

# Geodézie 3 (154GD3)

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

**Místnost:** B912

**Email:** [martin.stroner@fsv.cvut.cz](mailto:martin.stroner@fsv.cvut.cz)

**www 1:** <http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie/gd3.php>

**www 2:** <http://sgeo.fsv.cvut.cz/~stroner/>

## Doporučená literatura

- [1] Blažek, R. – Skořepa, Z.: Geodézie 3 (Výškopis). Skriptum ČVUT, Praha, 2009.
- [2] Vykutil, J.: Vyšší geodézie. Kartografie, Praha, 1982.
- [3] Zákon č. 200/1994 Sb. (O zeměměřictví ...).
- [4] Vyhláška č. 31/1995 Sb. (prováděcí k zákonu 200/1994 Sb.).
- [5] Nařízení vlády č. 430/2006 Sb. (geodetické referenční systémy).
- [6] Metodický návod pro práce v základním výškovém bodovém poli. Zeměměřický úřad, Praha 2003.

# Geodézie 3 (154GD3)

## Témata přednášek

1. Úvod do problematiky výškových měření. Výškové systémy.
2. Nivelace. Chyby a přesnost nivelačních prací, mezní odchylky.
3. Barometrické měření výšek. Hydrostatická nivelace.
4. Trigonometrické určování výškových rozdílů (TUVR).
5. Stručná teorie refrakce.
6. Úpravy měřených veličin před výpočty.
7. Terénní reliéf a jeho znázorňování.
8. Podrobné měření výškopisné. Tachymetrie.
9. Jednoduché výškové vytyčovací úlohy.

# Geodézie 3 (154GD3)

## Téma č. 1: Úvod do problematiky výškových měření. Výškové systémy.

1. Úvod k určování výšek.
2. Tíhový potenciál, hladinové plochy.
3. Druhy výšek.
4. Přehled základních metod určování výšek.
5. Výškové systémy v ČR – historický přehled.
6. Výškový systém ČR – současný stav (bodová pole, stabilizace a signalizace bodů, právní a jiné předpisy).

# 1. Úvod k určování výšek.

## 0. Základní pojmy.

Absolutní výška:

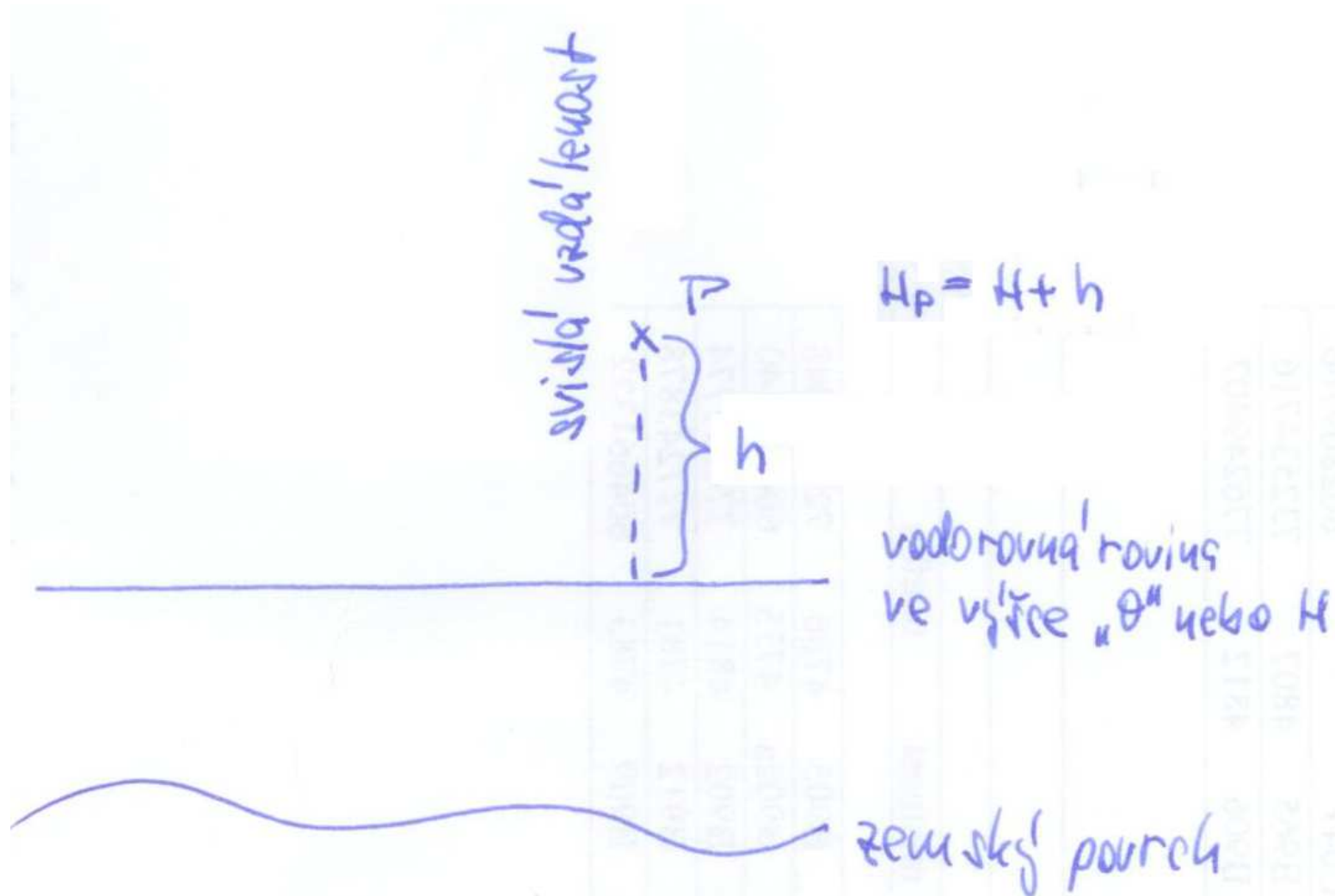
Relativní výška:

Výškový rozdíl:

Převýšení.

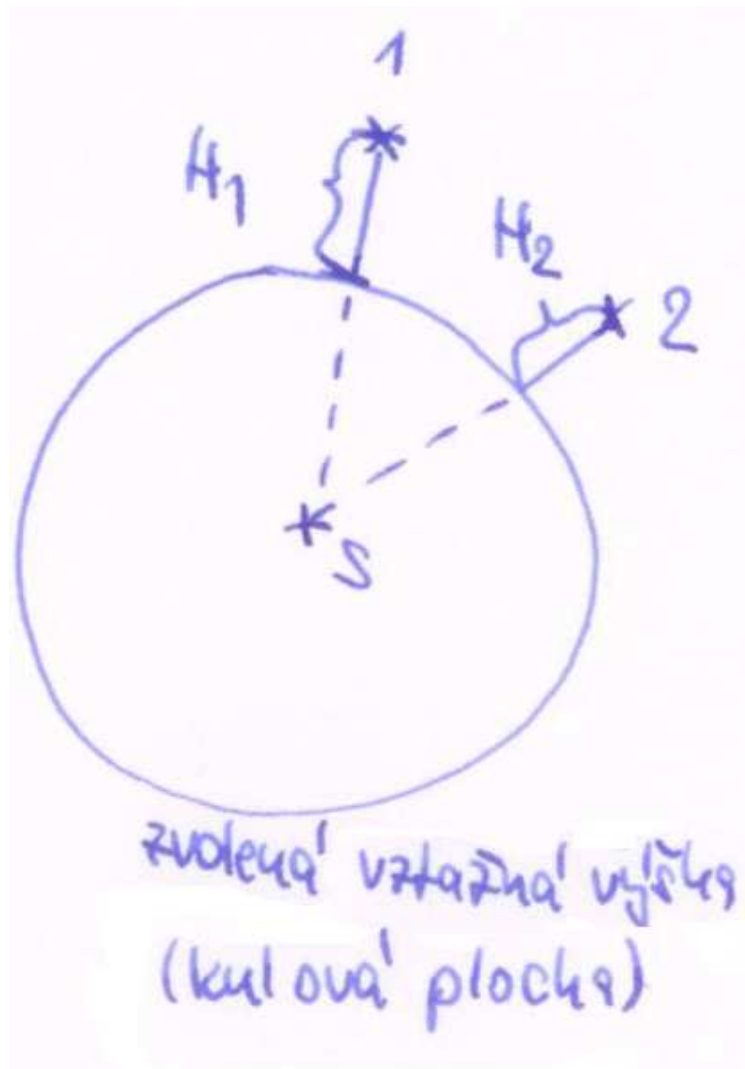
# 1. Úvod k určování výšek.

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



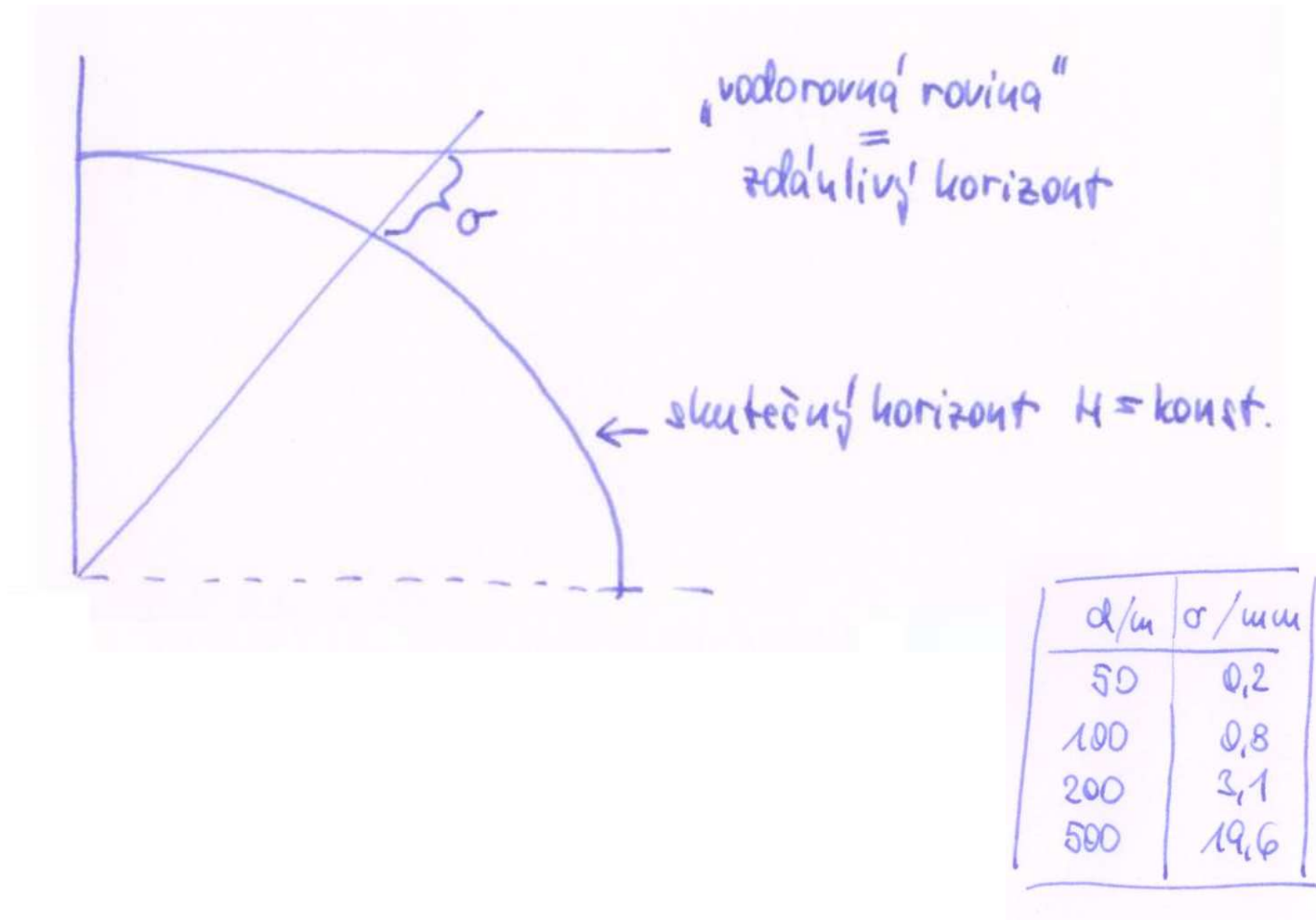
# 1. Úvod k určování výšek.

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



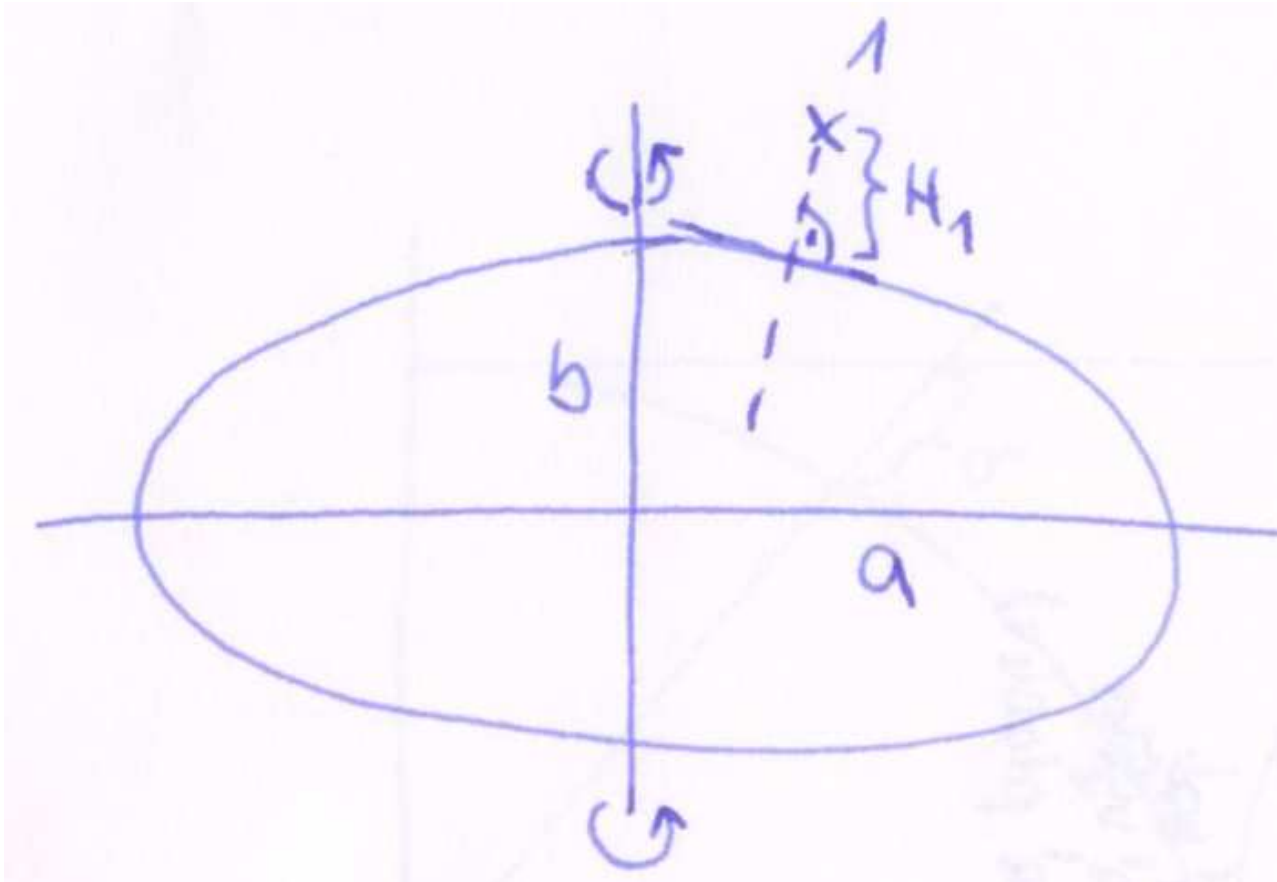
# 1. Úvod k určování výšek.

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



# 1. Úvod k určování výšek.

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





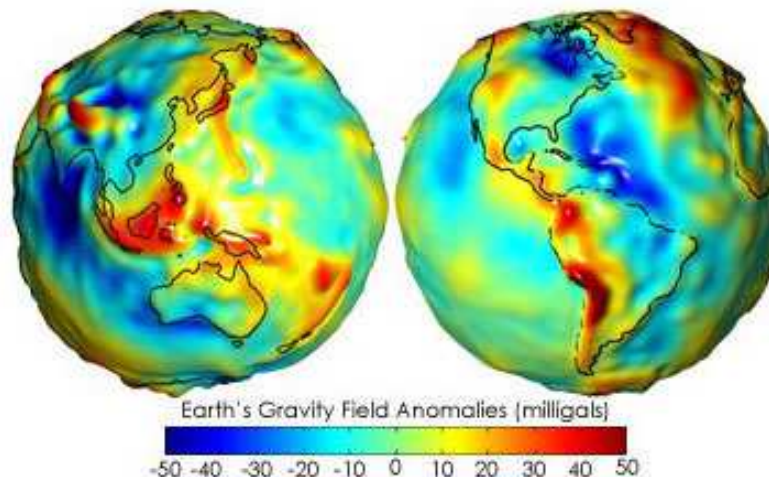
# 1. Úvod k určování výšek.

## 3. Určování výšek na geoidu.

(Teorie výšek je náplní předmětů Teoretická geodézie, Fyzikální geodézie apod., zde pouze pro základní orientaci.)

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  $g_p = 9,832 \text{ m.s}^{-2}$ ).

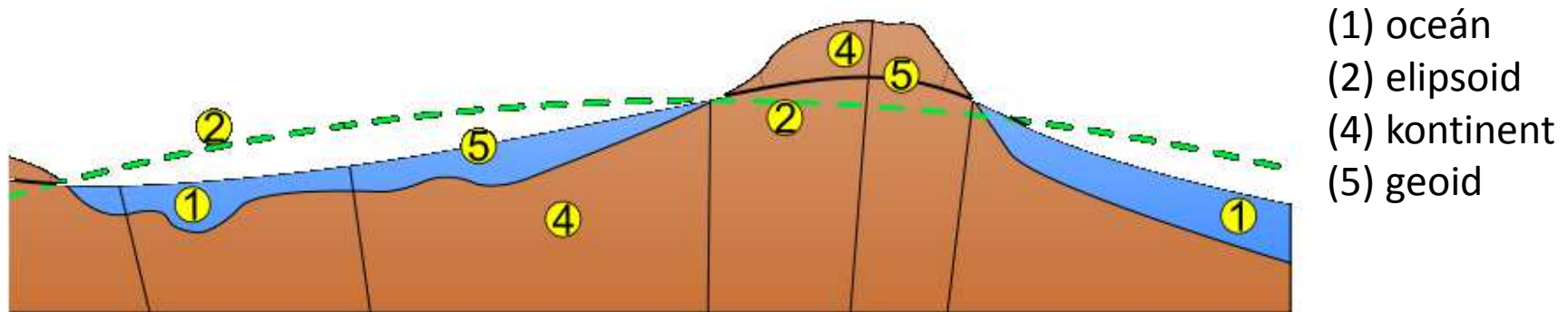


# 1. Úvod k určování výšek.

## 3. Určování výšek na geoidu.

Geoid je nepravidelná (matematicky nevyjádřitelná) tzv. „hladinová plocha“. Jednoduchá představa – ustálená hladina světových moří za předpokladu neexistence atmosférických dějů, oceánských proudů, různého složení a tedy hustoty vody, apod., procházející zvoleným bodem (obvykle „nula“ vodočtu). Pro zajímavost: rozdíly výšek z různých vodočtů: Terst – Amsterdam = 0,2 m; Terst – Kronšadt = 0,4 m).

Hladinová plocha – plocha spojující body se stejným tíhovým potenciálem  $W$ , vektory tíhového zrychlení jsou na ni kolmé.  $W_0 = \text{konst.}$ , volí se tak, aby procházelo zvoleným bodem.



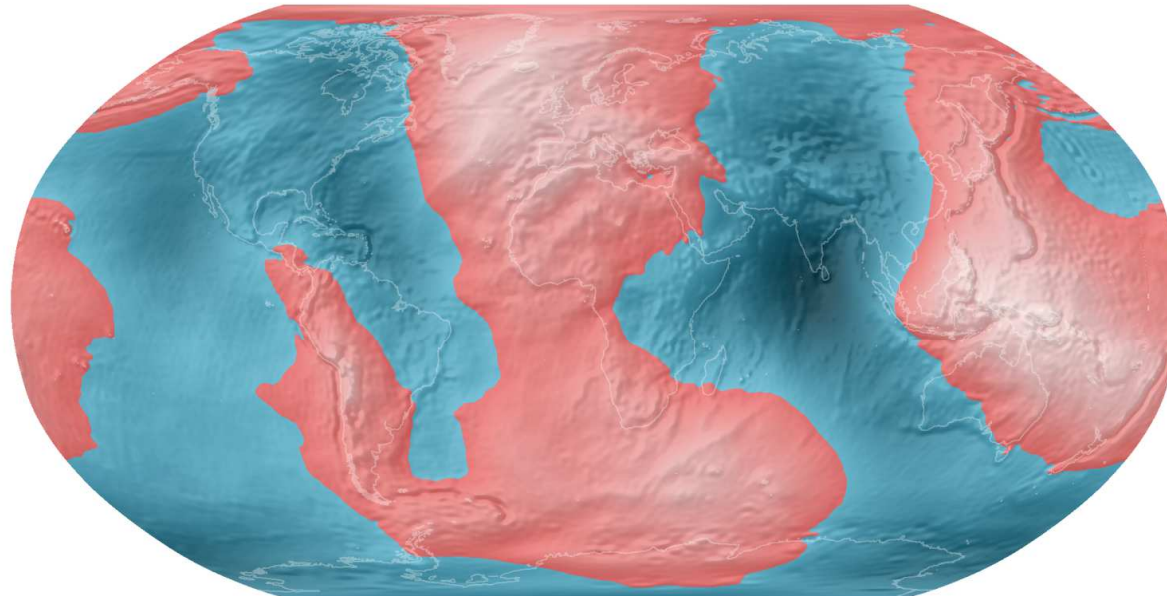
# 1. Úvod k určování výšek.

## 3. Určování výšek na geoidu.

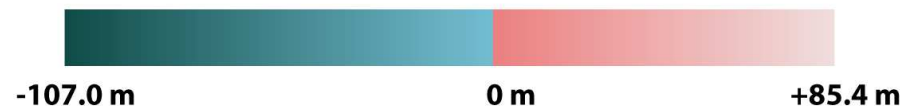
Geoid se popisuje pomocí speciálních matematických (kulových) funkcí, vytvářejí se mapy obsahující jednotlivé určené „body“ geoidu. Popisuje se jako nepravidelná plocha (jako např. Zemský povrch), kde je známo, že „přesně“ to nikdy nelze.

### Deviation of the Geoid from the idealized figure of the Earth

(difference between the EGM96 geoid and the WGS84 reference ellipsoid)



Red areas are above the idealized ellipsoid; blue areas are below.



## 2. Tíhový potenciál, hladinové plochy.

### 1. Tíhový potenciál.

(Přibližné vysvětlení pro homogenní tíhové pole)

Tíhový potenciál  $W$  je potenciální tíhová energie  $E_p = m \cdot g \cdot h$  vztažená k jednotkové hmotnosti, tedy  $W = g \cdot h$ .

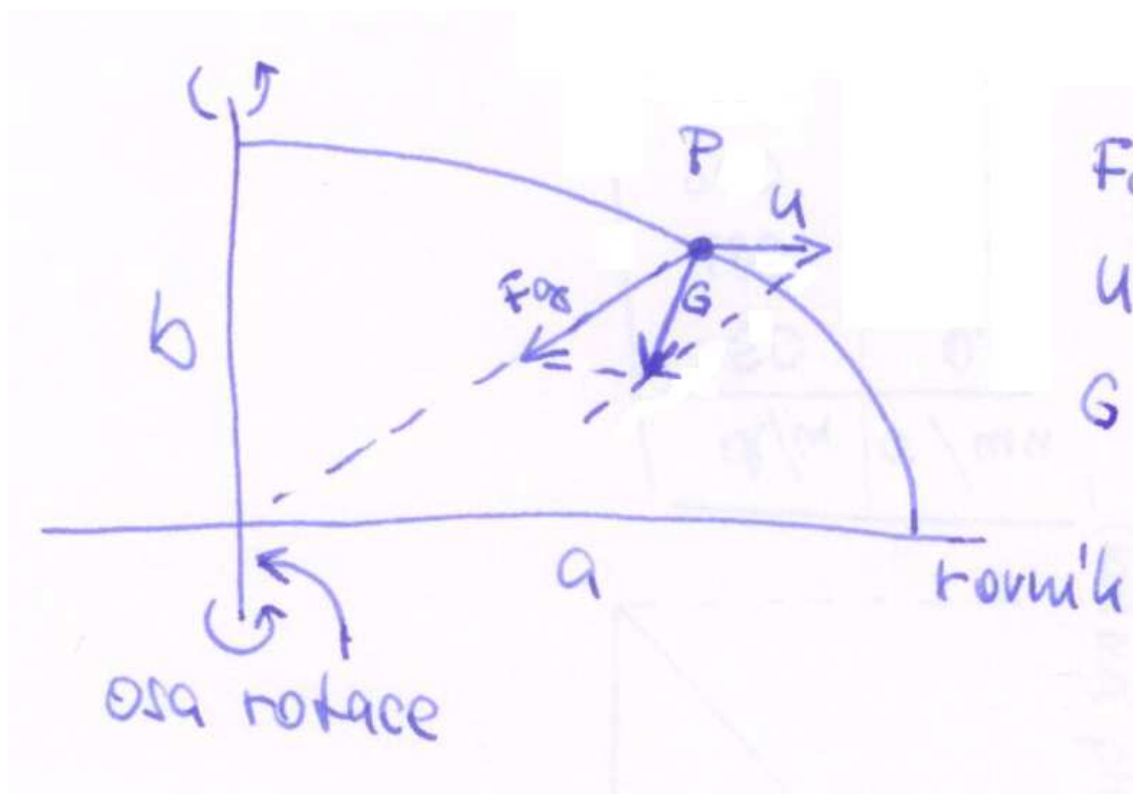
Protože tíhové pole není homogenní (rozložení hmot, vzdálenosti apod.), platí:

$$dW = -g \cdot dh, \quad W = \int_0^H -g \cdot dh.$$

Z výkladu nevyplývá metrický rozměr výšek, který je ale pro běžnou potřebu nutný. Jsou známy různé druhy výšek, které uvedené informace využívají různým způsobem. Pro správnou práci geodeta je nutné znát, jaký druh výšek je v daném výškovém systému použit a jaké opravy se při přesných pracích na větší vzdálenosti musí zavádět.

## 2. Tíhový potenciál, hladinové plochy.

### 2. Tíhová síla.



$F_g$  = gravitační síla  
 $U$  = odstředivá síla  
 $G$  = tíhová síla

## 2. Tíhový potenciál, hladinové plochy.

### 3. Hladinové plochy.

Hladinová plocha - prostorová plocha spojující body se stejným tíhovým potenciálem  $W = \text{konst.}$

Těchto ploch je nekonečně mnoho, podle toho, kolik se zvolí  $W$ . Počátek je tedy nutné zvolit, tj. žádná výšková soustava není ve skutečnosti absolutní.

Hladinové plochy se nemají konstantní vzdálenost, vzhledem k rozdílnému  $g$  odpovídá na rovníku vzdálenost hladinových ploch  $dh = 100 \text{ m}$  vzdálenosti  $dh = 99,473 \text{ m}$  na pólu. Vyplývá z tvaru a rotace Země.

Tvar hladinových ploch zásadně ovlivňuje geodetická měření, neboť směr „svisle“ nebo „vodorovně“ (urovnání pomocí olovnice nebo libely) je dán místní tížnicí, což je obecná křivka vždy kolmá na hladinovou plochu, kterou protíná.

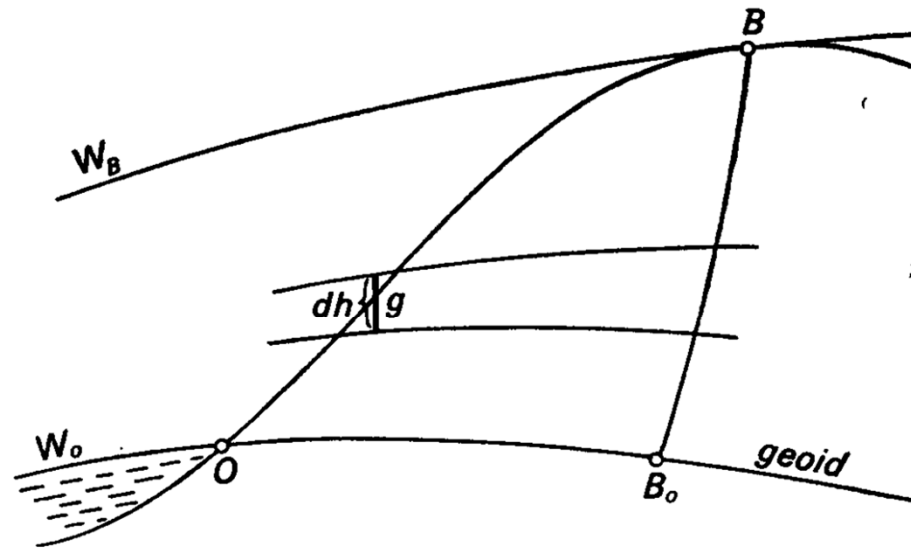
Pokud se při určování výšek toto nezohlední, vzhledem k různým místním tížnicím a zejména jejich obecnému sbíhání ve směru rovník – pól bude výsledek měření závislý na trase měření.

### 3. Druhy výšek.

#### 1. Geopotenciální kóty.

Potenciál na geoidu jsme označili  $W_0$ , v bodě  $B$  na zemském povrchu  $W_B$ .

$$W_B - W_0 = - \int_{(OB)} g \, dh.$$



Obr. 252

Záporná hodnota rozdílu potenciálů

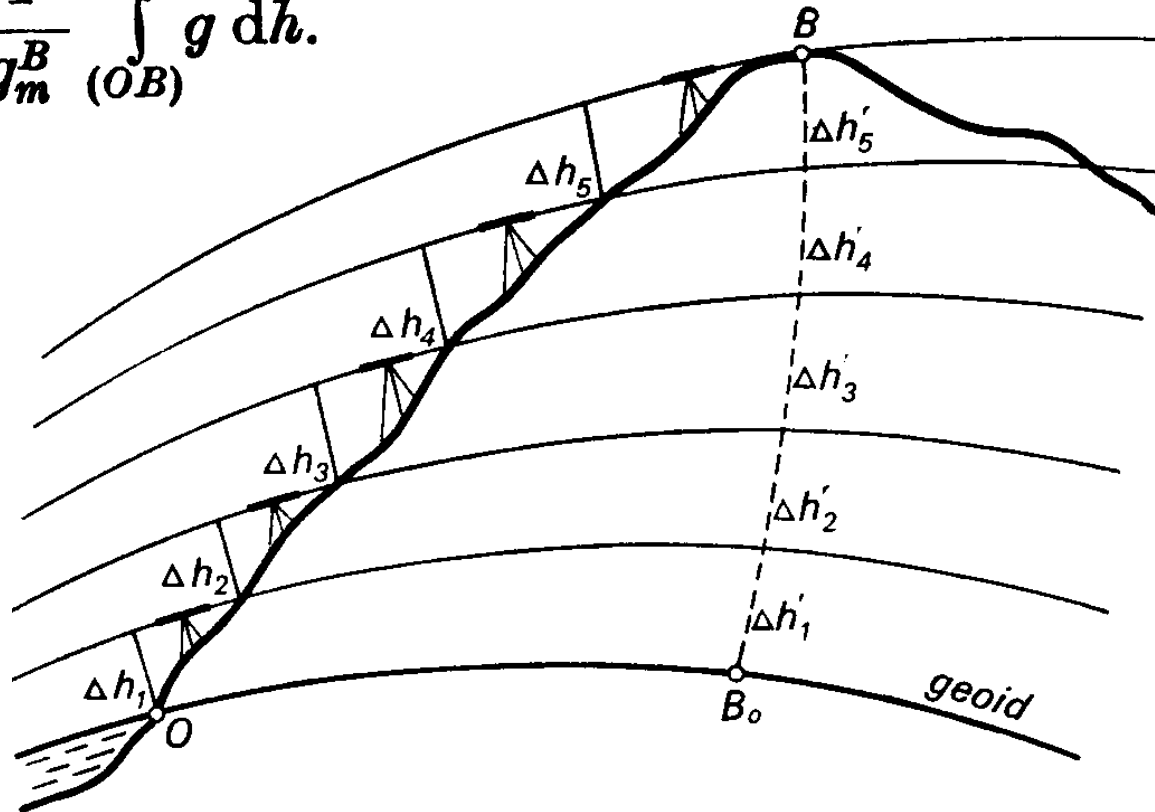
$$C_B = -(W_B - W_0) = W_0 - W_B = \int_{(OB)} g \, dh$$

### 3. Druhy výšek.

#### 2. Pravé ortometrické výšky.

Délka tížnice od geoidu k určovanému bodu.  $g_m^B$  je střední hodnota tíže podél tížnice, nelze (uvnitř) měřit, tento druh výšek je obtížně aplikovatelný.

$$H_g^B = \frac{1}{g_m^B (OB)} \int g \, dh.$$





## 3. Druhy výšek.

### 3. Normální ortometrické výšky.

Měření tíhového zrychlení byl v době budování mnohých výškových sítí problém, proto vznikly normální ortometrické výšky, kde se místo měřeného tíhového zrychlení používá normální tíhové zrychlení  $\gamma$ , které se vypočítá na základě přibližného modelu Země z přibližné nadmořské výšky a zeměpisné šířky.

Tento druh výšek byl využíván v Jadranském systému, použitelném v některých částech ČR do roku 2000.

$$H_{\gamma}^B = \frac{1}{\gamma_m^B} \int_{(OB)} \gamma \, dh.$$

$$H_{\gamma}^B = H_{\text{měř.}}^B + C_{\gamma}^B.$$

$$C_{\gamma}^{A,B} = -0,000\,025\,4 H_s \Delta \varphi'',$$

### 3. Druhy výšek.

#### 4. Normální (Moloděnského) výšky.

$$H_N^B = \frac{1}{\gamma_m^B} \int_{(OB)} g \, dh.$$

$$\Delta H_N^{A, B} = \Delta H_{\text{měř.}}^{A, B} + C_\gamma^{A, B} + C_{(g-\gamma)}^{A, B} = \Delta H_{\text{měř.}}^{A, B} + C_N^{A, B}.$$

$$C_N = -0,000\,0254 H_s \Delta \varphi'' + 0,001\,0193 (g - \gamma)_s \Delta H_{\text{měř.}},$$

Normální výšky jsou vhodné jak pro vědecké, tak pro technické účely, určují se z měření geodetických a gravimetrických. Vztažnou plochou je tzv. „kvazigeoid“ (mix  $g$  a  $\gamma$ ), tento typ výšek je použit v současně používaném výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv).

## **4. Přehled základních metod určování výšek.**

- 1. Geometrická nivelace.**
- 2. Trigonometrická metoda.**
- 3. Hydrostatická nivelace.**
- 4. Barometrická metoda.**
- 5. Metoda GNSS.**

# 5. Výškové systémy v ČR – historický přehled.

## 1. Před rokem 1918.

Nivelační síť I. řádu měřena v letech 1872 – 1896 Vojenským zeměpisným ústavem ve Vídni. Body byly stabilizovány v místech, kde se předpokládalo, že nenastanou geologické posuny. Pro nivelační síť v Čechách byl základní bod Lišov (u Českých Budějovic), výšky byly vztaženy ke střední hladině Jaderského moře určené v Terstu (molo Sartorio, bod stabilizován v budově celnice), odkud bylo geometrickou nivelací ze středu měřené téměř výhradně po trase železničních tratí. Byly používány normální ortometrické korekce.



# 5. Výškové systémy v ČR – historický přehled.

## 2. V letech 1918 - 1945.

Rakousko – Uherská nivelační síť byla zkvalitňována, zhušťována a doplňována Ministerstvem veřejných prací (1920, název Československá jednotná nivelační síť). Vážné nedostatky měly být řešeny vybudováním nové sítě, v roce 1938 však začala válka (okupace Českých zemí) a do r. 1945 byl budován německý systém s nulovým bodem v Amsterdamu a základním bodem v Potsdamu u Berlína. Výšky měly označení  $V_{NN}$  (normal null), po roce 1945 byly zrušeny.

## 3. Po roce 1945.

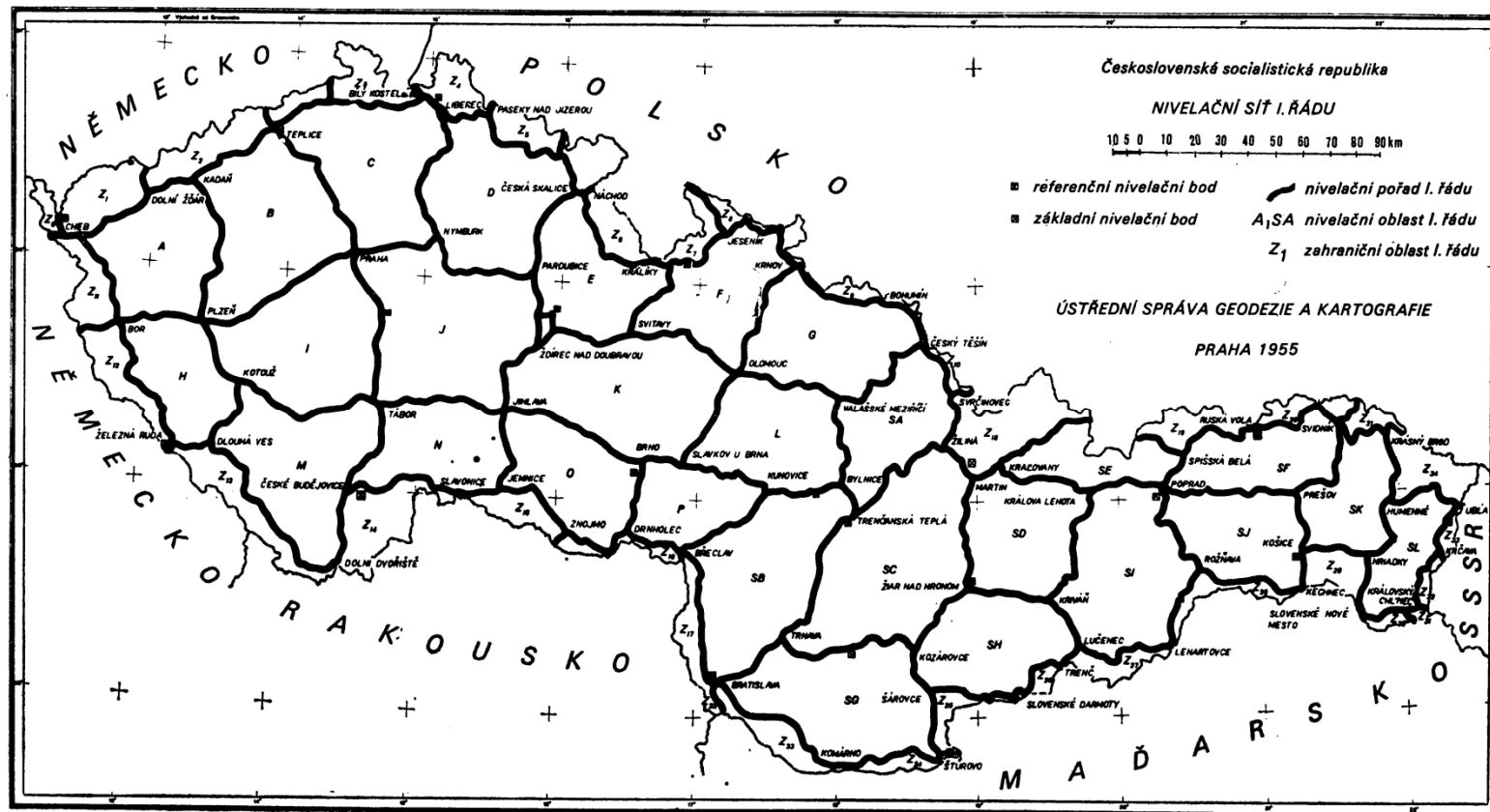
Byla významně zkvalitňována Československá jednotná nivelační síť, převzata byla některá předchozí měření a uskutečněna nová, používány byly normální ortometrické korekce, síť byla budována ve více rádech, I. řád měl dle pozdějšího hodnocení přesnost cca 0,9 mm/km.

I. řád se skládal z celkem 27-mi uzavřených polygonů a pohraničních pořadů o celkové délce 6100 km, nivelačních bodů je cca 15 000, použitá metoda velmi přesná nivelace. Stabilizováno celkem 22 základních bodů vyhlazenou ploškou na pevné skále.

# 5. Výškové systémy v ČR – historický přehled.

## 3. Po roce 1945.

V roce 1957 byla síť I. řádu společně vyrovnána se sítěmi okolních soc. států, výchozím bodem byla nula vodočtu v Krondštatu (Baltské moře), použity byly normální (Moloděnského) výšky. Název výsledného systému, který je v ČR využíván dodnes je „Balt po vyrovnání“ (Bpv).



# 5. Výškové systémy v ČR – historický přehled.

## 4. Přehled systémů.

Výškový systém	Střední hladina moře	Základní nivelační síť	Tíhové korekce	Vyrovnání sítě
Jaderský — Lišov	Jaderského	Doplněná nivelační síť z doby před rokem 1918	normální ortometrické	Na území Čech a Moravy
Jaderský — Strečno	Jaderského	Síť I. řádu Vojenského zeměpisného ústavu	normální ortometrické	Na území Slovenska
Jaderský — ČSJNS	Jaderského	Síť I. řádu Československé jednotné nivelační sítě	normální ortometrické	V roce 1949 v českých zemích, v roce 1952 na Slovensku i celá ČSSR
Baltský — B-68	Baltského	Síť I. řádu Československé jednotné nivelační sítě	normální ortometrické	Výšky vypočteny odečtením 0,68 m od výšek jaderských
Baltský — B-46	Baltského	Síť I. řádu Československé jednotné nivelační sítě	normální ortometrické	Výšky vypočteny odečtením 0,46 m od výšek jaderských
Baltský — po vyrovnání Bpv	Baltského	Síť I. řádu Československé jednotné nivelační sítě	normální (Moloděnského)	Mezinárodní, v rámci socialistických států

# 5. Výškové systémy v ČR – historický přehled.

## 4. Přehled systémů.

Aktuálně platné (podle Nařízení vlády č. 430/2006 Sb. (geodetické referenční systémy)) jsou pro udávání výšek tyto systémy:

**Bpv;**

**WGS 84 (GPS NAVSTAR);**

**ETRS;**

**(tíhový systém 1995 (S-Gr95)).**

Pro většinu výškových systémů jsou známy transformační vztahy (např. měření GPS -> Bpv), které však zhoršují kvalitu.



# 5. Výškový systém ČR – současný stav.

## 1. Bodová pole.

Bodové pole ČR (vyhláška 31/1995 Sb.)

- Polohové bodové pole
- **Výškové bodové pole**
  - **Základní výškové bodové pole (ZVBP)**
    - **Základní nivelační body**
    - **Body České státní nivelační sítě I. až III. řádu (závazná zkratka ČSNS)**
  - **Podrobné výškové bodové pole (PVBP)**
    - **Body nivelační sítě IV. řádu**
    - **Plošné nivelační sítě**
    - **Stabilizované body technických nivelací**
- Tíhové bodové pole

# 5. Výškový systém ČR – současný stav.

## 1. Bodová pole.

Jedná se o nivelační síť (budována metodou geometrické nivelace ze středu – viz dále), v nezastavěném území by měla být vzdálenost sousedních bodů max 1 km, v zastavěném max 0,3 km.

Celkově byla budována způsobem z velkého do malého, jednotlivé řády jsou charakterizovány odlišnou požadovanou přesností měření a technologií.

### Základní výškové bodové pole (ZVBP)

- Základní nivelační body (dnes zůstalo 12) – neporušené skalní výchozy, pomník.
- I. řád – nivelační pořady seskupené do uzavřených nivelačních polygonů, oblasti se označují velkým písmenem, hraniční  $Z_{xx}$ . Pořad se označuje označením sousedních oblastí a názvem míst, kde začíná a kde končí. (VPN)
- II. řád – vložení do oblastí I. řádu, značení – k oblasti I. řádu přidává se malé písmeno, nivelační pořad se značí písmenem oblasti I. řádu a dvěma malými a jmény počátečního a koncového místa. (VPN)
- III. řád – pořady zahušťující síť I. a II. řádu, značí se Na4 jméno – jméno, kde 4 je pořadové číslo.

# 5. Výškový systém ČR – současný stav.

## 2. Stabilizace a signalizace bodů.

ZNB Lišov



# 5. Výškový systém ČR – současný stav.

## 1. Bodová pole.

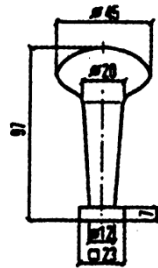
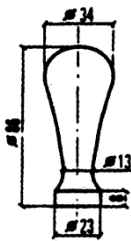
### Podrobné výškové bodové pole (PVBP)

- IV. řád – nivelační pořady, označují se velkým písmenem oblasti, malým písmenem oblasti, O a pořadovým číslem a jménem místa počátku a konce (PN)
- PNS = plošné nivelační sítě – budují se pro potřeby např. obce a označují se pořadovým číslem a názvem obce, např. 34 PNS Praha. (PN)
- Stabilizované body technických nivelací – zpravidla body polohopisného bodového pole, u nichž byla určena výška minimálně technickou nivelací.

# 5. Výškový systém ČR – současný stav.

## 2. Stabilizace a signalizace bodů.

Informace o umístění, stabilizaci, výšce atd. lze nalézt v nivelačních údajích, viz <http://bodovapole.cuzk.cz>



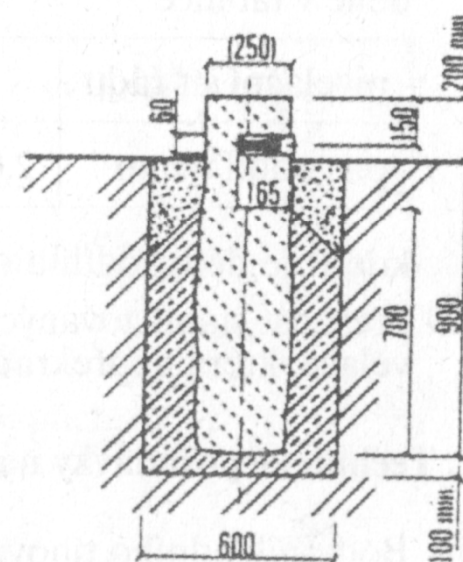
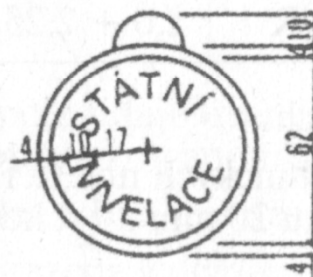
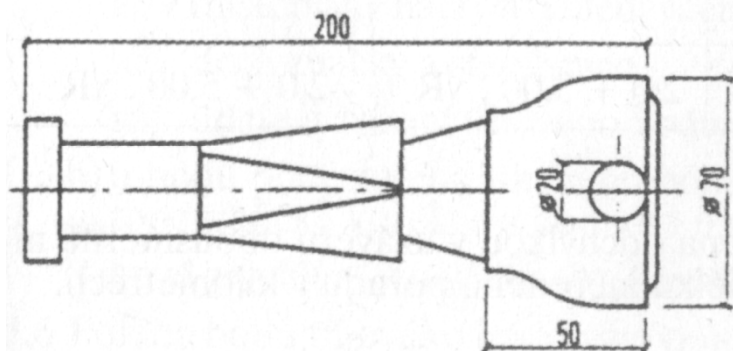
## NIVELAČNÍ ÚDAJE

Nivelační pořad: I.ZNB Základní niv. bod I.Lišov					
Předchozí bod	Nivelační bod	Délka v km		Nadmořská výška Bpv	Výška z roku
		oddílu	od počátku		
NZ14-23	I.ZNB	0.120	0.120	564.760 m	1940
Místopisný popis: Lišov, skála v lomu Spravedlnost			Místopis: 		
Poznámky: 1. Původně bod RUVZÚ-2040 (1890) 2. Dříve bod N3-1 Lišov-České Budějovice (1927) 3. Chráněn pomníkem, možno použít jen se svolením ZÚ					
Stav a stáří objektu: skála vyhlazená ve vodorovnou plošku 15x15 cm zachovalá nezvětralá rostlá skála chráněná třídlílným pomníkem zřízeným RUVZÚ v roce 1890 aplitická rula					
Úz. jednotka:	330105301		Vlastník:		
Okres:	České Budějovice				
Obec:	LIŠOV				
Kat. území:	LIŠOV				
Parc. číslo:					
ZM-50	32-22		SMO-5	TŘEBOŇ 8-1	
Druh zn.	Stupeň stab.	Stabilizoval	Druh bodu	Souřadnice v S-JTSK	
Z	1	RUVZÚ	HBVIP,ZNB	Y	747332 m
	Druh stab.			X	1163681 m
	S	1877		dig.	
Zeměpisná délka		Zeměpisná šířka	Gs	Gn	Ba
14° 35' 9.2"		49° 0' 27.2"	980831 mgal	980977 mgal	-21 mgal
Datum: 28.9.2011					

# 5. Výškový systém ČR – současný stav.

## 2. Stabilizace a signalizace bodů.

f) čepovou značkou [obr. 10a)] s označením „Státní nivelace“ pro nivelační body základního výškového bodového pole nebo bez označení pro nivelační body podrobného výškového pole, která se osazuje do stěn vybraných staveb, ze strany do líce nivelačního kamene [obr. 10b)] nebo do svislých ploch skal.



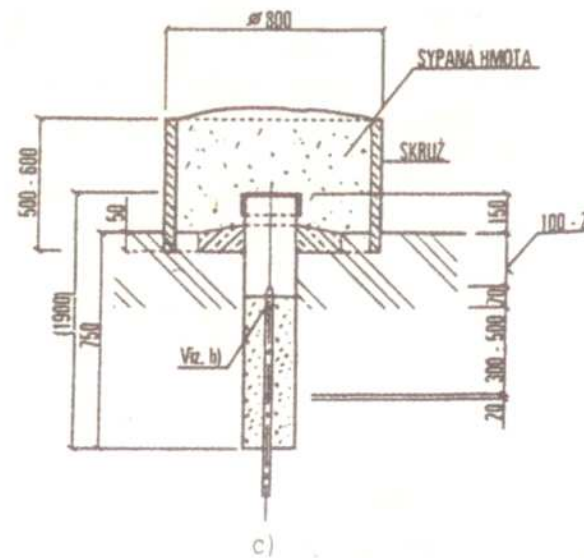
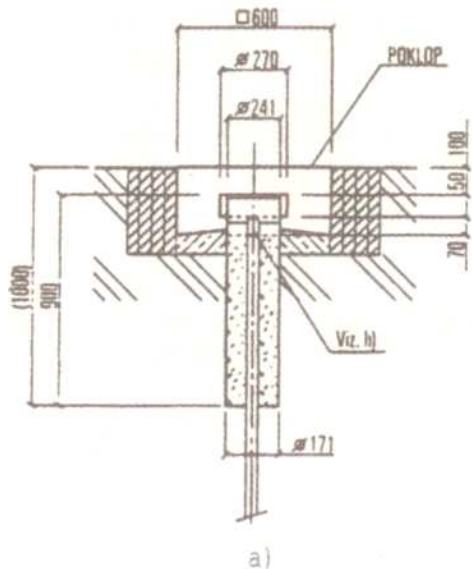
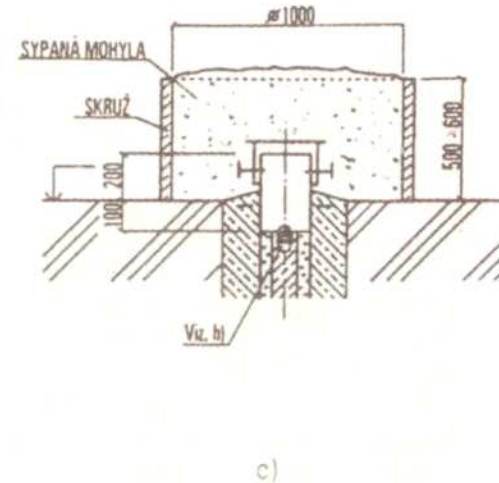
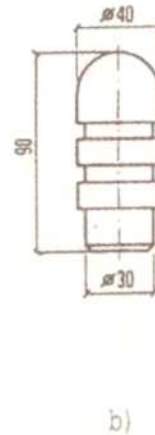
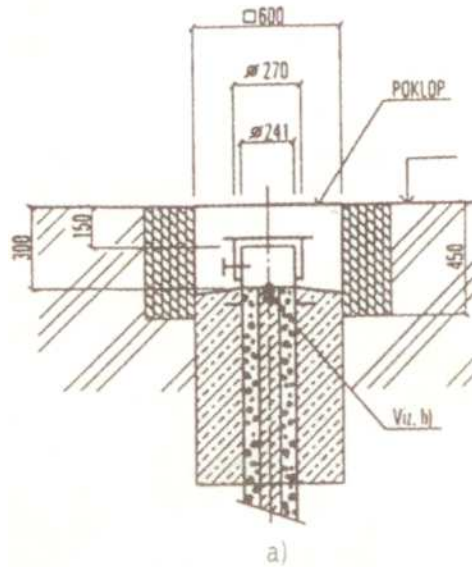
a)

b)



# 5. Výškový systém ČR – současný stav.

## 2. Stabilizace a signalizace bodů.



**Konec**