



TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE

13. Března 2024

Principy NRTM - překonány nebo zapomenuty?



Petr Hybský
Metrostav TBR



Učebnice Tunelového stavitelství



v Rakousku je rodák z Lipové u Šluknova přezdíván „praotcem“ tunelářství.

Ottův naučný slovník jej charakterizuje jako někoho, kdo „zajímavě přednášel a shovívavě zkoušel“

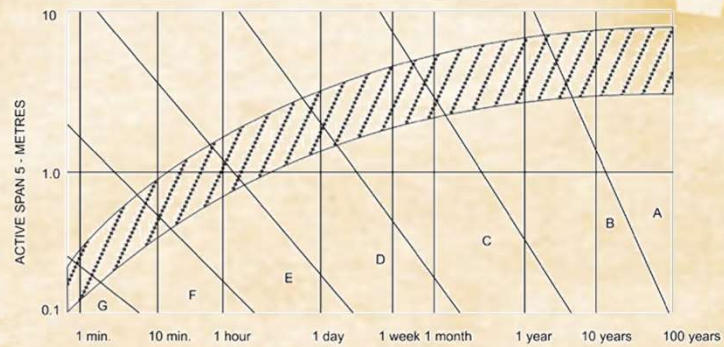
Franz Karl August von Rziha

*29. 3. 1831

†22. 6. 1897

- napsal dvoudílnou „Učebnici veškerého umění stavby tunelů“
- Za své zásluhy v tunelovém stavitelství obdržel řád Železné koruny III. třídy
- byl povýšen do rytířského stavu a obdržel Rytířský kříž řádu Franze Josefa I

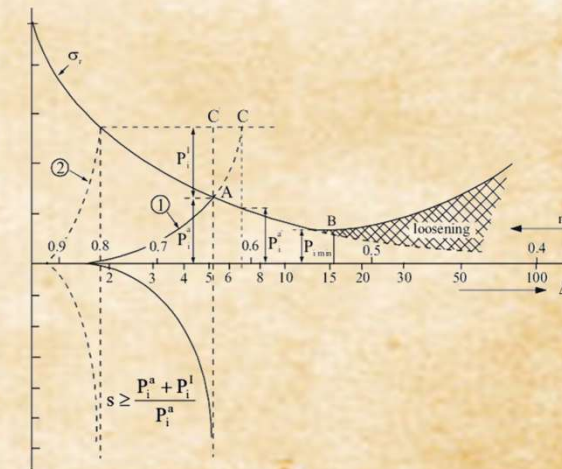
Ernst Wiesmann



Laufferova klasifikace

1958 Anton Brunner –
použití stříkaného betonu

Karl von Terzaghi
zakladatel mechaniky zemin



Fennerova – Pacherova křivka



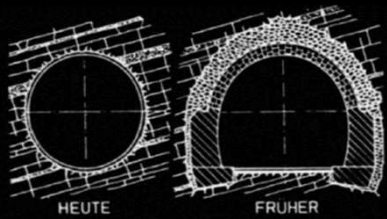
XIII. Geomechanické kolokvium
Salzburg, RAKOUSKO

1963



Ladislaus von Rabcewicz

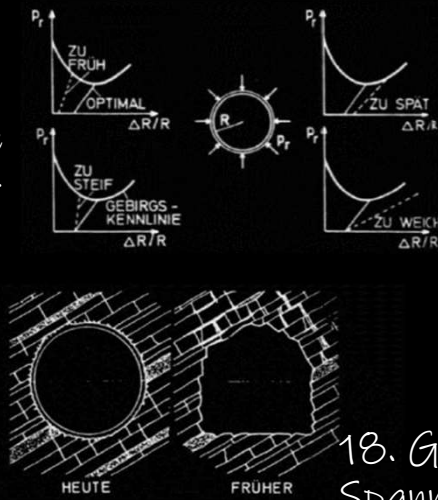
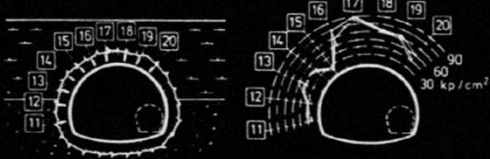
Zavedl termín Nová
rakouská tunelovací
metoda.



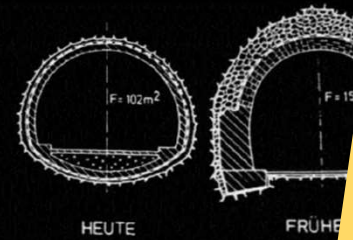
1. Grundsatz: Der wesentliche tragende Bauteil eines Tunnels ist das Gebirge.

4. Grundsatz: Ein- und zweiachsige Spannungszustände sollen tunlichst verhindert werden, sie werden vom Gebirge schlecht vertragen.

BETONSPANNUNGEN



9. Grundsatz: Die A... kraftschlüssig wirk... erzielt wird.

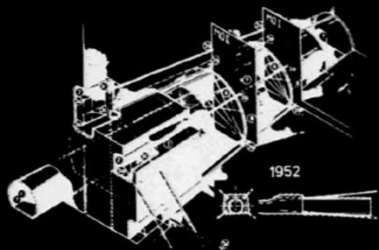


13. Grundsatz: Statisch wird der Tunnel als (dickwandiges) Rohr, bestehend aus Gebirgstragring und Verbau bzw. Ausbau betrachtet.

18. Grundsatz: Zur Verh... Spannungskonzentratione... sollen Ecken und Kerben d... Formen angestrebt we...



22. Grundsatz: Der Strömungsdruck im Gebirge so... der statische Druck auf den Verbau werden durch... entspannt.



Leopold Müller

Na kolokviu v Karlsruhe představil 22 zásad Nové rakouské tunelovací metody.

1978

Nová rakouská tunelovací metoda v tuzemském prostředí

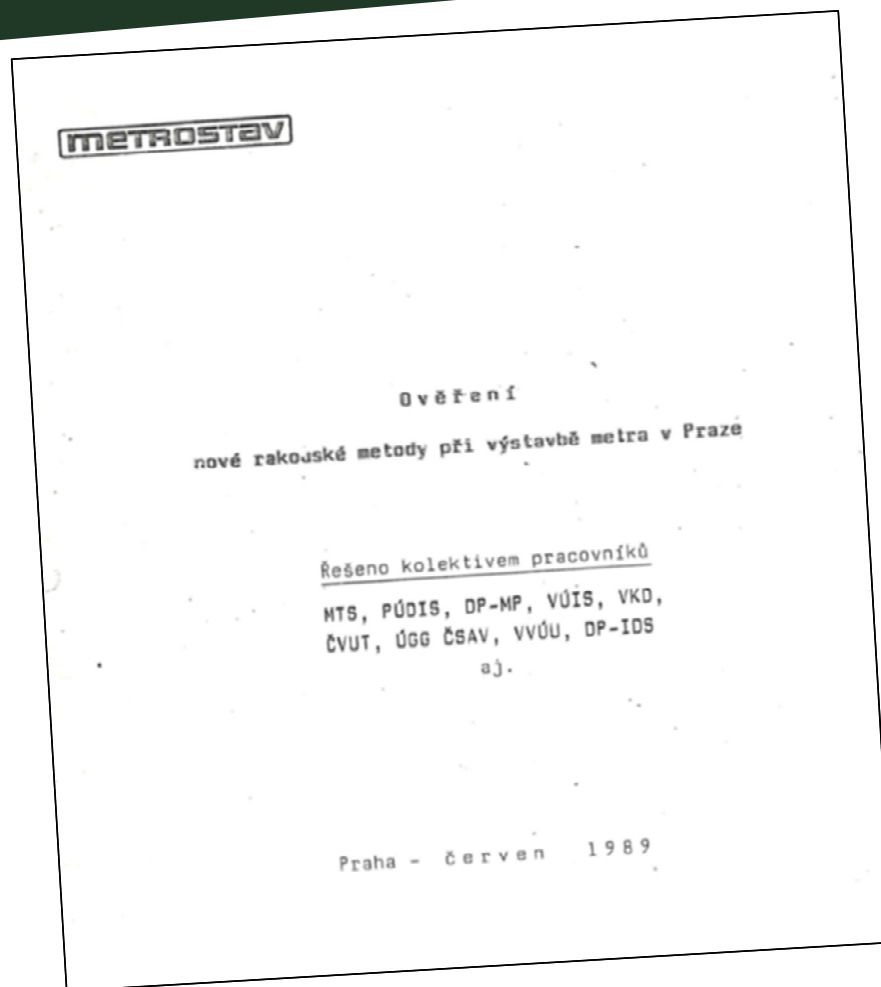


první ověření NRTM při
ražbě pražského metra

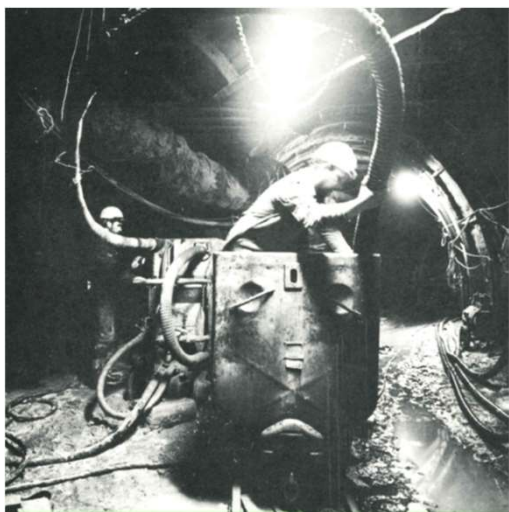
1989

ZÁVĚR

a) *Dosažené výsledky při
ražení HgB na stanici
Sokolovská prokázaly, že NRTM
jako pokroková tunelářská
technologie je pro ražení
podzemních děl v podmínkách
„pražské geologie“ vhodná a
lze doporučit další rozšíření
NRTM.*



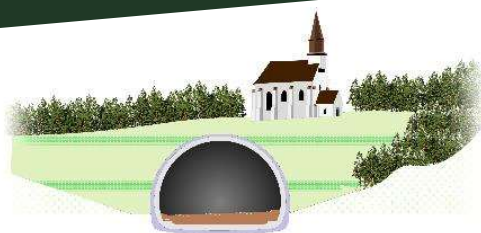
Nová rakouská tunelovací metoda v tuzemském prostředí



METRO IV.B

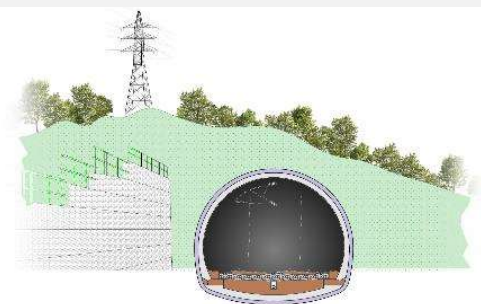
Traťový úsek pražského metra
Kolbenova - Hloubětín

1991 - 1998



Tunel Hřebeč

1994 - 1997



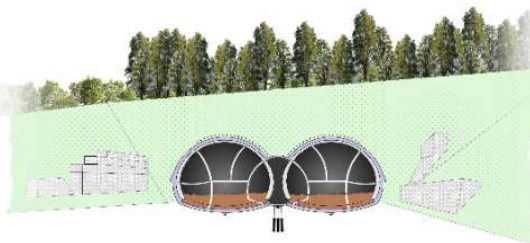
Tunel Vepřek

2000 - 2001



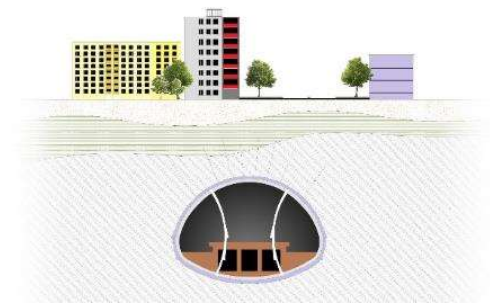
Tunel Mrázovka

1999 - 2004



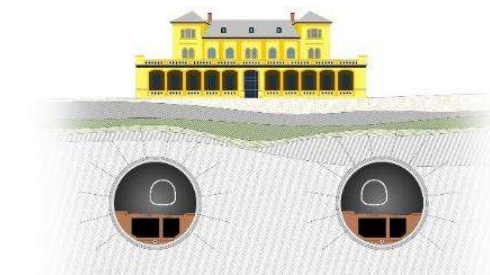
Tunel Valík

2003 - 2006



Stanice metra Petřiny

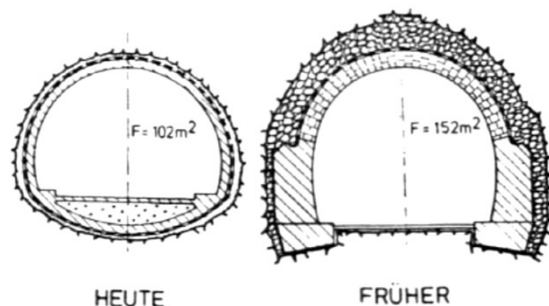
2010 - 2014



Tunelový komplex Blanka

2007 - 2015

Aplikace zásad NRTM v tunelářské praxi



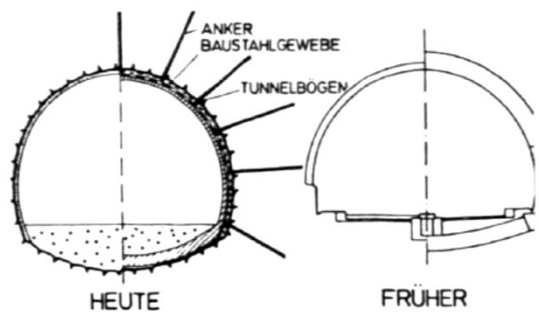
10. Grundsatz: Der Verbau soll dünnchalig und daher biegeschlaff sein, weil er so die Aufnahme von Biegemomenten und das Auftreten von Biegebrüchen minimiert.

10. Výztuž by měla být provedena z tenkého ostění, které je ohebné a dokáže přenášet ohybové momenty a tím i minimalizovat porušení ohybem

19. V případě dvouplášťového ostění je i vnitřní (sekundární) ostění navrženo jako štíhlé.



Aplikace zásad NRTM v tunelářské praxi

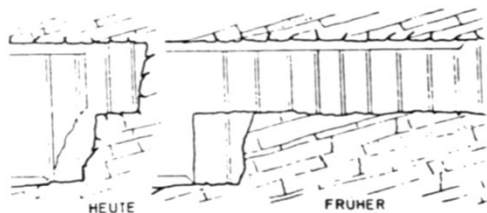


11. Grundsatz: Erforderliche Verstärkungen des Verbaues werden nicht in Form von Verdickungen sondern von Bewehrungsnetzen, Tunnelbögen und Gebirgsankern ausgeführt.

11. Potřebné zesilování výztuže není prováděno zvětšováním tloušťky ostění, nýbrž přidáváním výztužných sítí, výztužných oblouků a pomocí kotvení.



Aplikace zásad NRTM v tunelářské praxi

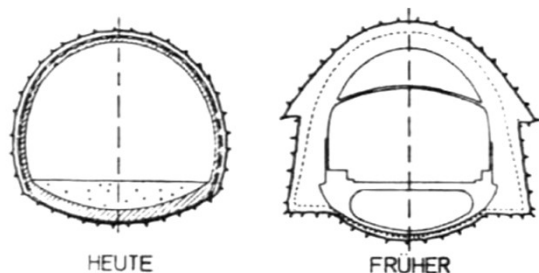


15. Grundsatz: Der Ringschluß ist rechtzeitig auszuführen, eine voreilende Kalotte verlängert die Ringschlußzeit und setzt die vorkragende Tunnelhalbschale unerwünscht großen Biegewirkungen in Tunnellängsrichtung und das Gebirge unter den Kalottenfüßen hohen Belastungen aus.

15. Uzavření ostění musí být provedeno v pravý okamžik. Předražení kaloty tunelu prodlužuje čas uzavření profilu spodní klenbou, vystavuje ostění kaloty nežádoucím ohybovým namáháním v podélném směru a horninu v oblasti paty kaloty velkému namáhání.

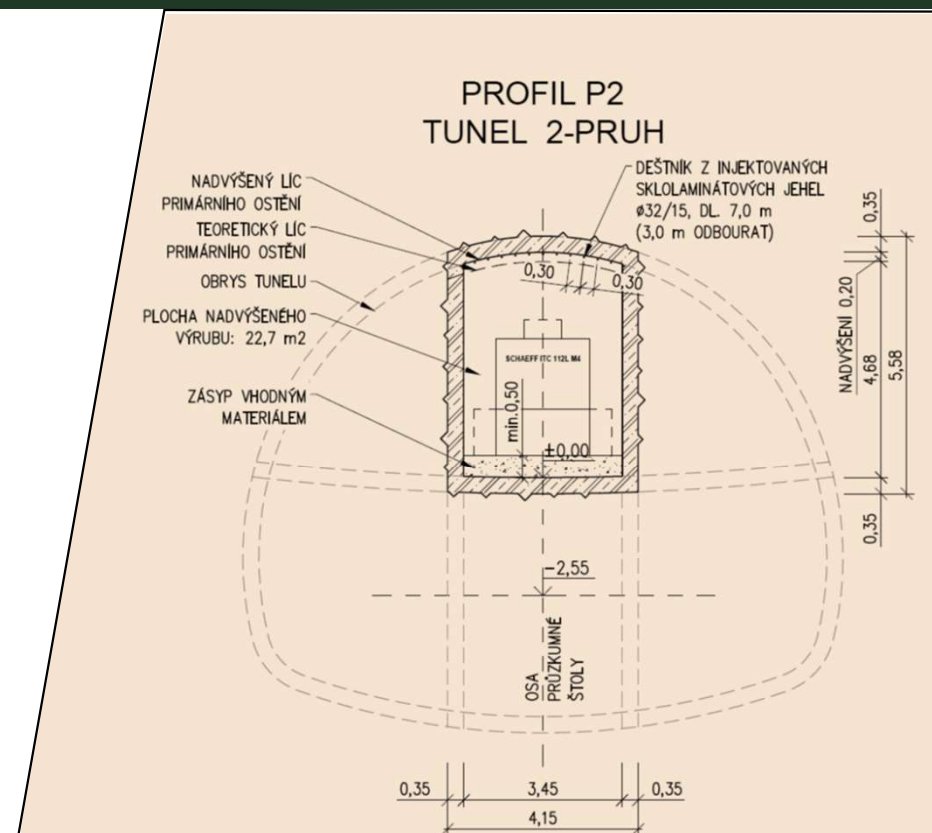


Aplikace zásad NRTM v tunelářské praxi



18. Grundsatz: Zur Verhinderung von Spannungskonzentrationen, welche das Gebirge zerstören, sollen Ecken und Kerben des Profils vermieden und gerundete Formen angestrebt werden.

18. Aby se zabránilo koncentraci napětí, které poškozují horninu, je nutno se vyvarovat při návrhu profilu tunelu rohům a vrubům a měly by být používány zaoblené tvary.



NRTM – historický kontext, geologické podmínky



Československo / ČR

1966 - 1989

metro v Praze

1994 - dosud
silniční,
železniční a
městské tunely

Rakousko

60. – 90. léta

dálniční a železniční
tunely

00. léta - dosud

bázové tunely VRT

NRTM – historický kontext



extravilán
nadloží v řádech stovek metrů
prostředí pevných skalních hornin
profil 100 m²

intravilán
nadloží v řádech desítek metrů
prostředí zemin, poloskalních hornin
profil 350 m²



K PROBLEMATICE NATM

PROF. ING. JIŘÍ MENCL
VŮIS BRATISLAVA

Je více programových prohlášení o NATM, např. vyhlášení 21 zásad podle L. Müllera (viz lit. 2). Není třeba brát je příliš doslova. Např. Müllerova zásada č. 16 zní takto: „Pokud možno razit plným čelem. Členěním výrubu se horninové prostředí poškozuje.“ Nuže, horniny skandinávského štítu jsou tak celistvé, že Švédí razí značně velké výrubu bez členění a ty největší člení jen proto, že razicí stroje nedosáhnou dost vysoko. Ale to není NATM.

Také dálniční tunely v Rakousku razili v kvalitním masívu plným profilem a bez NATM (taurský tunel v krystalických břidlicích), ale pro horší prostředí tam vynalezli NATM a čelo členili nejméně na kalotu a opěří, v poruchových pásmech i s několika sestupy.

Předmět NATM se znovu posunul, když se metoda rozšířila od oblasti městského tunelování, kde se uplatňuje nejen v skalních horninách (metro ve Washingtonu v krystalických břidlicích), v málo pevných a poloskalních horninách (pískovce, jílovité břidlice a slíny porúrského karbonu na stavbách oblastního metra v Essenu a jeho okolí, vápence, keuperské pískovce a křemence metra v Norimberku, pískovce metra v Sandai atd.), ale i v měkkých zeminách kvartéru nebo terciárního geologického podkladu.

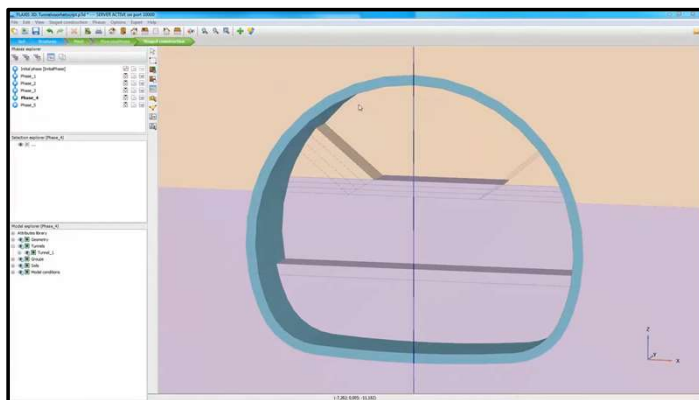
Již na počátku 90. let je zmiňována specifická problematika NRTM v poloskalních horninách.

NRTM – zvyklosti a zkušenosti z předchozích projektů



Zvyklosti

- v oblasti projektování
- v oblasti realizace
- v oblasti vyhodnocování výsledků geomonitoringu



Zásada 12. Prvky výztuže a okamžik jejich instalace jsou stanoveny na základě měření deformací horninového masivu.

NRTM – legislativní rámec

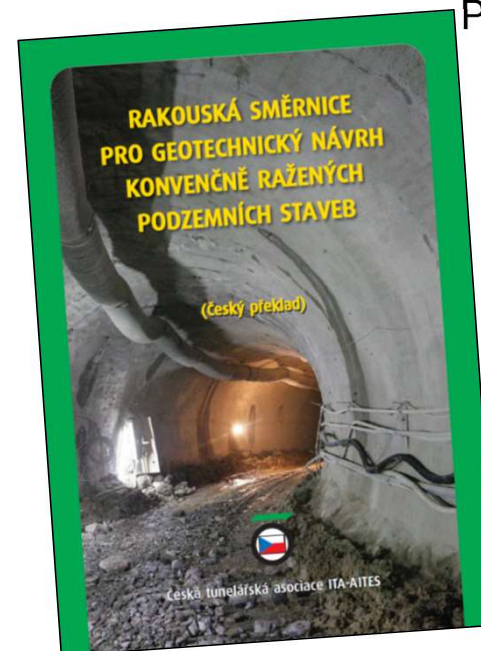


ÖNORM B 2203



SCHLAGSLÄNGE BIS	ZWEITE ORDNUNGSZAHL STÜTZMITTELZAHL								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
KALOTTE+ STROSSE									
STROSSE									
ist projektbezogen festzulegen									

RAKOUSKÁ SMĚRNICE PRO GEOTECHNICKÝ NÁVRH KONVENČNĚ RAŽENÝCH PODZEMNÍCH STAVEB



Hlavním úkolem geotechnického návrhu je ekonomická optimalizace stavby, přihlížející k horninovým poměrům, ale i bezpečnosti, dlouhodobé stabilitě a environmentálním požadavkům.

... zlepšování komunikace mezi investory, projektanty, geology a dodavateli v oblasti geotechnického inženýrství a zlepšování přípravy a realizace geotechnických staveb ...

NRTM – legislativní rámec



Tunelové stavby

Nová rakouská **tunelovací** metoda

činnost prováděná **tunelovacím** způsobem
hornickým



ČESKÝ BÁŇSKÝ ÚŘAD

Vyhláška č. 55/1996 Sb.

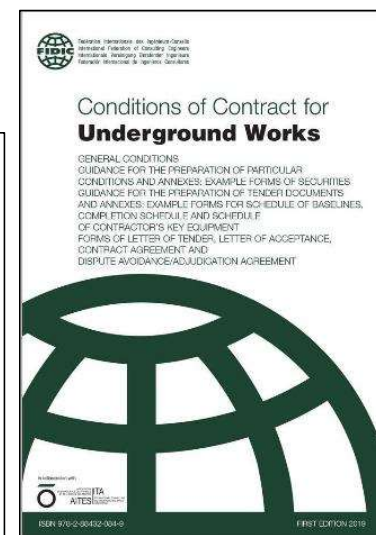
Vyhláška Českého báňského úřadu o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí

závodní (<i>určí, stanoví, rozhodne ...</i>)	43 x
technický dozor (<i>ve smyslu směnového technika</i>)	6 x
báňský projektant	5 x
geotechnik (<i>není specifikováno zda je to osoba nezávislá</i>)	1 x
objednatel, investor, stavebník ...	0 x

NRTM – legislativní rámec



závodní – obvykle též vedoucí projektu



Závěr



Leopold MÜLLER

*9.1.1908 Salzburg
†1. 8. 1988 Salzburg



Franz PACHER

*28.4.1919 Horní Suchá
†3. 3. 2018 Salzburg



Ladislaus von RABCEWICZ

*12.7.1893 Maribor
†19. 12. 1975

"Pokud je NATM aplikací nejnovějších poznatků v mechanice hornin a nejnovějších zkušeností v samotném tunelování, pak lze každý další vývoj v oblasti tunelování vlastně podřadit pod NRTM. Je to skutečně myšleno takto? Možná by tedy mělo být příležitostně řečeno i to, co není NRTM. Pokud však nyní vše směřuje k NRTM, je to také velká poklona našim rakouským kolegům, protože ti posunuli tunelování o velký krok vpřed."

Závěr



ZÁKLADNÍ MYŠLENKY A ZÁSADY NOVÉ RAKOUSKÉ TUNELOVACÍ METODY

L. MÜLLER a E. FECKER

Rozbor vnitřních souvislostí a nejenom vnějšího projevu NATM (kotev, stříkaného betonu atd.) je naléhavě nutný. Nikoli naposled se to projevilo při XXVI. geomechanickém kolokviu v Salzburgu, při němž se stalo zřejmým to, co bylo možno již delší dobu pozorovat: že skoro každý, kdo tuto metodu aplikuje, má o ní jinou představu, ba dokonce, že si mnozí žádnou představu ani neutvořili.

Nový „způsob výstavby“ je koncepce stavby tunelu; metoda, vedoucí k výstavbě tunelu na základě zcela určitých, vědecky zjištěných a prakticky vyzkoušených základních myšlenek a zásad tak, aby bylo využitím únosnosti horniny dosaženo optima bezpečnosti a hospodárnosti.

Přímo otřesné je zjištění, jak málo z bohatých znalostí a výsledků teorie mechaniky hornin je známo, využíváno a zhodnocováno ze strany praktiků i projektantů tunelových staveb! Musíme se přímo ptát: proč vůbec se věnujeme výzkumu výstavby tunelů, když v praxi vznikají prohřešky proti potvrzeným zásadám tohoto výzkumu a když se nakonec osazují kilometry kotev, aby se např. dosáhlo nakonec přece jen stabilizace horniny, s níž bylo brutálně zacházeno. Minéři to věděli lépe: hora, kterou jednou probudíme, už nikdy neusne.

... dosaženo optima bezpečnosti a hospodárnosti ...

Závěr



2. Definice a principy konvenčního tunelování

2.3.1.1 Základní principy NRTM podle Rabcewice

Protože se často o principech NRTM diskutuje, a protože jsou tyto zásady potřebné k pochopení dalšího textu, uvádíme je v překladu v plném znění.

1. Základní nosnou konstrukcí tunelu je hornina.
2. Při provádění výrubu by měla být pokud možno zachována původní pevnost horniny.
3. Je třeba zabránit rozvolnění horniny, neboť tím dochází ke snížení její pevnosti.
4. Pokud je to možné, je nutné zamezit jednoosému a dvojosému stavu napjatosti horniny, neboť tyto stavy je hornina jen obtížně schopna přenést.
5. Deformace horniny by měla být řízena tak, aby na jedné straně umožnila přípustným deformace do výrubu mobilizaci nosného horninového prstence, na druhé straně zabránila rozvolnění horniny v okolí výrubu.
6. Za tímto účelem musí být výztuž zabudována ani ne příliš brzy, ani ne příliš pozdě, aby její odpor nebyl ani příliš tuhý, ani příliš měkký a umožnil ji odpovídajícím způsobem nadimenzovat.
7. K tomu je nutné pro každou systémově zabudovanou výztuž a pro každý typ horniny zohlednit časový faktor a horninu z tohoto hlediska správně ohodnotit.
8. K tomu slouží v předstihu prováděné laboratorní zkoušky a in-situ v tunelu prováděná měření deformací výrubu, doby stability, rychlosti deformace a klasifikace horniny, které poskytují představu o velikosti těchto vlivů.
9. Zajištění stability výrubu musí být plošné a působit silově po celém jeho obvodu, čehož je nejlépe dosaženo pomocí stříkaného betonu.
10. Výztuž by měla být provedena z tenkého oštění, které je ohebné a dokáže přenášet ohybové momenty a tím i minimalizovat porušení ohybem.
11. Potřebné zesílení výztuže není prováděno zvětšováním tloušťky oštění, nýbrž přidáváním výztužných sítí, výztužných oblouků a pomocí kotvení.
12. Prvky výztuže a okamžik jejich instalace jsou stanoveny na základě měření deformací horninového masivu.
13. Staticky působí tunel jako tlustostěnná trouba sestávající z horninového nosného prstence, jeho vyztužení a tunelového oštění.
14. Protože trouba staticky působí jen v případě, pokud není přerušena mezerou, hraje rychlé uzavření oštění spodní klenbou zásadní roli (pokud hornina sama nepůsobí jako spodní klenba).
15. Uzavření oštění musí být provedeno v pravý okamžik. Předražení kaloty tunelu prodlužuje čas uzavření profilu spodní klenbou, vystavuje oštění kaloty nežádoucím ohybovým namáháním v podélném směru a horninu v oblasti paty kaloty velkému namáhání.
16. Vzhledem k přeskupování napětí v průběhu ražby se jako nejvýhodnější ukazuje ražba tunelu plným profilem. Dílčí výrubu komplikují a způsobují násobné přeskupování napětí v okolí výrubu, což vede k porušení horninového masivu.
17. Pro bezpečnost díla je rozhodující postup výstavby. Ovlivňuje časový faktor horniny. Variováním délky záběru, okamžiku zabudování výztuže (oštění), okamžiku uzavření profilu spodní klenbou, délkou kaloty a tuhosti výztuže je řízena stabilita systému „oštění-hornina“.

22

2. Definice a principy konvenčního tunelování

18. Aby se zabránilo koncentraci napětí, které poškozují horninu, je nutné při návrhu profilu tunelu robům a vrubům a měly by být používány zaoblené rohy.
19. V případě dvouplošného oštění je i vnitřní (sekundární) oštění navrženo tak, aby bylo schopno silově spolupůsobení s vnějším (primárním) oštěním, ale nezávisle na něm.
20. V případě tunelové trouby s dvouplošným oštěním by měl být celkový „oštění-hornina“ stabilizován již vnějším (primárním) oštěním. Vnitřní (sekundární) oštění slouží ke zvýšení bezpečnosti. V případě agresivní podzemní vody (sekundární) oštění schopno plně zajistit stabilitu tunelu.
21. Pro sledování a dimenzování celkové konstrukce slouží měření napětí na kontaktu „oštění-hornina“, ale také kontinuální měření deformací horniny během stavby.
22. Tlak proudící podzemní vody a hydrostatický tlak na oštění se snižuje drenáží horninového masivu (např. drenážními trubkami).

2.3.1.2 NRTM a nosný horninový prstec

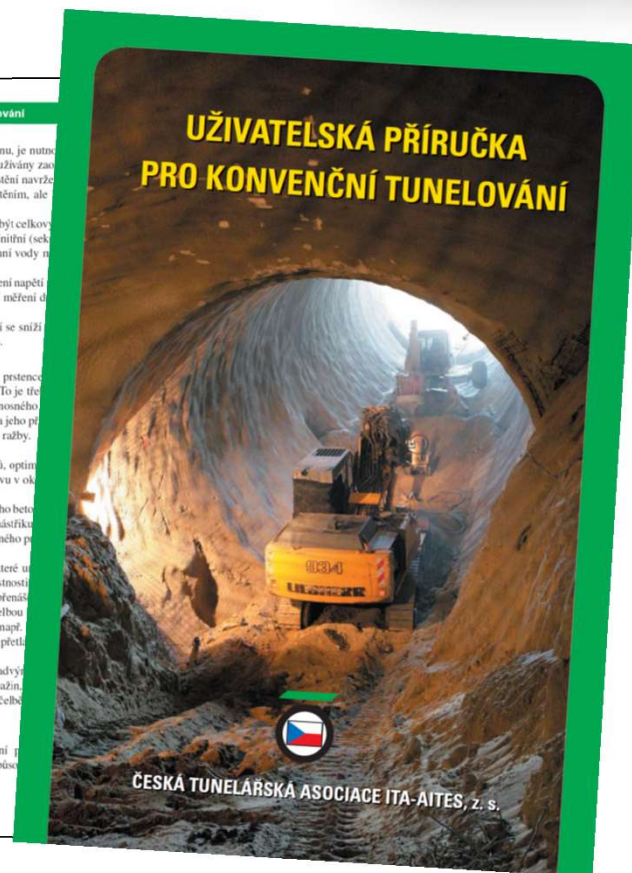
Základním principem použití NRTM je ochrana horninového prstence a jeho aktivního zapojení do nosného systému „oštění-hornina“. To je třeba při provádění statických výpočtů a posuzování celkové únosnosti nosného systému. Základní zásady je šetrné zacházení s horninovým prstencem v okolí výrubu a jeho přizpůsobení výztužným prvkům předpokladem bezpečné a ekonomické ražby.

Ochrana horninového prstence spočívá:

- v členění plochy výrubu na co nejmenší počet dílků výrubů, optimálním profilem tak, aby nedocházelo k degradaci horninového masivu v okolí výrubu;
- v ochraně jeho geotechnických vlastností;
- v použití přiměřeně poddajného oštění ze stříkaného betonu, které přenášet primární deformace vznikající krátce po jeho nástřiku;
- v přeskupování napětí v okolí výrubu zapojení horninového nosného prstence do systému „oštění-hornina“;
- ve využití horninového prstence systémovým kotvením, které umožňuje „nizaci“ prokovené oblasti zlepšovat především smykové vlastnosti horniny, její nežádoucí nadměrné rozvolňování se ztrátou schopnosti přenášet napětí;
- v provádění předstihových opatření, která probíhají před čelbou, zlepšování geotechnických vlastností horninového masivu (např. výplňové nebo tryskové injektáže, zmrazování, popř. ražba v předstihu předstihových opatření);
- v provádění předstihových opatření, která omezuji tvorbu nadvýškových deformací výrubu primárním oštěním (překování, předlhaní paží, nárůst, kotvení čelby výrubu, použití průzkumných předvrtnů v čelbě).

2.3.1.3 Výhody použití NRTM v praxi

- Ražba tunelu pomocí NRTM umožňuje:
 - optimalizaci tvaru výrubu s ohledem na dispoziční řešení (příjezdový průřez, technologické vybavení atd.) a statické působení;



Závěr



DĚKUJI ZA POZORNOST

