

Geografický výbor NATO a využívání národních specifik

V současné době nabývají v technických složkách armád NATO na významu tzv. specifické národní přínosy. Tato specifika jsou obvykle výsledkem historického vývoje, kdy docházelo ke koncentraci intelektuálních předpokladů, formování osobitých a úspěšných teoretických a praktických řešení. Současný vývoj je natolik dynamický, že je velmi úsporné a produktivní vyhledávat až dosud nevýznamné nebo skryté možnosti a předpoklady, tyto pak integrovat do oblastí hlavních společných priorit. Geografická služba AČR získala po roce 1990 značnou autoritu v řešení aktuální globální geodetické úlohy – definování jednotného, celosvětového výškového systému. Tento článek navazuje na příspěvek „Určování polohy podle mapy, navigace GPS a souřadnicové systémy“ zveřejněný ve Vojenských rozhledech č. 2 t. r.

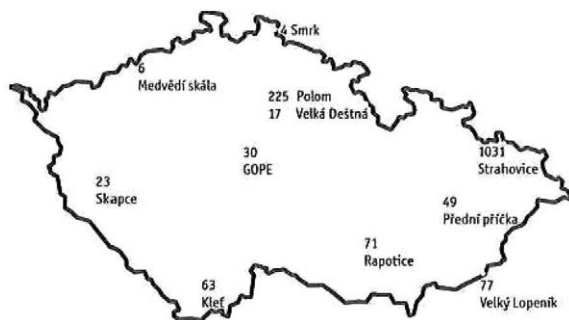
Příspěvek Geografické služby AČR ke standardizaci

V mnoha případech se ještě stává, že je tato služba s velkým zjednodušením považována pouze za výrobce, který zabezpečuje tvorbu vojenských topografických map. Za připomenutí stojí, že služba v rekordně krátkém čase – ještě před vstupem do NATO – vypracovala definici **geodetického světového souřadnicového systému WGS 84** (World Geodetic System 1984) pro území České republiky. Tento systém je předpokladem vzájemné polohové, prostorové komunikace pozemních a vzdušných sil armád NATO.

Ve spolupráci s bývalou Obrannou mapovací agenturou armády USA (*DMA - Defense Mapping Agency*) proběhlo již v roce 1992 určení souřadnic v koaličním systému WGS 84 technologií GPS na vybraných bodech státních geodetických základů. Jejich souřadnice ve WGS 84 pak byly podkladem pro převod souřadnic všech bodů sítě z dosavadního systému S-1942/83 do standardního geodetického systému. Pro ilustraci je rozmístění těchto opěrných bodů uvedeno na **obr. 1**.

Tato operace pak v krátké době umožnila operativní přitisk souřadnicových sítí NATO – rovinné (souřadnice E, N) a zeměpisné (souřadnice φ, λ) – do tehdejších topografických map AČR. V systému WGS 84, v jeho zpřesněné variantě G 873, budou pro území České republiky již v příštím roce připraveny kromě digitálních také analogové katalogy souřadnic geodetických bodů.

V současné době již probíhá tvorba vojenských topografických, speciálních a leteckých map podle standardů NATO.



Obr. 1: Vybrané astronomicko-geodetické body geodetických základů ČR (tzv. body nultého řádu), kde byly technologií GPS určeny souřadnice v systému WGS 84

Celá oblast vojenské kartografie AČR je již vybavena současnými počítačovými a grafickými technologiemi, založenými na databázích vojenského geografického informačního systému (VGIS).

Specifika AČR v jedné z oblastí geografického zabezpečení

Současně s definováním nového souřadnicového systému byly navázány velmi kolegiální kontakty a spolupráce mezi pracovníky sféry výzkumu Obrannou mapovací agenturou (DMA) a Geografické služby AČR (GeoS AČR). Na jejím základě vznikla v Praze již v roce 1993 tradice společných odborných seminářů geografických služeb armád NATO a PFP (Partnership for Peace) „Aktuální úkoly vojenské geodézie“, tematicky orientovaných na soudobé úkoly geografického zabezpečení (obr. 2).



Obr. 2: První společný seminář vojenských geodetů států NATO a PFP v Praze roku 1993 (uprostřed je představitel býv. DMA Kenneth Burke s náčelníkem tehdejší topografické služby AČR plk. Ing. Karlem Radějem, CSc.)

Tyto semináře pokračují každoročně až do dnešní doby, např. letos proběhne na Slovensku. Vedle prezentací výsledků, výměn zkušeností přinášejí nové přístupy a motivace pro další technický a technologický rozvoj geografického zabezpečení. Při setkáních aktivních pracovníků jsou také diskutovány problémy vědecké povahy. Tak byla např. formulována zadání pro řešení nových úloh vojenské geodézie, vznikajících v prostředí gravitačního pole Země při implementaci navigačních technologií na bázi globálního systému pro určování polohy (GPS - Global Positioning System) a inerciálního navigačního systému (INS - Inertial Navigation System).

Mezi výzkumnými pracovníky dnešní Národní agentury pro snímkování a mapování (NIMA - National Imagery and Mapping Agency), nástupnické organizace DMA, a pracovníky GeoS AČR byly v této oblasti navázány úzké pracovní kontakty. Vznikl společný a diferencovaný program výzkumu, v AČR realizovaný členy **studijní skupiny globální geodézie (SS GG)**, která v současné době pracuje ve Vojenském geografickém a hydrometeorologickém úřadu v Dobrušce.

Výsledky prací z této oblasti jsou prezentovány na každoročních seminářích tzv. pracovní skupiny geodézie a geofyziky (G&G WG - Geodesy and Geophysics Working Group) Geografického výboru NATO v Bruselu.

Předmět společného výzkumu a příspěvek AČR

Práce naší SS GG navazuje na národní tradice v oblasti fyzikální a kosmické geodézie, prezentované jmény jako byli dr. Špaček, plk. dr. Beneš, prof. dr. Kladivo, současníci prof. Ing. Pick, DrSc., a prof. Ing. Burša, DrSc., který je dnes pracovníkem SS GG v oblasti teoretických studií.

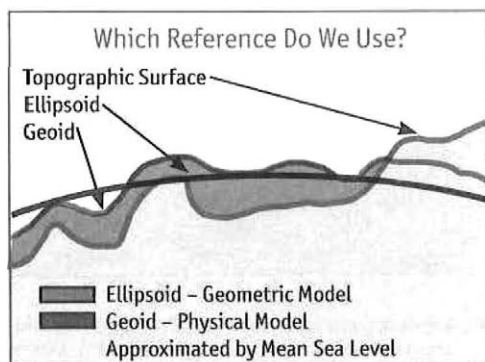
Navigační zabezpečení objektů, které se pohybují okolo zemském prostoru, na povrchu planety, není určováno pouze geometrií prostoru. Ovlivňují jej také fyzikální pole – především gravitační a magnetické, která vymezují geometrii míru její spolehlivosti. Definici a popis těchto polí poskytují jejich prostorové matematické modely. Pro pole gravitační to je **model potenciálu tíhového pole Země** (model geopotenciálu), pro magnetické pak **model pole geomagnetického**.

Vytvoření a zpřesňování matematického modelu geopotenciálu vyžaduje soustředění a prostorové zpracování ohromného množství lokalizovaných gravitačních údajů. Geopotenciál vnějšího tíhového pole je skalární veličinou a je charakterizován spojitými, zvlněnými, uzavřenými, tzv. hladinovými plochami na kterých má vždy konstantní hodnotu (rozměr geopotenciálu je m^2s^{-2} ; jeho hodnota s rostoucí vzdáleností od zemského tělesa klesá a v nekonečnu je nulová; směr gravitačního zrychlení – tížnic – je k těmto plochám vždy kolmý).

Hladinová plocha s hodnotou geopotenciálu W_0 , která prochází středními hladinami světových moří a oceánů, je označována jako *geoid*. Samozřejmě není totožná s průběhem terénního reliéfu, ale probíhá pod hmotami kontinentů a právě k ní jsou v prvním přiblížení vztaženy systémy „**nadmořských výšek**“ (*m. s. l.* - *mean sea level*) - v mapách jsou jejich údaje prezentovány kótami a vrstevnicemi. Tyto výškové informace jsou ve velké většině získány prostřednictvím tzv. nivelace geodetickou „integrací“ výškových rozdílů od některé z dlouhodobě určených kót rovných nule na pobřeží moře (maregrafů).

Naše souřadnicové systémy v nichž jsou řešeny navigační úlohy, jsou vztaženy ke geometrickému tělesu, které nahrazuje těleso Země – k **rotačnímu elipsoidu**. Tím je však dán rozpor mezi většinou existujících systémů kontinentálních nadmořských výšek (které jsou vztaženy k fyzikální ploše, ke geoidu) a výškami geodetickými, vztaženými ke geometrické ploše elipsoidu. Průběh zvlněné plochy geoidu se proto obdobně jako průběh terénu na mapách vyjadřuje vrstevnicemi, pro které je vztažnou plochou referenční elipsoid. Problém odečtu výškových údajů charakterizuje **obr. 3**.

Průběh zvlněné plochy geoidu se proto obdobně jako průběh terénu na mapách vyjadřuje vrstevnicemi, pro které je vztažnou plochou referenční elipsoid. Z výše uvedeného plyne, že geometrická a fyzikální plocha nejsou totožné; důsledkem je fakt, že výška udávaná dostatečně přesným přijímačem GPS se pro týž bod liší od výšky *m. s. l.*; globálně se tento rozdíl pohybuje v rozmezí od cca – 80 m do + 110 m (**obr. 4**). Na území ČR se tento rozdíl – výšky geoidu – pohybují v rozmezí cca 43 m až 48 m (**obr. 5**).



Obr. 3: Průběh topografického reliéfu vzhledem k průběhům elipsoidu a geoidu

Vzhledem k tomu, že dosud existují a jsou používány národní, regionální nebo kontinentální systémy nadmořských výšek (**obr. 6**), které se vzájemně liší o vzájemné posuny (v různých částech kontinentů byly budovány od 19. století izolovaně) je jedním z úkolů geografického zabezpečení:

- vzájemně spojit tyto systémy m. s. l.,
- vytvořit jednotný, globální systém nadmořských výšek m. s. l.,
- exaktně definovat v globálním měřítku rozdíly mezi výškami elipsoidickými (geodetickými, GPS) a výškami m. s. l.

Předpokladem realizace tohoto úkolu je definování a program postupného zpřesňování matematického, prostorového modelu geopotenciálu. Takový model umožňuje prostřednictvím výpočetních operací určovat pro praktické navigační aplikace – pro body v prostoru nebo na povrchu Země hodnoty těchto veličin pro zadaný bod nebo prostor:

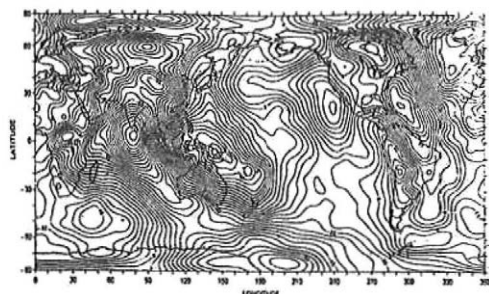
- údaje geopotenciálu,
- tíhové zrychlení (gravitaci),
- výšky geoidu vzhledem k elipsoidu daného geodetického systému,
- složek úhlu mezi tížnicí a normálou (kolmicí) k náhradnímu, systémovému elipsoidu.

Tyto veličiny nabývají v navigační praxi moderních ozbrojených sil (dnes v technologiích GPS, INS a jejich technologických kombinacích) stále větší význam.

Definice a zpřesňování modelu geopotenciálu

Definování tohoto modelu vyžaduje soustředění a zpracování velkého množství povrchových a družicových dat geofyzikálních (tíhových - gravitačních) a geodetických (polohy bodů, jejich výšky), vztažených ke společnému referenčnímu elipsoidu, a tedy ve společném geodetickém systému.

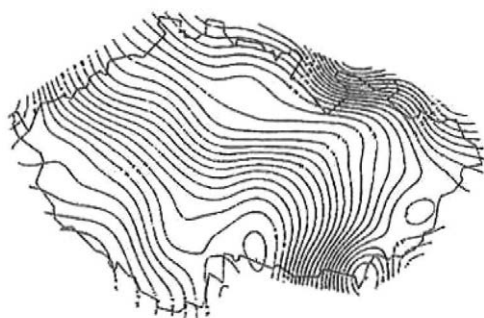
Bývalá Obranná mapovací agentura (DMA) vyvinula s využitím tehdy dostupných globálních dat v první polovině 90. let tzv. **Model gravitačního pole Země 1996** (*EGM 96 - Earth Gravity Model 1996*). Vedle rozšiřování a obohacování používaných teoretických přístupů



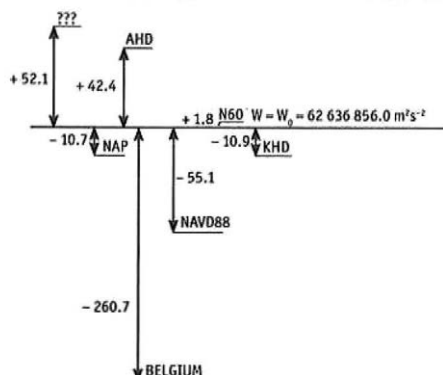
Obr. 4: Průběh globálního geoidu vzhledem k ploše elipsoidu standardního souřadnicového (geodetického) systému WGS 84; popisy vrstevnic zároveň udávají rozdíly mezi výškami GPS (elipsoidickými, geodetickými) a výškami nadmořskými, m. s. l.

prakticky nepřetržitě pokračuje soustředování výchozích dat. Jako příklad lze pro představu uvést přehled povrchových geodetických dat z pevninské Evropy (**obr. 6**). Zprostředkující měřená data z plošných oblastí moří a oceánů, nutných pro globální pokrytí, jsou získávána prostřednictvím družicových technologií, nasazených do víceletých observačních/snímacích programů.

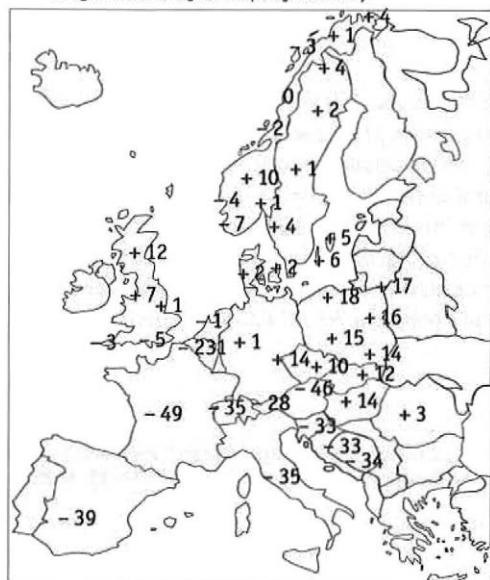
Velký praktický význam má znalost rozložení míry přesnosti modelu; ta především závisí na přesnosti vstupních dat, jejich hustotě a rovnoměrnosti jejich



Obr. 5: Průběh plochy geoidu na území České republiky



Obr. 6: Rozdíly v počátcích vodočtů – nul systémů nadmořských výšek v Evropě v centimetrech (KHD – Kronstadt Height Datum, t. j. „Balt po vyrovnání“)



rozmístění. Vzhledem k tomu, že Země je včetně obklopujícího prostředí dynamickou soustavou, je nutno uvažovat periodické i aperiodické pohyby vodních hmot, jejich salinitu, meteorologické vlivy okolo zemského prostoru aj. Definice těchto vlivů vyžadovala angažování dalších odborníků z civilní sféry, což se SS GG podařilo.

Předpokladem pro základní výpočty je určení W_0 hodnoty geopotenciálu pro kladnou hladinu světového oceánu, ca 73 % povrchu Země. Konstanta W_0 byla určena SS GG s použitím dat, získaných technologií družicové altimetrie systému TOPEX/POSEIDON, určených v průběhu let 1993-2000, a dat kontinentálních, povrchových:

$$W_0 = 62\,636\,856,0 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

Porovnáním této globální hodnoty W_0 s údaji W_i na bodech počátků odečtů používaných systémů m. s. l. lze odvodit rozdíly ΔW_i , které převedeny na metrickou míru zprostředkují globální sjednocení systémů nadmořských výšek. Konstanta W_0 určená ve Vojenském topografickém ústavu v Dobrušce byla také uznána a doporučena Mezinárodní geodetickou a geofyzikální unií (IUGG - International Union of Geodesy and Geophysics) k všeobecnému používání. Jako příklad lze uvést rozdíl mezi W_0 a W_i pro nulový vztahový bod pro výškový systém na molu v Kronštadu poblíž Petrohradu, který je dosud u nás počátkem pro nadmořské výšky - systém Balt po vyrovnání:

$$\Delta W_{\text{Kronstadt}} = -(1,0 \pm 0,5) \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

převáděno na rozdíl výšek pak tento rozdíl činí

$$-(10,2 \pm 5,1) \text{ cm.}$$

Ovšem, např. pro národní systém nadmořských výšek v Belgii je tento rozdíl již

$$-(256,8 \pm 5,1) \text{ cm.}$$

SS GG dále předložila spolupracující Národní agentuře pro snímkování a mapování (NIMA) k diskuzi projekt testování přesnosti vyvíjených modelů geopotenciálu, který byl přijat. Skupina pak zpracovala příslušné databáze a výpočetní programy a ve spolupráci nebo samostatně získávala další data. Technologie testování byla použita na modelu gravitačního pole



Obr. 7: Geodetická data, soustředěná SS GG pro kontinentální Evropu

Země EGM 96 a výsledky testování byly prezentovány na konferenci Geografického výboru služeb NATO v Bruselu (červen 2003). Geografická služba AČR se tak stala nejbližším spolupracovníkem NIMA v této oblasti (obr. 7).

Kromě modelování a testování modelu EGM lze v navigačním zabezpečení technologicky realizovat tyto perspektivní aplikace:

1. S využitím palubní aparatury GPS a s doplněním informací z digitálního modelu /terénního/ reliéfu (DMR) lze určovat nadmořskou výšku letu m. s. l. s přesností $\pm 0,5$ m, která závisí pouze na přesnosti aparatury GPS a přesnosti použitého digitálního modelu terénního reliéfu.

2. Podle možných požadavků navigační praxe lze výše uvedené nabídky rozšířit

např. i o monitorování azimutu letu a úhlu stoupání (či klesání) vzdušného prostředku s úhlovou přesností od $0,03^\circ$ (cca $2''$) do $0,70^\circ$ (cca $42''$).

Závěr

Dnešní Geografická a hydrometeorologická služba AČR tematicky navazuje na tradici, výsledky a přínosy české geodézie a geofyziky a dnes již také na plodnou spolupráci se službami NATO, která byla zahájena již v roce 1991. Předpokladem pokračování této tradice je však zájem o studium této rychle se rozvíjející problematiky a podpora jejího rozvoje. Na druhé straně však také péče o úroveň a aktuálnost informovanosti uživatelů v AČR, která bude přinášet stimulační impulzy při vývoji a implementaci nových navigačních technologií.

Probíhající technologický vývoj spolu s požadavky armádních uživatelů vyžadují trvalou připravenost, informační a datový předstih pro pohotové řešení aktuálních úloh moderního geografického zabezpečení ozbrojených sil.

Literatura:

BURŠA, M. a kol. „World Height System Specified by Geopotential at Tide Gauge Station.“ Předneseno na *International Association of Geodesy (IAG) on Vertical Reference Systems*, konané ve dnech 20.-23. 2. 2001, Cartagena, Columbia.

Geopotential Model Evaluation and Monitoring Network. Memorandum No 1; Status at January 30, 2003.

The Way Forward to Come to an Improved Global Vertical Reference Frame. Memorandum No 2.

Podklady pro jednání *Geodesy and Geophysics Working Group*, Brusel, červen 2003.