



# Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Geotechnický monitoring – učební texty, přednášky  
Monitoring tunelů a kolektorů

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace studijního oboru Geotechnika CZ.1.07/2.2.00/28.0009.  
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

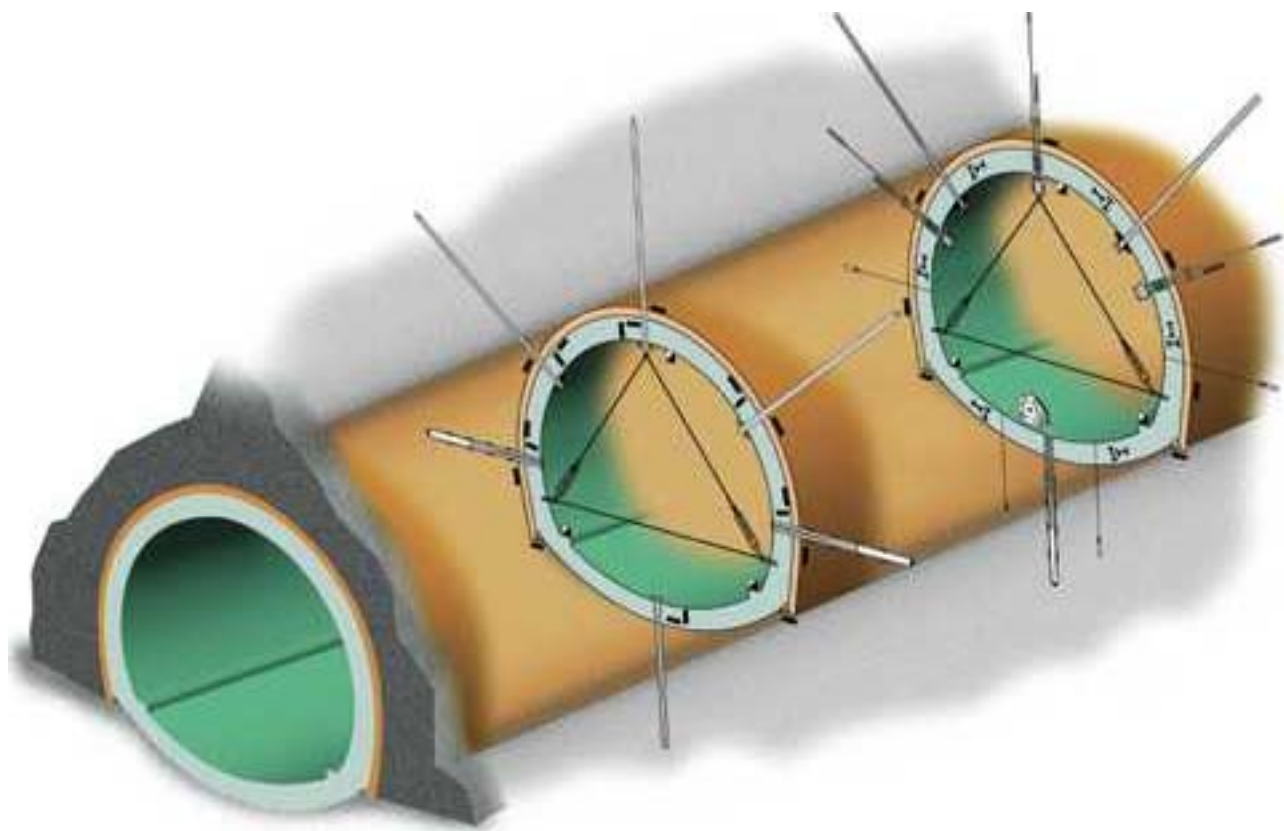
## **14. Monitoring tunelů a kolektorů**

Monitoring podzemních děl lze v zásadě rozdělit na monitoring v podzemí – v místě realizace samotné stavby a na monitoring na povrchu. Cíle monitoringu vycházejí za základních hypotéz přetváření systému „horninové prostředí – výztuž podzemního díla“. Realizací podzemního díla dojde k porušení primárního stavu rovnováhy, dochází k přerozdělování napětí a koncentrace napětí za výrubem může dosáhnout několikanásobku hodnoty primární napjatosti. Změna napjatosti probíhá současně s deformačními projevy, dochází k radiálním posunům a může rovněž docházet k extruzi (vyboulení čelby do výrubu). Za obrysem díla mnohdy vzniká oblast plastického přetváření a porušování, způsobující zvyšování tlaků na výztuž díla. Rovněž v oblasti před čelbou dochází k deformačním projevům, které není možno objektivně zachytit monitorovacími měřeními (tzv. ztracená konvergence). Realizace podzemní stavby, především v případě tzv. mělkého tunelování, se projevuje negativně i na povrchu – vznikají poklesové kotliny, jejichž rozsah a charakter ovlivňuje míru negativních dopadů tunelování na povrch (sedání, vznik trhlin na objektech, narušení režimu podzemní vody, apod.). V současné době, kdy dochází k využití tunelovacích strojů s velkými rychlostmi postupu ražby, je nutno provádět monitoring kontinuální, abychom včas zachytili varovné stavy systému.

Hlavním cílem monitoringu je ověření předpokladů projektu, aplikace tzv. observační metody realizace tunelu, kdy se projekt modifikuje na základě vyhodnocení výsledků geotechnického monitoringu, dále zajištění bezpečnosti v průběhu výstavby a minimalizace negativních dopadů realizace stavby. Geotechnický monitoring je nedílnou součástí tzv. Nové rakouské tunelovací metody, jejíž podstatou je dosáhnout optimálního spolupůsobení horninového masívu s výztuží. Teoreticky jsou parametry tohoto optimálního spolupůsobení horninového prostředí s výztuží dány pracovním bodem určeným z Fenner–Pacherových křivek (pracovně-deformační charakteristiky horniny a výztuže). Optimální hodnota části radiálních přetvoření horniny, která proběhne před samotnou aktivací výztuže, může podstatně snížit hodnotu zatížení výztuže. Při nevhodně dlouhé prodlevě v aktivaci výztuže však může docházet k rychlému nárůstu přetvoření výrubu a ke kolapsu celého výrubu. Z tohoto popisu chování systému „horninový masív – konstrukce“ vyplývají i cíle a metody monitoringu.

Konkrétními cíli monitoringu tunelů a kolektorů je:

- monitoring konvergence výrubu (kap. 14.1)
- monitoring přetvoření za obrysem díla (indikace rozvolněných zón) (kap. 14.2)
- monitoring přetvoření před čelbou, včetně tzv. ztracené konvergence (kap. 14.3)
- monitoring zatížení výztuže (kap. 14.4)
- monitoring napětí ve výztuži (kap. 14.5)
- monitoring sil v kotvách (kap. 14.6)
- monitoring podzemní vody (kap. 14.7)
- monitoring poklesů a jejich negativních projevů na povrch. objektech (kap. 14.8)



Obr. 14.1 – Ukázka monitorovacího schématu tunelu  
(zdroj:www.sisgeo.com)

### **14.1 Monitoring konvergence stěn výrubu a ostění výrubu**

Monitoring konvergence stěn výrubu nebo ostění je prováděn především s cílem kontroly stability podzemního díla. Měření může být prováděno klasickým konvergenčním pásmem (především při ražení menších štol), avšak v současné době se k monitoringu konvergence tunelů využívají nejčastěji optické automatické stanice (viz. kap. 4. Konvergenční měření). Automatické stanice monitorují obecně pohyby bodů, na základě vyhodnocení těchto pohybů pro různé body lze pak stanovit odpovídající konvergence.

Ustálení konvergence signalizuje obnovení stavu rovnováhy, neustálení naopak indikuje určitý varovný stav a vyžaduje obvykle přijetí následných dodatečných stabilizačních opatření (dodatečné kotvení, změna parametrů kotev, apod.). Výsledky konvergenčních měření mohou být využity i pro krátkodobou prognózu geologických podmínek před čelbou. Asymetrické konvergence mohou signalizovat asymetrickou stavbu horninového masívu za výrubem, vychylování vektorů posunů konvergenčních bodů z roviny kolmé k podélné ose tunelu indikují změny v masívu před čelbou (vychýlení proti směru ražení tunelu – zhoršení podmínek ražby, vychýlení ve směru ražení – zlepšení podmínek ražby).

### **14.2 Monitoring přetvoření za obrysem díla (indikace rozvolněných zón)**

K monitoringu přetvoření uvnitř horninového masívu za obrysem díla jsou využívány především víceúrovňové extenzometry (viz. kap. 7. Extenzometrická měření). Extenzometry mohou být osazovány buď do vrtů vrtaných z tunelu, nebo do svislých vrtů, realizovaných z povrchu území nad mělkým tunelem. Tato extenzometrická měření realizovaná ve vrtech z povrchu lze pak dále využít i pro monitoring sedání povrchu a jejich výhodou je i to, že umožňují zachytit přetvárné procesy ještě před průchodem čelby.

### **14.3 Monitoring přetvoření před čelbou**

Posuny, které proběhly před samotnou čelbou, lze monitorovat např. víceúrovňovými extenzometry nebo klouzavým mikrometrem.

### **14.4 Monitoring zatížení výztuže**

K monitoringu tlaků na výztuž jsou nejčastěji využívány ploché tlakové buňky (viz. kap. 12. Monitoring napětí a sil ve výztuži), které jsou instalovány na kontakt mezi výztuží a horninou. Při jejich výběru a instalaci je nutno dodržovat všechny zásady, které platí pro měření napětí pomocí plochých dynamometrů.

### **14.5 Monitoring napětí ve výztuži**

Monitoring napětí ve výztuži lze provádět jak přímými tak i nepřímými metodami (viz. kap. 12. Monitoring napětí a sil ve výztuži). Tlakové podušky jsou instalovány přímo do betonu na různá místa po obvodu v radiálním i tangenciálním směru. Strunové deformometry jsou instalovány tak, aby jejich podélná osa byla kolmá k rovině, proložené měřeným průřezem. Pro zvýšení spolehlivosti monitoringu napětí je vhodné realizovat 5 - 7 monitorovacích měření v jednom měřícím profilu a kombinovat oba typy měření (přímé metody měření jsou obvykle méně spolehlivé a přesné). Přesnost nepřímých metod měření napětí závisí do značné míry na přesnosti stanovení modulu pružnosti materiálu výztuže.

### **14.6 Monitoring sil v kotvách**

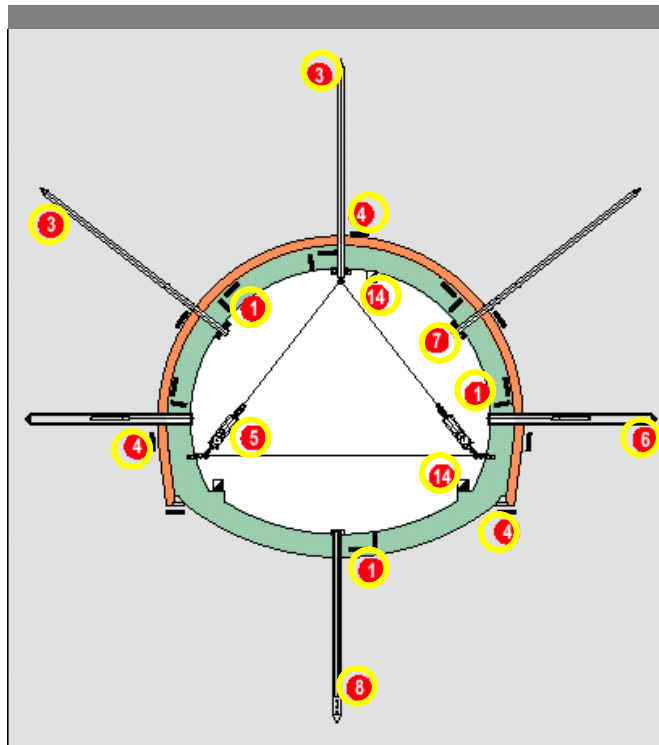
Monitoring kotevních sil se provádí s využitím prstencových dynamometrů (viz. kap. 12. Monitoring napětí a sil ve výztuži).

### **14.7 Monitoring podzemní vody**

Cílem monitoringu podzemních vod je jednak stanovit množství vody vytékající z tunelu po dobu výstavby, monitoring chemického složení podzemních vod a jejich teploty a měření tlaků podzemních vod a změn hladiny podzemních vod v okolí tunelu (viz. kap. 10. Piezometrická měření a kap. 11. Monitoring proudění vody).

### **14.8 Monitoring poklesů a jejich negativních projevů na povrchových objektech**

Monitoring poklesových kotlin jak v podélném směru tak i ve směru rovnoběžném s podélnou osou díla, je nejčastěji realizován přesnou nivelací (viz. kap. 9. Monitoring sedání), která může být doplněna i konvergenčním měřením (viz. kap. 4. Monitoringu konvergence). K monitoringu sedání lze využít i extenzometrická měření realizovaná z povrchu ve svislých vrtech. V objektech je pak možno dále využít hydrostatickou nivelaci (viz. kap. 9. Monitoring sedání), náklonoměry (viz. kap. 6. Náklonoměrná měření) a dilatometry (viz. kap. 5. Monitoring trhlin). Lokalizaci měřidel je nutno volit v závislosti na umístění stavebních objektů vzhledem k poklesové kotlině, dále je nutno zohlednit tvar a rozměry budov, charakter základů, materiál, z něhož je objekt postaven (zděné budovy se lépe přizpůsobují nerovnoměrným přetvořením než tuhé železobetonové konstrukce).



1- napěťové buňky v betonu

3- měřicí svorníky

4 – napěťové buňky na kontaktu horniny a výztuže (monitoring zatížení)

5 – pásmový konvergovometr

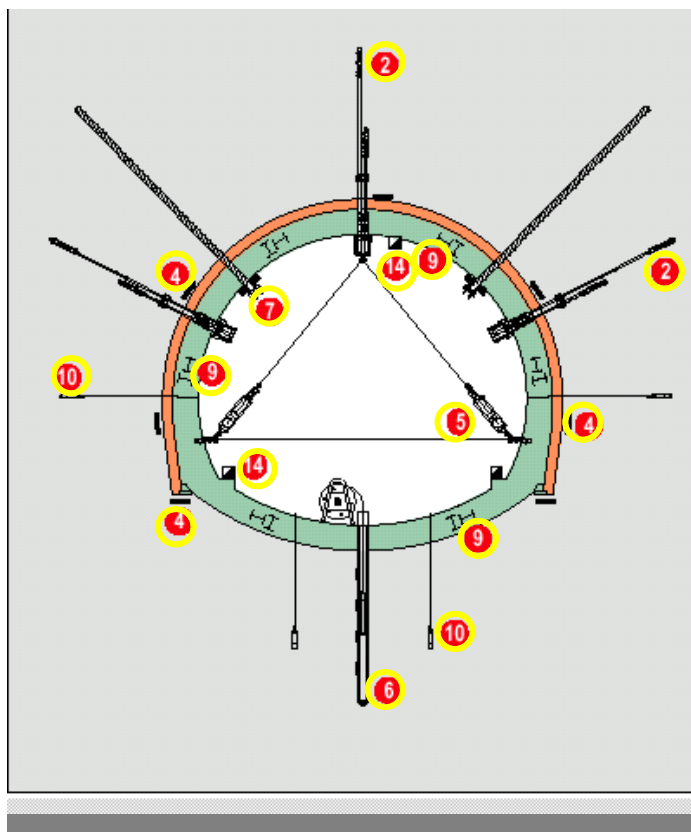
6- extenzometr

7- prstencový dynamometr pro monitoring osové síly ve svorníku

8- Cassagrandeho piezometr

14 – snímač vibrací

Obr. 14.2 - Příklad monitoringu tunelu  
(zdroj: www.sisgeo.com)



2- víceúrovňový extenzometr ve vrtu

4- napěťové buňky na kontaktu horniny s výztuží

5- pásmový konvergovometr

6- magnetický mobilní extenzometr

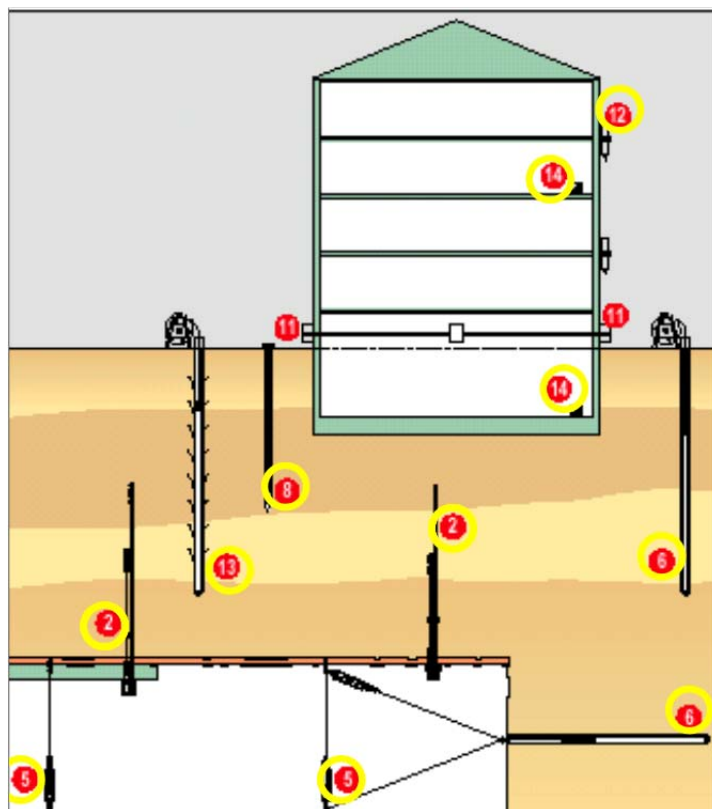
7- prstencový dynamometr pro monitoring osové síly ve svorníku

9- deformometr

10 – elektrický piezometr

14- snímač vibrací

Obr. 14.3 - Příklad monitoringu tunelu; (zdroj: www.sisgeo.com)



- 2- extenzometr ve vrtu
- 5- pásmový konvergometr
- 6- mobilní magnetický extenzometr
- 8 – Cassagrandeho piezometr
- 12 - náklonoměr
- 13 – snímač sedání
- 14 – snímač tlaku

Obr. 14.4 - Příklad monitoringu oblasti nad tunelem a před čelbou tunelu  
(zdroj:www.sisgeo.com)