

# **MECHANIKA HORNIN** **A ZEMIN**

podklady k přednáškám

**doc. Ing. Kořínek Robert, CSc.**

**Místnost: C 314**

**Telefon: 597 321 942**

**E-mail: robert.korinek@vsb.cz**

**Internetové stránky: [fast10.vsb.cz/korinek](http://fast10.vsb.cz/korinek)**

# Geotechnický monitoring

Podstatou geotechnického monitoringu je dohled a kontrola nad stavbou v horninovém masívu. Primárním cílem není stanovení vlastností horninového prostředí, jako je např. pevnost, propustnost, stlačitelnost apod., což je charakteristické pro laboratorní a polní zkoušky, ale primární podstatou geotechnického monitoringu je sledování napěťo-deformačních, silových a jiných projevů v horninovém prostředí a na konstrukcích, které s horninovým prostředím vzájemně spolupracují.

Geotechnický monitoring je součástí tzv. observačního způsobu realizace staveb, kdy se předběžný projekt stavby dále modifikuje a optimalizuje na základě provedených monitorovacích měření až v průběhu výstavby.

Kontrolní sledování je komplexem následujících činností:

- Geotechnická definice problému
- Stanovení cílů kontrolního sledování
- Instrumentace
- Vlastní monitoring
- Interpretace, včetně inverzní analýzy

## Způsoby monitorování

- vizuálně – získáváme převážně kvalitativní údaje, oko není dostatečně citlivé, nelze použít v nepřístupném terénu, nevyžaduje administrativní záležitosti
- pomocí přístrojů – získáváme jak kvantitativní tak i kvalitativní údaje, citlivější, možnost dálkového přenosu

## Základní principy měřících přístrojů

1.
  - nejjednodušší, nejpoužívanější, přesné; neumožňují dálkový přenos
  - pohybové detektory, konvergenční stojky, mechanické dynamometry
2.
  - Spolehlivé, umožňují obsáhnout za krátkou dobu velkou oblast
  - Konvenční zaměřovací technika (měřické pásmo, theodolit), fotogrametrická měření, systémy využívající modulované světlo nebo laserového paprsku promítnutého na odrazové terčičky upevněné na povrchu horniny nebo objektu)

3.

- Měření tlaku horniny, zeminy, vody pomocí hydraulického nebo pneumatického membránového pulzátoru (poddajná membrána)

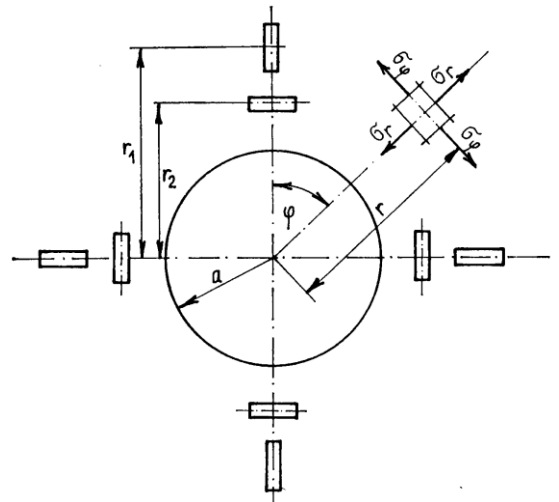
4.

## Monitoring původní napjatosti

Monitoring napětí v horninovém prostředí před narušením rovnováhy stavbou, primární napjatost značně ovlivňuje napěťo-deformační stav při realizaci stavby a po jejím ukončení.

### 1. Metody mechanické

- \_\_\_\_\_ – nepřímá metoda měření napětí (nutno znát přetvárné parametry prostředí). Metoda vychází ze sledování chování masívu během odvtání pokusného vrtu. Deformace snímají dvojice odporových tenzometrů, nalepených na horninu v oblasti ústí vrtu.
- \_\_\_\_\_ – přímá metoda; založena na principu plochých lisů (svažené ploché nádoby naplněné tekutinou).
- \_\_\_\_\_ - základem odlehčovacích metod je využití charakteristik pružného obnovení tvaru částí masívu po jeho oddělení od vlastního masívu
  - Odlehčením vrtného jádra
  - Odlehčením štolou



2. **Geofyzikální metody** - založeny na vyhodnocování šíření vln horninovém prostředí
3. \_\_\_\_\_ - stanovení na základě tlaku vody potřebného k vytvoření trhliny ve vrtu

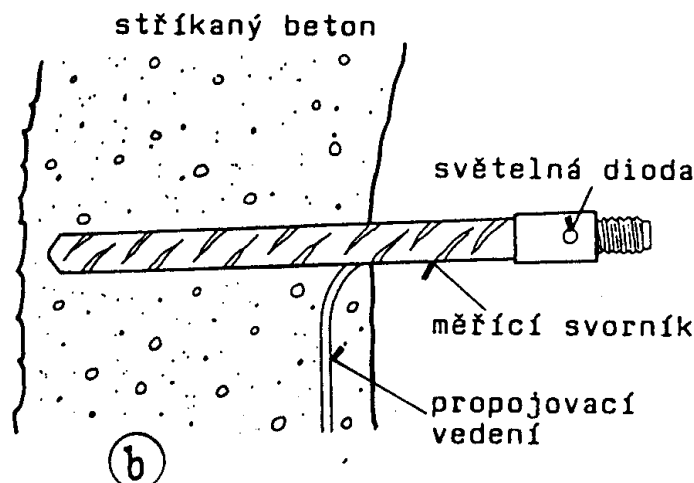
## Monitoring konvergence

Princip měření spočívá v měření změny vzdálenosti mezi dvěma body (krátkými svorníky), pevně fixovanými s okolním monitorovaným prostředím (hornina, výztuž díla). Změna vzdálenosti je proměřována **mechanicky** (pomocí ocelového pásma nebo teleskopické spojky), **opticky** (pomocí laserového paprsku).

## 1. Mechanické konvergenční měření

- \_\_\_\_\_.
- Konvergenční stojka
- Bassetův konvergenční systém - pracuje na základě vyhodnocení náklonů v ramenech instalovaných po obvodu díla.

2. \_\_\_\_\_ - využívá se optických dálkoměrů a totálních samočinných optických stanic, vyhodnocujících na základě optického principu pohyb indikačních bodů pevně umístěných v monitorovaném prostředí. Indikační body mohou mít různý charakter (světelné diody, odrazové terčíky). Měření je rychlé, přesné a spolehlivé. Moderní totální stanice umožňují automatické zaměřování, měření a zpracování výsledků měření a jejich dálkový přenos.

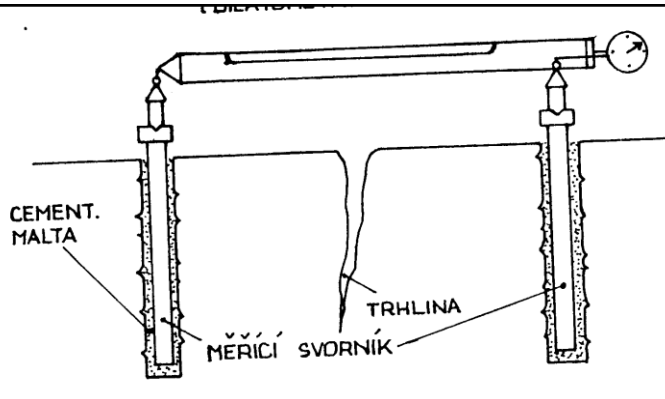


## Monitoring tvorby a šíření trhlin

V zásadě lze monitorovací přístupy tvorby a šíření trhlin rozdělit na dvě velké skupiny: vizuální kontrola a monitoring pomocí přístrojové techniky.

1. \_\_\_\_\_ - V nejjednodušším případě se celková délka každé pukliny označí barvou a vzory trhlin a poruch se vyznačí na profilech díla nebo stavby. Následně je pak vyhodnocován vznik nových poruch a rozvoj trhlin původně označených. Dalším způsobem vizuální kontroly je aplikace sádrových nebo skleněných destiček, které se upevní v místě trhliny silně adhézním lepidlem, a sleduje se jejich praskání a případný pohyb částí destiček.
2. \_\_\_\_\_ - Zařízení k monitoringu trhlin se obecně nazývají dilatometry. Obecně tato zařízení vyhodnocují změnu vzdálenosti dvou bodů (krátkých kotev) pevně spojených s okolním prostředím a lokalizovaných v nejjednodušším případě na protilehlých stranách trhliny. Hlavy krátkých kotev jsou

upraveny pro upevnění samotného měřidla (např. pro našroubování). Způsob vyhodnocení změny vzdálenosti bodů může být buď mechanický (mechanický dilatometr) nebo elektrický s využitím strunových tenzometrů (elektrický dilatometr). Dilatometry lze monitorovat jak uzavírání, tak i rozevírání trhlin. Některé dilatometry mohou být vybaveny i vodováhou, umožňující snímat i vertikální pohyby, a dále teplotním senzorem, umožňující minimalizovat vliv tepelné roztažnosti



## Náklonoměrná měření

Náklonoměrná měření monitorují případné změny sklonu díla, stavby, povrchu masívu a jiných objektů. Pomocí těchto měření lze ověřovat svislost vysokých stěn nebo objektů, zvedání horizontálních povrchů masívu nebo objektů, k posuzování klopení skalních bloků apod.

## Extenzometrická měření ve vrtech

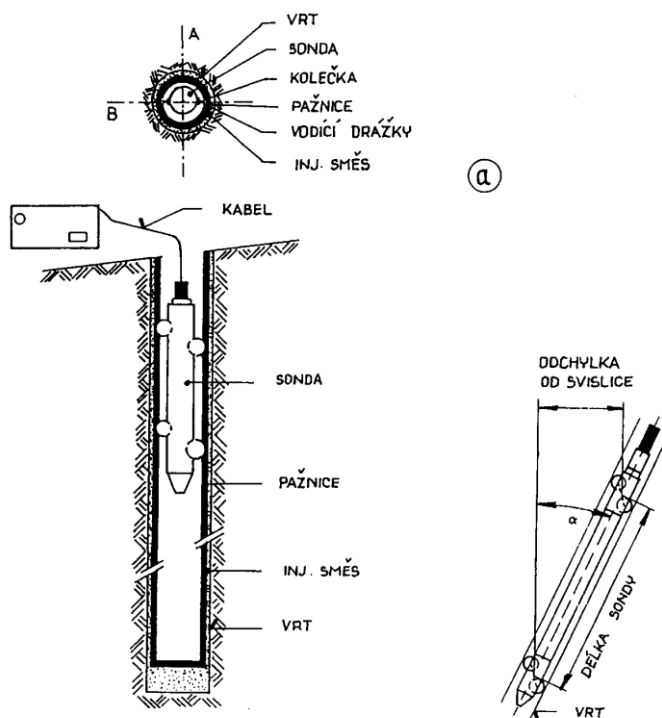
Extenzometry jsou zařízení k monitoringu posunů uvnitř horninového prostředí, a to ve směru osy vrtu. Základním principem je měření změny polohy hlavy extenzometru vůči kotvě.

Extenzometry mohou být buď \_\_\_\_\_, mající pouze jeden kotevní bod v určité \_\_\_\_\_ úrovni, nebo \_\_\_\_\_, mající několik kotevních bodů v různých hloubkových úrovních.

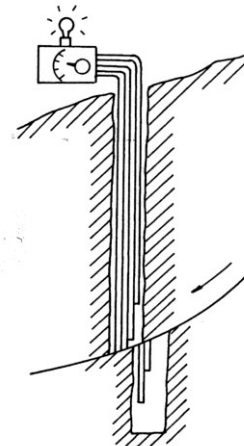
Extenzometry lze využít k monitoringu přetvárných projevů v okolí ražených podzemních děl, k monitoringu sedání, ke sledování pohybů v podzákladí, za opěrnými konstrukcemi a ve svahových tělesech. Víceúrovňové extenzometry lze využít při vhodné rozteči kotev i k lokalizaci smykových ploch.

## Monitoring smykových ploch

1. \_\_\_\_\_ - Inklinometrická měření slouží obecně k vyhodnocení posunů kolmo k ose vrtu. Jedná se o nejčastěji používaný typ monitorovacích měření pro vyhodnocení vodorovných posunů v horninovém masívu. Základní součástí tohoto typu měření je inklinometrická sonda, v níž je umístěn citlivý náklonoměr. Sonda se pohybuje vrtem, který je osazen zainjektovanou obvykle plastovou pažnicí se dvěma dvojicemi drážek ve dvou navzájem kolmých směrech (drážky zajišťují orientaci sondy). Při vlastním měření se sonda spustí až na dno vrtu, které musí být lokalizováno v již klidové oblasti, a postupně je vytahována směrem nahoru vždy o úsek odpovídající délce sondy. V každé poloze sondy je primárně vyhodnocován náklon od svislice a na základě znalosti délky sondy je pak přepočítáván vodorovný posun



2. \_\_\_\_\_ - Křehké páskové vodiče slouží k indikaci hloubky, v níž došlo k posunutí horniny. Nelze tímto zařízením kvantifikovat velikosti posunů na příslušné smykové ploše. Zařízení je tvořeno páskovými vodiči, které obsahují 10 až 20 tenkých křehkých drátků (velmi nízká průtažnost) uložených v polyetylenovém pásku. Propojením jednotlivých drátků se vytvoří v závislosti na očekávané poloze smykové plochy systém různě dlouhých elektrických obvodů. Vodič se spustí do nezainjektovaného vrtu, zalije se cementovou zálivkou. Při příčném posunu v oblasti smykové plochy dojde k porušení zálivky a k přerušení všech elektrických obvodů, které zasahují pod smykovou plochu. Proměřováním vodivosti jednotlivých obvodů lze určit místo přerušení, přesnost lokalizace je předurčena vzdáleností můstků v křehkém vodiči.



3. \_\_\_\_\_ (klouzavý mikrometr) - Vrt o průměru 75 až 100 mm je vystrojen pažnicí s průběžnými drážkami, umožňujícími orientované protahování sondy. V pažnici jsou ve vzdálenosti 1 m pevně fixovány měřické značky. Sonda je protahována vrtem zespoda nahoru, rozepře se vždy mezi dvěma měřickými značkami a indikuje změnu vzdálenosti dvou sousedních měřických značek
4. **Systém** \_\_\_\_\_ (spojení eztenzometru s inklinometrem) - jedná se o monitorovací zařízení švýcarské firmy Trivec, umožňující monitorovat posuny ve třech na sebe kolmých směrech. V principu se jedná o sloučení inklinometru s klouzavým mikrometrem do jedné měřicí sondy. Měřické body, jejichž pohyb je monitorován, jsou fixovány v pravidelných intervalech v pažnici vrtu. Při průchodu sondy pažnicí jsou vyhodnocovány: změna vzdálenosti mezi měřickými body mikrometrem a změna vychýlení osy vrtu v úseku vymezeném měřickými body inklinometrem.

## Monitoring sedání

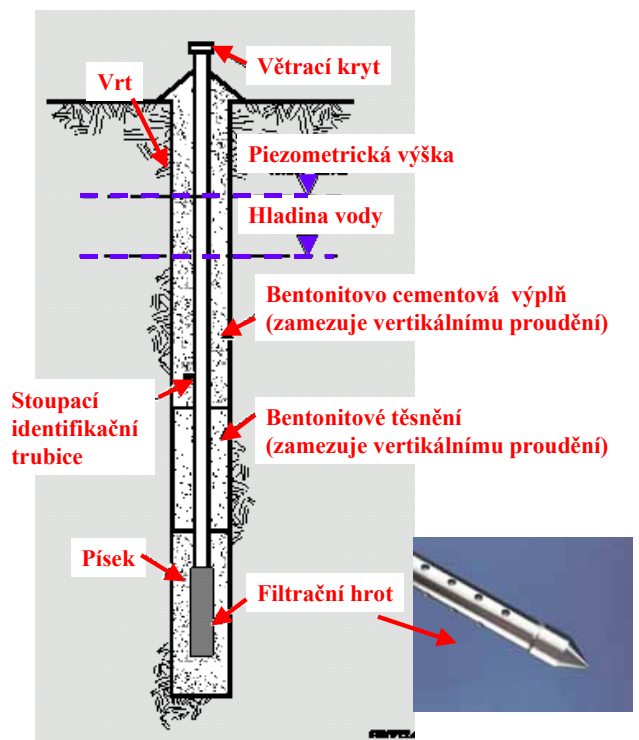
- Geodetické metody** - nejobvyklejší způsob monitoringu posuvů na povrchu terénu, kdy jsou sledovány polohové změny sítě stabilizovaných bodů. Mezi nejčastěji používané geodetické metody patří klasická nivelace a měření totálními optickými stanicemi.
- Horizontální inklinometr** - horizontální inklinometr je tvořen modifikovanou inklinometrickou sondou, pracující analogicky jako klasický inklinometr na principu

elektronického kyvadla. Sonda je v tomto případě protahována horizontálně uloženou pažnicí s vodícími drážkami a je proměřován úklon od horizontály. Na základě tohoto vyhodnoceného úklonu je pak přepočítávána hodnota sedání.

3. \_\_\_\_\_ - Jedná se o zařízení pracující na principu spojených nádob, které jsou umístěny na různých místech monitorovaného terénu popř. konstrukce. Hydrostatická nivelace se často uplatňuje při monitoringu průběhu sedání pod násypy.
4. **Elektrický snímač sedání** - Elektrický snímač sedání je tvořen snímačem tlaku, který je potrubím z umělé hmoty plněn kapalinou, a měřicí centrálou, instalovanou na stabilním místě (nebo sledovanou nivelací). Při sedání snímače dochází při konstantní výšce hladiny v měřicí centrále ke změně tlaku kapaliny. Tato změna tlaku je měřena a přepočítávána na hodnotu sedání.

## Monitoring pórových tlaků

1. **Otevřený** \_\_\_\_\_ -  
 Princip otevřených piezometrů spočívá v monitoringu výšky hladiny podzemní vody. Používají se především v propustných a středně propustných zeminách, v málo propustných zeminách je reakce na změnu tlaku velmi pomalá. Otevřený piezometr je tvořen stoupačí identifikační trubicí, umístěnou ve vrtu, která je na svém konci opatřena filtračním hrotem. Délka hrotu se odvíjí od propustnosti zeminy. čím je zemina méně propustná, tím delší by měla být tato perforovaná koncovka. Tato koncovka je v místě monitorovaného horizontu obsypaná pískem, nad tímto horizontem je bentonitové těsnění, zamezující vertikálnímu proudění. Výška hladiny podzemní vody je proměřována sondou se světelnou nebo zvukovou signalizací.



2. **Uzavřené piezometry**
  - \_\_\_\_\_ **uzavřený piezometr** - \_\_\_\_\_ piezometr je založen na vyhodnocení tlaku vody na membránu čidla, umístěného přímo v tělese piezometru. Tento monitorovaný vnější tlak je vyrovnáván z druhé strany membrány tlakem zajišťujícím původní rovnovážnou polohu membrány. Tento vyrovnávací tlak je pak roven tlaku pórovému
  - \_\_\_\_\_ **uzavřený piezometr** - Stejně jako v případě pneumatického piezometru je uvnitř těla piezometru umístěna membrána, k



níž je však v tomto případě přichycena kmitající struna. Změna frekvence struny indikuje průhyb membrány, z něhož je vyhodnocována velikost tlaku na membránu. Výhodou je vysoká přesnost a možnost okamžitého měření (není nutno čekat na ustálení tlaků jako v případě pneumatického piezometru), nevýhodou je vyšší technická náročnost a z toho vyplývající vyšší cena.

- \_\_\_\_\_ **uzavřený piezometr** - Membrána uvnitř těla piezometru je opatřena odporovými tenzometry, které mění svůj odpor v závislosti na průhybu membrány.

Piezometry mohou být buď přímo zatlačovány do zeminy, nebo jsou osazovány do vrtu. Pro aplikaci zatlačováním jsou zejména v neporušených soudržných zeminách piezometry opatřené hrotem, piezometry bez hrotu jsou určeny pro aplikaci ve vrtu.

Aplikace:

## Monitoring proudění vody

1. **Metoda hydroizohyps** - nejrozšířenější klasická metoda pro monitoring směrů proudění podzemní vody. Výchozím předpokladem je znalost výšek hladin podzemní vody ve více vrtech, které pokrývají danou monitorovanou oblast. Interpolací výšek hladin v jednotlivých vrtech se konstruuje mapa hydroizohyps (spojnice míst se stejnou výškou hladiny podzemní vody) a směr proudění je pak kolmý k získaným hladinovým čarám.
2. **Metody založené na měření \_\_\_\_\_ a teploty podzemních vod** - základem metody je stanovení hloubkové závislosti mineralizace podzemní vody (vymezení propustnějších horizontů) na základě geofyzikálních měření přírodní elektrické vodivosti ve vrtech. V případech, kdy se do přírodního režimu podzemních vod dostává voda odlišné teploty (např. v důsledku technologických procesů), má určující charakter i teplota podzemní vody.
3. **Metody \_\_\_\_\_** - základní myšlenkou je, že radioaktivní indikátor (gama zářič) zavedený do vrtu pod hladinu podzemní vody, bude ve směru proudění vody způsobovat zvýšenou četnost impulsů na stěnách vrtu.
4. **Metody \_\_\_\_\_** - \_\_\_\_\_ metody jsou založeny na vyhodnocení množství indikátoru (obvykle barvivo výrazné barvy), který je roznášen vodou z nálevného vrtu do vrtů pozorovacích.

## Monitoring napětí a sil

1. **Měření přímá pomocí dynamometrů** – měří se přímo napětí
  - \_\_\_\_\_ dynamometry (ploché tlakové buňky – tlakové podušky)
  - Válcové dynamometry (k monitoringu napětí v násypch, výsypkách, hrázích – spolu s tlakovými buňkami)

- \_\_\_\_\_ dynamometry (monitoring osových sil v kotvách)
  - Kulové snímače napětí (monitoring napětí v rozsáhlých svahových tělesech)
- 2. Měření nepřímá pomocí deformometrů** - Nepřímá měření napětí jsou založena primárně na měření přetvoření materiálu, z něhož pak na základě znalosti modulu pružnosti monitorovaného materiálu vyhodnocujeme odpovídající napětí. Obvykle jsou využívány strunové deformometry, mající tvar kovových válečků, v nichž je napnuta kmitající struna.

## Monitoring seismických účinků

Cílem monitoringu seismických účinků je posouzení vlivu krátkodobých i dlouhodobých dynamických účinků na objekty a okolní prostředí. Dynamické účinky mohou být vyvolány přirozeným zemětřesením, \_\_\_\_\_.

Z hlediska monitoringu seismických účinků je třeba oddělit dvě báze: báze epicentra vlny, v níž vlna vzniká a z níž se šíří a báze registrační, která hodnotí účinek vlny na určitém místě. V registrační bázi se nejčastěji sledují: amplituda seismické vlny, frekvence kmitání, rychlost popř. zrychlení kmitání, akustický tlak u trhacích prací na povrchu.