



# PODZEMNÍ STAVBY

## 4. část

### Konvenční tunelovací metody

Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., doc. Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.

# ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TUNELOVACÍCH METOD

- **Konvenční tunelování (cyklický postup ražby)** – operace provedené v jednom pracovním cyklu umožňují postup ražby o jeden záběr
  - **Klasické tunelovací soustavy**
  - **Prstencové tunelování**  
(prstencová metoda, NRTM, NTM, ADECO-RS, MOVP a další)
- **Plnoprofilové strojní tunelování („plynulý“ postup ražby)**  
**tunelovací stroje - razicí stroje a štíty**

# Vývoj klasických tunelovacích soustav

- Od 1. poloviny 19. století byla výstavba tunelů prováděna pomocí „klasických“ tunelovacích soustav. **Provizorní výztuž tvořila vřídřeva.**
- 1830 – železniční tunel Edge Hill v Anglii na trati Manchester – Liverpool (**Anglická soustava**).
- 1837 – tunel Oberau v Německu na trati Lipsko- Drážďany (**Rakouská soustava krokvová**).
- 1839 – železniční tunel Gumpoldskirchen v Rakousko-Uhersku na Jižní dráze (**Rakouská soustava podélníková**).
- 1964 - silniční tunel Massenbergr v Rakousku (**NRTM**).

# KLASICKÉ TUNELOVACÍ SOUSTAVY

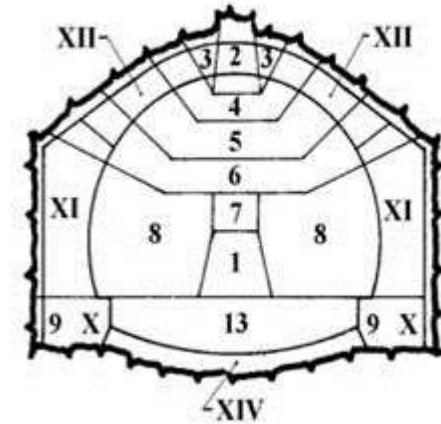
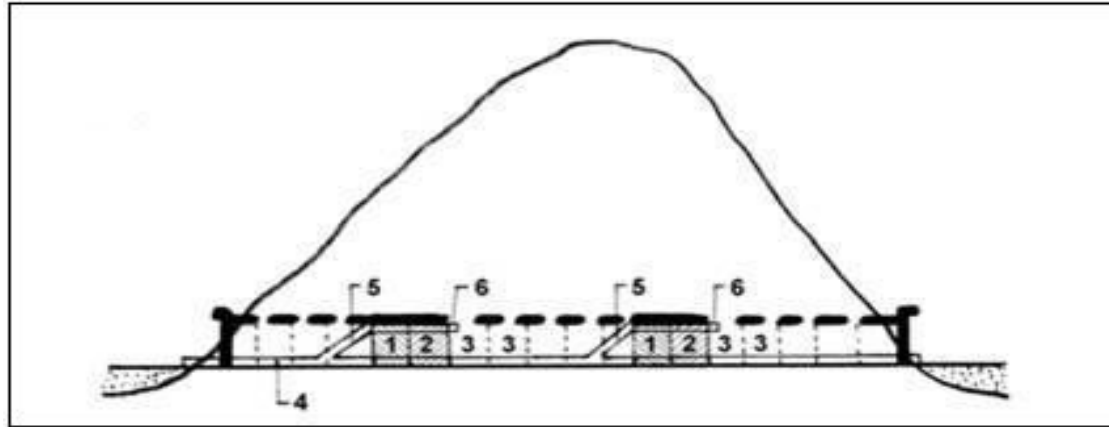
- **Rakouská soustava**
  - krokvová (původní)
  - podélníková zvaná „modifikovaná“
- Belgická soustava zvaná „podchycovací“
- Německá soustava zvaná jádrová
- **Anglická soustava**
- Italská soustava
- Kunzova soustava



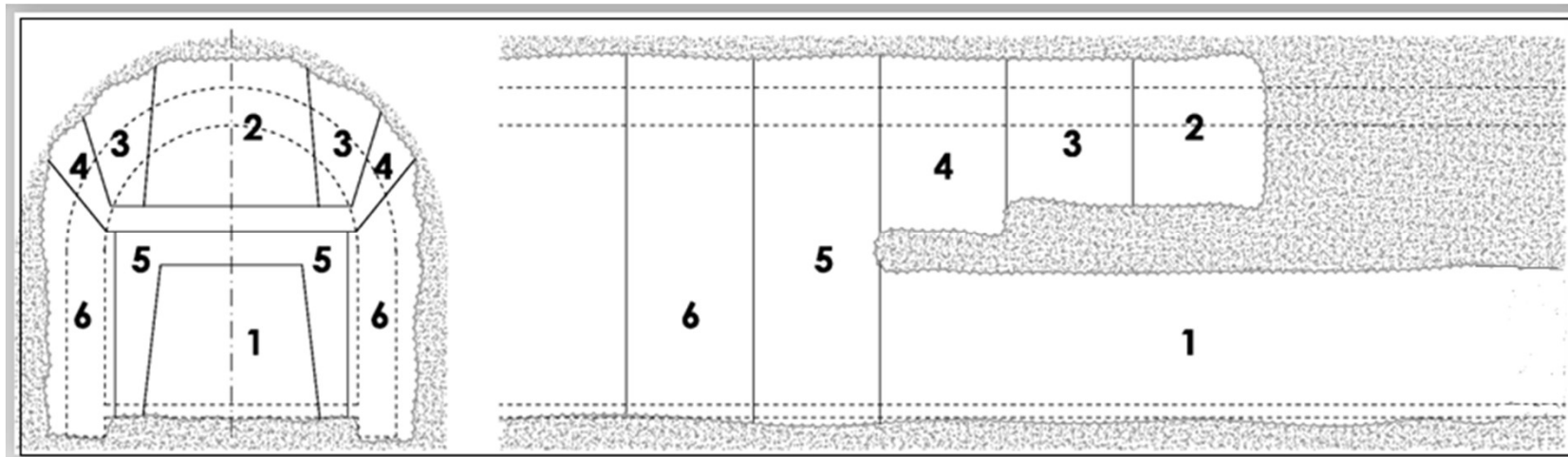
# Sled prací a schéma pobírání

(rozvinutí prací v podélném a příčném směru)

- Pilířový systém

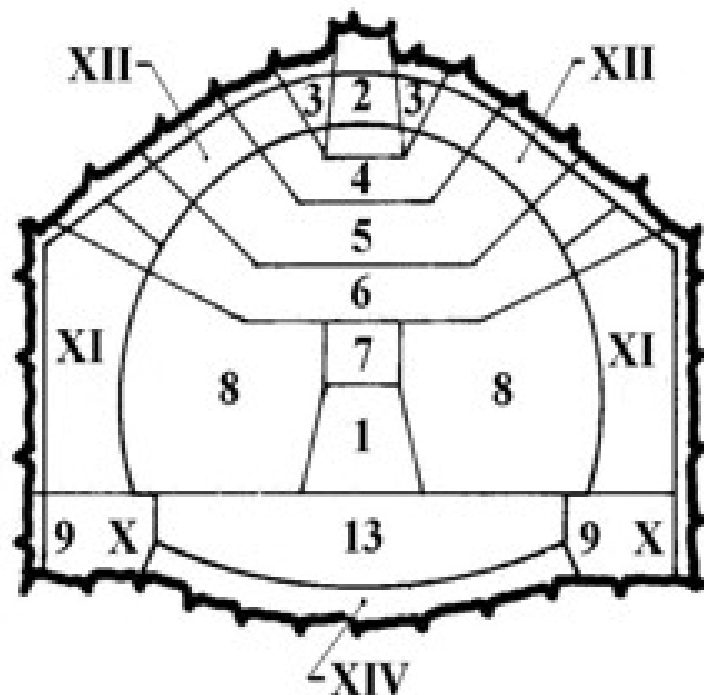


- Plynulý systém (výjimečně)



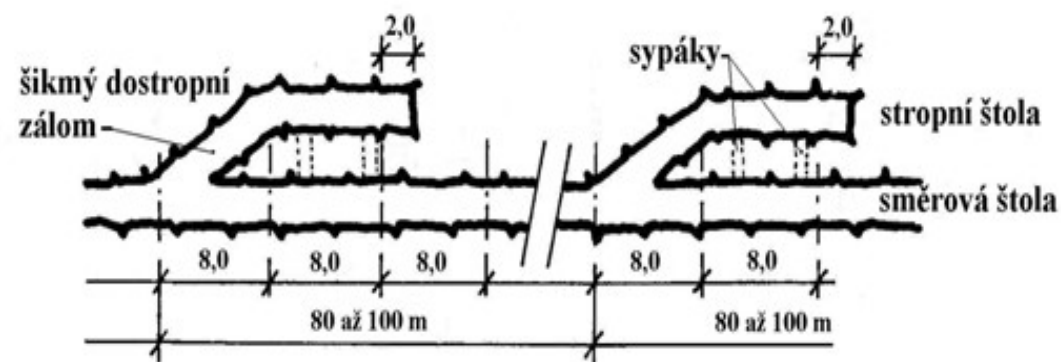
# Rakouská soustava modifikovaná

## Schema pobírání



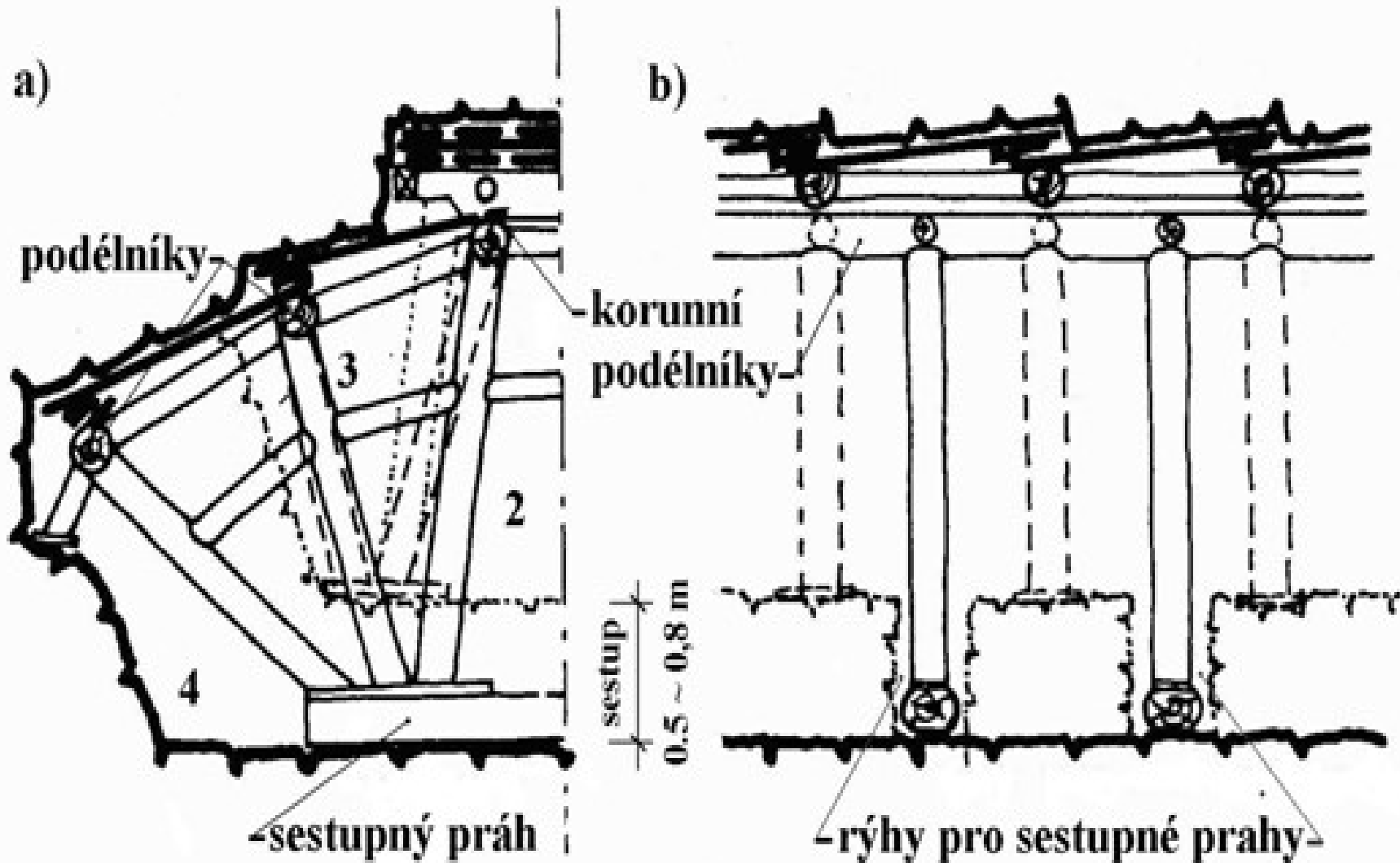
výlomy - arabská čísla  
zdění - římská čísla

- 1 - směrová štola
- 2 - stropní štola
- 3 až 6 - výlom kaloty
- 7 - výlom pro hlavní sloupy
- 8 - výlom opěří
- 9 - výlom základů
- X - zdění základů
- XI - zdění opěr
- XII - zdění klenby
- 13 - výlom dna
- XIV - zdění spodní klenby



Dostropní zálomy při  
pilířovém ražení

# Postup pobírání v kalotě



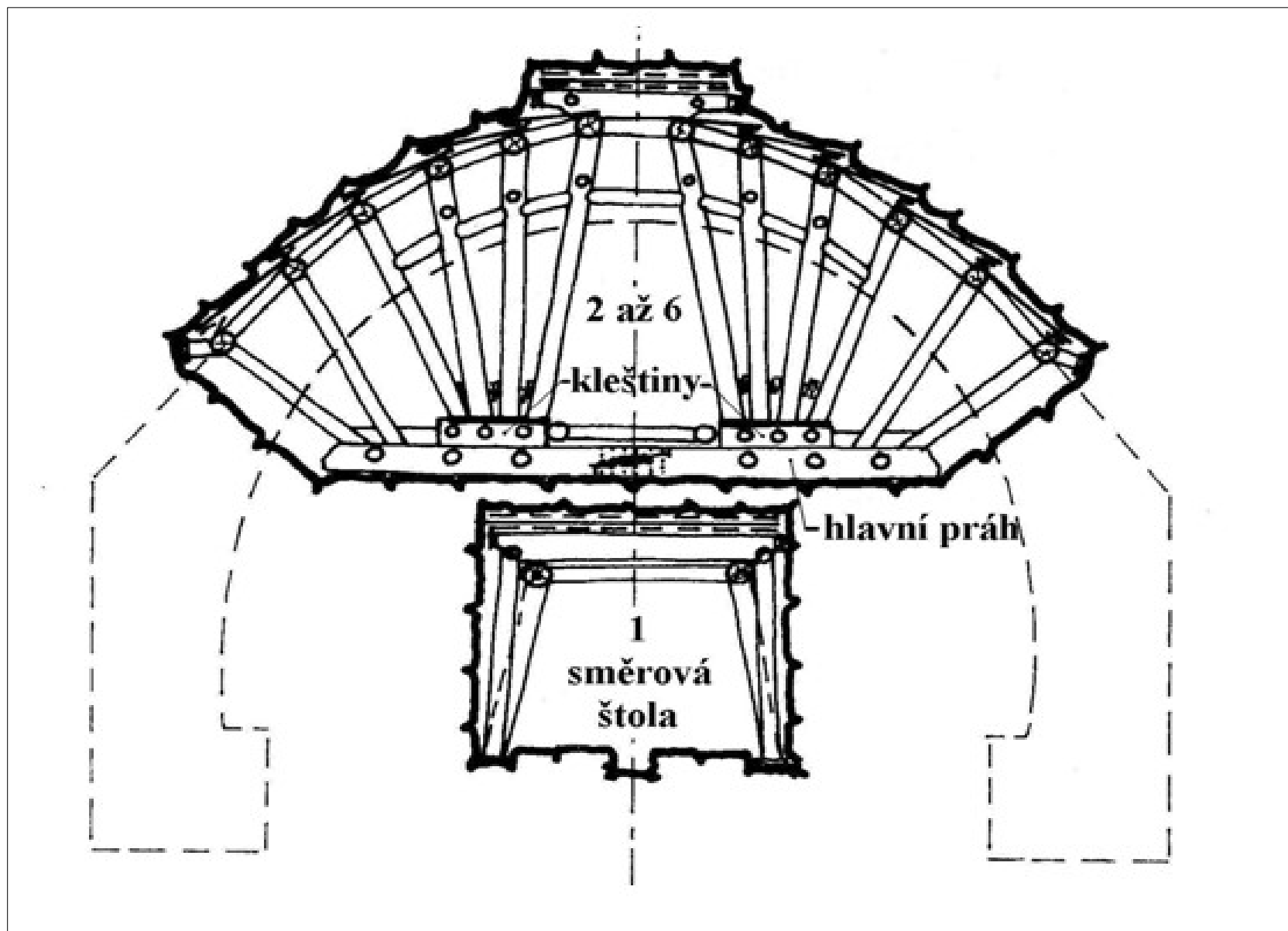


Směrová štola s podvlaky

Korunní podélníky v kalotě

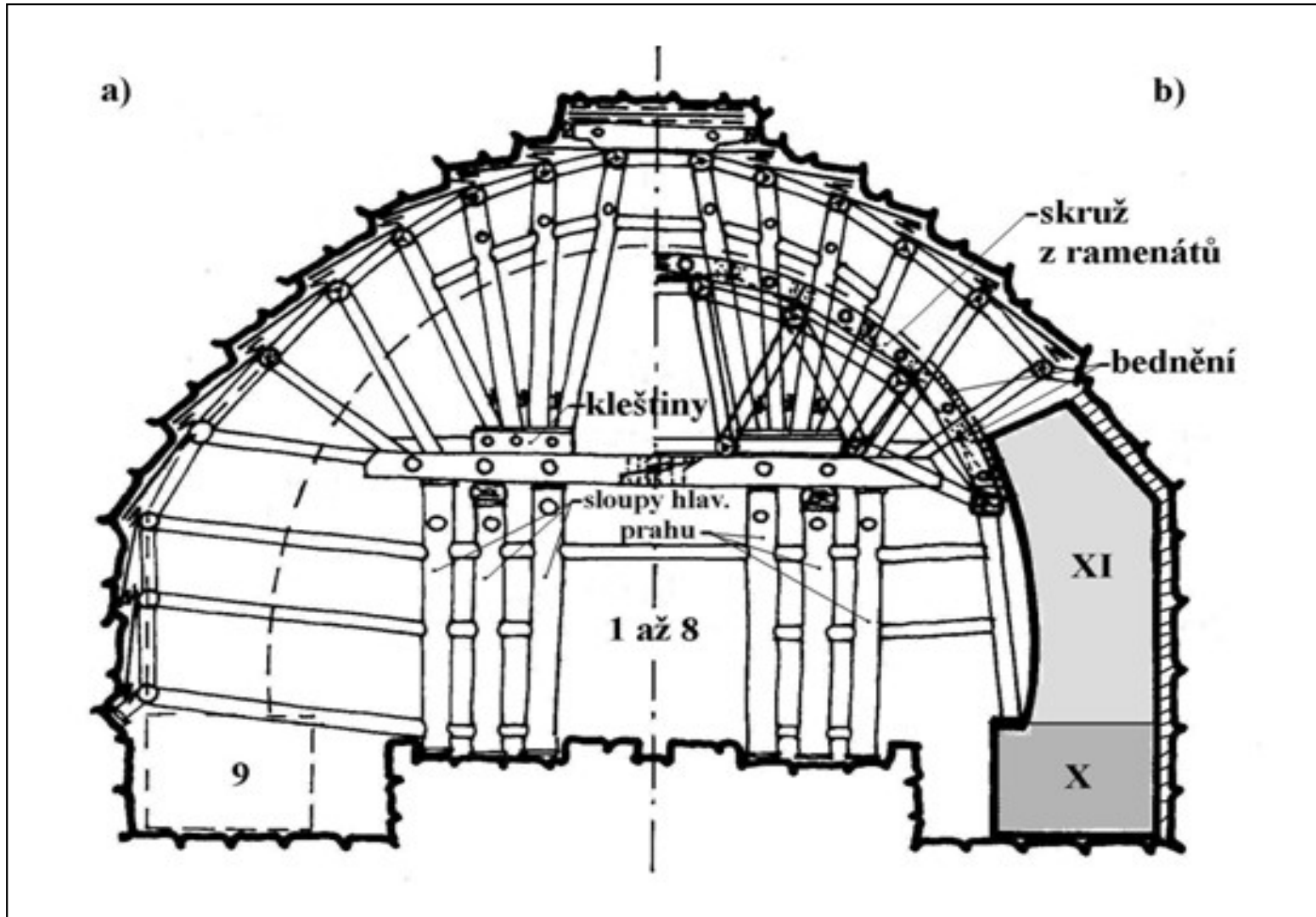


# Výdřeva kaloty



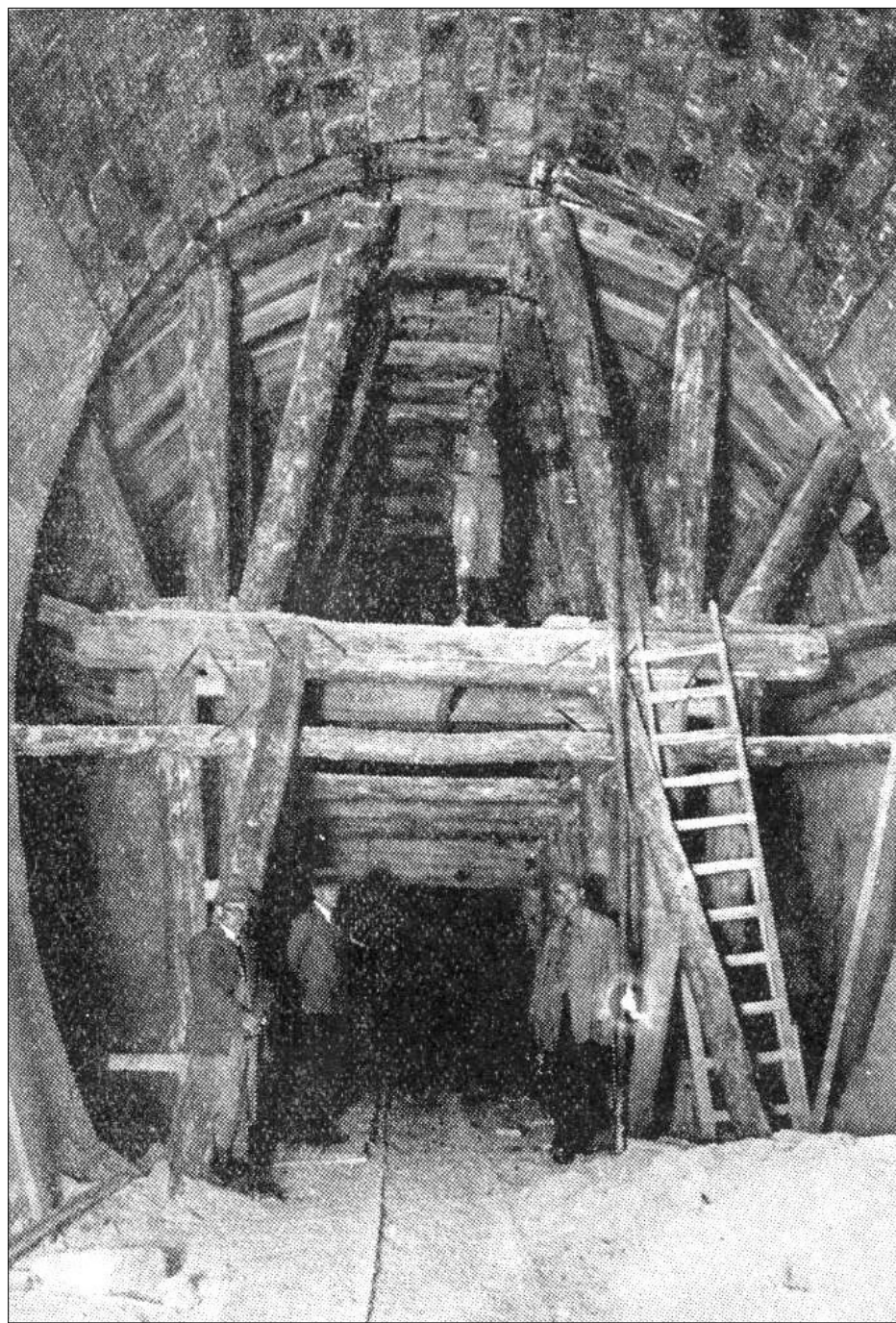
# Letenský tunel

(délka 426 m - rakouská soustava, 1953)



výdřeva plného výlomu

výdřeva pro zdění klenby



Plný  
výlom

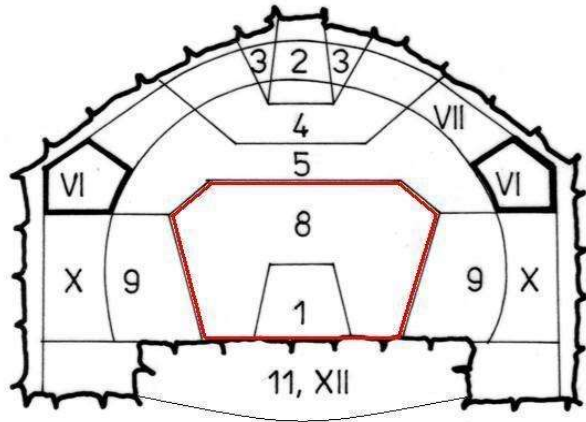


# Výuková štola Josef FSv ČVUT

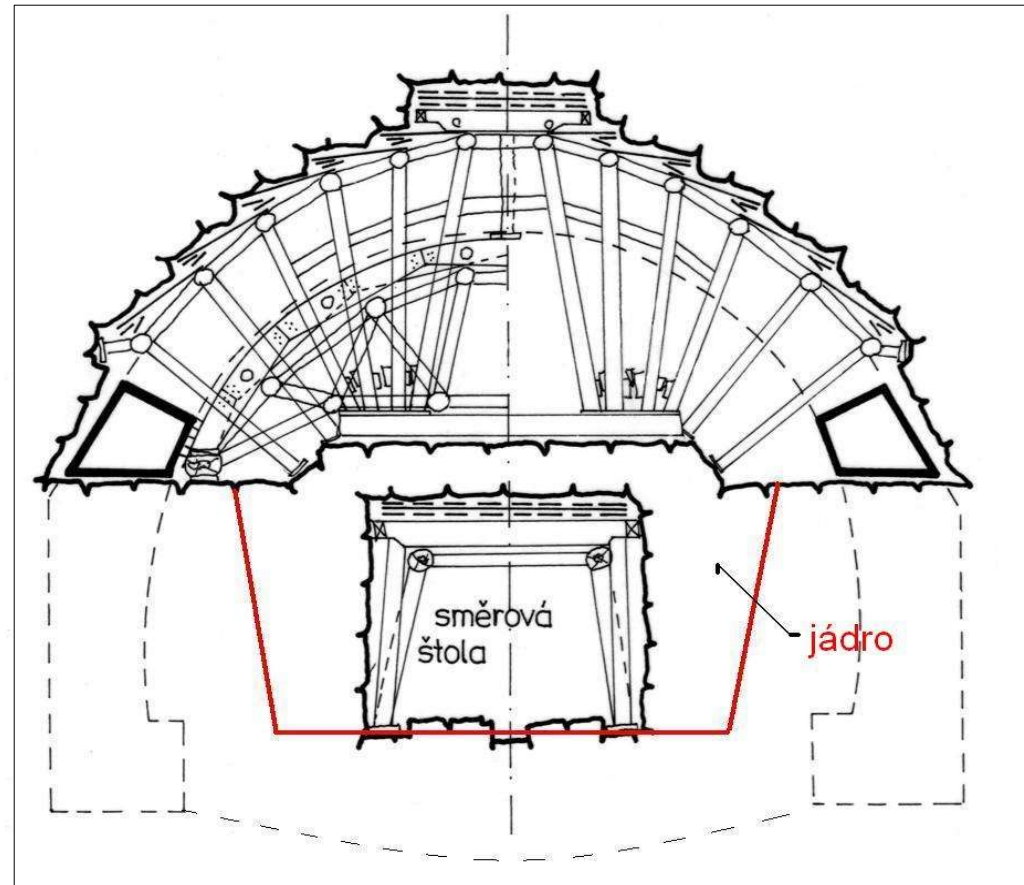




# Belgická soustava tzv. podchycovací

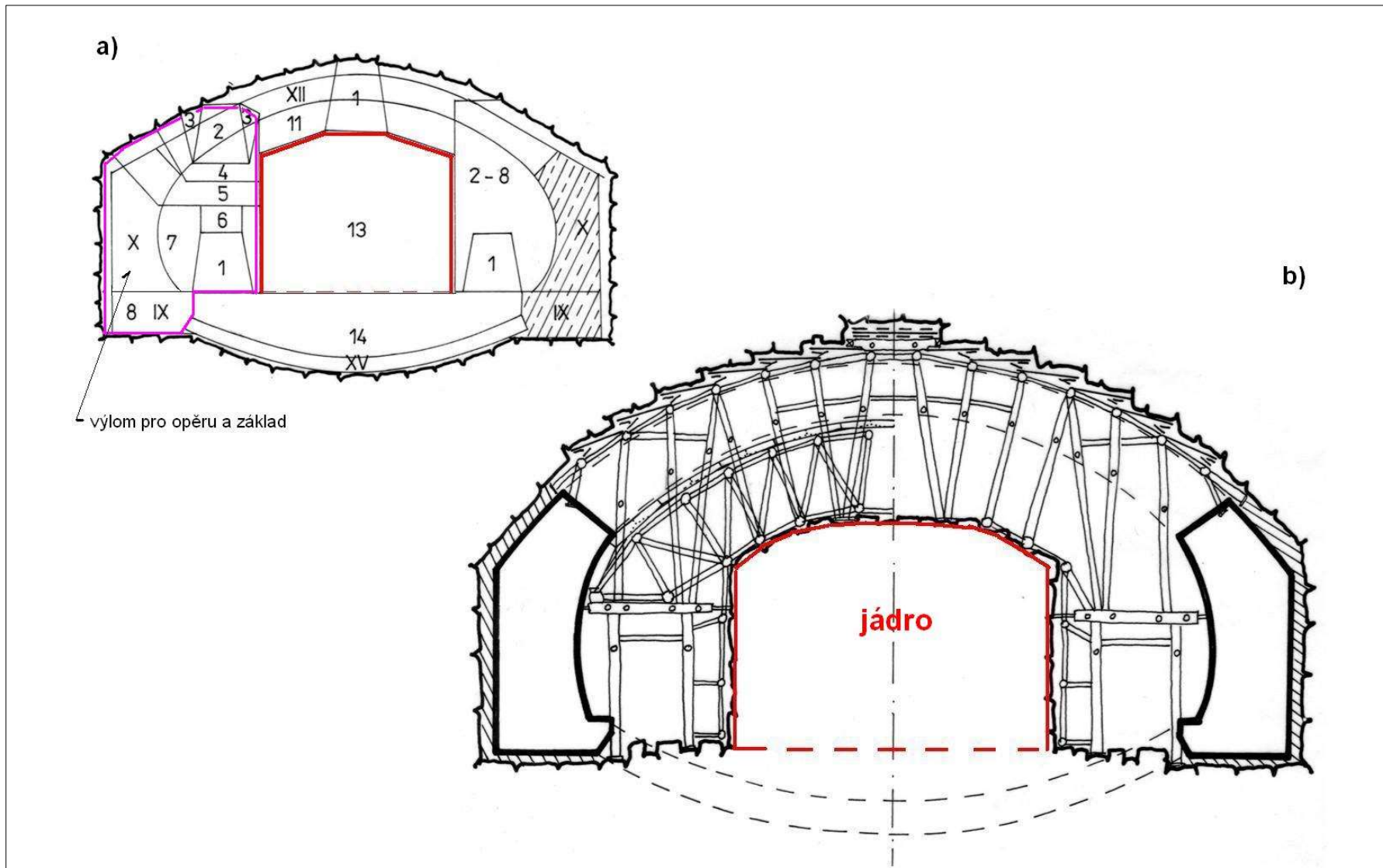


a) Schema pobírání



b) Výdřeva plného výlomu

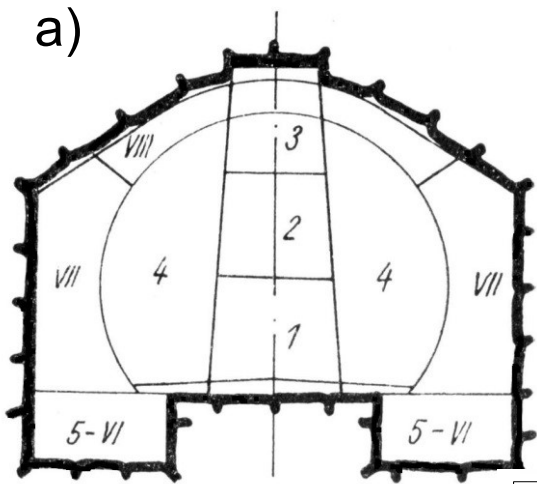
# Německá soustava tzv. jádrová



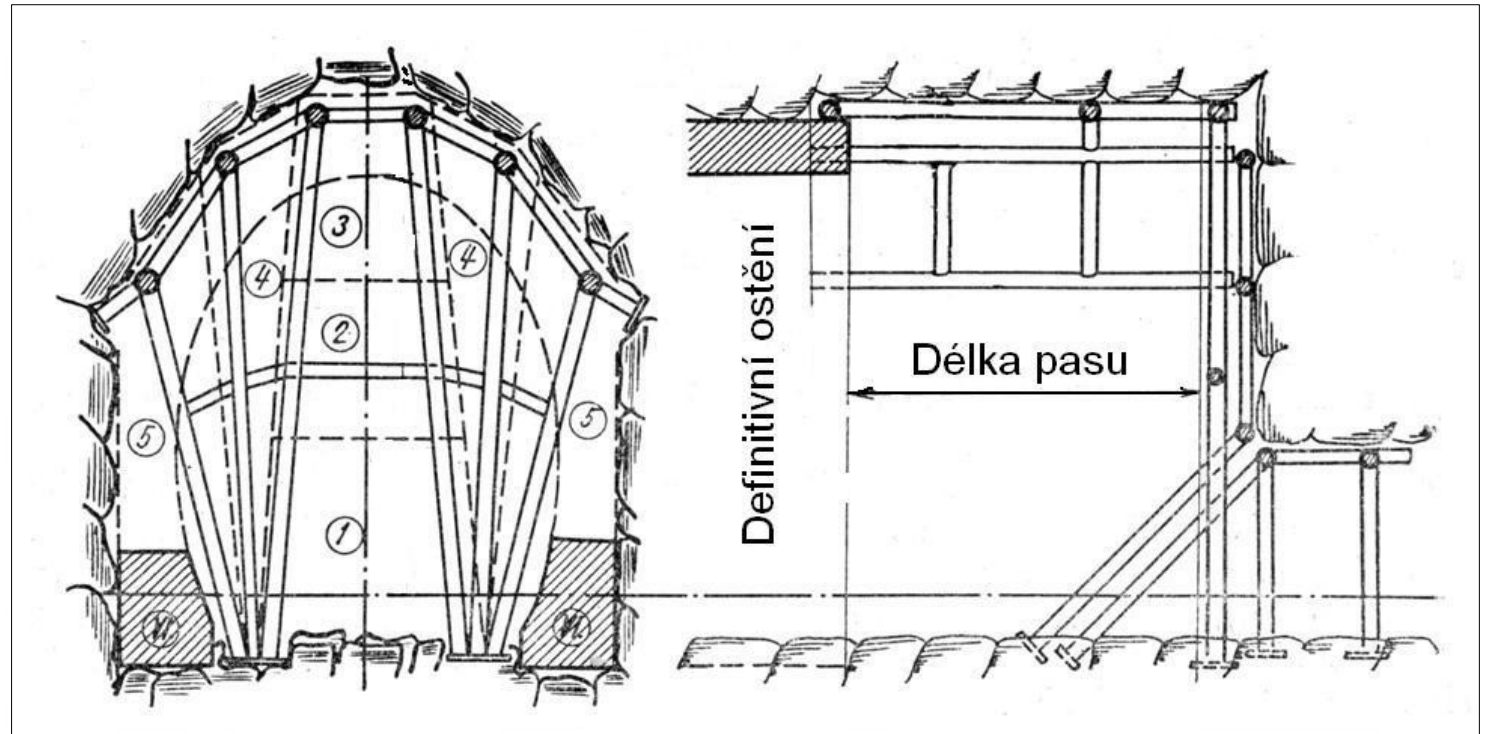
a) Schema pobírání

b) Vydřeva plného výlomu

# Anglická soustava



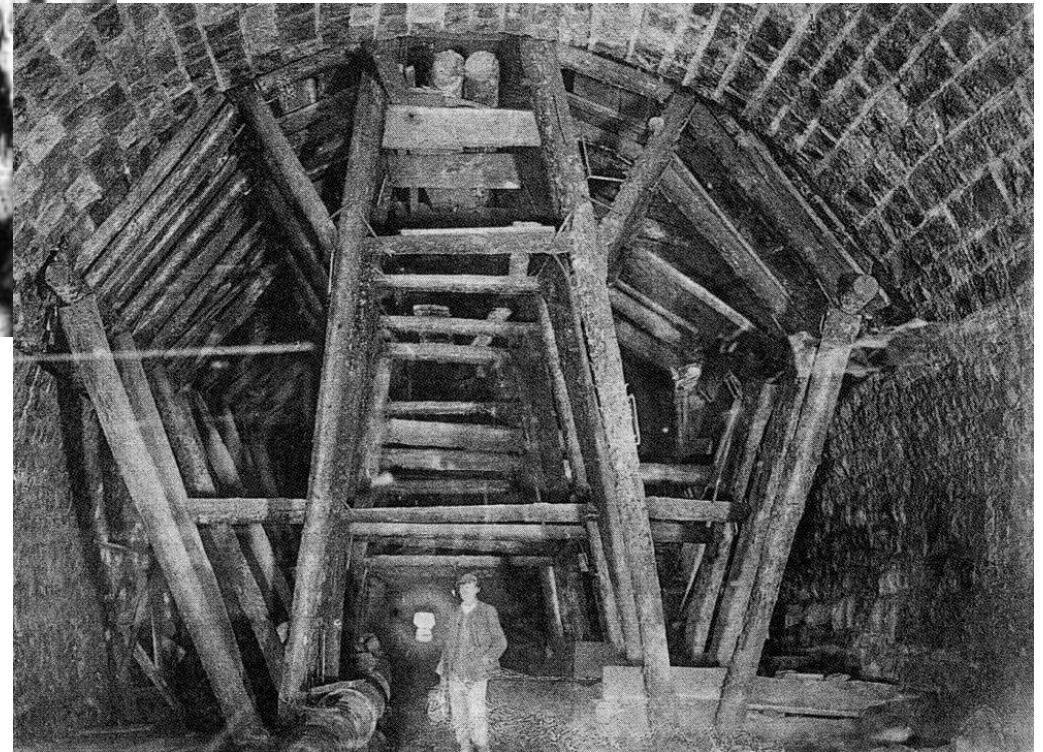
b)



a) Schema pobírání

b) výdřeva plného výlomu

# Lötsgbergtunnel – 14.605 m

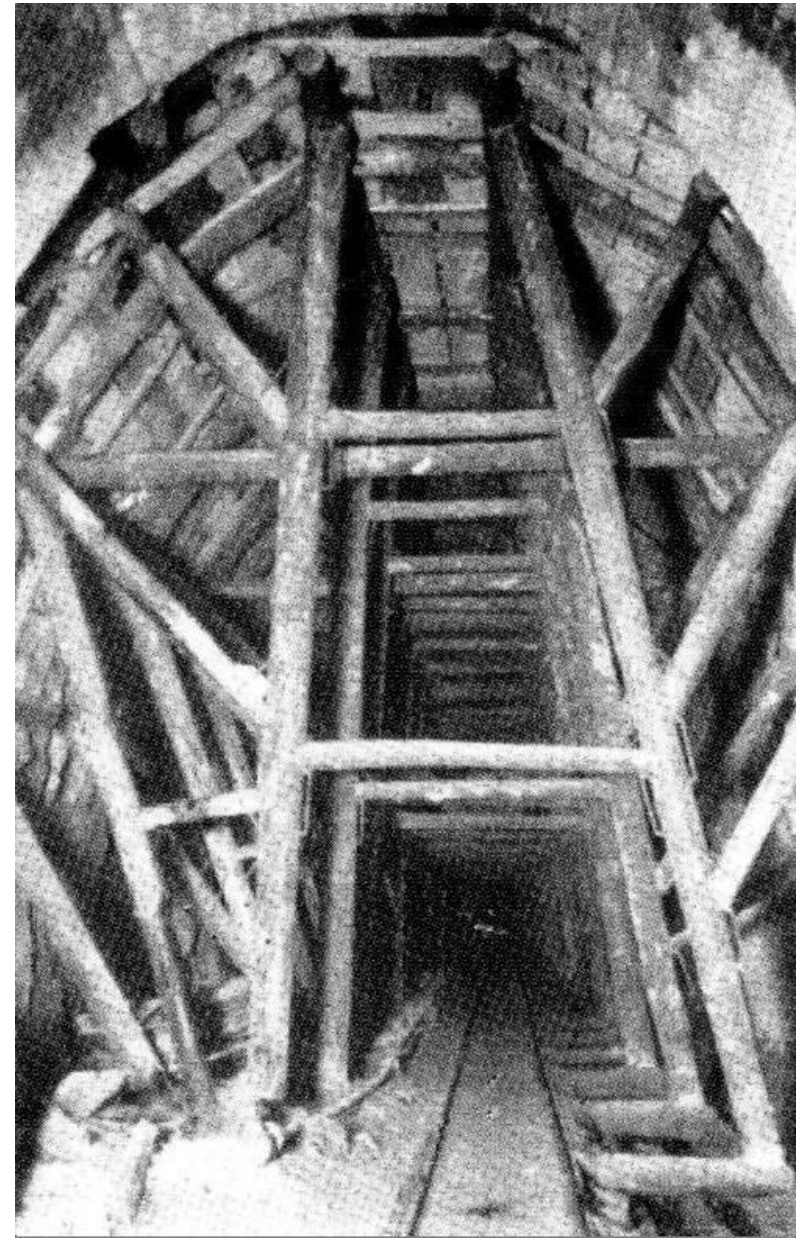


Doba výstavby 5,5  
roku 1908 až 1913

# Simplontunnel – 19.803

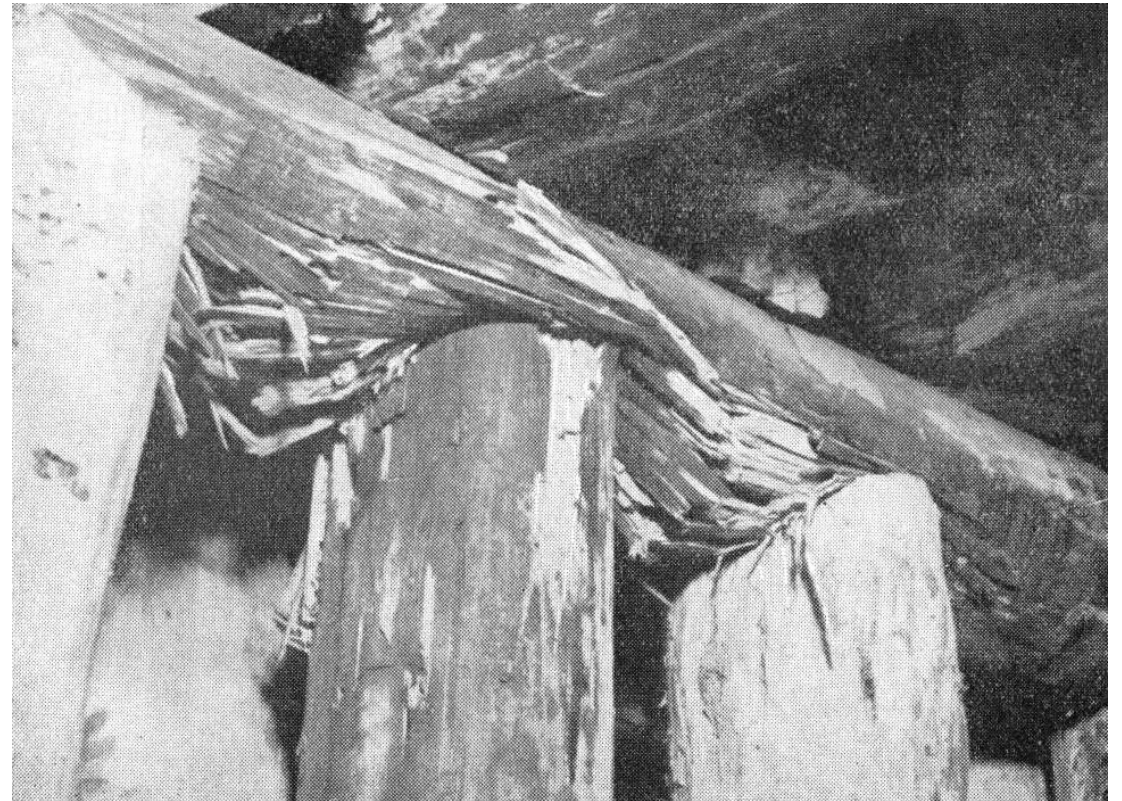


Doba výstavby 8  
let 1899 až 1906





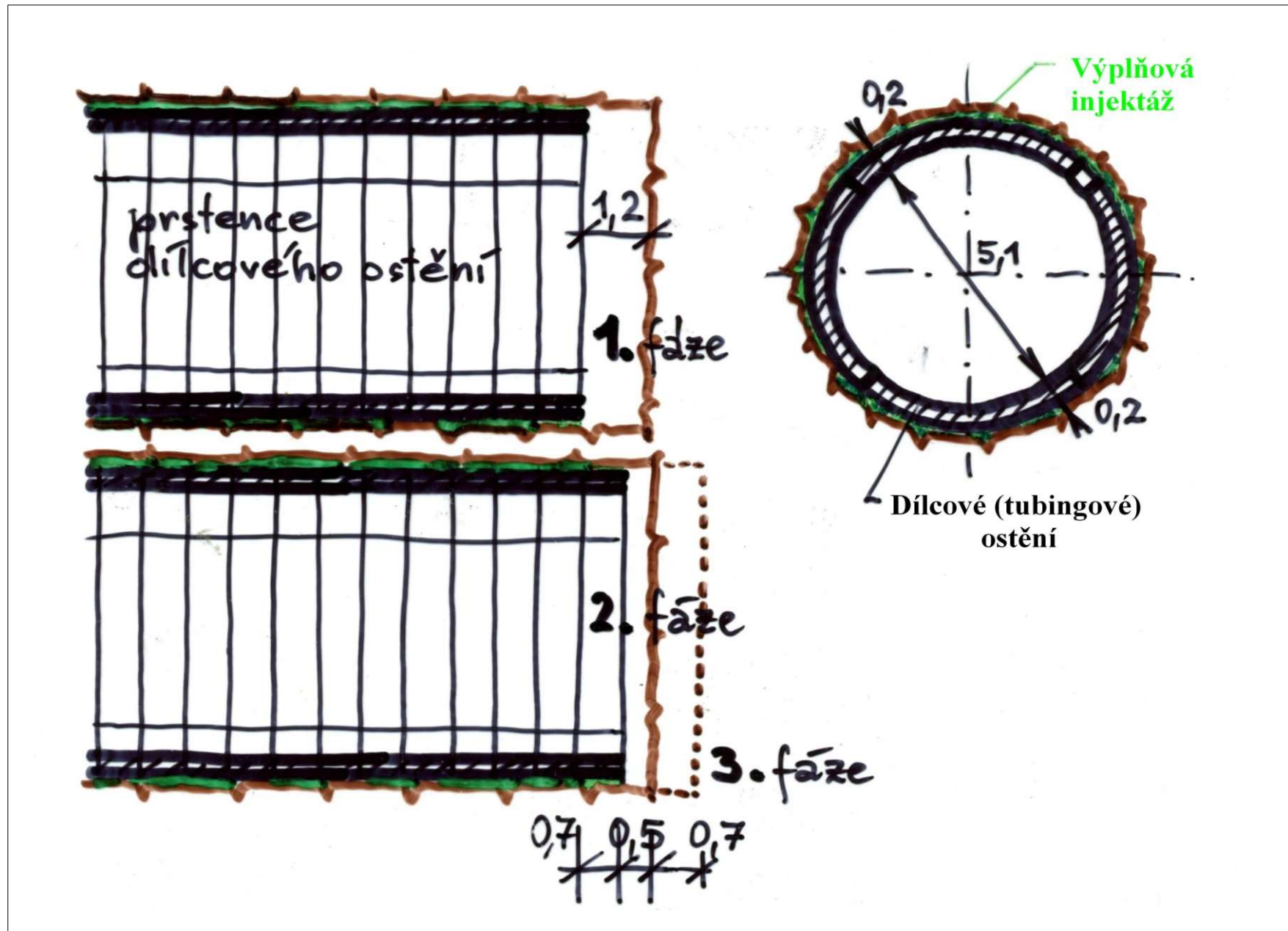
# Tlaky na výdřevu



# Prstencové tunelování

- A. Prstencová metoda („pražská“)
- B. Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM)**
- C. Norská metoda tunelování („drill and blast“ – NTM)
- D. ADECO – RS (Lunardiho metoda – „NITM“)
- E. Metoda obvodového vrubu („Perforex“, obecně metody „Pre-Lining Systém“ – PLS)
- F. Metoda čelního odtěžování (modifikovaná milánská metoda, metoda „želva“)
- G. SCL (Sprayed Concrete Lining), Lasershell (Anglie)
- H. Spritzbetonbauweise, Kernbauweise (Švýcarsko)

# A. PRSTENCOVÁ METODA



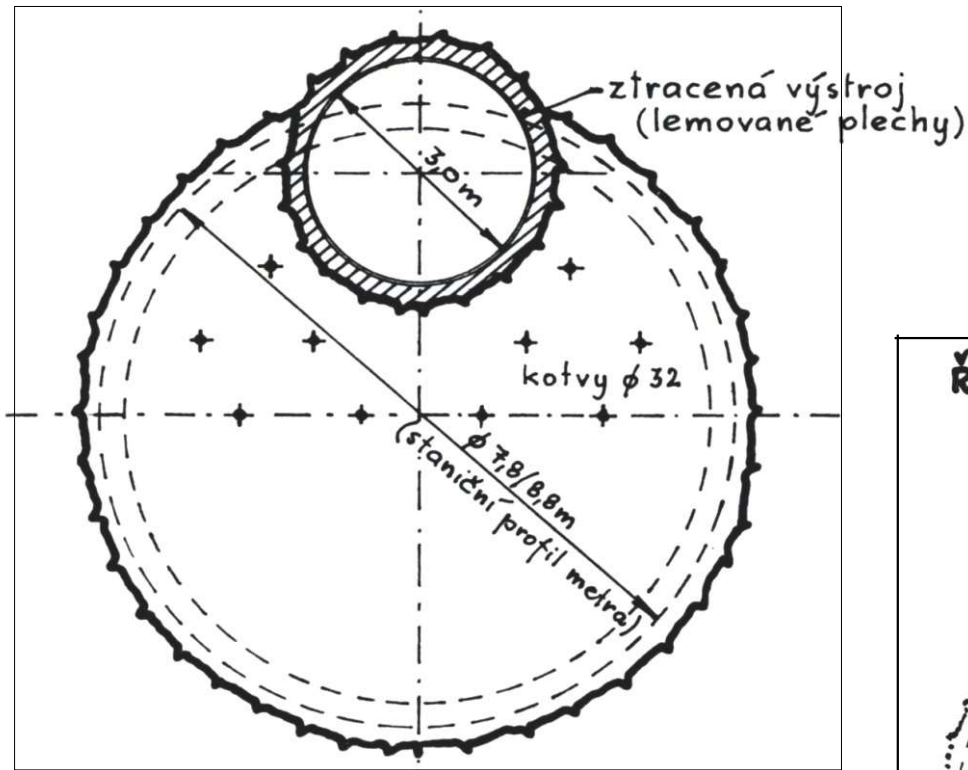


# Základní atributy prstencové metody

- Obvykle kruhový tvar ostění z dílců (tubingů) – ukládání erektoem
- Tvarově neurčité ostění (staticky přeurčité) – nutná okamžitá výplňová injekce
- Nečleněný výrub – problémy se stabilitou čelby (pilot-štola, kotvení čelby)
- „Univerzální“ metoda (bezpečnost vs. hospodárnost)

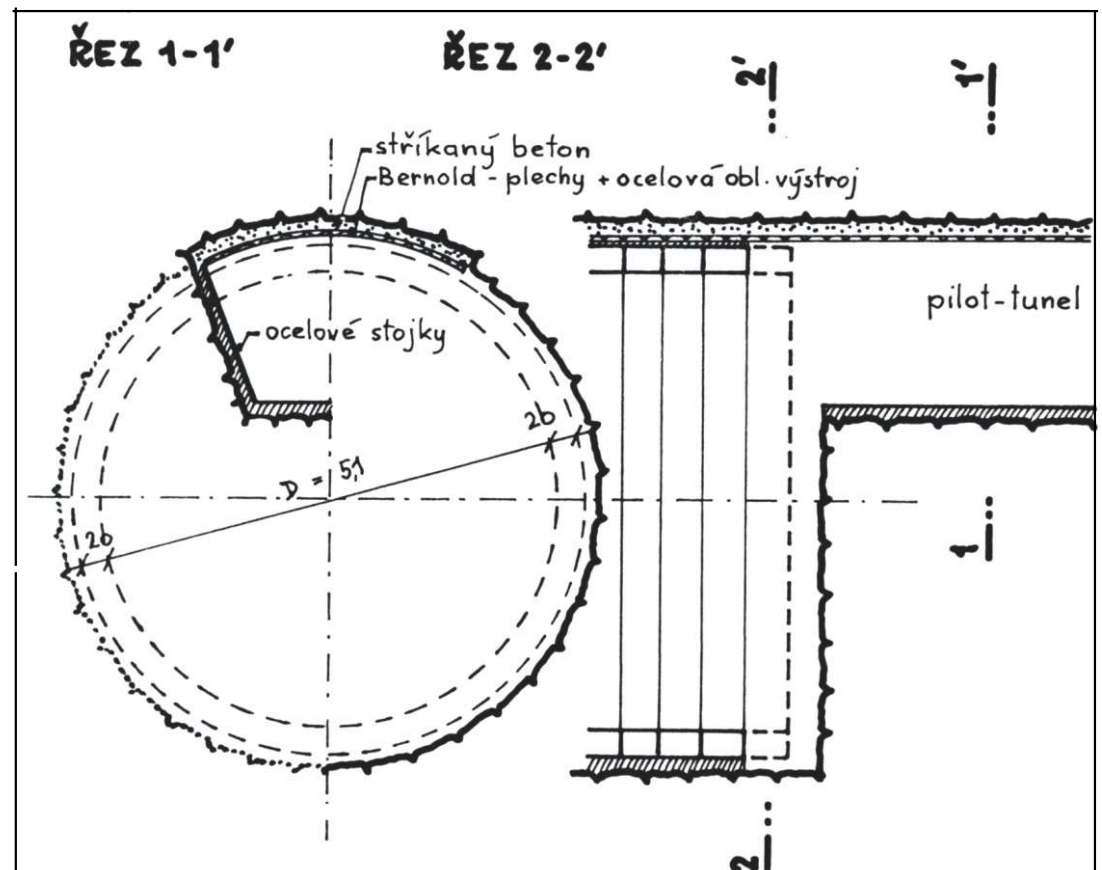
# Stabilizace čelby

(„pražská“ prstencová metoda)



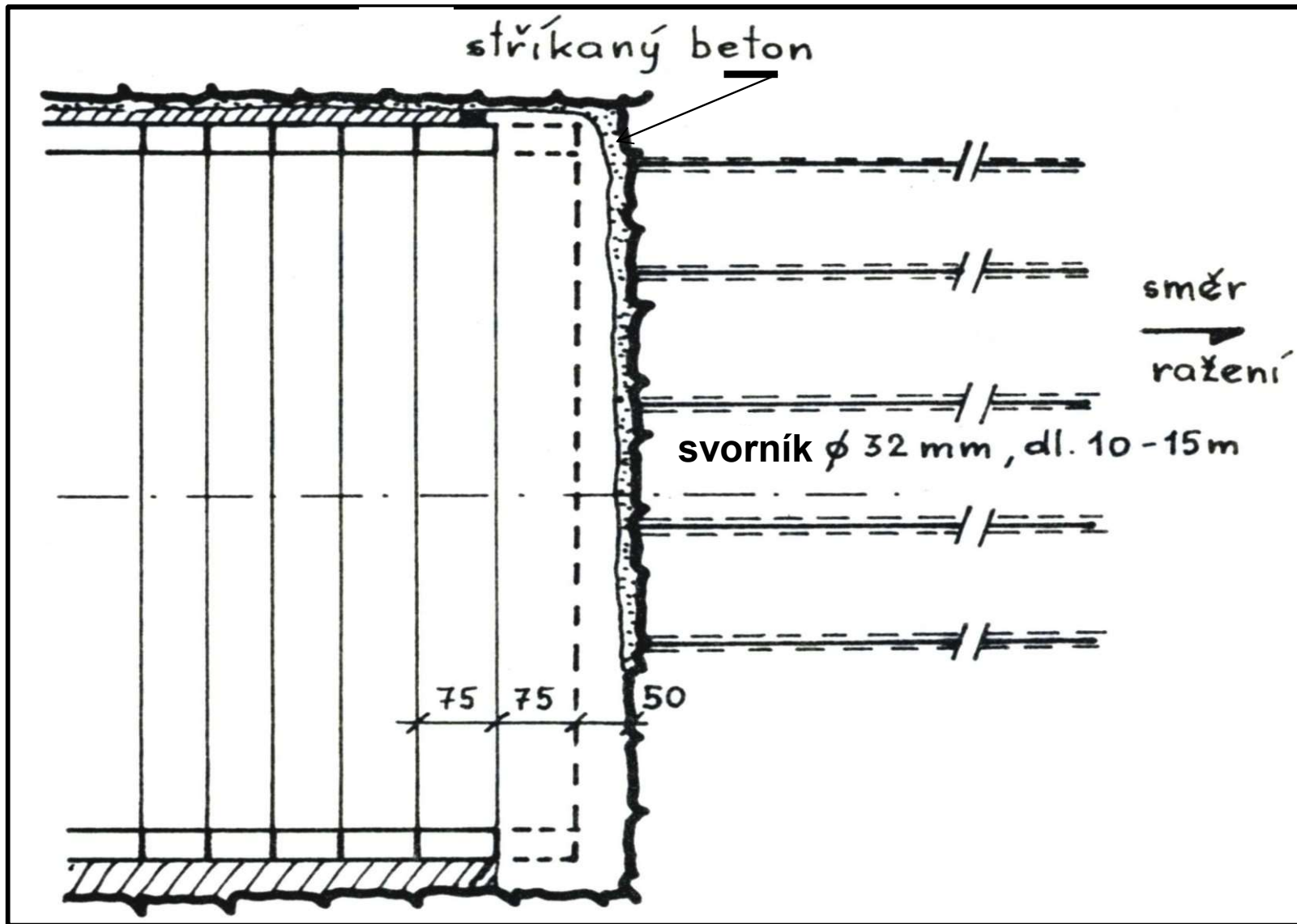
Kruhový pilot tunel v kalotě

## „Lichoběžníkový“ tunel v kalotě

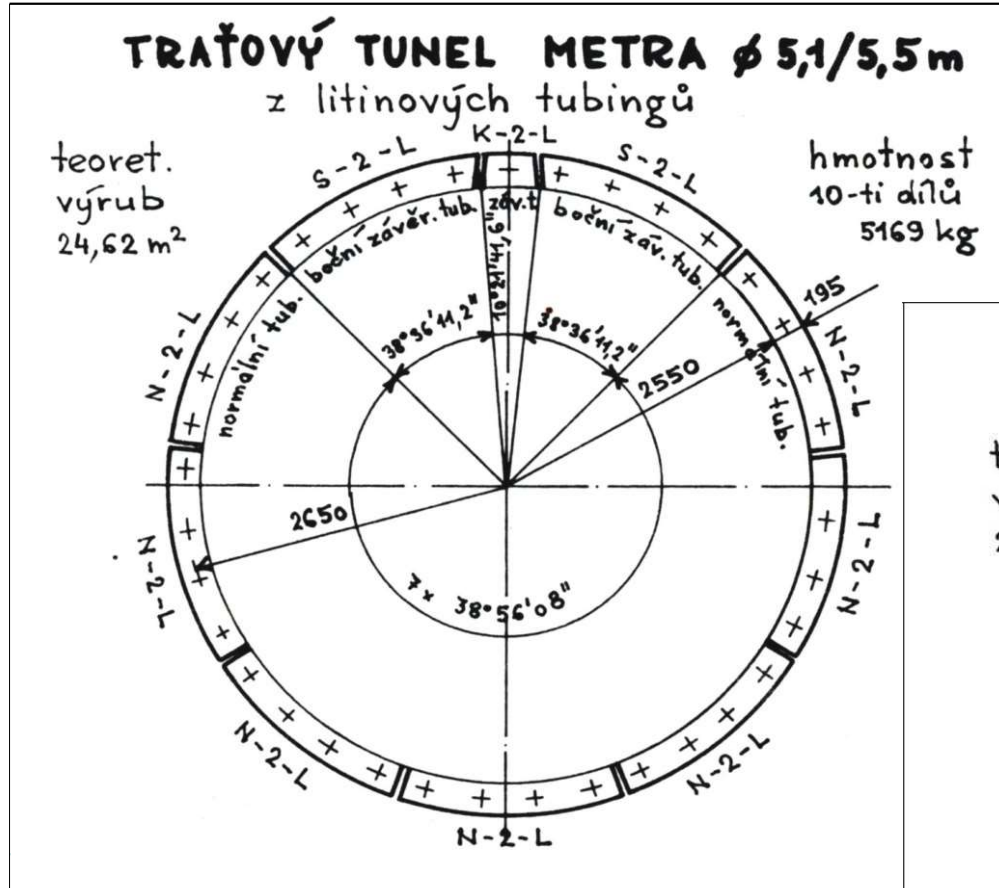


# Stříkaný beton a kotvení čelby

(„pražská“ prstencová metoda)

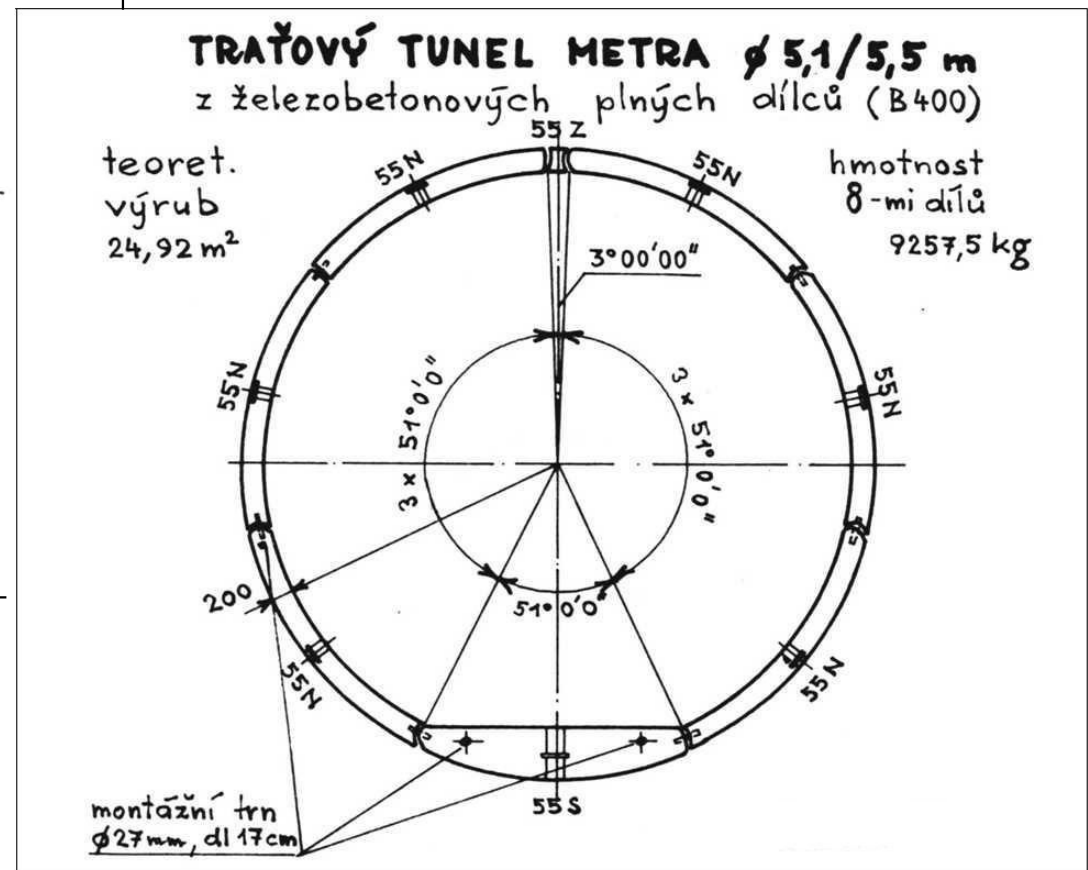


# Tubingové ostění traťových tunelů metra

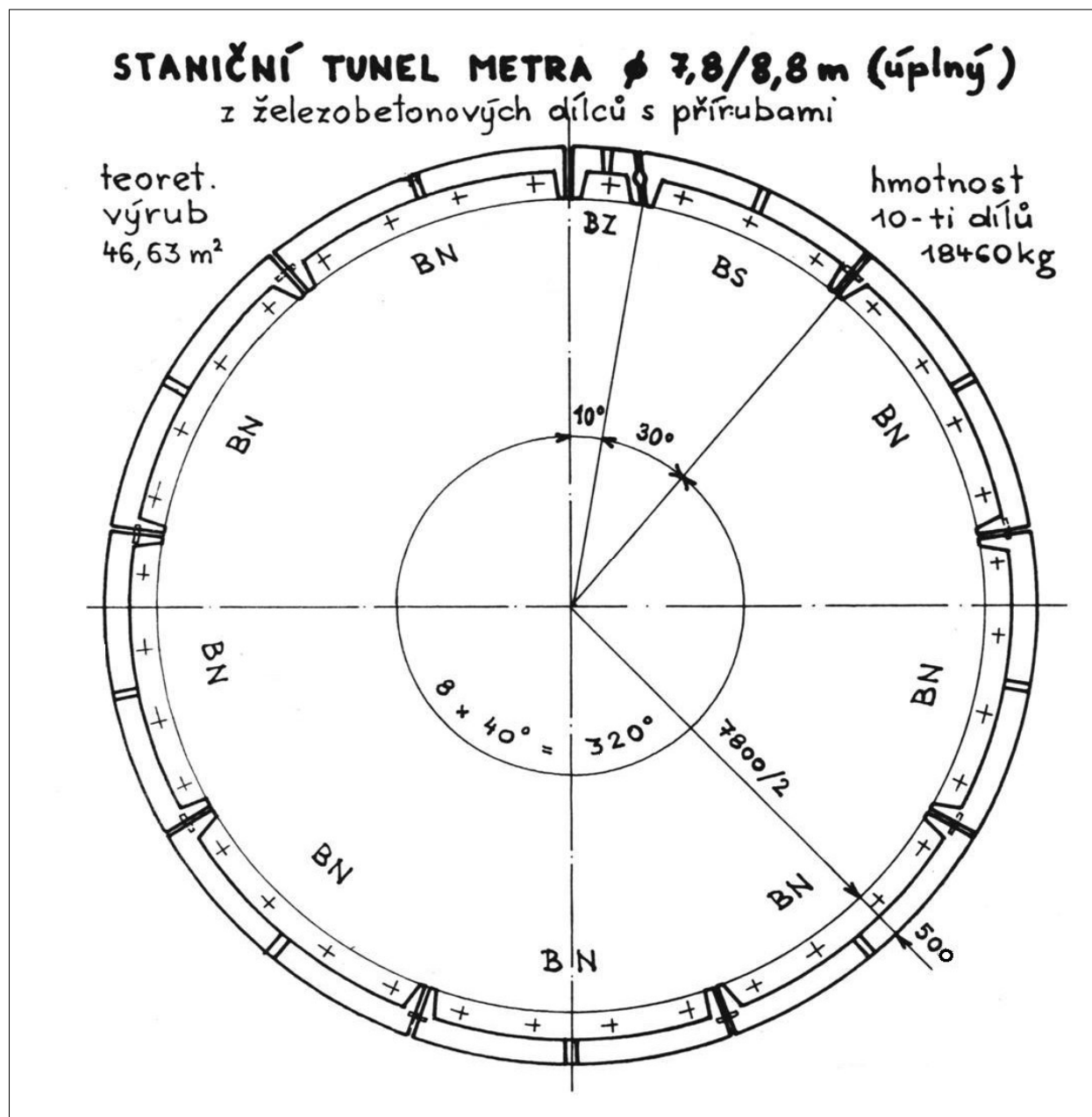


Litinové tubingy

## Železobetonové tubingy



# Tubingové ostění staničních tunelů



# B. NOVÁ RAKOUSKÁ TUNELOVACÍ METODA

- **Název metody:** (NÖT, NRTM) versus (Spritzbetonbauweise, SEM, SCL)
- **Historický vývoj:**
  - Prof. L. von Rabcewicz – patent z roku 1948 – **zajištění výrubu dvouvrstevným ostěním**
  - Ing. A Brunner – patent z roku 1953 – **provizorní zajištění stříkaným betonem**
  - Prof. L. von Rabcewicz – 1962 Salzburg – 22 zásad **nového postupu tunelování nazvaného NÖT**, který se rychle ujal.





Rakouská soustava  
(zajištění výrubu výdřevou)

**NRTM**  
(zjištění stříkaným betonem)

Zásadní rozdíl mezi  
provizorní výztuží  
**Rakouské soustavy**  
a  
**Nové rakouské  
tunelovací metody**



# Observační metoda

- Vznik v 50. letech
- V 90. letech 20. století zakotvena v normách **EUROCODE** jako jeden ze způsobů navrhování a posuzování konstrukcí:
  - Statický výpočet
  - Přijetí předepsaných opatření
  - Experimentální modely a zatěžovací zkoušky
  - **Observační metoda**
- Od 60. let využívána při použití NRTM



# Observační metoda - obecně

PRINCIP: **Základní návrh konstrukce je možno upravovat v průběhu výstavby**

POŽADAVKY:

1. Provést **návrh základní konstrukce** a stanovit meze pravděpodobného chování konstrukce
2. Provádět **monitoring** chování (observace vybraných veličin)
3. Měřené hodnoty musí ležet ve stanovených mezích nebo **splňovat očekávané trendy**
4. V opačném případě aplikovat připravená (i materiálově) opatření → **zastavení nepříznivého vývoje**

# Observační metoda - tunely

PRINCIP: Postup ražby a způsob vyztužování výrubu se upravuje v průběhu ražby

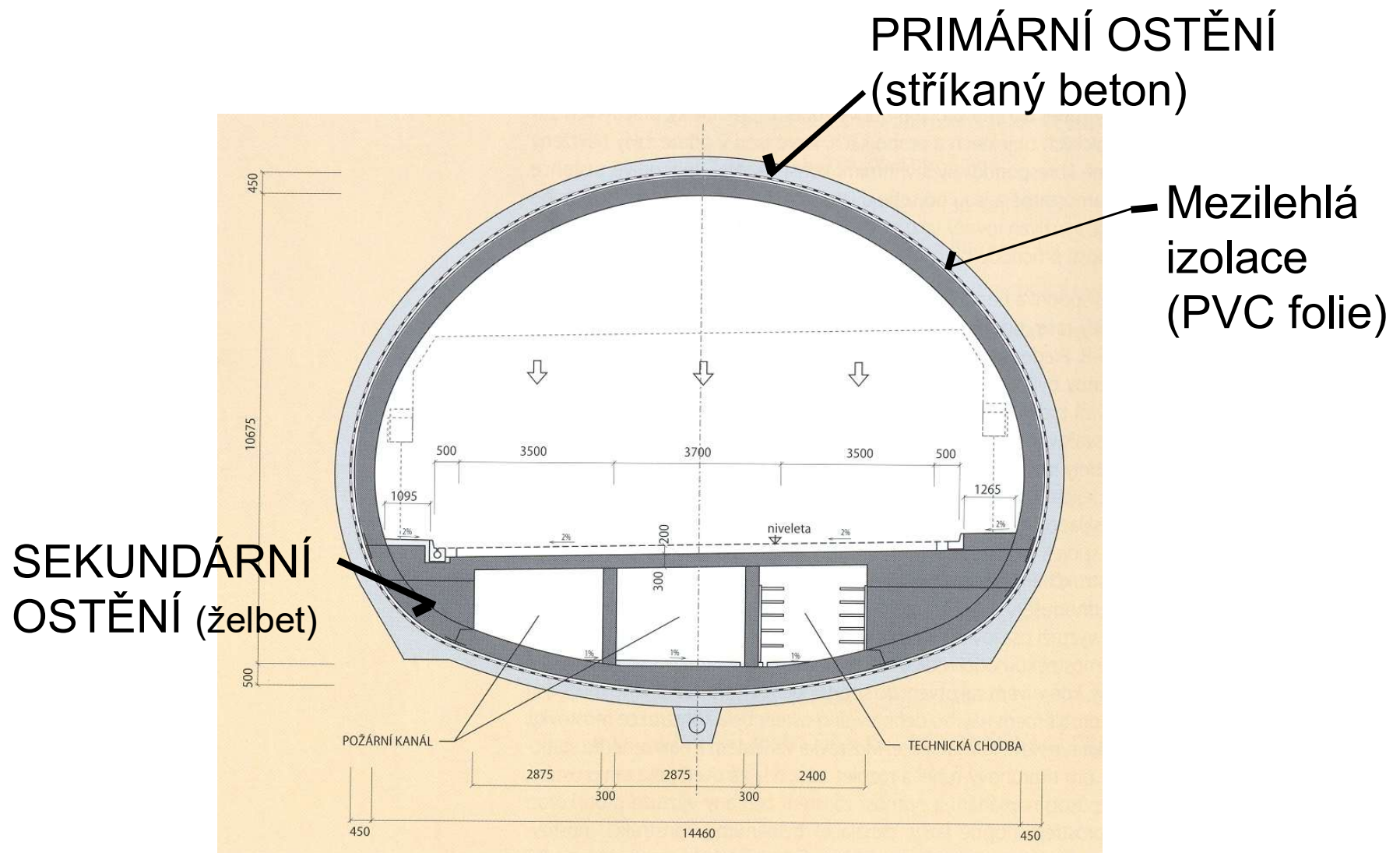
POŽADAVKY:

1. Základní návrh primárního ostění pomocí armovaného SB, obvykle se svorníky - stanoveny meze deformací
2. Monitoring deformací primárního ostění (konvergenční měření)
3. Nepříznivý průběh deformací primárního ostění nutno zastavit – zkrácení záběru, zahuštění svorníků, členění čelby, uzavření ostění, zesílení primáru
4. Po ustálení deformací se provede sekundární ostění

# Základní principy NRTM

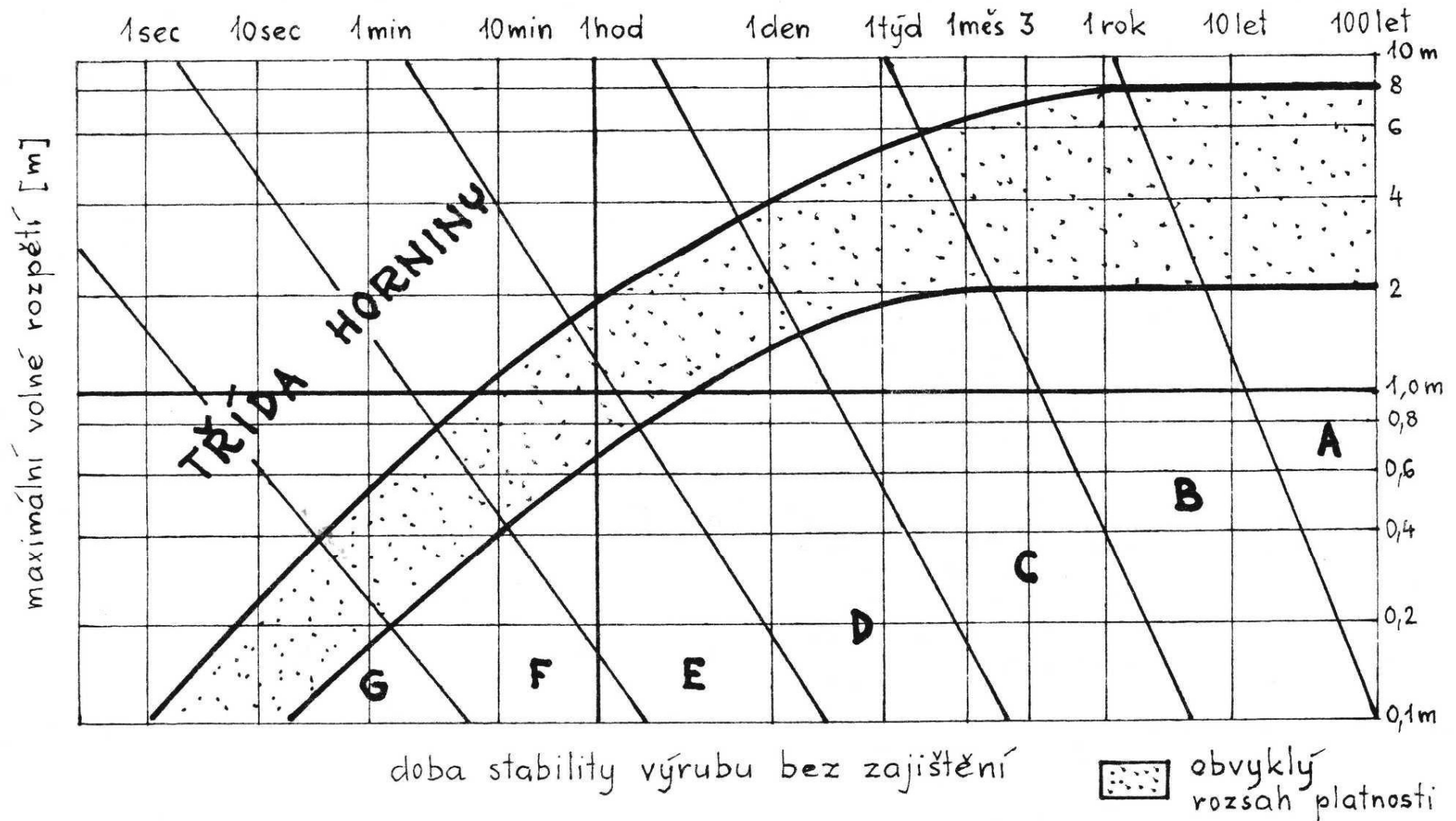
- Nosné spolupůsobení horninového masivu s primárním ostěním
- Odhad doby stability nevystrojeného výrubu
- Plošné podepření výrubu pomocí SB se zvyšující se tuhostí
- Deformace masivu vedou ke snížení horninového tlaku na výrub i primární ostění – Fenner-Pacherova křivka
- Optimální odhad okamžiku instalace primárního ostění a jeho tuhosti
- Použití doplňujících stabilizačních a protideformačních opatření
- Po ustálení deformací primáru se instaluje sekundární ostění

# Dvouplášťové ostění (NRTM)



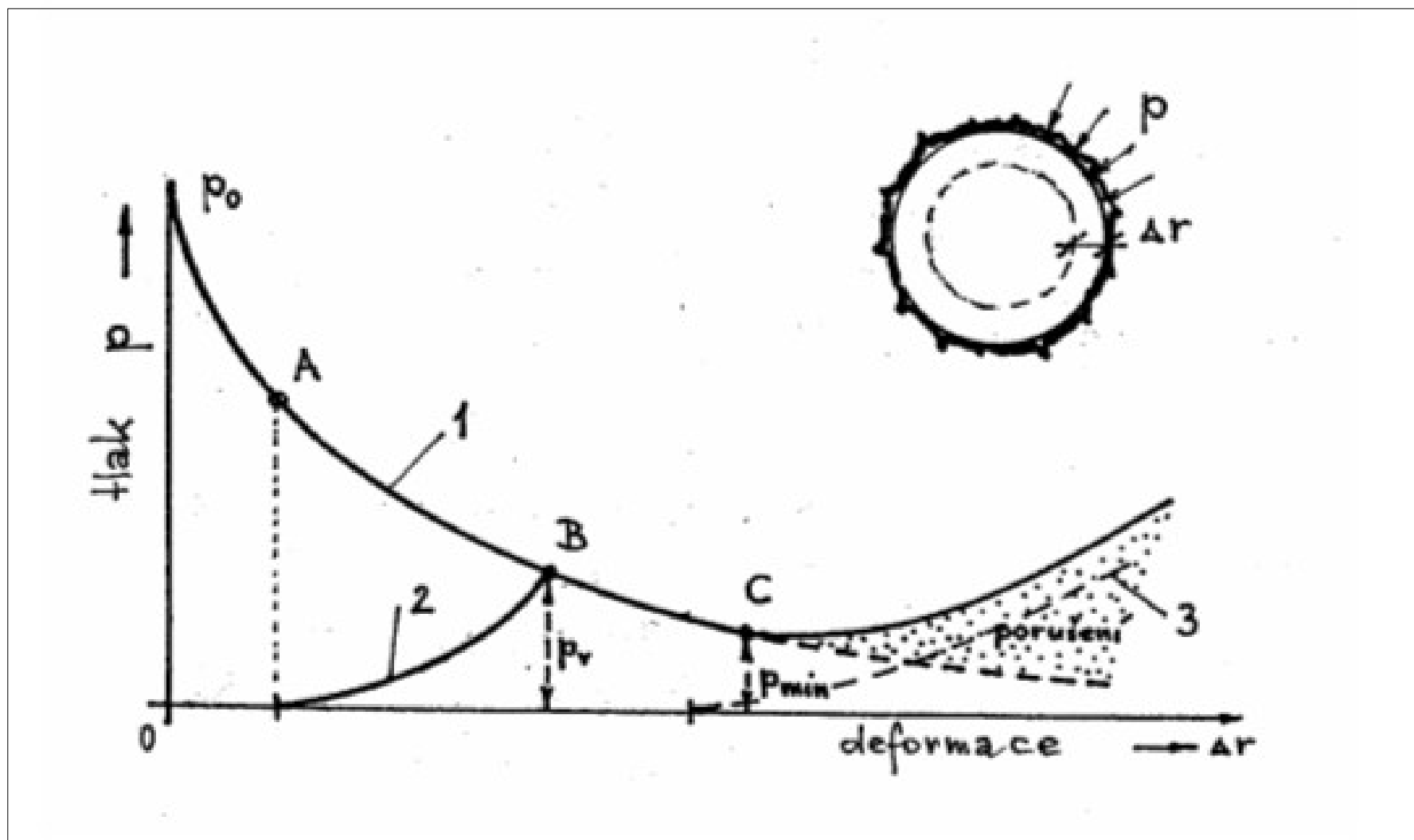
Tunel Mrázovka (pražský MO)

# Lauferův diagram



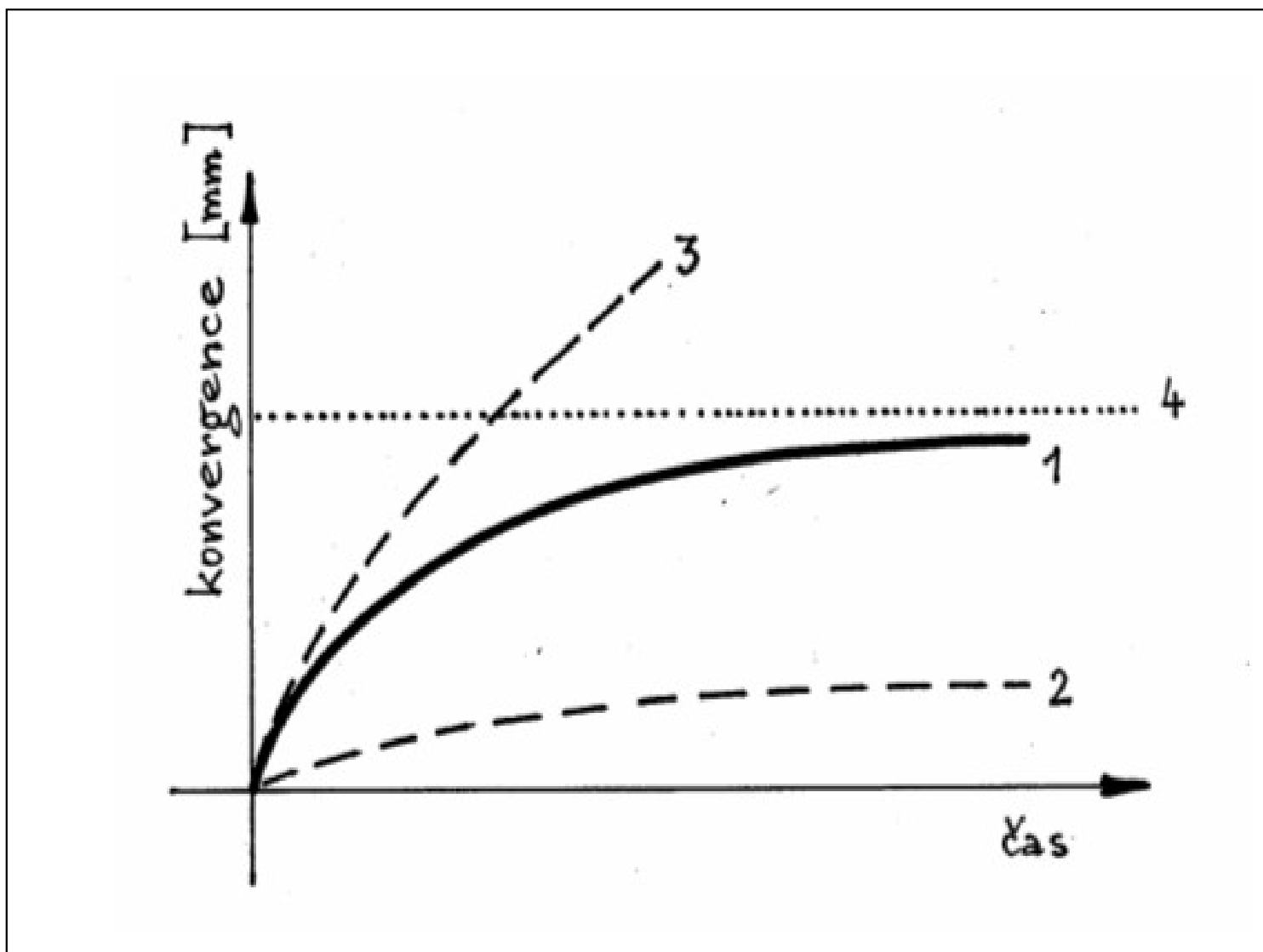
Určení doby stability nevystrojeného výrubu

# Fenner – Pacherova závislost



- 1 – křivka reakce horninového masivu 2 – křivka odporu včas zabudované výstroje  
3 – křivka odporu pozdě zabudované a příliš poddajné výstroje

# Monitoring deformací primárního ostění



# Druhy monitoringu

Měření vybraných veličin v rámci kontroly předpokládaného chování konstrukce

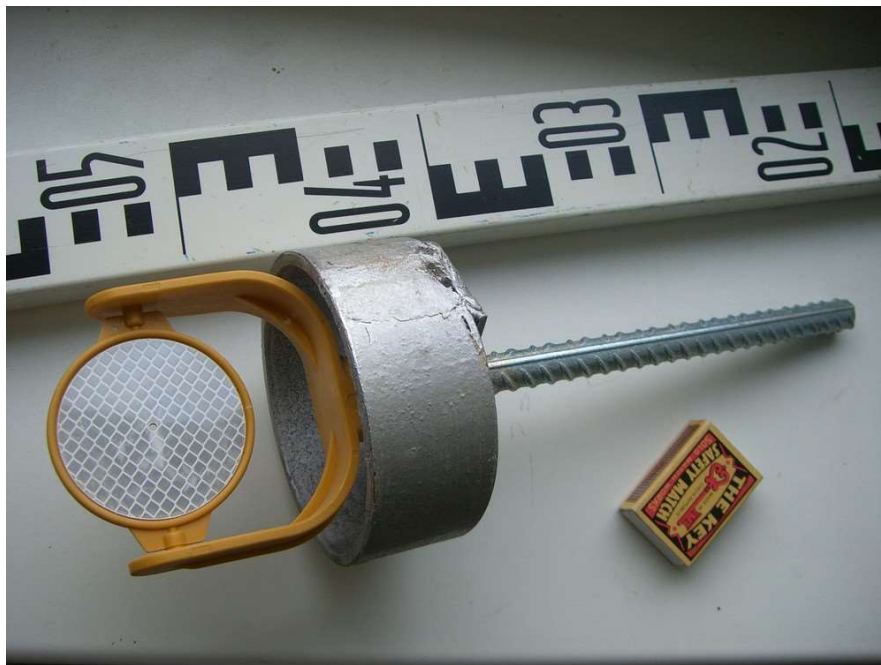
- **Deformační měření**
  - Konvergence – deformace výrubu a ostění
  - Extenzometry – deformace nadloží
  - Nivelace – deformace terénu



# Druhy monitoringu

Měření vybraných veličin v rámci kontroly předpokládaného chování konstrukce v čase

- **Deformační měření**
  - Konvergence – deformace výrubu a ostění



# Druhy monitoringu

Měření vybraných veličin v rámci kontroly předpokládaného chování konstrukce

- **Deformační měření**
  - **Extenzometry – deformace nadloží**

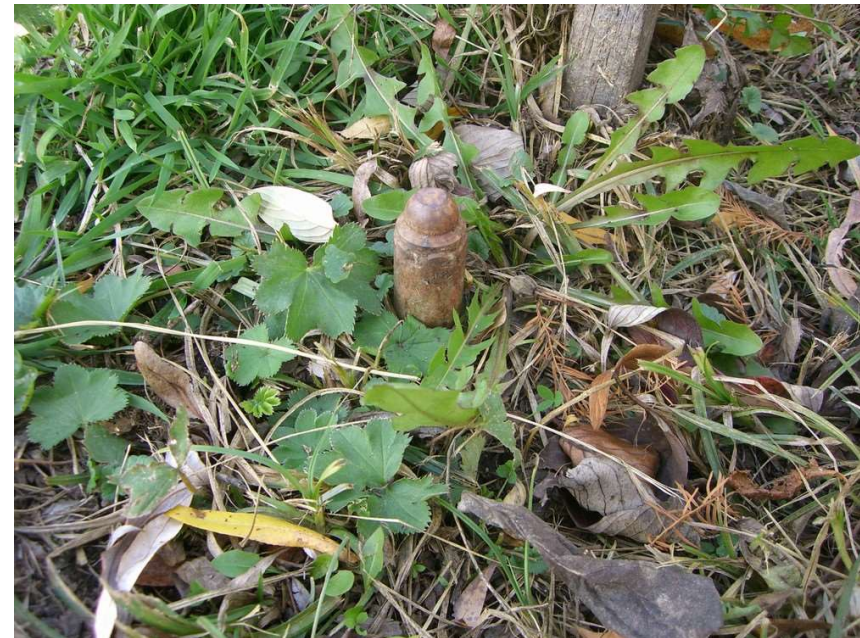




# Druhy monitoringu

Měření vybraných veličin v rámci kontroly předpokládaného chování konstrukce

- **Deformační měření**
  - Nivelace – deformace terénu



# Druhy monitoringu

Měření vybraných veličin v rámci kontroly předpokládaného chování konstrukce

- **Měření napětí**
  - Kontaktní napětí na rubu ostění

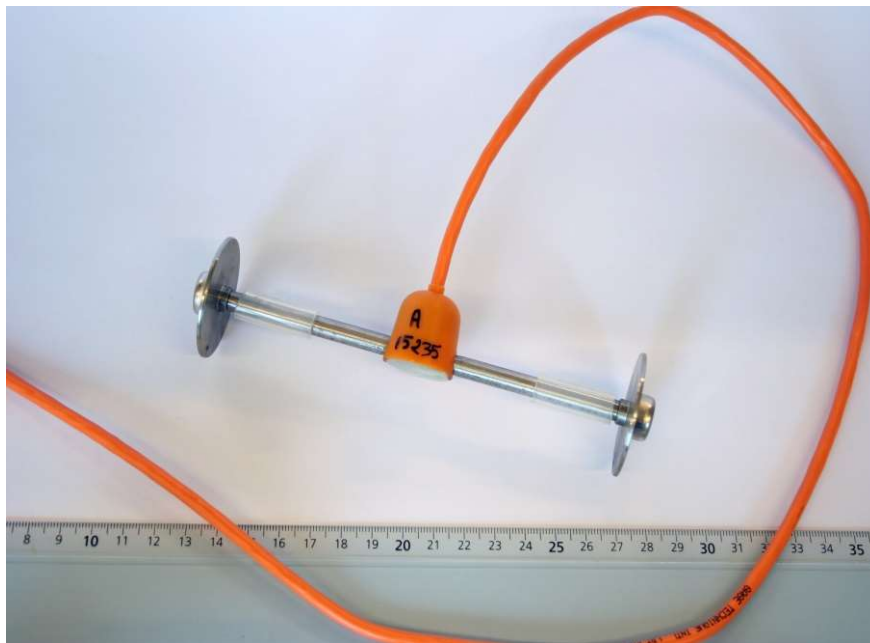




# Druhy monitoringu

Měření vybraných veličin v rámci kontroly předpokládaného chování konstrukce

- **Měření napětí**
  - Normální napětí v primárním ostění



# Druhy monitoringu

Měření vybraných veličin v rámci kontroly předpokládaného chování konstrukce

- **Deformační měření**
  - Konvergence – deformace výrubu a ostění
  - Extenzometry – deformace nadloží
  - Nivelace – deformace terénu
- **Měření napětí**
  - Kontaktní napětí na rubu ostění
  - Normální napětí v primárním ostění
- **Měření sil**
  - Namáhání svorníků
  - Změny předpětí v kotvách



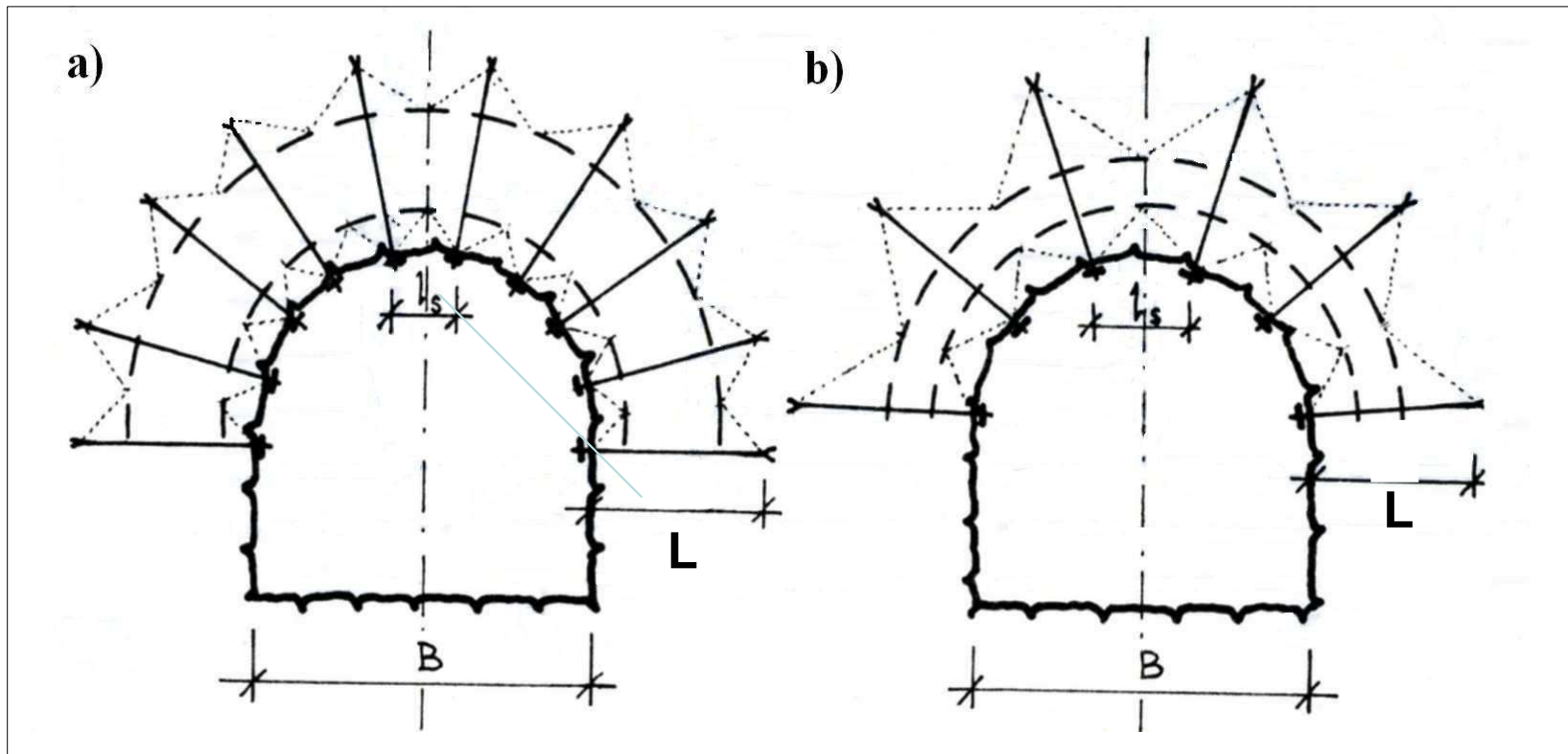
# Doplňující stabilizační opatření

- Zkrácení záběru (0,8 m až 2,0 m)
- Zahuštění a/nebo prodloužení svorníkové výztuže
- Opěrný pilíř čelby
- Kotvení čelby
- Členění čelby

## Předstihová opatření

- Jehlování
- Mikropilotové deštníky
- Předklenba z tryskové injektáže

# Posílení svorníkové výztuže



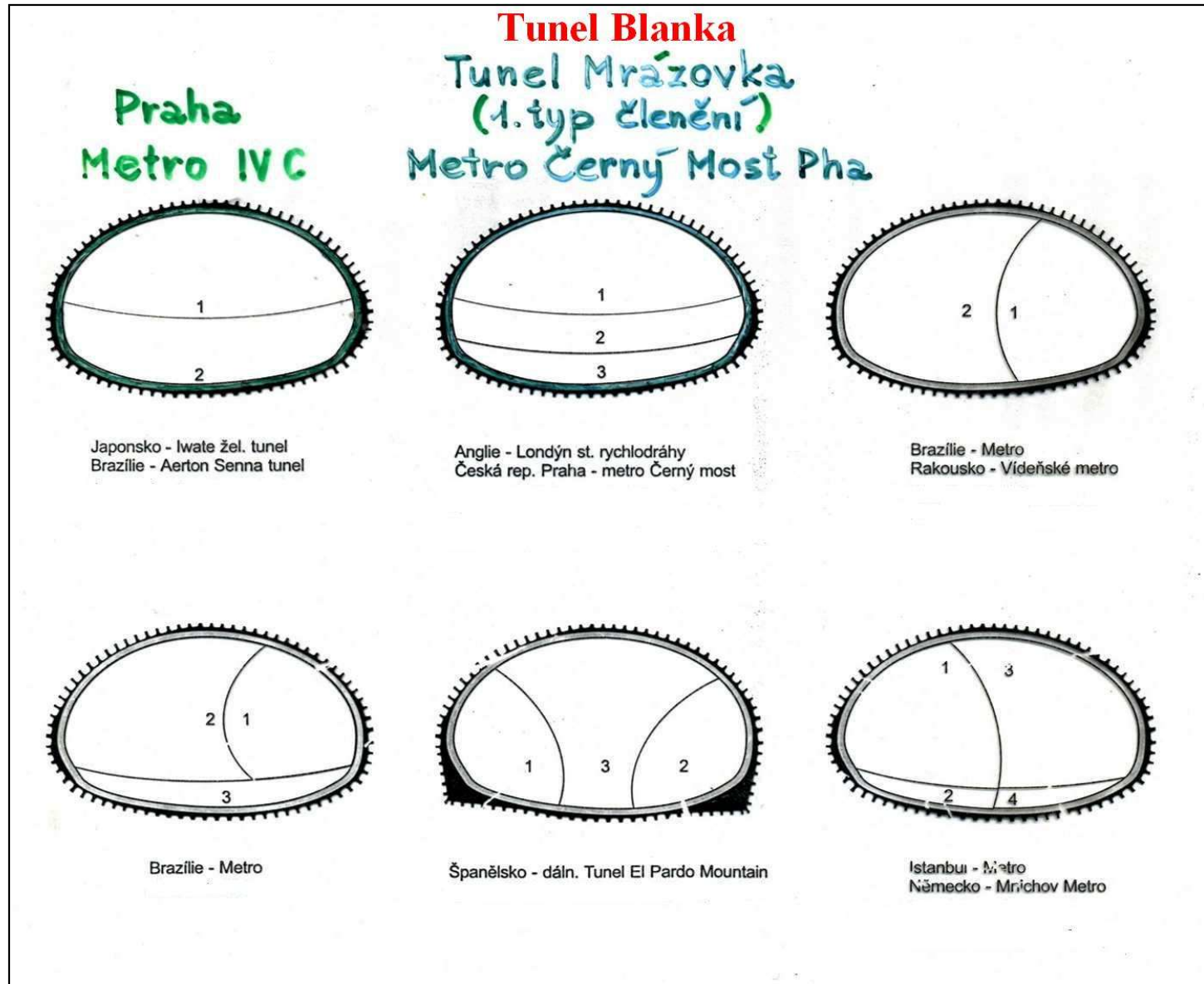
$$l_s : L = 1 : 3$$

$$l_s : L = 1 : 2$$

**Svorníky - ocelové tyčové prvky upnuté ve vrtech.**

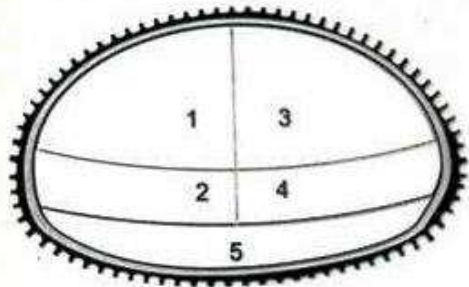
Obvykle bez předpětí, osová síla se realizuje vlivem deformací horninového masivu. Kolem výrubu vzniká zóna s vyšší smykovou pevností

# Typy členění výrubu - I

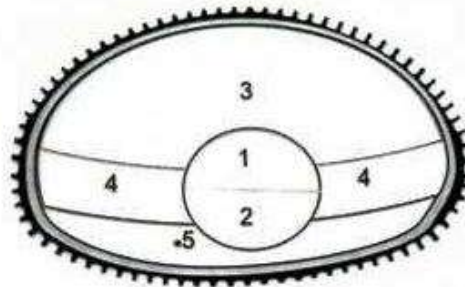


# Typy členění výrubu - II

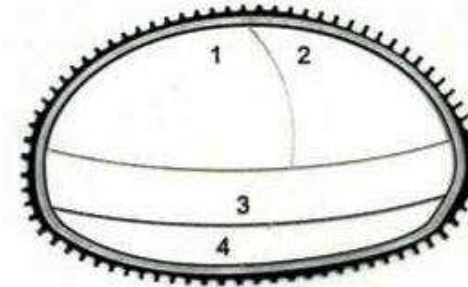
## Tunel Blanka (členění po 1. propadu)



Německo - Bochum tunel  
Německo - Frankfurt  
Germany - Bochum tunnel  
Germany - Frankfurt

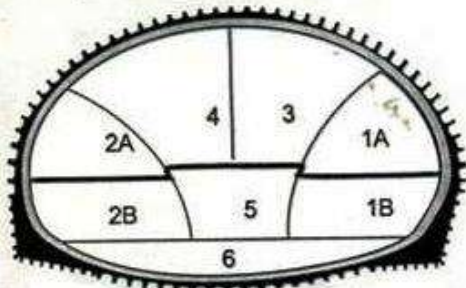


Anglie - Londýn metro  
Brazílie - Sao Paolo  
England - London subway  
Brazil - Sao Paolo

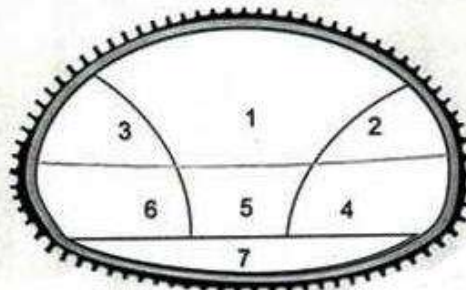


Japonsko - Maiko tunel  
Anglie - Londýn Metro  
Japan - Maiko tunnel  
England - London subway

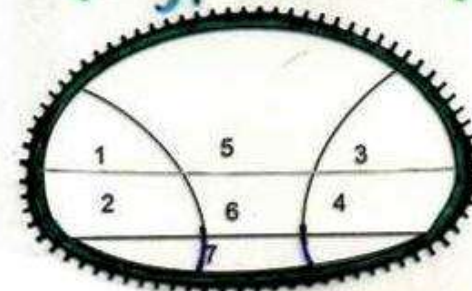
## Mražovka - Praha (2. typ členění)



Portugalsko - Gordunha tunel  
Portugal - Gordunha tunnel



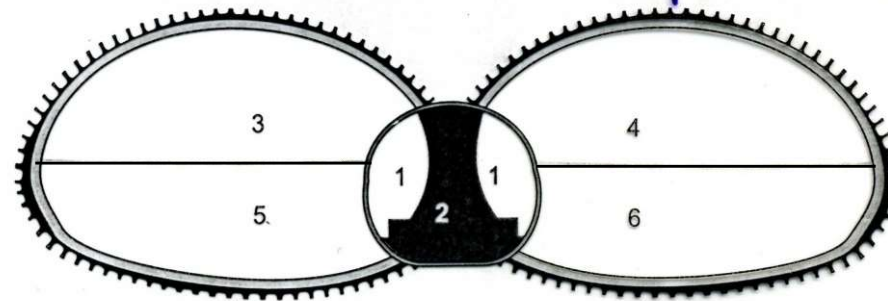
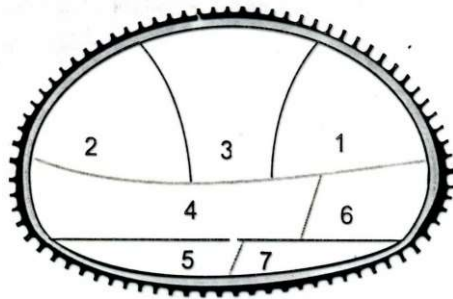
Portugalsko - Carenque tunel  
Portugal - Carenque tunnel



Itálie - Barzoli kaverna  
Německo - Essen  
Italy - Barzoli cavern  
Germany - Essen

# Typy členění výrubu - III

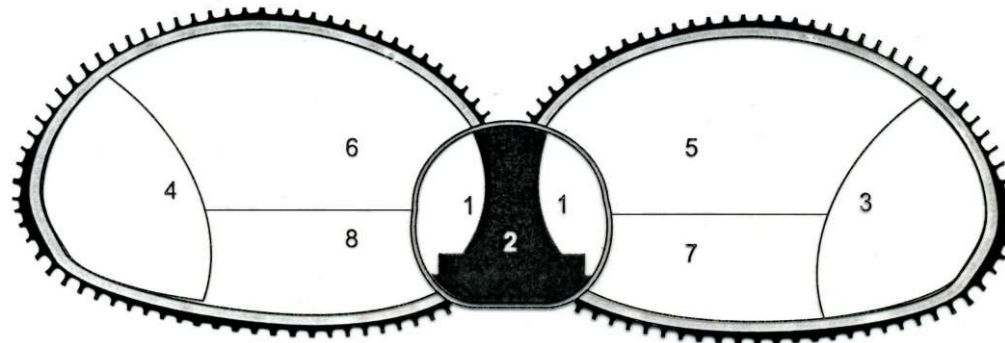
## Tunel Valík (původní návrh)



Německo - Leonberg, dáln. tunel  
Německo - Mnichov  
Germany - Leonberg highway tunnel  
Germany - München

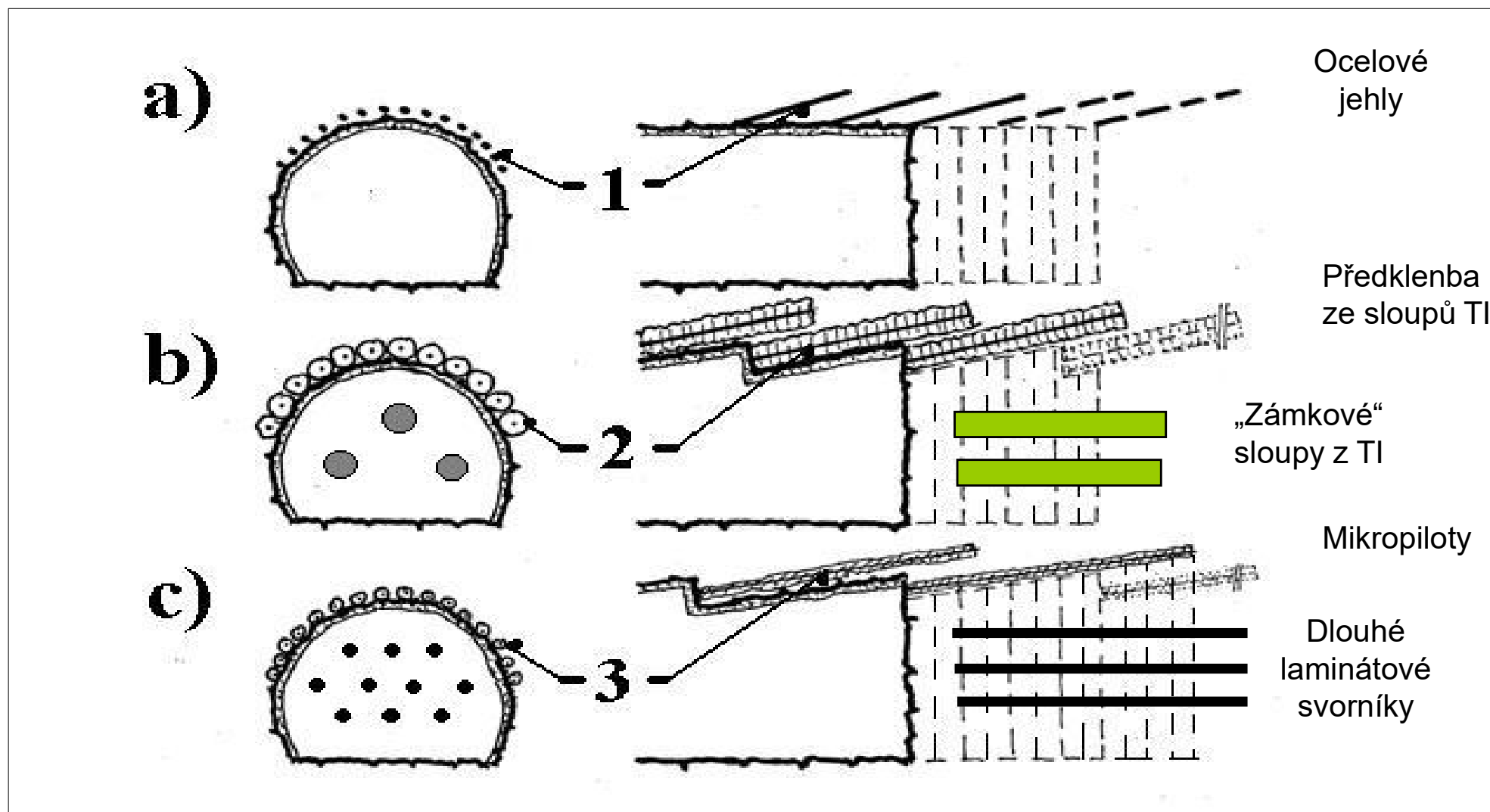
Česká Rep. - dáln. tunel Valík  
Czech Rep. - Valík highway tunnel

## Tunel Valík (realizovaný návrh)





# Předstihová stabilizační opatření

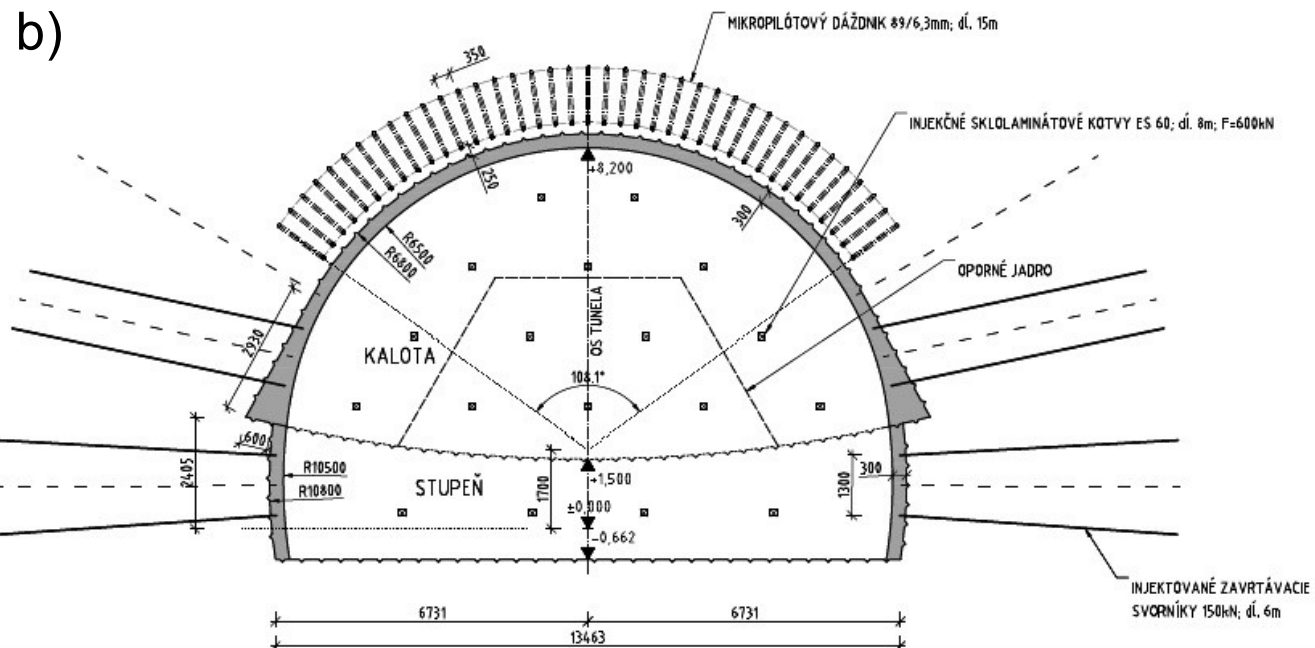
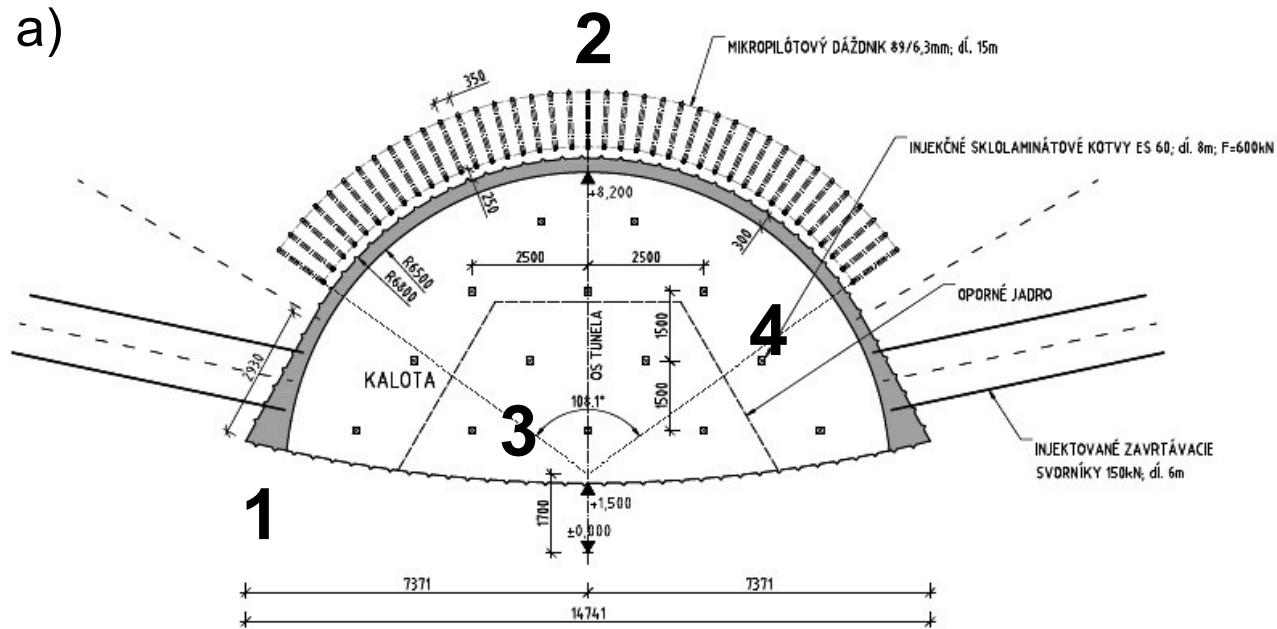


a) jehlování (3 až 5 záběrů); b) trysková injektáž (6 až 8 záběrů); c) mikropilotové deštníky (9 až 13 záběrů);



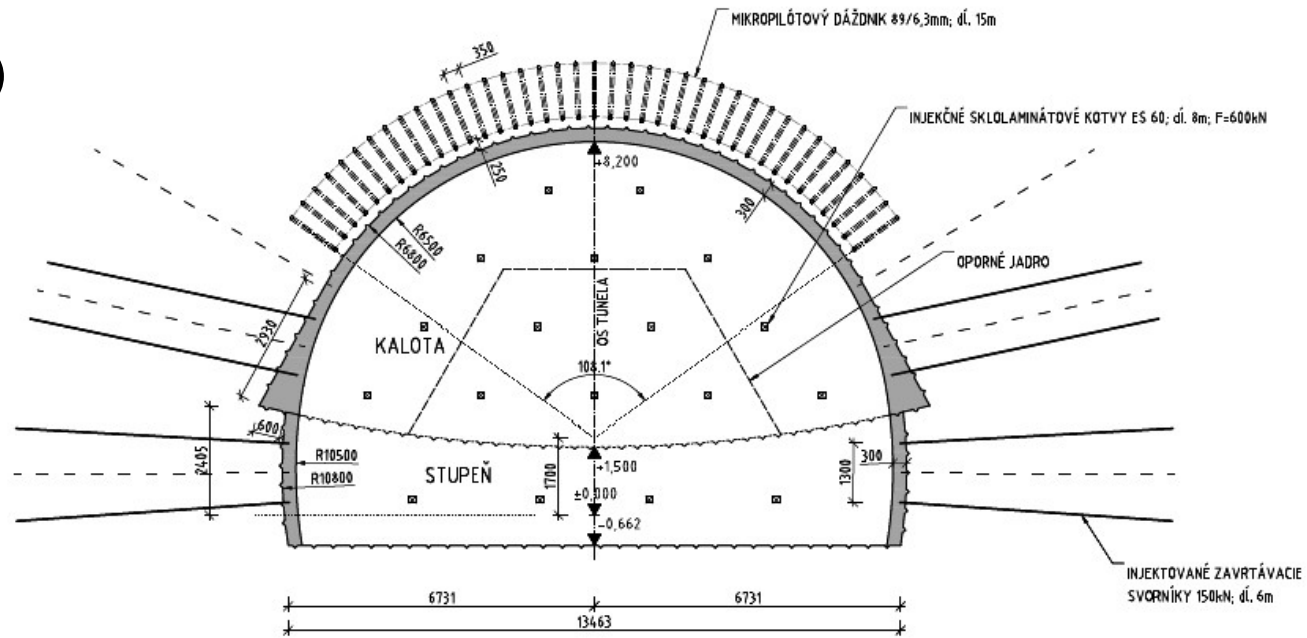
# Horizontální členění výrubu

## Výrub Kaloty



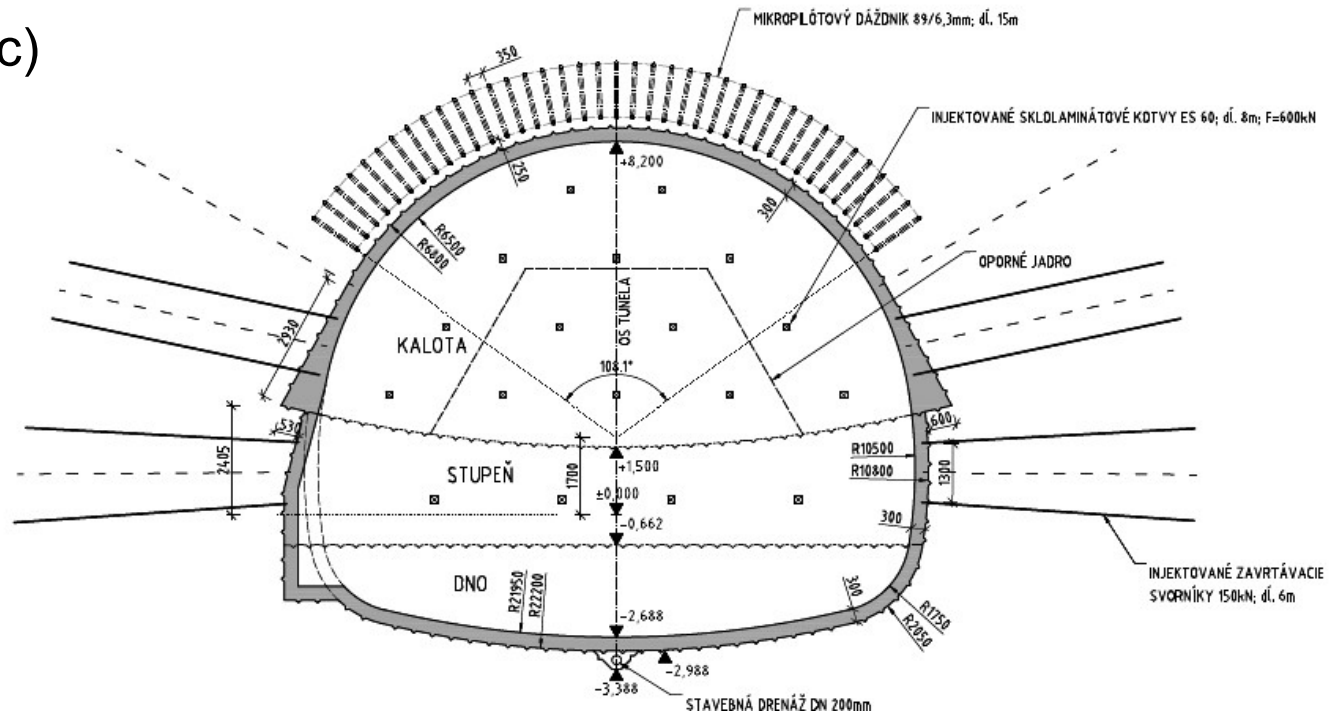
## Výrub opěří

b)



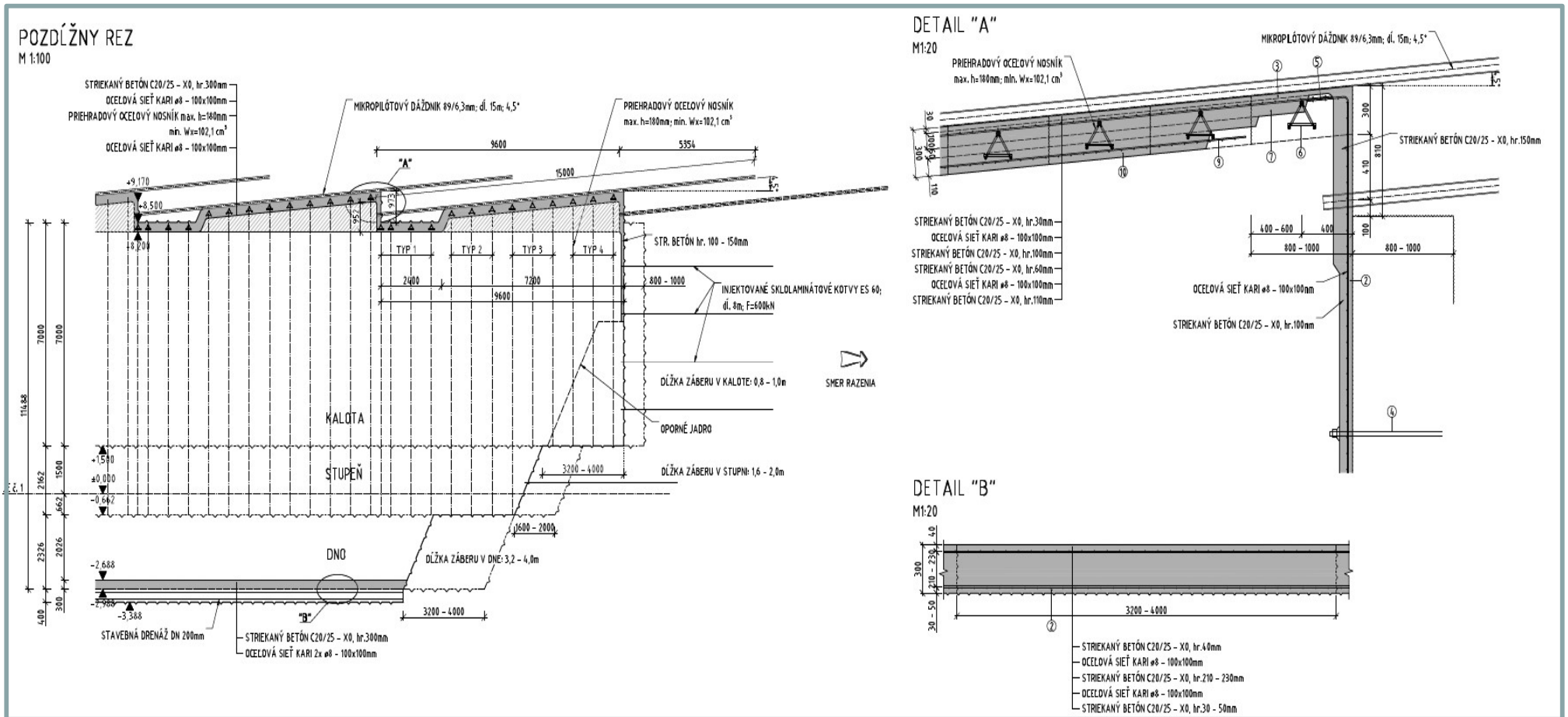
Kalota + opěři

c)



Výrub dna

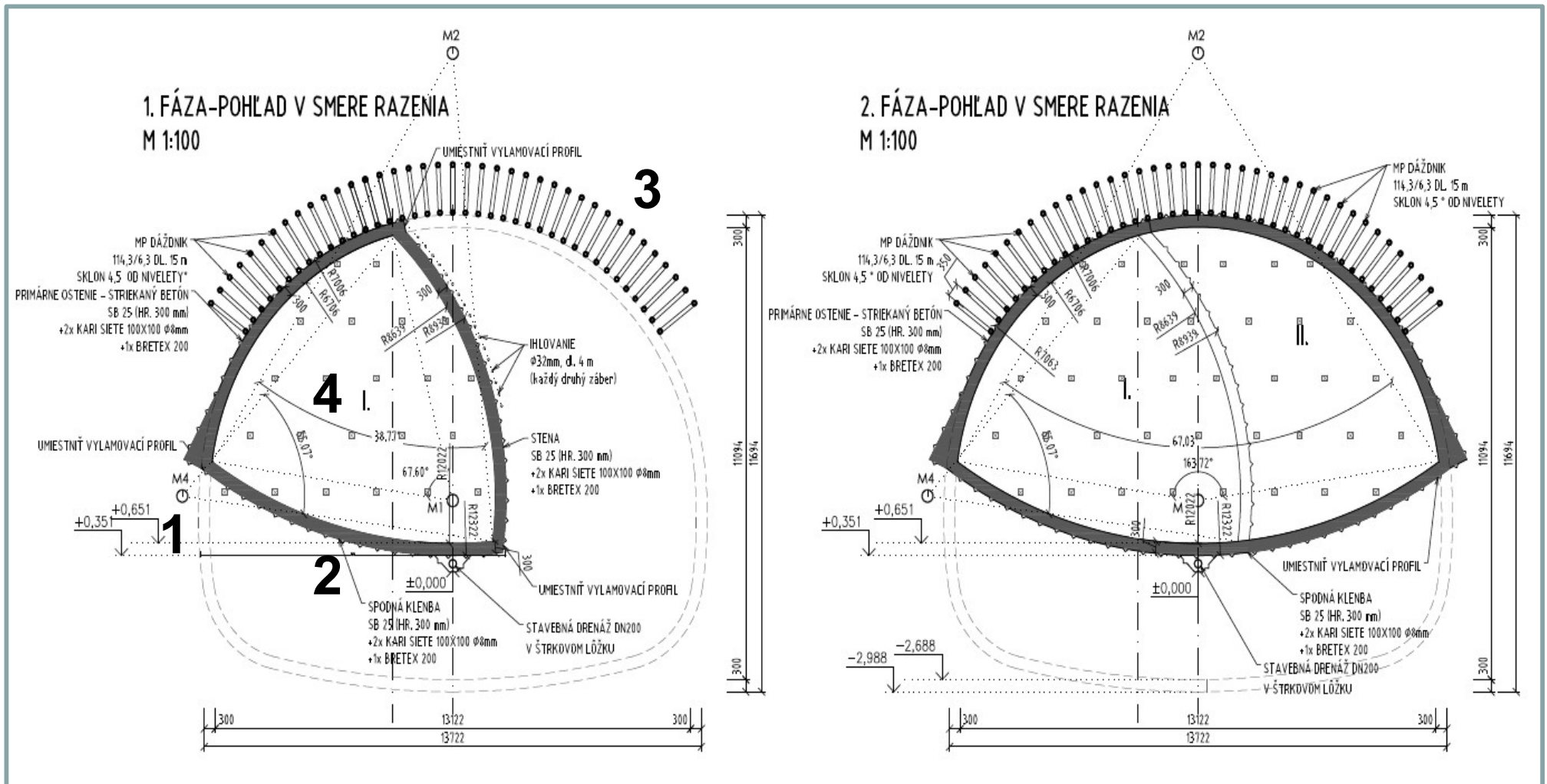
# Ražba s rychlým uzavíráním profilu spodní klenbou



a) Podélný řez

b) detaily

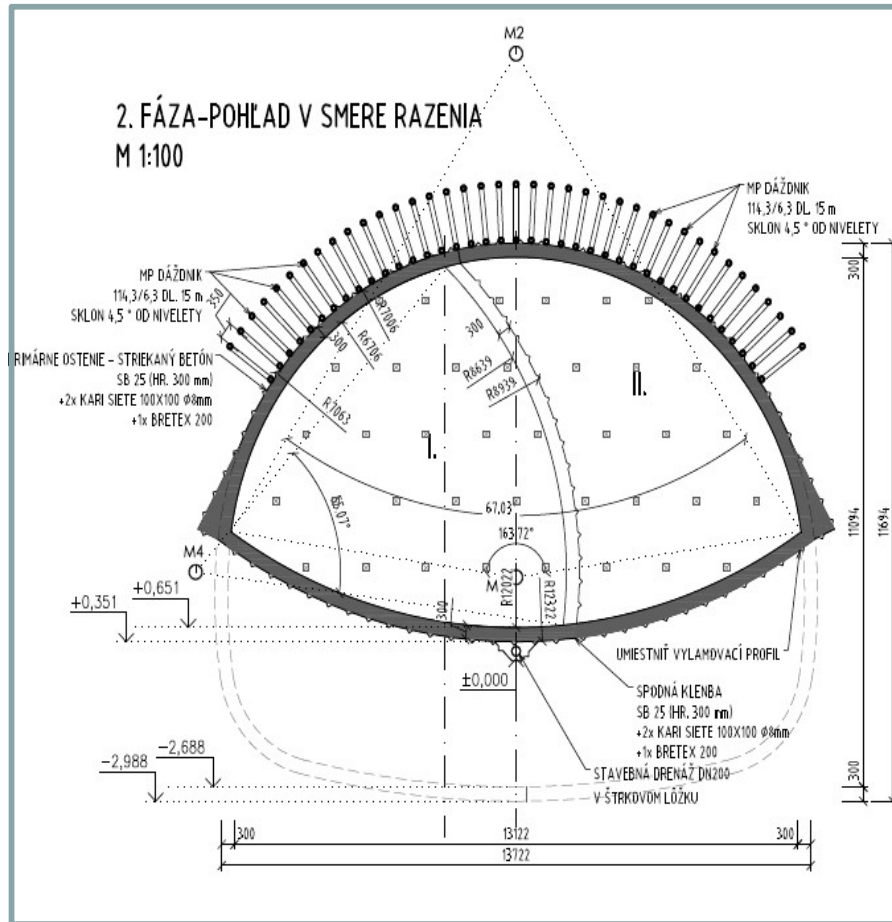
# Svislé členění výrubu se spodní klenbou v kalotě



a)

b)

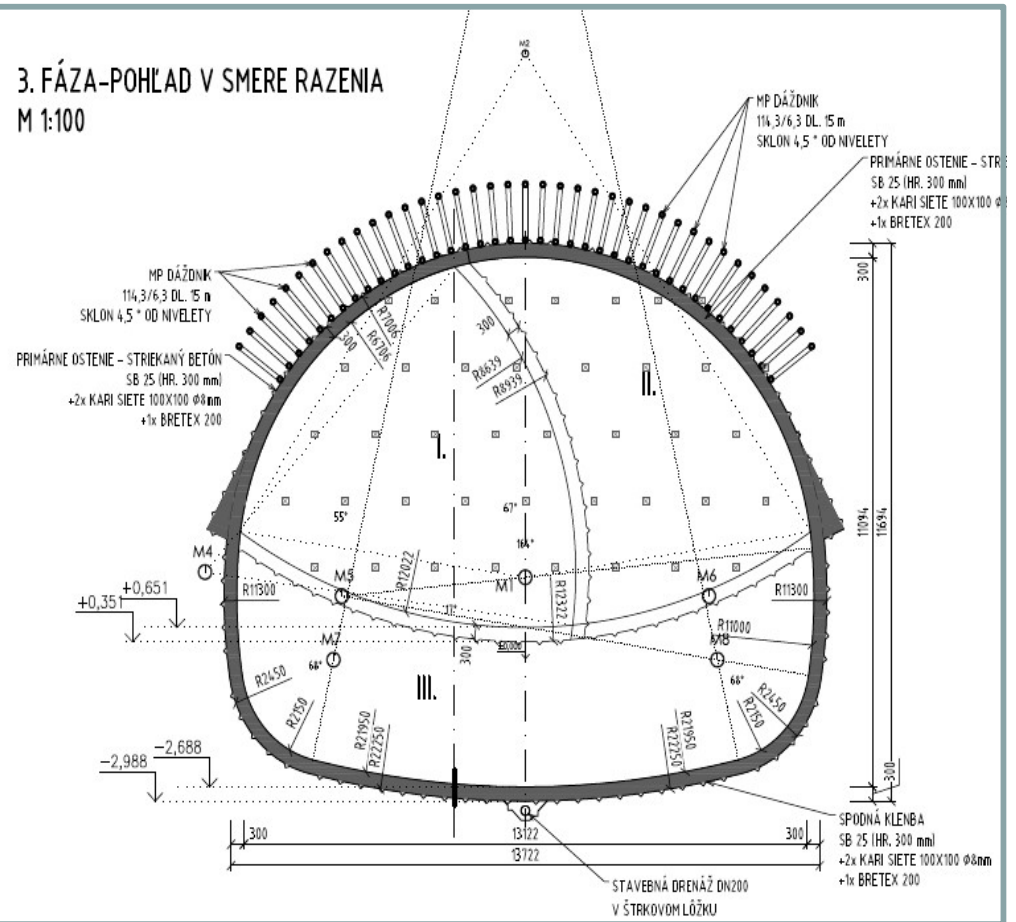
b)



Výlom kaloty se spodní klenbou

c)

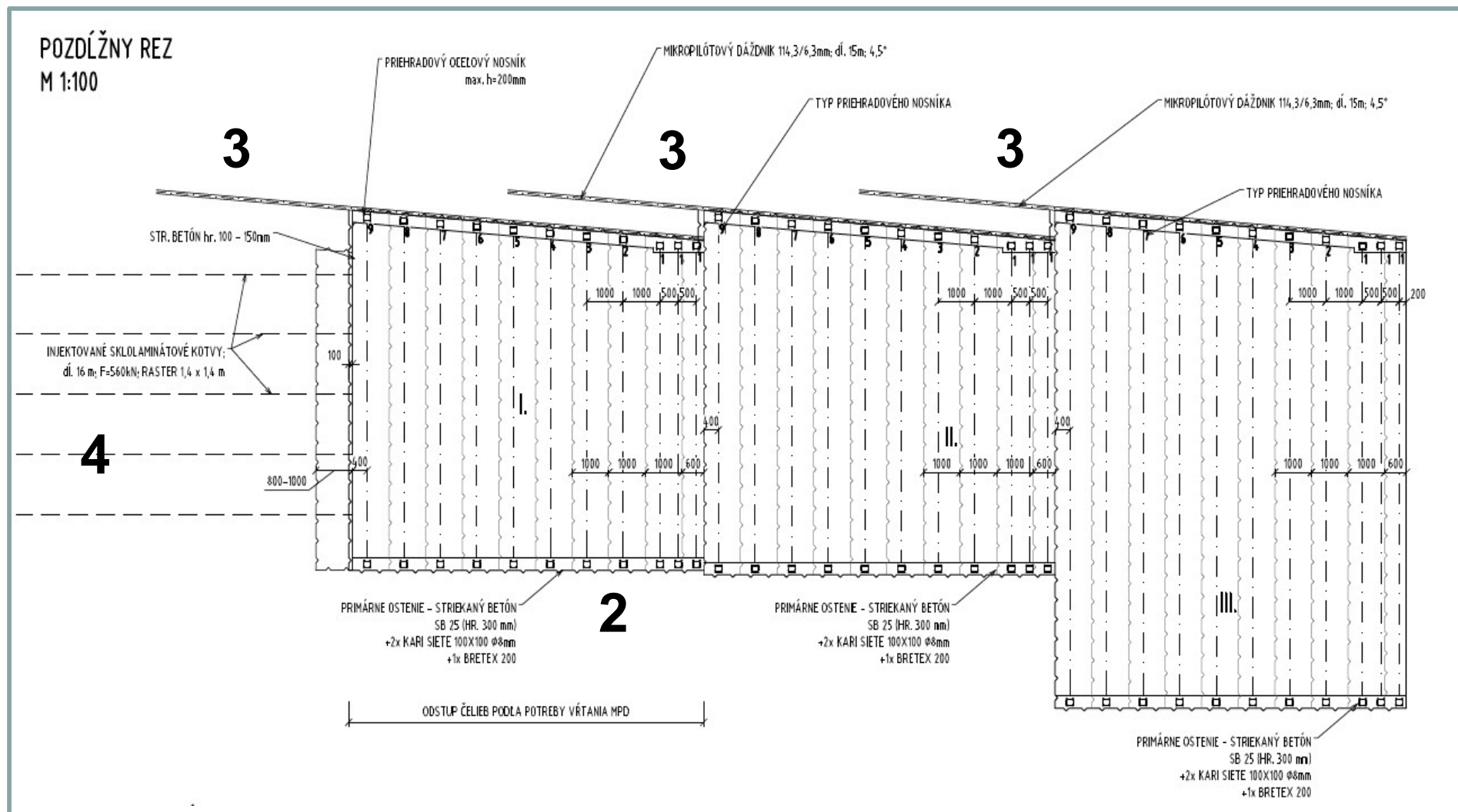
**3. FÁZA-POHLAD V SMERE RAZENIA  
M 1:100**



Výlom opěří + dno + spod. klenba



# Ražba s odstupem uzavírání profilu spodní klenbou

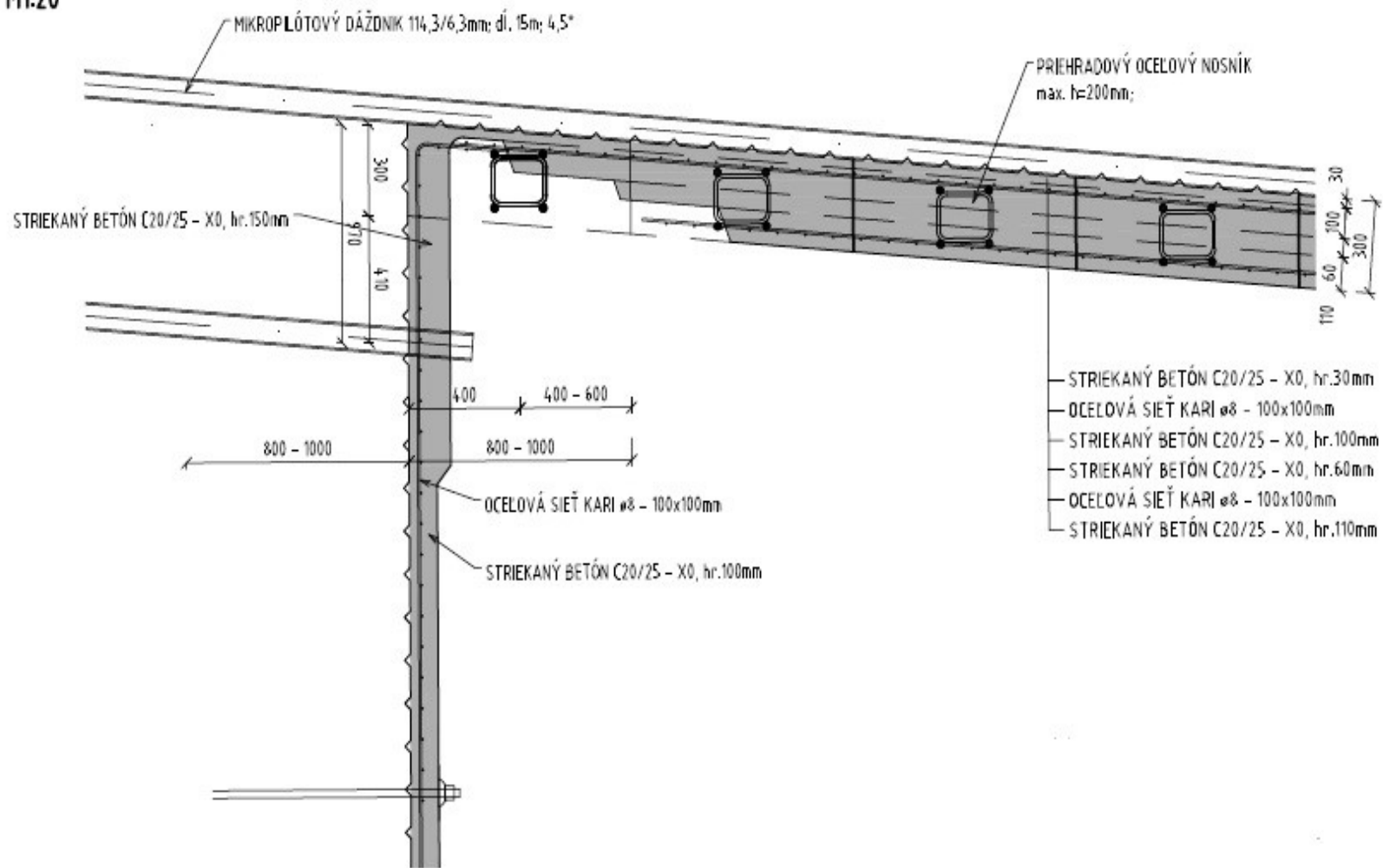


Podélný řez



# DETAIL

M1:20



# Kotvení čelby

Tunel  
Březno



Nezastříkaná čelba  
s laminátovými svorníky



Zastříkaná čelba  
s laminátovými svorníky



# Zastříkání čelby



Brusnický tunel (Prašný most)



# Zastříkání rubaniny



Bubenečský tunel (Stromovka)

# Stabilizační pilíř v čelbě



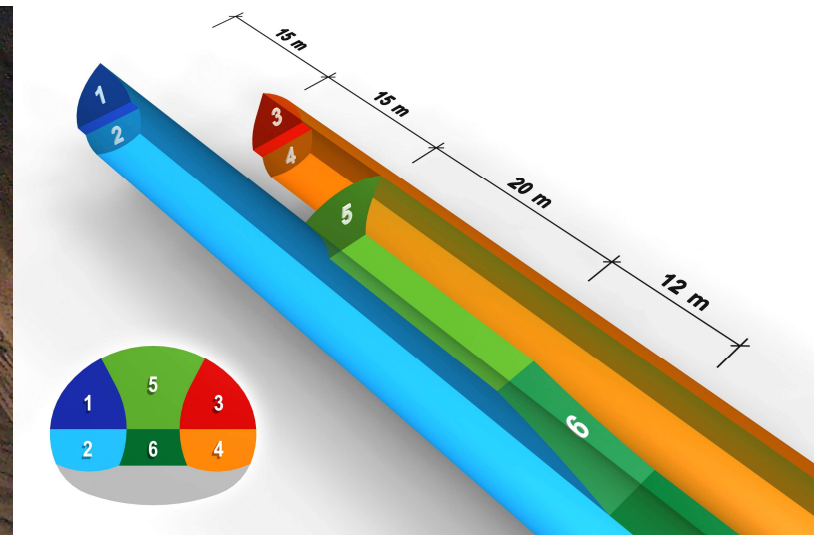


# Bubenečský tunel – svislé členění kaloty





# Opěrový tunel (Bubenečský tunel)





# Brusnický tunel – svislé členění





# Valík – západní portál



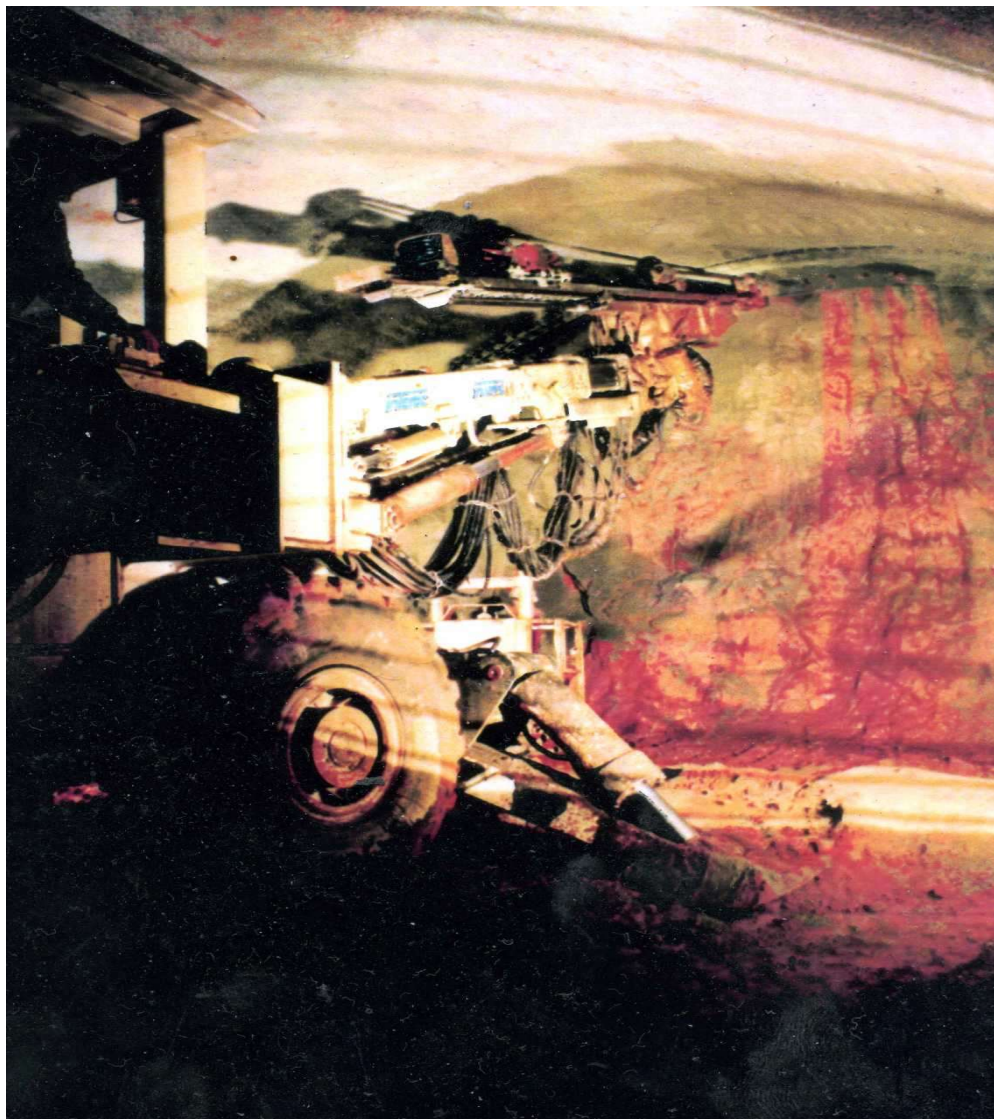
Strojní rozpojování,  
výjimečně použity trhací  
práce

Ražba ve zvětralých a silně  
tektonicky porušených  
proterozoických břidlicích





# Jehlování



Tunel Anweiler (BRD)

stanice vešlavín



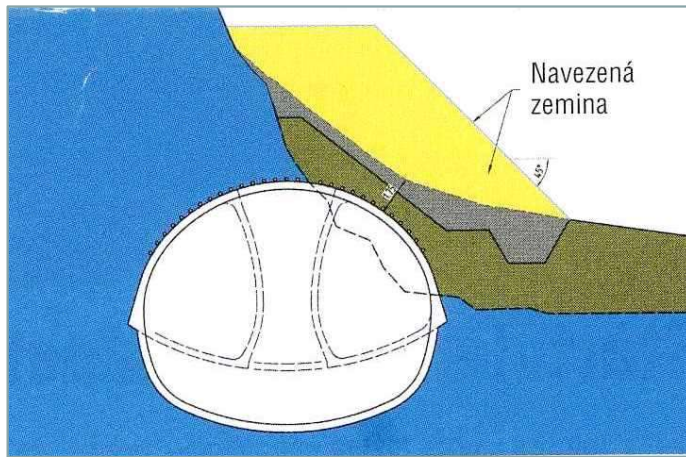


# Mikropilotový „deštník“



Dálniční tunel Epomeo Itálie



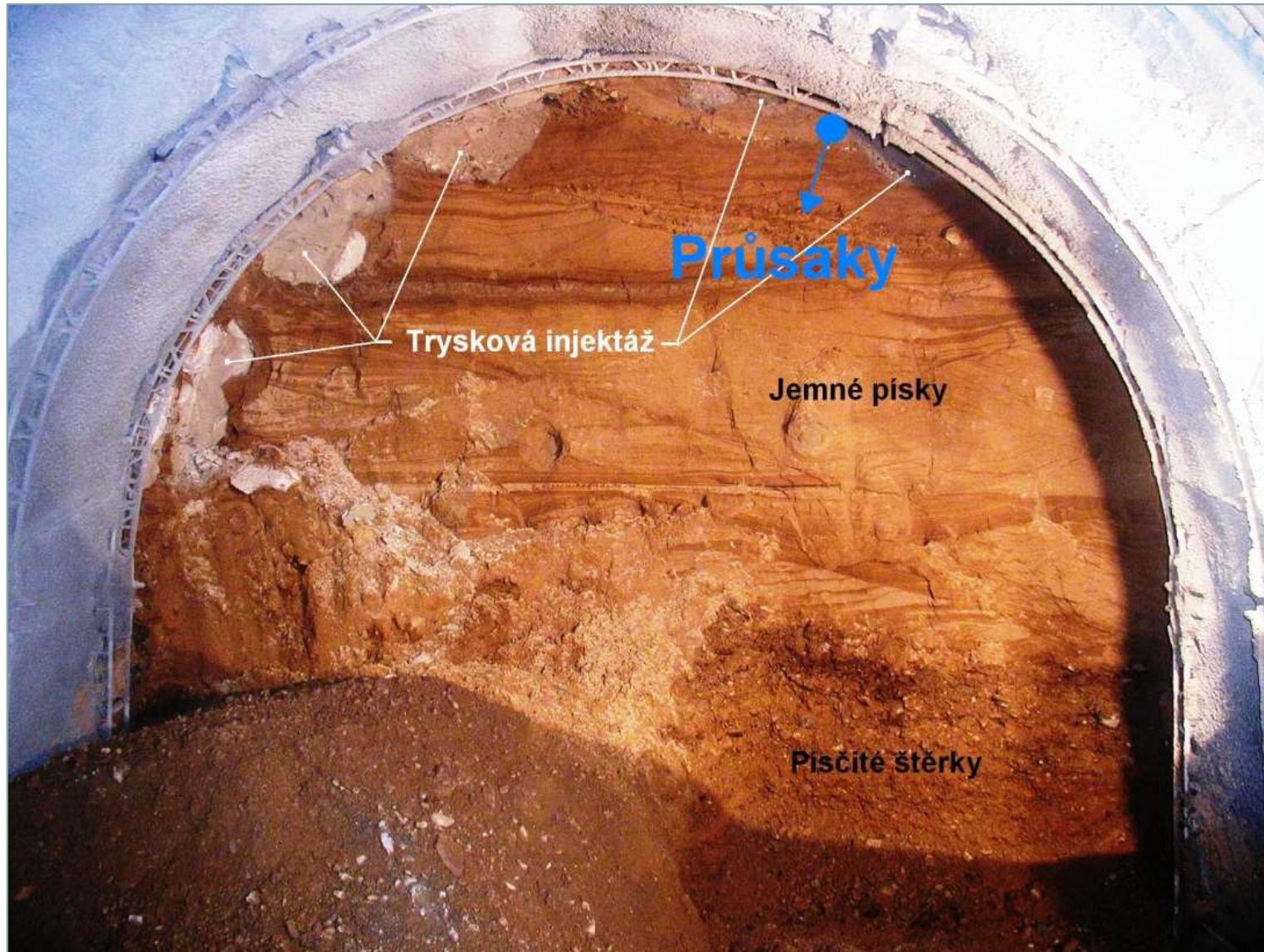


# Tunel Spitzenberg





# Předklenba z tryskové injektáže Kolektor Vodičkova



# Stabilizace čelby pomocí TI („zámkové“ sloupy)



Vzduchotechnický tunel na prodloužení trasy „A“ pražského metra



# Stabilizace čelby pomocí TI

(z povrchu terénu)



Třípruh Brusnického tunelu (Prašný most)



# Stabilizace nadloží pomocí TI

(z povrchu terénu)



Dvoupruh Bubenečského tunelu (Stromovka)



# První tunely ražené pomocí NRTM

1963 – Massenberk (silniční), 1965 – Schweinkheim (železniční),  
1969 až 1975 - Tauern a Katchberg (dálniční)

## NRTM v České republice

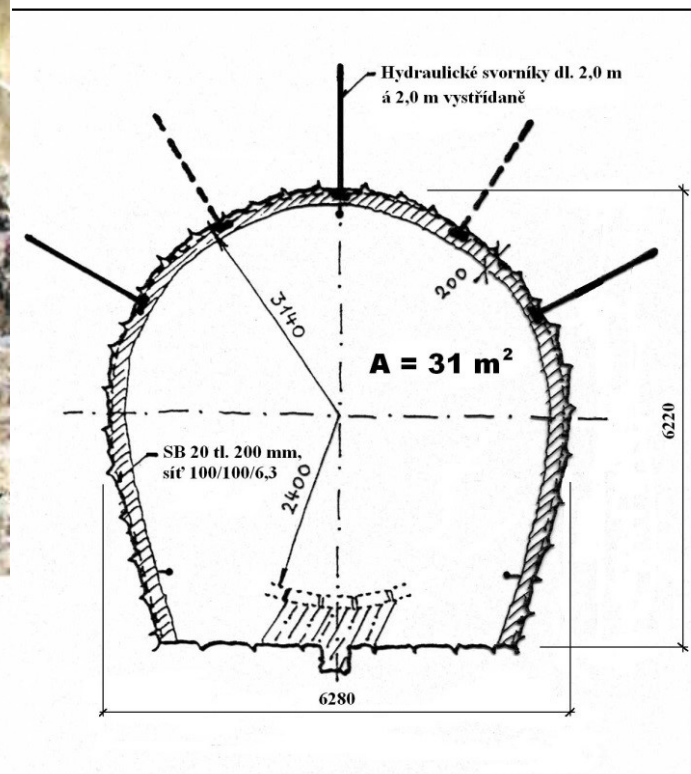
- 1994 - přivaděč do NČOV a stoka F v Praze Troji - **1. aplikace v ČR**
- 1997 - silniční tunely Hřebeč a Pisárecký
- 1998 - trasa B pražského metra v úseku Hloubětín – Rajska zahrada
- 2002 - tunel Vepřek – I. železniční koridor

# Přivaděč ze stoky F do NČOV

(Praha – Troja, 1991 až 1994)



Příčný řez



První aplikace NRTM v ČR





Tunel Hřebeč  
silnice I/35,  
délka 355 m

Pisárecký tunel  
Přivaděč na D1 délka  
513 m

# NRTM

silniční tunely  
1997







**NRTM**  
metro 1998,  
železniční tunel  
2002

Metro úsek IVB - 1998

Tunel vepřek  
dél. 390 m - 2002



# NRTM – silniční tunely (1989 až 2010)

Název tunelu	Kraj	Rok uvedení do provozu	Počet tubusů	Pruhů v tubusu	Délka /m/	Pořadí realizace
Hřebeč	Pardubický	1997	1	3	355	9
Pisárecký	Jihomoravský	1997	2	2	513/500	10
Mrázovka	Hl. m. Praha	2004	2	2 - 3	1300	15
Valík	Plzeňský	2006	2	2	390/380	16
Panenská	Ústecký	2006	2	2	2168/2116	17
Libouchec	Ústecký	2006	2	2	520/504	18
Klimkovice	Severomoravský	2008	2	2	1088/1077	20
Cholupický	Hl. m. Praha	2010	2	3/2	1937/1921	22
Slivenecký	Hl. m. Praha	2010	2	3/2	1662/1649	23

**Celková délka 9.933 m**



# NRTM – železniční tunely (1989 až 2010)

Název tunelu	Uvedení do provozu	Počet kolejí	Koridor	Délka tunelu	Pořadí
Vepřek	2002	2	I, IV	390	1 (148)
Tatenice	2004	2	II, III	143	2 (149)
Krasíkovský	2004	2	II, III	1101	3 (150)
Malá Huba	2005	2	II, III	324	4 (152)
Hněvkov I	2006	2	II, III	180	5 (153)
Hněvkov II	2006	2	II, III	462	6 (154)
Březno	2007	1	-	<b>613 (1758)</b>	7 (155)
Vítkovské tun.	2008	2 x 2	I, III, IV	1365 + 1316	8 (156)

**Celková délka 5894 m**

# NRTM – tunely po roce 2010

- **Jablůnkovský tunel** – III. železniční koridor – v provozu (2013)
- **Tunel Blanka** – MO Praha – v provozu (2015)
- **Tunel Královopolský** – VMO Brno – v provozu (2012)
- **Tunely Prackovice a Radejčín** – dálnice D8 v CHKO České Středohoří – v provozu (2016)
- **Tunely na IV. Koridoru** –  
úsek Benešov-Votice (Tomický I a II, Zahradnický, Olbramovický, Votický) – v provozu (2014)  
úsek Votice-Tábor (Sudoměřický tunel) – v provozu (2015)
- **Ejpovický tunel** – III. železniční koridor - v provozu (2018)
- **Tunely Mezno a Deboreč** - III. železniční koridor – úsek Sudoměřice – Votice - výstavba zahájena 06/2018 až 2021(?)

# Tunelový komplex Blanka – Brusnický tunel



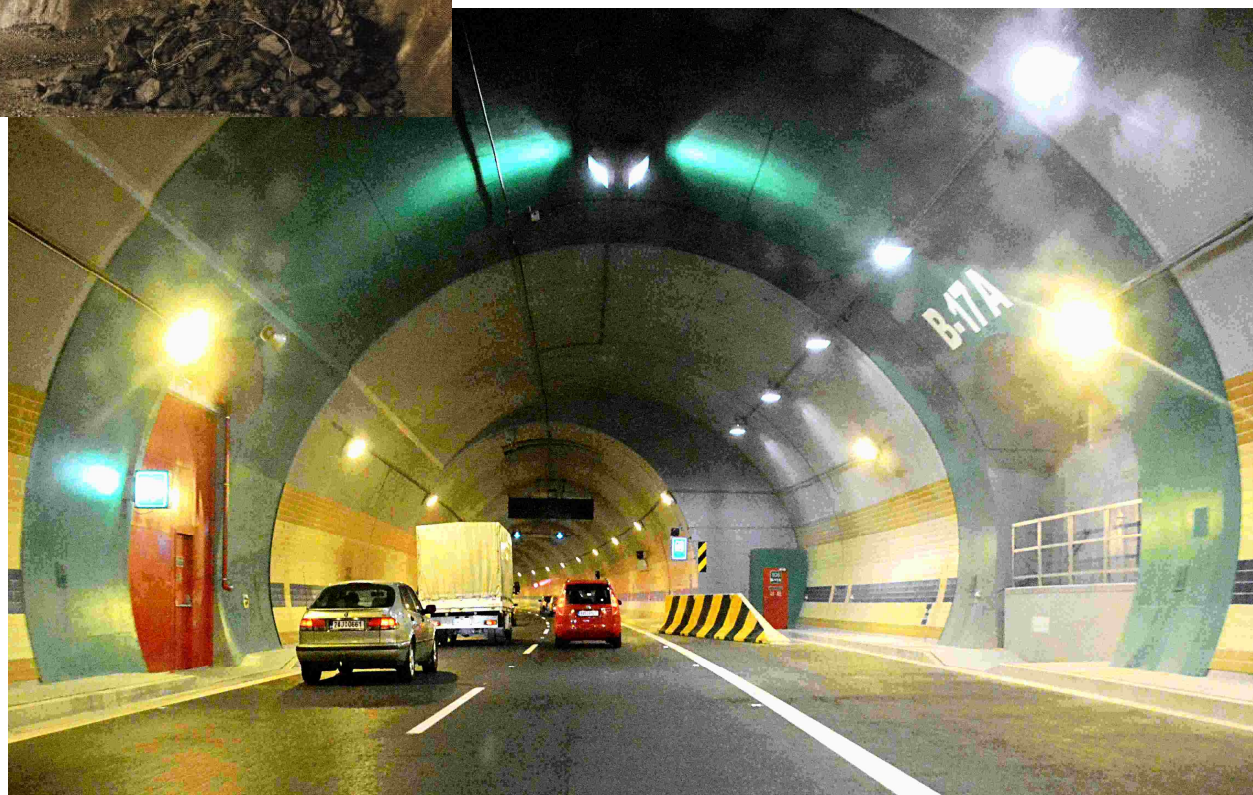


# Tunelový komplex Blanka – Dejvický tunel

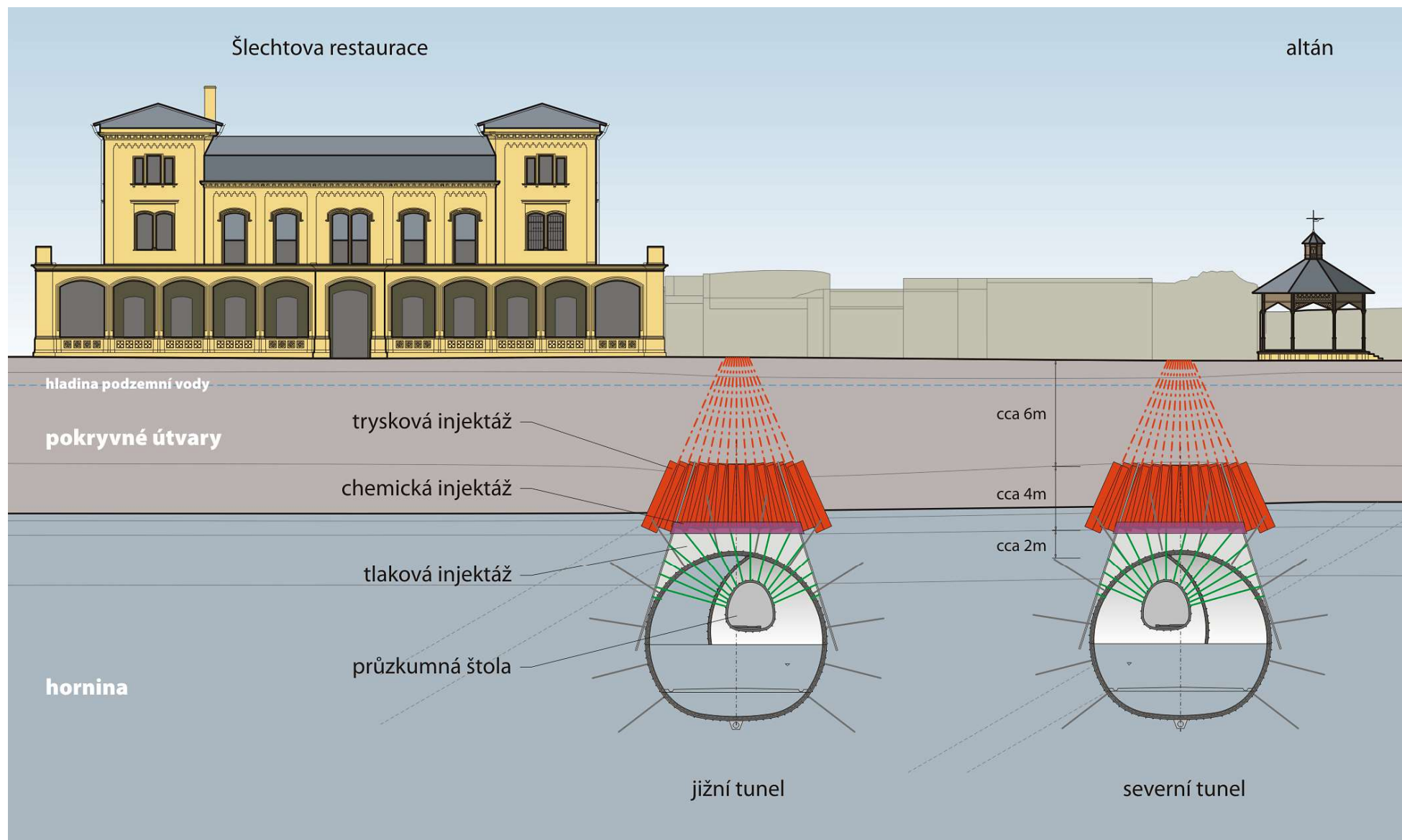




# Tunelový komplex Blanka - Bubenečský tunel



# Tunelový komplex Blanka – Bubenečský tunel



Sanace nadloží



# Tunelový komplex Blanka – Bubenečský tunel



Sanace nadloží



# VMO Brno Královopolský tunel



# Dálnice D8 - tunel Radejčín





# Dálnice D8 - portály tunelu Prackovice





# Tunely na IV. železničním koridoru



© LiMa 2010

## Olbramovický tunel

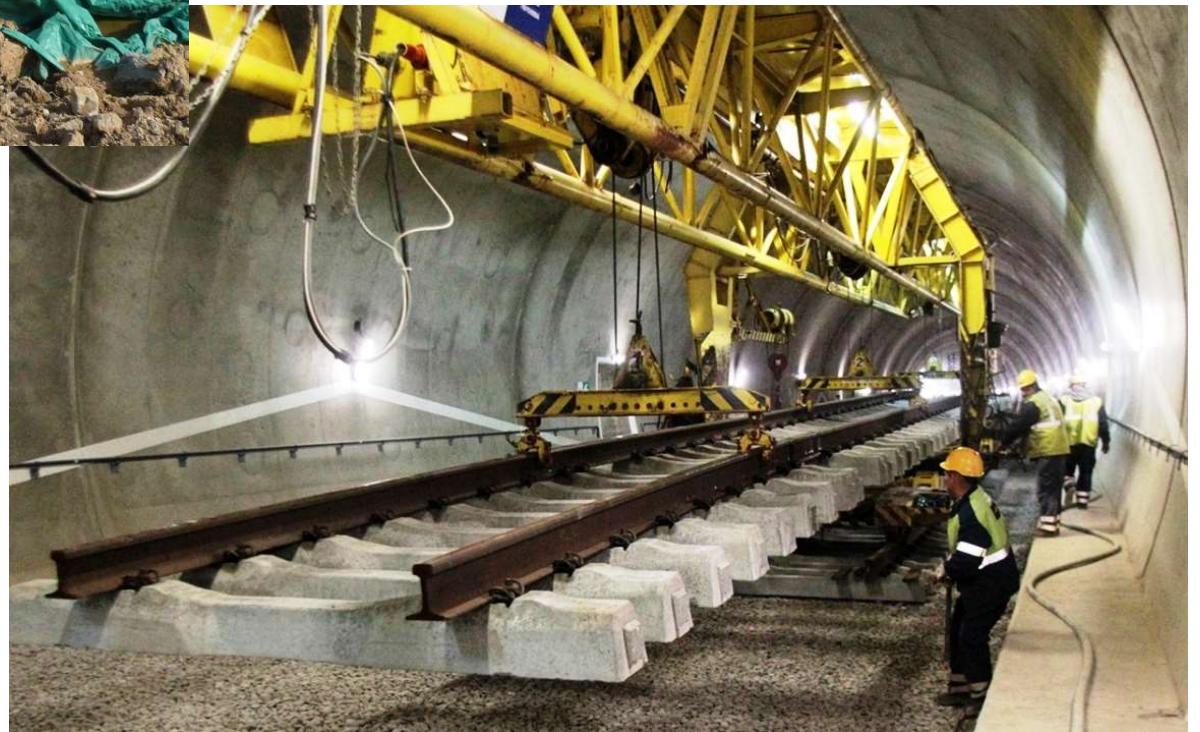




# Tunely na IV. železničním koridoru



Votický tunel





# Tunely na IV. železničním koridoru



Sudoměřický tunel

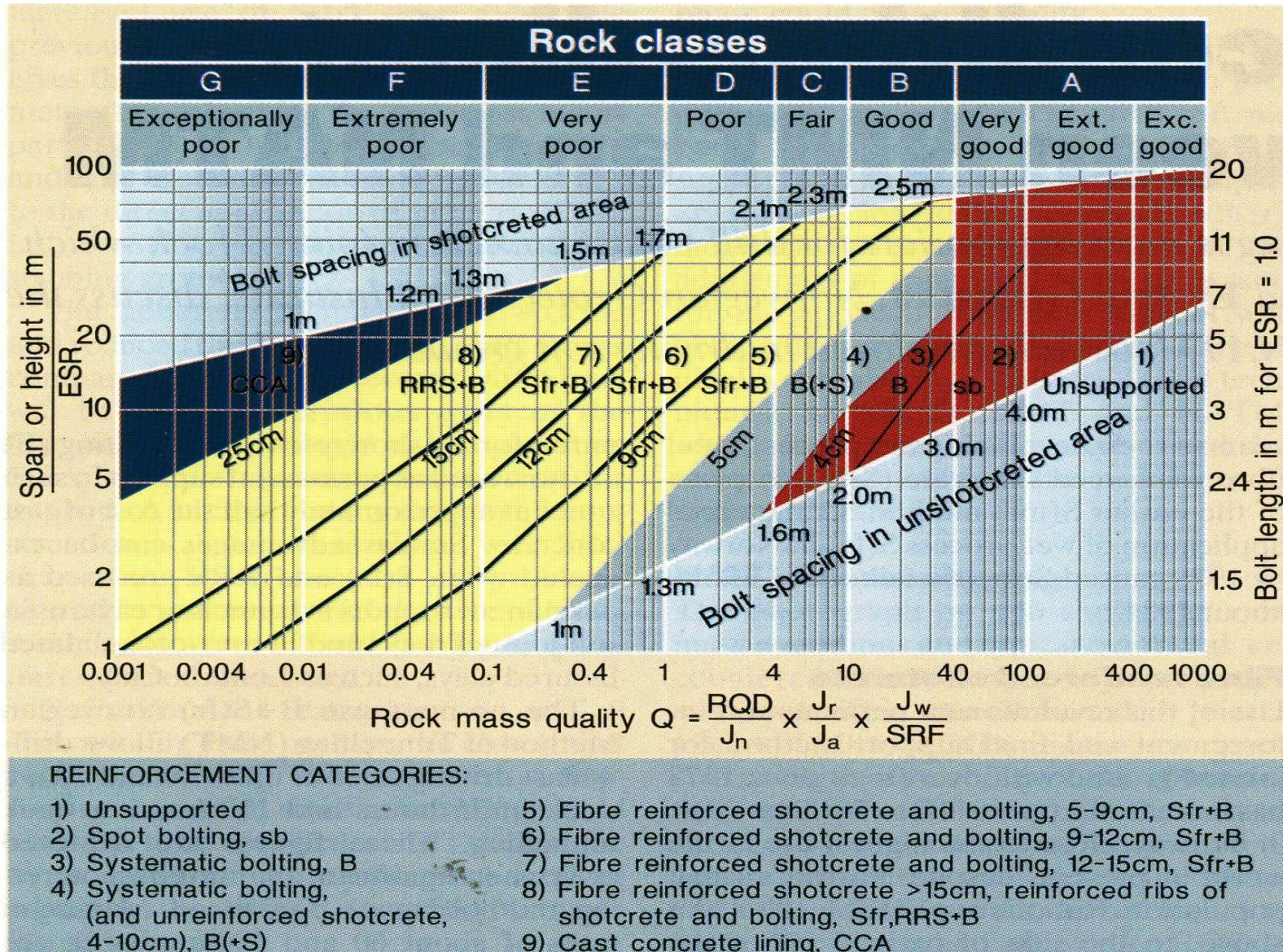
# C. NORSKÁ TUNELOVACÍ METODA

- Vhodná metoda pro postup ražby „drill and blast“ – stabilní výruby, dlouhé záběry 3 až 6 m, rozpojování trhavinami, svorníková výztuž, stříkaný beton, dočasná výztuž je součástí definitivního ostění)
- Kvalita horninového masivu z hlediska tunelování je závislá především na oslabení masivu plochami diskontinuity (mají rozhodující vliv na přetvoření masivu)
- Vyztužení výrubu se provádí v podstatné míře stříkaným drátkobetonem (eliminace náročné ruční práce s osazováním ocelových výztužných sítí a příhradových žeber).
- Návrh trvalého zajištění výrubu se provádí na základě klasifikačního systému Q (klasifikace vytvořená v NGI na základě poznatků z více než 1000 sledovaných tunelů. Též označovaná jako BLLL – Barton, Liehm, Loset, Lunde).



# Vyztužovací kategorie při NTM

## diagram Grimstad – Barton







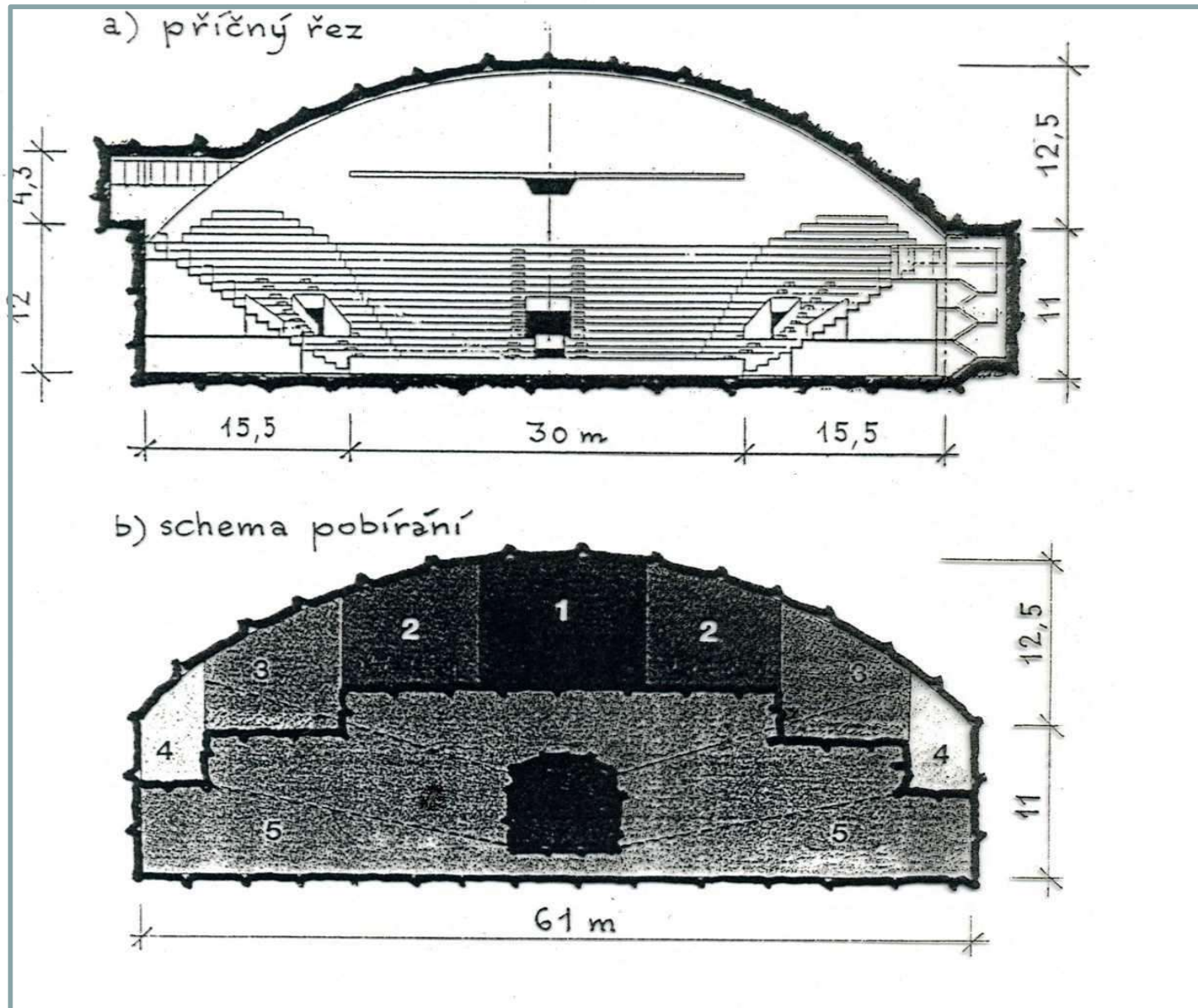
Island - Tunel Nordfjurdargöng  
(délka 7,9 km)





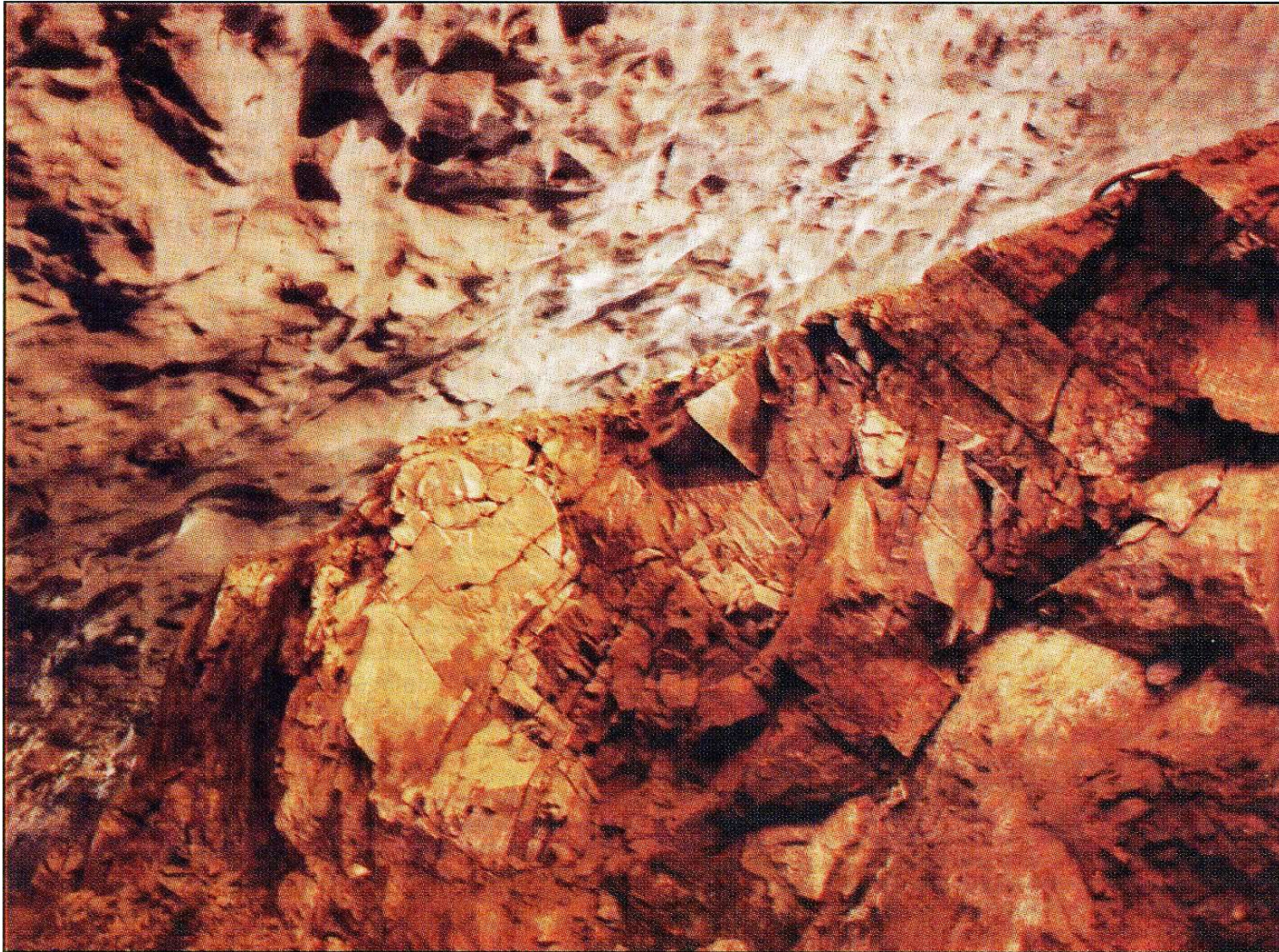
Tunel Siglufjordur – výrony tlakové vody do čelby tunelu

# Zimní stadion v Gjøviku





# Horninový masiv - GjØvik



Stabilní masiv s několika systémy ploch nespojitosti



# Horninový masiv - Gjøvik



Dokončené dílo

# Metro Stockholm





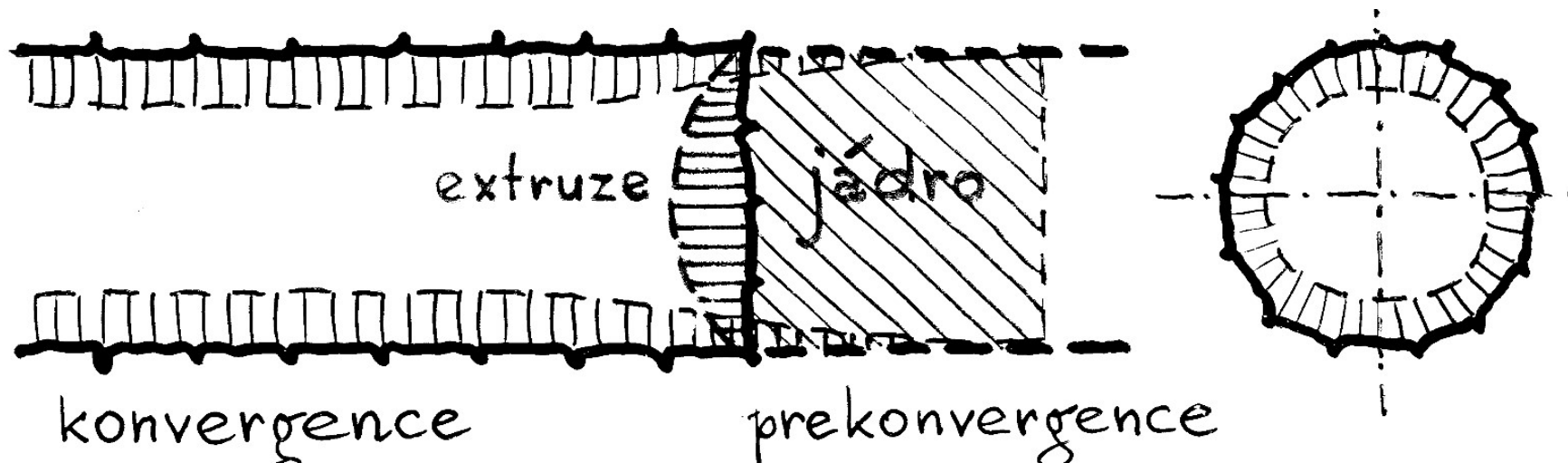
# Metro Stockholm



# D. ADECO - RS

*L'Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli*  
Prof. Lunardi

Ražba vždy plným profilem, masivní primární ostění,  
rychlá výstavba sekundárního ostění



Klíčovým prvkem z hlediska omezení deformací nadloží je **zpevnění oblasti horninového masivu předčelbového jádra**, dále **masivní provizorní ostění a brzká výstavba definitivního ostění**.

Tyto úpravy **zmenšují extruzi, prekonvergenci i konvergenci** – důsledkem je **zmenšení deformací nadloží a sedání povrchu**

# Používaná stabilizační opatření při ADECO-RS:

Radiální kotvení

**Axiální kotvení do předčelbového jádra**

Sanační injektáž v nadloží jádra

Mikropiloty nad jádrem („deštníky“)

Trysková injektáž nad jádrem („kornouty“)

Obvodový vrub s předklenbou (drátkobeton)

Drenážní vrty do předpolí (?)

. Požadavky na **minimalizaci deformací** nadloží vyžadují razit (tzn. i vyztužovat) rychle a masivně tak, aby nedošlo k podstatnému narušení původního stavu napjatosti horninového masivu.

**Pokud deformace nadloží nejsou problémem**, pak masivní provizorní ostění a rychlá výstavba sekundárního ostění přestávají být prioritami této metody.



# ADECO – RS (tunel Val di Sambro)



Ražba plným profilem, husté kotvení čelby laminátovými svorníky

Malý odstup výstavby definitivního ostění od čelby





# Adeco – RS (tunel Višňové SR)



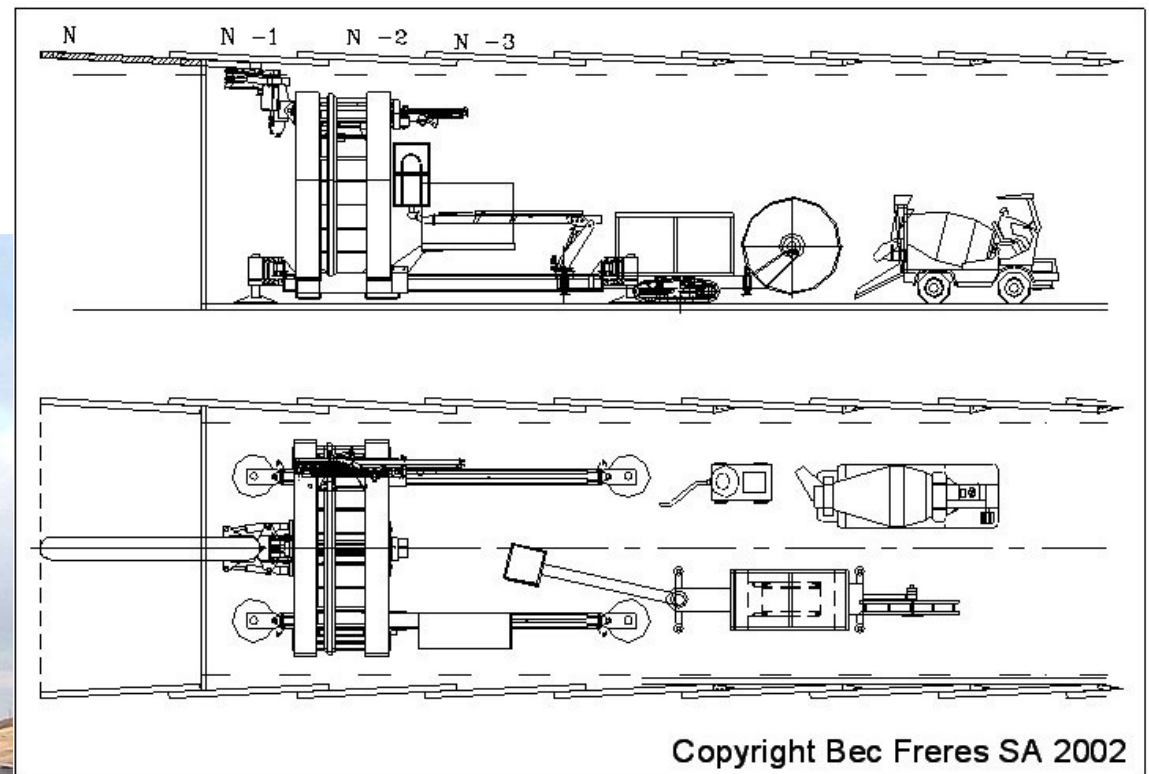
Velká vzdálenost definitivního ostění od čelby

Masivní výztuž primárního ostění



# E. METODA OBVODOVÉHO VRUBU S PŘEDKLENBOU (Pre-Lining System)

Vrubovací stroj PERFOREX  
na tunelu Březno



Schema postupu výstavby

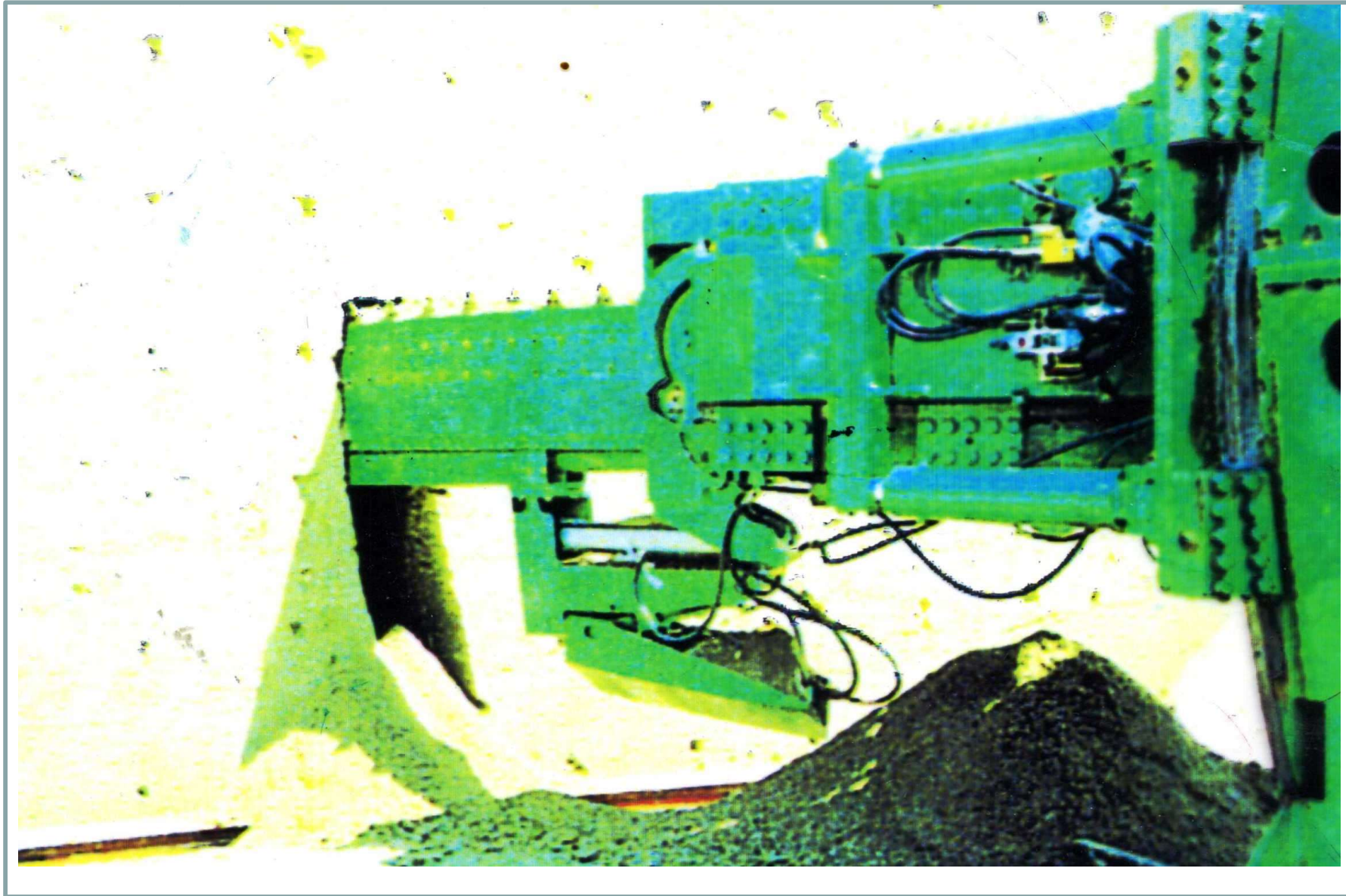




Vrubovací stroj PERFOREX na tunelu Březno

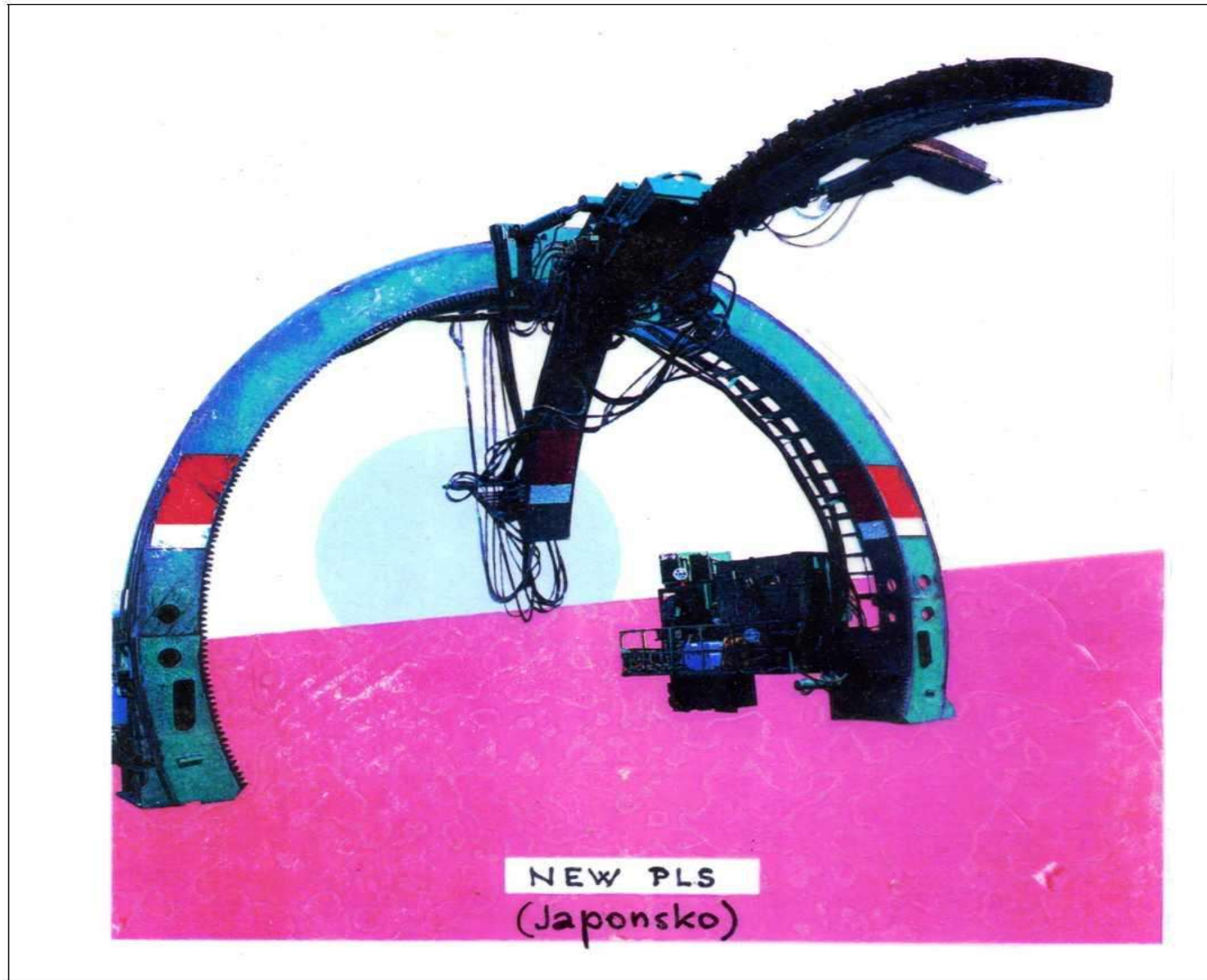


# PLS – Perforex (Francie)



Řezný nástroj a vrub

# NEW PLS - Japonsko



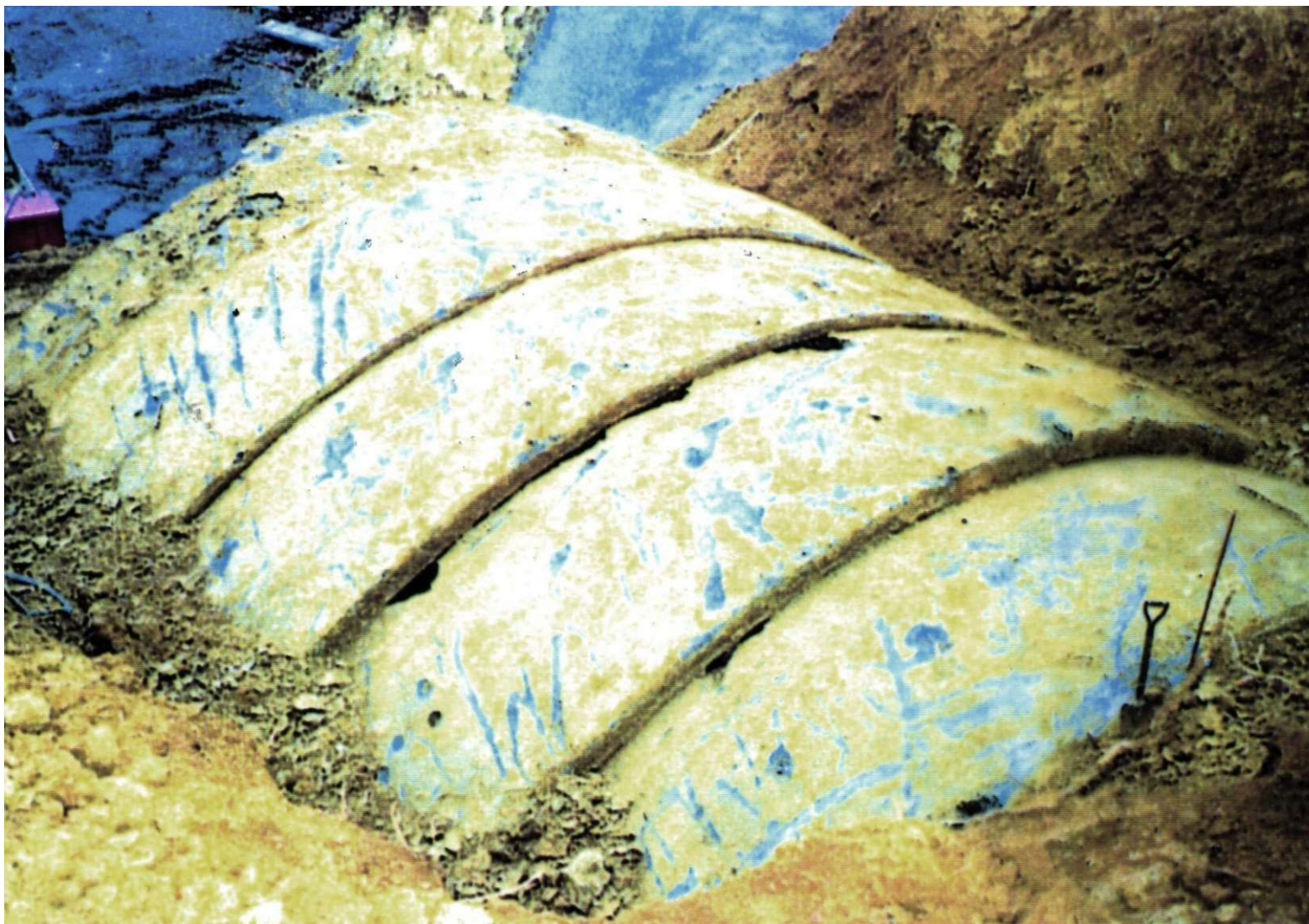


# New PLS - Japonsko





# New PLS - Japonsko



Odkryté lamely předklenby

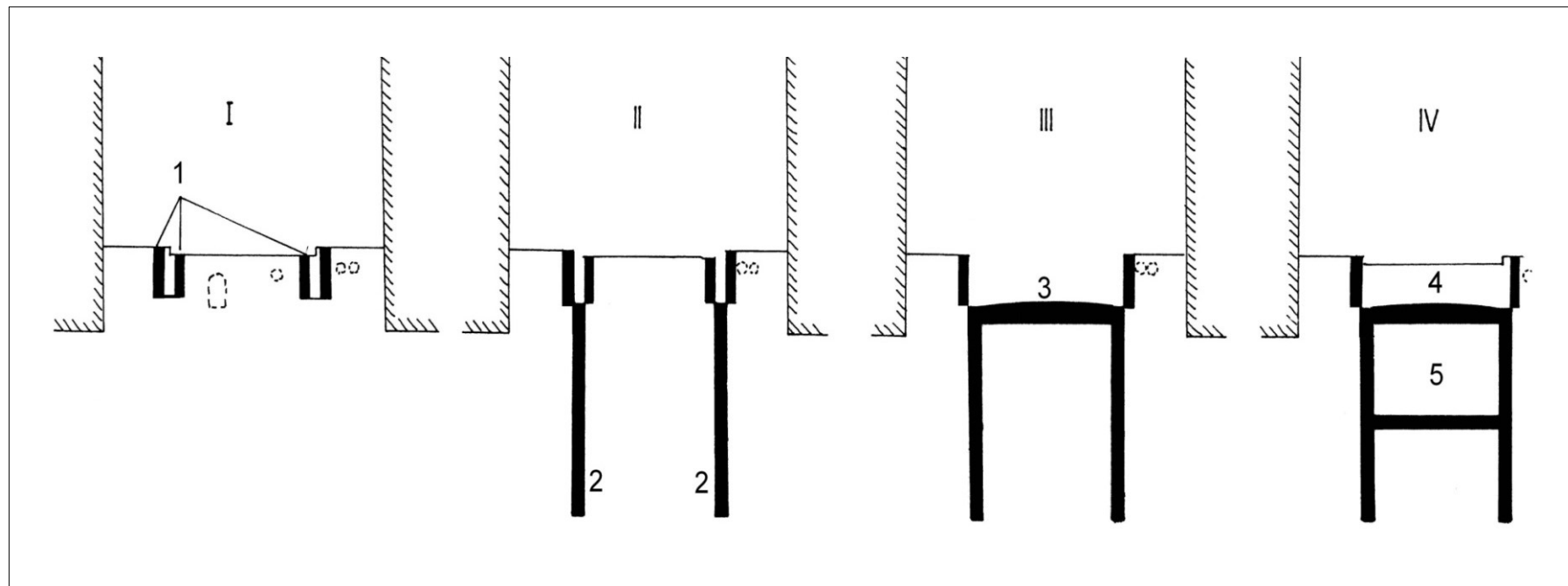
# **F. METODA ČELNÍHO ODTĚŽOVÁNÍ**

(modifikace „milánské“ metody)

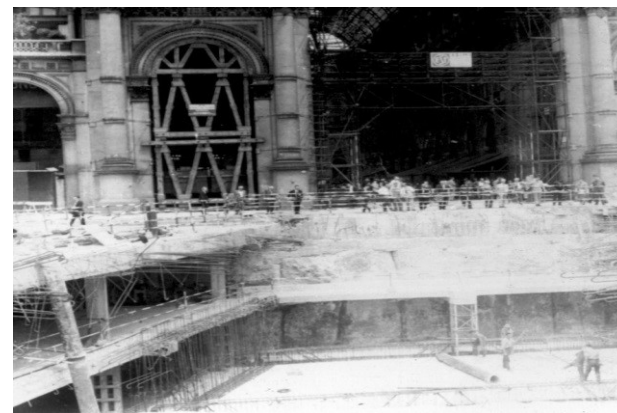
- Provádění tunelů pod nízkým nadložím
- Náhrada za výstavbu v pažené stavební jámě
- V předvýkopu se provedou některou z technologií speciálního zakládání nosné prvky pro uložení definitivního stropu
- Po jeho provedení se předvýkop zasype a na povrchu se obnoví provoz
- Pod ochranou stropu se provádí čelní odtěžování vnitřního prostoru tunelu
- Úprava vnitřního líce stěn tunelu po vytěžení



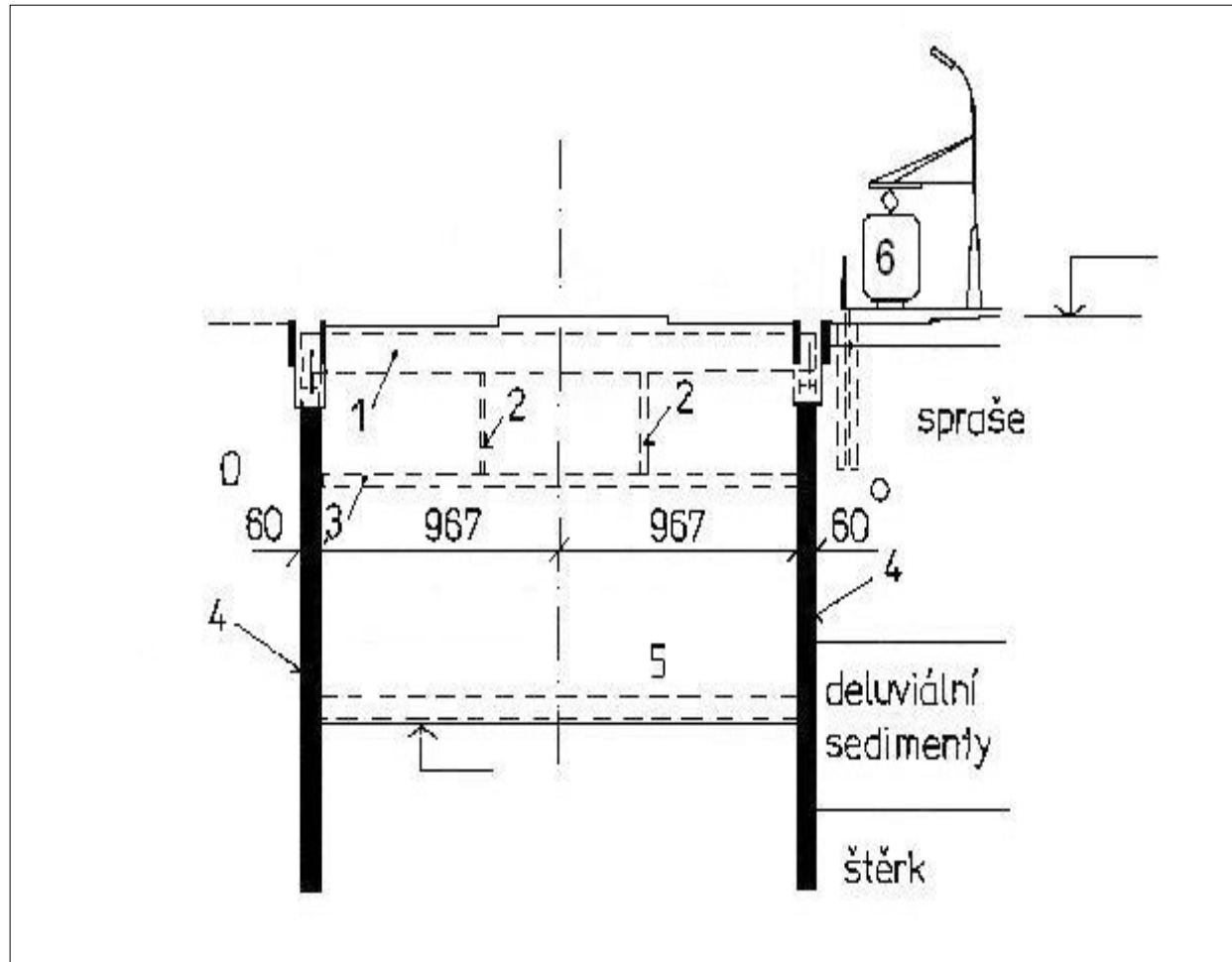
# Schema původní milánské metody



1 – vodící zídky, 2 – konstrukční podzemní stěny, 3 – strop tunelu, 4 – úprava nadloží a vozovky, 5 – provádění tunelu pod ochranou definitivního stropu



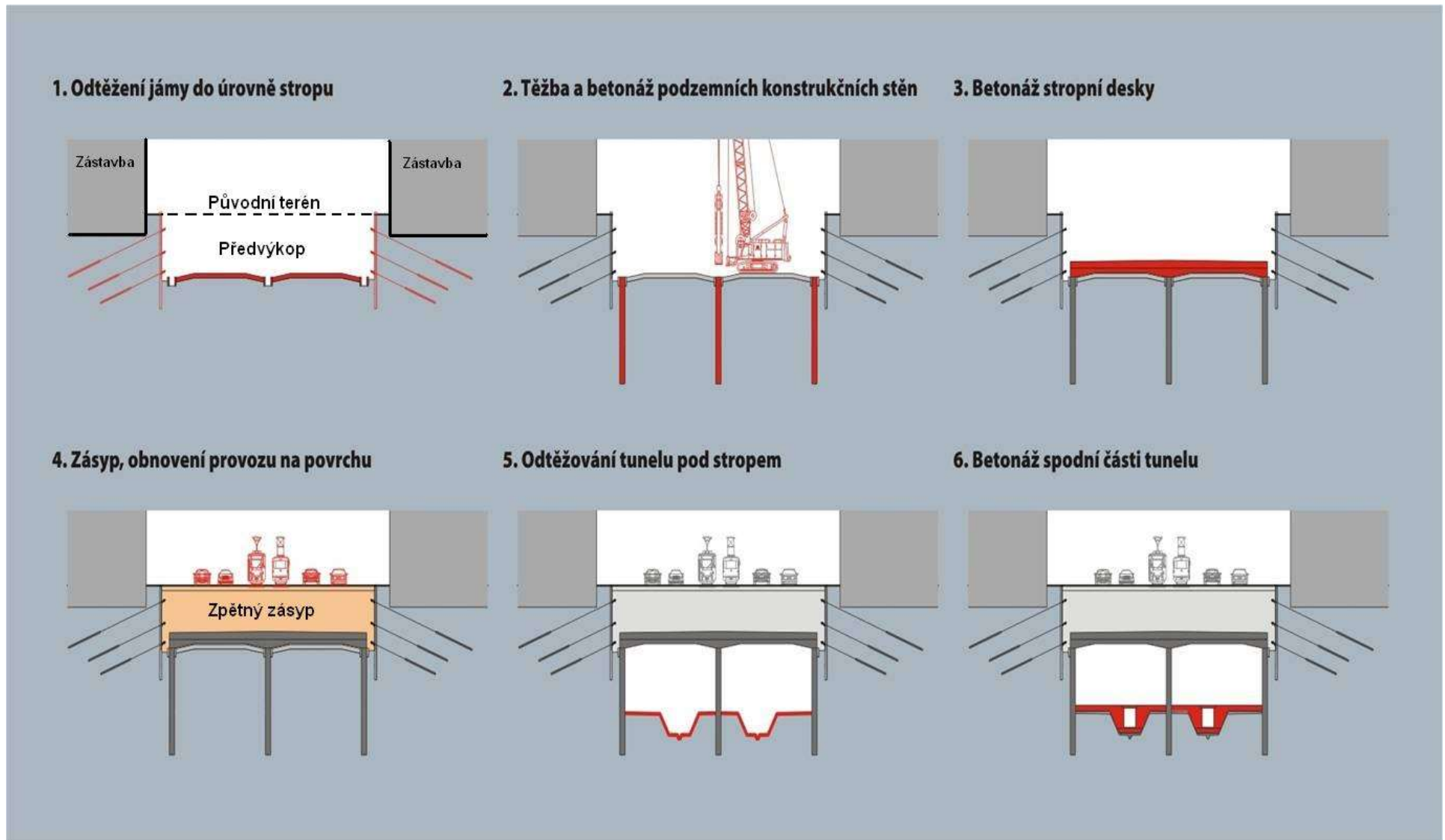
# Modifikace milánské metody na lince „A“ pražského metra



## Stanice Dejvická

- 1 – strop z předpjatých nosníků, 2 – závěsy, 3 – mezistrop, 4 – monolitické podzemní stěny, 5 – základová deska, 6 – dočasně přeložená tramvajová trať

# Tunelový komplex Blanka



Brusnický tunel (Patočkova)



# Odtěžování pod stropem tunelu



Dejvický tunel (Hradčanská)

# Silnice I/38 – obchvat Jihlavy



Předvýkop - podzemní stěny – betonáž klenby



# Silnice I/38 – obchvat Jihlavy

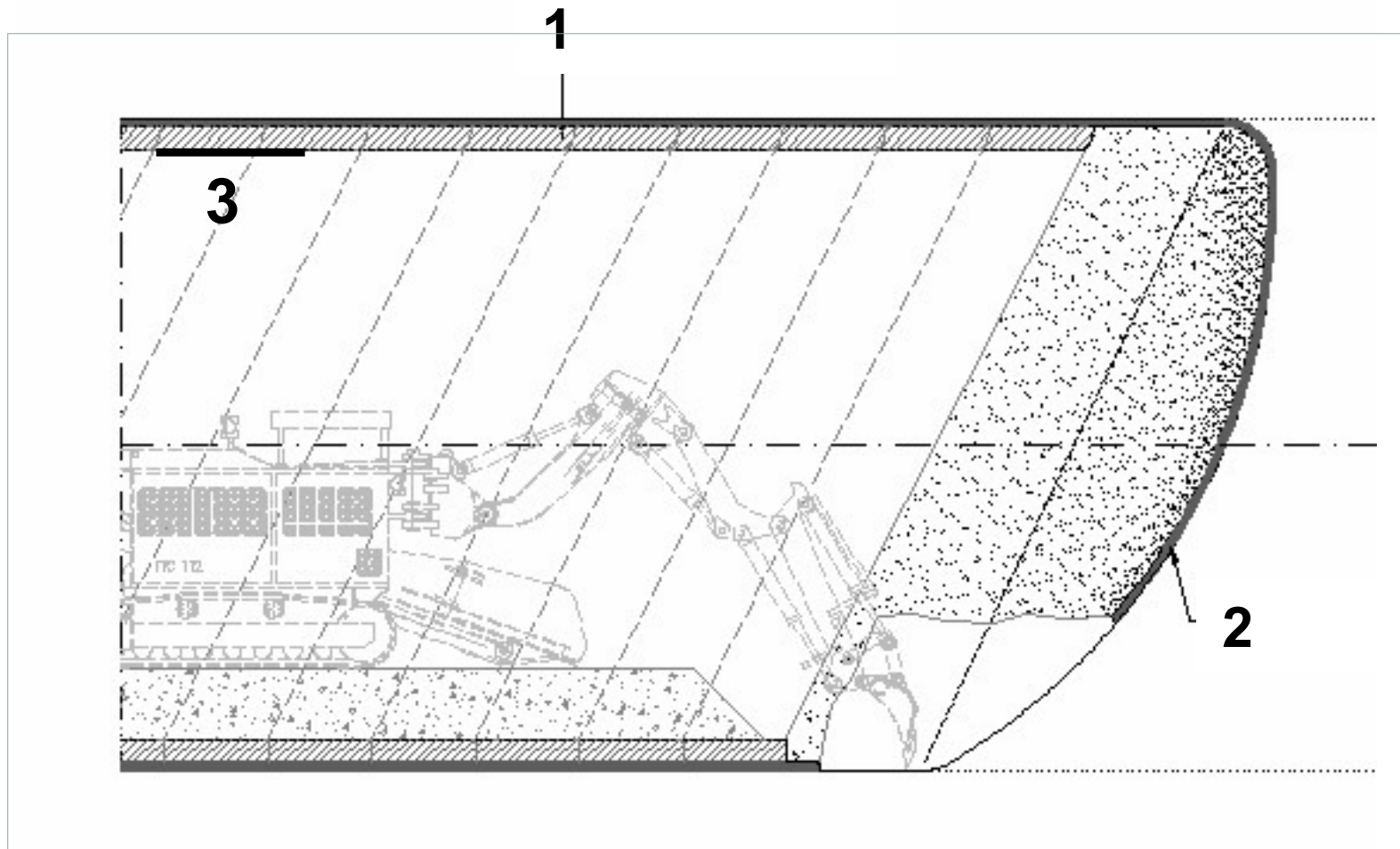


Zásyp klenby, čelní odtěžování pod stropem



# G 1. Metoda Lasershell (Anglie)

- Metoda vyvinutá při výstavbě tunelů Terminálu 5 letiště Heathrow a požívaná pro ražbu v tuhých londýnských jílech.
- Ražba plným profilem, ostění jednoplášťové ze stříkaného drátkobetonu (bez ocelových sítí a výztužných žeber), vodotěsné.
- Tvar výrubu a dimenze ostění jsou průběžně monitorovány pomocí laserového dálkoměru, údaje jsou počítačově zpracovány, bezprostřední komunikace s obsluhou tunelbagru a s operátorem stroje na stříkaný drátkobeton.
- Sklon a prostorové vyklenutí čelby zvyšuje její stabilitu a zmenšuje deformace výrubu i nadloží.



## **Lasershell – schema postupu výstavby**

Tři fáze detailního budování definitivního ostění ze stříkaného drátkobetonu:

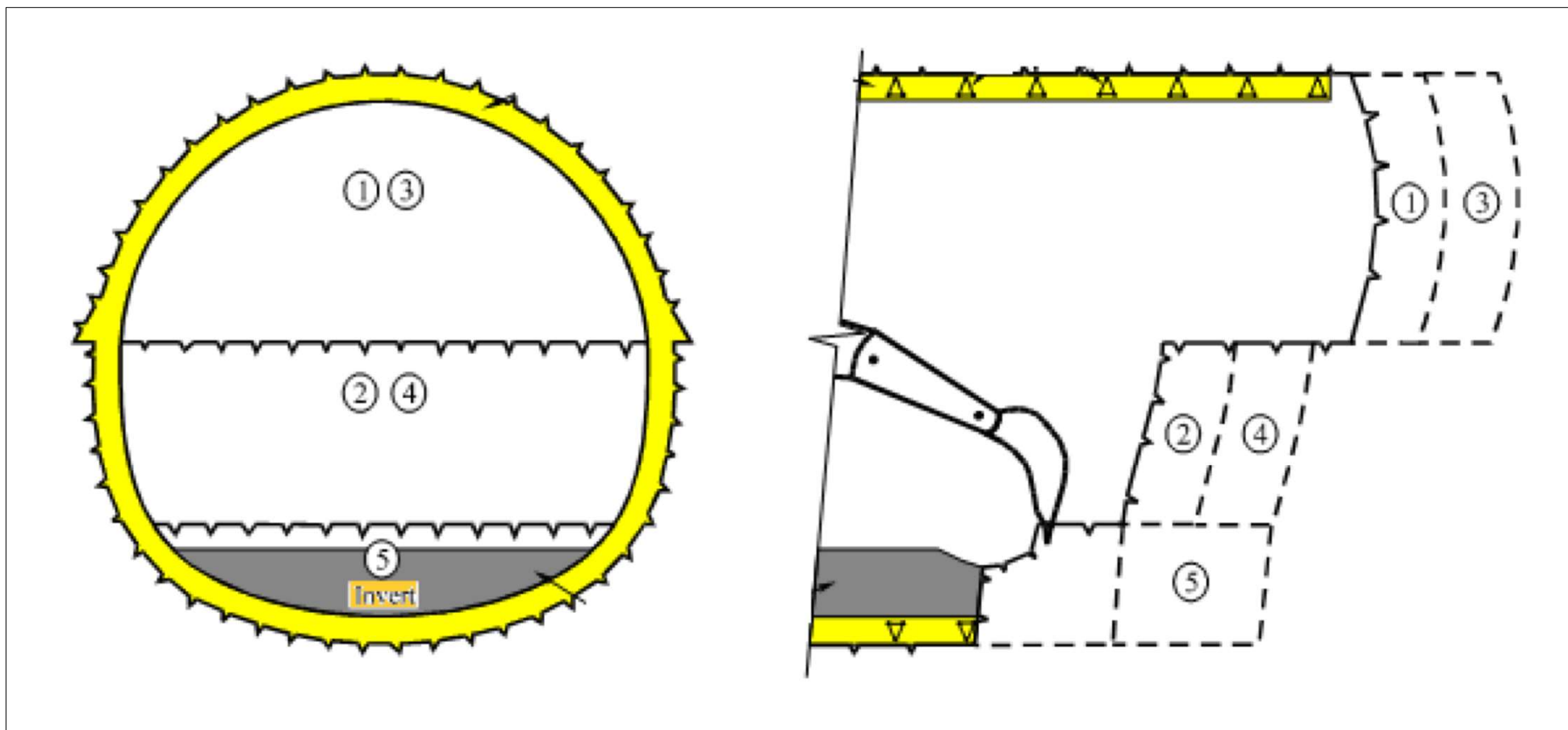
1. Počáteční vrstva – tl. 75 mm stříkaného drátkobetonu, zajištění výrubu, utěsnění, vrstva bez statické funkce
2. Konstrukční vrstva – tl. 200 až 250 mm drátkobetonu, definitivní statická funkce
3. Dokončující vrstva - tl. 50 mm stříkaného betonu po dokončení ražeb, úprava

## **G 2. Metoda SCL** (Anglie)

Obdoba Nové rakouské tunelovací metody se změnou jejího názvu.

- Metoda vyvinutá na základě NRTM při výstavbě tunelů londýnského metra v prostředí tuhých jílu.
- Ražba horizontálně členěným profilem, ostění obvykle dvouplášťové se stříkanou mezilehlou izolací. Omezení výztužných sítí a rámu v primárním ostění použitím drátkobetonu, sekundární ostění i z prostého betonu.
- Tvar výrubu ze statických důvodů je obvykle velmi blízký kruhovému profilu.
- Rychlé uzavírání celého profilu spodní klenbou ve snaze minimalizovat deformace nadloží.





**SCL** - Ražba horizontálním členěním s rychlým uzavíráním primárního ostění (odstup od čelby 6 až 8 m)

1 a 3 – záběry v kalotě, 2 a 4 – záběry v opěří, 5 – záběry ve dně profilu

# H 1. Spritzbetonbauweise (Švýcarsko)

Obdoba Nové rakouské tunelovací metody s odmítnutím jejího názvu.

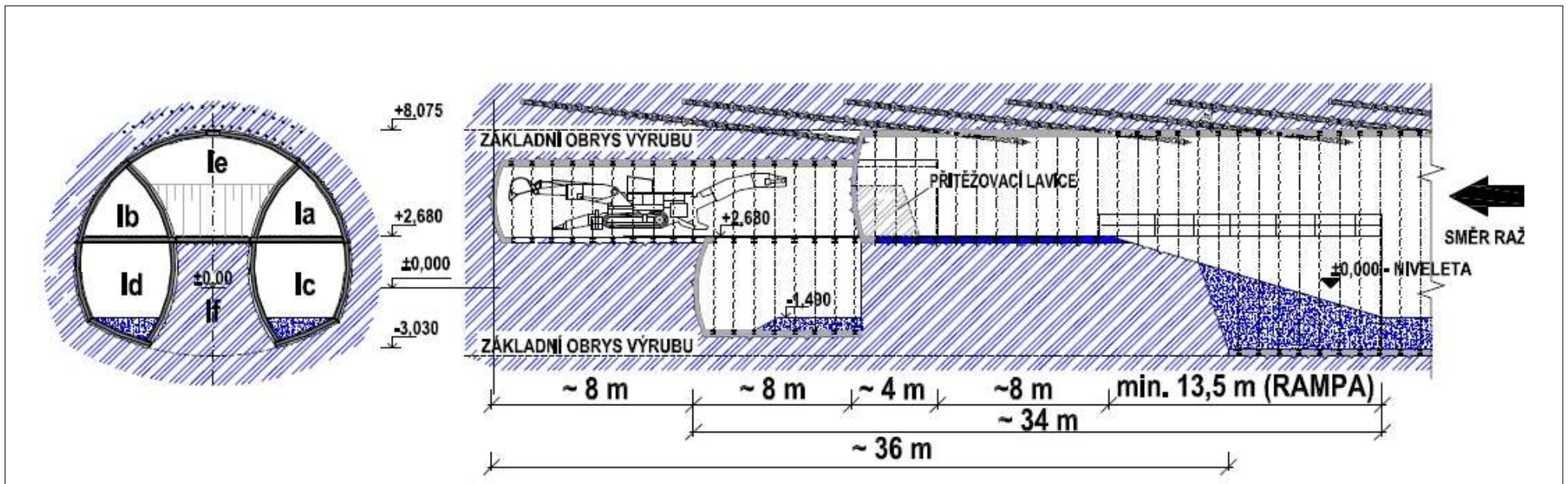


Fasenstaub Tunnel – dálnice A4 v kantonu Schaffhausen



## H 2. Kernbauweise (Švýcarsko)

- Modifikace metody Spritzbetonbauweise při svislém členění výrubu v silně tlačivých horninách.
- Masivní výztužnými rámy z válcovaných H-profilů.
- Rozepření v úrovni počvy kaloty zůstává funkční po celou dobu výstavby primárního ostění



Kernbauweise – Pisárecký tunel – Velký městský okruh Brno



# Kernbauweise VMO Brno



Plný výlom raženého tunelu



Výztužné rámy – typ H a Hebrex



Varianta pobírání jádra s postupující rampou bez rozepření

Tunel Uetliberg (Švýcarsko), VMO Brno (ČR)





Varianta dodatečného pobírání jádra s ponechávaným rozepřením