

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Hornická a geologická fakulta  
Institut geodézie a inženýringu

# INŽENÝRSKÁ GEODÉZIE

Autor : Doc. Ing. Emil Gavlovský, CSc.

Ostrava 2002

# 1. PLÁNOVÁNÍ PŘESNOSTI V INŽENÝRSKÉ GEODÉZII

Projekt geodetických prací řeší otázky:

- technické,
- organizační,
- ekonomické,
- právní,

Přesnost je řešena v technické části projektu. Požadovaná přesnost vytyčovaného geometrického parametru je dána:

- stavební tolerancí,
- mezní vytyčovací odchylkou.

**Vztah mezi tolerancí T a mezní vytyčovací odchylkou  $\delta$**

Předpokládáme:  $T = -2\delta x_{\text{inf}} = 2\delta x_{\text{sup}} = 2\delta x_{MS}$

$$\delta x_{MS}^2 = \delta x_{MD}^2 + \delta x_{MM}^2 + \delta x_{met}^2$$

↓

↓

↓

stav.  
dílec

montáž

metoda  
vytyčování

$\delta x_{met}$  o 1 řád přesnější než  $(\delta x_{MD}^2 + \delta x_{MM}^2)$

$$\delta x_{MD}^2 + \delta x_{MM}^2 = 10 \cdot \delta x_{met}^2$$

$$\delta x_{MS}^2 = 11 \cdot \delta x_{met}^2$$

$$\delta x_{MS}^2 = 2 \cdot \delta x_{met}^2 \quad \dots \text{í} \dots \text{.....} \quad \text{krajní případ}$$

$$\delta x_{met} = \delta x_{MS} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7 \delta x_{MS} \quad T = 2 \delta x_{MS}$$

$$\delta x_{met} = 0,35 \cdot T \quad \dots \text{í} \dots \text{.....} \quad \text{krajní případ}$$

Prakticky se volí:  $\delta x_{met} = 0,2 \cdot T$

Mezní odchylka vytyčování je 0,2 max. přípustné tolerance.

## Vztah mezi mezní odchylkou a sm. rodatnou odchylkou

Sm. rodatná odchylka  $\delta x = \delta x_{met} / Up$

Koeficient spolehlivosti  $Up$  se volí:

$Up = 2$	jednoduché měření s malými syst. chybami,
$Up = 2,5$	složitější měření s obtížnou kontrolou,
$Up = 3$	nepříznivé podmínky, obtížné vyloučení systematických chyb,
$Up \geq 3$	výjimečně u dležitých, závažných a drahých měření vytýčení.

## Jednorozměrné a dvojrozměrné odchylky

**Jednorozměrná odchylka** - přesnost je dána sm. rodatnou odchylkou.

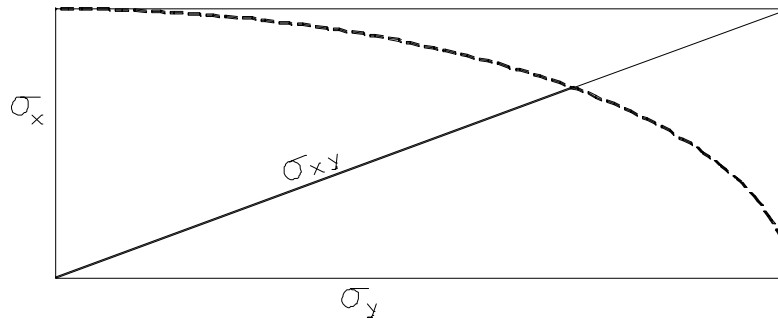
**Dvojrozměrná odchylka** - přesnost je dána:

- elipsou chyb → elipsa je určena hlavní a vedlejší poloosou a směrníkem hlavní poloosy,
- souadnicovými odchylkami  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  a  $\sigma_{x,y}$

$$\sigma_{xy} = \sqrt{0,5 \cdot (\sigma^2_x + \sigma^2_y)}$$

- sm. rodatnou polohovou odchylkou

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma^2_x + \sigma^2_y}$$



Obr. 1.1 Dvojrozměrné odchylky

$\sigma_x = \sigma_y$	..... kružnice chyb,
$\sigma_x \neq \sigma_y$	..... elipsa chyb,
$\sigma_x = \theta$ nebo $\sigma_y = \theta$	..... úsečka chyb.

**Kontrola vytýčení** (měření) v IG je 100% a je součástí vytýčení (měření), která se zahrnuje do výsledku.

Nezaměňovat s kontrolou měření tvaru ap. výrobku nebo správnosti geometrických parametrů (tzv. ověřovací měření).

- Použitím kontrolních geometrických prvků (oměrné míry).
- Opakovaným vytýčením stejným způsobem.
- Opakovaným vytýčením nezávislým způsobem.
- Opakovaným vytýčením nezávislým způsobem s podstatně vyšší přesností (přesněji o nedodržení požadované přesnosti).

## Rozbor přesnosti

### a) přesnost měření

$$\sigma_{x_{met}} = \sigma_T \cdot Up \dots \sigma_T = \frac{\sigma_{x_{met}}}{Up}$$

↓

směrodatná odchylka veličiny  $T$ .

Přidáním měření je směrodatná odchylka 1 měření:

$$\sigma_{T_0} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{2}} \quad \text{Při  $n$  měření:} \quad \sigma_{T_0} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{n}}$$

- Běžné měř. postupy → dán vzorec pro velikost směrodatné (dovolené) odchylky metody  $\sigma_M$  (měření).
- Speciální metody měření → velikost  $\sigma_M$  je nutno odvodit:

$$\sigma_M = f(x_i, \sigma x_i)$$

$$\sigma_{T_0} > \sigma_M \quad \text{metoda měření je příliš přesná,}$$

$$\sigma_{T_0} = \sigma_M \quad \text{metoda měření je optimální,}$$

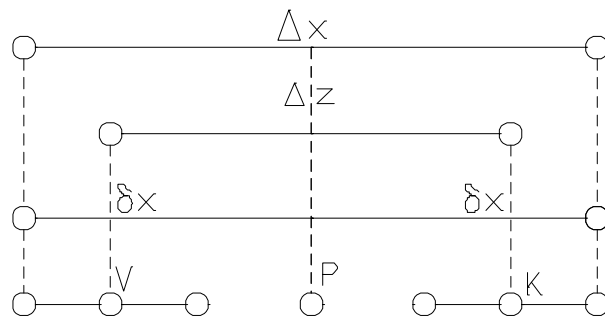
$$\sigma_{T_0} < \sigma_M \quad \text{metoda měření je málo přesná.}$$

$x_i$  = měřená veličina (úhel, délka)

$\sigma x_i$  = směrodatná odchylka. Její velikost se dá ovlivnit volbou přístrojů, technologií měření.

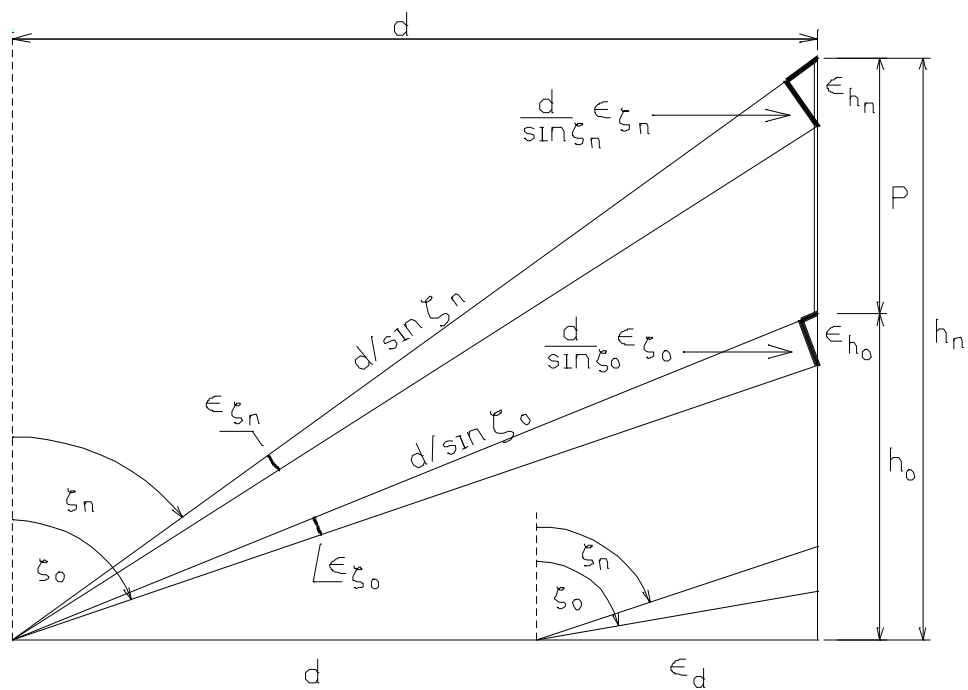
$$\frac{\Delta z}{2} + Up \cdot \sigma_M / \sqrt{2} = \delta x_{met}$$

$$\Delta z = 2 \cdot \left( \delta x_{met} - \frac{Up \cdot \delta_M}{\sqrt{2}} \right)$$



Obr.1.2.Pravid podobná hodnota geometrické veličiny určené vytyčením a kontrolním měřením

Příklad: Rozbor přesnosti přímého svislého posunu (deformace) trigonometrickým měřením výšek.



Obrázek 1.3 Rozbor přesnosti svislého posunu určeného trigonometricky

Svislý posun  $p = h_n - h_o$   
 $p = d \cdot \cot g \xi_n - d \cdot \cot g \xi_o = d(\cot g \xi_n - \cot g \xi_o)$

Náhodná odchylka:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{h_n} - \varepsilon_{h_o}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_p &= \varepsilon_d \cdot \cot g \xi_n - \varepsilon_d \cdot \cot g \xi_o - \frac{d}{\sin^2 \xi_n} \cdot \varepsilon_{\xi_n} + \frac{d}{\sin^2 \xi_o} \cdot \varepsilon_{\xi_o} = \\ &= \varepsilon_d \cdot (\cot g \xi_n - \cot g \xi_o) \frac{d}{d} - d \cdot \left[ 1 + \left( \frac{h_n}{d} \right)^2 \right] \varepsilon_{\xi_n} + d \cdot \left[ 1 + \left( \frac{h_o}{d} \right)^2 \right] \varepsilon_{\xi_o} \end{aligned}$$

Úprava:  $\frac{d}{\sin^2 \xi_n} \varepsilon_{\xi_n} \dots \sin \xi = \frac{d}{\sqrt{d^2 + h^2}}$

$$\sin^2 \xi = \frac{d^2}{d^2 + h^2} = \frac{d^2}{d^2 \left( 1 + \frac{h^2}{d^2} \right)} = \frac{1}{1 + \frac{h^2}{d^2}}$$

$$\frac{1}{\sin^2 \xi} = 1 + \frac{h^2}{d^2}$$

Protože:  $\frac{h^2}{d^2} \Rightarrow$  malé  $\Rightarrow \sigma_{\xi_n} = \sigma_{\xi_o} \quad \sigma d_o = \sigma d_n$

Sm rodatná odchylka svislého posunu:

$$\sigma_p^2 = \left( \frac{\sigma d}{d} p \right)^2 + 2 \left( \sigma_{\xi} \cdot \frac{d}{\rho} \right)^2 \quad *$$

vliv chyby délek    vliv chyby úhlu

Volíme-li  $Up = 2 \quad \sigma_{T_o} = \sigma_M$

Pak  $\sigma_{T_o} = \sigma_p = 0,7 \delta x_{met}$

Konkrétní případ pro:

$$\begin{array}{lll} p = 0,01m & h = 5,0m & d = 20,0m \\ \delta x_{met} = 0,5mm & \sigma_{do} = 5mm & \sigma_{\xi_o} = 1mgon \end{array}$$

Počet opakování měření

$$\text{délka} \rightarrow \sigma_d = \sigma_{D_o} / \sqrt{n_d} \quad \text{úhl} \rightarrow \sigma_{\xi} = \sigma_{\xi_o} / \sqrt{n_{\xi}}$$

Po dosazení do vzorce \*/

$$(0,75 \cdot 10^{-4})^2 = (5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-2} / 20) \cdot \frac{1}{n_d} + 2 \cdot [20 / 6,4 \cdot 10^4]^2 \cdot \frac{1}{n_{\xi}}$$

$$n_{\xi} \doteq 1,6 \dots n_{\xi} = 2 \quad \text{výškové úhly měříme 2x}$$

Není-li možno 1 z členů rovnice zanedbat, je nutno počet opakování měření jedné z veličin zvolit, nebo se položí  $n_d = n_{\xi}$

### b) Rozbor přesnosti průměrné hodnoty (v terénu)

Porovnání extrémních odchylek od aritmetického průměru

$$|\ell_{ex} - \bar{x}| \leq \text{mezní hodnota}$$

Je-li nutno extrémní hodnoty  $\ell_{ex}$  vyadit, je nutno doplnit počet měření tak, aby byl stanovený počet  $n$  dodržen.

Rozdílný soubor má jiný průměr  $\bar{X}$  a je nutno znovu provést testování.

### c) Rozbor přesnosti průměrné hodnoty

Hodnotí se dosažené výsledky, zda odpovídají požadované přesnosti.

$$\text{Pro dvojici měření} \quad \Delta = |p_1 - p_2|$$

$$\text{Směrodatná odchylka rozdílu} \quad \sigma_{\Delta} = \sqrt{2 \cdot \sigma_{T_o}}$$

$$\sigma_{T_o} = \text{směrodatná odchylka jednoho měření}$$

$$\text{Mezní rozdíl} \quad \Delta_M = U_p \cdot \sigma_{T_o} \cdot \sqrt{2}$$

Je-li  $\Delta_M \geq \Delta$  je výsledek vyhovující.

$$\text{Směrodatná odchylka průměru} \quad \sigma_{\bar{x}} = \frac{\Delta}{2}$$

Výsledek (pro  $m$  r) je pak uváděn jako  $\bar{x} \pm \frac{\Delta}{2}$  nebo  $\bar{x} \pm \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}}$

Pro více jak 2 měření je směřovaná (výběrová) odchylka

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\sum v^2 / n(n-1)}$$

$v \rightarrow$  odchylky jednotlivých měření od aritmetického průměru

$n \rightarrow$  počet měření

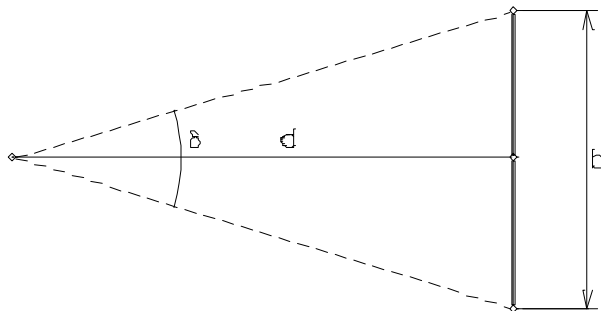
Není-li splněno  $\Delta M \geq \Delta$  \* a proto bylo provedeno větší měření.  
 mezní rozdíl  $\uparrow$                        $\uparrow$  skut. rozdíl  
 dvojího měření                      dvojího měření

Může nastat:

- podmínka \* je splněna a výsledkem je průměr ze tří vytyčení
- podmínka \* není splněna, pak se ze tří vyberou dvě měření, která podmínce vyhovují
- výběrem 2 hodnot nelze podmínku \* splnit. Je nepatná technologie nebo způsob její realizace.

## 2. Paralaktické měření délek

Uplatnění v IG: přesné měření kratších délek v mikrosítích. Přesnost až v desetínách mm



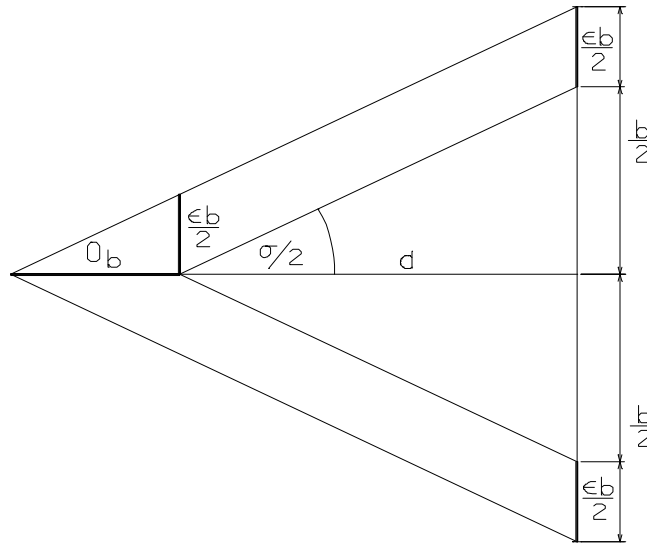
Obr.2.1. Paralaktické měření délek



Přesnost určené délky  $d$  :

$$d = \frac{b}{2} \cdot \cot g \frac{\delta}{2}$$

a) Vliv chyby délky základny  $b$

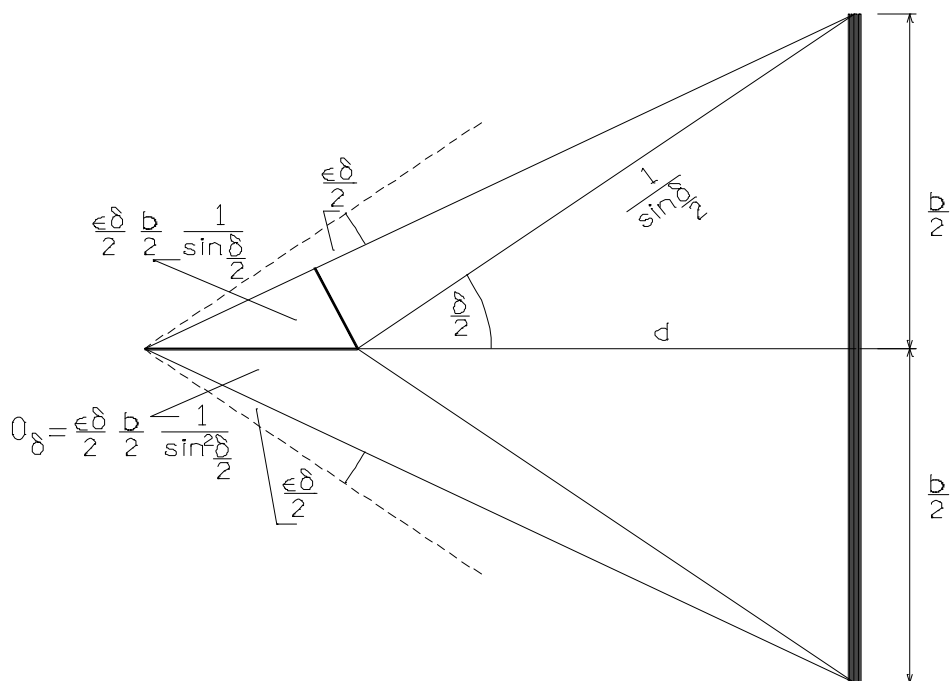


Obr.2.2. Vliv chyby délky základny

$$\theta_b = \frac{\varepsilon_b}{2} \cdot \cot g \frac{\delta}{2}$$

čím je úhel  $\delta$  menší, tím je vliv chyby délky základny větší.

b) Vliv chyby paralaktického úhlu  $\delta$



Obr.2.3. Vliv chyby paralaktického úhlu

Celková chyba délky:

$$\varepsilon_d = \varepsilon_b + \varepsilon_\delta = \frac{\varepsilon_b}{2} \cdot \cot g \frac{\delta}{2} - \frac{\varepsilon_\delta}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{\sin^2 \frac{\delta}{2}}$$

Úprava:  $tg \frac{\delta}{2} = \frac{b/2}{d} \quad \sin \frac{\delta}{2} \doteq tg \frac{\delta}{2} \quad (\delta \rightarrow \text{malé})$

$$\varepsilon_d = \varepsilon_b \cdot \frac{d}{b} - \varepsilon_\delta \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{2tg^2 \frac{\delta}{2}}$$

$$\varepsilon_\delta \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{2 \cdot \frac{b^2}{4d^2}} = \varepsilon_\delta \cdot \frac{d^2}{b}$$

Skutečná chyba:

$$\varepsilon_d = \varepsilon_b \cdot \frac{d}{b} - \varepsilon_\delta \cdot \frac{d^2}{b}$$

Smíšená odchylka měřené délky:

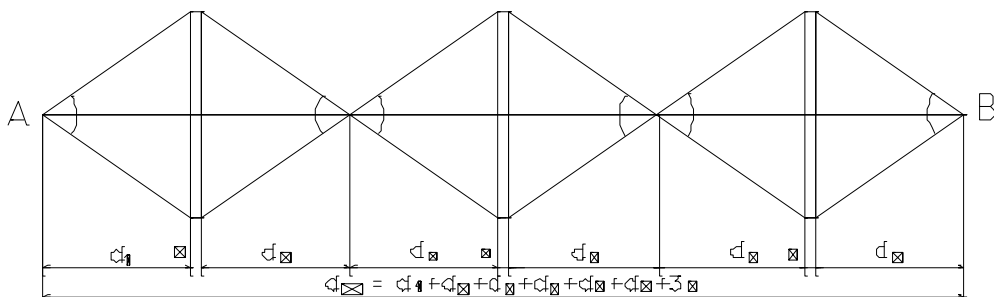
$$\sigma_d^2 = \sigma_b^2 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\delta}{\rho}\right)^2 \cdot \left(\frac{d^2}{b}\right)^2$$

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{d}{b}\right)^2 \left[ \sigma_b^2 + \left(\frac{\sigma_\delta}{\rho}\right)^2 d^2 \right]$$

$\sigma_b$  = smíšená odch. délky základny

$\sigma_\delta$  = smíšená odch. paralaktického úhlu

Při měření delších vzdáleností je nutno rozdělit vzdálenost na kratší úseky. Výhodné je použít oboustranné základnové latě, kterou není nutno přetahovat. Tloušťka signálu je nutno změřit mikrometrem.



Obr.2.4. Rozdělení dlouhé délky na úseky s použitím oboustranné základnové latě

Příklad:

(1) Vliv chyby v určení délky základnové latě  $\sigma_b = 5 \cdot 10^{-6} m$

(2) Vliv chyby paralaktického úhlu  $\sigma_\delta = 0,4 mgon$

(3) Vliv obou složek  $\sigma_{b,\sigma} = \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_d^2}$

Směrná odchylka paralakticky měřené délky (jednou měřené)

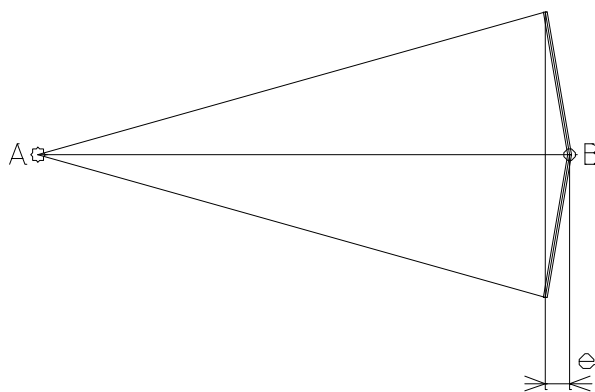
Z tabulky vyplývá, že při dobře provedené komparaci základnové latě se tato chyba prakticky

Metoda	Měřená délka					
	10 m			100 m		
	(1) [mm]	(2) [mm]	(3) [mm]	(1) [mm]	(2) [mm]	(3) [mm]
La na konci	0,02	0,31	0,31	0,25	31,42	31,42
La uprostřed	0,02	0,11	0,11	0,25	11,11	11,11
Vysoké přesnosti	-	-	-	0,18	0,99	1,01

neprojeví, zatímco volba metody má výrazný vliv na výslednou přesnost měřené vzdálenosti.

Při paralaktickém určení délek mohou nepříznivě ovlivnit výslednou přesnost především vady základnové latě, které mají systematický charakter. Dokonalá základnová lať musí být kalibrována, tzn. je určena její délka, podélná výstřednost, kolmost kolimátoru k lati a koeficient roztažnosti invaru. Základnová lať může mít následující vady:

- 1) Nesprávná délka základnové latě. Výrobní tolerance  $5 \cdot 10^{-5}$  m (0,05 mm). Přesnost komparace (směrná odch.)  $5 \cdot 10^{-6}$  m, prakticky  $1 \cdot 10^{-5}$  m.
- 2) Podélná výstřednost základnové latě → se projevuje v měřené délce plnou hodnotou. Vyloučí se při umístění oboustranné latě uprostřed měřené délky.



Obr.2.5. Podélná výstřednost základnové latě

- 3) Nekolmost lat na m . délku ó nesprávn rektifikovaný kolimátor. Sto ení afl 50 mgon. Vada má za následek nam ení v t-í délky. Pozor na excentricky umíst ný kolimátor u lat Bala zejména u krátkých dělek
- 4) Nevodorovnost základnové lat ó nesprávn rektifikovaná libela. Lze kontrolovat vodor. vláknem nitk. k ífle.
- 5) Vybo ení základnové lat z p ímky (p í ná výst ednost).

6) Oprava z teploty ó zm na délky zákl. lat :

$$b = b_0 [1 + \alpha (t - t_0)] \quad \alpha = 0 \div 2,5 \cdot 10^{-6} m \quad (\text{invar})$$

V-echny uvedené vlivy mají systematický charakter.

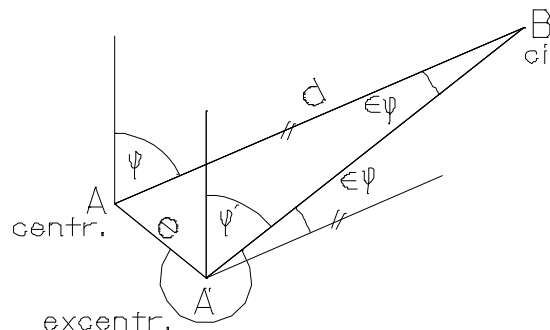
### 3. M ENÍ A VYTY OVÁNÍ ÚHL

- Zám ra - paprsek vycházející z dalekohledu na daný cíl. Je bez íselného údaje.  
 Sm r - zám ra vyjád ená úhlovou hodnotou od libovolného po átku.  
 Sm rník - úhel od kladného sm ru osy  $x$  po ítaný v pravoto ívém sm ru.  
 Úhel - rozdíl úhlových hodnot mezi dv ma sm ry.

- Zdroje chyb: - chyba v dost ed ní teodolitu a signálu  
 - chyba ve tení  
 - chyba v zacílení  
 - p ístrojové vady

#### Chyba v dost ed ní teodolitu a signálu

a) Teodolitu:



Obr.3.1. Chyba v dost ed ní teodolitu

- $e$  = náhodná odchylka dost ed ní  
 $d$  = délka zám ry

$\varepsilon_\varphi$  = náhodná odchylka měřeného směru  
 $\psi$  = úhel excentricity

$$\varphi = \varphi' + \varepsilon_\varphi$$

$$\frac{\sin \varepsilon_\varphi}{e} = \frac{\sin(400 - \psi)}{d} \quad \sin \varepsilon_\varphi = \frac{e}{d} \cdot \sin(400 - \psi)$$

$$\varepsilon_\varphi = \frac{e}{d} \cdot \rho \cdot \sin \psi$$

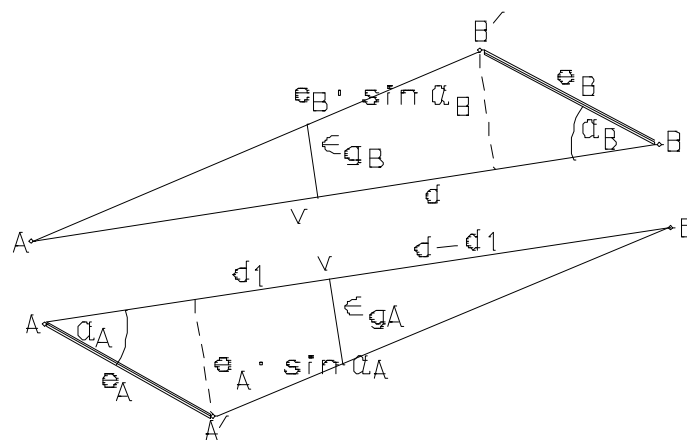
čím je  $d$  větší, tím je  $\varepsilon_\varphi$  menší.

Směrná odchylka měřeného (vytyčovaného) směru  $\sigma_\varphi = \sigma_e \cdot \rho \cdot \sin \psi \cdot \frac{1}{d}$

$\sigma_\varphi$  je maximální při  $\psi = 100^\circ, 300^\circ$  ( $\sin \varphi = 1$ )

b) **Signálu:** platí stejný vzorec:  $\sigma_\varphi = \sigma_e \cdot \rho \cdot \sin \psi \cdot \frac{1}{d}$

c) **Společný vliv chyby dostředění teodolitu a signálu na vytyčovaný směr**  
 $\overline{AB} = d \quad \overline{AV} = d_1$



Obrázek 3.2 Společný vliv chyby dostředění teodolitu a signálu

Chyba v zařazení bodu do průmky vlivem excentricity teodolitu:

$$\varepsilon_{qA} = (d - d_1) \cdot \varepsilon_{e_A} \cdot \sin \alpha_A \cdot \frac{1}{d} \quad \text{vytýčení z bodu A}$$

$$\varepsilon_{qB} = d_1 \cdot \varepsilon_{e_B} \cdot \sin \alpha_B \cdot \frac{1}{d}$$

Přesnost dostředění: - olovnicí 1-2 mm  
- optickou olovnicí 0,5 mm  
- nucená centrace 0,0 ó 0,1 mm

#### 4. VYTÝČOVÁNÍ SVISLIC

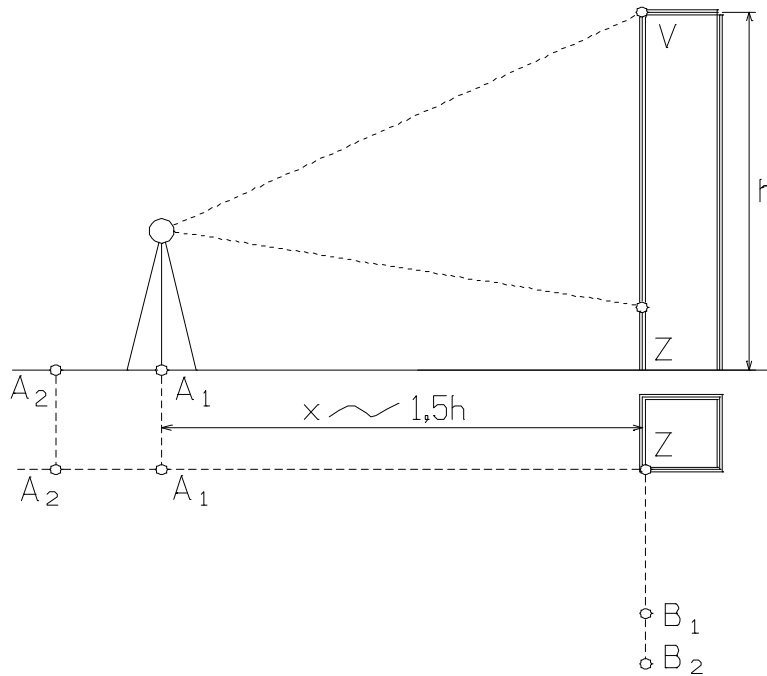
**Výškově budovy, v fle, komíny, pilíře mostů, chladicí v fle**

Zpravidla zdola nahoru se promítá:

- 1 bod
- více bodů (nejméně tři úhelníky)

Používané pomůcky

- a) **Olovnice** ó jen pro malé výšky. Nutná ochrana proti větru. Dostatečná hmotnost je nutná.
- b) **Teodolit** ó výhodná je pevná stabilizace stanoviště a promítaného bodu s dostatečným odstupem.



Obr. 4.1. Vytý ování svislice teodolitem ze dvou kolmých sm r

Vliv chyby z nepřesného urovnání teodolitu na přesnost určení bodu ve svislém sm ru:

$$\sigma_v = f \cdot \sigma_u \cdot \frac{h}{2}$$

$\sigma_v$  = sm rodat. odchylka vybočení svislice v příčném sm ru ve výšce h (v metrech)

$f$  = citlivost libely (mgon)

$\sigma_u$  = sm rodat. odchylka horizontace teodolitu v příčném sm ru (v dílcích stupnice libely např. ±0,2 dílku).

- Nutný je zajišťovací bod ( $A_2, B_2$ )
- Vliv chyby kolimace a úklonné se vyloučí vytýčením ve 2. polohách dalekohledu.

Celková chyba (sm rodat. odch) vytýčení svislice:

$$\sigma_S^2 = \sigma_v^2 + \sigma_z^2 + \sigma_r^2$$

$\sigma_v$  = viz výše

$\sigma_z$  = sm rodat. odch. v zacílení (m)

$\sigma_r$  = sm rodat. odch. v realizaci vytýčeného bodu (m)



### c) Optický provařova

Je p řístroj se svislou zám rnou p římkou, citlivou libelou nebo kompenzátorem (P . Zeiss PZL). Práce p ři dvou polohách (oto ení o 200<sup>g</sup>) nebo ve ty polohách (oto ení o 100, 200, 300<sup>g</sup>).

- Vliv svislé refrakce (min. vzdálenost od st n 0,3 m)
- Rel. p řesnost zpravidla h/100 000, tj. 1 mm/100 m.
- Vyty ování vn ě nebo uvn ět objektu (nutno pamatovat na otvory).
- Pouřítí vhodných ter ě :
  - Rastr na pr svitném materiálu. tvere ky à 10 mm
  - Rám se dv ěma kolmými posuvnými ty inkami
- Náhrada zám rné p římky laserovým paprskem
- Vliv konvergence svislic pouze u rozm rných staveb.

## 5. VYTY OVACÍ SÍŤ

### 5.1 Polohové vyty ovací síť

P řenesení projektu (v m ěřtku 1:M) do terénu (v m ěřtku 1:l) má 2 fáze:

- vybudování a zam ení vyty ovací síť polohové a vý-kové;
- vyty ování stavebních objekt polohové a vý-kové.

### Rozd lení polohových vyty ovacích sítí

- **podle zp ůsobu p řipojení**
  - a) p řipojené na bodové pole STS a SNS
  - b) místní síť
- **podle významu**
  - a) základní vyty ovací síť (ZVS) t ěřl primární,
  - b) podrobná vyty ovací síť (PVS) t ěřl sekundární
- **podle tvaru**
  - a) liniové
    - vyty ovací osa
    - polygonový po ad
    - trojúhelníkový t ěřt zec
  - b) plo-né
    - pravidelné (pravoúhelníkové) síť
    - nepravidelné síť

- síť určené metodou p eech. stanovisek
- trojúhelníkové síť

## Stabilizace bod vyty ovacích sítí

- Stabilizace
- t ílká,
  - lehká

## Ochrana proti poškození a zni ení

- zahrádkami
- ty í
- betonovými zkruflemi

## P esnost vyty ovacích sítí

- Volba typu sítí závisí na:
- druhu, rozsahu, složitosti stavby
  - požadované p esnosti vyty ení

P esnost polohy bod vyty ovací sítí je charakterizována sm rodatnou odchylkou:

$$\sigma_{xy} = \sqrt{0,5 \cdot (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}$$

nebo sm rodatnou odchylkou rozdílů sou adnic

$$\sigma_{\Delta x, \Delta y} = \sigma_{ds} \cdot \sqrt{K}$$

$\sigma_{ds}$  = sm rodat. odch. dle druhu stavby

$K$  = sou . rozdíl dvou sousedních bod sítí v hektometrech.

Volí se:

$\sigma_{ds} = 10$  mm ... pro objekty spojené mechanizovaným dopravním za ízením

$\sigma_{ds} = 15$  mm ... u objekt p íláhajících k vle kové trati

$\sigma_{ds} = 25$  mm ... u objekt s dopravou motorovými vozidly

## P esnost vytý ení

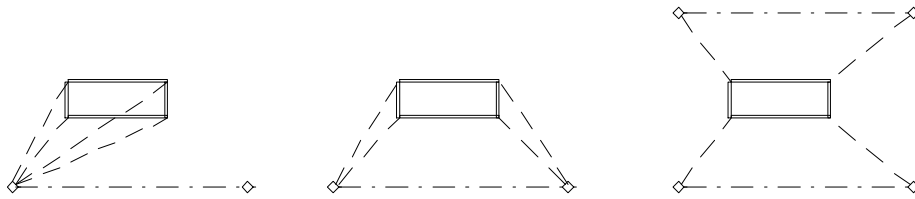
**Absolutní** - vztahuje se k nejbližším bod m ZBP a posuzuje se umíst ní bod hl. polohové áry.

**Relativní** - znamená p esnost vytý ení podrobných bod objektu vzhledem k hlavním bod m objektu.

P esnost vytý ení ovliv uje

- velikost objektu,
- tvar objektu.

- Vytý ení objektu z 1 bodu sítí - tvar a rozm r objektu není ovlivn n p esností sítí .
- Vytý ení objektu ze 2 bod spojených vzájemnou orientací (polyg. strana -body závislé) je chybami vyty .sítí ovlivn n pouze rozm r objektu.
- Vytý ení objektu ze 4 r zných bod (2 r zných polyg. stran ó body nezávislé) sítí je chybami sítí ovlivn n rozm r i tvar objektu.



Obr.5.1. Vytý ení objektu z jednoho, u dvou nebo více bod

P esnost vytý ení bodu objektu (zjednodu-en ):

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\sigma_{xyA}^2 + \sigma_{xyV}^2}$$

$\sigma_{xyA}$  = sm rodat. odch. bodu vytý . síť

$\sigma_{xyV}$  = sm rodat. odch. vytý ení bodu objektu

### 5.1.1 Liniové vytý ovací síť

**Vytý ovací osa:** pro jednoduchou zástavbu

- Pouze 2 body - nutno v-ak zajistit na prodloužení dal-ími body
- postupné prodlufování a šrozvíjeníů do síť v t-ích rozm r je nesprávný postup.

### Polygonový po ad

Výhody: P izp sobivost tvaru dané výstavb .

Nevýhody: P i zni ení bodu nelze jej obnovit v p vodním míst a tak se naru-í homogenita systému.

P esnost p ízniv ovlivní:

- p ímý tvar po adu,
- stejn dlouhé strany,
- zp sob orientace (nejlépe oboustrann orient.)
- vysoká p esnost m ených veli in.

P esnost se teoreticky hodnotí sm rodatnou sou . odch.  $\sigma_{xy}$  a sm rodatnou

odch.rozdílusou adnic  $\sigma_{\Delta y}$ ,  $\sigma_{\Delta x}$  dvou sousedních bod .

Prakticky se hodnotí přesnost polyg. po adu mezními odchylkami úhlovými  $\delta met_{\omega}$  a polohovým  $\delta met_p$

$$\delta met_{\omega} = 2\sqrt{n\sigma_{\omega}^2 + 2\sigma_{\sigma}^2}$$

$$\delta met_p = K_1\sqrt{\Sigma d} + K_2$$

- $n \rightarrow$  počet vrcholů pol. po adu
- $\sigma_{\omega} \rightarrow$  směrná rotat. odch. vrchol. úhl
- $\sigma_{\sigma} \rightarrow$  směrná rotat. odch. směrníku orienta ního směru
- $K_1, K_2 \rightarrow$  konstanty podle tří přesností
- $\Sigma d \rightarrow$  součet délek stran polyg. po adu

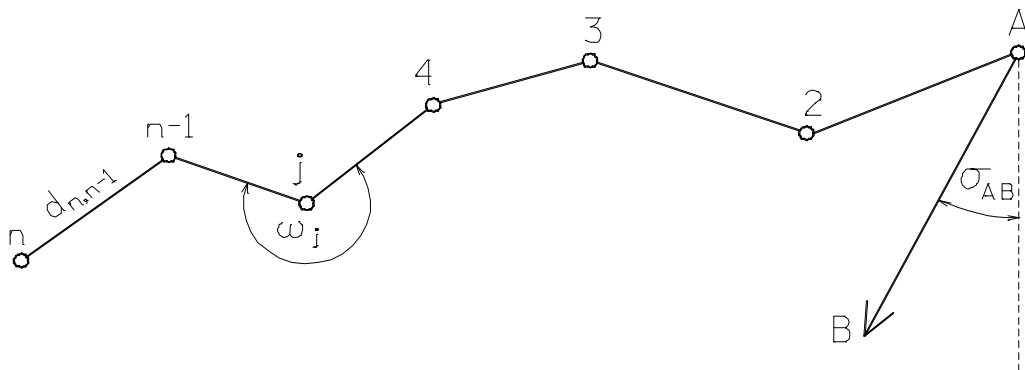
Jednostranně orientovaný (volný, otevřený) polygonový po ad

Rovnice pro výpočet souřadnic  $n$  o téhož bodu a směrníku obecné strany:

$$X_n = X_A + \sum_{j=1}^{n-1} \left( d_{j,j+1} \cdot \cos \sigma_{j,j+1} \right)$$

$$Y_n = Y_A + \sum_{j=1}^{n-1} \left( d_{j,j+1} \cdot \sin \sigma_{j,j+1} \right)$$

$$\sigma_{j,j+1} = \sigma_{AB} + \sum_{i=1}^j \omega_i - K \cdot 200^g$$



Obr. 5.3 Jednostranně orientovaný po ad

Volný polygonový po ad ó vyuffití:

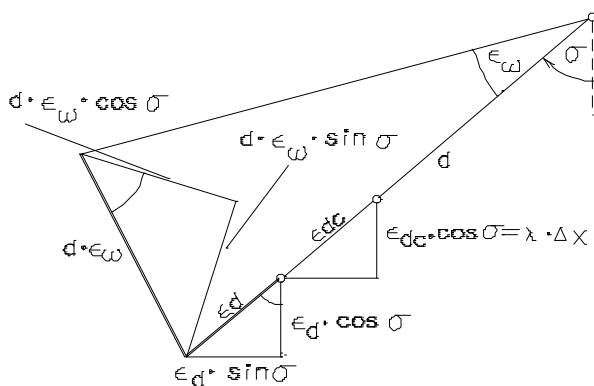
- p i vyty ování (raflení) d lních d l a podzemních prostor
- kontrola druhým nezávislým m ením

Náhodná odchylka n-tého bodu:

$$\epsilon x_n = \sum_{j=1}^{n-1} (\epsilon d_{j,j+1} + \epsilon dc_{j,j+1}) \cdot \cos \sigma_{j,j+1} - \sum_{j=1}^{n-1} \left( d_{j,j+1} \cdot \sin \sigma_{j,j+1} \cdot \sum_{i=1}^j \epsilon \omega_i \right)$$

$$\epsilon y_n = \sum_{j=1}^{n-1} (\epsilon d_{j,j+1} + \epsilon dc_{j,j+1}) \cdot \sin \sigma_{j,j+1} + \sum_{j=1}^{n-1} \left( d_{j,j+1} \cdot \cos \sigma_{j,j+1} \cdot \sum_{i=1}^j \epsilon \omega_i \right)$$

kde:  $\epsilon dc_{j,j+1} = \lambda \cdot d_{j,j+1}$   $\lambda =$  koeficient systematické odchylky



Obr. 5.4 Náhodná polohová odchylka způsobená odchylkou úhlovou a délkovou

Úprava

$$\epsilon x_n = \sum_{j=1}^{n-1} (\epsilon d_{j,j+1} \cdot \cos \sigma_{j,j+1}) + \lambda \cdot \Delta x_{1n} - \sum_{j=1}^{n-1} (\epsilon \omega_j \cdot \Delta y_{jn})$$

$$\epsilon y_n = \sum_{j=1}^{n-1} (\epsilon d_{j,j+1} \cdot \sin \sigma_{j,j+1}) + \lambda \cdot \Delta y_{1n} + \sum_{j=1}^{n-1} (\epsilon \omega_j \cdot \Delta x_{jn})$$

kde  $\Delta x_{jn}$ ,  $\Delta y_{jn}$  = sou adnicový rozdíl od posledního (n) bodu k (j) bodu

Pro ideální p ímý po ad, (stejn dlouhé strany) vedený ve sm ru osy +y ( $\cos_{jj+1} = \theta$ ,  $\sin_{jj+1} = 1$ )

$$\epsilon x_n = -d \sum_{j=1}^{n-1} [(n-j) \cdot \epsilon \omega_j] \quad \text{p í ná odchylka}$$

$$\epsilon y_n = \sum_{j=1}^{n-1} \epsilon d_{j,j+1} + (n-1) \cdot \lambda \cdot d \quad \text{podélná odchylka}$$

Je-li ve volném po adu orientováno více stran (nezávisle), dojde k výraznému zp esn ní. Za p edpokladu, že úhly a délky jsou m eny stejn p esn budou sm rodatné odchylky:

$$\sigma x_n^2 = (d \cdot \sigma_\omega / \rho)^2 \cdot \sum_{j=1}^{n-1} (n-j)^2 \quad \text{p í ná odchylka}$$

$$\sigma y_n^2 = \sigma_d^2 \cdot (n-1) + \sigma d c^2 \cdot (n-1)^2 \quad \text{.. podélná odchylka}$$

### Vetknutý polygonální po ad (orientovaný mezi A,n)

V podélném sm ru platí:

$$\sigma y_i = \sigma_d \cdot \sqrt{(i-1) \cdot (n-i) / (n-1)}$$

$$\sigma y_s = \frac{\sigma d}{2} \cdot \sqrt{n-1} \quad \text{p ro st ední bod}$$

Vliv systematických odchylek v délce se neuplatní, vylou í se vyrovnáním.

### Oboustrann orientovaný polygonový po ad

Je nejpoufívan j-í v IG. Umofl uje vyrovnání úhlové i délkové.

$$\sigma x_n = \frac{d \cdot \sigma_\omega}{\rho} \cdot \sqrt{n \cdot (n^2 - 1) / 12} \quad \text{p í ná odchylka}$$

$$\sigma y_n = \sigma d^2 \cdot (n-1) + \sigma d c^2 \cdot (n-1)^2 \quad \text{p odélná odchylka}$$

tedy stejné jako u volného po adu.

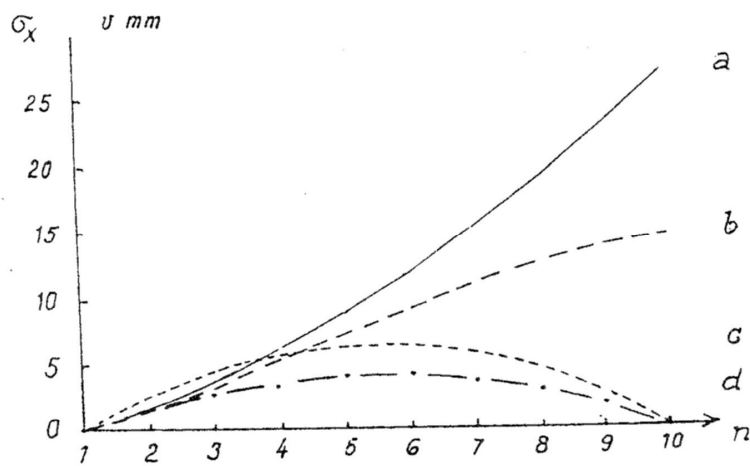
### Porovnání p esnosti r zných typ polygonových po ad

Pro parametry:  $n = 10$   $d = 100 \text{ m}$   $\sigma_\omega = 1 \text{ mgon}(10^{\text{cc}})$

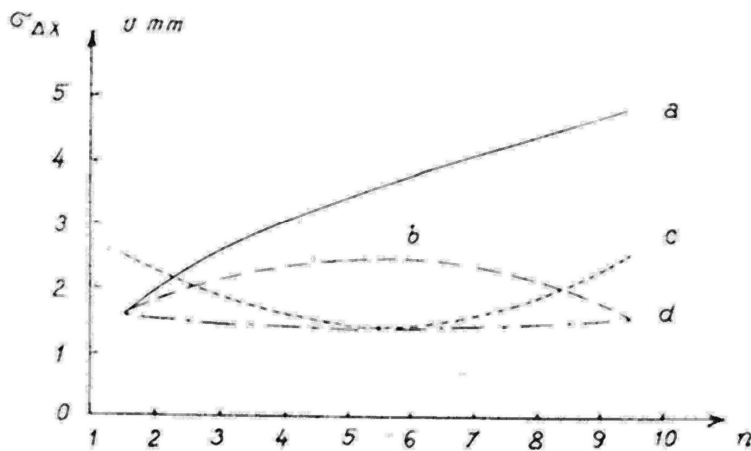
$$\sigma_{du} = 4,2mm \quad (\sigma_{dn} = 3mm, \sigma_{dc} = 3mm)$$

úplná                      náhodná                      systematická

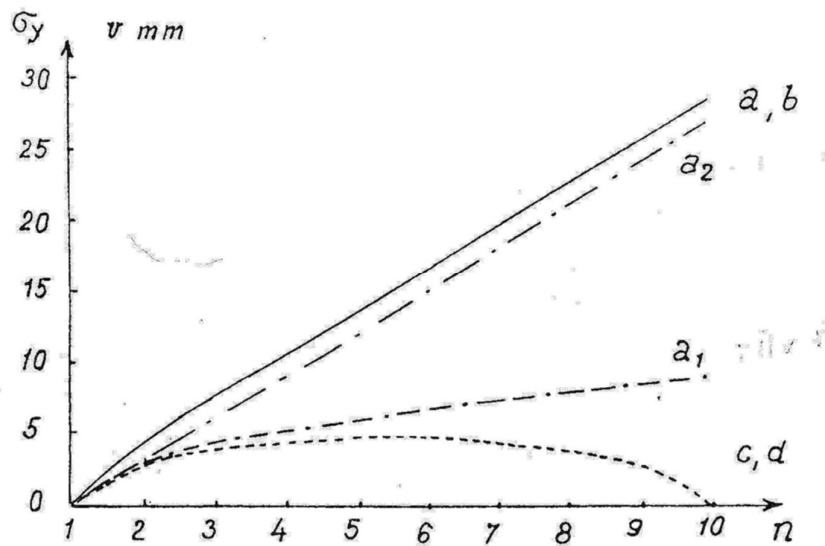
- a) Volný polygonový po ad
- b) Volný polygonový po ad s orientací na konci
- c) Vetknutý polygonový po ad
- d) Oboustrann orientovaný po ad



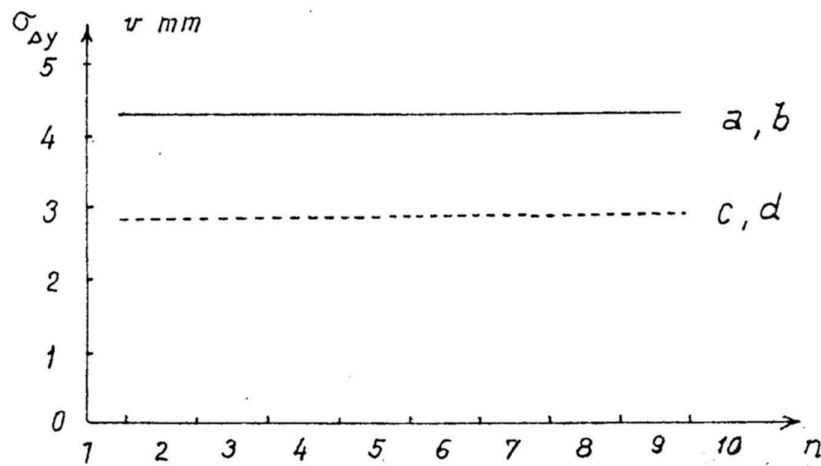
Obr. 5.5 Sm rodatné odchylky bod polygonového po adu v p í ném sm ru.



Obr. 5.6 Sm rodatné odchylky rozdílu sou adnic sousedních bod polygonového po adu v p í ném sm ru.



Obr. 5.7 Smírodatné odchylky bodů polygonového po adu v podélném směru



Obr. 5.8 Smírodatné odchylky rozdílů sousedních bodů polygonového po adu v podélném směru

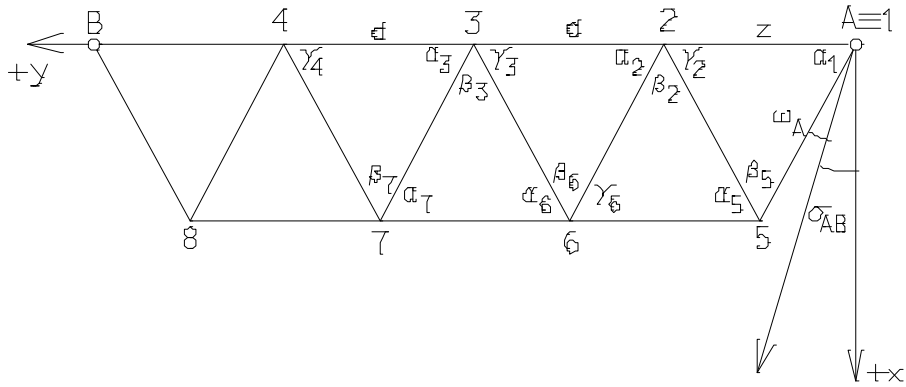
### Trojúhelníkové měření

- Měřené prvky:- úhly (nutno udát rozměr)  
 - délky (nutno udát orientaci)  
 - úhly a délky

### Úhlové měření



- M í se v-echny úhly a 1 nebo 2 základny
- Délka stran ~ 300 m
- P esnost úhl alespo 1 mgon



Obr. 5.9 Trojúhelníkový et zec

#### Postup výpo tu

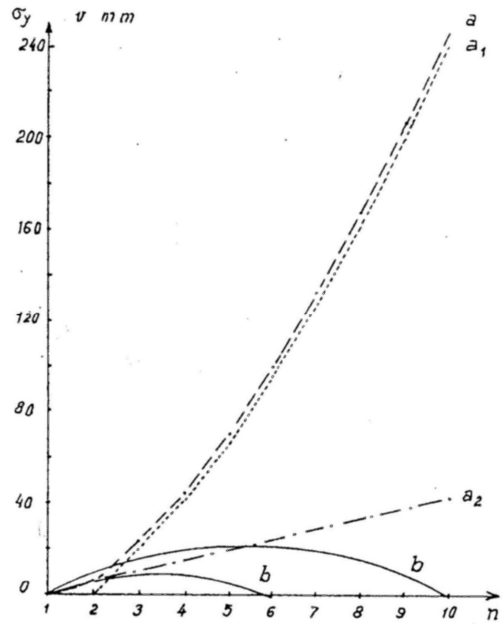
- úhlové vyrovnání  $\alpha + \gamma + \beta = 200^\circ$
- výpo et délek v prvním  $\Delta$
- výpo et délek ve v-ech  $\Delta$
- výpo et polyg. po ad  $A \acute{o} 1 \acute{o} 2 \acute{o} 3 \acute{o} 4 - B$   
 $A \acute{o} 5 \acute{o} 6 \acute{o} 7 - 8 \acute{o} B$

Výpo et et zce je mofný i postupným e-ením trojúhelník protínáním vp ed  
- vyrovnání sou adnicové obou po ad mezi body  $A, B$

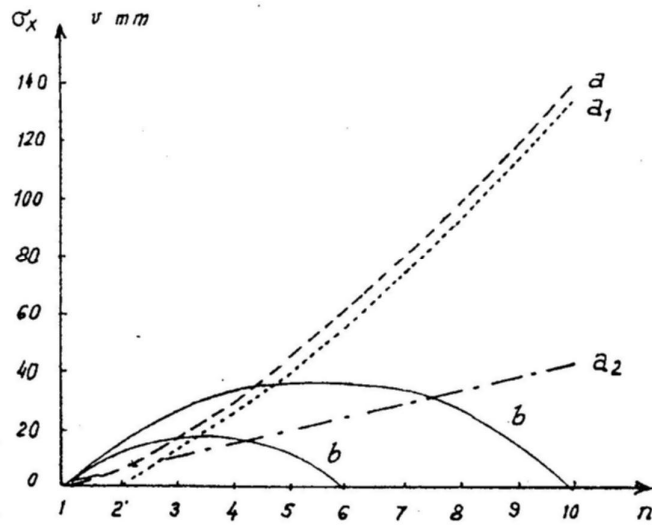
U et zc volných musí být základna ur ena velmi p esn na za átku a na konci.  
U et zc oboustrann orientovaných není p esn ur ení základny nutné. Sou adnicovým vyrovnáním se celý et zec šnatáhneo nebo šzkrátío a zm ní s tedy jeho m ítko.

Na obráz. 5.10 a 5.11 jsou graficky znázorn ny velikosti sm rodatných odchylek ve sm ru osy  $y$  (podélný sm r) pro ideální et zec se základnou na za átku. K ivky jsou po ítány s t mito parametry: po et vrchol  $A = 10$ , délka strany  $d = 300$  m, sm rodatná odchylka m ené základny  $z = 5$  mm.

Volný et zec je ozna en písmenem  $a$ , vliv p esnosti úhlového m ení  $a_1$  a vliv p esnosti délky základny  $a_2$ . Vetknutý et zec je ozna en písmenem  $b$ .



Obr. 5.10 Sm rotatná podélná odchylka bod trojúhelníkového et zce.



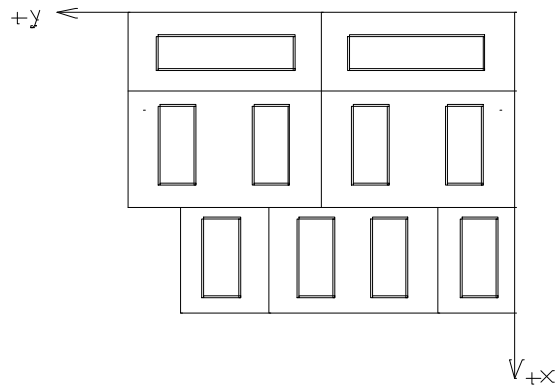
Obr. 5.11 Sm rotatná p í ná odchylka bod trojúhelníkového et zce.

Z obr. 5.10 a 5.11 vyplývá nepříznivé hromadění odchylek v prímém smru. Výsledky se vyrovnáním zesílí (za daných podmínek skoro čtyřikrát, porovnej-li se nejlepší hodnoty).

Trojúhelníkové et zce se používají též např. postupným protínáním z délek a protínáním z úhlů.

## 5.1.2 PLOŠNÉ VYTY OVACÍ SÍŤ

Pravidelné (pravoúhelníkové) síť jsou tvořeny čtverci, obdélníky



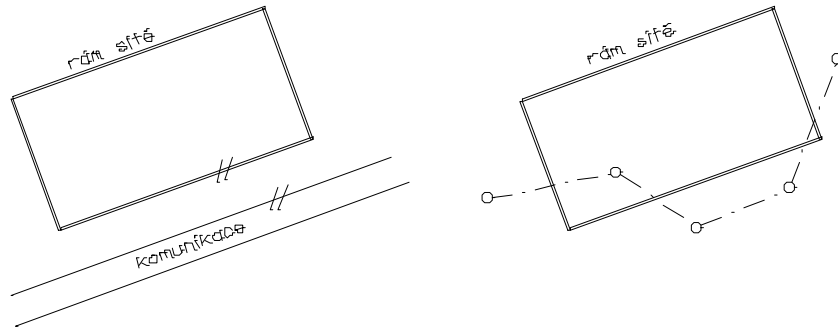
Obr.5.11 Pravoúhelníková vyty ovací síť

### Přednosti:

- vysoká přesnost
- homogenita (stejná přesnost v celé ploše)
- návaznost na pravoúhlé souřadnice objekt
- snadné vytýčení a kontrola metodou ortogonální
- snadné vyhledání a obnova bod
- snadné zahrnutí síť

### Nevýhody:

- Nutnost trvalé stabilizace bod
- síť se vytýčí bez redukce délek z nadměrné výšky a kartografického zkreslení
- poloha síť je dána polohou jednoho bodu a orientací v souřadnicovém systému nebo vzhledem k dosavadní zástavbě
- postup vytýčení: 1) rám, 2) vnitřní lenivá síť (z velkého do malého)
- k jednoznačnému umístění rámu síť je nutno znát souřadnice min. 3 přilehlých s polygonovými stranami



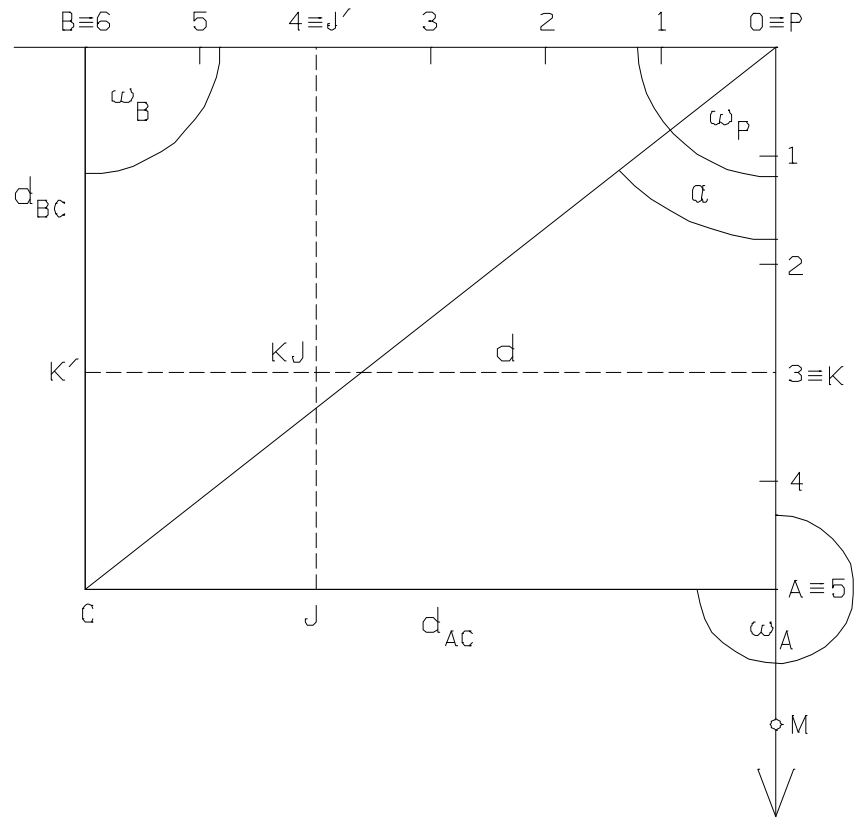
Obr.5.12 Polohové vytýčení rámu

### Vytýčení rámu.

- umístění v terénu je dáno souřadnicemi bodu  $P \equiv 0$
- orientace je dána směrem OM
- přesnost sítě (rámu) je zpravidla vyšší než sítě ZBP a proto se zpravidla nevyrovnává.

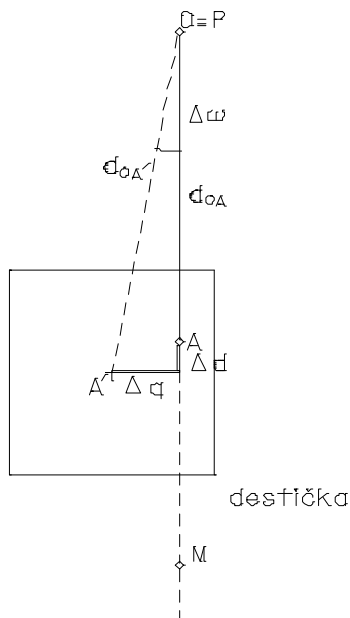
### Postup vytýčení:

- přibližné vytýčení bodu A ve směru OM a ve vzdálenosti  $d_{OA}$
- tiská stabilizace bodu A s kovovou destičkou na bod
- přesné zaměření středem destičky
- výpočet příčného a podélného posunu pro přesné vytýčení bodu A od středem destičky
- přesné vytýčení bodu A na destičce
- tím je strana OA považována za bezchybnou
- stejným způsobem je vytýčen bod B pomocí kolmice na stranu O-P (úhel  $\omega_P$ ) a bod C (úhel  $\omega_A$ )
- bod C je vytýčen jako průsečík kolmic z bodů A a B
- správnost vytýčení se kontroluje měřením úhlopříčky.



Obr. 5.13 Přesné vytýčení rámu a jeho kontrola

**Vytýčení přesné polohy bodu síť A na kovové destičce pomocí podélné a příčné odchylky od středu destičky A:**



Obr. 5.14 Přesné vytyčení bodu pravoúhelníkové sítě pomocí podélného a příčného posunu

Stejným způsobem se vytyčuje například poloha bodu B a pak přesná poloha bodu B. Předpokládá se, že má viditelnost O-A, O-B, A-C, B-C, O-C.

$$\Delta d = d_{OA} - d'_{OA} \quad \text{příčný posun}$$

$$\Delta q = d_{OA} \frac{\Delta \omega}{\rho''} \quad \text{podélný posun}$$

Pozor na znaménka posunů !

Vyjde-li  $-\Delta d \rightarrow$  příčnou délku  $d'_{OA}$  zkrátíme

$+\Delta d \rightarrow$  příčnou délku  $d'_{OA}$  prodloužíme

Vyjde-li směr OA napravo od směru OM, nanese se příčný posun  $\Delta q$  vlevo od směru OA.

Vyjde-li směr OA nalevo od směru OM, nanese se příčný posun  $\Delta q$  vpravo od směru OA.

Je výhodné je-li možno pravoúhelníkovou sítí využít:

- Pro zaměření podkladu pro projekt
- Pro vytyčení stavby
- Pro zaměření skutečného provedení stavby
- Pro případné pozdější rekonstrukce

- přesnost vytyčení kolmice je dána přesností příčného posunu  $\Delta q$

$$m_{\Delta q} = \frac{m_{\omega}}{\rho} d$$

$m_{\omega}$  = přesnost určení pravého úhlu ( $100^{\text{g}}$ ,  $300^{\text{g}}$ )

$d$  = délka strany rámu

Příklad: pro  $m_{\omega} = 5^{\text{cc}}$ ,  $d = 1\text{km}$  bude  $m_q = 8\text{ mm}$

V praxi se používá empiricky stanovená odchylka pro určení strany rámu

$$\Delta d = d/15\ 000$$

pak  $m_d = d/30\ 000$  (pro  $d = 100\text{ m}$ ,  $m_d = \pm 3\text{ mm}$ )

Přesnost (směrná rodatná odchylka) bodu C:

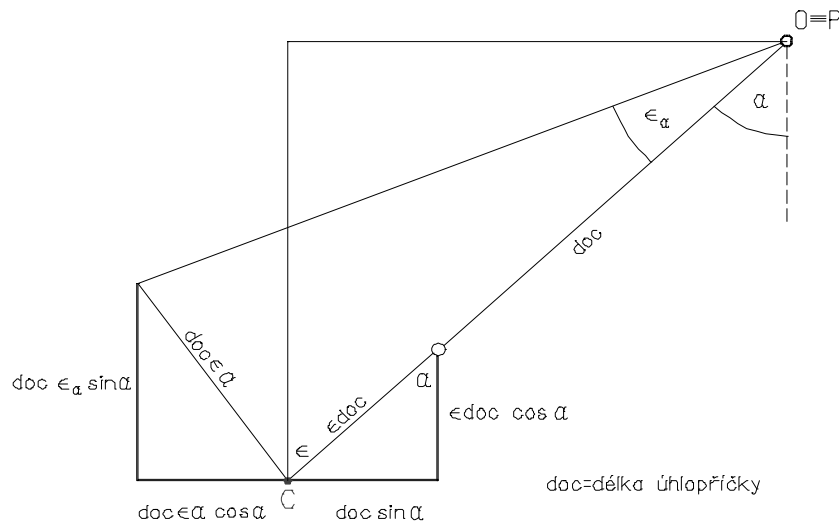
Přivýšení: 
$$V\sigma_{yc} = \sqrt{\sigma_{doB}^2 + (d_{BC} \cdot b_{\omega B} / \rho)^2}$$

$$V\sigma_{xc} = \sqrt{\sigma_{doA}^2 + (d_{AC} \cdot b_{\omega A} / \rho)^2}$$

Přikontrola: pomocí úhlopříčky

$$K_{\sigma_{yc}} = \sqrt{(\sigma_{doc} \cdot \sin \alpha)^2 + (d_{oc} \cdot \cos \alpha \cdot \sigma \alpha / \rho)^2}$$

$$K_{\sigma_{xc}} = \sqrt{(\sigma_{doc} \cdot \cos \alpha)^2 + (d_{oc} \cdot \sin \alpha \cdot \sigma \alpha / \rho)^2}$$



Obr. 5.15 Kontrola polohy bodu C pomocí úhlopříčky

$d_{oc} = \text{délka úhlop } i \text{ ky}$

Mezní rozdíl ve směru osy x, y:

$$\Delta M_{et_{yc}} = U_p \sqrt{V\sigma_{yc}^2 + K\sigma_{yc}^2} \quad \Delta M_{et_{xc}} = U_p \sqrt{V\sigma_{xc}^2 + K\sigma_{xc}^2}$$

$U_p =$  souinitel spolehlivosti (konfidence)

Výsledná poloha bodu C je dána průměrem vytyčení a kontroly. Požadavky na vytyčení a kontroly je možno zaměřit.

### Vytyčení podrobných bodů rámu:

- a) **po úsecích** (postupně). Každý úsek se vytyčuje samostatně se směrovatnou odchylkou  $\sigma_s$ . Kontrola: součet úseků  $s = d$ . Mezní rozdíl  $d - \varepsilon_s$  se určuje:

$$\Delta_{Met} = U_p \sqrt{n\sigma_s^2 + \sigma d^2}$$

Pokud je rozdíl v přípustných mezích rozdělí se rovnoměrně na všechny úseky,

- b) **v celku** (dálkem průměrem z jednoho stanoviska). Přesnost úseku určeného jako rozdíl dvou vytyčených délek  $\sigma_{sc} = \sigma_{di} \times \sqrt{2}$

$U_p =$  souinitel spolehlivosti (konfidence)  
 $\sigma_s =$  směrovat. odch. měřeného úseku  
 $d =$  směrovat. odch. délky rámu  
 $\sigma_{sc} =$  směrovat. odch. úseku určeného ze 2 délek  
 $d_i =$  směrovat. odch. délky vytyčené

Vytyčení podrobných bodů uvnitř rámu

- jako průměrem dvou průměrem daných dvěma body rámu
- přesnost je vysoká, uplatní se pouze chyba z měření bodu do průmky a chyba z realizace. Přesnost výchozích (párových) bodů  $KK'$ ,  $JJ'$  ve směru osy x:

$$\sigma_{XKJ} = \frac{1}{d} \sqrt{(\sigma_{XK}^2 (d - d_i))^2 + \sigma_{XK}^2 d_i^2}$$

$\sigma_{XK} =$  směrovatná odchylka bodu K ve směru osy x  
 $\sigma_{XK'} =$  směrovatná odchylka bodu K' ve směru osy x  
 $d_i =$  vzdálenost bodu KJ od bodu K (KJ je vytyčený průměrem se ík)  
 $d =$  vzdálenost bodu K od bodu K' (délka rámu)

Přesnost bodů uvnitř rámu není přímo závislá na jejich poloze, je homogenní



### 5.1.3 Nepravidelné sítě s body bez vzájemné závislosti.

Body sítě jsou určovány elementárními geodetickými metodami.

- Polární metoda
- Protínání v p ed (z úhl , ze sm rník )
- Protínání z délek
- Rajón zp t
- Protínání zp t

#### Hodnocení uvedených vyty ovacích metod

##### Polární metoda

Je ze v-ech uvařovaných metod nejvřhodn ě-í. Determinant inverzní matice ur ovaného bodu je 0. Z toho vyplřvá, ře metoda nemá slabá místa a odhad p esnosti je jednoduchř. Po et pot ebnřch vřchozřch bod ě je minimální. M ě se na jednom bod ě .

##### Protřnání v p ed

Determinant inverzní matice ur ovaného bodu je  $\sin \gamma$  (řhel protnutí). Pro řhel protnutí  $\gamma = 0$  nebo  $200$  gon je řloha ne ě-itelná. Slabá místa metody jsou tedy v blřzkosti spojnice danřch bod ě . Odhad p esnosti není slořitř. Po et danřch bod ě m ře břt minimální. M ě se v-ak na obou danřch bodech.

##### Protřnání z délek

Hodnocení metody je prakticky stejn ě jako u protřnání v p ed. V praxi se metoda nepouřlvá, nebo samostatn ě dālkom řy se prakticky nevřráb ě. Řloha je dvojn ě n ě .

##### Rajón zp t

Determinant inverzní matice ur ovaného bodu je  $\cos \alpha$  (řhel na dan ěm bod ě A, na kterř není m ě na d ělka). Slabá místa metody jsou v blřzkosti kolmice v bod ě A na spojnici danřch bod ě A, B, tedy pro řhel  $\alpha = 100$  nebo  $300$  gon. Odhad p esnosti není slořitř. Po et danřch bod ě je minimální. Vřhodou m ře břt m ěn ě pouze na ur ovan ěm bod ě . Řloha je dvojn ě n ě .

##### Protřnání zp t

Řloha je ne ě-itelná pokud  $\alpha + \gamma = 200$  gon, kde  $\alpha$  a  $\gamma$  jsou řhly na krajnřch danřch bodech A, C. V tom p řpad ě ře v-echny řy i body na jedn ě kruřnici. P esnost je zavislá i na vzdāllosti  $d_{PB}$  mezi ur ovan ěm bod ěm P a prost edn ěm dan ěm bod ěm B. Je-li  $\alpha + \gamma = 0$  gon a t ěřl  $d_{PB} = 0$  M, tedy ře řli v-echny řy i body na p řmce, dostane se neur ětř vřraz.

Odhad p esnosti je slořitř. Pot ebn ě po et danřch bod ě je t ě i. Vřhodou je m ěn ě pouze na ur ovan ěm bod ě P. Z hlediska p esnosti je metoda rovnocenná s protřnáním v p ed, ale rozsah řzem ě s vyuřitelnou p esností je m ěn ě. Obtřřn ě ji se tak ě ur śj kritick ě místa, kde metoda nemá ě-en ě.

### 5.1.3 METODA PĚCHODNÝCH STANOVISEK

- Nevyžaduje se stabilizace stanoviště
- Vylučuje možnost zničení stanoviště
- Výchozí body jsou mimo staveniště (do 500 m)
- Měření potřebných veličin (úhly, délky) pouze na stanovišti určeného bodu
- Umožňuje použití totálních stanic
- Výpočty souřadnic stanoviště a výpočty vytyčovacími prvky pro polární metodu přímo na stanovišti
- Vhodné geodetické metody:  
 PZ s minimálně 5 výchozími body. Z nich se vyberou dvě nejvhodnější kombinace. Pozor na tvar obrazce (určovací úhly nejlépe ~ 90°, nebezpečná kružnice).  
 PD s minimálně 3 výchozími body. Nutné min. 2 kombinace. Možná kombinace s měřením úhlu.  
 Neorientovaný polygonální polární metoda má 1 úhel a 2 strany. Kontrolou je uzavření polárního (rozdíl v délce mezi oběma výchozími body).
- Použitá technika s totálními stanicemi s parametry

$$m_s \leq \pm 0,5 \div 1,0 \text{ cm}$$

$$m_{\omega} \leq \pm 10'' \text{ teodolit } 2'' \div 6''$$

#### Hodnocení přesnosti:

Porovnání dosaženého rozdílu souřadnic se směřující odchylkou použitých geodetických metod umožňuje ověřit správnost volby metody i kombinací

$$\sigma_x \leq \frac{\Delta x}{2} \quad \sigma_y \leq \frac{\Delta y}{2}$$

#### Výsledné souřadnice pĚchodného stanoviště vypočtené váženým aritmetickým průměrem

$$x_p = \frac{px_1 \cdot X_1 + px_2 \cdot X_2}{px_1 + px_2} \quad y_p = \frac{py_1 \cdot Y_1 + py_2 \cdot Y_2}{py_1 + py_2}$$

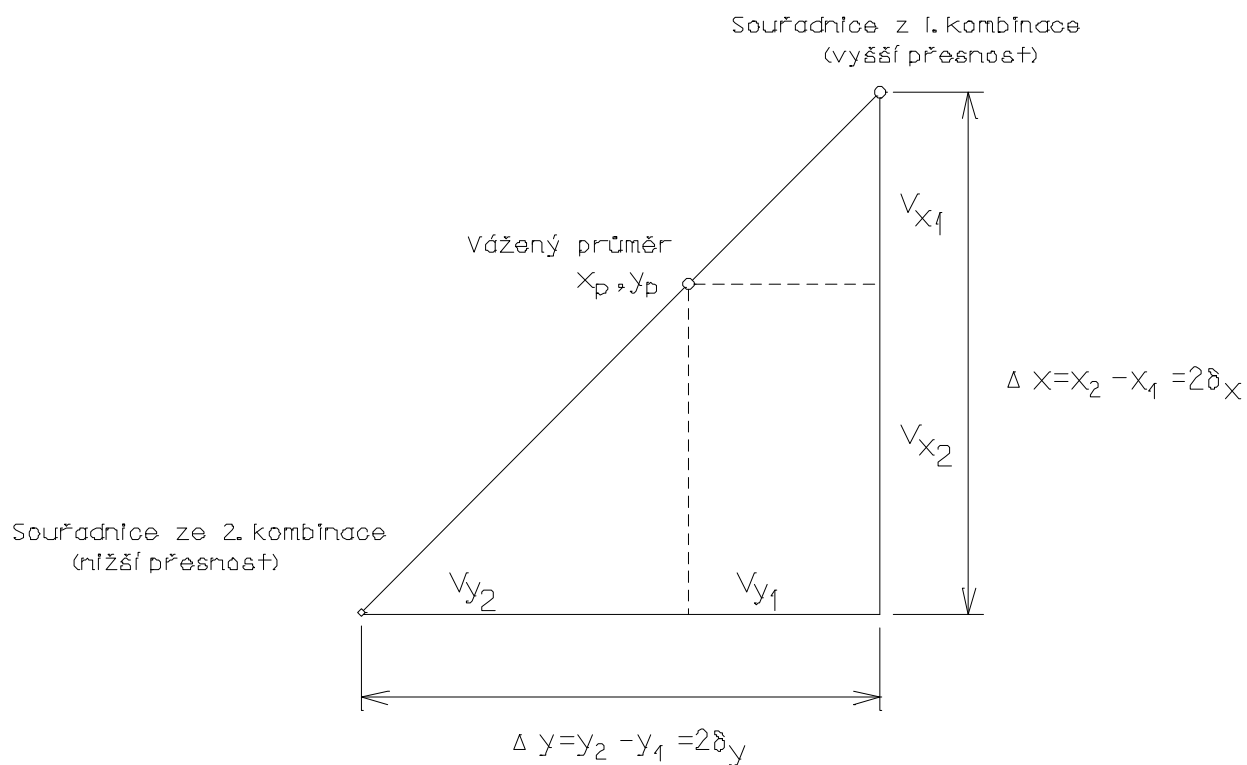
Váhy:

$$px_1 = \frac{1}{\sigma x_1^2} \quad px_2 = \frac{1}{\sigma x_2^2} \quad py_1 = \frac{1}{\sigma y_1^2} \quad py_2 = \frac{1}{\sigma y_2^2}$$

Tzv. empirická střední chyba stanoviště

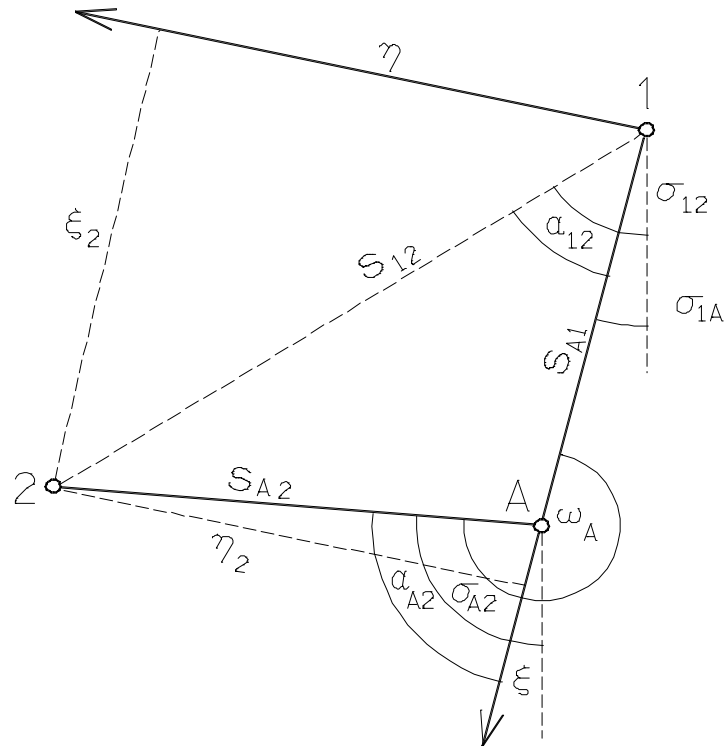
$$m_{xp} = \sqrt{\frac{px_1 \cdot Vx_1^2 + px_2 \cdot Vx_2^2}{px_1 + px_2}} \quad m_{yp} = \sqrt{\frac{py_1 \cdot Vy_1^2 + py_2 \cdot Vy_2^2}{py_1 + py_2}}$$

$$Vx_i = X_p - X_i \quad Vy_i = Y_p - Y_i \quad i = 1; 2$$



Obr. 5.16 Vážený průměr ze dvou měření různé přesnosti

Neorientovaný polygonový po ad pro ur ení sou adnic p echodného stanoviska



Obr. 5.17 Neorientovaný polygonální po ad o dvou stranách

1, 2 → výchozí body

A → p echodné stanovisko

Volíme sou adnicovou soustavu  $\xi, \eta$

kde  $\alpha_{1A} = 0$   $\xi_1 = 0$   $\eta_1 = 0$

$$\alpha_{A2} = \alpha_{1A} + \omega_A \pm 200^g$$

$$\xi_A = S_{A1} \quad \eta_A = 0$$

$$\xi_2 = \xi_A + S_{A2} \cdot \cos \alpha_{A2}$$

$$\eta_2 = \eta_A + S_{A2} \cdot \sin \alpha_{A2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{12} = \frac{\eta_2}{\xi_2} \dots \dots \dots \alpha_{12}$$

$$S'_{12} = \frac{\eta_2}{\sin \alpha_{12}} = \frac{\xi_2}{\cos \alpha_{12}} \quad S_{12} = \frac{\Delta y_{12}}{\sin \sigma_{12}} = \frac{\Delta x_{12}}{\cos \sigma_{12}}$$

$$S_{12} - S'_{12} \leq \Delta S \dots \dots \dots \text{dovolená odchylka}$$

Nato ení sou adnicové soustavy  $\xi, \eta = sm \text{ rník } \sigma_{1A}$

$$\sigma_{1A} = \sigma_{12} - \alpha_{12}$$

↓

$$tg \sigma_{12} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

**Vyrovnnání sou adnicových rozdíl**

$$\Delta x_{1A} = S_{A1} \cdot \frac{S_{12}}{S'_{12}} \cdot \cos \sigma_{1A}$$

$$\Delta x_{2A} = S_{A2} \cdot \frac{S_{12}}{S'_{12}} \cos \sigma_{2A}$$

$$\Delta y_{1A} = S_{A1} \cdot \frac{S_{12}}{S'_{12}} \cdot \cos \sigma_{1A}$$

$$\Delta y_{2A} = S_{A2} \cdot \frac{S_{12}}{S'_{12}} \cdot \sin \sigma_{2A}$$

## 5.2. VÝTKOVÉ VYTY OVACÍ SÍŤ

Budují se ve vý-kovém systému → Bpv

Výjime n : Místní vý-kový systém

D lefité: Ozna ení dokumentace poufítým vý-kovým systémem.

**P esnost: musí vyhovovat SN 73 0421 a 77 0422 (p esnost vyty ování stav. objekt s prostorovou skladbou a liniových a plo-ných stav. objekt )**

**P esnost vý-kové vyty ovací síŤ** je charakterizována sm rodatnou odchylkou  $\sigma_v$

Sm rodatná odchylka vý-ky **hlavního vý-kového bodu H**

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_v^2 + \sigma_h^2}$$

$\sigma_h$  = sm rodatná odchylka p enesení vý-ky z bodu vý-kové vyty ovací síŤ na hlavní vý-kový bod.

$$\sigma_H \rangle \sigma_h \text{ zpravidla } \sigma_H = 2 \cdot \sigma_h$$

pak  $\sigma_V = 0,87\sigma_H$

**Podíl jednotlivých složek na směrné odchylce bodu síť**

$$\sigma_H = 1,15\sigma_V \quad \sigma_h = 0,58\sigma_V$$

Přesnost výškových sítí závisí na významu a funkci budovaného objektu.  
 Základní geodetické metody: geometrická nivelace, trigonometrická nivelace.  
 Výchozí body jsou body SNS jejich výška se ověřuje kontrolním měřením.  
 Pro přesnou nivelaci platí mezní rozdíl měření tam a zpět:

**5.2.1 Výšková síť zaměřená geometrickou nivelací ze stedu**

řád:	I.	$1,5 \cdot \sqrt{R}$ [mm]	Rí [km]
	II.	$2,25 \cdot \sqrt{R}$	
	III.	$3,0 \cdot \sqrt{R}$	
	IV.	$5,0 \cdot \sqrt{R}$	

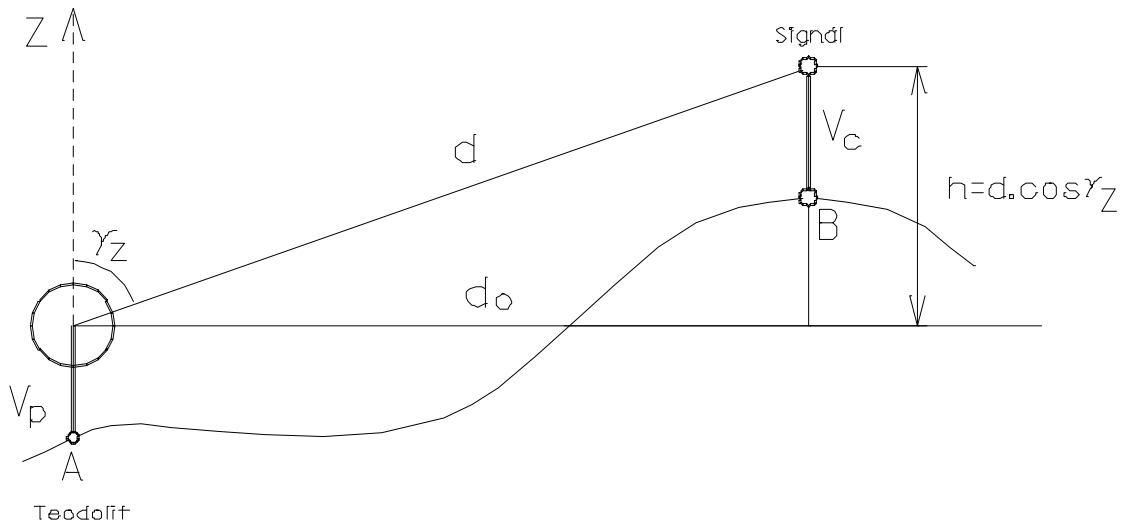
Pro technickou nivelaci	$20 \cdot \sqrt{R}$
Někdy též dle úseku	$10 \cdot \sqrt{R}$ afl $40 \cdot \sqrt{R}$

Pro kontrolní měření platí stejné hodnoty ale ke každé se přidají 2 mm. Délka oddílu vytyčovací sítí bývá ~ 200 m.

**5.2.2. Výšková síť zaměřená trigonometricky**

Výška bodu:

$$H_B = H_A + V_p \pm h - v_c + q$$



Obr. 5.18 Trigonometrické určení převýšení

- $H_A, H_B$  – nadmořská výška výchozího a urvaného bodu  
 $V_p, V_c$  – výška přístroje a výška cílové značky  
 $h$  – převýšení mezi klopnou osou přístroje a středem cílové značky  
 $q$  – vliv zakřivení země a refrakce

$$q = d_0^2 \frac{1-K}{2R} \quad K \text{ ó refrakční koeficient (0,13)}$$

$$q = 0,06813 \cdot d_0^2$$

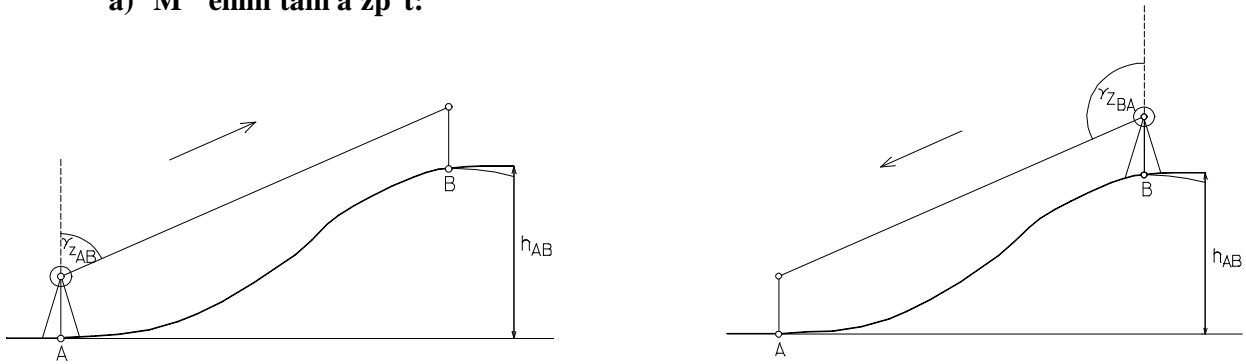
- Příklad:  $d_0 = 300m$   $q \doteq 7mm$  (lze zanedbat)  
 $d_0 = 1km$   $q \doteq 68mm$   
 $d_0 = 10km$   $q \doteq 6,8m$  (v IG se tyto délky neuvádějí)

Pi oboustranném měření výškovým úhlem vypočteme průměrné převýšení mezi body AB měřené tam a zpět. Vliv  $q$  vyloučíme a není nutno jej uvažovat. To platí i pro trigonometrickou nivelaci ze středů, která se při použití totálních stanic s výhodou používá. Nutná je stejná délka záměru před a zpět. Refrakční koeficient je proměnlivý v závislosti na barometrickém tlaku. Ten se mění vlivem: - počasí

- nadmořské výšky
- zeměpisné šířky

**Eliminace vlivu zakřivení země a refrakce:**

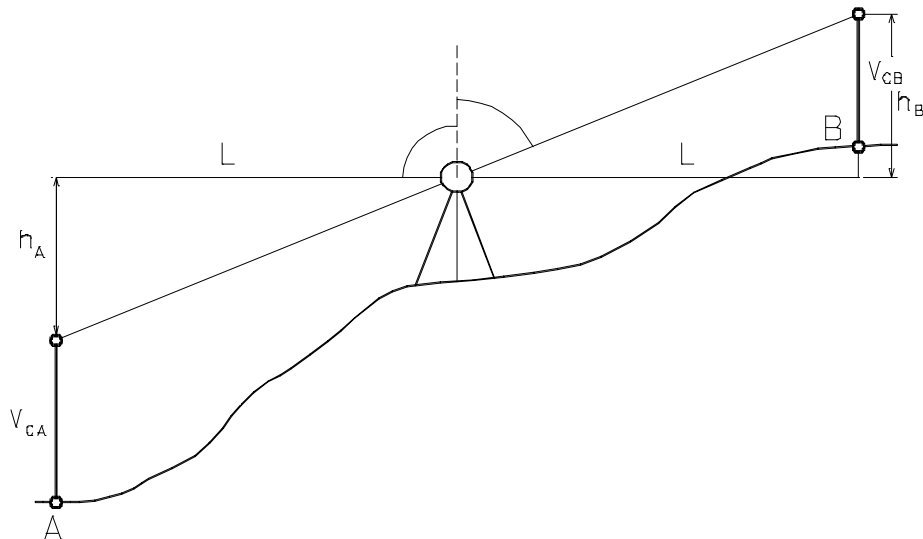
**a) Měření tam a zpět:**



5.19 Trigonometrické převýšení měřené v obou směrech

$$H_{AB} = \frac{|h_{AB}| + |h_{BA}|}{2}$$

**b) Trigonometrickou nivelací ze středů**

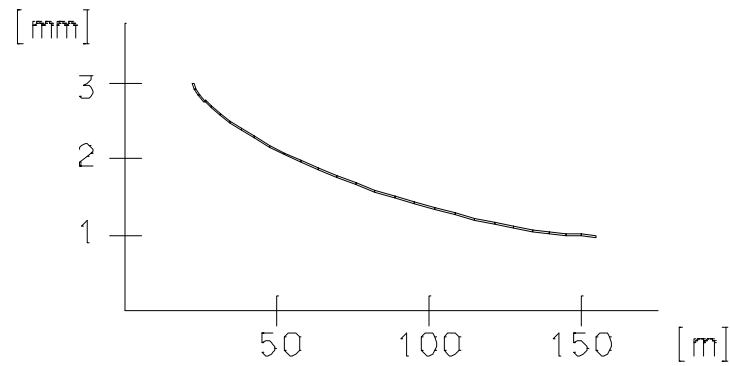


Obr. 5.20 Trigonometrická nivelace ze středů



$$H_B = H_A + V_{CA} \pm h_A \pm h_B - V_{CB}$$

Vztah mezi refrakčním koeficientem a délkou záměry.



Obr. 5.21 Vliv refrakce u krátkých vzdáleností

Pi délce ~100 m je vliv refrakce (-) a vliv zakřivení (+) přibližně stejný a vzájemně se ruší.

#### Omezení vlivu nepravidelné refrakce:

- záměra nesmí klesnout v celé délce pod 1 m nad terénem
- nemít při proměnlivých podmínkách (slunečno, stín, pěcháky, chvilný vzduchu apod.).

Přesnost trigonometrické nivelace

$$\sigma_{HB} = \sqrt{\sigma_{HA}^2 + \sigma_d^2 \cos^2 \gamma_z + \left( d \cdot \sin \gamma_z \frac{\sigma_{\gamma_z}}{\rho} \right)^2 + \sigma_{vp}^2 + \sigma_{vc}^2 + \sigma_q^2}$$

$\sigma_d$  - směrodatná odchylka měřené délky

$\sigma_{\gamma_z}$  - směrodatná odchylka zenitního úhlu

$\sigma_{vp}, \sigma_{vc}$  - směrodatná odchylka měřené výšky přístroje a cíle

$\sigma_q$  - směrodatná odchylka refrakce

Příklad:

$$d = 100 \text{ m} \quad h = 10 \text{ m} \quad (\gamma_z = 93,65^\circ)$$

$$\sigma_d = 3 \text{ mm} \quad \sigma_{\gamma_2} = 3^{\text{cc}}$$

$$\sigma_{vp} = \sigma_{vc} = 0,2 \text{ mm} \quad \sigma_q = 1 \text{ mm}$$

$$\text{bude } H = 1,2 \text{ mm}$$

Pro účely přesné trigonometrické nivelace se používá vztah pro sm rodatnou odchylku  $7,5 \cdot \sqrt{R}$  tj. asi o 50 % vyšší hodnota než IV. řád PN

### 5.2.3. Hydrostatická nivelace:

- Pro krátké vzdálenosti a pro relativní přesnosti
- Vysoká přesnost (0,01 ÷ 0,001 mm)
- Možnost kontinuálního automatického měření (deformace staveb)
- Vytýčování vodorovné roviny ve stavebnictví

Stabilizace výškových bodů

- Požadavek na stabilitu během celé stavby
- Stabilizace dále od velkých staveb, které svou vahou mohou deformovat podloží
- Respektovat geologické a hydrogeologické poměry
- Minimální počet 3 (4) o možnost kontroly
- Umístění: skály, stabilní budovy, hloubková stabilizace (vrty), betonové bloky

Vytýčení výšky objektu

- Vytýčení hlavních výškových bodů
- Vytýčení podrobné
- Vzdálenost bodů dle druhu stavby
- U staveb s prostorovou skladbou se vytýčují relativní výšky vztažené k výšce  $\pm 0,00 \text{ m}$  stavby, která má ale vlivy úrovně i nadmořskou výšku. Např. výška podlahy v p ízemí. Tento místní výškový systém je tak připojen na SNS a může mít znaménko + i -.
- Nutnost kontroly druhým nezávislým měřením.

## 6. VYTÝČOVÁNÍ VODOROVNÉ A SKLONNÉ PÍMKY A ROVINY

Malé sklony o nivelační přístroj (i laserový)

Velké sklony o teodolit (laserový přístroj s náklonem).

### 6.1 Vytýčování vodorovné pímky ( a zalomené trasy)

- Vykolíkování trasy
- Zároveň vzad na výchozí bod výškové sítě určíme výšku srovnávací roviny
- Zároveň stranou určíme výšku hlav. kolíků
- Porovnáním s projektovanou výškou trasy určíme rozdíly výšek hlav kolíků oproti výšce projektované a kolíky označíme (násep +, výkop -).

- Budování šlavi eků ve vý-ce projektované + 1,0 m

## 6.2 Vytý ování sklon né p ímky (trasy)

### a) nivela ním p ístrojem

- Vykolíkování trasy
- Zm ení vodorovných vzdáleností mezi kolíky
- Výpo et projektovaného p evý-ení mezi kolíky dle
  - a) zadaného spádu na 1 m trasy
  - b) dle celkového p evý-ení mezi po áte ním a koncovým bodem trasy

### b) teodolitem

- Spád zpravidla daný v % p epo teme na úhel

$$tg\alpha = p \% : 100 \quad \langle p \% = tg\alpha \cdot 100 \rangle$$

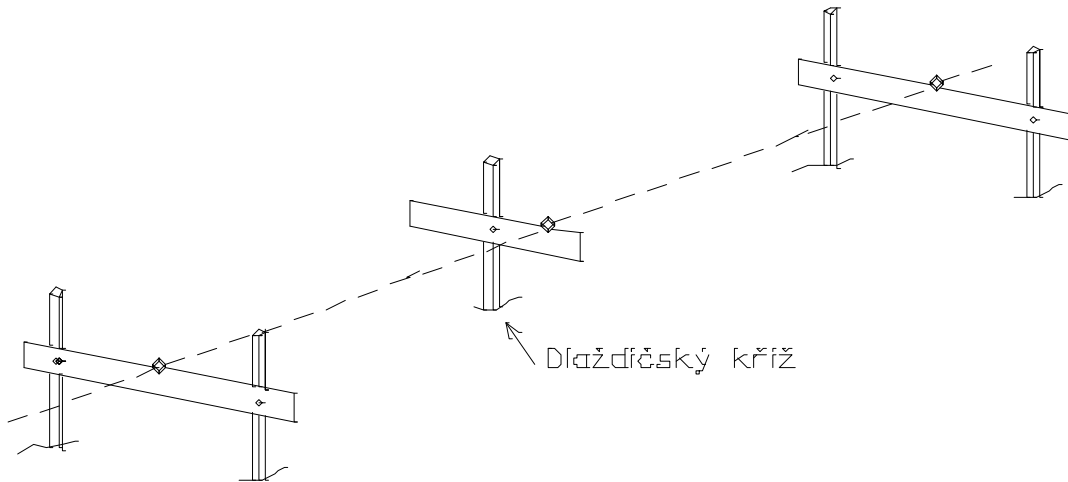
Spád daný p evý-ením po áte ního a koncového bodu p epo teme

$$tg\alpha = \frac{h}{d}$$

- Teodolit postavíme na výchozí bod a nastavíme vypo tený vý-k. úhel  $\alpha$
- Na v-ech bodech trasy nastavujeme la na tení rovné vý-ce stroje, nebo p e teme na lati postavené na hlav kolíku a na kolík ozna íme rozdíl (-výkop, + násep). Nej ast ji se v projektové vý-ce + 1 m staví lavi ky.

## 6.3 Vytý ování vodorovné roviny

- V rovin vytý íme zpravidla pravidelnou ( tvercovou) sí bod kolíky a ozna íme je ísly
- Vý-ky (relativní) kolík ur íme plo-nou nivelací
- Vypo teme pr m rnou vý-ku hlav kolík
- P í pořadavku: objem výkop = objem násyp ozna íme kolíky rozdílem od vypo tené pr m rné vý-ky
- P í mén p esných pracích sta í ozna ít projektovanou vý-ku po obvodu plochy lavi kami (zpravidla + 1 m). Podrobné body pak vytý íme tzv. dlařdi ským k ířem



Obr. 6.1 Vytý ování roviny pomocí dlaždičského kříže

#### 6.4 Vytý ování sklonné roviny

- Vytý ování pravidelné tvercové sítě po 5 až 20 m,
- Rovina je zpravidla dána 2 p ímkami na sebe kolmými
- Úloha se zjednoduší, je-li sklon jedné p ímky =  $\theta$
- Poloha sítě je dána 1 bodem a 1 sm rem (rám. sít )
- Vypočítáme výškový bod na rámu sítě stejn jako u sklonné p ímky

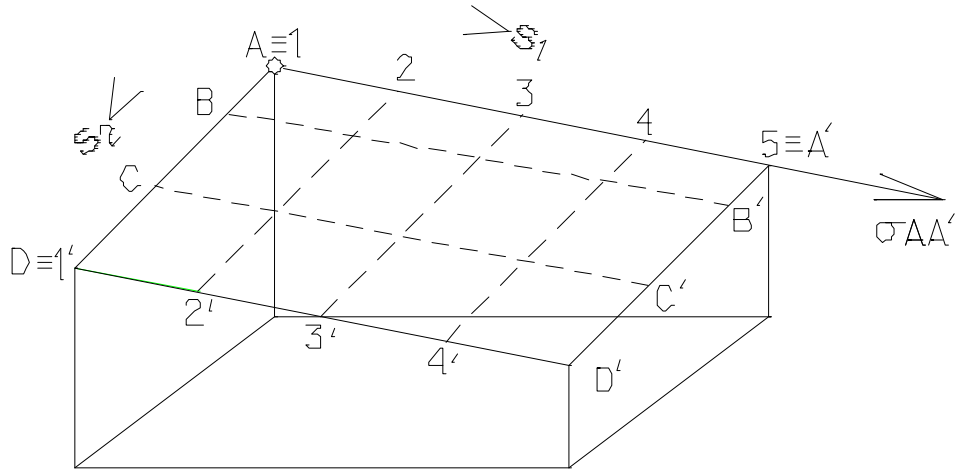
- a) ze sklonu p ímky
- b) z výšky po . a konc. bodu

- Vypočítáme výškový bod uvnitř sítě pomocí interpolací výšek protilehlých bodů na rámu
- Vytý ování provedeme nivelačním (i laserovým) přístrojem nebo teodolitem.
- Výhodné jsou laserové přístroje s možností náklonu.

Přesnost vytý ování výškový bod  $\sigma_H$  závisí na směrné odchylce horizontu přístroje  $\sigma_p$  (přesnosti systematicky) a měření na laticích  $\sigma_e$  (přesnosti náhodné)

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_e^2}$$

Výchozí bod:  
 $A \equiv 1' \quad X_A \quad Y_A \quad h_A$



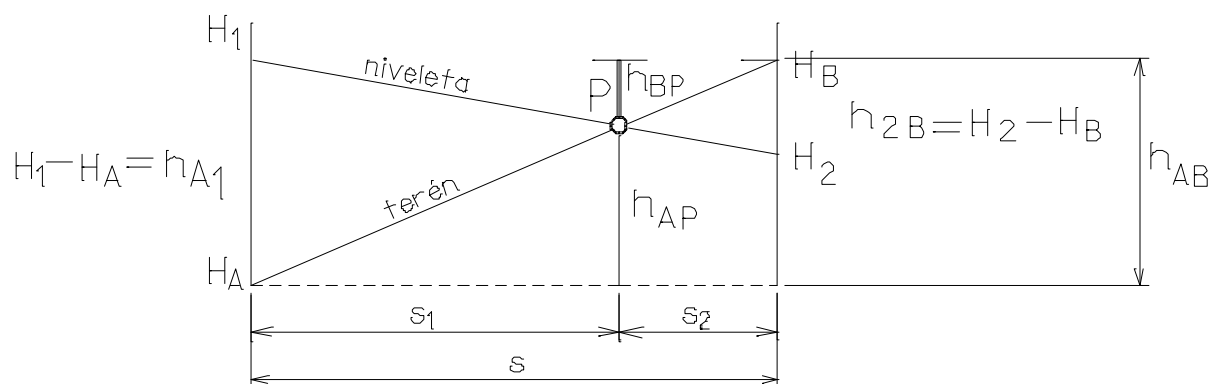
Obr. 6.2 Vytyčování skloněné roviny

Při vytyčování nelze dodržet zásadu nivelace ze středů.

Nutnost rektifikace nivelačního přístroje: libelové, samourovňovací

Při známé projektované výšce všech bodů je možno určit skutečnou výšku hlavních kolíků (tří trigonometricky) a určit tak rozdíl (výkop, násep). Výhodné je použití totální stanice.

### 6.4 Pr se ik nivelety s terénem



Obr. 6.3 Pr se ik nivelety s terénem, p edpokladem je lineární pr b h terénu mezi body A ó B.

$$\frac{S_1}{h_{A1}} = \frac{S_2}{h_{2B}} = \frac{S}{(h_{A1} + h_{2B})}$$

$$h_{AP} = S_1 \frac{h_{AB}}{S} \qquad h_{BP} = S_2 \frac{h_{BA}}{S}$$

$$H_P = H_A + h_{AP} = H_B + h_{BP}$$

## 6.5. Zvláštní případy vytyčování výšek

### Vytyčování vrstevnice

- nivelačním přístrojem → polohu vytyčených bodů nutno zaměřit zvlášť
- tachymetrem → současně zaměření výšky i polohy vytyčených bodů

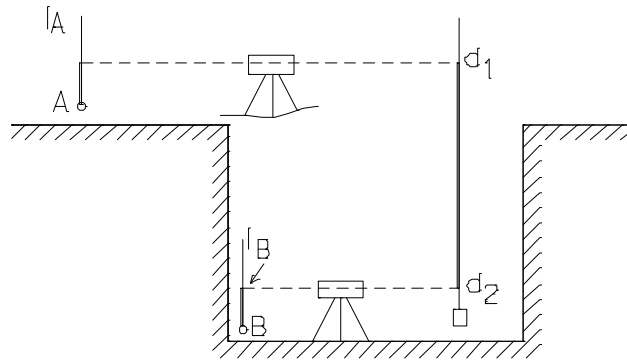
### Vytyčení trasy s daným sklonem

- sklonoměrem (jen pro krátké trasy)
- nivelačním přístrojem
- teodolitem

- Požadavek :
- Trasa musí sledovat povrch terénu
  - Uplatit plynulost trasy za cenu zemních prací (náspy, výkopy)

V dané vzdálenosti (např. 20 m) je vytyčen příslušný výškový rozdíl.

### Vytyčení velkých výškových rozdílů na stavbách

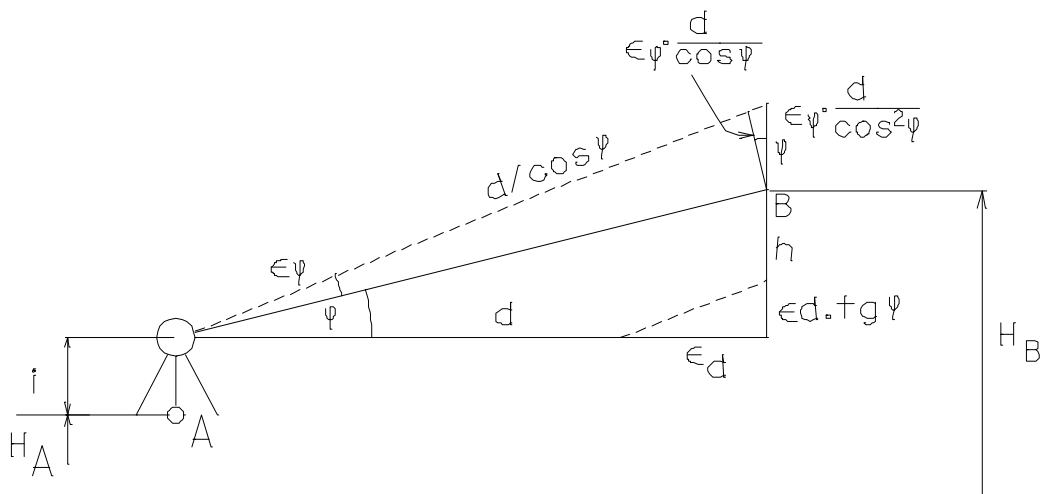


Obr. 6.4 Vytyčení velkých výškových rozdílů na stavbách pomocí hloubení základů

$$H_B = H_A + l_A - (d_1 - d_2) + l_B$$

## 6.6. Trigonometrické měření výšek staveb

### Přesnost výšky



Obr. 6.5 Vliv chyby výškového úhlu a délky na přesnost trigonometricky určené výšky

$$H_B = H_A + i + h$$

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Skutečná chyba výšky  $\varepsilon_{HB} = \varepsilon_{HA} + \varepsilon_i + \varepsilon_d \operatorname{tg} \varphi + \varepsilon_\varphi \frac{d}{\cos^2 \varphi}$

Dosadíme  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{h}{d}$   $\cos^2 \varphi = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}$

$$\downarrow$$

$$h^2 / d^2$$

$$\sigma_{HB}^2 = \sigma_{HA}^2 + \sigma_i^2 + \sigma_d^2 \frac{h^2}{d^2} + \frac{\sigma_\varphi^2}{\rho^2} \frac{(d^2 + h^2)^2}{d^2}$$



Příklad:

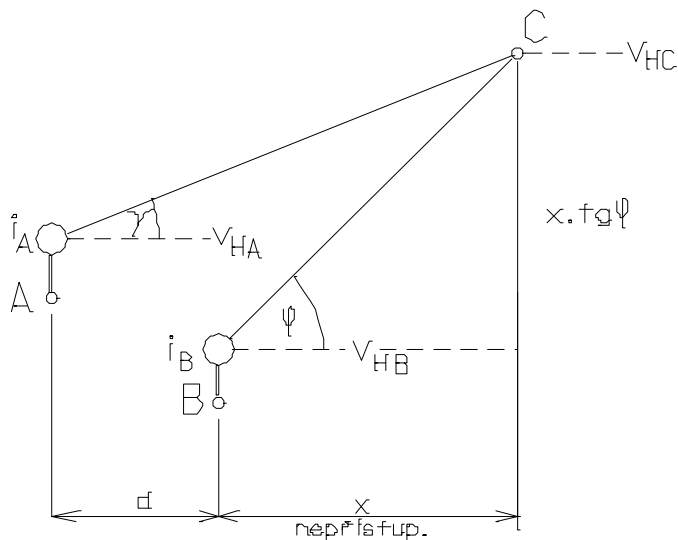
$$h = 6,5m \quad d = 30m \quad \sigma_{HA} = \pm 1cm \quad \sigma_i = \pm 0,5cm \quad \sigma\varphi = \pm 20^{cc}$$

$$\sigma d = \pm 1cm$$

$$\sigma_{HB} = \pm 130,6 \cdot 10^{-6} = \pm 13mm$$

Vliv samotného měření  $\sigma_h = \pm 5,5mm$

Určení výšky nepřístupného bodu pomocí radiální základny



Obr. 6.6 Určení výšky nepřístupného bodu pomocí radiální základny  $d$

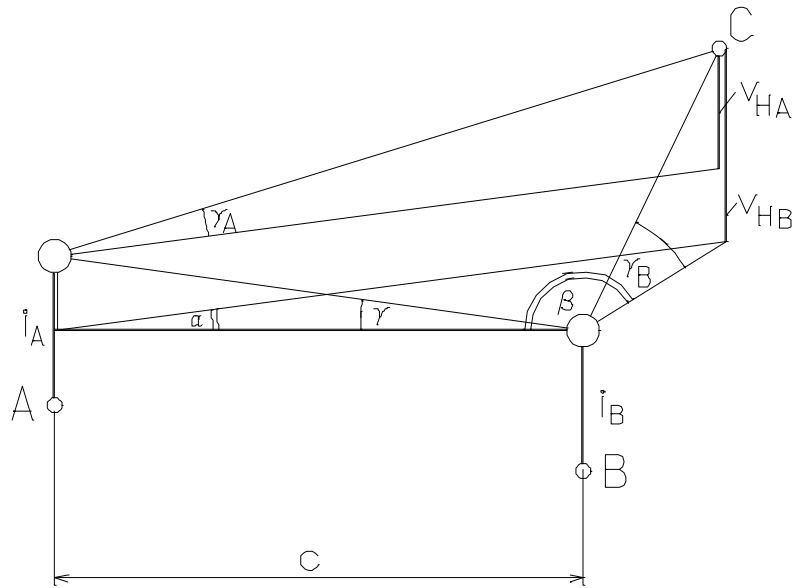
$$V_{HA} + (d + x) \cdot \operatorname{tg}\psi = V_{HB} + x \cdot \operatorname{tg}\varphi = V_{HC}$$

$$V_{HA} + d \cdot \operatorname{tg}\psi - V_{HB} = x \cdot \operatorname{tg}\varphi - x \cdot \operatorname{tg}\psi = x \cdot (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\psi)$$

$$x = \frac{V_{HA} - V_{HB} + d \cdot \operatorname{tg}\psi}{\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\psi}$$

$$V_{HC} = V_{HA} + (d + x) \cdot \operatorname{tg}\psi = V_{HB} + x \cdot \operatorname{tg}\varphi$$

## Ur ení výšky bodu z prostorové základny (prostorové PV)

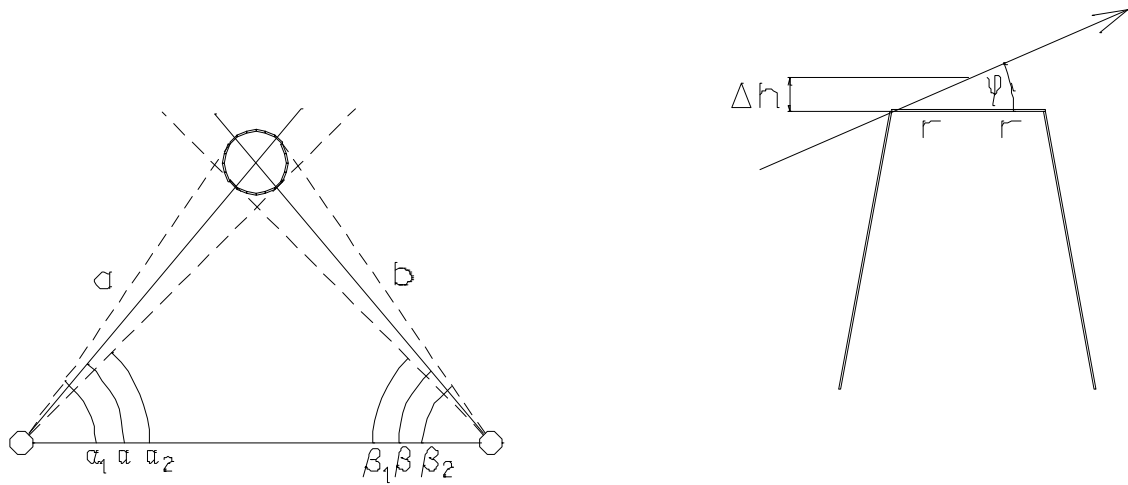


Obr. 6.7 Prostorové protínání vp ed

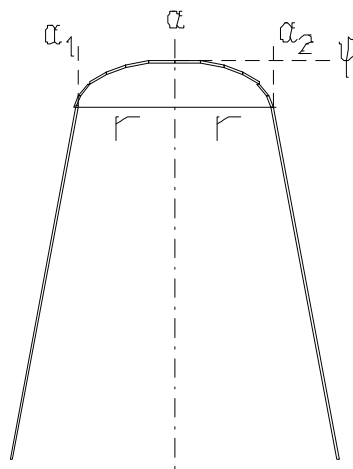
Bod C m fle být nep ístupný.

Pouffítí: p esná ur ení tvar složitých strojních výrobk (lod , letadla, parabolická zrcadla, antény, kondensa ní v fle). Vhodná kombinace s laserovým teodolitem.

Určení výšky a osy nepřístupného komína



Obr. 6.8 Změna polohy osy komína



Obr. 6.9 Změna výškového úhlu k hornímu okraji komína

$\alpha, \beta$  určíme jako aritmetický průměr z úhlů  $\alpha_1, \alpha_2$  a úhlů  $\beta_1, \beta_2$

$$\Delta h = r \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$r = a \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1 - \alpha) = b \cdot \operatorname{tg}(\beta_1 - \beta)$$

S ohledem na nepřesné zacílení na okraje komína (nerovné zdivo ap). je zpravidla výsledná přesnost výšky  $\pm 3-5\text{cm}$ .

Při kontrole naklonění komína se poloha osy měří nahoru i dole.

## 7. PODROBNÉ VYTYČOVÁNÍ

### 7.1. Vytyčování polární metodou

Běžné vytyčení  $\sigma_{xy} > 10\text{mm}$

Přesné vytyčení  $\sigma_{xy} \leq 10\text{mm}$

Běžné vytyčení o postupným priblížováním a zaměřením vytyčeného bodu.

Přesné vytyčení o vytyčení se provádí na měření.

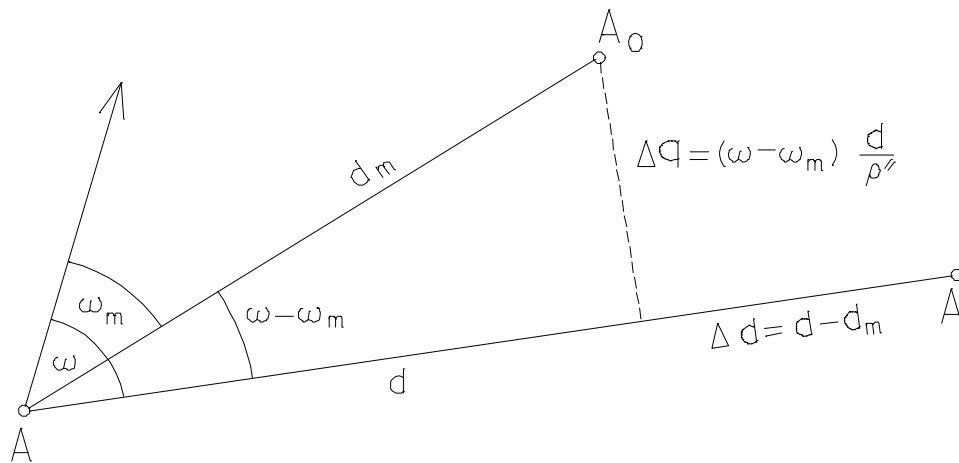
Postup:

- Přibližné vytyčení ( $\sim \sigma_{xy} = 50\text{mm}$ ) o tracking
- Přesné zaměření tohoto vytyčeného bodu
- Z rozdílu mezi vytyčovanou hodnotou geometrické veličiny a hodnotou naměřenou vypočte se příčný ( $q$ ) a podélný posun ( $d$ )
- Příčný a podélný posun se použije pro přesné vytyčení ortogonální met.

$$\Delta q = (\omega - \omega_m) \frac{d}{\rho} \qquad \Delta d = d - dm$$

$\omega, d$  – vytyčovaný úhel a délka

$\omega_m, d_m$  – naměřený úhel a délka



Obr. 7.1 Postup přibližného a podélného posunu

$A_0$  .. přibližný výtýčný bod  
 $A_1$  .. přesný výtýčný bod

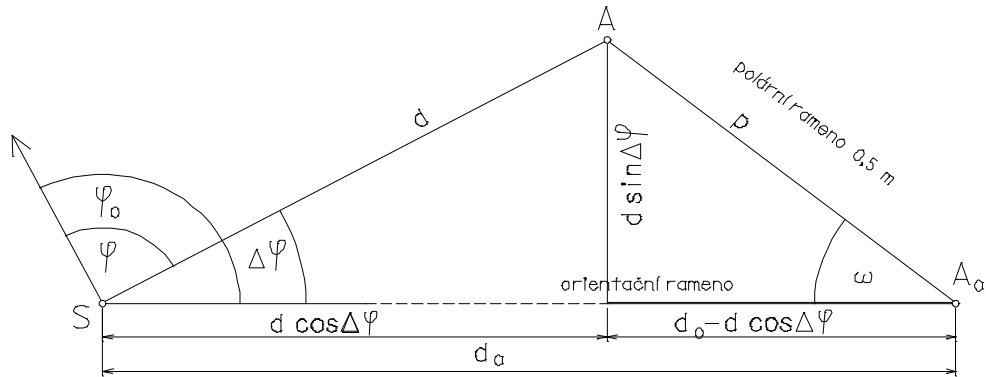
### Polární výtýčkové rameno (mechanická pomůcka)

Slouží pro polární výtýčení koncového bodu.

Postup:

- Přibližné výtýčení bodu v dosahu ramene ( $\sim 0,5m$ )
- Přesné zaměření tohoto bodu
- Výpočet výtýčkových prvků pro polární výtýčkové rameno
- Výtýčení definitivního bodu polárním výtýčkovým ramenem

Polární výtýčkové rameno je opatřeno úhlovým kruhem



Obr. 7.2 Polární vyty ovací rameno

$\varphi, d \rightarrow$  vyty . prvky bodu A  
 A  $\rightarrow$  projektovaný bod  
 $A_0 \rightarrow$  příblifn vyty ený bod  
 $\omega, p \rightarrow$  vyty . prvky polárního ramene  
 $d, d_0 \rightarrow$  vzdálenost projektovaná a m ená

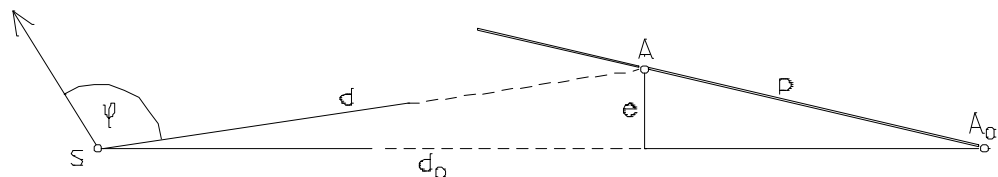
$$p^2 = d^2 \cdot \sin^2 \Delta\varphi + (d_0 - d \cdot \cos^2 \Delta\varphi)^2$$

$$p^2 = d^2 (\sin^2 \Delta\varphi + \cos^2 \Delta\varphi) + d_0^2 - 2d \cdot d_0 \cos \Delta\varphi$$

$$p^2 = d^2 + d_0^2 - 2dd_0 \cos \Delta\varphi \quad p = \dots\dots$$

$$\sin \omega = \frac{d \cdot \sin \Delta\varphi}{p} \quad \omega = \dots\dots$$

**b) Zjednodu-ené vyty ovací rameno** ó není opat eno úhlem rým kruhem, proto je nutno p edb flné vyty ení provést s p esností v délce nejvíce jak + 0,2 afl 0,6 m a ve sm ru ne více jak  $e = \pm 20\text{mm}$



Obr. 7.3 Zjednodu-ené polární rameno

Postup:

- výtý ení p iblifného bodu  $A_0$
- zam ení délky  $d_o$
- výpo et posunu  $p$
- do vzdálenosti  $p$  se po pravítku p esune jezdec s ter em a odrazným hranolem
- ter se za adí p esn do sm ru  $\varphi$

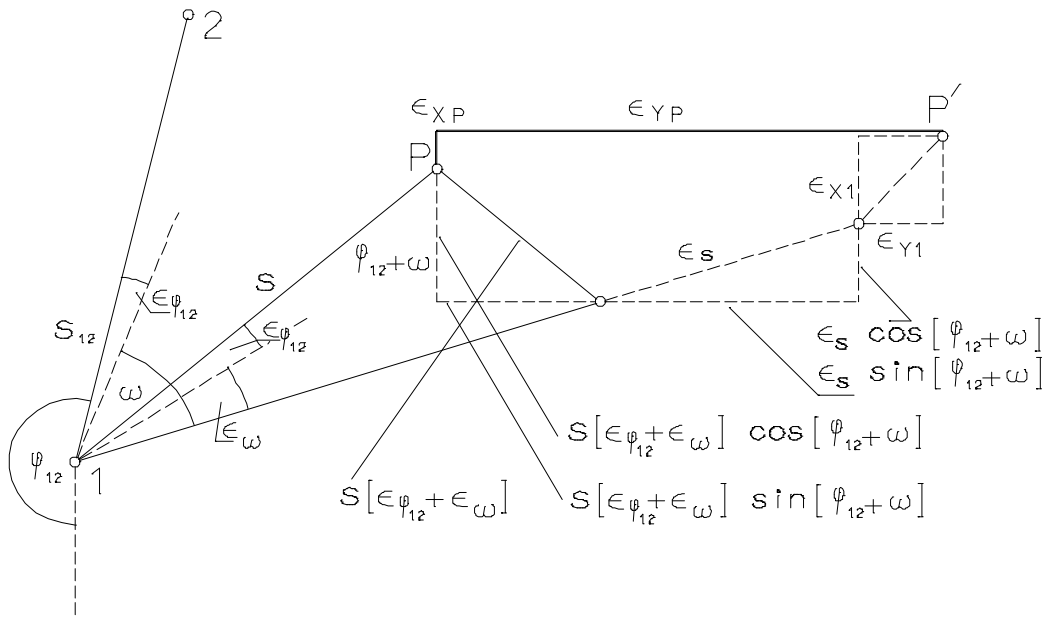
$$p = d - d_o$$

- $p$  í rameno sm rem k bodu  $S$
- +  $p$  í rameno sm rem od bodu  $S$

Chyba v délce  $p$  zp sobená vybo ením bodu  $A_0$  z p ímky výslednou polohu bodu  $A$  prakticky neovlivní.

$$P \therefore p = 0,2 \text{ m} \quad e = 0,02 \text{ m} \quad p = 1 \text{ mm}$$

## 7.2 P ESNOST VYTÝ ENÍ POLÁRNÍ METODOU



Obr. 7.4 Vliv chyb podkladu, výtý ovaného úhlu a délky na p esnost polohy bodu výtý eného polární metodou

Výpo et sou adnic výtý . bodu P ó bez chyb

$$X_p = X_1 + S \cdot \cos(\varphi_{12} + \omega)$$

$$Y_p = Y_1 + S \cdot \sin(\varphi_{12} + \omega)$$

$$\varepsilon_{xp} = \varepsilon_{x1} - \underset{\substack{\downarrow \\ \text{pr m t S do sm ru osy y}}}{S \cdot \sin(\varphi_{12} + \omega)} (\varepsilon\varphi_{12} + \varepsilon\omega) + \underset{\substack{\downarrow \\ \text{x-ová slofka } \varepsilon_s}}{\cos(\varphi_{12} + \omega)} \varepsilon_s$$

↓  
x-ová slofka vlivu chyby  $(\varepsilon\varphi_{12} + \varepsilon\omega)$

$$\varepsilon_{yp} = \varepsilon_{y1} + \underset{\substack{\downarrow \\ \text{x-ová slofka strany S}}}{S \cos(\varphi_{12} + \omega)} (\varepsilon\varphi_{12} + \varepsilon\omega) + \underset{\substack{\downarrow \\ \text{y-ová slofka } \varepsilon_s}}{\sin(\varphi_{12} + \omega)} \varepsilon_s$$

↓  
y-ová slofka vlivu chyby  $(\varepsilon\varphi_{12} + \varepsilon\omega)$

$\varepsilon_{x1}, \varepsilon_{y1}$  =- chyba podkladu (bodu 1)

$\varepsilon_{x2}, \varepsilon_{y2}$  =- chyba podkladu (bodu 2)

Pro nezávislé body 1,2 platí a pro  $\varphi_{12} = 0,200^g$

$$\varepsilon\varphi_{12} = \frac{\varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y1}}{S_{12}}$$

**Pro závislé body 1, 2 platí**

$$\varepsilon\varphi_{12} = \frac{\varepsilon\Delta y_{12}}{S_{12}}$$

Skutečná chyba po dosazení za  $\varepsilon\varphi_{12}$  :

$$\varepsilon_{xp} = \varepsilon_{x1} - \frac{S}{S_{12}} \cdot \sin\omega \cdot \varepsilon_{y2} + \frac{S}{S_{12}} \cdot \sin\omega \cdot \varepsilon_{y1} - S \cdot \sin\omega \cdot \varepsilon_\omega + \varepsilon_s \cdot \cos\omega$$



$$\varepsilon_{yp} = \varepsilon_{y1} \left( 1 - \frac{S}{S_{12}} \cdot \cos \omega \right) + \frac{S}{S_{12}} \cdot \cos \omega \cdot \varepsilon_{y2} + S \cdot \cos \omega \cdot \varepsilon_{\omega} + \varepsilon_s \cdot \sin \omega$$

P edpoklad:  $\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = \sigma_{y_1} = \sigma_{y_2} = \sigma_{xy}$

**Sm rodatná odchylka vytý eného bodu**

$$\sigma_{xyp}^2 = \sigma_{xy1}^2 \left[ 1 + \frac{S}{S_{12}} \left( \frac{S}{S_{12}} - \cos \omega \right) \right] + \frac{1}{2} \left[ \sigma_s^2 + \frac{\sigma \omega^2}{\rho^2} S^2 \right]$$

↓ chyba orientace a úhlu
 ↓ chyba délky

**Pro potla ení chyby orientace je nutno aby**

$$S \ll S_{12}$$

Vliv centrace na výchozích bodech síť na polohu vytý eného bodu:

P edpoklad:  $\sigma_{e_1} = \sigma_{e_2} = \sigma_e$

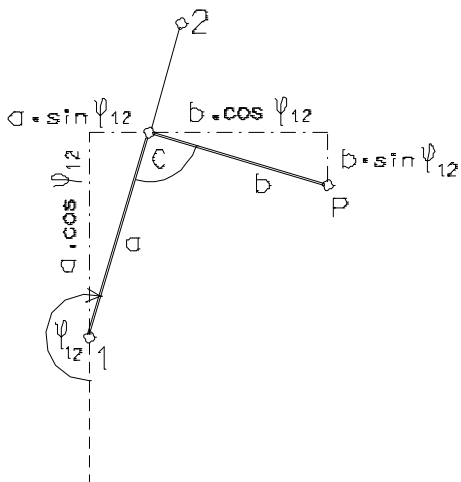
$$\sigma_{xye}^2 = \sigma_e^2 \left( 1 + \frac{S}{S_{12}} \left( \frac{S}{S_{12}} - \cos \omega \right) \right)$$

Chyba z centrace má nejv tší vliv když vytý ovaný bod leží na spojnici výchozích bod 1, 2 ( $\cos \omega = 0$ )

Praktická hodnota  $\sigma_e = 1 \div 1,7 \text{ mm}$

P i  $S = S_{12}$  bude  $\sigma_{xye} = \sigma_e \cdot \sqrt{3}$

### 7.3. P ESNOST VYTÝ OVÁNÍ ORTOGONÁLNÍ METODOU



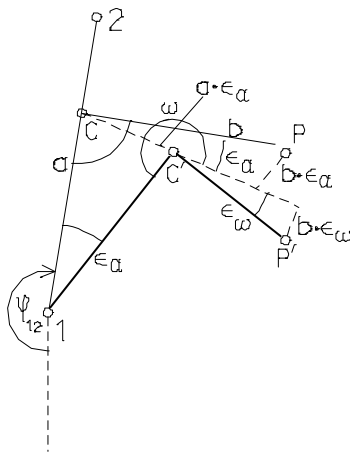
Obr. 7. Vytý ení ortogonální metodou ó bez chyb vyty ovacích prvk

Sou adnice vyty eného bodu ó bez chyb

$$X_P = X_1 + a \cdot \cos \varphi_{12} - b \cdot \sin(\varphi_{12} - 180^\circ)$$

$$Y_P = Y_1 + a \cdot \sin \varphi_{12} + b \cdot \cos(\varphi_{12} - 180^\circ)$$

Vytý ení s chybami úhl :



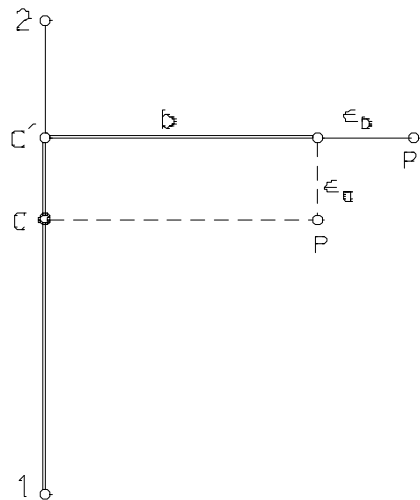
Obr. 7.6 Ortogonální metoda ó vliv úhlových chyb na p esnost polohy vyty ovaného bodu

$$X_{P'} = X_1 + a \cdot \cos(\varphi_{12} + \varepsilon_\alpha) - b \cdot \sin(\varphi_{12} + \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\omega)$$

$$Y_{P'} = Y_1 + a \cdot \sin(\varphi_{12} + \varepsilon_\alpha) + b \cdot \cos(\varphi_{12} + \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\omega)$$

Pro další odvození uvažujeme zjednodušení  $\varphi_{12} = 0$ , 200<sup>s</sup>

**Vliv chyb délek  $a, b$ :**



Obr. 7.7 Ortogonální metoda o vliv chyb vyty ovaných délek  $a, b$  na přesnost polohy vyty ovaného bodu

Souhrnná přesnost vyty ovaného bodu

Výchozí body nezávislé

$$\varepsilon_{\varphi_{12}} = \frac{\varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y1}}{S_{12}}$$

Výchozí body závislé

$$\varepsilon_{\varphi_{12}} = \frac{\varepsilon \Delta y_{12}}{S_{12}}$$

$$\sigma \Delta y_{12} = \frac{\sigma \beta}{\rho} \cdot S_{12} \dots \dots \dots \text{pro závislé body polygonového po adu}$$

$\beta$  = vrcholný úhel polygonového po adu

$$\varepsilon_{XP} = \varepsilon_{X1} + \varepsilon_a \cdot \underbrace{\cos \varphi_{12}}_1 - b \cdot \underbrace{\varepsilon_{\varphi_{12}}}_{\frac{\varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y1}}{S_{12}}} - b \cdot (\varepsilon_\alpha + \varepsilon_\omega)$$

$$\varepsilon_{XP} = \varepsilon_{X1} + \varepsilon_a - b \frac{\varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y1}}{S_{12}} - b (\varepsilon_\alpha + \varepsilon_\omega)$$

$$\varepsilon_{yP} = \varepsilon_{y1} + \varepsilon_b + a \cdot \frac{\varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y1}}{S_{12}} + a \cdot \varepsilon_\alpha$$

p uvedeme na střední chyby

$$\sigma_{XP}^2 = \sigma_{X1}^2 + \sigma_a^2 - \frac{b^2}{S_{12}^2} (\sigma_{Y2}^2 + \sigma_{Y1}^2) + b^2 (\sigma_\alpha^2 + \sigma_\omega^2)$$

$$\sigma_{YP}^2 = \sigma_{y1}^2 + \sigma_b^2 + \frac{a^2}{S_{12}^2} (\sigma_{Y2}^2 - \sigma_{Y1}^2) - a^2 \cdot \sigma_\alpha^2 = \sigma_{Y1}^2 \left(1 - \frac{a}{S_{12}}\right)^2 + \frac{a^2}{S_{12}^2} \sigma_{y2}^2 + a^2 \sigma_\alpha^2 + \sigma_b^2$$

P i zjednodušení  $\sigma_{X1} = \sigma_{Y1} = \sigma_{X2} = \sigma_{Y2} = \sigma_{X4}$

$$\sigma_{XYP}^2 = \sigma_{XY}^2 \left(1 + \frac{a^2 + b^2}{S_{12}^2} - \frac{a}{S_{12}}\right) + \frac{1}{2} \left[ \sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \frac{\sigma^2 \alpha}{\rho^2} (a^2 + b^2) + \frac{b^2 \cdot \sigma_\omega^2}{\rho^2} \right]$$

↓  
Vliv podklad (výchozích bod 1,2)

↓  
Vliv vytyčovací prvek

Každý vytyčený bod P je jinak ovlivněn chybou podkladu  $\alpha \rightarrow$  úhel, který je způsoben nepresným zazením bodu C do spojnice 1-2

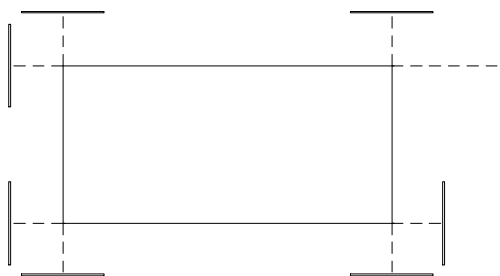
$$m_q = \frac{m\alpha}{\rho''} \cdot a \dots \dots \dots m\alpha = m q \cdot \rho'' / a$$

Prakticky  $m q = 3 \div 5 \text{ mm}$

#### 7.4. Vytyčování pr se říkovým způsobem

Polohu bodu určíme jako pr se říkovými paprsky spojujících body, které jsou trvale stabilizovány. Krátké vzdálenosti o paprsek realizován motouzem, dlouhé vzdálenosti o paprsek realizován teodolitem, laserem.

## Vytý ování pozemních staveb (základ )

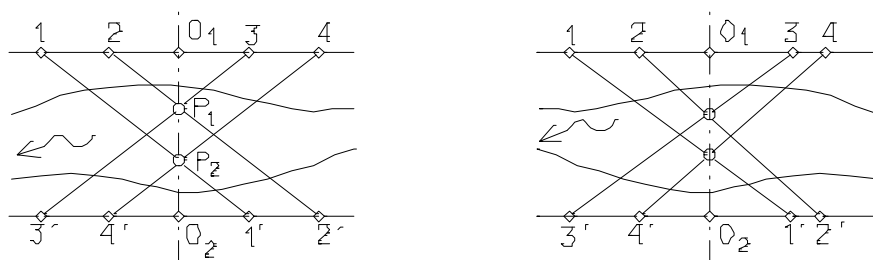


Obr. 7.8 Vytý ení p dorysu stavby pomocí lavi ek

Lavi ky ur ují zpravidla i vytý ované vý-ky + 1 m

Výhoda: mořnost opakovaného vytý ení bez ú asti m i e.

## Vytý ení mostních pilí



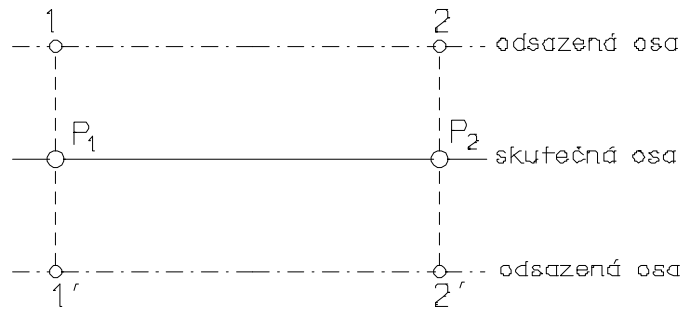
Obr. 7.9 Vytý ení mostních pilí

$O_1, O_2$  → body osy mostu

$P_1, P_2$  → pilí e

$1, 2, 3, 4, 1', 2', 3', 4'$  → stabilizovaná stanoviska na p ímkách

### Vytý ení z odsazených os:



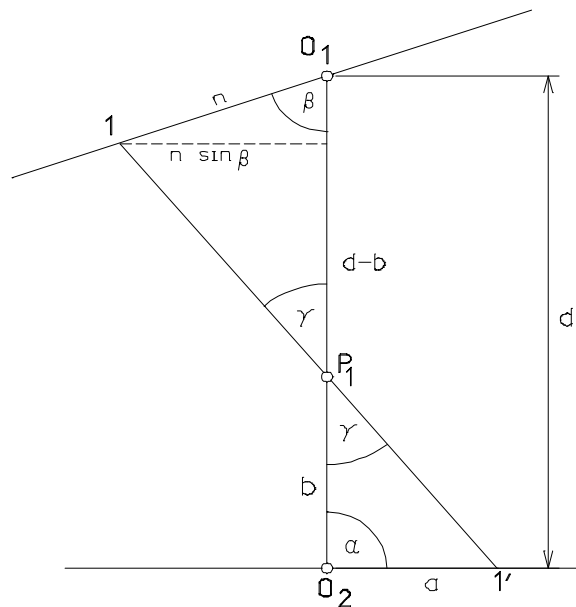
Obr. 7.10 Vytý ení osy stavby z odsazených pomocných os

Výhoda: Odsazené osy jsou mimo dosah stavby a jsou tak chráněny.

### 7.5. Přesnost přesné výměry

$d, b \rightarrow$  dáno projektem  
 $\alpha, \beta, n \rightarrow$  změříme  
 $a, \rightarrow$  vypočteme  
 $\alpha$  (obecný úhel)  
 $\gamma \geq 20^\circ$

Bod 1, délku  $n$  volíme dle situace



Obr. 7.11 Přesnost výměry přesné výměry je závislá na úhlu protnutí

$$\cot g\gamma = \frac{d - b - n \cdot \cos \beta}{n \cdot \sin \beta} \quad a = b \frac{\sin \gamma}{\sin(\alpha + \gamma)}$$

Zjednodu-ení:  $\frac{b}{a} = \frac{d}{a + n} = \cot g\gamma \quad (\alpha = \beta = 90^0)$

Skute ná chyba:

$$\varepsilon_b = \frac{d \cdot n}{(a + n)^2} \cdot \varepsilon_a - \frac{a \cdot d}{(a + n)^2} \cdot \varepsilon_n \quad \varepsilon_b = \frac{\cot g\gamma}{a + n} \cdot (n \cdot \varepsilon_a - a \cdot \varepsilon_n)$$

$$\sigma_b = \frac{\cot g\gamma}{a + n} \sqrt{\sigma_a^2 \cdot n^2 - \sigma_n^2 \cdot a^2}$$

Úseky a, n volíme tak, aby úhel protnutí  $\gamma \geq 20^0$ .



























