

6. Určování výšek I.

6.0 Princip výškového systému.

6.1 Základní pojmy.

6.2 Výškové systémy v ČR.

6.3 Výškové bodové pole.

6.3.1 Stabilizace bodů.

6.3.2 Dokumentace bodů.

6.4 Metody určování převýšení.

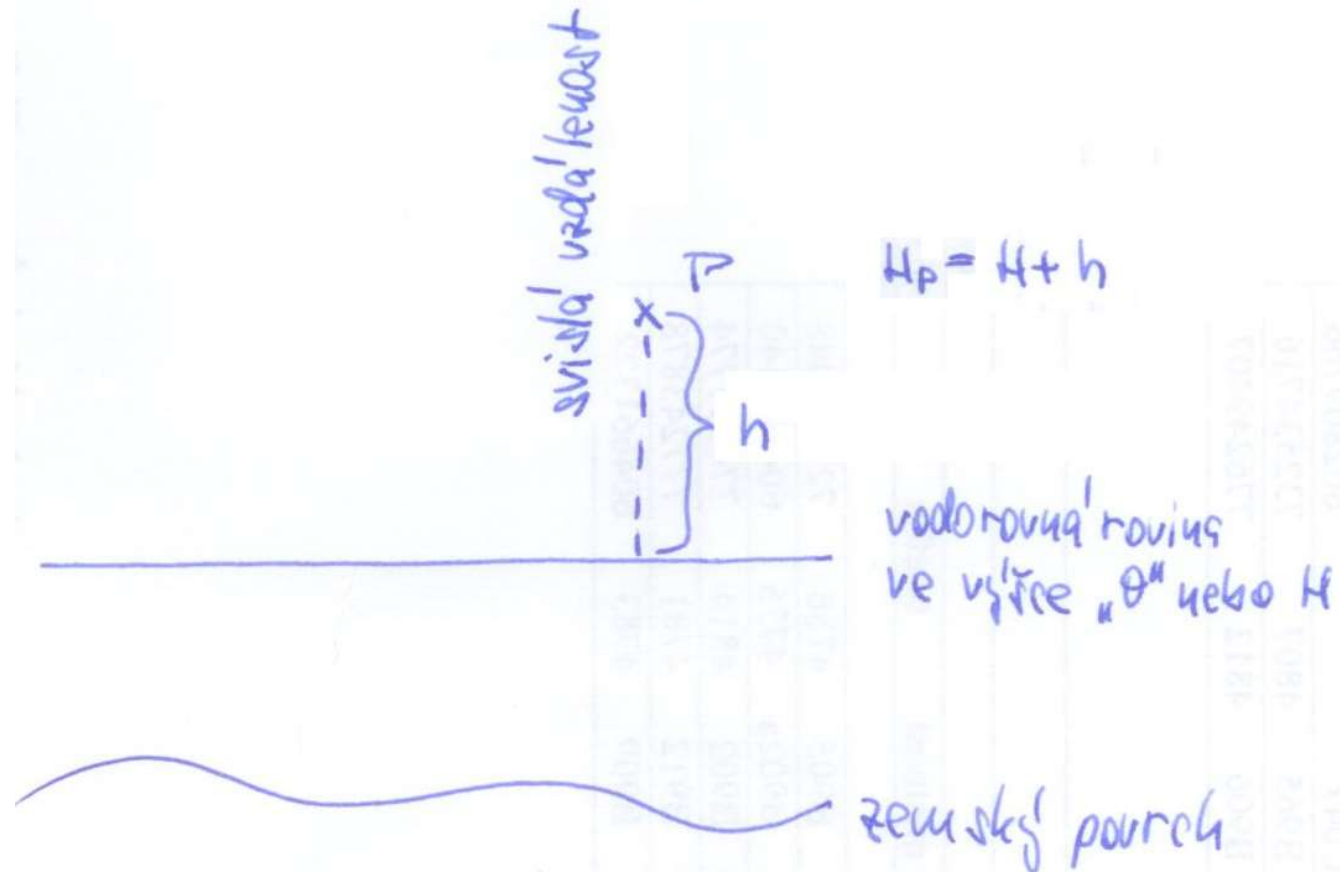
6.4.1 Barometrická nivelace.

6.4.2 Hydrostatická nivelace.

6.4.3 Trigonometrická metoda.

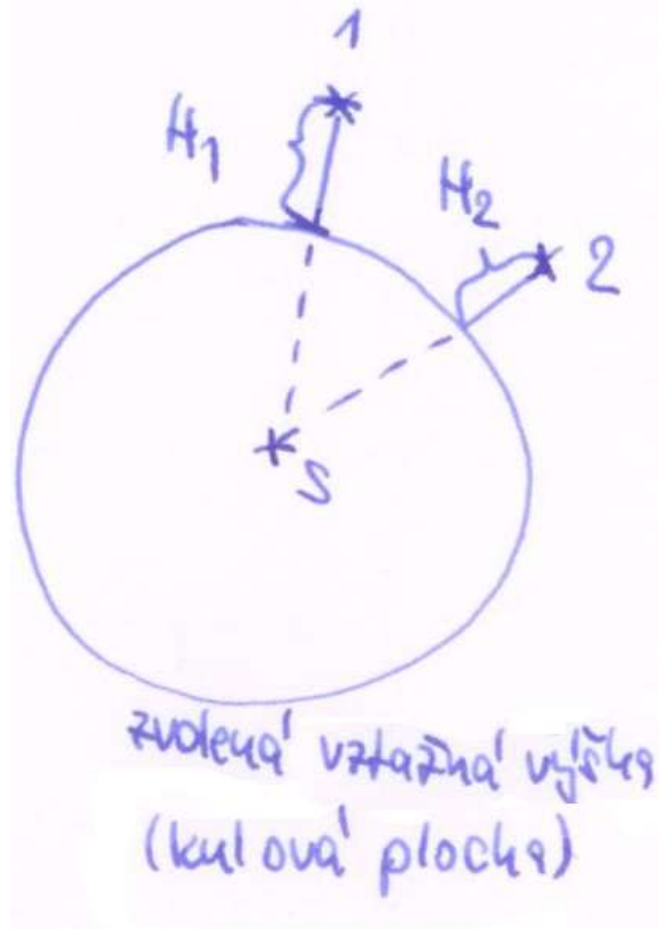
6.0 Princip výškového systému.

1. Určování výšek v rovině (aproximace – povrch Země je rovina).



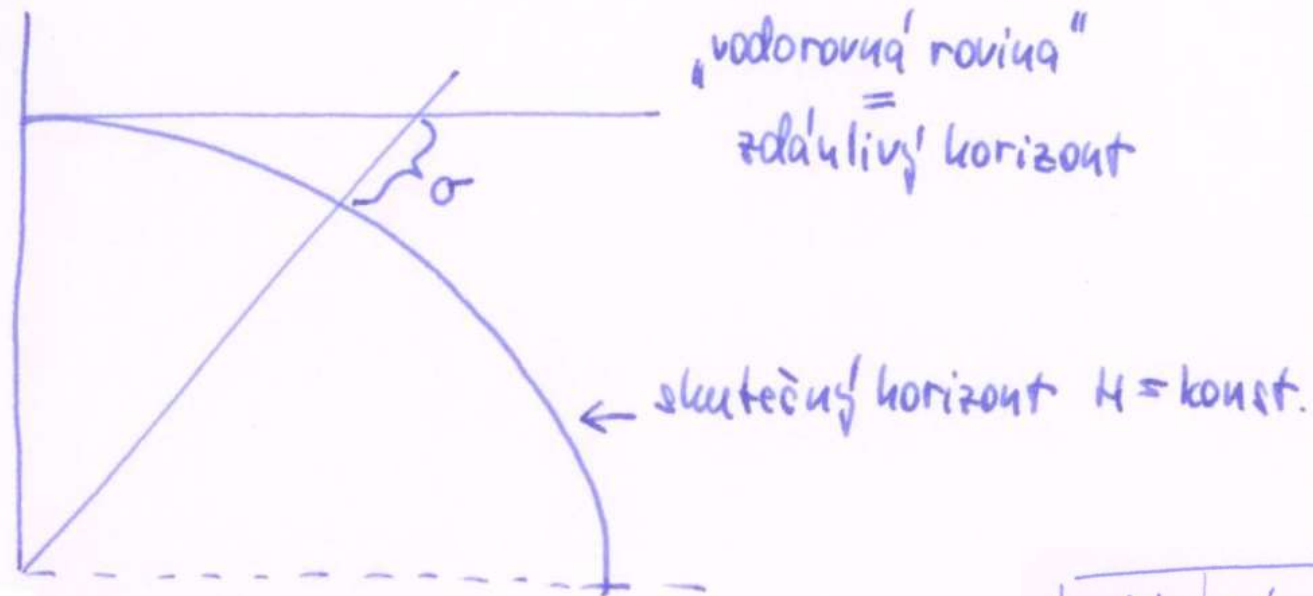
6.0 Princip výškového systému.

2. Určování výšek na kouli (aproximace – povrch Země je koule).



6.0 Princip výškového systému.

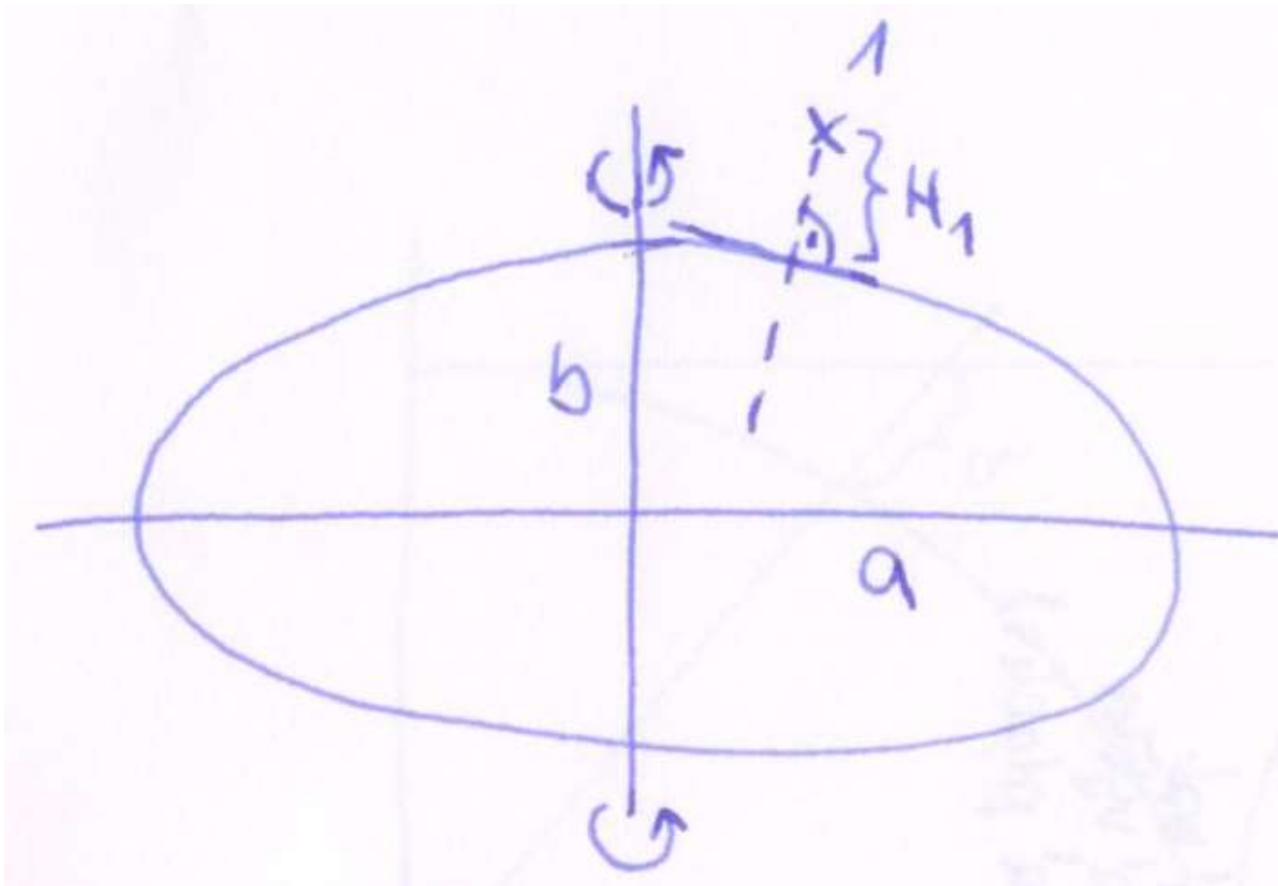
2. Určování výšek na kouli (aproximace – povrch Země je koule).



d/m	σ/mm
50	0,2
100	0,8
200	3,1
500	19,6

6.0 Princip výškového systému.

3. Určování výšek na elipsoidu (aproximace – povrch Země je dvouosý rotační elipsoid).

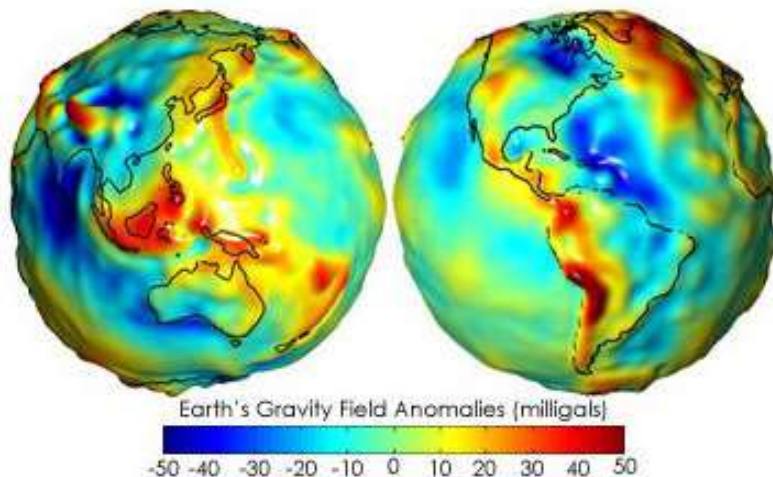


6.0 Princip výškového systému.

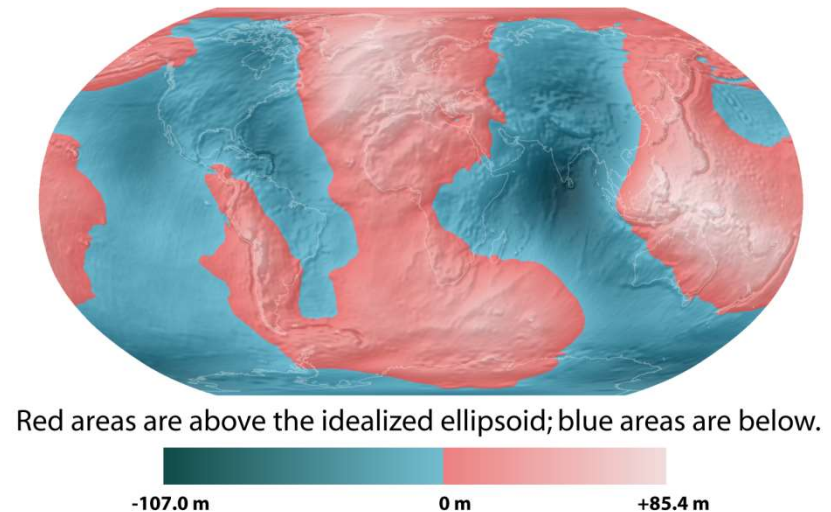
4. Určování výšek na geoidu.

Země není homogenní těleso, je tvořena různými materiály o různé hustotě a tedy nepostačuje elipsoid jako matematické těleso bez fyzikálních vlastností. Důvodem je základní předpoklad, že předměty padají shora dolů, voda teče dolů a tedy výška je závislá na množství přitažlivé tíhové síly, kterou působí těleso Země v daném bodě a nikoli na délkovém rozměru.

Působící tíhová síla je v přímém vztahu s tíhovým zrychlením (normální $g_n = 9,806 \text{ m.s}^{-2}$, rovník $g_r = 9,780 \text{ m.s}^{-2}$, pól $g_p = 9,832 \text{ m.s}^{-2}$).

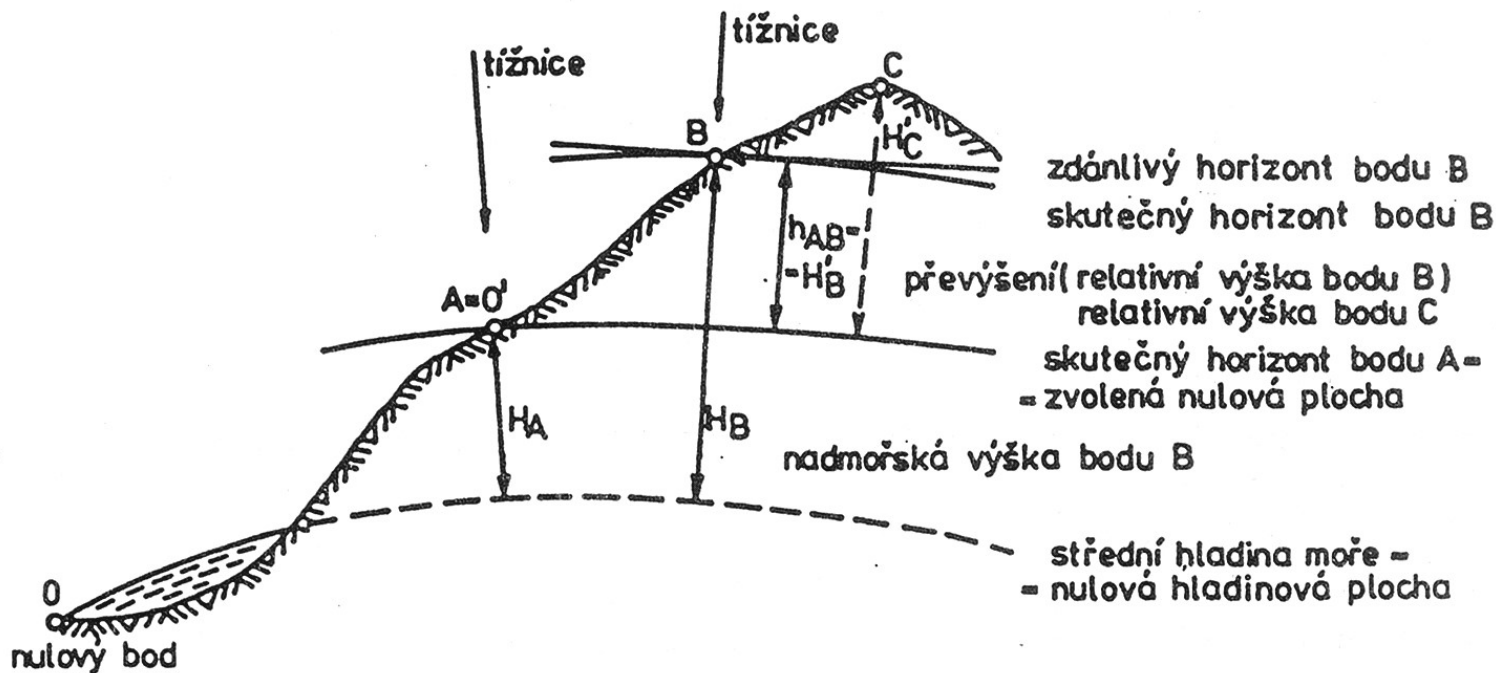


Deviation of the Geoid from the idealized figure of the Earth
(difference between the EGM96 geoid and the WGS84 reference ellipsoid)



6.1 Základní pojmy.

Pro řadu úkolů inženýrské praxe je nutné kromě polohy bodu určit i třetí souřadnici – výšku.



6.1 Základní pojmy.

Teorie výšek je komplikovaná, rozlišujeme různé druhy výšek podle zvolené hladinové plochy (pravé ortometrické výšky - teoretické, nad geoidem; normální ortometrické výšky – nad elipsoidem, používány v Jadranském výškovém systému; normální (Moloděnského) výšky – nad kvazigeoidem, používány v Bpv).

Pro účely stavební geodézie je Země považována za homogenní kouli. Pak nulovou hladinovou plochou je kulová plocha procházející nulovým výškovým bodem na střední hladině zvoleného moře.

6.1 Základní pojmy.

Hladinová plocha je obecně definována jako plocha stejného tíhového potenciálu, která je v každém svém bodě kolmá ke směru síly zemské tíže. Ve skutečnosti jsou hladinové plochy nepravidelné, nejsou mezi sebou rovnoběžné a sbíhají se směrem k pólu.

Hladinové plochy jsou soustředné kulové plochy, nazýváme je skutečnými horizonty bodů. Vodorovné tečné roviny v těchto bodech tvoří zdánlivé horizonty.

Pro práce malého rozsahu (do 300 m) lze považovat Zemi za rovinu a skutečné horizonty jsou považovány ze zdánlivé (zanedbává se zakřivení Země).

6.1 Základní pojmy.

Absolutní výška bodu – výška bodu nad zvolenou nulovou hladinovou plochou. Je to svislá vzdálenost bodu (ve směru kolmic na izočary tíhového pole Země) od jeho průmětu na nulovou hladinovou plochu. Nulovou hladinovou plochou bývá nejčastěji střední hladina zvoleného moře (která se pomyslně rozprostírá i pod pevninou). Jedná se pak o nadmořskou výšku bodu.

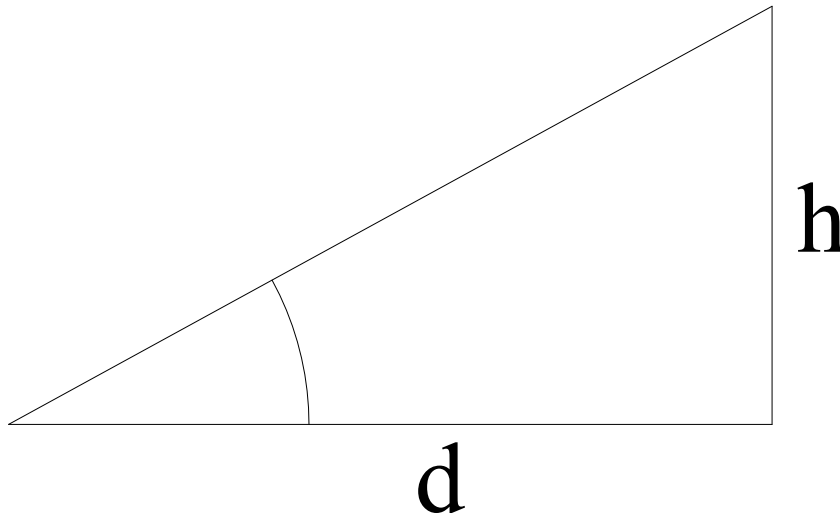
Relativní výška bodu – výška bodu nad hladinovou plochou procházející obecně zvoleným bodem.

Předmětem měření nejsou výšky, ale výškové rozdíly (převýšení) $h_{AB} = H_B - H_A$ skutečných horizontů.

6.1 Základní pojmy.

Sklon terénu α (nebo záměry) se vyjadřuje v procentech a platí :

$$\alpha = \frac{h}{d} \cdot 100\%$$



kde h je převýšení a d je vodorovná délka.

6.2 Výškové systémy v ČR.

Závazně jsou dány v nařízení vlády 116/1995 Sb.

V současné době se používá výškový systém baltský po vyrovnání (Bpv), který je definován výchozím výškovým bodem – nula stupnice mořského vodočtu v Kronštadtu - a použitím normálních výšek. Do roku 2000 byl v některých částech našeho území (např. Praha) používán i výškový systém jadranský (výchozí výškový bod v Terstu, normální ortometrické výšky). Rozdíl mezi těmito dvěma systémy je přibližně 0,40 m (výšky v Bpv jsou menší).

6.3 Výškové bodové pole.

Výšková měření se připojují na pevné výškové body, které tvoří výškové bodové pole. Výškové bodové pole obsahuje (viz vyhláška 31/1995 Sb.) body:

- základního výškového bodového pole,
- podrobného výškového bodového pole.

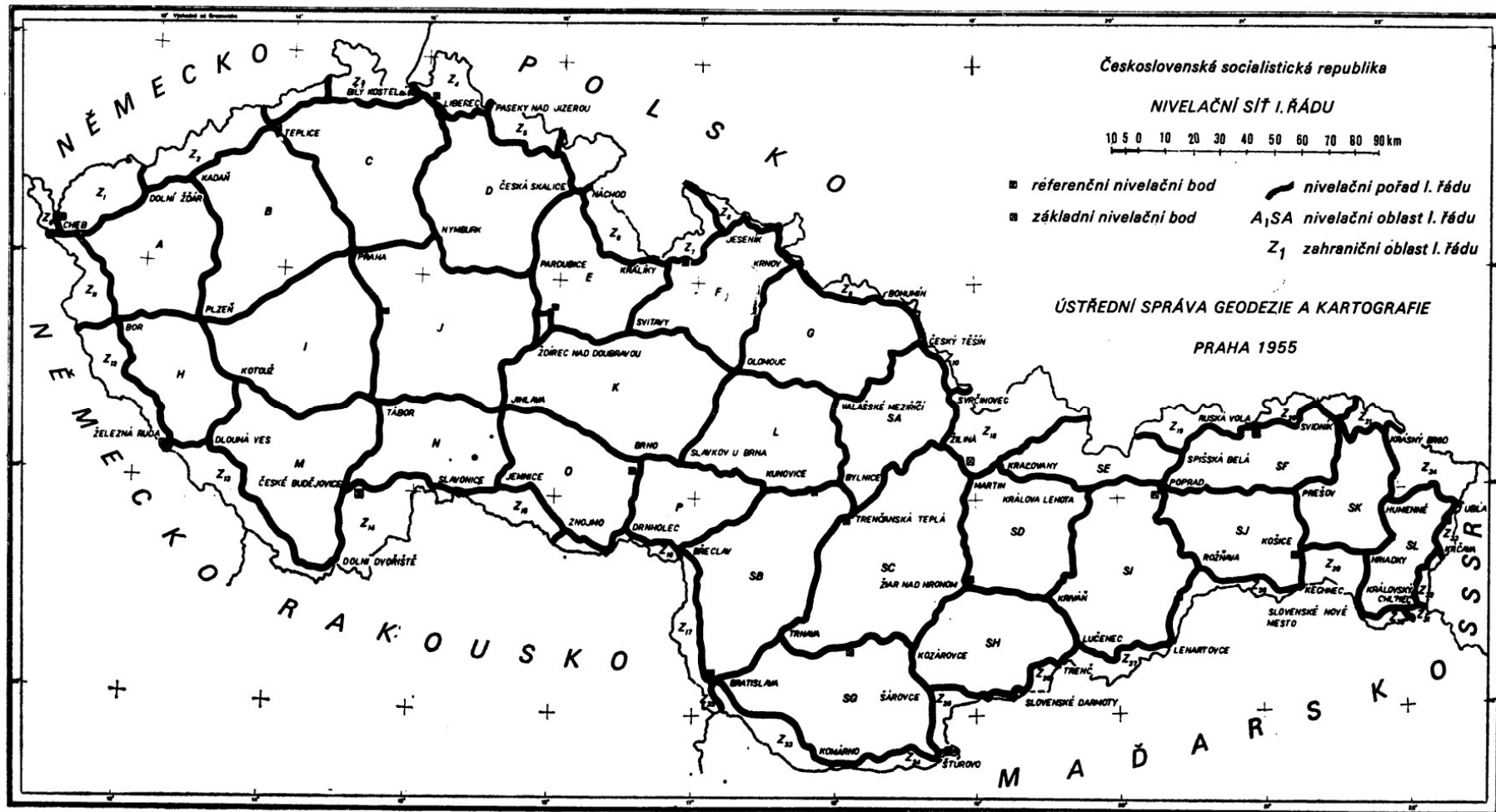
Základní výškové bodové pole obsahuje :

a) základní nivelační body - 11 bodů rozmístěných na celém území ČR v místech, kde se nepředpokládají geologické posuny. Základním bodem je bod Lišov u Českých Budějovic (zřízen 1889).

b) body České státní nivelační sítě (ČSNS) I. až III. řádu - jejich výšky byly určeny velmi přesnou (I., II.) a přesnou nivelací (III. řád).

6.3 Výškové bodové pole.

Základní výškové bodové pole: Niveláční síť I. řádu



6.3 Výškové bodové pole.

Podrobné výškové bodové pole obsahuje :

- a) body nivelační sítě IV. řádu – určeny přesnou nivelací.
- b) body plošných nivelačních sítí – určeny přesnou nivelací.
- c) stabilizované body technických nivelací.

Body pevného výškového bodového pole jsou v nezastavěném území vzdáleny asi 1 km, v zastavěném asi 0,3 km.

6.3.1 Stabilizace bodů.

Stabilizace přirozená

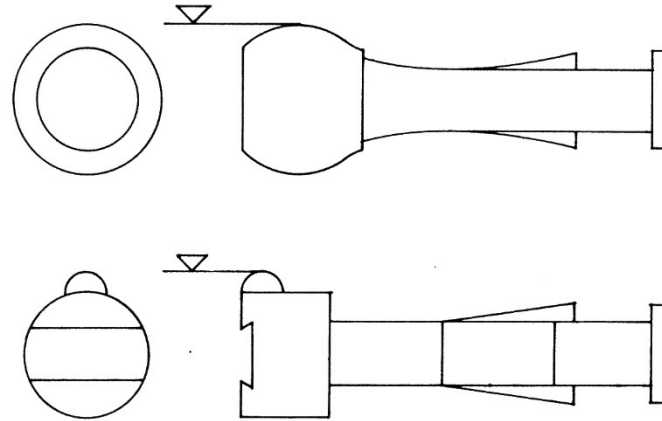
Využívají se vhodné přírodní útvary, které se případně přizpůsobí - např. u základních nivelačních bodů je vlastním bodem vybroušená ploška 15x15 cm na rostlé skále (nad bodem byl vybudován pomník výšky 2 m s dutinou, do které se po odkrytí horního kamene - jehlanu spouští nivelační lať).

Stabilizace umělá

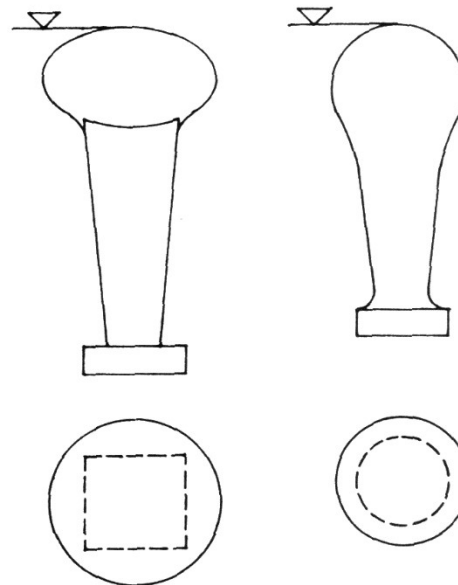
Značky ze zvláštních hmot – sklo, slitina mědi a niklu, litina (odolávají vlhkosti a kyselinám)

6.3.1 Stabilizace bodů.

a) značky čepové
(osazují se z boku,
asi 0,5 m nad
terénem)

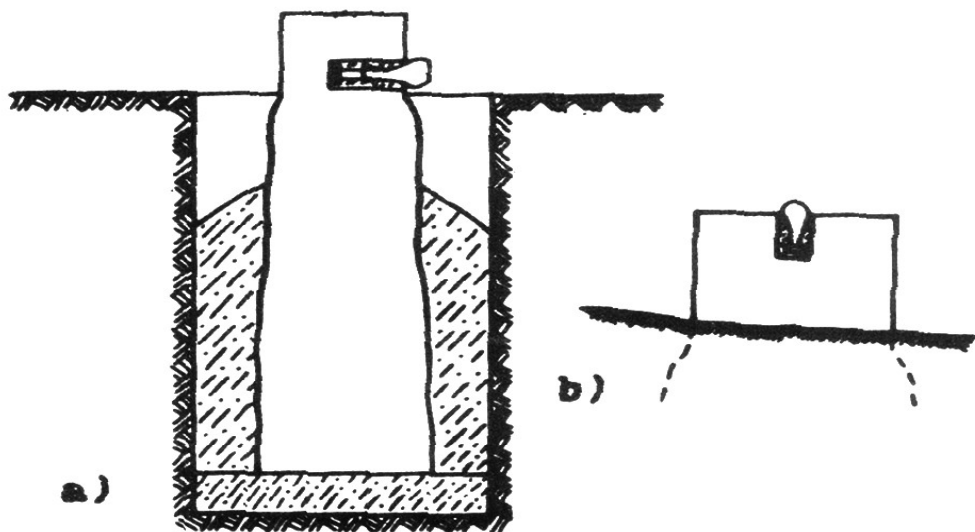


b) značky hřebové
(osazují se shora)

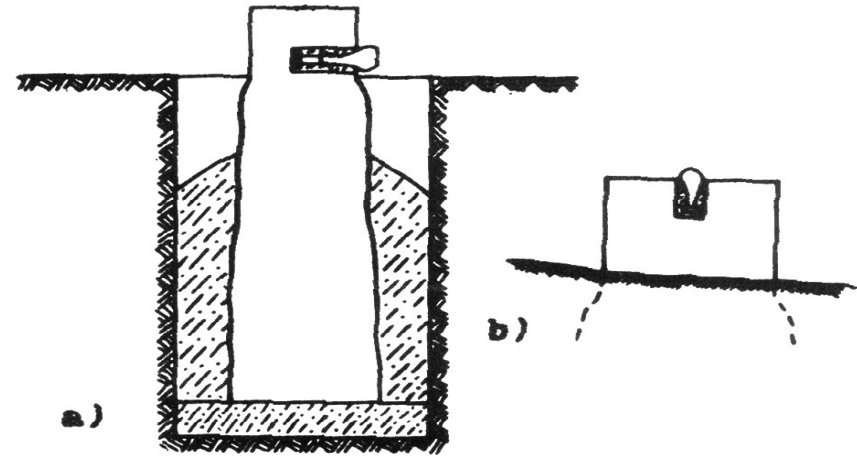


6.3.1 Stabilizace bodů.

Značky se osazují z boku do vhodných objektů (rostlá skála, podsklepené budovy, pilíře mostů) nebo do nivelačních kamenů (žulové kvádry délky asi 1m, které jsou pod zemí obetonovány a stojí na vodorovné betonové desce). Umísťují se tak, aby byl nad nimi volný prostor pro svislé postavení nivelační latě. Lat' se staví na nejvyšší místo hlavy nivelační značky. Na zdivu nad bodem nebo na ochranné červenobílé tyči v blízkosti bodu je umístěn štítek s textem: "Státní nivelace. Poškození se trestá."



6.3.1 Stabilizace bodů.



6.3.2 Dokumentace bodů.

Pro každý výškový bod jsou vyhotoveny nivelační údaje, které obsahují označení bodu, kde se nachází, nadmořskou výšku v Bpv, výškový rozdíl pro převod do Jadranského výškového systému, situační náčrt a popis, druh značky, kdo a kdy stabilizoval bod a vyhotovil údaje.

NIVELAČNÍ ÚDAJE						
Pořadí:	1	Platnost od:	1.6.1990	do:		
Nivelační pořadí - Podrobná nivelační síť:		Kraj:	Jihočeský	List mapy:	33 - 11	
Název: Třeboň - Veselí		Okres:	Jindřich. Hradec	1:50000		
		Obec:	Třeboň	SMD - 5	Třeboň	
		Kat. úz.:	Třeboň		3 - 2	
Předcházející bod:	NZ ₁₄ -55.1	Délka oddřítu	Vzdálenost od počátku pořadí	Nivelační převýšení	Tíhová redukce	Oprava z vyrovnání
Nivelační bod:	0.1	0,210	0,210	+0,126 05	-0,04	+0,61
Situační popis:		Situace: Č. Třeboň II (Jindřichův Hradec), dům čp.1042, 0,4 m nad zemí				
Poznámky:						
Druh značky	Stupeň stability	Stabilizoval (ústav, jméno, datum)	Druh bodu	Výška z roku	Převýšení z roku	
čepová VI a	3 Druh stabilizace N	GKP Kreps 1988		1988-dod.č.2	1988	
Stav a stáří stavby, stavební hmota: zachovalá omítnutá podsklepená cihlová stavba z roku 1965						
půdní vlastnosti:						
Geologický popis:						Klasifikace
Geomorfologické vlastnosti místa: mírný spád k východu						
NÚ vyhotovil (ústav, jméno, datum)	situaci	GKP, Kreps, 6.1988	Kontroloval	24.4.1990		
	zapis	Kleinová, 9.1.1990				
Záznam změn:						

6.4 Metody určování převýšení.

1. Barometrická nivelace.
2. Hydrostatická nivelace.
3. Trigonometrická metoda.
4. Geometrická nivelace (viz přednáška 7).

ZÁSADNĚ nejpoužívanějšími metodami jsou **geometrická nivelace** a **trigonometrická metoda**, ostatní metody jsou metodami doplňkovými a dnes spíše raritními, jejichž použití je omezeno přesností nebo přístrojovým vybavením.

6.4.1 Barometrická nivelace.

Metoda vychází z toho, že atmosférický tlak s rostoucí nadmořskou výškou klesá. Změnou výšky o přibližně +11 m klesne tlak o přibližně 1 mm Hg = 1 torr (tzv. barometrický stupeň).

Princip metody je založen na měření barometrického tlaku vzduchu vyvolaného tíhou zemské atmosféry. Výškový rozdíl dvou bodů se určí v závislosti na měřeném rozdílu barometrických tlaků.

Babinetův vzorec (tlak b v torr, teplota t ve °C):

$$\Delta V = 8019 \frac{b_1 - b_2}{b} (1 + 0,00367 \cdot t),$$

$$b = \frac{b_1 + b_2}{2}, t = \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

6.4.1 Barometrická nivelace.

Přesnost metody 1 m až 3 m, výhodná pro rychlost při určování velkých výškových rozdílů. Používají se tzv. aneroidy (barometry).

Postupy měření :

Se dvěma přístroji - jeden aneroid zůstává celou dobu měření na výchozím bodě o známé nadmořské výšce a v pravidelném intervalu nebo ve smluvených okamžicích je měřen atmosférický tlak a teplota. Druhý aneroid se nejprve na výchozím bodě porovná s prvním a pak se s ním postupně obcházejí body, jejichž výšku je třeba určit (měří se tlak, teplota, čas).

S jedním přístrojem - postupně se změří tlak a teplota na výchozím bodě a všech určovaných. Méně přesné.

6.4.2 Hydrostatická nivelace.

Princip metody vychází z fyzikálního zákona o spojitých nádobách naplněných vhodnou kapalinou. Nádoby, které jsou spojeny hadicí, se umístí na body, jejichž převýšení chceme určit. Pro kapalinu platí Bernoulliho rovnice rovnováhy :

$$p_1 + \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

kde p_1, p_2 jsou atmosférické tlaky v nádobách,
 ρ_1, ρ_2 jsou hustoty kapalin,
 h_1, h_2 jsou relativní výšky kapaliny v nádobách,
 g je tíhové zrychlení.

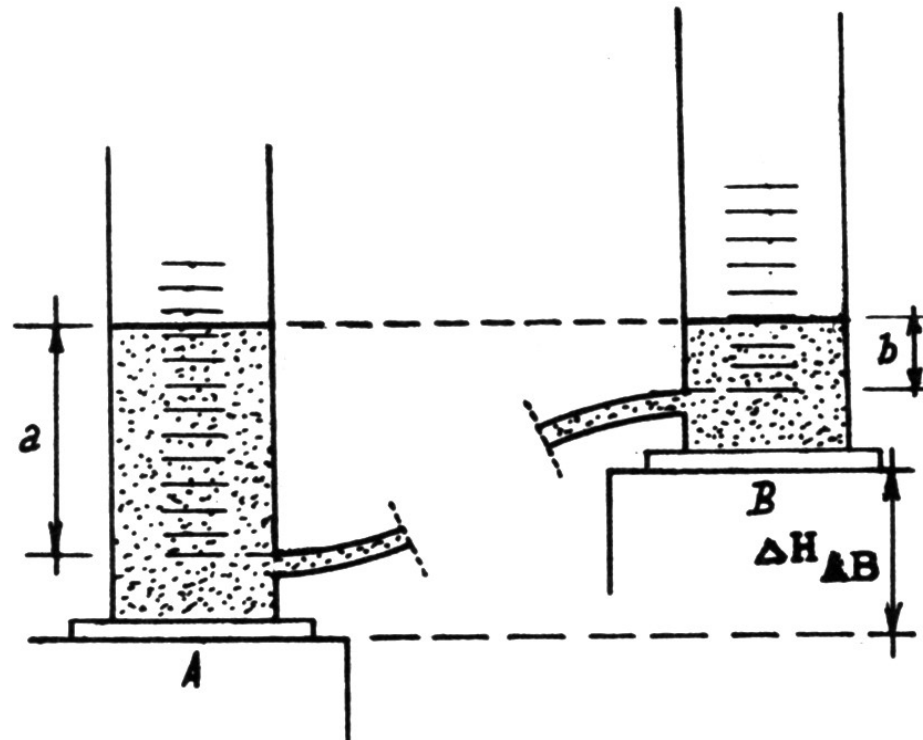
Pokud $p_1 = p_2$ a $\rho_1 = \rho_2$, bude výška hladin tvořit společnou hladinovou plochu.

6.4.2 Hydrostatická nivelace.

Hadicová vodováha je nejjednodušším přístrojem pro hydrostatickou nivelaci, používaná ve stavebnictví pro přenášení výšek zejména v interiérech (např. pro zarovnání hlavic sloupů). Princip je zřejmý z obrázku.

Její přesnost je asi 3 – 5 mm, dosah podle délky hadice (většinou cca 10 m), používá se pro malé výškové rozdíly (řádově centimetry).

$$\Delta H_{AB} = a - b$$



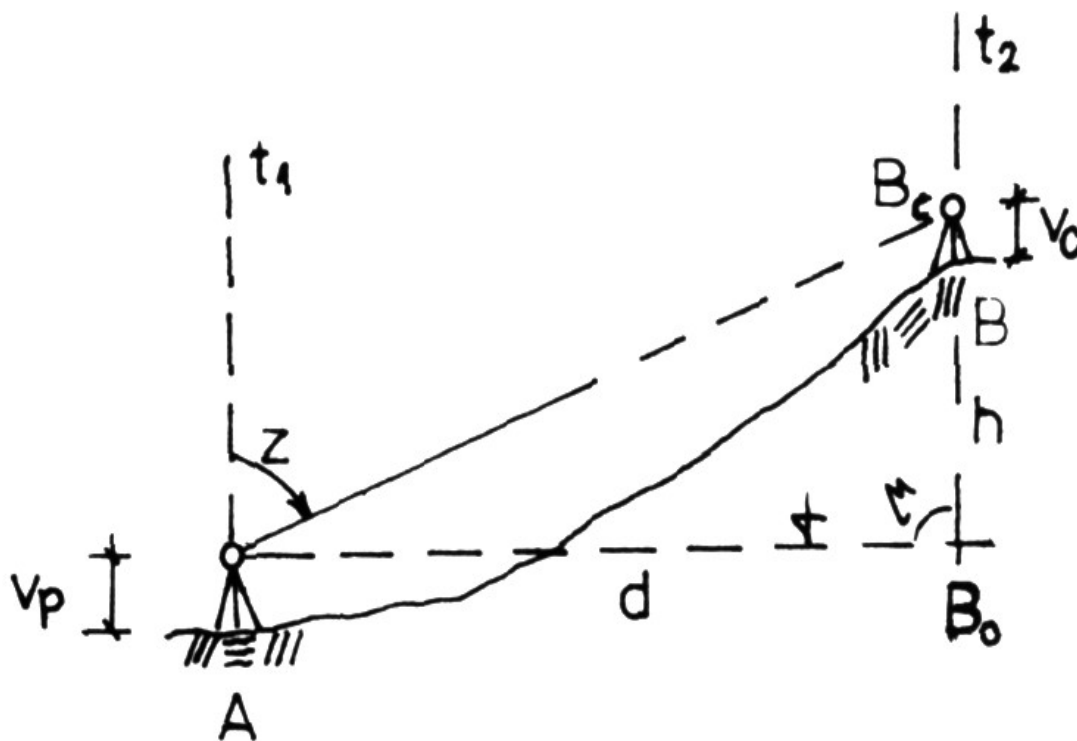
6.4.2 Hydrostatická nivelace.

Hadicové výškoměry mají dokonalejší konstrukci a vyšší přesnost, vyžadují dodržení řady podmínek (např. speciální druh stabilizace pro zavěšení nádob, k měření výšky hladin se užívá indikační jehla). Používají se pro přesná měření deformací velkých staveb – základové desky, revizní štoly přehrad, jaderné elektrárny. Přesnost se pohybuje kolem 0,1 mm, vhodné pro stálé nepřetržité sledování.

V některých státech se používá rovněž hydrodynamická nivelace (Severní Amerika, Rusko, Španělsko), při které je kapalina ve stálém spojitém pohybu. Přesnost je srovnatelná.

6.4.3 Trigonometrická metoda.

Převýšení dvou bodů se určuje na základě řešení trojúhelníka (pravoúhlého nebo obecného). Princip metody je zřejmý z obrázku. Přesnost je srovnatelná s technickou nivelací. Přesnost je se vzrůstající vzdáleností výrazně zhoršována refrakcí, resp. její vertikální složkou (viz. přednáška 7).



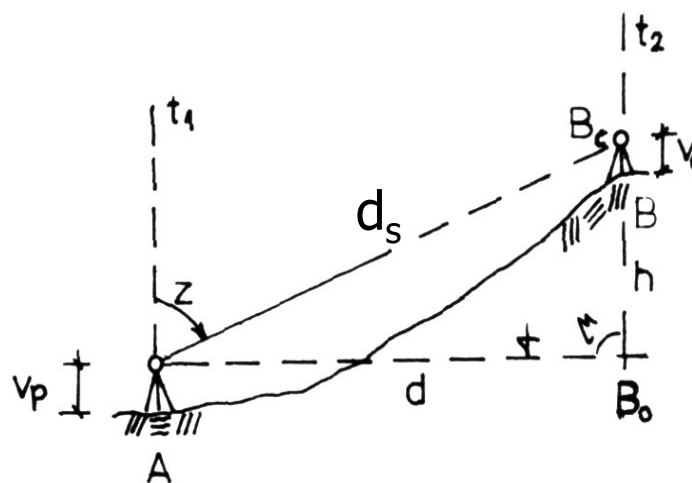
6.4.3 Trigonometrická metoda.

Na bodě A se známou výškou H_A je teodolitem, jehož výška v_p je změřena např. skládacím dvoumetrem, změřen zenitový úhel z na cíl, který je postaven na bodě B a má výšku v_c . Vzdálenost mezi body A a B je možno určit :

1. Přímým měřením šikmé vzdálenosti

$$H_B = H_A + v_p + h - v_c$$

$$H_B = H_A + v_p + d_s \cdot \cos(z) - v_c$$

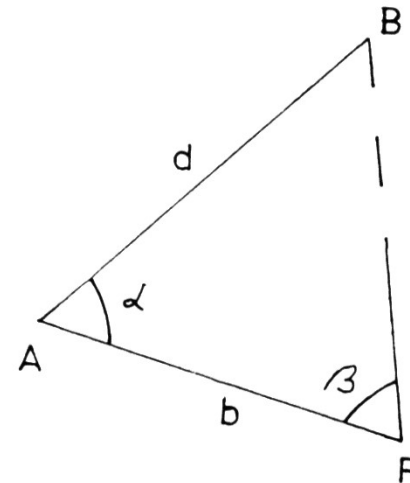


6.4.3 Trigonometrická metoda.

2. Prostřednictvím pomocné základny

Na bodech A a P jsou měřeny vodorovné úhly α a β , pásmem je měřena vodorovná délka základny b , pro vodorovnou délku d mezi body A a B platí :

$$d = b \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$



$$H_B = H_A + v_p + h - v_c = H_A + v_p + d \cdot \cot(z) - v_c$$

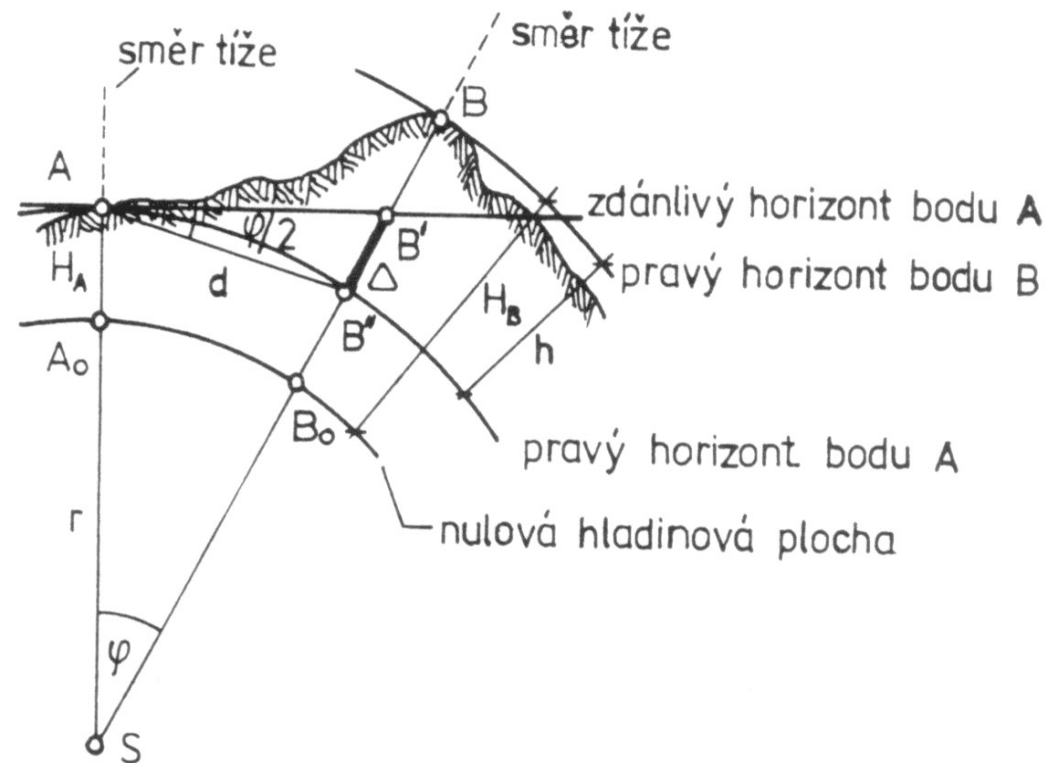
6.4.3 Trigonometrická metoda.

Trigonometrická metoda (pokud dostačuje přesností) je výhodná v členitém terénu. Avšak při použití na vzdálenosti větší než 300 m je třeba zavádět opravu ze zakřivení Země.

$$\Delta \cong d \cdot \frac{\varphi}{2},$$

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{d}{2 \cdot r},$$

$$\Delta = \frac{d^2}{2 \cdot r}.$$



6.4.3 Trigonometrická metoda.

Oprava ze zakřivení Země :

d [m]	Δ [mm]
50	0,2
100	0,8
250	4,8
350	9,6
1000	78,4
5000	1960

Poloměr Země : $r \cong 6\,378$ km.

☺ KONEC ☺