

## Měření polohy Saturna sextantem

Někdy je užitečné podniknout menší výlet do doby, kdy ještě nebyly k dispozici dnešní sofistikované přístroje. Člověk si při použití sextantu uvědomí, jak nelhké bylo určování polohy lodi uprostřed oceánu, kdy pevnina byla v nedohlednu a život celé posádky lodi závisel na tomto jednoduchém nástroji.

Jak tedy určit polohu nějaké planety pomocí sextantu? Předpokládejme, že známe rovníkové souřadnice několika hvězd, které se nachází v okolí planety. Sextantem změříme vzdálenosti planety od těchto hvězd a dále máme dvě možnosti, jak naše pozorování zpracovat a vypočítat hledanou polohu. Ještě předtím je ale nutné sextant zkalibrovat – obvykle je totiž jeho nulová poloha posunutá i o několik stupňů. Změříme vzdálenosti hvězd, jejichž polohy známe, a proto dokážeme vypočítat jejich skutečné vzdálenosti. Tyto dva údaje porovnáme a zjistíme posun nulové polohy sextantu.

Nyní tedy ke zpracování měření. První metoda je grafická a v praxi jsme si ji vyzkoušeli už při minulém zpracování této úlohy. Její nevýhodou je nepřesnost způsobená projekcí souřadnic na plochu papíru, která zkresluje vzdálenosti. Mimoto pro zvýšení přesnosti by bylo nutné vytisknout větší mapu, abychom omezili vliv tloušťky čáry kružítka.

Druhá metoda je početní a spočívá v nalezení průsečíků kružnic na sféře. Výpočet není úplně triviální a je také poměrně zdlouhavý, a proto ho zde neuvádím (k nalezení je samozřejmě ve skriptech). Z výpočtu dostaneme polohu průsečíku pro různé dvojice hvězd a z těchto potom vypočteme aritmetický průměr.

Zajímavý nápad, se kterým přišel Pavel Karas, je použití spíše váženého průměru, kdy váhy volíme jak sinus úhlu, který svírají oblouky spojující Saturn s příslušnými dvěma hvězdami. Ačkoliv korektní geometrické vysvětlení nemám, více odchýlené hodnoty průsečíků skutečně dostáváme, když oblouky svírají úhly blízké  $0^\circ$  nebo  $180^\circ$ .

Z jednoduchých nákresů vyplývá to, že pro takové úhly leží předpokládaná dvě řešení (průsečíky oblouků) blízko sebe a je možné, že vychýlené polohy jsou tedy ve skutečnosti druhým řešením (o které nestojíme). Podobný výsledek jako u váženého průměru můžeme také dostat pomocí robustnějšího průměru hodnot (mediánu). Chybu výsledku vypočteme jako vážený standardní odchylku.

### Výsledky

Polohu Saturna jsme pomocí sextantu určovali 4. 4. 2007. Nejdříve bylo nutné zkalibrovat nulovou polohu sextantu. Naměřené a skutečné vzdálenosti kalibračních hvězd jsou v tabulce (1). Průměrná hodnota posunu nulové polohy vyšla  $d = (3,81 \pm 0,13)^\circ$ . Chyba je asi dvakrát větší než při měření před

dvěma lety, jde tedy o poměrně málo přesné měření. Na vině by mohlo být například zhoršení autorova zraku.

dvojice hvězd	změřená vzdálenost [°]	skutečná vzdálenost [°]
Castor – Pollux	8,55	4,50
Mizar – Alioth	8,45	4,36
Betelgeuse – Bellatrix	11,00	7,53
Benetnash – Mizar	10,60	6,68
Pollux – $\beta$ Aur	30,50	26,96

TABULKA 1 Dvojice kalibračních hvězd, změřené a skutečné vzdálenosti.

Tabulka (2) obsahuje hvězdy použité k určení polohy Saturna, jejich rovníkové souřadnice, dále změřené vzdálenosti od Saturna a vzdálenosti opravené o posun nulové polohy sextantu. Původně bylo hvězd pět, ale vzdálenost páté byla z neznámých důvodů zatížena velkou chybou, a tak byla ze zpracování vyřazena.

jméno hvězdy	$\alpha$	$\delta$	změřená vzdálenost [°]	opravená vzdálenost [°]
Regulus	10h 08min	11° 58'	15,45	11,64
Algieba	10h 20min	19° 51'	17,40	13,59
Pollux	7h 45min	28° 02'	28,90	25,09
Castor	7h 35min	31° 53'	33,00	29,19

TABULKA 2 Hvězdy použité při měření polohy Saturna, jejich rovníkové souřadnice, změřené a opravené vzdálenosti.

dvojice hvězd	$\alpha_S$	$\delta_S$
Regulus – Algieba	9h 24min	16° 46'
Pollux – Castor	9h 11min	12° 44'
Regulus – Pollux	9h 18min	14° 29'
Regulus – Castor	9h 23min	16° 18'
Algieba – Castor	9h 24min	16° 37'
Algieba – Pollux	9h 24min	17° 13'

TABULKA 3 Polohy průsečíků oblouků se středy v uvedených hvězdách. Rozptyl hodnot je poměrně velký.

	$\alpha_S$	chyba $\alpha_S$	$\delta_S$	chyba $\delta_S$
vypočtené	9h 23min	3 min	16° 35'	50'
HORIZONS	9h 24min		16° 37'	

TABULKA 4 Výsledné souřadnice Saturna v porovnání se souřadnicemi získanými z webu systému JPL HORIZONS.

Když nyní z těchto hodnot a rovníkových souřadnic hvězd spočteme průsečíky různých dvojic kružnic (je jich šest a jsou uvedeny v tabulce (3)) a spočítáme jejich vážený průměr, dostaneme výslednou hodnotu polohy Saturna, která je uvedena v tabulce (4) a je také srovnána s polohou vypočtenou systémem JPL HORIZONS. Obě hodnoty jsou zatíženy velkou chybou

Použití váženého průměru přiblížilo vypočtené hodnoty polohy Saturna těm, které jsou uváděny v elektronických ročenkách a počítačových planetáriích. Chyba výsledku je dost výrazná, je způsobena hlavně velkým rozptylem souřadnic průsečíků. To může být důsledkem menší přesnosti měření, ale z úvah uvedených v části zabývající se váhováním vypočtených hodnot vyplývá, že jde spíše o nevhodné vzájemné polohy hvězd použitých při měření.