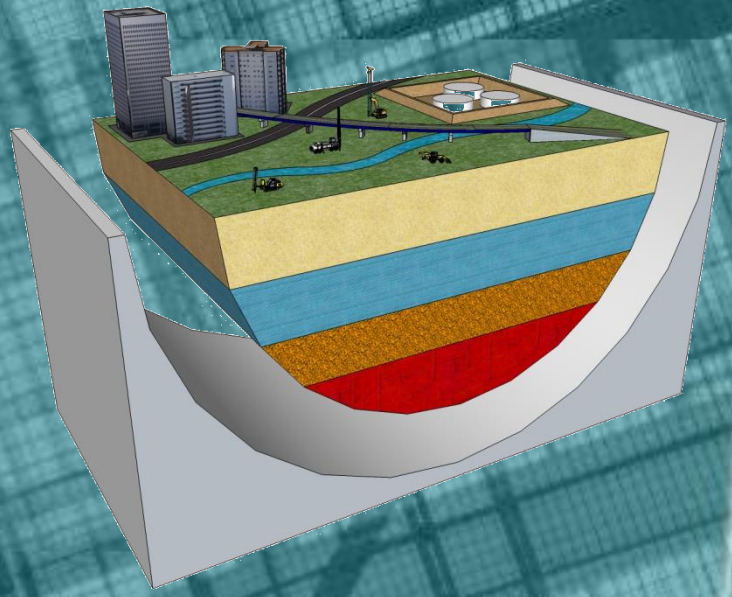


Pokročilá inženýrská geologie

GA251 – jarní semestr 2019

GEOTECHNICKÝ MONITORING

Podstata geotechnického monitoringu

- 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.

Funkce monitorování

- Monitoring může prostupovat všemi fázemi realizace výstavby a následného provozu stavby a z této skutečnosti plynou následující základní funkce monitorování:
  - zaznamenání přirozených poměrů a změn v horninovém prostředí před zahájením stavby (primární napjatost, pohyby, lokalizaci hladiny podzemní vody a její kolísání, seismické poměry apod.)
  - zajištění bezpečnosti během stavby – varování před pádem horniny, sesuvem nebo zavalením, upozornění na změny tlaku podzemní vody, kontrola zatížení výztuže, získávání informací o přetváření za obrysem díla, stanovování tzv. varovných stavů
  - kontrola údajů a předpokladů projektu – monitoring zatížení a tlaků na výztuž, záznam změn tlaku podloží a pohybů výztuže díla
  - kontrola úspěšnosti úpravy horninového prostředí – úspěšnost injektáže, odvodnění, kotvení, kontrola snižování teplot při zmrazování apod.

Varovné stavy

- Varovným stavem ve vývoji chování horninového prostředí rozumíme takovou kvalitativní změnu v jeho chování, která vyžaduje pro zajištění bezpečnosti přijetí určitých technicko-ekonomických opatření. Těmito opatřeními mohou být úpravy původního projektu, včetně modifikace technologie a odpovídajícího časového rozfázování realizace stavby, modifikace samotného monitorovacího projektu (např. zvýšení počtu monitorovacích zařízení, četnosti měření), přijetí odpovídajících sanačních opatření, popř. i okamžité zastavení prací a realizace předem připraveného havarijního plánu . Rozsah a charakter přijímaných opatření závisí na dosaženém stupni varovného stavu, který je indikován geotechnickým monitoringem. Každý stupeň varovného stavu je charakterizován určitými exaktně nebo empiricky stanovenými hodnotami monitorovaných fyzikálních veličin (velikosti posunů, jejich rychlostí, pórových tlaků apod.) – kritéria varovných stavů.

Varovné stavy

- Ve stavu klidu, kdy se monitorované hodnoty prakticky nemění , je třeba prověřit, zda nedošlo k poruše nebo zničení měřidla. Stav, který představuje přípustné změny v chování horninového prostředí neohrožující aktuálně jeho stabilitu , je tzv. stav přípustných změn. Kritický varovný stav pak indikuje zvyšující se stabilitní problémy v horninovém prostředí, nejvyšší stupeň varovného stavu - mezní varovný stav představuje riziko rychlé ztráty stability spojené s nepřijatelným rozsahem i rychlostí přetváření. Přehled varovných stavů a jejich charakteristik, včetně návrhů organizačních, technologických a monitorovacích opatření při dosažení příslušného stupně varovného stavu
- Včasná a objektivní indikace výše uvedených stupňů varovných stavů je úzce spojena se všemi optimalizačními hledisky geotechnického monitoringu, ke stanovení odpovídajících kvantitativních kritérií stupňů varovných stavů je pak efektivní využít výsledků vhodně voleného matematického modelu.
- S využitím výsledků spolehlivého, objektivního monitoringu, jehož výsledky reálně odrážejí chování horninového prostředí , lze za předpokladu přijetí adekvátních účinných opatření na nižších stupních varovných stavů podstatně omezit možnost dosažení kritického popř. mezního varovného stavu se všemi jeho negativními důsledky.

tabulka - Varovné stavy a jejich charakteristiky

stupeň varovného stavu	cíl monitoringu	popis projevů chování hornin a tunelového ostění	kritéria varovných stavů	opatření			kompetence
				měření	organizační	technologická	
stav vysoké míry bezpečnosti	omezení ekonomické náročnosti prací a udržení hodnot	klid, čelba stabilní	pod 60% A	v nejužším rozsahu	žádná	možnost omezení zvláštních technologických opatření z projektu	
stav přípustných změn	porovnání předpokladů projektu se skutečností	deformace odpovídají projektu, čelba stabilní	nad 60% A	podle projektu	žádná	podle projektu; menší úpravy z nabídky projektu	
stav mezní přijatelnosti	zamezení chování masivu vynucujícího si mimořádné opatření	deformace dosud odpovídají projektu s rizikem vývoje ke kritickému stavu, čelba dosud stabilní	A	zvýšená četnost měření; nové druhy měření	zkrácení časů pro rozhodování	technologická opatření z nabídky projektu; vícepráce v minimálním rozsahu	návrh dodavatel; odsouhlasení z hlediska kvality a financování investor
kritický stav	zamezení vzniku havarijní situace	limitní deformace s rizikem vývoje k havarijnímu stavu, vyjíždění bloků z čelby, vznik trhlin v ostění	125% A	ještě vyšší četnost měření; nové druhy měření	zkrácení časů pro rozhodování	technologická opatření projektem pro daný úsek neuvažovaná; vícepráce ve větším rozsahu	návrh dodavatel; odsouhlasení z hlediska kvality a financování investor
havarijní stav	minimalizace škod; ochrana životů	mimořádná situace, destrukce čelby	Vyhláška ČBÚ*	ve smyslu schváleného havarijního plánu			stavba; OBÚ

* výrazné zrychlení deformací směřující ke ztrátě stability

A ..... Meze varovných stavů nastavené projektem (RDS) dle statického výpočtu

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 měřené veličiny

- Síly, napětí, pórové tlaky vody a hydrostatický tlak vody, posuvy či přetvoření ať už na povrchu, nebo uvnitř horninového masivu náklony a některé zvláštní veličiny jako např. seismicita, geoakustické jevy, přítomnost radonu, změny v chemismu vody atp. Někdy je třeba měřit teplotu a vlhkost

Základní součásti měřících přístrojů

- Obvykle se každý přístroj skládá z následujících základních částí:
  - snímací část (detektor) – měří daný údaj
  - přenášecí část – slouží k přenosu naměřeného údaje na místo odečítání
  - odečítací jednotka – číslicové nebo grafické zobrazovací zařízení, sledování může být buď kontinuální nebo v diskrétních intervalech

Popis měřících přístrojů

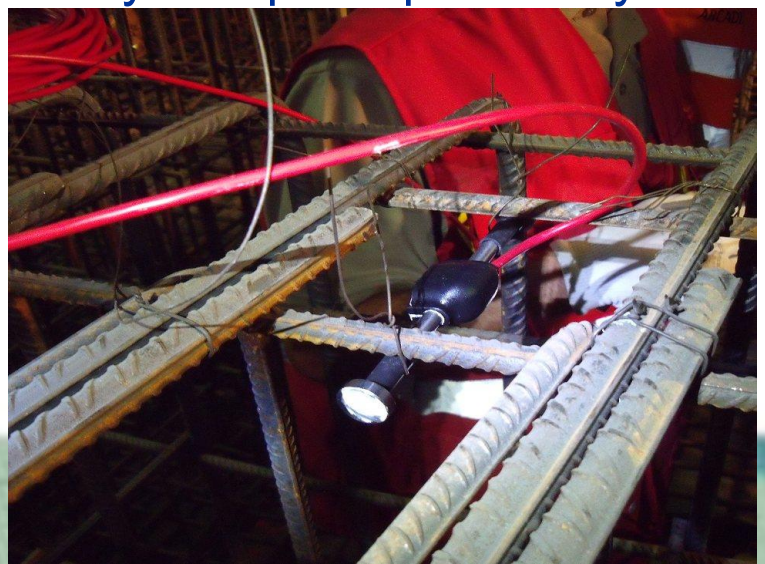
- Každé zařízení má konstrukční části a pak čidlo, které změny měřené veličiny měří
- Někdy se měří veličina přímo (délky), jindy zprostředkovaně (síla prostřednictvím přetvoření měřícího prvku
- Pro zprostředkovaná měření se obvykle používají elektrická čidla
  - Indukční čidla
  - Strunové měřidla
  - Odporová tenzometrická čidla
  - Křemíková (polovodičová) čidla

Indukční čidla

- Používají se k velmi přesným měřením posuvů
- Jsou založena na principu změny elektrického pole při pohybu jádra v elektrické cívce

Strunová měřidla

- Zaznamenávají změny kmitočtu předepnuté struny
- Ta se rozkmitává vždy stejným impulsem a její kmitočet je funkcí napětí ve struně, které se mění v důsledku přetvoření
- Ty jsou buď cílem měření, nebo zprostředkovávají měření jiné veličiny – např. napětí či síly



Odporová tenzometrická čidla

- Měří změny elektrického odporu při protažení velmi tenkých drátků, které vytváří elektrický obvod v tenzometrech
- Zpravidla se lepí přímo na zvlášť ošetřený povrch měřené kostrukce nebo horniny

Křemíková čidla

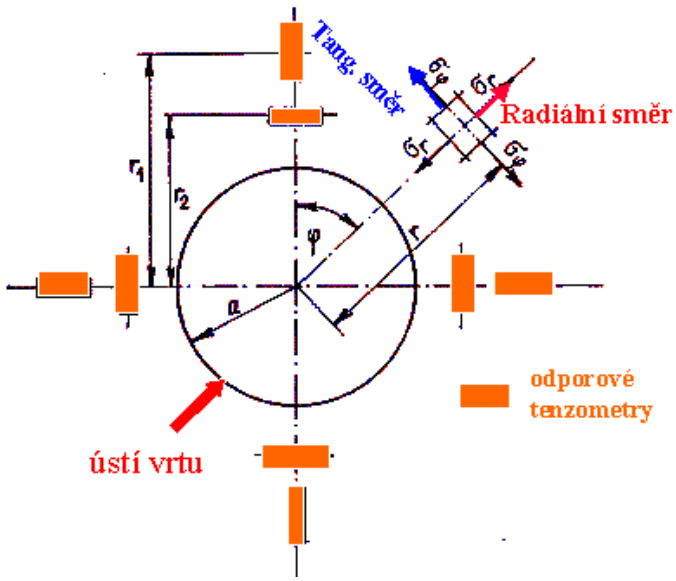
- V těchto čidlech se tlak kapalinového média převádí prostřednictvím polovodičů na elektrický signál
- Používají se především pro měření napětí v tlakových poduškách

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.
- Základní způsoby monitoringu původní napjatosti:
  - **mechanické:**
    - deformační
    - kompenzační
    - odlehčovací
  - **geofyzikální** – založena na vyhodnocování šíření vln horninovým prostředím
  - **hydrofracturing** – stanovení na základě tlaku vody potřebného k vytvoření trhliny ve vrtu

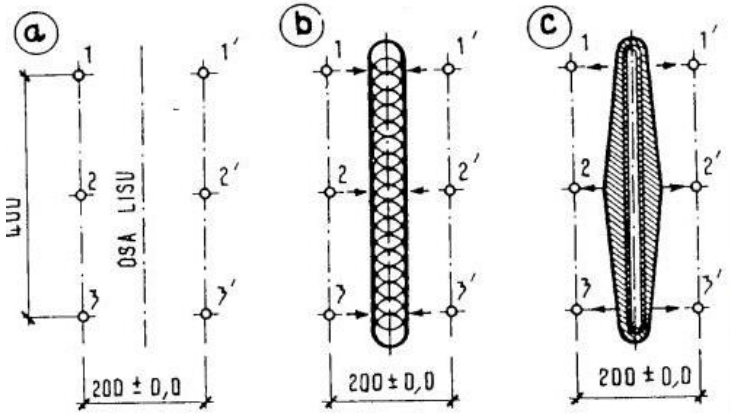
Deformační mechanické metody stanovení primární napjatosti

- Jedná se o nepřímou metodu měření napjatosti, předpokladem pro její využití je tedy znalost přetvárných parametrů monitorovaného prostředí (hlavní nevýhoda). Metoda vychází ze sledování chování masívu během odvrtání pokusného vrtu. Deformace snímají dvojice odporových tenzometrů, nalepených na horninu v oblasti ústí vrtu.



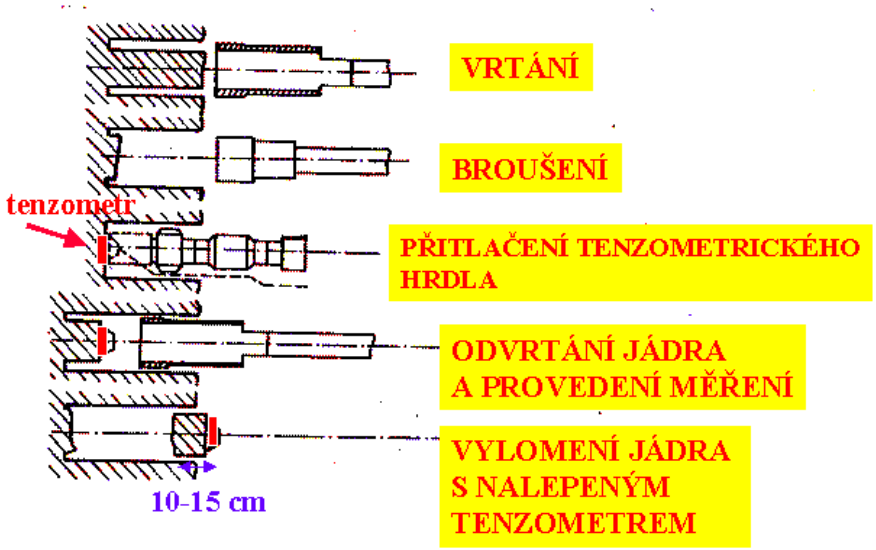
Deformační mechanické metody stanovení primární napjatosti

- Jedná se o přímou metodu monitoringu primární napjatosti, není tedy nutno znát přetvárné parametry prostředí: Je založena na principu plochých lisů (svařené ploché nádoby naplněné tekutinou).
- Monitorovací postup:
  1. přesná indikace dvojic měřících bodů před odvrtáním rýhy
  2. odvrtání rýhy šířky cca 20 cm a délky cca 40 cm, odvrtání způsobí pohyb indikovaných dvojic bodů směrem k sobě
  3. vložení plochého lisu do rýhy a zvyšování tlaku v lisu až k hodnotě, která odpovídá lokalizaci dvojic bodů na jejich výchozí pozici před odvrtáním rýhy
- Z uvedeného principu měření vyplývá, že tato metoda není vhodná v případě tahového napětí (body se od sebe oddalují)



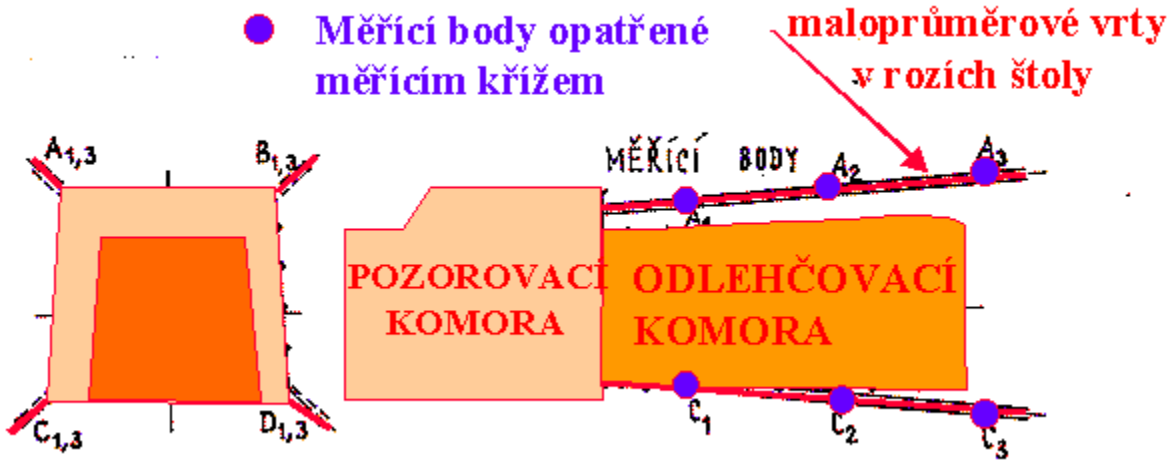
Odlehčovací mechanické metody stanovení primární napjatosti - Měření odlehčením vrtného jádra

- Realizuje se jádrový vrt, po jeho odvrtání se na dno vrtu osadí růžice odporových tenzometrů. Následuje měření a snímání údajů tenzometrů při plynulém odvrtání do hloubky cca 10-15 cm. Jistou nevýhodou je nutnost znát přetvárné charakteristiky E, μ monitorovaného prostředí, které se stanoví z vylomeného jádra.



Odlehčovací mechanické metody stanovení primární napjatosti - Měření odlehčením štolou

- Metoda předpokádá odvrtání čtyř maloprůměrových vrtů v rozích štoly ve směru ražení štoly, odkloněných od podélné osy štoly o 5°až 10°. Do vrtů jsou osazeny měřící kříže, které jsou geodeticky zaměřeny. Další postup spočívá ve sledování pohybů měřících křížů, a tomu odpovídajícího průběhu posunů do uvolněného prostoru vzniklého v důsledku dalšího ražení štoly. Prostorové uspořádání tohoto měření je velmi náročné.



MONITORING KONVERGENCE

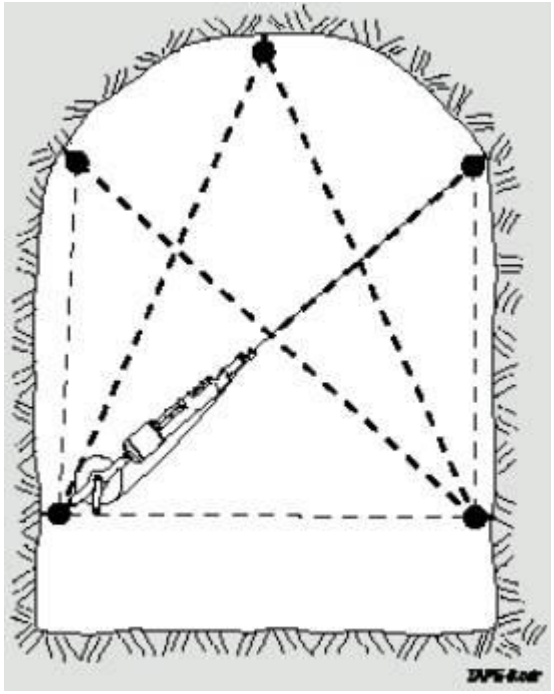
- Princip měření spočívá v měření změny vzdálenosti mezi dvěma body (krátkými svorníky) , pevně fixovanými s okolním monitorovaným prostředím (hornina, výztuž díla). Změna vzdálenosti je proměřována několika způsoby:
  - mechanicky – pomocí ocelového měřícího pásma nebo teleskopické stojky
  - opticky – vyhodnocením pomocí laserového paprsku

Mechanická konvergenční měření - Pásmový konvergometr

- Pásmový konvergometr , někdy nazývaný též pásmový extenzometr, se skládá z několika základních částí:
  - ocelové měřické pásmo z invarové oceli
  - napínací zařízení (pružina se siloměrem zajišťující identické napnutí pásma)
  - navíjecí cívka pásma
  - aretace
  - měřící indikátorové hodinky
  - uchycovací zařízení pro připojení k pevně fixovaným bodům (kulový šroub, ocelová karabina)

Mechanická konvergenční měření - Pásmový konvergometr

- Pevně osazené svorníky s možností uchycení samotného konvergometru (kulové zhlaví, ocelové očko) jsou pevně zacementovány v okolním prostředí a jsou obvykle orientovány tak, že směr měřického pásma mezi nimi indikuje směr očekávaných pohybů.
- Přesnost měření uváděná výrobci pásmových konvergometrů cca 0.05 mm, tato monitorovací měření však neumožňují průběžný automatický záznam dat.

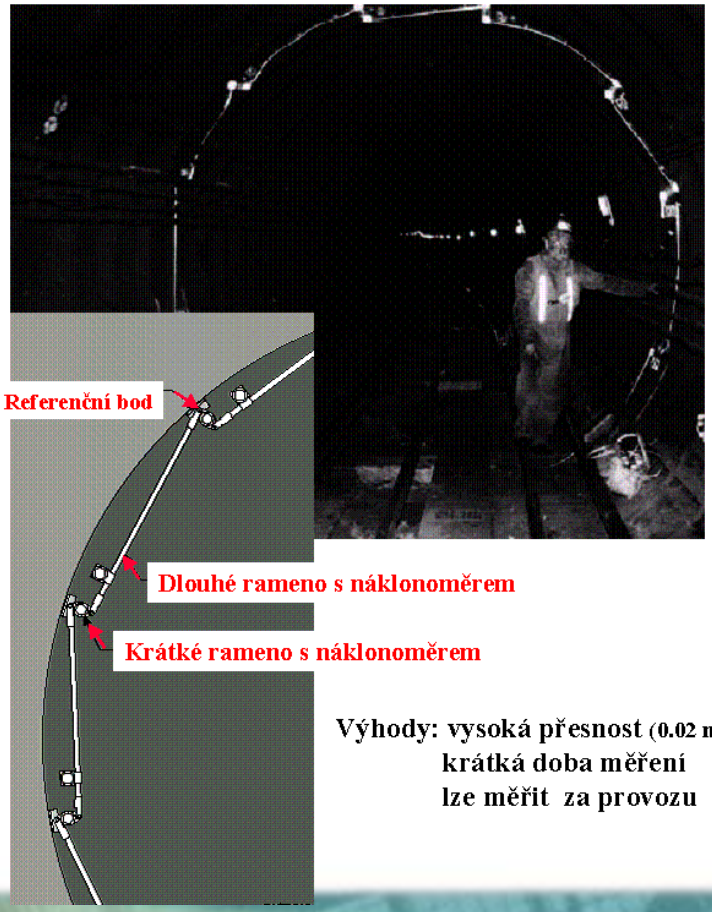


Mechanická konvergenční měření - Konvergenční stojka

- Vlastním monitorovacím zařízením je teleskopická tyč. Používá se především při proměřování kratších vzdáleností (cca 3 m) obvykle ve svislém směru.

Mechanická konvergenční měření - Bassetův konvergenční systém

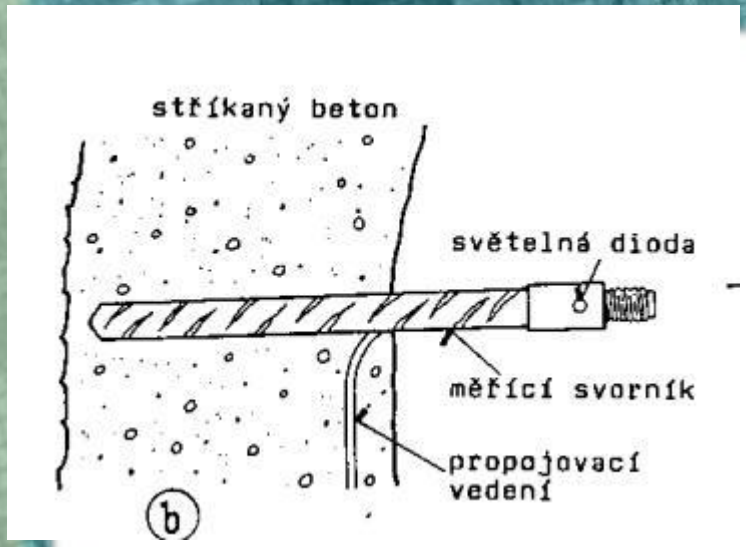
- Pracuje na základě vyhodnocení náklonů v ramenech instalovaných po obvodu díla.

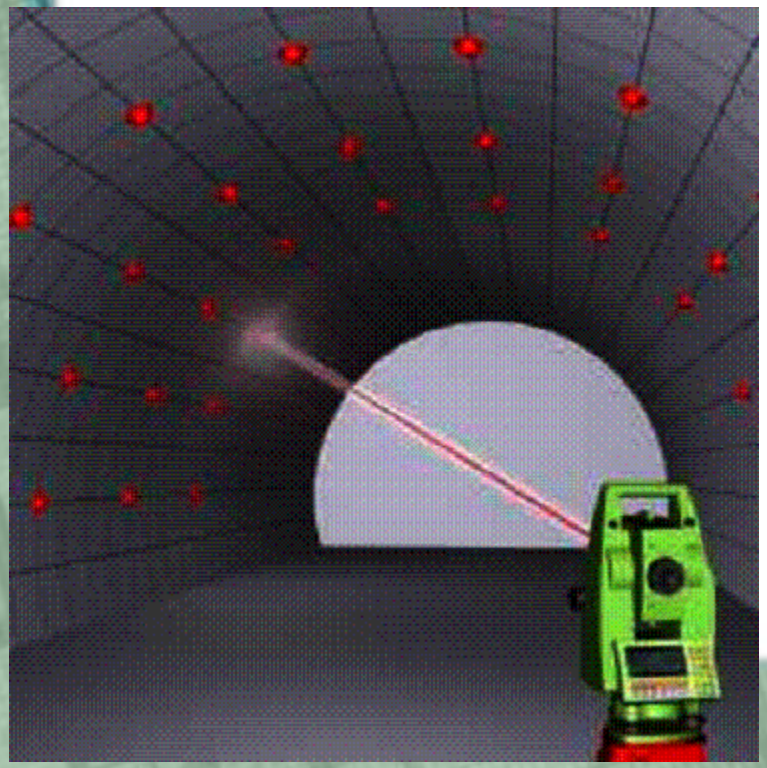


Výhody: vysoká přesnost (0.02 mm)
krátká doba měření
lze měřit za provozu

Optická konvergenční měření

- 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.


stříkaný beton
světelná dioda
měřící svorník
propojovací vedení
b



insel
insel

MONITORING TVORBY A ŠÍŘENÍ TRHLIN A PORUCH

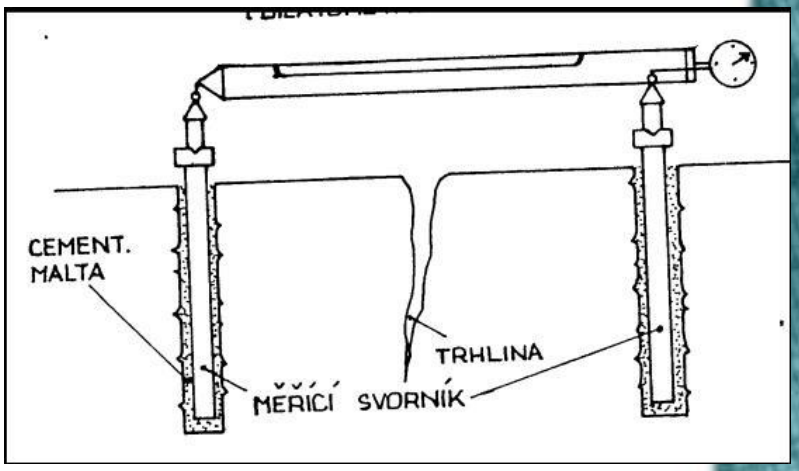
- V zásadě lze rozdělit monitorovací přístupy tvorby a šíření trhlin na dvě velké skupiny:
  - vizuální kontrola
  - monitoring pomocí přístrojové techniky

Vizuální kontrola

- 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.

Monitoring trhlin pomocí přístrojů

- 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..



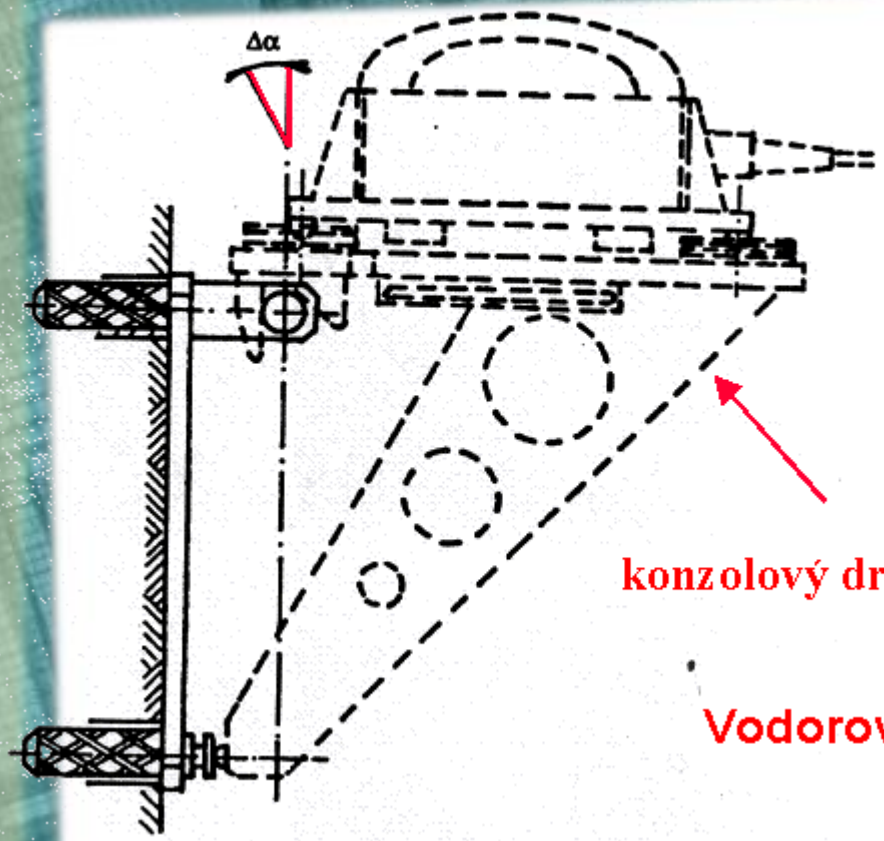
NÁKLONOMĚRNÁ MĚŘENÍ

- 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.
- Z hlediska režimu měření může být náklonoměr konstruován jako:
  - přenosný
  - Stabilní
- Z hlediska monitorovacího principu pak rozlišujeme dva základní typy náklonoměrů:
  - mechanický
  - strunový

Přenosné náklonoměry

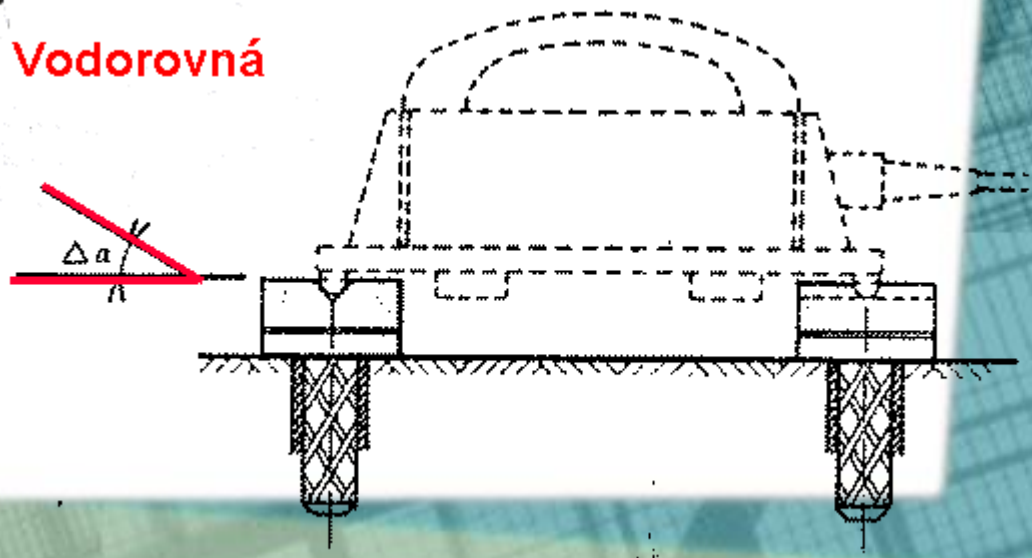
- Běžný typ přenosného náklonoměru se skládá ze stojanu se zavěšeným závažím, podstavné destičky a odečítací jednotky. Destička bývá vyrobena z bronzu nebo keramiky, což zaručuje inertnost vůči teplotním změnám. Podkladní destička je opatřena drážkami zajišťující stejnou polohu náklonoměru. Destička se přibetonuje nebo přišroubuje na monitorovaný podklad (skalní podloží, referenční blok v zemině, konstrukci apod.) a se na ni v určitých intervalech nasazuje samotné měřící zařízení. Tento typ náklonoměru poskytuje diskrétní hodnoty náklonů.

Svislá díla



konzolový držák

Vodorovná



Stabilní náklonoměry

- Síly lze nejlépe měřit ocelovými mechanickými třmeny
- Tímto se často měřily přímá měření sil v laboratořích či při polních zkouškách
- Podstata spočívá v měření přetvoření třmenu v závislosti na vyvozeném tlaku. Měří se přímo číselníkovými úchylkoměry
- Ze závislosti mezi přetvoření a tlakem se odečitá kalibrační velikost působící síly

Mechanický typ náklonoměru

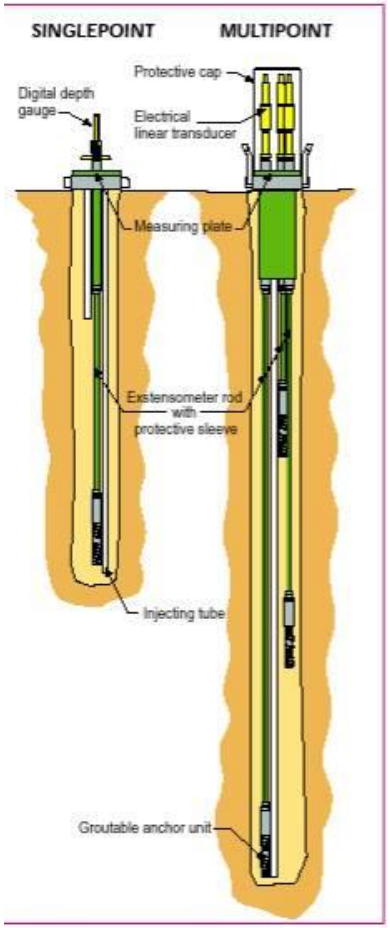
- Jedná se o nejjednodušší typ náklonoměru. Jedná se o nosník s libelou, který je přiložen na krátké referenční kotvy s kulovou koncovkou pevně lokalizované v monitorovaném prostředí. Na jednom konci nosníku v místě referenční kotvy je umístěno vyrovnávací zařízení pro lokalizaci horizontální polohy nosníku. S tímto vyrovnávacím zařízením jsou pak spojeny indikátorové hodinky, kvantifikující vertikální pohyb nutný pro zachování nosníku v horizontální poloze. Kotvy musí být umístěny tak, aby libela v počátečním referenčním čase indikovala horizontální polohu nosníku. Přesnost závisí na délce měřícího nosníku, pro nosníky délky 200 mm je udávaná přesnost +-0.013 mm, pro délky 900 mm se přesnost snižuje na +-0.13 mm.

Strunový typ náklonoměru

- Strunové typy náklonoměrů využívají k vyhodnocení náklonů strunových tenzometrů. Kyvadlo je umístěno ve válcovém ocelovém obalu, který je připevněn k monitorované konstrukci.
- V zásadě existují dva konstrukční typy těchto náklonoměrů.
  1. V prvním případě je kyvadlo pevně připojeno k vrchní části náklonoměru. Náklon způsobuje ohybové přetvoření v kyvadlu, toto přetvoření je nejčastěji snímáno dvojicí strunových snímačů, umístěných na stranách kyvadla. Některé konstrukční varianty mohou mít 4 strunové snímače pro monitoring ve dvou kolmých vertikálních rovinách.
  2. Druhá konstrukční konfigurace předpokládá umístění struny mezi vlastní kyvadlo a kryt náklonoměru, náklon se projeví v přetvořeních zaznamenaných na strunových snímačích.

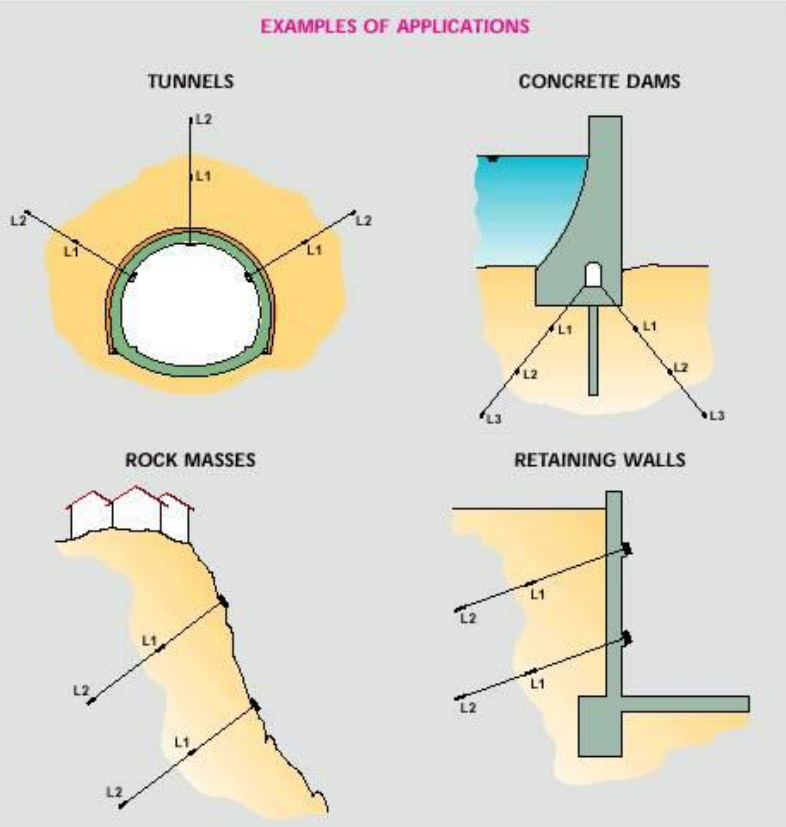
EXTENZOMETRICKÁ MĚŘENÍ VE VRTECH

- 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.
- V závislosti na využívaném principu dělíme extenzometry na:
  - mechanické tyčové
  - elektrické tyčové
  - magnetické
- Extenzometry mohou být buď jednoúrovňové, mající pouze jeden kotevní bod v určité úrovni, nebo víceúrovňové, mající několik kotevních bodů v různých hloubkových úrovních.



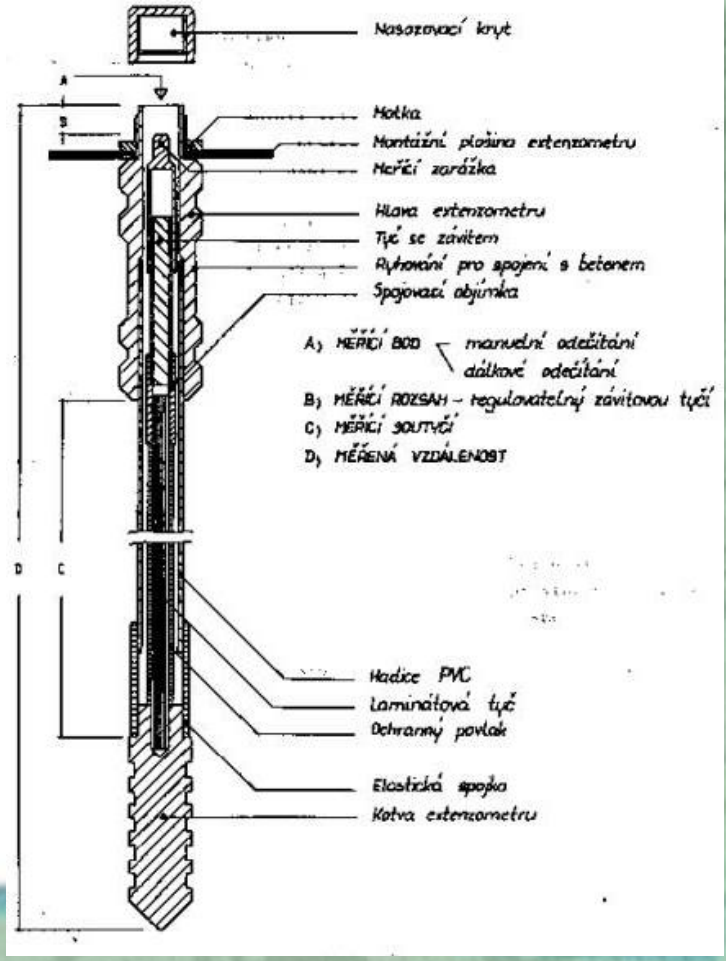
EXTENZOMETRICKÁ MĚŘENÍ VE VRTECH

- 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.



Tyčové extenzometry

- Mechanický a elektrický tyčový extenzometr je tvořen několika základními částmi:
  1. hlava extenzometru – fixována ve zhlaví vrtu, fixace může být různého druhu dle typu aplikované kotvy
  2. krátký svorník (kotva) – pevně fixován v určité vzdálenosti od zhlaví vrtu, mohou být použity různé typy kotev
  3. hadice z PVC – spojuje zhlaví s kotvou, umožňuje jejich vzájemný pohyb, má ochrannou funkci
  4. tyč (popř. drát) sloužící k vlastnímu vyhodnocení změny polohy zhlaví vrtu vůči kotvě, mohou být využity tyče z různých materiálů
  5. snímací zařízení změny polohy svorníku vůči hlavě extenzometru – mechanický extenzometr – mechanické snímací zařízení, elektrický extenzometr- elektrické snímací zařízení



Typy kotev (svorníků)

- Kotvy používané v případě tyčových extenzometrů lze rozdělit do 3 základních skupin:
  - mechanický typ
  - lepený typ
  - hydraulicky upínaný svorník

Mechanické typy svorníků

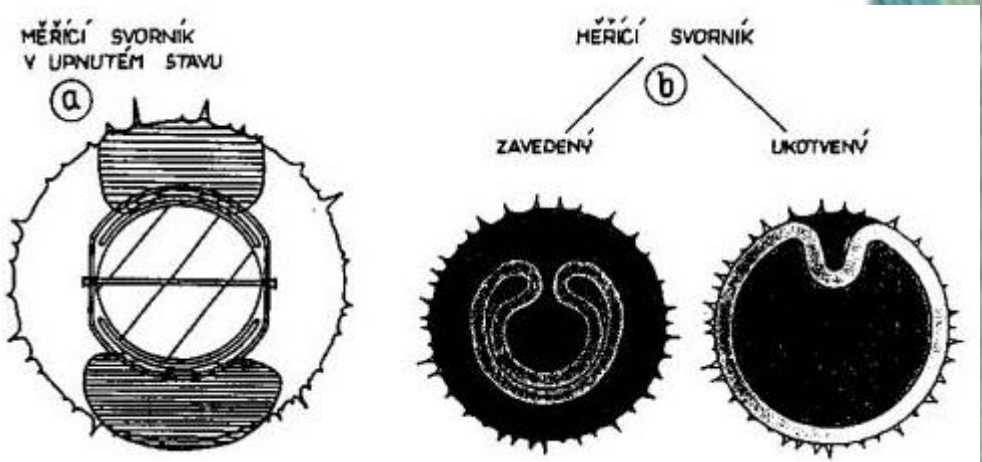
- Mechanické typy svorníků, které jsou ukotveny v horninovém prostředí rozepřením např. klínů, umožňují osazení více svorníků do jednoho vrtu (u víceúrovňových typů extenzometrů), výhodou rovněž je ten fakt, že po instalaci svorníků lze ihned započíst s měřením. Tento typ svorníků však nelze aplikovat v málo pevných a nesoudržných zeminách.

Lepený typ svorníků

- Lepené svorníky využívají ke svému uchycení cementové směsi nebo lepidla na bázi syntetických pryskyřic. Jejich použitelnost je možná v různých geologických podmínkách, rovněž lze umístit několik těchto typů kotev do jednoho vrtu. Z hlediska monitoringu je nevýhodou poměrně dlouhá doba tuhnutí lepící směsi, což oddaluje začátek měření.

Hydraulicky upínaný typ svorníků

- Hydraulicky upínaný svorník se skládá z tyče z žebírkové oceli, na jejímž konci jsou na dvou protilehlých stranách umístěny klenbovitě deformované měděné trubky (tvar těchto měděných částí může být různý dle typu svorníků) . Po natlakování dochází ke změně objemu a tvaru těchto měděných částí a k vytvoření těsného kontaktu mezi svorníkem a horninovým prostředím.
- Hydraulické upínání svorníků je časově nenáročné (ihned je možno začít měřit), je však nutno mít k dispozici hydraulickou pumpu, nevýhodou je rovněž to, že pro každý kotevní bod je nutno mít jeden vrt.



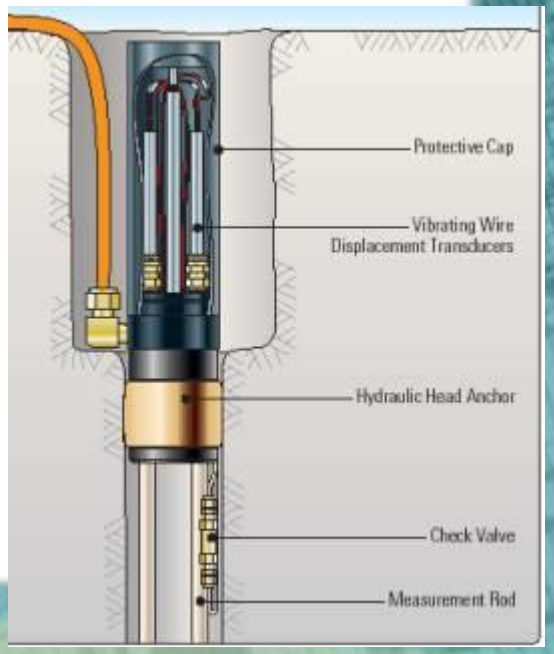
Extenzometrické tyče

- Součástí tyčových extenzometrů jsou tyče, které mohou být :
  - ocelové - extenzometry využívající ocelové tyče jsou nejstarším typem tyčových extenzometrů. Jejich hlavními nevýhodami je vysoká hmotnost, potřeba velkého manipulačního prostoru při přepravě a instalaci a vysoká roztažnost ocele.
  - ze skelných vláken - mají nižší hmotnost, vlákno je relativně ohebné, umožňující osazení i ve stístěných podmínkách.
  - z uhlíkových vláken - výhodou tyčí z uhlíkových vláken je velmi malá hmotnost a nízká tepelná roztažnost, nevýhodou je však jejich vysoká cena.

Snímací zařízení tyčových extenzometrů

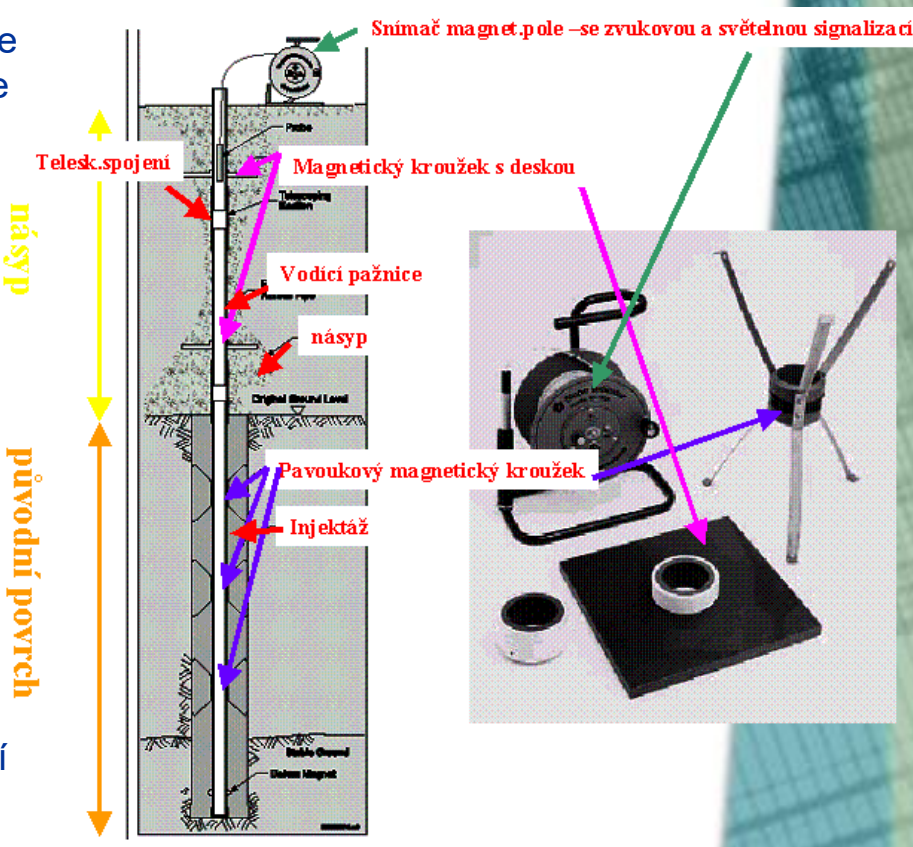
- Snímací zařízení tyčových extenzomerů mohou být buď mechanická (mechanický tyčový extenzometr) nebo elektrická (elektrický tyčový extenzometr). Mezi mechanická snímací zařízení patří posuvný mikrometr resp. indikátorové hodinky, elektricky lze měřit pomocí potenciometru nebo s využitím strunového tenzometru.

1: digitální mikrometr,
2: indikátorové hodinky,
3: potenciometr,
4: strunový snímač



Magnetické extenzometry

- Principem monitoringu těmito typy extenzometru je sledování změny polohy magnetických kroužků ve vrtech o průměru 60 – 100 mm, pevně spojených s okolním horninovým prostředím v různých hloubkových úrovních. V nezapažených vrtech se používají mechanické magnetické kroužky s rozevíratelnými křidélky. V zapažených vrtech jsou kroužky nasazeny na teleskopické pažnici, jsou buď opatřeny trojicí rozpínek, kterými se rozepřou do okolního prostředí a zainjektují se (tzv. pavoukové magnetické kroužky), při použití v násypových tělesech jsou součástí kroužků desky (deskové magnetické kroužky) . Změna polohy magnetických kroužků je monitorována magnetickou sondou, projíždějící vrtem. Čidlo magnetické sondy indikuje magnetické pole okolo každého magne-tického kroužku, přesnost měření závisí na spolehlivosti indikace tohoto magnetického pole (obvyklá přesnost do 1 mm).

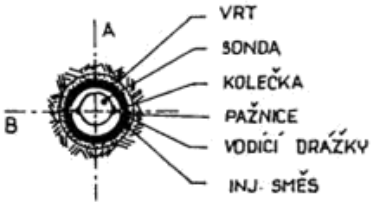


MONITORING SMYKOVÝCH PLOCH

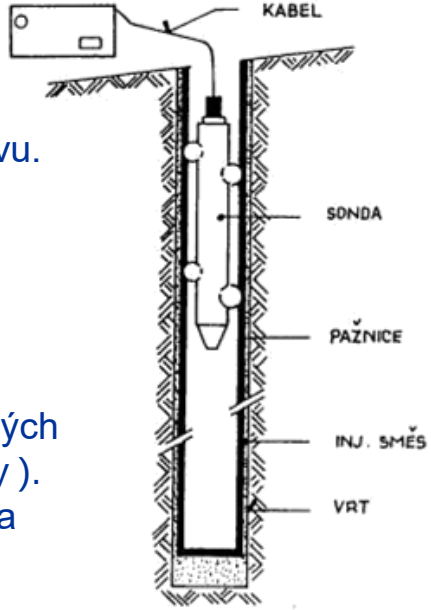
- Nejčastěji využívaná zařízení pro monitoring smykových ploch jsou:
  - Inklinometry
  - křehké páskové vodiče
  - Gleitmikrometr
  - systém TRIVEC
  - víceúrovňové extenzometry

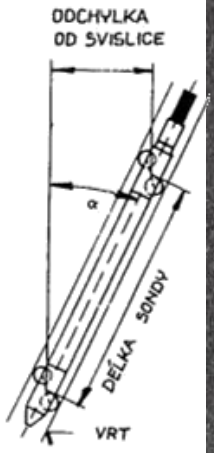
Inklinometry

- 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 dély sondy je pak přepočítáván vodorovný posun.



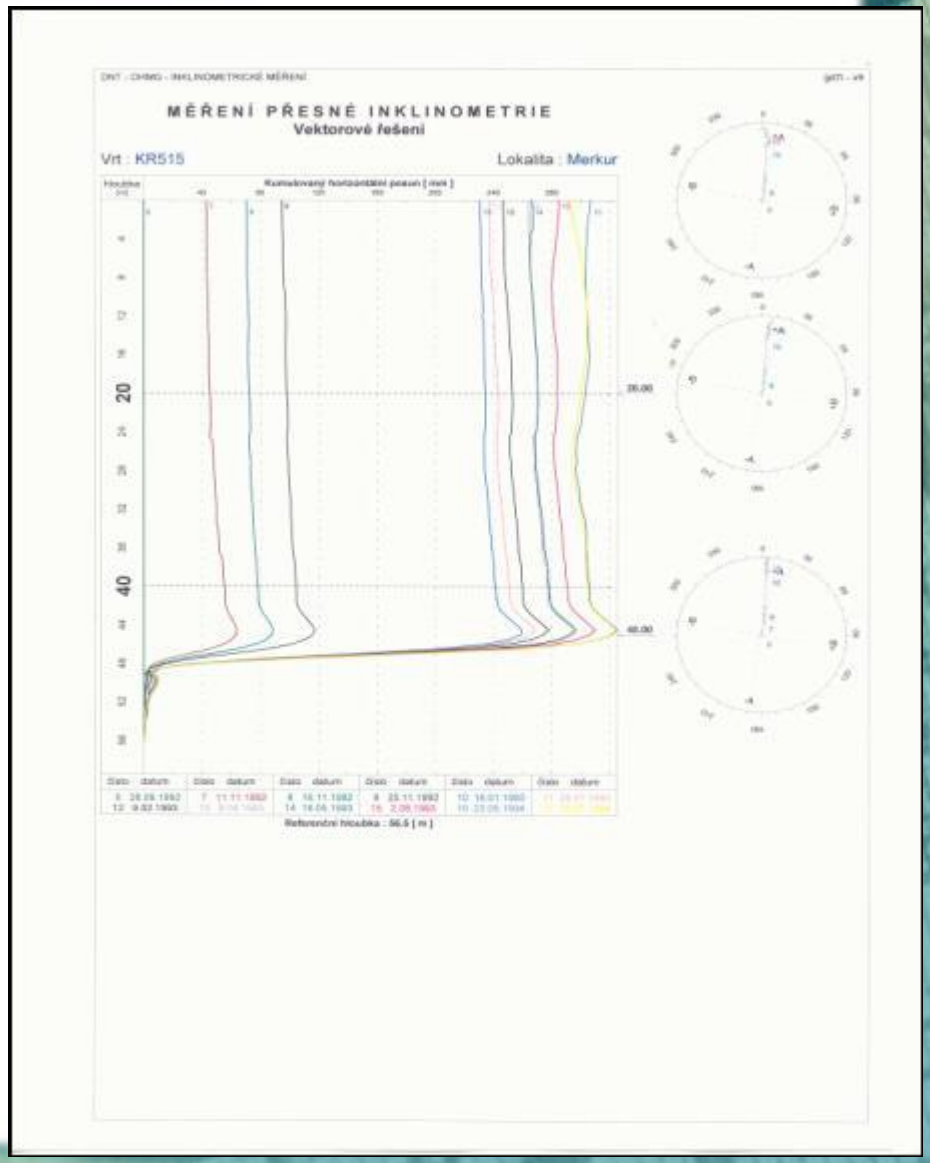
ⓐ





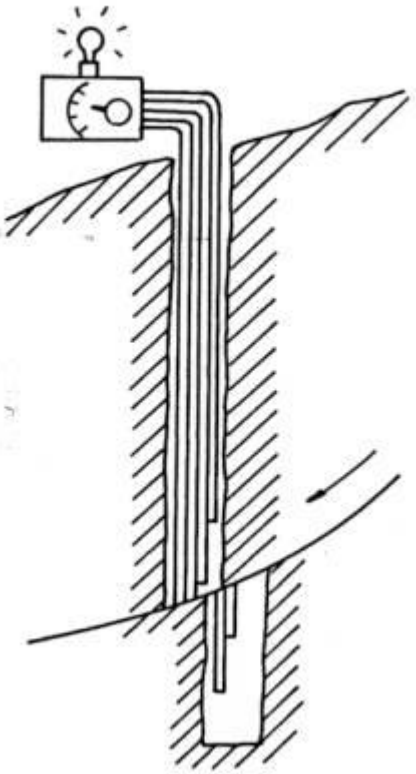
Inklinometry

- Inklinometrická měření tedy umožňují:
  - lokalizovat smykovou plochu
  - kvantifikovat posuny na smykové ploše
  - sledovat časový vývoj posun
  - stanovit směr pohybů (při znalosti orientace vodících drážek), a to i na několika smykových plochách současně.
- Lokalizaci smykové plochy a kvantifikaci posunů na této ploše lze graficky provádět dvěma způsoby:
  - grafickým vyhodnocením součtu posunů od jednotlivých měření – výsledkem je součtová čára posunů
  - grafickým vyhodnocením rozdílů mezi aktuálním měřením a prvním měřením - výsledkem je rozdílová čára posunů



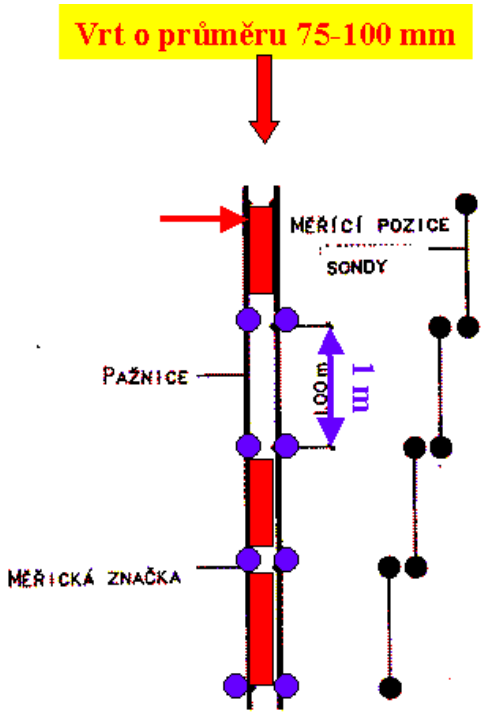
Křehké páskové vodiče

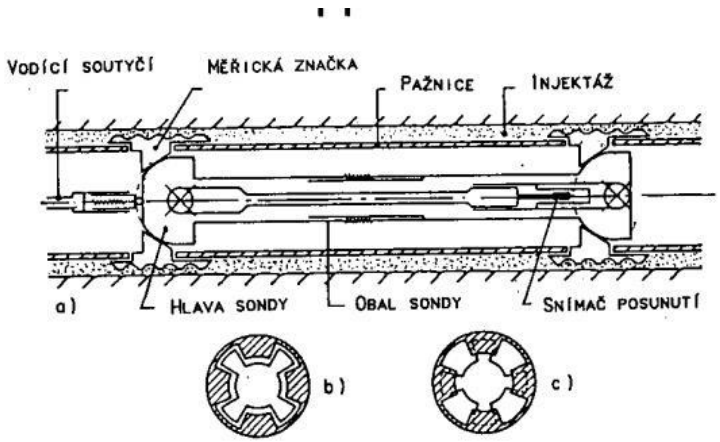
- Křehké páskové vodiče slouží k indikaci hloubky, v níž došlo k posunutí horniny. Nelze tímto zařízením kvantifikovat velikosti posunů na příslušné smykové ploše. Zařízení je tvořeno páskovými vodiči, které obsahují 10 až 20 tenkých křehkých drátků (velmi nízká průtažnost) uložených v polyetylénovém 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 vodič.
- Kromě nemožnosti kvantifikace posunů na smykové ploše je nevýhodou i to, že je zachycena jen ta smyková plocha, na níž je nejrychlejší pohyb. Další případné smykové plochy tedy nejsou touto metodou postižitelné.
- Výhodou je její jednoduchost a nízká pořizovací cena.



Gleitmikrometr (klouzavý mikrometr)

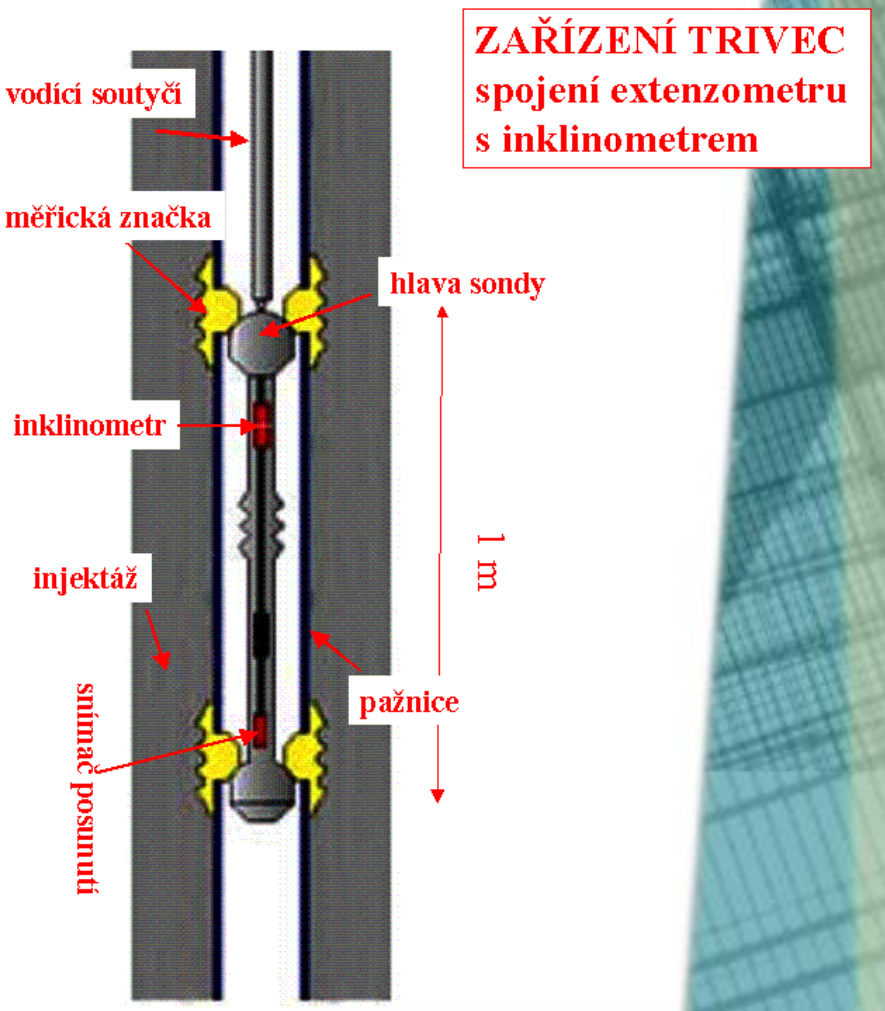
- Vrt o průměru 75 až 100 mm je vystrojen pažnicí s průběžnými drážkami, umožňujícími orientované protahování sondy. V pažnici jsou ve vzdálenosti 1 m pevně fixovány měřické značky. Sonda je protahována vrtem zespoda nahoru, rozepře se vždy mezi dvěma měřickými značkami a indikuje změnu vzdálenosti dvou sousedních měřických značek





Systém Trivec

- 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 měřící sondy. Měřické body, jejichž pohyb je monitorován, jsou fixovány v pravidelných intervalech v pažnici vrtu.
- Při průchodu sondy pažnicí jsou vyhodnocovány:
  - a) změna vzdálenosti mezi měřickými body mikrometrem
  - b) změna vychýlení osy vrtu v úseku vymezeném měřickými body inklinometrem



MONITORING SEDÁNÍ

- Za účelem monitoringu sedání lze využít různé typy monitorovacích zařízení, fungujících na rozdílných principech monitoringu.
- Mezi základní monitorovací postupy patří:
  - geodetické metody
  - extenzometrická měření
  - měření s využitím horizontálních inklinometrů
  - Gleitmikrometry
  - Trivec
  - hydrostatická nivelace
  - elektrický snímač sedání

Geodetické metody

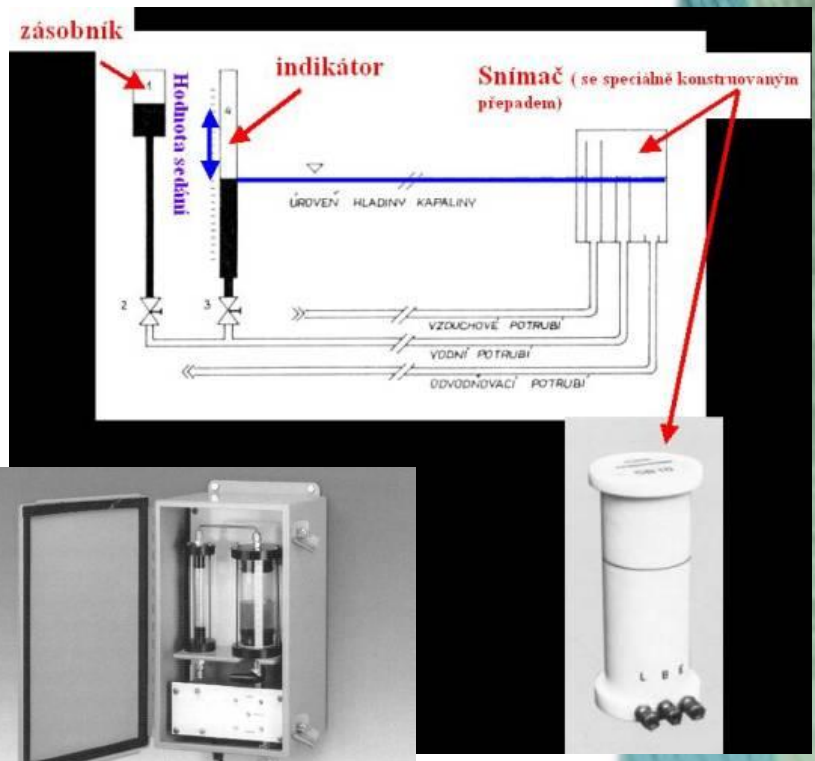
- Nejobvyklejší způsob monitoringu posuvů na povrchu terénu, kdy jsou sledovány polohové změny sítě stabilizovaných bodů. Nezbytnou podmínkou objektivity a spolehlivosti výsledků tohoto typu monitoringu je důsledná stabilizace sledovaných bodů, aby nedocházelo ke zkreslování výsledků měření povrchovými objemovými změnami horninového masívu (teplotní výkyvy, vysychání apod.).
- Mezi nejčastěji používané geodetické metody patří patří klasická nivelace a měření totálními optickými stanicemi.

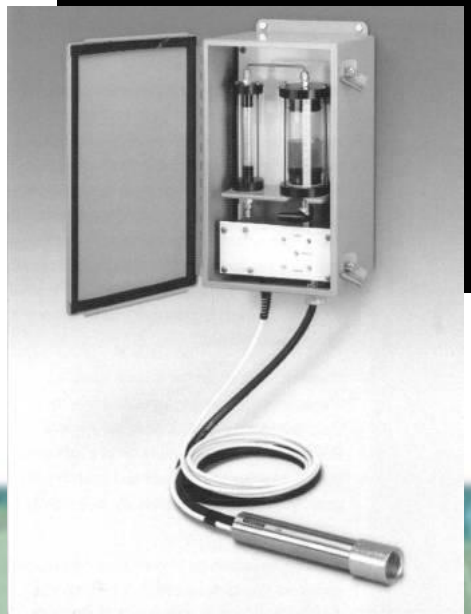
Horizontální inklinometr

- 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.

Hydrostatická nivelace

- Jedná se o zařízení pracující na principu spojených nádob, které jsou umístěny na různých místech monitorovaného terénu popř. konstrukce. Nádoby jsou vzájemně propojeny trubkami nebo hadicemi, které umožňují vzájemný pohyb a které jsou naplněny vodou (bez vzduchových bublin). Jedna se spojitých nádob (tzv. referenční) je umístěna na stabilním místě nebo je sledována geodeticky , druhá nádoba se speciálně konstruovaným přepadem se pohybuje společně s prostředím, na němž je umístěna. Změna výšky hladiny vody v referenční nádobě určuje hodnotu sedání.
- Kromě samotné referenční nádoby může být v identickém stabilním místě umístěn zásobník, který je v době měření uzavřen ventilem (netvoří tedy spojené nadoby), přičemž hodnota sedání je pak dána rozdílem hladin mezi zásobníkem a referenční nádobou.





Hydrostatická nivelace

- Hydrostatická nivelace se často uplatňuje při monitoringu průběhu sedání pod násypy. Do podloží násypu se před zahájením sypání osadí vodorovná pažnice, kterou je pak protahována samotná měřící sonda s tlakovou buňkou. Měří se změny tlaku vůči referenčnímu bodu, který je umístěn na jedné straně pažnice.

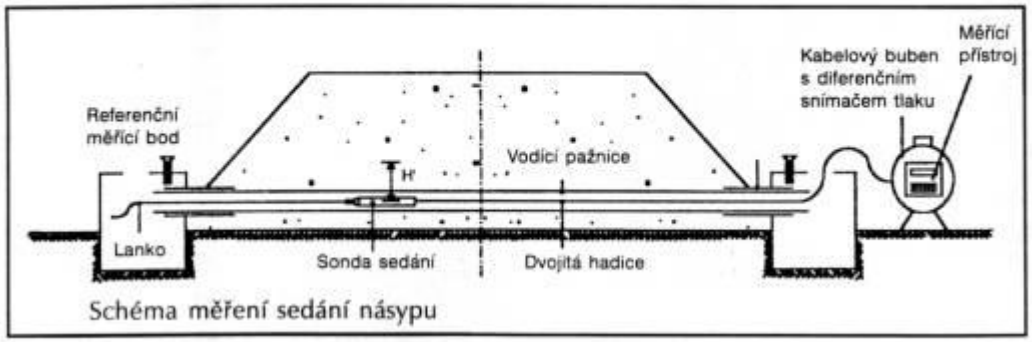
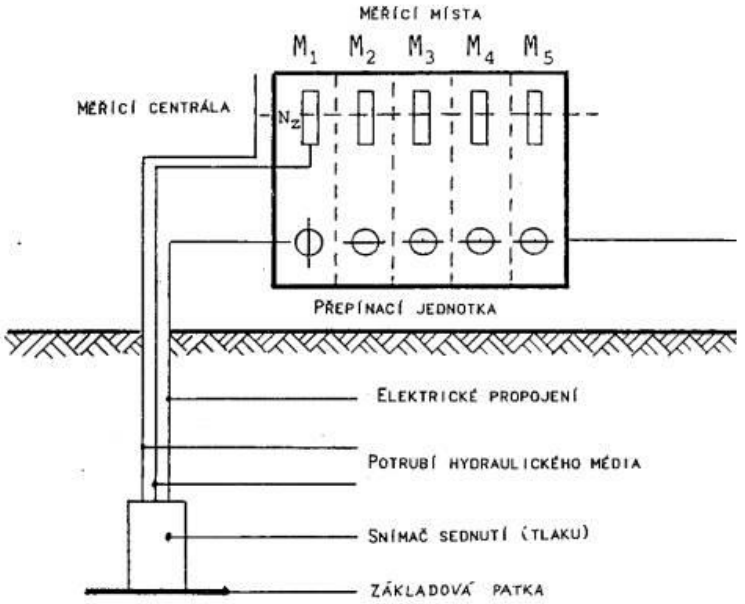


Schéma měření sedání násypu

Elektrický snímač sedání

- Elektrický snímač sedání je tvořen snímačem tlaku, který je potrubím z umělé hmoty plněn kapalinou, a měřící centrálou, instalovanou na stabilním místě (nebo sledovanou nivelací). Při sedání snímače dochází při konstantní výšce hladiny v měřící centrále ke změně tlaku kapaliny. Tato změna tlaku je měřena a přepočítávána na hodnotu sedání.

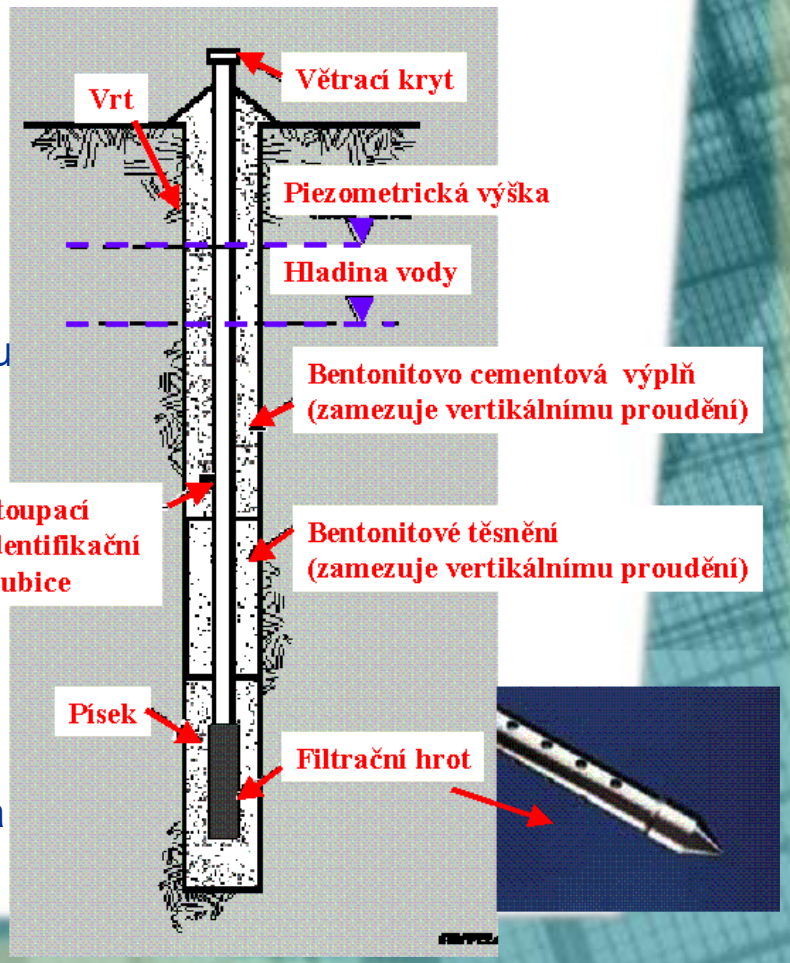


MONITORING PÓROVÝCH TLAKŮ

- Monitoring pórových tlaků popř. vztlaků se provádí pomocí otevřených nebo uzavřených piezometrů
- Při volbě typu piezometru je třeba posoudit velikost očekávaného tlaku a reakční čas piezometru. Reakční čas je rozhodující především v případě, kdy je očekáváno rychlé kolísání tlaku podzemní vody a kdy je hornina v okolí hrotu piezometru nepropustná.

Otevřené piezometry

- 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 stoupací identifikační trubicí, umístěnou ve vrtu, která je na svém konci opatřena filtračním hrotem. Délka hrotu se odvíjí od popustnosti 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.

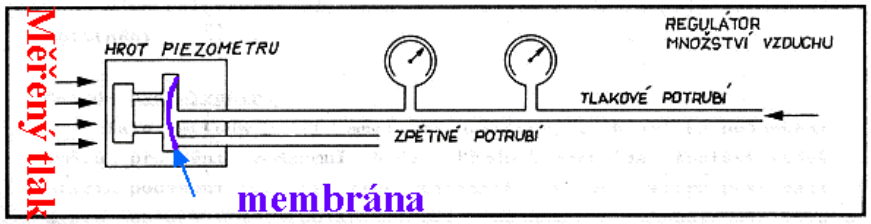


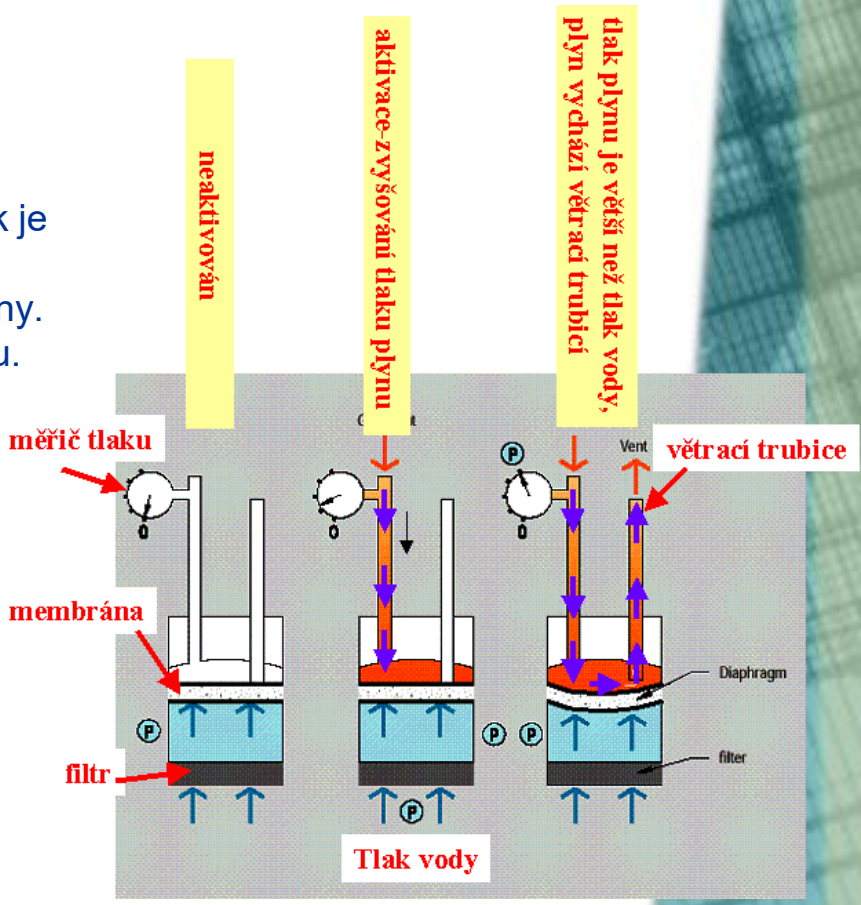
Uzavřené piezometry

- Hlavní součásti uzavřeného typu piezometru jsou:
  - vlastní tělo měřidla (ocelový válec)
  - porézní prvek (filtr, kterým vstupuje voda dovnitř vlastního těla měřidla)
  - měřící čidlo (pneumatické, hydraulické, odporové, strunové)
  - kabely popř. hadičky spojující měřidlo s povrchem
  - odečítací aparatura
- Základní typy uzavřených piezometrů:
  - Pneumatický uzavřený piezometr
  - Strunový uzavřený piezometr
  - odporový uzavřený piezometr

Pneumatický uzavřený piezometr

- Pneumatický 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.



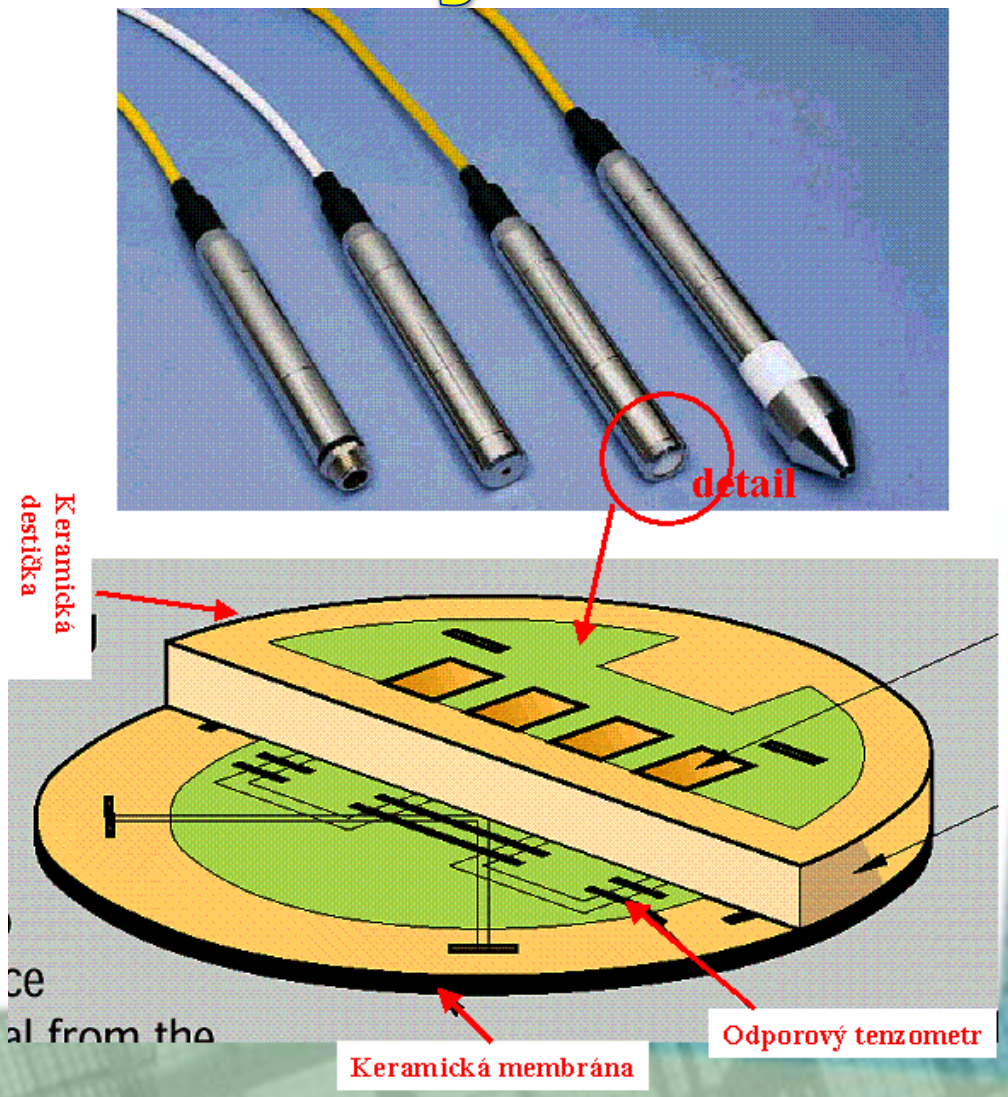


Strunový uzavřený piezometr

- 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.

Odporový uzavřený piezometr

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

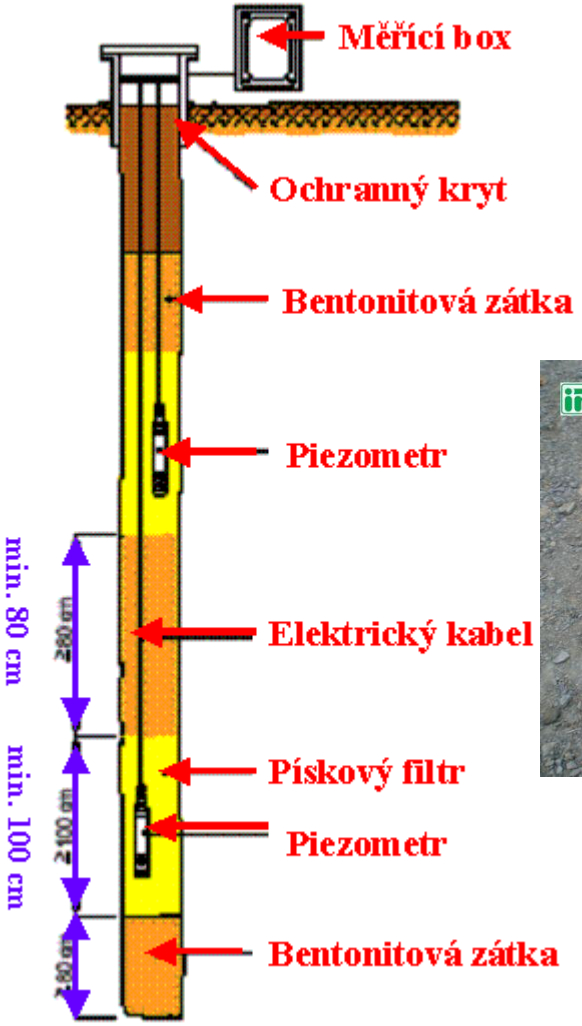


Instalace piezometrů

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

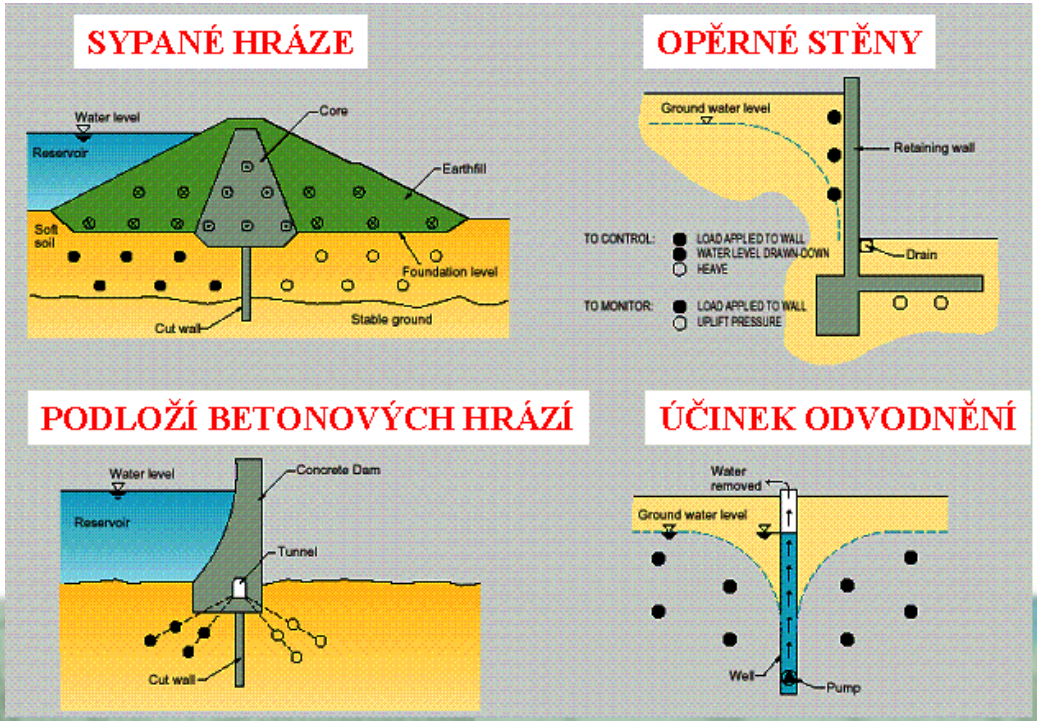
Zásady instalace ve vrtu

- Při instalaci piezometru ve vrtu je nutno v zájmu objektivity měření dodržet určité obecné zásady:
  1. realizace filtračního zásypu v okolí piezometrického měřidla
  2. spolehlivé utěsnění vrtu nad měřidlem (jíl, bentonit), z důvodu snazšího utěsnění by vrt neměl mít průměr větší než 150 mm, výška těsněného úseku by měla být cca 80 cm



Aplikační oblasti

- kontrola výkopových prací
- monitoring pórových tlaků ve svazích , násypech, výsypkách, hrázích
- monitoring pórových tlaků v podzákladí
- posouzení vhodnosti úpravy horniny (odvodnění, injektáže, zmrazování)



MONITORING NAPĚTÍ A SIL

- K monitoringu napětí a sil v konstrukcích a v horninovém prostředí se používají dva základní typy monitorovacích měření:
  - měření přímá pomocí dynamometrů – měří se přímo napětí
  - měření nepřímá pomocí deformometrů – hodnoty napětí se stanovují nepřímo na základě naměřených deformací
- Měřidla mohou osazována buď přímo do horninového prostředí, na kontakt horninového prostředí s výztuží (v tomto případě se monitoruje zatížení výztuže), přímo do výztužní konstrukce nebo na konstrukci.

Měření přímá pomocí dynamometrů

- K přímému měření napětí jsou nejčastěji využívány především ploché dynamometry (ploché tlakové buňky-tlakové podušky).
- Kromě uvedených typů plochých tlakových buněk mohou být k monitoringu napětí v násypech, výsypkách, hrázích využity rovněž válcové typy dynamometrů.
- Pro monitoring osových sil v kotvách se využívají prstencové typy dynamometrů
- Pro monitoring napětí v rozsáhlých svahových tělesech jsou využívány i tzv. kulové snímače napětí

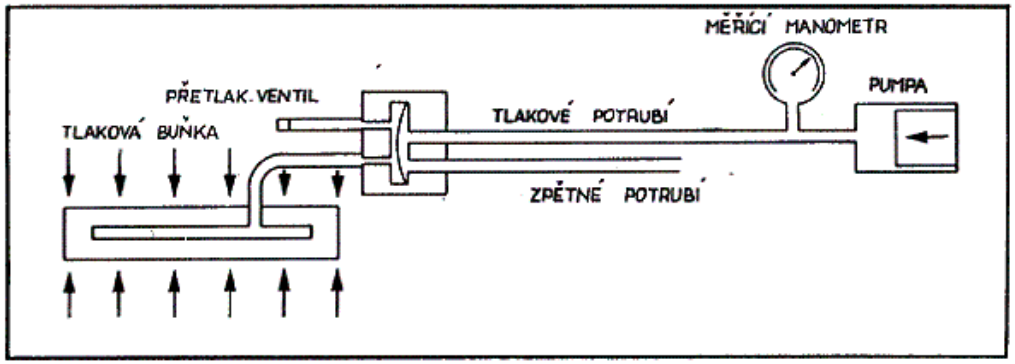
Ploché dynamometry (ploché tlakové buňky, tlakové podušky)

- Ploché dynamometry mají tvar plochého disku nejčastěji kruhového nebo pravoúhelníkového tvaru. Vlivem změny napjatosti v okolí podušky se iniciuje stlačení podušky, které je registrováno měřícími čidly. Nejčastěji používané konstrukční typy tlakových buněk jsou vhodné pouze pro měření tlakových napětí. Konstrukční modifikací tlakové buňky (ing. Pacovský) lze monitorovat i tahová napětí.
- Tlakové buňky se dále člení z hlediska monitorovacího principu, na kterém pracují:
- ploché buňky hydraulické
- ploché buňky odporové
- ploché buňky strunové

Ploché dynamometry (ploché tlakové buňky, tlakové podušky)

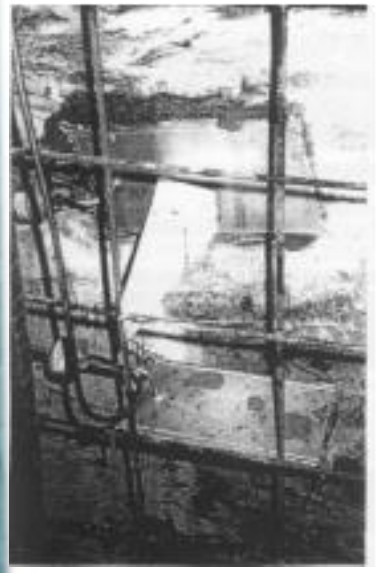
- Obecně jsou měření napjatosti pomocí tlakových buněk zatížena větší chybou než nepřímá měření pomocí deformometrů.
- Pro zajištění co nejvyšší objektivity měření je nutno dodržovat následující zásady:
  - podstava buňky by měla být směrována kolmo na směr monitorovaného napětí
  - zajištění co nejdokonalejšího plošného kontaktu s měřeným povrchem, bodový kontakt způsobuje koncetraci napětí a z toho vyplývající neobjektivní výsledek měření
  - tuhost samotné buňky by měla být velmi podobná tuhosti okolního monitorovaného prostředí, v opačném případě dochází k přerozdělování napětí (tužší buňky koncentrují napětí a monitorované hodnoty pak mohou být vyšší než skutečné, poddajnější buňky naopak indikují nižší hodnoty napětí ve srovnání se skutečnými hodnotami)
  - v případě instalace buněk přímo do betonové výztuže je důležitá možnost dotvarování buňky za účelem kompenzace nedokonalého kontaktu po ukončení zrání betonu doprovázeného smrštěním
  - při vyhodnocování měření je třeba vzít v úvahu ten fakt, že při osazování tlakové buňky v horninovém prostředí byl více či méně narušen stav napjatosti

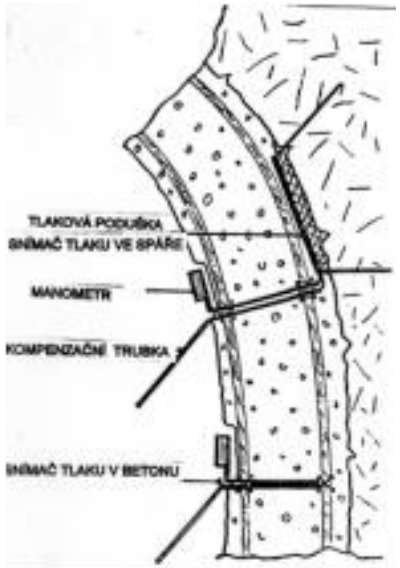
- ***Ploché hydraulické tlakové buňky***
  - Hydraulická tlaková poduška má tvar dutého disku, který je naplněn tekutinou. Při vyvozování tlaku na buňku se zvyšuje tlak v kapalině, tento tlak je přenášen na membránu, membrána se prohýbá a velikost vyrovnávacího tlaku aplikovaného pro uvedení membrány do původní rovnovážné polohy a měřeného manometrem se považuje za hodnotu monitorovaného tlaku (analogie s hydraulickými piezometry)

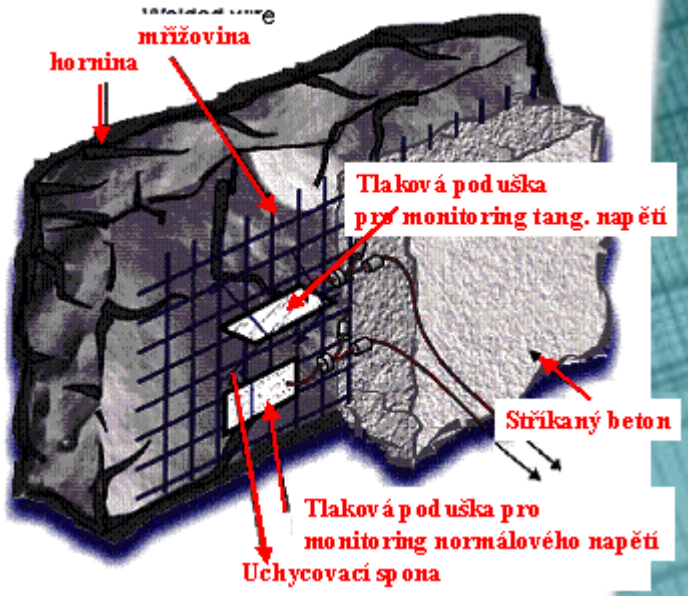


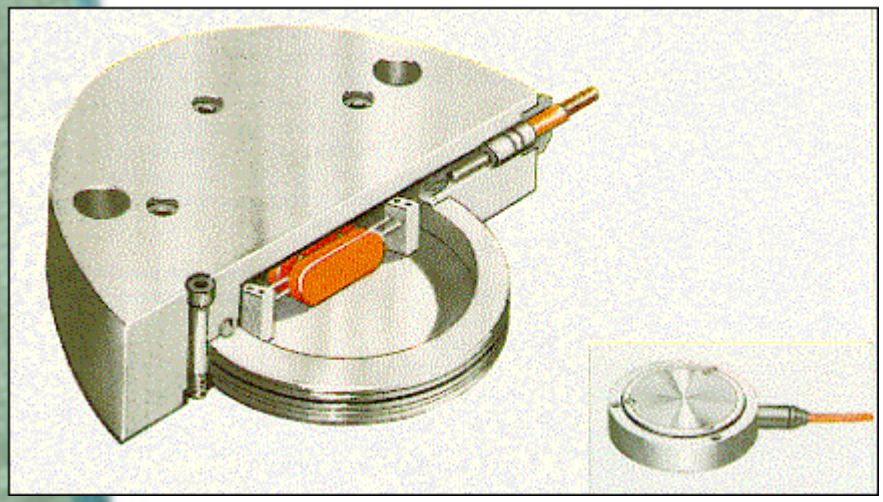
- ***Ploché odporové tlakové buňky***
  - Odporová plochá tlaková buňka využívá odporových tenzometrů, které jsou nalepeny ve dvou na sebe kolmých směrech na vnitřní plochu disků , z nichž je buňka tvořena.
  - Nevýhodou tohoto typu buněk je jejich malá odolnost vůči vlhkosti, na druhé straně jsou ale vhodné pro měření rychlých změn napjatosti.

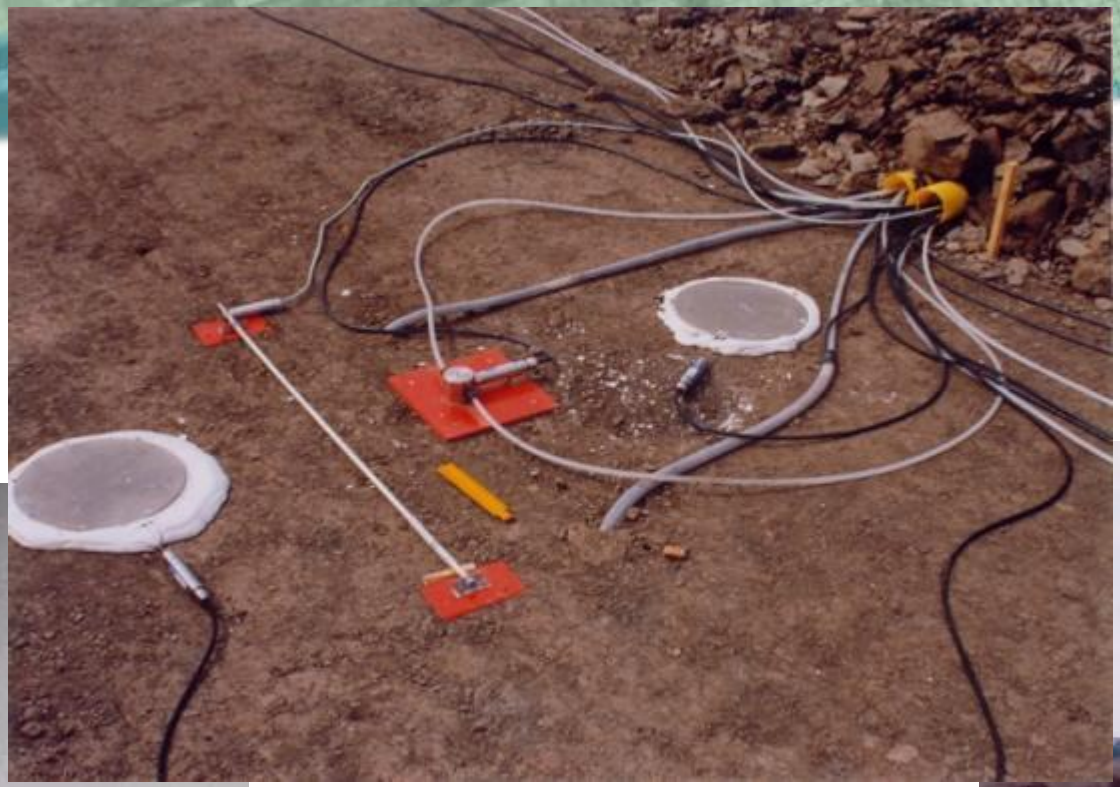
- ***Ploché strunové tlakové buňky***
  - Strunové tlakové buňky využívají strunových tenzometrů. Přetvoření disků je přenášeno na kmitající strunu, která je napnuta uvnitř disků rovnoběžně s podstavami, a jejíž frekvence se mění se změnou přetvoření disků. Jsou odolné vůči vlhkosti, ale nejsou vhodné pro monitoring rychlých změn napětí.

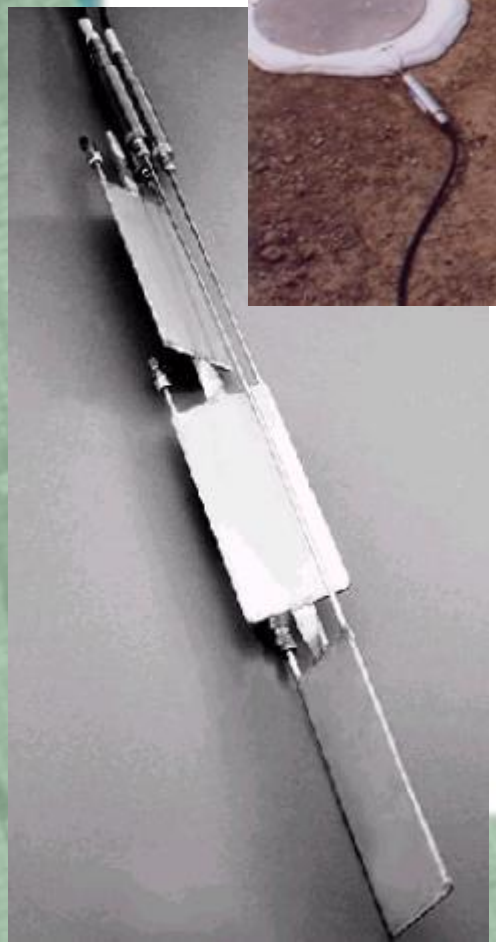












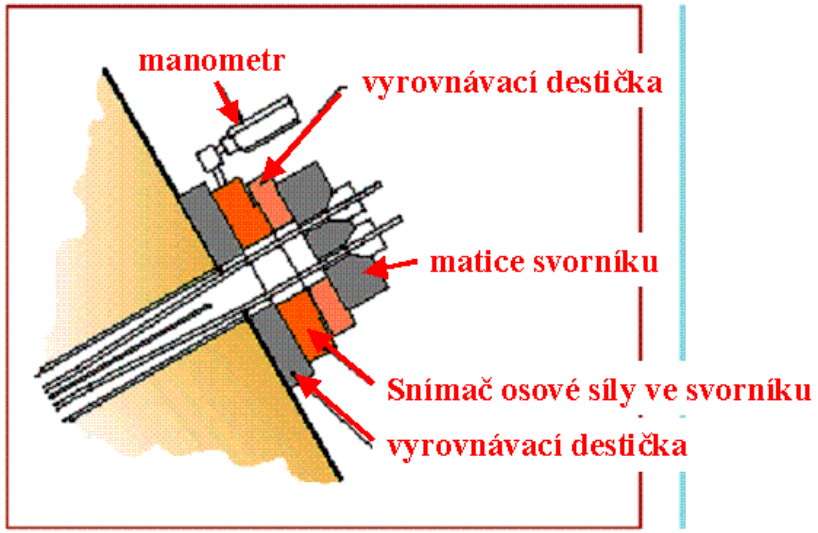
Válcové typy dynamometrů

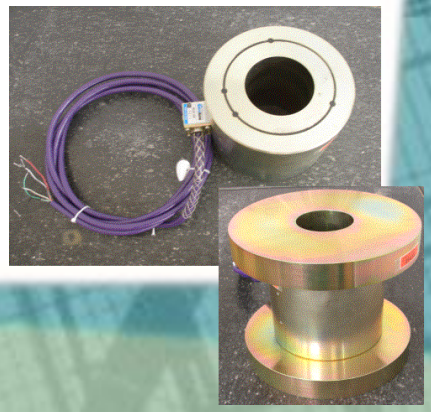
- Základem válcového typu dynamometru je ocelový válec. Při působení tlaku dochází k přetvoření válcového tělesa, které koresponduje s působícím zatížením. Stejně jako ploché tlakové buňky mohou pracovat na různých měřících principech:
  - odporové válcové dynamometry - po obvodu válce nalepeny odporové tenzometry, vyhodnocující změny odporu v závislosti na změně délky vodiče
  - válcový dynamometr s fotoelasticimetrickým čidlem – v tělese válce je umístěn kruhový terč z opticky citlivého materiálu, přes tento terč prochází polarizované světlo, při působení zatížení se terč přetváří, v závislosti na velikosti vyvozeného tlaku se vytváří interferenční křivky
  - hydraulický válcový dynamometr – těleso válce je naplněno odvzdušněným hydraulickým olejem, tlak na válec způsobuje zvýšení tlaku v hydraulickém oleji, tento tlak je měřen obvykle manometrem
- strunový válcový dynamometr- uvnitř válce je napnutá ocelová struna, frekvence kmitající struny závisí na stlačení dynamometru, na základě vyhodnocené frekvence se stanovuje tlak na válec. Kmitající struny (nejméně 3 vzájemně posunuté o 120 °) jsou nejčastěji upevněny v otvorech vyvrtaných do svislých stěn válce.

GEOSYSTEMS

Prstencové dynamometry pro monitoring osových sil v kotvách

- Nejběžnější typ prstencového dynamometru je tvořen měřící buňkou, mající tvar mezikruží, která je naplněna kapalinou. Tato buňka se nasazuje mezi dvě ocelové podložky na svorníkovou tyč. Ocelové podložky mají vyrovnávací účinek eliminující možné vlivy ohybových momentů. Změna osové síly vyvolá změnu tlaku kapaliny v buňce, který je odečítán manometrem.

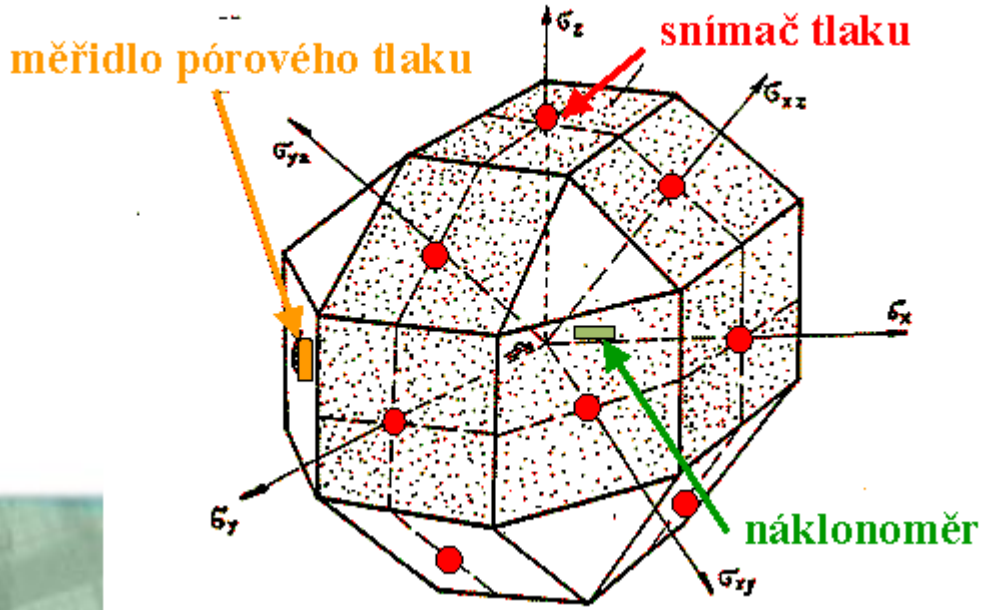




Kulové snímače napětí

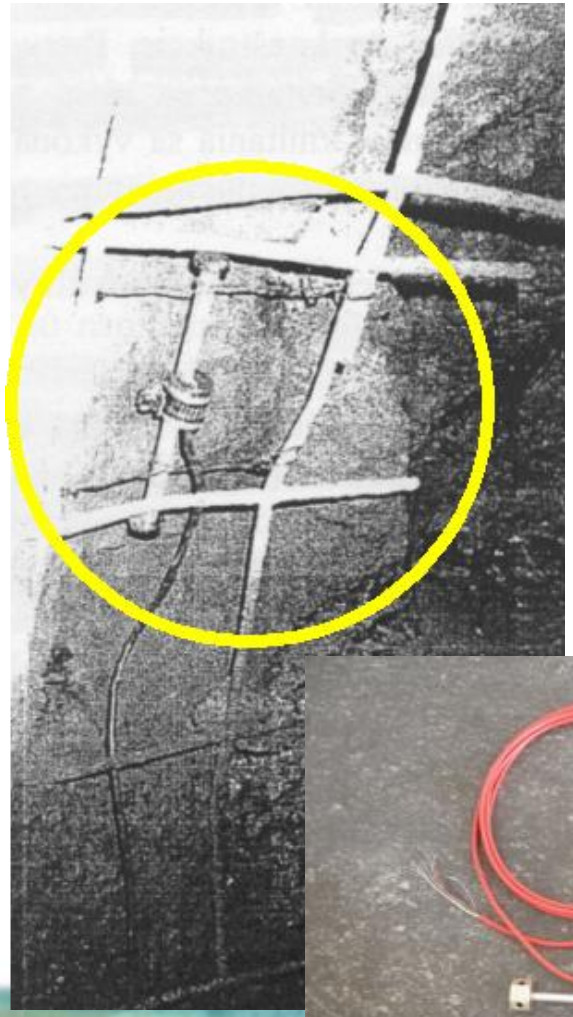
- Tvar kulového snímače napětí je diskretizovaná koule o průměru až 1 m, tvořena dvojitým dvacetišestistěnem (18 čtverců, 8 rovnostranných trojúhelníků).Napětí se měří 12-ti měřidly, která jsou umístěna kolmo na 3 základní navzájem kolmé osy a dále kolmo na 3 osy, z nichž každá leží v rovině os základních a svírá s nimi úhel 45 °. Ve směru každé osy měří tedy dvě měřidla umístěná proti sobě na povrchu diskretizované koule. Uvnitř koule je dále umístěna měřící ústředna a náklonoměr registrující náklon tělesa, který se může při zasypávání kulového snímače. Vzhledem k tomu, že měřidla napětí zaznamenávAjí totální napětí, jsou mnohdy součástí těchto kulových snímačů i měřiče pórového tlaku.

- Kulový snímač je možno aplikovat v základových sparách násypů, výsypek, přehradních hrází apod. a umožňují stanovit úplný tenzor napětí.



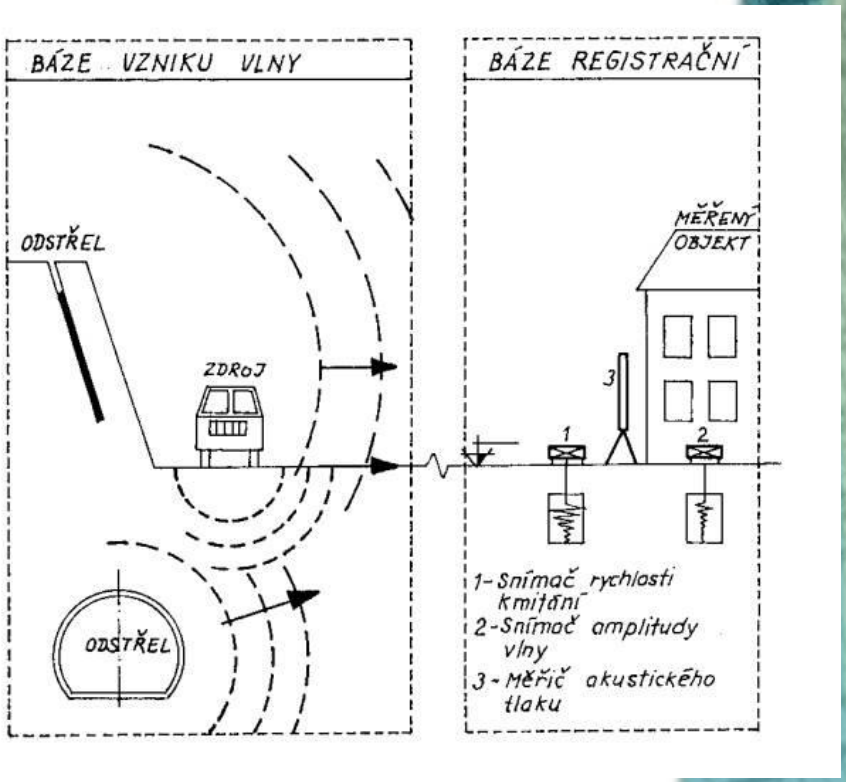
Měření nepřímá pomocí deformometrů

- 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.
- Tvarové modifikace závisí především na tom, zda jsou tato zařízení určena pro zabudování do betonové konstrukce nebo se instalují přímo na konstrukci (např. na ocelové oblouky). Deformometry pro použití na konstrukcích se buď na konstrukci lepí nebo, v případě ocelových oblouků, přivařují.



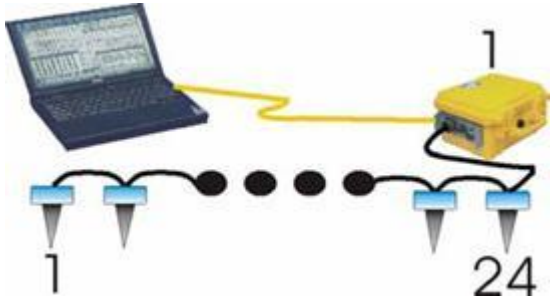
MONITORING SEISMICKÝCH ÚČINKŮ

- Cílem monitoringu seismických účinků je posouzení vlivu krátkodobých i dlouhodobých dynamických účinků na objekty a okolní prostředí. Dynamické účinky mohou být vyvolány:
  - přirozeným zemětřesením
  - technickou seismicitou (provoz strojů, bucharů, dopravních prostředků, demoličními pracemi, trhacími pracemi,důlně indukovaná seismicita)
- Z hlediska kontrolního sledování seismických účinků je třeba oddělit dvě báze:
  - báze epicentra vlny, v níž vlna vzniká a z níž se šíří
  - 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



MONITORING SEISMICKÝCH ÚČINKŮ

- Využití získaných veličin a údajů:
  - výchozí hodnoty pro umístění a instalaci zařízení citlivých na dynamické účinky
  - posouzení míry poškození objektů vlivem dynamických účinků a tlakovzdušné vlny
  - posouzení vlivu dynamických účinků na životní prostředí a vzhledem k hygienickým předpisům
  - posouzení míry porušení horninového masívu v místě měření



SPECIÁLNÍ TYPY MĚŘENÍ
Monitoring velkých posunů a deformací

- K monitoringu malých očekávaných posunutí uvnitř horninového prostředí se obvykle využívají monitorovací metody ve vrtech (nejčastěji extenzometrická a inklinometrická měření). Avšak za předpokladu velkých posunů v krátkém čase není možno tyto monitorovací metody využít, a to především z toho důvodu, že není možno zajistit ochranu uvedených monitorovacích zařízení před zničením (uzavření a destrukce vrtů). V těchto speciálních případech např. u výsypek se používá tzv. metoda magnetických značek. Princip spočívá v osazení magnetů do masívu a sledování změny polohy této značky magnetometrem. Výhodou této metody je především rychlé a jednoduché osazení značek buď do vrtu vyhloubeného ruční nebo strojní soupravou nebo do otvorů po penetraci.
- Nevýhodou je však to, že získáváme pouze polohopisné informace, metoda neumožňuje stanovit změny výšky uložení bodů. Metodu rovněž nelze využít v blízkosti železných předmětů.

SPECIÁLNÍ TYPY MĚŘENÍ
Monitoring radonu

- Radon je radioaktivní plyn, vznikající v přírodě přeměnou rádia. Patří do skupiny vzácných plynů, je chemicky netečný, bezbarvý, bez zápachu, málo rozpustný ve vodě. Radon je čistý alfa zářič, rozpadá se na další radioaktivní prvky, tzv. dceřinné produkty rozpadu, které se ve vzduchu zachycují na drobných prachových částicích a vytvářejí radioaktivní aerosoly, které jsou pro lidský organismus nebezpečné.
- Měření radonu a jeho dceřinných produktů je na rozdíl od měření přírodní radioaktivity velmi problematické, neboť jeho koncentrace ve vzduchu je ovlivněna mnoha činiteli. Stačí např. obytnou místnost vyvětrat a jejich koncentrace klesne na zlomek původní hodnoty. Již dříve jsme uvedli, že koncentrace radonu kolísá během dne i během roku, závisí na tom, zda je budova vytápěna, na meteorologických podmínkách, atd. Z toho plyne, že okamžité naměřené hodnoty koncentrace radonu jsou zatíženy velkou chybou a je tedy nutno ji měřit dlouhodobě.

SPECIÁLNÍ TYPY MĚŘENÍ
Monitoring radonu

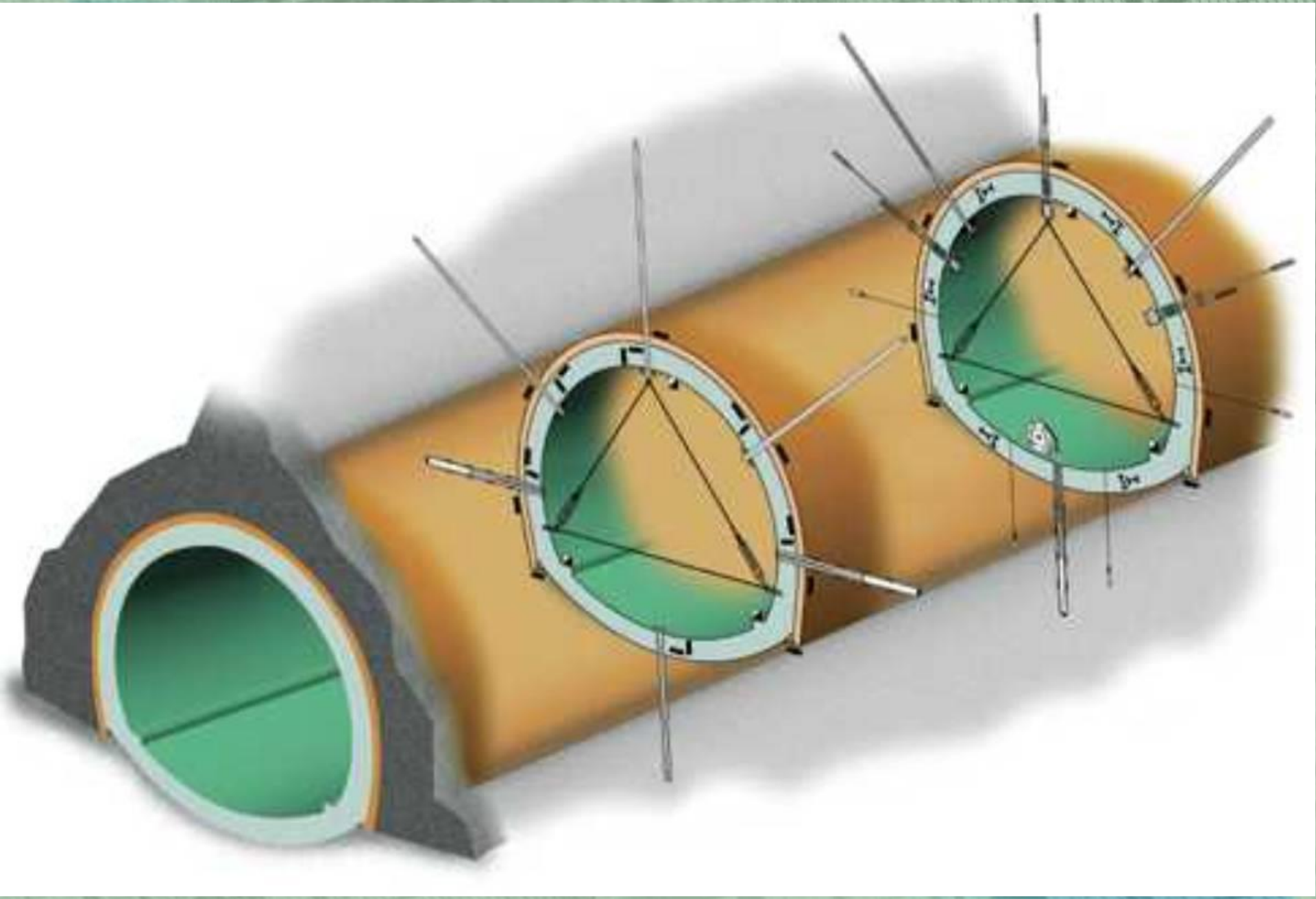
- Monitorování radonu se provádí ve vzduchu i ve vodě. K vlastnímu monitoringu se používají ionizační komory, scintilační komůrky a stopové detektory. V případě ionizačních komor a scintilačních komůrek se vzorek vzduchu obsahující radon převede do komory a změří se ionizační proud resp. četnost impulsů, který radon a jeho rozpadové produkty způsobují. Tyto přístroje jsou většinou založeny na principu prosávání vzduchu, který obsahuje dceřinné produkty radonu, vázané na prachových a aerosolových částicích, přes filtr z mikrovláken. Rozpadové produkty, usazené na filtru vyzařují g - záření, které je detekováno křemíkovými detektory, umístěnými v těsné blízkosti filtru.
- Princip stopových detektorů je v aplikaci citlivé fólie, na níž alfa záření vysílané radonem a jeho rozpadovými produkty vytvoří drobné poruchy, viditelné elektronovým mikroskopem. Měření stopovými detektory má dlouhodobý charakter (zpravidla 1 rok).

MONITORING TUNELŮ A KOLEKTORŮ

- Monitoring podzemních děl lze v zásadě rozdělit na monitoring v podzemí v místě realizace samotné stavby a 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, koncentrace napětí za výrubem dosahuje několikanásobku hodnoty primární napjatosti. Změna napjatosti probíhá současně s deformačními projevy, dochází k radiálním posunům směrem do středu díla, může docházet k extruzi (vyboulení čelby do výrubu). Za obrysem díla mnohdy vzniká oblast plastického přetváření a porušování, způsobující zvyšování tlaků na výztuž díla. 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.). Hlavním cílem monitoringu je v 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.

MONITORING TUNELŮ A KOLEKTORŮ

- Konkrétními cíli monitoringu tunelů a kolektorů je:
  - monitoring konvergence výrubu
  - monitoring přetvoření za obrysem díla (indikace rozvolněných zón)
  - monitoring přetvoření před čelbou
  - monitoring zatížení výztuže
  - monitoring napětí ve výztuži
  - monitoring sil v kotvách
  - monitoring podzemní vody
  - monitoring poklesů a jejich negativních projevů na povrchových objektech



Monitoring konvergence stěn výrubu a ostění výrubu

- Monitoring konvergence stěn výrubu nebo ostění je prováděn především s cílem kontroly stability podzemního díla. Měření je prováděno buď klasickým konvergenčním pásmem (především při ražení štol) nebo optickými konvergenčními přístroji. Ustálení konvergence signalizuje obnovení stavu rovnováhy, neustálení naopak indikuje 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).

Monitoring přetvoření za obrysem díla (indikace rozvolněných zón)

- K monitoringu přetvoření uvnitř horninového masívu za obrysem díla jsou využívány především víceúrovňové extenzometry. Extenzometry mohou být osazovány buď do vrtů vrtaných z tunelu, nebo do svislých vrtů, realizovaných z povrchu území. 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.

Monitoring přetvoření před čelbou

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

Monitoring zatížení výztuže

- K monitoringu tlaků na výztuž jsou nejčastěji využívány ploché tlakové buňky, 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.

Monitoring napětí ve výztuži

- Monitoring napětí ve výztuži lze provádět jak přímými, tak i nepřímými metodami. 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.

Monitoring sil v kotvách

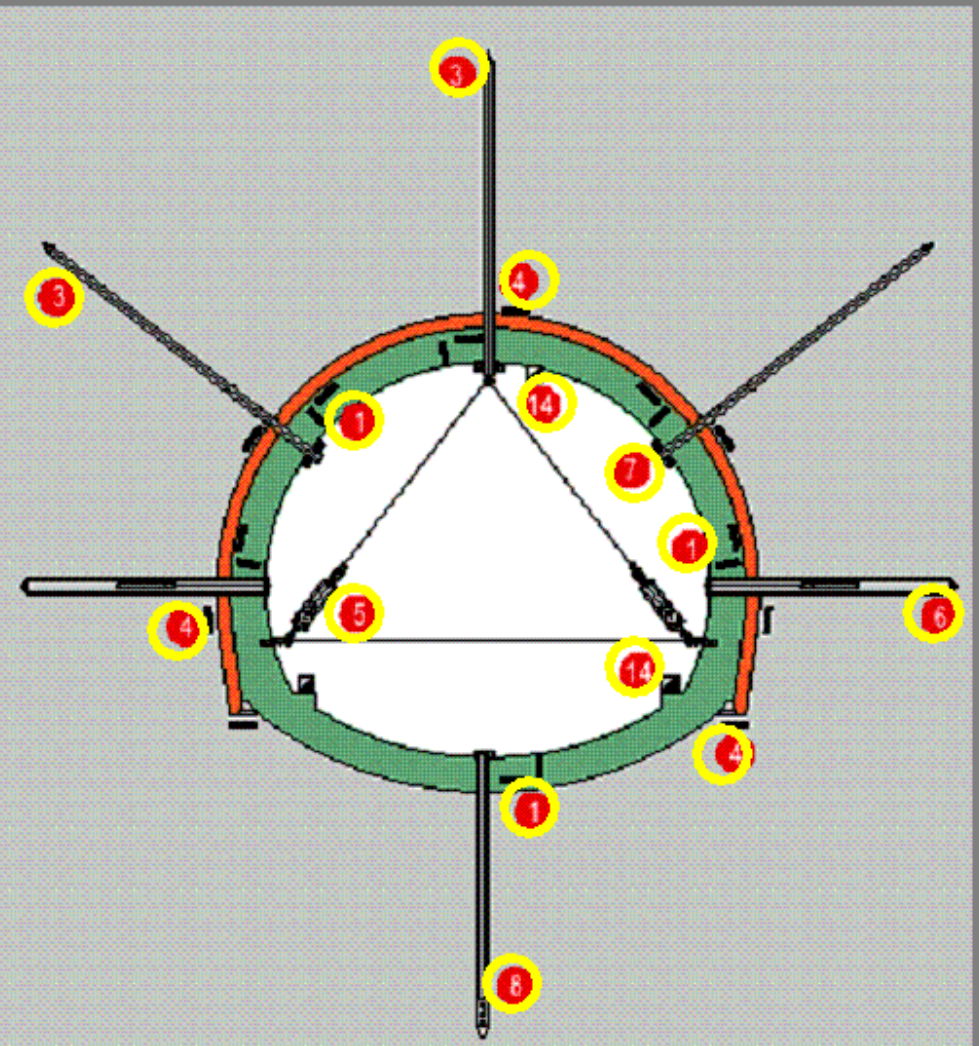
- Monitoring kotevních sil se provádí s využitím prstencových dynamometrů

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, měření tlaků podzemních vod a změn hladiny podzemních vod v okolí tunelu

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, která může být doplněna i konvergenčním měřením. K monitoringu sedání lze využít i extenzometrická měření realizovaná z povrchu ve svislých vrtech. V objektech je pak možno dále využít hydrostatickou nivelaci, náklonoměry a dilatometry. Lokalizaci měřidel je nutno volit v závislosti na umístění stavebních objektů vzhledem k poklesové kotlině, dále je nutno zohlednit tvar a rozměry budov, materiál, z něhož je objekt postaven (zděné budovy se lépe přizpůsobují nerovnoměrným přetvořením než tuhé železobetonové konstrukce).



1- napěťové buňky v betonu

3- měřící svorníky

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

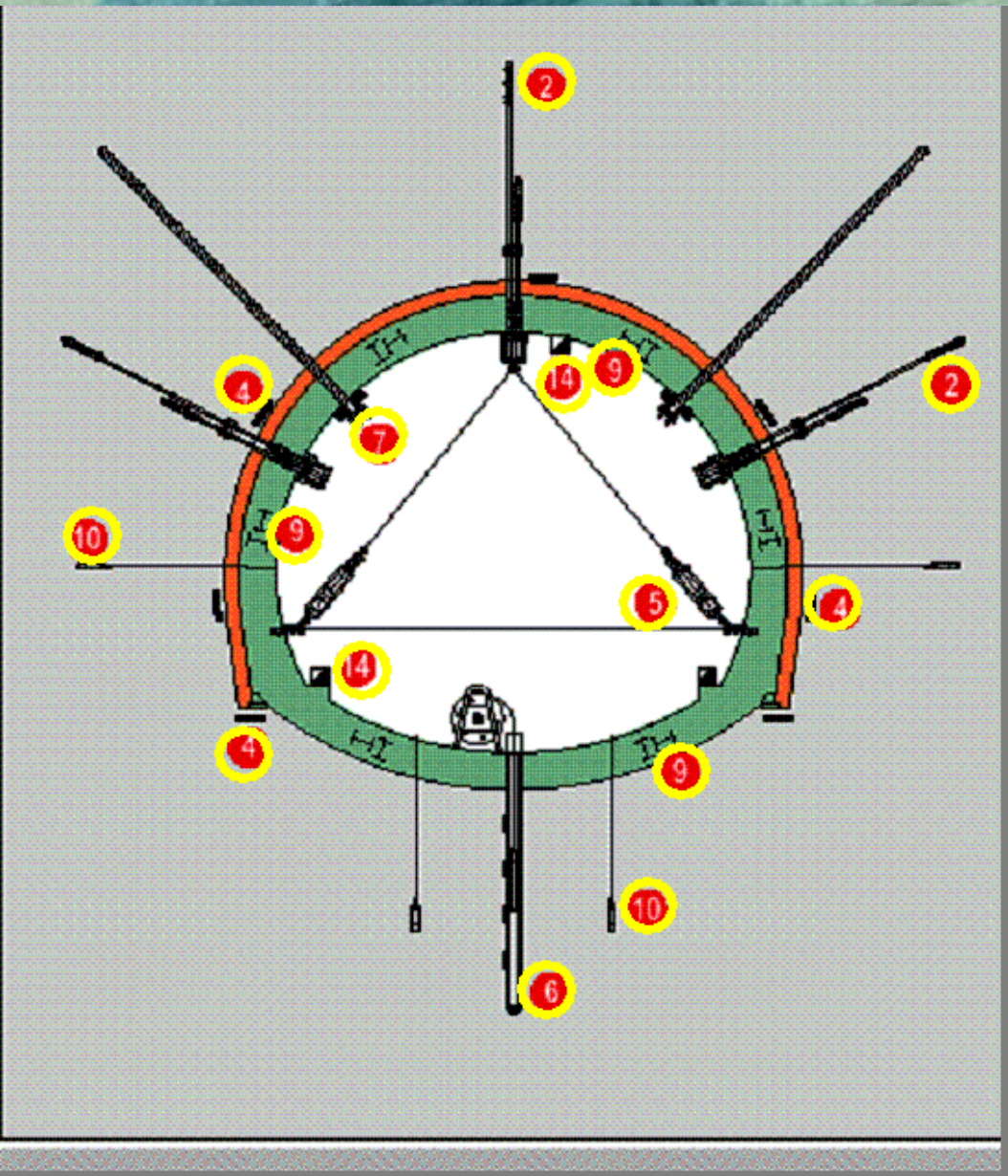
5 – pásmový konvergometr

6- extenzometr

7- prstencový dynamometr pro monitoring osové síly ve svorníku

8- Cassagrandeho piezometr

14 – snímač vibrací



2- víceúrovňový extenzometr ve vrtu

4- napěťové buňky na kontaktu horniny s výztuží

5- pásmový konvergometr

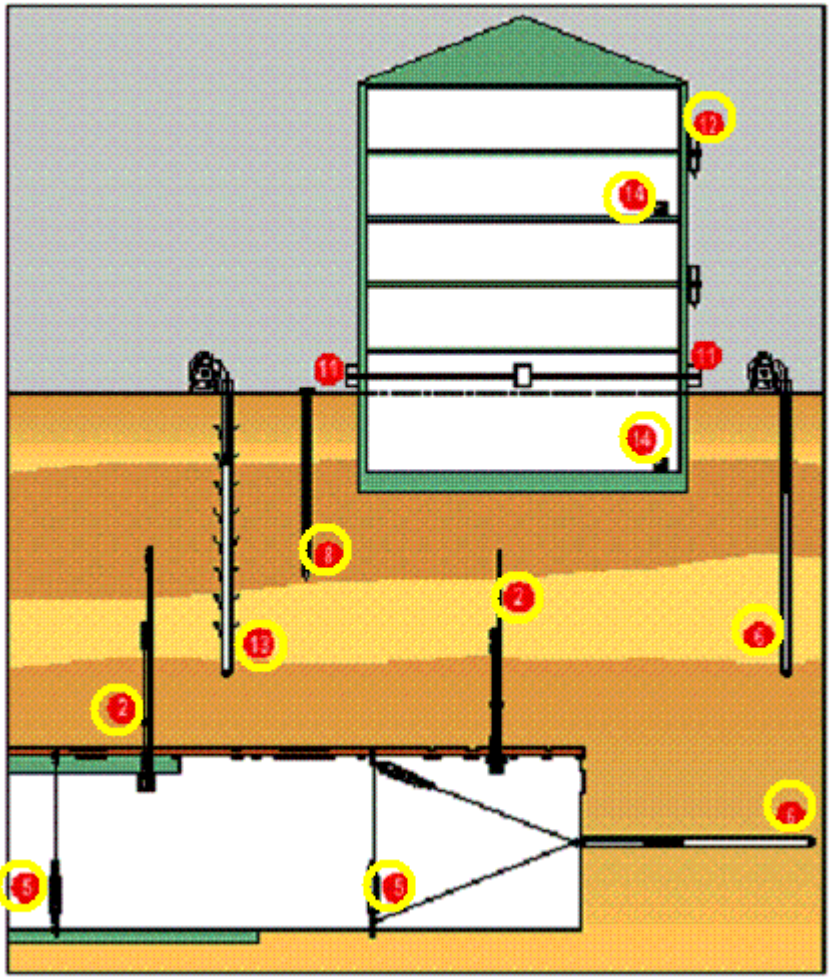
6- magnetický mobilní extenzometr

7- prstencový dynamometr pro monitoring osové síly ve svorníku

9- deformometr

10 – elektrický piezometr

14- snímač vibrací



2- extenzometr ve vrtu

5- pásmový konvergometr

6- mobilní magnetický extenzometr

8 – Cassagrandeho piezometr

12 - náklonoměr

13 – snímač sedání

14- snímač vibrací

MONITORING STAVEBNÍCH JAM

- Cíle a postupy geotechnického monitoringu stavebních jam vychází především z očekávaných napěťodeformačních změn spojených s realizací jámy. Na dně stavební jámy dochází vlivem odlehčení ke zvedání dna jámy, v blízkosti paty jámy může docházet naopak ke koncentraci napětí. Jedním z významných faktorů stability stavebních jam je rovněž podzemní voda. Pode dnem jámy se vlivem odlehčení snižuje pórový tlak (může nastat i vztlak), po určité době se pak tlaky vyrovnávají a klesá stabilita stěn jámy.
- Napěťové změny mohou vést k posunům směrem do jámy, důsledkem mohou být poklesy v okolí jámy. Na povrchových objektech se mohou projevovat negativní vlivy nerovnoměrného sedání i vodorovných posunů směrem do jámy. Nepříznivě ve formě dodatečného sedání povrchu terénu v okolí jámy se může rovněž projevit pokles hladiny podzemní vody.
- Monitoring stavebních jam je tedy směrován především do těchto oblastí.
  - monitoring přetváření a stability pažící konstrukce
  - monitoring přetváření a stability obklopujícího horninového masívu, včetně zvedání dna
  - monitoring výšky hladiny podzemní vody a pórových tlaků
  - měření deformačních projevů na objektech, nacházejících se v dosahu negativních vlivů realizace jámy

Monitoring přetváření a stability pažící konstrukce

- Typ aplikovaných monitorovacích zařízení a jejich umístění závisí především na typu pažící konstrukce
- ***Rozepřené pažení***
  - U tohoto typu pažení jsou monitorovány především síly působící v rozpěrách. Toto měření může být prováděno buď přímým způsobem pomocí siloměru nebo s využitím hydraulického lisu umístěného mezi rozpěru a její oporu, nebo nepřímo pomocí deformometrů (strunových, odporových) za předpokladu znalosti modulu pružnosti materiálu rozpěry. Přetváření stavební jámy je obvykle monitorováno pásmovými konvergometry nebo optickými nivelačními přístroji.
- ***Kotvené pažení***
  - U tohoto typu pažení jsou především monitorovány síly v kotvách prstencovými dynamometry.

Monitoring přetváření a stability obklopujícího horninového masívu, včetně zvedání dna

- Přetváření horninového prostředí v okolí jámy je důsledkem několika základních vlivů:
  - hloubení samotné jámy (odlehčováním a rozvolňováním horninového prostředí)
  - snížení hladiny podzemní vody
  - nestabilita svahů jámy
  - nevhodné pažení
  - bobtnání objemově nestálých zemin (např. jílů)
- Mimo oblast vlastní stavební jámy se na povrchu obvykle využívají geodetická měření s využitím optických metod. Ke zjišťování posunů uvnitř horninového prostředí za stěnou jámy a k vyhodnocení stabilitních poměrů ve svazích jámy mohou být využívány extenzometry a inklinometrická měření ve svislých vrtech pro vyhodnocení vodorovných posunů za stěnou jámy. K tomuto typu monitoringu mohou být využita i sofistikovanější zařízení typu Trivec apod.
- Zvedání dna jámy je obvykle monitorováno buď přesnou nivelací nebo pomocí extenzometrů ve svislých vrtech. Důležitou podmínkou objektivity měření je dostatečná hloubka extenzometrického vrtu, zasahující až do oblasti, ve které se již vliv odlehčení výkopem jámy neprojevuje. Pokud tuto podmínku není možno splnit, je nutno kombinovat toto měření s nivelací zhlaví vrtu.

inset
inset

Monitoring výšky hladiny podzemní vody a pórových tlaků

- Důležitou součástí monitoringu stavebních jam jsou piezometrická měření, umožňující sledovat vývoj depresní křivky, sledovat účinnost odvodnění a kontrolovat proces konsolidace. Mohou být využity jak otevřené, tak i uzavřené typy piezometrů. Piezometry jsou umisťovány jednak pode dnem jámy a jednak ve svazích jámy.

Měření deformačních projevů na objektech, nacházejících se v dosahu negativních vlivů realizace jámy

- Objekty v blízkosti dosahu negativních dopadů realizace stavební jámy je vhodné monitorovat z především hlediska sedání, a to jak rovnoměrného , tak i nerovnoměrného. K tomuto typu monitoringu může být využita např. klasická nivelace, hydrostatická nivelace nebo náklonoměry umístěné přímo na daném objektu.

Monitoring deformací:

extenzometr

inklinometr

náklonoměr

nivelace

dilatometr

hydrostatická nivelace

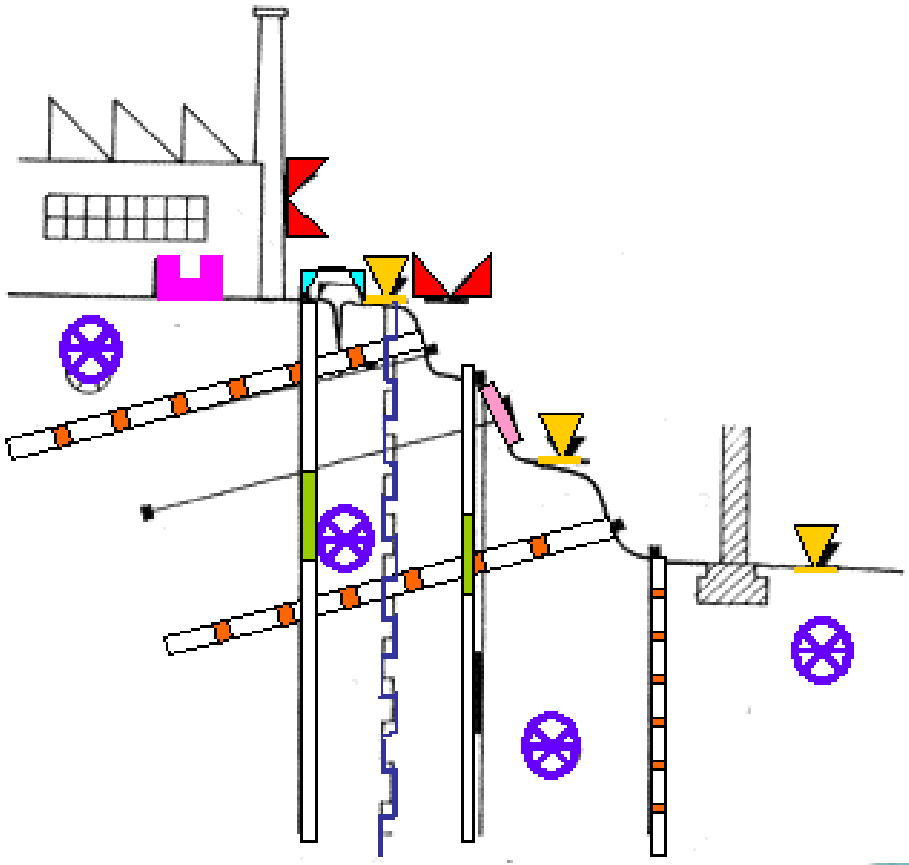
křehké vodiče

Monitoring napětí:

prstencový dynamometr

Monitoring pórového tlaku:

piezometr



MONITORING ZEMINOVÝCH SVAHŮ

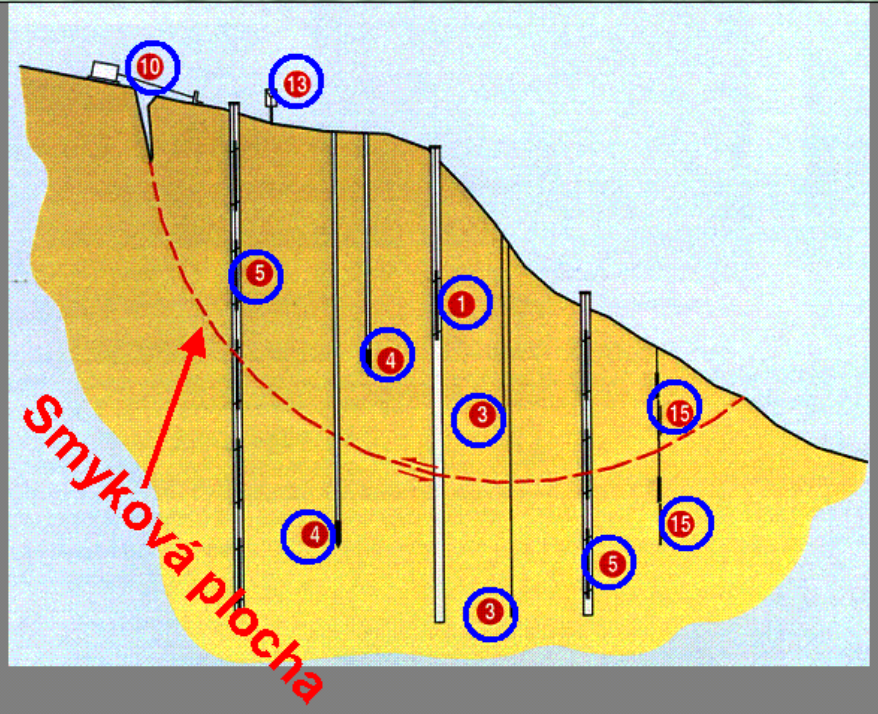
- Monitoring zemních svahů by měl přispět k objektivnější představě o procesech probíhajících ve svahovém tělese, o prosesech indikujících nestabilitu svahů,o jejich časovém vývoji, měl by umožnit lokalizovat smykové plochy ve svahu a také ověřit účinnost případných sanačních a stabilizačních opatření (odvodnění, kotvení, ...). Kromě samotného svahového tělesa je nutno monitorovat i okolí, které by mohlo být zasaženo sesuvnými pohyby.
- Při návrhu a vlastní realizaci monitorovacích měření svahových těles se vychází z rozboru všech faktorů , které určují stabilitní situaci ve svahovém tělese. Mezi tyto základní faktory patří především geometrie svahu (hlavně jeho úklon a výška), geologie svahu, fyzikálně-mechanické, strukturní a hydraulické vlastnosti horninového prostředí, vodní režim (hladina podzemní vody, kolísání této hladiny, dynamické vlivy proudění vody ve svahu) a dále rovněž primární stav napjatosti ve svahovém tělese. Kromě nejčastějších iniciačních činitelů svahových pohybů, kterými jsou změna geometrie svahu a dále statický resp. dynamický vliv vody, může být iniciačním faktorem rovněž statické nebo dynamické přitížení svahu vlivem dopravy, těžkých mechanismů a dále vlivy seismické (např. důlně indukovaná seismicita). Stabilitní odezva na tyto iniciační činitele přitom nemusí být vždy bezprostřední a může vykazovat určité zpoždění (např. v případě stabilitního vlivu dešťových srážek).

Monitoring přetváření (na povrchu i uvnitř), monitoring vývoje smykových ploch

- K monitoringu přetváření na povrchu jsou nejčastěji využívána geodetická měření (klasická nivelace, optické automatické stanice,...), , umožňujícími vyhodnotit absolutní hodnoty posunů , jejich orientaci a časový vývoj.
- Především v odlučné části sesuvu je rovněž účelné monitorovat případné rozevírání trhlin, indikujících aktivitu sesuvného území, a to nejčastěji přesnými pásmovými konvergometry nebo dilatometry. Kontrolní sledování uvnitř horninového masívu zahrnuje obvykle především inklinometrická a extenzometrická měření posunů ve vrtech. V případě monitoringu posunů ve vrtech je důležité optimální prostorové rozmístění a vhodná hloubková úroveň vrtů , aby byly zachyceny jak mělké, tak i hluboké smykové plochy. Ke stanovení optimální lokalizace a hloubky vrtů přispívají i výsledky matematického modelování.

Monitoring výšky hladiny podzemní vody a pórových tlaků

- Podzemní voda je jeden z nejdůležitějších faktorů stability svahových těles. Celá problematika je dále navíc komplikována tím, že výška hladiny podzemní vody,a s tím související pórové tlaky, jsou závislé na mnoha faktorech, mají velkou časovou proměnlivost a mnohy se vliv změny vodního režimu projeví ve svahu až s určitým zpožděním.
- Tomuto faktu by měl odpovídat také výběr vhodného typu piezometru, především z hlediska typu zeminy, očekávané velikosti pórových tlaků a reakčního času piezometru. Lokalizace piezometrů by měla odpovídat oblastem největších očekávaných změn pórových tlaků. Mezi tyto oblasti patří např. místa oslabená smykovou plochou, oblasti nadlehčení zeminového prostředí v důsledku vzrůstu hladiny podzemní vody, lokálně zvodnělé oblasti v důsledku infiltrace dešťových srážek apod. .



1 inklinometr

3 elektrický piezometr

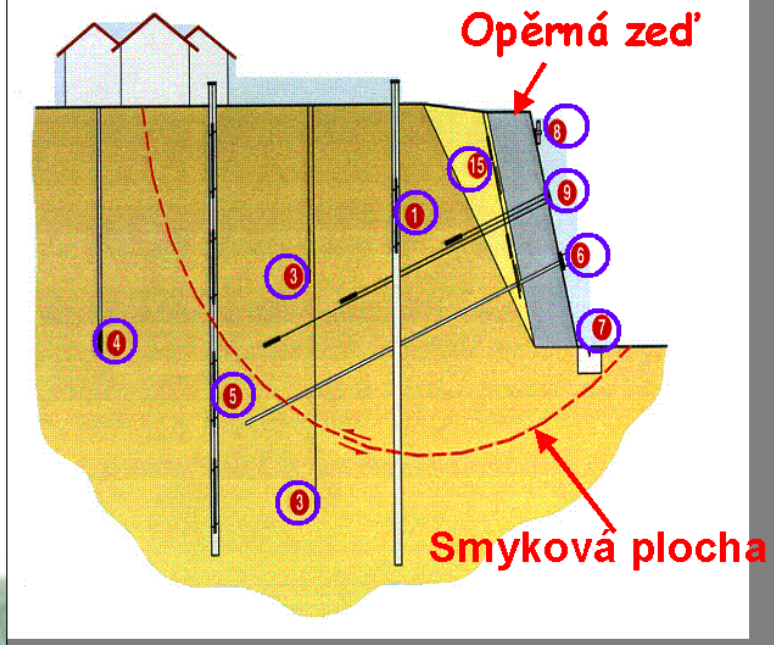
4 Casagrandeho piezometr

5 Trivec

10 dilatometr

13 srážkoměr

15 hydraulické tlakové buňky



1 inklinometr

3 - piezometr

4 – Casagrandeho piezometr

5 - Trivec(ink.+extenz.)

6 – prstencový dynamometr

7 - průtokoměr

8- náklonoměr

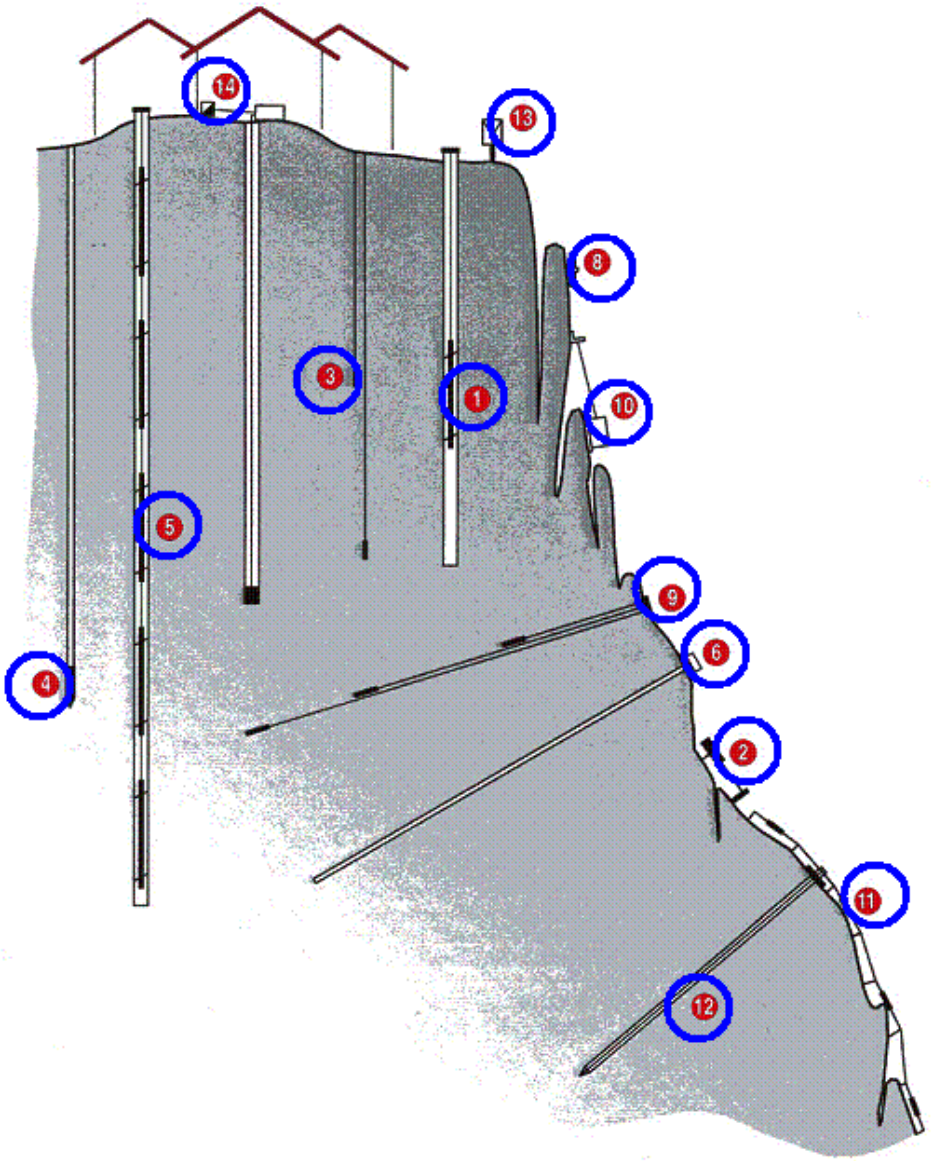
9 - extenzometr

15 – hydraulické tlakové buňky

MONITORING SKALNÍCH STĚN

- Specifika monitoringu skalních stěn vyplývají především z rozdílného způsobu chování a porušování skalních hornin. Na rozdíl od zemních svahů nedochází k porušování smykem podél smykových ploch, ale k porušování dochází buď křehkým lomem nebo sesuvy podél ploch nespojitostí, může docházet k pohybům celých horninových bloků popř. k jejich úplné separaci. Stabilita a celistvost skalních stěn je významně ovlivňována vodou, která jednak způsobuje v diskontinuitách zvyšování hydrostatických tlaků a jednak působí negativně i dynamické účinky proudící vody.

- ***Monitoring přetvoření na povrchu i uvnitř skalní stěny***
  - Monitoring přetvárných procesů na povrchu skalního masívu je nejčastěji realizován povrchovým konvergenčním měřením, ke sledování náklonů jednotlivých skalních bloků jsou pak využívány různé typy náklonoměrů. Monitoring trhlin je nejčastěji prováděn buď vizuálně s využitím sádrových nebo skleněných destiček nebo aplikací dilatometrů. Uvnitř skalních stěn jsou pohyby nejčastěji monitorovány extenzometry, inklinometry nebo speciálními zařízeními typu TRIVEC.
- ***Monitoring hydrostatických tlaků***
  - K monitoringu hydrostatických tlaků na plochách nespojitosti se používají piezometry. Výhodnější je využít uzavřené typy piezometrů, přičemž piezometrická sonda musí být v zájmu objektivity výsledků měření lokalizována v průsečíku vrtu a plochy nespojitosti a okolní prostředí musí být řádně utěsněno. V případě otevřených typů piezometrů je třeba vzít v úvahu ten fakt, že mohou být vrtem propojeny vodní hladiny různých puklin.
- ***Monitoring kotevních sil***
  - Pro stabilizaci skalních stěn jsou často využívány kotevní systémy, u nichž je prováděn monitoring kotevních sil prstencovými dynamometry.



1- inclinometr

2, 10- dilatometr

3- elektrický piezometr

4- Casagrandeho piezometr

5 - TRIVEC

6 – Prstencový dynamometr

8 - náklonoměr

9 - extenzometr

11 – povrchové konvergenční měření

13 - srážkoměr

12 – měřící svorník

14 -seismický snímač

MONITORING NÁSYPŮ A VÝSYPEK

- Stabilita násypů a výsypek , které patří do kategorie umělých svahových těles, se v zásadě řídí stejnými principy a zákonitostmi jako v případě přírodních zeminových svahů. Analogické jsou rovněž inicializační faktory svahových pohybů . Podstatná odlišnost je však především v aktivní možnosti ovlivnit stabilitu umělého svahu při samotném návrhu a následné realizaci umělého svahového tělesa – především vhodnou volbou geometrie tělesa, v případě násypů vhodnou volbou násypového materiálu a optimálním zhutněním, optimální časovou realizací svahového tělesa s respektováním vhodných konsolidačních fází. V případě sypaných těles pak hraje důležitou roli rovněž přijetí vhodného a účinného způsobu úpravy podloží a jeho odvodnění.
- Při návrhu monitorovacích měření uvedených umělých svahových těles by měl být zohledněn rovněž ten fakt, že pro sypaná svahová tělesa je z hlediska stabilitního rozhodující obvykle krátkodobá stabilita, což plyne především ze změn pórových napětí v podloží při budování uvedených umělých svahových těles a vyrovnávání těchto pórových tlaků v navazujícím procesu konsolidace. Při přitěžování podloží, zejména je-li tvořeno nasycenými málo propustnými soudržnými zeminami, dochází ke snižování pórovitosti, zvyšování pórových tlaků, poklesu efektivní smykové pevnosti a může docházet k zaboření násypu do podloží. Na stabilitní vývoj umělých svahů může mít z hlediska časového samozřejmě vliv změna vlastností rostlých zemin nebo sypanin v důsledku klimatických jevů a časového působení vody, včetně problémů spojených s dvojitou pórovitostí sypanin .

MONITORING NÁSYPŮ A VÝSYPEK

- Z výše uvedených charakteristik plyne, že v případě umělých svahů se geotechnický monitoring stává velmi významnou součástí samotné realizace těchto svahových těles, jsou zde velké možnosti pro aplikaci observační metody při realizaci těchto inženýrských staveb, výsledky geotechnického monitoringu se uplatňují především při optimální časovém rozfázování realizace stavby a při volbě vhodné stavební technologie a způsobu stabilizace umělého svahu. Svou funkci mají však monitorovací měření i po ukončení výstavby svahového tělesa, a to především z důvodu výrazné závislosti stabilitních poměrů umělého svahového tělesa na čase. Důležitou podmínkou pro získání objektivnější představy o vývoji stabilitní situace v případě sypaných svahů je monitoring nejen samotného svahového tělesa, ale i podloží
- Každý typ umělého svahu má své určité specifické zákonitosti a požadavky na geotechnický monitoring, avšak obecně lze říci, že se při monitoringu umělých svahů uplatňují:
  - povrchová měření přetvárných projevů, včetně sedání (nivelace, povrchová konvergenční měření, hydrostatická nivelace)
  - hloubková měření svislých i vodorovných posunů (inklinometry, horizontální inklinometr, extenzometry, TRIVEC, páskové vodiče)
  - piezometrická měření – piezometry instalované v podloží pod násypem i mimo něj v různých hloubkách slouží k ověřování předpokládané rychlosti konsolidace, stanovení času ukončení konsolidace a k jejímu řízení
  - monitoring napětí pod násypem tlakovými buňkami
  - měření osových sil v kotvách prstencovými dynamometry
  - v případě velkých násypových a výsypkových těles kulový snímač napětí

Monitoring deformací:

extenzometr

inklinometr

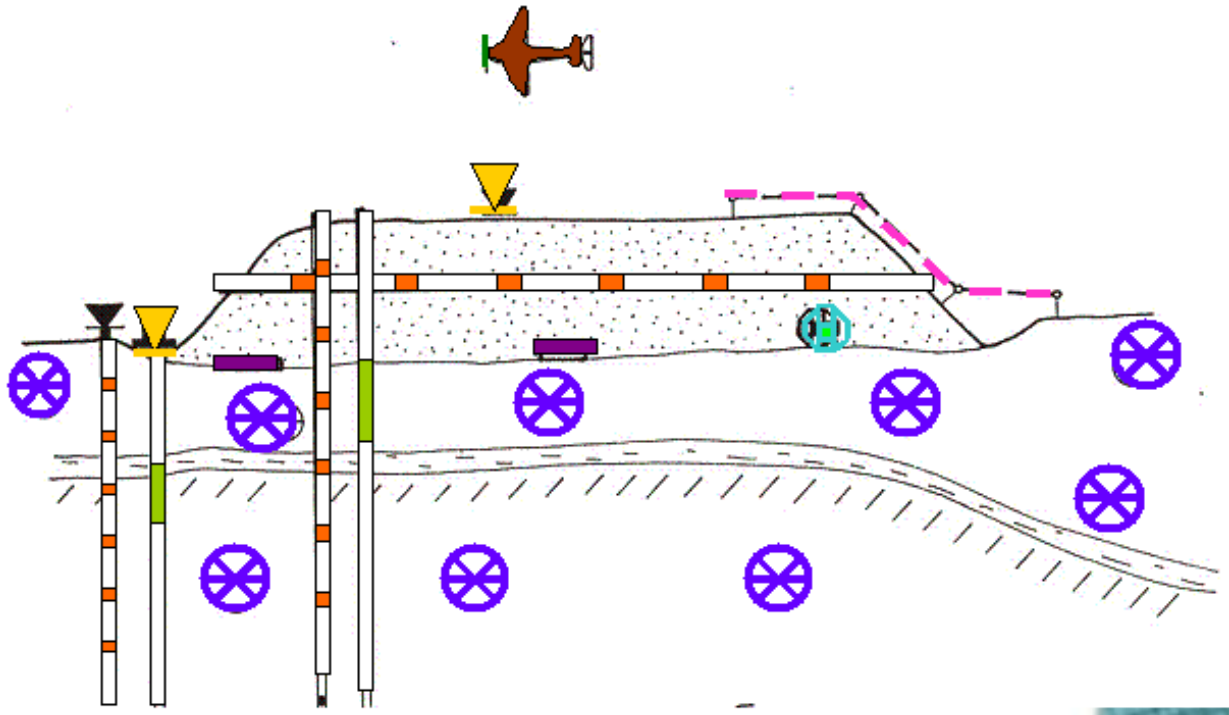
konvergometr

nivelace

fotogrametrie

Monitoring pórového tlaku:

piezometr



Monitoring napětí:

tlaková buňka

kulový snímač napětí