

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA

**Katedra geotechniky a podzemního
stavitelství**

PODZEMNÍ STAVITELSTVÍ

PŘEDNÁŠKY

2 INŽENÝRSKO-GEOLOGICKÝ PRŮZKUM

Činnost pro získání komplexní informace o geologicko-technických podmínkách v místě (prostoru) do něhož je nutno umístit PS. Tato informace musí umožnit seriózní návrh, hospodárnou a bezpečnou realizaci a v neposledním bezproblémový provoz PS

Etapy IG průzkumu: Předběžný
Podrobný
Doplňkový
Provozní

Etapy přípravy stavby (navazující na IG průzkum):

- dokumentace pro územní řízení
- dokumentace pro stavební povolení
- dokumentace pro výběrové řízení
- dokumentace realizační
- závěrečná zpráva

Vztah IG průzkumu k podzemním stavbám:

- Klasické tunelovací metody vytvářely profil malými záběry s okamžitým zajištěním (= výstrojí); byly dosti universální – mohly se přizpůsobit i nečekaným změnám prostředí. Nekladly zvláštní požadavky na průzkum (ten probíhal prakticky současně s ražbou). Postačujícími údaji byla obvykle rozpojitelnost a tlačivost horniny
- Moderní tunelovací metody vyžadují dokonalejší GT průzkum. Bývají totiž vysoce účinné často pouze v určitém typu horninového prostředí. Průzkum proto musí klasifikovat prostředí po celé trase a posléze z toho volit technologii výstavby. Platí to především pro postupy nedostatečně universální (např. TBM či štítování). Za dostatečně universální je dnes považována NATM

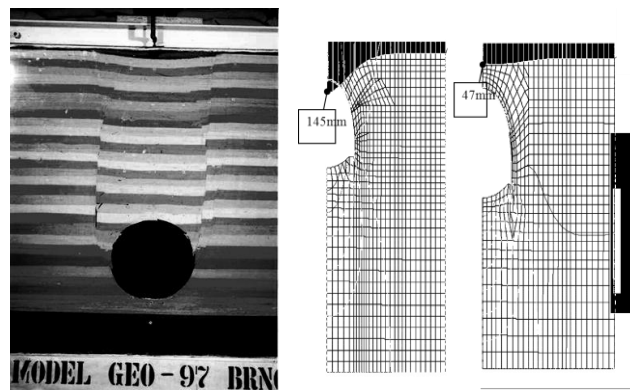
2.2 Hlavní úkoly průzkumu

- Vyřešení IG poměrů v území - skladba vrstev v trase, širším okolí, v celé výšce nadloží; linie báze kvartéru; stupeň a dosah větrání masívu; intenzita rozpukání – směr, sklon a stav diskontinuit; ověření a přesná lokalizace mocnějších tektonických („poruchových“) pásem
- Ověření fyzikálních, mechanických a technologických vlastností horniny i masívu; jejich zatřídění a klasifikace. (Zvláštní význam má bobtnání)
- HG posouzení území – h.p.v. a její(ich) kolísání; směr a rychlost proudění p.v.; propustnost pokryvů a puklinových systémů v masívu; tlak vody ap. (Voda přitéká do díla; zatěžuje ostění; snižuje stabilitu horniny; komplikuje technologii. PS drénuje prostředí = „ukradení“ p.v. => nutnost zmapovat celé povodí)
- Posouzení korozní situace – tj. agresivních účinků horninového prostředí, vod (vody neagresivní a agresivní – korozní dopad mají obě!), plynů a cizích proudových polí (= „bludné“ proudy) na betonové, železobetonové a kovové konstrukce a na vlastní horninu.

- Získání podkladů pro volbu technologie – slouží už předchozí údaje, dále např. trhatelnost horniny, posouzení seismických účinků trhacích prací, možnosti dalšího využití rubaniny, doba potřebná pro aktivaci výstroje ap.
- Podklady pro posouzení stability území nad tunely či při portálech. Stabilita portálových úseků; stabilita vlastních tunelů či svahů (u úbočních tunelů); poklesy povrchu území (s pasportizací ohrožených objektů)
- Zvláštní (ne GT!) posouzení = Ekologický audit (tzv. EIA procedura) pro posouzení možných vlivů stavby na životní prostředí (zeleň, sociální zátěže ap.)

2.3 Metody průzkumu

- Studium archivních materiálů a rekognoskace území
- Inženýrsko-geologické a hydrogeologické mapování
- Geofyzikální průzkum
- Vrtný průzkum
- Průzkumné štoly a šachty
- Laboratorní zkoušky
- Terénní zkoušky
- Geotechnický monitoring
- Matematické modelování (metoda konečných prvků - MKP, metoda hraničních prvků - MHP, metoda oddělených prvků, metoda konečných diferencí ap.), fotoelasticimetrie a fyzikální (hmotové) modelování



Fyzikální a matematické modelování

2.4 Předmět průzkumu

Předmět průzkumu je hornina a horninový masiv.

U hornin sledujeme:

- Stav horniny
- Fyzikální vlastnosti
- Mechanické vlastnosti
- Technické vlastnosti

U masivu sledujeme:

- Struktura horninového masivu

- Stav zvětrání
- Hydrogeologické poměry

Průzkumná štola

- Velmi diskutovaná položka průzkumu
- Někdy zavržovaná (pro vysoké náklady; časovou náročnost; narušení stavu napjatosti horninového masívu ještě před ražbou definitivního díla)
- Někdy upřednostňovaná (pro přesnost a spolehlivost průzkumu; řadu údajů lze získat pouze průzkumnou štolou!)
- O volbě průzkumné štoly by měly vždy rozhodnout vysoce racionální argumenty (očekávané GT poměry, požadavky uvažované technologie, výška nadloží, členitost a využití povrchu – les, zástavba ap.)

Umístění průzkumné (předražené, směrové, pilotní) štoly

a) - vynikající GT informace

• kubatura štoly v kubatuře tunelu (snížení nákladů)

• ražbu tunelu 1. možno zahájit až po dokončení štoly (= časová ztráta)

b) - ražbu tunelu 1. lze zahájit zpožděně za štolou – GT informace bude plynule zapracována

• ze štoly lze v tunelu 1. rozfárat další pracoviště => urychlení prací

• štola je využitelná pro provizorní větrání, odvodnění a vedení sítí

• po dokončení tunelu 1. slouží štola co úniková (provizorní)

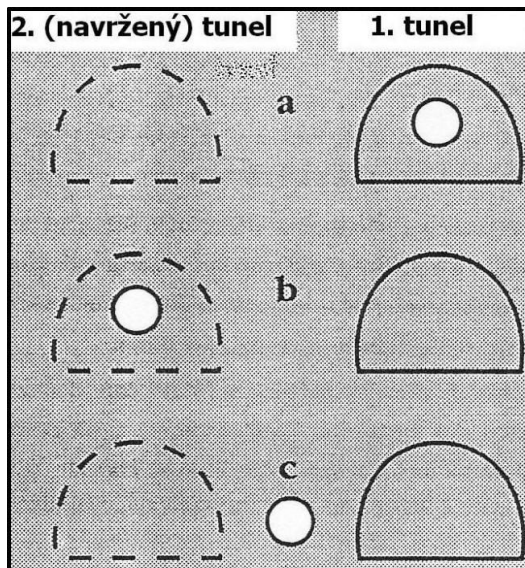
c) u jednorourových tunelů štola urychluje výstavbu či slouží jako úniková

• u tunelů v mimořádných GT podmínkách štola vede trvalé technologie (větrání, sítě, odvodnění) = servisní štola

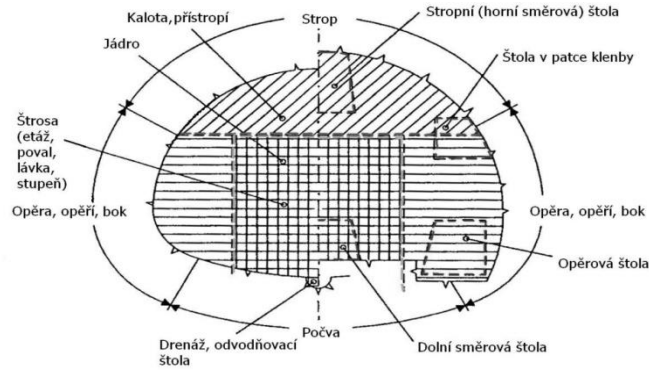
Při ražbě plným průřezem trhavinami nebo TSM. Štola se vede co nejnižší (pro gravitační odvodnění)

• Při členěném průřezu – na úrovni 1. lávky

• Při ražbě TBM nebo mechanizovaným štítem (koncentricky)



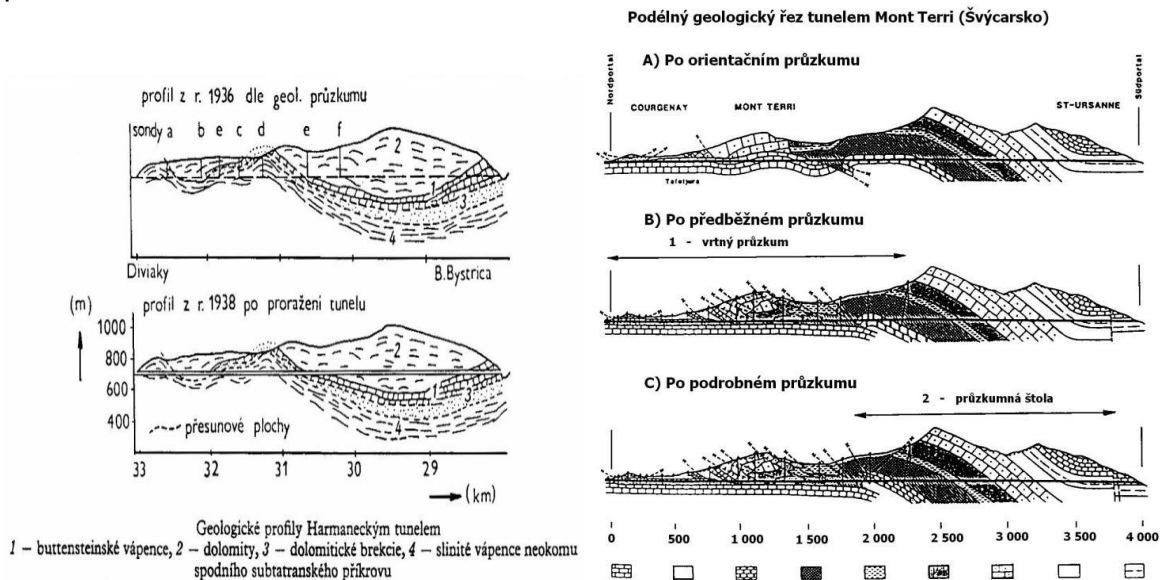
- Případné vystrojení štoly nesmí kolidovat s technologií ražby velkého tunelu!!



2.5 Situování díla v masivu

- Je-li o lokalizaci PS koncepčně rozhodnuto, je nutno věnovat pozornost detailnímu umístění (je-li to vůbec možné; mělo by, ale často to již z řady důvodů nelze!)
- Tunel by se měl vyhnout:
 - Horninám narušeným povrchovými vlivy (zvětrání; stavby pozemní a mělce podzemní – inženýrským sítím a jiným podzemním stavbám – podzemní urbanismus!). Obecně (pro 1. desítky m) platí: čím vyšší nadloží, tím lépe (= lepší hornina, zaručení horninové klenby, eliminace účinků poddolování na povrch ap.)
 - Velkým či větším poruchovým zónám v masivu (nelze-li to, je nutné je křížit pokud možno kolmo, na nejkratším úseku)

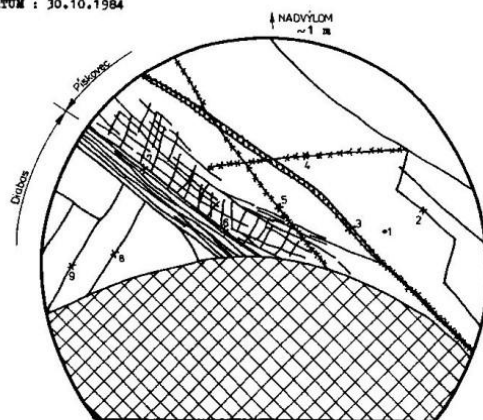
Postupné upravování podélného geologického řezu zpracováním jednotlivých etap průzkumu



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ
Inovace studijního oboru Geotechnika
reg. č. CZ.1.07/2.2.00/28.0009

ČELBA č. 21 (š 12-š 5)
DATUM : 30.10.1984

STANIČNÍ : 182,9

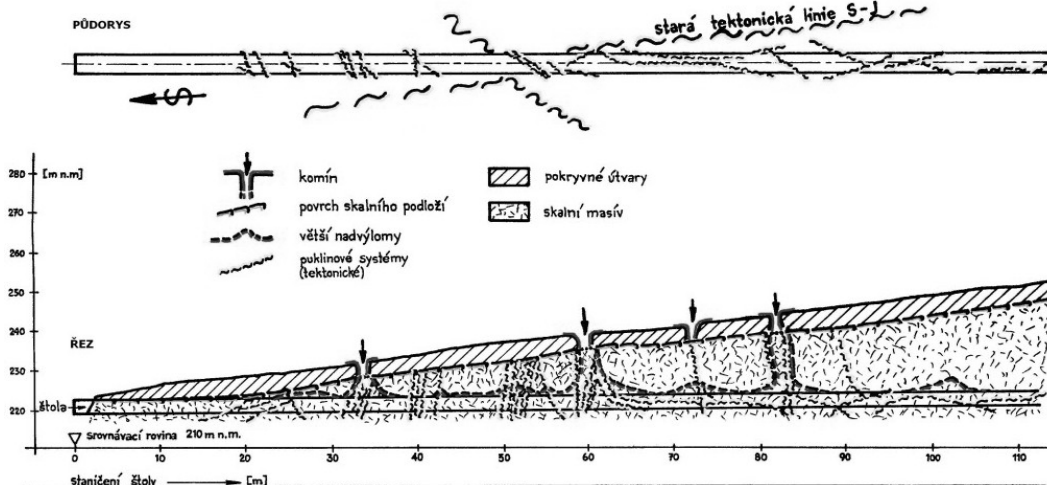


*1	289/83	*5	144/55
*2	184/28	*6	209/49
*3	260/50	*7	204/28
*4	95/38	*8	15/60
		*9	25/45

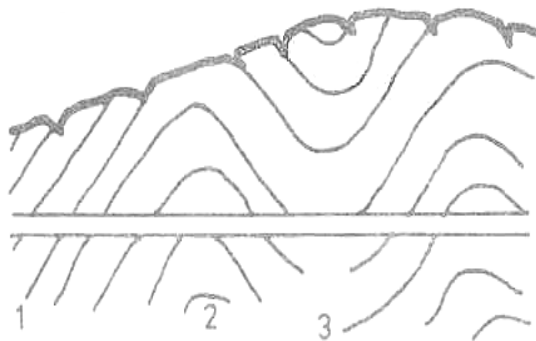
- V pravé horní polovině čelby (dělené přibližně diagonálou) se nacházejí devonské pískovce, červenohnědé, tektonicky velmi postižené - usměrněné. Místy - v pravé části profilu - jsou pevné a zdravé, na poklep zvoni. Blíže kontaktu jsou pískovce výrazněji hnědí, měkké a na poklep rospadavé. Běžné jsou výplně a povlaky červenohnědého měkkého jílu. Značný nadvylom. V bezprostřední blízkosti kontaktu probíhá 30 až 50 cm mocné drsné pásmo červenohnědých (ve spodní části dorezava), jemnozrnných drobových pískovců.
*3 - jíl tuhý, červenohnědý s vrstvičkami horniny. *4, *5 - jíl tuhý červenohnědý, do 1 cm.
Diabas je zelenohnědý až tyrkysový, pevný, silně rospukavý - na úder zdravý. Vlastní kontakt je možné přiřadit k metabazitu - 15 až 25 cm usměrněné (sbídnatší), měkké rospadavé pásmo. Čelba je vlhká, styk suchý.

Geotechnické sledování ražby

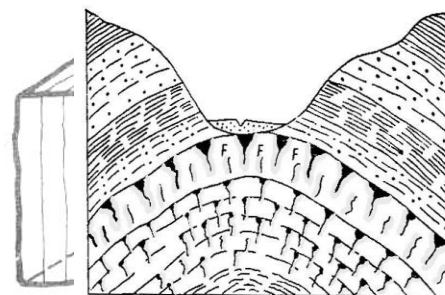
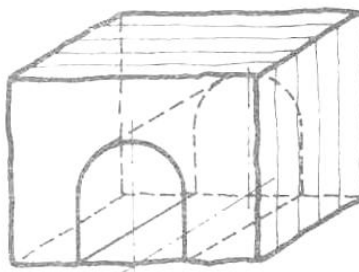
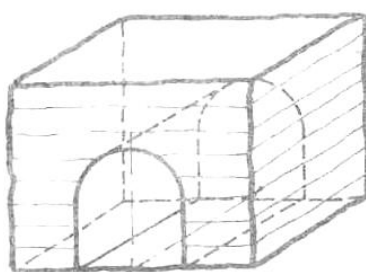
Problémy při ražbě štol VOV [nízké nadloží, tektonicky silně porušená hornina, sledování tektonických (puklinových) systémů => nadvylomy, komíny]



TEKTONICKÉ SCHÉMA ÚVODNÍ ČÁSTI VODOVODNÍ
ŠTOLY VOV BYSTRČ-BOSONOHY
Podle J. Hanáka



Vliv zvrásnění na výstavbu tunelu



Vliv ploch nespojitostí na výstavbu tunelu

Trhliny podél antiklinálních horninových vrstev - F

Tunel v synklinále a antiklinále

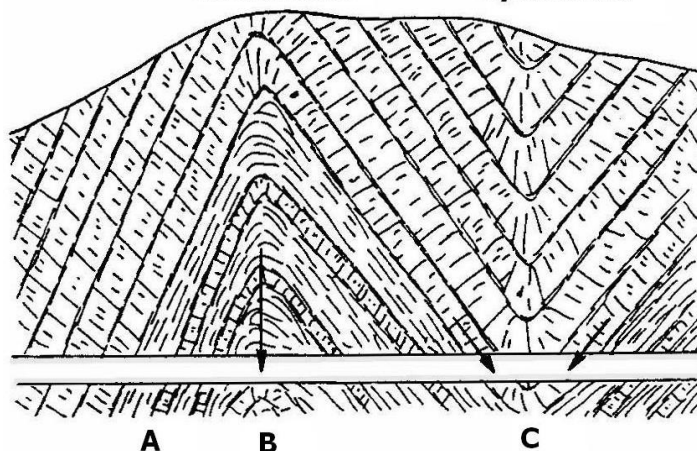
A - za nejpriznivější je považována trasa kolmá na směr vrstev (puklin), a ty zapadají či jsou vodorovné

B - prochází-li tunel antiklinálou je hornina výrazně rozpukaná (s místními nerovnoměrnými horninovými tlaky)

C - prochází-li tunel synklinálou je zpravidla vlhký (vždy pak při střídání vrstev různé propustnosti)

antiklinála

synklinála



Ražení tunelu zvrásněným souvrstvím kolmo na směr vrstev

Méně vhodné až nevhodné je ražení po směru vrstev

- 1 – značné jednostranné tlaky a vysoké nadvýlomy (zleva)
- 2 – hornina tlačí z obou stran; obvyklé jsou velké přítoky vody
- 3 – při mírném ohybu vrstev hornina netlačí, ale rozpojování je obtížnější; při strmém ohybu jsou vysoká zatížení stropu

2.6 Klasifikace prostředí pro podzemní stavitelství

- jeden ze základních výstupů GT průzkumu pro PS
- správné a výstižné, současně i maximálně zjednodušené ohodnocení masívu (případně jeho chování) z pohledu podzemního stavitelství
- Klasifikační systémy IG (popisují prostředí)
GT (popisují vlastnosti)
účelové (zde i tunelářské)
- Standardně se klasifikační systémy prolínají

Klasifikační systémy (KS)

Funkce klasifikačních systémů: Sjednocovací
Popisná
Doporučující

Typy klasifikačních systémů: Popisné
Číselné (indexové)

Z KS vychází nejvhodnější technologie ražení, vyztužování dalších opatření.

Popisné klasifikace

Klasifikace podle **ražnosti** (dnes zastaralá, ale často alespoň verbálně používaná; popisuje horninu, jak se chová při ražení)

0 (zvláštní stupeň ražnosti – „litá skála“)

- 1.
- 2.
3. stupeň ražnosti

Klasifikace podle **zvodnění**

Z1 (čelba suchá)

Z2 (výrub suchý, po 8 hod. z puklin lokálně kape; $0,05 \div 0,1 \text{ ls}^{-1}$)

Z3 (čelba mokrá, ve výrubu drobně prší; $0,1 \div 0,5 \text{ ls}^{-1}$)

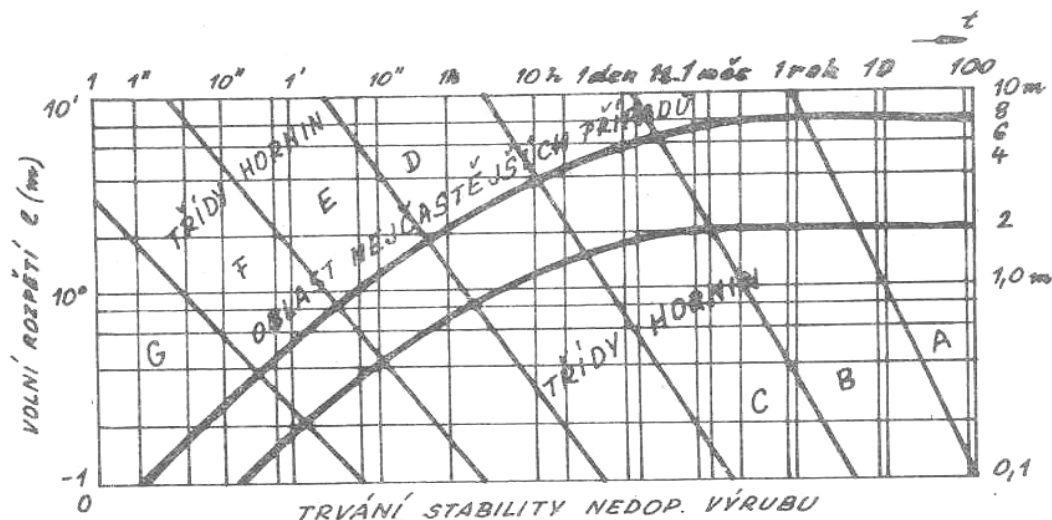
Z4 (velký přítok; $>0,5 \text{ ls}^{-1}$)

Popisné klasifikační systémy

KS dle Rabcewicze:

Povaha horniny	čas	druh podepření	
		dočasné	trvalé
		kotvy	skruže dřevo
Pevná, zdravá skála	24	stabilní bez podepření	
Zdravá, vrstevnatá, břidličnatá skála silně rozpukaná	24-1	svorníkové výstroj	železobeton. kotvy a torkret
Zcela mechanicky rozrušená	0	hnané pažení	
Pseudopevná, nadloží nízké, hornina s pravým horninovým tlakem, vysoké nadloží, hornina s pravým horninovým tlakem, bobtnavé	dny až hodiny	žel.bet. kotvy torkret mřížovina žel.bet.kotvy hnané pažení	hnané pažení
Hlína, jíl, písek, štěrky, nesoudržné		není zkušenost hnané pažení	

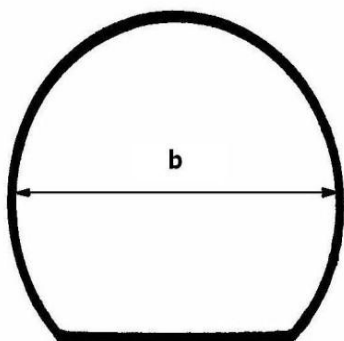
KS dle Rabcewicze-Pachera – Klasifikace pro NRTM, horninové prostředí rozděluje do 5 tříd. I třída charakterizuje ideální horninové podmínky pro bezproblémovou ražbu a vyztužování, V. třída je opakem – složité poměry jak z hlediska prostředí, tak samotné realizace podzemního díla... - viz. NRTM.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ
Inovace studijního oboru Geotechnika
reg. č. CZ.1.07/2.2.00/28.0009

Klasifikace podle LAUFFERA

Třída	Charakter horniny	doba stabiln.	volné rozpětí	zabezpečení výrubu
A	Pevná, celistvá, vyvrhelé sedimenty v tlustých lavičích masívní ruly	20 let	4 m	bez vystrojení
B	rozpučená či rozčleněná, sedimenty tenčí vrstevnaté, krystal.břidlice s výraznou foliací	6 měs.	4 m	zajištění stropu proti padání úlomků, svorníky v kalotě - 1-1,5m střík.bet. 3 cm - síť
C	velmi rozpučená břidlice, méně pevné rozpučené eruptiva	1 týden	3 m	pažení kaloty i přidě střík. bet. 5 cm, svorníky 1-1,5m + torkret
D	drobivé-poloskalní jíl. břidlice, horniny navětralé	5 hod.	1,5 m	lehké střední pažení. Střík.bet.7 cm-kalota kotvy 0,7-1,0m 3 cm torkret
E	velmi drobivé,porušené poloskalní horniny,skalní zvětralé	20 min.	0,8 m	středně těžké pažení, střík.beton 15 cm + síť kotvy 0,5 m torkret 5 cm, pažiny na ocel
F	tlačivé-zvětralé jíl.břidlice,soudrž.zeminy konsist. pevné až tvrdé,písek a štěrky	2 min.	0,4 m	pažení hnané,zapažení čelby,střík.bet. 20 cm na síť se skruží.Pažina na ocel a střík.beton
G	silně tlačivé-soudržné zeminy,kohsistence měkká až tuhá, zvodnělý písek	10 sek.	0,15 m	



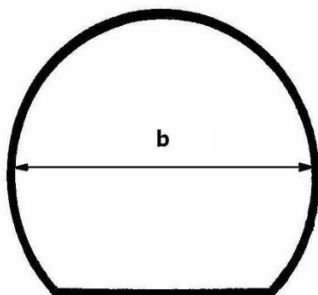
$$l < b \Rightarrow l^* = b$$

$l^* \dots$ volné rozpětí
(volná délka)

čelo
výrubu

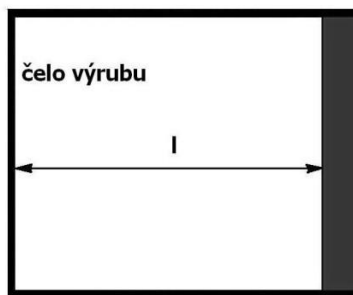


vystrojeno



$$l > b \Rightarrow l^* = l$$

$l^* \dots$ volné rozpětí
(volná délka)



vystrojeno

Klasifikace podle rakouské **normy ÖNORM B2203/ 1994** – popisuje horninu podle jejího chování ve výrubu a podle příslušného horninového typu přiřazuje požadavky na výlom a jeho zabezpečení. Oceňuje horninové prostředí i z pohledu nákladů na ražení

- Horninový typ A (A1 – stabilní, A2 - mírně lámavá)
- Horninový typ B (B1 – lámavá; B2 – silně lámavá; B3 – drobová, vysypavá)
- Horninový typ C (C1 – odprýskavá; C2 - tlačivá; C3 – silně tlačivá; C4 – tekoucí; C5 - bobtnavá)

KS podle ÖNORM B 2203:

Typ horninového prostředí		Chování horninového masivu	Požadavky na zabezpečovací opatření
Stabilní A	A1 stabilní	velmi rychle doznívající malé deformace, žádné rozvolňování	dočasná výstroj není potřebná
	A2 mírně lámavé	velmi rychle doznívající malé deformace, místní uvolňování úlomků, ovlivňované strukturou	lokální zajišťování výrubu v kalotě, ovlivněné délkou záběru
Lámavé až drobové B	B1 lámavé	velmi rychle doznívající malé deformace, strukturou ovlivněné vypadávání úlomků z klenby a stěn	systémové zajištění výrubu malého rozsahu, délku záběru přizpůsobit stabilitě výrubu
	B2 silně lámavé	rychle doznívající deformace, vysoká rozpadavost, hloubkové uvolňování úlomků z volných ploch	systematické pažení i na ploše čela, horizontální členění výrubu, redukováná délka záběru
	B3 drobové vysypavé	nestabilní v důsledku chybějící soudržnosti a zaklinění, po otevření i pouze malých výrubů dochází k závalům	systematické pažení je nutné po celém obvodu, razit po částech, resp. přijímat opatření na zlepšení stability masivu
Tlačivé C	C1 odprysk	celistvá hornina, ve které dochází při vysokých napětích k odpryskům	okamžité zabezpečení hustou sítí krátkých kotev
	C2 tlačivé	výrazné, dlouho probíhající a pomalu doznívající deformace, lomové jevy, vznik plastických zón	systematické pažení po celém obvodu, ražení s členěným průřezem s omezenou délkou záběru
	C3 silně tlačivé	velké, dlouhodobě a pomalu doznívající deformace, hloubkové lomy a plastické zóny	rozsáhlá zabezpečovací opatření, poddajná výstroj musí zajišťovat regulaci deformací, krátké záběry kvůli velmi krátké stabilitě výrubu
	C4 tekoucí	velmi malá soudržnost, měkkoplastická konzistence, vtékání zeminy do výrubu i přes malé otvory v pažení	předháněné pažení a zvláštní opatření pro zlepšení stability výrubu, ražení s horizontálně i vertikálně členěným průřezem
	C5 bobtnavé	horniny v kontaktu s vodou zvětšují svůj objem	trvale aktivní výstroj a speciální opatření

Číselné klasifikace

Používají se pro „ulehčení“ klasifikace. Místo často obšírného popisování horninového prostředí příp. jeho chování ve výrubu, přiřazují masivu jedno číslo (index) v němž by mělo být obsaženo ocenění horninového prostředí (= jeho kvality z pohledu tunelování, chování výrubu při postupu prací i obtížnosti tunelování)

KS dle Protodjakonova – zohledňuje pevnost hornin v tlaku pomocí součinitele f_p , který nabývá hodnot od 0,3 do 20 a rozděluje prostředí na 20 skupin.

Nesoudržné zeminy $f_p = \frac{tg \varphi}{\sigma_z}$

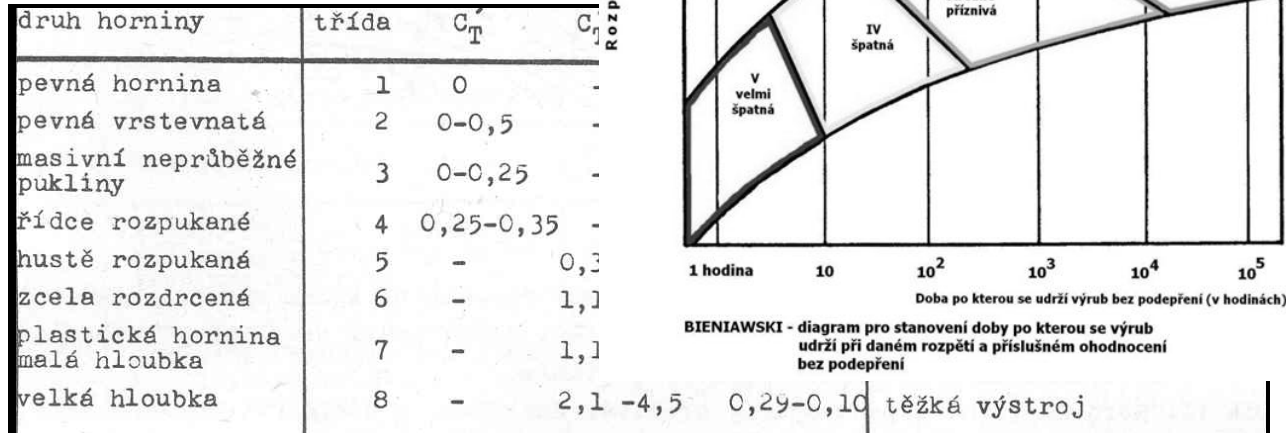
Soudržné zeminy $f_p = \frac{tg \varphi + c}{\sigma_z}$

$$f_p = \frac{1}{10} \cdot \sigma_d$$

Skalní horniny

KS dle Terzaghiho – třídí horniny podle stupně oslabení puklinami a zavádí součinitel tlačivosti c_T^I , resp. c_T^{II} a doplňuje Protodjakonovu teorii.

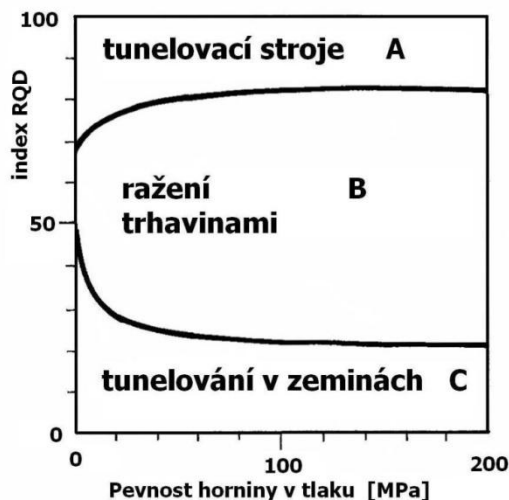
$$c_T^I = \frac{1 + 2 \cdot \operatorname{tg}(45 - \varphi)}{2 \cdot f_P}$$



KS RQD (rock quality designation) – Deer [D. U. Deere a J. Hendron, 1967]: Určuje se z výnosu vrtného jádra. Jednoparametrický index.

Ve štolách a tunelech: $RQD = 115 - 3,3 J_v$ (J_v ...počet puklin v 1 m³ masívu). Výsledky jsou již v počátečních fázích průzkumu (při vrtných pracích). Silně závisí na kvalitě vrtní. Nelze použít pro horniny silně rozpukané či rozdrčené [$RQD = 0$].

Dle indexu kvality RQD je prostředí rozděleno do 5 skupin - výborná ($RQD = 100\%$) až velmi nízká kvalita horninového prostředí ($RQD = 0\%$).



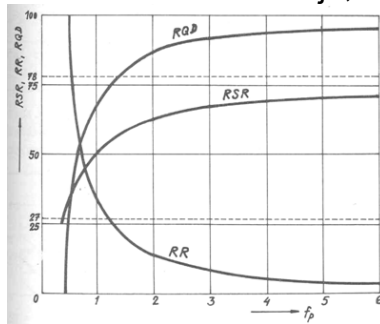
$$I_{RQD} = \frac{L_{100}}{L} \cdot 100 \%$$

KS RMR (rock mass rating) – Bieniawski [Z. T. Bieniawski, 1976, úprava 1989]: Komplexní hodnocení dle 6 základních vlastností hornin a horninového prostředí (RMR=A+B+C+D+E+F).

A...kvalita horniny (σ_c); B...RQD; C...frekvence puklin; D...charakter puklin; E...přítomnost a tlak p.v.; F...orientace puklin vzhledem k ose tunelu (resp. ke směru ražení). RMR dělí masív do V tříd (od 100 do 20 a méně bodů. S přiřazením volného rozpětí l^* a tomu odpovídající doby stability nezajištěného výrubu, resp. doporučení způsobu ražby – klasifikace je velmi moderní (NATM). Je vhodná pro horniny v ČR.

KS RSR (rock structure rating) – Wickham:

Hodnocení 3 parametrů, které jsou ohodnoceny příslušným počtem bodů, tak jako u RMR. Čím více bodů je, tím je prostředí kvalitnější.



Graf srovnání některých typů KS

KS podle Norského geotechnického institutu NGI – Q INDEX: Zahrnuje 6 charakteristik horniny a horninového prostředí s ohledem na puklinatost a napjatost masívu.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} + \frac{J_r}{J_a} + \frac{J_w}{SRF}$$

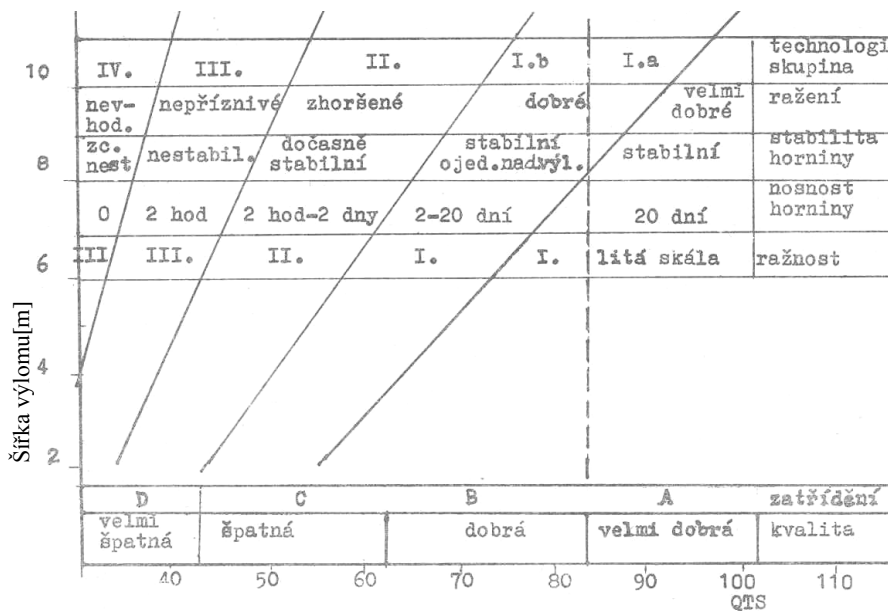
Q nabývá hodnot od 0,01 do 1000, kde 1000 je extrémně výborná kvalita horninového prostředí.

KS dle Tesaře: Komplexní systém, použitelný pro poloskalní a skalní horniny, který je normou předepsán pro železniční tunely.

$$TS = 10 \cdot \log \sigma_d + 26,2 \cdot \log d + 6,2 \cdot \log D + 61,4$$

$$QTS = TS - (\alpha + \beta + \gamma + \delta) \dots \text{kde } \alpha, \beta, \gamma, \delta \text{ jsou redukční součinitelé}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ
Inovace studijního oboru Geotechnika
reg. č. CZ.1.07/2.2.00/28.0009



počet bodů	popis technologie
30 - 36	nutné zlepšení kvality horniny kotvením nebo injektáží
36 - 43	členěný výrub se stabilizací čela
43 - 51	členěný výrub, nebo nečleněný se stabilizací čela
51 - 57	dva tunely, nečleněný výrub s omezením délky záběru na jeden prstenec (třetí tunel viz předchozí skupina)
57 - 63	nečleněný výrub s omezením délky záběru na jeden prstenec
63 - 70	nečleněný výrub bez omezení délky záběru
více 70	nečleněný výrub bez omezení délky záběru