

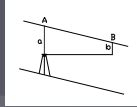
PŘIPOJOVACÍ A USMĚRŇOVACÍ MĚŘENÍ

Doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.
s využitím příprav Ing. R. Urbana, Ph.D.

Následující stránky jsou doplňkem přednášek předmětu 154GP10

2014

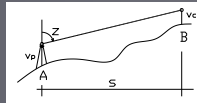
Hlubkové připojení a měření



- A. Barometricky (hrubé)
- B. Odvinování těžního lana (hrubé)
- C. Geometrická nivelace vpřed (v úklonných chodbách)
- D. Geometrická nivelace ze středu

E1. Trigonometrické určení výšek

$\sigma_{v_B} = 2 \text{ mm}$, $\sigma_{\rho, \rho} = 1 \text{ mm}$ (tuhá olovnice)
 $\sigma_z = 0,7 \text{ mgon}$, $\sigma_s = 2 \text{ mm}$ (parabolika)
 $\sigma_{v_B} = ? \text{ mm}$



Zenitka	10 m	20 m
75 gon	2,59	2,59
50 gon	3,29	3,19
25 gon	5,46	5,41

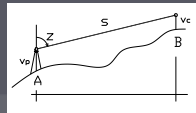
$$V_B = V_A + v_p \pm s \cdot \cot z - v_c$$

$$\hat{v}_{v_B} = \hat{v}_{v_A} + \hat{v}_{v_p} \pm \frac{s}{\sin^2 z} \cdot \hat{e}_z \pm \cot z \cdot \hat{e}_z - \hat{v}_{v_c} \Rightarrow \sigma_{v_B} \square \sigma_{v_A} \square \sigma_{v_p} = \sigma_{v_c}$$

$$\sigma_{v_B}^2 = \sigma_{v_A}^2 + 2\sigma_{v_p}^2 + \frac{s^2}{\sin^2 z} \cdot \frac{\sigma_z^2}{\rho^2} + \cot^2 z \cdot \sigma_z^2$$

E2. Trigonometrické určení výšek

b) $\sigma_{v_B} = 2 \text{ mm}$, $\sigma_{\rho, \rho} = 1 \text{ mm}$ (tuhá olovnice)
 $\sigma_z = 0,7 \text{ mgon}$, $\sigma_s = 2 \text{ mm}$ (dálkoměr)
 $\sigma_{v_B} = ? \text{ mm}$



$$V_B = V_A + v_p \pm s \cdot \cos z - v_c$$

$$\hat{v}_{v_B} = \hat{v}_{v_A} + \hat{v}_{v_p} \pm s \cdot \sin z \cdot \hat{e}_z \pm \cos z \cdot \hat{e}_z - \hat{v}_{v_c} \Rightarrow \sigma_{v_B} \square \sigma_{v_A} \square \sigma_{v_p} = \sigma_{v_c}$$

$$\sigma_{v_B}^2 = \sigma_{v_A}^2 + 2\sigma_{v_p}^2 + s^2 \cdot \sin^2 z \cdot \frac{\sigma_z^2}{\rho^2} + \cos^2 z \cdot \sigma_z^2$$

Zenitka	10 m	20 m
75 gon	2,56	2,57
50 gon	2,82	2,83
25 gon	3,06	3,07

Čím strmější záměra, tím přesněji se musí měřit vodorovná (šikmá) délka a zenitový úhel.
 Měřit elektronicky šikmou délkou je výhodnější.

F. Pásma

- spuštěno do svislé šachtly (hloubkové pásmo)

Oprava z komparace

Oprava z teploty

$L = 80 \text{ m}$, $\Delta t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, oprava 9,2 mm

Oprava z protažení

(nula nahoře) – vždy se naměří méně

E – modul pružnosti .. N/mm²

P – průřez pásma .. mm² $I = 80 \text{ m}$, $I_y = 20 \text{ m}$, $Q_M = 400$, $Q_K = 100$

I – odvinuté pásmo $P = 3,5$

I_y - neodvinuté pásmo (převěšek)

q – hmotnost běžného metru pásma (0,021 Kg.m⁻¹), $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

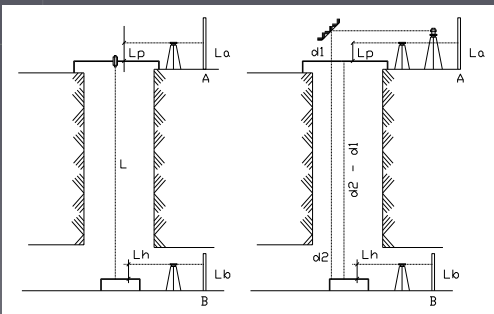
Q – rozdíl síly naplnění při měření (M) a komparaci (K) v Newtonech

$$l = l_0 \cdot (1 - \alpha \cdot \Delta t), \alpha = 1,15 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$\Delta t = t - t_0 \quad (t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\sigma_p = \frac{l}{EP} \cdot \left(Q_M - Q_K + \frac{gIq}{2} + gI_y q \right)$$

$E = 165 \text{ 000}$	43,3 mm
$E = 227 \text{ 120}$	1,2 mm

G. Měření elektronickým dálkoměrem**Vzájemná poloha a orientace
důlních děl a objektů**

(Připojovací a usměrňovací měření)

Možnosti:

Polygonový pořad ve vodorovné nebo úklonné žitole

Dvě nebo více šachet - dvěma 1 bod, vetknutý pořad

Jednou svislou šachtou – promítání dvou bodů

– promítání jednoho bodu + gyroteodolit



Provážení

- opticky (rosení, viditelnost
dosah, stabilita)

- laserem

- mechanicky (olovnice)

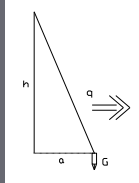
Olovnice

Provázání olovnici

- volné
- upnuté (Jungovy talíře)
- tlumené (nádobka s tekutinou)

Vychýlení olovnice (vítr)

$$a = \frac{hq}{G}$$



a – výchylka olovnice od svislice (mm)

h – hloubka promítání (m)

q – boční síla (N)

G – hmotnost olovnice (kg)

h = 100 m, Q = 150 Kg, q = 0,01 N, a = 1 mm

Únosnost drátu olovnice

u – součinitel konfidence (koeficient bezpečnosti, mezi 2 až 3)

F – plocha průřezu drátu v mm² (F = π · r²)

k – nosnost drátu (většinou 180 kg/mm²)

Q – hmotnost závaží v kg

Př. r = 0,25 mm, F = 0,2 mm², u = 2,5, Q = 14,4 Kg (fakulta)

$$Q = \frac{1}{u} \cdot Fk$$

Olovnice se spouští vrátkem nejprve s pytlek písku. (pak olovnice)

Na ohlubni prochází závěs opěrným zářezem – nelineární průběh.

Volné olovnice - menší hloubky = rychlejší ustálení

- menší přesnost

Kontrola volnosti závěsu

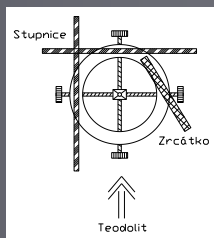
– doba kyvu, spuštěním prstence, svícením

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \square \sqrt{l} \cdot (\sqrt{9,81} \square \pi)$$

Ustálení středové polohy pro upevnění

Junglyv centrační talíř

- Svislice je střed nucených kyvů
- 15 kyvů (7 levých + 8 pravých)
- Dvě až tři řady – aritmetický průměr
- Upnutí závěsu na průměr



$$a = \frac{pl}{2(G+D/2)}$$

Wilkského promítání

- Eliminace konstantních bočních sil (vítr)
- Různé hmotnosti olovnice

$$a = pl/2(1/(G+D/2))$$

kde: p - boční tlak např. působení větru,
 l - délka závěsu,

D, G - hmotnost závěsu a olovnice .

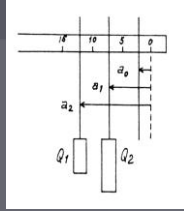
Lze psát: $a = k/Q$

$$a_1 = a_0 + (k/Q_1), \quad a_2 = a_0 + (k/Q_2)$$

potom

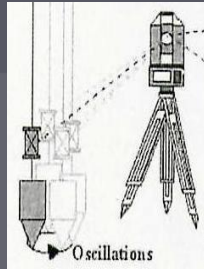
$$a_0 = (a_1Q_1 - a_2Q_2) / (Q_1 - Q_2)$$

Použije-li se více olovnice (např. postupně se zatížením 100 – 200 – 400 – 100 kg), dochází k vyrovnání metodou nejmenších čtverců s uvážením vah. Čím větší je hmotnost olovnice, tím větší je váha.



Použití motorizované TS

Při použití motorizované totální stanice s automatickým sledováním cíle je do závěsu nad olovnici souose vložen všesměrný hranol. Poloha hranolu je po dobu několika kyvů olovnice opakovaně měřena. Střední poloha závěsu se vypočte jako těžiště registrovaných místních souřadnic jednotlivých poloh. Tu je potom možno zpětně vytýčit.



Více stočená stupnice

- nekolmost stupnice na záměrnou přímkou (v půdoryse)

L_0, P_0 – krajní polohy kyvů

S_0 – správný střed kyvů

L, P – kyvy na stočené stupnici

S – střed ze stočených kyvů

u – čtený úsek P-L

d – délka záměry T- S_0
 (blíží talíř)

α - úhel stočení stupnice

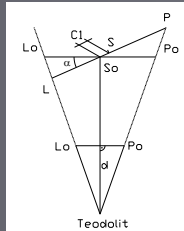
Př. $u = 0,05 \text{ m}, d = 2 \text{ m}$,

$$\alpha = 10 \text{ gon}, c_1 = 0,05 \text{ mm}$$

$$\alpha = 20 \text{ gon}, c_1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$c_1 = S_0 - S$$

$$c_1 = \left(u^2 \cdot \frac{\sin \alpha}{4d} \right)$$



Vliv stočení kyvvů

- závěs se nekryje rovnoběžně se stupnicí

L_0, P_0 – krajní polohy kyvvů

S_0 – správný střed kyvvů

L, P – stočené kyvvy

S – střed ze stočených kyvvů

u – čtený úsek P-L

d – délka záměry T- S_0
(bližší tallf)

β - úhel stočení kyvvů

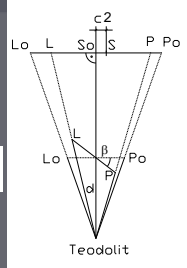
Př. $u = 0,05 \text{ m}$, $d = 2 \text{ m}$,

$\beta = 10 \text{ gon}$, $c_2 = 0,01 \text{ mm}$

$\beta = 20 \text{ gon}$, $c_2 = 0,09 \text{ mm}$

$$c_2 = S_0 - S$$

$$c_2 = \left(u^2 \cdot \frac{\sin 2\beta}{8d} \right)$$



Určení středové polohy – 8 krát o_1 , a 7 krát o_2 ,

Průměr $s = \frac{l+p}{2}$, kde $l = \frac{\sum o_l}{n_l}$, $p = \frac{\sum o_p}{n_p}$

Pro

$$x_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{o_1 + o_3}{2} + o_2 \right)$$

$$x_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{o_2 + o_4}{2} + o_3 \right)$$

$$\vdots$$

$$s = \frac{[x]}{n-2}$$

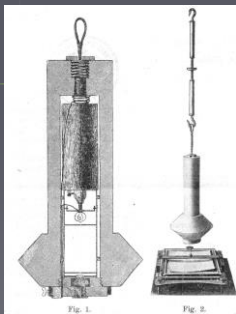
Lůňák
(lichý počet čtení)

$$x_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{o_1 + o_3}{2} + o_2 \right)$$

$$x_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{o_1 + o_5}{2} + o_4 \right)$$

$$\vdots$$

$$s = \frac{[x]}{n-1}$$



Köhlerova registrační olovnice



První čs. laserový provažovač

Optické promítání

- Menší hloubky
- Omezení prostředí (prašnost, vodní páry)
- Zdlouhavý pracovní postup
- Přesnost přímo souvisí s citlivostí libely či kompenzátoru
- Vždy se měří ve dvou polohách (vícekrát) - průměr

Lasery

- He-Ne laser (laserová dioda)
- Rozptyl paprsku na větší vzdálenosti
- Detekce stopy optická, elektronická (maximální intenzita)

Požadovaná přesnost provázení dvou bodů (směrníku) $\sigma_{12} = \frac{\sigma_{xy} \rho \sqrt{2}}{a}$

- σ_{xy} je souřadnicová odchylka promítání bodu
- a je vzdálenost mezi závěsy ($a=3\text{ m}$, $\sigma_{12} = 3\text{ mgon}$, $\sigma_{xy} = 0,1\text{ mm}$)!

Připojovací a usměrňovací měření

PŘIPOJOVACÍ A USMĚRŇOVACÍ MĚŘENÍ

I. Díla úpatní a ražená s povrchu

A. Polygon

II. Hlubinná díla

B. Připojení 1 jamou

B.1 Jedním bodem – gyro

B.2 Dvěma body – magneticky

B.2.1 Úsečkou

B.2.2 Trojúhelníkem

B.2.2.1 Dáno a, b, c, α - nevyrovnaný

- vyrovnaný

(Ve výpočtech uváděny vždy 4 tvary)

B.2.2.1.1 Výpočet sinovou větou

B.2.2.1.2 Výpočet tangenovou větou

B.2.2.2 Dáno a, b, c (výpočet cosinovou větou)

B.2.2.3 Dáno b, c, α

B.2.3 Čtyřúhelníkem

C. Připojení 2 jamami

1. Důležitá je přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

2. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

3. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

4. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

5. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

6. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

7. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

8. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

9. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

10. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

11. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

12. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

13. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

14. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

15. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

16. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

17. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

18. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

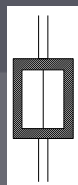
19. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

20. Při měření v jamách je třeba dbát na přesnost měření, zejména u měření v hlubších jamách.

Připojení jednou šachtou dvěma body

Přínka

- Teodolit umístěn na posuvu se šroubem
- V bližším závěsu kovový rámeček
- Urovnání teodolitu do směru závěsů
- Použití v mělkých podzemních dílech



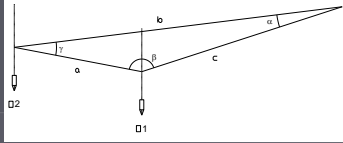
Trojúhelník

- Volí se, aby byly viditelné oba závěsy
- Měří se obvykle všechny tři délky a úhel (kontrola délky mezi závěsy)
- Oprava délky závěsů o sblhavost tížnic
- Štíby trojúhelník (používá se sinová věta, vliv délek se neuplatní)
- Přesnost úhlu závěsů je dána přesností vrcholového úhlu
-

Čtyřúhelník

Měření 4 prvky Sinová věta

Štíhlý trojúhelník



$$\sin \beta = \frac{b \cdot \sin \alpha}{a}$$

$$\frac{\sigma_\beta^2}{\rho^2} = \operatorname{tg}^2 \beta \cdot \left(\cot^2 \alpha \cdot \frac{\sigma_a^2}{\rho^2} + \frac{\sigma_c^2}{\rho^2} + \frac{\sigma_b^2}{\rho^2} \right)$$

$$\alpha \rightarrow 0, \beta \rightarrow 200 \text{ gon}$$

$$\sigma_\beta \approx \sigma_a \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} \approx \sigma_a \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \sigma_a \frac{b}{a}$$

Pro $\sigma_a = 1$ mgon, $a = 3$ m, $\sigma_b = 0,5$ mm.

α (gon)	σ_β (mgon) pro poměr b/a		
	1,5	2,0	3,0
1	1,5	2,0	3,0
5	2,1	2,8	4,1
10	3,4	4,4	6,8
20	6,8	9,6	28,7

Porovnání přeúčtených trojúhelníků při odvození sinovou větou

Obecný

$a = 2$ m, $b = 3$ m, $c = 4$ m, $\sigma_a = 0,7$ mm, $\sigma_b = 0,9$ mm, $\sigma_c = 1,0$ mm,
 $\alpha = 34$ gon, $\sigma_\alpha = 0,7$ mgon.

$\beta = 56$ gon, $\gamma = 110$ gon, $\sigma_\beta = 35,5$ mgon, $\sigma_\gamma = 173,0$ mgon !!!!!

Rovnoramenný

$a = 2$ m, $b = 3$ m, $c = 3$ m, $\sigma_a = 0,7$ mm, $\sigma_b = 0,9$ mm, $\sigma_c = 0,9$ mm,
 $\alpha = 43,3$ gon, $\sigma_\alpha = 0,7$ mgon.

$\beta = 78,4$ gon, $\gamma = 78,4$ gon, $\sigma_\beta = 83,2$ mgon, $\sigma_\gamma = 83,2$ mgon

Rovnostranný

$a = 2$ m, $b = 2$ m, $c = 2$ m, $\sigma_a = 0,7$ mm, $\sigma_b = 0,7$ mm, $\sigma_c = 0,7$ mm,
 $\alpha = 66,6$ gon, $\sigma_\alpha = 0,7$ mgon.

$\beta = 66,6$ gon, $\gamma = 66,6$ gon, $\sigma_\beta = 54,5$ mgon, $\sigma_\gamma = 54,5$ mgon

Odvození tangentovou větou

- Ve výpočtu se neuplatňuje strana a

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b \sin \alpha}{c - b \cos \alpha}, \operatorname{tg} \gamma = \frac{c \sin \alpha}{b - c \cos \alpha}$$

- Vytvoření totálního diferenciálu s přechodem na směrodatné odchylky

$$\sigma_\beta = \frac{1}{a} \sqrt{(\sin \gamma \cdot \sigma_b)^2 + (\sin \beta \cdot \sigma_c)^2 + \left(b \cos \gamma \cdot \frac{\sigma_b}{\rho} \right)^2}$$

trojúhelník	tangentová	sinová
Obecný	31,6 mgon	173,0 mgon
Rovnoramenný	27,4 mgon	83,2 mgon
Rovnostranný	22,4 mgon	54,5 mgon
Štíhlý	31,6 mgon	1,5 mgon

Trojúhelník určený třemi prvky

3 délky

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta$$

$$\beta = \arccos \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}$$

$$\sigma_\beta = \rho \cdot \sqrt{\left(\frac{b \cdot \sigma_a}{ac \sin \beta}\right)^2 \cdot (\cos^2 \alpha + \cos^2 \gamma + 1)}$$

trojúhelník	tangenty	3 délky
Obecný	31,6 mgon	56,7 mgon
Rovnoramenný	27,4 mgon	39,8 mgon
Rovnostranný	22,4 mgon	31,5 mgon
Štíhlý	31,6 mgon	3,16 gon !!

Měření úhlu výrazně zvyšuje přesnost.

Trojúhelník určený třemi prvky

Délky k závěsům a úhel

- délka a se určí kosinovou větou

$$\sin \beta = \sin \alpha \cdot \frac{b}{b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha}$$

$$\sigma_\beta = \frac{1}{a} \sqrt{(\sin \gamma \cdot \sigma_a)^2 + (\sin \beta \cdot \sigma_c)^2 + \left(b \cos \gamma \cdot \frac{\sigma_b}{\rho}\right)^2}$$

trojúhelník	2 délky + úhel	3 délky
Obecný	31,6 mgon	56,7 mgon
Rovnoramenný	27,4 mgon	39,8 mgon
Rovnostranný	22,4 mgon	31,5 mgon
Štíhlý	31,6 mgon	3,16 gon !!

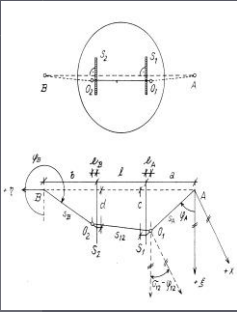
Shrnutí

Pokud se volí trojúhelník jako připojovací obrazec, je nejvhodnější volbou štíhlý trojúhelník odvozený obecnou sinovou větou.

Podmínky:

- Poměr délky ke vzdálenějšímu závěsu s délkou mezi závěsy co nejmenší
- Délka mezi závěsy co největší
- Délka ke vzdálenějšímu závěsu co nejmenší (hranice ostření)
- Úhel ve štíhlém trojúhelníku nutně měřit velmi přesně v laboratorních jednotkách (paralakticky)

Foxův čtyřúhelník



Optimální tvar tohoto obrazce je opět štíhlý. Je výhodný u oboustranného náraží, kde lze měřit současně dvěma teodolity a křivky se určují jen v jednom směru, příčně ke spojnicí.

Postup řešení: zvolí se přímka AB (stanoviska teodolitů) přibližně rovnoběžná s úsečkou O₁O₂ ve vzdálenosti několika cm. Na stupnicích S₁, S₂ se určí úseky c, d. Změří se vzdálenosti a, b, l, e₁, e₂ (obr.). V místní souřadnicové soustavě ξ, η se určí souřadnice závěsů olovnic O₁, O₂. Platí:

$$\eta_1 = a - e_1, \eta_2 = a - l + e_2.$$

Z podobnosti trojúhelníků plyne:

$$\xi_1 = \frac{c(a - e_A)}{a}, \xi_2 = \frac{d(b - e_B)}{b}.$$

Ze známých souřadnic závěsů olovnic O₁, O₂ ve státní soustavě se vypočte směrnik σ₁₂ a v místní soustavě se vypočte φ₁₂. Směrnik spojnice bodů AB ve státní soustavě je:

$$\sigma_{AB} = 100 + \sigma_{12} - \varphi_{12}. \quad (+)$$

Ze souřadnic závěsů O₁, O₂ a stanovisek A, B se v místní soustavě určí směrníky φ_A, φ_B a délky s_A, s_B. Dále lze určit směrníky σ_{1A}, σ_{2B}:

$$\sigma_{1A} = \sigma_{12} - \varphi_{12} + \varphi_A + 200 \text{ gon},$$

$$\sigma_{2B} = \sigma_{12} - \varphi_{12} + \varphi_B + 200 \text{ gon}.$$

Ze souřadnic závěsů olovnic O₁, O₂ ve státní soustavě a vypočtených směrníků σ_{1A}, σ_{2B} a délek s_A, s_B se vypočtou rajonem z bodů závěsů souřadnice bodů (stanovisek) A, B ve státní soustavě. Výpočet lze kontrolovat shodou směrníku σ_{AB} vypočteného ze souřadnic a z rovnice (+).

Přesnost Foxova připojení je závislá na přesnosti určení směrniku φ₁₂ ze souřadnic ξ₁ a η₁. Z rovnice pro tgφ₁₂ se odvodí směrodatná odchylka směrniku σ_{φ12}:

$$\text{tg} \varphi_{12} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\xi_2 - \xi_1}$$

$$\sigma_{\varphi_{12}} = \frac{\rho}{s_{12}} \left[2(\sigma_{\xi_{12}}^2 \cos^2 \varphi_{12} + \sigma_{\xi}^2 \sin^2 \varphi_{12}) \right]^{1/2}.$$

Vzorec platí za předpokladu, že σ_{ξ1} = σ_{ξ2} a σ_{η1} = σ_{η2}. Pro φ₁₂ = 100 gon je cos φ₁₂ = 0 a sin φ₁₂ = 1. Potom se rovnice zjednoduší na tvar:

$$\sigma_{\varphi_{12}} = \frac{\sigma_{\xi} \rho \sqrt{2}}{s_{12}},$$

kde σ_ξ je prakticky přesnost určení úseček c a d.

Příklad: σ_ξ = 0,05 mm, s₁₂ = 3,0 m, pak σ_{φ12} = 1,5 mgon.

Použije-li se Foxova připojení jak na povrchu, tak v podzemí, musí se hodnota násobit √2.

