

# Nadmořské výšky a výškové systémy ve fyzikálním prostoru Země

Ing. Drahomír Dušátko, CSc.

*S laskavým svolením autora pro projekt CTU 0513011*

## Abstrakt

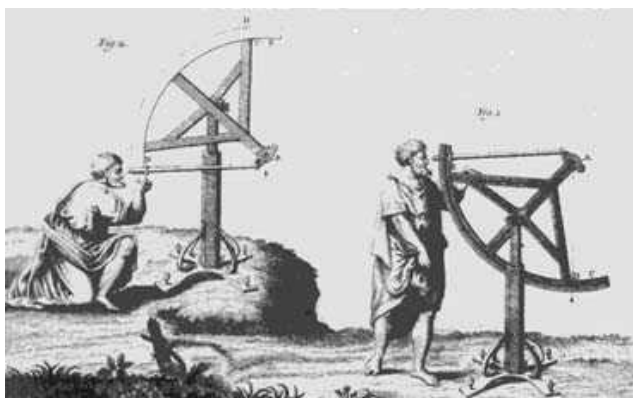
*Přehled vývoje teorií výšek a technik určování převýšení a nadmořských výšek na povrchu Země a v okolozemském prostoru ve fyzikálním prostředí za působení gravitačního pole Země, vytváření lokálních, národních a kontinentálních výškových systémů. Nástup družicové geodézie, podmínky pro zahájení výzkumů a vzniku globálního systému nadmořských výšek, současný stav a příspěvek Geografické služby AČR.*

## Úvod

Vývoj způsobů a technik určování výšek objektů na zemském povrchu probíhal zprvu od metodik geometrického určování jejich vzájemného převýšení:



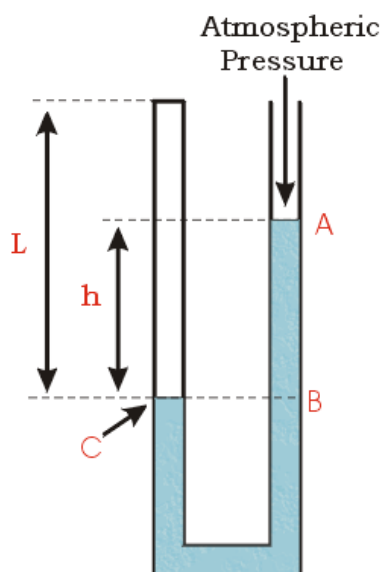
Obr. 1 Určování výšky objektu



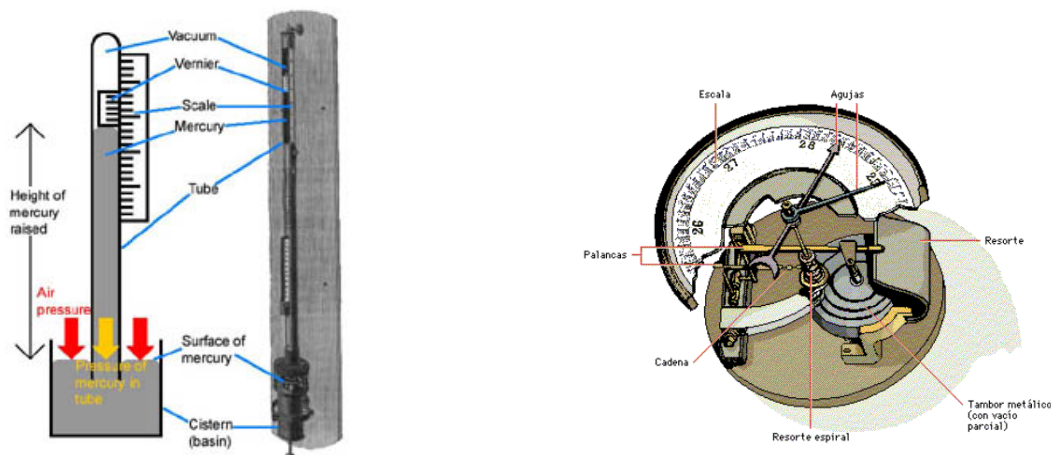
Obr. 2 Použití různorodých prostředků pro určení svislých úhlů v astronomii a zeměměřictví pro určování nadmořských výšek geometrickou a trigonometrickou nivelací



Obr. 3 Určování svislých úhlů v denní praxi geometrů vrcholného středověku a novověku



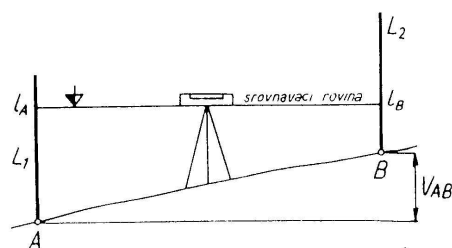
Obr. 4 Toricelliho vynález pro měření změn tlaku vzduchu byl využit pro určování rozdílů výšek dominantních bodů v terénu



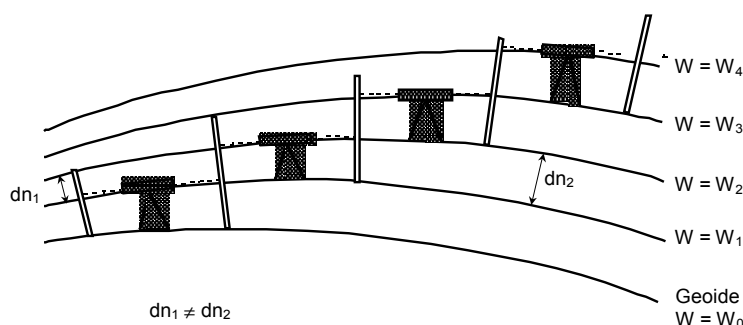
Obr. 5 Metodika určování výšek měřením změn atmosférického tlaku na povrchu Země i nad Zemí se využívá dodnes především v navigaci v kombinaci s technologií GPS

### Současný stav

Určování relativních převýšení prostřednictvím geometrické nivelace umožnilo vytváření nivelačních sítí, které byly rozvíjeny na národním území a postupně byly spojovány do sítí kontinentálních, které byly připojeny na maregrafy příslušných moří.



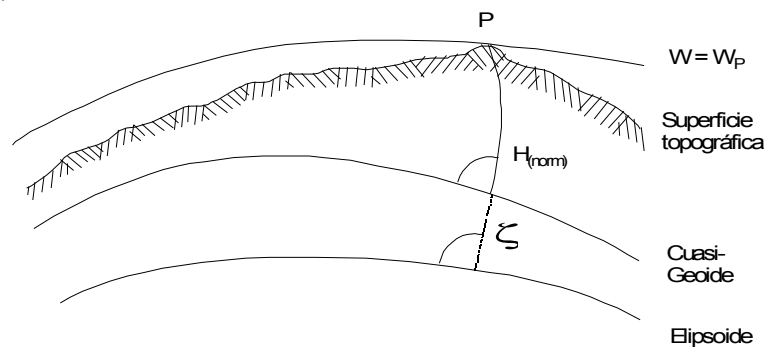
Obr. 6 Vynález a aplikace optiky nahradila v nivelaci průzory, urovnávané podle olovnice



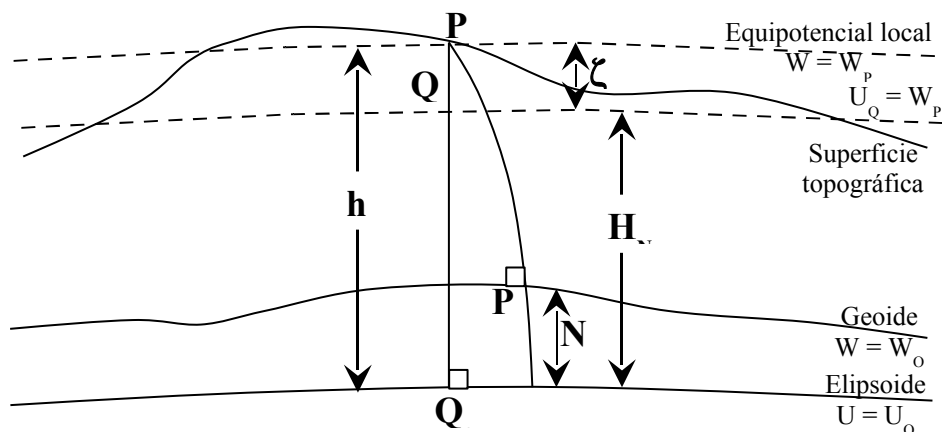
Obr. 7 Při realizaci dlouhých nivelačních pořadů se při jejich vyrovnání již projevovala sbíhavost spojených hladinových ploch potenciálu síly tíže

Každá záměra nivelačním dalekohledem je tečnou k hladinové ploše potenciálu síly tíže (geopotenciálu, součtu gravitačního potenciálu a potenciálu odstředivých sil, rozměr – práce) procházející jeho objektivem, čímž je porušeno geometricky chápané prostředí. Těleso Země vyvolává ve svém okolí silové, potenciální pole, v němž gravitační síla působící na hmotný bod závisí pouze na poloze tohoto bodu v tomto poli. Geometrická místa bodů, kde je tíhový potenciál konstantní a má stále stejnou skalární hodnotu, představuje uzavřenou,

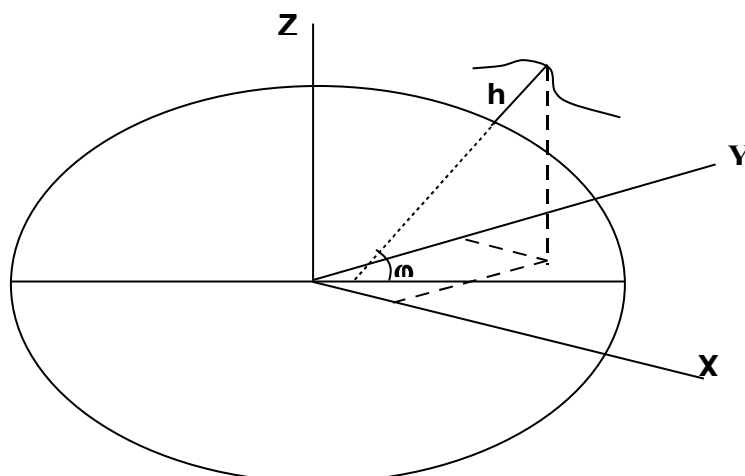
spojitou „hladinovou“ plochu stejného tíhového potenciálu (ekvipotenciální plochu). Hladinová plocha geopotenciálu, procházející střední hladinou světových moří a oceánů je *geoid*. K této ploše by se měly vztahovat nuly vodočtů – maregrafů všech existujících výškových systémů. Problém spočívá však v obtížnosti řešení jejího průběhu a tedy její prostorové definice; výšky, které jsou s teoretickými předpoklady pro redukci tíže  $g$  daného nivelačního bodu vztaženy k ekvipotenciální ploše geoidu jsou tzv. *výšky ortometrické*. Pro vyloučení hypotéz byla zavedena náhradní, geometrická plocha geoidu – kvazigeoid,; tato plocha je již plochou matematickou a „nadmořské“ výšky, které jsou k ní vztaženy jsou tzv. *výšky normální*.



Obr. 8 Výšky  $H$  vztažené k ploše kvazigeoidu, která z praktických důvodů nahrazuje geoid



Obr. 9 Výšky normální  $H_N$  elipsoidické  $h$ , převýšení geoidu  $N$ , převýšení kvazigeoidu  $\zeta$



Obr. 10 Technologie určování polohy GPS (Global Positioning System) poskytuje výšky  $h$  elipsoidické (geodetické); vztah pro výpočet výšek nadmořských je  $H = h + \zeta$

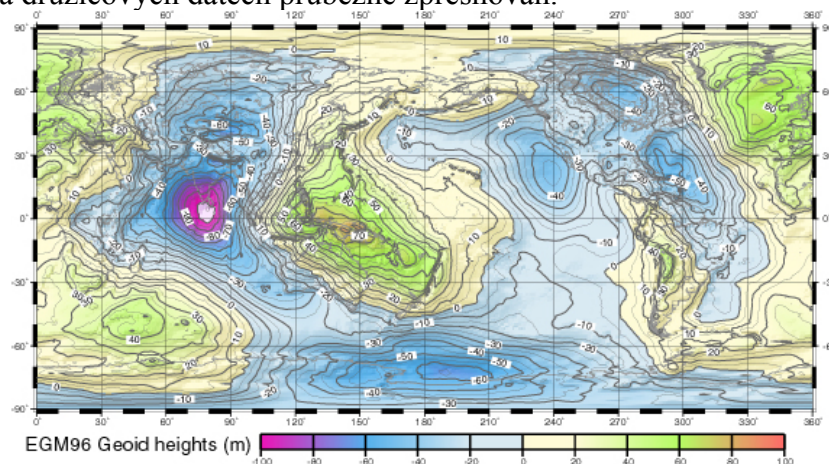
Jednou z hlavních úloh klasické geodézie konce 19. a 20. století bylo tedy:

- definování obecné, globální fyzikální vztahné plochy pro nadmořské výšky a příslušné teorie jejího definování a tvorby
- vypracování teorie nadmořských výšek
- definování výchozí nuly vodočtu pro systémy nadmořských výšek prostřednictvím maregrafu kterým jsou sledovány dlouhodobé změny výšky mořské hladiny a stanovení jejich průměru
- zaměření a vyrovnání výškových pořadů, rozdílů výšek v nivelačních sítích a definování výškového systému ve vztahu k daným geodetickým základům
- vytvoření národních výškových systémů a později jejich spojování do kontinentálních systémů nadmořských výšek.

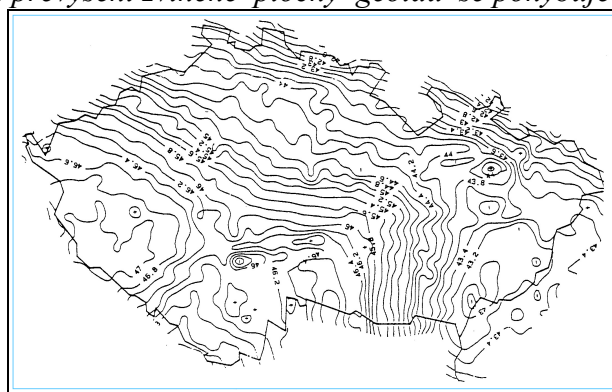
Důležitou úlohou vznikající *fyzikální geodézie* bylo určování průběhu *geoidu*, později *kvazigeoidu*. První metodou byla tzv. *astronomická nivelace*, kde vstupními daty jsou složky *tížnicových odchylek*, určených z rozdílů zeměpisných a geodetických souřadnic v daném astronomicko-geodetickém bodě. Připojením tzv. *gravimetrické opravy* se podařilo odstranit z velké části vliv zakřivení hladinových ploch geopotenciálu – vznikla metoda tzv. *astronomicko-gravimetrická nivelace*, využívaná především při definování průběhu kvazigeoidu.

Nadmořské výšky, vztažené k ploše geoidu jsou výškami *ortometrickými*, nadmořské výšky, vztažené ke geometrické ploše kvazigeoidu jsou výšky *normální*.

V současné době lze odvodit průběh plochy geoidu z matematicko-fyzikálního *modelu potenciálu tíhového pole Země (geopotenciálu)*, který je v závislosti na přibývajících povrchových a družicových datech průběžně zpřesňován.

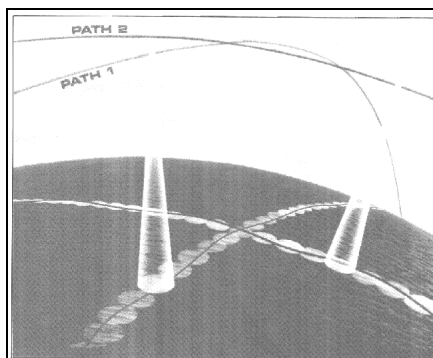


Obr. 11 Průběh globálního geoidu odvozený z modelu geopotenciálu EGM96 (Earth Gravity Model 1996); rozdíl převýšení zvlněné plochy geoidu se pohybuje od  $-110\text{ m}$  do  $+84\text{ m}$



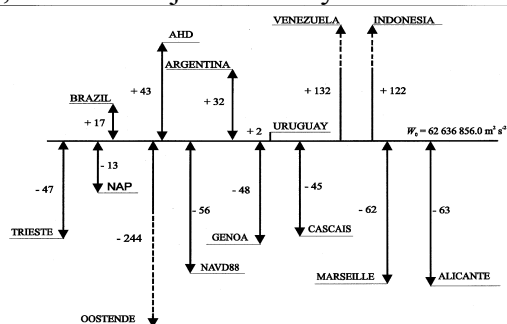
Obr. 12 Detailní průběh gravimetrického geoidu pro území České republiky; rozdílly cca  $6\text{ m}$



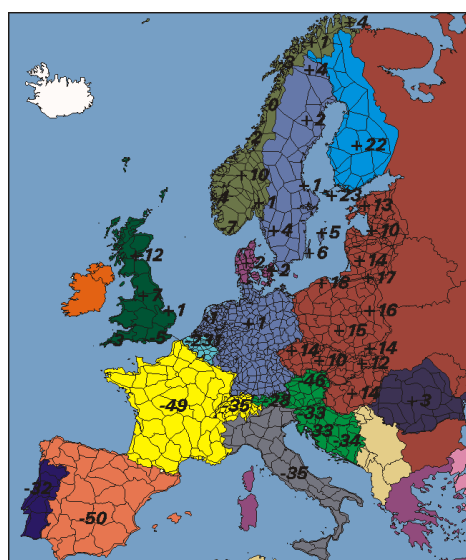


Obr. 13 Prostřednictvím družicové altimetrie se určuje průběh fyzikální plochy světových moří a její převýšení vzhledem k vztažné geometrické ploše – elipsoidu, náhradnímu zemskému tělesu s geometrickými parametry – velkou poloosou a zploštěním

Zároveň probíhá postupné sblížování teoretických přístupů k definování výšek nadmořských a výšek geodetických, elipsoidických; např. v Evropě vznikl jednotný systém UELN (Unified European Levelling Network - výšky nadmořské) a EUVN (European Unified Vertical Network - výšky elipsoidické). Tento problém je dosud stále živý a jak pro výškové systémy kontinentální, tak samozřejmě i ve smyslu celozemském, globálním.

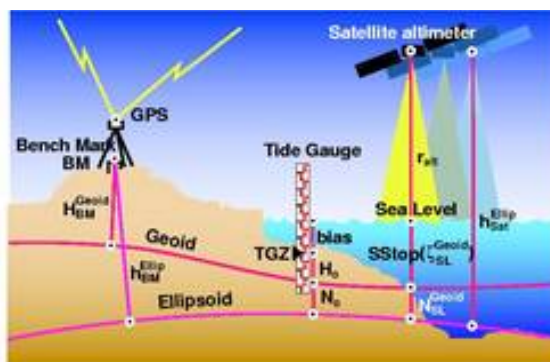


Obr. 14 Rozdíly počátků systémů nadmořských výšek (nul maregrafů) mezi kontinenty vzhledem ke globální ploše geoidu s hodnotou geopotenciálu  $W_0 = 62\,636\,856,0 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$



Transformation parameters from national heights to UELN heights in Europe (in cm)

Obr. 15 Rozdíly počátků systémů nadmořských výšek mezi evropskými státy v cm



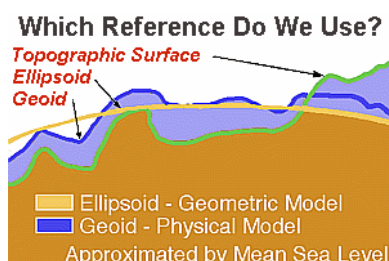
Obr. 16 Původ různorodých dat, používaných pro definici WHS (World Height System)

Skupina pracovníků vojenské geografické služby AČR v Dobrušce pod vedením prof. Burši předložila odborné veřejnosti návrh na sjednocení kontinentálních a globálních výškových systémů, založený na fyzikálním řešení. Návrh, který je zároveň postupně realizován, spočívá v těchto krocích:

- soustředění kontinentálních nivelačních dat, vztažených k bodům s určenými geocentrickými souřadnicemi  $X, Y, Z$  v geodetickém systému WGS 84; preferovány jsou výšky normální se zavedenými slapovými opravami
- zavedení dat družicové altimetrie do centrální databáze
- určení hodnoty potenciálu  $W_0$  tíhového pole pro ekvipotenciální plochu geoidu (v současné době je využívána hodnota geopotenciálu  $W_0 = 62\ 636\ 856,0\ m^2\ s^{-2}$  prof. Burši, která byla přijata IUGG jako standardní; její zpřesňování nadále probíhá
- určení hodnot geopotenciálu  $W_i$  pro nuly maregrafů - počátků systémů odečtů nadmořských výšek
- určení rozdílů  $\Delta W_i = W_i - W_0$  pro počátky odečtů v systémech nadmořských výšek
- převod diferencí  $\Delta W_i$  každého maregrafu na metrickou míru - na  $\Delta H_i$
- zavedení oprav  $\Delta H_i$  pro každý maregraf a posléze pro údaje nadmořských výšek bodů nivelačních sítí.

Výpočetní zpracování je opravdu náročné – již nyní je v globálním měřítku soustředěno cca 25 000 údajů z 82% plochy Země. Realizace projektu proto probíhá ve spolupráci s geodetickými službami mnoha zemí a zvláště s podporou americké *National Geospatial Agency*. V posledním období byl prostřednictvím Astronomického ústavu AV ČR získán grant Evropské unie, který umožňuje kontakty a také zahraniční prezentace dosahovaných výsledků.

## Závěr



V geodetické a navigační praxi nadále probíhá hledání racionální odpovědi na otázku „které typy výšky jsou pro ten či onen účel technického nebo teoretického využití optimální?“ Uživatelské obory, hlavně technické, je volí podle druhu používaných navigačních prostředků, požadavků na přesnost nebo na vztah k výškovým systémům,

používaných v digitálních mapách, možnostem rychlého převodu mezi výškami nadmořskými a výškami elipsoidickými apod.

## Literatura

- Hons, J. – Šimák, B.: Pojd'te s námi měřit zeměkoulí, Praha, Orbis 1959.
- Burša, M. a kol.: World Height System Specified by Geopotential at Tide Gauge Station; IAG Symposium on Vertical Reference Systems, 20.-23.2.2001, Cartagena, Columbia.
- Burša, M. a kol.: Geoidal geopotential and World Height System, 1999, in *Studia geophys. et geod.*, 43.
- SS GG GeoS AČR: Determination of Geoidal Geopotential and World Height System. Memorandum 1, Memorandum 2, *podklad pro jednání „Geodesy and Geophysics Working Group“*, Brusel, červen 2003.
- Burša, M. - Kostelecký, J.: Kosmická geodézie a kosmická geodynamika, MO – GŠ AČR, Praha 1994
- Pick, M.: Advanced Physical Geodesy and Gravimetry, Praha, MO ČR, 2000.
- Burša, M.: Geopotenciál I, teorie; Praha, MO – GŠ AČR 2004.
- Burša a kol.: Global Vertical Reference Frame, EUREF Publication No. 13, BKG, Frankfurt am Main 2004 (Symposium of the IAG Sub-commission for Europe, Toledo 4-7 June 2003).
- EUREF: Relation between the European national height Systems and the UELN – viz <http://crs.bkg.bund.de/evrs/> .
- IAG: International Association of Geodesy – viz <http://www.iag.org> .
- Vatrt, V.: Využití geopotenciálních modelů ve vojenství, 1, 2. část - obhajoba doktorské dizertační práce, VTOPÚ Dobruška – VLA M.R.Štefánika, Košice 2003.