



PODZEMNÍ STAVBY

3. část

Pracovní cyklus, trhací práce, provizorní výztuž,
stříkaný beton, definitivní výztuž

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

PROVÁDĚNÍ RAŽENÝCH PODZEMNÍCH STAVEB

- **Cyklický postup** – operace provedené v jednom cyklu umožňují postup ražby o jeden záběr
 - **Rozpojování pomocí trhacích prací**
 - **Strojní rozpojování**
 - » Výložníkové frézy
 - » Tunelbagry
 - » Impaktory
- **Plynulý postup** – plnoprofilové tunelovací stroje

Cyklický postup ražby

- **Pracovní cyklus**

- *Výložníkové frézy, tunelbagry, impaktory* – rozpojování, nakládání, odvoz rubaniny, vyztužování, prodlužování instalací
- *Trhací práce* – **vrtání, nabíjení**, odstřel, větrání, nakládání a odvoz rubaniny, vyztužování, prodlužování instalací

Rozpojování horniny při ražbě

- **trhací práce** – pomocí výbušnin v pevných skalních horninách ($\sigma_c > 50$ MPa)
- **tunelovací stroje** – beztrhavinové rozpojování
 - **s dílčím záběrem**
 - výložníkové frézy ($\sigma_c < 50$ MPa)
 - tunelové bagry ($\sigma_c < 30$ MPa)
 - impaktory ($\sigma_c < 50$ MPa)
 - **plnoprofilové tunelovací stroje** (σ_c až do 200 a více MPa)

Beztrhavinové rozpojování

- **Tunelové frézy, tunelbagry, impaktory (TSM)**
- **Výhody**
 - schopnost vytvořit **výruby variabilních tvarů**,
 - možnost rychlého nahrazení stroje jinou technologií rozpojování (trhací práce) v případě podstatné změny geologických podmínek,
 - **dobrý přístup k čelbě a možnost osazení výstroje v těsné blízkosti čelby**
 - možnost snížení prašnosti skrápěním

Tunelová fréza



Alpina vöest se dvěma výložníky a s podélnými hlavami

Tunelová fréza



S jedním výložníkem a příčnou hlavou

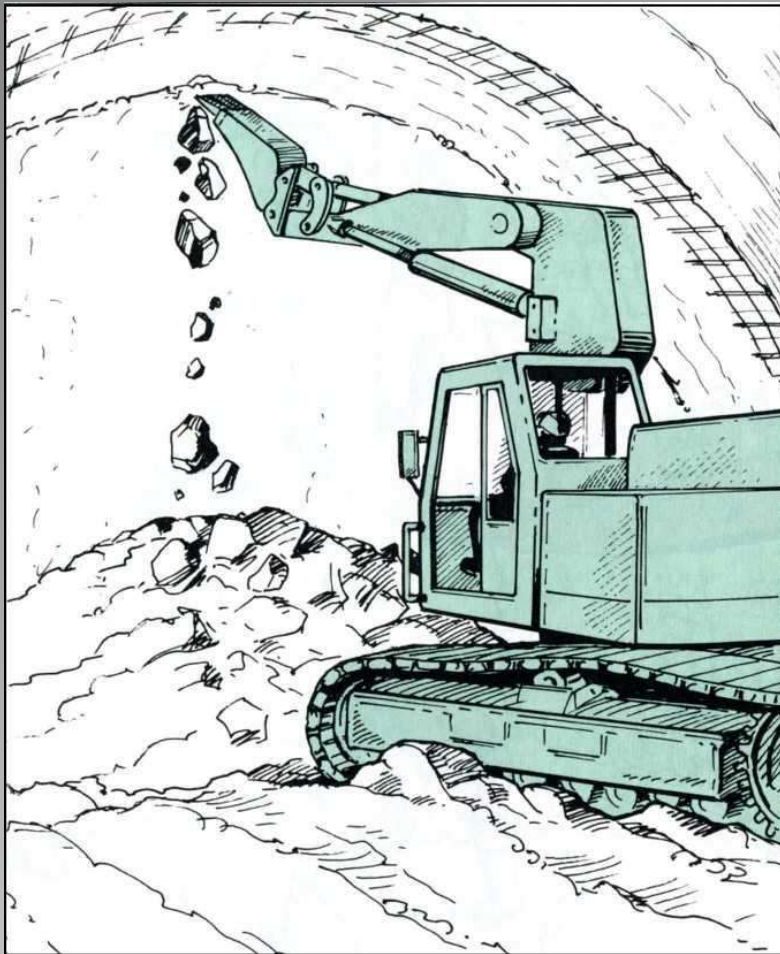
Tunel Mrázovka



Těžká fréza Eickhof poblíž JV portálu s
podélnou hlavou tvaru šroubovice

Tunnelbagr

Tunel Dobrovského na VMO v Brně



Schema



Rozpojování jílu

Tuneľbagr Terex



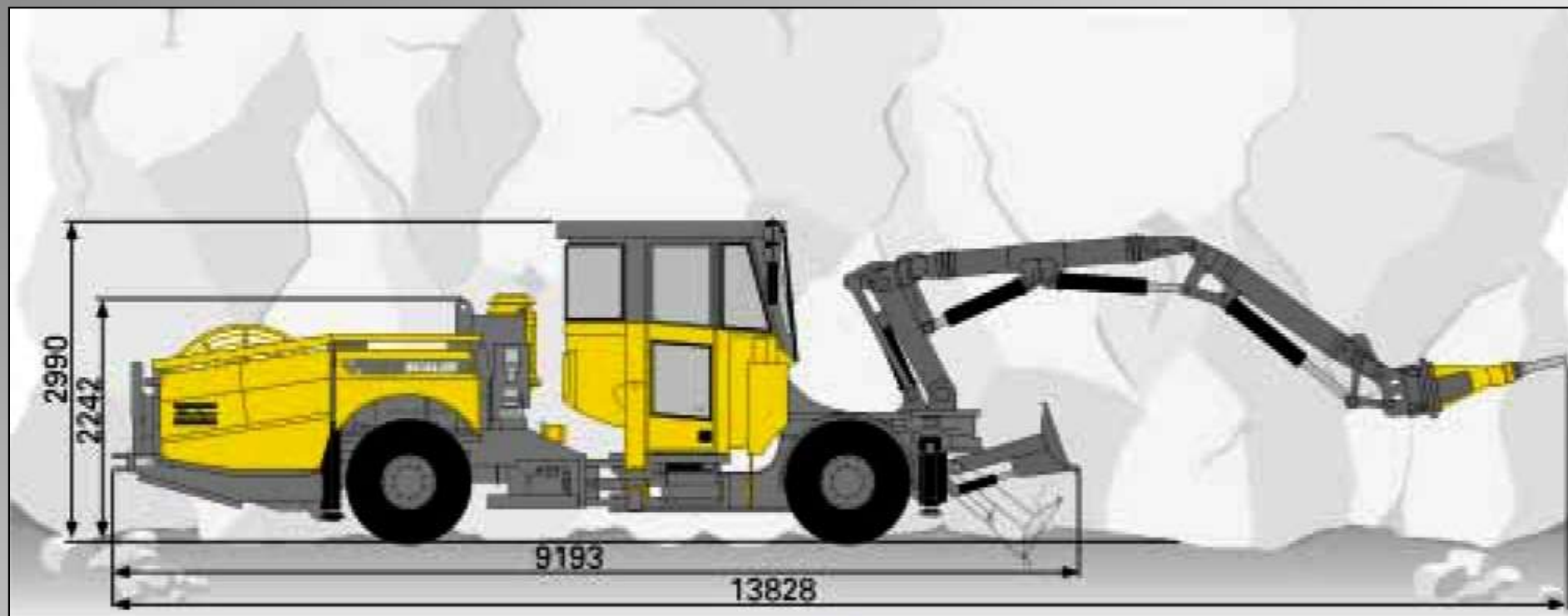
Bagrování kaľoty na
Olbramovickém tuneľu



Tunelový bagr SCHAEFF – Královopolský tunel, Brno

Impaktor

(mobilní sbíjecí kladivo)



Kolový typ Atlas Copco



Impaktor Caterpillar na pásovém podvozku

Tunel Povážský Chlmec (SK)



Rozpojování

Hochtief a.s

Ejpovický tunel



Rozpojování

Tunel Povážský Chlmec (SK)



Odtěžování

Hochtief a.s

Ejpovický tunel



Odtěžování

Tunel Povážský Chlmec (SK)



Odtěžování

Hochtief a.s

Tunel Povážský Chlmec (SK)



Logistika

Hochtief a.s

TRHACÍ PRÁCE

- **Výbuch** - chemický vysoce exotermický děj s vývinem plynů a přídatnými efekty
- **Výbušnina** – sloučenina s labilní chemickou vazbou a velkou vnitřní potenciální energií
- **Iniciační (počínová) energie** – při jejím působení na výbušninu dojde k výbuchu
- **Explozivní hoření** – „pomalý“ výbuchový děj
($v = 300 \text{ m/s}$)
- **Detonace** – „rychlý“ výbuchový děj
($v = \text{až } 9000 \text{ m/s}$)

- **Základní složky průmyslových trhavin**
 - **Látky výbušné** – nitroestery - nitroglycerin, nitroglykol, pentrit, trinitrotoluen
 - **Látky okysličující** – dusičňany (amonný, draselný) a chlorečňany
 - **Látky hořlavé (paliva)** – podporují proces hoření - nafta, olej, parafin, síra, uhelný prach, hliníkové a elektronové piliny
 - **Plnidla** – zajišťují určité vlastnosti nesouvisející s výbuchem - vodovzdornost, barvu, sypkost, plastičnost, bezpečnostní detekci

- **Přímá výbušnina** – k výbuchu stačí malé množství iniciační energie
- **Nepřímá výbušnina** – k výbuchu je třeba dodat velké množství iniciační energie

Při výbuchu 1 kg průmyslové trhavy vzniká cca 1000 l plynů, které při teplotě až 3000° C výrazně expandují. Vzniklá tlaková a podtlaková vlna konají práci.

- Základní rozdělení průmyslových trhavin

- Podle charakteru výbušné přeměny

- **Střeliviny** – přímé výbušniny, explozivní hoření
- **Třaskaviny** – přímé výbušniny, detonace
- **Trhaviny** – nepřímé výbušniny, explozivní hoření – jsou bezpečné pro průmyslové použití

- Podle konzistence

- **trhaviny sypké** – nižší výkon, složení: tritol + dusičnan amonný + paliva (PERMON, PERMONEX, SYTHESIT)
 - Speciální trhaviny - VESUVIT, OBRYSIT
- **trhaviny plastické** – vyšší výkon, složení: nitroestery přes 15% + DA + paliva (PERUNIT, DANUBIT, SEMTINIT)
 - Trhaniny pro zvláštní určení - SEMTEX, INFERNIT

➤ **Rozněcovadla** – prostředky k iniciaci trhavin

• **Pomocná**

- *Bickfordova zápalnice* – iniciace zážehových rozbušek, hnědá šňůra Ø 6 mm s **vnitřní žílou trhacího prachu**, **zaručená rychlost hoření 1m za 125 ±15 s (není nebezpečná)**.
- *Elektrický palník* – iniciace zápalnic a zážehových rozbušek elektrickým proudem z roznětnice **(není nebezpečný)**.

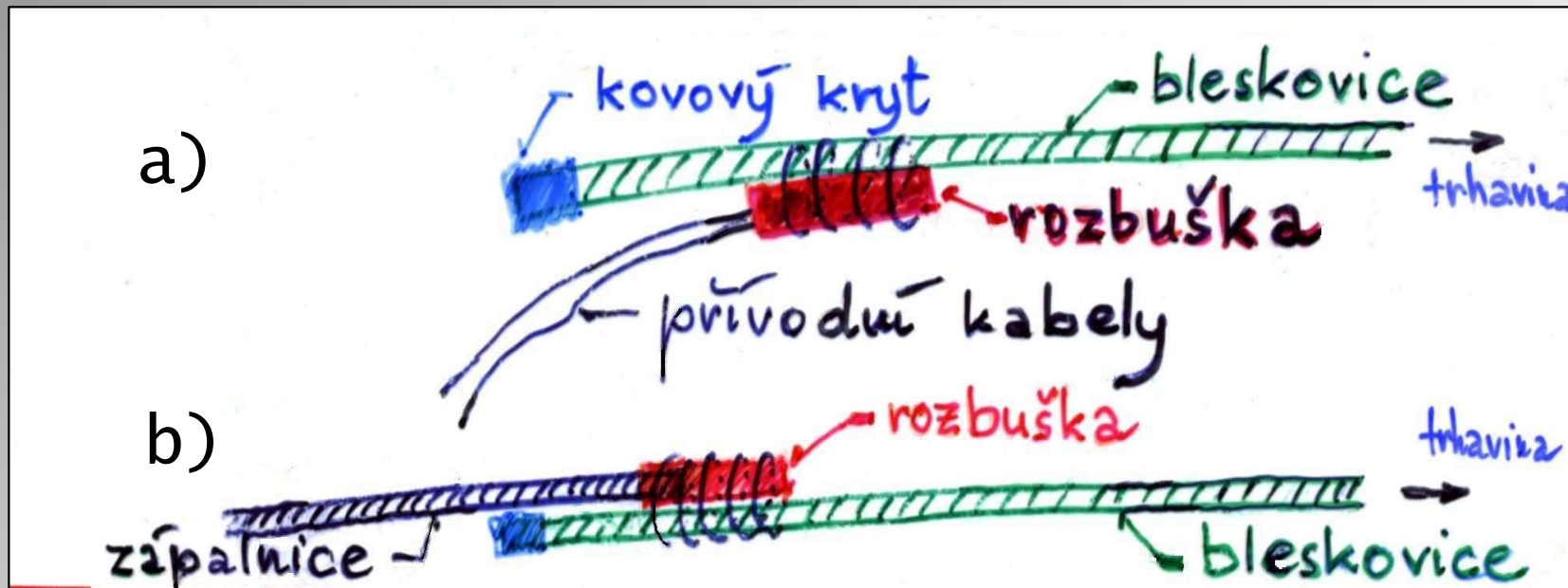
- **Základní**

- *Bleskovice*

- *Zážehová rozbuška*

- *Elektrická rozbuška*

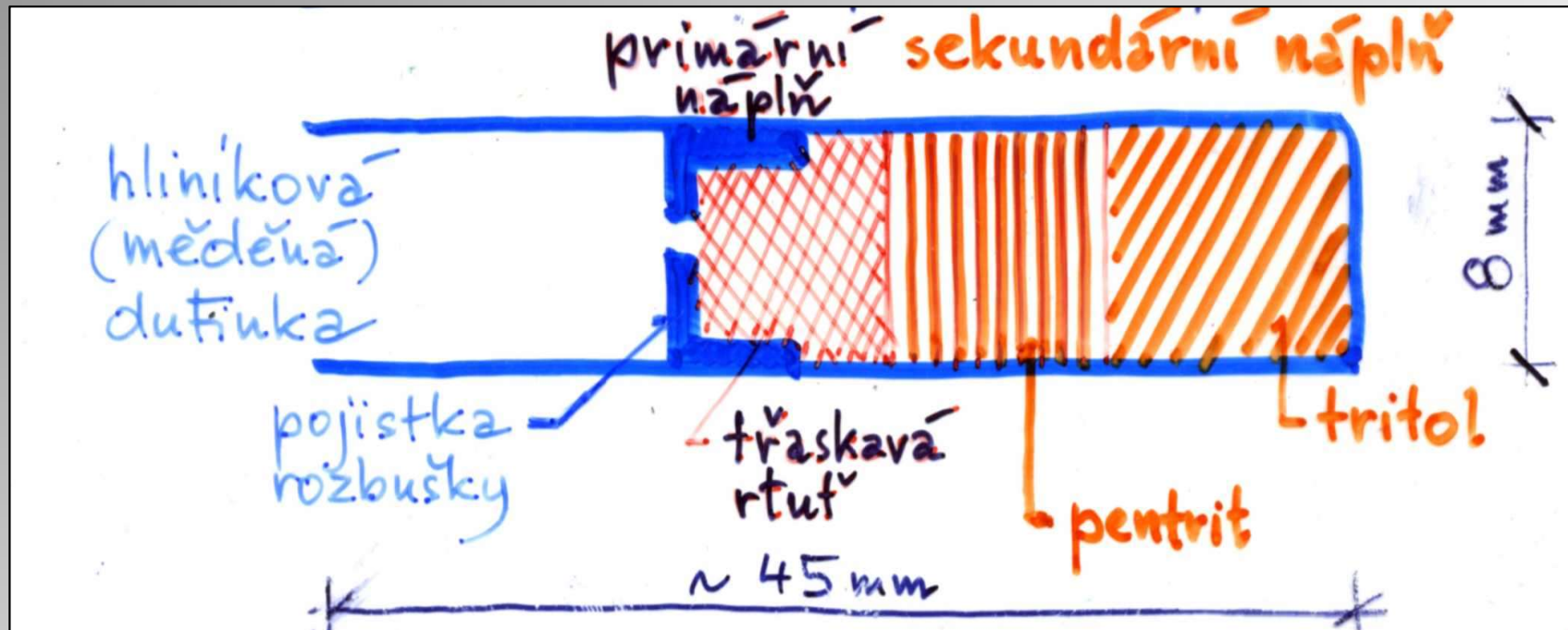
- ***Bleskovice*** – klasická použitelná samostatně nebo k iniciaci trhavin, zelený plastický kabel Ø 6 mm s vnitřní žílou z ***pentritu***, detonační rychlost 6000 m/s - ***iniciace vždy rozbuškou*** → ***nebezpečná, velká opatrnost***
- ***Bleskovice NONEL*** – tenká bleskovice k roznětu (Švédsko)



a) Elektrický roznět

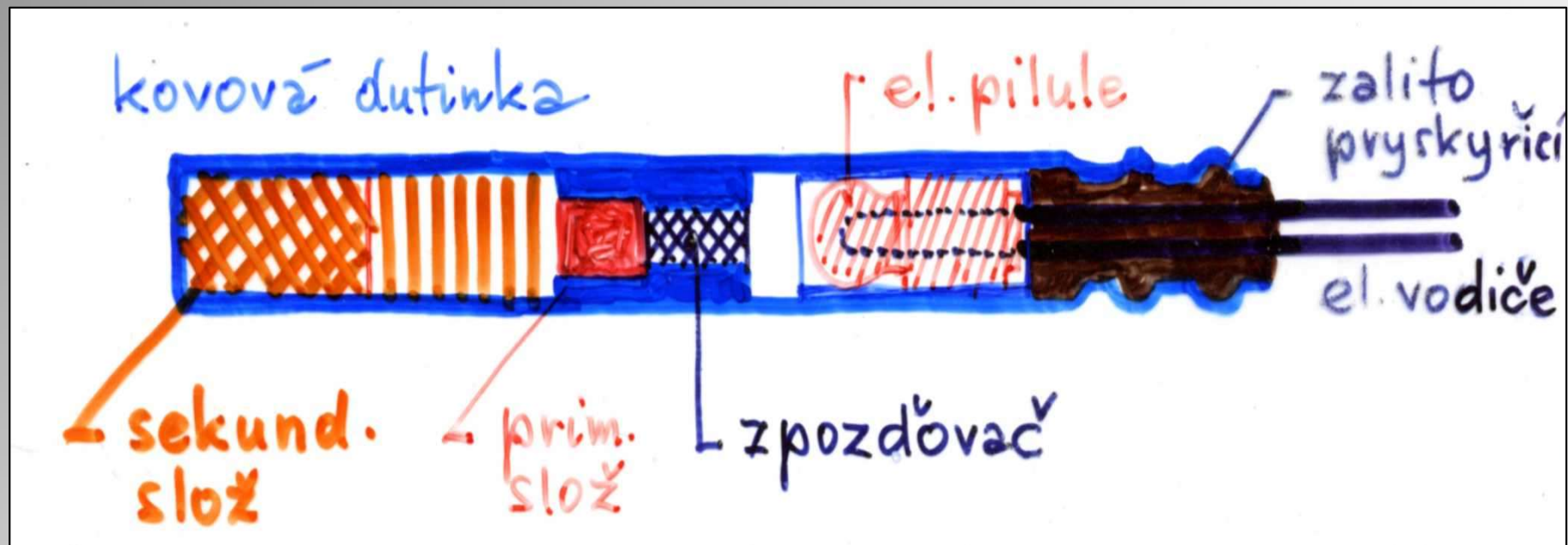
b) Zápalnicový roznět

- **Zážehová rozbuška** – iniciace zápalnicí – přivádí k výbuchu trhavinu pomocí třaskavin → **nebezpečná, velká opatrnost při manipulaci**



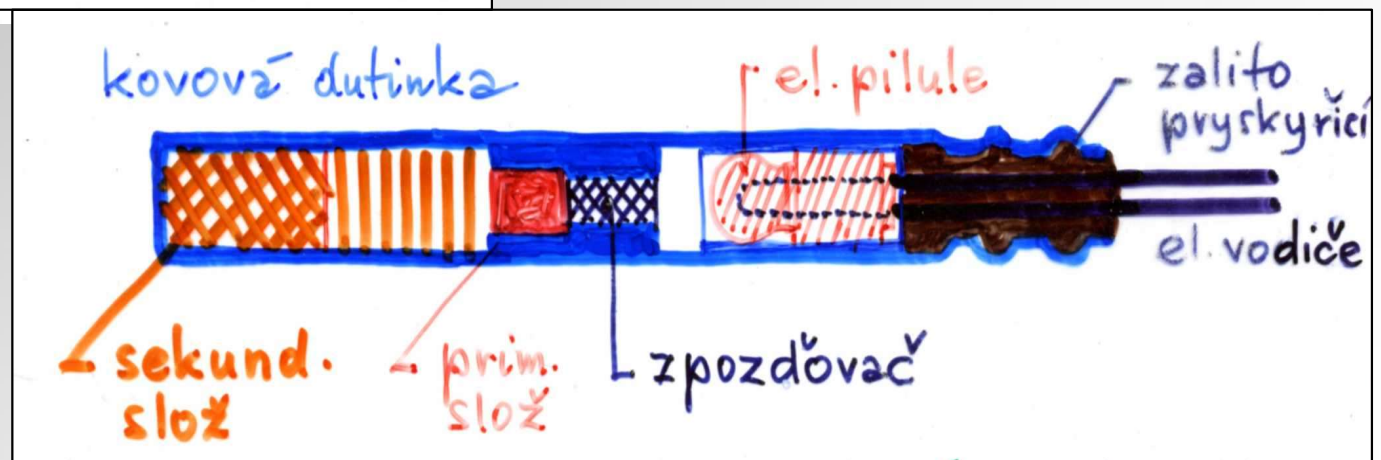
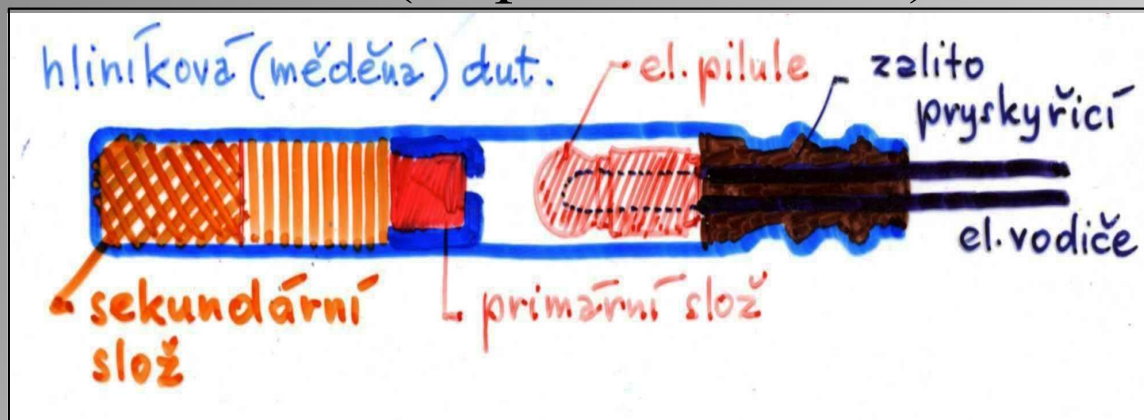
- ***Elektrická rozbuška*** – iniciace elektrickým proudem z ***roznětnice*** – přivádí k výbuchu trhavinu pomocí třaskaviny → také nutná velká opatrnost při manipulaci

← Zážehová rozbuška → Elektrický palník →



• Elektrické rozbušky

- *Mžikové* – okamžitá detonace po zavedení elektrického proudu z roznětnice (stupeň „0“)
- *časované* – detonace nastává se zpožděním po průchodu elektrického proudu z roznětnice (stupně „1“ až „n“)



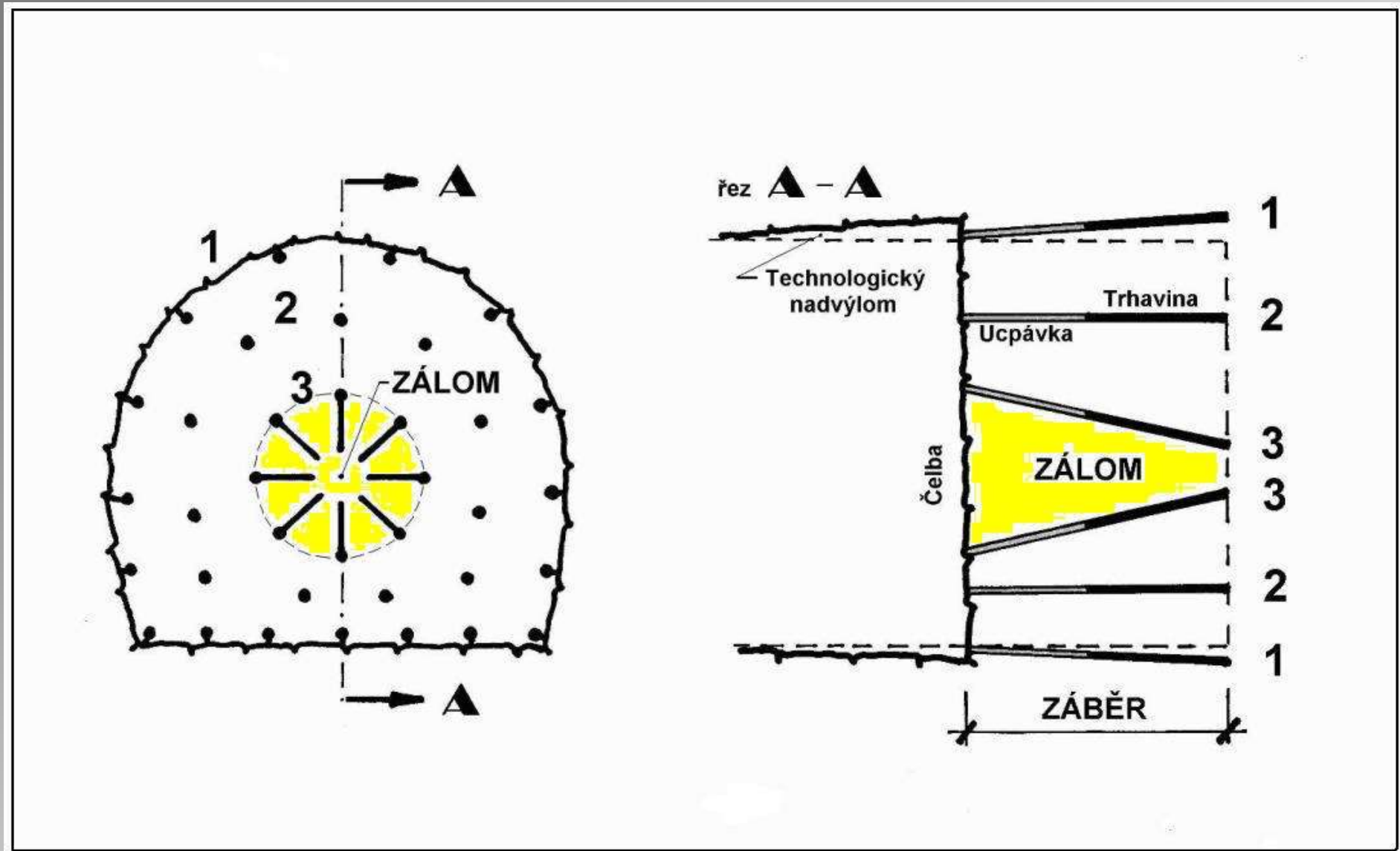
TRHACÍ PRÁCE PŘI RAŽBĚ

Trhavinové nálože se vkládají do vrtů (1/3 až 1/2 délky vrtu), zbytek je vyplněn ucpávkou

➤ **Vrtné schema** – speciální uspořádání vrtů v čelbě štoly nebo tunelu. Tvoří jej:

- *vrty zálomové* – provádějí obtížný počáteční vlom do horninového masivu v čelbě
 - *vrty přibírkové* – rozpojují podstatnou část horninového masivu v čelbě
 - *vrty obrysové* – rozpojují horninu v oblasti rozhraní mezi výrubem a masivem; cílem je přesný výlom a malé porušení masivu v bezprostředním okolí výrubu
-

Vrtné schema



1-vrty obrysové

2-vrty přibírkové

3-vrty zálomové

Trhací práce při ražbě

- **Typy zálomů**

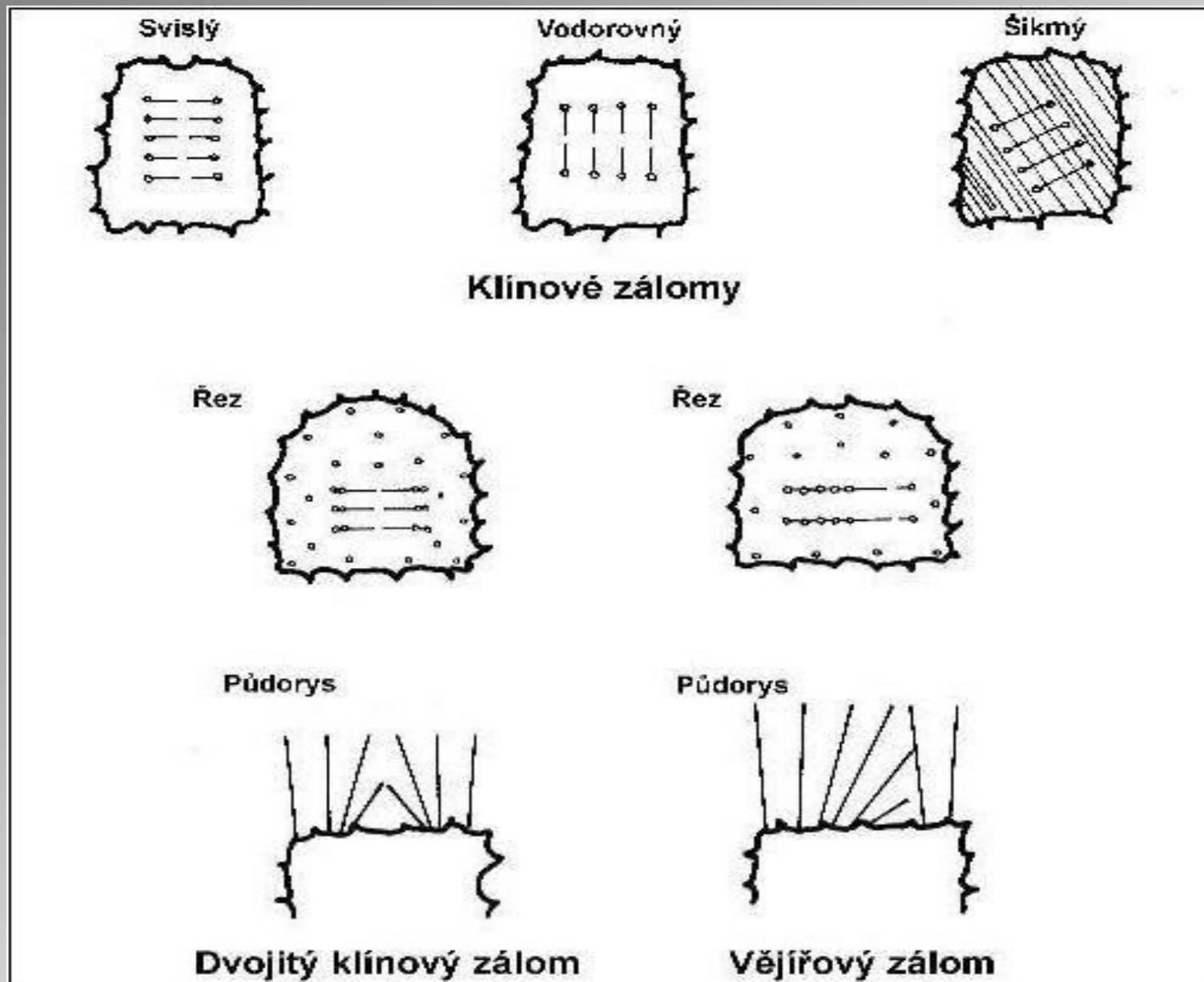
1. Sbíhavé zálomy — *šikmé vrty*

2. Přímé zálomy — *vrty kolmé k čelbě*

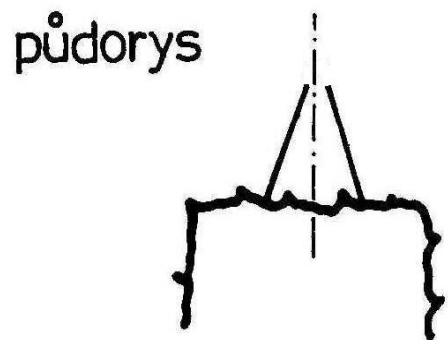
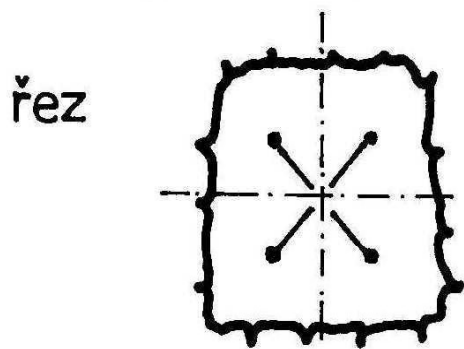
Sbíhavé zálomy

- Klínový zálom
 - Svislý
 - Vodorovný
 - Šikmý
 - Násobný
 - Vějířový
 - Pyramidový
 - Kuželový
-

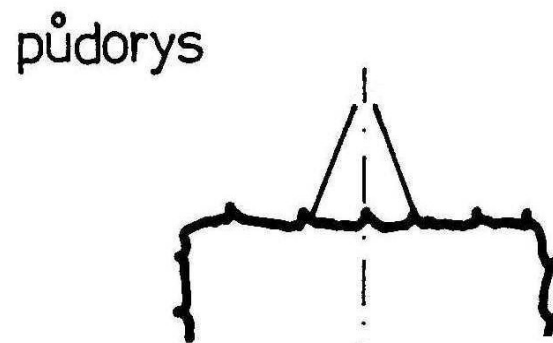
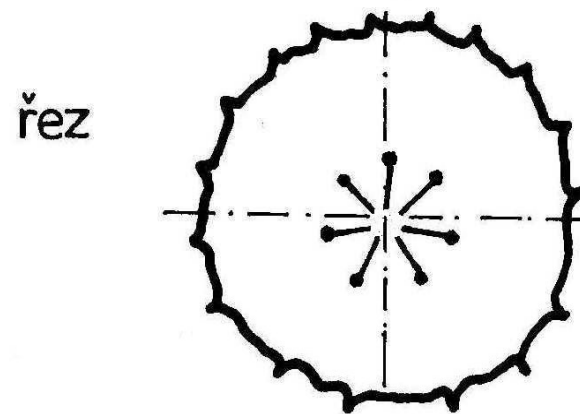
Klínové zálomy



Pyramidový a kuželový zálom



Pyramidový zálom

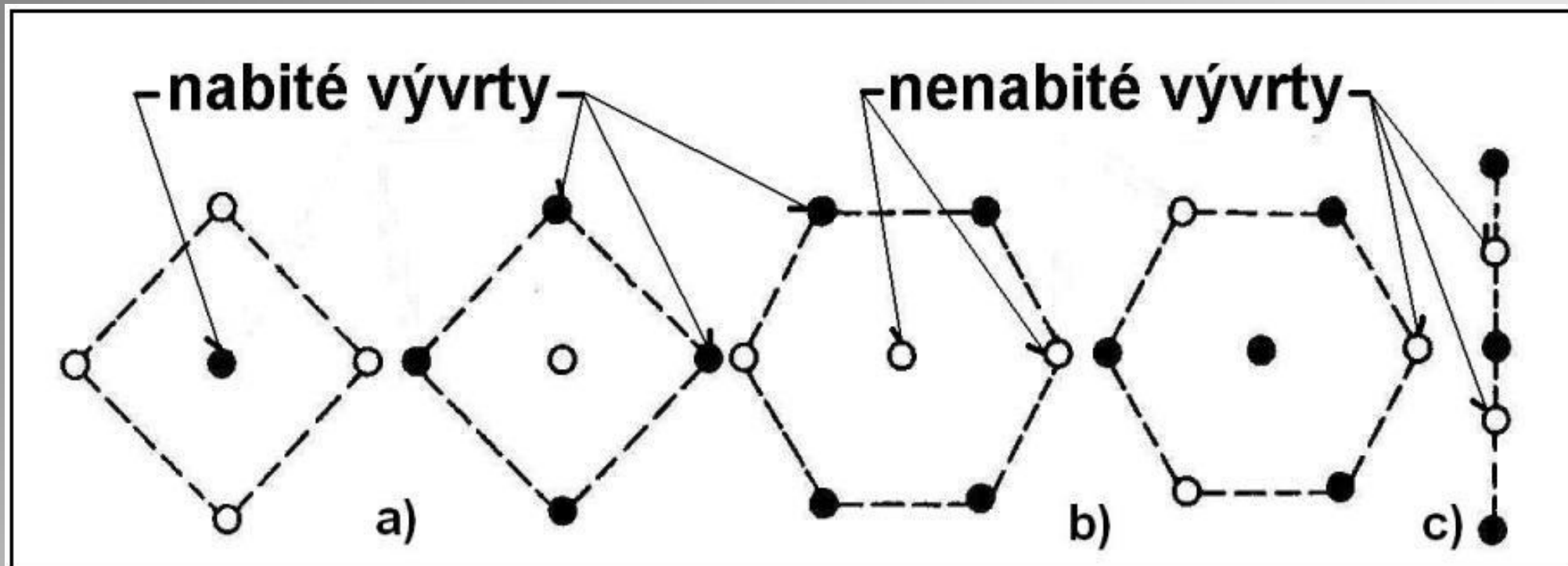


Kuželový zálom

Přímé zálomy

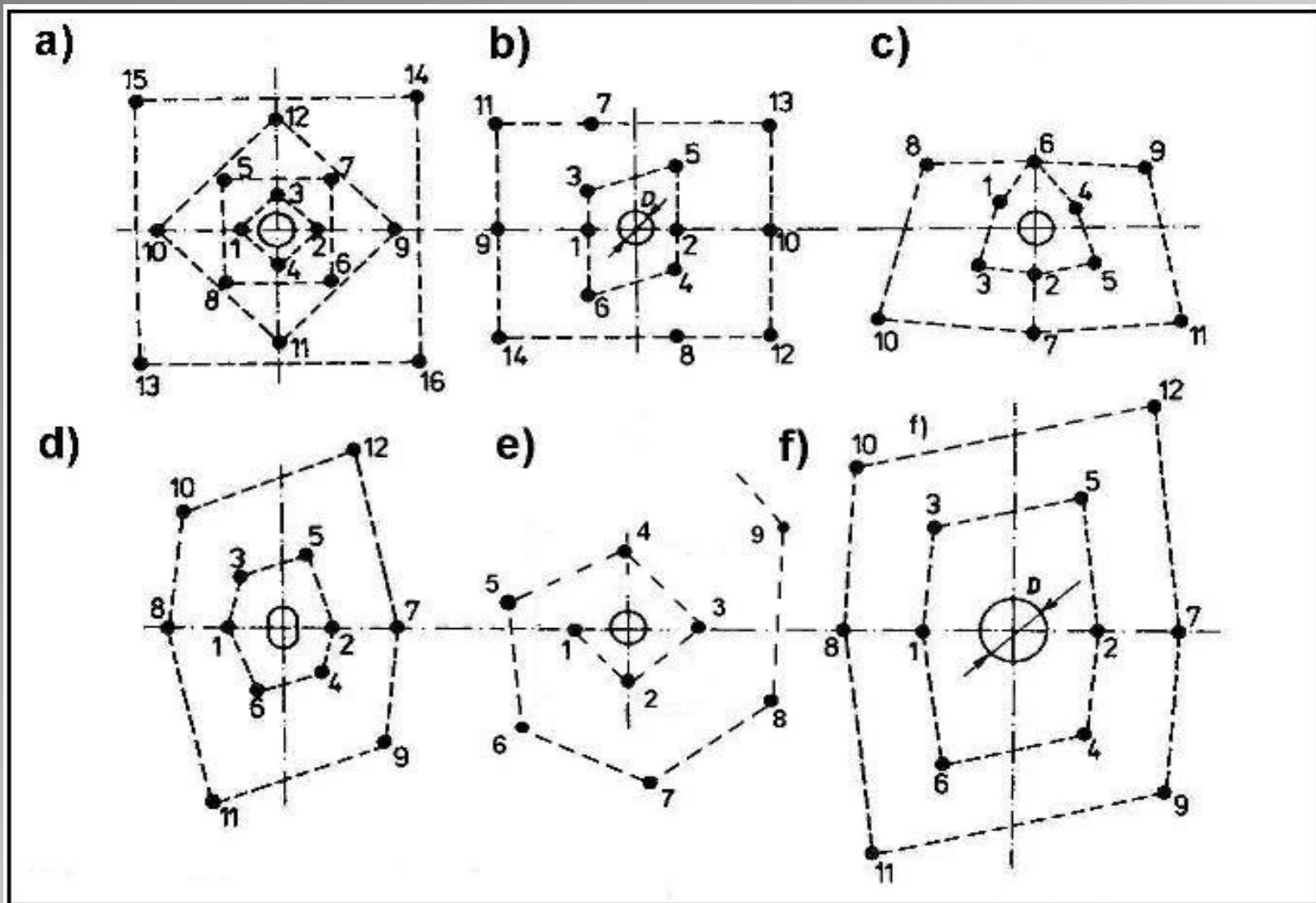
- **Tříštivé (kanadské)**
 - čtvercový
 - šestiúhelníkový
 - štěrbinový
 - **Válcové (uvolňovací)**
-

Tříštvivé (kanadské) zálomy



- a) čtvercové b) šestiúhelníkové
c) štěrbinový

Válcové (uvolňovací) zálomy



- a) čtvercový b) obdélníkový c) Täby d) Coromant
e) jednoduchý spirálový f) dvojitý spirálový

Řízený výlom

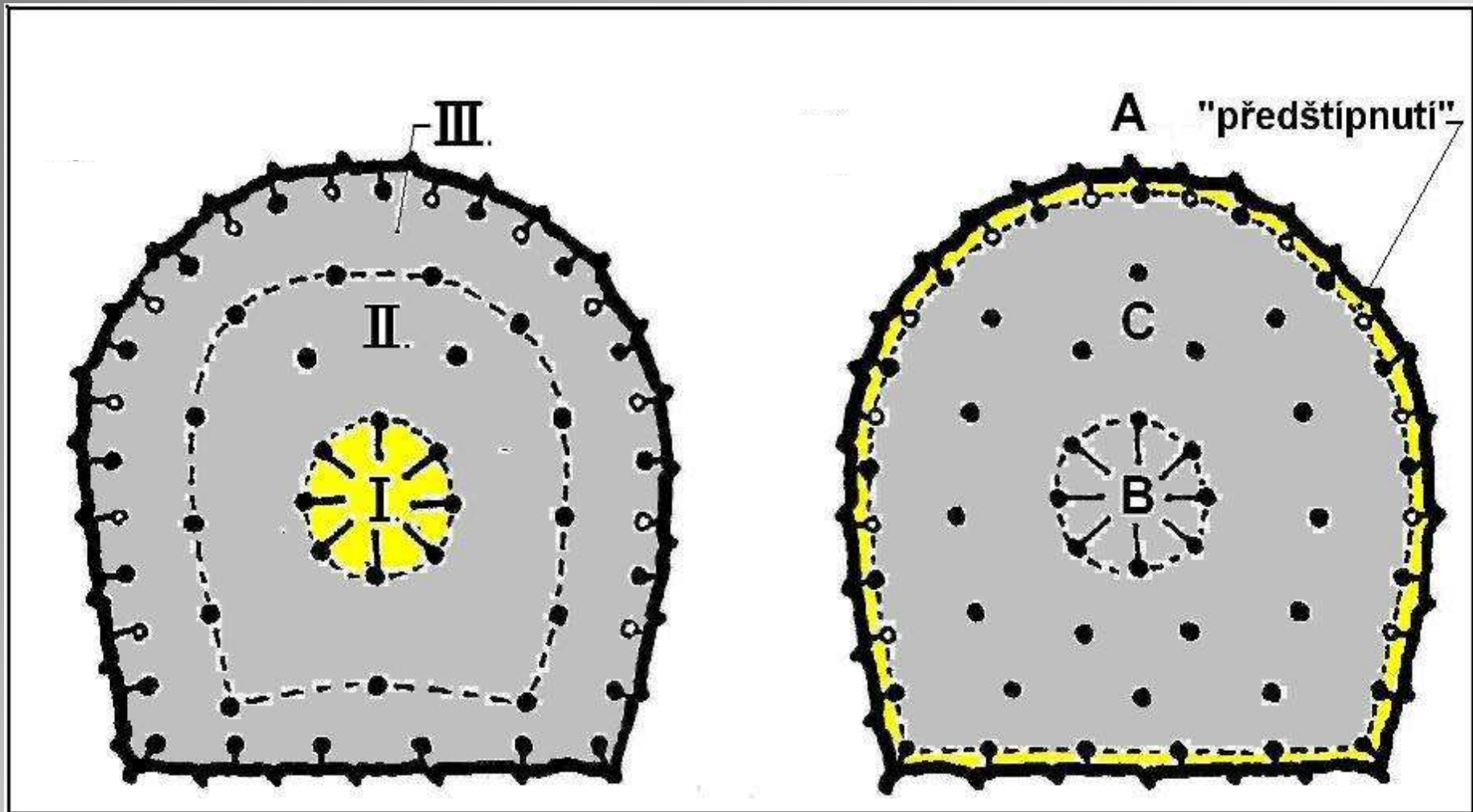
Způsob provádění **obrysových vrtů**,
umožňující splnění dvou zásadních
požadavků:

- **minimalizaci nadvýlomů**
 - **minimální narušení masivu za obrysem výrubu**
-
- **Hladký odstřel**
 - **Presplitting**

Parametry hladkého odstřelu a presplittingu

- **Společné**
 - Obrysové vrty mají malou rozteč (20 až 30 cm)
 - Nabíjí se vystřídane (každý druhý)
 - Použitá trhavina má nízkou náložovou hustotu
 - Působení nálože směrem do masivu je odstíněno
- **Rozdílné – časový postup odpalování jednotlivých náloží**
 - **Hladký odstřel: zálom – přibírky – obrys**
 - **Presplitting: obrys – zálom - přibírky**

Schema časování hladkého odstřelu a presplittingu



Hladký odstřel

Presplitting

Tunelové vrtací stroje



Dvoulafetová vrtačka
ATLAS COPCO
BOOMER

Třílafetový vrtací stroj
TAMROC AXERA
(2 lafety vrtací, 1 s plošinou)



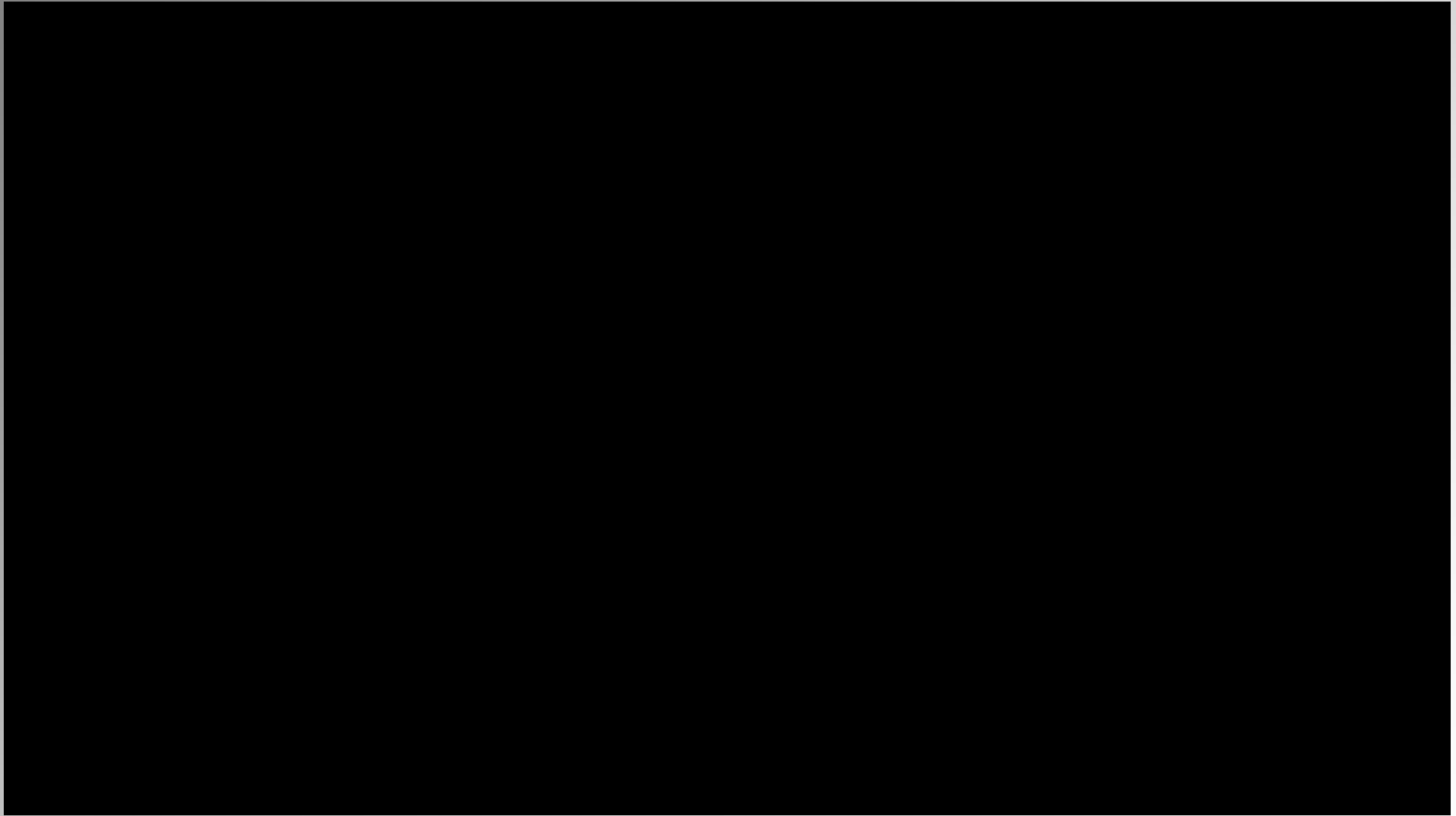


Atlas Copco Boomer – Krasíkovský tunel

Tunel Siglufjordor Island



Tunel Povážský Chlmec (SK)



Vrtání

Hochtief a.s

Tunel Povážský Chlmec (SK)



Trhací práce

GMI . .

Tunel Povážský Chlmec (SK)



Trhací práce

Hochtief a.s

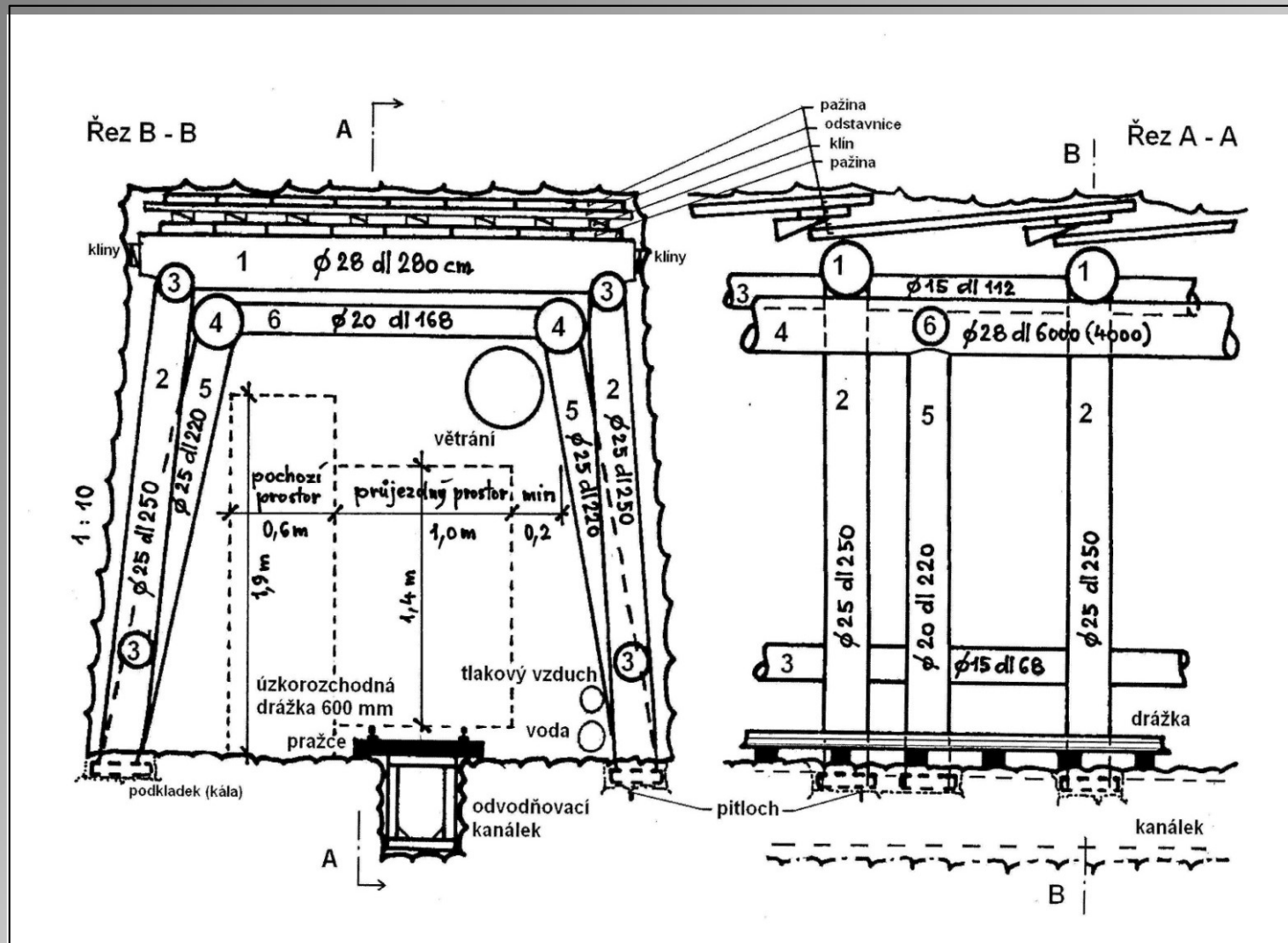
PROVIZORNÍ VÝZTUŽ

- **Výdřeva**
- **Ocelová výztuž**
- **Svorníková výztuž**
- **Stříkaný beton**

Výdřeva

- V současné době se používá již jen zcela výjimečně (nouzové zesílení jiného typu vyztužení)
- Příčné veřeje mohou být kombinovány se zátažným nebo i hnaným pažením
- Dřevěné pažiny musí být aktivovány klíny
- Výdřeva reaguje na přetížení **včasnými varovnými projevy → možnost zesílení**

Výdřeva štoly s podvlaky

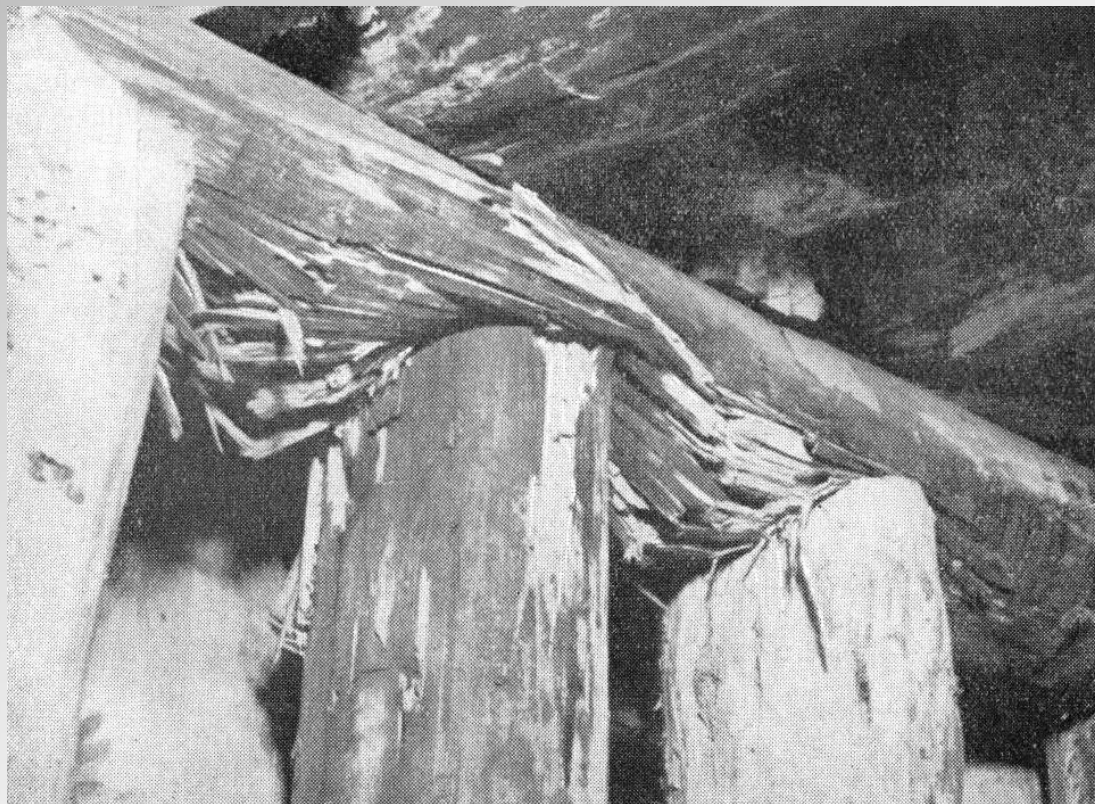


- 1 – podvoj 2 – stojky podvoje 3 – rozpěry veřejí
 4 – podvlaky 5 – stojky podvlaků 6 – rozpěry podvlaků



výdřeva štolý

Tlaky na výdřevu

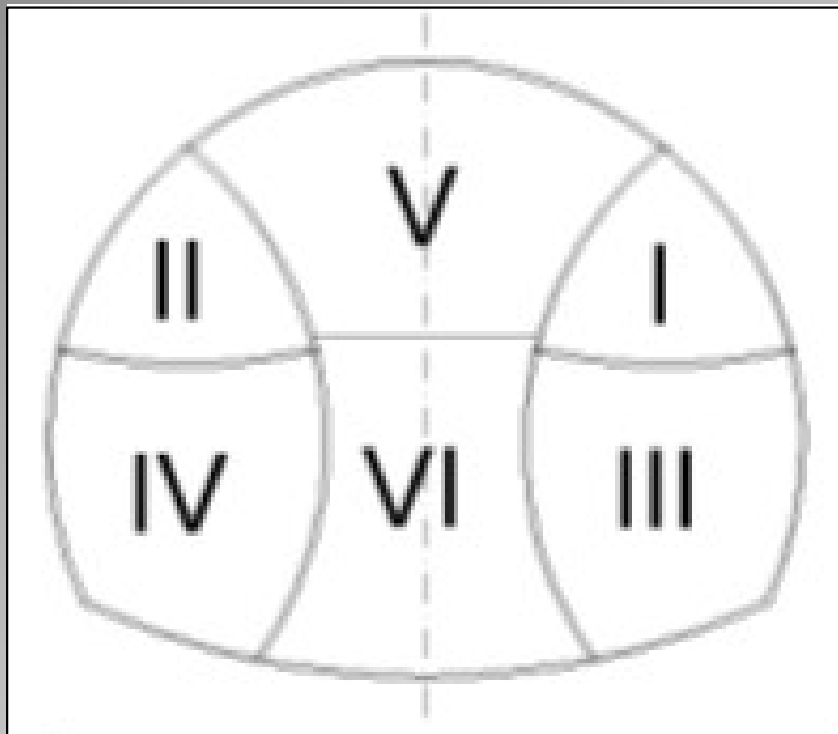


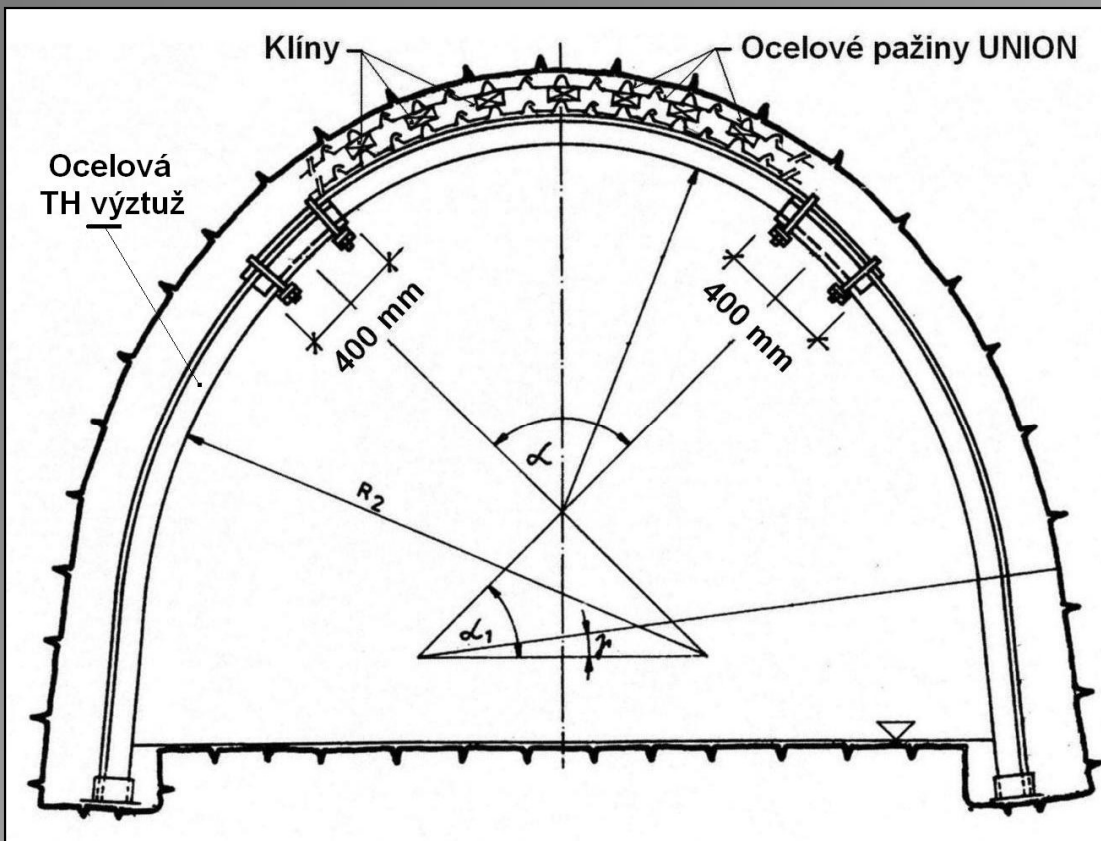
Ocelová žebrovaná výztuž

- běžné válcované profily I, U nebo H
- poddajné profily typu TH a K
- hvězdicové profily
- příhradové profily.

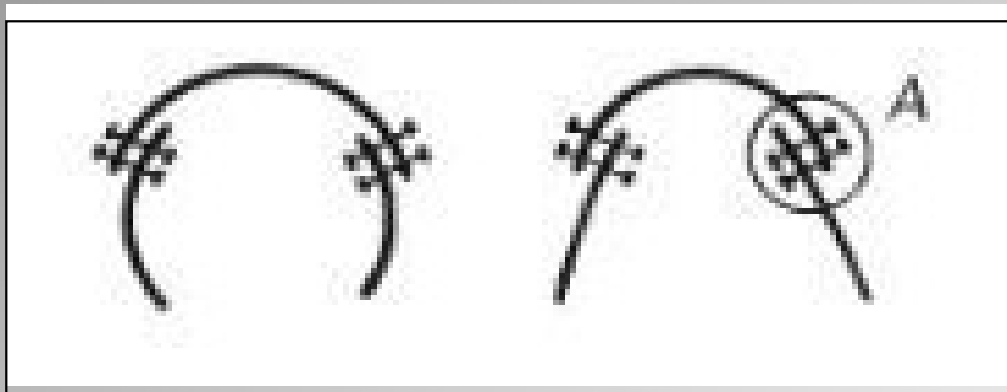
Válcované nosníky I, U nebo H

- Používají se výjimečně, spojování pomocí styčných plechů a šroubů, u velkých profilů se jim přisuzuje rychlý přenos zatížení



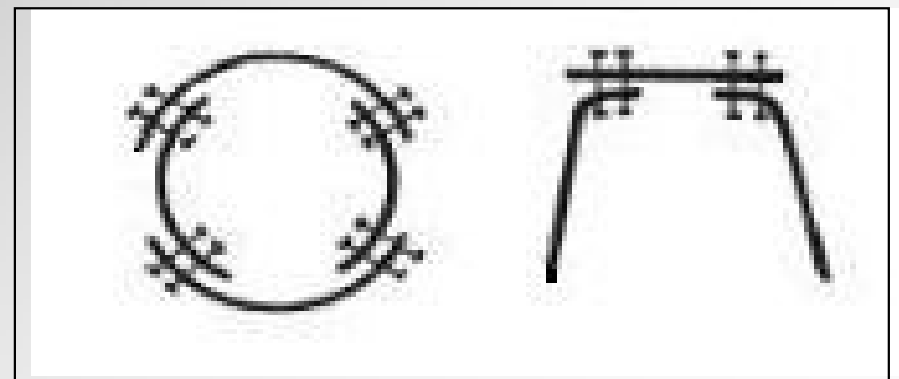


Výztuž štoly (TH profily s plechovými pažinami)



„OO“

„OR“

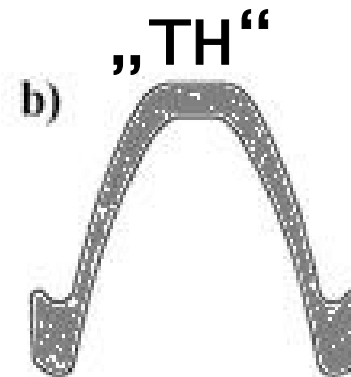
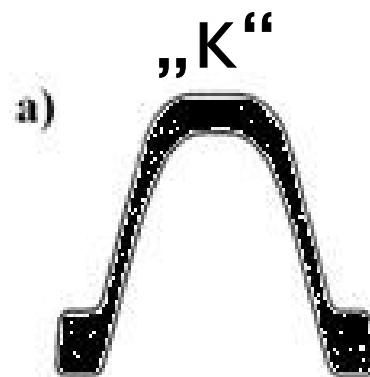
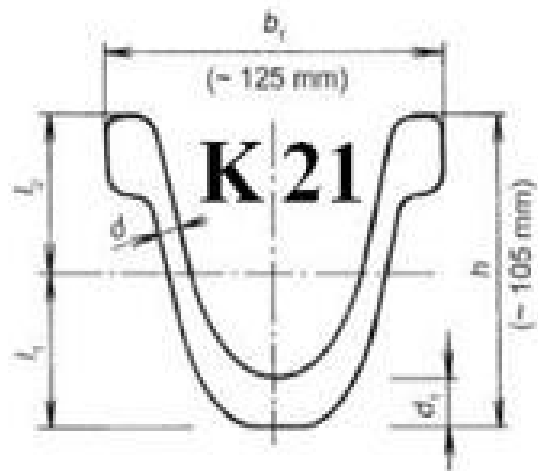


„KC“

„LB“

Poddajné profily typu Touissant – Heitzmann (korýtkový profil)

Poddajná výstroj TH a K



Tvary průřezů

K 21 – 21 kg/m

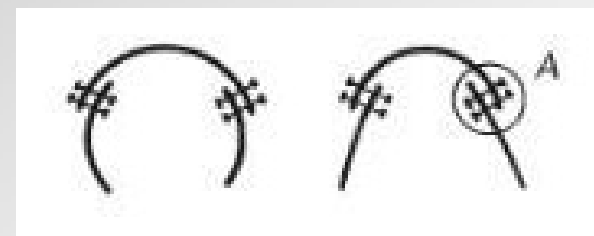
K 24 – 24 kg/m

P 28 – 28 kg/m

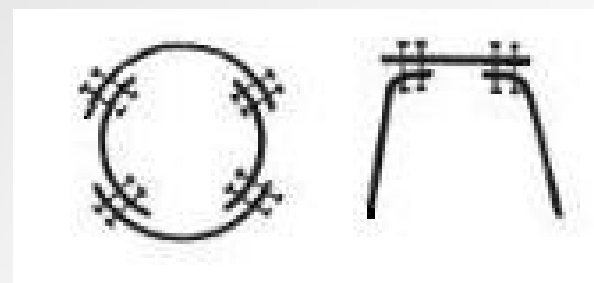
TH 16,5 TH 21 TH 29

TH 34 TH 36

Hmotnosti výztuže
(Nová Huť a.s.)



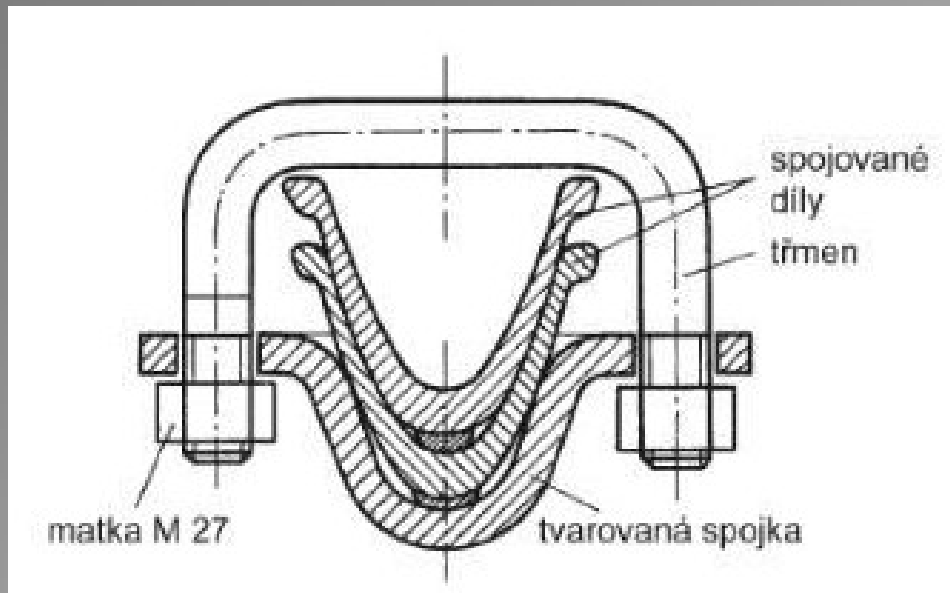
„OO“
„OR“



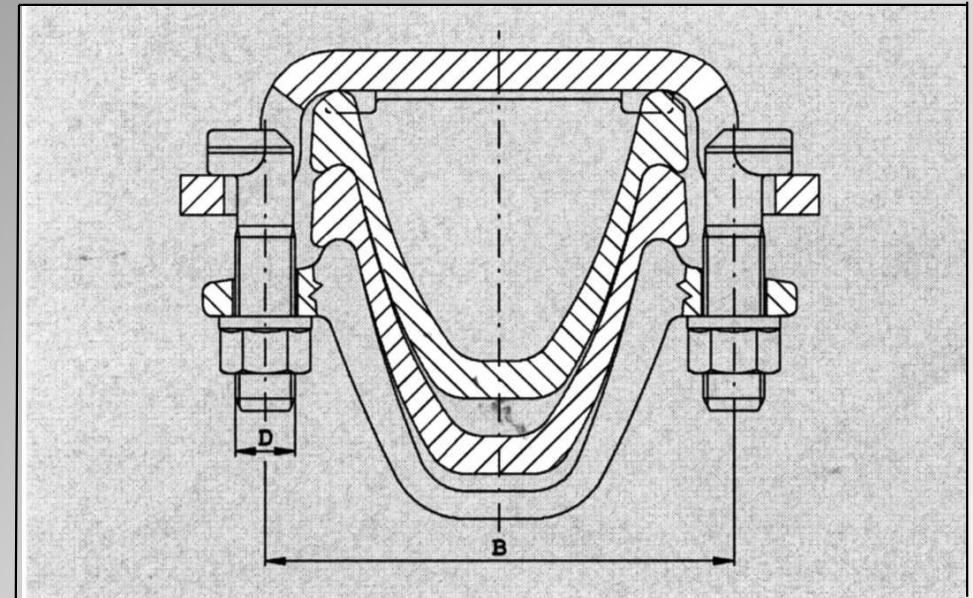
„KC“
„LB“

Tvary výztuže

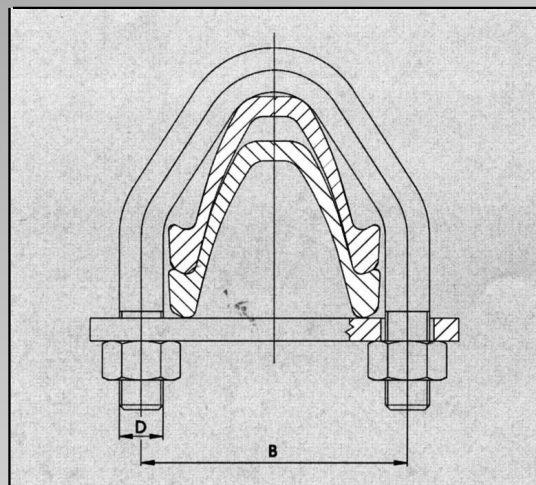
Spojování dílů poddajné výztuže



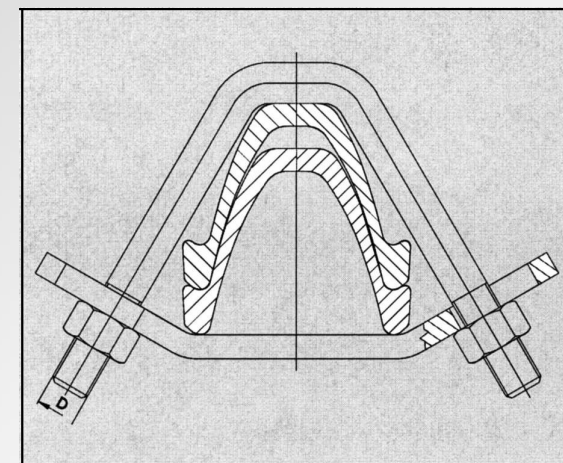
Třmenový spoj



Šroubový spoj

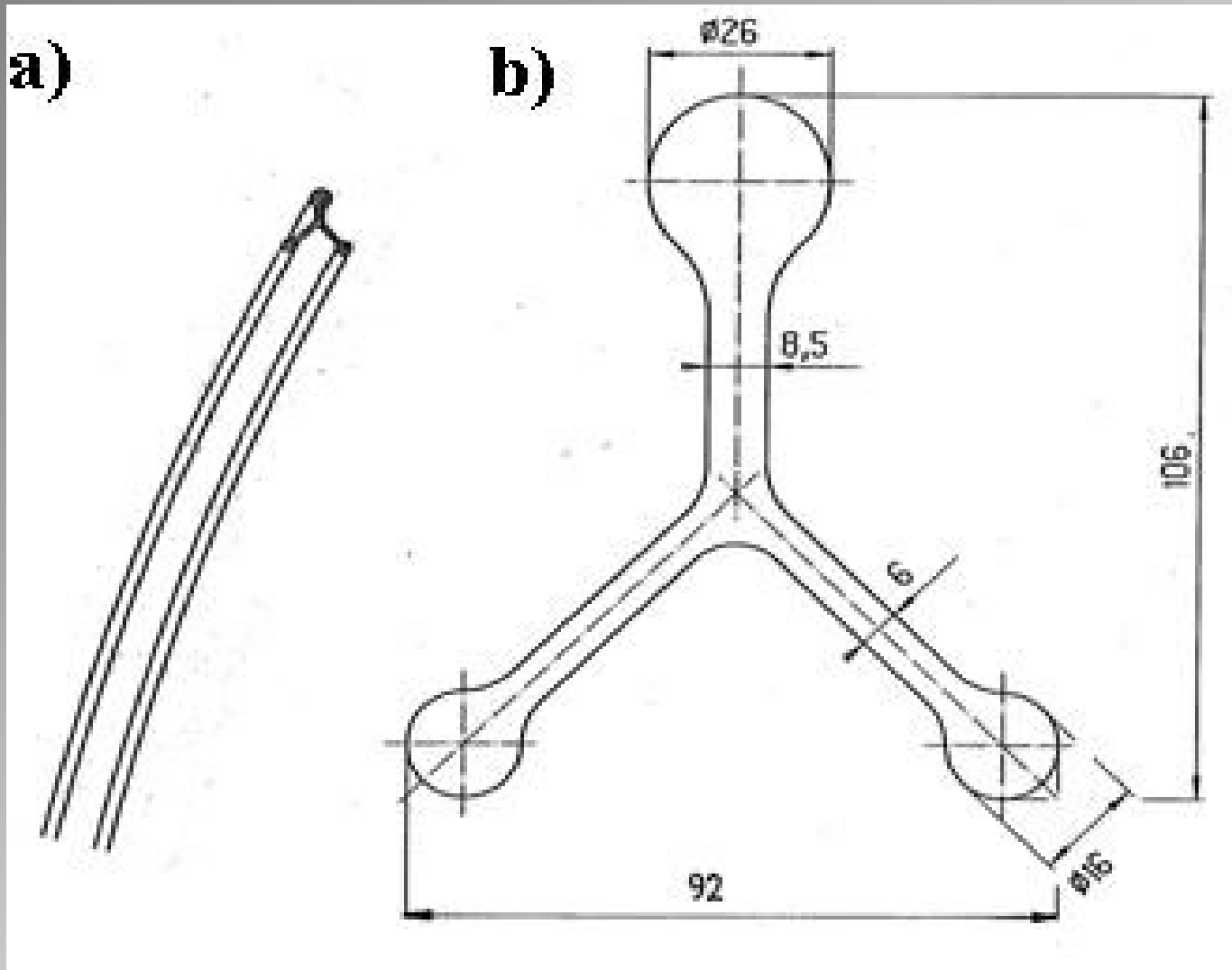


Obrácený třmenový přímý



Obrácený třmenový šikmý

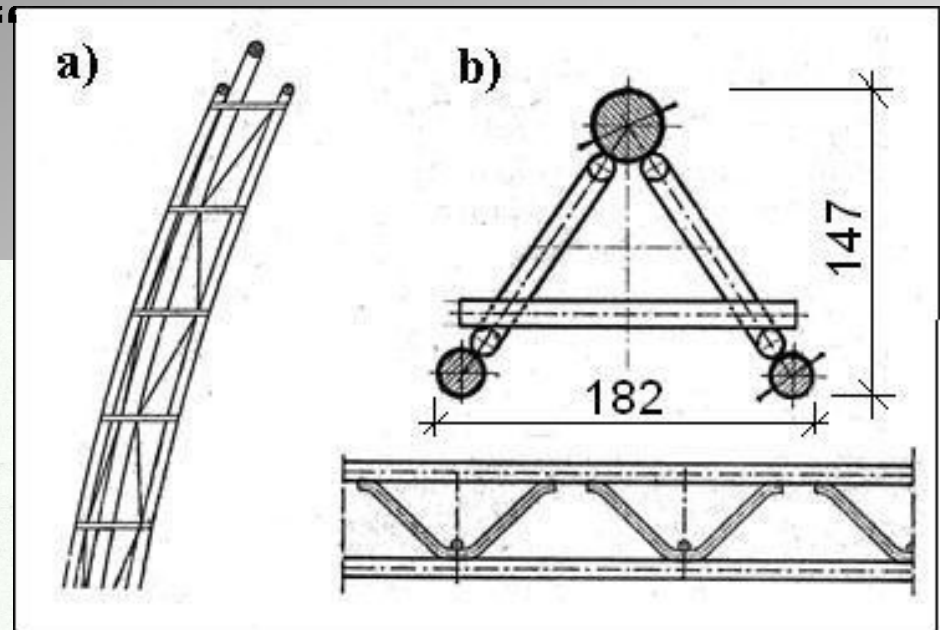
Hvězdicová výztuž



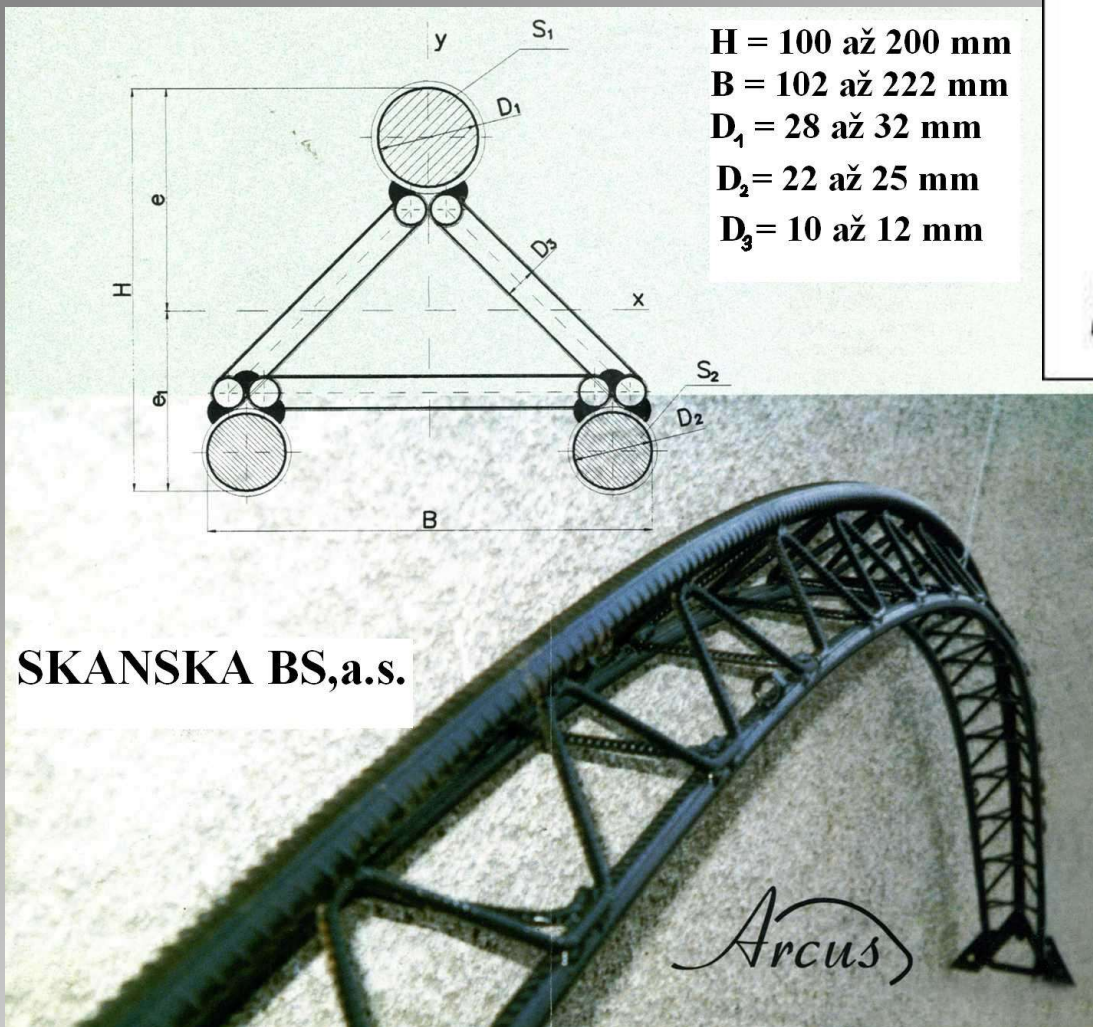
$$G = 14 \text{ kg/m}, W_x = 40 \text{ cm}^3$$
$$(G = 18 \text{ kg/m}, W_x = 60 \text{ cm}^3)$$

Příhradová oblouková výztuž

System „Ankra“

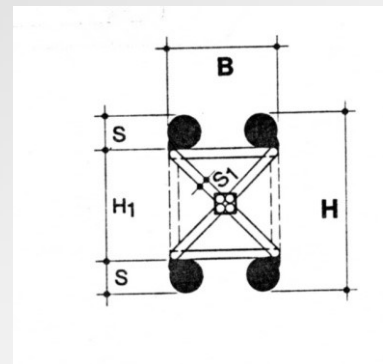
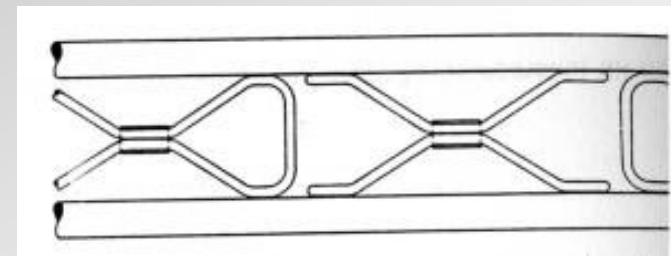


System „ARCUS“



$H = 100$ až 200 mm
 $B = 102$ až 222 mm
 $D_1 = 28$ až 32 mm
 $D_2 = 22$ až 25 mm
 $D_3 = 10$ až 12 mm

SKANSKA BS,a.s.



System „Pantex“

$H = 100$ až 300 mm
 $B = 100$ až 180 mm

Tunel Povážský Chlmec (SK)

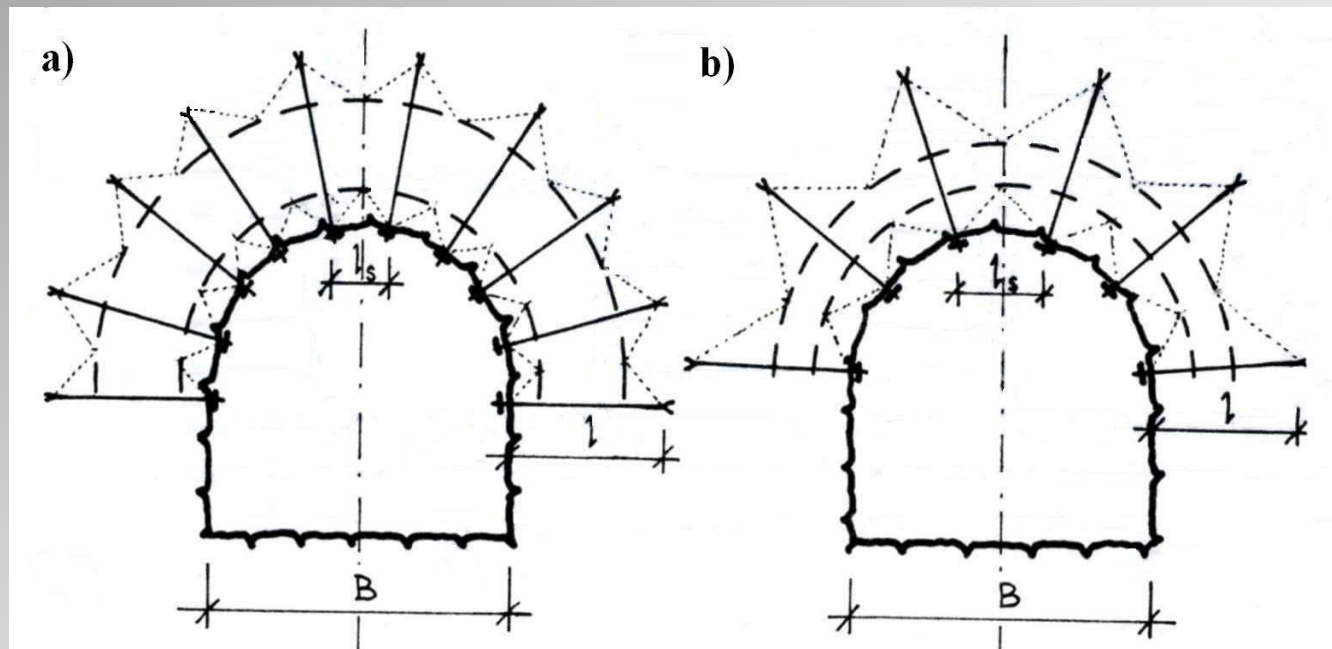


Výztuž primárního ostění

Hochtief a.s

Svorníková výztuž

- Tahová výztuž umístěná vně výrubního průřezu
- Svorníky mohou být předpjatá i nepředpjatá. Častěji používané svorníky jsou bez předpětí, osové namáhání se realizuje vlivem deformací horninového masivu. Kolem výrubu vzniká zóna s lepšími smykovými parametry.



$$l_s / l = 3$$

$$l_s / l = 2$$

Rozdělení svorníků

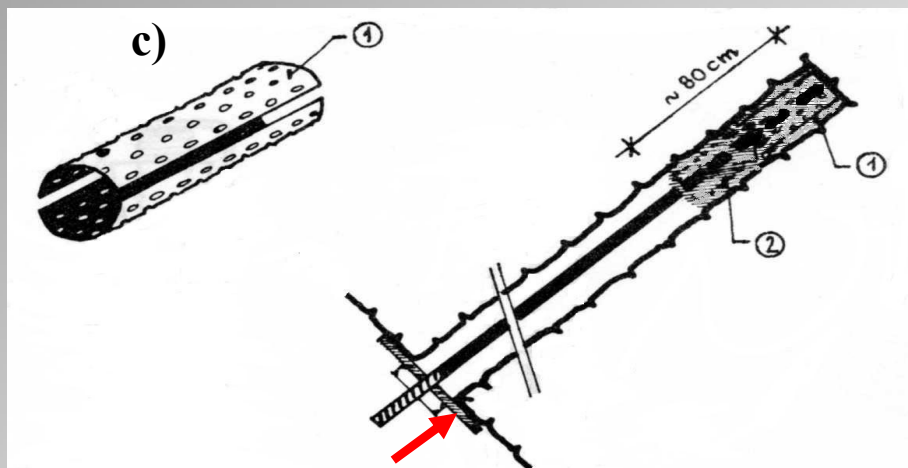
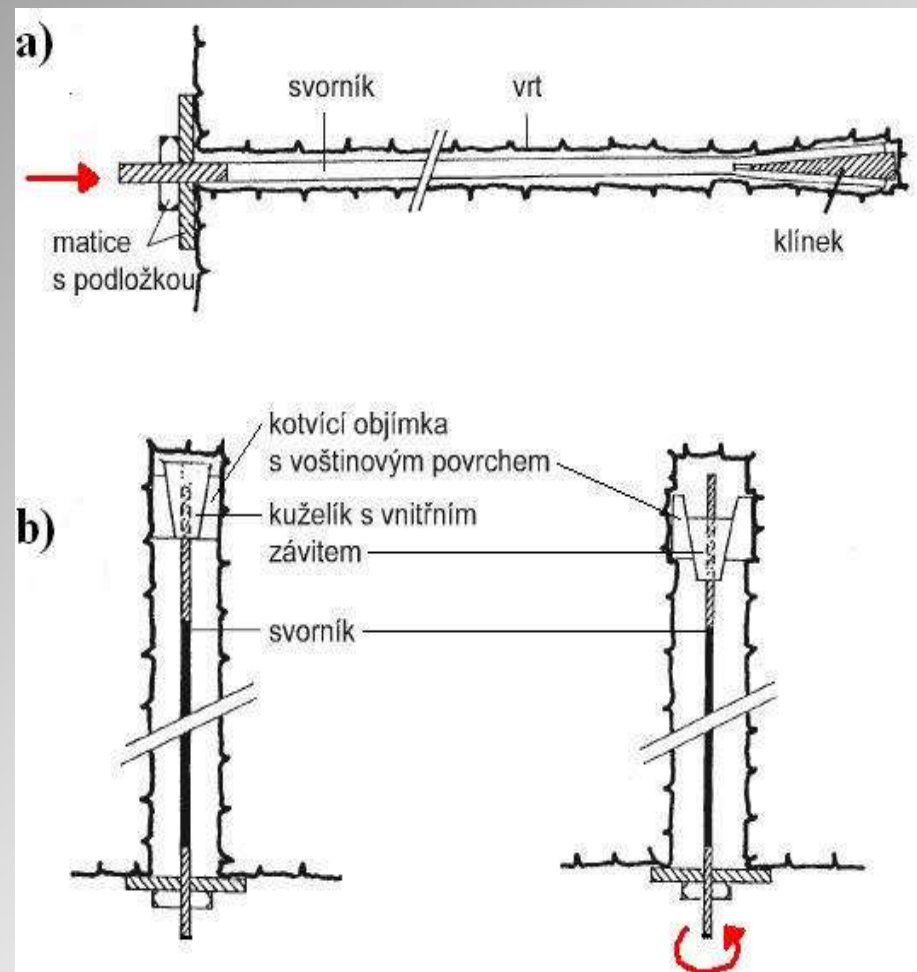
- Svorníky upínané v patce

- **Mechanicky**

- » klínkové (a)
- » šroubové (b)
- » kombinované

- **Pomocí tmelů**

- » cementovou maltou (c)
- » dvousložkovou pryskyřicí



Perfometoda

Rozdělení svorníků

- **Svorníky upínané po celé délce**

- **1. Mechanicky**

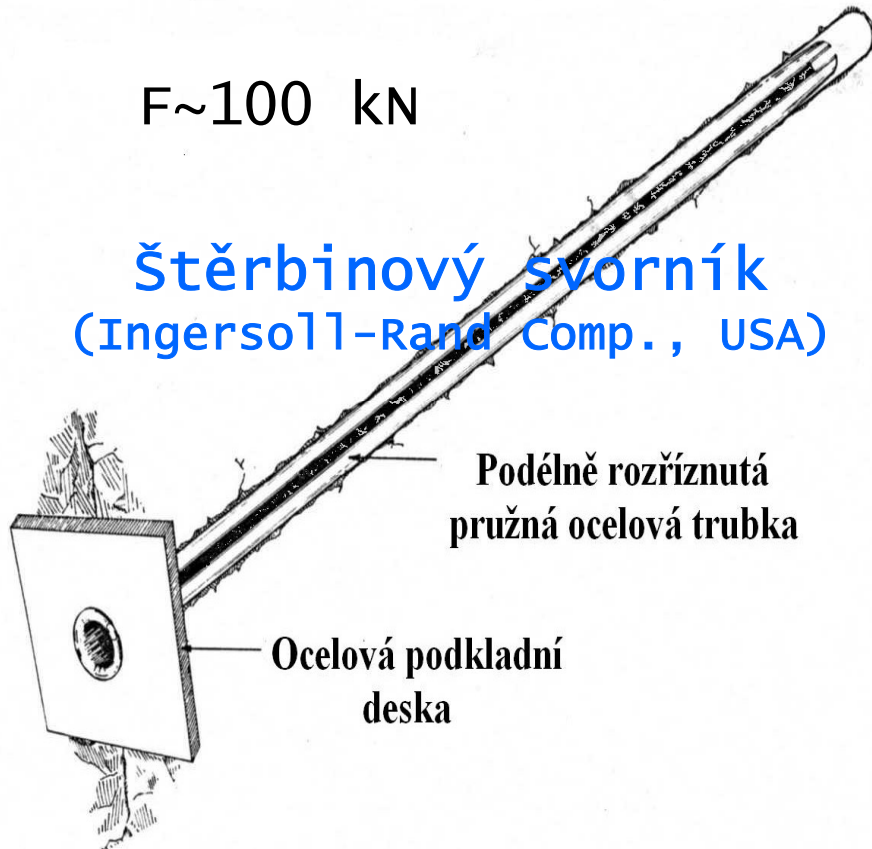
- Štěrbínové (Split-set)
- Hydraulické (Swellex)
- Rozpínavé (Worley)

- **2. Pomocí tmelů**

- SN svorníky (Store-Norfoss)
 - » Cementová malta
 - » Dvousložková pryskyřice
- PG svorníky („Post-Grouting“)
- Samozávrtné svorníky (IBO)
- Injektážní svorníky (Pakran)

$F \sim 100 \text{ kN}$

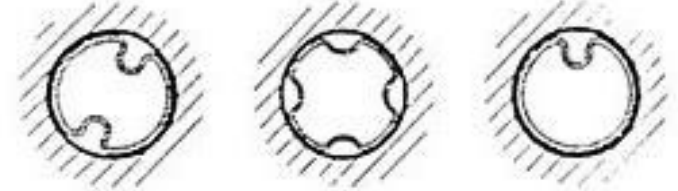
Štěrbinový svorník (Ingersoll-Rand Comp., USA)



před ukotvením



po ukotvení



2x zavinutý profil

4x zavinutý profil

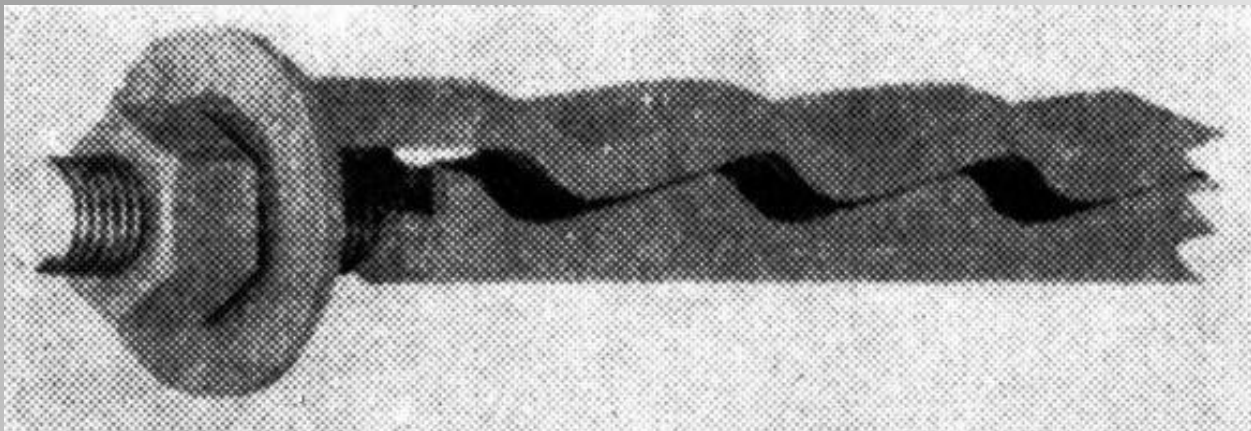
1x zavinutý profil

1.

$F \sim 130 \text{ kN}$

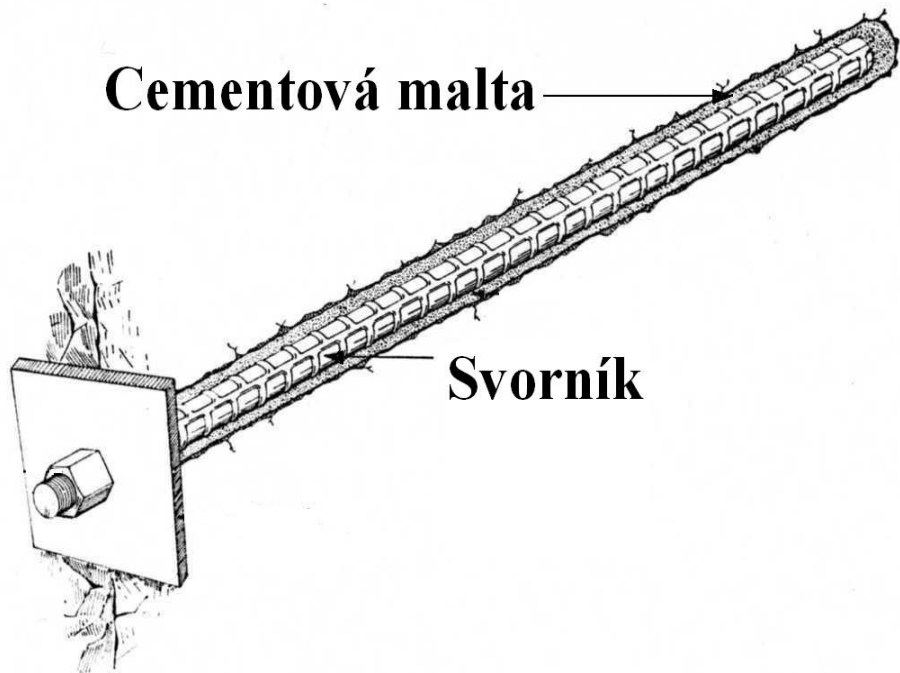
Trubka z vysokotažného plechu

Hydrauličtý svorník (Atlas Copco AB, Sweden)



Svorník Worley (USA)

Cementová malta

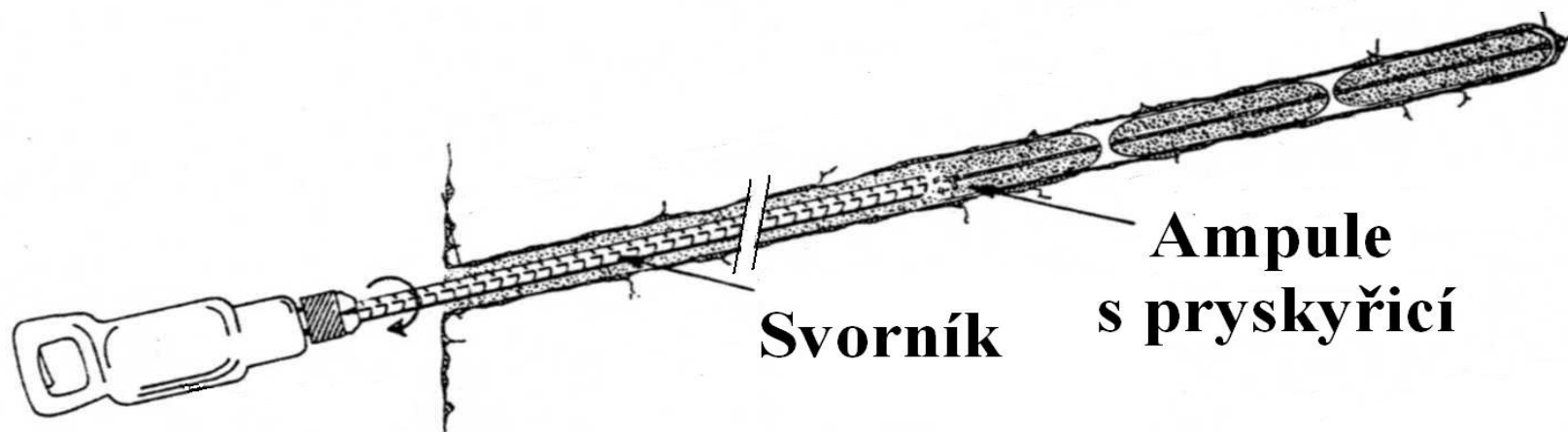


Svorník

SN svorník \varnothing 20 mm
 $F \sim 120$ kN

2.

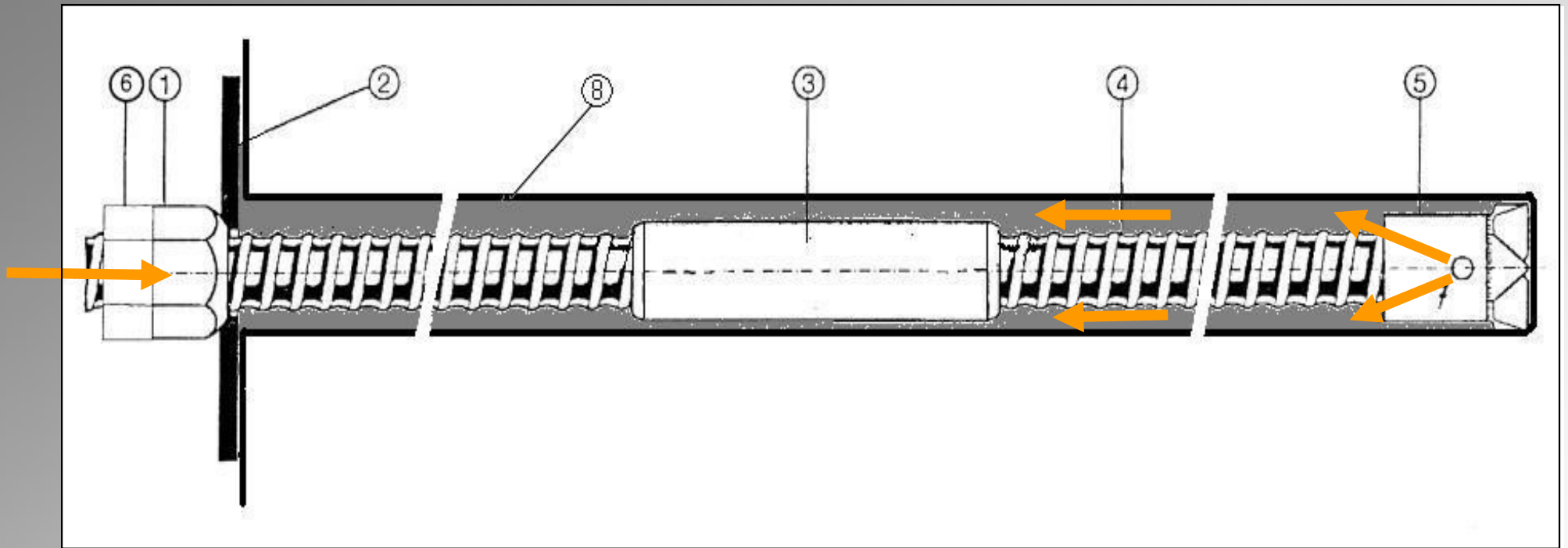
Lepený svorník \varnothing 20 mm
 $F \sim 120$ kN



Svorník

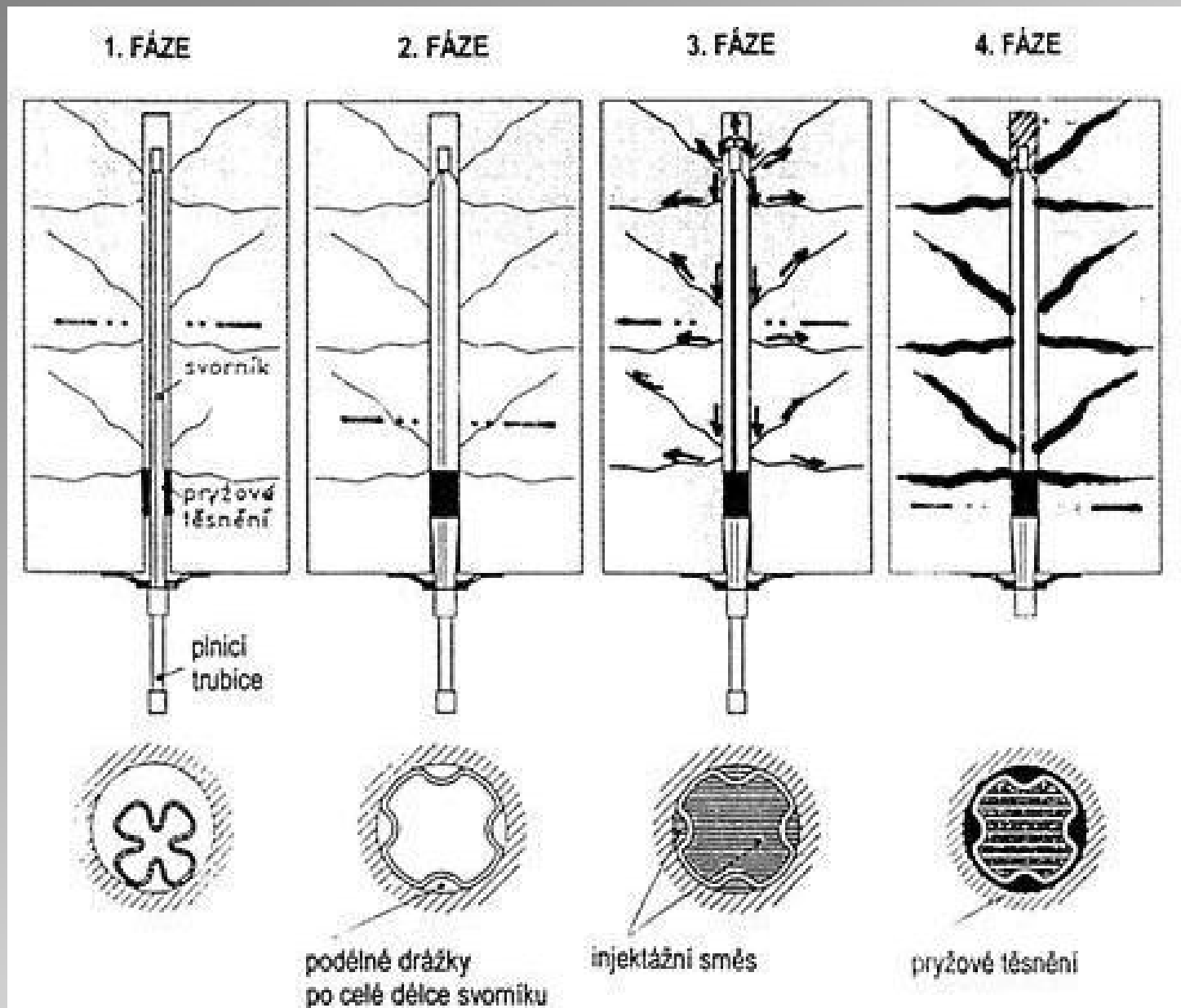
Ampule
s pryskyřicí

Samozávrtný svorník (IBO)



1 – utahovací matice 2 – ocelová podložka 3 – spojník 4 – dřík svorníku 5 – vrtná korunka 6 – zajišťovací matice 7 – injektáží otvor 8 – vrt zaplněný cementovou maltou

Injektážní svorník (Pakran)



Stříkaný beton (SB)

Základní atributy

- Způsoby nástřiku (výroby)
- Betonová směs pro stříkaný beton
- Požadavky na stříkaný beton
- Kontrola kvality
- Strojní vybavení pro stříkaný beton
- Bezpečnost práce

Stříkání betonu z trysky stroje



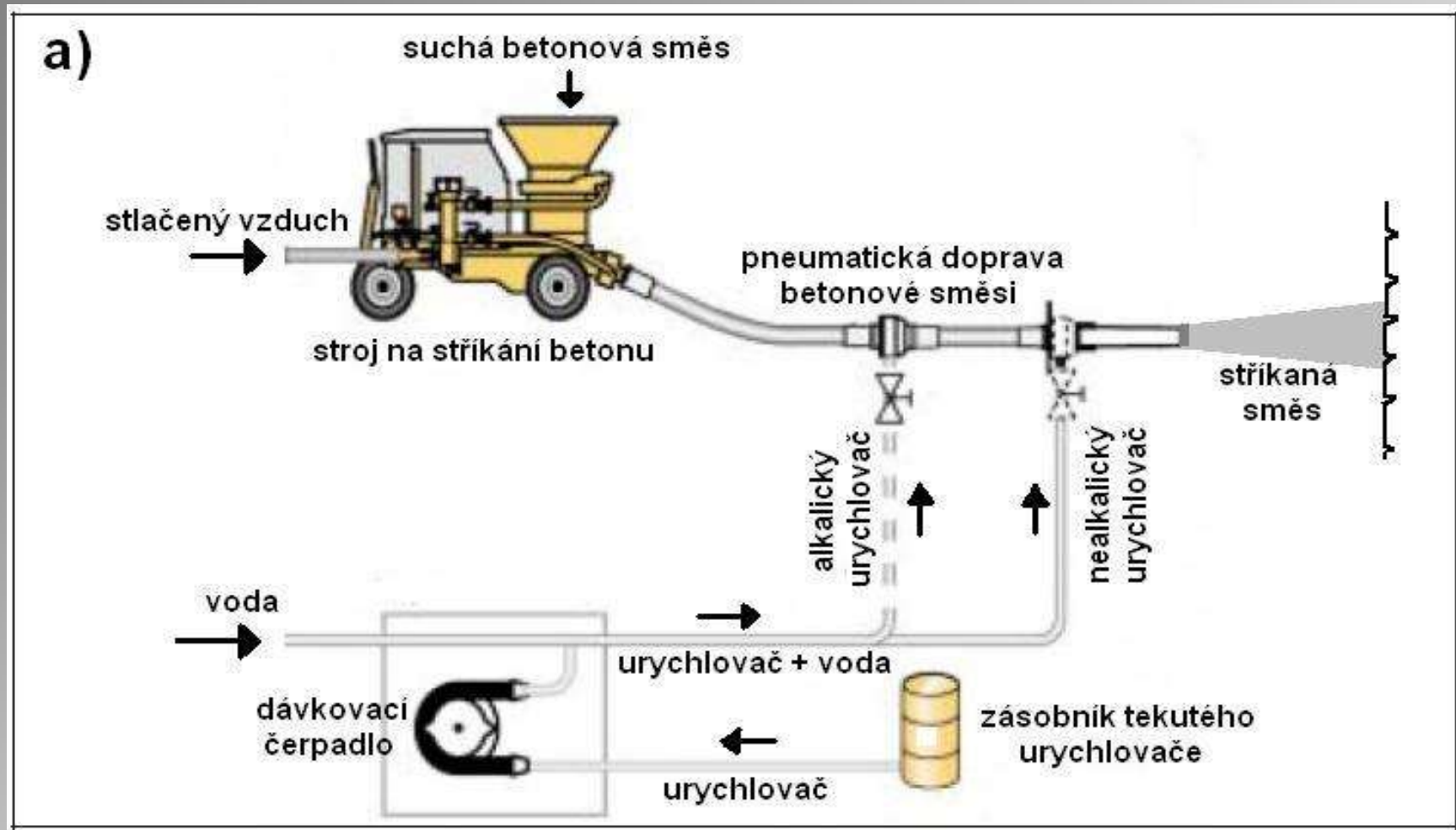
Primární ostění v kalotě výrubu

Aplikace stříkaného betonu



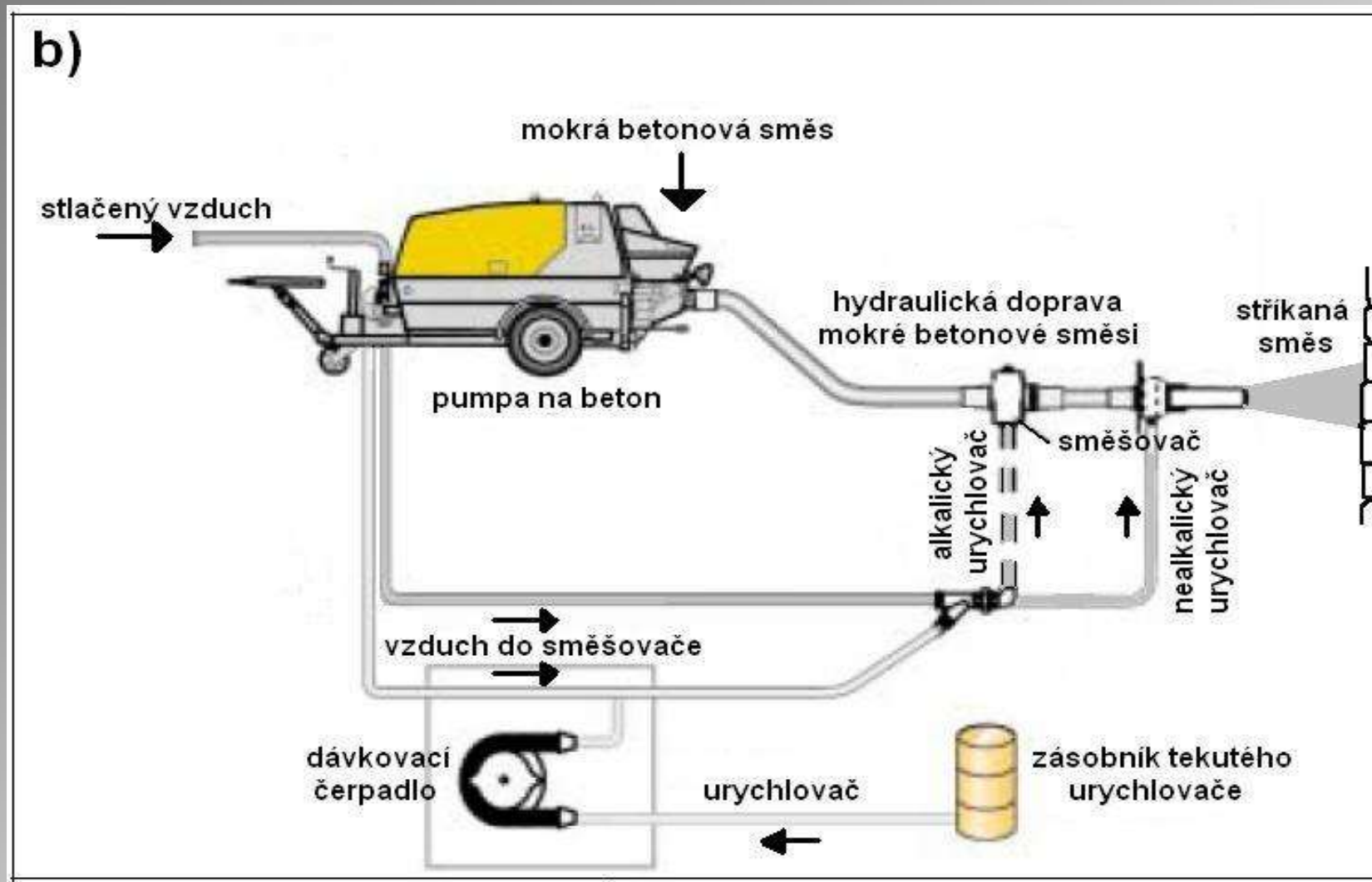
Primární ostění v kalotě výrubu

Výroba - suchý stříkaný beton



Účinnější aplikace na mokrý podklad, možnost delšího přerušení nástřiku, nižší pořizovací náklady x velký spad (20 až 30%), prašnost, nižší výkon, méně kvalitní směs

Výroba - mokrý stříkaný beton



Kvalitní příprava směsi, vyšší výkon, vyšší pevnost, nízký spád 5 až 15%) x vyšší náklady na zařízení i na jeho přípravu a čištění, menší dopravní vzdálenost

Směs pro stříkaný beton

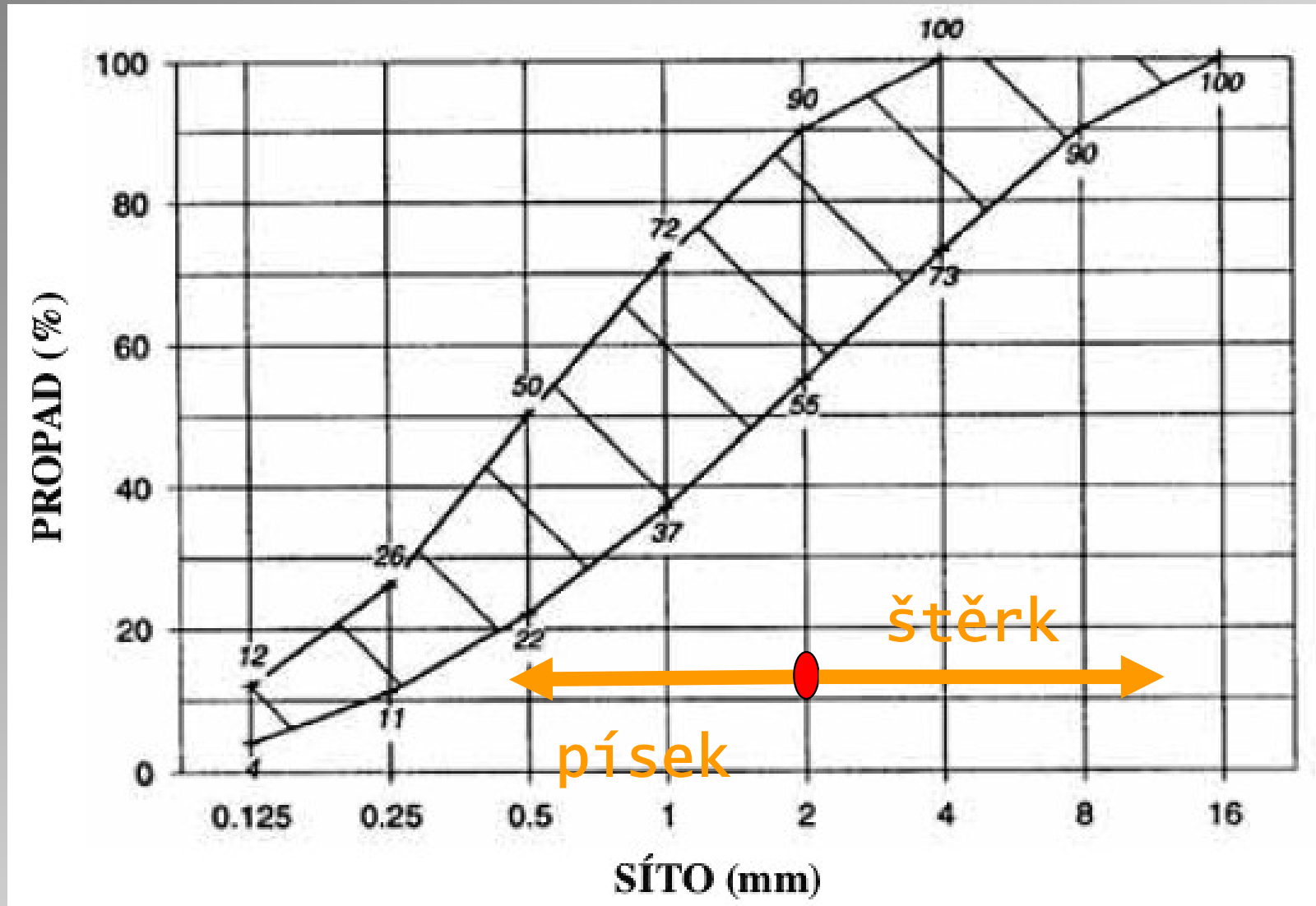
- **Kamenivo** – zrna max 16 mm
- **Voda** – vodní součinitel $v : c \sim 0,5$ ($\rightarrow 0,4$)
- Přísady - **urychlovače** – převážně tekuté – 5 až 8% hmotnosti cementu \rightarrow zkrácení doby tuhnutí a tvrdnutí
 - Plastifikační, pro zvýšení lepivost (vodní sklo), proti prašnosti
- Příměsi – **mikrosilika** (2 až 8%) \rightarrow vyšší pevnost, větší hutnost, snížení spadu, možnost stříkání silnějších vrstev (15 cm)
- Vlákna – **syntetická** x **kovová** - brání vzniku mikrotrhlin, zvyšují odolnost proti dynamickému namáhání

Orientační složení 1 m³ směsi SB

Složka	Suchý SB	Množství
Cement CEM I 42,5 R		400 kg
Kamenivo 0–4 mm		1140 kg
Kamenivo 4–8 mm		560 kg
Roztok urychlující přísady s vodou (přidávaný do trysky)		cca 190 kg
Urychlující přísada	6 až 8 % k hmotnosti cementu	

Složka	Mokrý SB	Množství
Cement CEM I 42,5 R		430 kg
Kamenivo 0–4 mm		1025 kg
Kamenivo 4–8 mm		645 kg
Plastifikátor		4 kg
Roztok urychlující přísady s vodou (přidávaný do trysky)		cca 185 kg
Urychlující přísada	5,5 až 8 % k váze cementu	

Zrnitost kameniva pro SB



Požadavky na stříkaný beton

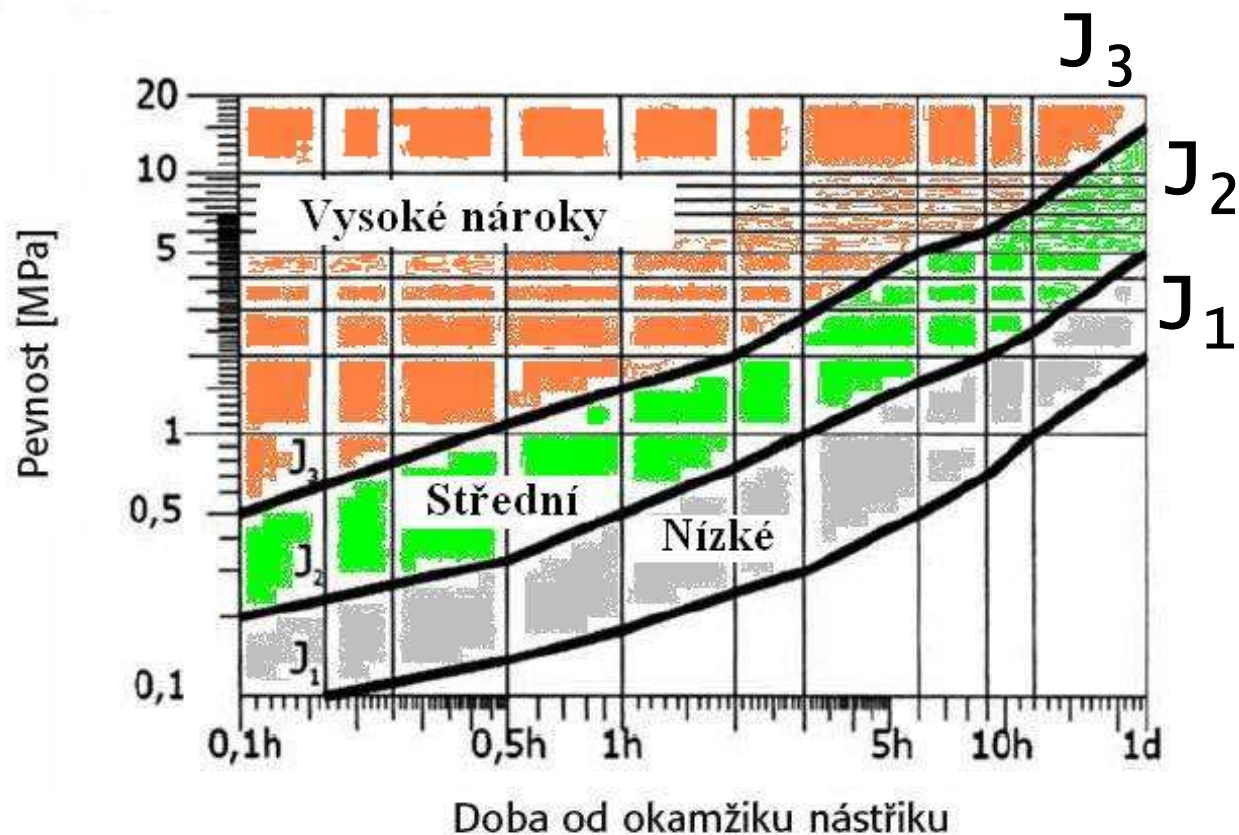
Třída pevnosti stříkaného betonu	Průměrná hodnota krychelné pevnosti v tlaku (MPa)
SB 15 (C 12/15)	15
SB 20 (C 16/20)	20
SB 25 (C 20/25)	25
SB 30 (C 25/30)	30

Účel	Označení betonu
SB pro primární ostění tunelu	SB 25 / typ II / obor J2
SB podkladní vrstvy pod fóliovou izolací	SB 15 / typ I / zrno max. 4 mm
SB pro menší opravy betonových konstrukcí v podzemí	SB 30 / typ III / zrno max. 4 mm
SB pro jednoplášťová a sekundární ostění	SB 30 / typ III / obor J2

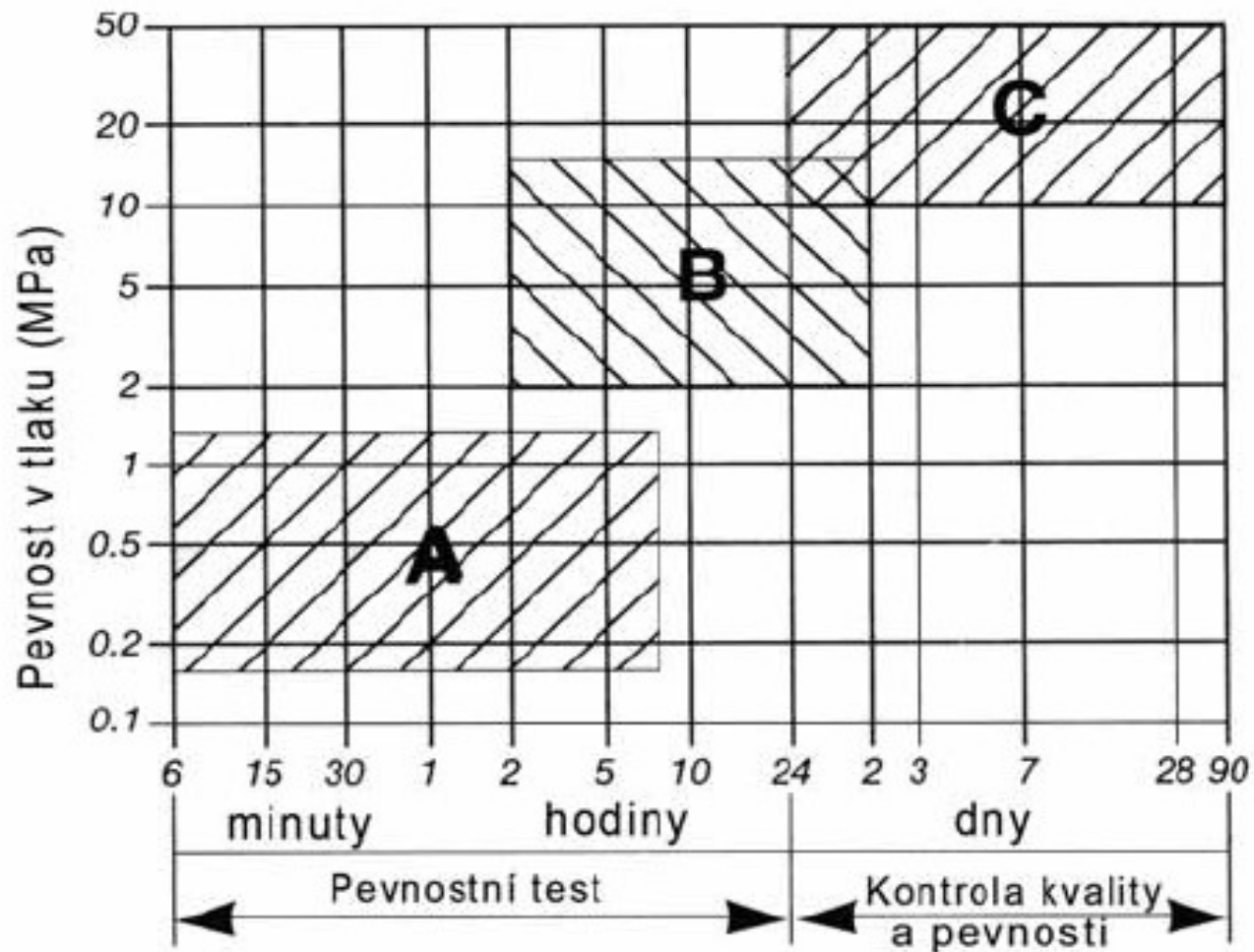
Typ I – SB bez konstrukční funkce Typ II –
konstrukční SB Typ III – trvalá statická funkce

Obory pevnosti „mladého“ SB

Obory	Doba po nástřiku									
	6 min.	10 min.	30 min.	1 hod.	2 hod.	3 hod.	6 hod.	9 hod.	12 hod.	24 hod.
J1	0,10	0,14	0,18	0,25	0,30	0,50	0,70	1,00	2,00	
J2	0,20	0,25	0,33	0,50	0,75	1,00	1,60	2,00	2,50	5,00
J3	0,50	0,75	1,10	1,50	2,00	2,80	5,00	6,00	7,50	15,00



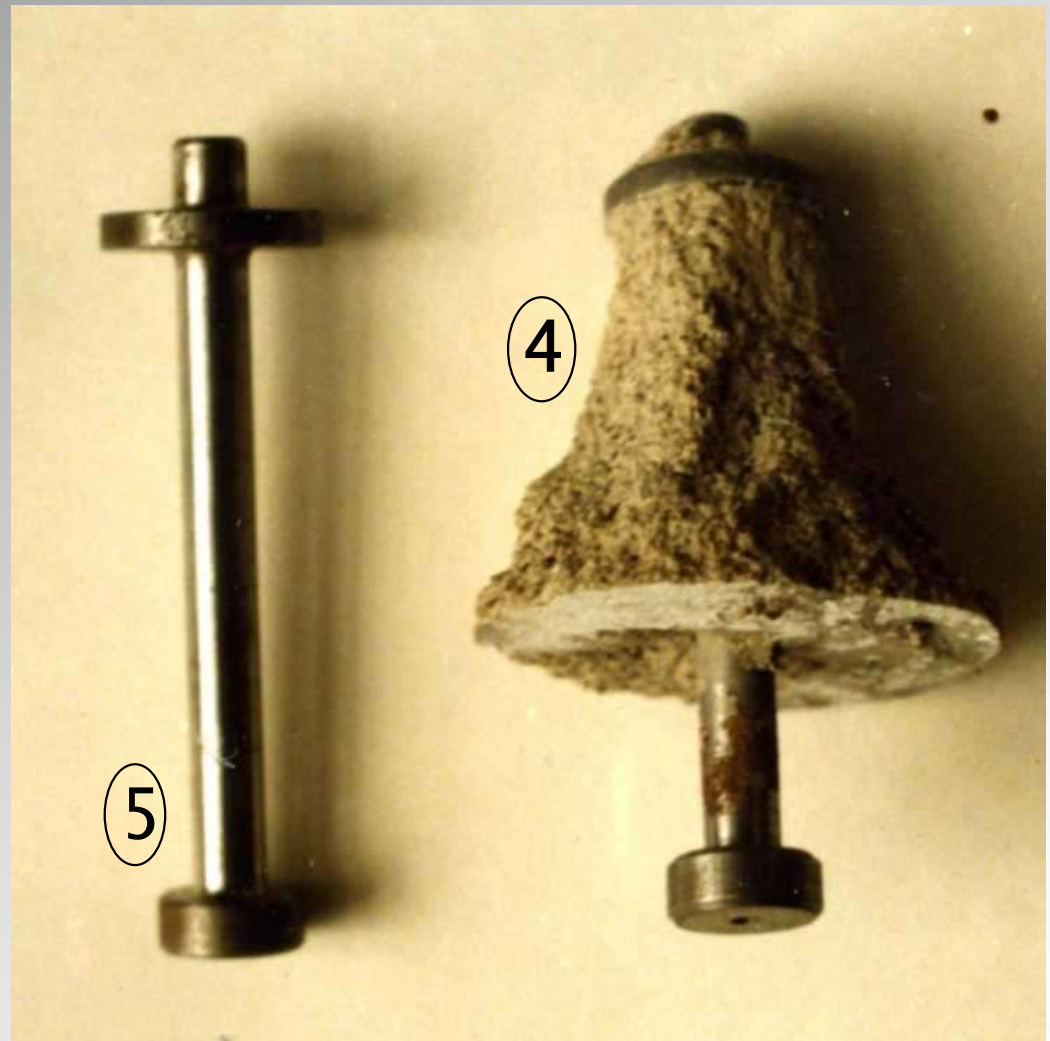
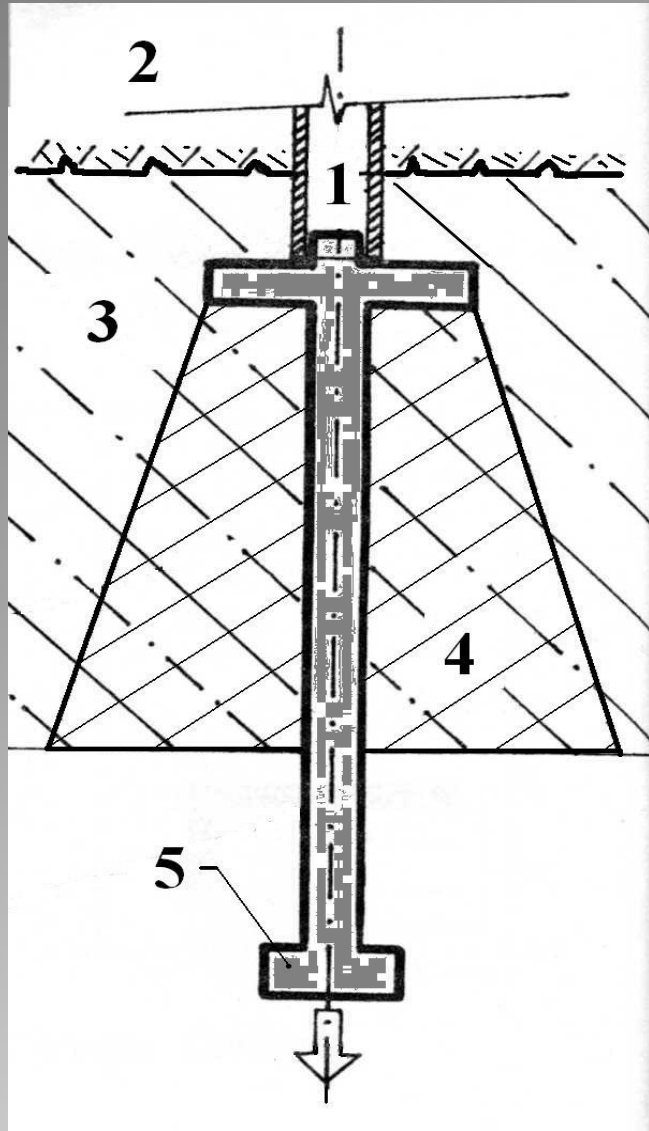
Kontrola kvality SB



- A** Penetrační jehla
- B** Hilti-tester (nastřelení hřebu)
- C** Jádrové vývrty

Metoda Kaindl - Meyco

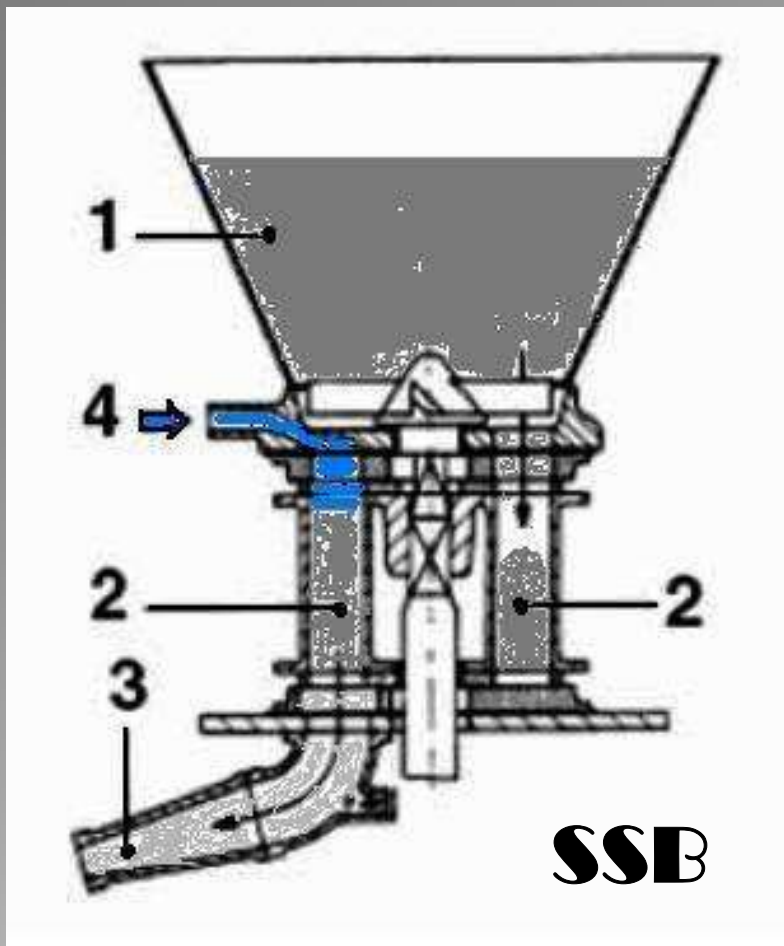
4 - výtrž SB 5 - svorník



1 - trubka 2 - hornina 3 - stříkaný beton

Stroje na stříkání betonu

Meyco - tunel Dobrovského



- 1 - suchá bet. směs
- 2 - komory rotoru
- 3 - směs se vzduchem
- 4 - tlakový vzduch



Mokrý beton

PRVKY DEFINITIVNÍ VÝZTUŽE TUNELU (DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ)

- Zdivo
- Prostý beton
- Železový beton
- Stríkaný beton
- Tubingy a dílce

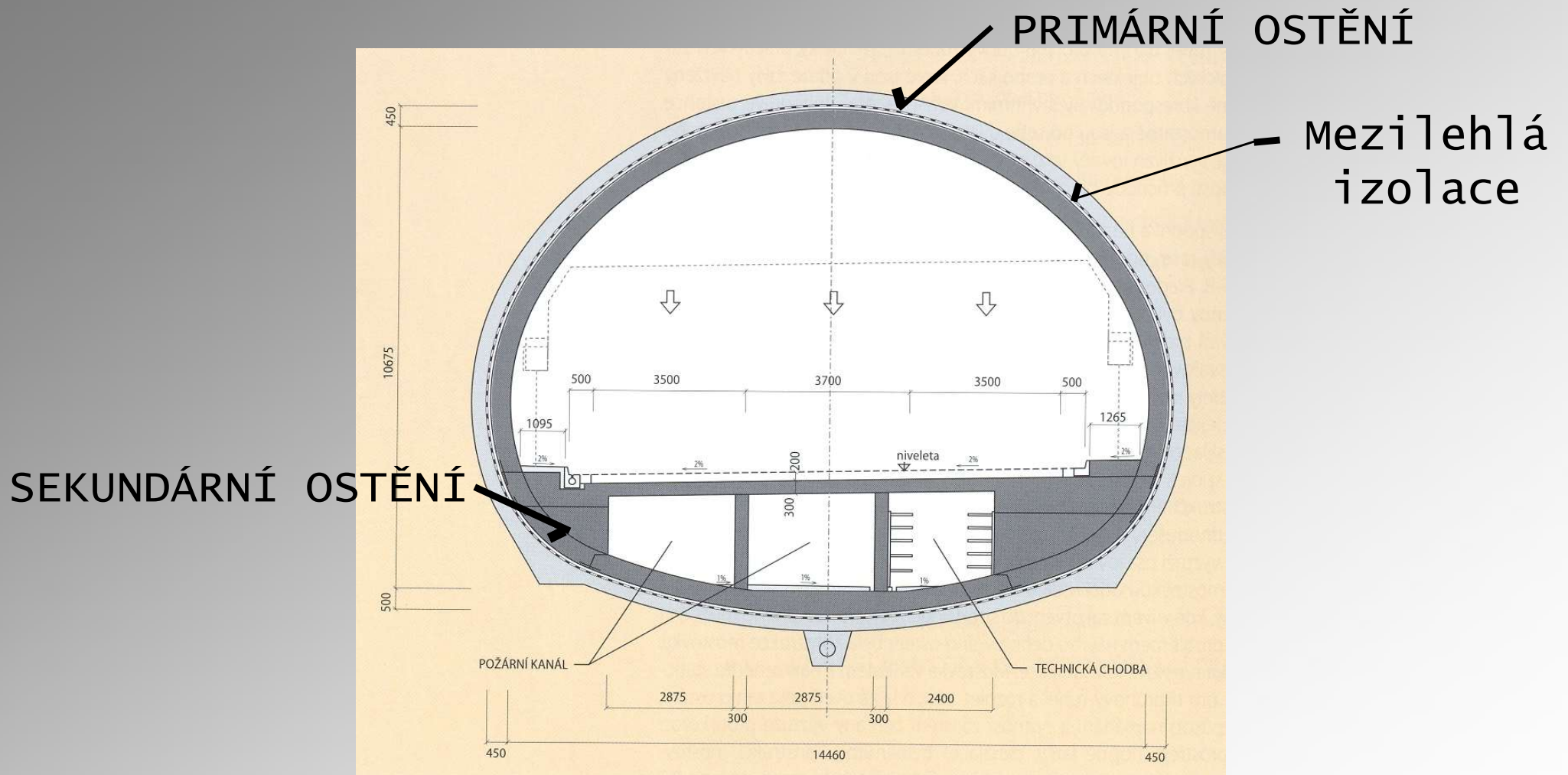


Zděné ostění (obezdívka)

Tunel Hochtor
na Grossglockner
Hochalpenstrasse



Dvouplášťové ostění (NRTM)

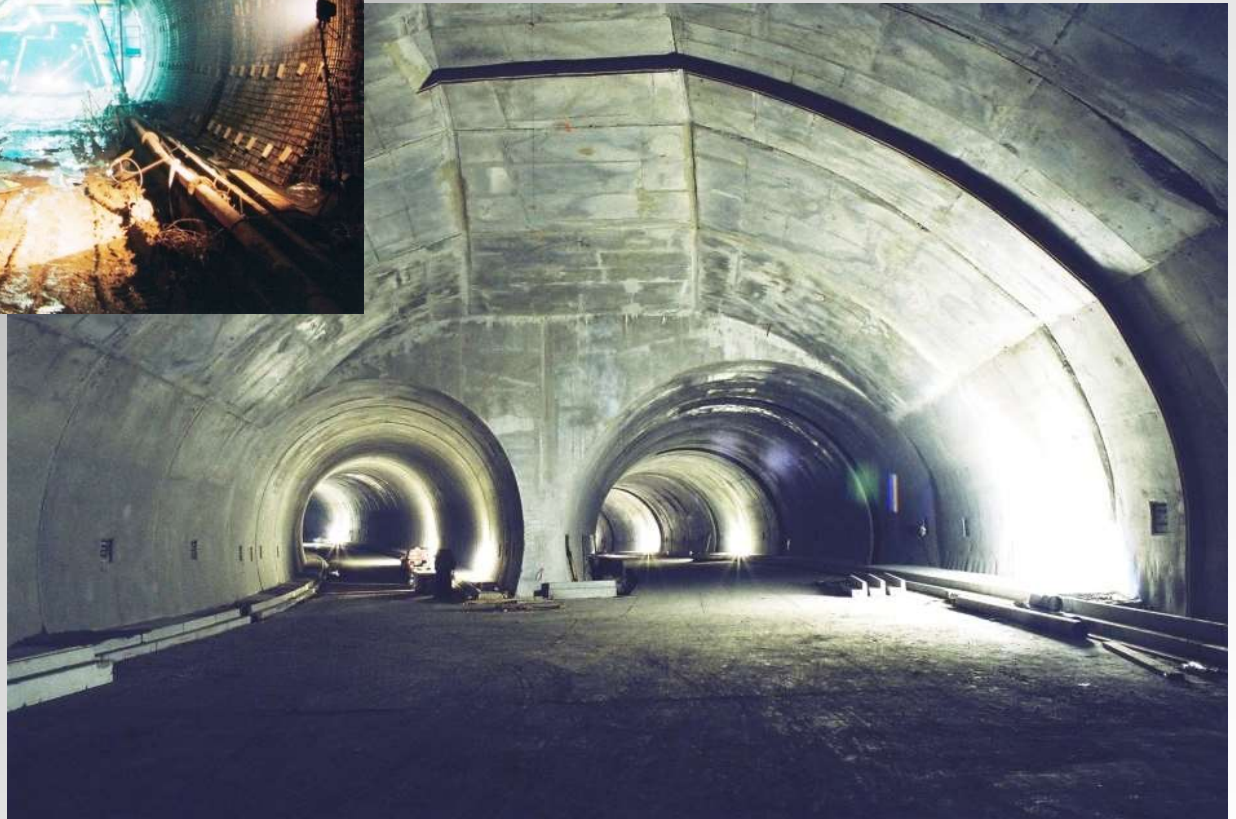


Tunel Mrázovka (Městský okruh)

Betonové ostění



Tunel Panenská
Dálnice D8 dl.
2168 m (2006)



Tunel Mrázovka, dl. 1300 m (2003)



Betonáž definitivního ostění na obrátovém tunelu v Motole
(prodí „A“)

Stříkaný beton



Opěry z monolitického
betonu

kolector vodičkova



klenba ze stříkaného betonu



Stríkaný beton

Stockholmské
metro



Tubingy a dílce

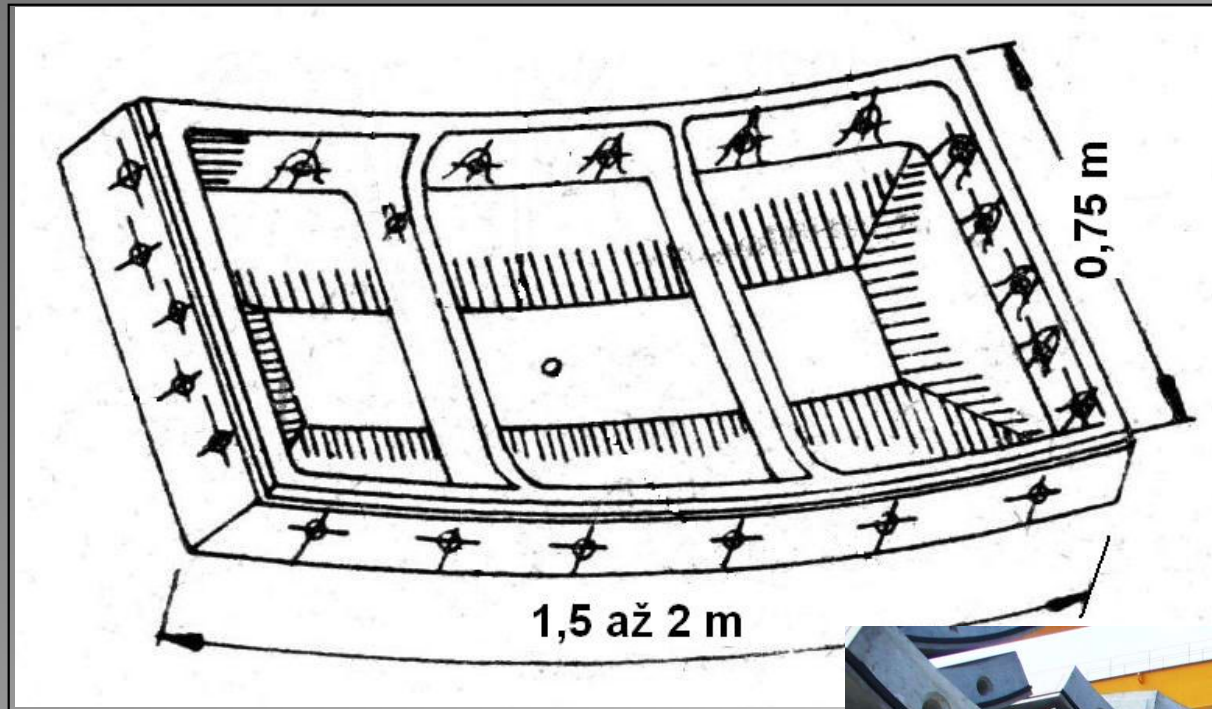


Trojlovní stanice metra
Hradčanská (ocelolitina)

Kobe City Railway
(železobeton)



Tubingy a dílce

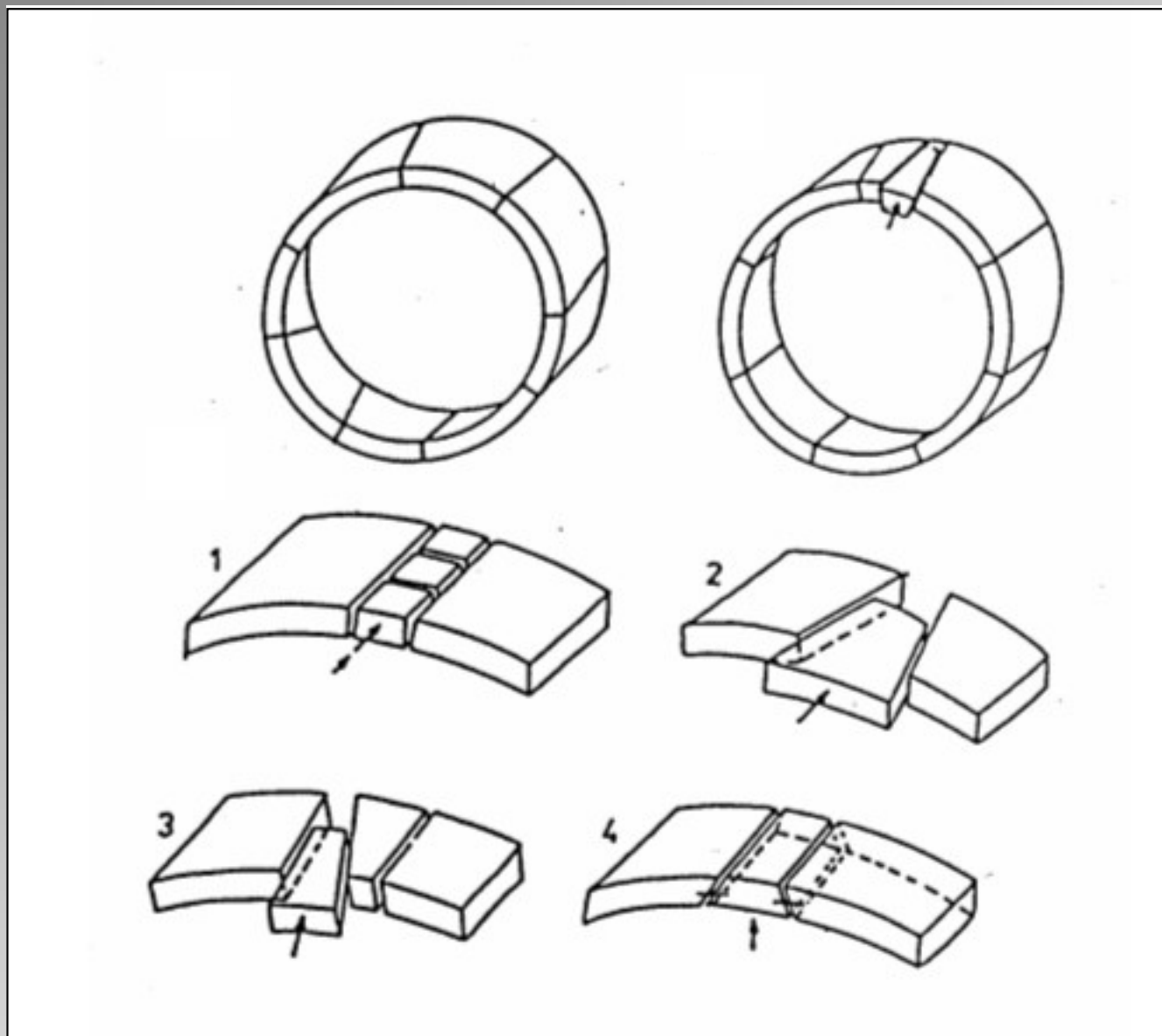


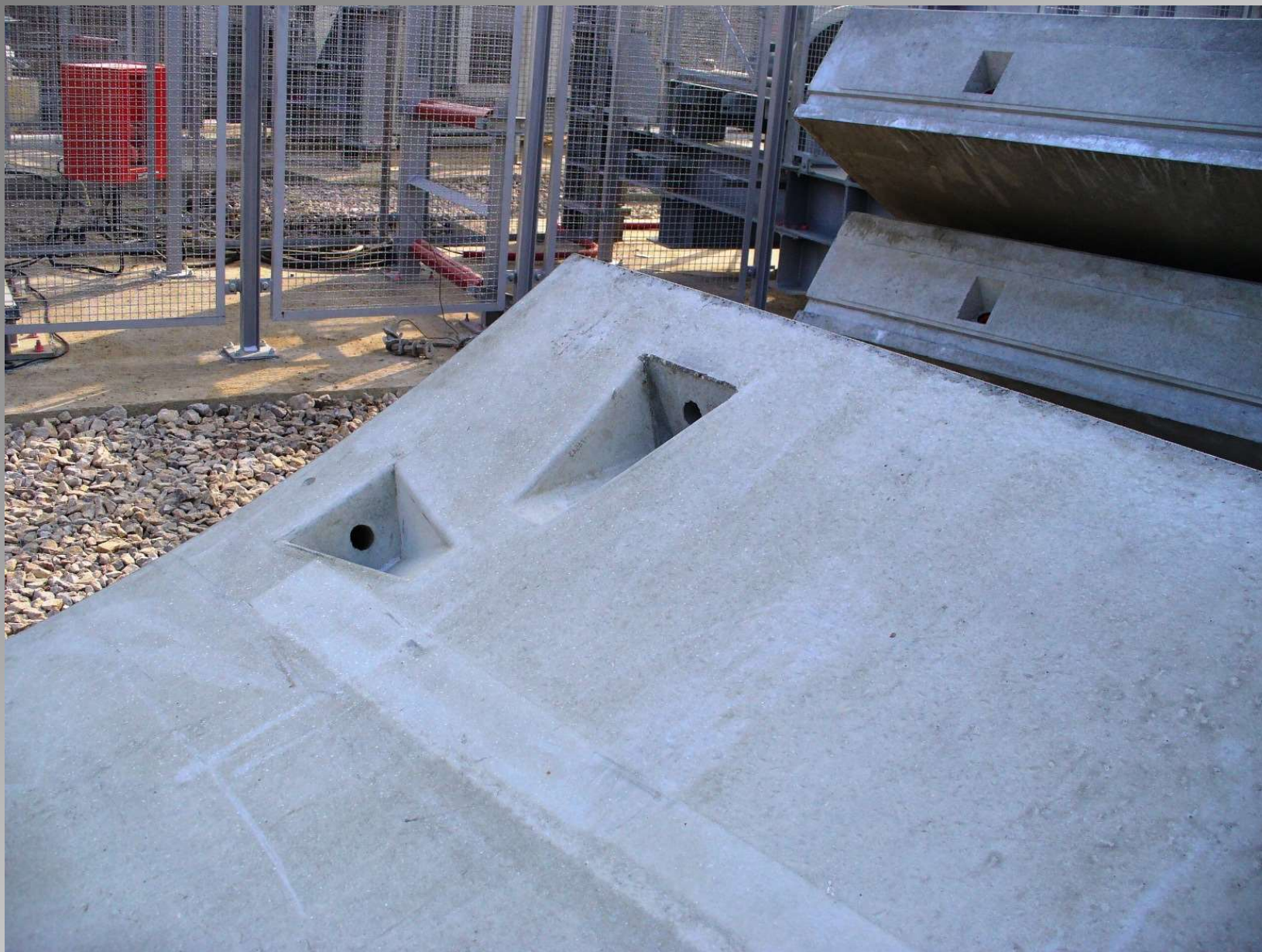
ocelolitínový
tubing

železobetonové dílce



Dílcové ostění a jeho uzavírání





Praha – prodloužení „A“ – otvory pro šroubové spoje



Praha – prodloužení „A“ – drážka pro vlepění pryžového těsnění



výroba segmentů