

Mechanika hornin

Přednáška 4

Geotechnický průzkum

prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.

Hlavní úkoly geotechnického průzkumu

- Zjištění inženýrsko-geologických poměrů v zájmovém území
- Zjištění vlastností horninového masivu a hornin (fyzikálních, mechanických, technologických, atd.)
- Stanovení podkladů pro projektovou přípravu (technologie výstavby, způsob zajištění, atd.)
- Podklady pro posouzení stability a deformací v okolí díla (např. sedání povrchu nad tunelem)
- Hydrogeologické posouzení území
- Posouzení agresivity prostředí

Geotechnický průzkum zahrnuje:

- **Inženýrsko-geologický průzkum**
 - informace o horninovém masivu
- **Hydrogeologický průzkum**
 - informace o podzemní vodě
- **Korozní průzkum**
 - informace o agresivitě prostředí z hlediska korozních vlivů (bludné proudy)

Geotechnické kategorie

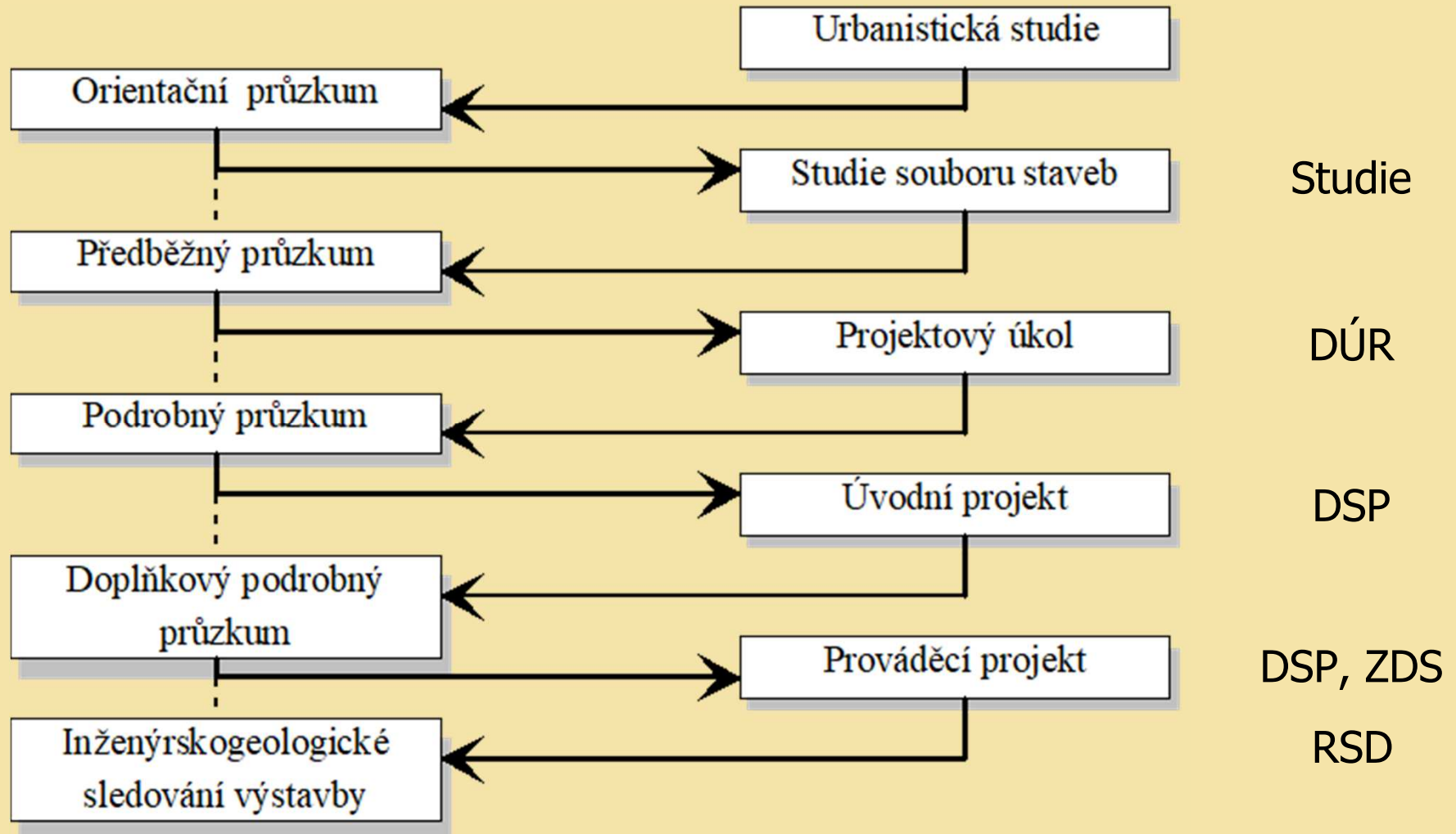
Rozdělení dle ČSN EN 1997-1 jsou konstrukce podle náročnosti, složitosti základových poměrů a rizika:

- **1. geotechnická kategorie:** malé a relativně jednoduché konstrukce se zanedbatelným rizikem (průzkum lze provést během provádění).
- **2. geotechnická kategorie:** Zahrnuje obvyklé typy konstrukcí a základů s běžným rizikem nebo jednoduchými základovými poměry či zatěžovacími podmínkami (předběžný a podrobný průzkum).
- **3. geotechnická kategorie:** Zahrnuje konstrukce nebo jejich části, které nespádají do 1. a 2. GK, tzn. velmi velké nebo neobvyklé konstrukce s abnormálním rizikem (průzkum v etapách).

Rozsah průzkumu se odvíjí od geotechnické kategorie, dopravní tunely zpravidla spadají do 3. geotechnické kategorie.

Základní etapy geotechnického průzkumu

Etapovost průzkumných prací



1. etapa – orientační průzkum

- Podklad pro alternativní studie (v úrovni studie – např. výběr trasy podzemního díla)
- Vytipování nevhodných lokalit (území se svahovými pohyby, poddolovaná území, výsypky, zvodnělé lokality, seismická území)

Metody průzkumu:

- Zpracovává se na podkladě zhodnocení archivních materiálů (Geofond – výsledky předchozích průzkumných prací – funguje od roku 1952, od 2012 patří pod Českou geologickou službu - ČGS)
- Mapování přirozených odkryvů (např. skalní útvary) a umělých odkryvů (např. zářezy)
- Někdy vhodné využít geofyzikální metody (při vyšší míře nejistoty)

2. etapa – předběžný průzkum

- Pro potřeby projektového úkolu (v úrovni DÚR – dokumentace pro územní rozhodnutí)
- Ověřují předpoklady získané orientačním průzkumem

Metody průzkumu:

- Studium archivních materiálů
- Dokumentace odkryvů
- Vrtné práce (svislé vrty)
- Laboratorní zkoušky
- Geofyzikální metody

2. etapa – předběžný průzkum

Hlavní cíle:

- IG a hydrogeologické poměry
- Korozní průzkum (opatření pro omezení bludných proudů)
- Stupeň agresivity prostředí
- Rozpojitelnost, těžitelnost a vrtatelnost horninového masivu
- Použitelnost vytěženého materiálu
- Parametry pro statické výpočty
- Upřesnění způsobu výstavby (např. způsob zajištění stavebních jam)
- Posouzení vlivu výstavby na režim podzemních vod (snížení HPV, kontaminace, atd.)

3. etapa – podrobný průzkum

- Podklad pro zpracování úvodního projektu (v úrovni DSP – dokumentace pro stavební povolení)
- Upřesňuje geologické, hydrogeologické a geotechnické informace

Metody průzkumu:

- Vrtné práce, odběr vzorků pro laboratorní zkoušky
- Laboratorní zkoušky
- Četnost a orientace puklin (např. na jádrech)
- Presiometrická měření ve vrtech
- Zkoušky in-situ
- Průzkumné štoly a šachty

3. etapa – podrobný průzkum

Hlavní cíle

- Podrobné geotechnické výpočty
- Podrobné posouzení stability
- Strukturní analýza horninového masivu
- Přítoky podzemní vody
- Vliv výstavby na kvalitu a vydatnost vodních zdrojů
- Charakter působení podzemní vody na konstrukci
- Posouzení ovlivněných konstrukcí
- Detailní opatření pro omezení bludných proudů

4. etapa – doplňující průzkum

- Podklad pro prováděcí projekt (pro doplnění předchozích etap pro DSP a DZS – dokumentace zadání stavby)
- Zpravidla iniciuje zpracovatel DSP
- Obdobné metody jako u podrobného průzkumu (vyšší četnost, přesnější poloha vůči budovanému dílu)

5. etapa – provozní průzkum

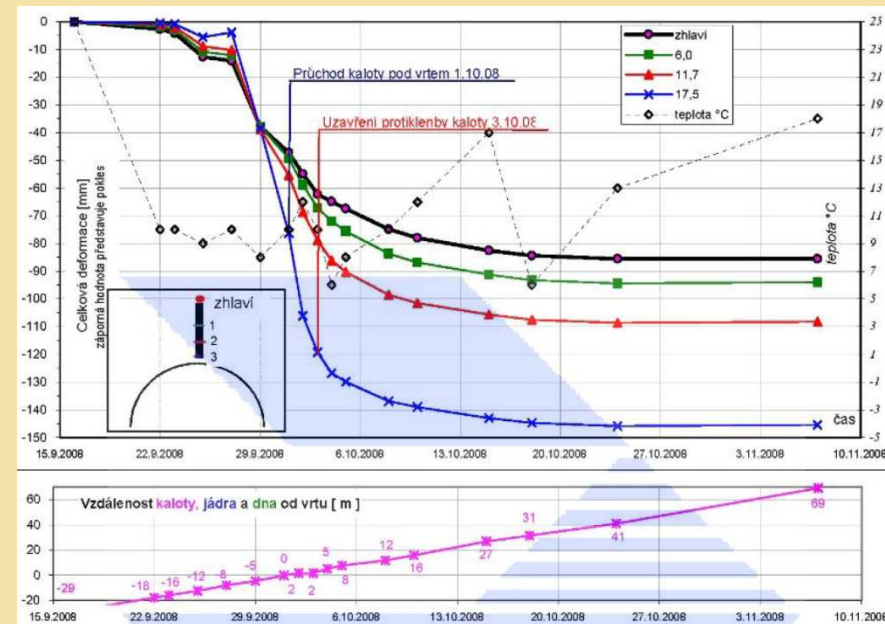
- Řeší problémy vznikající během výstavby (např. během ražby tunelu)
- U rozsáhlých staveb je zřízen trvalý inženýrskogeologický dozor (např. geologické mapování čeleb u tunelů)

Hlavní cíle:

- Ověření původních předpokladů
- Podklad pro ocenění (např. rozpojitelnost, vrtatelnost)
- Úprava postupu u observačních metod
- Ověřuje správnou funkci zajišťujících prostředků

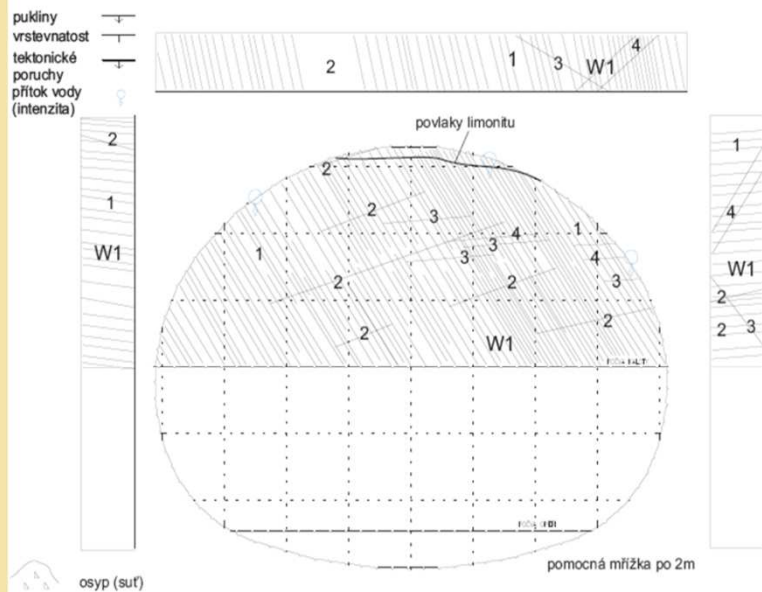
5. etapa – provozní průzkum - metody

- Vizuální kontrola
- Dokumentace nevystrojeného výrubu (mapování čeleb)
- Dokumentace nadvýlomů
- Geotechnický monitoring
 - sedání povrchu
 - 3D posuny
 - konvergenční měření
 - inklinometrická měření
 - extenzometrická měření
 - tlakové buňky
 - piezometry
 - přítoky vody
 - atd.



Dokumentace nevystrojeného výrubu (mapování čelby):

datum a čas:	staničení v [m]:	BTX č.:	dokumentoval:
	staničení [km]:		
přítoky: 0,0X [Vs]	odebrané vzorky:	délka záběru [m]: 1,25 mocnost nadloží/skalní nadloží [m/m]: 22,5 / 17,0	aktuální třída NRTM: 4 prognóza NRTM pro další dva postupy: 4
technologie ražby: strojní	nadvýlomy h x š x l [cm]:	0 x 0 x 0	



tektonická znaménka popsaných diskontinuit				
S	1	175/60	2	40/40
	3	270/65	4	90/65
popis horniny (ČSN 73 1001)				
W1 - Letenské břidlice zdravé až slabě zvětralé (ojediněle s povlaky diskontinuit limonitem - hlavně v přístropí) - tmavošedé, prachovité až písčité, slídnaté, deskovitě vrstevnaté, s prokřemenělými polohami. Náleží třídě R3 - R2, těžitelnost 5. - 6. S drobnými přítoky vody. Celkové zpevnění horniny				

diskontinuita	znac.	směr/uklon [°]	vzdálenost [mm]	průběžnost	drsnost	výplň	rozevření [mm]	zvodnění
1		175 / 60	100 - 300	ano	hladká a zvlněná	-	<1	ano
2		40 / 40	200-600	ano	hladká a rovinná	limonit*	1	ano
3		270 / 65	200-600	ne	hladká a rovinná	-	1	ano
4		90 / 65	200-600	ne	hladká a rovinná	-	1	ano

klasifikace zastížených hornin ve výrubu					
popis	ČSN 73 1001, ČSN 72 1001	73 3050			
typ	značka	třída	pevnost	zvětrání	třída
W1	W1	R3	30 - 50	W1	5-6

poznámky (blokovitost, nadvýlomy, ..):
* - limonitová výplň v přístropí na čelbě jsou patrné neměřitelné přítoky v přístropí

opatření/doporučení a poznámky k ražbě:
celkové zpevnění horniny, nutno rozpojovat horninu téměř v celém profilu impaktorem



poznámky:

QTS:	TSa	13
	TSb	26
	TSc	18
	redukce	12,5
celkem:		44,5
NRTM:		4

Metody geotechnického průzkumu

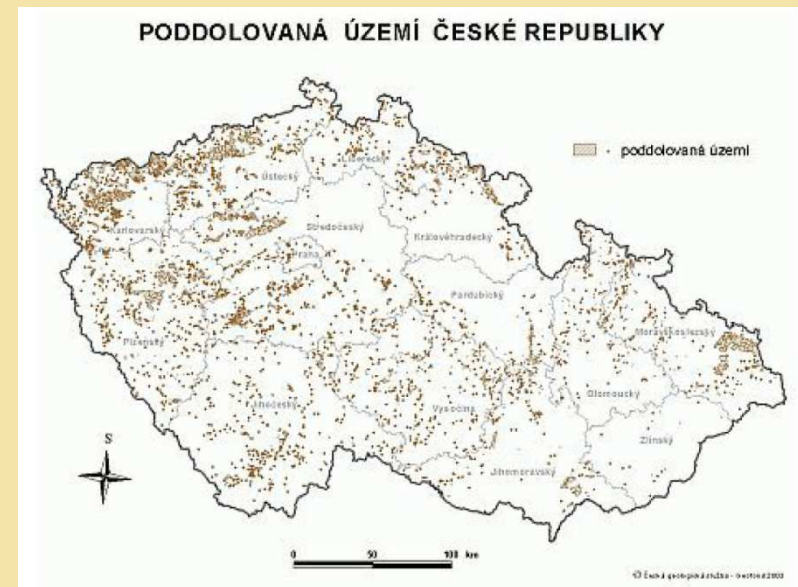
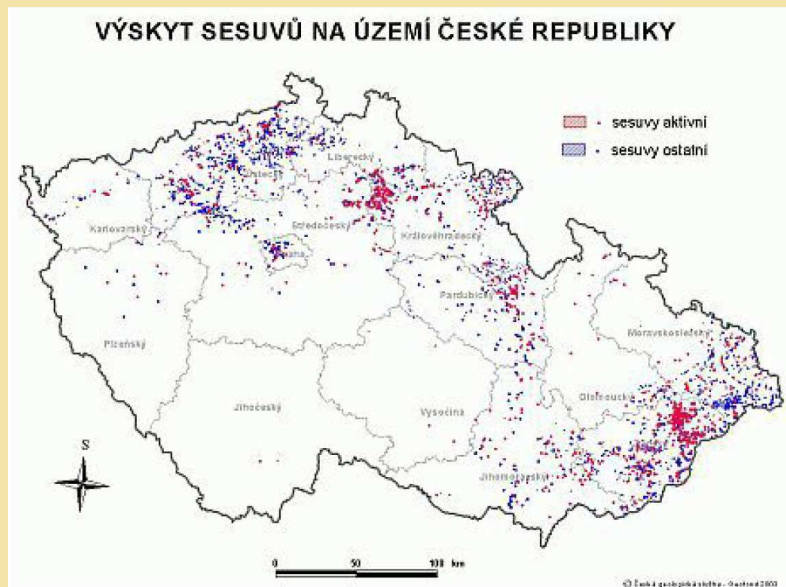
- archivní šetření
- využití výsledků základního výzkumu
- mapovací práce
- geofyzikální metody
- vrtný průzkum, odkryvné práce
- laboratorní zkoušky
- polní zkoušky
- hydrologické a korozní šetření
- inženýrskogeologické sledování průběhu výstavby
- stanovení a vyhodnocení přímo neměřitelných geotechnických veličin
- průzkumná díla



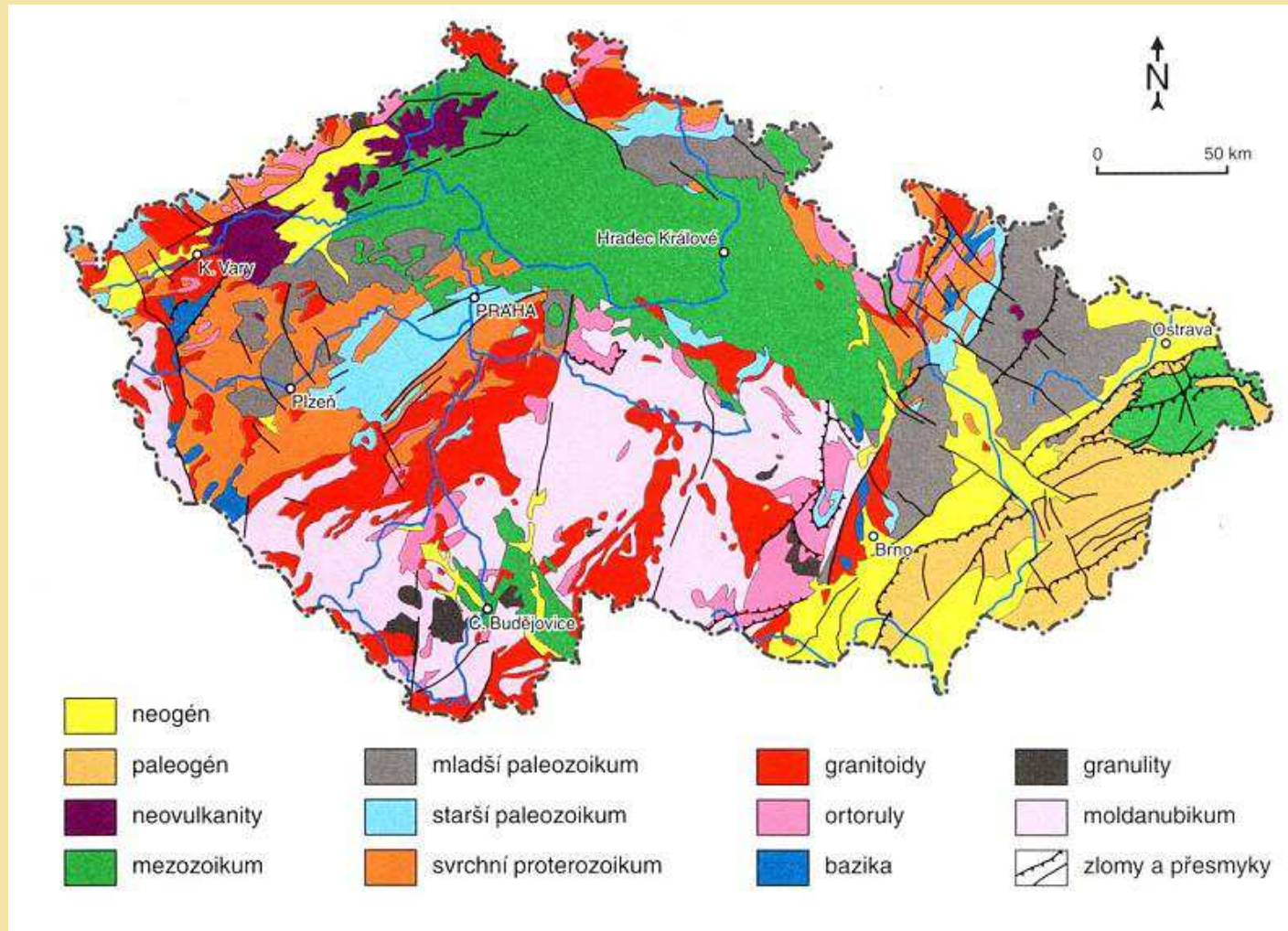
Geologické mapy

Rozdělení geologických map:

- **Komplexní**, zobrazující komplexní geologickou informaci (tzn. rozšíření hornin na zemském povrchu – bez nebo včetně vrstev pokryvných útvarů, tektonické poměry, stratigrafické jednotky, výskyt nerostných surovin, příp. údaje HG)
- **Specializované**, zobrazující speciální geologickou informaci (např. jen stratigrafii, tektoniku, HG poměry, nerostné suroviny – zvláštním případem jsou mapy důlní, IG poměry apod.)

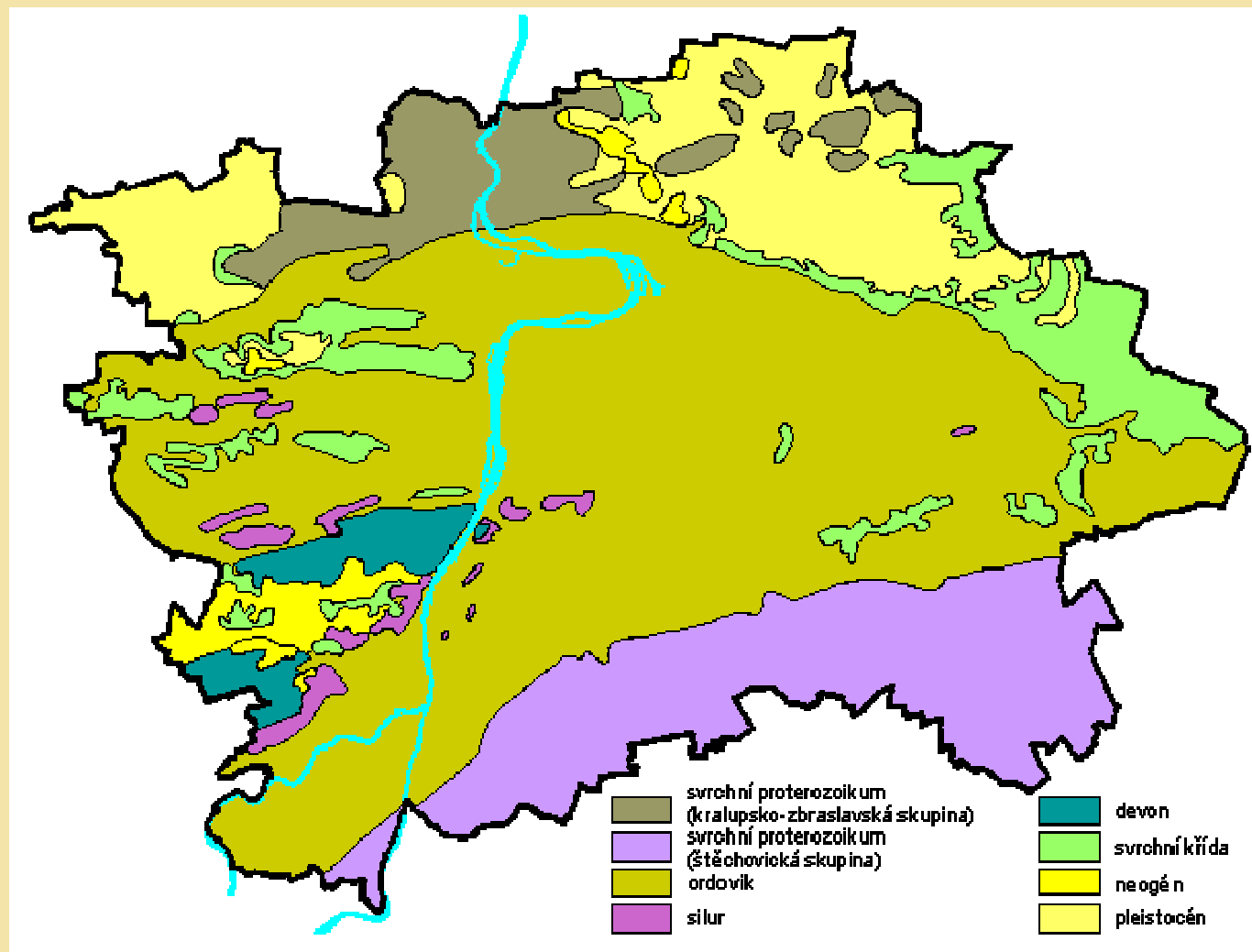


Geologické mapy



Geologická mapa ČR (ČGS)

Geologické mapy



Geologická mapa Prahy (ČGS)

Dokumentace přirozených odkryvů



krasové území (vápenec)



Panská skála (čedič)

Dokumentace umělých odkryvů



Trat' Tanvald - Harrachov

Posázavský Pacifik



Železniční tratě ve skalních zářezech

Geofyzikální průzkum

Zpravidla nenáročné a levné metody průzkumu využívající přirozených a umělých polí fyzikální podstaty.

Skupiny metod:

- Gravimetrické metody
- Seismické metody
- Geoelektrické metody
- Magnetometrické metody
- Radiometrické metody
- Karotážní metody

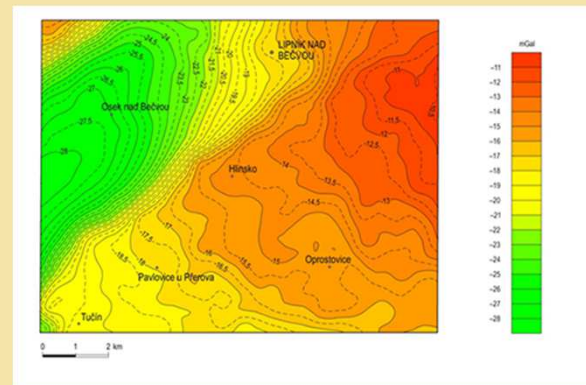


Gravimetrické metody

- Studují změny tíhového zrychlení způsobené hustotními nehomogenitami horninového masivu.
- Tíhové zrychlení lze na povrchu Země měřit pomocí kyvadel (např. reverzní kyvadlo) a gravimetrů, pracujících na principu pružnosti spirály nebo torze vlákna.
- Přesnost měření je dána rozměrem nehomogenit, poměrem od vzdálenosti měření a hustotním kontrastem vůči okolí.
- Vhodné pro lokalizaci dutin (prázdných a vyplněných) – např. krasové útvary, poddolovaná území, atd.



gravimetr



mapa
ÚBA

Seismické metody

- Založeny na rozdílných rychlostech šíření vlnění v horninách, základem je studium uměle vyvolaných seismických vln, které procházejí horninovým prostředím a vracejí se zpět k zemskému povrchu.
- Rychlost šíření vlnění je hlavně závislá na modulu pružnosti, hustotě, Poissonovu číslu
- Dělíme na refrakční seismiku (pro menší hloubky - zjišťuje seismická rozhraní) a reflexní seismiku (pro větší hloubky - ložiska ropy a zemního plynu)

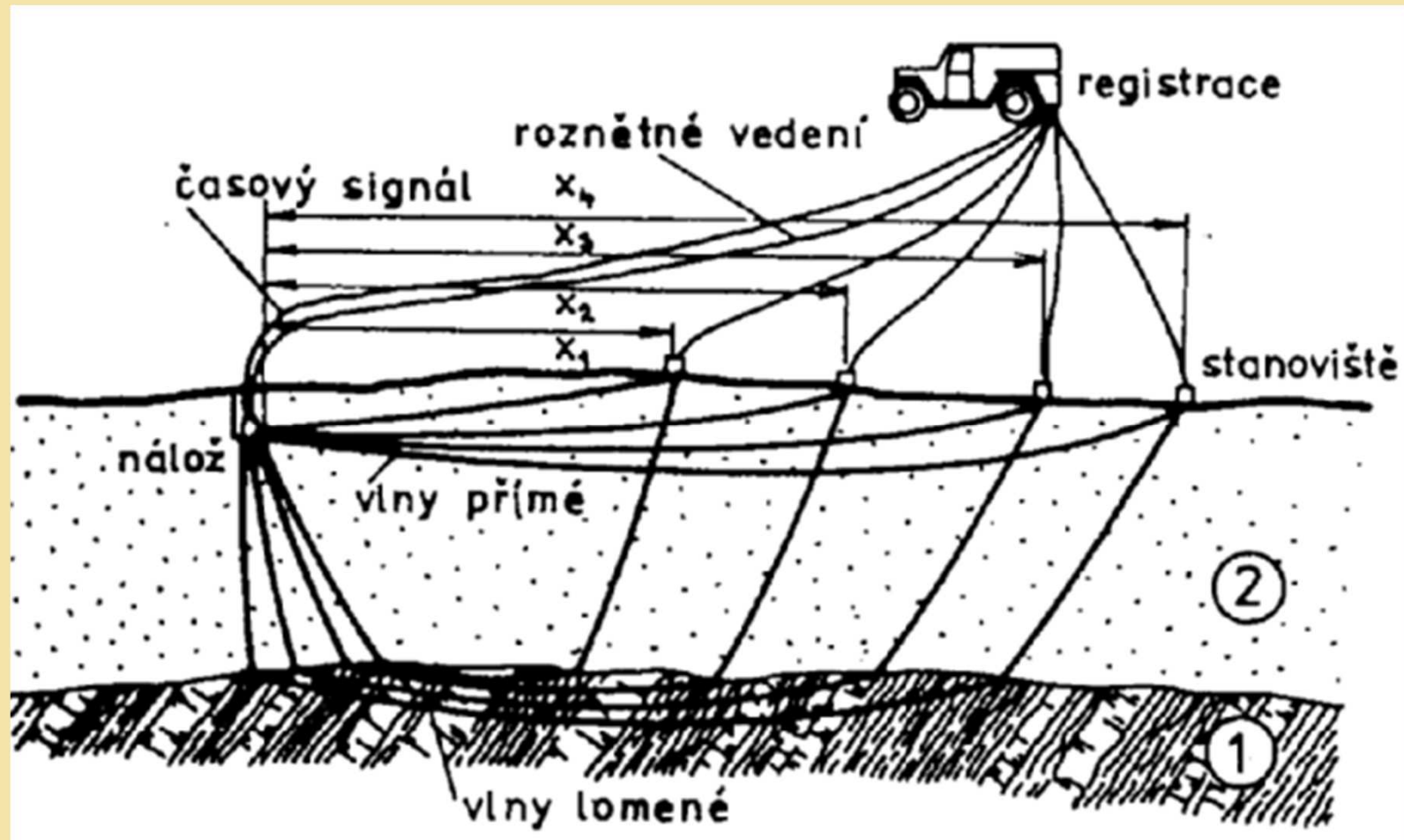


údery kladiva

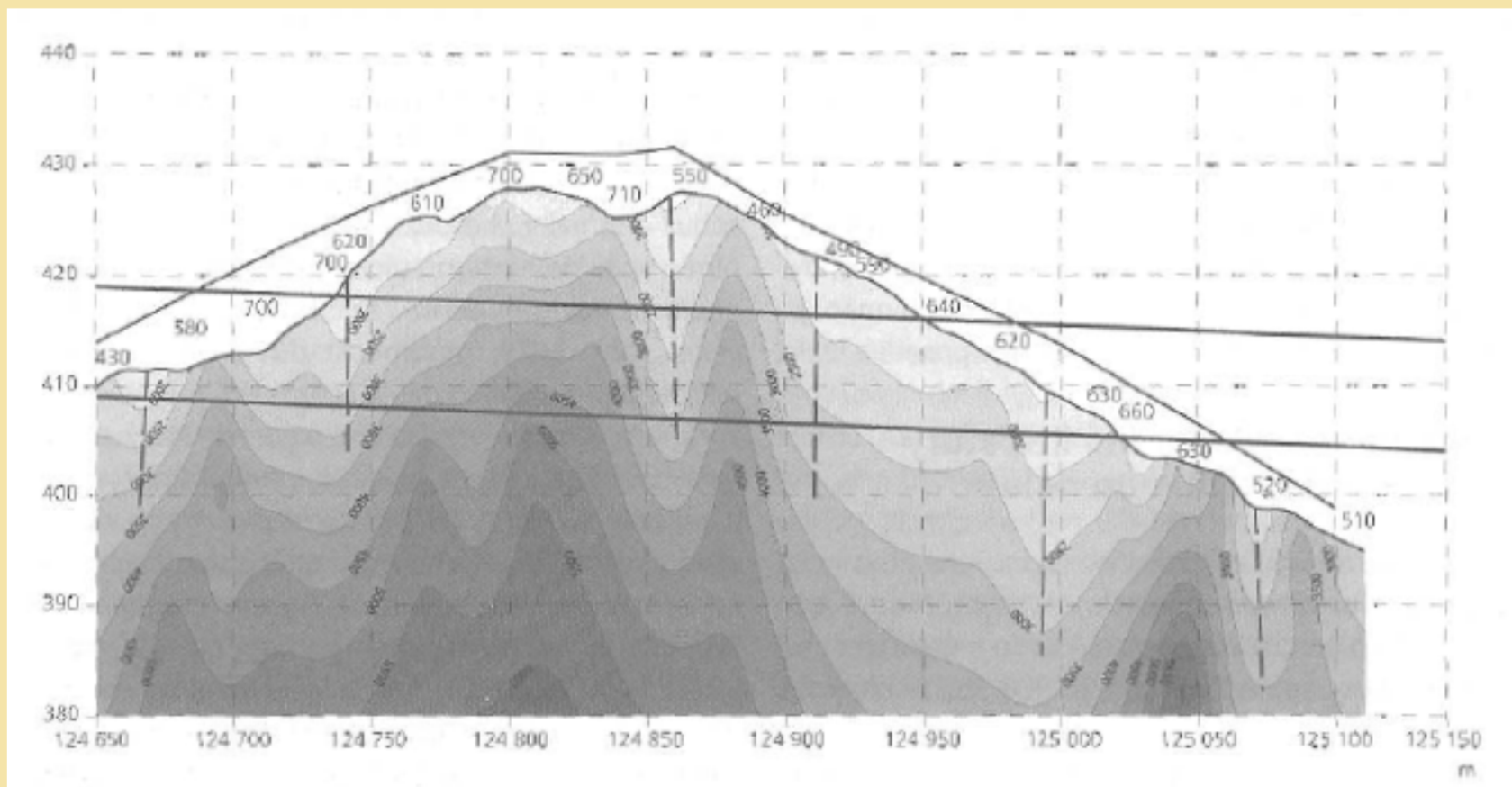


seismická aparatura

Seismické metody Měření hloubky skalního podloží

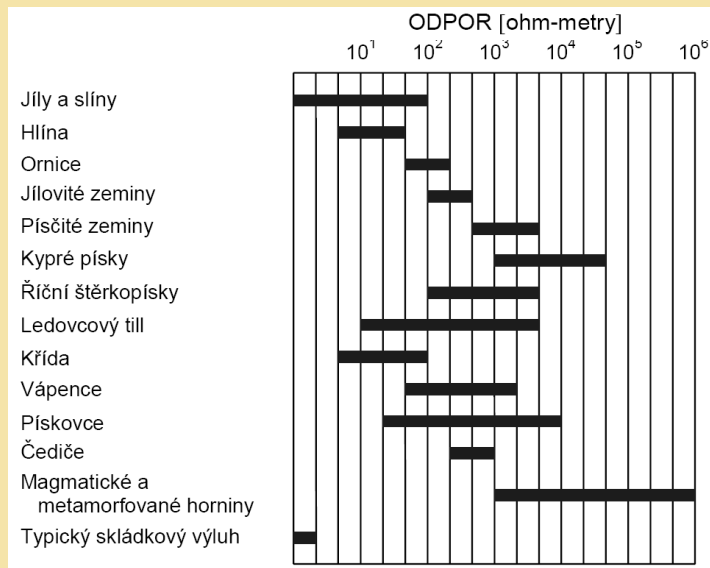


Seismický podélný profil trasy tunelu

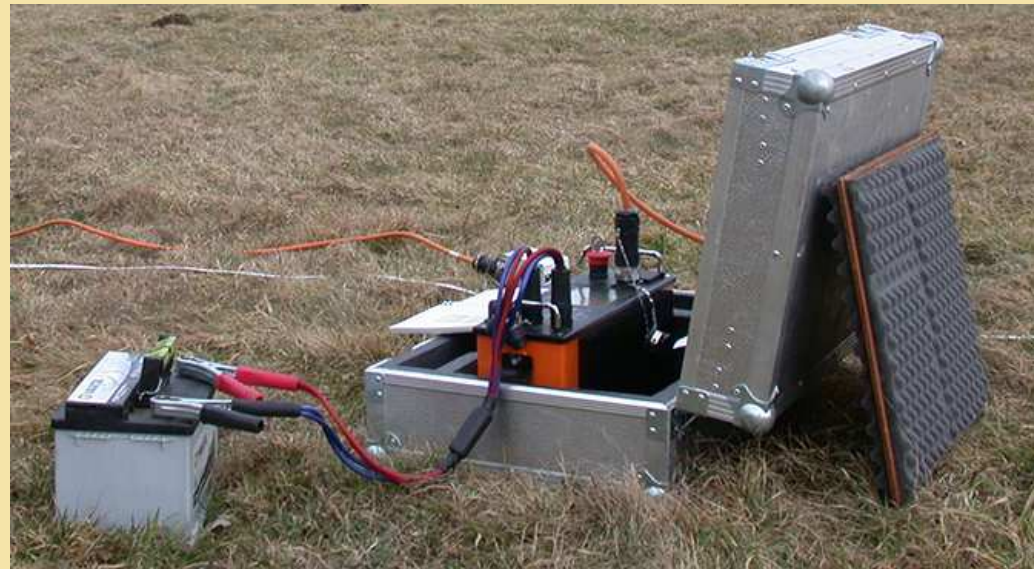


Geoelektrické metody

- Stejnoseměrné metody (odporové a potenciálové) - využívají rozdílů v charakteristických hodnotách měrného odporu různých typů hornin (viz. tabulka)
- Elektrochemické
- Elektromagnetické

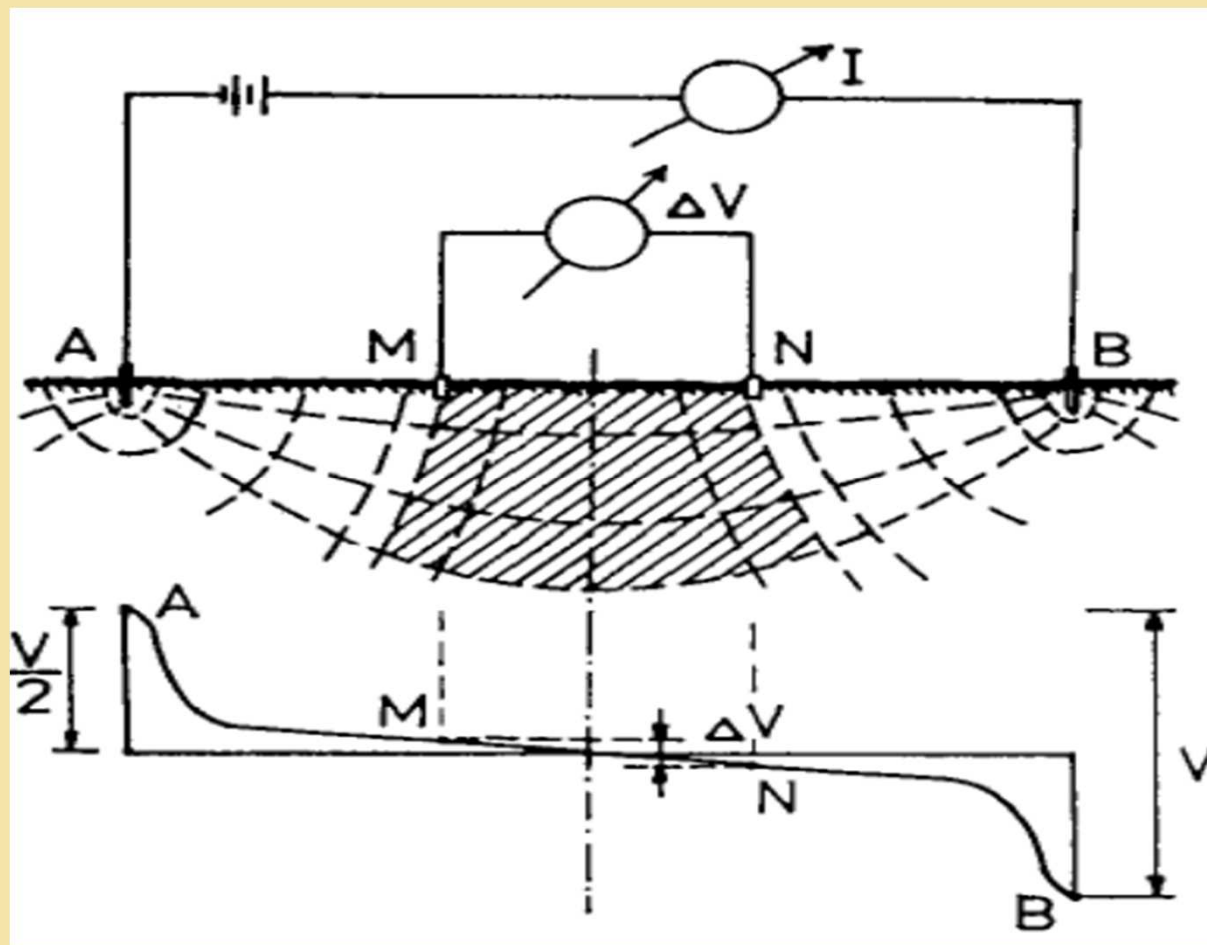


Měrné odpory



Aparatura ARES II

Měření odporovou metodou



Magnetometrické metody

- Využívá magnetické vlastnosti hornin (obsah feromagnetických minerálů – např. magnetit), které způsobují anomálie geomagnetického pole
- Lokalizace kovových předmětů (např. stará munice, potrubí, atd.)
- Vyhledávání ložisek železné rudy
- Využití při archeologickém průzkumu



Protonový magnetometr

Radiometrické metody

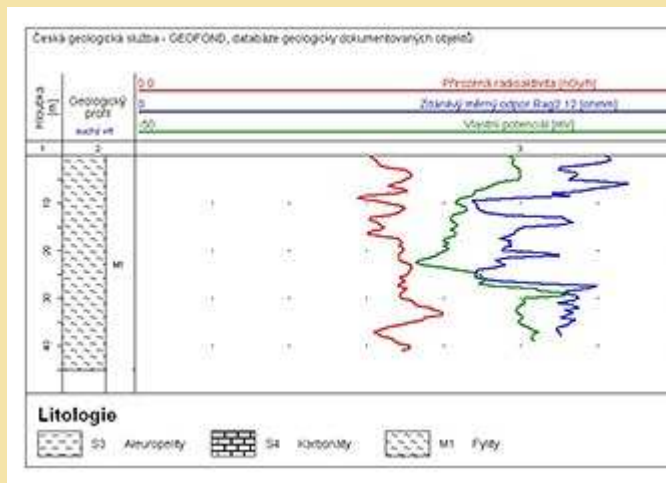
- Využívá přirozené radioaktivity a interakce jaderného záření s horninami.
- Přirozená radioaktivita je dána obsahem přirozených radionuklidů (např. uran, thorium, atd.).
- Radiometrické metody se uplatňují při vyhledávání a průzkumu ložisek radioaktivních nerostných surovin, k detekování území se zvýšeným rizikem výskytu radonu, atd.



Gammapektrometry

Karotážní metody

- Karotážní metody se věnují měření fyzikálních polí ve vrtech, měřicí systém se musí vejít do měřicí sondy válcového tvaru o průměru několika cm.
- Výsledkem měření jsou karotážní křivky (měřená veličina v závislosti na hloubce vrtu)
- Patří sem karotáž elektromagnetická, jaderná, akustická, elektrokarotáž, atd.



Karotážní křivky



Karotážní souprava

Odkryvné práce

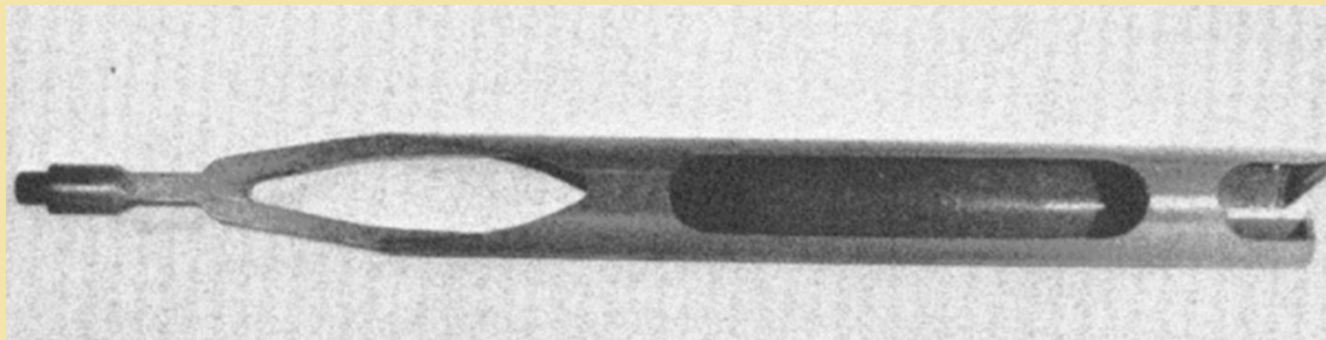
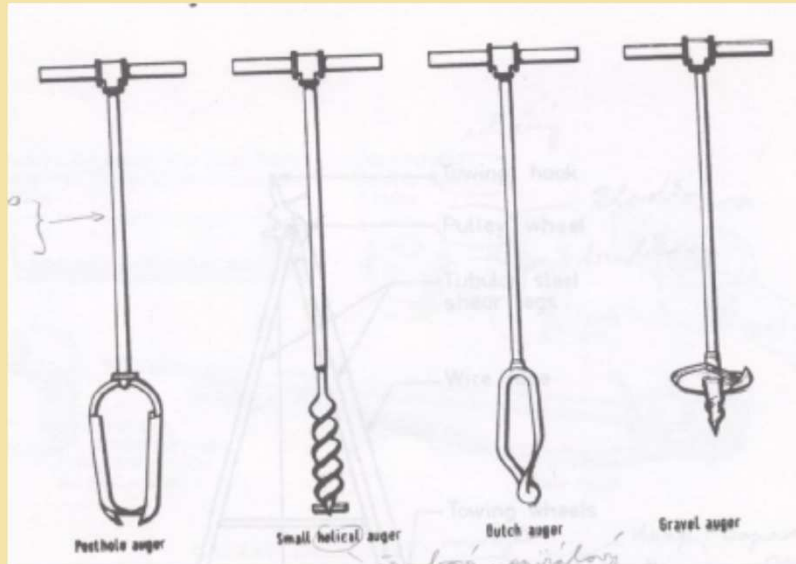
- Vertikální vrty
- Kopané sondy
- Šikmé vrty z povrchu
- Horizontální vrty
- Ražené směrové předstihové štoly



Vertikální vrty

- Co nejbližší podzemnímu dílu
- Snaha dosáhnout pod niveletu díla
- Pouze bodový údaj, nutná interpolace mezi vrty
- Informace vyhodnocením jádra (v poruchových pásmech je výnosnost jádra nízká)
- Průzkum vrtů pomocí videokamery spojené s geologickým kompasem
- Často nutné pažení vrtu
- Vrty zpravidla maloprůměrové (150 – 300 mm).

Ruční vrtání - nástroje



Strojní vrtání

- Nárazovo-točivé
- Rotační jádrové
 - Jádrovnice s korunkou
 - Odvrtané jádro vynáší výplach

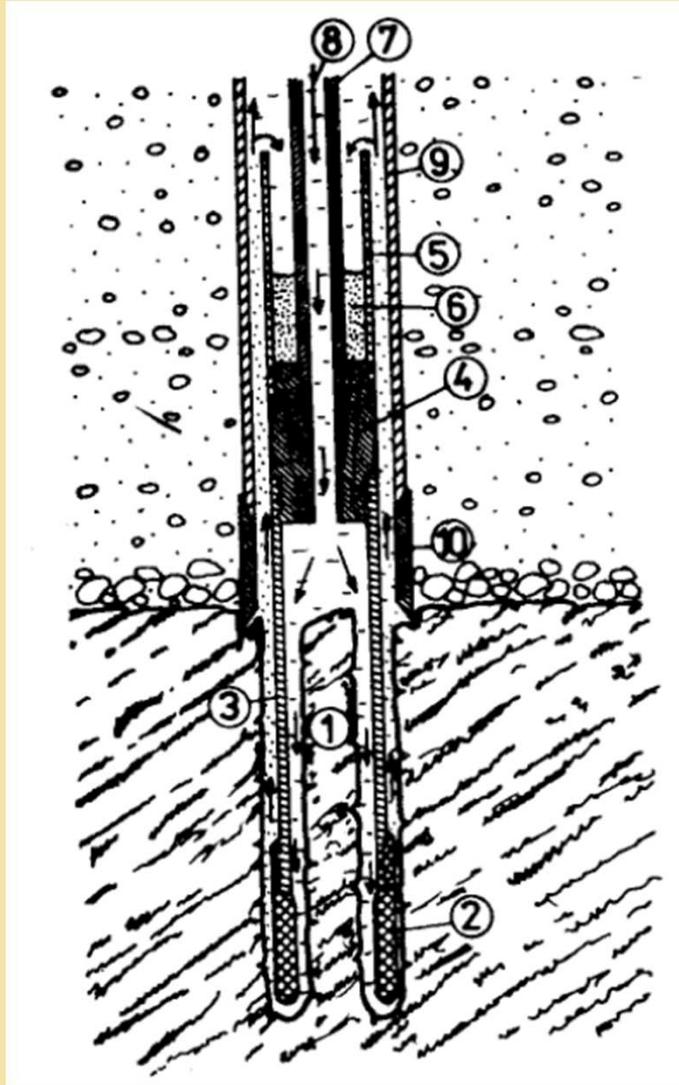


Výnos vrtného jádra



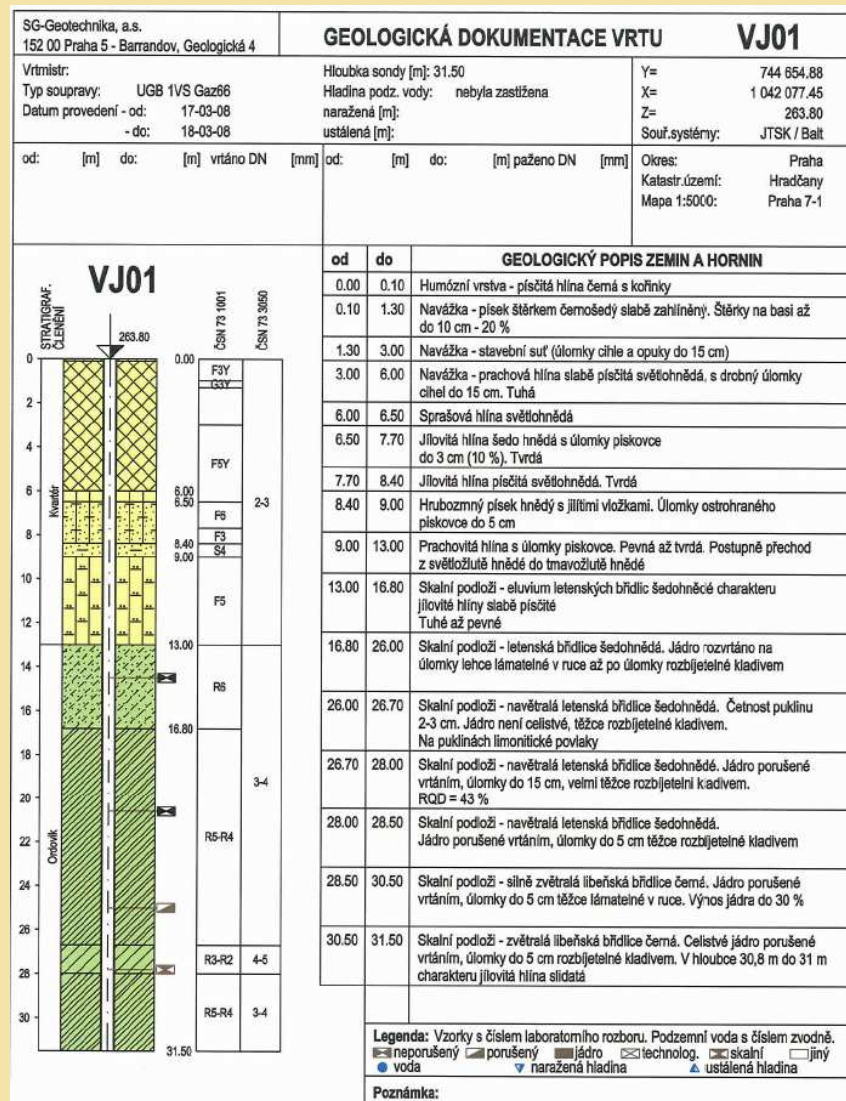
Vrtná souprava

Princip jádrového vrtání



1. jádro
2. korunka
3. jádrovnice
4. trojsponík
5. kalovka (usazovací trubka)
6. prostor pro hrubší drť
a úlomky
7. soutyčí
8. výplach
9. výpažnice
10. botka

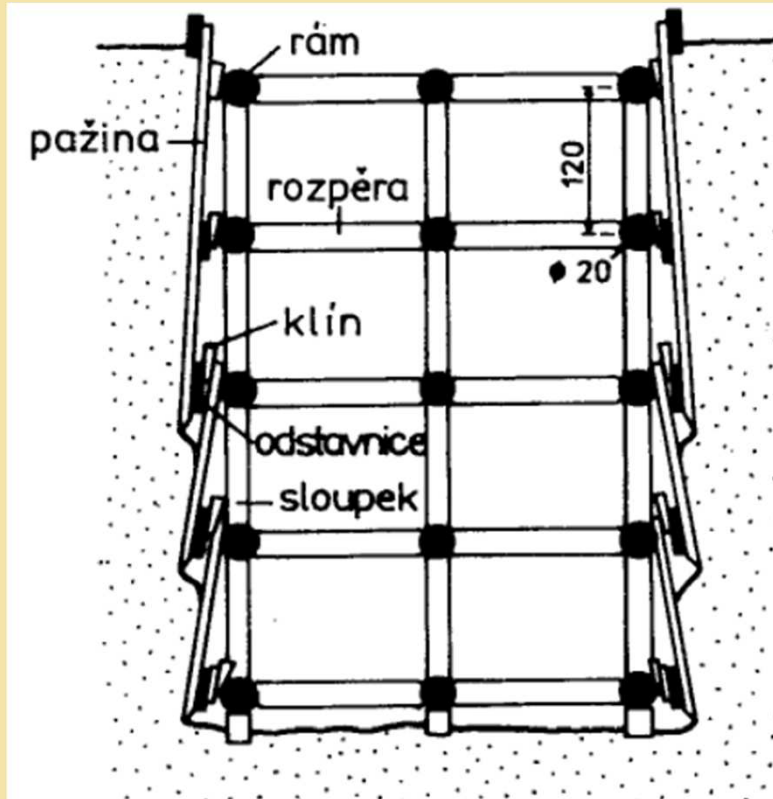
Popis vrtu



Průzkumné vrty do čelby tunelu



Kopané sondy



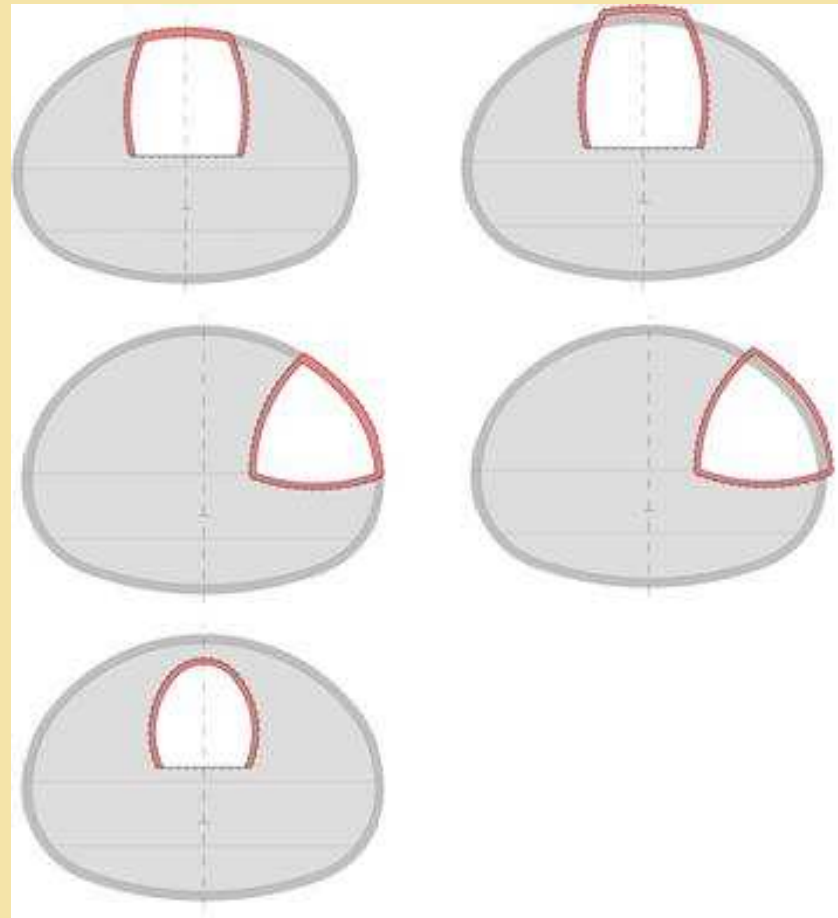
- pracné a nákladné
- možnost přímého pozorování

Průzkumné štoly

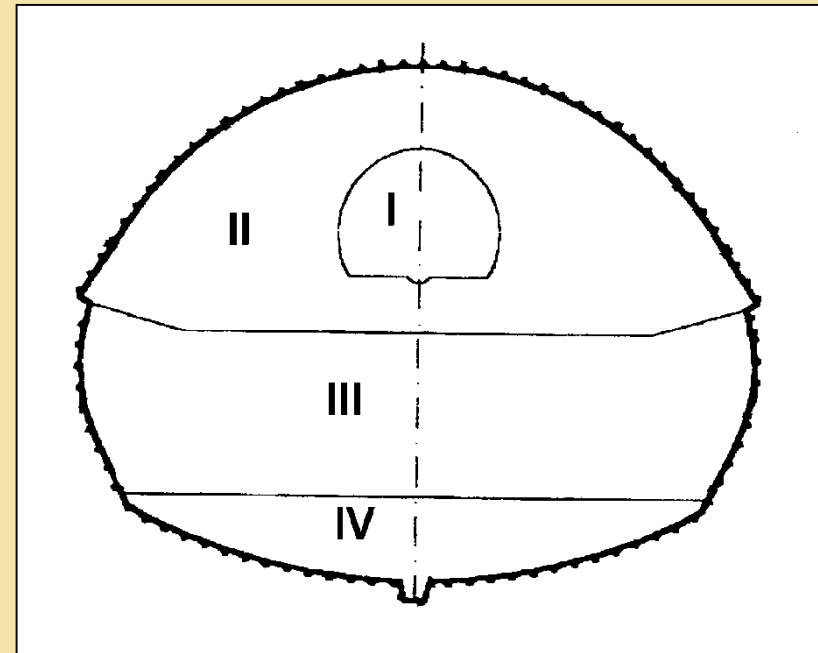
- Zpravidla raženy v ose budoucího tunelu. Vzhledem k menšímu profilu je jejich ražba jednodušší a bezpečnější oproti ražbě tunelu.
- Zpravidla využívány pro průzkum problematických částí (např. tektonické poruchy), někdy však raženy na celou délku tunelu
- Ve štolách lze provádět měření in-situ (boční rozrážky)
- Ostění průzkumných děl je zpravidla zbouráno při ražbě tunelu
- Využití paralelních štol pro nouzový únik při provozu.
- Vliv na cenu (obecně znamená dražší, ale bezpečnější ražbu).

Průzkumné štoly

Používané polohy a tvary

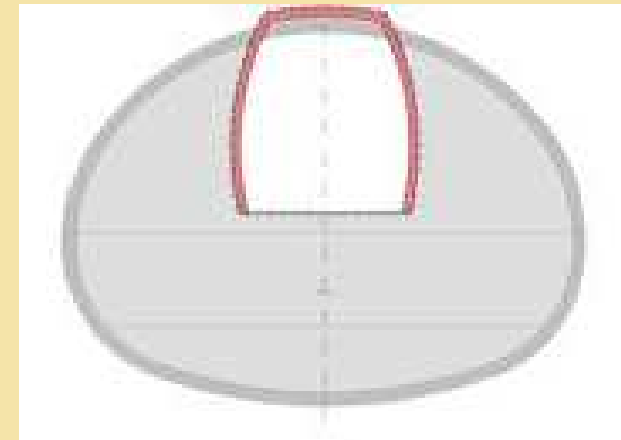


Průzkumné štoly Podkovový tvar



Poloha a tvar průzkumné štoly na tunelu Mrázovka

Průzkumné štoly Soudkový tvar



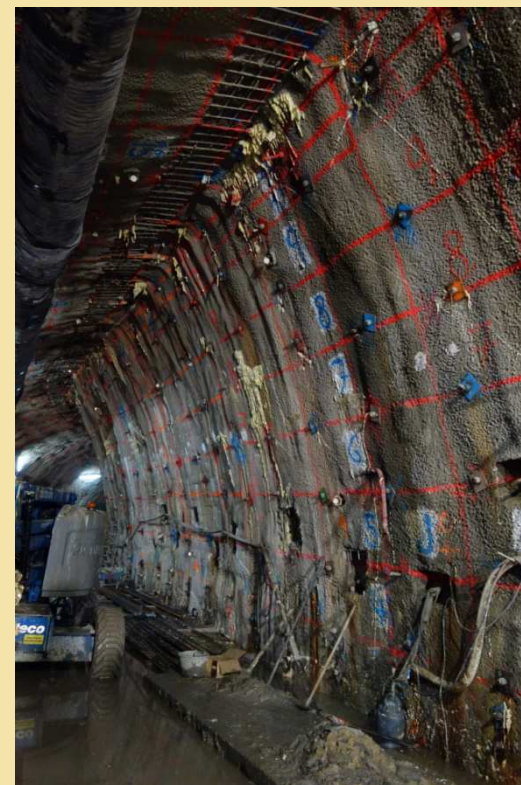
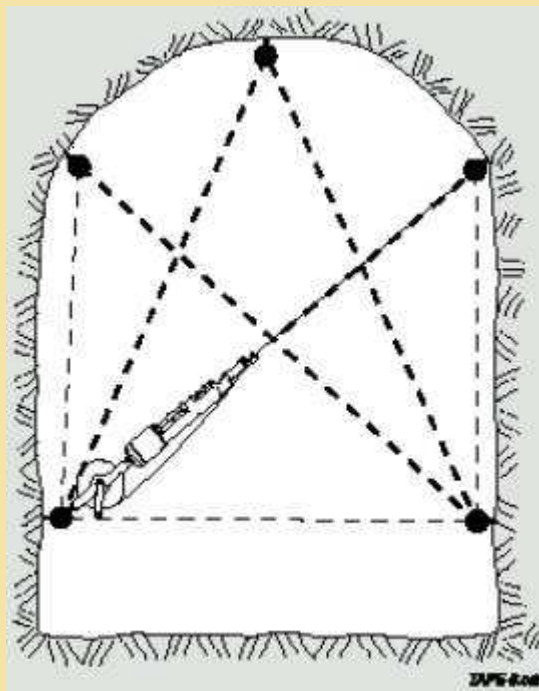
Poloha a tvar průzkumné štoly tunelu Komořany (SOKP 513)

Průzkumná štola - informace



Zkoušky (např.
zatěžovací
zkouška deskou)

Mapování čeleb



Pokusné injektáže

Monitoring (např. konvergencí)

Zkoušky hornin

Laboratorní zkoušky

- Popisné fyzikální vlastnosti
- Mechanické vlastnosti
- Složitější fyzikální vlastnosti
- Technologické vlastnosti



Polní zkoušky

- Pevnostní charakteristiky horninového masivu
- Přetvárné charakteristiky horninového masivu
- Měření odlehčené oblasti kolem výrubu
- Měření oblasti zvýšených napětí
- Zjišťování stavu napjatosti

Polní zkoušky

- Statická penetrace
- Dynamická penetrace
- Presiometrické zkoušky
- Vrtulková zkouška
- Zatěžovací zkouška deskou
- Zkouška plochým lisem
- Smykové zkoušky na blocích
- Zkoušky propustnosti



Statická penetrace

- Rovnoměrným zatlačováním penetračního hrotu vyvolá usmyknutí zeminy pod hrotem
- Statické penetrační soustavy měří buď celkový penetrační odpor nebo jeho složky – odpor na špičce a na plášti penetračního hrotu.

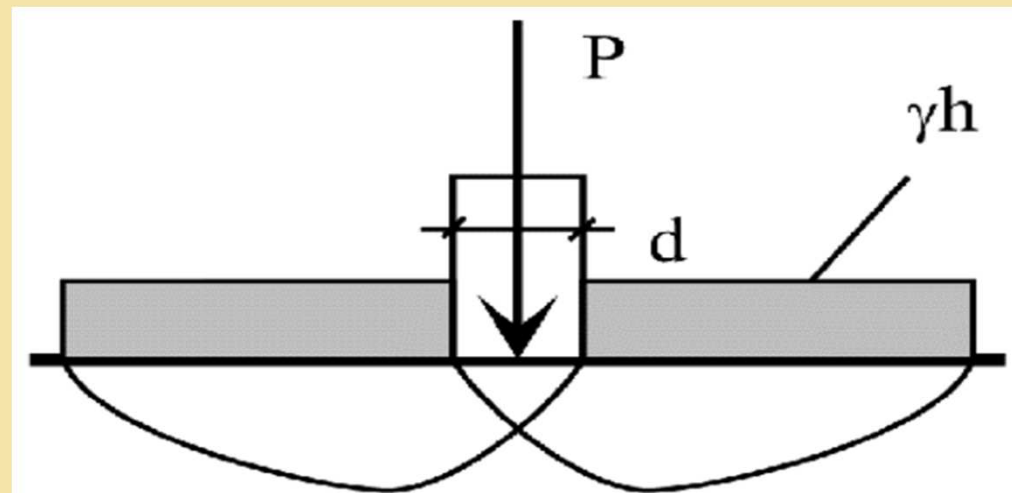


Schéma porušení zeminy pod penetračním hrotem

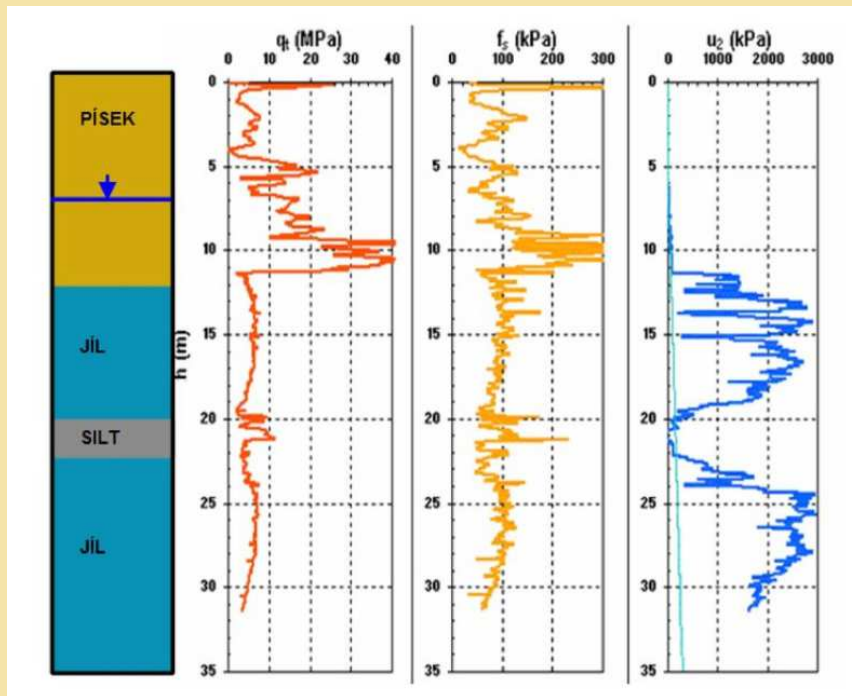
Statická penetrace



Penetrační hroty



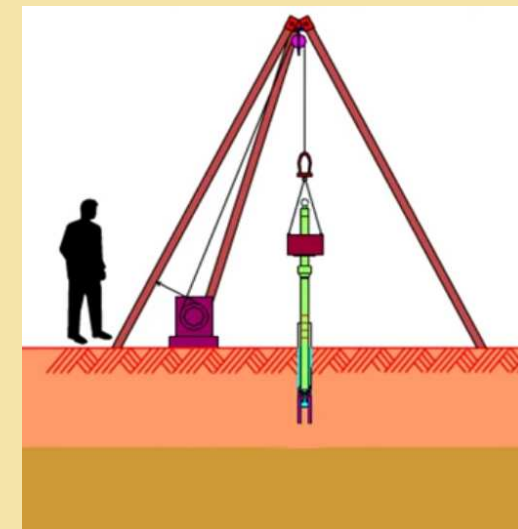
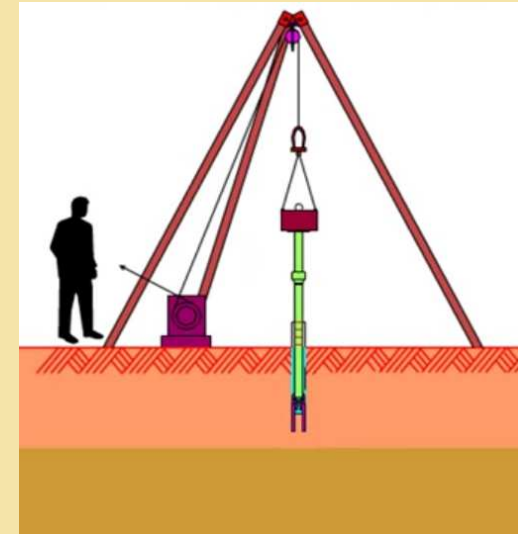
Ruční souprava



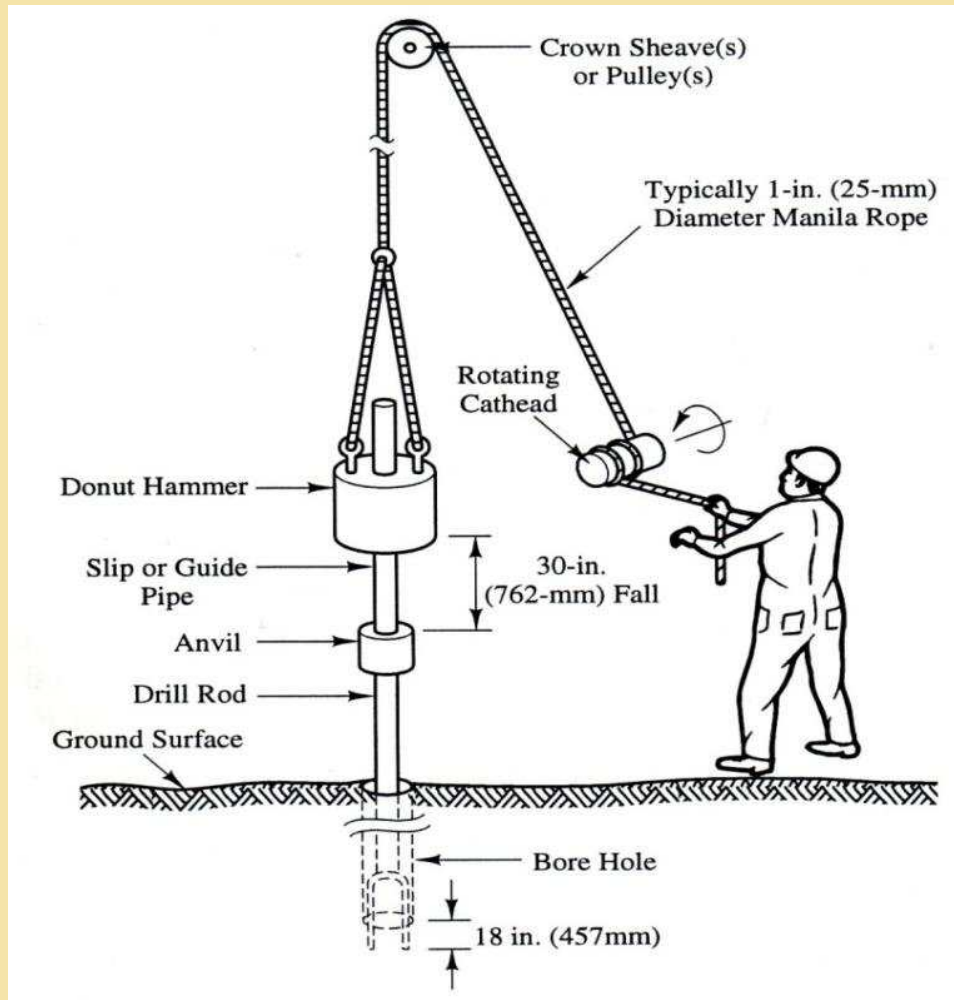
Výsledky

Dynamická penetrace

- Beraněním se vhání do zeminy kuželový hrot (kuželová zkouška) nebo vzorkovač (standard penetration test = SPT).
- Zkouška je prováděna v různých úrovních vrtu.
- Měří se počet úderů kladiva (závaží) potřebný pro zaražení hrotu o určitou hloubku (cca 10 cm)



Dynamická penetrace



Zařízení pro standardní penetrační zkoušku SPT

Presiometrické zkoušky

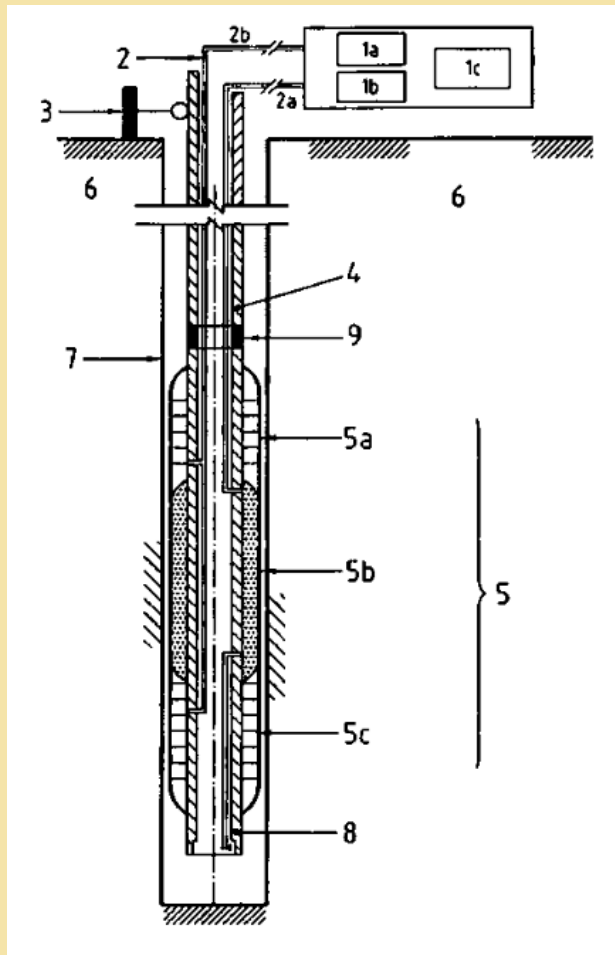


Schéma presiometru
typu Ménard

1 – ovládací jednotka, 1a – regulační ventil diferenciálního a měřicího tlaku, 1b – měřiče tlaku a objemu, 1c – jednotka snímání, ukládání a tisku dat, 2a – hadice přívodu vody do sondy, 2b – hadice přívodu plynu do sondy, 3 – hloubkoměr, 4 – tyče, 5 – presiometrická sonda, 5a – horní ochranná buňka, 5b – střední měřicí buňka, 5c – dolní ochranná buňka, 6 – zemina, 7 – presiometrický vrt, 8 – duté tělo sondy, 9 – připojovací příruba sondy

Presiometrické zkoušky

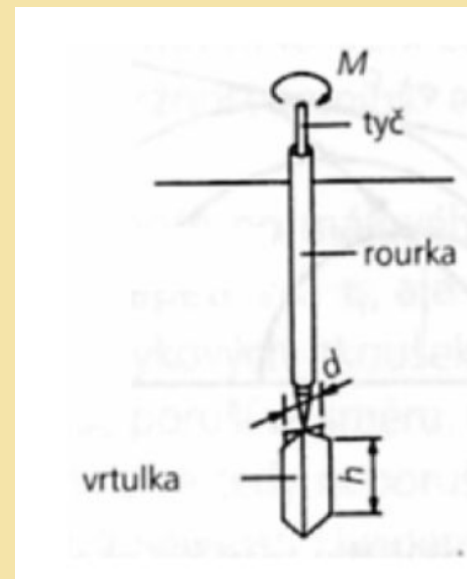
- Jedná se o zatěžovací zkoušku prováděnou ve vrtu, který je zatěžován radiálním tlakem při současném měření deformace (objemových změn)
- Naměřené hodnoty dovolují stanovit pevnost masivu a jeho přetvárné vlastnosti



Presiometr
typu Ménard

Vrtulková zkouška

- Používá se v soudržných zeminách
- Je založena na měření odporu zeminy proti kruhovému usmyknutí
- Zkušebním nástrojem je vrtulka se čtyřmi lopatkami, která se celá zatlačí do zeminy v požadované hloubce.
- Po zatlačení vrtulky se při jejím otáčení měří kroutící moment a úhel pootočení.



Určení smykové
pevnosti a
soudržnosti:

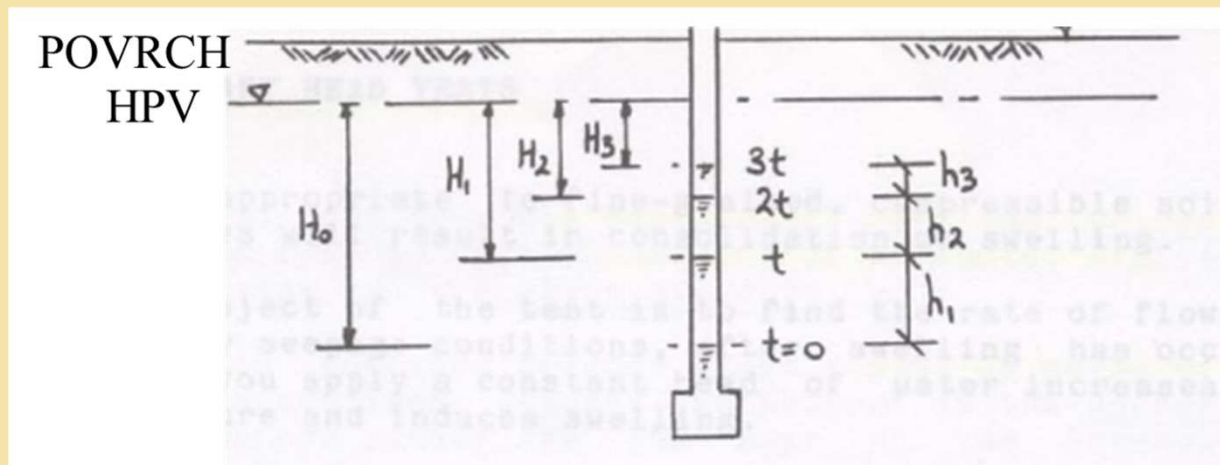
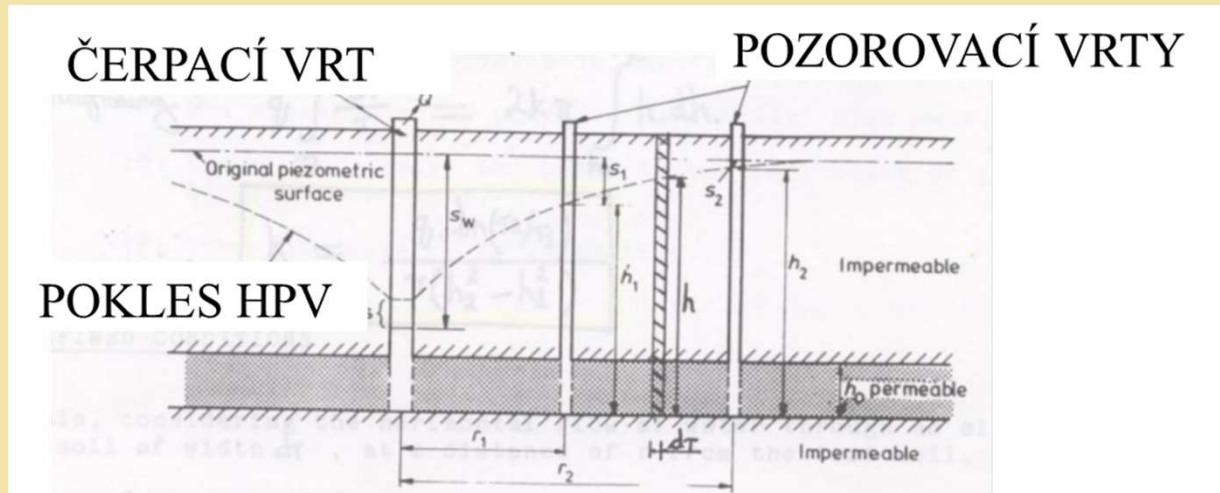
$$\tau_f = c = \frac{M_{\max}}{\frac{\pi d^2}{2} \left(h + \frac{d}{3} \right)}$$

Hydrogeologický a korozní průzkum

- **Určení polohy a změn hladiny podzemní vody (HPV)**
 - přítoky do tunelu, nebezpečí sedání povrchu díky poklesu HPV, nebezpečí vysychání studní
- **Určení proudění vody**
 - Stojatá voda
 - Proudící voda
- **Propustnost masivu**
 - Tlakové zkoušky
 - Čerpací zkoušky
 - Vsakovací zkoušky



Hydrogeologický a korozní průzkum - zkoušky propustnosti masivu



Hydrogeologický a korozní průzkum

- **Agresivita vody**

- Stavebně nezávadná voda
- Stavebně závadná voda
- Agresivní voda
 - Síranová (rozpouští cement)
 - Uhličitanová (řídnutí betonu)



- **Bludné proudy**

- vliv elektrifikovaných sítí (žel. a tram. tratě, kabely vysokého napětí, atd.), které zvyšují korozní úbytky výztuže.
- Důležité zejména ve městech.
- Opatření pro omezení vlivu bludných proudů (výztuž).

Geotechnické řezy

(jsou jedním z výstupů geotechnického průzkumu)

Obsahují:

- Rozhraní geotechnických vrstev
- Polohu vrtů se zjednodušenou dokumentací vrtů
- Údaje o tektonických poruchách
- Úroveň hladiny podzemní vody
- Zakreslení nadzemních a podzemních objektů (budovy, komunikace, sítě, atd.).

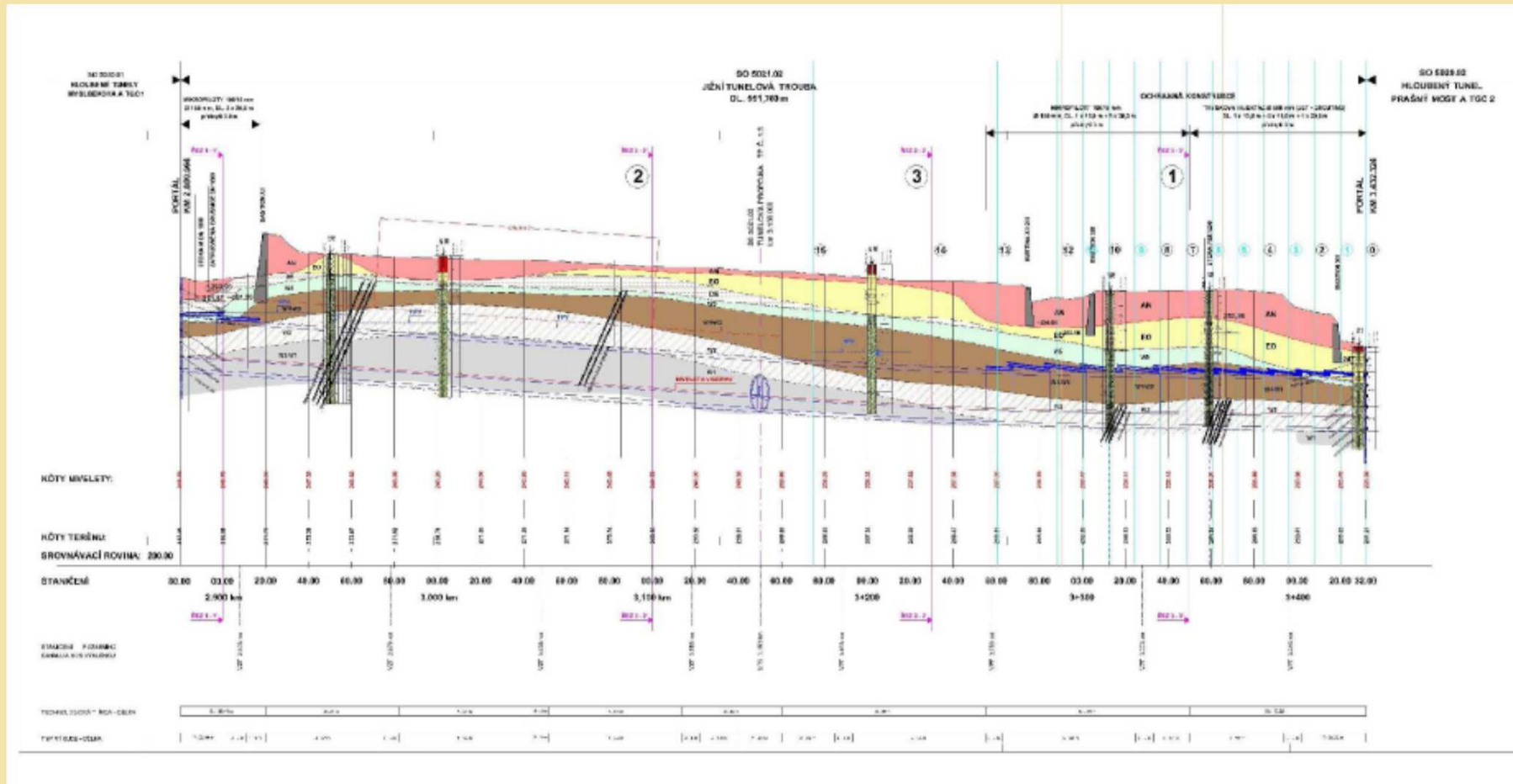
Geotechnický podélný řez tunelu

Obsahuje:

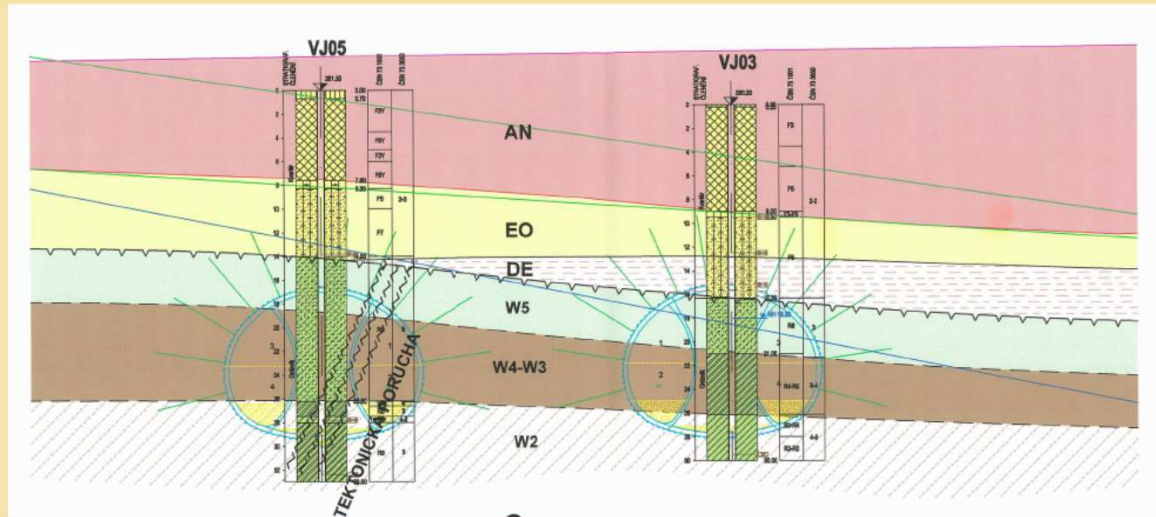
- Rozhraní geotechnických vrstev (kvazihomogenní celky)
- Polohu vrtů včetně zjednodušené dokumentace
- Údaje o tektonických poruchách
- Úroveň hladiny podzemní vody
- Zakreslení objektů (nadzemní a podzemní)

- Kóty nivelety a terénu
- Staničení trasy
- Směrové a sklonové poměry trasy
- Ostění tunelu, prvky vystrojení
- Klasifikace hornin (RMR, QTS, atd.)
- Technologické třídy (kvalita masivu, předpokládané vystrojení)

Geotechnický podélný řez tunelu

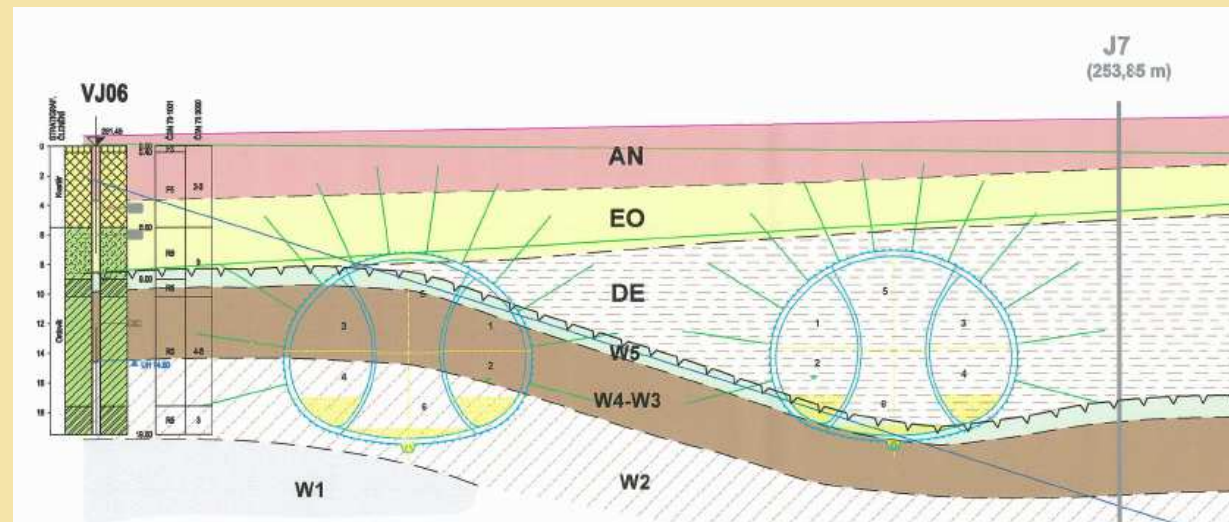


Geotechnické příčné řezy tunelu



příklad – Satra s.r.o.

Třeba provést pro všechny významné profily



Geotechnické parametry pro statický výpočet

- Objemová tíha
- Deformační modul (modul pružnosti)
- Soudržnost
- Úhel vnitřního tření
- Poissonovo číslo
- Koeficient bočního tlaku v klidu (K_0)

Jméno vrstvy	Hloubka [m]	γ [kN/m ³]	E [MPa]	c [kPa]	φ [°]	ν [-]	K_0 [-]
AN	0-5	20,0	11,0	13	24	0,37	0,59
EO	5-14	19,5	10,0	25	22	0,39	0,63
W5	14-16	21,0	30	15	30	0,33	0,50
W3-W4	16-23	22,5	90	25	30	0,31	0,50
W2	23-29	24,5	220	50	32	0,25	0,47
W1a	29-65	25,8	300	125	37	0,25	0,40

Geotechnický model pro statický výpočet

