

Ověření

nové rakouské metody při výstavbě metra v Praze

Řešeno kolektivem pracovníků

MTS, PÚDIS, DP-MP, VÚIS, VKD,
ČVUT, ÚGG ČSAV, VVÚU, DP-IDS
aj.

Praha - červen 1989

Souhrn poznatků a zkušeností

O b s a h :

1. ÚVOD
2. METODIKA PRACÍ
 - A) Geologický průzkum
 - B) Projekční práce
 - C) Ověřovací práce
3. PRACOVNÍ CYKLUS
4. STŘÍKANÝ BETON
5. HYGIENICKÉ PODMÍNKY PŘI POUŽITÍ NRTM
6. VYPRACOVÁNÍ ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY
7. DÍLČÍ ZPRÁVY SPOLUPRACUJÍCÍCH ORGANIZACÍ
8. ZÁVĚRY
9. FOTODOKUMENTACE

Vypracoval:

Ing. Kánský
Ing. Jasanský

Schválil:

Ing. Grán

Předkládá:

Ing. Kroft

1. Úvod

I když byly základní technologické principy NOVÉ RA-KOUSKÉ TUNELOVACÍ METODY (NRTM) známé a některé základní technologické operace osvojené, nebyla dosud při výstavbě metra v Praze tato technologie použita.

V konci r.1988 bylo vedením s.p. Metrostav rozhodnuto, tuto technologii ve vhodném úseku ověřit a získat praktické zkušenosti s možností dalšího využití NRTM při stavbě podzemních objektů v Praze.

Ke spoluúčasti na ověřovacím provozu byla přizvána řada organizací a odborníků, zabývajících se problematikou ražení podzemních děl, geologů a geotechniků, báňských odborníků i pracovníků projekčních a výzkumných ústavů.

V této týmové práci byl zpracován generálním projektantem (Metroprojekt) projekt prací a spolu s dalšími odborníky a organizacemi zajištěno potřebné strojní vybavení (formou zapůjčení či pronájmu) a dále zpracován detailní technologický postup, včetně dohody o způsobu měření deformací a způsobu operativního technického vedení při vlastním provádění prací.

Zvláště je nutno zdůraznit význam bezpečnosti provádění prací, neboť některé operace jsou vedeny ve volném nezajištěném výrubu bez tradiční prozatímní podpěrné výztuže.

Ze spolupracujících odborníků a organizací je nutno jmenovat:

DP-Metroprojekt, Ing. Zlámal, Ing. Štěpánek

- zpracoval prováděcí projekt a prováděl autorský dozor

DP-IDS, stav. Kraydl

- prováděl technický dozor

s.p. Metrostav - PJ 5, Ing. Kánský, s. Voves, Lipčák, Škubánek, Šilha

- vlastní provádění a vedení prací

s.p. Metrostav - TO, Ing. Grán, Ing. Jasanský

- metodická spolupráce

s.p. Metrostav - PŘ, Ing. Kroft, Ing. Dvorský, s. Stejskal

PÚDIS Praha, Doc. Kameníček, Dr. Tesař, Ing. Jelínek

- inž.geologie, geotechnika, měření deformací masivu

ČVUT Praha, prof. Barták, Doc. Bucek, Ing. Zapletal, Ing. Chamra

- výpočty deformací

VÚIS Brno, Ing. Šťastný, Ing. Žídek, Ing. Bartoš

- měření deformací masivu

ÚGG ČSAV, Ing. Doležel

- teoretické podklady

VVUÚ Radvanice, Ing. Šňupárek

- kotvení horninového masivu

Geofyzika Brno

- měření napjatosti v okolí výrubu

Geofyzika Brno - záv. Praha, Ing. Macháček

- měření dynamických účinků rozpojování

VZUP Kamenná, s. Černý

- strojní zařízení pro stříkaný beton

VDUP Tišnov, Ing. Matějka

- technologie stříkaného betonu

VKD Kladno, Ing. Lepič

- spoluúčast při strojním zajištění, stříkaný beton, měření.

V průběhu přípravy i při vlastním provádění prací byly využity konzultace s OBÚ Kladno, VÚIS Bratislava - prof. Mencl a dalších.

Řada spolupracujících odborníků a organizací se aktivně podílela v etapě projektu, přípravy i vlastního provádění prací a aktivní spoluúčast je dokumentována zpracovanými samostatnými "Zprávami" uvedenými v přílohách této zprávy.

Velká spoluúčast odborníků a organizací a jejich aktivní podíl (často bez finančních úhrad) svědčí o mimořádném zájmu a zavádění nových progresivních technologií.

Dosažený výsledek plně opravňuje použití NRTM při ražení podzemních děl v Praze.

2. METODIKA PRACÍ

Jako vhodný objekt pro ověření technologie NRTM byla vytypována stavba hygienické buňky (HgB) objekt č. II B-30-24/01 na stanici Sokolovská, hrubý výrub - podkova 5,20 m v počvě, výšky 4,6 m o celkové délce tohoto základního profilu 22 m.

Výška horninového masivu nad stropem štoly je 32 m a je tvořen jílovitými až prachovito-jílovitými břidlicemi vrstev bohdaleckých, tektonicky zvrásněnými a porušenými. Nad skalní bází jsou fluviální sedimenty vltavské terasy.

A) Geologický průzkum

I když v okolí HgB jsou geologické poměry velmi dobře známé z dříve provedeného geologického průzkumu i z okolních dříve realizovaných objektů metra byl v ose projektované HgB proveden jádrový vrt, který umožnil po celé délce ověřit kvalitu horniny klasifikací QTS (použito hodnocení po 1 m intervalech). Tato informace byla použita jako vstupní podklad pro volbu typu výstroje (typ A, B, C, D).

Geologická dokumentace

V průběhu výstavby byla prováděna průběžně inž.-geologická dokumentace čelby a výrubu a při každém postupu (krok à 1 m) bylo prováděno upřesnění klasifikace QTS jako definitivní ocenění kvality horniny - při následném použití této informace při operativním rozhodování o použití typu výstrojení.

B) Projekční práce

Na základě geol. průzkumu a navržené technologie NRTM byl zpracován doplněk prováděcího projektu, který zohlednil nový technologický postup, zvláště nové prvky výstroje výrubu (kotvení, stříkaný beton) a odhadl max. přípustné deformace výrubu (do 20 mm) tak, že velikost deformací v období realizace nebyla výpočtově stanovena.

C) Ověřovací práce

Pro ověření některých projektovaných technologických operací NRTM byly provedeny zkušební práce:

a/ kotvení horniny

Dosud u MTS nebyla prokázána únosnost málo používaných kotev (klínové, lepené), ostatní typy nebyly ověřovány. Na počátku HgB v boku chodby byly prováděny zkoušky několika typů kotev - při jednotné délce 2 m:

- 1/ lepené kotvy (dvojsložková tuhnoucí směs, uchycení v konci vrtu
- únosnost 4,5 t (po utužení - cca 6 hod.)
- 2/ klínové kotvy (typ STEKA s rozevíráním klínu v konci vrtu)
únosnost 2,0 t (aktivováno ihned)
- 3/ hydraulické kotvy ("nafukovací" - systém SWELEX - VVUÚ Radvanice)
- únosnost 8,0 t (aktivováno po celé délce vrtu - ihned).

Jako nejvhodnější byly použity "hydraulické kotvy", které mají vysokou únosnost, rychlou aktivaci a jednoduchou manipulaci. Pro aktivaci kotvy po celé délce je dostatečný tlak "nafouknutí" 120 atm

b/ stříkaný beton

U MTS byl ověřován stříkaný beton pro nástřik "suché směsi" - strojem SSB 40 s použitím urychlovače - vodní sklo. Tato technologie byla aplikována zcela dle ověřené technologie VDUP Tišnov. Velikost spadu činila 20-30 % při max. tloušťce betonové vrstvy (bez sítě) 8 cm, kdy již dochází k opadávání a uvolňování vrstvy betonu vlastní vahou.

Po vyhodnocení geologického průzkumu (A) zpracování doplňku prováděního projektu (B) a vyhodnocení ověřovacích prací (C), byl sestaven harmonogram prací a zpracován doplněk technologického předpisu, obsahujícího zásady a způsob provádění NRTM.

S technologickým předpisem byli detailně seznámeni pracovníci osádky.

Dle hmg byl zvolen dvousměnný postup, ve kterém byl ukončen celý pracovní cyklus tak, aby ve 3. směně byla jednak časová rezerva a aby konstrukce ze stříkaného betonu mohla "nabývat" pevnosti.

3. PRACOVNÍ CYKLUS - postup 1 m

1. směna - provedení rozpojení čelby razicím strojem AM 50, odtěžení, měření deformací

2. směna - vrtání a osazení kotev se sítí, stříkaný beton.

Popis operací

- rozpojování čelby - průřez cca 15 m², délka záběru 1 m. Prováděno razicím strojem AM 50, vzhledem k nemožnosti kontinuálního rozpojování (odtěžení po 1 voze) doba rozpojení byla 3-4 hod. (při kontinuálním rozpojení v pevnosti v tlaku 8-50 MPa/cm², výkon 8-10 m³/hod.); spotřeba nožů 0,02 nože/m³. Geometrie výrubu od teoretického max. + 20 cm s tím, že použití svorníků a sítě umožňuje "vyrovnat" nepravidelnost ve výrubu. Významný vliv je minimální porušení horninového masivu za rub výrubu (do 50 cm). Velmi nízké jsou i dynamické účinky vlivu kmitání na horninový masiv i konstrukce (viz zpráva Geofyzika Brno, Ing. Macháček). Každý postup po rozpojení je inž.-geologicky hodnocen a dokumentován, což je podkladem pro upřesnění způsobu vystrojování

- vrtání kotev - délka osazovaných kotev 2 m, počet ks 5-7 na 1 m postupu, v tektonicky porušených horninách bylo prováděno na postup 1 m ks 5-7 vrtů z nichž 2 ks byly dlouhé 3 m. Vrtání bylo prováděno buď vrtacím kladivem VK 21 na pneumatické podpěře, nebo vrtacím kladivem VK 29 na výsuvném sloupu s dálkovým ovládním (rychlost vrtání - prům. 1,5 m/min)

- osazování kotev - délka osazovaných kotev 2-3 m, používaný typ kotev - hydraulické (VVUÚ Radvanice, Ing. Šňupárek viz příloha). Kotvy s podložkou přichytávají síť (tabule 1 x 1-1,5 m; 10 x 10 cm x 0,6 - velikost oka) k výrubu (5-7 cm od stěny). K aktivaci kotev (po celé délce vrtu), je použit multiplikátor (pneumaticko-hydraulický) s možností použití tlaku max. až 150 atm, kdy však dochází k porušení horniny na ústí vrtu. Doporučený tlak "plnění" kotev 100-110 atm. Celá operace osazení jedné kotvy včetně aktivace trvá 30-35 sec.

- stříkaný beton - obvykle se při NRTM používá 1 ochranný nástřik, jako první následná operace po rozpojování. Na základě praktických zkušeností, však bylo od 1 ochranného nástřiku o mocnosti do 5 cm upuštěno, neboť při vrtání kotev rotačně příklepným kladivem, dochází k uvolňování a opadávání nastříkané vrstvy. Další podrobnosti související se stříkaným betonem včetně jeho zkoušení jsou uvedeny v samostatné kapitole pod bodem č. 4.

- měření deformací výrubu je součástí technologie NRTM a je rozhodující při posuzování stability výrubu a způsobu vystrojování. Vzhledem k tomu, že nebyly přesně specifikovány kritické deformace výrubu, bylo jako podklad pro hodnocení stability výrubu a únosnosti ostění použito průběžné měření a vyhodnocování deformací.

Doba trvání pracovního cyklu

V průběhu realizace experimentu byly naměřeny následující průměrné hodnoty trvání jednotlivých operací:

- nedestruktivní rozpojování a odtěžování čelby (AM 50)	210 minut
- vrtání 7 ks kotev (5 ks à 2 m; 2 ks à 3 m)	45 "-
- osazení kotev a sítě	20 "-
- stříkaný beton	45 "-
- měření deformací výrubu	20 "-
- prodlužování potrubí, luten, kolejí, údržba	60 "-
- technologické přestávky	30 "-
c e l k e m	430 minut

Průměrná doba trvání jednoho pracovního cyklu bez použití ocelové výstroje je 430 minut.

4. STŘÍKANÝ BETON

Při experimentu na stavbě Sokolovská byla realizována technologie stříkaného betonu suchým způsobem. V zásadě byly použity dvě směsi. Prefabrikovaná směs z Rudných dolů Příbram, závod Mořina (směs Mořina, označení M) a směs připravená na stavbě (směs S).

Receptura směsi Mořina je následující:

- vápencová drť 0	- 1,25 mm	500 kg
	1,25 - 2,8 mm	800 kg
	2,9 - 4 mm	300 kg
- cement SC 70		600 kg
- urychlovač Alsit		6-8 % hmotnost C
- vodní součinitel		0,4

K většímu použití této směsi nedošlo vzhledem k vysoké prašnosti. Spad při nástřiku byl odhadnut na cca 15 %. Prakticky celý pokus byl proveden ze směsi namíchané na povrchu stavebního staveniště Sokolovská. Vzhledem k možnostem na staveništi bylo dáváno jednotlivých komponent objemové. Receptura byla stanovena na základě předchozích zkušeností a je následující:

- štěrkopísek zrnitosti 0 - 8	1500 kg
- cement SPC 325	540 kg
- vodní sklo sodné - poměr k vodě	1 : 6
- vodní součinitel	0,4

Směs byla do podzemí přepravována pomocí plechových koreb o objemu 1 m³. Ručně byla překládána na dopravníkový pás stříkacího zařízení SSB 40. Voda smísená s vodním sklem v předepsaném poměru byla odebírána čerpadlem z upraveného důlního vozu. Nástřik probíhal při teplotě 11⁰ C a vlhkosti vzduchu 94 %.

Směs S vykazovala podstatně menší prašnost než směs M, ale vzhledem k větší zrnitosti štěrkopísku byl spad odhadnut na 20-30 %.

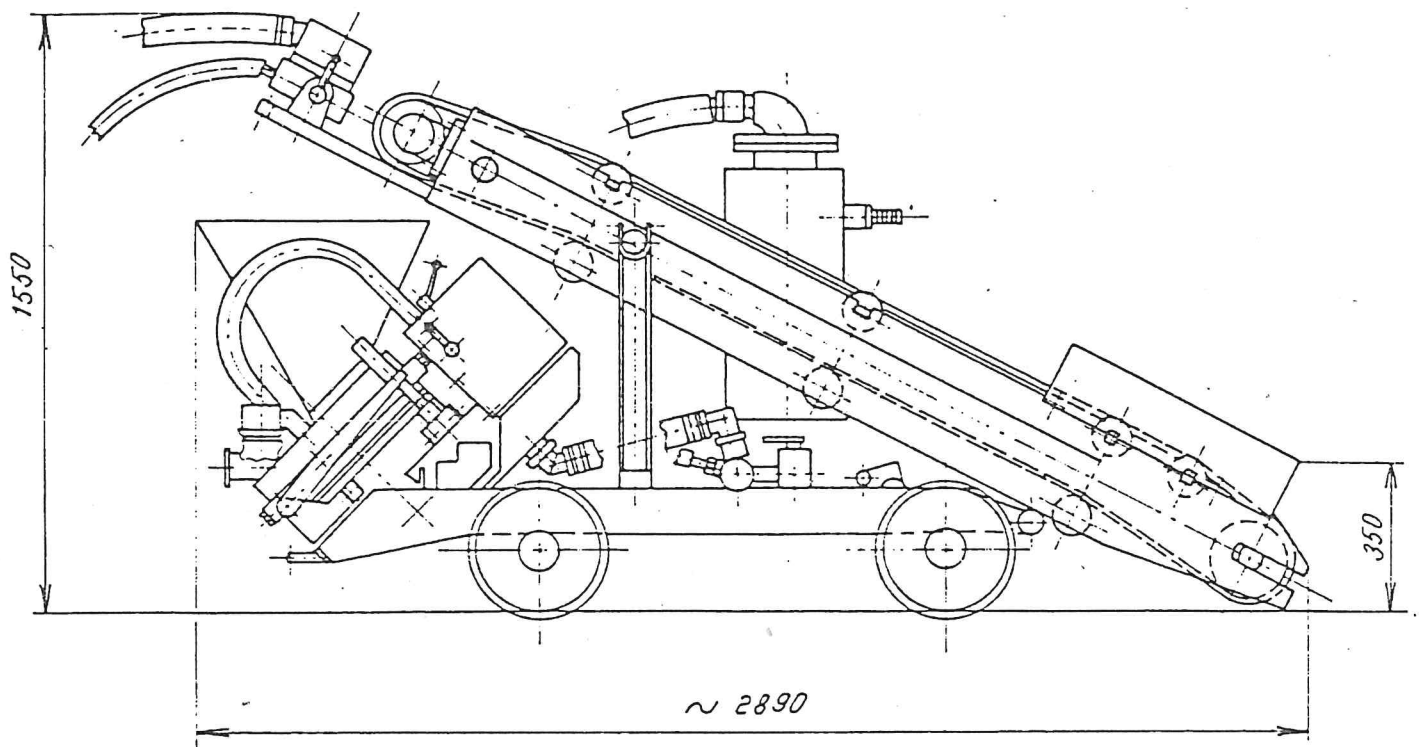
Nástřik byl prováděn z počvy v 1-2 vrstvách. Vrstva tloušťky do 10 cm byla vyztužena jedním pletivem při tloušťkách větších než 10 cm byly osazeny vyztužné sítě dvě. Provedení nástřiku jedné vrstvy na délku 1 m a při obvodu štoly 10 m trvalo cca 45 minut.

Mechanismy použité k nástřiku betonu

Pro nástřik suché betonové směsi bylo použito zařízení na plnění stroje a stříkání betonové směsi SSB 40 (viz obr. č.1), jehož technické parametry jsou následující:

- | | |
|---|--|
| - výkon při stříkání | 4; 5,5; 7 m ³ h ⁻¹ |
| - max. zrnitost materiálu | 16 mm |
| - dopravní hadice | DN 50 |
| - stroj na stříkání | SSB 24 V |
| - pohon pasu vzduch. motorem | VMZ - 3,5 |
| - spotřeba vzduchu | |
| pohon pasu | max. 6 m ³ min ⁻¹ |
| pohon SSB 24 | max. 6 m ³ min ⁻¹ |
| stříkání při dopravní vzdál. 40 m | 6-8 m ³ min ⁻¹ |
| - rozměry délka | 2890 |
| výška | 1550 |
| šířka | 805 |
| - hmotnost | 1000 kg |
| - možnost použití v prostředí s nebezpečím výbuchu. | |

SSB 40



Obr.č.1 - Zařízení na plnění stroje a stříkání betonové směsi

Stříkáací zařízení SSB 40 se plně osvědčilo a v kombinaci s manipulátorem stříkáací trysky a zařízením na překládání směsi z důlních vozů se vytvoří v budoucnosti technologická linka na vyztužování liniových důlních děl stříkáacím betonem.

Zkoušení stříkáacích betonů

Před zahájením pokusu byla se Stavebním ústavem ČVUT a s laboratoří Vodních staveb dohodnuta metodika zjišťování vlastností stříkáacího betonu.

Vzorky betonů byly nastříkáány v podzemí do dřevěných forem o rozměrech 50 x 50 x 15 cm. Celkem byly odebrány čtyři vzorky s označením S, M, S 3 a S 19. Číselný údaj označuje číslo postupu, vzorky S a M byly nastříkáány před zahájením pokusu ze směsi Sokolovská a Mořina dne 26.1.1989.

Po převozu do laboratoří byla zkušební tělesa rozřezána na krychle na kterých byla zjišťována pevnost po 3 (4), 7 a 28 dnech. Ve Stavebním ústavu (SÚ) byla provedena modelová zkouška hodinového nárůstu pevnosti (viz obr.č.3) na vzorcích připravených z dodaných směsí (S, M). Měření hodinových nárůstů pevnosti na nastříkáacím betonu se nepodařilo uskutečnit vzhledem k nedostatečnému vybavení měřicí technikou.

V průběhu pokusu byly prováděny nedestruktivní zkoušky Schmidtovým kladívkem. Protože se později ukázalo, že jeho použití nebylo metodicky správné, provedl technolog s.p. MTS závěrečné měření, jehož výsledky u postupu č. 3 a 19 jsou vyznačeny na obr.č.2.

U vzorků byla dále stanovena objemová hmotnost, nasákavost a křivka zrnitosti použitého kameniva směsi S.

Výsledky zkoušek

A) Zkoušky provedené ve SÚ

Výsledky pevností betonu v tlaku, zjištěné na krychlích o hraně 100 mm v termínech 2, 4, 8, 24 a 48 hodin po vybetonování jsou následující:

- vzorek M (Mořina)

pevnost v tlaku (MPa) - 0,048; 0,072; 0,095; 0,671; 3,920.

V této receptuře byl oproti dodané receptuře užit vodní součinitel $v/c = 0,58$ kvůli zachování běžné zpracovatelnosti.

- vzorek S (Sokolovská)
pevnost v tlaku (MPa) - 0,075; 0,122; 0,177; 0,587; 1,670.
Hodinové nárůsty pevnosti betonu jsou graficky zpracována na obr.č.3.

Pevnosti betonu v tlaku zjištěné na krychlích o hraně 100 mm po 28 dnech:

- vzorek M, $R_{ck} = 31,3$ MPa.

Vzorek byl uložen na vzduchu při teplotě $11,8^{\circ}$ C.

Průměrná objemová hmotnost - 2136 kg/m³

Nasákavost - 12,8 %.

- vzorek S, $R_{ck} = 10,4$ MPa.

Vzorek byl uložen na vzduchu při teplotě $11,8^{\circ}$ C.

Průměrná objemová hmotnost - 2143 kg/m³

Nasákavost - nebyla stanovena.

Nízká pevnost tohoto vzorku po 28 dnech byla způsobena použitím zvětralého cementu.

B) Zkoušky provedené v laboratoři Vodních staveb

Zprávy o těchto zkouškách jsou doloženy v příloze tohoto elaborátu.

- | | | |
|------------------------|--|------------------------|
| - Vzorek S | | |
| ∅ pevnost po 28 dnech | | 27,0 MPa |
| ∅ objemová hmotnost | | 2150 kg/m ³ |
| - Vzorek M | | |
| ∅ pevnost po 28 dnech | | 28,3 MPa |
| ∅ objemová hmotnost | | 2117 kg/m ³ |
| - Vzorek S 3 | | |
| ∅ pevnost po 4 dnech | | 6,0 MPa |
| ∅ objemová hmotnost | | 2255 kg/m ³ |
| nasákavost | | 8 % |
| ∅ pevnost po 7 dnech | | 7,8 MPa |
| ∅ objemová hmotnost | | 2152 kg/m ³ |
| nasákavost nestanovena | | |
| ∅ pevnost po 28 dnech | | 20,7 MPa |
| ∅ objemová hmotnost | | 2072 kg/m ³ |
| nasákavost nestanovena | | |

Nárůst pevnosti tohoto vzorku ve dnech je zakreslen na obr.č.2.

- vzorek S 19
 - pevnost po 3 dnech 13,0 MPa
 - objemová hmotnost 2190 kg/m³
 - pevnost po 7 dnech 15,0 MPa
 - objemová hmotnost 2200 kg/m³
 - pevnost po 28 dnech 32,4 MPa
 - objemová hmotnost 2750 kg/m³
- Nasákavost u tohoto vzorku byla naměřena 8,9 %
Nárůst pevnosti je rovněž zachycen na obr.č.2.

Pro zjištění hodinového nárůstu pevnosti byl beton nastříkán do forem o rozměrech 150³ mm. Vliv stěnového účinku při nástřiku byl však tak značný, že se od tohoto způsobu zkoušení muselo upustit.

Souhrn poznatků

Pro další uplatňování stříkaných betonů uvádíme následující doporučení:

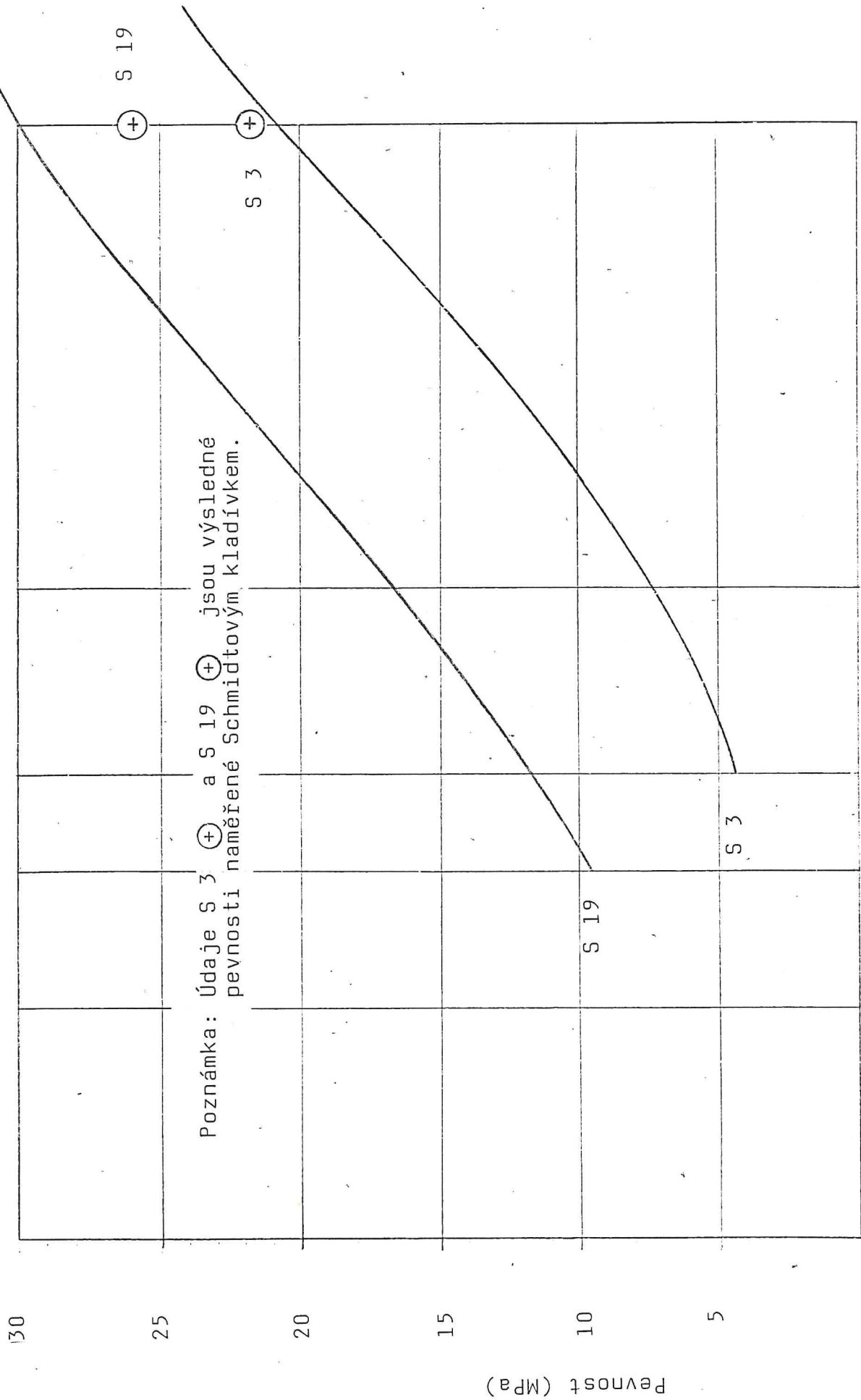
- Při přípravě suché směsi stříkaného betonu důsledně dbát na dodržení předepsané receptury.
- Na jakost stříkaného betonu má významný vliv stáří cementu. K výrobě se nemá zásadně používat cement starší než 1 měsíc.
- Pro výrobu suché směsi používat výhradně portlandské cementy, které mají rychlejší nárůst pevnost. V agresivním prostředí použít Sulfares.
- Suchou namíchanou směs je nutné zpracovat v časovém rozmezí 2-4 hodin.
- Před nástřikem je nutné omítanou plochu očistit a navhčit tlakovou vodou.
- Práce by měly být prováděny zkušeným personálem, který je schopen a ochoten přesně dodržovat technologická pravidla.
- Nástřik provádět krouživými pohyby ze vzdálenosti 80-150 cm od omítaného líce a kolmo na něj.
- Tloušťka jednotlivých vrstev by neměla být na svislých stěnách větší než 5 až 10 cm a v klenbě 3 až 6 cm.

- Doporučuje se použití kameniva frakce do 8 mm. Hodnota přirozené vlhkosti kameniva se má pohybovat v rozmezí 3-5 %.
- Nástřik další vrstvy provádět až po dostatečném zatvrdnutí předchozí vrstvy.

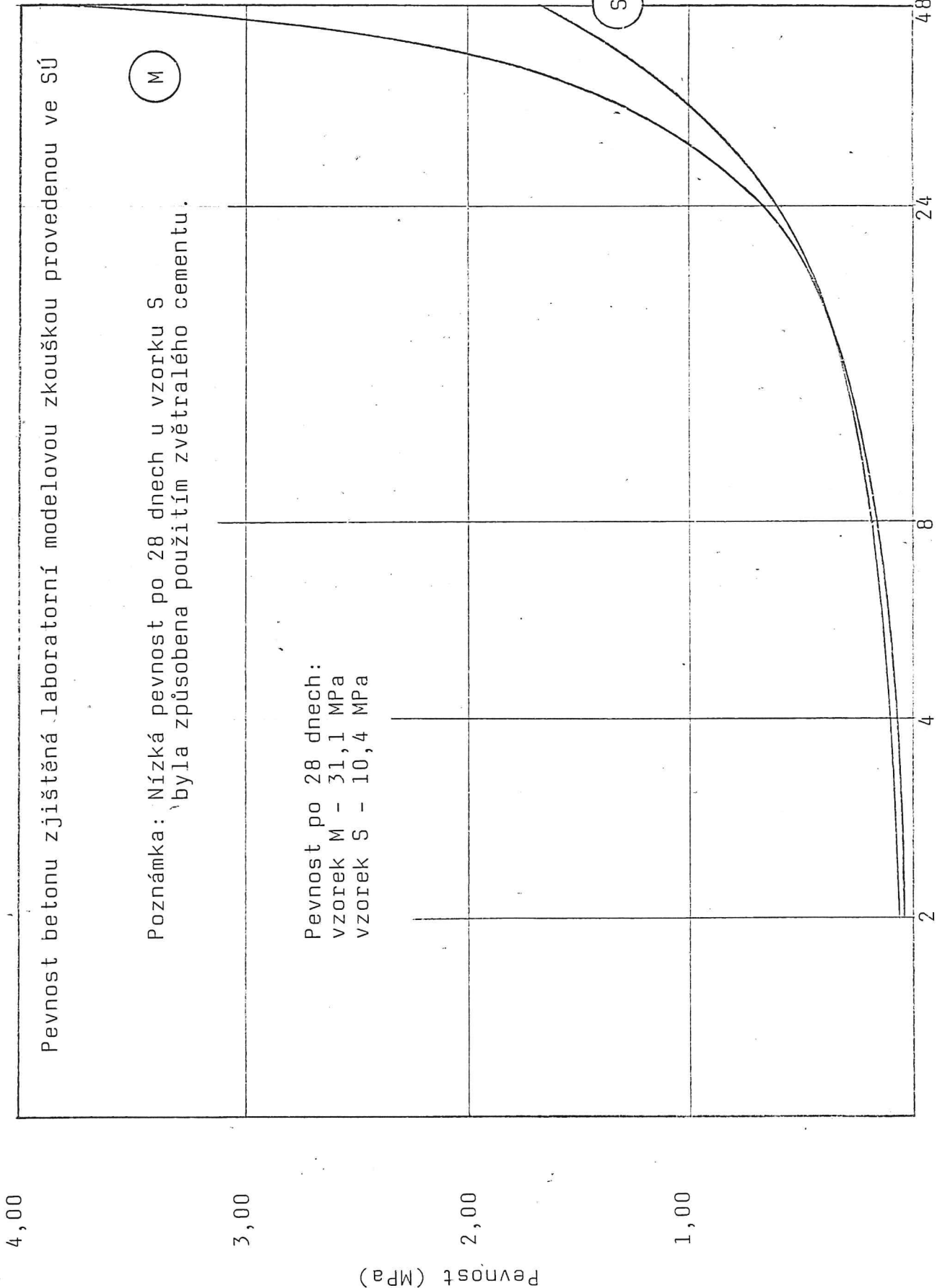
V průběhu provádění stříkaných betonů na akci Sokolovská jsme si nekladli za cíl stanovit pravidla technologie stříkání, ale zhodnotit prováděný postup v podmínkách podzemí.

Přestože prováděné práce byly poznamenány některými nedostatky vyplývajícími z použití nové technologie, budou mít zde načerpané poznatky přínos pro další aplikace stříkaných betonů a jejich zkoušení.

Pevnost stříkaného betonu měřená na krychlích - 100^3 mm



2 3 4 7 28 stáří betonu (dny)
Obr.č.2 - Porovnání růstu pevnosti betonu v.čase; vzorky S 3 a S 19



Obr.č.3 - Hodinový nárůst pevnosti betonu, vzorek M a S

5. HYGIENICKÉ PODMÍNKY PŘI POUŽITÍ NRTM

A) Zpráva o měření hluku

Měření a hodnocení hlučnosti proběhlo v souladu s vyhláškou ministerstva zdravotnictví ČSR č.13/1977 Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací a přímo navazujícími hygienickými předpisy svazek 37/1977.

Při měření byly použity následující měřicí přístroje:
Integrační zvukoměr Brüel a Kjaer typ 2218; vyr.č. 141 87 19
1/2" měřicí mikrofon " " typ 4129, vyr.č. 139 29 28
Akustický kalibrátor Robotron typ 05000, vyr.č.641 77

Vlastní měření probíhalo v ranních a odpoledních směnách tak, aby byly změřeny veškeré pracovní operace. Naměřené hodnoty jsou shrnuty v následujícím přehledu:

- Rozpojování horniny pomocí stroje AM 50. Při samotném řezání byla naměřena průměrná hladina hluku 88,3 dB (A).
U. společné operace řezání + nakládání byla naměřena průměrná hladina hluku 91,8 dB (A). Výsledná naměřená průměrná hladina pro celou operaci činí 91,3 dB (A).
- Vrtání kotvících otvorů pomocí vrtací lafety-osazené vrtacím kladivem VK 29
 - a) přípravné práce (cca 20 min) $L_{Aeg} = 82$ dB (A)
 - b) vlastní vrtání: celkem 7 vrtů. Po dobu vrtání byla naměřena průměrná hladina hluku 107 dB (A). Průměrná hladina hluku pro sledovanou operaci vrtání byla naměřena 106,3 dB (A).
- Upevnění drátěné výztuže. Stavění výztuže a upevnění rozpínovou kotvou 85 dB (A). Obsluha vodní pumpy (10 MPa tlak) 96,2 dB (A).
- Zastříkání upevněné výztuže betonem
 - a) přípravné práce (cca 10-15 min) 74 dB (A)
 - b) obsluha tlak.míchačky SSB 41 (2 muži) 90 dB (A)
obsluha trysky (1 muž) 85 dB (A).Průměrná hladina hluku při provádění uvedených operací činí 88,2 dB (A).

V průběhu operace bylo též měřeno mikroklima. Pro měření byl použit psychrometr Asman typ TZ-9, vyr.č. 039/83. Po dobu stříkání betonové směsi se pohybovala relativní vlhkost v rozmezí 99 %-98 %. Jednu hodinu po ukončení zástřiku klesla relativná vlhkost na 96 %. Po dobu, kdy se na pracovišti nepracovalo byla naměřena relativná vlhkost v rozmezí 91 %-89 %.

Na základě dlouhodobého měření, společně s pořizováním časových snímků jednotlivých operací byla zjištěna průměrná ekvivalentní hladina hluku v průběhu ražby v hygienické buňce 95,2 dB (A)

Z naměřené hladiny je patrné, že osádka se pohybuje v riziku poškození sluchu. Z tohoto důvodu je nutné, aby členové osádky používaly zátkové chrániče sluchu (typ EAR).

Porovnáme-li naměřenou ekvivalentní hladinu při nasazené metodě s ekvivalentními hladinami hluku, naměřenými při ražbách stejného profilu klasickou metodou, zjišťujeme zlepšení o 5 až 9 dB (A). Tato skutečnost z hlediska ochrany sluchu pracovníků znamená značný přínos.

B) Zpráva o měření prašnosti

Měření a hodnocení prašnosti bylo provedeno dle jednotné metodiky - výnos hl. hygienika ČSR - HEM 344.1 - 30.3.1976 a v souvislosti s kategorizací pracovišť ze dne 8.12.1988.

Vlastní měření probíhalo v ranních a odpoledních směnách tak, aby byly sledovány veškeré pracovní operace. Naměřené koncentrace prachu jsou zahrnuty v následujícím přehledu:

- Rozpojování horniny pomocí stroje AM 50 - při této pracovní operaci byla naměřena koncentrace prašnosti $42,15 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Vrtání kotvicích otvorů - při této pracovní operaci byla naměřena koncentrace prašnosti $15,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Instalace kotev + pletiva - při této operaci byla naměřena koncentrace prašnosti $2,33 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Příprava suché směsi stříkaného betonu - při uvedené pracovní operaci byla naměřena koncentrace prašnosti $2,58 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$

- Zastříkání výztuže betonem - při provádění této pracovní operace byly naměřeny koncentrace prašnosti: $20,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, $11,75 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Průměrná koncentrace tedy činí $16,13 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Dále byla prováděna celosměnná měření (8 směn) při typickém provádění technologie. Byly naměřeny následující koncentrace prašnosti:

2,77; 9,53; 4,94; 13,1; 1,67; 27,62; 10,87; 12,95
- vše v $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Průměrná koncentrace prašnosti činila $10,43 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Porovnáme-li zjištěnou průměrnou koncentraci prašnosti při provádění "Nové rakouské tunelářské metody" s nejvyššími přípustnými hodnotami, uvedenými ve výše citované kategorizaci zjišťujeme, že pracovníci při provádění sledované nové metody se pohybují ve střední míře rizika prašnosti tj. kategorie 4a (bývalá III. kategorie).

6. VYPRACOVÁNÍ ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY

Veškeré zkušenosti, poznatky a výsledky měření z experimentu jsou zahrnuty v této zprávě a v elaborátech zpracovaných jednotlivými řešiteli, které jsou doloženy v příloze. Tyto elaboráty byly zpracovány dle následující předem dohodnuté osnovy:

- 1) Úvod
- 2) Základní principy technologie NRTM
- 3) Inž.-geologické poměry, základní geotechnické charakteristiky
- 4) Velikost zatížení výrubu, typy výstroje včetně kotvení
- 5) Průběh deformací - prognoza, matematický model
- 6) Průběh deformací - prognoza, fyzikální model
- 7) Metodika měření konvergencí, deformací, výšky rozvolnění, poklesů
- 8) Prováděcí projekt
- 9) Výsledky prací
- 10) Přípravné a ověřovací práce
 - a) stříkaný beton
 - b) kotvení
 - c) podpěrná výstroj
- 11) Doplněk technologického postupu
- 12) Průběh prací
- 13) Výsledky a vyhodnocení měření deformací, konvergencí a poklesů
- 14) Porovnání prognóz a výsledků měření
- 15) Stříkaný beton výsledky zkoušek
- 16) Bezpečnostně hygienické podmínky - výsledky
- 17) Z á v ě r y

7. DÍLČÍ ZPRÁVY SPOLUPRACUJÍCÍCH ORGANIZACÍ

- DP Metroprojekt, Ing. Zlámal,
- PÚDIS, Ing. Kameníček CSc., Ing. Jelínek
- PÚDIS, RNDr. Tesař, RNDr. Altmann
- VÚIS Brno, Ing. Šťastný CSc., Ing. Urbánek, Ing. Žídek
- VVUÚ Radvanice, Ing. Šňupárek
- Geofyzika Brno, RNDr. Jančovič, RNDr. Synek
- Geofyzika Brno, Ing. Macháček
- VKD Kladno, Ing. Lepič, Zvěřina, Horský
- ČVUT, Doc. Bucek, Ing. Chamra
- Vodní stavby, Ing. Faltus.

8. ZÁVĚRY

- a) Dosažené výsledky při ražení HgB na stanici Sökolovská prokázaly, že NRTM jako pokroková tunelářská technologie je pro ražení podzemních děl v podmínkách "pražské geologie" vhodná a lze doporučit další rozšíření NRTM.
- b) Pro různé inž.-geologické poměry a velikosti výrubů je nutno zpracovat "Technické podmínky použití NRTM", obsahující základní kritéria (velikost a doba volného-nezajištěného výrubu, kritické deformace, počet a délku kotev, prvotní vyztužování stříkaným betonem, definitivní výstroj, dimenzování ostění, výpočtové metody, požadavky na inž.-geol. průzkum aj.).
- c) Navrhnout typizované podzemní objekty metra, kde je možno použít konstrukce výstroje technologií NRTM.
- d) Stanovit metodiku měření deformací výrubu a způsob vyhodnocování zohledňující provozní potřeby (jednoduchost, včasnost, nepřetržitost automatizace registrace údajů na povrchu).
- e) Navrhnout optimální strojní sestavy pro technologii NRTM při použití trhacích prací i nedestruktivního rozpojování.
- f) V rámci dalšího plánování TR je nutno, aby se spolupracující organizace zabývaly doporučenými závěry. PÚDIS Praha problematikou b), d); VÚIS Brno b), d); Metroprojekt a IDS b), c); Metrostav b), c), d), e).