

## Souřadnicové systémy – jak je to s nimi v současnosti?

Prof. Ing. Jan KOSTELECKÝ, DrSc.

Otázka souřadnicových systémů úzce souvisí s problémem lokalizace, tj. určování polohy objektu na Zemi s různou mírou přesnosti. Již na základní škole jsme byli seznámeni se souřadnicemi, které se používají na mapách – zeměpisnou šířkou, zeměpisnou délkou a nadmořskou výškou. Vzhledem k tomu, že se Země v globálním pohledu podobá kouli, či přesněji rotačnímu elipsoidu, je zavedení výše zmíněných sférických nebo elipsoidických souřadnic přirozené. Již odedávna bylo snahou geografů určovat tyto souřadnice s co možná nejvyšší přesností, aby bylo možno vytvářet čím dál přesnější mapy. Pro určování zeměpisných souřadnic se používalo metod geodetické astronomie, pro určování výšek pak různých metod nivelace. Pro určení zeměpisné šířky místa stačí pak určit výšku světového pólu nad obzorem (k tomu lze s výhodou použít Polárku), pro určení zeměpisné délky je však nutno měřit čas a to bylo až do začátku 20. století problémem, souvisejícím hlavně s distribucí časových signálů na místa, kde se měření provádělo.

### 1. Pohled geodetů a trocha historie

Ctí geodézie je provádět měření s co nejvyšší přesností, v současné době až centimetrovou. Geodeti se proto se zeměpisnými souřadnicemi jen tak nespokojují – rozlišují tzv. astronomické zeměpisné souřadnice, které jsou vztaženy k místní tížnici (svislému směru, realizovanému např. olovnicí, který je kolmý na

hladinovou plochu, procházející stanoviskem) a geodetické zeměpisné souřadnice, které jsou vztaženy ke stejnému místu, promítnutému na rotační elipsoid. Rozdíly mezi oběma typy souřadnic jsou až desítky vteřin (jedna vteřina v poledníku činí na povrchu Země 30 metrů!), při záměně souřadnic (používat astronomické souřadnice místo geodetických) se tak k centimetrové přesnosti nikdy nedostaneme. Kromě toho pro praktické měření jsou zeměpisné souřadnice nepohodlné, daleko lepší je používat souřadnice rovinné, tak jak je známe ze školy z geometrie. Problémem je, že zobrazení zemského povrchu do roviny není tak jednoduché – koule ani elipsoid nejsou „rozvinutelné do roviny“ a tak je třeba používat kartografických zobrazení (ostatně stejně jako každý atlas), pak vždy něco tratíme – zobrazení jsou buď úhlojevná (konformní, zachovávají tvary, ale zkreslují délky a plochy), plochojevná (zkreslují tvary a délky) nebo délkojevná (zkreslují tvary a plochy). Souřadnicový systém, používaný geodety, je fyzicky realizován souřadnicemi bodů, které jsou v terénu stabilizovány geodetickými body – většinou známými opracovanými kameny zapaštěnými do země s vyrytým křížkem uprostřed, zajištěnými ještě zpravidla dvěma podzemními značkami. Souhrn všech takovýchto bodů tvoří **souřadnicový systém**. Souřadnice těchto bodů byly v minulosti určeny metodou tzv. triangulace – provádělo se úhlové měření, kdy vždy tři nejbližší sousední body vytvářely trojúhelník, ve kterém se z důvodů kontroly měřily všechny tři úhly. Měřením úhlů však určíme pouze tvar sítě, rozměr musíme získat měřením alespoň jedné délky a to bývalo před vynálezem elektronických dálkoměrů velkým problémem – používalo se **délkových základen**, kdy bylo třeba pomocí přesného (invarového) pásma změřit s cm přesností vzdálenost více než 10 km. Z výše řečeného je tedy jasné, že vybrané nejvýhodnější kartografické zobrazení bude **konformní** (úhlojevné). Když se nebudeme věnovat historickým rovinným souřadnicovým systémům, budovaným na území dnešní České republiky za Rakousko-Uherska (ale v těchto systémech je stále ještě převážná většina katastrálních map) je možno říci, že závazným souřadnicovým systémem pro geodetické práce v civilní (nevojenské) sféře v ČR je **Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)** s použitím **Křovákovy zobrazení**. Jde o konformní kuželové zobrazení povrchu elipsoidu do roviny, každý bod má tedy matematicky definovaný vztah mezi geodetickými zeměpisnými souřadnicemi na elipsoidu a rovinnými souřadnicemi na mapě. Zobrazení zavedl ve 20. letech minulého století přednosta triangulační kanceláře ministerstva financí Ing. Josef Křovák (po něm dostalo jméno) a bylo navrženo tak, aby zobrazovalo území tehdejšího Československa (České země, Slovensko, Podkarpatská Rus) do roviny s co nejmenším délkovým zkreslením.

Na tomto místě je dobré si uvědomit, že pozemní úhlová měření nebyla schopna překonávat vzdálenosti větší než 60 km, výjimečně šlo o vzdálenosti kolem 100 km. Z toho je také vidět, že vybudování celosvětové sítě nepřicházelo v úvahu. To bylo možné až s nástupem kosmické geodézie v 60. letech 20. století,

kdy bylo možno využívat relativně vysoko letících umělých družic Země pro tvorbu celosvětového systému.

## 2. Současné souřadnicové systémy globálního rozsahu

S vypuštěním prvních umělých družic se přihlásila k jejich aplikaci také geodézie. Naskytla se totiž možnost vytvářet první **celosvětové (globální) souřadnicové systémy**. S jejich přesností to také nebylo z počátku jednoduché od přesnosti cca 30 metrové (souřadnice bodů mají přesnost vůči středu Země 30 m v poloze) se v současnosti dostáváme na přesnost jednotek centimetrů. Zvýšení přesnosti bylo způsobeno zvýšením přesnosti původních, a vývojem nových, pozorovacích metod kosmické geodézie. V této chvíli je také vhodné zmínit se o **souřadnicovém systému, který není vázán na Zemi**, ale je tvořen souřadnicemi objektů na nebeské sféře (souřadnicemi hvězd a dalších mimogalaktických objektů, zpravidla jde o rektascenze a deklinace, vytvářejících **katalog hvězd**). Tento souřadnicový systém, který historicky vznikl metodami **astrometrie**, byl a je důležitou součástí fundamentální astronomie a nutnou podmínkou pro existenci výše zmíněné geodetické astronomie. Jeho poslední astrometrickou realizací jsou výsledky astrometrické družicové mise **Hipparcos**, která byla realizována v 90. letech 20. století. V současné době je úzce svázán se systémem ICRS, o kterém viz dále.

V současné době tedy rozeznáváme dva hlavní typy souřadnicových systémů. **Mezinárodní nebeský referenční systém (ICRS – International Celestial Reference System)**, který je realizován rovníkovými souřadnicemi (rektascenze a deklinace v epoše J2000) vybraných kvazarů a dalších mimogalaktických objektů. Přesnost souřadnic je  $0.0002''$ . Tento systém je vázán na nebeskou sféru a je ideální realizací inerciálního systému. V současnosti existují dvě realizace toho to systému ICRS a ICRS2. Liší se od sebe větším počtem pozorování a větším počtem zaměřených objektů.

Dalším systémem je **Mezinárodní terestrický souřadnicový systém (ITRS – International Terrestrial Reference System)**. Počátek kartézského systému souřadnic je v blízkosti těžiště Země, osy X a Z vytváří realizaci Greenwichského poledníku, osy X a Y leží na rovníku. Systém je realizován geocentrickými souřadnicemi „geodetických značek“ a jejich časovými změnami. (Zde se tedy primárně používá kartézských souřadnic, ale je možné přepočítat tyto souřadnice na geodetické souřadnice na zvoleném celosvětovém elipsoidu). Přesnost takto zaměřených souřadnic je vůči geocentru 2 až 3 cm v každé souřadnici. Během času dochází ke zpřesňování pozorovacích metod a nárůstu pozorování, dochází tedy k různým realizacím ITRS, prvním je ITRS88 z roku 1988, v současnosti poslední realizací je ITRS2008 z r. 2010.

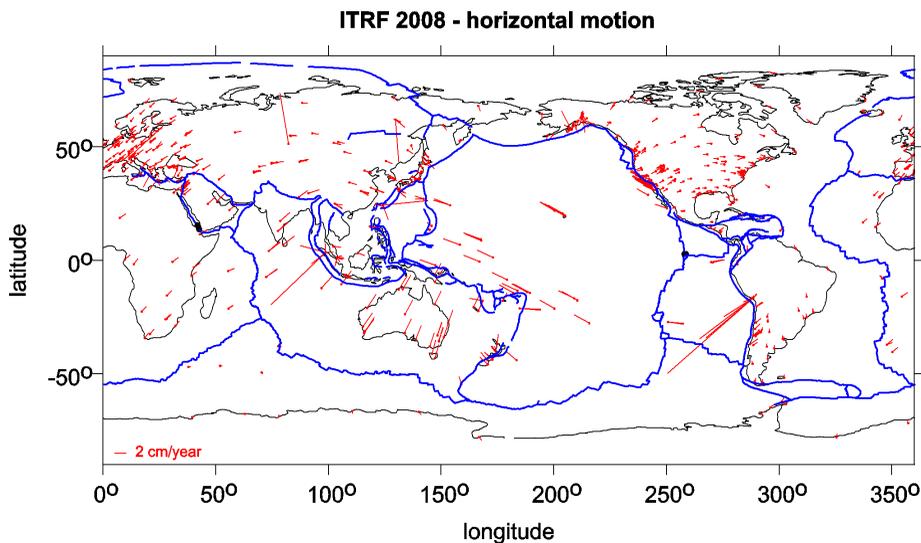
Nebeský a terestrický systém jsou mezi sebou vázány tzv. **parametry orientace Země (EOP – Earth Orientation Parameters)**. Polohy os souřadnicových systémů se totiž od sebe liší v důsledku precese, nutace, rotace Země – otočení „kolem dokola“ během jednoho dne, její variace (změna délky

dne) a okamžité polohy pólu. (Okamžitá rotační osa Země, pro kterou umíme vypočítat precesi a nutaci, vykonává zhruba kruhový pohyb velikosti cca 0.2“ kolem své střední polohy, střední poloha rotační osy je identická s osou Z terestrického souřadnicového systému; variace v rotaci a poloha pólu závisí na mnoha geofyzikálních a meteorologických parametrech a tyto veličiny musí být průběžně určovány měřeními).

Kosmická geodézie používá pro realizaci výše zmíněných souřadnicových systémů různé pozorovací metody. Dále se zmíníme pouze o čtyřech základních. V první řadě jde o metodu **Interferometrie na dlouhé vzdálenosti** (zkratka VLBI z angl. Very Long Baseline Interferometry). Jde o záznam radiového, velmi slabého pseudonáhodného záření kvazarů (a dalších mimogalaktických objektů) spolu se záznamem časových značek na medium na dvou pozorovacích stanicích. Z těchto záznamů je možno vypočítat pomocí tzv. korelátoru časové zpoždění příchodu stejného „místa“ pseudonáhodného signálu mezi dvěma stanicemi (a dalších veličin) a z nich pak určit délku a směr základny mezi oběma stanicemi (v ITRS), souřadnice pozorovaného zdroje (v ICRS) a parametry EOP (protože pozorujeme ze stanic v ITRS objekty, vázané na ICRS). Dále jde o metodu **laserového měření vzdálenosti mezi pozorovací stanicí a družicí** (zkratka SLR ze Satellite Laser Ranging). Princip metody spočívá v měření transitního času, za který proběhne úzce směřovaný laserový paprsek od stanice ke družici a po odrazu zpět. Zpracováním naměřených dat v celosvětové síti získáme souřadnice stanic (v ITRS), souřadnice družic (v ICRS) a některé veličiny z EOP. Třetí metodou je metoda **Dopplerovská**, která využívá Dopplerova efektu – změny frekvence se změnou vzdálenosti mezi stanicí a družicí. Zpracováním dat získáme souřadnice stanic (v ITRS), souřadnice družic (v ICRS) a parametry EOP. Dopplerovská pozorování jsou zpracovávána v rámci systému DORIS. V tomto systému jsou stanice (které vysílají radiové signály) rovnoměrně rozmístěné po světě. Přijímače jsou na družicích, kde jsou také shromažďována měřená data. Konečně poslední metodou je široce známá **technologie GNSS (Global Navigation Satellite System)**. V tomto případě však jde o zpracování pozorování z tzv. permanentních stanic, kde se přijímači pozoruje nepřetržitě a data se internetem přenášejí do datových a analytických center, kde se počítají souřadnice stanic (v ITRS), souřadnice družic (v ICRS) a EOP.

Pozorování výše zmíněnými technikami koordinuje příslušné analytické centrum pro jednotlivou techniku, práci všech center pak koordinuje **Mezinárodní služba rotace Země a souřadnicových systémů (IERS – Int. Earth Rotation and Coordinate Systems Service)**. Tato služba také publikuje výsledky, které vznikají na základě kombinací pozorování ze všech technik. Posledním současným výsledkem – co se týče terestrických souřadnic – je realizace souřadnicového systému **ITRS2008**. Každý souřadnicový systém obsahuje dvě složky a) soubor konstant a algoritmů, které se používaly při jeho tvorbě (např. hodnota rychlosti světla, precesních a nutačních veličin atd.) a b) referenční rámec ITRF2008 (Int. Terrestrial Reference Frame), který tvoří množina fyzicky existujících bodů (na

kterých se pozoruje některou z výše zmíněných technik) se souřadnicemi a jejich časovými změnami. Časové změny souřadnic, které dosahují až několik cm za rok (v tektonicky aktivních oblastech mohou dosahovat až několik dm/rok!), jsou způsobeny globálním pohybem tektonických ker – viz Obrázek 1. Pro naše území má význam pohyb Euro-asijské kontinentální desky, body na území ČR se pohybují o 2.7 cm/rok severovýchodním směrem. Tato skutečnost znepřijemňuje život geodetům – kdyby chtěli používat pro svá měření rámec ITRF, znamenalo by to měnit každý rok souřadnice. Odstranění této potíže je však poměrně jednoduché – zavést souřadnicový systém, který bude „unášen“ s Euro-asijskou tektonickou deskou. To se také stalo a tak byl již v roce 1989 definován systém **ETRS89 (European Terrestrial Reference System)**, který vznikl zakonzervováním pohybu Evropských stanic v epoše 1989.0, tak, aby byl nulový. (Zde je nutno poznamenat, že na jednotlivých tektonických deskách dochází k pohybu jednotlivých bodů vůči této desce, ale v tomto případě jde zpravidla o veličiny o jeden řád menší.). K tomuto systému je také přiřazen referenční rámec ETRF, který má úzkou vazbu na ITRF, pro každou realizaci ITRF existuje příslušný ETRF. V současné době Mezinárodní geodetická asociace doporučuje používat referenční rámec ETRF2000, který je vázán na ITRF2000.



Obrázek 1 – Rozdělení povrchu Země na jednotlivé tektonické bloky, doplněné souřadnicemi stanic ITRF2008 s naznačením horizontálního pohybu

*Dokončení příště*

## Záblesky na Měsíci po 12 letech

# Je všechno jinak?

**Měsíc je po Zemi pravděpodobně nejlépe prozkoumaným vesmírným tělesem vůbec. Po jeho povrchu se procházelo dvanáct astronautů. Kolem našeho přirozeného satelitu kroužil nespočet sond, které nám poskytly nepřehledné množství informací. Přesto se i dnes setkáváme s úkazy, které vzbuzují pochybnosti o svém původu.**

Jedním z takových jevů jsou záblesky na jeho povrchu, o nichž se v zákrytovém zpravodaji v průběhu posledních dvanácti let hned několikrát psalo. Poprvé to bylo v souvislosti s jejich prvním nezávislým potvrzením, kdy se po vizuálním pozorování provedeném B. Cudnikem podařilo dohledat videozáznam se zábleskem i na nahrávce pořízené v rámci sledování zákrytu hvězdy Měsícem D. Dunhamem. Od té doby (maximum aktivity meteorického roje Leonid v roce 1999) se podařilo podobných záblesků zachytit již řadu a astronomové jim začali věnovat větší pozornost.

V poslední době se této problematice věnoval např. Prof. Dr. Hakan Kayal z Julius-Maximilians Universität Würzburg (Německo). Ve své práci upozornil na řadu možností, jak tyto jevy vysvětlit jinými způsoby než impaktem. Zmiňuje se o turbulencích v zemské atmosféře, poruchách měřicích přístrojů, přelety letadel či satelitů. Nevylučuje ani možnost, že některé části měsíčního povrchu odrážejí sluneční světlo jako zrcadlo. Na první pohled se však zdá, že většinu pozorovaných záblesků těmito důvody vysvětlit nejde.

Již od konce roku 2005 je zábleskům věnována zvýšená pozornost v rámci speciálně na tyto jevy připraveného programu. Nyní je již po dobu dvou let Měsíc současně pečlivě sledován dvěma nezávislými dalekohledy prakticky nepřetržitě. První teleskop je umístěn v Cerro Tololo v Chile a druhý v USA je spravován Columbia University sídlící v New Yorku. Vzájemná vzdálenost teleskopů je kolem 8 tisíc km a pracují na prakticky shodném poledníku (takže mají Měsíc nad obzorem v témže čase).

Kamery v ohnisku obou dalekohledů pořizují každých 20 sekund jeden snímek s rozlišením 1 pixl na kilometr. Do současné doby bylo tímto způsobem pořízeno již značně velké množství dvojic snímků, které jsou následně podrobeny studiu. V průběhu posledních dvou let na nich vědci objevili nejméně 1500 „záblesků“! Ve všech těchto případech se jedná o pozorování z obou míst, což zcela vylučuje jakýkoli „pozemský“ důvod jejich vzniku.

Vedle teorie vysvětlující pozorované záblesky dopady meteoroidů na lunární povrch, tak mezitím vznikla také teorie vysvětlující sledované jevy jinak. Vychází z předpokladu, že se může jednat o oblaka prachu produkovaného nenadálými výrony plynů z oblasti pod povrchem Měsíce. V měsíčním tělese se rozpadají atomy některých prvků jako je protaktinium, uran, argon či radon a ty pak mohou

pronikat až k povrchu. Povrch Měsíce je, jak víme, pokryt několikacentimetrovou až několikametrovou vrstvou jemného prachu. Přičemž spodní hrubší část prachové vrstvy je promíchána s měsíčním regolitem. Právě tato vrstva by mohla mít schopnost plynu z nitra tělesa na nějaký čas zadržet a vytvářet jakési tlakové kapsy. Po jejich přetlakování a skokovém uvolnění by následně mohlo docházet k „výbuchům“ vynášejícím plyn a prach nad povrch a to v takovém rozsahu, že by byl tento materiál schopen překrýt až několik čtverečních kilometrů povrchu. Takové úkazy by pak byly nejlépe pozorovatelné v oblastech, kde sluneční paprsky dopadají na povrch Měsíce co nejméně, tedy v oblasti terminátoru.

Některé zaznamenané „záblesky“ měly trvání až 10 minut. A právě tato jejich délka přidává zmíněnému vysvětlení na věrohodnosti. Stále více se v této souvislosti mluví především o radonu, který je velmi těžký a proto by zachycenému průběhu některých úkazů mohla tato teorie vyhovovat. Navíc byla v posledních letech právě přítomnost radonu na povrchu Měsíce několika sondami potvrzena a ve všech těchto případech nalezy citlivé přístroje radon právě v oblastech, kde se objevily záblesky.

Na druhou stranu je velice sporné podobné vysvětlení pro úkazy pozorované hluboko v neosvětlené části Měsíce, kam se sluneční paprsky v žádném případě nemohou dostat, aby prach a plyn z popisovaných výronů osvětlily.

Bude tedy nutno s konečným verdiktem ještě počkat. V každém případě se ovšem můžeme dočkat řady překvapení.

## ***Zákrytářská obloha – únor 2011:***

# **Nejkratší měsíc**

**Nejkratší měsíc se vůbec netváří, že by měl spadat do zimního období roku. Ne, že by nebyl očekáván sníh či mrazivé počasí. V tom problém není, ale počty všech typů zákrytů spíše skutečně odpovídají přelomu jara a léta s nejkratšími nocemi, kdy se počty úkazu pravidelně snižují na minimum.**

Totálních zákrytů je skutečně neočekávaně málo. To, že tabulka obsahuje pouze šest úkazů, nelze přičítat pouze krátkému měsíci, ale především na jasné hvězdy chudým oblastem, jimiž náš nebeský soused prochází. Čtyři vstupy v první polovině měsíce a pouhé dva výstupy v polovině druhé. Takový počet by se hodil spíše na krátké časné letní noci a ne na vrcholící zimní období. Jediným kladem je snad skutečnost, že především při obou výstupech se budou za tmavou část Měsíce objevovat skutečně hodně jasné hvězdy.

Veškeré potřebné informace k totálním zákrytům v průběhu února 2011 naleznete v následující tabulce:

## Předpovědi totálních zákrytů pro CZ

zem.délka +15 00 00 zem.šířka +50 00 00 výška 0 m.n.m.

### 2011 únor

den	čas	P	hvězda	mag	% elon	Sun	Moon	CA	PA	VA	A	B
	h m s		číslo		ill	h	h Az	o	o	o	m/o	m/o
7	18 17 18	D	51	6.8	18+	50	25 252	42S	110	134	+0.9	-2.8
12	19 15 40	D	693	6.0	65+	107	60 213	67S	106	115	+1.5	-1.2
14	22 6 42	D	1021	6.1	84+	133	53 233	66N	68	66	+1.6	-0.2
16	1 50 55	D	1175	4.9	92+	148	26 269	46N	51	42	+1.0	-0.5
20	0 12 46	R	1670	4.8	96-	156	37 174	88S	304	281	+1.2	-0.6
26	3 10 2	R	2500	3.3	37-	75	6 142	34S	217	212	+1.9	+2.5

V únoru nás nečeká také ani jeden tečný zákryt, což plně koresponduje s tvrzením v předchozím odstavci věnovaném totálním zákrytům, že Měsíc se shodou okolností pohybuje v oblastech oblohy velice chudých na jasnější hvězdy.

Ne příliš početná je pro měsíc únor i nabídka zákrytů hvězd planetkami. Pouhé tři zákryty nepředstavují žádnou velkou nadílku. Ale ne vždy záleží na kvantitě. Bohužel ani toho není letošní únor důkazem. Ve všech třech případech bude zakrývána nepříliš jasná hvězda, trvání zákrytu je dostatečné jen u velké planety Dione, ale tuto výhodu výrazně převyšuje problém s malým poklesem jasu o pouhou polovinu magnitudy.

V únoru nastane ještě jeden velice zajímavý zákryt hvězdy planetkou – v pátek 18. února večer asteroid (16) Psyche s průměrem 253 schová hvězdu o jasnosti 12,6 mag. Stín tohoto úkazu s téměř stoprocentní jistotou projde územím střední Evropy, ale vedle již uvedené malé jasnosti zakrývané hvězdy bude největším problémem zcela zanedbatelný pokles jasu dvojice v čase úkazu, který je pouhých 0,2 mag. S ohledem na výšku nad západním obzorem kolem 21° to může být problém i pro objektivní záznam např. TV kamerou. To je také důvod proč se tento zákryt ani neobjevil v připojené tabulce.

Jako pokaždé doporučuji i tento měsíc sledovat pravidelně [www stránky](http://www.mps.ac.uk) věnované upřesněním zákrytů hvězd planetkami.

Jan Mánek (<http://mpocc.astro.cz/>) JM,

Steve Preston (<http://asteroidoccultation.com/>) SP,

EAON (<http://astrosurf.com/eaon/>) zpracovávaná Jeanem Schwaenenem JS

Eric Frappa (<http://www.euraster.net/pred/index.html>) EF

Údaje o únorových zákrytech hvězd planetkami:

dat	UT	Hvězda	jas.	A	δ	planetka	Ø	trv.	pok.
2/11	h m	TYC	Mag	h m	°		km	s	mag
11	01:19	1335-01194-1	11,3	06 54	+17 08	Bowell	44	4,9	5,1
		J až SZ Čechy	h = 26°		A = 266°				SP
15	23:44	2UCAC 41524686	12,9	06 53	+27 51	Dione	147	35,0	0,5
		JZ Čechy	h = 46°		A = 259°				SP
22	02:09	0812-00263-1	11,8	09 11	+09 22	Barcelona	26	1,6	1,4
		S M až Z Č	h = 26°		A = 252°				SP

## Zákrytový zpravodaj – únor (2) 2011

Rokycany, 31. ledna 2011