

Mechanika hornin

Přednáška 3

Klasifikace hornin

prof. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.

HORNINOVÝ MASIV



- Část zemské kůry vzniklá horotvornou činností (soubor hornin)
- Vzhledem k rozrušení diskontinuitami (plochami nespojitosti) má masiv odlišné vlastnosti než horniny, kterými je tvořen
 - Vliv podzemní vody

SKALNÍ MASIV BEZ DISKONTINUIT



- **Není nutné zajišťovat**

SILNĚ ROZPUKANÝ HORNINOVÝ MASIV



- **Nutné zajistit (ostění, svorníky)**

SILNĚ ZVODNĚLÝ HORNINOVÝ MASIV



- **Nutné injektovat**

ZVODNĚLÉ ZEMINY



- **Nutné injektovat**

SILNĚ TLAČIVÉ HORNINY



- **Nutné mohutné zajištění nebo stlačitelné prvky**

KLASIFIKACE HORNIN

Slouží pro ohodnocení vlastností horninového prostředí z hlediska tunelování (rozpojování a zajištění).

1. Popisné klasifikace

Rozděluje horniny obvykle podle toho, jak se horniny projevují ve výrubu, aniž by blíže určovaly jejich fyzikální a mechanické vlastnosti.

2. Číselné klasifikace

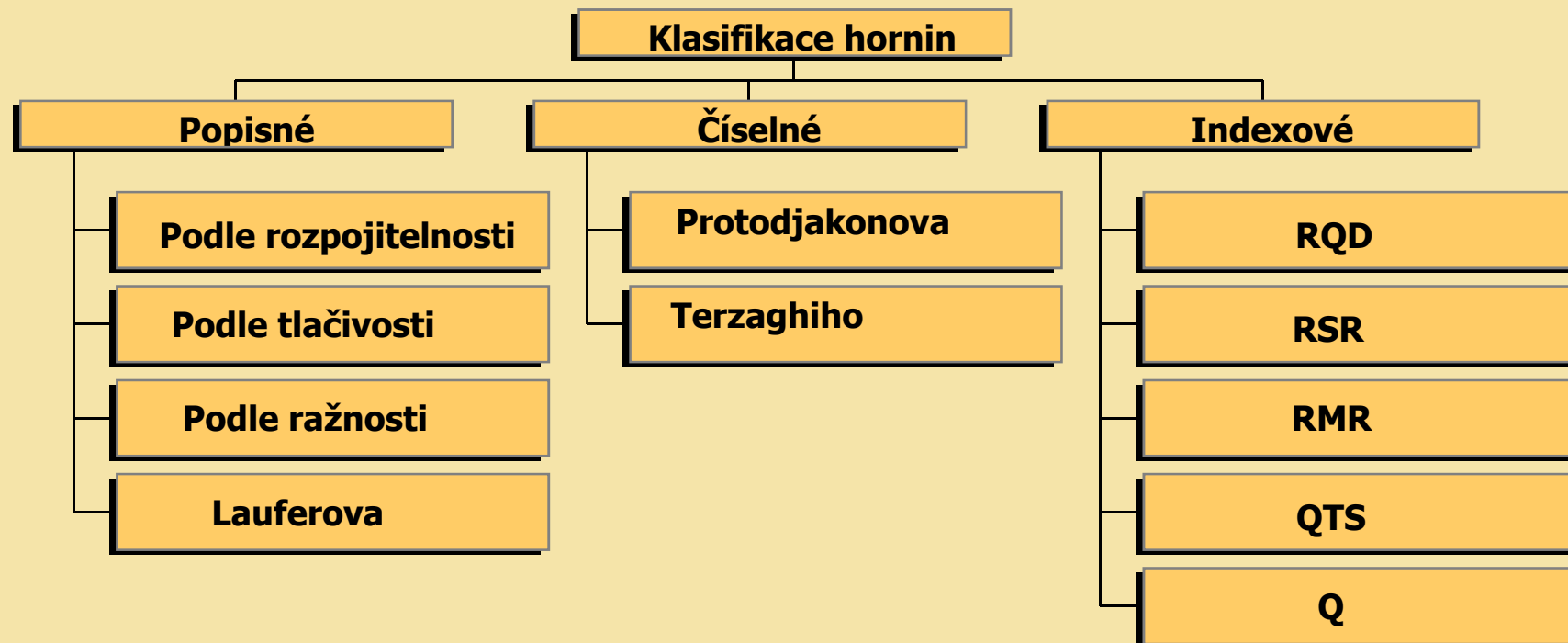
Snaží se vystihnout chování hornin při tunelování jediným ukazatelem, obvykle spojeným s jednou nebo s více vlastnostmi horniny či horninového masivu.

3. Indexové klasifikace

Patří mezi moderní klasifikace, které hodnotí masiv podle více parametrů rozhodujících z hlediska tunelování (pevnost horniny, oslabení masivu diskontinuitami, vlivu vody apod.).

KLASIFIKACE HORNIN

rozdělení



KLASIFIKACE HORNIN

historický vývoj

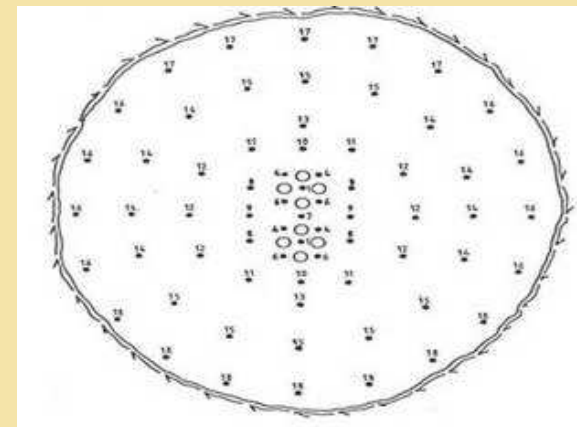
- **Protodjakonov (1908) Rusko**
- **Terzaghi (1946) USA**
- **Laufer (1958) Rakousko**
- **Pacher (1964) Rakousko**
- **RQD (1967) USA**
- **RMR (1973, 1989) JAR**
- **Q (1974) Norsko**
- **QTS (1977) ČR**
- **ISRM (1981) USA**
- **GSI - Hoek (1997)**

KLASIFIKACE POPISNÉ

DLE ROZPOJITELNOSTI (dle ČSN 734050 – zemní práce)

1. Zeminy rypné a kopné
2. Lehce rozpojitelné horniny
3. Středně rozpojitelné horniny
4. Těžce rozpojitelné horniny
5. Snadno trhatelné horniny
6. Nesnadno trhatelné horniny
7. Velmi nesnadno trhatelné horniny

- Vhodné pro ocenění díla



DLE RAŽNOSTI (pro ražené tunely)

1. **Litá skála** (obtížné rozpojování horniny, ale není třeba výstroj).
2. **I. Stupeň ražnosti** (nutná lehká výstroj)
3. **II. Stupeň ražnosti** (tlačivé horniny, nutná výstroj, jednoduché rozpojování)
4. **III. Stupeň ražnosti** (silně tlačivé horniny, není nutné rozpojovat, nutná masivní výstroj)

<i>Stupeň ražnosti</i>	<i>Bližší popis horniny</i>	<i>Vystrojení výrubu</i>
litá skála	Horniny celistvé, blokovité, stabilní, velmi tvrdé a nezvětralé. Netlačivé; není třeba pažit. Rozpojování horniny je velmi nesnadné, vyznačující se velkým počtem krátkých vrtů a velkou spotřebou trhavin	Výstroj není třeba. Pokud se trvalá výstroj-provádí, má charakter jen obkladní
I. stupeň	Horniny soudržné, ale rozpukané nebo vrstevnaté, mírně tlačivé. Přítomnost vody může způsobit přeřazení do II. stupně ražnosti	Dočasná výstroj nutná Definitivní výstroj nosná
II. stupeň	Horniny málo soudržné nebo zeminy silně tlačivé, vyžadující speciální postupy ražení. Potřeba trhavin malá. Přítomnost vody vyvolává silné tlaky a hornina nabývá charakteru III. stupně ražnosti	Dočasná výstroj je silně dimenzována. Definitivní výstroj mohutná, zpravidla se spodní klenbou
III. stupeň	Horniny nebo zeminy nesoudržné, plastické nebo sypké. Přítomnost vody způsobuje bobtnání, rozbahnění, vytékání. Ražení vyžaduje mimořádně silné výstroje, zpravidla hnané s těsněním spar. Těžení se omezuje na odebrání horniny	Výstroj je mimořádně mohutně dimenzována a provádění vyžaduje zvláštních technologických postupů

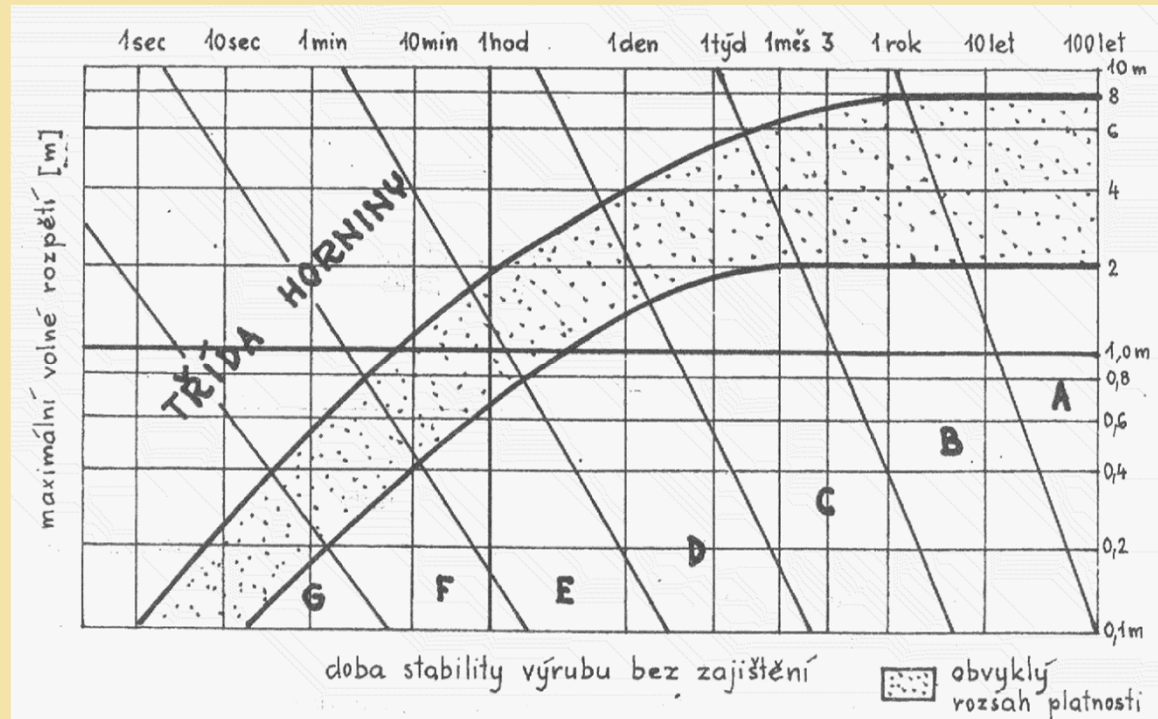
DLE TLAČIVOSTI

- **Horniny netlačivé** – pevné celistvé horniny
- **Horniny tlačivé** – horniny vrstevnaté, balvanité, navětralé, rozvolněné, atd.
- **Horniny silně tlačivé** – horniny plastické a tekoucí
- **Horniny bobtnavé** – zvětšování objemu bobtnáním

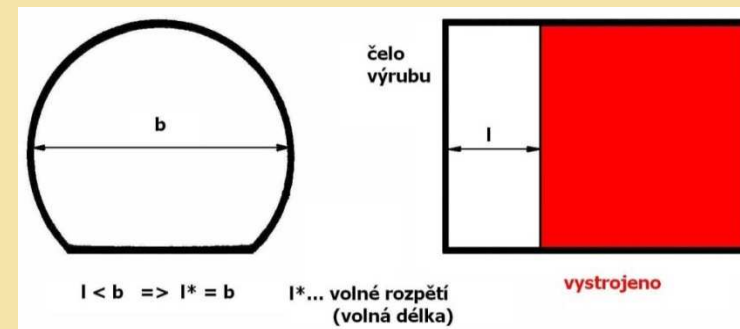
DLE MÍRY ZVODNĚNÍ

- **Horniny suché** – nepatrné přítoky
- **Horniny mokré** – vodu je nutné svádět
- **Horniny silně vodnaté** – mocné přítoky, zvláštní opatření

LAUFEROVA klasifikace (dle doby stability nevystrojeného výrubu)

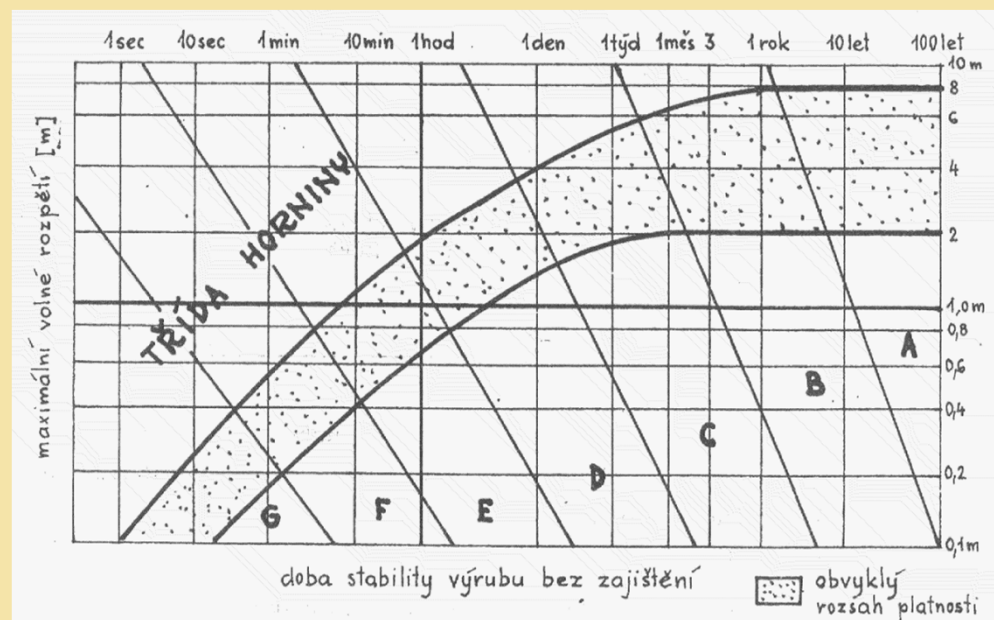


Zohledňuje, jak dlouho vydrží stabilní výrub rozpětí (m) v určitém geologickém prostředí (A – G)



LAUFEROVA klasifikace (dle doby stability nevystrojeného výrubu)

Třída	Hornina
A	Pevná
B	Rozpukaná či rozčleněná
C	Velmi rozpukaná či rozčleněná
D	Drobivá
E	Velmi drobivá, porušená
F	Tlačivá
G	Silně tlačivá



KLASIFIKACE ČÍSELNÉ

PROTODJAKONOVA klasifikace (dle pevnosti)

- Platí pro klasické tunelování (starší metody ražby)
- Předpokládá vytvoření horninové klenby
- Horninám přiřazuje **součinitel pevnosti f_p**
- Zatřídění do **10 tříd** dle petrografického popisu či pevnosti horniny
- Obecně nebere v úvahu porušení diskontinuitami
- Pro rozpukaný masiv je nutná redukce součinitelem **a** nebo **indexem RQD**

Určení součinitele pevnosti f_p

- **Pro horniny:** $f_p = \frac{\sigma_c}{10}$

σ_c – pevnost horniny v tlaku (MPa)

- **Pro zeminy nesoudržné:** $f_p = \operatorname{tg} \varphi$

- **Pro zeminy soudržné:** $f_p = \frac{\sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c}{\sigma}$

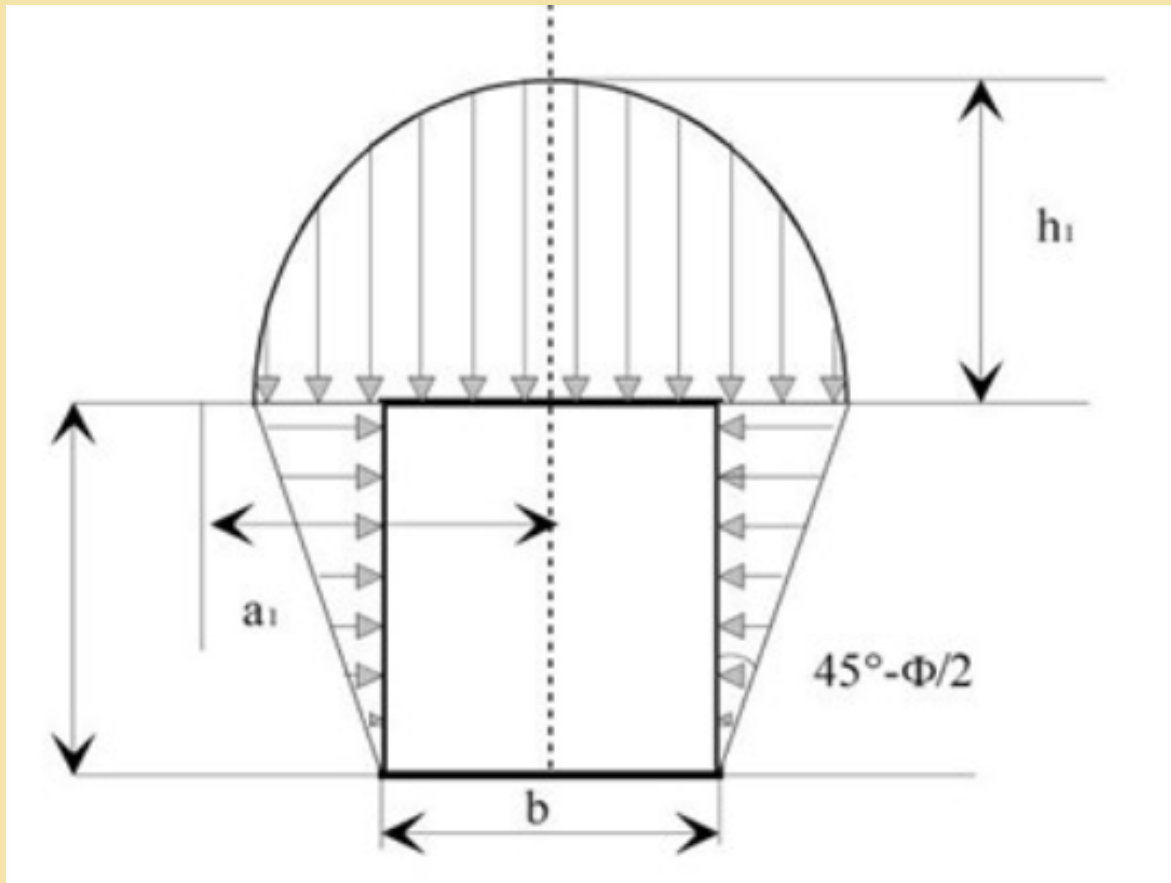
σ – svislé efektivní napětí

PROTODJAKONOVA klasifikace rozdělení do tříd (10 tříd)

Třída	Stupeň pevnosti hornin	Horniny	Součinitel pevnosti f_p [-]	Úhel tření horniny φ	Objemová tíha horniny γ [kN/m ³]
I.	Nejtvrďší horniny	nejtvrdší, celistvé, pevné a hutné křemence a čediče, jiné mimořádně tvrdé horniny	20	87°	28,00 - 30,00
II.	Velmi tvrdé horniny	velmi tvrdé žulové horniny, křemité porfyr, velmi tvrdá žula, křemité břidlice, méně tvrdé křemence, nejtvrďší pískovce a vápence	15	85°	26,00 - 27,00
III.	Tvrdé horniny	žula hutná a celistvá, velmi tvrdé pískovce a vápence, křemité rudné žily, tvrdý slepenec, velmi tvrdé železné rudy	10	82°30'	25,00 - 26,00
III. a		tvrdé vápence, méně tvrdé žuly, pevné pískovce, mramory, dolomity, kyzy	8	80°	25,00
IV.	Dosti tvrdé horniny	obyčejný pískovec, železné rudy středně tvrdé	6	75°	24,00
IV. a		písčité břidlice, břidličné pískovce	5		
V.	Středně tvrdé horniny	tvrdé hlinité břidlice, méně tvrdý pískovec a vápenc, měkký slepenec	4	75°	24,00
V. a		různorodé nepřilíš tvrdé břidlice, hutný slín	3	72°30'	23,00

VI.	Dosti měkké horniny	měkké břidlice, měkký vápenc, křída, kamenná sůl, zmrzlá země, antracit, obyčejný slín, rozrušený pískovec, měkké slepence a hlína promísená skaliny	2	65°	22,00 - 26,00
VI.a		hlína se štěrkem, rozrušená břidlice, oblázky se štěrkem, tvrdá hlína, tvrdé černé uhlí	2	65°	22,0 - 26,00
VII.	Měkké horniny	hutný jíl, pevné hlíny, střední černé uhlí	1,0	45°	20,00 - 22,0
VII.a		lehká písčité hlína, štěrk, spraš, měkké uhlí	0,8	40°	18,00 - 20,00
VIII.	Soudržné zeminy	ornice, rašelina, lehká písčité hlína, vlhký písek	0,6	30°	16,00 - 18,00
IX.	Sypké zeminy	písek, spraš, drobný štěrk, náplavy, nasypané uhlí	0,5	27°	14,00 - 16,00
X.	Rozbředlé horniny	bahnité horniny, náplavy, vodou nasycené a rozbředlé horniny	0,3	9°	-

PROTODJAKONOVA klasifikace výška a tvar horninové klenby



h_1 - je výška přirozené
horninové klenby
nad výrubem

$$h_1 = \frac{a_1}{f_p}$$

PROTODJAKONOVA klasifikace redukce součinitele f_p (zohlednění vlivu diskontinuit)

Pomocí součinitele **a**

$$f_{p,red} = f_p \cdot a$$

Intenzita rozpukání	Stupeň	Redukční koeficient a
slabé až velmi slabé	0 - 1	1
střední	2	0,80 - 1
silné	3	0,50 - 0,80
velmi silné	4-5	0,20 - 0,50
mimořádně silné	-	-

Pomocí indexu **RQD**

$$f_{p,red} = \frac{f_p \cdot RQD}{100}$$

TERZAGHIHO klasifikace (dle porušení plochami diskontinuit)

- Platí pro klasické tunelování (starší metody ražby)
- Předpokládá vytvoření horninové klenby
- Vhodná pro ocelovou výstroj
- Uvažuje porušení horninového masivu diskontinuitami
- Zatřídění do 8 tříd
- Horninám přiřazuje součinitele tlačivosti c_T' a c_T''

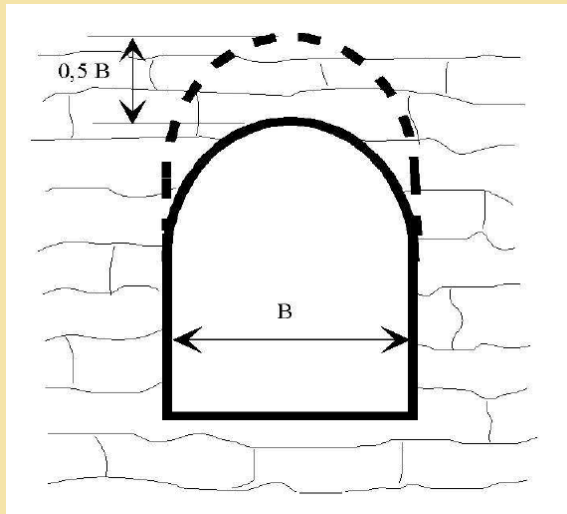
TERZAGHIHO klasifikace

Druh horniny	c'_T	c''_T	Zatěžovací výška H_p v [m]	Poznámka
1. Tvrdá a neporušená	0	-	0	Lehké ostění jen při výskytu nebezpečí odlupování a padání drobného kameniva
2. Tvrdá vrstevnatá nebo břidličnatá	0 - 0,5	-	$C_t' * B$	Lehké ochranná provizorní výstroj stropu
3. Masivní, mírně rozpukaná	0 - 0,25	-	$C_t' * B$	Zatížení stropu se může náhle měnit od jedné k druhé puklině
4. Mírně drobivá	0,25 - 0,35	0,25 - 0,35	$C_t' * (B + H_t)$ nebo $C_t'' * (B + H_t)$	Žádný boční tlak
5. Značně drobivá	-	0,35 - 1,10	$C_t'' * (B + H_t)$	Nepatrný nebo žádný boční tlak
6. Celkem rozdrčená, ale chemicky čistá	-	1,10	$C_t'' * (B + H_t)$	Značný boční tlak zvyšovaný prosakující vodou. Vyžaduje kruhové skruže rozepřené v patkách
7. Stlačitelná – střední hloubka	-	1,10 - 2,10	$C_t'' * (B + H_t)$	Velký boční tlak, kruhové skruže, definitivní klenba a tuhými ocelovými vložkami
8. Stlačitelná - velká hloubka	-	2,10 - 4,50	$C_t'' * (B + H_t)$	Požadují se kruhové skruže, v krajních případech pružné nosníky nebo provizorní výstroj.

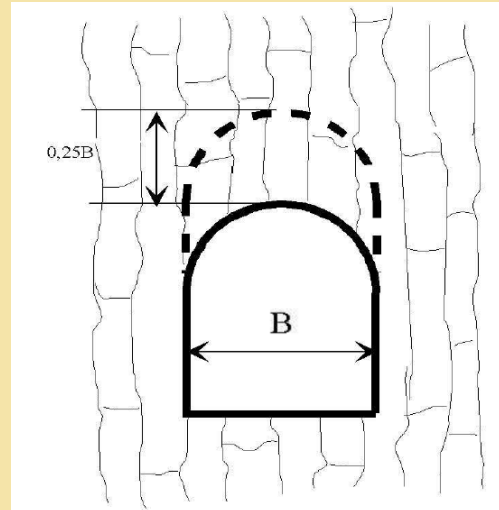
B - šířka výrubu
 H_t - výška výrubu

minimální výška
 nadloží
 $H > 1,5 (B + H_t)$

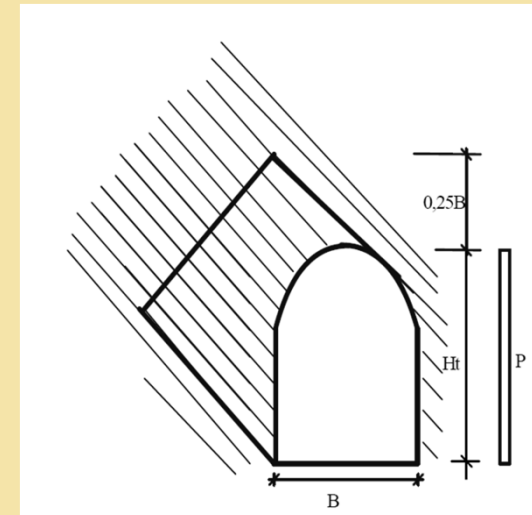
TERZAGHIHO klasifikace výška a tvar horninové klenby



Vodorovná
vrstevnatost



Svislá
vrstevnatost



Šikmá
vrstevnatost

KLASIFIKACE INDEXOVÉ

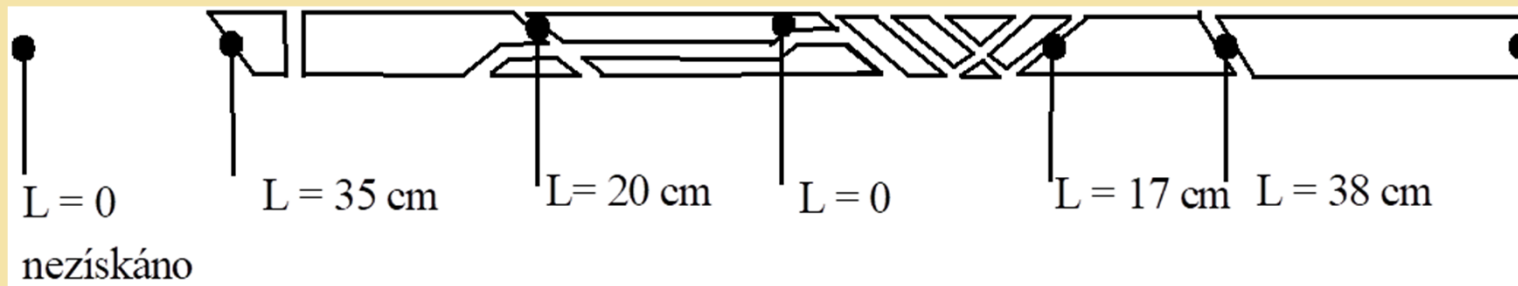
Klasifikace RQD

- RQD = Rock Quality Designation
- Deere (1967) - USA
- Ohodnocení masivu na základě jádrových vrtů - min. \varnothing 55 mm
- Reprezentuje kvalitu horniny v terénu (in situ)
- Směrově závislý parametr
- Je nutné vyloučit trhliny vzniklé vrtací technologií
- Délka kusu z jádrového vrtu se měří v ose jádra

Klasifikace RQD

Index RQD je definován vztahem na základě celkové navrtné délky a délky neporušených kusů v jádrovém vrtu delších než 10 cm :

$$RQD = \frac{\sum L_{10}}{L} \times 100\%$$



$$RQD = \frac{\sum \text{délky kusů jader} > 10 \text{ cm}}{\text{celková délka jádrového vrtu}} \times 100\% = \frac{38 + 17 + 20 + 35}{200} \times 100\% = 55\%$$

Klasifikace RQD

Kvalita horniny	RQD	C_T	f_p
výborná	100 - 90	0 - 0,15	2,0 - 2,3
dobrá	90 - 75	0,15 - 0,35	2,3 - 1,2
střední	75 - 50	0,35 - 0,70	1,2 - 0,7
nízká	50 - 25	0,70 - 1,10	0,7 - 0,5
velmi nízká	25 - 0	1,10 - 1,40	0,5 - 0,4



Vrtné
jádro

Klasifikace RQD

Pokud nejsou k dispozici vrtná jádra, ale jsou známy směry ploch nespojitosti (jsou viditelné na odhalené ploše např. čelbě či v průzkumné štole), může být podle Palmströma (1982) index RQD určen pro horniny s diskontinuitami neobsahujícími jíly vztahem:

$$RQD = 115 - 3,3J_V$$

J_V je volumetrický počet spar (tj. součet spar na jednotku délky všech systémů ploch nespojitosti)

Klasifikace RSR

- RSR = Rock Structure Rating
- Wickham - 1972
- Kvantitativní metoda popisu horninového masivu na základě více parametrů
- Určena pro menší tunely s ocelovou výstrojí
- Určuje vhodnou výstroj podzemní stavby
- Dnes se příliš nepoužívá
- Z dané klasifikace vychází řada modernějších klasifikací

Klasifikace RSR

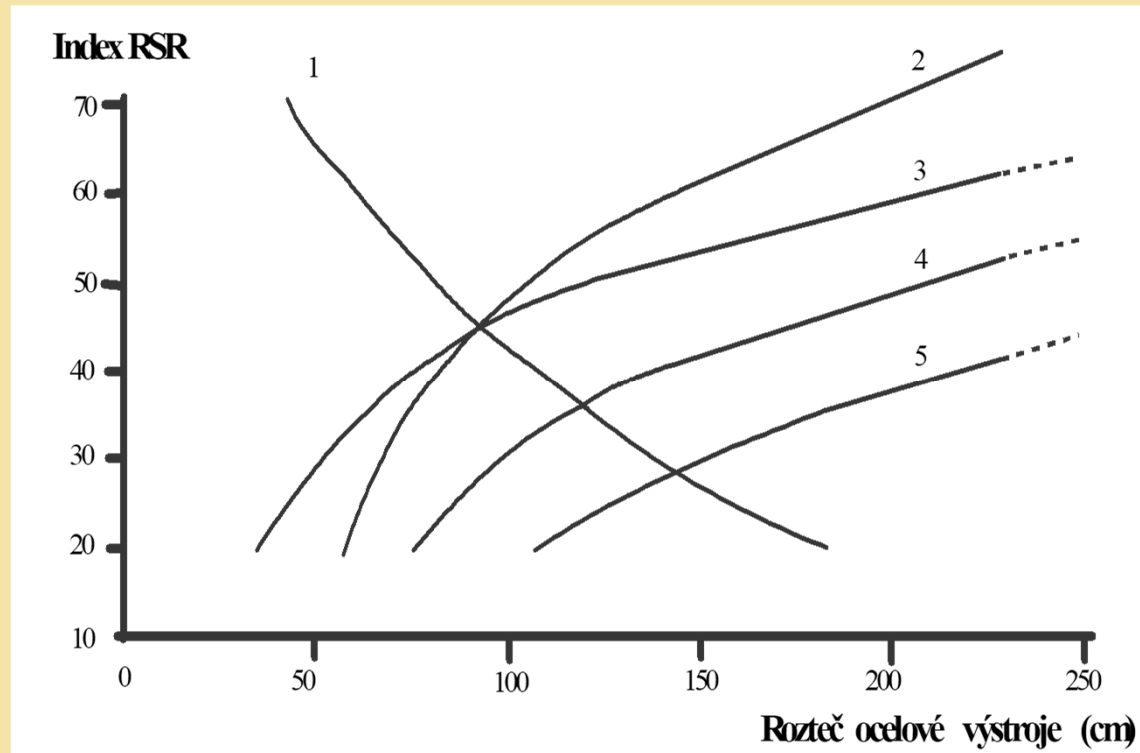
Index RSR se stanovuje jako součet bodů, stanovených pro tři parametry $RSR = A + B + C$ (maximum 100 bodů)

Parametr A (0 – 30 bodů) vyjadřuje geologické podmínky (horniny sedimentární, přeměněné, vyvřelé) včetně tektonického porušení

Parametr B (0 – 50 bodů) je dán hustotou a orientací ploch nespojitosti vzhledem k ose podzemního díla

Parametr C (0 – 20 bodů) se určuje dle stavu diskontinuit (hladké, hrubé, zazubené) s ohledem na jejich zvodnění

Závislost zajištění na indexu RSR



1 – stříkaný beton tl. 5cm

2 – svorníky Ø25mm

3 – lehké ocelové oblouky

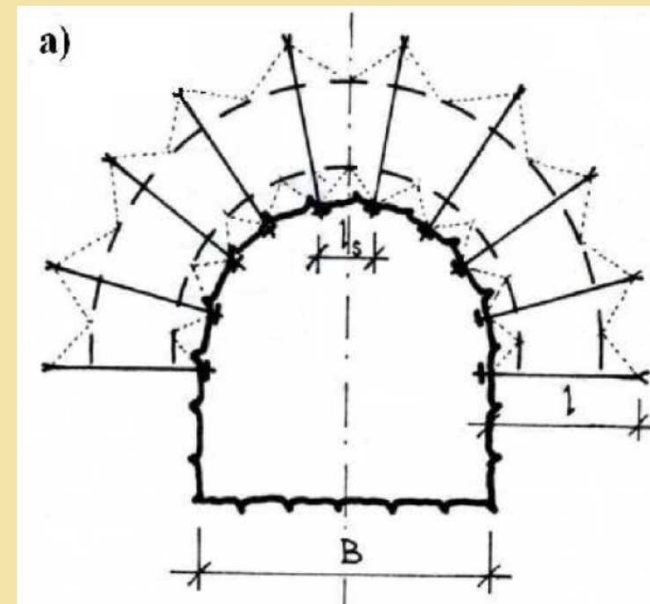
4 – středně těžké ocelové oblouky

5 – těžké ocelové oblouky

Zajištění tunelu (NRTM)



ocelové sítě
příhradové rámy
stříkaný beton



svorníky

Klasifikace RMR

- RMR = Rock Mass Rating
- Bieniawski - JAR (1973)
- 1989 revize klasifikace
- 5 tříd horniny (RMR 10 – 100)
- Masiv dělí na strukturní oblasti, které hodnotí samostatně
- Klasifikuje horniny podle šesti parametrů A – F
- Určuje způsob ražby, stabilitu výrubu, typ výstroje
- Korelace s ostatními klasifikacemi

Klasifikace RMR

$$\text{RMR} = \text{A} + \text{B} + \text{C} + \text{D} + \text{E} - \text{F}$$

- A - pevnost v tahu při bodovém zatížení nebo pevnost v prostém tlaku
- B - index RQD
- C - vzdálenost ploch nespojitosti
- D - charakter ploch nespojitosti
- E - přítomnost a tlak podzemní vody
- F - orientace puklin vzhledem ke směru ražby

Klasifikace RMR - parametry

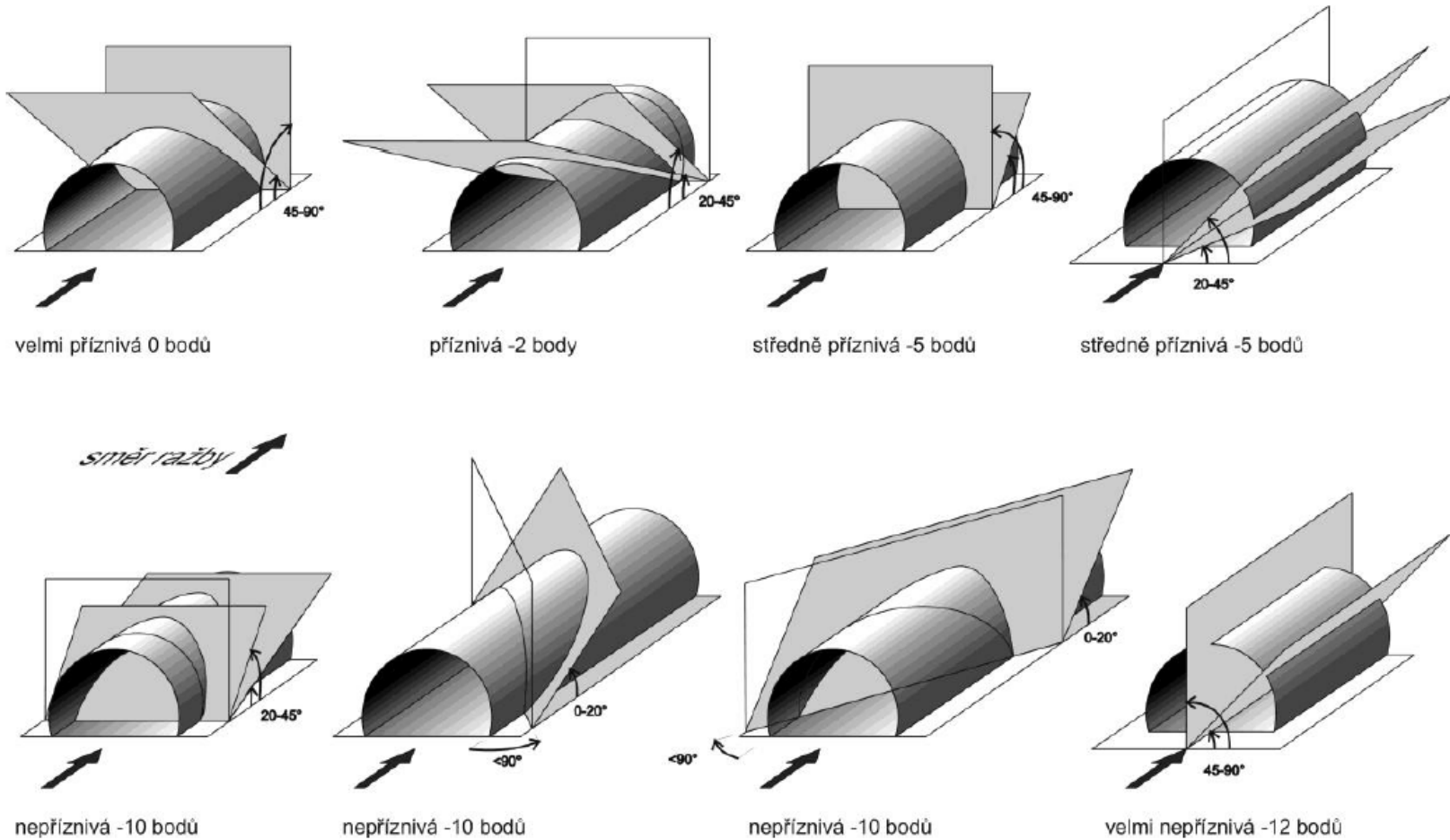
A. PARAMETRY A JEJICH HODNOCENÍ									
Parametr			Rozsah hodnot						
1	Pevnost neporušené horniny	Pevnost v tahu při bodovém zatížení	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Pro nízké hodnoty se upřednostňuje pevnost v prostém tlaku		
		Pevnost v prostém tlaku	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa	< 1 MPa
	Hodnocení	15	12	7	4	2	1	0	
2	Index kvality horninového masivu RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %		
	Hodnocení		20	17	13	8	3		
3	Vzdálenost diskontinuit		> 2 m	0,6 – 2 m	0,6 – 0,2 m	0,2 – 0,06 m	< 0,06 m		
	Hodnocení		20	15	10	8	5		
4	Charakter diskontinuit (viz C)		Velmi drsný povrch Nesouvislý Neodlučný Nezvětralá stěna	Nepatrně drsný povrch Odlučnost < 1 mm Nepatrně zvětalá stěna	Nepatrně drsný povrch Odlučnost < 1 mm Velmi zvětalá stěna	Ohlazený povrch nebo jílovitý lem < 5 mm Odlučnost 1 – 5 mm Souvislý	Jílovitý lem > 5 mm Odlučnost > 5 mm Souvislý		
	Hodnocení		30	25	20	10	0		
5	Vlastnosti podzemní vody	Přítok na 10 m délky tunelu	Žádný	< 10 l/m	10 – 25 l/m	25 – 125 l/m	> 125 l/m		
		(Tlak vody v puklině)/(Hlavní napětí)	0	< 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Obecné podmínky	Suché	Navlhlé	Mokré	Odkapavající	Přitékající		
	Hodnocení		15	10	7	4	0		

Klasifikace RMR - parametry

B. HODNOCENÍ ORIENTACE DISKONTINUIT (viz obr. 1)					
Směr a sklon vrstvy	Velmi příznivý	Příznivý	Středně příznivý	Nepříznivý	Velmi nepříznivý
Hodnocení pro tunely a doly	0	-2	-5	-10	-12
C. VODÍTKO PRO KLASIFIKACI POVRCHU DISKONTINUIT					
Průběžnost diskontinuit	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Hodnocení	6	4	2	1	0
Rozevření diskontinuit	Žádné	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Hodnocení	6	5	4	1	0
Drsnost povrchu	Velmi drsný	Drsný	Mírně drsný	Hladký	Ohlazený
Hodnocení	6	5	3	1	0
Výplň	Žádná	Pevná výplň < 5 mm	Pevná výplň > 5 mm	Jemná výplň < 5 mm	Jemná výplň > 5 mm
Hodnocení	6	4	2	2	0
Zvětrání povrchu	Nezvětralý	Mírně zvětralý	Středně zvětralý	Silně zvětralý	Rozložený
Hodnocení	6	5	3	1	0

Klasifikace RMR

orientace puklin vzhledem ke směru ražby



Klasifikace RMR

RMR - 5 tříd

Hodnocení	81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	0 - 20
Třída	I	II	III	IV	V
Kvalita horniny	Velmi dobrá	Dobrá	Střední	Špatná (nízká)	Velmi špatná (velmi nízká)

RMR < 20 – velmi špatná kvalita

RMR > 80 – velmi dobrá kvalita

Vztah mezi RMR a indexem Q:

$$RMR = 9 \cdot \ln Q + 44$$

Vztah mezi RMR a modulem přetvárnosti horninového masivu:

$$E_{def} = 2 \cdot RMR - 100$$

Klasifikace Q

- Norský geotechnický institut – BLLL - Barton, Liem, Lunde, Loset (1974)
- Q – quality – kvalita horninového masivu z hlediska tunelování
- Navržen na základě analýzy staveb tunelů ve Skandinávii
- Hodnotí masiv na základě šesti parametrů ($Q = 0 - 1000$)
- Určuje tlak na výstroj a způsob vystrojení
- Korelace s ostatními klasifikacemi
- Klasifikace se neustále vyvíjí (odvozena i Q_{TBM} – pro tunelovací stroje)

Klasifikace Q

$$Q = \frac{R \ Q \ D}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{S \ R \ F}$$

- J_n – počet puklinových systémů - nejčastěji 3 kolmé) (n – number)
- J_r – drsnost puklin (r – roughness)
- J_a – zvětrání ploch diskontinuity a výplní diskontinuit (a – alteration)
- J_w – vodní tlak (w – water)
- SRF – podmínky původní napjatosti horninového masivu (SRF - Stress Reduction Factor)
- RQD – klasifikace dle Deera

Klasifikace Q

Výstroj tunelu je zavedena pomocí ekvivalentního rozměru L

$$L = \frac{\text{rozpětí nebo výška (m)}}{ESR}$$

ESR – Excavation Support Ratio
(dle druhu podz. díla – viz. tab.)

Délka svorníků: $L = \frac{2 + 0,15 B}{ESR}$

B – šířka výrubu

Maximální nevystrojené rozpětí:

$$B_{\max} = 2 \cdot ESR \cdot Q^{0,4}$$

Tabulka pro určení ESR:

Druh podzemního díla	ESR	Počet zkoumaných případů
A. Dočasná důlní díla	3-5	2
B.1 Svislé kruhové šachty	2,5	0
B.2. Svislé šachty pravoúhlé	2,0	0
C. Trvalá důlní díla Tlakové vodní štola Průzkumné štoly Pilot tunely	1,6	83
D. Podzemní zásobníky Čistírny odpadních vod Menší silniční tunely Přístupové tunely	1,3	25
E. Hydrocentrály Portály Křížení tunelů Velké silniční tunel Díla civilní ochrany	1,0	73
F. Atomové elektrárny Stanice metra Továrny	0,8	2

Určení tlaku pomocí Q

Tlak na trvalou výstroj:

$$P_{roof} = \frac{2,0}{J_r} Q^{-1/3}$$

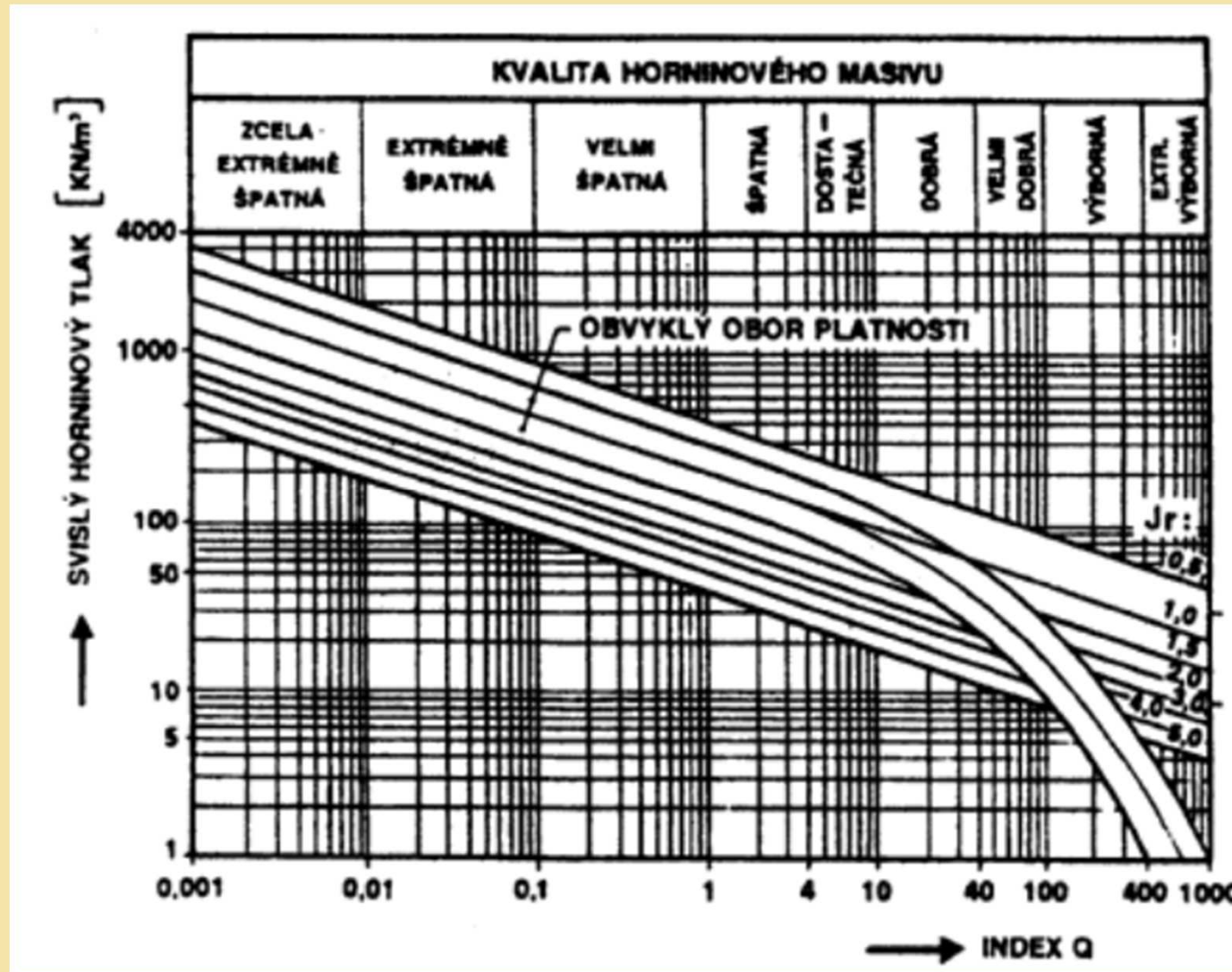
Pokud je $J_n < 3$, pak se užívá:

$$P_{roof} = \frac{2}{3} J_n^{1/2} \cdot J_r^{-1} \cdot Q^{-1/3}$$

J_n - počet puklinových systémů

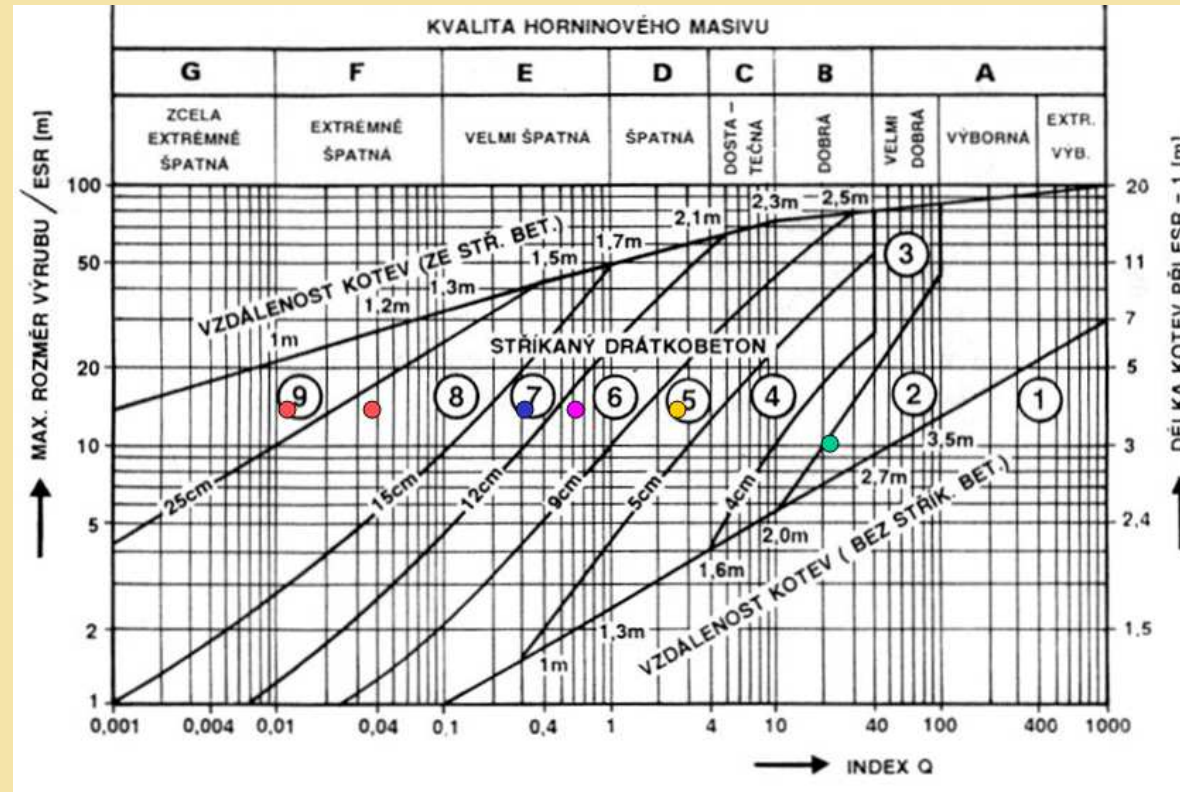
J_r - drsnost puklin

Určení tlaku pomocí Q



Určení zajištění výrubu dle Q

1. Bez výstroje
2. Nepravidelné kotvení
3. Systematické kotvení
4. Systematické kotvení a SB 4 – 10 cm
5. Systematické kotvení a SB 5 – 9 cm
6. Systematické kotvení a SB 9 – 12 cm
7. Systematické kotvení a SB 12 – 15 cm
8. SB > 15 cm nebo monolitické ostění
9. Monolitické ostění



Klasifikace GSI

- Geological Strength Index (GSI)
- Hoek (1997)
- Pro rozpukané horninové masivy relativně homogenní
- Metoda určení pevnosti a tvárnosti horninového masivu
- Stanovení GSI na základě:
 - Stavby - vzdálenosti ploch diskontinuit (intaktní masiv až malá rozteč ploch diskontinuit)
 - Povrchu diskontinuit (drsne až hladké)

Klasifikace GSI

Pokles kvality
povrchu diskontinuit

Pokles zatřídění
horninových bloků

Neporušený
Rozrušený

GSI pro puklinové horninové masivy

Stavba	Drsné		Hladké	
	Podmínky na povrchu diskontinuit	Pokles kvality povrchu diskontinuit	Podmínky na povrchu diskontinuit	Pokles kvality povrchu diskontinuit
<p>Intaktní i masivní Intaktní horninové vzorky, masivní horninový masiv in-situ s několika diskontinuitami</p>	Velmi dobré velmi drsné, nezávětralé	90	Špatné velmi hladké s kompaktními povlaky či výplní úlomky	N/A
<p>Blokovitá velmi dobrý vzájemně zaklíněný neporušený masiv</p>	Dobré drsné, místy navětralé	80	Velmi špatné velmi hladké či závětralé s výplní měkkým jílem	N/A
<p>Velmi blokovitá vzájemně zaklíněný částečně porušený horninový masiv s bloky utvořenými min. 4 systémy diskont.</p>	Středně příznivé hladké, středně závětralé	70		
<p>Blokovitá /porušená/ s proplástky Zvrásněný horninový masiv s úlomky a mnoha soustavami diskontinuit, plochy vrstevnatosti jsou průběžné</p>		60		
<p>Dezintegrovaná Vzájemně rozlámané bloky horninového masivu s úlomky kulatými a ostrohrannými</p>		50		
<p>Laminovaná/smykem porušená nedostatečná blokovitost kvůli malé rozteči smykových ploch</p>		40		
		30		
		20		
		N/A		10
		N/A		

Klasifikace GSI

Využití pro numerické modelování

VSTUPNÍ PARAMETRY

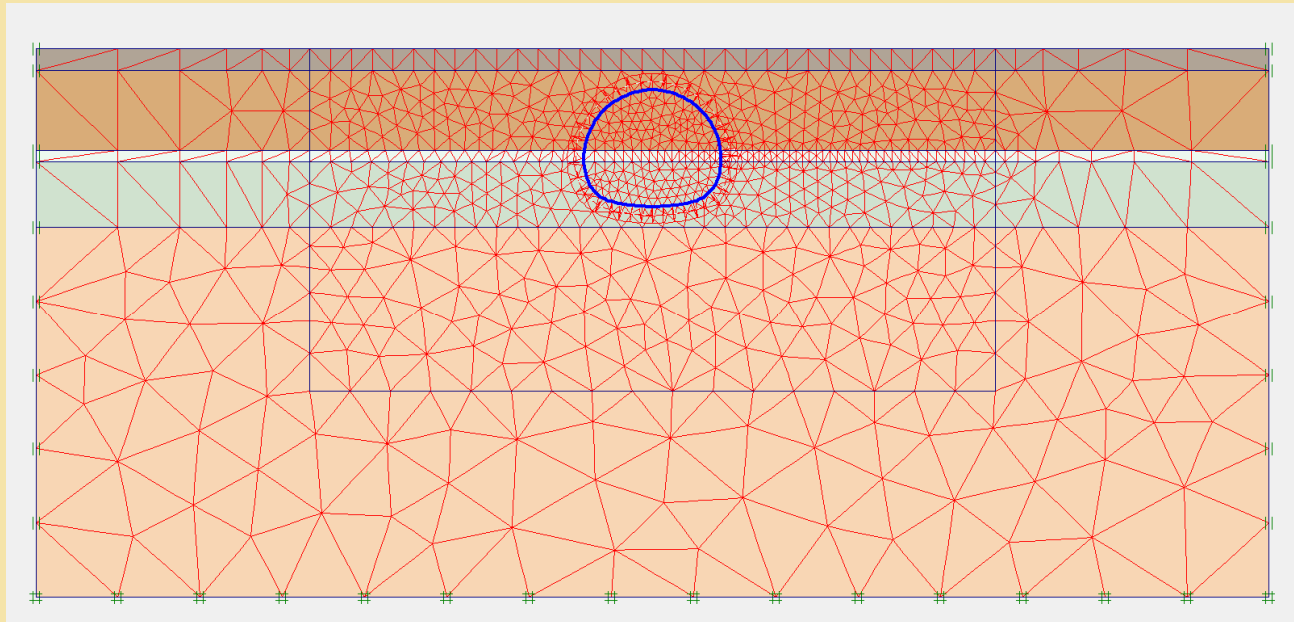
Jednoosá pevnost v tlaku intaktní horniny σ_c
Hoekova konstanta m_i
Index GSI

VÝSTUPNÍ PARAMETRY

Jednoosá pevnost v tlaku horn. masivu σ_{cm}
Jednoosá pevnost v tahu horn. masivu σ_{tm}
Úhel vnitřního tření (horn. masiv) ϕ
Soudržnost (horn. masiv) c
Modul přetvárnosti (horn. masiv) E_{def}

Klasifikace GSI

E , ϕ , c – parametry potřebné pro numerické modelování



Numerický model tunelu
(metoda konečných prvků)

Klasifikace QTS

- Tesař (1977)
- Regionální klasifikace (Praha) – zohledňuje pražské geologické poměry
- Využívá zkušenosti z výstavby pražského metra
- Horninu klasifikuje body (30 - 100)
- Navazuje na technologické skupiny hornin
- Určuje postup ražby a vystrojení
- Vazba na ostatní indexové charakteristiky

Klasifikace QTS

Index QTS je určen počtem bodů TS a jejich redukcí:

$$QTS = TS - \sum (\alpha + \beta + \gamma + \delta)$$

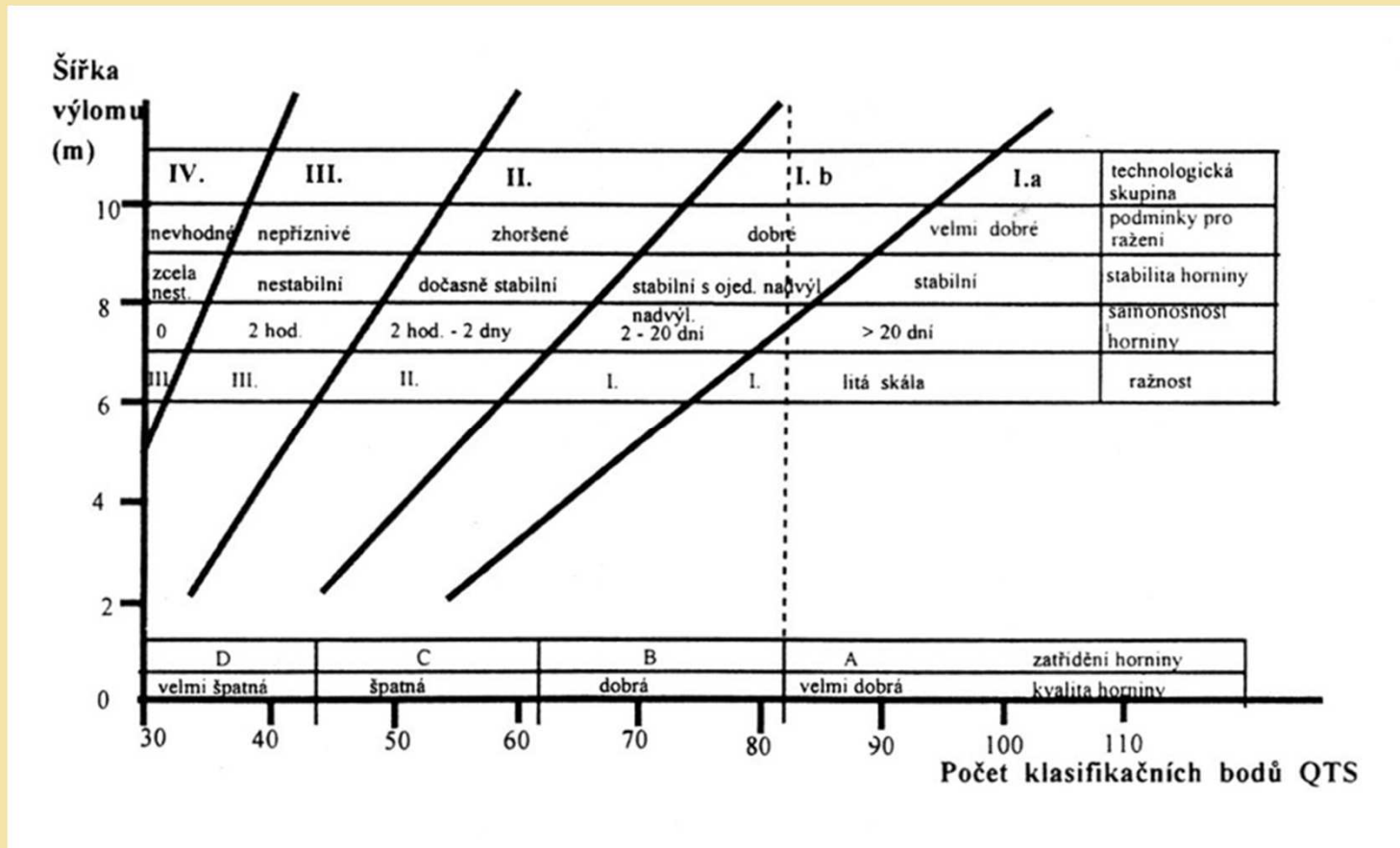
$$TS = A + B + C = 10 \log \sigma_d + 26,2 \log d + 6,2 \log D + 61,4$$

- A pevnost úlomků horniny v prostém tlaku σ_d [MPa]
- B průměrná vzdálenost ploch nespojitosti d [m]
- C hloubka zkoumané horniny pod bází
pokryvných útvarů D [m].
- TS texturní a strukturní vlastnosti horniny

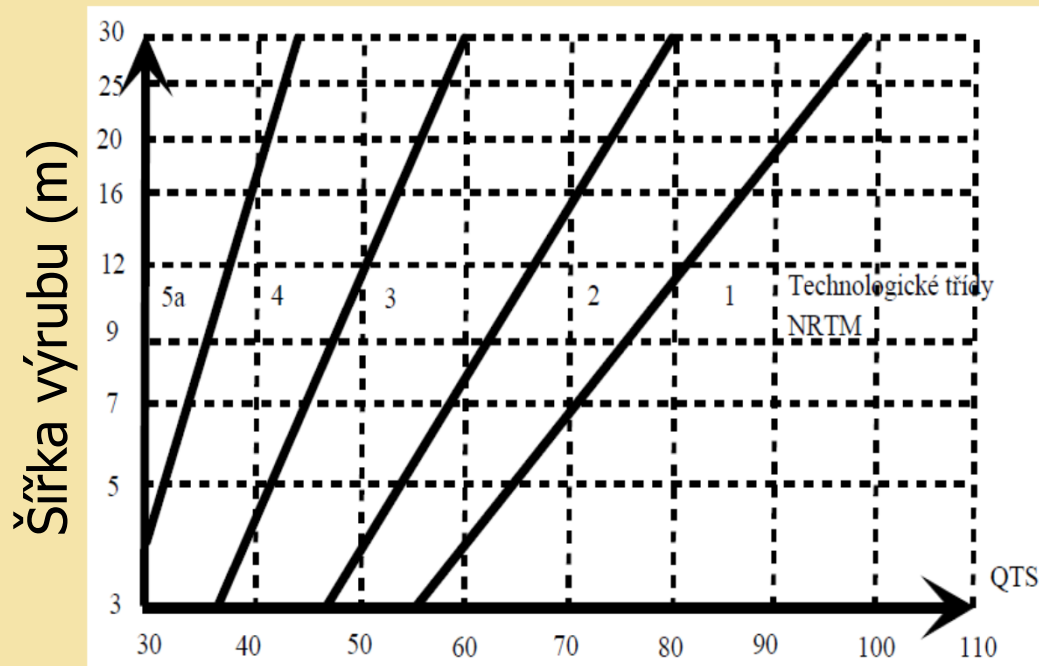
Klasifikace QTS - redukční parametry

- α při sklonu hlavních ploch nespojitosti mezi 30° až 80
- β plochy diskontinuit nepříznivě ukloněné, rovné, hladké nebo s výplní jílu
- γ při výskytu podzemní vody protékající volně
- δ při vývěrech podzemní vody pod hydrostatickým tlakem

Klasifikace QTS - technologické skupiny hornin (používáno dříve)



Klasifikace QTS - technologické třídy NRTM (používáno nyní)

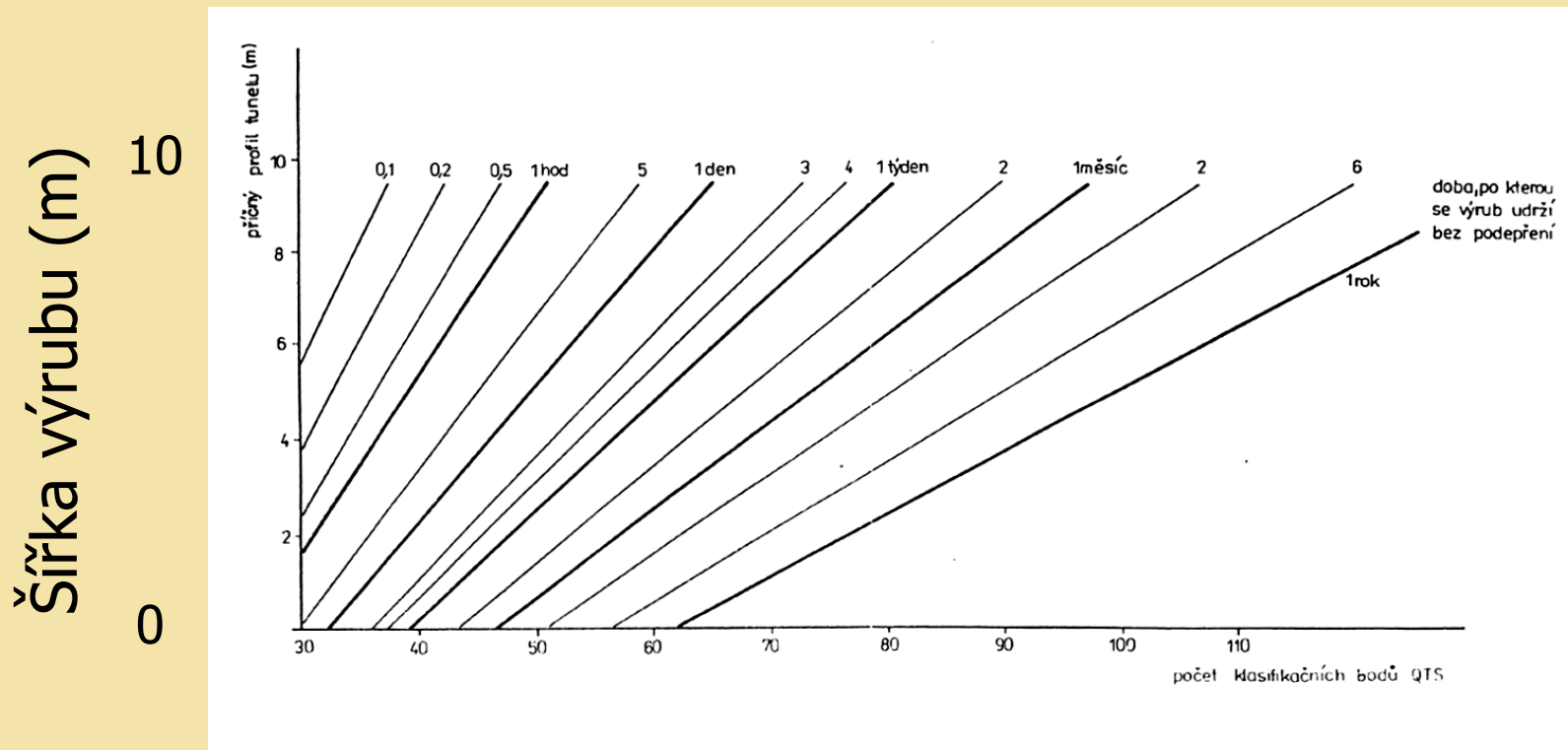


Třída NRTM	horniny	zeminy
1	velmi dobré podmínky ražení stabilita > 2 týdny	-
2	dobré podmínky ražení stabilita 2 dny až 2 týdny	-
3	zhoršené podmínky ražení stabilita 2 hod až 2 dny	zeminy konsistence tvrdé
4	nepříznivé podmínky ražení stabilita < 2 hod	zeminy s konzistencí pevnou, pevnost ve smyku je vyčerpána
5a	velmi nepříznivé podmínky ražení	zeminy s konzistencí tuhou
5b	velmi nepříznivé podmínky ražení nestabilní hornina	zeminy s konzistencí měkkou
nevhodné pro ražení	-	Nevhodné zeminy F kašovitá konzistence S a G pod HPV

QTS

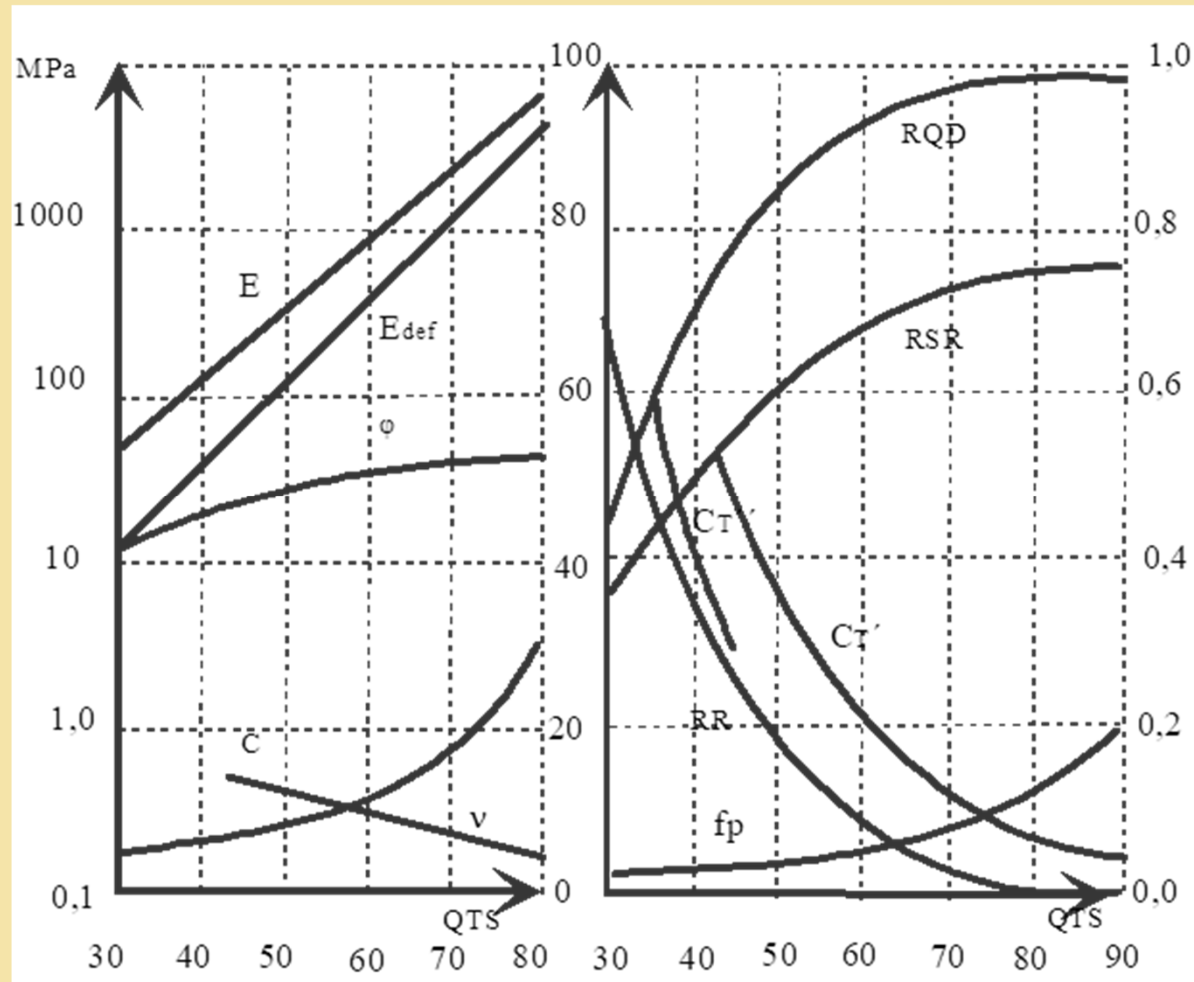
Klasifikace QTS – doba stability nevystrojeného

1h den měsíc rok

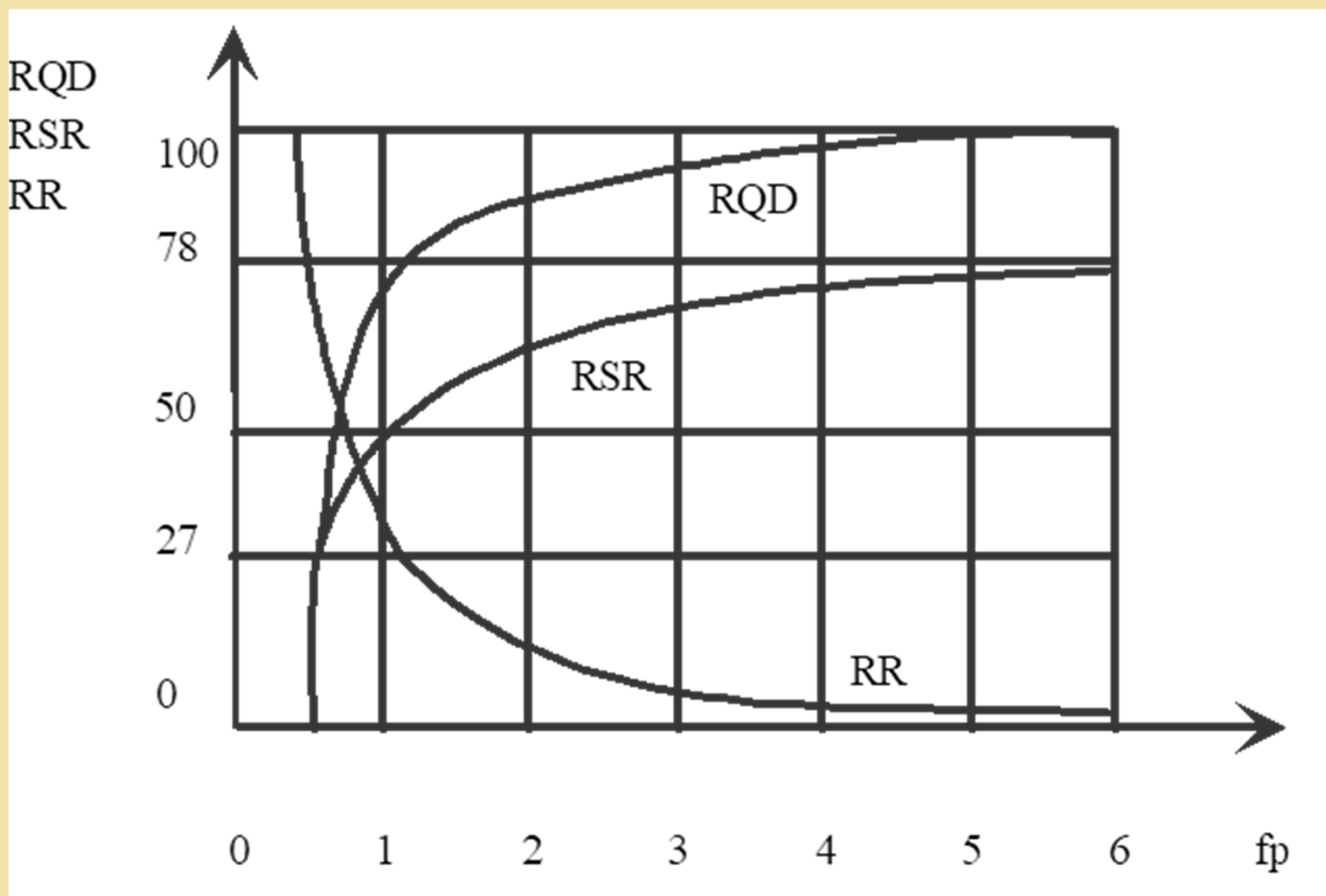


Počet bodů QTS

Vazby klasifikace QTS na ostatní klasifikace a geotechnické parametry



Vztahy různých klasifikací hornin



Odvození deformačního modulu masivu dle klasifikací hornin

$$E_{\text{def}} = 2 \text{ RMR} - 100 \quad (\text{RMR} > 50)$$

$$E_{\text{def}} = 10^{(\text{RMR}-10)/40} \quad (\text{RMR} < 50)$$

RMR

$$E_{\text{def}} = 25 \cdot \log Q$$

Q - systém

$$E_{\text{def}} = \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{\left(\frac{\text{GSI}-10}{40}\right)}$$

GSI

$$\log E_{\text{def}} = \frac{\text{TS} - 7,9}{20,1}$$

QTS

Pozn : TS je QTS bez redukcí