

# **SYLABUS 7. PŘEDNÁŠKY Z INŽENÝRSKÉ GEODÉZIE**

**(Výškové vytyčování, Prostorové vytyčovací sítě)**

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

**doc. Ing. Jaromír Procházka, CSc.**

**listopad 2015**

## 8. VÝŠKOVÉ VYTYČOVÁNÍ

Výšky jsou nedílnou součástí prostorového vytyčení bodu. V mnoha případech jsou nároky na přesnost vytyčení výšek dokonce větší než u vytyčení polohového. Týká se to zejména vodohospodářských staveb, kde se jedná o jejich funkčnost (např. kanalizace se samospádem).

### 8.1. VÝŠKOVÉ VYTYČOVACÍ SÍŤ

Výškové vytyčovací sítě se budují ve výškovém systému baltském – po vyrovnání (Bpv), který je nařízením vlády č.116/95 Sb. závazný a navazují na body České státní nivelační sítě (ČSNS). Výjimečně se používá místní výškový systém.

Přesnost bodů výškové vytyčovací sítě musí vyhovovat požadavkům uvedeným v ČSN 73 0420-1 a 73 0420-2 „Přesnost vytyčování staveb“ pro hlavní výškové body (HVB), popř. pro podrobné vytyčení, a to včetně vlivu přenesení výšky z bodu výškové vytyčovací sítě. Požadovaná směrodatná odchylka  $\sigma_{TH}$  výšky HVB je potom dána vztahem:

$$\sigma_{TH} = \sqrt{\sigma_{Tv}^2 + \sigma_{Th}^2}, \quad (8.1)$$

kde  $\sigma_{Tv}$  je požadovaná směrodatná odchylka výšky bodů výškové vytyčovací sítě (VVS),  
 $\sigma_{Th}$  - požadovaná směrodatná odchylka přenesení výšky z bodu VVS na HVB.

Odtud se vypočte hodnota požadované směrodatné odchylky výšky bodů VVS:

$$\sigma_{Tv} = \sqrt{\sigma_{TH}^2 - \sigma_{Th}^2}. \quad (8.2)$$

Vzhledem k tomu, že se přenesení výšky zpravidla realizuje na kratší vzdálenosti je možno volit směrodatnou odchylku  $\sigma_{Th}$  tak, aby ovlivnila směrodatnou odchylku výšky HVB co nejméně a nezvyšovala neúměrně nároky na požadovanou přesnost bodů VVS. Tomu pak odpovídá návrh metody měření.

Základní metodou určování výšek bodů vytyčovacích sítí je geometrická nivelace ze středu. Při současném zaměřování polohy a výšky lze s výhodou použít i trigonometrické metody, pokud ovšem vyhovuje požadované přesnosti výškového zaměření.

#### 8.1.1. Budování výškových vytyčovacích sítí nivelací

Jak již bylo uvedeno výše, vychází požadavky na přesnost vybudování výškové vytyčovací sítě z požadované přesnosti HVB. Podle ní se potom volí typ (TN, PN, VPN), popř. i řád nivelace. V některých případech se zřizují speciální výškové vytyčovací sítě, jejichž přesnost (zpravidla relativní) vychází z požadované přesnosti podrobného vytyčení (zaměření). To bývá běžné při vytyčování (usazování, či rektifikaci) strojních zařízení a při montážních pracích, kde je možno využít i metody hydrostatické nivelace (odst. 8.1.3).

Nivelační pořady navazují na výškové body ČSNS, jejichž výška se ověřuje kontrolním měřením. Přesnost nivelace a kontrolního měření je stanovena Vyhláškou č.31/95 Sb., kterou se provádí zákon č.200/94 Sb. o zeměměřičství a Instrukcí pro práce ve výškových bodových polích. Pro přesnou (popř. velmi přesnou) nivelaci platí následující mezní rozdíl mezi měřením tam a zpět. Přesnost je rozdělena do 4 řádů a platí pro nivelační oddíl:

I.	II.	III.	IV.
$1,5 \cdot \sqrt{R}$	$2,25 \cdot \sqrt{R}$	$3,0 \cdot \sqrt{R}$	$5,0 \cdot \sqrt{R}$

(8.3)

kde  $R$  je délka nivelačního oddílu (v km) a výsledná mezní odchylka je v milimetrech.

Pro kontrolní měření platí stejné hodnoty s tím rozdílem, že se ke každé hodnotě mezního rozdílu přidávají 2 mm. Délka oddílu u vytyčovacích sítí bývá poměrně malá, okolo 200 m.

Pro vytyčování výšek se mimo přesnou nivelaci používá i technické nivelace, s ohledem na požadovanou přesnost vytyčení. Podmínky na kvalitu přístrojů, pomůcek i technologie jsou potom výrazně méně náročné. Používá se obousměrné nivelace nebo jednosměrného uzavřeného pořadu. Mezní odchylka rozdílu (uzávěru) pro technickou nivelaci (v mm) je dána vztahem:

$$\Delta_M = 20 \cdot \sqrt{R}, \quad (8.4)$$

kde  $R$  je délka pořadu obousměrné nivelace nebo poloviční délka jednosměrné nivelace. Při vyšších nárocích na přesnost se používá konstanty 10, při nižších 40 (plošná nivelace). Je-li dán mezní rozdíl obousměrné nivelace, je možné z něj vypočítat požadovanou směrodatnou odchylku (průměru měření tam a zpět) ze vzorce:

$$\sigma_T = \Delta_M / 4 . \quad (8.5)$$

Pokud je zaměřen soubor nivelačních oddílů, je možné vypočítat výběrovou kilometrovou odchylku  $s_o$  průměru měření tam a zpět ze vztahu:

$$s_o = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum \frac{\rho^2}{R}} , \quad (8.6)$$

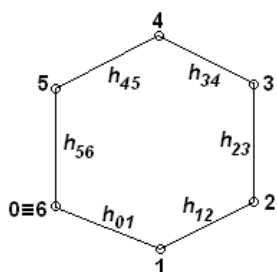
kde  $n$  je počet nivelačních oddílů,  
 $\rho$  - odchylka v převýšení nivelačního oddílu mezi měřeními tam a zpět,  
 $R$  - délka oddílu v km.

Výběrová kilometrová odchylka se hodnotí nerovností  $s_o \leq s_M$  s mezní hodnotou, danou pro jednotlivé řády nivelačních sítí hodnotami:

I.	II.	III.	IV.	
$0,4+0,71 \cdot \sqrt{n}$	$0,45+0,80 \cdot \sqrt{n}$	$0,6+1,06 \cdot \sqrt{n}$	$1,0+1,77 \cdot \sqrt{n}$	(8.7)

kde  $n$  je počet nivelačních oddílů.

Nivelační pořady se zpravidla připojují na výškové body ČSNS, přičemž se používá buď pořadů vetknutých mezi dva výškové body, nebo uzavřených pořadů, připojených na jeden výškový bod. Potom dochází k vyrovnání. Směrodatná odchylka výšky  $i$ -tého bodu  $\sigma_{Hi}$  v uzavřeném nivelačním pořadu o  $n$  bodech (obr.1) se odvodí, za zjednodušujícího předpokladu, že všechny oddíly jsou určeny se stejnou přesností a směrodatná odchylka určení převýšení v nivelačním oddílu  $\sigma_{hi,j}$  je známa (může být nahrazena výběrovou kilometrovou odchylkou pro průměrnou délku nivelačního oddílu  $\sigma_{hi,j} \approx s_o \sqrt{R}$ ). (Platí i pro vetknutý nivelační pořad).



Obr.1 Uzavřený nivelační pořad

Vychází se přitom z rovnice pro výpočet vyrovnané výšky  $i$ -tého bodu, který je možno pro odvození konkretizovat a poté vztahy zobecnit. Tedy například pro bod č.2 ( $i$ ) bude platit:

$$H_2 = H_0 + h_{01} + h_{12} - \frac{2}{6} \cdot (h_{01} + h_{12} + h_{23} + h_{34} + h_{45} + h_{56}) , \quad (8.8)$$

a po sloučení a dosazení  $H_0 = 0$ :

$$H_2 = \frac{4}{6} \cdot (h_{01} + h_{12}) - \frac{2}{6} \cdot (h_{23} + h_{34} + h_{45} + h_{56}) . \quad (8.9)$$

Rovnice pro náhodné odchylky:

$$\varepsilon_{H_2} = \frac{4}{6} \cdot (\varepsilon_{h_{01}} + \varepsilon_{h_{12}}) - \frac{2}{6} \cdot (\varepsilon_{h_{23}} + \varepsilon_{h_{34}} + \varepsilon_{h_{45}} + \varepsilon_{h_{56}}) \quad (8.10)$$

a pro směrodatné odchylky za předpokladu že  $\sigma_{h_{01}} \approx \sigma_{h_{12}} \approx \sigma_{h_{23}} \approx \sigma_{h_{34}} \approx \sigma_{h_{45}} \approx \sigma_{h_{56}} = \sigma_h$ :

$$\sigma_{H_2}^2 = \frac{4^2}{6^2} \cdot 2 \cdot \sigma_h^2 + \frac{2^2}{6^2} \cdot 4 \cdot \sigma_h^2 , \quad (8.11)$$

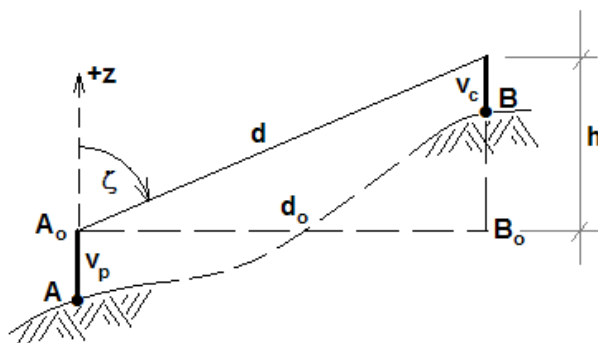
tedy obecně:

$$\sigma_{Hi}^2 = \left[ \frac{(n-i)^2}{n^2} \cdot i + \frac{i^2}{n^2} \cdot (n-i) \right] \cdot \sigma_h^2 = \sigma_h^2 \cdot \left[ \frac{(n-i) \cdot i \cdot (n-i+i)}{n^2} \right] \quad (8.12)$$

$$\sigma_{Hi} = \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{(n-i) \cdot i}{n}} . \quad (8.13)$$

### 8.1.2. Budování výškových vytyčovacích sítí trigonometricky

Výška bodu určeného trigonometricky se vypočte ze vzorce (8.14, obr.2):



Obr.2 Určení výšky bodu trigonometricky

$$H_B = H_A + v_p \pm h - v_c + q, \quad (8.14)$$

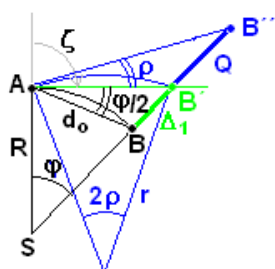
- kde  $H_A, H_B$  jsou výšky bodů A, B,  
 $v_p, v_c$  - výška přístroje a výška cílové značky,  
 $q$  - vliv zakřivení a refrakce,  
 $h$  - převýšení mezi točnou osou dalekohledu a cílovou značkou.

Převýšení  $h$  se vypočte z rovnice:

$$h = d \cdot \cos \zeta, \quad (8.15)$$

- kde  $d$  je měřená šikmá vzdálenost,  
 $\zeta$  - měřený zenitový úhel.

**Vliv zakřivení Země a vliv refrakce** se vypočte z rovnice, odvozené z obr.3:



Obr.3 Vliv zakřivení a refrakce

$$\text{vliv zakřivení Země: } \Delta_1 = d_o \cdot \frac{\hat{\varphi}}{2} = \frac{d_o^2}{2R}, \quad (8.16)$$

$$\text{kde } \frac{\hat{\varphi}}{2} = \frac{d_o}{2R}$$

$$\text{a vliv refrakce: } Q = d_o \cdot \hat{\rho} = k \cdot \frac{d_o^2}{2R}, \quad (8.17)$$

$$\text{kde } \hat{\rho} = \frac{d_o}{2r} = \frac{2R}{2r} \cdot \hat{\varphi} = k \cdot \frac{d_o}{2R}. \quad (8.18)$$

Vliv zakřivení a refrakce se vyjádří společným vzorcem:

$$q = \frac{d_o^2}{2R} \cdot (1 - k), \quad (8.19)$$

- kde  $d_o$  je vodorovná vzdálenost mezi body A, B,  
 $R$  - poloměr náhradní koule (pro danou zeměpisnou šířku a zvolený elipsoid),  
 $k$  - refrakční součinitel,  
 $\varphi$  - středový úhel, odpovídající délce  $d_o$ ,  
 $\rho$  - refrakční úhel (malá hodnota),  
 $r$  - poloměr kružnicového oblouku, nahrazujícího průběh paprsku vlivem refrakce.

Oprava ze zakřivení Země se může zavést také tím, že se zenitový úhel  $\zeta$  opraví o hodnotu  $o_\zeta$  (obr.3):

$$o_\zeta = \frac{\varphi}{2} = \frac{d_o}{2R} \cdot \rho \approx \frac{d}{200} [mgon], \quad (8.20)$$

- kde  $\rho$  je radián v mgon.

*Vliv zakřivení Země* se eliminuje při oboustranném měření zenitových úhlů a zavádění průměru do výpočtů. Eliminuje se rovněž při stejně dlouhých záměrech vzad a vpřed při geometrické nivelaci ze středu nebo při trigonometrické nivelaci se šikmými, stejně dlouhými záměry. Jinak je nutno vliv zakřivení uvažovat, obzvláště při vyšších požadavcích na přesnost výsledků nebo při větších rozdílech v délkách záměr.

*Refrakce* může zejména při trigonometrické metodě velmi nepříznivě ovlivnit určení výšky. Zavádění početních oprav (vzorec 8.17) je v praxi nepoužitelné, protože hodnota refrakčního koeficientu je proměnlivá, závislá na atmosférických podmínkách, délkách záměr a především na výšce záměr nad terénem či překážkami. Pro krátké délky záměr, jdoucí navíc často i nepříliš vysoko nad terénem, čemuž se v inženýrské geodézii zpravidla nevyhneme, může refrakční koeficient nabývat jak záporných (častější případ), tak i kladných hodnot, a to až kolem 3! Obvykle prezentovaná hodnota refrakčního koeficientu kolem 0,13 byla určena Gaussem z měření v trigonometrických sítích a platí pouze pro velké vzdálenosti a záměry jdoucí vysoko nad terénem.

Vliv refrakce lze tedy prakticky snížit pouze zavedením vhodného technologického postupu, a to použitím oboustranně měřených zenitových úhlů nebo měřením výšek v sestavách.

### **8.1.2.1. Oboustranně měřené zenitové úhly**

Tento postup je výhodný, měří-li se současně poloha a výška. Poloha bodů vytyčovací sítě se zaměřuje např. polygonovým pořadem a současně se měří zenitové úhly. Stabilizace bodů je totožná pro polohu i výšku. Nejlepších výsledků se dosahuje při současném měření protilehlých zenitových úhlů. Realizace tohoto postupu je však poměrně náročná, a to jak časově, tak i finančně. Pro běžné technické účely asi nejlépe vyhovuje měření zenitových úhlů s kratším časovým odstupem tak, aby se povětrnostní podmínky při měření „tam“ a „zpět“ příliš nelišily. Pokud se použije uvedeného postupu, změní se refrakce pro jednostrannou záměr na diferenční refrakci při oboustranné záměře. Diferenční refrakce je výrazně menší. Refrakce obsahuje náhodnou a systematickou složku, přičemž se v průměru obou převýšení systematická složka vylučuje.

Aby se vliv refrakce (popř. diferenční refrakce) udržel na přijatelné velikosti, je nutné dodržet dvě zásady. Výška záměry nad terénem nesmí klesnout pod 1 m v celém průběhu záměry a měření za nepříznivých podmínek (střídání slunečného počasí s přeháňkami nebo slunečné počasí s vibracemi vzduchu) by mělo být omezeno.

Určitou komplikací je při tomto postupu přesné (na 0,1 až 0,2 mm) určení výšky přístroje. To bylo na katedře speciální geodézie nejprve vyřešeno využitím tyčové olovnice pro přístroj Kern (*skripta Inženýrská geodézie 10, 20, Návody ke cvičením, kap.11*), později pomocí speciálního přípravku pro přístroje firmy Leica (*dizertační práce Ing. Tomáše Jiříkovského, Ph.D.*).

### **8.1.2.2. Měření výšek v sestavě**

Tento postup je obdobný s nivelací pouze s tím rozdílem, že místo vodorovné záměry se používá záměry šikmé. Kombinuje-li se tento postup s určováním polohy polygonovým pořadem, volí se výškové body zhruba uprostřed polygonové strany. Výhodou oproti předcházející metodě je, že není nutné měřit výšku přístroje a délka záměry se zkrátí na polovinu. Nevýhodou je, že převýšení se určí pouze jednou (je vhodné volit pro kontrolu dva cílové body) a vliv refrakce se projeví nepříznivěji, protože podmínky při měření záměry vzad a vpřed mohou být různé a dodržení stejné délky záměr je problematické (předpokladem je stejná délka sousedních polygonových stran).

Vzhledem k tomu, že délka záměry vzad a vpřed může být různá, je nutné zavádět opravu ze zakřivení Země.

### **8.1.3. Určování převýšení hydrostatickou nivelací**

Pro přesné vytyčení nebo určení převýšení jako např. u montážních linek, usazování velkých strojů, měření v těžko přístupných prostorech apod. se používá hydrostatické nivelace, pro kterou je třeba vybudovat speciální výškovou síť stabilizovanou přípravky pro osazení měřicích válců.

Přesnost (vnitřní) přístrojů pro hydrostatickou nivelaci dosahuje podle typu snímacího zařízení až 0,01 mm. Vnější přesnost je ovšem menší a závisí na vzdálenosti, na kterou se výška přenáší, na homogenitě a zejména teplotě kapaliny v průběhu celé spojovací trubice. Proto je uvažována směrodatná odchylka jednoho převýšení 0,1 až 0,2 mm.

Převýšení je ovšem omezeno rozsahem válců (řádově 0,1 m). Přístroje jsou podrobně popsány v odborné literatuře (např. Geodézie 3). Předností metody je, že měření lze automatizovat, posuny sledovat kontinuálně, dálkově snímat a registrovat. Proto tato metoda nachází využití především při měření posunů a přetvoření staveb.

Metody bylo úspěšně použito například při přesunu děkanského kostela v Mostě. Pomocí ní lze automaticky kontrolovat chování (vertikální posuny) základové desky např. pro reaktory atomových elektráren.

Ve zjednodušené formě se tato pomůcka používá ve stavebnictví k vytyčování vodorovné roviny (hadicová vodováha).

## **8.2. STABILIZACE VÝŠKOVÝCH BODŮ**

Stabilizace výškových bodů mají obecně vyhovovat vyhlášce č.31/95 Sb. i specifickým podmínkám na stavbě. Body by měly být voleny tak, aby po celou dobu stavby zachovaly svoji výšku.

Hlavní výškové body (HVB) se budují v určité vzdálenosti od objektů tak, aby případné posuny způsobené stavbou neovlivnily jejich stabilitu. Body se umísťují ve vzdálenosti do 100 m (max. 200 m) od objektů. Je nutné respektovat geologické a hydrologické poměry. Na menších stavbách se volí minimální počet bodů, tj. tři popř. čtyři body, s ohledem na kontrolu měření. Na větších stavbách se buduje síť HVB po obvodě staveniště a uvnitř se stabilizují pomocné výškové body.

Nivelační značky se umísťují na skalách, stabilizovaných budovách, v nivelačních kamenech nebo se používá hloubkových stabilizací (zejména při jejich použití i pro měření posunů). Nejspolehlivější bývají body na nezvětralých skalách a v hloubkových stabilizacích. Většinou se používají typizované čepové nebo hřbové značky. Často, zejména na sídlištích, se používá společné stabilizace s polohovými body v betonových blocích.

## **8.3. VYTYČOVÁNÍ VÝŠKY OBJEKTU**

Vytyčování výšky objektu podle ČSN 73 0420-2 „Přesnost vytyčování staveb“ sestává z vytyčení hlavních výškových bodů a podrobného výškového vytyčení. Hlavní výškové body se vytyčují poblíž objektu a jejich hustota je taková, aby podrobné vytyčení bylo snadné a dostatečně přesné, včetně možnosti kontroly. U liniových staveb je vzájemná vzdálenost těchto bodů předepsána ČSN 73 0420-2 a liší se podle druhu stavby. Hlavní výškové body navazují na výškovou vytyčovací síť a metody jejich určení jsou stejné jako pro výškovou vytyčovací síť.

Při vytyčování objektů s prostorovou skladbou (podrobné vytyčení) se vychází z relativních výšek. Tyto výšky jsou vztaženy nejčastěji k výšce podlahy v přízemí. Této výšce se ve stavebních výkresech dává hodnota  $\pm 0,00$  m, které je ovšem přiřazena i odpovídající nadmořská výška. Tak vzniká místní výškový systém, který je ale připojen na ČSNS. Všechny výškové kóty nad nulovou úrovní mají kladné znaménko, pod touto úrovní pak záporné.

Základní úlohou při výškovém vytyčování objektu je vytyčení bodu. Z těchto bodů se potom skládají přímky, roviny a plochy. Ke splnění vytyčovacích úloh se používají různé postupy a přístroje:

- geometrická nivelace s použitím optických přístrojů nebo laserů,
- trigonometrické měření výšek,
- hydrostatická nivelace.

Základní metodou je geometrická nivelace, která má řadu předností, tj. jednoduchost, přesnost, snadnou dostupnost vybavení, rychlost atd. Ostatní metody jsou doplňkové a používají se tehdy, když nivelace je obtížně použitelná.

Jako pro každé vytyčení, tak i pro výškové vytyčování platí zásada jeho kontroly, a to nejčastěji druhým měřením stejným postupem se stejnou přesností.

### 8.3.1. Vytyčování přímky a roviny

Vytyčování přímky a roviny, vodorovné nebo daného sklonu, je běžná úloha při terénních úpravách, ale i při vytyčování kanalizace, vodovodu, při výstavbě letištních či parkovacích ploch, náměstí apod. Body přímek nebo rovin jsou umístěny ve vzdálenostech stanovených projektem, nejčastěji v pravidelných rozestupech.

Při malých sklonech je nejvhodnější vytyčovací metodou nivelace, pro větší sklony lze použít totální stanice. Širokého uplatnění při těchto úlohách nacházejí přístroje vybavené laserem. Paprsek laseru je buď ve viditelném, nebo neviditelném spektru. Přístroje s neviditelným paprskem jsou doplněny latí s elektronickým (automatickým) vyhledáváním horizontu přístroje. Přístroje s rotačním laserem umožňují vytyčování roviny. Pro urovnání přístroje (horizontaci) se používá trubicových libel, nebo kompenzátoru. Dalším vybavením je sklonoměr, který dovoluje, kromě vytyčení vodorovné roviny, v určitém rozsahu vytyčení sklonu dané velikosti. Zpravidla bývá možné rovněž vytyčení roviny svislé.

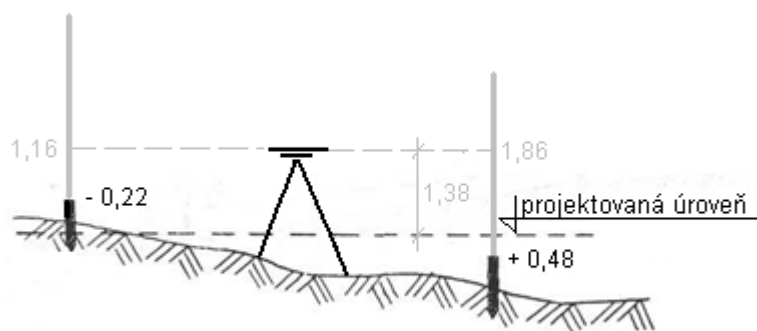
Přesnost vytyčování (charakterizovaná směrodatnou odchylkou) je závislá na kvalitě přístroje a bývá 1 až 3 mm na 30 m. Dosah je různý podle výkonnosti laseru a je závislý i na oslunění. Předností je i hospodárnost postupu, neboť k vytyčování postačí jeden pracovník. Protože se pracuje s laserovým paprskem, je nutno dodržovat bezpečnostní předpisy. Další informace a podrobnosti, včetně vyráběných přístrojů je možno získat v odborné literatuře.

S výjimkou strojních zařízení a některých montovaných konstrukcí se při výškovém vytyčování zpravidla vystačí s přesností odpovídající technické nivelaci.

#### 8.3.1.1. Vytyčování přímky

##### Vytyčování vodorovné přímky nivelací

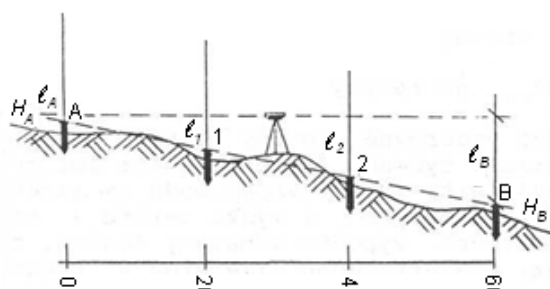
Záměrou vzad na daný bod se určí výška horizontu nivelačního přístroje, pak se bočními záměry změří laťové úseky na podrobných vytyčovaných bodech a vypočtou výšky bodů (hlav kolíků). Ty se porovnají s projektovanými výškami a vypočtou rozdíly, které udávají velikost násypu či výkopu vzhledem k hlavě kolíku. Tyto hodnoty se zapíší na kolík, popř. se vytyčovaná úroveň na kolíku vyznačí např. zářezem nebo se kolík nastaví, je-li kratší. Při přesném vytyčení výšky se použijí speciální ocelové značky s vyřezaným závitem, ve kterém se pohybuje šroub s půlkulatou hlavou. Ten lze v omezeném rozsahu



Obr.4 Vytyčování vodorovné přímky nivelací

přesně nastavit do projektované výšky. Takový postup byl použit při výstavbě pražského metra pro vytyčení výšky hlav kolejnic. Při vyšších nárocích na přesnost je nutno zavádět opravy z nevdorovnosti záměrné přímky, vzhledem k rozdílné délce záměr vzad a záměr bočních. Při delší přímce se body určují z více postavení přístroje.

##### Vytyčování skloněné přímky nivelací



Obr.5 Vytyčování skloněné přímky nivelací

Krátkou přímku s malým spádem je zpravidla možné vytyčit z jednoho postavení nivelačního přístroje. Z projektu jsou známé nadmořské výšky koncových bodů přímky A, B a jejich vzdálenost. Z nich se vypočte převýšení pro jeden metr délky přímky a k tomu se určí odpovídající laťové úseky.

### Příklad:

Výšky daných bodů  $H_A = 199,35 \text{ m}$ ,  $H_B = 196,62 \text{ m}$ , vzdálenost  $d_{AB} = 60 \text{ m}$ . Potom převýšení  $h_{AB} = -2,73 \text{ m}$  a převýšení pro  $1 \text{ m}$   $h_1 = -2,73/60 = -0,0455 \text{ m}$ ,  $1_A = 0,23 \text{ m}$ ,  $1_B = 2,96$ , ( $h_{AB} = -2,73 \text{ m}$  kontrola). Délky vytyčovaných úseků  $d_1 = 20 \text{ m}$  a  $d_2 = 40 \text{ m}$ . Laťové úseky na jednotlivých bodech jsou:

$$1_1 = 0,23 + 0,91 = 1,14 \text{ m},$$

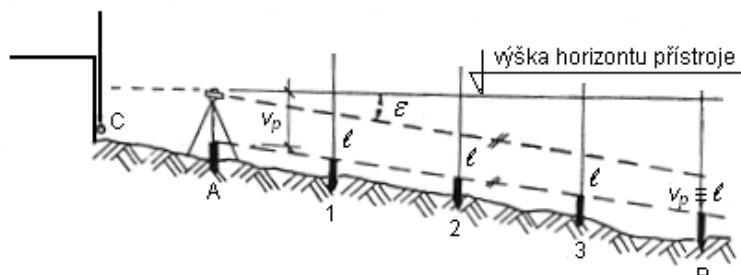
$$1_2 = 0,23 + 1,82 = 2,05 \text{ m},$$

$$1_B = 0,23 + 2,73 = 2,96 \text{ m} - \text{kontrola}.$$

Někdy je úloha zadána tak, že je dán pouze bod A a přímka je určena svým sklonem v procentech (např. 2%). Potom např. pro úsek  $d_1 = 20 \text{ m}$  je převýšení  $h_1 = 20 \times 0,02 = 0,40 \text{ m}$ . Při vytyčování dlouhých přímek je nutné použít několika postavení nivelačního přístroje.

### Vytyčování skloněné přímky teodolitem

Teodolitu se používá při vytyčování přímek s větším sklonem. Bývá zadán přímo úhel sklonu  $\varepsilon$ , nebo se vypočte z daných výšek koncových bodů A, B a známé délky  $d_{AB}$ , nebo z daného sklonu v procentech  $s\%$ . Potom  $\text{tg } \varepsilon = h_{AB}/d_{AB} = s/100$ . Řešení je patrné z obr. 6.



Obr.6 Vytyčení skloněné přímky teodolitem

Na bodě A se výška přístroje buď přímo změří, nebo se odvodí ze známé výšky bodu C (např. záměrou pod vodorovnou). Nastaví se úhel sklonu  $\varepsilon$  a na všech bodech se lať zařazuje na čtení rovné výšce přístroje, popř. se na kolík uvede hodnota výkopů a násypů (rozdíl mezi čtením na lati a výškou přístroje). Při zařazování hlav kolíků přímo do přímky je vhodné čtení na lati vyznačit značkou.

### 8.3.1.2. Vytyčování roviny

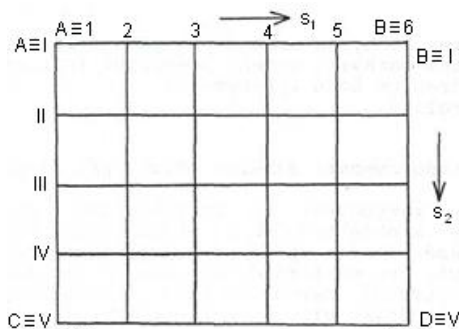
#### Vytyčování vodorovné roviny

Při vytyčování vodorovné roviny platí, že sklon  $s = 0\%$ . Poloha bodů je předem vytyčena a stabilizována kolíky. Zpravidla se jedná o čtvercovou síť. Výšky všech bodů se zaměří nivelací. Měří se výška kolíků a obvykle i výška terénu u kolíků. Ta se měří s ohledem na možnost výpočtu kubatury zeminy, tj. výkopů a násypů. Rozdíl mezi projektovanou niveletou a výškou kolíku se vyznačí na kolíku a do vytyčovacího výkresu.

Při drobných úpravách (např. hřišť) se niveleta vypočte přímo z naměřených výšek terénu na místě. V těchto případech se dodržuje zásada, aby objem násypů a výkopů byl stejný. Výška nivelety je pak aritmetickým průměrem výšek bodů v rozích čtvercové sítě.

Při jednoduchých a méně přesných úpravách se na bodech na obvodu vytyčují lavičky příslušné výšky, do jejichž horizontu se výškově zařazují ostatní body pomocí tzv. dlaždičských křížů. V současné době se používá pro vytyčení roviny rotačních laserů

#### Vytyčování roviny s daným sklonem



Obr.7 Vytyčování roviny s daným sklonem

Tato úloha je již složitější a podkladem pro její řešení je opět čtvercová síť. Strana čtvercové sítě se volí od 5 do 20 m. Rovina je dána dvěma přímkami (výchozími), většinou na sebe kolmými. Sklon (někdy se používá termínu spád) těchto přímek je zadán. Obecně mohou mít obě přímky různý sklon. Úloha se zjednoduší, je-li sklon jedné přímky nulový. Kromě výšky bodu A je zadán sklon  $s_1$ , a  $s_2$ . Při vytyčování se postupuje tak, že se nejprve určí výšky bodů obvodového obrazce. Z bodu A se vytyčí přímka A, B se sklonem  $s_1$  a přímka A, C se

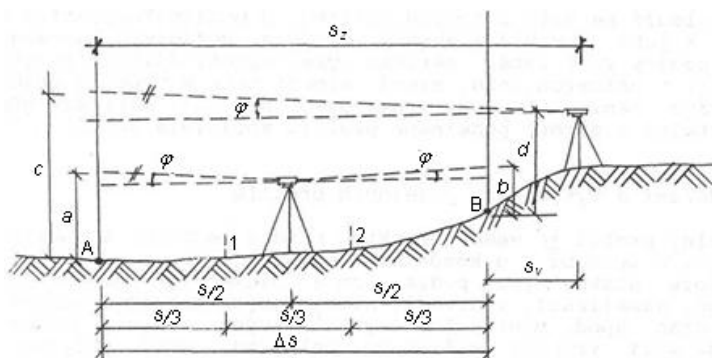


sklonem  $s_2$ . Dále se vytyčí přímka B, D a kontrolně C, D, s příslušnými sklony. Podrobné vytyčení se provádí po přímkách, v obr. 7 označených buď arabskými, nebo římskými čísly. Každý profil je kontrolován vytyčením posledního bodu. Uvnitř rámu je možno použít i dlaždičských křížů.

### 8.3.2. Oprava z nevdorovnosti záměrné přímky při nivelaci

Při výškovém vytyčování ve stavebnictví a strojírenství často nelze dodržet z objektivních či ekonomických důvodů zásadu stejně dlouhých záměr vzad a vpřed při nivelaci či bočných záměr při plošné nivelaci. Pro některé druhy prací s nižšími nároky na přesnost (např. vytyčení terénních úprav, základových pasů či desky) není nutno uvažovat vliv nevdorovnosti záměrné přímky na výšky vytyčovaných (zaměřovaných) bodů. V každém případě je však nutno určit hodnotu opravy pro každý přístroj (opakovaně kontrolovat, popř. rektifikovat) a citlivě zvážit, kdy je možno opravu zanedbat.

Naopak při usazování různých strojů, zařízení a ocelových konstrukcí (např. válcovacích tratí, jeřábových drah, vodorovných nosníků apod.), při měření výškových posunů (např. patek sloupů apod.), kde jsou kladeny vysoké nároky na přesnost výškového vytyčení či zaměření je bezpodmínečně nutné vliv nevdorovnosti záměrné přímky z výsledků početně vyloučit. K tomu je třeba určit úhel, který svírá vodorovná rovina se záměrnou



Obr.8 Oprava z nevdorovnosti záměrné přímky

přímkou a při měření určovat délky záměr (zpravidla postačí ryskovým dálkoměrem, kterým je nivelační přístroj vybaven).

Postup při určení úhlu je obdobný jako při rektifikaci nivelačního přístroje. Nivelační přístroj se umístí uprostřed mezi stabilizovanými body A, B a určí se jejich převýšení  $h_{A,B}$ , které není přístrojovou vadou ovlivněno. Potom se nivelační přístroj přemístí blízko za bod B (s ohledem

na zaostřovací vzdálenost) a přečtou se laťové úseky  $c$ ,  $d$ , které jsou touto chybou ovlivněny. Podle obr. 8 platí:

$$a - b = h_{a,b}, \quad c - d = h_{c,d} . \quad (8.25)$$

Potom oprava  $o$  je :

$$o = h_{ab} - h_{cd} \quad (8.26)$$

Oprava pro jeden metr délky  $o_m$  je :  $o_m = \frac{o}{\Delta s} = \hat{\varphi}$ , (8.27)

kde  $\Delta s$  je vzdálenost mezi laťmi.

S ohledem na určení správného znaménka opravy  $o_m$  je vhodné volit záměru vzad ( $a$ ,  $c$ ) na vzdálenější bod. Potom je rozdíl  $\Delta s$  délek záměr vzad  $s_z$  a vpřed  $s_v$  ve vzorci (8.27) kladný:

$$s_z - s_v = \Delta s \quad (8.28)$$

Určovaný bod „ $i$ “ se opraví o hodnotu  $o_i$ :

$$o_i = o_m \cdot \Delta s_i \quad (8.29)$$

kde  $\Delta s_i = s_{zi} - s_{vi}$  .

*Příklad:*  $h_{ab}=1,0000$  m,  $h_{cd}=1,0020$  m,  $s=30$  m. Potom  $o_m = -0,067$  mm/m. Záměra vzad  $s_{zi} = 40$  m, vpřed  $s_{vi} = 10$  m, potom výšku určovaného bodu je třeba opravit o hodnotu  $o_i = -2,0$  mm.

### 8.3.3. Měření a vytyčování profilů a řezů

Pro řešení výškových poměrů se u liniových staveb (železnice, silnice, kanalizace apod.) používají jako geodetický podklad také řezy a profily (u profilů je měřítko výšek větší oproti měřítku délek). Podélný profil a příčné řezy jsou pro tyto stavby základním podkladem pro projekt. Trasa liniové stavby se skládá ve vodorovném směru z osy a ve výškovém z

nivelety. Podélný profil se zaměřuje v ose komunikace a niveletou se řeší její výškové poměry.

Profily a řezy se volí ve dvou vzájemně kolmých směrech - v podélném a příčném, tj. kolmém na osu. Vyjadřují se v nich délkové a výškové údaje o bodech, které charakterizují reliéf terénu. Do nich se potom zakresluje navrhovaný objekt. Tento výkres je podkladem pro vytyčování. S ohledem na účel, kterému projekty slouží, se volí i jejich měřítko. U podélného profilu se vzhledem k jeho zpravidla značné délce a požadavku zvýraznit sklonové poměry volí větší měřítko výšek oproti délkám (obvykle desetkrát). U příčných řezů, které slouží také k výpočtu objemu přemísťované zeminy (výkopy, násypy), se volí měřítko výšek a délek stejné a oproti podélnému profilu zpravidla větší.

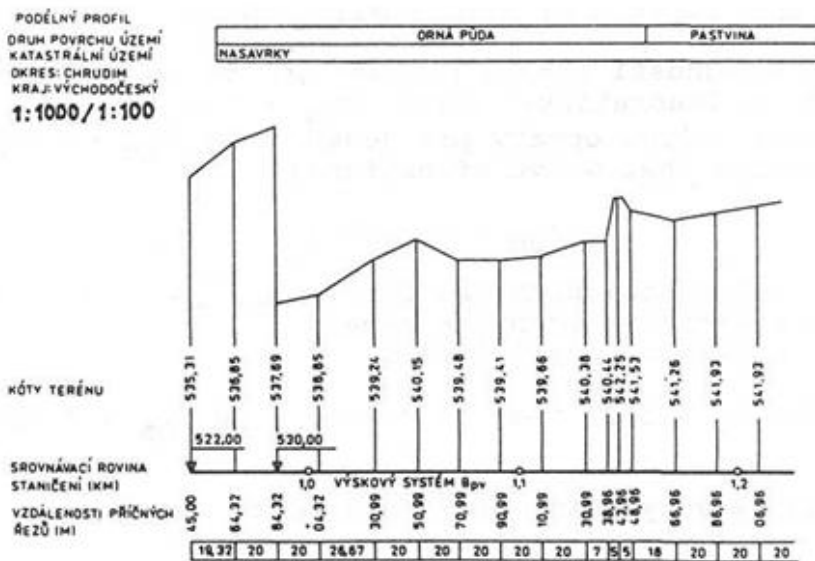
### 8.3.3.1. Měření a vytyčování podélných profilů

Podélný profil je veden objektem nebo konstrukcí v podélném směru např. u potrubí a u komunikace osou objektu.

Liniové stavby typu podzemních a nadzemních inženýrských sítí (např. kanalizací, vodovodů, elektrických kabelů a vedení), lanových drah apod. mění směr osy v lomových bodech. V těchto bodech se volí vrcholy směrového polygonu. Osový polygon se polohově zaměří a zpravidla je připojen do souřadnicového systému JTSK. Nadmořské výšky těchto bodů se připojují např. technickou nivelací na ČSNS.

Při zaměřování komunikačních staveb se osový polygon volí tak, že polygonové body jsou v průsečících tečen. Tečny tvoří osy přímých úseků. Mezi tečny se vkládají oblouky

(kružnice, přechodnice). Přímé úseky a oblouky tvoří osu komunikace, do které se vkládá podélný profil. Podkladem pro vytyčování bývá i polygonový pořad, vedený podél předpokládané osy komunikace. Polygon je polohově a výškově opět připojen. Osa se potom z těchto bodů vytyčuje pomocí prvků, určených ze souřadnic. Volba podrobných bodů se řídí charakterem (sklonitostí a členitostí) terénu a zvoleným měřítkem. Většinou se volí pravidelně ve vzdálenostech po 20 m (v místě příčných



Obr.9 Příklad podélného profilu

řezů) a dále v místech, kde dochází ke změně sklonu terénu, v hlavních bodech oblouku (začátek přechodnice, kružnice apod.), v bodech křížení s trasami jiných objektů apod. V těchto bodech, osazených kolíky, se zaměřují příčné řezy. Výšky se zaměřují nivelací nebo trigonometricky s přesností na 0,01 m. Poloha podrobných bodů podélného profilu je dána staničením trasy.

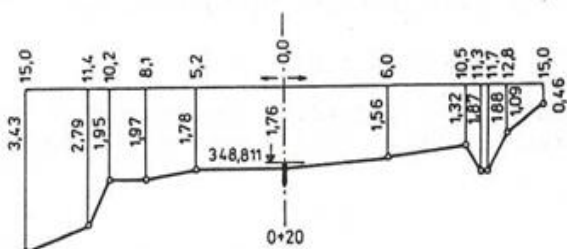
Z naměřených hodnot se vypočtou nadmořské výšky a zhotoví se výkres podélného profilu. Jeho měřítko je s ohledem na druh stavby např. 1:1000/1:100 (poloha/výška). Vzor podélného profilu je uveden na obr. 9.

### 8.3.3.2. Měření a vytyčování příčných řezů

Příčný řez je veden konstrukcí nebo objektem kolmo na podélnou osu, tedy v oblouku ve směru normály. Příčné řezy se vytyčují z podrobných bodů podélného profilu do vzdálenosti 20 až 50 m na obě strany od podélné osy, v závislosti na tvaru terénu a šířce objektu (komunikace). Pokud osa není stanovena definitivně a na základě zaměřených příčných řezů může dojít k určité úpravě, může jejich délka dosáhnout až 300 m. Příčné

řezy se vyhotovují pouze u takových objektů, které nemají zanedbatelnou šířku např. silnice, železnice, vodní toky apod., kde se stávají významnou součástí projektové dokumentace.

Směr příčného řezu, tj. kolmice k ose, lze vytyčit elektronickým tachymetrem, dvojitým pentagonem a při dlouhých řezech nebo při křížení komunikací se vytyčuje teodolitem s přesností 0,01 gon. V obloucích se vytyčuje směr normály (kap.11.1.7 – přednáška ING č.8). Vytyčený směr příčného řezu se dočasně stabilizuje. Výšky a staničení bodů se určují



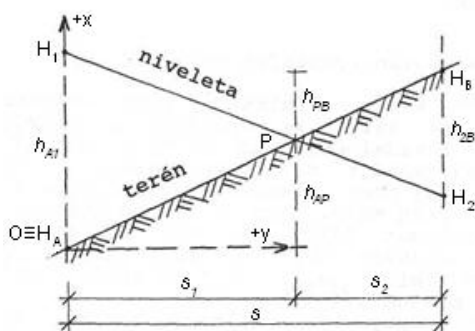
Obr.10 Zobrazení příčného řezu

elektronickými tachymetry pomocí měřených délek, vodorovných a zenitových úhlů, nebo se výšky měří nivelací (záměrami stranou) a délky staničení pásmem. Vychází se z výšky příslušného bodu podélného profilu.

Po výpočtu výšek bodů se příčné řezy zobrazí nejčastěji v měřítku 1:100, ale podle účelu, kterému mají sloužit i v měřítku větším 1:50, či menším (obr. 10).

### 8.3.3.3. Průsečík nivelety s terénem

Při výpočtu kubatur, při projektování např. silnice nebo terénních úprav je třeba znát tzv. nulový bod, tj. průsečík nivelety s terénem. Úloha se řeší na základě podobnosti trojúhelníků (obr. 11). Známé jsou výšky bodů nivelety 1, 2 a výšky odpovídajících bodů terénu A, B. Dále je známa vzdálenost těchto bodů (vodorovná)  $s$ . Má se vypočítat výška průsečíku P a délka  $s_1$  ( $s_2$ ) pro jeho vytyčení.



Obr.11 Průsečík nivelety s terénem

Platí rovnice:

$$\frac{s_1}{h_{A1}} = \frac{s_2}{h_{2B}} = \frac{s}{h_{A1} + h_{2B}} \quad (8.32)$$

Odtud se vypočtou délky  $s_1$  a  $s_2$ . Kontrola:  $s_1 + s_2 = s$ . Ze známých délek  $s_1$  a  $s_2$  se určí převýšení k hledanému bodu P:

$$h_{AP} = \frac{s_1 \cdot h_{AB}}{s}, \quad h_{BP} = \frac{s_2 \cdot h_{BA}}{s}. \quad (8.33)$$

Kontrolou výpočtu je dvojitý výpočet výšky bodu  $H_p$ :

$$H_p = H_A + h_{AP} = H_B + h_{BP}. \quad (8.34)$$

## 8.4. ZVLÁŠTNÍ PŘÍPADY VÝŠKOVÝCH PRACÍ

### 8.4.1. Vytyčování vrstevnice

Nejčastěji se vytyčuje vrstevnice při určování zátopové čáry, která vyznačuje hranici přehradního jezera či rybníku. Na základě jejího vytyčení se provede výkup pozemků, odlesnění apod. Výjimečně se vrstevnice vytyčuje při zvlášť přesných podkladech pro projekt, terénních úpravách a při ověřování výškopisu získaného méně přesnou metodou (fotogrammetricky, tachymetricky). Pro vytyčování vrstevnice se může použít dvou metod (přístrojů). Při použití nivelčního přístroje se vytyčená vrstevnice dodatečně polohově zaměřuje. Při použití elektronického tachymetru je možnost současného zaměření výšek a polohy, což je výhodné.

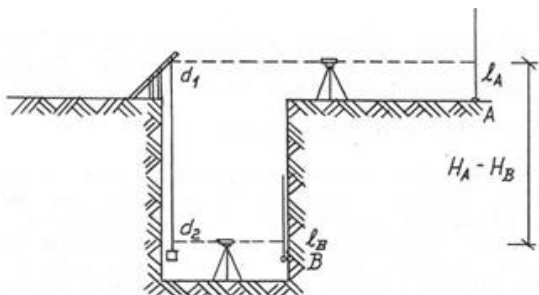
### 8.4.2. Vytyčení velkých výškových rozdílů

V praxi se vyskytují případy, kdy vytyčování (měření) výšky je velmi pracné nebo dokonce nemožné při použití běžných metod (nivelace, trigonometrického měření výšek). Týká se to např. stavebních jam, rýh, jímek a naopak přehradních zdí, vyšších podlaží apod.

K přenesení velkého výškového rozdílu se využívá pásma. Tohoto postupu se běžně používá v dolech, kde se pracuje se speciálními dlouhými pásmy. Postup měření tímto

hloubkovým pásmem, včetně nutného vybavení je popsán například ve skriptech Geodézie v podzemních prostorech. Pásmo se někdy nahrazuje dálkoměrem.

Pro stavební práce se použije běžných pásem délky 20 až 50 m. Napínání pásma se provádí závažím (např. pytlík s pískem) předepsané hmotnosti. Prodloužení pásma vlastní hmotností je pro krátké délky zanedbatelné (pásmo 20 m se protáhne zhruba o 0,1 mm). Pokud se zhruba dodrží napínací síla použitá při komparaci, postačí tedy zavádět opravu měřené délky ze změny teploty oproti teplotě při komparaci a opravu z komparace pásma.



Obr.12 Určení velkých výškových rozdílů

vzorce:

$$H_B = H_A + l_A - (d_2 - d_1) - l_B \quad (8.39)$$

Rovnice platí, je-li nula pásma nahoře (častější případ). V opačném případě se změni znaménko před závorkou.

Při vytyčování bodu B se vytyčuje čtení na lati  $l_B$ :

$$l_B = H_A - H_B - (d_2 - d_1) + l_A. \quad (8.40)$$

V rovnicích (8.39) a (8.40) je:

- $l_A, l_B$  - čtení na lati na bodu A,B,
- $d_1, d_2$  - čtení na pásmu nahoře a dole,
- $H_A, H_B$  - výška bodu A,B.

## 8.5. TRIGONOMETRICKÉ MĚŘENÍ VÝŠKY OBJEKTU

Určení výšky bodu trigonometricky je popsáno v kap.8.1.2, kde pro výpočet určované výšky bodu platí vzorec (8.14). Protože délky záměr bývají malé a cílová značka je přímo na objektu, odpadají poslední dva členy v této rovnici. Vzdálenost k měřenému objektu bývá vodorovná. Potom:

$$H_B = H_A + v_p + d_0 \cdot \cotg \zeta \quad (8.41)$$

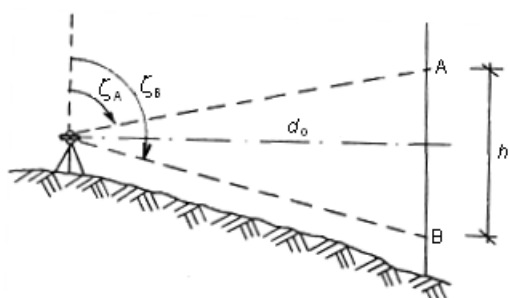
Směrodatná odchylka výšky bodu je dána rovnicí:

$$\sigma_{HB} = \sqrt{\sigma_{HA}^2 + \sigma_{vp}^2 + \sigma_{d_0}^2 \cdot \cotg^2 \zeta + \frac{d_0^2 \cdot \sigma_\zeta^2}{(\sin^2 \zeta \cdot \rho)^2}} \quad (8.42)$$

V rovnici (8,41) a (8.42) je:

- $H_A, H_B$  - výšky bodů A,B,
- $\sigma_{HA}, \sigma_{HB}$  - směrodatné odchylky výšky bodů A,B,
- $v_p$  - výška přístroje,
- $\sigma_{vp}$  - směrodatná odchylka výšky přístroje,
- $d_0$  - vodorovná vzdálenost,
- $\sigma_{d_0}$  - směrodatná odchylka vodorovné vzdálenosti,
- $\zeta$  - zenitový úhel,
- $\sigma_\zeta$  - směrodatná odchylka zenitového úhlu.

### 8.5.1. Určení převýšení dvou bodů na svislici



Obr.13 Určení převýšení dvou bodů na svislici

Při určení převýšení dvou bodů na svislici se vyjde z rovnice (8.41). Vztah pro výpočet převýšení  $h$  vyplývá z obr. 13 a je uveden v rovnici (8.43):

$$h = d_0 \cdot (\cotg \zeta_A - \cotg \zeta_B). \quad (8.43)$$

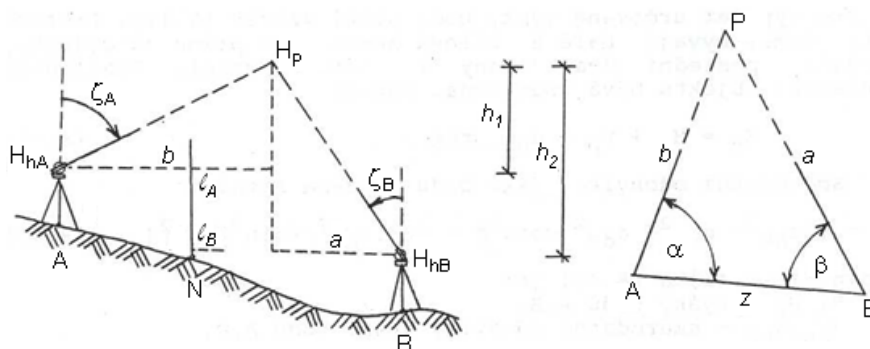
Za předpokladu, že zenitové úhly jsou měřeny se stejnou přesností a délka  $d_0$  je měřena pouze jednou, platí pro směrodatnou odchylku převýšení  $\sigma_h$  rovnice (8.44):

$$\sigma_h = \sqrt{\sigma_{d0}^2 \cdot (\cotg\zeta_A - \cotg\zeta_B)^2 + \frac{d_0^2 \cdot \sigma_\zeta^2}{\rho^2} \cdot \left( \frac{1}{\sin^4 \zeta_A} + \frac{1}{\sin^4 \zeta_B} \right)}. \quad (8.44)$$

Význam symbolů v rovnicích (8.43) a (8.44) je stejný jako pro rovnice (8.41) a (8.42).

### 8.5.2. Určení výšky bodu ze základny v obecné poloze

Pokud nelze měřit vzdálenost k určovanému bodu přímo, volí se zpravidla základna v obecné poloze (obr. 14). Měřené veličiny jsou vodorovná délka základny  $z$ , vodorovné úhly  $\alpha$ ,  $\beta$  a zenitové úhly  $\zeta_A$ ,  $\zeta_B$ , měřené na bodech A, B. Výška horizontu přístroje na bodech A, B ( $H_{hA}$ ,  $H_{hB}$ ) se určí např. vodorovnou záměrou na lať postavenou na známém bodě N.



Obr.14 Určení výšky bodu ze základny v obecné poloze

Vodorovné vzdálenosti na bod P se vypočtou sinovou větou:

$$a = \frac{z \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad b = \frac{z \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}. \quad (8.45)$$

Výška bodu P se vypočte dvakrát:

$$H_P = H_{hA} + b \cdot \cotg \zeta_A = H_{hB} + a \cdot \cotg \zeta_B. \quad (8.46a)$$

Potom

$$H_P = \frac{1}{2} \left[ H_{hA} + H_{hB} + \frac{z \cdot (\sin \beta \cdot \cotg \zeta_A + \sin \alpha \cdot \cotg \zeta_B)}{\sin(\alpha + \beta)} \right]. \quad (8.46b)$$

Vzorec pro směrodatnou odchylku  $\sigma_{HP}$  je poměrně složitý (jeho odvození je uvedeno ve skriptech Novák – Vosika: Inženýrská geodézie Ib). Pro zjednodušení úvah o přesnosti metody a i pro výpočet směrodatné odchylky se zavedou předpoklady, že  $H_{hA} \approx H_{hB}$ ,  $\alpha \approx \beta$  a  $\sigma_{\zeta A} \approx \sigma_{\zeta B}$ ,  $\sigma_\alpha \approx \sigma_\beta$ . Potom:

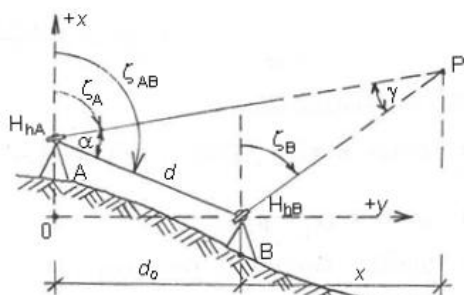
$$\sigma_{HP} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[ \sigma_{Hh}^2 + \frac{2 \cdot (h \cdot \sigma_z)^2}{z^2} + \left( \frac{h \cdot \tan \alpha \cdot \sigma_\alpha}{\rho} \right)^2 + \frac{(a \cdot \sigma_\zeta)^2}{(\rho \cdot \sin^2 \zeta)^2} \right]}, \quad (8.47)$$

- kde  $\sigma_{Hh}$  je směrodatná odchylka výšky horizontu teodolitu na bodech základny A, B,  
 $h$  - převýšení mezi výškou určovaného bodu a body základny,  
 $z$  - délka základny,  
 $\alpha, \zeta$  - vodorovný a zenitový úhel na bodech základny,  
 $a$  - délka strany v rovnoramenném trojúhelníku.

První člen v rovnici (8.47) vyjadřuje vliv výškového připojení, druhý člen vliv délkového měření v poměru převýšení k základně, třetí člen vliv vodorovného úhlu a čtvrtý vliv zenitového úhlu. Z rovnice lze stanovit podmínky, za kterých se dostávají příznivé výsledky, přičemž se neuvažuje vliv prvního členu. Blíží-li se převýšení  $h$  nule (tedy  $\zeta \approx 100$  gon), pak se minimalizuje druhý až čtvrtý člen vzorce. Pro vodorovný úhel  $\alpha$  blíží-li se nule bude třetí člen nulový. Z této podmínky vyplývá požadavek, aby bod P byl v polovině základny  $z$ . To lze prakticky těžko splnit, postačí však, aby vodorovný úhel  $\alpha$  byl malý. Rozdílem ze dvou kombinací výpočtu se nekontroluje určení délky základny.

### 8.5.3. Určení výšky bodu pomocí radiální základny

Úlohy se použije, nelze-li volit základnu v obecné poloze z důvodu omezené viditelnosti.



Obr.15 Určení výšky bodu pomocí radiální základny

Oproti předcházejícímu postupu se dostává jediný výsledek, neměří se vodorovné úhly, ale bod B je nutno zařadit do přímky na bod P.

Měřenými veličinami jsou zenitové úhly  $\zeta_A$ ,  $\zeta_B$ ,  $\zeta_{AB}$  na bodech A, B a šikmá délka  $d$  (obr. 15). Může být dána vodorovná délka  $d_0$  a výšky horizontů přístroje  $H_{hA}$ ,  $H_{hB}$  na bodech A, B.

Úlohu lze řešit pomocí dvou rovnic o dvou neznámých:

$$H_P = H_{hA} + (d_0 + x) \cdot \cotg \zeta_A, \quad (8.48)$$

$$H_P = H_{hB} + x \cdot \cotg \zeta_B. \quad (8.49)$$

Z těchto dvou rovnic se vypočte neznámá hodnota  $x$ :

$$H_{hA} - H_{hB} + d_0 \cdot \cotg \zeta_A + x \cdot (\cotg \zeta_A - \cotg \zeta_B) = 0,$$

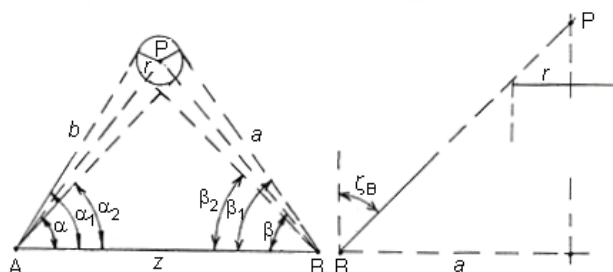
$$a \quad x = \frac{H_{hB} - H_{hA} - d_0 \cdot \cotg \zeta_A}{\cotg \zeta_A - \cotg \zeta_B} \quad (8.50)$$

$$\text{Potom} \quad H_P = \frac{H_{hB} \cdot \cotg \zeta_A - H_{hA} \cdot \cotg \zeta_B - d_0 \cdot \cotg \zeta_A \cdot \cotg \zeta_B}{\cotg \zeta_A - \cotg \zeta_B}. \quad (8.51)$$

Úlohu lze řešit protínáním vpřed.

### 8.5.4. Určení výšky továrního komínu

Úloha se řeší postupem uvedeným v kapitole 8.5.2. Komplikace je v tom, že bod P je středem kružnice (horní hrany komínu) a není viditelný.



Obr.16 Určení výšky továrního komínu

Měří se tedy na oba okraje komínu (obr. 16) a směr na bod P se vypočte průměrem:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}, \quad \beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \quad (8.52)$$

Poloměr komínu  $r$  se vypočte dvakrát z rovnice:

$$r = a \cdot \sin \left( \frac{\beta_1 - \beta_2}{2} \right) = b \cdot \sin \left( \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \right). \quad (8.53)$$

Výška komínu  $H_P$  se počítá dvakrát z rovnice:

$$H_P = H_{hA} + \cotg \zeta_A \cdot (b - r) = H_{hB} + \cotg \zeta_B \cdot (a - r). \quad (8.54)$$

kde  $H_{hA}, H_{hB}$  je výška horizontu přístroje na bodě A, B,  
 $a, b$  - vodorovná vzdálenost od stanoviska B, A k bodu P,  
 $\zeta_A, \zeta_B$  - zenitové úhly měřené na bodech A, B.

Přesnost výsledku není vysoká, neboť cílové body jak v horizontálním tak i ve vertikálním směru nejsou kvalitní (nános sazí apod.). Při měření zenitových úhlů se nastavuje vodorovný kruh na úhly  $\alpha$ ,  $\beta$  (na osu komínu). Předpokládá se kruhovost komínu, což nemusí být splněno.

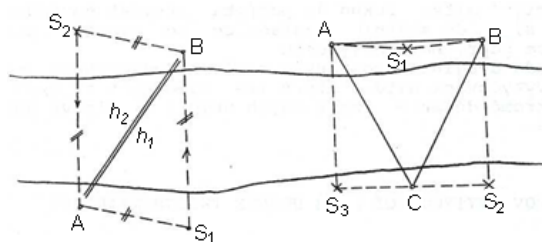
### 8.5.5. Přenášení výšek na velké vzdálenosti

Při překračování např. větších vodních toků, nelze dodržet zásadu stejně dlouhých záměr vzad a vpřed. Délka záměry může dosáhnout hodnot 200 m i více. K určení převýšení je možno použít jak trigonometrické tak nivelační metody. Jak je uvedeno v kap.8.1 je největším zdrojem chyb refrakce. Její vliv se může zvětšit i tím, že záměry procházejí různým prostředím (vzduch nad řekou může být teplejší, ale i chladnější než nad terénem). Při trigonometrickém měření je možné použít oboustranných záměr. Při nivelaci

se používá speciálních systémů znázorněných na obr.17.

### Metoda pravidelného čtyřúhelníka

Ve čtyřúhelníku se převýšení mezi body A, B určí ze sestavy A, S<sub>1</sub>, B jako měření tam a ze sestavy B, S<sub>2</sub>, A jako měření zpět (obr.17). Obdrží se dvě převýšení  $h_1$ ,  $h_2$ , z nichž lze vypočítat průměrné převýšení, které je zbavené chyby ze zakřivení Země (za předpokladu odpovídajících si délek v obou sestavách) a vliv refrakce by se měl výrazně snížit. Předpokladem je, že měření se uskuteční v krátkém časovém odstupu a přístroj je pečlivě rektifikován nebo je známa oprava z nevodornosti záměrné přímky. U dlouhé záměry je vhodné měření víckrát opakovat (vyloučení hrubé chyby a zpřesnění výsledku).



Obr.17 Přenášení výšek na velké vzdálenosti

U dlouhé záměry je vhodné měření víckrát opakovat (vyloučení hrubé chyby a zpřesnění výsledku).

### Metoda pravidelného šestiúhelníka

Pokud je vzdálenost větší, je vhodné použít pravidelný šestiúhelník a měřit dvěma přístroji. Každým přístrojem se měří celý obrazec s tím, že měření na bodech S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> se provede současně (obr.17). Opět platí podmínka dokonalé rektifikace přístroje nebo určení opravy z nevodornosti záměrné přímky.

Na větší vzdálenosti se projevuje nejistota ve čtení na lati, protože dílek na lati je již špatně viditelný. Proto se používají pomocné terče, které se nastavují podle pokynů měřiče.

S úspěchem lze použít i metody GPS.

## 9. PROSTOROVÉ VYTYČOVACÍ SÍTĚ

Nedílnou součástí projektu stavby, ale i veškeré stavební činnosti jsou polohopisné a výškopisné sítě. Dosavadní systém určování těchto sítí je vzájemně oddělený, což vede k nutnosti použití dvojího přístrojového vybavení a dvojího zpracování. Spojení takto určených polohopisných sítí (souřadnice vztažené k nulové hladině a v Křovákově zobrazení) a výškopisných sítí (nadmořské výšky bodů v systému Bpv nebo Jadranském) udává prostorovou polohu bodů.

Geodetické souřadnice nelze používat přímo pro vytyčování, neboť rozměry objektů a jejich vzájemné vztahy jsou projektované (nominální), ale délky získané ze souřadnic jsou redukovány na nulovou hladinu a zobrazením jsou zkresleny. Opravy délek získaných ze souřadnic lze u méně významných staveb zanedbat, protože jsou relativně bezvýznamné. U staveb s vyššími nároky na přesnost je nutno vytyčovací prvky o příslušné korekce opravit (kap.4).

Aby bylo možno používat přímo měřených délek bez zavádění korekcí, používají se místní souřadnicové systémy, které slouží pouze k vytyčování (projektování). U těchto systémů se volí jako vztažná hladina (srovnávací horizont) např. průměrná nadmořská výška terénu stavby. K tomuto horizontu se délky případně redukovují. Použití místního systému má další výhodu v tom, že zejména rozměr sítě lze určit přesněji, než se získá z trigonometrické sítě. Pokud je potřeba převést souřadnice bodů vytyčovací sítě do státního souřadnicového systému, použije se transformace popř. nového výpočtu.

Nevýhodu dvojího samostatného zaměření odstraňují prostorově určené vytyčovací sítě, které lze zaměřovat trigonometricky (měří se kromě délek a vodorovných úhlů i zenitové úhly) nebo metodou GPS.

### 9.1. PROSTOROVÉ VYTYČOVACÍ SÍTĚ URČENÉ TRIGONOMETRICKY

V současnosti používané totální stanice svou přesností umožňují určování polohy a výšky bodů vytyčovacích sítí s dostatečnou přesností. Problémem je určování výšky přístroje a cíle. Vliv vertikální refrakce je nutno snížit oboustrannými záměry za pokud možno stejných povětrnostních podmínek. Nestejná výška přístroje a cíle se eliminuje redukcí

měřených veličin (šikmých délek a zenitových úhlů) na spojnicí stabilizačních značek („kámen – kámen“).

*Vyrovnaní prostorových vytyčovací sítí bude věnována pozornost v Inženýrské geodézii 2.*

## **9.2. PROSTOROVÉ VYTYČOVACÍ SÍTĚ URČENÉ METODOU GNSS**

Pro určení prostorových vytyčovací sítí se s ohledem na jejich požadovanou přesnost používá statické či rychlé statické metody. *(Podrobněji IG2)*

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)