

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA**

**Katedra geotechniky a podzemního  
stavitelství**

**PODZEMNÍ STAVITELSTVÍ**  
**PŘEDNÁŠKY**

## 6 NOVÁ RAKOUSKÁ TUNELOVACÍ METODA

- Základní myšlenky Rziha (1872)
- „Otcí“ metody jsou Prof. Rabcewicz a Prof. Müller (1962)
- Metoda založená na teorii mechaniky hornin
  - Základní předpoklady: hlavním nosným prvkem je hornina  
Všechny kroky NRTM realizovány ve správný čas
- Pro úspěšnou aplikaci je třeba znát: adekvátní matematický model systému a mechanické vlastnosti horniny
- Moderní tunelovací metoda, jejíž zásady byly od 40. a 50. let XX. stol. rozpracovány teoreticky a prakticky tzv. „Salzburšské školy“ (Rabcewicz, Fenner, Pacher, Müller a další)
- Dlouholetý spor rakouských a švýcarských tunelářů, zda NATM vůbec existuje (Švýc.: Spritzbetonmethode)
- Univerzální a velmi flexibilní metoda použitelná prakticky pro veškeré typy PS a pro prakticky jakékoliv geologické podmínky
- Již v r. 1998 bylo NATM (obvykle s použitím trhavin) vyraženo na světě několik tisíc tunelů
- Jedná se o typický případ využití **observačního přístupu** použitého pro návrh a realizaci složité inženýrské konstrukce:
  - Na základě předběžného návrhu (výpočtem nebo podle zkušenosti) následuje:
    - Provedení zkušebního úseku široce instrumentovaného a monitorovaného (pro optimalizaci postupu a výstroje),
    - Stanovení provozních a varovných stavů pro prováděnou stavbu včetně nutných opatření v případě dosažení varovných stavů,
    - návrh observační metody
- Nesmírně důležitý je **vliv času** => jednoduchá a rychlá výstroj
- Jako výstroj se používá:
  - SB na ocelové síti (KARI-síť, svařovaná mřížovina). SB urychlený, suchý, mokrá i s rozptýlenou výztuží [=> tenkostěnné, tak akorát poddajné ostění]
  - Kotvení (včetně čela). Svorníky a hřebíky všech možných typů
  - Ocelové oblouky. Plnostěnné (I, H, HE, HEB, TH – K - Heintzmann) i příhradové (Bretex, Pantex, Asta ap.)
  - Ve velmi až extrémně špatné geologii je možné předstihové zlepšování horninového masívu v okolí i předpolí PS (piloty, mikropiloty, injektáže, TI, zmrazování, odvodňování ap.)

### 6.1 Základní teze NATM (vycházející z formulací prof. Rabcewicze a Prof. Mülera)

1. Hlavní nosnou konstrukcí je hornina.
2. Hornina nesmí ztratit svou původní pevnost.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

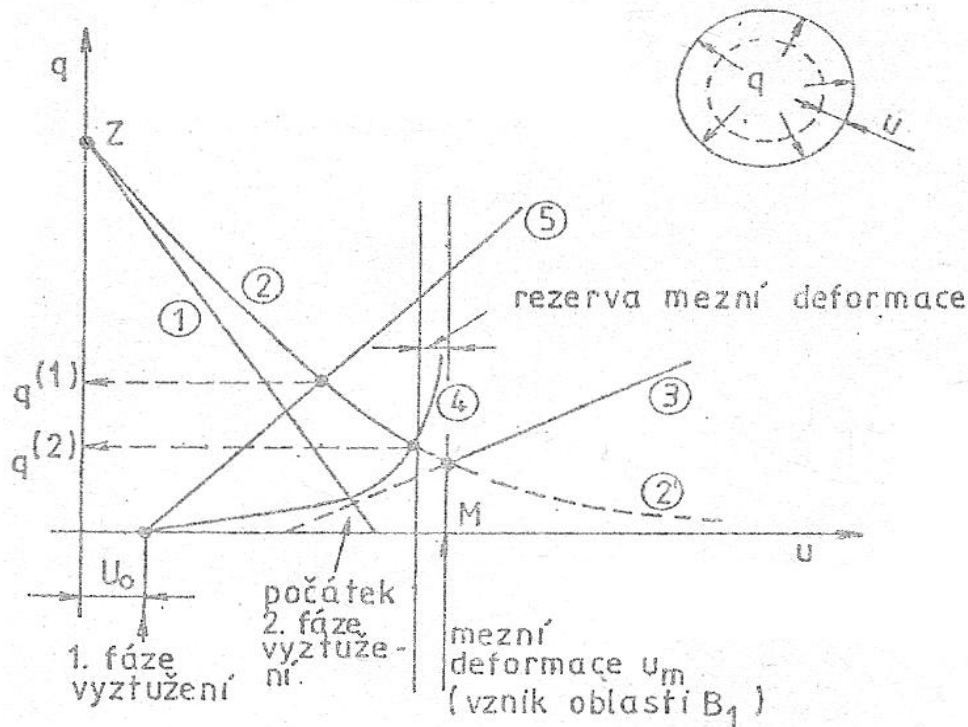


OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

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

3. Je nutné zamezit jednoosé a dvojosé napjatosti. Hornina hůře přenáší deformace vzniklé odlehčením.
4. V hornině musejí proběhnout deformace, které iniciují vytvoření nosného prstence, ne však vytvoření rozvolněných oblastí.
5. Výztuž má jen řídit deformace horniny, které vedou k udržení horniny v nosném stavu – metoda řízené deformace.
6. Výztuž musí být zabudována ne příliš brzy, jak je možné a ne příliš pozdě. Zároveň musí umožnit vnitřní dotvarování horniny.
7. Je nutné zohlednit časový faktor pro danou horninu a na jeho základě ji klasifikovat. Výsledkem jsou pracovní-deformační diagramy horniny (Fenner-Pacherovy křivky) a výztuže.
8. Nedílnou součástí je monitoring napětí a deformací, na jehož základě je kvalifikován stav stability.
9. Pro zajištění horniny se používá nejčastěji SB v kombinaci se svorníky, sítěmi a výztužními oblouky. SB je výhodný pro plošné, časové a cementační působení. Výhoda plošného působení vyplývá ze Saint-Venantova principu.
10. SB se provádí jako tenkostěnná skořepina, protože ohybový moment v ní je zanedbatelný a částečně eliminovaný plastickým, příp. plouživým chováním skořepiny a vhodným složením SB.
11. Výztuž se v pravou chvíli uzavře.
12. Vnější skořepina a kotvení se, za určitých podmínek, dá považovat jako součást trvalé konstrukce
13. Časový interval kdy proběhnou potřebné deformace a je nutné uzavření prstence určíme z měření před a v průběhu výstavby
14. Dáváme přednost oblým a oválným tvarům tunelu, které zabraňují koncentracím napětí.
15. Upřednostňujeme výlom na plný profil nebo v co nejméně mezistádií, aby nedocházelo k přeskupování napětí.
16. Sekundární ostění se provádí pro zvýšení bezpečnosti a vložení izolace. Opět má tenkostěnný charakter a má mít s primární výztuží silový styk, ne třecí nebo nepoddajný spoj.
17. Zesílení výztuže se neprovádí zvýšením mocnosti. případně prodloužit kotvení nebo vyztužit horninový prstenec.
18. Stabilita celého systému se kontroluje měření konvergencí a posunů v okolí tunelu.
19. Dimenzování vnější skořepiny se provádí na základě měření napětí ve výztuži a měření kontaktního napětí mezi horninou a výztuží.
20. Vnější skořepina může být dimenzována na dostatečnou únosnost nebo na únosnost, která deformace přibrzdí jen do doby vytvoření vnitřní skořepiny. Ta pak musí převzít zbytkovou část stabilizační úlohy.
21. Proti vnějšímu tlaku vody a hydrostatickému tlaku v hornině se skořepiny zajistí dostatečně hustými drenážemi.
22. Pro kontrolu a dimenzování provádíme měření napětí v betonu, měření napětí na kontaktu hornina-výztuž a měření posunů hornin a výztuže v průběhu stavby.

## Fenner-Pacherův graf



1. horniny pevné-pružné přetváření
  2. horniny poloskalní – pružně plastické přetváření (porušení po dosažení mezni deformace horniny)
  3. - 5. typy pracovního diagramu ostění
- $q$ - reakce (zatížení)ostění  
 $u$ - posun líce výlomu

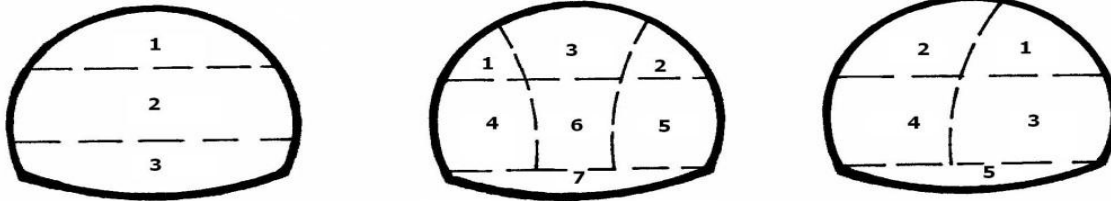
## 6.2 Způsob ražení a vyztužování při NRTM

Je třeba stanovit a dodržet následující skutečnosti:

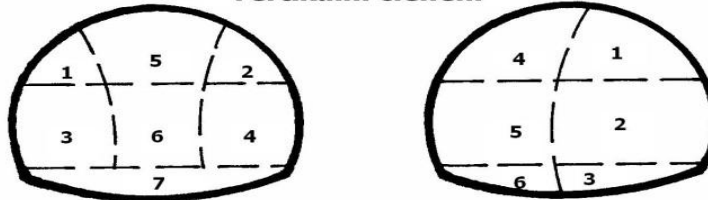
- výběr optimálního tvaru v závislosti na geologii a účelu stavby
- klasifikovat horninový masiv – původně klasifikační tabulka Rabcewicze a Pachera
- sladit předpoklady NRTM pro maximální únosnost masivu
- dodržet optimální čas uzavření nosného prstence
- zařadit monitoring do technologického postupu prací

Při NATM je obvykle zřizován nekruhový [= podkova či „tlamový“] průřez, často se spodní klenbou. Pro NATM je typické (vedle variability vystrojování) ČLENĚNÍ VÝRUBU v příčném i podélném směru => vstupujeme do masívu menšími šetrnými záběry, rychle zvládnutelnými, se kterými se hornina vyrovná (tzn. volíme vhodné volné rozpětí  $l^*$ )

### Horizontální členění



### Vertikální členění



Číslo...pořadí dílčího výlomu

Postupy ražení při NRTM

Ražení plným průřezem : - Zabírka bez omezení  
- Zkrácená zabírka

Ražení dělenou čelbou

- Horizontální
- Vertikální
- Kombinované

Vzdálenosti dílčích výrubů závisí na: geologii  
geometrii  
použité technice

### 6.3 Výztuž používaná při NRTM:

- Jednoplášťová (nosná funkce)
- Dvoupplášťová (nosná, estetická a izolační funkce)

Primární ostění – vnější plášť (dočasná funkce):

*Stříkaný beton:* - stabilizuje výlom  
- zpevňuje přípovrchovou vrstvu - cementační schopnost  
- vytváří s horninou nosnou skořepinu  
- svými vlastnostmi řídí deformace

*Svorníky:* - bezpečnostní funkce (vytvoření ochranného deštníku)  
- zesilující a stabilizační prvek

*Ocelové oblouky z profilových tyčí nebo příhradových konstrukcí:*  
- liniově stabilizující prvek

*Mřížovina:* - tvoří nosnou konstrukci SB

Sekundární ostění (vnitřní plášť) – zřizován v konečné fázi budování a to jako spolupůsobící vrstva, nebo vrstva přebírající plné zatížení.

- Monolitický železobeton

- Prefabrikáty
- Stříkaný beton

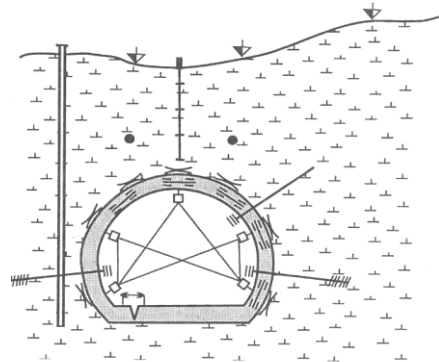
Řešení problémů při zhoršení horninových poměrů

- zkrácení zabírky
- zabránění extruze pomocí horninové opěry
- stabilizace čelby SB, svorníky nebo jejich kombinací
- aplikace hnané výztuže (hnané stropnice, injektované kotvy, pološtit, ...)
- zesílení a členění vrstvy SB
- zvýšení počtu nebo prodloužení svorníků
- rozšíření základu výztuže kaloty
- zpevnění počvy injektáží nebo svorníky
- budováním dočasné protiklenby SB
- ražení ve stlačeném vzduchu
- úprava okolní horniny (injektáž, zmrazování, odvodňování)

## 6.4 Monitoring při NRTM

Měření konvergence a posunů v měřických profilech

- měření probíhá ve směru hlavních os
- předpokládáme ustálení deformací - varovné stavy
- měřící technika - konvergometry, dálkoměry, totální stanice, záměrné terčíky, ...
- Měření zatížení výztuže pomocí dynamometrů
- Měření napětí v betonu
- Měření původní napjatosti masivu
- Měření posunů uvnitř horninového masivu
- Měření posuvů povrchu terénu
- Měření zatížení svorníků a kotev
- Měření tlaku podzemní vody



- měřidla pórových tlaků
- ↓ přesná nivelace
- +++ tyčové extenzometry
- || inklinometrie
- × tlakové podušky
- ≡≡≡ deformetr na měření napětí v betonu
- ↔ deformetr na měření rozevírání trhlin
- ◇ konvergence
- ⊘ síly v kotvách