pravdepodobnosťou predpokladá výskyt korózie.

Najpoužívanejšie komerčne dodávané profesionálne prístroje pracujú na princípe merania elektrického potenciálu pomocou elektródy, obsahujúcej síran meďnatý (poločlánková elektróda).

Moderné aplikácie využívajú automatickú registráciu nameraných hodnôt a pripojením na PC umožňujú vizualizáciu korozívnych máp povrchu betónu. Elektródy je možné zoskupiť do rastra a celý proces monitorovania tým významne urýchliť.

4.8.2 Monitorovanie korozívneho prostredia zabudovanými snímačmi korózie

Snímače korozívneho prostredia pracujú na princípe, že ich kovové časti začnú korodovať, ak v okolitom betóne vznikne korozívne prostredie. Korodujúce časti v snímači sú zapojené do elektrického okruhu. V dôsledku pôsobenia korózie sa mení priemer, a tým aj elektrický odpor prvku snímača. V prípade veľmi tenkého snímacieho prvku dochádza vplyvom korózie k prerušeniu elektrického toku. Aby bolo možné sledovať postup korozívneho prostredia smerom od povrchu betónu až k výstuži, zhotovujú sa snímače s viacerými snímacími prvkami usporiadanými tak, že majú rôznu vzdialenosť od povrchu. Takýto snímač sa umiestňuje medzi výstuž a povrch betónu a umožňuje dlhodobo monitorovať kryciu vrstvu a jej pasivačnú schopnosť.

4.8.3 Overenie výskytu korózie endoskopom

Metódy priamej vizuálnej kontroly poskytujú najobjektívnejšie výsledky. Stav výstuže, ktorá sa nachádza v blízkosti povrchu a v dosahu bežných identifikátorov polohy výstuže (profometre), je možné skontrolovať optickým endoskopom. Endoskop umožňuje zistiť nielen výskyt, ale aj posúdiť stupeň korózie.

4.9 Monitorovanie vzniku, aktivity a rozvoja trhlín

4.9.1 Zisťovanie šírky trhlín

Najobjektívnejšie je meranie šírky trhliny optickým mikroskopom. Šírka trhliny nie je po dĺžke konštantná. Meracie miesto je potrebné trvalo označiť, aby sa pri opakovanom meraní merala šírka na tom istom mieste. O výskyte a polohe trhlín sa vedie dokumentácia s označením trhliny, jej polohy (začiatok a koniec trhliny), meracích miest a nameraných šírkach.

4.9.2 Zisťovanie hĺbky trhlín

Na meranie hĺbky trhlín nie je k dispozícii jednoduchá a pritom spoľahlivá metóda. U širších trhlín sa používajú ultrazvukové prístroje. Meracie sondy sa umiestnia okolo trhliny. V prípade výskytu

trhliny (cez ktorú neprechádzajú ultrazvukové vlny) sa predlžuje čas, za ktorý sa dostane impulz od vysielacej k prijímacej sonde. Z vyhodnotenia tohto predĺženia sa stanovuje hĺbka trhliny.

Zložitejší postup predstavuje vyplnenie trhliny pod tlakom a následné zhotovenie jadrového vývrtu, na ktorom sa odmeria hĺbka trhliny.

4.9.3 Sledovanie aktivity trhlín

4.9.3.1 Všeobecne

Pre posúdenie charakteru trhliny v betóne a optimálny návrh opatrení je dôležité poznať charakter trhliny, predovšetkým zmeny jej šírky v čase. Vzhľadom na to, že ostenie je vystavené zmenám teploty, úplne pasívne trhliny sa v ňom nevyskytujú. Dôležité je rozlíšenie, či zmena šírky je spôsobená iba zmenou teploty, alebo aj zmenou napätostného a deformačného stavu v betóne.

4.9.3.2 Sledovanie aktivity trhlín pomocou sadrových terčikov

Osadenie sadrových terčikov cez trhlinu v betóne predstavuje najjednoduchšiu metódu. Pri zväčšení šírky trhliny pomerne krehká sadra praskne. Odporúčaná plocha terčikov je 50 mm x 100 mm a hrúbka 5 mm.

4.9.3.3 Optické mriežky

Optické mriežky sú zhotovené ako milimetrová sieť na priehľadnej pevnej fólii, ktorá sa upevňuje na povrch tak, aby sa namáhanie okolitého betónu do nej neprenášalo. Šírka trhliny v mm s odhadom desiatín sa odčítava priamo z dielikov mriežky. Metóda je vhodná pre širšie trhliny.

4.9.3.4 Meranie aktivity trhlín pomocou mechanických a elektrických deformometrov

Princíp metódy spočíva v tom, že v oblasti trhliny sa inštalujú rôznym spôsobom dve meracie základne. Jedna prechádza cez trhlinu, druhá je bezprostredne vedľa trhliny. Zmena dĺžky základní sa meria rôznym spôsobom. Z rozdielu meraní dvoch základní sa stanovuje zmena šírky trhliny.

Najjednoduchšie je meranie mechanickým príložným deformometrom. Pri tomto spôsobe sa meracie základne zhotovujú z terčikov lepených na povrch betónu. Jeho nevýhodou je, že k trhlíne musí byť zabezpečený prístup.

Zmenu dĺžky základní je možné merať aj pomocou trvalo inštalovaných mechanických deformometrov. Takýto rám tvoria indikátorové hodinky, upevnené v ráme, ktorého krajné body tvoria konce základne. Aj tento spôsob vyžaduje zabezpečený prístup k meranému miestu.

Mechanické indikátorové hodinky je možné v ráme nahradiť indukčnými snímačmi posunu. Snímače majú pripojovací kábel a meracie miesto je možné situovať vo vhodnej polohe mimo trhliny. Meranie je možné realizovať aj ako kontinuálne.

4.10 Doplnujúce merania a skúšky vlastností konštrukčných materiálov

4.10.1 Meranie teploty v betóne

Účinky teploty vyvolávajú objemové zmeny v betóne. Tieto zmeny skresľujú hodnoty meraní vyvolané zaťažením ostenia a ďalšími účinkami. Aby bolo možné zmeny, vyvolané zmenou teploty kompenzovať, je potrebné zmeny teploty merať súčasne s inými sledovanými parametrami. Zvyčajne je nepostačujúce merať teploty na povrchu, ale zmeny teploty sa sledujú po celej hrúbke ostenia.

4.10.2 Skúšky pevnosti a modulu pružnosti betónu

Pre vyhodnotenie niektorých meraní a pre nastavenie kritérií pre prípustné hodnoty niektorých meraní je potrebné poznať reálne parametre betónu, ako sú pevnosť betónu a modul pružnosti. Tieto parametre je možné merať nedeštruktívne (3.5.1 a 3.5.2). Nedeštruktívne metódy sú vhodné pre sledovania vývoja týchto veličín v čase. Pre ich spresnenie je možné použiť kalibračné vzťahy, získané skúškami na betónových vzorkách, robených súčasne s betonážou ostenia, alebo odobratých z konštrukcie. Z konštrukcie sa odoberajú najčastejšie vzorky tvaru valca. Odobraté vzorky majú často nenormované rozmery.

Pevnostné skúšky a skúšky modulu pružnosti sa zhotovujú podľa príslušných technických noriem. Pri nenormovaných vzorkách je potrebné použiť príslušné súčinitele, získané experimentálne.

4.10.3 Dotvarovanie a zmršťovanie betónu

Pri vyhodnocovaní dlhodobých meraní pomerných pretvorení a napätosti v betóne je potrebné poznať parametre reologických vlastností betónu. Tie sa zisťujú na trámikoch vybetónovaných súčasne s ostením z rovnakého betónu. Hodnoty dotvarovania a zmršťovania sa stanovujú z kontinuálne meraných pomerných deformácií, stanovených na základe dĺžkových zmien. Zmeny dĺžky sa merajú pomocou mechanických alebo elektrických deformometrov alebo snímačov posunu, inštalovaných minimálne na dvoch protiľahlých stranách trámikov. Na meranie pomerných deformácií je možné použiť aj príložné alebo zabudované strunové tenzometre.

Trámiky sa umiestňujú do tunelovej rúry. Trámiky pre zisťovanie zmršťovania sú voľne položené. Trámiky pre zisťovanie veľkosti dotvarovania sa umiestňujú v špeciálnych tzv. dotvarovacích kliebkoch, kde je vyvodzovaný konštantný prítlak.

5 Projekt monitorovania

5.1 Dokumentácia pre vybudovanie a prevádzkovanie monitorovania

5.1.1 Obsah dokumentácie

5.1.1.1 Všeobecne

Monitorovanie tunelového ostenia sa vykonáva počas výstavby i prevádzky. Časti monitorovacieho systému, zhotovené a využívané počas výstavby sa využívajú aj počas prevádzky. Niektoré časti systému sa navrhujú a realizujú až počas prevádzky (príp. počas výstavby) a sú to najmä tie, ktoré súvisia so vznikom porúch (napr. monitorovanie trhlín). Z uvedeného vyplýva, že dokumentácia monitorovania sa zhotovuje vo viacerých etapách:

- v etape projektovania tunela;
- v etape výstavby tunela;
- v etape prevádzky tunela.

5.1.1.2 Dokumentácia monitorovania ako súčasť dokumentácie DSP

Dokumentácia monitorovania tunelového ostenia je samostatná časť projektovej dokumentácie pre stavebné povolenie.

Dokumentácia monitorovania na tomto stupni obsahuje návrh systému monitorovania, ktorý pozostáva z týchto častí :

- a. Model vývoja vlastností a porúch ostenia
- b. Technicko-ekonomická analýza možných problémov vývoja parametrov a vzniku porúch ostenia
- c. Definícia cieľov monitorovania
- d. Výber meraných veličín
- e. Výber meracích metód a zariadení a požiadavky na rozsah a presnosť meradiel
- f. Výber meracích miest
- g. Časový plán monitorovania
- h. Definícia varovných stavov a návrh kritérií na ich prijímanie
- i. Návrh opatrení prijímaných v súvislosti s dosiahnutím jednotlivých varovných stavov

5.1.1.3 Zadávacia dokumentácia monitorovania

Pre zadávaciu dokumentáciu na výber vyhotoviteľa monitorovania sa spravidla použije dokumentácia monitorovania, spracovaná na úrovni dokumentácie pre stavebné povolenie, doplnená o ustanovenia vyplývajúce zo zákona o verejnom obstarávaní, ako aj o príslušné technicko-kvalifikačné a technicko-kvalitatívne podmienky.

Zadávaciu dokumentáciu na výber zhotoviteľa monitoringu je zároveň nevyhnutnou informatívnou súčasťou zadávacej dokumentácie na výber zhotoviteľa vlastnej stavby, pokiaľ z nej vyplývajú požiadavky na súčinnosť zhotoviteľa stavby pri vykonávaní monitoringu.

Zadávaciu dokumentáciu na výber zhotoviteľa monitoringu musí byť spracovaná podrobne v častiach, ktoré definujú všetky konkrétne ciele meraní, rozsah meraní (meracích metód, sledovaných veličín, meracích miest i početnosti meraní), s výkazom výmer všetkých navrhovaných meraní.

5.1.1.4 Realizačná dokumentácia monitorovania

Realizačná dokumentácia monitorovania spresňuje navrhované metódy monitorovania, umiestnenie jednotlivých meracích miest (bodov a profilov), rieši organizáciu a plán riadenia meraní, spresňuje činnosť pri monitorovaní, plán súčinnosti všetkých účastníkov monitoringu a obsahuje jednoznačnú definíciu výstupov ich činností. Obsahuje podrobný opis zodpovedností jednotlivých účastníkov výstavby v rozhodovacom procese, nadväzujúcom na hodnotenie výsledkov monitoringu, nadväznosť na systém riadenia rizík na stavbe, ako aj kompetencie a zodpovednosti členov tímu, podieľajúcim sa na monitorovaní.

Nevyhnutnou súčasťou realizačnej dokumentácie monitorovania je aj dopracovanie postupov pri odsúhlasovaní odlišných podmienok staveniska. Realizačná dokumentácia monitorovania obsahuje podrobné požiadavky na súčinnosť zhotoviteľa stavby a prevádzkovateľa tunela pri vykonávaní meraní na stavbe, požiadavky na vzájomnú informovanosť účastníkov výstavby a prevádzky a plán organizácie monitorovania, ktorý obsahuje:

- organizačnú schému merania a práce s dátami, ktorá obsahuje plán rozhodovacích krokov, smerujúcich k naplneniu zadaných úloh monitoringu;
- pravidlá, čo ktorý subjekt meria a kedy, ale aj akým spôsobom, kam, ako rýchle a v akom tvare sa odovzdávajú informácie o výsledkoch meraní;
- spôsob posudzovania kritérií varovných stavov, ako sa prijímajú a vyhlasujú;
- spôsob schvaľovania a zavádzania pripravených technických a organizačných opatrení súvisiacich s varovnými stavmi a pod.

5.1.1.5 Dokumentácia monitorovania, zhotovená počas prevádzky tunela

Táto dokumentácia konkretizuje monitorovacie činnosti a ich systémy pre situácie, ktoré sa vyskytli počas výstavby alebo počas prevádzky tunela a vyžadujú doplnenie alebo modifikáciu existujúceho monitorovacieho systému. Dokumentácia je súčasťou manuálu prevádzky tunela. Pre obsah dokumentácie platia primerane ustanovenia článkov 5.1.2 až 5.1.4.

5.1.2 Vypracovanie a schvaľovanie dokumentácie

Návrh monitorovania a zadávacía dokumentácia sa zhotovujú v rámci dokumentácie pre stavebné povolenie. Realizačná dokumentácia monitorovania je súčasťou realizačnej dokumentácie stavby a je vhodné, ak sa na jej zhotovení podieľa vybraný zhotoviteľ monitorovania.

Schvaľovanie dokumentácie monitorovania sa uskutočňuje v rámci schvaľovania dokumentácie stavby.

5.2 Návrh systému monitorovania

5.2.1 Model vývoja vlastností a porúch ostenia

Model vývoja vlastností a vzniku a rozvoja porúch je východiskom na vypracovanie projektovej dokumentácie monitoringu. Model má nasledujúce časti :

- rozbor všetkých činiteľov, ktoré v daných podmienkach budú ovplyvňovať pretváranie, napätosť, stabilitu a homogenitu ostenia;
- analýzu veľkosti tlakov na tunelové ostenia, zmien napätosti, zmien deformácií, mechanického procesu pretvárania a jeho fyzikálnych príčin, výskytu koncentrácie
- prognózu veľkosti deformácií a ich rýchlosti pretvárania (v závislosti od času a postupu prác) ;
- prognózu vzniku a rozvoja porúch (v závislosti od skutočných podmienok stavby a veľkosti namáhania a environmentálnych vplyvov).

Model vývoja vlastností a porúch ostenia sa postupne aktualizuje na základe konkrétnych poznatkov zo sledovania a výsledkov monitorovania.

5.2.2 Výber meraných veličín

Meranými veličinami sú predovšetkým deformácie, napätia, pomerné pretvorenia, teplota, zmeny šírky trhlín, fyzikálno-mechanické vlastnosti betónu a výstuže, poruchy betónu a výstuže (zatekanie, šírka trhlín, korózia), agresívne účinky prostredia.

Výber meraných veličín sa uskutočňuje na základe posúdenia konkrétnych podmienok a z hľadiska cieľov monitorovania a ich preferencie.

5.2.3 Výber meracích metód a zariadení

Pre naplnenie cieľov monitorovania je dôležitý výber meracích metód a s tým súvisiaci výber prístrojov a zariadení.

Základným kritériom je vhodný rozsah meracích zariadení a ich citlivosť vzhľadom na očakávané správanie sa konštrukcie ostenia. Zohľadňuje sa maximálna a minimálna očakávaná hodnota a jej prírastky za časovú jednotku.

Dôležitá je požiadavka na presnosť, daná dôležitosťou sledovanej veličiny na bezpečnosť konštrukcie. 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 deja.

Zabudované a pevne inštalované prístroje (snímače, meradlá, káble) musia byť schopné odolávať vonkajším vplyvom počas trvania monitorovania). Pri výbere treba zohľadniť vlhkosť v tunelovom prostredí, prašnosť, striedavé účinky mrazu, pôsobenie chemického ataku a bludných elektrických prúdov.

Dôležitou požiadavkou je možnosť overovať za prevádzky správnosť fungovania konkrétneho monitorovacieho zariadenia.

Inštalované zariadenia by mali byť zabezpečené proti vandalizmu. Nároky na spoľahlivosť prístrojov sa zvyšujú s celkovou dĺžkou ich činnosti v systéme; čím sú merací prístroj a jeho konštrukcia jednoduchšie, tým býva prístroj spravidla odolnejší aj spoľahlivejší.

5.2.4 Výber meracích miest

Pri výbere meracieho miesta sa vychádza z modelu vývoja vlastností a vzniku a rozvoja možných porúch. Polohy meracích miest sú obsahom dokumentácie monitorovania ostenia. Polohy predstavujú kritické miesta a reprezentatívne profily ostenia.

Kritické miesta predstavujú najviac zaťažené 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 pre konštrukciu ostenia.

5.2.5 Časový plán monitorovania

Časový plán monitorovania obsahuje intervaly vykonávania jednotlivých meraní. Vo všeobecnosti sa početnosť meraní volí v závislosti od očakávanej rýchlosti, s akou sa budú meniť činitele ovplyvňujúce správanie sa konštrukcie a od očakávanej rýchlosti zmien meraných hodnôt.

Vysoká početnosť meraní zbytočne zaťažuje vyhodnocovanie, znižuje prehľadnosť a zvyšuje náklady na monitorovanie stavebnej konštrukcie, zvyšuje riziko neskorého zaznamenania nástupu merania, jeho možného progresívneho porušovania a oneskoreného prijatia technicko-bezpečnostných opatrení.

Početnosť meraní sa odporúča v priebehu razenia prispôbovať skutočnému deformačnému správaniu sledovaného systému a tendenciám jeho vývoja v ďalšom období.

Ak sa stavebná konštrukcia začne správať anomálne (napr. neprimerane rýchla zmena napätostného alebo deformačného stavu), početnosť meraní je potrebné okamžite zvýšiť tak, aby bol vývoj pod kontrolou.

5.2.6 Technicko-ekonomický rozbor riešenia systému monitorovania

Technicko-ekonomický rozbor a analýza rizík funkcie ostenia slúžia ako podklad na dimenzovanie rozsahu monitorovania a na definovanie jeho konkrétnych cieľov.

Jeho súčasťou sú:

- analýza nežiaducich javov, ktoré je treba sledovať;
- stanovenie pravdepodobnosti, s akou môžu nastať prognózované nežiaduce javy;
- posúdenie možnej veľkosti vzniknutých škôd v dôsledku prejavovania sa nežiaducich javov a možnosti ich včasného obmedzovania výsledkami monitorovania;
- posúdenie možností znižovania škôd technickými a technologickými opatreniami.

5.3 Rizikové hodnoty monitorovaných veličín

5.3.1 Všeobecne

Monitorovanie poskytuje hodnoty veličín, pri ktorých sa vykonáva ich hodnotenie. Hodnotenie sa vykonáva z dvoch základných hľadísk:

- porovnanie s rizikovými hodnotami;

- porovnanie s predošlými hodnotami a hodnotenie adekvátnosti zmeny.

Monitorované veličiny sa líšia svojim významom z hľadiska bezpečnosti, prevádzkyschopnosti a životnosti. Najdôležitejšie sú veličiny vyjadrujúce úroveň bezpečnosti konštrukcie (napr. napätia, deformácie).

Rizikové hodnoty veličiny predstavujú dosiahnutie určitej hladiny sledovanej veličiny, ktoré vyvoláva potrebu venovať zvýšenú pozornosť oblasti, kde bola zistená a prijať potrebné opatrenia.

Patrí sem:

- výpočtová hodnota;
- medzná hodnota;
- limitná hodnota.

Výpočtové a medzné hodnoty sa definujú pri statických veličinách (napr. napätia, deformácie) pri ostatných sa definujú tzv. limitné hodnoty (napr. hĺbka karbonatizácie, obsah chloridov).

Výpočtové a medzné hodnoty statických veličín musí obsahovať statický výpočet ostenia.

5.3.2 Výpočtová a medzná hodnota sledovanej veličiny

Výpočtová hodnota (H_v) a medzná hodnota sledovanej veličiny (H_m) sa získava statickou analýzou. Výpočtová hodnota reprezentuje modelový stav, pri ktorom pôsobia na konštrukciu predpokladané maximálne účinky zaťaženia a vplyvov. Medzná hodnota predstavuje veľkosť sledovanej veličiny pri dosiahnutí medzného stavu únosnosti. Platí teda $H_m \geq H_v$. Rozdiel medzi H_m a H_v predstavuje tzv. výpočtovú rezervu H_r . Výpočtová a medzná hodnota sa definujú v statickom výpočte pre tzv. kritické prierezy. Výpočet sa vykonáva podľa príslušných technických noriem. Pre ostatné monitorované prierezy sa musia vypočítať osobitne.

V prípade akejkoľvek zmeny vstupných parametrov je potrebné statický výpočet vo fáze spracovania dokumentácie aktualizovať.

Po zhotovení ostenia sa na základe kontroly skutočných rozmerov, zistených materiálových charakteristík a skutočnej veľkosti zaťaženia výpočtové a medzné hodnoty aktualizujú.

5.3.3 Limitná hodnota sledovanej veličiny

Limitná hodnota (H_l) sa stanovuje na základe príslušných technických noriem a predpisov, prípadne regionálnych skúseností. Prekročenie alebo nesplnenie niektorej limitnej hodnoty môže vyvolať potrebu revízie statického výpočtu a následnú zmenu výpočtových a medzných hodnôt.

6 Vybudovanie systému monitorovania

6.1 Etapy budovania systému monitorovania

Etapy budovania systému monitorovania na stavbe spočívajú v nasledujúcich činnostiach:

- Obstarávanie meracích prístrojov
- Adjustácia a kalibrácia meracích prístrojov
- Osadenie meracích prístrojov
- Zhotovenie a kontrola kábloých vedení
- Inštalácia stabilných meracích ústrední
- Uvedenie monitorovacieho systému do činnosti, funkčné skúšky
- Nulové meranie
- Správa o zhotovení monitorovacieho systému

6.2 Obstarávanie meradiel a snímačov, ich overenie a inštalácia

6.2.1 Výber dodávateľa

Výber dodávateľov jednotlivých komponentov monitorovacieho systému uskutočňuje jeho zhotoviteľ. Dodávateľ sa vyberá na základe hodnotenia kvality dodávaných výrobkov, záručných a servisných podmienok, poskytovanej dokumentácie, konzultačných služieb, platobných podmienok a pod.

6.2.2 Adjustácia a kalibrácia meracích prístrojov

Jednotlivé komponenty sa po dodaní kontrolujú, overuje sa ich kompletnosť a funkčnosť. Funkčnosť sa posudzuje vizuálne, zapojením snímača na merací prístroj, kontrolou stability a pod.

Celý merací systém sa musí podrobovať pravidelnej kalibrácii. Kalibrácia spočíva v tom, že sa merací prístroj alebo snímač zaťaží známym zaťažením (teplota, sila, deformácie) a za kontrolovaných vonkajších podmienok sa merajú zodpovedajúce hodnoty na meracom prístroji.

Spravidla sa kalibrácia vykonáva už v okamihu dokončenia výroby prístroja, potom pred zabudovaním do systému monitorovania a nakoniec počas monitorovania podľa plánu kalibrácie. Plán kalibrácie je súčasťou realizačnej dokumentácie monitoringu.

Pri kalibrácii pred osadením merača je nevyhnutné kontrolovať aspoň 5 bodov z meracieho rozsahu prístroja, a to pri rozličných teplotách, ktoré prichádzajú do úvahy pri použití prístroja.

Ak kalibráciu prístroja z nejakého dôvodu nemožno vykonať, potom je nevyhnutné vykonať minimálne kontrolu jeho funkcie simuláciou sledovaných javov.

O adjustácii a kalibrácii meracích zariadení sa vyhotoví protokol, ktorý je súčasťou správy o zhotovení monitorovacieho systému.

6.2.3 Inštalácia meracích prístrojov, snímačov a značiek

Zabudované časti monitorovacieho systému (značky, terčíky, snímače, podložky pod meracie prístroje, časti prístrojov, kompletne meracie prístroje a pod.) sa inštalujú v súlade s realizačnou dokumentáciou monitorovania. Prípustné odchýlky polohy sú uvedené v dokumentácii. Snímače zabudované do vnútra ostenia musia byť upevnené o existujúcu výstuž tak, aby pri betonáži nedošlo k zmene ich polohy alebo poškodeniu.

6.3 Napojenie meradiel a snímačov na zbernice a meracie stanice

6.3.1 Zhotovenie a kontrola káblových vedení a meracích zberníc

Elektrické podsystémy monitorovania, ktoré pozostávajú zo snímača sledovanej veličiny spojovacieho kábla a meracieho zariadenia vyžadujú inštaláciu káblov. Na odolnosť káblov sú kladené vysoké požiadavky. Vedenie káblov je obsiahnuté v realizačnej dokumentácii. Pri realizácii je často potrebné polohu vedenia kábla zmeniť, vzhľadom na podmienky zhotovenia ostenia. Skutočnú polohu vedení je potrebné zaznamenať.

6.3.2 Inštalácia stabilných meracích zberníc a meracích staníc

Elektrické snímače sa zvyčajne nemerajú samostatne ale skupina snímačov má káble zvedené do jedného meracieho miesta – zbernice. Poloha zbernice sa volí tak, aby bolo možné meranie vykonávať počas prevádzky tunela a zároveň aby zariadenie zbernice nebolo ohrozené prevádzkou a údržbou tunela.

Meranie cez zbernicu sa vykonáva buď prenosným meracím zariadením, alebo zabudovanou viackanálovou meracou stanicou s integrovanou zbernicou. Takéto zariadenie zvyčajne vyžaduje aj napojenie na zdroj elektrického prúdu.

6.4 Skúšky monitorovacích podsystémov

6.4.1 Funkčné skúšky

Po skompletizovaní jednotlivého podsystému sa vykonávajú jeho funkčné skúšky. Okrem preverenia fungovania sa hodnotí stabilita systému a reakcia na zmeny teploty. O meraniach sa vyhotoví záznam, ktorý archivuje zhotoviteľ monitorovacieho systému.

6.4.2 Nulové meranie

Nulové meranie reprezentuje východiskové meranie, ku ktorému sa všetky nasledujúce merania vzťahujú. Dôležité je posúdenie, pre aké zaťaženia a vplyvy je meranie nulové, a pre aké sa registrujú prírastky od určitého stavu.

6.5 Správa o zhotovení monitorovacieho systému

Po vybudovaní celého systému monitoringu, osadení všetkých meracích bodov, snímačov, meracích prístrojov a prístrojmi a uskutočnení nultých meraní, zhotoviteľ monitorovania vypracuje správu o vybudovaní monitorovacieho systému. Správa o zhotovení monitorovacieho systému musí obsahovať:

- zoznam meraných veličín a spôsob ich merania;
- polohy meracích bodov;
- typy snímačov, meradiel a meracích prístrojov, ich presnosť a spôsob vykonávania

- meraní;
- protokoly o kalibrácii snímačov a meracích zariadení;
- polohy a popis zberníc a zabudovaných meracích ústrední;
- popis skutočného zhotovenia (odchýlky od projektu monitorovania) ;
- výsledky tzv. nulového čítania.

7 Prevádzka monitorovacieho systému

7.1 Použitie monitorovacieho systému počas výstavby

Jednotlivé časti monitorovacieho systému sa do používania zavádzajú postupne. Počas výstavby sa vykonávajú viaceré činnosti, ktoré si vyžaduje neskoršie úspešné naplnenie cieľov monitorovania. Patrí sem:

- vykonanie nulových meraní pred oddebnením betónovej konštrukcie;
- odber čerstvého betónu a zhotovenie vzoriek pre meranie pevnostných charakteristík a modulov pružnosti a tiež kalibráciu tvrdomerov a ultrazvukových prístrojov; sledovanie vývoja reologických vlastností použitého betónu (dotvarovanie a zmrašťovanie);
- vykonanie deštruktívnych a nedeštruktívnych skúšok vlastností betónu.

Vykonané merania a skúšky umožňujú posúdiť kvalitu zhotovenej časti konštrukcie a poskytnúť informácie o niektorých technologických aspektoch (napr. informáciu o vývoji hydratačného tepla vo vzťahu ku vzniku trhlín).

7.2 Zber dát a výsledkov skúšok

7.2.1 Všeobecné zásady

Namerané dáta monitorovania pochádzajú z rozličných miest stavby a sú získané rozličnými metódami. Získané dáta závisia od času a sú ovplyvnené lokalizáciou meraného miesta.

Získané dáta musia byť zhromažďované centrálné, 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 automatizovane.

7.2.2 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 okamihu merania, postup stavebných 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 okamih merania a meno autora merania s podpisom.

7.2.3 Automatizovaný zber dát

Automatizovaný zber dát sa vykonáva dvoma základnými postupmi v závislosti na technickom vybavení monitorovacieho podsystemu :

1. postup: Snímač je vybavený zariadením, ktoré umožňuje tak automatizovaný 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 prenesú na elektronický záznamník prenášaný technikom zabezpečujúcim meranie. Dáta sa zo záznamníka potom v kancelárii prenesú do počítača.

2. postup: Snímače sú prepojené s meracou ústredňou 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.

7.2.4 Archivácia a zálohovanie dát

Podmienkou operatívosti riadenia monitorovania a hodnotenia získaných dát je ich on-line prístupnosť všetkým kompetentným zástupcom účastníkov výstavby a prevádzky. Odporúča sa 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.

7.3 Spracovanie, vyhodnotenie a analýza dát

7.3.1 Spracovanie a vyhodnotenie dát

Meraním a sledovaním sa získavajú tzv. primárne dáta. Tieto musia byť uložené tak, aby s nimi nebolo možné manipulovať. Primárne dáta v mnohých prípadoch nepredstavujú merané veličiny. Merané veličiny sa získavajú z dát matematickými postupmi, ktoré tvoria matematický modul monitorovania. Napr. pri nepriamom meraní napätí pomocou strunových tenzometrov sa získavajú primárne hodnoty frekvencií a teploty. Z nich sa matematickým spracovaním určia hodnoty pomerných pretvorení. Následná transformácia pomerných pretvorení na napätia je zložitejší matematický problém, nakoľko dôležitú úlohu v ňom zohrávajú časovo premenné charakteristiky betónu (modul pružnosti, súčinitele dotvarovania a zmrašťovania).

Dáta získané zo systému monitorovania 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.

Pri vlastnostiach, kde boli stanovené rizikové hodnoty sa vykonáva porovnanie s ich hodnotami a určuje sa stupeň naliehavosti prijatia opatrení. Jednotlivé stupne naliehavosti vo vzťahu k rizikovým hodnotám udáva tabuľka 1.

Tabuľka 1 Stupne naliehavosti

Stav	Hodnota vlastnosti H	
	Ak sú stanovené H_v a H_m	Ak je stanovené H_l
1 Prípustný stav	$H \leq H_v$	$H < 0,8 H_l$
2 Stav hraničnej prijateľnosti	$H_v < H \leq H_m$	$H \leq H_l$
3 Kritický stav	$H > H_m$	$H > H_l$

Prihliadať treba aj na hodnotenie celkových trendov vo vývoji sledovaných veličín a na komplexné posúdenie správania sa všetkých sledovaných bodov a meraných veličín.

7.3.2 Analytická správa o výsledkoch monitorovania

Analytická správa sa zhotovuje za jedno monitorovacie obdobie, ktoré je definované časom a počtom vykonaných meraní. Zo získaných dát sa stanovujú hodnoty vlastností, ktoré sa spracúvajú rozličnými spôsobmi. Ich voľba závisí od sledovanej vlastnosti. Základné spôsoby spracovania predstavujú tabuľky, ktoré obsahujú primárne dáta a z nich vyhodnotenú hodnotu sledovaných veličín. Analytické vyjadrenie predstavujú grafy, najčastejšie sa používa vyjadrenie zistených hodnôt v čase (graf x, y).

Výsledky meraní sa spracúvajú a predkladajú tak, aby bolo možné posudzovať trendy vo vývoji správania sa konštrukcie, ktoré sa porovnávajú s prijatým modelom vývoja vlastností a porúch konštrukcie. V grafoch sa vykresľujú trendové čiary a hranice rizikových hodnôt (H_v , H_m a H_l).

7.3.3 Návrh opatrení pre prevádzku a údržbu na základe výsledkov monitorovania

Návrh vyplýva z komplexného hodnotenia výsledkov monitorovania, v ktorom sa posudzujú najmä :

- absolútne hodnoty sledovaných veličín a ich porovnanie s rizikovými hodnotami; ,
- zrýchlenie/spomalenie, s akým sa menia hodnoty sledovaných veličín.

7.3.4 Prípustný stav

Pri tomto stave sa monitorovanie vykonáva podľa plánu. Prevádzka a údržba sa vykonávajú v štandardnom režime. Ak pri niektorých veličinách sa vyskytne hrozba, že v priebehu niekoľkých rokov

sa dosiahne stav hraničnej prijateľnosti, pristúpi sa k príprave stavebných zásahov (preventívne zásahy napr. ochranné nátery).

7.3.5 Stav hraničnej prijateľnosti

Pri tomto stave sa skráti intervaly monitorovania vlastností, pri ktorých stav hraničnej prijateľnosti nastal. Potrebné stavebné zásahy sa realizujú pri najbližšej dopravnej výluke v tuneli. V prípade, že je ohrozená únosnosť a stabilita ostenia, vypracuje sa projekt opravy a zosilnenia ostenia. Pri ohrození životnosti ostenia sa vypracuje projekt stavebných úprav.

7.3.6 Kritický stav

Pri dosiahnutí kritického stavu sa konštrukcia ostenia monitoruje permanentne. Pri výskyte porúch, signalizujúcich ohrozenie bezpečnosti premávky sa táto okamžite obmedzí alebo preruší. Po zhodnotení všetkých aspektov stavu sa pristúpi k realizácii opravy, úpravy alebo zosilnenia ostenia.

8 Úlohy jednotlivých účastníkov výstavby a prevádzky tunela pri monitorovaní ostenia

8.1 Úlohy projektanta tunela a projektanta monitorovacieho systému

Projektant DSP tunela stanoví ciele monitorovania ostenia počas výstavby a prevádzky tunela, vypracuje v rámci dokumentácie návrh programu monitorovania, v ktorom definuje základný obsah modelu vývoja charakteristických veličín ostenia a vzniku a rozvoja možných porúch, požiadavky na počet a polohu meracích miest, základné požiadavky na rozsah, presnosť a početnosť meraní. Táto dokumentácia monitorovania slúži spravidla ako zadávacia dokumentácia monitorovania.

Projektant dokumentácie pre realizáciu stavby (DRS) pracuje v úzkej súčinnosti s projektantom monitorovania. Ako zhotoviteľ statického výpočtu ostenia, jeho konštrukčného návrhu a posúdenia upresňuje polohy meracích bodov a stanoví rizikové hodnoty sledovaných veličín. Projektant monitorovania uskutoční na základe technicko-ekonomického zhodnotenia optimálny vyber meracích metód a postupov, výber zabudovaných snímačov a meradiel ako aj prenosných meracích zariadení. Vypracuje návrh zapojenia a usporiadania zberníc a meracích ústrední a systém zbierania údajov. Dokumentácia monitorovania musí obsahovať detailný postup budovania monitorovacieho systému vrátane zabezpečenia požadovanej kvality všetkých komponentov a vykonaných prác.

8.2 Súčinnosť zhotoviteľa stavby a investora so zhotoviteľom monitorovania

V realizačnej dokumentácii monitoringu musia byť podrobne uvedené požiadavky na súčinnosť zhotoviteľa stavby so zhotoviteľom monitoringu a požiadavky na podporu zo strany investora.

Požiadavky na zhotoviteľa stavby musia byť rámcovo uvedené v zadávacej dokumentácii na výber zhotoviteľa stavby a musia byť zahrnuté do zmluvných podmienok. Realizačná dokumentácia stavby a 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 a kancelárskeho zázemia na stavbe;
- zahrnutie prác budovania monitorovacieho systému do harmonogramu postupu stavených prác;
- súčinnosť pri budovaní systému monitoringu;
- poskytovanie údajov o postupe výstavby, zmenách technológií a pod.

Systém monitorovania zhotoviteľ realizuje v úzkej súčinnosti so zhotoviteľom stavby a investorom. Zhotoviteľ stavby informuje zhotoviteľa monitorovacieho systému v dostatočnom predstihu o čase, kedy vzhľadom na postup výstavby je možná inštalácia jednotlivých komponentov systému. Rovnako ho informuje o čase, kedy je možné vykonať funkčné skúšky bez rušivých vplyvov. Nemenej dôležitá je okamžitá informácia, ak dôjde k poškodeniu inštalovaných súčastí.

8.3 Súčinnosť správcu tunela a prevádzkovateľa monitorovania

Ťažisko monitorovania tunelového ostenia na rozdiel od geotechnického monitorovania sa uskutočňuje počas prevádzky. Prevádzkovateľ monitorovania je povinný zabezpečiť, aby všetky merané dáta a ich vyhodnotenie boli správcovi prístupné on-line a umožnili mu operatívne riadenie.

Analytické správy za jednotlivé obdobia sa zhotovujú v tlačenej forme a správca tunela je povinný sa s nimi oboznámiť.

Správca tunela vykonáva pravidelné inšpekcie a o všetkých zisteniach, majúcich súvislosť so sledovanými veličinami, ako aj o vzniku nových alebo zmenách evidovaných porúch informuje prevádzkovateľa monitorovania.