

TUNELY 2

Doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.

Následující stránky jsou doplňkem přednášek
předmětu 154GP10

2017

× ÚČEL

× A. Dopravní

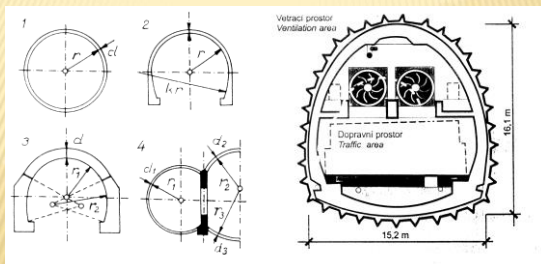
- × železniční (jednokolejné, dvoukolejné)
- × silniční

- × podzemní městské dráhy

× B. Rozvody

- × průplavní, plavební, hydrologické
- × inženýrských rozvodů: kanalizace, vodovody, kolektory atd.

PROFILY TUNELŮ



ZPŮSOB VÝSTAVBY

- ✘ ražba
- ✘ otevřená jáma
- ✘ přesouvání
- ✘ protlak



Otevřeným výkopem (jamou)

Vhodné pro mělká díla (metro, kolektory)

Nevýhoda: úplné přerušení provozu na povrchu

Výhoda: snazší vytýčení i výstavba, rychlejší návrat povrchové dopravy.

Přesouvání

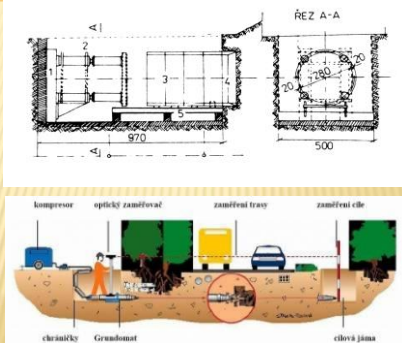
Použito na metru pod Vltavou.

Tubus složen na břehu, vysunut přes řeku pomocí lodí.

Po zaplavení klesl do připravené rýhy ve dnu a pak připojen oboustranně na ražené tubusy.

Protlačování

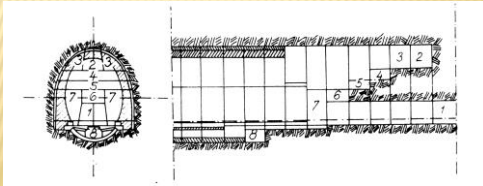
Jednodušší varianta štítování pro menší profily a kratší dráhy.



RAŽBA

- ✘ Klasická rakouská a belgická tunelovací soustava
- ✘ Použití střešního prachu a pneumatických nářadí od konce 19. stol., 1907 použití vzdušného přetlaku, 1967 neoprénové těsnění

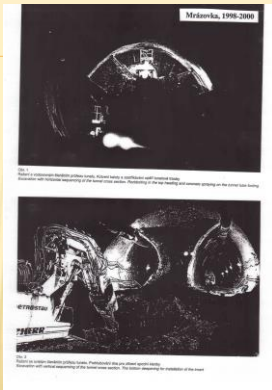
Klasická rakouská tunelovací soustava



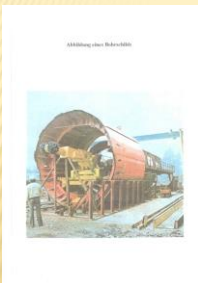
Moderní metody

Nová rakouská tunelovací soustava s vertikálním nebo horizontálním členěním

Prstencová metoda (tubingová), štitování



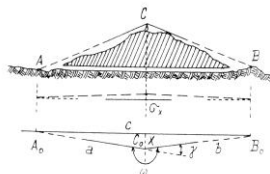
Ražba plným profilem



VYTÝČOVÁNÍ

- * Přímé (povrchovým měřením pomocí 1 nebo 2 bodů nebo pomocí polygonového pořadu)
- * Nepřímé – přesné trigonometrické sítě a polygonové pořady
- * Metodami GNSS a TS+PC

PŘÍMÉ VYTÝČENÍ 1 BODEM



Příklad:
 $c=3$ km, $a=b=1,5$ km, $\sigma_v = 0,5$ mgon.
 Potom $\sigma_x = 6$ mm.
 Lze použít v různých úlohách IG.

Přibližným způsobem se volí bod C poblíž spojnice portálů A, B, určí se délky a , b .

Předpoklad: $a+b = c$, $a \approx b$.
 Změří se úhel ω . Potom $\gamma = \omega - 2R$.

Pro plochu Δ platí:

$2P = a \cdot b \cdot \sin \gamma = c \cdot x$. Odtud s

uvážením úhlového měření:

$$x \approx (a \cdot b / (a + b)) \cdot (\gamma / \rho)$$

$$\sigma_x = (a \cdot b / c) \cdot (\sigma_v \sqrt{\rho}) \approx c \cdot \sigma_v / 4\rho$$

Hodnota x se vynese a na posunutém bodě C' se znovu měří úhel ω . Má platit:

$$\sigma_x \leq \Delta_M = u \cdot \sigma_v \cdot \sqrt{2/\rho}$$

Vliv (ne)presnosti určení délek a, b při přímém vytýčení 1 bodem

Odvozeno: $x \approx (a \cdot b / (a + b)) \cdot (\gamma / \rho)$.

Pokud $a = b = c/2$, pak $x = (c \cdot \gamma) / 4\rho$,

odtud při uvážení pouze délek $\sigma_x = x \cdot (\sigma_c / c)$.

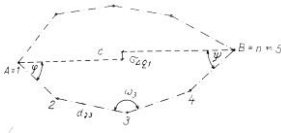
Příklad: $x = 0,1$ m, $c = 3$ km. Pokud $\sigma_c = 50$ m, bude

$\sigma_x = 1,7$ mm, tj. vliv délek je reálně zanedbatelný.

PŘÍMÉ VYTÝČENÍ 2 BODY

Odvození obdobné, přesnost stejná – viz skriptá.

PŘÍMÉ VYTÝČENÍ POLYGONEM



Navrhne, změříme a v místní soustavě vypočteme pořad A-2-3-4-B. Vypočteme úhly zarážky φ , ψ s kontrolou z 2. pořadu. Lze transformovat do státní sítě.

Směrodatná odchylka v prorážce v příčném směru při **protisměrné ražbě** s prorážkou uprostřed v bodě C:

$$\sigma_{\Delta q1} = \frac{d\sigma_{\omega}}{2\rho} \left[\frac{(n-1)(n-2)(n-3)}{3} \right]^{1/2} = \frac{c\sigma_{\omega}}{2\rho} \left[\frac{(n-2)(n-3)}{3(n-1)} \right]^{1/2},$$

kde: d - délka polygonové strany, c - délka osy tunelu, n - počet vrcholů pořadu, σ_{ω} - směrodatná odchylka vrcholového úhlu. Vyjádření pomocí délky strany nebo délky pořadu.

Příklad: $c = 3$ km, $d = 200$ m ($n = 16$), $\sigma_{\omega} = 1$ mgon, $\sigma_{\Delta q1} = 47,4$ mm. Při dvojitým měření $\sigma_{\Delta q1} = 33,45$ mm.

Odvození vzorce $\sigma_{\Delta q1}$ pro přímý pořad se stejně dlouhými stranami, vložený do osy+Y:

$$x_n = d \sum_{i=3}^n \cos[(\sigma_{i2} + \omega_{i-1} - (n-2) 2R)].$$

(Vytýčení je relativní, chyba ve výchozím a koncovém bodě 1, n, se neuvažuje.)

$$\varepsilon_{\omega1} = -\frac{d}{\rho} [(n-1)\varepsilon_{\sigma12} + (n-2)\varepsilon_{\omega2} + \dots + 1\varepsilon_{\omega n-1}] = 0$$

$$\varepsilon_{\sigma12} = \frac{-1}{n-1} [(n-2)\varepsilon_{\omega2} + \dots + 1\varepsilon_{\omega n-1}].$$

$$\varepsilon_{\omega n-1} = \frac{1}{n-1} [1\varepsilon_{\omega2} + \dots + (n-2)\varepsilon_{\omega n-1}].$$

Náhodná odchylka v prorážce v příčném směru pro bod C uprostřed je:

$\varepsilon_{\Delta q1} = a\varepsilon_{\sigma12} + b\varepsilon_{\omega n-1}$, přičemž $a+b = c = (n-1)d$, $a = b = c/2$, a potom

$$\varepsilon_{\Delta q1} = \frac{n-1}{2\rho} d(\varepsilon_{\sigma12} + \varepsilon_{\omega n-1}).$$

Po dosazení:

$$\varepsilon_{\Delta q1} = -\frac{d}{2\rho} [(n-3)\varepsilon_{\omega2} + \dots + (n+1-2i)\varepsilon_{\omega i} + \dots + (n-3)\varepsilon_{\omega n-1}].$$

Pro prostřední bod C je $i = (n+1)/2$ a potom je závorka u náhodné odchylky $\varepsilon_{\omega i} = 0$. Po přechodu na směrodatné odchylky a za předpokladu, že $\sigma_{\omega i} = \sigma_{\omega}$ bude:

$$\sigma_{\Delta q1}^2 = \left(\frac{d\sigma_{\omega}}{2\rho} \right)^2 2[(n-3)^2 + (n-5)^2 + \dots + 0].$$

Úpravou řady na pravé straně dojdeme k dříve uvedenému výslednému tvaru – viz skripta.

Jednostranná ražba

- * $\epsilon_{qn} = d(n-1) \epsilon_{\sigma 12}$; za $\epsilon_{\sigma 12}$ dosadíme z minulého odvození a potom:
- * $\epsilon_{qn} = -d[(n-2)\epsilon_{\omega 2} + \{(n-3)\epsilon_{\omega 3} + \dots + (1)\epsilon_{\omega n-1}]$
- * Pozn.: na bodech 1 a n se úhel neměří, proto (n-2)

- * Vyjádření pomocí délky strany d:
- * $\sigma_q^2 = (d \cdot \sigma_{\omega} / \rho)^2 \cdot \{[(n-1)(n-2)(n-1,5)/3(n-1)]^2$

- * Vyjádření pomocí délky pořadu (tunelu) c:
- * $\sigma_q^2 = (c \cdot \sigma_{\omega} / \rho)^2 \cdot \{[(n-2)(n-1,5)/3(n-1)]^2$

- * Příklad se stejnými vstupními hodnotami:
- * $\sigma_q = 100,1$ mm, při dvojnásobném nezávislém měření $\sigma_q = 71,0$ mm.

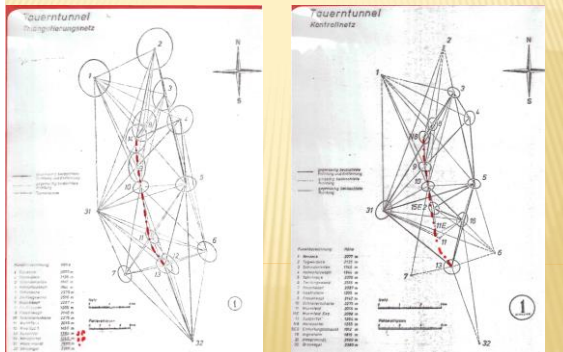
NEPŘÍMÉ METODY VYTYČOVÁNÍ

- * Povrchové síť, obvykle místní trigonometrická vytyčovací síť a v podzemí volné, případně vetknuté pořady.

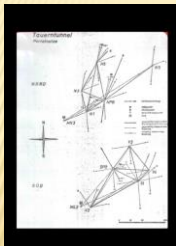
- * Přesnost prorážky je diskutována v návazné přednášce Prorážka.

VYTYČOVACÍ SÍŤ

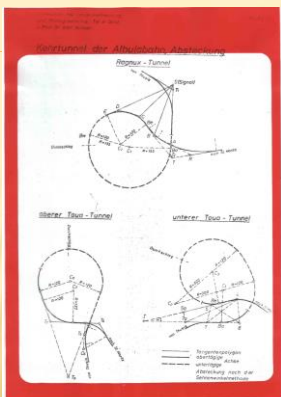
Klasické vytyčovací a portálové síť 2. poloviny 20. století (TU Graz) (1))



**Klasické spirálové tunely
20. století →**



Portálové síť

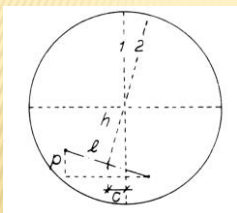


SÍŤ S POMOCÍ GNSS A TS



PRAKTICKÉ POSTUPY

Odsazení osy koleje od osy zakřiveného tunelu



- 1 – svislá osa tunelu
- 2 – normála k ose koleje
- p – převýšení koleje (v metru kolem osy)
- e – rozchod koleje, normální 1435 mm
- h – vzdálenost mezi středem tunelu a osou koleje, h = 1700 mm
- c – hledané odsazení

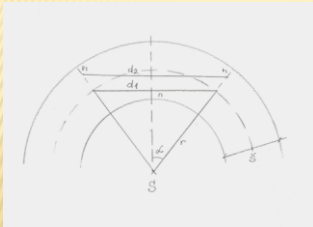
$p:e = c:h$

$c = (ph)/e$

Poloměr tunelu projektovat tak, aby nedošlo k rozšíření tubusu.

Příklad: e,h – viz výše, dáno p = 80 mm, potom c = 94,8 mm.

URČENÍ NEJDELŠÍ ZÁMĚRY V TUNELU V OBLOUKU



š – šířka tunelu
 r – poloměr osy
 n – odstup od stěny

$$d_1 = 2\sqrt{\{r^2 - (r - \frac{\text{š}}{2} + n)^2\}}$$

$$\sin \alpha = d_1 / 2r$$

$$d_2 = 2 \sin \alpha (r + \frac{\text{š}}{2} - n)$$

MEZNÍ VYTYČOVACÍ ODCHYLKY ČSN 73 0420-2

B

Mezní vytyčovací odchylky podle bodů pro dráhy/poz.lem.

| v° (km/h) | Podřad. odch. P ₁₀₀ (mm) | | | | Přímá odch. P ₁₂₅ (mm) | | | | Výř. odch. P ₁₂₅ (mm) | | |
|--------------|--|----|----|----|--------------------------------------|----|----|----|-------------------------------------|----|----|
| | d ≤ 100m (100, 110) > 100 | | | | d ≤ 100m (100, 110) > 200 | | | | | | |
| ≤ 40 | 15 | 20 | 30 | 25 | 40 | 10 | 18 | 15 | 25 | 10 | 20 |
| > 40 | 12 | 15 | 16 | 22 | 20 | 30 | 9 | 12 | 15 | 16 | 20 |

A

Mezní vytyčovací odchylky prostorové polohy

| Kritérium (mm) | Zygotlost r < 60 | 60; 90 | 90; 120 | 120; 160 |
|---|------------------|--------|---------|----------|
| rovi. P ₁₀₀ , d ₁₀₀ | 15 | 20 | 15 | 12 |
| rovi. P ₁₂₅ , d ₁₂₅ | 15 | 12 | 10 | 8 |
| výř. P ₁₂₅ | 10 | 8 | 5 | 3 |

K
