

SYLABUS 6. PŘEDNÁŠKY Z INŽENÝRSKÉ GEODÉZIE

(Polohové vytyčovací sítě, Polohové vytyčování)

**3. ročník bakalářského studia
studijní program G
studijní obor G**

doc. Ing. Jaromír Procházka, CSc.

listopad 2015

7. POLOHOVÉ VYTYČOVACÍ SÍTĚ

Vytyčení je součástí realizace stavby. Přenesení projektu do terénu se u rozsáhlejších staveb skládá ze dvou fází:

- vybudování vytyčovací sítě polohové (kap.7) a výškové (kap.8), které zajišťují prostorové vztahy budovaných objektů,
- vytyčování stavebních objektů polohové, jímž se zajišťuje poloha, rozměr a tvar objektu (kap.10) a výškové, jímž se zajišťuje vztah objektu k okolnímu terénu a návaznost na některé inženýrské sítě (kap.8).

7.1. ROZDĚLENÍ POLOHOVÝCH VYTYČOVACÍCH SÍTÍ A JEJICH STABILIZACE

Polohové vytyčovací sítě lze rozdělit podle několika kritérií:

- podle způsobu připojení,
- podle významu,
- podle tvaru.

Dělení polohových vytyčovacích sítí podle způsobu připojení

- vytyčovací sítě připojené na bodové pole ČSTS,
- místní sítě.

Vytyčovací sítě se zpravidla připojují na Českou státní trigonometrickou síť (ČSTS) a počítají v souřadnicovém systému S-JTSK. Výškově se připojují na Českou státní nivelační síť (ČSNS). Důvodem je skutečnost, že mapové podklady pro projektovou dokumentaci se vyhotovují v těchto systémech.

Ve výjimečných případech, kdy připojovací síť nevyhovuje svou přesností požadované přesnosti vytyčovací sítě, zřizuje se místní trigonometrická síť a místní podrobná polohová síť. Konkrétním případem je souřadnicový systém S-Praha, vybudovaný prioritně pro potřeby stavby metra, ale sloužící i pro další stavby v Praze. Tato síť je napojena na S-JTSK, avšak při zachování tvaru a rozměru sítě místní.

Jedná-li se o stavby rozsahem malé a méně významné, lze použít místního souřadnicového systému. To však musí být výrazně vyznačeno v grafické a písemné dokumentaci.

Dělení polohových vytyčovacích sítí podle významu

- primární vytyčovací síť (dříve používaný název „základní vytyčovací síť“),
- sekundární vytyčovací síť (dříve „podrobná vytyčovací síť“).

Z bodů primární vytyčovací sítě se vytyčuje prostorová poloha stavebních objektů. Tvar a rozměr primární sítě vychází z rozsahu, složitosti a druhu stavby, ovšem v závislosti na předpokládané metodě vytyčování. Přitom je třeba přihlídnout k členitosti terénu, stavu porostu, popř. původní zástavbě. Body sítě by měly být vhodně stabilizovány, signalizovány, chráněny před poškozením či zničením a voleny na takových místech, aby nebyly ovlivněny stavební činností.

Body sekundární sítě, pokud se budují, vychází z bodů sítě primární a slouží k vytyčení rozměru a tvaru objektu. Za body sekundární sítě mohou sloužit i již vytyčené body prostorové polohy objektu.

Dělení polohových vytyčovacích sítí podle tvaru

- liniové
 - vytyčovací osa (vytyčovací přímka),
 - polygonový pořad,
 - trojúhelníkový, popř. čtyřúhelníkový řetězec,
 - sítě budované metodou GNSS.

Tyto sítě se používají pro vytyčování liniových staveb všech typů, ale i pro vytyčování pozemních stavebních objektů s prostorovou skladbou.

- plošné
 - pravidelné sítě, tj. pravoúhelníkové sítě,
 - nepravidelné sítě, tj. bez přímé vzájemné návaznosti,
 - sítě určené metodou přechodných (n. volných) stanovisek,
 - trojúhelníkové sítě.

Tyto sítě se používají pro vytyčování objektů s prostorovou skladbou a plošných.

Stabilizace bodů vytyčovací sítě

Body primární vytyčovací sítě se trvale stabilizují, a to podle důležitosti a náročnosti stavby tzv. těžkou nebo lehkou stabilizací.

Těžká stabilizace je tvořena např. betonovým blokem o rozměrech 0,5x0,5x1 až 2 m. V horní části bloku je zapuštěna kovová destička s vyvrtanou dírkou. Výška je vztažena k hřebové značce, osazené vedle destičky. V případě, že poloha bodu není přesně vytyčována, může hřebová značka po vyvrtání dírkou sloužit současně i jako polohový bod. Je-li těžká stabilizace spojena s nucenou centrací přístroje, používá se vybetonovaných pažených vrtů zapuštěných až do rostlé skály. Hlava pilíře se zařízením pro nucenou centraci se zhotovuje ve výšce kolem 1,3 m nad terénem, popř. i výše s ohledem na viditelnost (potom je ovšem nutno vybudovat kolem pilíře ochoz). Výšková značka (čepová) se umísťuje z boku pilíře.

Lehkou stabilizací se rozumí např. žulový mezník (při vyšších požadavcích na přesnost se zapuštěným mosazným válečkem s dírkou) nebo zabetonovaná trubka v bloku o průměru cca 0,6 m a hloubce kolem 0,5 m. V některých případech se používá delší trubky, vystupující cca 0,5 m nad beton a nabarvené červenobíle jako výtyčka. Potom slouží přímo jako cílový bod. Výhodou je snadné vyhledání bodu, nevýhodou jeho větší ohrožení.

Body primární sítě se po stabilizaci chrání proti poškození dřevěnými zahrádkami s barevnými pruhy nebo sice nákladněji ale účinněji betonovými kanalizačními skružemi o průměru cca 1 m. Je možno použít i ochranné tyče, umístěné 0,75 m od bodu (jako u bodů bodových polí).

Přesnost vytyčovací sítě

Přesnost bodů vytyčovací sítě vychází z požadované přesnosti vytyčení, která je dána buď projektem nebo normou (ČSN 73 0420 a 21). Je charakterizována směrodatnou odchylkou souřadnicovou $\sigma_{x,y}$:

$$\sigma_{x,y} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}, \quad (7.1)$$

nebo směrodatnou odchylkou rozdílu souřadnic $\sigma_{\Delta x,(\Delta y)}$:

$$\sigma_{\Delta x,(\Delta y)} = \sigma_{ds} \cdot \sqrt{k}, \quad (7.2)$$

kde **k** je souřadnicový rozdíl dvou sousedních bodů vytyčovací sítě v hektometrech,
 σ_{ds} – směrodatná odchylka závislá na druhu stavby.

Doporučuje se volit:

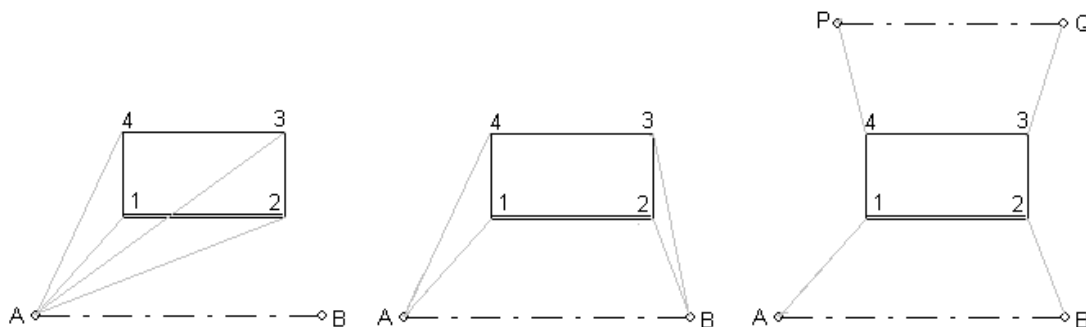
- $\sigma_{ds} = 10$ mm u objektů spojených mechanizovaným dopravním zařízením (např. transportér),
- $\sigma_{ds} = 15$ mm u objektů přiléhajících k vlečkové trati,
- $\sigma_{ds} = 25$ mm u objektů s dopravou převážně motorovými silničními vozidly.

Přesnost vytyčení je vhodné rozlišovat na „absolutní“ a relativní. „Absolutní“ přesnost vytyčení se vztahuje k nejbližším bodům základního bodového pole a posuzuje umístění objektu do terénu prostřednictvím charakteristických bodů u objektů s prostorovou skladbou nebo hlavních bodů trasy u staveb liniových. Relativní přesností se rozumí přesnost vytyčení podrobných bodů objektu vzhledem k charakteristickým či hlavním bodům.

Přesnost vytyčovací sítě se promítá do rozměru a tvaru objektu v závislosti na způsobu vytyčení. Probíhá-li vytyčení objektu ve dvou fázích, kdy nejprve je vytyčována prostorová poloha objektu svými charakteristickými body a z nich je poté vytyčován rozměr a tvar objektu, nemá na ně přesnost vytyčovací sítě prakticky žádný vliv.

Je-li celý objekt vytyčován přímo z bodů primární vytyčovací sítě, je možno uvažovat tři typické postupy (obr.1):

- vytyčuje-li se z jednoho bodu, chyby vytyčovací sítě rozměr a tvar objektu neovlivní,
- vytyčuje-li se ze dvou sousedních bodů se vzájemnou orientací (např. z polygonové strany), je chybami vytyčovací sítě ovlivněn pouze rozměr objektu,
- vytyčuje-li se ze čtyř různých bodů (2 různých polygonových stran), je chybami vytyčovací sítě ovlivněn jak rozměr, tak i tvar objektu. Tento postup je z hlediska přesnosti nejméně příznivý.



Obr.1 Postupy přímého vytyčení objektu z primární vytyčovací sítě

V obrázku č.1 jsou body A, B, P a Q body primární vytyčovací sítě, body 1 až 4 jsou body vytyčovaného objektu.

Přesnost vytyčení bodu objektu, charakterizovaná směrodatnou souřadnicovou odchylkou $\sigma_{x,yi}$ je dána vzorcem:

$$\sigma_{x,yi} = \sqrt{\sigma_{x,yA}^2 + \sigma_{x,yv}^2}, \quad (7.3)$$

kde $\sigma_{x,yA}$ je směrodatná souřadnicová odchylka bodu vytyčovací sítě,
 $\sigma_{x,yv}$ - směrodatná souřadnicová odchylka vytyčení bodu objektu.

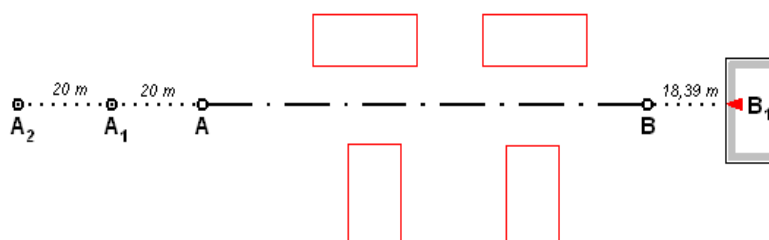
Při hodnocení přesnosti vytyčovacích sítí se rozlišuje vliv měřených veličin a vliv podkladu, tj. bodů, na které se vytyčovací síť napojuje. Hodnotí se přesnost elementárních prvků objektu, tj. bodu (poloha), úsečky (rozměr) a úhlu (tvar).

7.2. LINIOVÉ VYTYČOVACÍ SÍTĚ

Jedná se o vytyčovací sítě, respektující protáhlý tvar liniových staveb.

7.2.1. Vytyčovací osa

Nejjednodušší vytyčovací sítí je přímka (úsečka), která se používá pro jednoduchou zástavbu malého rozsahu. Je dána pouze dvěma body, které je však nutno pečlivě zajistit. Zajišťovací body se volí zpravidla na prodloužení úsečky, většinou ve vzdálenosti celých desítek metrů (obr.2). Zničení či poškození některého bodu nebo vznik neočekávané překážky mezi body A, B může vážně narušit přesnost tohoto typu sítě.



Obr.2 Vytyčovací osa

mezi body A, B může vážně narušit přesnost tohoto typu sítě.

Vytyčovací osa se někdy nesprávně používá i tam, kde se výstavba buduje etapově.

Přímka se prodlužuje, navazují se na ni další kolmice a rovnoběžky, čímž vzniká pravoúhelníková síť, budovaná ovšem nesprávným způsobem, tedy tzv. „z malého do velkého“.

7.2.2. Polygonové pořady

Polygonové pořady se používají při vytyčování nepravidelné a členité zástavby, při rekonstrukcích a asanacích a převážně při vytyčování liniových staveb. Jejich největší předností je přizpůsobivost místním podmínkám (terénu, zástavbě apod.). Při zničení bodů je však obnova s původní přesností obtížná, což narušuje homogenitu systému. Při vyšších požadavcích na přesnost je lépe celý pořad znovu zaměřit a vypočítat nové souřadnice.

Z hlediska přesnosti určení polohy bodů polygonového pořadu je nejvhodnější používat přímé pořady se zhruba stejně dlouhými stranami, vetknuté a oboustranně orientované. Přesnost je závislá na přesnosti měřených veličin (vrcholové úhly a délky se měří totálními stanicemi odpovídající třídy přesnosti), na přesnosti podkladu a dále na tvaru, celkové délce a počtu vrcholů polygonového pořadu.

Polohová přesnost polygonového pořadu je často posuzována směrodatnou souřadnicovou odchylkou $\sigma_{x,y}$, jejíž výhodou je jednoduchost (jedno číslo) a směrodatnou odchylkou rozdílu souřadnic dvou sousedních bodů $\sigma_{\Delta x}, \sigma_{\Delta y}$. Značné zjednodušení může ale být zároveň nevýhodou, s ohledem na možnost nesprávné interpretace charakteristiky přesnosti a zkreslení dosažené přesnosti výsledku.

Lépe je proto přesnost charakterizována podélnou a příčnou chybou, a to zejména u liniových staveb.

Nejvýstižněji přesnost polygonového pořadu charakterizují elipsy chyb, pro jejichž určení je nutno znát 3 hodnoty (velikost velké a malé poloosy a úhel stočení).

Prakticky se přesnost polygonových pořadů posuzuje mezními odchylkami úhlovými $\delta_{M\omega}$ a polohovými δ_{Mp} :

$$\delta_{M\omega} = 2 \cdot \sqrt{n \cdot \sigma_{\omega}^2 + 2 \cdot \sigma_{\sigma}^2} \quad ; \quad \delta_{Mp} = k_1 \cdot \sqrt{\sum d} + k_2,$$

kde n je počet vrcholů,

σ_{ω} - směrodatná odchylka vrcholového úhlu,

σ_{σ} - směrodatná odchylka směrníku orientačního směru,

k_1, k_2 - konstanty podle tříd přesnosti,

$\sum d$ - součet délek stran polygonového pořadu.

Polygonové pořady lze v zásadě chápat jako n -násobné rajóny, případně vyrovnávané.

V inženýrské geodézii se používá 3 typů polygonových pořadů:

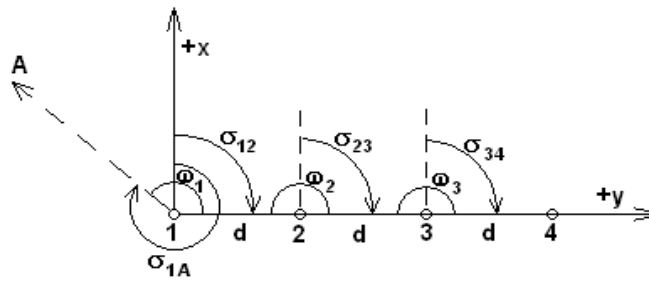
- jednostranně orientovaný volný polygonový pořad,
- vetknutý polygonový pořad,
- oboustranně orientovaný volný nebo vetknutý pořad.

7.2.2.1. Jednostranně orientovaný volný polygonový pořad

Vzhledem ke skutečnosti, že body určené tímto postupem nejsou kontrolovány a jsou i méně přesné, se volný polygonový pořad v inženýrské geodézii příliš nepoužívá. Jeho použití je omezeno počtem vrcholů. Je však běžně využíván při měření v podzemních prostorách, kde se kontroluje druhým nezávislým zaměřením po stejných či jiných bodech, se společnou poslední stranou.

U jednostranně orientovaného volného polygonového pořadu je měřen pouze nezbytný počet prvků a nedochází tedy k vyrovnání. Odvození přesnosti souřadnic bodů tohoto typu pořadu je poměrně jednoduché a při vhodné volbě na něm lze ukázat vliv jednotlivých měřených veličin na přesnost souřadnic.

Pro lepší proniknutí do zkoumané problematiky a oddělení vlivu úhlového a délkového měření se tedy hodnotí polygonový pořad přímý, se stejně dlouhými stranami a vložený do souřadnicové osy (obr.3). Pro snazší pochopení je odvození provedeno konkrétně pro polygonový pořad o 4 vrcholech a vztahy jsou dále zobecněny.



Obr.3 Volný polygonový pořad v ose +y

Výchozí rovnice pro výpočet souřadnic koncového bodu pořadu:

$$x_4 = x_1 + d_{1,2} \cdot \cos(\sigma_{1,A} + \omega_1 - 400 \text{ gon}) + d_{2,3} \cdot \cos(\sigma_{1,A} + \omega_1 + \omega_2 - 600 \text{ gon}) + d_{3,4} \cdot \cos(\sigma_{1,A} + \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - 800 \text{ gon}), \quad (7.4)$$

$$y_4 = y_1 + d_{1,2} \cdot \sin(\sigma_{1,A} + \omega_1 - 400 \text{ gon}) + d_{2,3} \cdot \sin(\sigma_{1,A} + \omega_1 + \omega_2 - 600 \text{ gon}) + d_{3,4} \cdot \sin(\sigma_{1,A} + \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - 800 \text{ gon}). \quad (7.5)$$

Aplikací zákona přenášení náhodných odchylek se získají vztahy pro náhodné odchylky v souřadnicích koncového bodu pořadu:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{x4} = \varepsilon_{x1} + \varepsilon_{d1,2} \cdot \cos 100 \text{ gon} + \varepsilon_{d2,3} \cdot \cos 100 \text{ gon} + \varepsilon_{d3,4} \cdot \cos 100 \text{ gon} - \\ - d \cdot \sin 100 \text{ gon} \cdot (\varepsilon_{\sigma_{1,A}} + \varepsilon_{\omega_1}) - d \cdot \sin 100 \text{ gon} \cdot (\varepsilon_{\sigma_{1,A}} + \varepsilon_{\omega_1} + \varepsilon_{\omega_2}) - \\ - d \cdot \sin 100 \text{ gon} \cdot (\varepsilon_{\sigma_{1,A}} + \varepsilon_{\omega_1} + \varepsilon_{\omega_2} + \varepsilon_{\omega_3}), \end{aligned} \quad (7.6)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{y4} = \varepsilon_{y1} + \varepsilon_{d1,2} \cdot \sin 100 \text{ gon} + \varepsilon_{d2,3} \cdot \sin 100 \text{ gon} + \varepsilon_{d3,4} \cdot \sin 100 \text{ gon} - \\ - d \cdot \cos 100 \text{ gon} \cdot (\varepsilon_{\sigma_{1,A}} + \varepsilon_{\omega_1}) - d \cdot \cos 100 \text{ gon} \cdot (\varepsilon_{\sigma_{1,A}} + \varepsilon_{\omega_1} + \varepsilon_{\omega_2}) - \\ - d \cdot \cos 100 \text{ gon} \cdot (\varepsilon_{\sigma_{1,A}} + \varepsilon_{\omega_1} + \varepsilon_{\omega_2} + \varepsilon_{\omega_3}). \end{aligned} \quad (7.7)$$

Uvažuje-li se pouze vliv měřených veličin a vliv podkladu se pokládá za bezchybný (tedy $\varepsilon_{x1} = \varepsilon_{y1} = 0$ a $\varepsilon_{\sigma_{1,A}} = 0$), dostanou se po úpravě rovnic (7.6) a (7.7), tedy $\cos 100 \text{ gon} = 0$, $\sin 100 \text{ gon} = 1$ a sloučením výrazů obsahujících náhodné odchylky ε_i se stejnými indexy, rovnice pro náhodnou odchylku v souřadnici x koncového bodu pořadu:

$$\text{pro 4 body:} \quad \varepsilon_{x4} = -\varepsilon_{\omega_1} \cdot 3d - \varepsilon_{\omega_2} \cdot 2d - \varepsilon_{\omega_3} \cdot 1d,$$

$$\text{a obecně:} \quad \varepsilon_{xk} = -\sum_{j=1}^{k-1} \varepsilon_{\omega_j} \cdot \sum_{i=j}^{k-1} d_{i,i+1} \cdot \sin \sigma_{i,i+1} \quad (7.8)$$

a pro náhodnou odchylku v souřadnici y koncového bodu pořadu:

$$\text{pro 4 body:} \quad \varepsilon_{y4} = \varepsilon_{d1,2} + \varepsilon_{d2,3} + \varepsilon_{d3,4},$$

$$\text{a obecně:} \quad \varepsilon_{yk} = \sum_{j=1}^{k-1} \varepsilon_{d(j,j+1)}^n \cdot \sin \sigma_{j,j+1} + (n-1) \cdot \varepsilon_d^c, \quad (7.9)$$

kde $\varepsilon_{d(j,j+1)}^n$ je náhodná odchylka celkové odchylky v délce,

ε_d^c - systematická složka celkové odchylky v délce, a to při použití elektronického dálkoměru, kdy je pokládána za konstantní.

Po přechodu na směrodatné odchylky platí rovnice:

$$\sigma_{xk}^2 = \left(\frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \right)^2 \cdot \sum_{j=1}^{k-1} (k-j)^2, \quad (7.10)$$

$$\sigma_{yk}^2 = \sigma_{dn}^2 \cdot (k-1) + \sigma_{dc}^2 \cdot (k-1)^2, \quad (7.11)$$

kde σ_{dn} je náhodná složka směrodatné odchylky v měřené délce,

σ_{dc} - systematická složka směrodatné odchylky v měřené délce pro elektronický dálkoměr.

Vzorec (7.10) lze dále zjednodušit součtem mocninné řady na tvar:

$$\sigma_{xk} \approx \frac{k \cdot d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{k-1,5}{3}}. \quad (7.12)$$

Pro náhodné odchylky souřadnicových rozdílů sousedních bodů, za výše uvedených zjednodušujících předpokladů, platí:

pro souřadnicový rozdíl $\Delta x_{3,4}$ a pro 4 body:

$$\varepsilon_{\Delta x_{3,4}} = \varepsilon_{x_4} - \varepsilon_{x_3} = -\varepsilon_{\omega_1} \cdot 3d - \varepsilon_{\omega_2} \cdot 2d - \varepsilon_{\omega_3} \cdot 1d + \varepsilon_{\omega_1} \cdot 2d + \varepsilon_{\omega_2} \cdot 1d,$$

$$\varepsilon_{\Delta x_{3,4}} = -\varepsilon_{\omega_1} \cdot d - \varepsilon_{\omega_2} \cdot d - \varepsilon_{\omega_3} \cdot d,$$

a obecně:

$$\varepsilon_{\Delta x(k-1,k)} = -d \cdot \sum_{j=1}^{k-1} \varepsilon_{\omega_j} \quad (7.13)$$

a pro souřadnicový rozdíl $\Delta y_{3,4}$ a pro 4 body:

$$\varepsilon_{\Delta y(k-1,k)} = \varepsilon_{dn(k-1,k)}^n + \varepsilon_d^c. \quad (7.14)$$

Po přechodu na směrodatné odchylky platí:

$$\sigma_{\Delta x(k-1,k)} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{k-1}, \quad (7.15)$$

$$\sigma_{\Delta y(k-1,k)} = \sqrt{\sigma_{dn}^2 + \sigma_{dc}^2}. \quad (7.16)$$

Z odvozených vzorců lze učinit určité obecné závěry. Vliv úhlových chyb má velmi nepříznivé hromadění. Chyba roste s počtem vrcholů velmi rychle ($n^{3/2}$). Systematická složka chyby v délce roste lineárně, náhodná s odmocninou.

Pro obecnou polohu jednostranně orientovaného volného polygonového pořadu je přesnost koncového bodu pořadu k podle [1] charakterizována směrodatnými odchylkami v souřadnicích x a y :

$$\sigma_{xk}^2 = \sum_{j=1}^{k-1} \sigma_{dn(j,j+1)}^2 \cdot \cos^2 \sigma_{j,j+1} + \sigma_{dc}^2 \cdot \left(\sum_{j=1}^{k-1} \cos \sigma_{j,j+1} \right)^2 + \frac{\sigma_{\omega}^2}{\rho^2} \cdot \sum_{j=1}^{k-1} \Delta y_{j,k}^2, \quad (7.17)$$

$$\sigma_{yk}^2 = \sum_{j=1}^{k-1} \sigma_{dn(j,j+1)}^2 \cdot \sin^2 \sigma_{j,j+1} + \sigma_{dc}^2 \cdot \left(\sum_{j=1}^{k-1} \sin \sigma_{j,j+1} \right)^2 + \frac{\sigma_{\omega}^2}{\rho^2} \cdot \sum_{j=1}^{k-1} \Delta x_{j,k}^2, \quad (7.18)$$

popř. směrodatnou odchylkou souřadnicovou:

$$\sigma_{x,yk}^2 = \frac{1}{2} \cdot \sum_{j=1}^{k-1} \sigma_{dn(j,j+1)}^2 + \sigma_{dc}^2 \cdot \left(\sum_{j=1}^{k-1} \cos \sigma_{j,j+1} + \sum_{j=1}^{k-1} \sin \sigma_{j,j+1} \right)^2 + \frac{\sigma_{\omega}^2}{\rho^2} \cdot \sum_{j=1}^{k-1} d_{j,k}^2. \quad (7.19)$$

Poměrně výrazného zpřesnění volného polygonového pořadu lze dosáhnout zvýšením počtu orientací na počátečním bodě.

7.2.2.2. Vetknutý polygonový pořad

Pořad je připojen pouze polohově na začátku a na konci. Vzhledem k tomu, že jedno měření je nadbytečné, dochází u tohoto typu pořadu k vyrovnání.

Pro ideální volbu pořadu (přímý, se stejně dlouhými stranami a vložený do osy y) platí vzorce pro směrodatnou odchylku i -tého (libovolného) a s -tého (prostředního) bodu, a to ve směru osy x (příčný směr):

$$\sigma_{xi} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{(k-i) \cdot (i-1) \cdot [2 \cdot (k-i) \cdot (i-1) + 1]}{6 \cdot (k-1)}} \approx \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \frac{(k-i) \cdot (i-1)}{\sqrt{3 \cdot (k-1)}} \quad (7.20)$$

a

$$\sigma_{xs} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{4 \cdot \rho} \cdot \sqrt{\frac{(k-1) \cdot [(k-1)^2 + 2]}{3}} \approx \frac{d \cdot \sigma_{\omega} \cdot (k-1)}{4 \cdot \rho} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{3}}. \quad (7.21)$$

Ve směru osy y :

$$\sigma_{yi} = \sigma_d \cdot \sqrt{\frac{(i-1) \cdot (k-i)}{k-1}}, \quad (7.22)$$

a

$$\sigma_{ys} = \frac{\sigma_d}{2} \cdot \sqrt{k-1}. \quad (7.23)$$

Pro směrodatné odchylky rozdílů v souřadnicích sousedních bodů $i, i+1$ a pro střední stranu ve směru osy x (příčný směr) platí:

$$\sigma_{\Delta x(i,i+1)} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{k \cdot (2k-1) - 6i \cdot (k-i)}{6 \cdot (k-1)}}, \quad (7.24)$$

$$a \quad \sigma_{\Delta x s} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{k \cdot (k-2)}{12 \cdot (k-1)}}. \quad (7.25)$$

V podélném směru platí pro všechny strany jediný vzorec:

$$\sigma_{\Delta y} = \sigma_d \cdot \sqrt{\frac{k-2}{k-1}}. \quad (7.26)$$

7.2.2.3. Oboustranně orientovaný volný a vetknutý polygonový pořad

Jedná se o nejpoužívanější typ polygonového pořadu pro vytyčovací sítě, se třemi nadbytečnými měřeními. Vyrovnání (přibližné) se zpravidla rozkládá do dvou částí, a to na úhlové a souřadnicové vyrovnání.

Oboustranně orientovaný **volný** polygonový pořad se většinou používá v podzemních prostorách, kde směr poslední strany pořadu je určen gyroteodolitem nebo magneticky. Pro ideální volbu pořadu (přímý, se stejně dlouhými stranami a vložený do osy y) platí vzorce pro směrodatnou odchylku i -tého (libovolného) bodu (příčný směr) a n -tého (koncového) bodu ve směru osy x po úhlovém vyrovnání:

$$\sigma_{xi} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{i \cdot (i-1) \cdot [(i-1) \cdot (4k-3i) + 2k]}{12 \cdot k}}, \quad (7.27)$$

$$a \quad \sigma_{xk} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{k \cdot (k^2-1)}{12}}. \quad (7.28)$$

Směrodatné odchylky rozdílu souřadnic sousedních bodů $i, i+1$ a střední strany s ve směru osy x (příčný směr) jsou:

$$\sigma_{\Delta x(i,i+1)} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{i \cdot (k-i)}{k}}, \quad (7.29)$$

$$\sigma_{\Delta x s} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{2 \cdot \rho} \cdot \sqrt{k}. \quad (7.30)$$

Vzorce pro směrodatnou odchylku ve směru osy y jsou stejné jako pro volný polygonový pořad (7.11) a (7.16).

Vzorce pro směrodatnou odchylku i -tého (libovolného) bodu (příčný směr) a s -tého (středního) bodu **vetknutého** pořadu ve směru osy x po úhlovém a souřadnicovém vyrovnání, pro ideální pořad jsou:

$$\sigma_{xi} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{(i-1) \cdot (k-i) \cdot \{(i-1) \cdot (k^2-3i) - k \cdot [i \cdot (i-4) + 1]\}}{12 \cdot k \cdot (k-1)}}, \quad (7.31)$$

$$a \quad \sigma_{xs} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{(k^2-1) \cdot (k^2+3)}{192 \cdot k}} \approx \frac{k \cdot d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{k}{192}}. \quad (7.32)$$

Vzorce pro směrodatné odchylky ve směru osy y (podélný směr) jsou stejné jako pro vetknutý pořad bez orientace (7.22), (7.23) a (7.26).

Směrodatná odchylka rozdílu souřadnic sousedních bodů $i, i+1$ ve směru osy x (příčný směr) je:

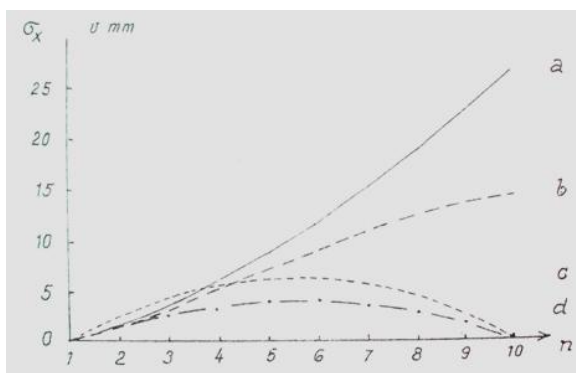
$$\sigma_{\Delta x(i,i+1)} = \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{k^2 \cdot (k+1) - 12 \cdot i \cdot (k-i)}{12 \cdot k \cdot (k-1)}} \approx \frac{d \cdot \sigma_{\omega}}{2 \cdot \rho} \cdot \sqrt{\frac{k}{3}}, \quad (7.33)$$

Pro střední stranu s je vzorec stejný jako pro vetknutý polygonový pořad (7.25).

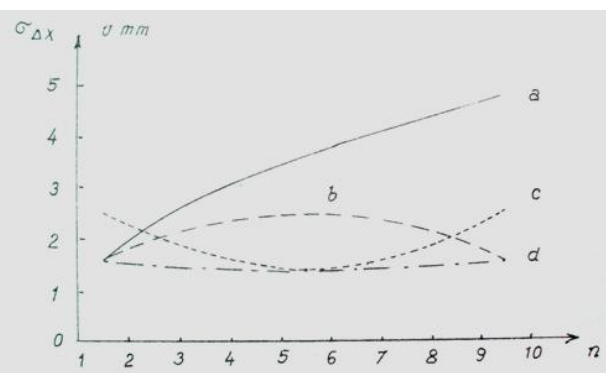
7.2.2.4. Porovnání přesnosti jednotlivých typů polygonových pořadů

Pro porovnání přesnosti jednotlivých typů polygonových pořadů je vhodné použít vzorců odvozených v předchozích odstavcích pro ideální pořad. Závěry, které z porovnání plynou, platí ovšem pro obecnou polohu polygonových pořadů s určitým omezením.

Nejlépe lze porovnat průběh přesnosti jednotlivých typů polygonových pořadů v grafickém znázornění velikosti směrodatných odchylek σ_x ve směru osy x (příčný směr) a σ_y ve směru osy y (podélný směr), a to pro ideální pořad (obr.4 až 7). Křivky jsou vypočteny pro počet vrcholů $n = 10$, délku stran $d = 100$ m, směrodatnou odchylku úhlu $\sigma_\omega = 1$ mgon, směrodatnou odchylku měřené délky (úplnou) $\sigma_{du} = 4,2$ mm (náhodná složka $\sigma_{dn} = 3$ mm, systematická složka $\sigma_{dc} = 3$ mm). V grafech je volný polygonový pořad označen písmenem **a** (vliv pouze náhodné složky v délce a_1 , vliv pouze systematické složky a_2), volný polygonový pořad s orientací i na konci je označen **b**, vetknutý polygonový pořad písmenem **c** a oboustranně orientovaný vetknutý polygonový pořad písmenem **d**.



Obr.4 Směrodatné odchylky bodů polygonových pořadů v příčném směru

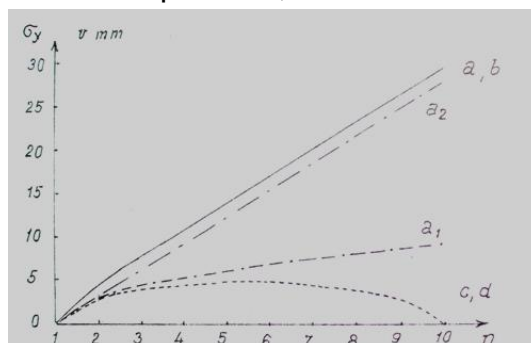


Obr.5 Směrodatné odchylky rozdílů souřadnic sousedních bodů polygonových pořadů v příčném směru

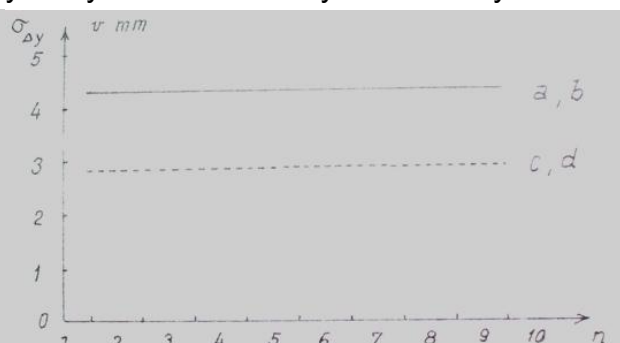
Z obrázku č.4 je zřejmé, že přesnost v příčném směru (pro ideální pořad daná pouze vlivem úhlového měření), charakterizovaná *směrodatnou odchylkou* σ_x u volných polygonových pořadů velmi rychle roste s počtem vrcholů ($n^{3/2}$). Z porovnání nejnepříznivějších hodnot směrodatných odchylek, tj. na konci u volných a uprostřed u vetknutých pořadů je zřejmé, že se vyrovnáním výrazně zvyšuje přesnost. Velmi zhruba platí poměr $a:b:c:d \approx 1:2:4:8$.

Pro *směrodatnou odchylku rozdílů souřadnic* $\sigma_{\Delta x}$ v příčném směru (zde vliv úhlového měření na sousední polygonové body) platí, že hromadění odchylek volného pořadu je příznivější (obr.5). Nejnížší přesnost je u souřadnicových rozdílů na konci volného pořadu, uprostřed u volného pořadu s orientací na konci a na začátku a konci u vetknutého pořadu. U vetknutých pořadů s oboustrannou orientací je přesnost všech souřadnicových rozdílů prakticky stejná (obr.5). Poměr nejnepříznivějších hodnot je $a:(b,c):d \approx 1:1,5:3$.

Orientace u ideálních polygonových pořadů nemá vliv na přesnost v podélném směru (uplatňuje se pouze vliv délkového měření), charakterizovanou *směrodatnou odchylkou* σ_y . U volných pořadů (**a** i **b**) roste směrodatná odchylka náhodná s odmocninou a směrodatná odchylka systematická roste lineárně s počtem bodů. Největší je na konci pořadu (obr.6). U vetknutých pořadů je směrodatná náhodná odchylka největší uprostřed pořadu a sníží se vyrovnáním na polovinu, směrodatná odchylka systematická se vyrovnáním vyloučí.



Obr.6 Směrodatné odchylky bodů polygonových pořadů v podélném směru



Obr.7 Směrodatné odchylky rozdílů souřadnic sousedních bodů polygonových pořadů v podélném směru

U vybočených polygonových pořadů se vliv směrodatné systematické odchylky vyrovnáním sníží, u uzavřených polygonových pořadů vyrovnání na působení systematické složky nemá vliv, a to jak na směrodatnou odchylku bodu, tak i směrodatnou odchylku rozdílu souřadnic sousedních bodů.

Při posuzování přesnosti vytyčení je nutno uvažovat mimo nevyhnutelné chyby měřených veličin (úhly, délky) i vliv daných bodů (vliv podkladu). Polygonové pořady se převážně navazují na body základního bodového pole. Relativní přesnost těchto bodů je charakterizována směrodatnou souřadnicovou odchylkou $\sigma_{x,y} = 15 \text{ mm}$ a tyto body je možno pro další úvahy pokládat za vzájemně nezávislé. V současnosti, při použití přesné měřické techniky, nelze již zanedbávat nepřesnost daných bodů. Zejména u delších polygonových pořadů se mohou projevit místní systematické deformace trigonometrické sítě, které dosahují hodnot 10 mm na 1 km,

Trojúhelníkové řetězce jsou tvořeny řadou trojúhelníků. Měřenými prvky v trojúhelníku mohou být úhly (u volných řetězců je nutno určit rozměr) nebo délky (u volných řetězců je nutno určit orientaci). Je možno použít kombinace obou postupů.

nebo dvě základny. Délka stran bývá kolem 300 m. Používá se dvouvteřinového teodolitu (měří se ve dvou skupinách), většinou s nucenou centrací (trojpodstavcová souprava). Za příznivých podmínek je směrodatná odchylka měřeného úhlu $\sigma_{\omega} = 1$ mgon. V současnosti se řetězce nahrazují spíše dvěma souběžně vedenými polygonovými pořady s občasným vzájemným propojením, nebo metodami GNSS.

Obr.8 Tvar ideálního trojúhelníkového řetězce, měřeného úhlově

7.3.1. Pravidelné (pravoúhelníkové) sítě

Pravoúhelníkové sítě většinou tvoří čtverce (čtvercová síť) nebo méně často obdélníky. Tyto sítě mají řadu předností, především vysokou přesnost a homogenitu (přesnost je v celé síti zhruba stejná). Při pravoúhelníkové zástavbě je lze ztotožnit s projekčními sítěmi a prostým odečítáním lze velmi snadno určit pravoúhlé vytyčovací prvky v místní souřadnicové soustavě. Pravoúhlé sítě se většinou volí jako volné, bez redukci délek ze zobrazení a z nadmořské výšky. Jako počátek se volí vhodný bod a dále se volí orientace sítě (např. přímá osa komunikace či železniční tratě). Body sítě se obvykle osazují betonovými bloky se zapuštěnou kovovou destičkou s vyvrtaným otvorem, tedy tzv. „těžkou stabilizací“, se snahou o zachování stálosti bodů a přesnosti sítě.

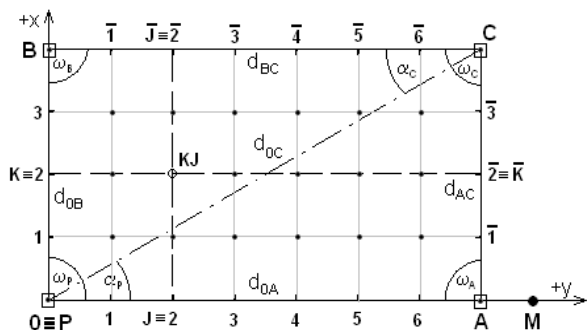
Výhodou tohoto typu sítě je i snadná a dostatečně přesná obnova výstavbou zničených bodů, a to ze stávající sítě jako průsečík dvou přímek. Naopak nevýhodou je pracnost jejich vybudování (vysoké náklady na stabilizaci bodů) a poměrně značná náročnost na tvar terénu (rovinnost) a jeho přehlednost.

Vytyčování pravoúhelníkových sítí probíhá prakticky dvěma způsoby:

- z rámu,
- plošně.

7.3.1.1. Vytyčení z rámu

Při vytyčování pravoúhelníkové sítě z rámu se zachovává zásada „z velkého do malého“ a předpokládána je přímá viditelnost v celé síti. Nejprve se zvolí počátek $0 \equiv P$ a směr osy (v obr.9 je zvolen směr poloosy $+y$ bodem M). Na ni se přibližně vytyčí délka d_{0A} a bod A se stabilizuje betonovým blokem. Přibližná délka d_{0A} se zaměří s požadovanou přesností a realizují se posuny od přibližného vytyčení do konečné polohy bodu A. Posuny se vyznačí na kovové destičce, zapuštěné do hlavy betonového bloku a výsledná poloha bodu se vyznačí jemnou dirkou. Obdobně se vytyčí na kolmicích k ose y body B a C (úhlem a délkou). Poté se provede kontrola úhlového i délkového uzávěru, a to včetně kontroly úhlopříček. Po vytyčení rámu sítě následuje vytyčení podrobných bodů na rámu (body 1 - 3 a 1 - 6) a



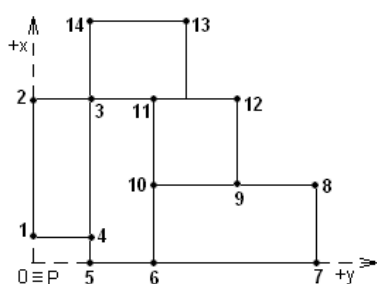
Obr.9 Vytyčení a kontrola rámu pravoúhelníkové sítě

potom zbývající body uvnitř sítě průsečíkovou metodou, tj. jako průsečík dvou přímek na sebe kolmých, daných dvěma body (obr.9).

Tento systém se používá s výhodou při přesném vytyčování patek sloupů při stavbě hal.

7.3.1.2. Plošné vytyčení

Při plošném vytyčení se nejprve určí přibližná poloha všech vrcholů pravoúhelníků a stabilizuje se. Stačí tedy viditelnost jen mezi všemi sousedními body (vrcholy pravoúhelníků). Potom se síť zaměří úhlově a délkově, vyrovná se a po výpočtu souřadnic ve vhodně volené souřadnicové soustavě se určí posuny, které se realizují do vypočtené polohy (obr.10).



Obr.10 Plošné vytyčení pravoúhelníkové sítě

S rozvojem výpočetní a měřické techniky (především elektronických dálkoměrů) přestaly být uvedené výhody pravoúhelníkových vytyčovacích sítí jejich předností a jsou nahrazeny jinými typy vytyčovacích sítí.

7.3.2. Nepravidelné sítě bez přímé vzájemné návaznosti

V inženýrské geodézii je potřebné, aby byla známa přesnost používaných metod. Je to jeden z parametrů pro rozhodnutí, jakým měřickým postupem bude zadaný úkol řešen.

Nepravidelné sítě, které sestávají z bodů bez přímé vzájemné návaznosti, jsou určovány elementárními geodetickými metodami, kterými se počítají souřadnice jednoho bodu a počet určujících prvků je nutný. Těmito prvky jsou dané body a měřené veličiny. Počet daných bodů je různý, a to od jednoho (polární metoda se směrníkem měřeným gyroteodolitem) až po čtyři (protínání vpřed ze směrníků). Měřenými veličinami jsou délky, úhly, směrníky a osnova směrů. U protínání zpět je možné měřit dva úhly vzájemně nezávisle nebo je odvodit z osnovy tří směrů. Potom tyto dva zprostředkující úhly jsou vzájemně vázané, což se při odvození přesnosti musí respektovat. Z přesnosti daných bodů se počítá vliv podkladu, z přesnosti měřených veličin se počítá vliv měření na přesnost souřadnic určovaného bodu.

7.3.2.1. Elementární geodetické úlohy a jejich přesnost

Elementární geodetické úlohy patří do vázaných sítí. Tyto úlohy splňují podmínku:

$$m - n + p = 0, \quad (7.34)$$

kde m je počet zprostředkujících geometrických veličin,

n - počet souřadnic konfigurace,

p - počet podmínek připoutání sítě (bodu).

Je-li $n = {}^1n + {}^2n$,

kde 1n je počet určovaných souřadnic a 2n je počet daných souřadnic, potom při $p = {}^2n$ bude mít rovnice (7.34) tvar $m = {}^1n = 2$.

K výpočtu souřadnic určovaného bodu jsou nutné dvě rovnice. Totéž platí i pro určení přesnosti bodu, tj. směrodatné odchylky v souřadnicích x, y (σ_x, σ_y).

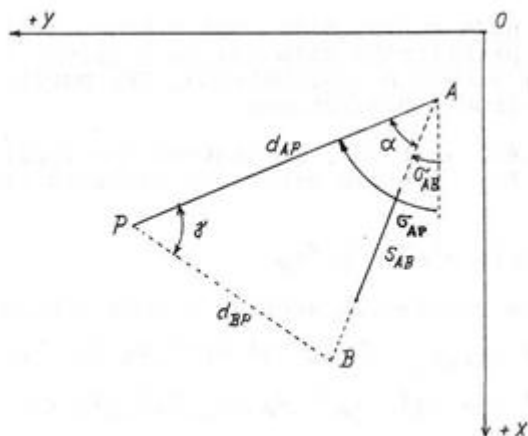
Některé z těchto metod mohou být použity i pro vytyčování polohy, tvaru a rozměru stavebního objektu. Protože dále uvedené vzorce pro přesnost (směrodatnou odchylku) metody mají obecnou platnost, lze jich použít i v kap.10 (polohové vytyčování), ovšem s jinými délkami, zpravidla výrazně kratšími.

Protože každá etapa při vytyčování musí být kontrolována některým z dříve uvedených způsobů, je v dalších úvahách použita kontrola dvojím měřením stejným postupem a za stejných podmínek. Testovat je možné dvojici měřených veličin nebo dvojí určení bodu.

Vzhledem k rozšíření elektronických tachymetrů (totálních stanic) v praxi, zde bude řešena pouze polární metoda, a to prostřednictvím explicitních rovnic.

7.3.2.2. Polární metoda (rajón vpřed)

Měřenými veličinami jsou vnější úhel α a délka d_{AP} (obr.11).



Obr.11 Polární metoda (rajón vpřed)

Výchozí rovnice pro výpočet souřadnic určovaného bodu P jsou:

$$y_P = y_A + d_{AP} \cdot \sin(\sigma_{AB} + \alpha), \quad (7.35)$$

$$x_P = x_A + d_{AP} \cdot \cos(\sigma_{AB} + \alpha). \quad (7.36)$$

Vliv měřených veličin

Rovnice pro náhodné odchylky v souřadnicích x a y bodu P jsou:

$$\varepsilon_{yP} = \varepsilon_{d_{AP}} \cdot \sin \sigma_{AP} + d_{AP} \cdot \cos \sigma_{AP} \cdot \varepsilon_{\alpha}, \quad (7.37)$$

$$\varepsilon_{xP} = \varepsilon_{d_{AP}} \cdot \cos \sigma_{AP} - d_{AP} \cdot \sin \sigma_{AP} \cdot \varepsilon_{\alpha}. \quad (7.38)$$

Polární metoda je z hlediska teorie chyb nejjednodušší elementární metoda. Rovnice pro směrodatné odchylky v souřadnicích x a y jsou:

$$\sigma_{yP} = \sqrt{(\sigma_d \cdot \sin \sigma_{AP})^2 + (d_{AP} \cdot \cos \sigma_{AP} \cdot \sigma_{\alpha}/\rho)^2}, \quad (7.39)$$

$$\sigma_{xP} = \sqrt{(\sigma_d \cdot \cos \sigma_{AP})^2 + (d_{AP} \cdot \sin \sigma_{AP} \cdot \sigma_{\alpha}/\rho)^2}. \quad (7.40)$$

Směrodatná souřadnicová odchylka je:

$$\sigma_{xyP} = \sqrt{\frac{\sigma_{yP}^2 + \sigma_{xP}^2}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (\sigma_d^2 + d_{AP}^2 \cdot \sigma_{\alpha}^2/\rho^2)}. \quad (7.41)$$

V rovnicích (7.35) až (7.41) jsou:

- σ_{AP}, σ_{AB} - směrníky strana AP a AB,
- d_{AP}, s_{AB} - délky stran AP a AB,
- α - polární úhel,
- σ_d - směrodatná odchylka měřené délky d,
- σ_α - směrodatná odchylka měřeného úhlu α .

Vliv daných veličin

Rovnice pro směrodatnou odchylku v souřadnicích x a y , za zjednodušujícího předpokladu, že směrodatné odchylky daných bodů jsou stejné ($\sigma_{VA} \approx \sigma_{XA} \approx \sigma_{XB} \approx \sigma_{XB} = \sigma_{XVA}$) jsou:

$$\sigma_{yP} = \sigma_{xyA} \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot d_{AP} \cdot d_{BP}}{s_{AB}^2} \cdot \cos \sigma_{AP} \cdot \cos \sigma_{BP}} \quad (7.42)$$

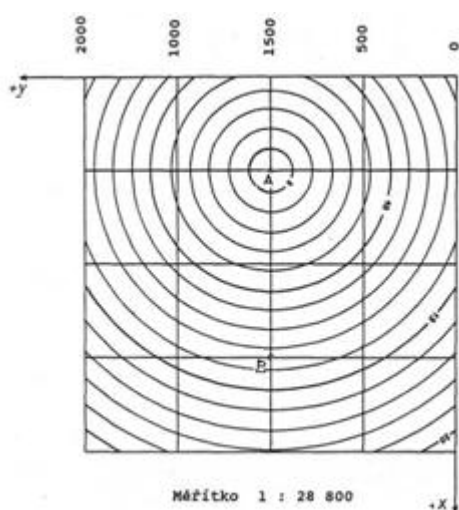
$$\sigma_{xP} = \sigma_{xyA} \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot d_{AP} \cdot d_{BP}}{s_{AB}^2} \cdot \sin \sigma_{AP} \cdot \sin \sigma_{BP}} \quad (7.43)$$

Směrodatná souřadnicová odchylka je:

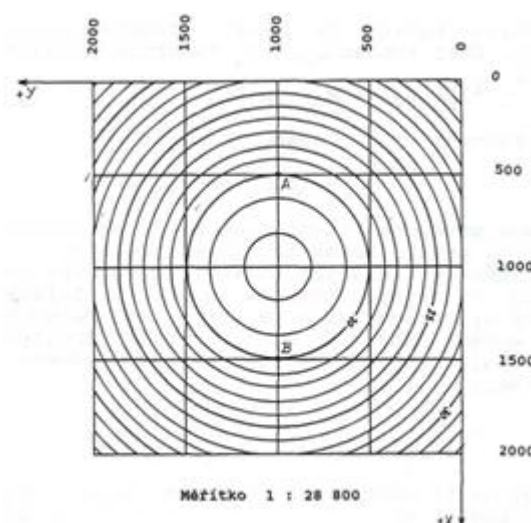
$$\sigma_{xyP} = \sigma_{xyA} \cdot \sqrt{1 + \frac{d_{AP} \cdot d_{BP}}{s_{AB}^2} \cdot \cos(\sigma_{BP} - \sigma_{AP})} \quad (7.44)$$

Hodnocení metody:

a) izoliniemi, charakterizovanými směrodatnou odchylkou σ_{xy}

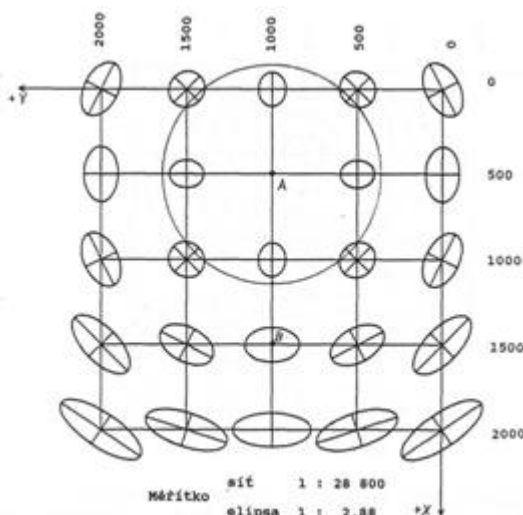


Obr.12 Vliv měřených veličin

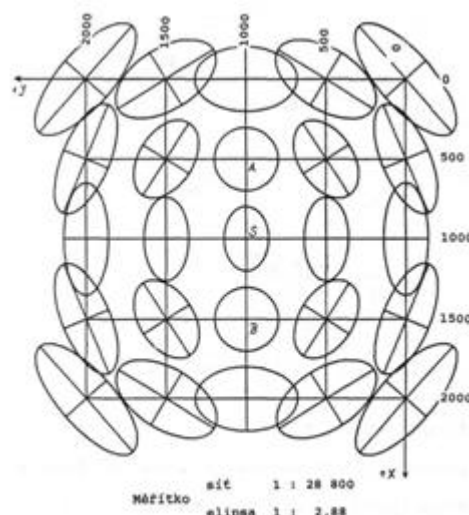


Obr.13 Vliv podkladu

b) elipsami chyb



Obr.14 Elipsy chyb (vliv měřených veličin)

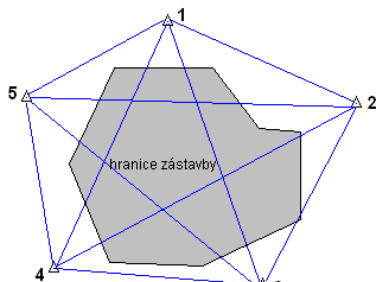


Obr.15 Elipsy chyb (vliv podkladu)

7.3.3 Metoda přechodných stanovisek

Metoda přechodných (volných) stanovisek byla vyvinuta s rozvojem výpočetní a měřické techniky a prakticky nahradila klasický způsob budování plošných vytyčovací sítě. Vycházelo se přitom z požadavků ekonomických (náklady na stabilizaci, zaměření, výpočty, obnovu bodů zničených stavební činností atd.) a technologických (možnost operativní volby vytyčovacího stanoviště s ohledem na okamžitou viditelnost, možnost výpočtu vytyčovacích prvků přímo na stanovisku a vytyčení při jednom postavení přístroje).

Při metodě přechodných stanovisek se nejprve buduje tzv. **výchozí vytyčovací síť**, která je velmi řídká (5 až 8 bodů – obr.16) a její body jsou umístěny zpravidla mimo prostor výstavby, pokud možno na vyvýšených místech s ohledem na viditelnost ze zájmového prostoru. Buduje se obvykle před zahájením výstavby a body se důkladně stabilizují tak, aby zůstaly zachovány po celou dobu výstavby. Měří se všechny viditelné délky a úhly a síť se vyrovná MNČ jako volná. Na státní síť se připojí Helmertovou transformací, při zachování rozměru a tvaru sítě. Body výchozí vytyčovací sítě je možno určit i metodami GNSS.



Obr.16 Metoda přechodných stanovisek - výchozí vytyčovací síť

Z výchozí vytyčovací sítě se potom zaměřují **přechodná stanoviště**, stabilizovaná pouze dočasně (kolíkem, trubkou apod.) v blízkosti vytyčovaného objektu. Přímou v terénu se po zaměření úhlů a délek z přechodného stanoviště, vypočtou jeho souřadnice. Z nich a zadaných souřadnic rohů projektovaných objektů se vypočtou obvykle polární vytyčovací prvky a vytyčí charakteristické body objektu, popř. i body podrobné.

Z přechodných stanovisek se dále zaměřují body tzv. **zhušťovací vytyčovací sítě**, které se volí na již postavených objektech (vyvinuta speciální stabilizace s použitím „kleští“ určujících jednoznačně polohu bodu), s ohledem na ztrátu viditelnosti bodů výchozí vytyčovací sítě s rostoucí zástavbou.

Přechodná stanoviště se určují takovými metodami, které umožňují měření pouze na přechodném stanovisku (efektivita jejich určení). Obvykle se jedná o kombinaci úhlového a délkového měření, což při trvalém osazení odrazných terčů (nalepovacích fólií) je velice efektivní. Je vyžadováno alespoň jedno nadbytečné měření pro kontrolu a zvýšení přesnosti. Jako vhodné připadají:

- metoda protínání zpět (pouze úhlové měření – alespoň 5 bodů pro dvě kombinace),
- protínání z délek (pouze délkové měření – alespoň 3 délky),
- kombinace protínání zpět a rajónu s orientací na konci (3 směry a délka),
- vetknutý polygonový pořad (2 délky a úhel).

Úlohu lze obecně řešit vyrovnáním MNČ, které je obsaženo v softwaru současných totálních stanic.

Polohová přesnost všech tří uvedených typů této sítě (výchozí, přechodná stanoviště a zhušťovací) je při dodržování všech zásad zhruba stejná. Přesnost výchozí vytyčovací sítě v poloze je do 1 cm. U přechodných stanovisek i u zhušťovací vytyčovací sítě se snižuje vliv podkladu (vychází se ze 3 až 4 bodů), přistupuje však vliv měření.

10 POLOHOVÉ VYTYČOVÁNÍ

Pod pojem polohového vytyčování se zahrnuje **vytyčení prostorové polohy**, dané **charakteristickými body objektu (CHB) nebo hlavními body trasy (HB)** (podle druhu stavby) a **hlavními výškovými body (HVB)** a dále **podrobné vytyčení**, tj. vytyčení **rozměru a tvaru** objektu či liniové stavby. Do podrobného vytyčení se zahrnuje i vytyčování vztažných přímek půdorysné osnovy (modulové osnovy) apod. Vytyčení se většinou provádí odděleně ve dvou fázích, tedy nejprve vytyčení prostorové polohy objektu a na něj navazuje podrobné vytyčení [4].

Přesnost vytyčování je předepsána v ČSN [3],[4], a to jak pro vytyčení prostorové polohy, tak pro podrobné vytyčení objektu. Za vytyčení polohy je možno považovat i vhodné body vytyčovací sítě. Někdy se CHB či HB a podrobné body vytyčují současně, ale přesnost vytyčení musí vyhovovat oběma předepsaným požadavkům. Správnost rozměru objektu zaručuje vytyčení délky spojnice dvou sousedních bodů (úsečky) s projektovanou (požadovanou) přesností a správnost tvaru objektu zaručuje vytyčení úhlu sevřeného dvěma úsečkami (danými třemi body) s požadovanou přesností. V bakalářském studiu bude věnována pozornost pouze přesnosti bodu. Přesnosti jejich vzájemných vztahů se bude věnovat předmět ING2 v navazujícím magisterském studiu. Ve stavebnictví se používá ještě termínu "orientace", tj. vztah přímek (stěn objektu) k nějaké základní přímce (hlavní polohové čáře či ose), např. rovnoběžnost. Z hlediska hodnocení přesnosti vytyčení lze orientaci zahrnout pod tvar objektu.

Polohové vytyčovací odchylky se stanoví ve dvou vzájemně kolmých směrech, a to buď ve směru souřadnicových os, nebo ve směru podélném a příčném k hlavní polohové čáře, hlavní ose objektu nebo ose liniové stavby. Přesnost vytyčovacích prvků pro vytyčení prostorové polohy se odvozuje z odpovídajících mezních odchylek. Mezní odchylky podrobného vytyčení jsou stanoveny pro rozměr a tvar objektu a pro polohu jeho částí vzhledem k CHB, nebo vzhledem k HB trasy (podle druhu stavby). Hodnoty mezních vytyčovacích odchylek jsou stanoveny v ČSN [4]. Tato norma je dle současné legislativy pouze doporučená. Každé vytyčení musí být kontrolováno a zpravidla se používá měřické dvojice (vytyčení a kontrola vytyčení, která je součástí procesu). V příloze ČSN [3] jsou uvedeny parametry přesnosti vytyčování podle velikosti příslušné směrodatné odchylky σ ; měřené veličiny (délky, úhly, převýšení, svislosti) a tomu odpovídající přístrojové vybavení a pomůcky. Při vytyčování se mají používat směrné hodnoty vytyčovacích prvků (pokud je to předepsáno v projektové dokumentaci), tj. hodnoty opravené o vnější a vnitřní vlivy, které působí na objekt jako např. teplota, dotvarování apod.

Metod, které se používají k vytyčování bodu je celá řada a jejich volba je závislá na druhu stavby, na požadované přesnosti, na přístrojovém vybavení, hospodárnosti postupu apod. Základní postupy jsou následující:

- polární metoda
- ortogonální metoda,
- protínání vpřed,
- protínání z délek,
- průsečiková metoda,
- metoda GNSS.

V současnosti se nejčastěji používá polární metody ve spojení s elektronickým tachymetrem. Tato metoda, pokud je k dispozici odpovídající vybavení, je velmi přesná a hospodárná, a to jak z hlediska délky měřického procesu, tak i počtu pracovníků. Ostatní metody je možno považovat za doplňkové. U ortogonální metody je výhoda v jednoduchém vybavení. Protínání vpřed je metoda velmi přesná (závislá na kvalitě teodolitu), ale je časově náročná. Používá se, je-li problematické umístění odrazného hranolu při polární metodě, nebo není-li k dispozici dálkoměr. Protínání z délek se používá výjimečně, např. při vyhledávání bodu podle topografie. Průsečiková metoda je velmi přesná a využívá se při opakovaných vytyčeních. Využití metod GNSS se v současnosti rychle rozvíjí.

10.1. VYTYČOVÁNÍ POLÁRNÍ METODOU

Polární metoda je v současnosti pokládána za základní vytyčovací postup a proto je jí v těchto skriptech věnována větší pozornost než ostatním postupům.

Přesnost určení bodu polární metodou je podrobně rozebrána v [1, kap.7.3.2.2]. Všechny vzorce platí i pro polární vytyčování, liší se však vliv délkového a úhlového měření na přesnost polohy vytyčeného bodu. U vytyčovacích sítí, kde je délka rajónu podstatně větší

než při vytyčování, bývá vliv délkového měření menší než vliv úhlového měření, ale u vytyčování je tomu naopak.

Vytyčování lze rozdělit podle požadované přesnosti vytyčení polohy bodu, charakterizované směrodatnou souřadnicovou odchylkou σ_{xy} na:

- běžné vytyčení se $\sigma_{xy} > 10$ mm,
- přesné vytyčení se $\sigma_{xy} < 10$ mm.

Těmto požadavkům odpovídá technologie měření.

Při *běžném vytyčování* se bod vytyčuje postupným přibližováním a zaměřením vytyčeného bodu se kontroluje správnost vytyčení.

Při *přesném vytyčování* se vytyčení převádí na měření. Nejprve se bod vytyčí přibližně (zhruba $\sigma_{xy} = 50$ mm) a tento bod se zaměří s požadovanou přesností. Z rozdílu mezi vytyčovanou hodnotou geometrické veličiny a hodnotou naměřenou se určí příčný posun q a podélný posun d :

$$p_q = (\omega - \omega_m) \cdot d / \rho, \quad p_d = d - d_m \quad (10.1)$$

kde ω, ω_m jsou hodnoty vytyčovaného (projektovaného) a naměřeného úhlu,
 d, d_m - hodnoty vytyčované a naměřené délky.

Podrobnosti jsou uvedeny v [2]. Posuny jsou počítány přímo při měření a podle typu přístroje a vybavení jsou předávány na vytyčovaný bod, kde jsou realizovány na vhodné stabilizaci. Měřický postup lze tak zdokonalit, že k vytyčování stačí jeden pracovník, což je ekonomicky výhodné (tzv. "One Man System"). Realizace posunů (včetně promítnutí optickým provažovačem) je poměrně přesná a ve většině případů relativně neovlivní přesnost vytyčovaného bodu.

Přesnost vytyčování bodu polární metodou

Vzorce pro určení přesnosti bodu zaměřeného polární metodou jsou uvedeny v [1, kap.7.3.2.2]. Je však určitý rozdíl mezi vytyčováním a měřením. Vzorce pro vliv měřených veličin se proto musí částečně upravit. Jak bylo uvedeno v kap.10.1, je při přesném vytyčování nutno uvažovat vliv promítání (provažování) a realizace posunů. O tento vliv je nutno zmíněné vzorce doplnit. Směrodatnou odchylku v realizaci σ_r lze odhadnout pro jeden směr hodnotou 1 mm. Potom se např. rovnice pro poloosy elipsy chyb doplní následovně:

$$a^2 = \sigma_d^2 + \sigma_r^2, \quad b^2 = d_{AP}^2 \cdot \frac{\sigma_\alpha^2}{\rho^2} + \sigma_r^2 \quad (10.2)$$

kde a, b jsou poloosy elipsy chyb,

σ_d - směrodatná odchylka měřené délky,

σ_α - směrodatná odchylka měřeného úhlu α ,

σ_r - směrodatná odchylka v realizaci bodu,

d_{AP} - délka strany.

Tab.10.1 Velikost poloos elips chyb

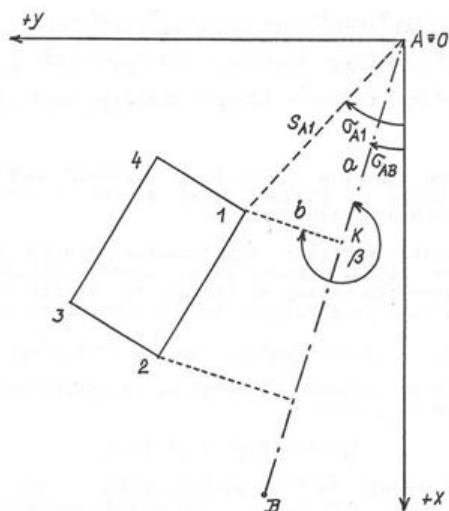
poloosa	délka d		
	25	50	100
a	3,2	3,3	3,4
b	1,1	1,3	1,9

V tab.10.1 jsou uvedeny v mm velikosti poloos elips chyb **a** (v podélném směru) a **b** (v příčném směru) pro $\sigma_\alpha = 1$ mgon, $\sigma_d = (3\text{mm} + 2 \cdot d \cdot 10^{-6})$, kde d je délka v km), $\sigma_r = 1$ mm a pro zvolené délky $d = 25; 50; 100$ m.

Z tab.10.1 vyplývá (pro dané podmínky), že v příčném směru se dostávají lepší výsledky než v podélném a přesnost vytyčení se pro uvažované délky rážou výrazněji nemění.

10.2 VYTYČOVÁNÍ BODU ORTOGONÁLNÍ METODOU

Ortogonalní metoda se používá u jednoduchých staveb, kde se nevyžaduje vyšší přesnost. Pro řadu objektů však metoda vyhovuje. Páty kolmic se zařazují do přímky a kolmice vytyčují dvojitém pentagonem. Vyšší přesnosti se dosáhne použitím teodolitu, ovšem zvyšuje se pracnost. Jedná se o zvláštní (jednoduchý) volný polygonový pořad.



Obr.17 Vytyčování ortogonální metodou

K vytyčení polohové čáry postačí vytyčit pouze CHB 1,2 (obr.17) a od této spojnice se ortogonálně vytyčují zbývající body 3,4 (podrobné vytyčení). Délky se vytyčují pásmem.

Souřadnice bodu 1 se vypočtou z rovnic:

$$y_1 = y_A + a \cdot \sin(\sigma_{AB} + \alpha) + b \cdot \sin(\sigma_{AB} + \alpha + \beta - 200), \quad (10.3)$$

$$x_1 = x_A + a \cdot \cos(\sigma_{AB} + \alpha) + b \cdot \cos(\sigma_{AB} + \alpha + \beta - 200), \quad (10.4)$$

kde **a, b** jsou délka staničení a délka kolmice,

α - úhel zařazení paty kolmice do přímky (**α** = 0 gon),

β - úhel kolmice (**β** = 300 gon),

σ_{AB} - směrnik strany A,B.

Vzorce pro náhodnou odchylku určovaného bodu 1 jsou:

$$\varepsilon_{x1} = \varepsilon_{xA} - \varepsilon_{\sigma_{AB}} \cdot S_{A1} \cdot \sin \sigma_{A1} + \varepsilon_a \cdot \cos \sigma_{AB} - \varepsilon_b \cdot \sin \sigma_{AB} + \varepsilon_{\alpha} \cdot S_{A1} \cdot \sin \sigma_{A1} - \varepsilon_{\beta} \cdot b \cdot \cos \sigma_{AB} + \varepsilon_{rx1}, \quad (10.5)$$

$$\varepsilon_{y1} = \varepsilon_{yA} - \varepsilon_{\sigma_{AB}} \cdot S_{A1} \cdot \cos \sigma_{A1} + \varepsilon_a \cdot \sin \sigma_{AB} + \varepsilon_b \cdot \cos \sigma_{AB} + \varepsilon_{\alpha} \cdot S_{A1} \cdot \cos \sigma_{A1} - \varepsilon_{\beta} \cdot b \cdot \sin \sigma_{AB} + \varepsilon_{ry1}. \quad (10.6)$$

Po přechodu na směrodatné odchylky (pro vliv měřených veličin) bude:

$$\sigma_{x1}^2 = \sigma_a^2 \cdot \cos^2 \sigma_{AB} + \sigma_b^2 \cdot \sin^2 \sigma_{AB} + \left(\frac{\sigma_{\alpha} \cdot S_{A1} \cdot \sin \sigma_{A1}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\beta} \cdot b \cdot \cos \sigma_{AB}}{\rho} \right)^2 + \sigma_{rx1}^2, \quad (10.7)$$

$$\sigma_{y1}^2 = \sigma_a^2 \cdot \sin^2 \sigma_{AB} + \sigma_b^2 \cdot \cos^2 \sigma_{AB} + \left(\frac{\sigma_{\alpha} \cdot S_{A1} \cdot \cos \sigma_{A1}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\beta} \cdot b \cdot \sin \sigma_{AB}}{\rho} \right)^2 + \sigma_{ry1}^2. \quad (10.8)$$

Směrodatná souřadnicová odchylka je:

$$\sigma_{xy1} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \left(\frac{\sigma_{\alpha} \cdot S_{A1}}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\beta} \cdot b}{\rho} \right)^2 + 2 \cdot \sigma_r^2 \right]} \quad (10.9)$$

Ve vzorcích (10.7) až (10.9) jsou:

σ_a, σ_b - směrodatné odchylky měřených délek **a, b**,

σ_α - směrodatná odchylka zařazení paty kolmice do přímky,

σ_β - směrodatná odchylka vytyčení směru kolmice,

σ_r - směrodatná odchylka realizace bodu 1,

S_{A1} - délka strany A,1,

b - délka kolmice,

σ_{A1}, σ_{AB} - směrnik strany A,1 a strany A,B.

Směrodatná odchylka (pro vliv daných veličin) je stejná jako pro polární metodu a platí tedy rovnice (7.42) až (7.44).

10.3 VYTYČOVÁNÍ BODU PROTÍNÁNÍM VPŘED

Tento postup vytyčování je málo používaný. Aby bylo možno bod vytyčit, je nutné použít dvou teodolitů a vytyčovaný bod vyhledat současně z obou stanovisek. Přesnost je závislá na tvaru trojúhelníku, přesnosti měření, ale zejména na vzdálenosti k určovanému bodu.

Z toho vyplývá, že pro krátké záměry, jaké jsou při vytyčování běžné, lze dosáhnout vysoké přesnosti. Dalším zdrojem nepřesností může být chyba v realizaci bodu. Není-li při vytyčování vidět přímo na vytyčovaný bod (kolík), pak promítnutí vytyčovaného směru olovnicí nebo výtyčkou může přesnost vytyčení výrazně zhoršit.

10.4 VYTYČOVÁNÍ BODU PROTÍNÁNÍM Z DÉLEK

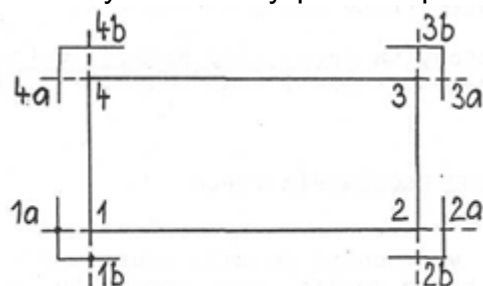
Pro větší vzdálenosti se tento postup nepoužívá, protože podstatně jednodušší je použití polární metody. Používá se však pro krátké vzdálenosti, které nejsou delší než délka pásma. K vytyčování se používá dvou pásem a bod se dostává jako průsečík dvou kružnic. Tato metoda slouží zejména k vyhledávání již určených bodů.

10.5 VYTYČOVÁNÍ BODU PRŮSEČÍKOVÝM ZPŮSOBEM

Tento postup je určitou obdobou metody protínání vpřed, kdy přímka není zadána bodem a směrníkem, ale dvěma body. Bod se vytyčuje jako průsečík dvou přímek, obvykle na sebe vzájemně kolmých, které jsou zadány dvěma trvale stabilizovanými body. Spojnice bodů může být u krátkých vzdáleností realizována např. drátem, strunou apod. Pro větší vzdálenosti se používá záměrné přímký teodolitu. Vytyčení průsečíku je velmi přesné, a to zejména u vzájemně kolmých přímek, kdy je úhel průseku ideální (často je chyba prakticky zanedbatelná). Rozhodujícím zdrojem nepřesností je poloha daných čtyř bodů, popř. chyba z realizace, t.j. z provázení průsečíku na terén či na stabilizaci.

Vytyčování rohů objektu

Prakticky se metody používá při vytyčování pozemních staveb (obr.18), zejména tehdy,



Obr.18 Vytyčování bodů průsečíkovým způsobem, pomocí laviček

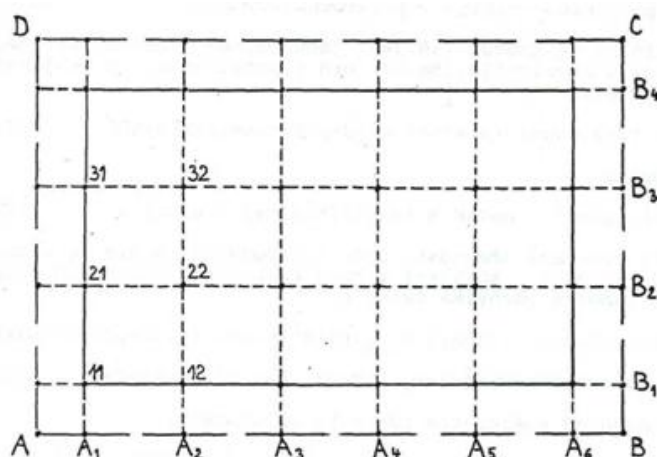
když se vytyčení několikrát opakuje. Některou z dříve uvedených metod se vytyčí body 1 až 4. Tyto body se zajistí ve vhodné vzdálenosti na lavičkách (vodorovné prkno připevněné na dvou kůlech). Protože při výkopových pracích se původně vytyčené body zničí, obnovují se průsečíkovým způsobem ze zajišťovacích bodů na lavičkách. Tato vytyčení zpravidla již neprovádí geodeti.

Poznámka: Prkno lavičky se usazuje do vodorovné polohy vzhledem ke skutečnosti, že slouží k výškovému vytyčování objektu (výška horní hrany

prkna je určena s přesností odpovídající výkopovým pracím, tedy na centimetry, odsazená od ± 0 , zpravidla o 1 m).

Vytyčování patek sloupů

Při průmyslové výstavbě se tohoto způsobu používá při vytyčování patek sloupů. Na rozdíl

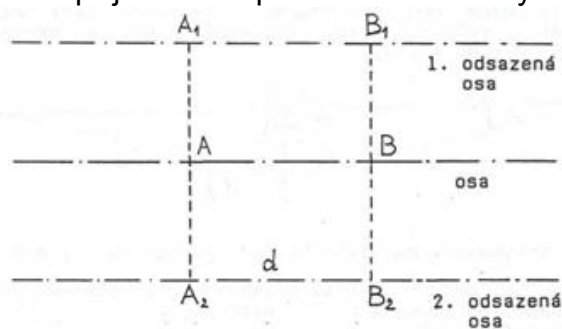


Obr.19 Vytyčování patek sloupů

od předcházejícího postupu se přímo vytyčují zajišťovací body a z nich potom body patek (obr.19). Přesnost vytyčení rozhodujícím způsobem ovlivňuje přesnost vytyčení rámu pravoúhelníkové sítě. Postupuje se tak, jak je popsáno v kapitole 7.3.1.

Vytyčování bodu z odsazených os

Postup je často používán u liniových



Obr. 20 Vytyčování bodu z odsazených os

staveb (dopravních, vodohospodářských), kde vytyčené body osy jsou po zahájení zemních prací zničeny, popř. osu nelze stabilizovat (vodní tok).

Odsazené osy jsou zpravidla dvě, oboustranně vedené v konstantní zaokrouhlené vzdálenosti od osy a rovnoběžně s ní. Body osy se určují na spojnici odsazených párových bodů A_1, A_2, B_1, B_2 atd. (obr.20). Body jsou stabilizovány a mají být zachovány po celou dobu stavby.

10.6 VYTYČOVÁNÍ JEDNODUCHÝCH GEOMETRICKÝCH PRVKŮ

V inženýrské geodézii se často vytyčují jednoduché geometrické prvky. Těmi jsou:

- přímka,
- kolmice,
- rovnoběžka.

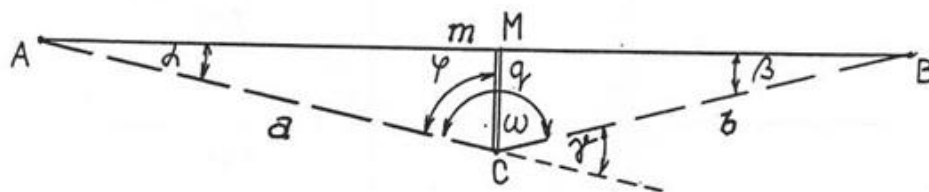
10.6.1 Vytyčování přímek

Vytyčování přímky v inženýrské geodézii patří mezi nejjednodušší úlohy, i když v některých případech mohou nastat komplikace, např. v nepřehledném terénu nebo nejsou-li dané body přístupné. Úlohu lze rozdělit na:

- vytyčení mezilehlých bodů,
- prodloužení přímky,
- postupné vytyčování přímky.

10.6.1.1 Vytyčování mezilehlých bodů přímky

- a) Jsou-li dané body přístupné a je-li mezi nimi přímá viditelnost, jedná se o nejjednodušší případ. Na jednom koncovém bodě se centruje teodolit a zacílí se na druhý koncový bod. Vytyčovaný bod se do přímky zařazuje. Nejsou-li všechny body ve stejné výšce, je nutné vytyčovat ve dvou polohách dalekohledu, aby se vyloučil vliv přístrojových vad. Předpokladem je urovnaná a rektifikovaná alhidádová libela.
- b) Jsou-li dané body přístupné, ale není mezi nimi přímá viditelnost, vytyčuje se mezilehlý bod z excentrického stanoviska C (obr.21).



Obr. 21 Vytyčování mezilehlého bodu přímky (délky a, b známé)

Po zvolení bodu C (poblíž přímky) se z měřeného úhlu α (β) a známé (např. odměřené z mapy) nebo měřené délky a (b) vypočte délka q (10.10). Pokud je q relativně malé, vytyčí se směr na bod M přibližně. Je-li q větší, vypočte se úhel φ a vytyčí.

$$q = a \cdot \sin \alpha = b \cdot \sin \beta ; \quad \varphi = 100 - \alpha , \quad (10.10)$$

- c) Jsou-li body A, B nepřístupné, ale délky a, b známé (obr.21), řešení je složitější. Na pomocném bodě C se měří úhel ω a vzdálenosti a, b se odměří z mapy. Z bodu C se určí bod na přímce pomocí délky q , vypočtené z rovnice (10.11). Řešení vychází z plochy trojúhelníka ABC:

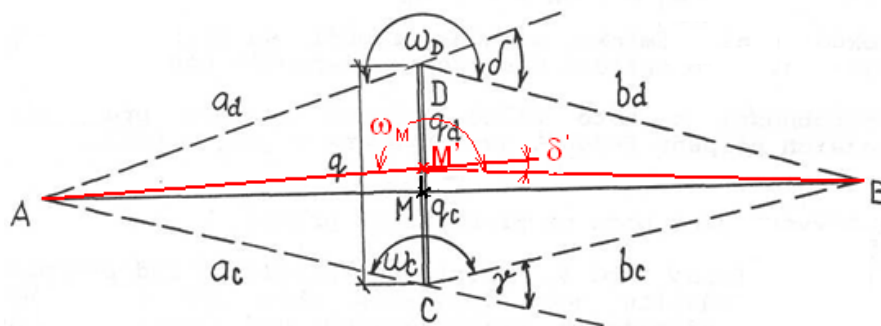
$$2P = a \cdot b \cdot \sin \omega = q \cdot m \approx q \cdot (a + b) \quad (10.11)$$

Pro malé q platí vztah s dostatečnou přesností. Protože platí (obr.21) $\gamma = 200 - \omega$, lze podle znaménka úhlu γ určit, kterým směrem se vytyčuje délka q . Vzhledem k velikosti úhlu γ je možno ve vzorci (10.11) nahradit sinus úhlem v obloukové míře. Potom:

$$q \approx \frac{a \cdot b}{a+b} \cdot \frac{\gamma}{\rho} \quad (10.12)$$

Směr posunu q se určí podobně jako v případě b).

- d) Jsou-li body A,B nepřístupné a délky a, b nejsou známy, volí se trojúhelníky dva (obr.22). Na bodech C,D se měří vodorovné úhly ω_c, ω_d a délka q mezi nimi. Úsečka q se volí zhruba kolmá ke spojnici A,B. Úhel $\gamma = 200 - \omega_c$ a $\delta = \omega_d - 200$ gon. Úhel δ (popř. γ) může být záporný.



Obr.22 Vytyčování mezilehlého bodu přímky (délky a, b neznámé)

Podle rovnice (10.12) platí:

$$q_c \approx \frac{a_c \cdot b_c}{a_c + b_c} \cdot \frac{\gamma}{\rho}, \quad q_d \approx \frac{a_d \cdot b_d}{a_d + b_d} \cdot \frac{\delta}{\rho} \quad (10.13)$$

Protože úsečka q je relativně k délce A,B krátká, bude:

$$a_c \approx a_d, \quad b_c \approx b_d \text{ a dále } q_d = q - q_c.$$

Potom z rovnice (10.13) platí: $\frac{q_c}{q_d} \approx \frac{\gamma}{\delta}$

a po dosazení za q_d a úpravě bude:

$$q_c \approx \frac{\gamma \cdot q}{\gamma + \delta} \quad \text{a obdobně} \quad q_d \approx \frac{\delta \cdot q}{\gamma + \delta}. \quad (10.14)$$

Při správném výpočtu je $q_c + q_d = q$.

Realizací posunů q_c a q_d se získá bod M' (zhruba na přímce) a na něm se změří kontrolně úhel $\omega_{M'}$. Je-li úhel $\omega_{M'} < 200$ gon, získá se podle obr.22 úhel γ' , při úhlu $\omega_{M'} > 200$ gon, jde o úhel δ' . Pro výpočet posunu q_M platí analogicky rovnice (10.13). Odtud:

$$q_M = \frac{q_c \cdot \gamma'}{\gamma}, \quad \text{popř.} \quad q_M = \frac{q_d \cdot \delta'}{\delta}. \quad (10.15)$$

Vzorec pro směrodatnou odchylku posunu q_c , za předpokladu, že platí $\sigma_\gamma \approx \sigma_\delta$, je:

$$\sigma_{q_c} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_q \cdot q_c}{q}\right)^2 + \frac{\sigma_\gamma^2 \cdot (q_c + q_d)^2}{(\gamma + \delta)^2 \cdot \rho^2}} \quad (10.16)$$

Vzorec pro směrodatnou odchylku posunu q_M je:

$$\sigma_{q_M} = \frac{q_M \cdot \sigma_{\gamma'}}{\gamma'}. \quad (10.17)$$

Ve vzorcích (10.16) a (10.17) jsou:

- q_c, q_M, q - délky úseček,
- $\sigma_{q_c}, \sigma_{q_M}, \sigma_q$ - směrodatné odchylky délek úseček,
- γ, γ' - úhel měřený na bodech C a M,
- $\sigma_\gamma, \sigma_{\gamma'}$ - směrodatná odchylka úhlů měřených na bodech C a M.

Je-li stanovena podmínka pro přesnost zařazení bodu do přímky δ_{Mq} , je úloha splněna, bude-li:

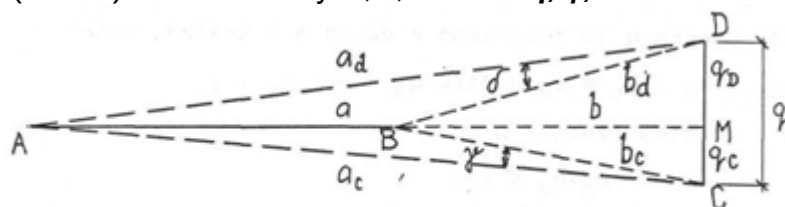
$$\delta_{Mq} \geq |q_M| + 2\sigma_{qM} . \quad (10.18)$$

Pokud není podmínka splněna, zaměří se další posun q_N a úloha se řeší jako měřická dvojice (nejčastější postup).

Podrobnosti k této úloze, včetně rozboru přesnosti, jsou uvedeny v [2].

10.6.1.2 Vytyčování bodu na prodloužené přímce

- Je-li přístupný bod B, přímka se prodlouží buď proložením dalekohledu teodolitu nebo vytyčením úhlu 200 gon. Aby se vyloučil vliv případných přístrojových vad, měří se v obou polohách dalekohledu a alhidádová libela musí být rektifikována a pečlivě urovňována.
- Jsou-li body A,B nepřístupné, použije se obdobného postupu jako v kapitole 10.6.1.1- d) (obr.23). Zvolí se body C,D, měří se q, γ, δ .



Obr.23 Zařazení bodu do prodloužené přímky

Za předpokladu, že $a_c \approx a_d$, $b_c \approx b_d$, bude dvojnásobná plocha trojúhelníka A,B,C:

$$2P = (a - b) \cdot q_c = a \cdot b \cdot \sin \gamma . \quad (10.19)$$

Po úpravě bude:

$$q_c \approx \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{a - b} \quad \text{a} \quad q_d \approx \frac{a \cdot b \cdot \delta}{a - b} \quad (10.20)$$

Odtud

$$q_c \approx \frac{q \cdot \gamma}{\gamma + \delta} \quad \text{a} \quad q_d \approx \frac{q \cdot \delta}{\gamma + \delta} \quad (10.21)$$

Vzorce (10.14) a (10.21) jsou stejné. Také další postup je stejný s úlohou 10.6.1.1 - d).

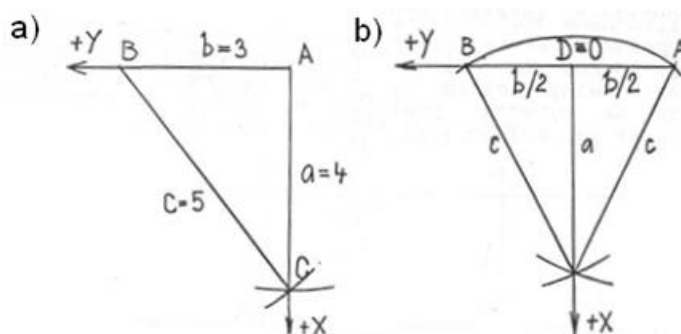
10.6.2 Vytyčování kolmice

Podle požadavku na přesnost vytyčení kolmice se volí pomůcky a přístroje. Pokud je kolmice delší a vyžaduje se vyšší přesnost, používá se teodolitu. Při nižší přesnosti postačí k vytyčení kolmice pentagon a pásmo. Z hlediska vytyčování se jedná o zvláštní případ polární metody, kdy vodorovný úhel je pravý. Pro určení přesnosti platí vzorce uvedené v kapitole 7.3.2.2.

Pro vytyčení kolmice lze použít i protínání z délek, a to:

- pravoúhlého trojúhelníku (Pythagorovu větu, systém 3,4,5)
- rovnoramenného trojúhelníku.

Druhého postupu lze použít i pro vytyčení paty kolmice (obr.24).



Obr.24 Vytyčování kolmice pásmem

Přesnost obou postupů

ad a) Za předpokladu, že všechny tři délky jsou vytyčovány se stejnou přesností (směrodatnou odchylkou), bude přesnost v příčném směru (osa y) a podélném směru (osa x) dána směrodatnou odchylkou:

$$\sigma_{xc} = \sigma_d, \quad \sigma_{yc} = \sigma_d \cdot \sqrt{\frac{2c}{b}} \quad (10.22)$$

ad b) Za stejných podmínek platí:

$$\sigma_{xc} = \sigma_d \cdot \sqrt{\frac{c^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}{2 \cdot \left(c^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2\right)}}, \quad (10.23)$$

$$\sigma_{yc} = \sigma_d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \left[c^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2\right]}{b^2}}. \quad (10.24)$$

Tab.10.2 Přesnost vytyčení kolmice pásmem

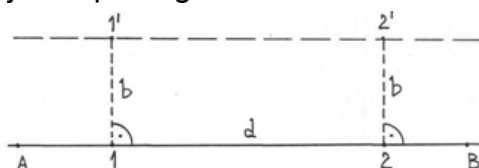
postup	velikost délek stran [m]			
	$a = 4$	$b = 3$	$a = 4$	$b = 6$
	σ_x [mm]	σ_y [mm]	σ_x [mm]	σ_y [mm]
a)	2,0	3,5	-	-
b)	1,6	4,3	2,1	2,8

V tab.10.2 je pro srovnání uveden příklad za předpokladu, že délky jsou měřeny se směrodatnou odchylkou $\sigma_d = 2$ mm. Postup ad b) je za příznivých podmínek přesnější.

10.6.3 Vytyčování rovnoběžek

Způsoby vytyčování rovnoběžek lze dělit podle zadání, požadované přesnosti a místní podmínek.

- a) K dané přímce se má vytyčit rovnoběžka v určité vzdálenosti. Nejjednodušším postupem je vytyčení kolmic, jejichž délka je zadána, ve dvou bodech dané přímky. Podle požadované přesnosti se použije k zařazení bodů do přímky a vytyčení kolmic buď teodolitu, nebo dvojitého pentagonu.



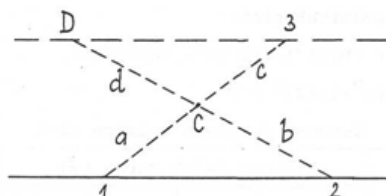
Obr.25 Vytyčování rovnoběžky pomocí kolmic

Přesnost závisí zejména na přesnosti zařazení bodů do přímky (pokud se nejedná o její koncové body) a přesnosti vytyčení délky kolmic b_1, b_2 . Méně pak (zejména u krátkých kolmic) na vytyčení pravého úhlu a na délce d (vzájemná vzdálenost pat kolmic 1, 2), jak je patrné z obr.25.

- b) Daným bodem se má vést rovnoběžka k přímce, pomocí délkového měření. Na přímce se zvolí dva body 1, 2 a na spojnici s daným bodem, např. 1, 3 se zvolí bod C. Změří se délky úseček a, b, c a z podobnosti trojúhelníků se vypočte délka d :

$$d = \frac{b \cdot c}{a} \quad (10.25)$$

která se vytyčí na prodloužené spojnici bodů 2, C (obr.26). Bod C se volí přibližně uprostřed rovnoběžek.



Obr.26 Vytyčení rovnoběžky délkovým měřením

- c) Daným bodem se má vést rovnoběžka k přímce, pomocí úhlového měření. Na přímce se opět zvolí dva body 1, 2. Na bodě 1 se změří úhel α_1 , který se na daném bodě 3 vytyčí. Jedná se o polární vytyčení se složitějším určením směrníku. Přesnost rovnoběžky je závislá na přesnosti zaměření úhlu α_1 a vytyčení úhlu α_3 . Úhel α_3 se nejprve vytyčí přibližně a stabilizuje se bod D_0 . Po jeho zaměření se vypočte rozdíl $\alpha - \alpha_{3m} = \Delta\alpha$ a pomocí délky d se určí příčný posun q_D :

$$q_D = \frac{d \cdot \Delta\alpha}{\rho}, \quad (10.26)$$

který se realizuje (obr.27).

Přesnost příčného posunu, charakterizovaná směrodatnou odchylkou, se odvodí z výchozí rovnice pro souřadnici x bodu D:

$$x_D = x_3 + d \cdot \cos \sigma_{3D}, \quad (10.27)$$

kde $\sigma_{3D} = \sigma_{12} + \alpha_1 + \alpha_3 - 200$.

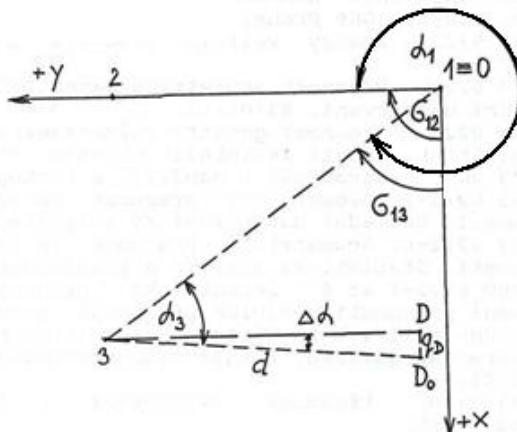
Vztah pro náhodnou odchylku ε_{xD} bude:

$$\varepsilon_{xD} = d \cdot \sin \sigma_{3D} \cdot (\varepsilon_{\alpha_1} + \varepsilon_{\alpha_3}) = -d \cdot (\varepsilon_{\alpha_1} + \varepsilon_{\alpha_3}). \quad (10.28)$$

Po přechodu na směrodatné odchylky a za předpokladu, že $\sigma_{\alpha_1} \approx \sigma_{\alpha_3} = \sigma_\alpha$ a přesnost vytyčení posunu q_D je σ_{qD} , bude:

$$\sigma_{xD} = \sqrt{2 \cdot (d \cdot \sigma_\alpha)^2 + \sigma_{qD}^2}. \quad (10.29)$$

Vliv centrace na daných bodech je možno promítnout do přesnosti měřeného úhlu α .



Obr.27 Vytyčení rovnoběžky úhlovým měřením

Literatura:

- [1] Novák,Z., Procházka,J.: Inženýrská geodézie 10, Nakladatelství ČVUT v Praze, Praha 2006, skripta, dotisk 2. vyd., 181 s. (ISBN 80-01-02407-5)
- [2] Bajer,M., Procházka,J.: Inženýrská geodézie 10, 20, Návodů ke cvičením. Nakladatelství ČVUT v Praze, Praha 2001, skripta, dotisk 1. vyd., 192 s. (ISBN 80-01-01673-0)
- [3] ČSN 73 0420-1 Přesnost vytyčování staveb – část 1: Základní požadavky, ČNI 2002
- [4] ČSN 73 0420-2 Přesnost vytyčování staveb – část 2: Vytyčovací odchylky, ČNI 2002
- [5] Vyhláška ČÚZK č.31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č.200/1994 Sb. – ve znění pozdějších předpisů