

Prorážka

DOC. ING. PAVEL HÁNEK, CSc.

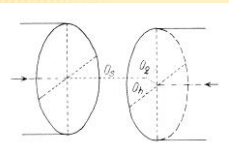
Uvedené materiály jsou doplňkem přednášek
předmětu 154IG4

2019

HLAVNÍ PROJEKČNÍ PRVKY

- * Směr – pokud možno volit přímý tunel. U silničních t. minimální poloměr 300 m, u železničních 1 km.
- * Podélný profil – spád silničních t. 2-6%, železničních do 4%, hydrotechnických beztlakových 2%
- * Příčný řez (profil) – viz minulá přednáška. U moderních tunelů je dopravní část doplněna větráním a odvodněním, zabezpečovacími zařízeními a dálkovými sítěmi.
- * Návrh trasy 1:1000, příp. 2000, územní pruh 2x 200, resp. 450 m, u styku s vodami profily a řezy.
- * Projekt 1:200 až 1:2000.

PŘESNOST PRORÁŽKY



Prorážka se dělí na 3 složky:

- příčná
- výšková
- podélná (u přímých tunelů nevýznamná).

Závisí na:

- relativní přesnosti připojovacích bodů
- připojovacím a usměrňovacím měření
- vytyčovací sítě (měření) v podzemí
- druhu tunelu a jeho parametrech (sklon, profil, poloměr)
- způsobu výstavby, tj. budování ostění – závislost na rozpojitelosti a soudržnosti hornin
- přesnosti stavebních prací a možných deformací.

Rozbor přesnosti

Vztah mezi stavební tolerancí T (mezní chybou Q), danou projektem, a mezní odchylkou vytyčení δ_M :

$$T = 5 \delta_M.$$

Pro náročnost geodetických prací lze volit i jiný vztah, např.: $T = 2 (\sqrt{2}) \delta_M$.

Zanedbáme-li podélnou odchylku, platí pro mezní odch. vytyčení:

$$\delta_M = (\delta_{\sigma q}^2 + \delta_{\sigma h}^2)^{1/2},$$

kde volíme s ohledem na vyšší přesnost nivelace poměr $\delta_{\sigma q} = 2\delta_{\sigma h}$.

$$\text{Potom } \delta_{\sigma q} = \delta_M \sqrt{0,8}.$$

Při ražbě protičelbou ze 2 stejně dlouhých větví a po přechodu na směrodatné odchylky platí pro příčnou odchylku prorážky 1 větve:

$$\sigma_x = \frac{\delta_{\sigma q}}{u\sqrt{2}} = \frac{\delta_M}{u\sqrt{2,5}} = \frac{T}{4\sqrt{5}} = (\sigma_{q1}^2 + \sigma_{q2}^2)^{1/2}.$$

Dolní index 1 značí vždy vliv povrchové sítě, index 2 vliv měření v podzemí.

Speciální rozbor přesnosti

Úplná (mezní) stavební odchylka Q se skládá z odchylek geodetických (g) a stavebních (s):

$$Q = \sqrt{(Q_g^2 + Q_s^2)} = \sqrt{((q_p^2 + q_h^2) + (q_v^2 + q_m^2 + q_t^2))},$$

kde index v značí odchylku výrobní, m montážní, t odchylku způsobenou tlakem.

Podle předchozího platí $q_p = 2q_h$ a potom $Q_g = q_p \sqrt{1,25}$

Pokud stanovíme $Q_g = Q_s$, bude $Q = 1,58 \cdot q_p$ a tedy

$q_p = 0,63 Q$. (V různé literatuře symbolika $q_p = u_{MS} = \delta$.)

Součinitel konfidence volíme alespoň $u = 2$ a potom pro směrodatnou odchylku (střední chybu) v prorážce v příčném směru platí:

$$m_p = 0,31 Q.$$

Příklad 67

ODOVOZENÍ PŘÍČNÉ ODCHYLKY PRORÁŽKY PŘI PŘÍMÉM POŘADU

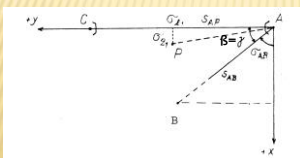
m_{p1} - vliv podkladu

m_{p2} - vliv měření

$$m_p = \sqrt{(m_{p1}^2 + m_{p2}^2)}$$

A. VLIV PODKLADU

A.1 Vliv teodolitem měřeného geodetického podkladu m_{p1}



$$X_p = X_A + S_{AB} \cdot \cos \sigma_{AB}$$

a dále obvyklým přechodem na směrodatné odchylky:

V tomto odvození je místo úhlu γ , použitého v obrázku, psán úhel β .

Úpravy pro zjednodušení výsledného vzorce.

Celé odvození je ve skriptech GP10.

Plati: $E_p = E_A - S_{AP} \sin \beta$ (1) $S_{AP} = ?$
 $S_{AP} \cos \beta = (y_p - y_A) / (\sin \beta - \beta_A)$
 $S_{AP} \sin \beta = (x_p - x_A) / (\sin \beta - \beta_A) - (E_p - E_A) \sin \beta / (\sin \beta - \beta_A)$
 Úprava: $m_x/m_y = \cos \beta$
 $(y_p - y_A) / (x_p - x_A) = (\sin \beta / \cos \beta) \cdot [1 / (m_x \cos \beta)]$
 $\cos \beta = [\cos \beta \cdot (x_p - x_A) / m_x] - [\sin \beta \cdot (E_p - E_A) / m_x]$
 Dosazením do (1):
 $E_p = E_A - (m_x/m_y) \cdot [(\cos \beta \cdot (y_p - y_A) - \sin \beta \cdot (E_p - E_A))]$
 $E_p = E_A - (m_x/m_y) \cdot [(\cos \beta \cdot (y_p - y_A)) + (m_x/m_y) \sin \beta \cdot E_p - (m_x/m_y) \sin \beta \cdot E_A]$
 $E_p = -(m_x/m_y) \cdot [\cos \beta \cdot (x_p - x_A) - \sin \beta \cdot E_p] + E_A \cdot [1 - (m_x/m_y) \sin \beta]$
 $m_x^2 = (m_x/m_y)^2 \cdot [\cos \beta \cdot (x_p - x_A)^2 + \sin \beta \cdot m_x^2] + m_x^2 \cdot [1 - (m_x/m_y) \sin \beta]^2$
 Předpoklad: $m_x = m_y = m$
 $m_x^2 = (m_x/m_y)^2 \cdot 2 \cos \beta \cdot m_x^2 + (m_x/m_y)^2 \cdot \sin \beta \cdot m_x^2 + m_x^2 \cdot [1 - 2(m_x/m_y) \sin \beta] + m_x^2 \cdot [1 - 2(m_x/m_y) \sin \beta]^2$
 $m_x = m_y \cdot [1 + (2m_x/m_y) \cdot \{(m_x/m_y) - \sin \beta\}]^{-1/2}$
 Podle zadání plati: $\beta = \beta - \beta_A$
 $m_x = m_y \cdot [1 + (2m_x/m_y) \cdot \{(m_x/m_y) - \cos \beta\}]^{-1/2}$ (2)
 $m_x = m_y$

Př. 68A

Přesnost je závislá na poměru délky orientace a délky pořadu a na velikosti připojovacího úhlu γ . Minimum nastává pro 0 gon a maximum pro 200 gon. Při dané volbě platí $S_{AP} = \Delta y_{AP}$, takže rovnice (2) přejde na tvar (3), užívaný při odvození přesnosti spirálových tunelů:

$$m_{q1} = m_{xP} = m_{xy} \sqrt{1 + (2\Delta y_{AP}/S_{AB}) \cdot (\Delta y_{AP}/S_{AB} - \cos \gamma)} \quad (3)$$

A2. Vliv geodetického podkladu m_{p1} při měření gyroteodolitem

$$E_{xP} = E_{xA} - S_{AP} E_{\alpha AB}$$

$$\sigma_{q1} = \left[\sigma_{xA}^2 + \left(\frac{\sigma_{\alpha AB}}{\rho} S_{AP} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (4)$$

Směrník σ_{AB} je přímo měřen, na připojovacím úhlu nezáleží.
 Př. 68B

B. VLV MĚŘENÍ

B1. Měření teodolitem

Plati: $m_{q2} = \sqrt{(m_q^2 - m_{q1}^2)}$

a současně pro příčnou odchylku (při zápisu $m_q = \sigma_q$)

$$\sigma_{q2} = \frac{dn \cdot \sigma_\omega}{\rho} \left(\frac{n-1,5}{3} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

kde neznámou je směrodatná odchylka σ_ω a tedy potřebný počet skupin měření vrcholového úhlu. Tento **rozbور přesnosti před měřením** doporučuje měřit úhly co nejpřesněji a volit délky co nejdelší. Empiricky $\sigma_{\omega 0} = 100/d$ (mgon). (6) Př. 69
 Směrodatná podélná odchylka, u přímých tunelů nedůležitá:

$$\sigma_{12} = \left[(n-1) \sigma_d^2 + (n-1)^2 \sigma_{dc}^2 \right]^2, \quad (7)$$

kde členy na pravé straně vyjadřují náhodnou a zbytkovou systematickou složku odchylky.

B2. Usměrnění gyroteodoltem

Gyroteodolitem lze usměrnit všechny strany, jen počáteční stranu nebo volit technicky a ekonomicky optimální počet usměrněných stran. Celý pořad se potom rozpadne na úseky, v nichž je usměrněna první a poslední strana. (V pořadu lze měřit ob bod, stejně jako u magnetického měření.)

Series of horizontal lines for handwritten notes.

B.2.1 Usměrnění první a poslední strany

Diagram showing points Q1 to Qn on an x-axis. Below it, mathematical derivations for the field strength Qn+1 and the correction U = Qn - Qn+1. It includes a summation formula for the correction and a note about the correction of the difference Q.

Oprava vzorce pro součet řady v Poznámce 1: (N/2)(k+1)

Series of horizontal lines for handwritten notes.

Text describing the transition to mean errors for the approximation m = m_i, m = m_i. It includes a formula for m_k^2 = m_k^2 = [w/(2B)]^2 * (2m_i^2 [(n-2)^2 + (n-4)^2 + ... + 2^2] + 2n^2 m_0^2) and a corrected formula (9). It also includes a note about the correction of the sum of squares of natural numbers.

Series of horizontal lines for handwritten notes.

B.2.2 Usměřena je jen 1. strana

$$\epsilon_{x_n} = -s [(n-1)\epsilon_{0_n} + (n-2)\epsilon_{0_2} + \dots + (1)\epsilon_{0_{n-1}}]$$

$$m_{x_2}^2 = m_{x_p}^2 = s^2 [(n-1)^2 m_{0_n}^2 + m_{0_2}^2 [(n-2)^2 + \dots + 1^2]]$$

Součtem řad a úpravou

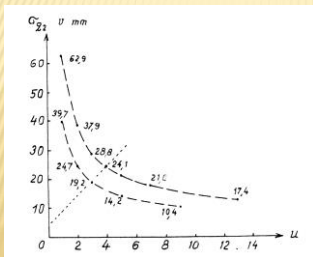
$$m_{x_2} = (s/B) * [(n-1)^2 m_p^2 + (m_u^2/6)(n-1)(n-2)(2n-3)]^{1/2} \quad (10)$$

B.2.3 Usměřněny jsou všechny strany

$X_n = X_A + S_{12} \cdot \cos \sigma_{12} + S_{23} \cdot \cos \sigma_{23} + \dots + S_{n-1,n} \cdot \cos \sigma_{n-1,n}$
 Zjednodušením
 $\epsilon_{x_n} = -s \cdot (\sum \epsilon_{i,i+1})$ pro $i \in \langle 1, n-1 \rangle$
 a další úpravou
 $m_{x_2} = \sigma_{x_2} = s \cdot (m\sigma/p) \cdot \sqrt{(n-1)} \quad (11)$
V obou případech nedochází k vyrovnání.

B.2.4 Stanovení optimálního počtu usměřnění

Pro běžné podmínky předpokládáme: $m_0 = 0,2$ mgon, $m_w = 1$ mgon,
 $s = 110$ m,
 Počet vrcholů a) $n = 10$ (délka $s_{ap} = 1,1$ km)
 b) $n = 14$ ($s_{ap} = 1,54$ km)



V daném případě je vhodné usměrnit každou **4. stranu**.

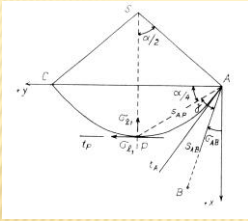
VÝŠKOVÉ VYTYČENÍ TUNELU

Přesnost prorážky ve výškovém směru σ_{hP} je závislá na přesnosti připojovacích výškových bodů na povrchu, hloubkového připojení (je-li použito) a výškového měření v podzemí. Protože tato měření možno považovat za vzájemně nezávislá, je výsledná přesnost σ_{hP} jejich kvadratickým součtem

$$\sigma_{hP} = [\sigma_{HA}^2 + \sigma_{HB}^2 + (\sigma_{11}^2 + \sigma_{12}^2) + \sigma_{h1}^2 + \sigma_{h2}^2]^{1/2},$$

kde: σ_{HA}, σ_{HB} - směrodatná odchylka výšek připojovacích bodů A, B,
 σ_{11}, σ_{12} - směrodatná odchylka hloubkového připojení u bodů A, B,
 σ_{h1}, σ_{h2} - směrodatná odchylka výškového měření první a druhé větve tunelu.

VYTYČENÍ TOČITÉHO TUNELU



Točitý (kruhový, spirálový) tunel v ČR neexistuje.
(Na Slovensku 1931-36 u Telgártu, $r = 400$ m, 1,239 m, 1,25%.)

Případná stavba si vyžádá **speciální rozbory**, odpovídající stavu techniky.

Vliv úhlových odchylek roste s velikostí úhlu.
Je třeba uvážit zbytkové systematické chyby měření délek.
Pro gyroorientaci platí stejné závěry jako u přímého tunelu.

Vliv podkladu na podélnou odchylku

$$\sigma_{l1} = \sigma_{xy} \left[1 + \frac{2s_{AP}}{s_{AB}} \sin\left(\frac{\alpha}{4}\right) \left\{ \frac{s_{AP}}{s_{AB}} \sin\left(\frac{\alpha}{4}\right) - \sin\left(\gamma + \frac{\alpha}{4}\right) \right\} \right]^{1/2}$$

kde: σ_{xy} - směrodatná souřadnicová odchylka daných bodů,
 s_{AP} - délka tětiny,
 s_{AB} - délka orientační strany,
 α - středový úhel oblouku kružnice,
 γ - orientační (polární) úhel;

Minimum: $\gamma = R - \alpha/4$,
maximum: $\gamma = 3R - \alpha/4$.

Vliv podkladu na příčnou odchylku

$$\sigma_{q1} = \sigma_{xy} \left[1 + \frac{2s_{AP}}{s_{AB}} \cos\left(\frac{\alpha}{4}\right) \left\{ \frac{s_{AP}}{s_{AB}} \cos\left(\frac{\alpha}{4}\right) - \cos\left(\gamma + \frac{\alpha}{4}\right) \right\} \right]^{1/2}$$

Minimum: $\gamma = 4R - \alpha/4$,
maximum: $\gamma = 2R - \alpha/4$.

Na směru orientace nezáleží.

Odvození pomocí rovnice (3), podrobněji ve skriptech.

Př. 73

Vliv měření

Směrodatná příčná odchylka prorážky σ_{q2} (ve směru normály)

$$\sigma_{q2} = \left[\frac{\sigma_d^2}{2} \left\langle n-1 - \frac{\sin(n-1)\delta \cos(n-1)\delta}{\sin \delta} \right\rangle + \left(\frac{\sigma_{dr}}{d} \right)^2 \left(1 - \cos(n-1)\delta \right)^2 + \frac{\omega_n^2 r^2}{2\rho^2} \left\langle n-1 - \frac{\sin(n-1)\delta \cos n\delta}{\sin \delta} \right\rangle \right]^{-1/2}$$

Směrodatná podélná odchylka prorážky σ_{l2} (ve směru tečny)

$$\sigma_{l2} = \left[\frac{\sigma_d^2}{2} \left\langle (n-1) + \frac{\sin(n-1)\delta \cos(n-1)\delta}{\sin \delta} \right\rangle + \left(\frac{\sigma_{dr}}{d} r \sin(n-1)\delta \right)^2 + \frac{(\sigma_r r)^2}{2} \left\langle 3(n-1) + \frac{\sin(n-1)\delta \cos n\delta}{\sin \delta} - 4 \frac{\sin(n-1)\delta \cos n\delta}{\sin \frac{\delta}{2}} \right\rangle \right]^{-1/2}$$

Odchylky točitého (kruhového) tunelu

$s_{ap} = 1 \text{ km}$, $d = 100 \text{ m}$ ($n = 11$), $m_s = 5 \text{ mm}$, $m_u = 1 \text{ mgon}$

Úhel α (gon)	Poloměr r (m)	Odchylka (mm)	
		příčná	podélná
0	∞	30,7	15,8
50	2546,4	30,5	16,2
100	1273,2	29,6	17,2
150	848,8	28,0	18,6
200	636,6	26,0	20,1
250	509,3	23,5	21,6
300	424,4	20,8	22,8
350	363,8	18,1	23,3
400	318,3	15,8	23,4

K