

## **154GEY2      Geodézie 2**

Přednášející: doc. Ing. Martin Štroner, Ph.D;

Místnost: B912

Email: martin.stroner@fsv.cvut.cz

WWW: k154.fsv.cvut.cz/~stroner

### **Literatura:**

- [1] Ratiborský, J.: Geodézie 10. 2. vyd. Praha: ČVUT v Praze. 2005. 234 s.
- [2] Formanová, P. – Kubín, T.: Geodézie 1, 2 (Návody na cvičení). 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze. 2009. 136 s.
- [3] Blažek R. - Skořepa Z.: Geodézie 3 Výškopis, ČVUT Praha, 2009.
- [4] Štroner, M. - Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2011. 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6.
- [5] Pospíšil, J. - Štroner, M.: Stavební geodézie - doplňkové skriptum pro obor A. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha 2010. 89 s. ISBN 978-80-01-04594-7.
- [6] Hojovec, V. a kol.: Kartografie. Geodetický a kartografický podnik, Praha, 1987.
- [7] Vykutíl, J.: Vyšší geodézie. 1. vyd. Praha:Kartografie, 1982. 544 s.

## **Obsah přednášek (témata):**

1. Polohové a výškové vytyčování.
2. Určování ploch a objemů.
3. Moderní geodetické měřické technologie (GNSS, 3D skenování, DPZ, Fotogrammetrie).
4. Základy vyšší geodézie
5. Základy fyzikální geodézie.
6. Základy kartografie a matematické kartografie.
7. Geografické informační systémy.
8. Digitální model terénu.
9. Základy mapování a účelového mapování, státní a účelová mapová díla ČR.
10. Katastr nemovitostí ČR.
11. Platné zákony a vyhlášky pro obor geodézie v ČR.
12. Organizace Zeměměřické služby ČR.

# 1. Polohové a výškové vytyčování

1.1 Úvod k vytyčování.

1.2 Polohové vytyčování souřadnic – metody a postupy.

1.2.1 Polární metoda.

1.2.2 Ortogonální metoda.

1.2.3 Protínání vpřed z úhlů.

1.2.4 Protínání vpřed z délek.

1.2.5 Průsečíková metoda.

1.2.6 Vytyčování jednoduchých geometrických prvků.

1.2.7 Výpočet vytyčovacích prvků.

1.2.8 Vytyčení úhlu.

1.2.9 Vytyčení délky.

1.3 Výškové vytyčování

1.3.1 Základní pojmy a postupy

1.3.2 Jednoduché vytyčovací úlohy

(1.4 Vytyčování pomocí GNSS (bude uvedeno později u GNSS)).

## 1.1 Úvod

Pod pojmem **vytyčení** stavebního či jiného díla se rozumí jeho **umístění v terénu** a vyznačení jeho projektovaného **rozměru** a **tvaru**. Přitom musí být dodrženy vztahy projektovaného objektu k jeho okolí. Prostorová poloha projektovaného objektu je zpravidla ovlivněna značným počtem podmínek, které musí být obsaženy ve **vytyčovacím výkresu**, aby bylo možno dodržet kvalitu a přesnost vytyčení.

Geodetické práce při vytyčování jsou :

- vybudování vytyčovací sítě,
- vytyčení prostorové polohy objektu,
- podrobné vytyčení.

## 1.1 Úvod

Tvar a přesnost **vytyčovací sítě** se volí podle druhu a složitosti stavby, podle požadované přesnosti vytyčení a podle místních podmínek.

Z geodetického hlediska se vytyčovací sítě dělí na polohové a výškové:

Polohovou vytyčovací sít může tvořit měřická přímka (osa), polygonový pořad, trojúhelníkový řetězec nebo plošná (pravoúhelníková) sít. Polohová vytyčovací sít se zpravidla připojuje na bodové pole v systému JTŠK (x místní sít).

Výšková vytyčovací sít může být budována zcela nezávisle na polohové síti, ale obvykle se do výškové vytyčovací sítě zapojují vhodně stabilizované body polohové sítě. Výšková vytyčovací sít se zpravidla připojuje na ČSJNS.

## 1.1 Úvod

Vytyčené prvky je třeba kontrolovat, a to:

- měření kontrolních prvků (provede se vždy),
- opakovaným vytyčením nezávisle stejnou metodou se stejnou přesností nebo,
- opakovaným vytyčením nezávisle jinou metodou se stejnou přesností nebo,
- opakovaným vytyčením s mnohem vyšší přesností.

Kvalitní vytyčení vyžaduje úzkou spolupráci projektanta a vytyčovatele. Projektant totiž vždy připravuje vytyčovací prvky (vytyčovací výkres) a vytyčovatel je jejich realizátorem.

## 1.1 Úvod

Přesnost vytyčování je stanovena v technických normách nebo dána objednatelem.

V normách (požadavcích na přesnost) jsou stanoveny mezní vytyčovací odchylky pro vytyčení prostorové polohy objektu i podrobné vytyčení jednotlivých druhů stavebních objektů. Z nich je třeba vycházet při stanovování směrodatné odchylky metody vytyčení a v závislosti na ní volit metodu vytyčování, přístroje, pomůcky, atd.

## 1.1 Úvod

Vytyčení probíhá ve dvou etapách:

### 1. Vytyčení prostorové polohy stavebního objektu:

Ta je dána vytyčením charakteristických bodů objektu (hlavní polohové čáry), hlavní osy nebo hlavních bodů trasy a vytyčením hlavních výškových bodů.

### 2. Podrobné vytyčení:

Vytyčení rozměru a tvaru objektu. Přitom se vytyčuje nosná konstrukce ve vodorovné a výškové úrovni, tj. stěny a sloupy (u stavebních objektů s prostorovou skladbou), příčné řezy (u liniových stavebních objektů) a hrany terénu (u terénních úprav).



## 1.2 Polohové vytyčování souřadnic – metody a postupy

Vytyčení každého objektu se rozpadá na řadu jednoduchých úloh, při kterých vytyčujeme body, přímky, úsečky a úhly.

Polohu jednotlivých bodů stavebního objektu lze vytyčit:

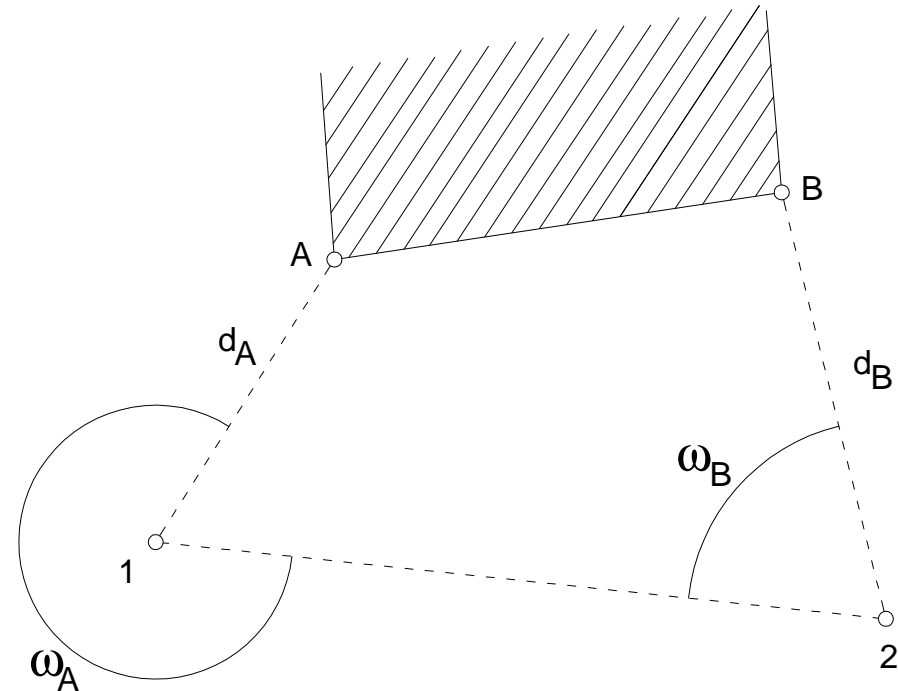
- polárními souřadnicemi,
- pravoúhlými souřadnicemi,
- protínáním vpřed z úhlů,
- protínáním z délek,
- průsečíkovým způsobem.

Z uvedených metod se nejčastěji používá metoda pravoúhlých a hlavně polárních souřadnic.

## 1.2.1 Polární metoda.

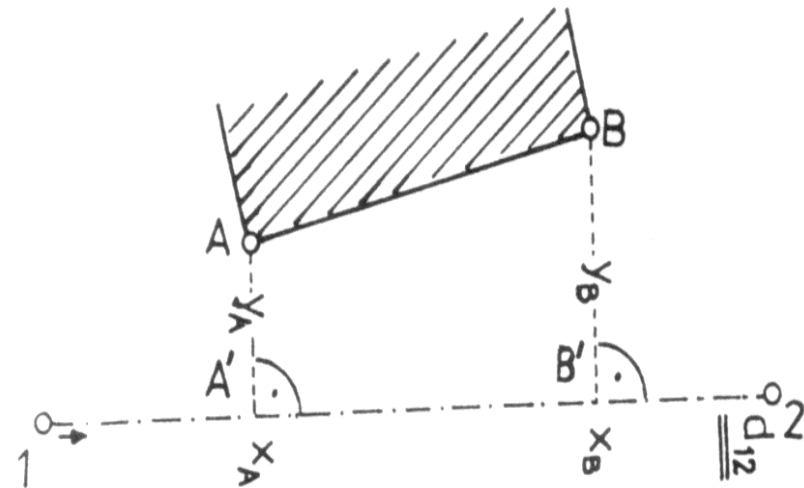
Vytyčovacími prvky jsou úhel  $\omega_i$  a délka  $d_i$ , vztažené k straně vytyčovací sítě (dané body 1, 2). Vytyčovací prvky se vypočtou ze známých souřadnic bodů vytyčovaného objektu A a B a bodů vytyčovací sítě 1 a 2.

V současné době jde o nejpoužívanější metodu, která je zvláště výhodná, pokud je k dispozici totální stanice, která umožní vytyčit i rajony dlouhé několik set metrů s vysokou přesností.



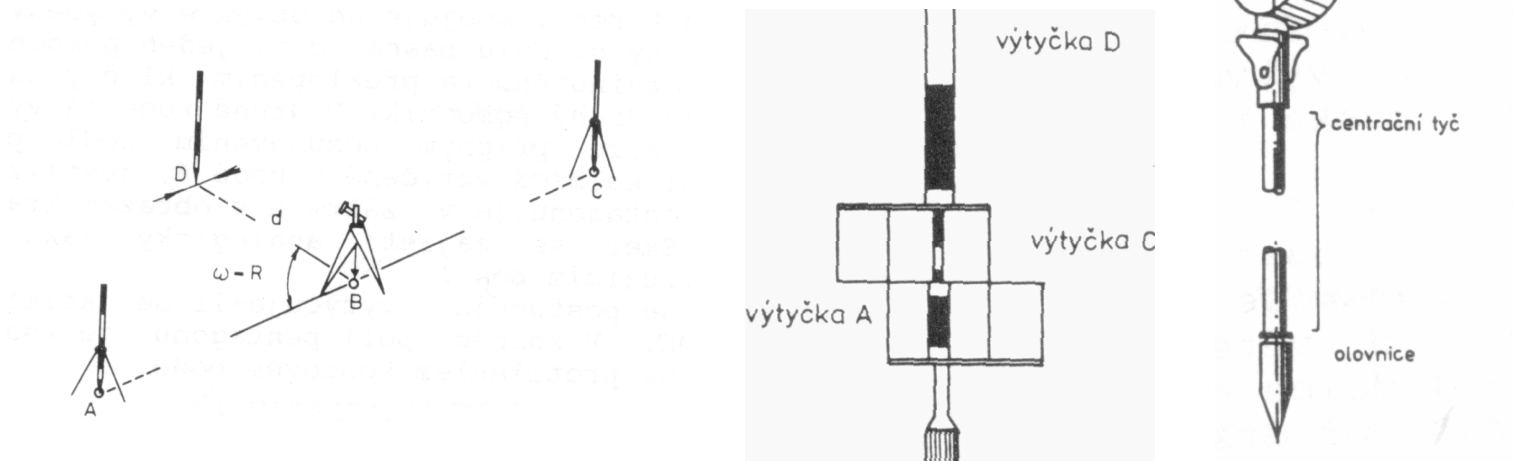
## 1.2.2 Ortogonální metoda.

Body jsou ve vytyčovací výkresu dány pravoúhlými souřadnicemi  $x_A, x_B, y_A, y_B$  vztaženými ke straně vytyčovací sítě dané body 1, 2. Teodolitem, dostředěným na bodě 1, se vytyčí paty kolmic  $A', B'$  ve vzdálenostech  $x_A, x_B$  od bodu 1 (staničení). Vzdálenosti se měří zpravidla pásmem. V bodech  $A', B'$  vytyčíme postupně teodolitem pravé úhly a odměříme opět pásmem délky kolmic  $y_A, y_B$ . Tím získáme vytyčované body A a B. Vodorovné úhly zpravidla stačí vytyčovat v jedné poloze dalekohledu. Pokud jsou požadavky na přesnost nižší, stačí vytyčit kolmice na bodech  $A', B'$  pomocí pentagonu, v tomto případě jde o velmi snadnou metodu.



## 1.2.2 Ortoagonální metoda.

Pokud není požadována vyšší přesnost, lze použít dvojitý pentagonální hranol.  
Jinak viz. 10.4.



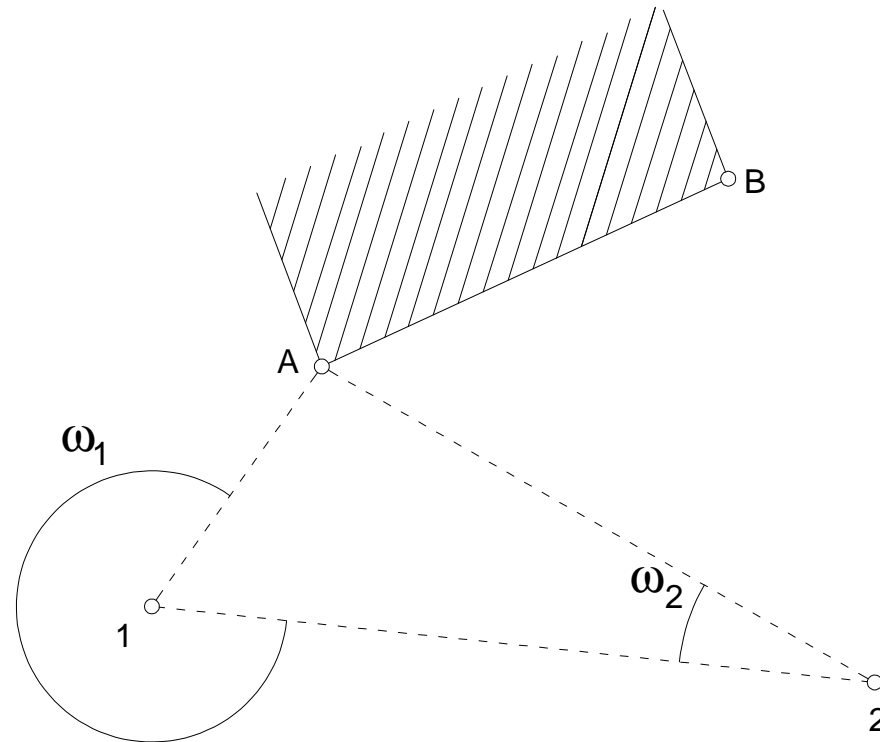
Úhlová přesnost vytyčení kolmice je cca  $2'$ . Tomu odpovídá odklon kolmice při vzdálenosti 30 m cca  $\pm 2$  cm. V případě svažitého terénu se chyby zvětšují.

Hranice použití pentagonu je proto cca 40 m v rovině a cca 30 m ve skloněném terénu.

### 1.2.3 Protínání vpřed z úhlů.

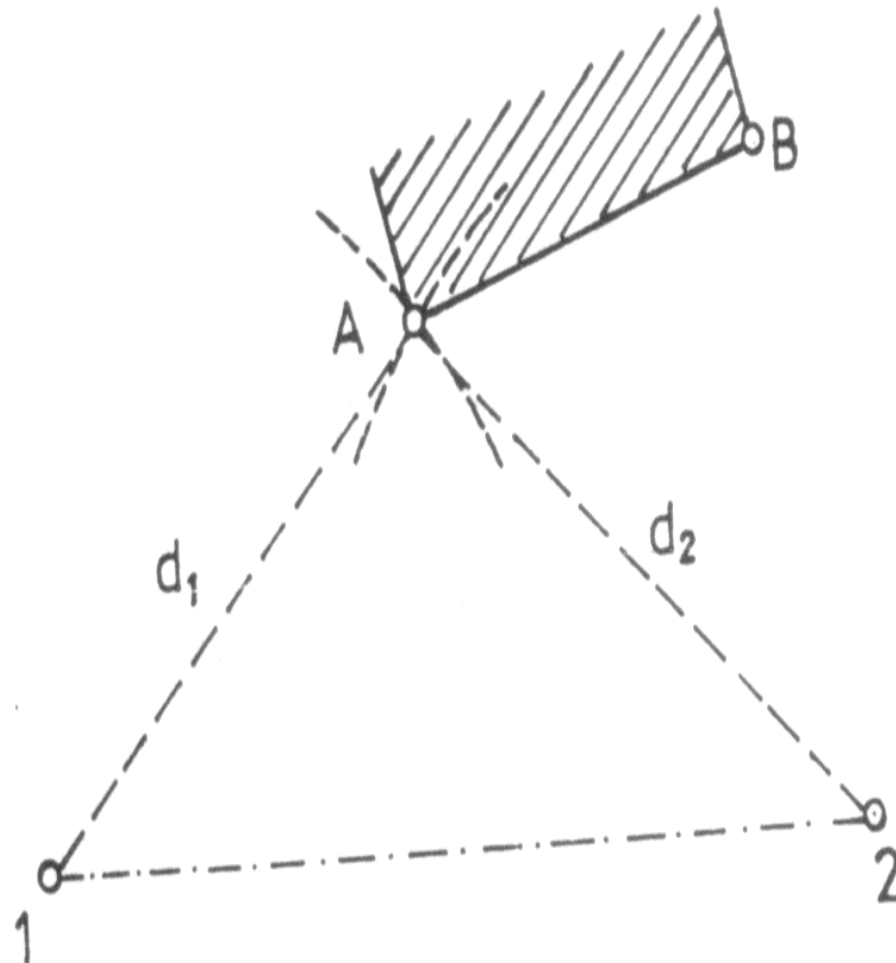
Vytyčovacími prvky jsou vodorovné úhly  $\omega_1$  a  $\omega_2$ , vztažené ke straně vytyčovací sítě dané body 1, 2. K vytyčení se použijí dva teodolity, které jsou umístěny na bodech 1 a 2.

Jde o metodu, která je vhodná především v přehledném terénu, kdy je vidět z obou bodů vytyčovací sítě přímo na značku vytyčovaného bodu. Na krátké vzdálenosti lze dosáhnout vysoké přesnosti, metoda se prakticky nepoužívá.



## 1.2.4 Protínání vpřed z délek.

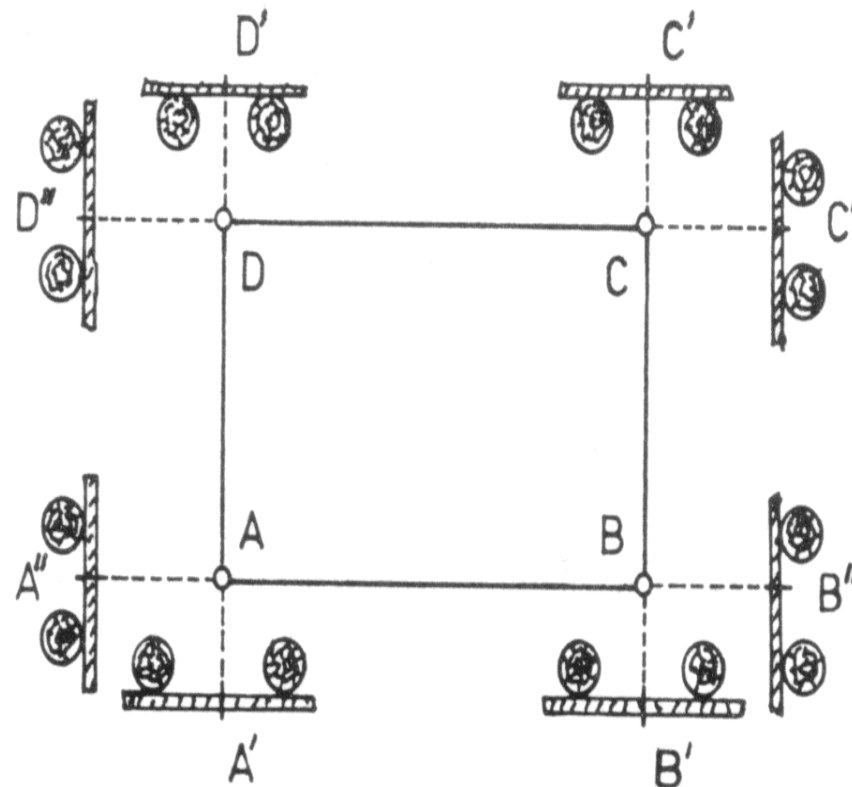
Vytyčovacími prvky jsou délky rajonů  $d_1$ ,  $d_2$ , vztažené ke straně vytyčovací sítě dané body 1, 2. Jde o metodu velmi pracnou, která se používá spíš k nezávislé kontrole vytyčení, provedeného jinou metodou. Používá se při vytyčování blízkých bodů, kde vytyčované délky nepřekročí délku pásma, nejlépe když součet vytyčovaných délek nepřekročí délku pásma.



## 1.2.5 Průsečíková metoda.

Tato metoda je velmi oblíbená při vytyčování pozemních staveb. Vytyčovaný bod leží v průsečíku dvou záměrných paprsků, spojujících trvale stabilizované body. Při vytyčování blízkých bodů se záměrné paprsky často realizují tenkým drátem, při vytyčování na větší vzdálenosti se záměrné paprsky realizují záměrami teodolitů.

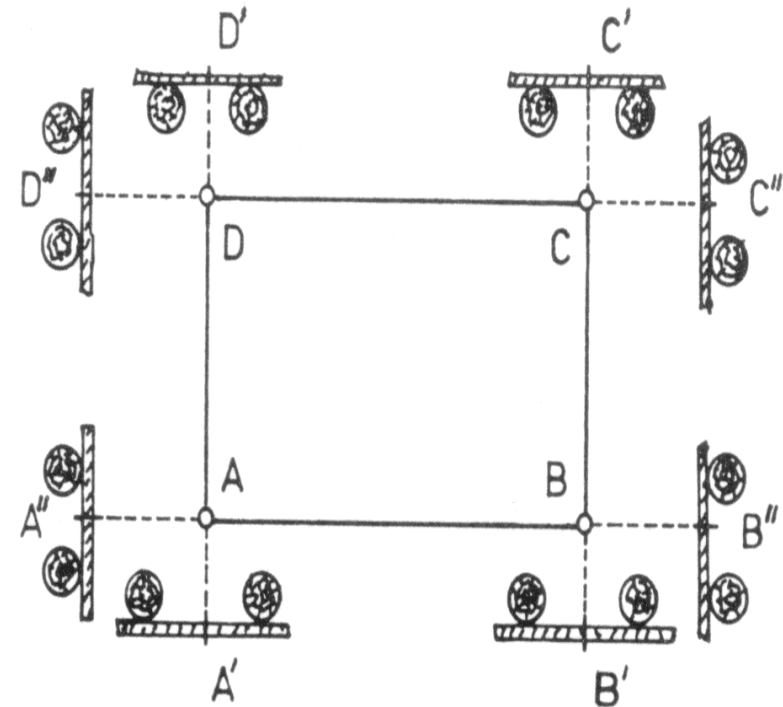
Velmi vhodné pro zjednodušení opakovaného vytyčení, kdy již vytyčený bod je zničen např. v důsledku výkopových prací.



## 1.2.5 Průsečková metoda.

Vytyčí se body stavby A, B, C, D. V dostatečné vzdálenosti od vytyčených bodů, aby nebyly zničeny stavebními pracemi, se umístí tzv. lavičky. Stabilizují se prkny, přibitými na kůly, zatlučené do země. Lavičky se umísťují do vodorovné roviny ve stanovené výšce nad dnem budoucího výkopu (stavební jámy).

Vytyčené body A, B, C, D se postupně zajistí pomocí přímk AB, CD, AD a BC a promítnou se na lavičky, kde se zajistí zářezy nebo hřebíky jako body A', B', C', D' a A'', B'', C'', D''. Po provedení např. výkopu lze během stavby kdykoliv velmi rychle a poměrně přesně vytyčit body A, B, C, D v průsečících příslušných přímk.



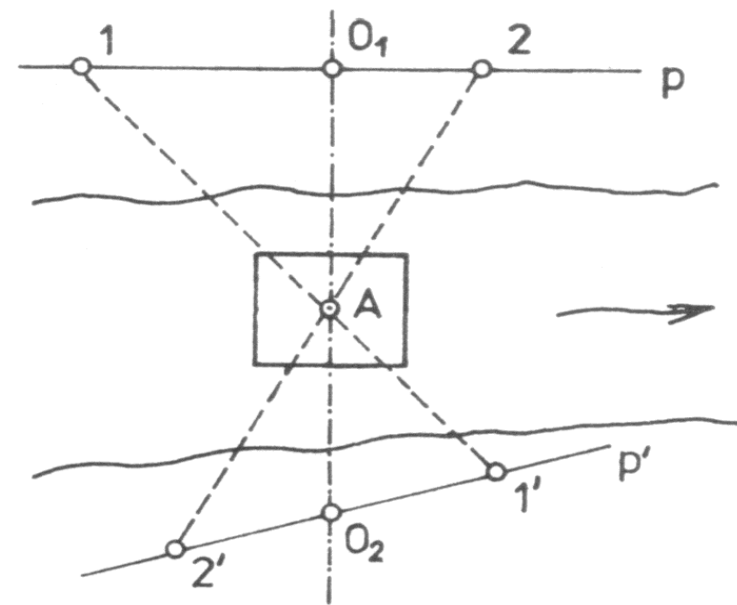


## 1.2.5 Průsečíková metoda.

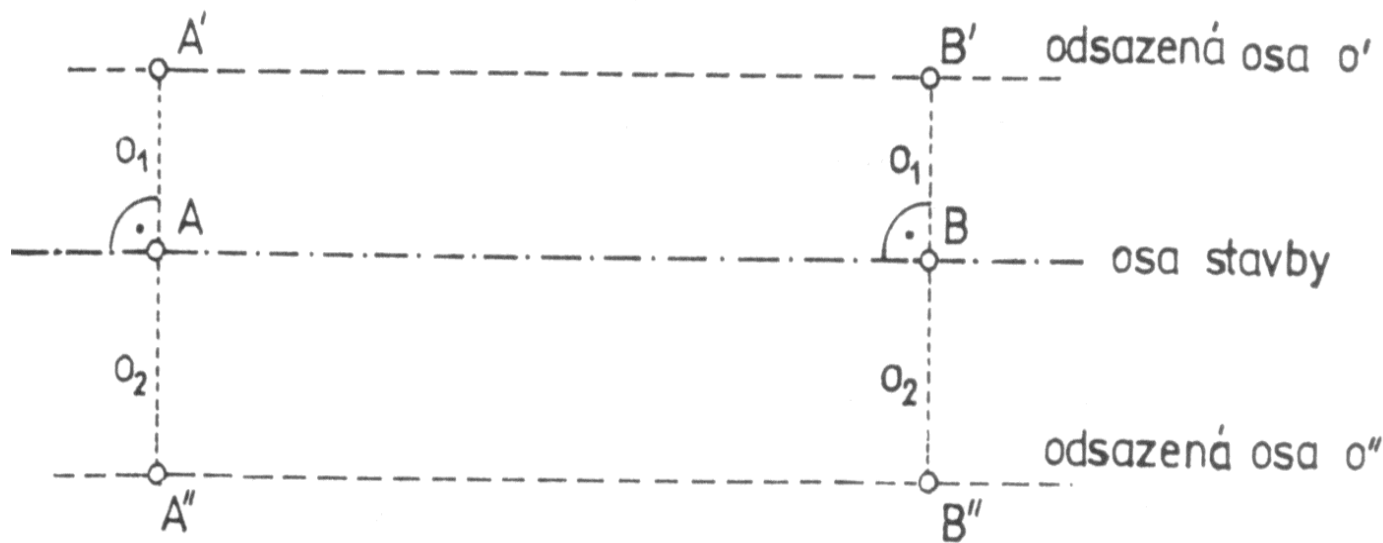
U velkých a náročných staveb, např. při stavbě mostních pilířů, se metoda používá v upravené formě.

Vytyčovaný bod A je průsečíkem přímek 11' a 22', realizovaných záměrami teodolitů. Body 1, 2 a 1', 2' leží na přímkách p a p'.

Pokud to dovolí terénní podmínky, vytyčí se body 1 a 2 tak, aby přímka p byla kolmá k ose stavby (mostu)  $O_1 O_2$ . Body 1 a 2 se určí v souřadnicovém systému, jehož jedna osa je rovnoběžná s osou stavby  $O_1 O_2$  a pomocí známých souřadnic bodu A se vypočtou souřadnice bodů 1' a 2' a tyto body se vytyčí v terénu. Lze také vytyčit polohu bodu A a prodloužením přímky získat body 1' a 2'.



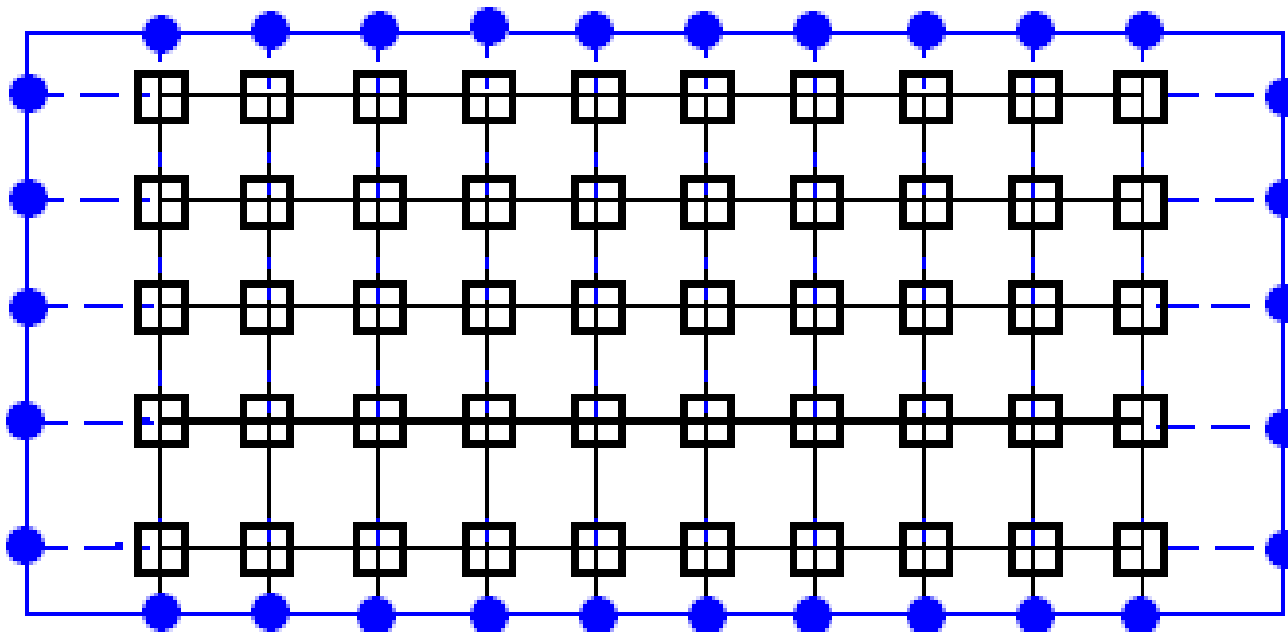
## 1.2.5 Průsečíková metoda.





Modifikací průsečíkové metody, často používanou v dopravním stavitelství a ve vodním hospodářství je vytyčování bodů z odsazených os.

Odsazené osy se volí zpravidla dvě tak, aby nebyly zasaženy stavební činností. Vytyčují se rovnoběžně s osou stavby v okrouhlých vzdálenostech  $o_1$  a  $o_2$ . Vytyčené body osy A a B leží na spojnici odsazených bodů A', A'' a B' a B'' v daných vzdálenostech  $o_1$  a  $o_2$ , takže je lze kdykoliv během postupu stavby obnovit.

## 1.2.5 Průsečíková metoda.



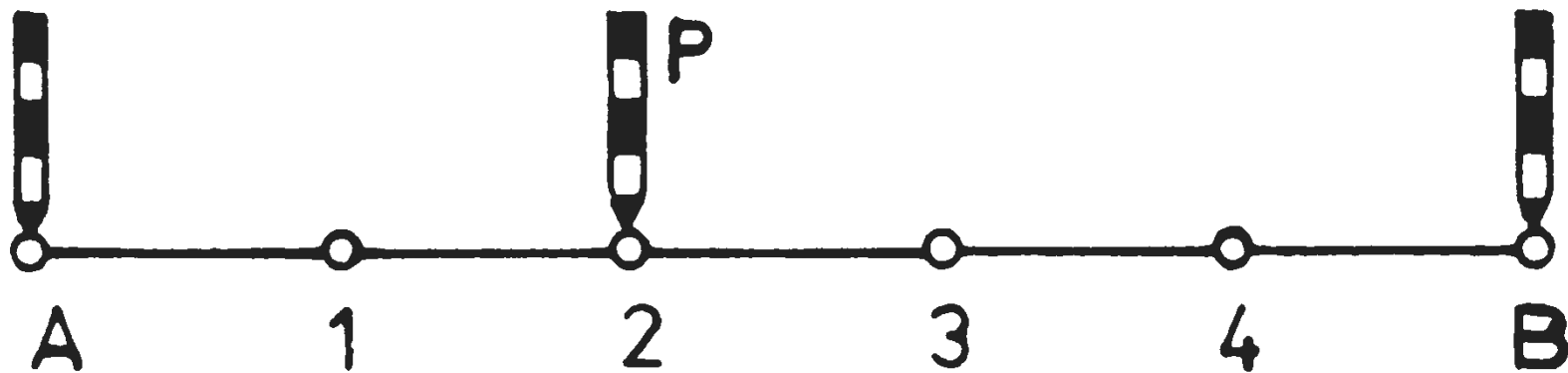
Legenda :  patka sloupu  
 zajišťovací bod

Využívanou metodou je ekvivalent „laviček“ využívaný pro opakované vytyčení patek sloupů či jiných prvků umístěných v pravoúhelníkové síti.

## 1.2.6 Vytyčování jednoduchých geometrických prvků.

### Zařazení do přímky

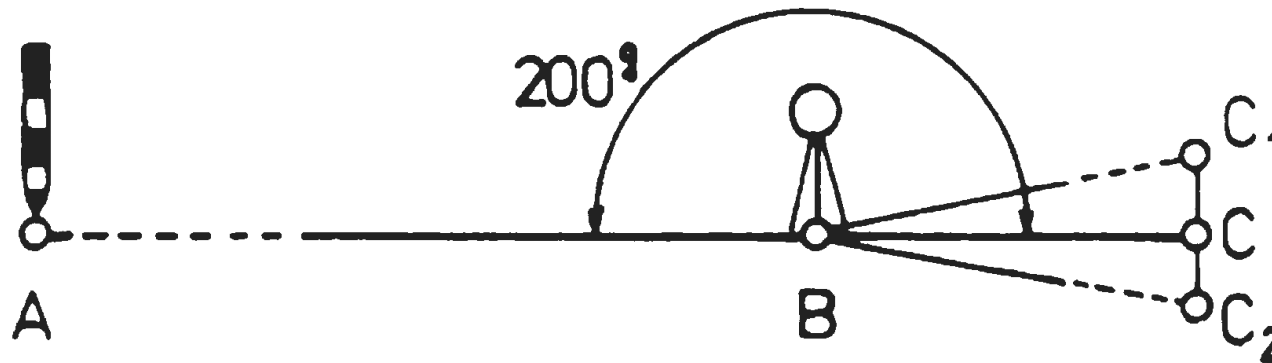
Do přímky, jejíž koncové body A a B jsou přístupné a vzájemně viditelné, je třeba zařadit několik bodů.



Jde-li o vyšší přesnost, zařazují se mezilehlé body teodolitem, dostředěným na jednom konci z koncových bodů přímky. Nejsou-li nároky na přesnost velké, zařadíme body do přímky od oka shlížením.

## 1.2.6 Vytyčování jednoduchých geometrických prvků.

### Prodloužení přímky



Vytyčení přímého úhlu :

Na bodě B vytyčíme v obou polohách dalekohledu úhel  $200^g$  od směru na bod A. Dostaneme body  $C_1$  a  $C_2$ . Průměr z obou vytyčení je bod C, který leží v prodloužené přímce.

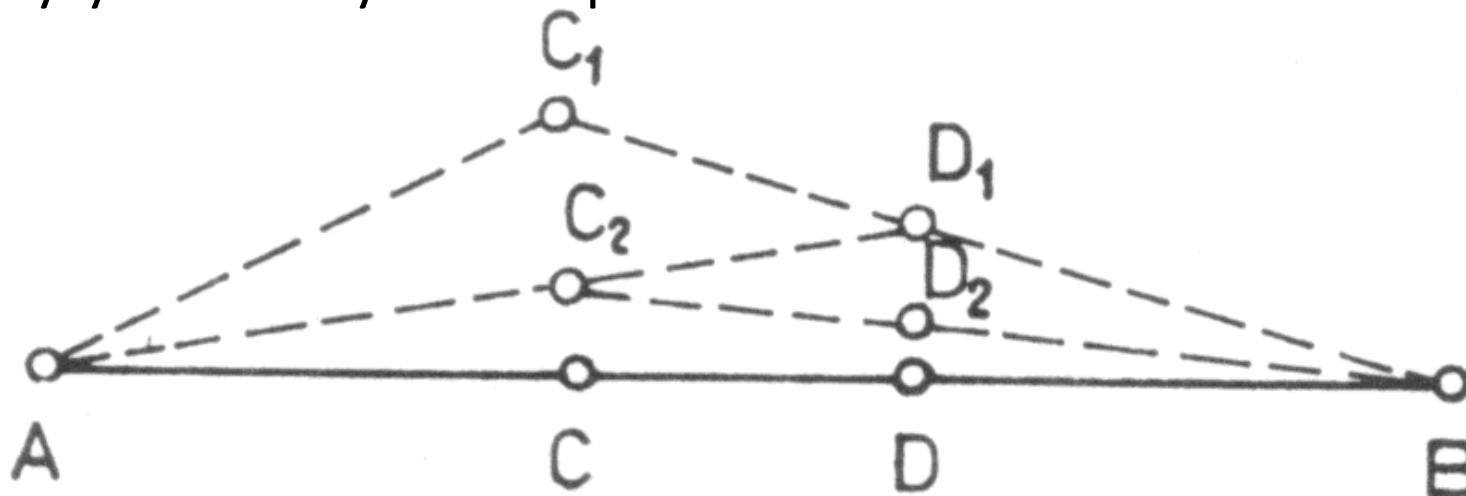
Na bodě B zacílíme v první poloze dalekohledu na bod A, proložíme dalekohled a vytyčíme bod  $C_1$ . Ve druhé poloze stejně bod  $C_2$ . Výsledkem je opět průměr.

## 1.2.6 Vytyčování jednoduchých geometrických prvků.

### Zařazení mezilehlého bodu do dlouhé přímky.

Pokud nejsou požadavky na přesnost velké :

Přibližně v přímce AB zvolíme odhadem bod  $C_1$ , ze kterého jsou vidět body A i B a označíme ho výtyčkou. Pomocníka s druhou výtyčkou zařadíme od oka do přímky  $C_1 B$  a dostaneme bod  $D_1$ . Pomocník zařadí od oka výtyčku z bodu  $C_1$  do přímky  $D_1 A$  a vyznačíme bod  $C_2$ . Z bodu  $C_2$  zařadíme pomocníka s výtyčkou do přímky  $C_2 B$  a dostaneme bod  $D_2$ . Postup se opakuje tak dlouho, až vytyčíme body C a D v přímce AB.

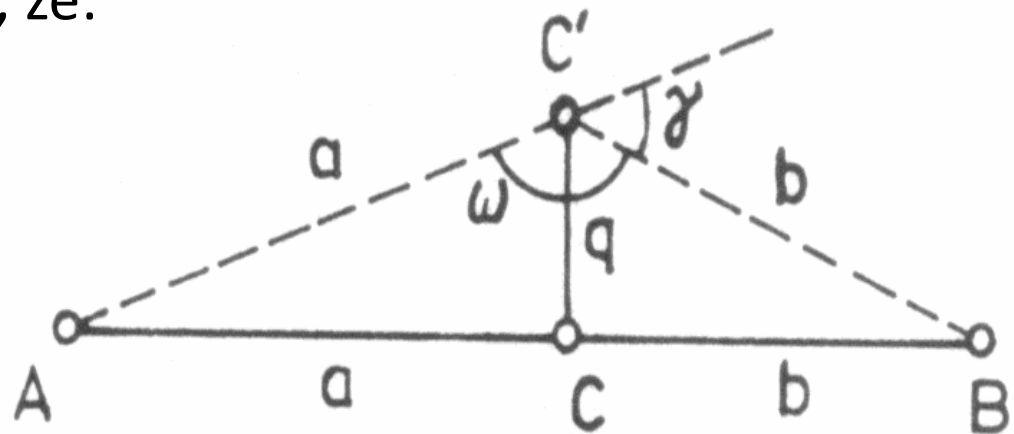


## 1.2.6 Vytyčování jednoduchých geometrických prvků.

Při vyšších nárocích na přesnost se provádí zařazení teodolitem :

Zařadíme do přímky AB odhadem (pomocí hranůlku) bod C'. Na něm změříme úhel  $\omega$ . Z mapy odměříme délky a, b. Protože vzdálenost q není velká platí, že:

$$\begin{aligned}AC' &\cong AC = a, \\BC' &\cong BC = b, \\ \text{úhel } \omega &\rightarrow 2R.\end{aligned}$$



Pro plochu  
trojúhelníka platí:

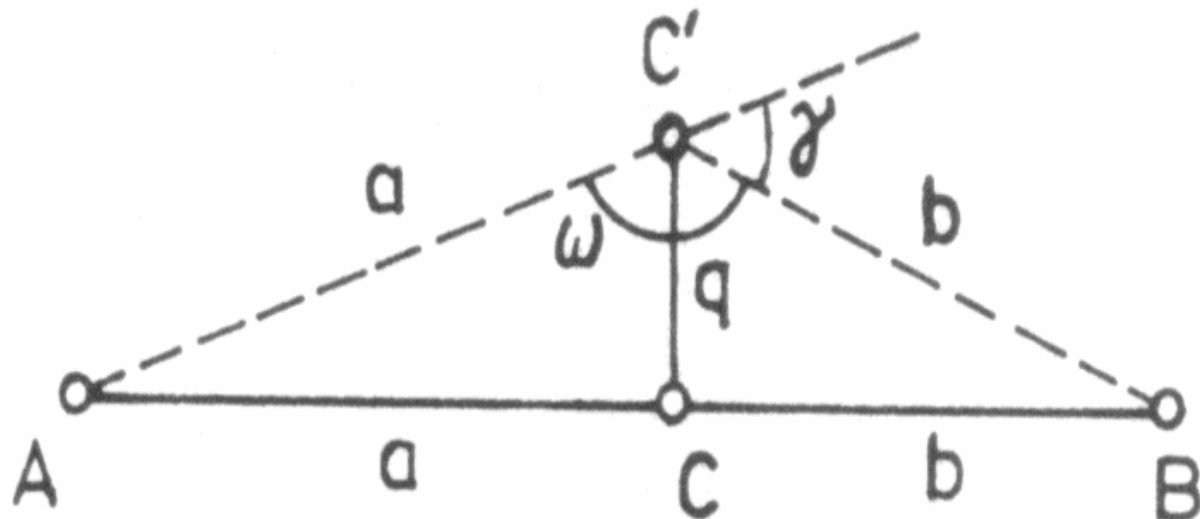
$$2P_{\Delta ABC'} = a \cdot b \cdot \sin \omega = a \cdot b \cdot \sin \gamma = a \cdot b \cdot \gamma^{cc} / \rho^{cc}, \quad q = \frac{a \cdot b \cdot \gamma^{cc}}{(a + b) \cdot \rho^{cc}}$$

$$2P_{\Delta ABC'} = (a + b) \cdot q.$$

## 1.2.6 Vytyčování jednoduchých geometrických prvků.

Posun  $q$  realizujeme v ose úhlu  $\omega$ . Dostaneme bod  $C$  a na něm kontrolně změříme úhel  $\omega'$  a vypočteme odpovídající posun  $q'$ . V případě potřeby tento posun opět realizujeme až dostaneme (s požadovanou přesností) bod  $C$  na přímce  $AB$ .

$$q = \frac{a \cdot b \cdot \gamma^{cc}}{(a + b) \cdot \rho^{cc}}$$





## 1.2.7 Výpočet vytyčovacích prvků

### Polární vytyčovací prvky

Jsou známy souřadnice bodů:

$P_1$  - stanovisko přístroje,

$P_2$  - orientace,

$P_3$  - vytyčovaný bod.

Úkolem je určit:

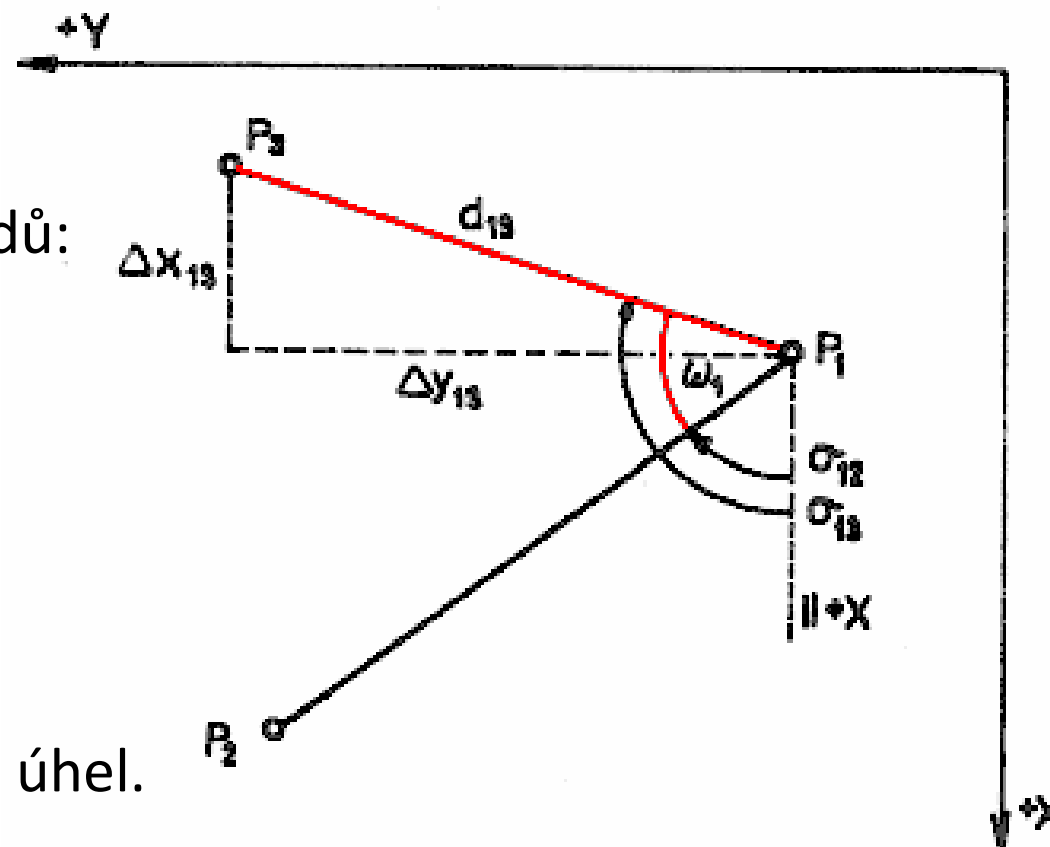
$d_{13}$  - délku strany,

$\omega_1$  - vytyčovaný vodorovný úhel.

Platí :

$$\omega_1 = \sigma_{13} - \sigma_{12} ,$$

$$d_{13} = \sqrt{\Delta x_{13}^2 + \Delta y_{13}^2}$$



## 1.2.7 Výpočet vytyčovacích prvků

Ortogonální vytyčovací prvky

Jsou známy souřadnice bodů :

$P_1$  - stanovisko přístroje,

$P_2$  - orientace,

$P_3$  - vytyčovaný bod.

Úkolem je určit:

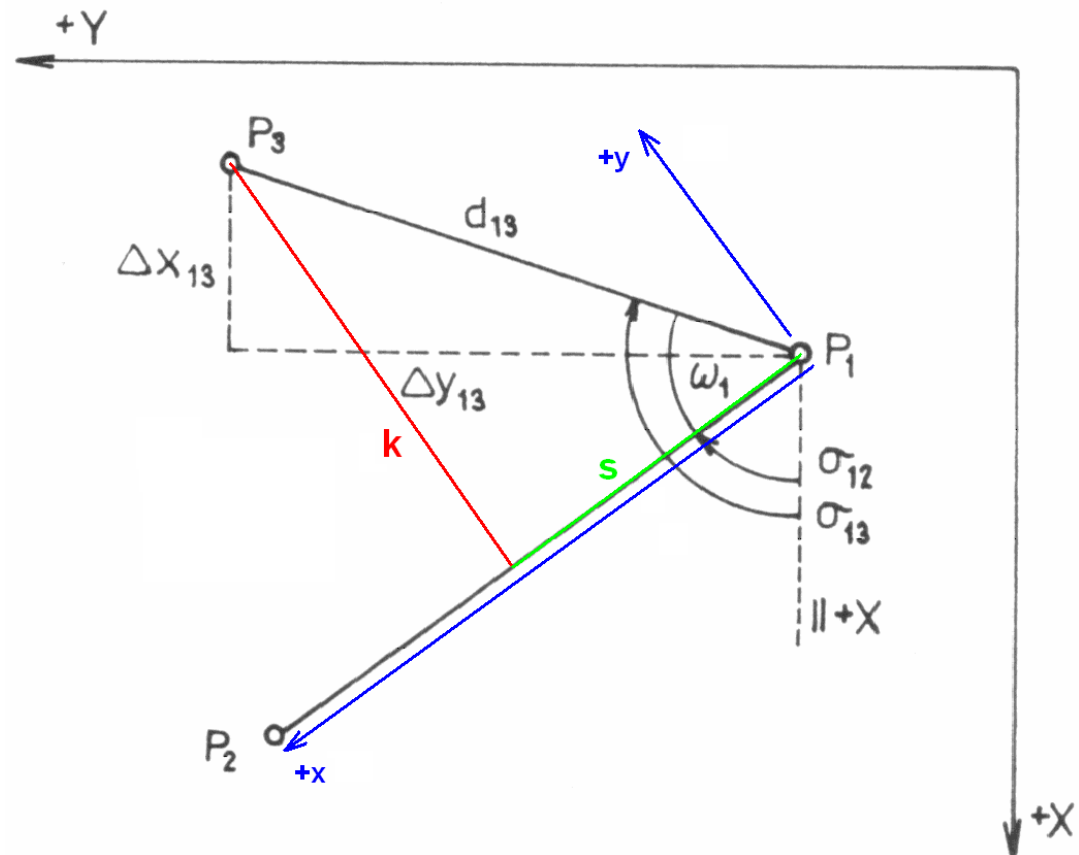
$s$  - délku staničení,

$k$  - délku kolmice.

Platí :

$$s = d_{13} \cos(\omega_1), k = d_{13} \sin(\omega_1)$$

**POZOR !** Staničení i kolmice mají znaménko !



## 1.2.7 Výpočet vytyčovacích prvků

Ortogonální vytyčovací prvky

Jsou známy souřadnice bodů :

$P_1$  - stanovisko přístroje,

$P_2$  - orientace,

$P_3$  - vytyčovaný bod.

Úkolem je určit:

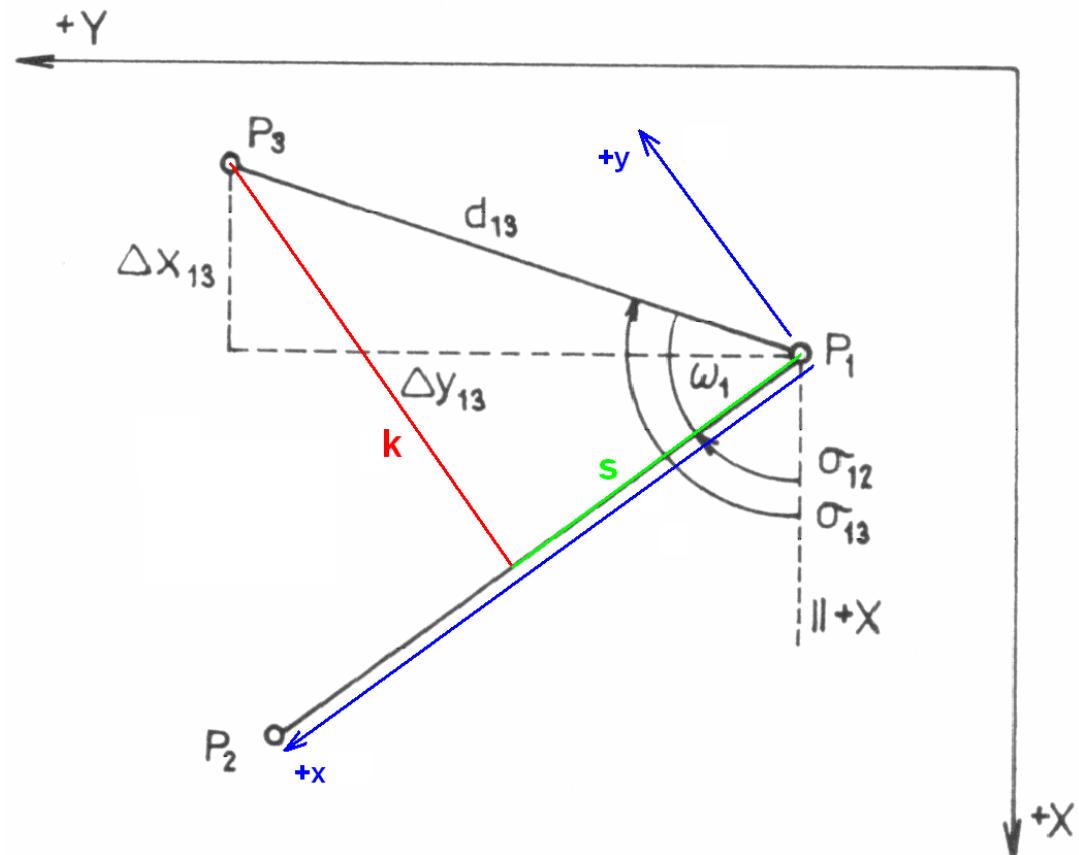
$s$  - délku staničení,

$k$  - délku kolmice.

Platí :

$$s = d_{13} \cos(\omega_1), \quad k = d_{13} \sin(\omega_1)$$

**POZOR !** Staničení i kolmice mají znaménko !



## 1.2.8 Vytyčení úhlu

K vytyčování vodorovných úhlů používáme teodolit nebo totální stanici.

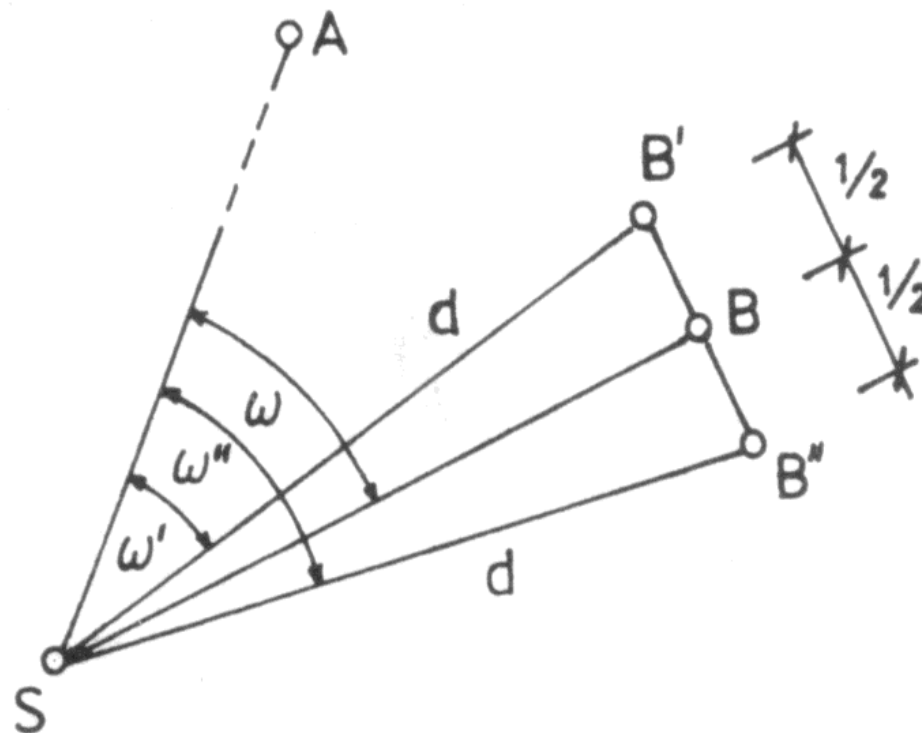
Na stanovisku S máme za úkol vytyčit vodorovný úhel  $\omega$ .

Provedeme dostředění a

uovnění přístroje na stanovisku S, zacílíme na bod A, poté protočíme alhidádu po směru hodinových ručiček a znovu zacílíme na bod A a přečteme čtení na limbu. K tomuto čtení připočteme úhel  $\omega$  a „nastavíme“ na limbu nové vypočtené čtení.

V požadované vzdálenosti  $d$  vyznačíme v tomto směru bod  $B'$ .

Pokud jsou nároky na přesnost vyšší, opakuje se vytyčení úhlu  $\omega$  v druhé poloze dalekohledu a vyznačíme bod  $B''$ . Po rozpůlení vzdálenosti mezi body  $B'$  a  $B''$  získáme bod B.



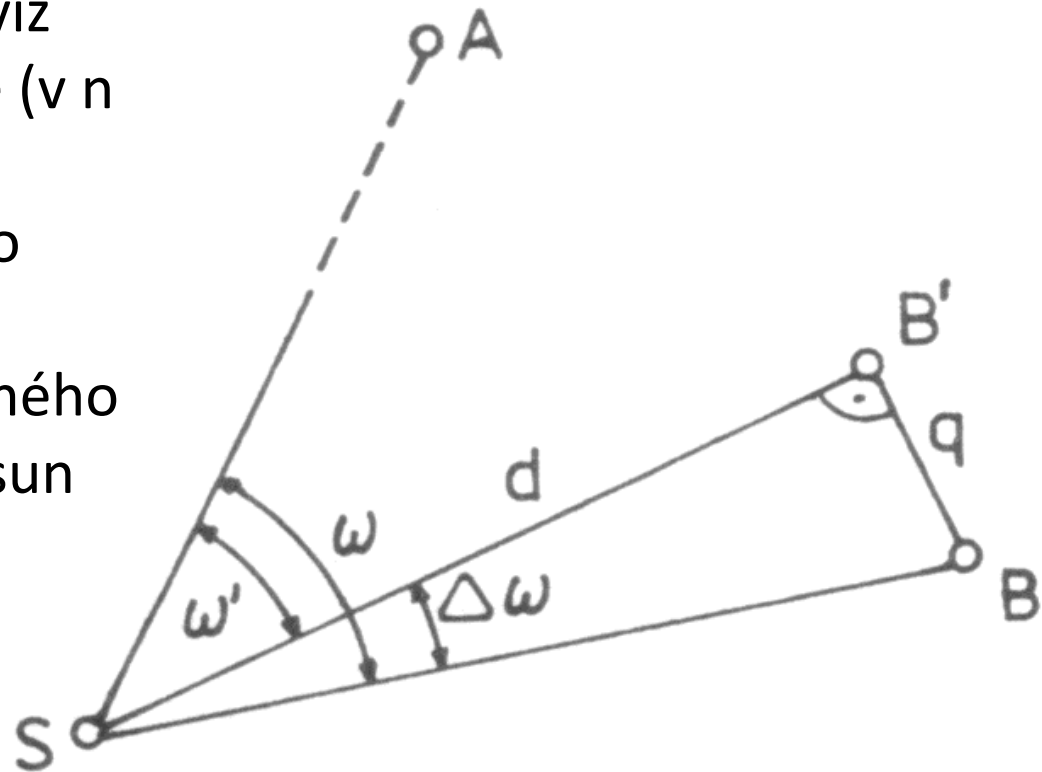
## 1.2.8 Vytyčení úhlu

Nejprve vytyčíme bod B' (viz dříve). Bod B' poté přesně (v n skupinách dle požadované přesnosti) zaměříme a jeho velikost označíme jako  $\omega'$ .

Vypočteme opravu vytyčeného úhlu  $\Delta\omega$  a odpovídající posun v dané vzdálenosti d:

$$\Delta\omega = \omega - \omega',$$

$$q = d \cdot \Delta\omega^{cc} / \rho^{cc}.$$



Posun  $q$  realizujeme kolmo na směr  $SB'$  a dostaneme tak bod B. O správnosti se přesvědčíme kontrolním zaměřením úhlu  $\omega$ .

## 1.2.8 Vytyčení délky

V daném směru (obvykle po vytyčení úhlu) se přibližně vytyčí délka pásmem (případně i krokováním). Použitou měřickou metodou pro měření délky (elektrooptický dálkoměr totální stanice, paralaktická metoda, pásmo atd.) se změří vzdálenost. Vypočítá se rozdíl mezi vytyčovanou a změřenou délkou, o který se posune cílová značka. Posun se realizuje např. pomocí pásma nebo dvoumetru. Měření, výpočet a realizace posunu se opakuje, dokud není bod vytyčen s dostatečnou (požadovanou) přesností.

Bod se v terénu vyznačí dřevěným kolíkem (s nakresleným bodem či zatlučeným hřebíčkem v případě vyšší přesnosti), případně se vyznačuje na dřevěnou desku na kolíkách trvalým způsobem. V případě vytyčování na betonové či jiné zpevněné povrchy se obvykle používá zatlučení nastřelovacího hřebu. 30

# 1.3 Výškové vytyčování

## 1.3.1 Základní pojmy a postupy

- Absolutní výška.
  - je vztažena k nulové hladinové ploše v daném výškovém systému, vytyčuje se zpravidla u vodohospodářských, liniových a plošných staveb.
  
- Relativní výška.
  - vůči vztažné výškové úrovni stavby apod.
  
- a) Realizace (bodu) o dané výšce (např. dle projektu)
  - Vytyčení vodorovné přímky/roviny.
  - Vytyčení přímky/roviny daného spádu.
  
- b) Nalezení (bodu) o dané výšce
  - Vrstevnice.
  - Křivka daného sklonu.

Metody: Prost. polární metoda, (nivelace).

## 1.3.1 Základní pojmy a postupy

### Vytyčení bodu:

- Musí být známa poloha, vytyčuje se požadovaná výška.
- Zaměří se stávající výška, dopočte se, o kolik je požadovaná výška výše/níže, odměří se od paty cíle.
- Pohybuje se cílem tak, aby určená výška byla ta vytyčovaná.
- Na kolík se nakreslí vodorovná čára (zářez) v příslušné výšce.
- Na kolík se nakreslí čára s popisem, o kolik výše/níže je vytyčená výška.
- Na kolík se připevní příčné prkénko s horní hranou v příslušné výšce (připevní se přibližně předem, výška se upravuje zatlukáním).
- Přesné vytyčení: např. kovové stabilizace se šroubovacími půlkulovými hlavami, které se po přibližném vytyčení upevní (zabetonují, zalepí), pak se znovu vytyčí výška tak, že se upravuje výška šroubovací hlavy, ta se po vytyčení trvale upevní (zalepí, zabetonuje).

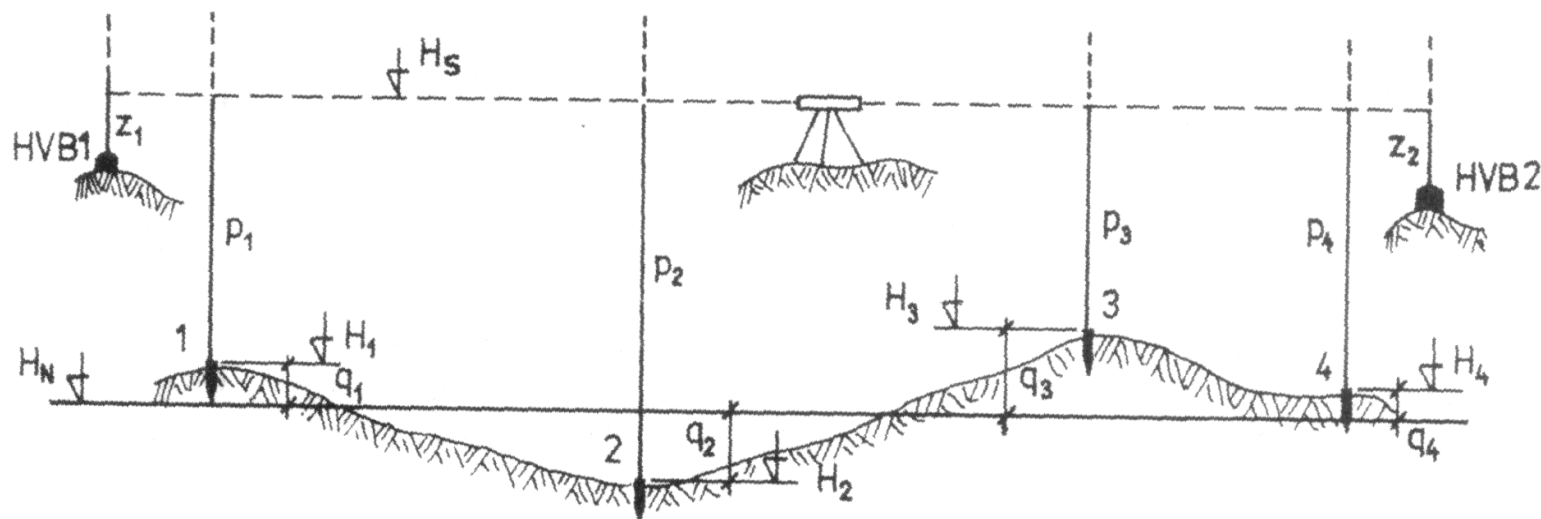
Metody:                   - Geometrická nivelace (technická, přesná).  
                              - Trigonometrická metoda s TS.



## 1.3.2 Jednoduché vytyčovací úlohy

### Vytyčení vodorovné přímky:

- Body přímky se vytyčí polohově, k nim se v jednotlivých bodech vytyčuje výška.



### Vytyčení vodorovné roviny

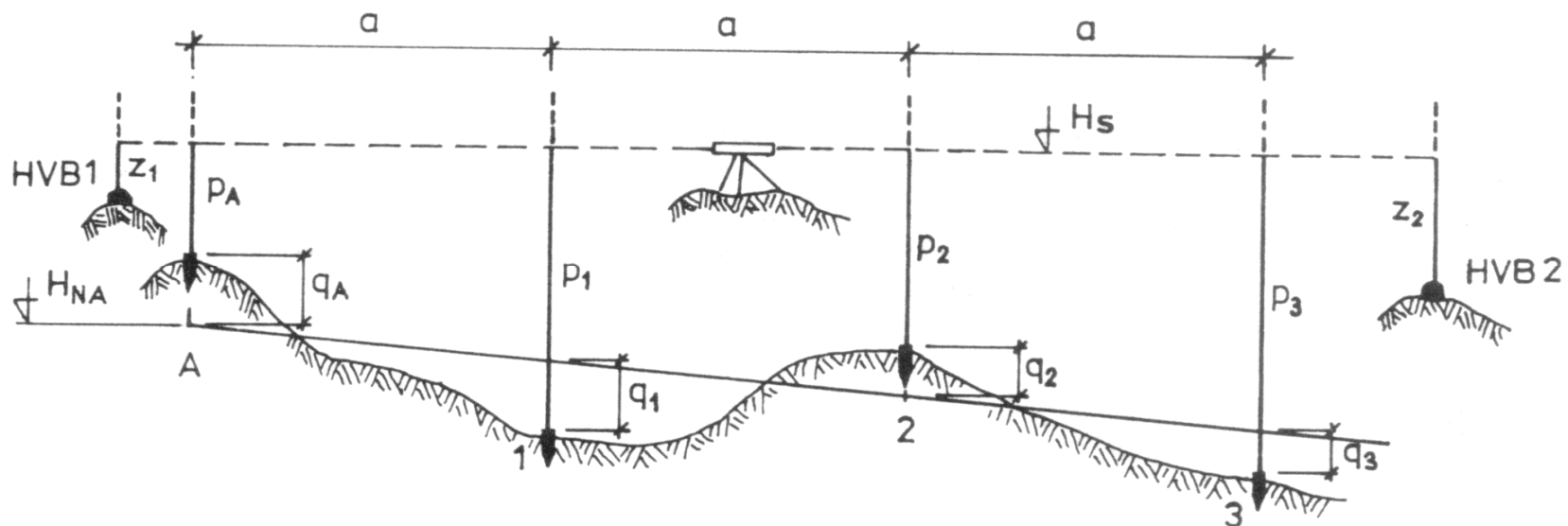
- Obvykle v pravidelném (čtvercovém) rastru, jinak totéž.

## 1.3.2 Jednoduché vytyčovací úlohy

Vytyčení skloněné přímky (daného spádu  $s$  %):

- Body přímky se vytyčí polohově, k nim se v jednotlivých bodech vytyčuje výška.
- Výška se dopočítá podle spádu, body jsou obvykle stabilizovány v pravidelných rozestupech.

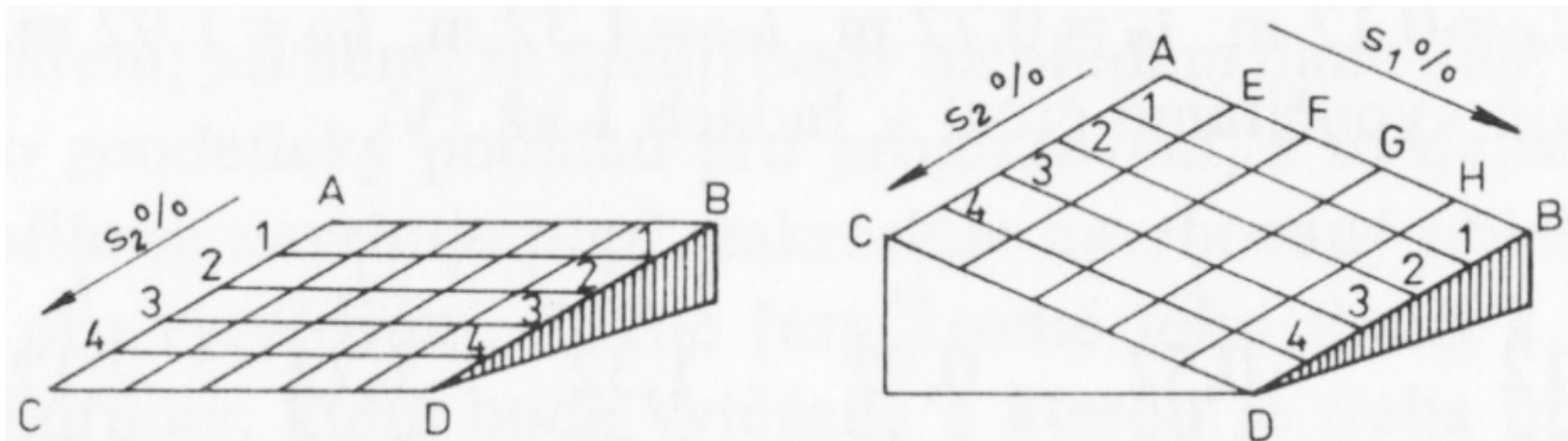
$$s \% = 100 \cdot h / d$$



## 1.3.2 Jednoduché vytyčovací úlohy

Vytyčení skloněné roviny ( $s_1$  %,  $s_2$  %):

- Body roviny se vytyčí polohově – obvykle v pravidelném rastru, k nim se v jednotlivých bodech vytyčuje výška.
- Výška se dopočítá podle spádu.
- Varianta
  - jeden ze spádů je 0,
  - oba spády jsou nenulové.
- Výpočet výšek např. z DMT nebo z vrstevnic.



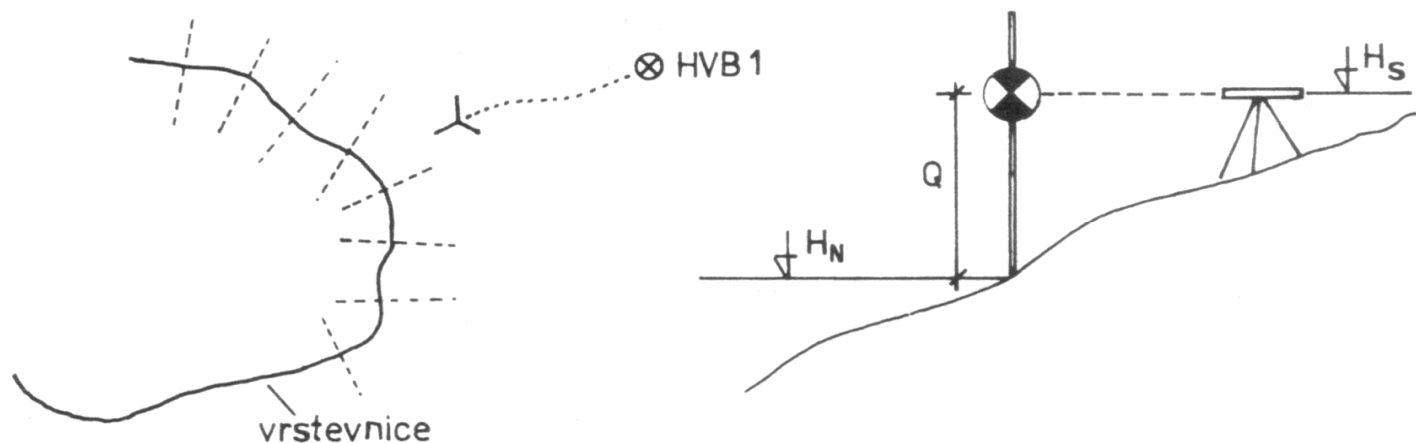
## 1.3.2 Jednoduché vytyčovací úlohy

Nalezení bodu v terénu o dané výšce:

- Figurant se pohybuje ve směru spádu, opakovaně se určuje výška.

**Vytyčení vrstevnice:**

Tato úloha se vyskytuje především u vodohospodářských staveb, kdy je nutné vytyčit zátopovou čáru.



... KONEC ...