

Gravitační data poodhalují skryté struktury pod ledem i písečnými dunami...

Jaroslav Klokočník¹, Jana Žďárská²

¹ Astronomický ústav AV ČR, v. v. i., 251 65 Ondřejov, jklokoecn@asu.cas.cz

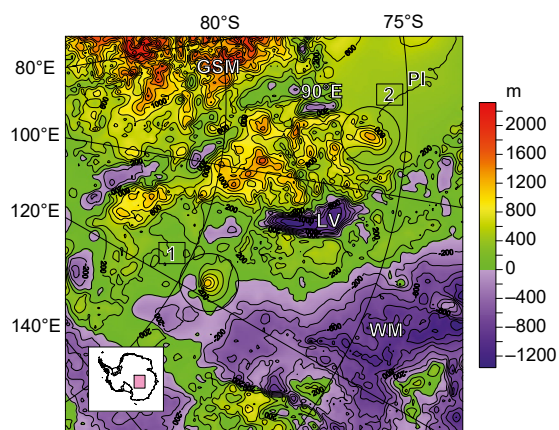
² Kosmologická sekce České astronomické společnosti (ČAS), K Panskému poli 274, 251 01 Světlice

„Na vrcholu Pecný zvrčí, malebná hvězdárna stojí, k návštěvě nás zve...“

Jisté není těžké uhodnout, kterou z hvězdáren mám na mysli. Ano, je to právě ona, proslulá ondřejovská observatoř půvabně zasazená v malebné ladovské krajině. Ta, jež se roku 1972 stala pracovním domovem profesoru Jaroslavu Klokočníkovi, vědeckému pracovníku Astronomického ústavu AV ČR, v. v. i. Prof. Klokočník se zabývá dráhovou dynamikou umělých družic Země, studiem gravitačního pole Země a jeho dlouhodobým koníčkem je archeoastronomie. Nedávno se spoluautory vydal v prestižním nakladatelství Springer Verlag svoji další knihu „Gravitační atlas Antarktidy“. O počátku svého působení v Ondřejově říká: „*Tehdy jsem vyhrál konkurz do Ondřejova, a tím byla završena moje touha zabývat se astronomií.*“

■ **Jana Žďárská:** Vážený pane profesore, děkuji vám za ochotu podělit se s námi o výsledky vaší vědecké práce. Mohl byste nám nejprve přiblížit obor, ve kterém pracujete?

Jaroslav Klokočník: Jak jste již zmínila výše, zabývám se dráhovou dynamikou umělých družic Země



Obr. 1 Topografie skalního podloží (nadmořské výšky v metrech) pod ledem Antarktidy v oblasti jezera Vostok (LV), Gamburtsevova subglaciálního pohorí (GSM) a Wilkesovy země (WM) s lokací dvou kandidátek na subglaciální sopky (1), (2).

(UDZ), která studuje jejich pohyb v poli rušivých gravitačních a negravitačních sil a tím přispívá k určení parametrů gravitačního pole Země, parametrů hustoty atmosféry a dalších. Tyto výsledky mají rozmanité geovědní aplikace, od zpřesněného určování drah UZD samotných přes mapování, přesný celosvětový výškový systém a automatické navádění letadel při přistání, GPS, aplikace v geofyzice, geologii, oceánologii, geomorfologii, glaciologii a dalších oborech až po ověřování teorie relativity. Díky gravitačním údajům můžeme nahlédnout pod led, pod hladinu moří i pod zem a spatřit tam struktury lidskému zraku skryté tu pod ledem, tam pod písečnými dunami.

■ **JŽ:** Pracujete v Astronomickém ústavu AV ČR v Ondřejově, v areálu hvězdárny. Takové místo v mnohých z nás evokuje první sputnik, prvního člověka ve vesmíru, první otisk podrážky na Měsíci. Bylo to vaše přání již od dětství, dívat se nahoru a být vesmíru o trochu blíže než my ostatní?

JK: Když jsme v mých devíti letech navštívili petřínskou hvězdárnu, chytlo mě to. Pan Kadavý (tehdejší ředitel) se mě laskavě ujal, chodil jsem do astronomického kroužku pro ty nejmenší, poté jsem se účastnil programu kreslení Jupitera pomocí dalekohledu König. Dělal jsem demonstrátora u dalekohledů při pozorování pro veřejnost a později sám začal přednášet. Potkal sem tam pány Klepeštu (ten se mi dost věnoval a zasvětil mě do astronomické fotografie), Sekaninu, Lálu, Hlada (pozdějšího ředitele), Najsera, Zahálku, Koubského a další, přednášel tam Bumba nebo Grün. Na astronomický pionýrský tábor s hvězdárnou se jezdilo s Babičem a Procházkou, s „kluky“ Kautským, Kurzem a Maršálkem... Byl jsem členem ČAS, hlтал přednášky na hvězdárně a v planetáriu, populárně-vědeckou literaturu i sci-fi.

■ **JŽ:** K této době se váže také jedna zajímavá historka. Snad se nebudete zlobit, když prozradím, že jste býval tak trochu rebel a jen tak jste se nedal?

JK: Na petřínské hvězdárně jsem se naučil poslouchat Svobodnou Evropu. A jsem tomu rád. Těm mlad-

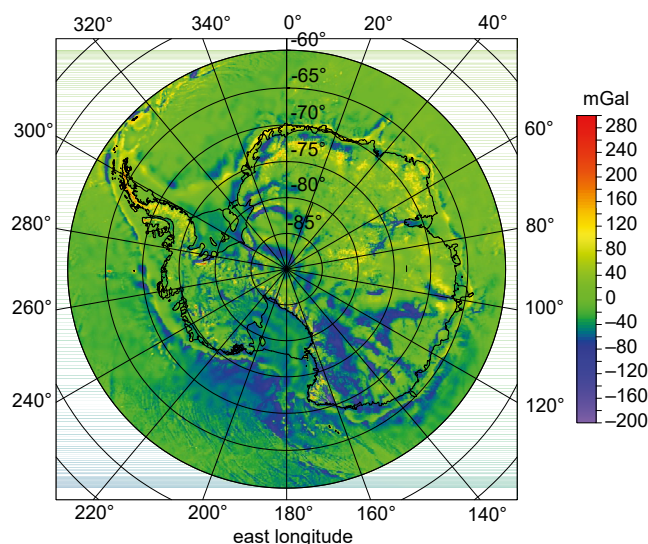
ším je třeba připomenout, že „bolševik“ ji rušil a že k tomu měl vysílače-rušičky. Jedny byly právě na Petříně těsně vedle hvězdárny, takže podle hesla „pod svícnem je největší tma“ signál z rušiček sem nedosáhl. A protože jsem byl zdatný chemik, ve škole jedničkář mimo jiné z chemie, tak jsem na Petříně pouštěl dělobuchy, z čehož byl pak „velkej průšvih“ a já se s otcem (coby nezletilec) ocitl v Bartolomějské na policii. Vyšetřovatel měl naštěstí rozum, vyzkoušel mě z chemie, zejména z mé oblíbené knihy ruského autora o přípravě výbušnin, a pak mi navrhl, že mi pomůžou na chemicko-technologickou průmyslovku – patrně ze mě chtěl mít pyrotechnika. Na závěr obřadně odemkl skříň s jedy a pravil již familiárně: „Jardo, tady je jedů, že by to otrávil celou Prahu čtyřikrát.“ Také jsme s Kautským, Kurzem a Maršálkem (nyní známým psychiatrem) na pionýrském táboře pořádaném petřínskou hvězdárnou (s nočními pozorováními oblohy) legálně pouštěli travexové rakety v nedalekém lomu. Samozřejmě opět následný průšvih (i pro vedoucí)... Do toho profesionálního pyrotechnika se mi moc nechťelo, už jsem měl nabídku jít na umělecko-průmyslovou školu, neboť jsem jako jediný ze třídy od paní akademické malířky měl jedničku z kreslení. Ale ani to mě moc nebralo. Navíc umění kreslit ze mě vyprchalo, takže jediné, co dnes nakreslím jako zcela dětský obrázek, je akorát tak kočička. Zajímala mě astronomie. Přečetl jsem všechno možné. Otec mi koupil na tehdejší dobu skvělý fotoaparát (jednookou zrcadlovku) a spolu jsme sestavili dobrý amatérský dalekohled, takže jsem na chatě v Divišově u Českého Šternberka, kde tehdy ještě byla tma, strávil nespočet nocí pozorováními a fotografováním.

■ *JŽ: Vaše cesta za poznáním byla bezpochyby zajímavá, takový pěkně divoký začátek života nadějněho astronoma. Po absolutoriu gymnázia jste se chystal na vysokou školu. Kterou jste si vybral? A bylo vůbec v tehdejší době z čeho vybírat?*

JK: Po SVVŠ (v dnešní terminologii gymnázium) jsem se nedostal na matfyz, kde bylo 300 procent uchazečů, a byl jsem zařazen na geodézii na ČVUT. Tam jsem se nakonec k astronomii částečně vrátil, neboť v posledních dvou ročnících tam tehdy byla u prof. Buchara a doc. Kabeláče specializace „geodetická astronomie“.



Obr. 2 Před proslovením přednášky o geoaplikacích GOCE pro geofyziku u doc. L. Eppelbauma na telavivské univerzitě (2015).



Obr. 3 Celkový pohled na tíhové anomálie v Antarktidě (měřítko: miliGaly)

■ *JŽ: Vystudoval jste vysokou školu a stál jste na prahu své vědecké kariéry. Co vás právě tehdy lákalo, odkud vám kynula vaše pomyslná vědecká múza?*

JK: Po škole mi poskytl azyl dr. Hlad zase na petřínské hvězdárně. Ale nepobyl jsem tam dlouho, protože jsem vyhrál konkurz do Ondřejova, kde působím od r. 1972 dodnes, a to v oboru dráhové dynamiky umělých družic Země. Už mi bude 70 let, takže teď jsem tam jako emeritní vědecký pracovník. Na ČVUT v Praze jsem postupně obhájil docenturu i profesuru a delší dobu jsem tam přednášel svůj obor. Zájemce o mé práce odkazují na www.asu.cas.cz/~jklokocn.

■ *JŽ: Vaším pracovním „domovem“ se díky vašemu úspěchu v konkurzu stal Astronomický ústav AV ČR v Ondřejově, nacházející se v rozlehlém areálu historické observatoře. Oblíbil jste si tento kus země, ten okouzlující výhled z Pecného směrem ku Praze?*

JK: Určitě ano. Je to moc hezký kus naší země. Park u hvězdárny byl a je dobře opečovávaný. Bylo a je to privilegium tady v takovém krásném prostředí pracovat, ovšem dojíždění z Prahy je komplikované a o přestěhování z Prahy jsem nikdy nepřemýšlel.

■ *JŽ: Pracujete zde již od roku 1972. Mohl byste nás seznámit s vaším prvním vědeckým problémem, kterým jste se zde zabýval? Bylo to právě to, o čem jste uvažoval už na studiích?*

JK: Jak to tak bývá, o odborné náplni začínajících rozhodují starší, pokročilejší. Původně jsem se hned po příchodu do Ondřejova zabýval zpracováním družicových snímků ze speciální fotografické kamery instalované v Ondřejově a laserovými pozorováními družicovým laserovým dálkoměrem tamtéž. Pak mi dr. Sehnal, můj školitel, navrhl studovat dráhové rezonance umělých družic Země směřující ke studiu gravitačního pole Země. Já se toho ujal a v termínu obhájil kandidátskou práci (dnes Ph.D.) na toto téma.

■ *JŽ: Zabýváte se dráhovou dynamikou umělých družic Země, družicovou altimetrií a gradientometrií. Mohl byste nám tyto jednotlivé vědní oblasti více přiblížit?*

JK: Družicová altimetrie vychází z výškoměru na letadlech. Jde o měření výšky letu UZ radarem nebo laserovým dálkoměrem. Nad oceánem je určován přímo

geoid až na topografii moří, takže lze studovat dynamiku oceánů. Mimo moře se tato data kombinují se znalostí průběhu geoidu z jiných zdrojů a zpřesňují se znalostí o gravitačním poli Země. Altimetrie v minulých třiceti letech přispěla podstatným způsobem ke zlepšení našich znalostí o gravitačním poli Země, ale má i další použití. Lze sledovat variace výšek hladin jezer a řek s milimetrovou relativní přesností, dynamiku ledu, písečných dun, erozi aj.

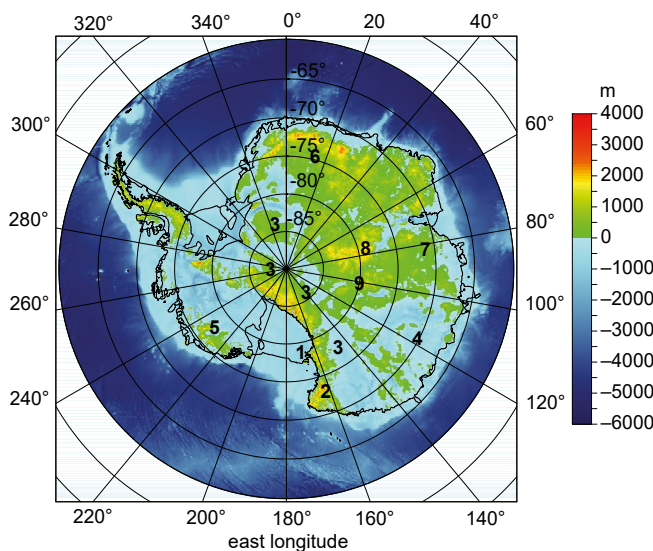
■ **JŽ:** Věnujme se nyní problematice gradientometru. Mohl byste nám tento přístroj popsat?

JK: Gradientometr v jedné své konstrukční variantě je kombinací (mikro)akcelerometrů, tedy jakési Eötvösovy torzní váhy známé z geofyziky, vynesené do prostoru. Měří přímo druhé derivace poruchového potenciálu neboli složky Marussiho tenzoru, což opět slouží k prohlubování našich znalostí o gravitačním poli s řadou možných geoaplikací. To vše je již v chodu a referuje se o tom na konferencích. Přesnost mikroakcelerometrů skládajících gradientometr na palubě družice GOCE pěkně zpopularizovala ESA. Představte si vložku sněhu padající na letadlovou loď. Podle principu akce a reakce i ta malá vložka udělí obří lodi nějaké zrychlení – nepatrné, ale měřitelné. GOCE tohle umí.

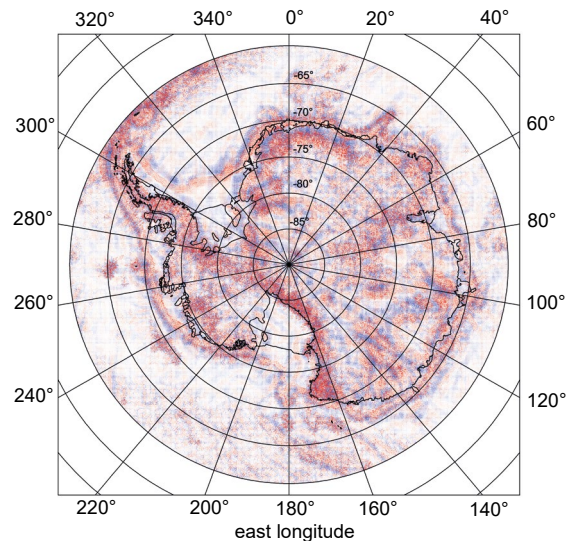
■ **JŽ:** A jak se výše zmiňovaný gradientometr dostal na družici? Vy jste měl tu čest být přímo při tom, mohl byste nás seznámit s podrobnostmi této skvělé akce?

JK: Plány na družici s gradientometrem jsou staré přes dvacet let. První takovou družici vypustila ESA v r. 2009 – pracovala do r. 2013 a jmenovala se GOCE (což je akronym z *Gravity and steady-state Ocean Circulation Explorer*). Měli jsme tu čest být u toho, třeba u jejího vypuštění nebo u návržení změny dráhy s cílem jemnějšího popisu gravitačního pole. Se zbytkem paliva v korekčním iontovém motoru na palubě družice k takové změně na konci životnosti družice během r. 2013 doopravdy došlo. Nyní jsou postupně zpracovávána data. Byl například vytvořen nový model gravitačního pole Země s daty z GOCE jménem EIGEN 6C4, zejména v německo-francouzské spolupráci, který používáme.

■ **JŽ:** Vědecký výzkum kráčí stále kupředu, stejně tak jako se neustále zlepšuje technické vybavení jednotliv-



Obr. 4 Celkový pohled na topografii podloží (model Bedmap 2) v Antarktidě (metry nad současnou hladinou moře).



Obr. 5 Celkový pohled na virtuální deformace v Antarktidě (červeně dilatace, modře komprese, bez měřítka).

vých přístrojů. Jejich zásluhou je k dispozici velké množství zajímavých dat ke zpracování. A vy tyto data studujete. Co jste jejich následným studiem zjistil?

JK: V posledním desetiletí mě pohltila práce s daty družic GOCE, GRACE a CHAMP a hlavně příslušné geoaplikace z toho vyplývající. Pomocí gravitačních dat a topografie podloží s nebyvalou přesností a se solidním pokrytím zemského povrchu studujeme například, co se skrývá pod ledem Antarktidy nebo pod písky Sahary.

■ **JŽ:** Zabýváte se Antarktidou, světadilem ze všech nejchladnějším. Maximální mocnost antarktického ledovce je 4776 m, přičemž jeho průměrná mocnost činí 1829 m. Před desítkami milionů let v Antarktidě nebyla ledová pokrývka, ale lesy. Mohl byste nás s tehdejší Antarktidou seznámit?

JK: Jsou tam hory a údolí jako jinde na planetě Zemi, k tomu stopy po bývalých řekách, jezera i sopky, pánve i roviny, vše jakoby vloženo do mrazáku. Je to úchvatné procházet se díky novým datům tamní krajinou, i když dnešní rozlišovací schopnost je jen několik kilometrů a ještě zdaleka ne všude v celé Antarktidě. Před dvaceti lety by i toto byla sci-fi. Dnes je k dispozici model topografie skalního podloží Bedmap 2 a model z gravitačních dat EIGEN 6C4 a nejnověji jejich kombinace SatGravRET14 (z roku 2016). S tím pracujeme. Domníváme se, že jsme objevili dvě kandidátky na subglaciální (podledovcové) sopky v oblasti obřího jezera Vostok a několik nových subglaciálních, dosud neregistrovaných jezer a jednu jezerní pánve.

■ **JŽ:** Kdy vás vlastně napadlo, že by se gravitační data dala použít k objevování sopek na Antarktidě?

JK: Při četbě literatury před pár lety. Takový průzkum lze dnes pro Antarktidu dělat díky gravitačním a topografickým datům podloží (EIGEN 6C4 a Bedmap 2). Dříve se o tom dalo jen snít, pokud by to někoho náhodou napadlo. Nebylo GOCE, nebyly družice a letadla s radary pronikajícími ledem, nebyl Bedmap.

■ **JŽ:** Mohl byste prosím také pohovořit o výsledcích pozemských gravitačních měření a o poznatcích z radarů, které dokážou proniknout zmiňovaným ledovým terénem?

JK: Rozlišujeme gravitační data, která pod povrch míří ve své podstatě – každá hustotní anomálie pod povrchem vyvolá gravitační anomálii, měřeno na povrchu nebo z letadel a družic těmi či oněmi prostředky. Druhé derivace poruchového potenciálu, gravitační invarianty, úhel napětí a virtuální deformace jsou jen další deriváty téhož – gravitačního poruchového potenciálu. Naproti tomu radar běžně pod povrch neproniká, ale díky technologickému pokroku takové radary existují. Pracují na vlnových délkách krátkovlnného rozhlasového vysílání, proto je jejich použití v civilizaci omezeno, ale v Antarktidě nebo Grónsku tento problém odpadá. Takový radar se dostane pod povrch (na suchém písku až 20 m hluboko, což může být cenné pro archeology) nebo pod led (až 4 km). Odrazí se až od pevné skály nebo vodní hladiny. Z měření takových radarů a s přidáním dalších dat byl vytvořen model podledovcové (bedrock) topografie nazývaný Bedmap 2 s prostorovým rozlišením několika kilometrů, v některých místech až 1 km. To už jsou velmi silná data pro náš další průzkum.

■ JŽ: *Současná měření gravitačního pole Země jsou velmi detailní. Mohou být využita např. k lokalizaci nerostných zdrojů nebo k mapování podpovrchových struktur?*

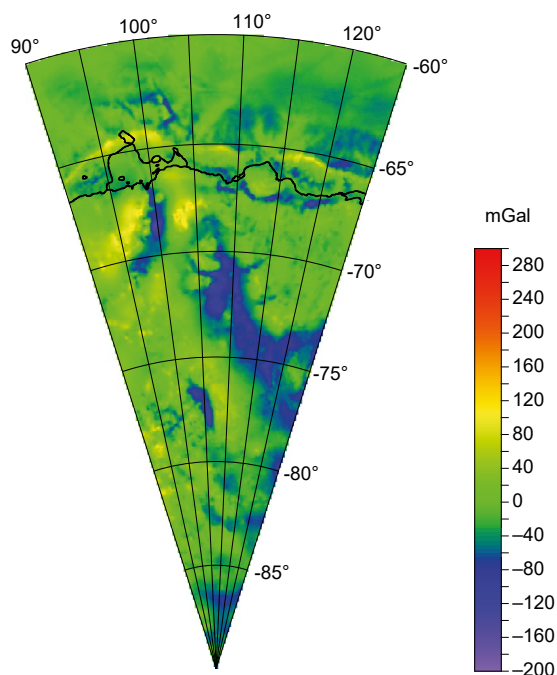
JK: Ano i ne; pokud je dotyčná oblast větší než mezní rozlišení EIGEN 6C4, to znamená asi 10×10 km, tak to možné je. Až budou k dispozici modely gravitačního pole s větším rozlišením, můžeme dosáhnout i na menší objekty. Pokusili jsme se aplikovat náš postup také na vyhledávání ložisek ropy a zemního plynu v odlehklých oblastech po otestování metody na známých nalezištích, jako je Kaspické moře nebo Ghawar v Saúdské Arábii.

■ JŽ: *Pane profesore, jaké matematické metody používáte při modelování gravimetrických dat?*

JK: Především rozvoj gravitačního poruchového potenciálu do řad kulových funkcí. Ten obsahuje harmonické geopotenciální koeficienty (neboli Stokesovy parametry), které svými číselnými hodnotami popisují detaily gravitačního pole konkrétního tělesa, zde Země. Jsou určeny patřičně komplikovaným postupem z družicových i terestrických měření. Jde o již zmíněné modely EIGEN 6C4 z a SatGravRET14.

■ JŽ: *V jaké výšce se musí pohybovat družice, aby mohla správně pracovat?*

JK: Dobrá otázka. Pro studium gravitačního pole je obecně potřeba mít co nejnižší dráhu a dráhu, která pokryje celý globus, tedy dráhu polární. Jenže čím nižší dráha, tím větší odpor atmosféry, i když se může zdát, že tak vysoko, jako třeba 500 km nad zemským povrchem, už žádná atmosféra není. Je. A pod 500 km je tak hustá, že limituje životnost každé družice (nevybavené korekčními motorky) rámcově na několik let. GOCE létal ve výškách pod 200 km v přesně zvolených výškových intervalech definovaných dráhovými rezonancemi, aby bylo pokrytí dráhy konstantní. K udržování takové dráhy sloužil iontový motor, který dokázal GOCE udržet ve dráze s přesností na ± 5 m ve výšce. Pro dálkový průzkum se často používají vyšší dráhy (kolem 800 až 1 500 km) volené tak, aby se po určitém počtu oběhů kolem Země průměty dráhy na povrch přesně opakovaly (dráhové rezonance, opět potřeba



Obr. 6 Tíhové anomálie (mGal) v Antarktidě v segmentu zeměpisných délek 90–125 stupňů východní (zeměpisné) délky, s jezerem Vostok (modrý útvar vlevo dole u jižní zeměpisné šířky asi 77 st) a Wilkesovou nížinou.

ba korekčních motorků). Tak jak se družice nad tatáž místa po jednotlivých obězích vrací, umožňuje monitorovat změny na Zemi. Pro navigační družice GPS, Galileo nebo GLONASS jsou dráhy velmi vysoké, asi 22 000 km, a pro TV a komunikace se používají ještě vyšší dráhy geostacionární (asi 36 000 km). Výběr parametrů dráhy a s tím i výška letu je tedy komplexní problém a pro každou připravovanou misi se výběr děje před letem v rámci koordinace požadavků různých uživatelů dat, které má družice poskytovat. Výsledná volba bývá kompromisem z řady přání.

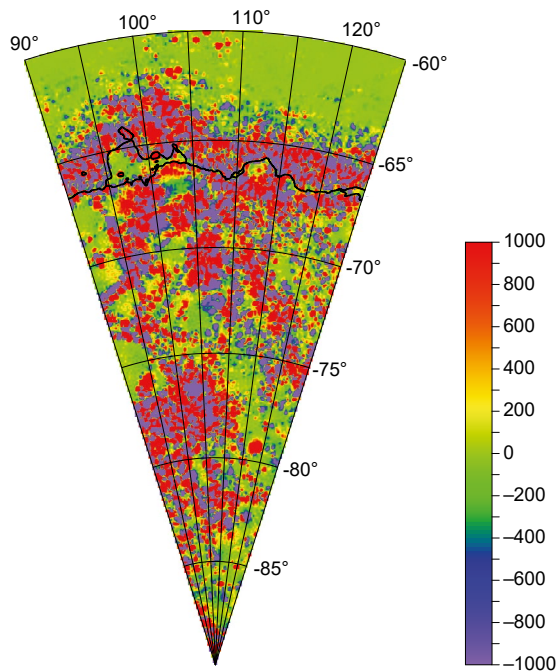
■ JŽ: *A jak detailně je zmapován povrch Země? Nedávno jsem se na internetu dívala na svůj dům opravdu hodně zblízka. Jaké největší rozlišení je pro uživatele k dispozici? A mohli bychom se na mapě třeba i poznat?*

JK: Na Zemi známe detaily až na decimetry, ale to se veřejně nesmí publikovat, protože to naráží na ochranu osobních dat. Některé země, jako Čína nebo Izrael, záměrně snižují rozlišovací mez dnešních snímků z důvodů utajení čehosi nebo z bezpečnostních důvodů... Nainstalujte si na svůj počítač zdarma software (prohlížeč) *Google Earth*® a vydejte se na prohlídku vaší zahrádky nebo do hlubin Pacifiku. Na většině míst bude dnes rozlišení až 1 m vertikálně i horizontálně.

■ JŽ: *Jaká je přesnost družicových dat a lze je nějakým způsobem upravovat? Je pravda, že se přesnost pohybuje až v jednotkách centimetrů?*

JK: To je velmi široká otázka. Tak třeba přesnost prostředků k určení drah UDZ, a tím i parametrů gravitačního pole, byla v průběhu doby zvyšována od kamerových měření přes měření laserovými dálkoměry a přes družicovou altimetrii až ke gradientometrii. Dnes je dráha řady geodetických a aplikovaných družic určována pomocí GPS s přesností na několik centimetrů kdykoliv kdekoliv na dráze (týká se těžiště). Výjimečně v několika případech je přesnost drah geo-

» Každá hustotní anomálie pod povrchem vyvolá gravitační anomálii, měřeno na povrchu nebo z letadel a družic těmi či oněmi prostředky. «



Obr. 7 Invariant gravitačního pole I_2 (s^{-6}) v Antarktídě v segmentu zeměpisných délek 90-125 stupňů východní (zeměpisné) délky.

dynamických družic (kouli jen s koutovými odražeči) určená pomocí nejpřesnějších laserových měření až na milimetry. Samostatnou kapitolou je přesnost měření vykonávaných z UZD – ta se může lišit dle účelu měření.

■ *JŽ: Jedním z omezujících faktorů výpočtu parametrů gravitačního pole Země je hustota, s níž družicová měření pokrývají zemský povrch. Dá se tento problém nějakým způsobem řešit?*

JK: Ano, dá. V modelech gravitačního pole Země se kombinují družicová data s pozemní (terestrickou) gravimetrií a dalšími daty. Tím se podstatně zvýší rozlišení modelu. Problémem byly inverze obřích matic a dále kombinace dat typu hrušky a jablka, tedy míchání nesusrodého materiálu, ale i to je po létech zkušeností víceméně zvládnuto.

■ *JŽ: V průběhu své vědecké kariéry jste vydal několik knih, nedávno vám vyšla v renomovaném prestižním nakladatelství Springer Verlag další nová kniha „Gravitační atlas Antarktidy“. Tuto knihu jsem měla možnost si prohlédnout a velmi ráda bych vám v této souvislosti pogratalovala – kniha je doslova úchvatná. Čeho si na ní ceníte nejvíce?*

JK: Cením si toho, že vůbec vyšla. Je velmi neobvyklá. Je to atlas něčeho, co není pouhým okem vidět. K jeho získání jsme zkombinovali nejlepší a nejnovější světová data (2016) o gravitačním poli a podle dovcové topografii a použili jsme je takovým způsobem, jakým to ještě nikdo nikdy neudělal. Springer to vzal asi právě proto, že jsme první na světě.

■ *JŽ: V roce 2015 jste vydal knihu o čínských pyramidách. Kolik jich vlastně v Číně je a čím jsou tak zajímavé?*

JK: Orientaci čínských pyramid jsem studoval ze stejného důvodu jako orientaci pyramid v Mesoamerice. Čínské pyramidy moc známé nebyly, protože je Číňani před světem z nejasných důvodů tajili. Do oblasti

města Xi'anu (Sianu), kde jich je nejvíc, jistě přes sto, turisté nesměli. Nyní se to mění. V r. 2011 jsem se tam pohyboval s čínským doprovodem bez omezení. Většina čínských pyramid pochází z dynastie Západní Han (cca 200 př. n. l. až 0). Orientace jejich stran skoro nikdy není přesně sever-jih a východ-západ. Odchytky jsou více stupňů, takže nejde o projektovou nebo stavební nepřesnost, ale o záměr. Orientace zřejmě tedy ani není astronomická. Ukazuje se, že koreluje směr těch zhruba severojižních stěn pyramid se směrem k tehdejšímu severnímu magnetickému pólu (populárně řečeno). Orientace čínských pyramid podle kompasu nás nemusí udivovat, neboť podle většiny zdrojů byl Číňanům kompas znám (pro věštění a feng-shui) od dynastie Západní Han a možná od nepaměti. Na toto téma jsem publikoval tři odborné články, jeden s čínskou kolegyní čínsky v Číně a jednu populárně-vědeckou knížku u nás v Akademii.

■ *JŽ: Vaší velkou vášní je archeoastronomie, poměrně mladé odvětví archeologického bádání, zabývající se astronomickou orientací pravěkých staveb a památek. Díky ní se můžeme alespoň domnívat, jakou funkci vlastně mohly tyto stavby plnit. Co vás k archeoastronomii vlastně přivedlo?*

JK: Zájem současně o astronomii a archeologii týkající se nejstarších dějin.

■ *JŽ: To byla docela stručná odpověď, myslíte, že bychom to mohli trochu rozvinout? Třeba tím, co to vlastně znamená astronomicky orientovaný objekt?*

JK: Astronomicky orientovaný objekt má stěny orientované záměrně, cíleně k některému astronomicky významnému směru. Je to šité na míru toho místa, orientace není náhodná a to se dá většinou dobře odhalit měřením na místě nebo z map nebo z Google Earth. Tak třeba strana pyramidy míří přesně k astronomickému severu, nebo stěna nějaké stavby ukazuje směr východu/západu Slunce o letním/zimním slunovratu, rovnodennosti nebo v den zenitového průchodu Slunce (pro objekty blízko rovníku). S Měsícem je to komplikovanější, ale i tam se to podařilo dekodovat, u planet připadá v úvahu například směr východu/západu Venuše v její největší elongaci. Ke každému uvedenému



Obr. 8 Ve Flagstaffu na Lowellově hvězdárně (2007) u dalekohledu, kterým bylo objeveno Pluto.

příkladu orientace bych mohl jmenovat příklad v přírodě, nějakou stavbu. Odkazují ale na naši patřičně tlustou knihu s archeoastronomickou tematikou a již publikované články k tomuto tématu:

Pavelka K., Klokočník J., Kostecký J.: 2013. *Astronomicko-historické otazníky Mezoameriky a Peru*, Nakladatelství ČVUT, Praha, 287 s., ISBN 978-800-105219-8.

■ JŽ: *Můj tatínek miloval tajemné obrazce na planině Nazca, přečetl o nich spoustu knih, a protože se také laicky zajímal o vesmír, byl přesvědčen, že jsou dílem mimozemských civilizací. Jako malá holka jsem roznášela jeho sci-fi knihy po domě a luštila ty obrázky. Jaké tajemství jste v nich našel vy?*

JK: Nepodceňujte pozemšťany. Ponechme si mimozemšťany, až kdybychom byli úplně „v ouzkých“ – a to tady nejsme. Hypotéz je mnoho a rozhršení se stále nekoná. Začal jsem astronomickou hypotézou a po četbě literatury a prohlídkách na místě jsem ji opustil. Četl jsem i Dánikena, což je poutavý mystifikátor. Čtěte Dánikena, třeba vás přivede k něčemu serióznějšímu, ale nepřestávejte přitom myslet. Pokračoval jsem hypotézou o podzemní vodě, která má stále své opodstatnění, ale nehodí se na všechny geoglyfy, a skončil u bizarní hypotézy o tom, že geoglyfy vznikly jako prostor pro splétání dlouhých provazů potřebných v hojně míře ve stavitelství a námořnictví. Dovolují si k četbě doporučit naši knihu Pavelka a kol. (2013), již výše citovanou, nebo náš populárně-vědecký článek: *Rozpletená záhada* (Dlouhá, Sonnek, Klokočník) *Koktejl* 3/2014, s. 13–19. Nejnověji sborník: *The Nasca Project, A German-Czech Cooperation, 22 years of research in Peru*, eds. Ch. Richter, B. Teichert, K. Pavelka, A. Cerveny, s. 47–57, k dispozici u FšV ČVUT Praha 6, ISBN 978-80-01-06324-8.

■ JŽ: *Zabýváte se inckým kultovním místem Machu-Picchu, které jste také několikrát navštívil. Jak jste se na toto místo dostal a co jste chtěl v této oblasti zjistit?*

JK: Prověřovali jsme astronomickou orientaci Intiwatany, kterou předtím studoval leckdo. Z našich lidí tam měli možnost měřit (dnes se kamene nelze ani dotknout, natož na něj vstupovat) brněnští geodeti a výprava, kterou nafilmoval V. Šimek asi před deseti lety. Ten mě upozornil na podobný objekt Yurac Rumi (Bílý Kámen), v dosahu vlakem, autem a koňmo od Machu-Picchu, kde je na velkém kameni vytesáno „zařízení“ s podobnou hrou stínů ve vybrané dny a hodiny. Mým hlavním cílem bylo ale Ollantaytambo u řeky Urubamby, kde je další podobný objekt. Všechny tři příklady chápu jako jakési sluneční hodiny se společným autorským (inckým) rukopisem. Ta místa spolu kdysi bezesporu komunikovala. Asi jich bylo více, ale nezachovala se anebo jsou ještě schována v džungli. Astronomickou orientaci Yurac Rumi jsme prokázali.

■ JŽ: *Mohl byste nám prosím vysvětlit, jaké potřebujete na těchto cestách přístroje a jak je těžký například důlní kompas?*

JK: Vozíme všude s sebou totéž: příruční GPS, upravený přesný důlní kompas měřící azimuty na stupně přesně a fotoaparát/kameru pro dokumentaci. To se dá dobře složit do cestovních zavazadel a nijak to neirituje celníky. Kompas je sice větší, než je obvyklé, ale i tak váží asi jen 500 g sám o sobě, má průměr asi 15 cm. Je vybaven libelou. Čtení magnetického azimutu lze



Obr. 9 Na kongresu Americké geofyzikální unie v San Francisku (2007).

provést s přesností na půl stupně (nejvýše), běžně na ± 1 stupeň. Pro lepší práci v terénu (příkladání ke zdem) jsme k němu dali namontovat hliníkovou záměrnou hranu asi 40 cm dlouhou. Pak to celé váží asi kilo.

■ JŽ: *Jak jste vlastně zdolal přístupovou cestu Hiram Bingham Highway, která na mapě vypadá docela nebezpečně?*

JK: Sedl jsem si do autobusu a nechal se nahoru vyvézt s ostatními turisty. Mačetou džungli? Zapomněte. Trekem po „indiánské stezce“ nahoru a dolů i v 5000 metrech? V mém věku?! Zapomněte. Nejen namáhavé, ale i životu nebezpečné díky zlodějům a lupičům.

■ JŽ: *Jak jste se v oblasti Machu-Picchu cítil mezi těmi srázy a v rámci opuštěného města, které nevypátrali ani španělští dobyvatelé, a proto zůstalo zachováno?*

JK: Poprvé (v r. 1997) krásně. Měl jsem dva dny, abych se tu porozhlédl a relaxoval. Naposledy (2010) to bylo otřesné. Vstupné oproti mé první návštěvě podražilo asi 70×, jízdné asi 300× (striktně je oddělena doprava turistů od místních). Čím víc turista platí, tím méně toho smí vidět. Na některých místech v areálu Machu-Picchu je provoz turistů jednosměrný, protože by se jinak v tom množství pobili a popadali ze skal. A památky by roznesli „na kopytech“. Všude přítomné píšťalky strážců turisty usměrňují, chování personálu je nevybíravé. Úděsné. Už ne!

■ JŽ: *Na svých archeoastronomických toulkách jste procestoval Mexiko, část Guatemaly a Hondurasu a také Peru. Jakým způsobem jste tam organizoval svůj pobyt?*

JK: Snažili jsme se připravit důkladně cestu, pobyt, vyjednat návštěvy lokalit a speciální povolení k měření v místech, kam běžný turista nevstupuje. Čili jsme jeli s jasnou, detailní a neměnnou představou, kam a proč jet, s pevným itinerářem s přesností na půl



Obr. 10 Naše mladá sopka Železná hůrka nedaleko Komorní hůrky (2017).

dne rok dopředu, co tam dělat. Při cestách v Mexiku v r. 2003 a 2005 nám významně, cestou „pokyn shora“ přes jejich ministerstvo kultury, pomohl tehdejší velvyslanec Spojených států mexických v Česku pan Federico Salas. Administrativa států Střední a Jižní Ameriky je vesměs – na naše poměry – pomalá, ráda se práci vyhýbá, slibuje, slibuje a „skutek utek“ a řeší problémy odkladem – *mañana* (což znamená zítra nebo také nikdy).

■ *JŽ: Co soudíte o pozoruhodném mayském kalendáři? Kde je vlastně jeho počátek nebo kam vy byste jeho počátek položil?*

JK: Další superotázka zralá na superodpověď, na samostatný článek či rozhovor. Odpovím, ale protože jsem v tomto punktu jen kovářiček, odkazuji na kováře – Mgr. V. Böhma z Kolína, který se tematikou mayského kalendáře dlouhodobě zabývá. Takže jen velmi stručně a nedokonale. Mayský kalendář patří k nejpropracovanějším svého druhu na světě. V něm mayští vzdělanci zasvětili svou inteligenci a život měření času a jeho zachycení v co nejširších souvislostech, ve kterých viděli božské vztahy. (Otázkou je, proč takový pokrok v jedné specializaci, když v jiných oborech činnosti nečinili pokrok téměř žádný a společnost zůstala prakticky na úrovni mladší doby kamenné. Neobjevili například pravou klenbu, a tak nemohli stavět chrámy jako my); prý neobjevili ani kolo (to už rozum přírodovědce nebere). Vše bylo podřízeno času, každý okamžik měl určitý význam. Sledování dat a vzájemné sladování několika vedle sebe současně jdoucích různých dlouhých časových úseků do kalendářních cyklů vyžadovalo složité operace s velikými čísly, neboť Mayové neznali zlomky ani desetinná čísla. Ve svých kalendářních záznamech Mayové užívali více jak třicetimístná čísla (po převedení do naší dekadické soustavy). Čas pro ně nemá počátku ani konce.

■ *JŽ: Mayský kalendář je považován za nejpokročilejší astronomický kalendář mayského kalendářního systému domorodých obyvatel Střední Ameriky. Mohl byste nám vysvětlit jeho jednotlivé cykly, které byly spojeny s různými kosmickými událostmi?*

JK: Kalendářní systém měl katunový kruh (93 600 let), cyklus haab (365 dní) a tzolkin (260 dní). S nimi současně probíhal tzv. dlouhý počet, pomocí kterého bylo datováno plynutí času průběžně ve dnech od zvoleného počátku (jako je astronomům známé juliánské datování). Všechny cykly se sešly po 136 656 000 dnech, tj. po 374 152 rocích. Jde vlastně o nekonečný průběh stále se opakujících cyklů. Jednotlivé symboly v mayském kalendáři pak představují znaky kalendářních údajů, různých cyklů i jejich vzájemných kombinací.

■ *JŽ: Mohl byste prosím pohovořit o Drážďanském kodexu, literárním díle předkolumbovské Ameriky, který je uložen od roku 1739 v Drážďanech?*

JK: Zjednodušeně ho lze nazvat hvězdářskou ročenkou Mayů. Drážďanský kodex získala v roce 1739 Drážďanská královská knihovna od neznámého majitele ve Vídni. Jeho původ je kladen na Yucatan. Na Yucatanu katoličtí zběsilci likvidovali písemnosti a decimovali kulturu Mayů a účastnili se jejich genocidy. Moc toho nezbylo ani z Mayů, ani z jejich písemných památek. Tento kodex se do Evropy dostal zřejmě stylem „pod svícem je největší tma“. Představuje pruh „papíru“ dlouhý 3,5 m, poskládaný do 39 listů tvořících 78 stran o rozměrech 8,5 × 20,5 cm. Podle Thompsona (1966) se jedná o přepis originálu z klasického období, pořízeného kolem roku 1200. Podle podrobného rozboru mayských dat uvedených v tomto kodexu B. Böhm a V. Böhm (2004) předpokládají, že se jedná o opis pořízený po roce 1200 z původního souboru složeného ze tří pramenů a sestaveného v ob-

dobí let 926 až 984. Doposud nebylo přesně určeno místo jeho vzniku. Základním obsahem rukopisu jsou popisy 260denního posvátného cyklu tzolkinu, s příslušnými rituály, které se měly v odpovídajícím dni konat. Pozoruhodné jsou tabulky a data spojená s astronomickými úkazy. První, kdo upozornil na tabulky týkající se viditelnosti planety Venuše, byl drážďanský knihovník Ernst Förstemann. Jejich důkladný rozbor provedl Teeple, který se dále soustředil na studium mayské astronomie. Tabulkami pro zatmění Slunce v Drážďanském kodexu se zabývali Meinshausen (1913), Guthe (1921), Spinden (1930) a další. B. Böhm a V. Böhm na základě matematicko-statistických analýz zjistili, že řada mayských dat v Kodexu se týká dalších astronomických úkazů, jako maximálních elongací Merkuru nebo konjunkcí Venuše s Marsem, heliaktických západů Jupiteru, heliaktických východů Saturnu a konjunkcí Jupitera se Saturnem. Důležitý je vztah mayského kalendáře k našemu. Stále se přesně nezná přepočtení koeficient mezi oběma kalendáři. Ty, ačkoli každý plyne velmi přesně s přírodou, postrádají dostatečně přesně určenou vzájemnou korelaci. Chyba určení převodního koeficientu posunu může být i přes 100 let! To by mělo trápit historiky, ale podle mé zkušenosti je „trápi“ či spíše štve, když jim přírodovědci „lezou do zelí“ a například podle zatmění Slunce uvedených v Drážďanském kodexu tvrdí, že tradiční převodní koeficient historiky stále používaný, je zcela chybný. Zatím se absolutní datování historie Mayů vůči historii zbytku světa dopouští, dnes už vědomě, i více než stoleté chyby. Více o tom v práci:

Klokočník J., Kostelecký J., Böhm V., Böhm B., Vondrák J., Vitek F.: 2008, *Correlation between the Mayan calendar and ours: Astronomy helps to answer why the most popular correlation (GMT) is wrong*, *Astronom. Nachrichten* 329, 4, s. 426–436, DOI 10.1002/asna.200710892.

■ JŽ: *Moje další otázka se týká zajímavých úkazů v okolí kráteru na Yucatanu. Vyskytují se zde otvory o průměru cca 20 metrů. Jak si vznik těchto otvorů vysvětlujete a proč je v některých z nich pitná voda, kterou už kdysi rádi využívali Mayové?*

JK: Cenote jsou takové místní Macochy, díry ve vápenci vyplněné sladkou vodou, kdysi aspoň v někte-



Obr. 11 Z putování po Vysocině, Čtyři palice (~2004).



Obr. 12 Se známým matematikem prof. Michalem Křížkem v Karolinu při příležitosti 100. výročí založení ČAS.

řých děrách pitnou. Není divu, že se Mayové usazovali u nich, protože v oblasti severního Yucatanu nikdy pitné vody nebyl nadbytek. Nejsou přímým produktem impaktu, ale jeho následkem ve vápencovém prostředí. Pro podrobnosti odkazuji na geology. Cenote kolem kráteru Chixculub tvoří na pevnině půlkruh sledující jeden z lemů kráteru. Cenote jsou na povrchu nepřehlédnutelné, kráter sám vůbec vidět není – je přikryt novějšími usazeninami. Byl objeven až z tíhových anomalii měřených s cílem najít ložiska ropy.

■ JŽ: *Mohl byste našim čtenářům prosím prozradit, kterou oblast svého vědeckého bádání považujete za nejdůležitější a kterého ze svých vědeckých úspěchů si ceníte nejvíce?*

JK: Ke každé etapě mé práce v AsÚ Ondřejov dám jeden příklad. Nejprve to byly analýzy dráhových rezonancí umělých družic Země. S analýzou rezonance 15/1 družice Interkosmos 11 jsme předběhli naše vzory a učitele z RAE Farnborough v Anglii. Pak to byla družicová altimetrie. Tam se podařilo definovat nové veličiny týkající se diferenciální altimetrie dříve neznámé a předvést názorně jejich užitečnost při testování přesnosti modelů gravitačního pole Země. Poté je to družicová gradientometrie z GOCE a její geoaplikace a o tom už víte.

■ JŽ: *A na závěr bych vás, milý pane profesore, poprosila, zda byste nám mohl prozradit svoje plány do budoucna. Jakým zajímavým vědeckým problémem byste se chtěl v budoucnu zabývat?*

JK: Metodika použitá pro prokazování paleojezzer pod pískem Sahary nebo k objevování kandidátek na subglaciální sopky či další jezera nebo jezerní pánev v Antarktídě má řadu geoaplikací, což jsme již dříve vyzkoušeli s jedním zahraničním geofyzikem nebo geomorfologem. Nyní ji testujeme na vytipování nových míst, kde by mohla být ropa nebo zemní či břídlcový plyn, popřípadě voda, v odlehklých oblastech.

■ JŽ: *Děkuji vám za znamenitý rozhovor a poutavé informace ze zajímavé vědní oblasti.*

JK: Děkuji za možnost oslovit vaše zvědavé čtenáře. [www.asu.cas.cz/~jklocojn]