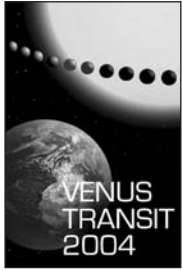


# Venus Transit 2004

## – výsledky merania astronomickej jednotky



### Úvod

Ťažisko projektu Venus Transit 2004 ([www.vt-2004.org](http://www.vt-2004.org)) spočívalo v meraní časov štyroch kontaktov okraja Venuše s limбом Slnka. Pozorovania bolo treba zaslať do 10. júla 2004 do Inštitútu pre nebeskú mechaniku a výpočet efemeríd v Paríži (Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides, IMCCE), ktorý vykonal výpočet astronomickej jednotky a analýzu presnosti meraní. Dosiahnuté výsledky svedčia o tom, že väčšina pozorovateľov veľmi dbala, aby so svojimi pozorovacími prostriedkami dosiahli čo možno najvyššiu presnosť. IMCCE uplatnilo isté výberové kritériá na pozorovacie dáta, na základe ktorých bola ďalej vypočítaná vzdialenosť Zeme od Slnka, a to pomocou štyroch rôznych metód. Teda aká je finálna hodnota astronomickej jednotky vzdialenosti? A aká je presnosť meraní, ktoré boli použité pri jej výpočte? Je možné výsledok získaný počas pozorovacej kampane Venus Transit 2004 porovnať s výsledkami dosiahnutými v minulosti? Odpovede na tieto otázky sú uvedené v tomto článku, ktorý je podrobnou rekapituláciou výsledkov merania vzdialenosti Zeme od Slnka získanými vďaka spoločnému úsilíu všetkých pozorovateľov prechodu Venuše cez disk Slnka 8. júna 2004.

### Štatistika pozorovaní

Na obrázku 1 je snímka získaná satelitom METEOSAT 7, zachytávajúca stav oblačnosti nad Európou 8. júna 2004 približne o 11:00 UT, pričom tretí kontakt Venuše nastal v strednej Európe približne o 11:03 UT. Polohu Slovenska je možné identifikovať pomocou výrazného krížika v pravej hornej časti zodpovedajúcemu geografickým súradniciam  $\varphi = 50^\circ\text{N}$  a  $\lambda = 20^\circ\text{E}$ , čo je miesto na území Poľska neďaleko severnej hranice Slovenska (obrázok 1 v článku Ako zmerať vzdialenosť Zeme od Slnka pozorovateľia na Slovensku). Ako vidieť z tejto meteorologickej snímky, počasie pozorovateľom prišlo na väčšine územia Európy. Aj vďaka tomu bola podstatná časť pozorovaní získaná v Európe (4215). Menší počet pozorovaní pochádza z Ázie (186), Severnej a Južnej Ameriky (63), Afriky (63) a Austrálie (23). V tabuľke 1 je uvedený celkový počet meraní kontaktov T1, T2, T3 a T4 získaných na jednotlivých kontinentoch, pričom 1510 registrovaných pozorovateľov zaslalo do centrálnej databázy IMCCE celkovo 4550 meraní kontaktov. Polohu a rozloženie všetkých registrovaných skupín pozorovateľov (2763) v rámci celej Zeme a v rámci Európy (2427) znázorňujú obrázky 2 a 3.

Na tomto mieste treba uviesť, že z hľadiska merania astronomickej jednotky (ďalej len AU) nebola geografická distribúcia pozorovateľov optimálna, t. j. s ohľadom na najväčšiu možnú paralaxu (uhol: pozorovacie stanovište – Slnko – stred Zem). Preto Delisleho a Halleyho metóda nie sú práve najvhodnejšími pre získaný súbor dát. Tabuľka 1 sumarizuje všetky pozorovania, ktoré obsahuje databáza IMCCE, vrátane chybných položiek. Napríklad pozorovania kontaktov T1 a T2 oznámené

z Ameriky sú evidentne chybné, nakoľko tieto kontakty odtiaľ neboli vôbec pozorovateľné. V niektorých prípadoch pozorovania zodpovedajúce istému kontaktu boli v protokoloch chybné uvedené do kolónky patriacej inému kontaktu.

Preto bolo treba pred finálnym výpočtom databázu pozorovaní vyčistiť od podobných prípadov. Po tomto kroku zostalo v databáze celkovo 4367 pozorovaní od 1440 pozorovateľov. Navyše jednotlivé metódy výpočtu AU si vyžadovali aplikáciu istých výberových kritérií na pozorovacie dáta použité pri výpočte.

Počet pozorovaní	T1	T2	T3	T4	Celkom
<b>Európa</b>	676	1105	1297	1137	4215
<b>Ázia</b>	35	59	60	32	186
<b>Afrika</b>	8	14	21	20	63
<b>Amerika</b>	3	3	30	27	63
<b>Austrália</b>	9	14	0	0	23
<b>Celkom</b>	731	1195	1408	1216	4550

Tabuľka 1: Štatistika všetkých pozorovaní kontaktov na jednotlivých kontinentoch zaznamenaných v databáze IMCCE.

### Výsledky výpočtov

Výpočet AU prebehol jednak modernými metódami, ktoré poskytuje internet a súčasná výpočtová technika, a jednak staršími metódami používanými v minulosti. V tabuľke 2 sú výsledky dosiahnuté jednotlivými metódami, ktoré sú stručne charakterizované v ďalšom texte. Zároveň je v ňom uvedená aj analýza získaných výsledkov a porovnanie so súčasnou „presnou“ hodnotou AU, ktorá má podľa radarových pozorovaní hodnotu: 149 597 871 km. V poslednom stĺpci tabuľky 2 sú v zátvorkách uvedené aj percentuálne odchýlky vypočítaných AU voči „presnej“ AU.

#### 1. On-line výpočet v reálnom čase

Už počas vlastného prechodu Venuše 8. júna 2004 boli spracovateľským centrom v IMCCE prijaté a vyhodnocované merania času kontaktov. Výsledky výpočtu AU (obrázok 4) boli okamžite prezentované na centrálnej www stránke projektu,

príčom uvedený obrázok bol priebežne aktualizovaný až do 10. júla 2004, dokedy bolo potrebné odoslať pozorovania. Pre každé korektné pozorovanie bola hodnota AU vypočítaná riešením úlohy: Akú hodnotu by mala mať AU, aby rozdiel medzi pozorovaným  $t_0$  a teoretickým  $t_c$  časom kontaktu pre dané miesto bol minimálny? Po doručení ďalších pozorovaní bola výsledná AU určená ako jednoduchý priemer z AU vypočítaných pre jednotlivé pozorovania. Algoritmus výpočtu predpokladal, že je známy pomer vzdialeností Venuša-Zem-Slnko a výpočet bol vykonaný iba pre merania, pri ktorých bol rozdiel medzi pozorovaným  $t_0$  a teoretickým  $t_c$  časom kontaktu menší ako 30 min.

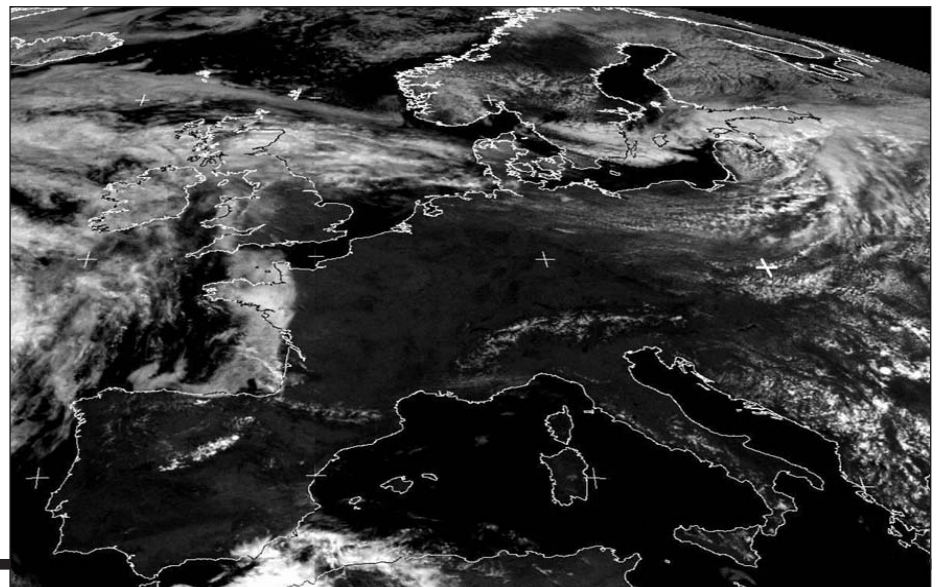
#### 2. Výpočet zo všetkých pozorovaní

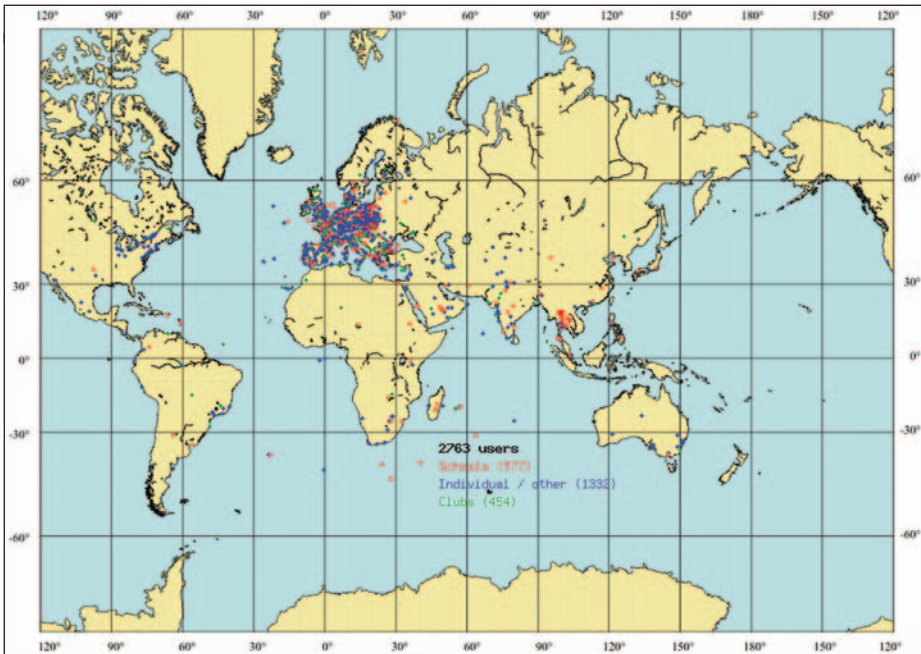
Uplatnenie druhej metódy bolo možné až po skompletizovaní databázy všetkých pozorovaní po 10. júli 2004, t. j. keď bolo možné využiť súčasne všetky pozorovania. Algoritmus výpočtu bol iteratívny a prebiehal takto: Na základe zvolenej predpokladanej hodnoty AU boli vypočítané predpovede časov kontaktov  $t_c$  pre všetky pozorovacie miesta, z ktorých boli do databázy doručené pozorovania. Pozorované časy  $t_0$ , ktoré sa od predpovede  $t_c$  líšia o zvolený časový interval sú z ďalšieho výpočtu vylúčené. Zostávajúce pozorovania sú použité pre výpočet novej hodnoty AU, ktorá je použitá pre výpočet nových predpovedí v nasledujúcom cykle. Táto iterácia konverguje k finálnej hodnote AU bez ohľadu na počiatočnú hodnotu AU (rozumne zvolenú). Počas výpočtu sa ukázal zaujímavý fakt. Ak bola použitá ako štartovacia AU „presná“ hodnota AU známa z radarových pozorovaní, algoritmus skonvergoval k hodnote AU veľmi blízkej „presnej“ AU už po jednej iterácii. Toto svedčí o vysokej kvalite pozorovacieho materiálu. Výpočet prebehol dvakrát za rôznych podmienok:

##### a) Podmienka 1

Pozorované časy kontaktov  $t_0$ , ktoré sa od teoretických predpovedí  $t_c$  líšia o viac ako  $\pm 8$  sekúnd, nie sú do ďalšieho výpočtu zahrnuté. Výsledky získané z pozorovaní druhého T2 a tretieho T3 kontaktu, ako aj všetkých pozorovaní sú uvedené v tabuľke 2 v riadkoch 2, 3 a 4. Výsledok v riadku 5 bol získaný tak, že pozorovania boli váhované v závislosti od veľkosti paralaxy zodpovedajúcej danému pozorovaciemu miestu.

Obrázok 1: Snímka zo satelitu METEOSAT 7 vo vizuálnej oblasti 8. júna 2004 o 11:00 UT. (Copyright © 2004 – 2005 Eumetsat.)





Obrázok 2: Celosvetovo bolo v projekte Venus Transit 2004 registrovaných 2763 účastníkov, z čoho bolo 977 škôl, 1332 individuálnych účastníkov a 454 klubov.

**b) Podmienka 2**

Pozorované časy kontaktov  $t_0$ , ktoré sa od teoretických predpovedí  $t_c$  líšia o viac ako  $\pm 4$  sekundy, nie sú do ďalšieho výpočtu zahrnuté. Výsledok získaný z pozorovaní všetkých kontaktov je v tabuľke 2 uvedený v riadku 6.

**Analýza výsledkov**

- Obvykle je za najlepší výsledok pokladaná hodnota s najmenšou neistotou. V tomto prípade k takémuto výsledku viedla podmienka 2. Zároveň je aj malý rozdiel medzi vypočítanou a „presnou“ hodnotou AU, ktorý je približne 11 000 km.
- Najmenší rozdiel medzi vypočítanou a „presnou“ hodnotou AU bol získaný z pozorovaní druhého kontaktu (tabuľka 2, riadok 2). Dôvodom je pomerne veľká hodnota paralaxy pre európskych pozorovateľov v čase druhého kontaktu, ktorý nastal skoro ráno, kedy bolo Slnko nízko nad horizontom. Práve vtedy je uhol pozorovateľ-Slnko-stred Zeme blízko svojej maximálnej hodnoty (uhol je najväčší pri východe resp. západe

Slnka). Avšak súvisiace sťažené pozorovacie podmienky (horší seeing blízko horizontu, ktorý rozmazáva obraz) sa prejavili v pomerne vysokej hodnote neistoty výsledku  $\pm 108\,359$  km, ktorá je o rád vyššia ako pri uplatnení podmienky 2 (tabuľka 2, riadok 6), no rozdiely medzi vypočítanými a „presnou“ hodnotou AU sú porovnateľné.

- Hoci výsledok z meraní tretieho kontaktu T3 (tabuľka 2, riadok 3) bol získaný z podstatne väčšieho počtu pozorovaní, ako výsledok z meraní druhého kontaktu T2 (tabuľka 2, riadok 2), jasne nie je lepší kvôli väčšej neistote a rozdielu voči „presnej“ AU. Dôvodom je veľká výška Slnka nad horizontom v čase tretieho kontaktu T3 a jeho blízkosť k meridiánu pre európskych pozorovateľov. Tento fakt je príčinou nízkej hodnoty paralaxy pre európskych pozorovateľov, ktorých pozorovania v databáze prevládajú. Teda ani veľký počet presných pozorovaní z Európy nespresnil hodnotu AU.

Obrázok 3: V rámci Európy sa do projektu Venus Transit 2004 zaregistrovalo celkovo 2427 účastníkov, z čoho bolo 868 škôl, 1147 individuálnych účastníkov a 412 klubov.



Obrázok 4: Vývoj hodnoty AU získanej ako priemer jednotlivých AU vypočítaných on-line v reálnom čase od 8. júna do 10. júla 2004. Na ľavej osi y je rozdiel voči „presnej“ hodnote AU a na pravej osi y je neistota hodnoty AU v miliónoch km. Červená čiara predstavuje „presnú“ AU, zelené body reprezentujú hodnotu AU v danom čase a modré body neistotu AU.



- Výsledok sa zlepšil, ak sú pozorovania váhované v závislosti od polohy pozorovacieho miesta, t. j. podľa veľkosti paralaxy (tabuľka 2, riadok 5). Bohužiaľ, počet vhodne lokalizovaných pozorovacích stanovísk (napr. v Austrálii, na Sibíri...) bol nedostatočný na to, aby citeľne spresnil výsledok.

**Záver**

Finálny výsledok výpočtu zo všetkých pozorovaní bol získaný z pozorovaní, ktoré sa nelíšili od teoretickej predpovede o viac ako  $\pm 4$  sekundy, t. j. aplikáciou podmienky 2 (tabuľka 2, riadok 6). Eliminácia ďalších menej presných pozorovaní zužovaním časového intervalu pod  $\pm 4$  sekundy už nevedla k presnejšiemu výsledku, pretože príliš zredukovala počet použiteľných pozorovaní a ich rozdelenie už nebolo normálne, t. j. Gaussovské.

**3. Delisleho metóda**

Táto metóda využíva paralaxu zistenú z dvojice pozorovaní toho istého kontaktu z dvoch rôznych, dostatočne vzdialených pozorovacích stanovísk. Preto sú všetky pozorovania v databáze vhodne párované. Výsledky uvedené v tabuľke 2 boli získané aplikáciou podmienky 1, t. j. vo výpočte boli uvažované všetky pozorovania  $t_0$ , ktoré sa nelíšili od predpovede  $t_c$  o viac ako  $\pm 8$  sekúnd. Aj v tomto prípade bol algoritmus výpočtu iteratívny, predpokladajúc istú počiatočnú hodnotu AU. Výpočet skonvergoval k riešeniu po niekoľkých iteráciách, pričom ak bola za počiatočnú vzatá „presná“ AU, nebola potrebná ani jedna iterácia.

**Analýza výsledkov**

- Prvý kontakt T1 bol pozorovaný v Austrálii s dostatočnou presnosťou iba na jednom stanovíšti, vďaka čomu je rozdiel vypočítanej a „presnej“ AU veľmi malý (tabuľka 2, riadok 7). Avšak kvôli silnej vzájomnej korelácii medzi jednotlivými kombináciami pozorovacích miest je neistota výsledku viac ako milión kilometrov.
- Výsledok získaný z pozorovaní druhého kontaktu T2 je podstatne lepší (tabuľka 2, riadok 8), pretože paralaxa bola pre väčšinu pozorovacích miest dostatočne veľká.
- Výsledok získaný z tretieho kontaktu T3 je markantne horší ako výsledok z T2. Pre väčšinu pozorovacích miest bola paralaxa malá, pretože Slnko bolo v čase tretieho kontaktu blízko

	Metóda výpočtu	Výberová podmienka	Kontakt	Počet pozorovaní	Vypočítaná hodnota AU a jej neistota	Rozdiel voči „presnej“ hodnote AU
1	On-line výpočet v reálnom čase	$t_0 - t_c < \pm 30 \text{ min}$	všetky	4367	149 529 684 km $\pm 55 059 \text{ km}$	- 68 186 km (- 0,045 %)
2	Všetky pozorovania	$t_0 - t_c \leq \pm 8 \text{ s}$	T2	262	149 590 268 km $\pm 108 359 \text{ km}$	- 7602 km (- 0,005 %)
3			T3	421	149 226 725 km $\pm 324 822 \text{ km}$	- 371 145 km (- 0,25 %)
4			všetky	1066	149 421 803 km $\pm 252 081 \text{ km}$	- 176 067 km (- 0,12 %)
5			všetky (váhované)	1066	149 507 347 km $\pm 173 437 \text{ km}$	- 90 523 km (- 0,06 %)
6			$t_0 - t_c \leq \pm 4 \text{ s}$	všetky	583	<b>149 608 708 km <math>\pm 11 835 \text{ km}</math></b>
7	Delisleho metóda	$t_0 - t_c \leq \pm 8 \text{ s}$	T1	103 dvojíc	149 593 369 km $\pm 1 308 668 \text{ km}$	- 4501 km (- 0,003 %)
8			T2	1531 dvojíc	149 604 208 km $\pm 535 661 \text{ km}$	+ 6338 km (+ 0,004 %)
9			T3	1979 dvojíc	150 623 168 km $\pm 423 861 \text{ km}$	+ 1 025 298 km (+ 0,68 %)
10			T4	773 dvojíc	148 904 105 km $\pm 534 664 \text{ km}$	- 693 765 km (- 0,46 %)
11			všetky	4386 dvojíc	149 840 958 km $\pm 310 577 \text{ km}$	+ 243 088 km (+ 0,16 %)

Tabuľka 2: Výsledky výpočtov AU získaných na základe meraní získaných počas kampane Venus Transit 2004.

meridiánu, ako bolo povedané skôr pri analýze nepresnosti výsledku získaného z T3 v predchádzajúcej metóde. Aj preto „presná“ AU neleží v rámci intervalu neistoty okolo výslednej AU (tabuľka 2, riadok 9). Uvedené argumenty platia aj pre výsledok získaný z pozorovaní štvrtého kontaktu T4 (tabuľka 2, riadok 10).

**Záver**

Neistota výsledku výrazne poklesne, ak sú skombinované pozorovania všetkých kontaktov. Preto za finálny výsledok získaný z pozorovaní štvrtého kontaktu T4 (tabuľka 2, riadok 10).

**4. Halleyova metóda**

Halleyova metóda je založená na meraní trvania prechodu z niekoľkých geograficky vhodne umiestnených pozorovacích miest, t.j. miest, z ktorých sa trvanie prechodu líši v maximálnej možnej miere. Veľkou výhodou tejto metódy je, že nevyžaduje,

aby zdroj času bol presne zosynchronizovaný so svetovým časom. Toto bolo dôležité počas pozorovaní prechodov v minulosti, keď udržanie presného chodu hodín počas dlhotrvajúcich ciest bolo veľkým problémom. Problém však spočíva v nevyhnutnosti pozorovať začiatok aj koniec prechodu. Táto podmienka redukuje počet pozorovacích miest iba na tie, z ktorých sú pozorovateľné všetky kontakty. Tým sa však úspech celého pozorovania stáva veľmi závislý na priazni počasia.

Počas prechodu 8. júna 2004 hlavne vďaka priaznivému počasiu v Európe okolo 2000 pozorovateľov bolo svedkami začiatku aj konca prechodu. Vyše 1500 pozorovateľov zaslalo výsledky svojho pozorovania, avšak väčšina z nich pochádzala z Európy, a teda boli geograficky vzájomne príliš blízko. Halleyova metóda však vyžaduje, aby bol rozptýlený pozorovacích miest čo možno najväčší. V skutočnosti iba pozorovania z desiatich miest splnili tú-

to požiadavku. Ich presnosť však ďaleko zaostávala za požadovanou presnosťou, ktorá by viedla k prijateľnej hodnote AU.

Výhody Halleyho metódy možno naplno využiť napríklad vtedy, keď je prechod najlepšie pozorovateľný zo Severnej a Južnej Ameriky. V tomto prípade je možné nájsť optimálne lokalizované pozorovacie miesta, medzi ktorými je dĺžka severojužného oblúka čo možno najväčšia. V roku 2004 najpriaznivejšie zemepisné dĺžky prechádzali cez Sibir a Indický oceán. Čo nebolo priaznivé pre použitie Halleyho metódy.

**Polomer Slnka a Venuše**

Vo výpočte je možné považovať AU za známy parameter a zaviesť ako neznáme parametre polomer Slnka a Venuše, ktoré budú určené na základe meraní času kontaktov. V takomto výpočte bolo použitých 1066 najlepších pozorovaní a výsledky

**Ako zmerali vzdialenosť Zeme od Slnka pozorovatelia na Slovensku**

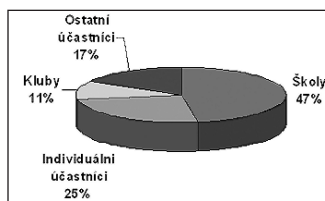
Prechod Venuše cez disk Slnka 8. júna bol jedinečnou príležitosťou nielen z vedeckého, ale aj didaktického hľadiska. Predovšetkým hlavné cieľové skupiny projektu Venus Transit 2004 (ďalej VT2004), ktorými boli žiaci, študenti a učitelia, si tak mohli vyskúšať jednu z metód, ktorou astronómia získava informácie o vesmíre. Zároveň sa mohli spolupodieľať aj na opätovnom premeraní vzdialenosti Zeme od Slnka, čo ešte viac umocnilo platnosť pedagogického pravidla: *Experientia est optima rerum magistra* (Skúsenosť je najlepší učiteľ).

O štatistickom vyhodnotení projektu sme informovali v Kozmose 4/2004 v článku na str. 30. Údaje použité v uvedenom článku pochádzali zo stránky [www.astro.sk/](http://www.astro.sk/)

VENUS-TRANSIT-2004/ucastnici.html (ďalej ako slovenská centrálna stránka). Samozrejme, zaujímalo nás, koľko účastníkov zo Slovenska sa zaregistrovalo aj na ústrednej stránke celého projektu, ktorú spravovalo ESO (European Southern Observatory) a koľkí z nich aj zaslali svoje pozorovania do spracovateľského centra v IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides). Preto sme oslovili organizátorov projektu, aby nám tieto údaje poskytli aj s hodnotou astronomickej jednotky AU, ktorú by bolo možné určiť spojením všetkých pozorovaní získaných z územia Slovenska. Na našu žiadosť reagoval W. Thuillot z IMCCE, ktorý nám zaslal dáta uvedené v tabuľke 1 a v grafe 1.

	Počet (%)
školy	85 (47 %)
individuálni účastníci	45 (25 %)
kluby	19 (11 %)
ostatní účastníci	30 (17 %)

Tabuľka 1: Počty účastníkov projektu VT 2004 zaregistrovaných zo Slovenska v databáze IMCCE.



Graf 1: Percentuálne zastúpenie slovenských účastníkov VT 2004 v databáze IMCCE podľa tabuľky 1.

Z rovnakého zdroja sme získali informácie aj o počtoch meraní časov kontaktov, ktoré boli do spracovateľského centra v IMCCE doručené po 8. júne 2004. Celkovo 125 individuálnych pozorovateľov zaslalo svoje pozorovania, pričom počty pozorovaní jednotlivých kontaktov sú zhrnuté v tabuľke 2.

kontakt	počet
T1	38
T2	123
T3	106
T4	41

Tabuľka 2: Počty pozorovaní kontaktov doručených do IMCCE zo Slovenska.

sú uvedené v *tabulke 3*. Ako naznačujú údaje v *tabulke 3*, hoci sú neistoty výsledkov pomerne veľké, výpočet viedol k polomerom, ktoré sa len málo líšia od hodnôt považovaných za „presné“.

	Vypočítaný polomer a neistota	Rozdiel voči „presnej“ hodnote
<b>Slnko</b>	695 980,7 km ± 806 km	8,6 km
<b>Venuša</b>	6 052,3 km ± 7,0 km	0,5 km

Tabulka 3: Polomery Slnka a Venuše určené z meraní časov kontaktov za predpokladu, že vzdialenosť Zeme od Slnka je známa.

### Porovnanie hodnôt AU určených v minulosti a v roku 2004

V *tabulke 4* je prehľad hodnôt AU v rôznych historických obdobiach, ktoré boli získané pozorovaniami prechodu Venuše. V *tabulke* nie sú uvedené AU určené inými metódami, napr. z pozorovania paralaxy Marsu, ktoré vykonali Giovanni Domenico Cassini a Jean Richter v roku 1672. Aj v tomto prípade sú jednotlivé hodnoty porovnané s „presnou“ AU určenou z radarových pozorovaní, ktorá má hodnotu 149 597 871 km. V poslednom stĺpci *tabulky 2* sú v zátvorkách uvedené aj percentuálne odchýlky vypočítaných AU voči „presnej“ AU.

Za zmienku stojí fakt, že hoci v minulých storočiach bolo získaných pozorovaním prechodov len pomerne málo meraní času kontaktov (*tabulka 5*), iba 10 až 30 najlepších bolo použitých pri výpočte AU v závislosti od autorov pozorovaní. Neistoty uvedené pri vypočítaných AU v *tabulke 4* sú len odhadnuté, nakoľko v čase, keď boli tieto výsledky získané, nebola ešte vypracovaná teória chýb. Tá vznikla až začiatkom 20. storočia. Všetky výpočty z minulosti prijali za polomer Zeme hodnotu 6 378,14 km.

### Analýza výsledkov

- Do 18. storočia bola AU, a teda vzdialenosť k Slnku silne podhodnotená.
- Situácia sa výrazne zmenila po roku 1769 (*tabulka 4*, riadok 3). Naviac prepočítanie výsledkov pozorovaní z rokov 1761 a 1769 Newcombom v roku 1890 po oprave zemepisných dĺžok, ktoré použil v 18. storočí Pingré a ďalší, viedlo

k zásadnému spresneniu hodnoty AU (*tabulka 4*, riadok 4). Túto hodnotu nezmenili pozorovania z 19. storočia, ktoré prispeli len k zmenšeniu chýb (*tabulka 4*, riadok 5).

- Chyby sa s časom znižujú, čo je zrejme dôsledok technologického pokroku.

Výsledok z prvého prechodu v 21. storočí je jasne najlepší (v zmysle chyby), napriek pomerne malej skúsenosti väčšiny pozorovateľov a náhodnému rozloženiu pozorovacích miest. Dalo by sa povedať, že tento úspech bol dosiahnutý hlavne vďaka:

- použitiu GPS a presných máp pri určení geografickej polohy pozorovacích miest,
- dostupnosti presného svetového času pre všetkých pozorovateľov,
- kvalitnej optike teleskopov redukujúcej nepriaznivý vplyv napr. efektu čiernej kvapky,
- možnosti získať veľmi kvalitné snímky pomocou CCD a videokamier s krátkymi expozičnými časmi,
- dostupnosti softvéru umožňujúceho po spracovaní snímok lepšiu definíciu okamihu kontaktov, a teda objektivizovať meranie času kontaktu.

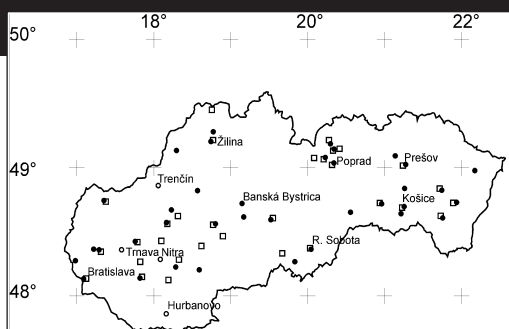
Výsledky merania AU v rámci projektu Venus Transit 2004 možno zhrnúť nasledujúcim spôsobom. Aj keby AU nebola známa pred rokom 2004, spojeným úsilím všetkých pozorovateľov zapojených do kampane VT2004 by sa ju podarilo zmerať s presnosťou na stotinu percenta (*tabulka 2*, riadok 6). Právom patrí za to vďaka všetkým pozorovateľom, ktorí prispeli k tomuto spoločnému úspechu.

Rok	1761	1769	1874	1882	2004
Počet meraní	100	120	71	85	4550

Tabulka 5: Počet meraní času kontaktov získaných pozorovaniami prechodov Venuše

Rok prechodu	Autor výpočtov (v roku)	Vypočítaná hodnota AU a jej neistota	Rozdiel voči „presnej“ hodnote AU
1	1639	Horrocks	94 000 000 km – 55 597 870 km (– 37 %)
2	1761	Pingré a Short	138 540 000 km ± 14 400 000 km – 11 057 871 km (– 7,4 %)
3	1761 a 1769	Lalande a Pingré	151 000 000 km ± 1 500 000 km + 1 402 129 km (+ 0,94 %)
4	1761 a 1769	Newcomb (1890)	149 670 000 km ± 850 000 km + 72 129 km (+ 0,05 %)
5	1874 a 1882	Newcomb (1890)	149 670 000 km ± 330 000 km + 72 129 km (+ 0,05 %)
6	2004	projekt VT-2004	149 608 708 km ± 11 835 km + 10 838 km (+ 0,007 %)

Tabulka 4: Hodnoty AU vypočítané z pozorovaní prechodov Venuše v rôznych historických obdobiach.



Obrázok 1: Mapa miest, z ktorých boli do databázy IMCCE doručené merania času kontaktov (plné krúžky), a z ktorých boli do AsÚ SAV Tatranská Lomnica zaslané protokoly o pozorovaní (štvorčeky).

(Autor: J. Gerboš)

Výpočet ukázal, že podľa pozorovaní získaných zo Slovenska je vzdialenosť Zeme od Slnka

**149 381 183 km.**

Táto hodnota si líši od „presnej“ AU získanej z radarových pozorovaní o –216 688 km, t.j. odchýlka

predstavuje –0,14 %. Polohu miest, na ktorých boli merané časy kontaktov, znázorňuje mapa na *obrázku 1*. Mapa bola vytvorená na základe geografických súradníc pozorovacích miest prístupných na adrese [http://www.imcce.fr/hosted\\_sites/vt2004i/Index.php](http://www.imcce.fr/hosted_sites/vt2004i/Index.php) v odkaze „Access

to the database of the timings“ a na základe pozorovacích protokolov doručených do Astronomického ústavu SAV v Tatranskej Lomnici (ďalej len AsÚ SAV). Aj keď správcovia databázy IMCCE zaviedli jednoduchšiu klasifikáciu účastníkov, porovnanie údajov v *tabulke 1* a v *tabulke 3* uvedenej v spomenutom článku v *Kozmose 4/2004* na str. 30 naznačuje isté rozdiely v počtoch účastníkov registrovaných v databáze IMCCE a na slovenskej centrálnej stránke. Do úvahy prichádzajú tri možné príčiny týchto rozdielov: 1. Niektoré organizácie zo Slovenska sa v databáze IMCCE zaregistrovali viackrát. Napr. z jednej školy, hviezdárne alebo klubu bolo zaslaných niekoľko pozorovaní, a da-

### Ako ďalej počas VT2012

Všetky skúsenosti získané v tomto pilotnom projekte VT2004 bude možné naplno využívať počas príprav pozorovacej kampane nasledujúceho prechodu Venuše v roku 2012. Hlavný dôraz bude kladený na:

- získanie pozorovateľov z oblastí s veľkou paralaxou, čím sa zlepšia predpoklady pre úspešnejšie použitie Delisleho a Halleyho metódy, ako to bolo v roku 2004,
- špecifikovanie výberových podmienok určených na selekciu pozorovaní, z ktorých bude počítaná AU v reálnom čase. To bude možné vďaka poznatkom o presnosti pozorovaní z roku 2004. Potom nebude treba zavádzať vo výpočtových algoritmoch obmedzujúce podmienky, ako to bolo v roku 2004, a tak bude možné stanoviť skutočnú presnosť individuálnych pozorovaní.

### POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

Autor článku čerpal z materiálu publikovaného na www stránke projektu Venus Transit 2004:

Extended Summary of the Analysis of the Contact Timing Observations

[http://www.vt-2004.org/auresults/au-2\\_pf.html](http://www.vt-2004.org/auresults/au-2_pf.html)

Zostrúčenou podobou tohoto materiálu je dokument:

Brief Summary of the VT-2004 Determination of the AU

[http://www.vt-2004.org/auresults/index\\_pf.html](http://www.vt-2004.org/auresults/index_pf.html)

Podrobnejšia charakteristika on-line metódy výpočtu v reálnom čase a metódy založenej na všetkých pozorovaniach je uvedená v materiáloch:

Explanatory Note No. 1: The On-Line Calculation of the AU

<http://www.vt-2004.org/auresults/au-3a.pdf>

Explanatory Note No. 2: Calculation of the AU by means of the Entire Data Set

<http://www.vt-2004.org/auresults/au-3b.pdf>

**JÚLIUS KOZA**  
Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica

Pokračovanie na 32. strane

# Ako zmerali vzdialenosť Zeme od Slnka pozorovatelia na Slovensku

Dokončenie z 31. strany

## Výzva pozorovateľom

Ako vidieť aj z obrázku 1, niektorí pozorovatelia zaslali svoje pozorovania iba do databázy IMCCE, a neposkytli ich aj AsÚ SAV. Tiež nie je možné celkom vylúčiť, že niektoré pozorovania neboli zaslané ani na jedno z uvedených miest. Pretože prechod Venuše je mimoriadne vzácny úkaz, je našou úlohou archivovať všetky jeho pozorovania tak, aby boli v budúcnosti dostupné pre ďalšiu odbornú analýzu.

Vyzývame preto všetkých pozorovateľov, aby nám svoje merania kontaktov Venuše z 8. júna 2004 poslali čo najskôr, a tak prispeli kú kompletizácii práce vznikajúcej slovenskej databázy pozorovaní. Pochopiteľne, táto výzva sa netýka tých pozorovateľov, ktorí už protokol do AsÚ SAV zaslali skôr, a to buď elektronicky, alebo poštou. Výsledky zašlite na pozorovacom protokole, ktorý bol publikovaný v zborníku Venus Transit 2004 na stranách 42 a 43. Protokol nájdete aj na adrese: <http://www.ta3.sk/VENUS-TRANSIT-2004/zbornik.html> v príspevku Ing. J. Gerboša (Pozíčné merania a metóda pozorovania prechodu Venuše) na stranách 45 a 46 pdf súboru (419 k). Kompletne vyplnený protokol pošlite poštou na adresu: Július Koza, Astronomický ústav SAV, 059 60 Tatranská Lomnica, a na obálku uveďte: Venus Transit 2004. Nezapudnite do protokolu uviesť aj vašu e-mailovú adresu. Protokol môžete prípadne poslať aj e-mailom na adresu: [koza@astro.sk](mailto:koza@astro.sk), kde ako predmet e-mailu uveďte Venus Transit 2004. V prípade, ak nemáte pozorovací protokol alebo prístup k internetu a chceli by ste svoje pozorovania poskytnúť, spojte sa s nami prostredníctvom telefónneho čísla AsÚ SAV: 052 / 44 67 866 (J. Koza).

## Zoznam účastníkov zapojených do projektu Venus Transit 2004

(stav k 18. 6. 2004 podľa slovenskej centrálnej stránky)

### Základné školy

ZŠ Jarná 13, Poprad; ZŠ Spišských Štiavnik; ZŠ Rybany; ZŠ s materskou školou, ul. 29. augusta, Poprad; ZŠ Lichardova 24, Žilina; ZŠ Školská 1, Filakovo; ZŠ Š. Mnoheľa, Poprad; ZŠ kpt. J. Nálepku, Stupava; ZŠ, Gymnaziálna ul., Kláštor pod Znievom; ZŠ

Ul. mieru 134, Svit; ZŠ Lietavská Lúčka; 1. ZŠ Levice; ZŠ park Angelinum, Košice; ZŠ Dneperská 1, Košice; 1. ZŠ Hriňová; ZŠ sv. Cyrila a Metoda, Košice; ZŠ Sačurov; ZŠ Ondreja Štefku, Varín; 1. ZŠ, ul. Francisciho, Poprad; ZŠ, ul. Dr. Jánskeho, Žiar nad Hronom; ZŠ pre sluchovo postihnutých a pre žiakov s poruchami reči, Lučenec; ZŠ Tekovská Breznica; ZŠ, ul. Tajovského 17, Poprad; ZŠ, ul. M. R. Štefánika, Trebišov; ZŠ Pavla Horova, Michalovce; ZŠ, ul. Kežmarská 28, Košice; ZŠ, ul. Komen-ského 1962/8, Trebišov; ZŠ a MŠ Čierne-Vyšný koniec; ZŠ, ul. Komen-ského 1961/6, Trebišov; ZŠ, ul. Družicová, Košice; ZŠ, ul. Š. Moyzesa, Žiar nad Hronom; ZŠ Hliník nad Hronom; ZŠ J. Zemana, Nová Baňa; ZŠ M. Hella, Štiavnické Bane; ZŠ, ul. Kežmarská 30, Košice; ZŠ Čierne-Ústredie; ZŠ, nám. Š. Moyzesa 14, Banská Bystrica; ZŠ a MŠ Dráhovce; ZŠ, ul. Budatínska, Bratislava; IV. ZŠ, ul. Karpatská, Svidník.

### Gymnaziá

Gymnázium Senica; Gymnázium, Poštová 9, Košice; Súkromné gymnázium, Prešov; Gymnázium Žiar nad Hronom; Gymnázium Sabinov; Gymnázium Rimavská Sobota; Gymnázium s VJM Šahy; Gymnázium V. P. Tótha, Martin; Gymnázium P. O. Hviezdoslava, Kežmarok; Gymnázium A. Kmeta; Banská Štiavnica; Gymnázium Sereď; Gymnázium, Šrobárova 1, Košice; Gymnázium Hlohovec; Gymnázium, ul. D. Tatarku, Poprad; Gymnázium Topoľčany; Gymnázium, Opatovská 7, Košice; Piaristické gymnázium J. Branceckého, Trenčín.

### Stredné odborné školy

SOU elektrotechnické, Poprad-Matejovce; SOU elektrotechnické, Vrábľa; SOU Medzev; SOU strojárské, Rimavská Sobota; Združená stredná škola, Dr. Jánskeho 10, Žiar nad Hronom; SPŠ S. Mikovíniho, Banská Štiavnica; SPŠ, Mnoheľova 23, Poprad; SOU hutnícke a Gymnázium, Šaca; Združená stredná škola sklárska, Poltár; SOU stavebné, ul. Ostrovského 1, Košice; Stredná zdravotnícka škola, Poprad.

### Univerzity

Fakulta humanitných a prírodných vied Prešovskej univerzity, Prešov.

### Hvezdárne a planetária

Hvezdárne Rimavská Sobota; Hvezdárne a planetárium Hlohovec; Hvezdárne Sobotište; Hvezdárne Kysucké Nové Mesto; Hvezdárne Tre-

bišov; Krajská hvezdárne Banská Bystrica; Hvezdárne Partizánske; Hvezdárne a planetárium M. Hella, Žiar nad Hronom; Planetárium pri Slovenskom technickom múzeu, Košice; Astronomické observatórium Modra; Hvezdárne Medzev; Hvezdárne Žilina.

### Astronómovia-amatéri

P. Zuskáč, Žilina; L. Urbančok, Šíd; P. Delinčák, Zákopčie; I. Marhevský, Nová Ves nad Žitavou; P. Gič, Snina; R. Mikušinec, Poniky; I. Goreký, Poprad; J. Buliščák, Poprad; J. Vyrostek, Poprad; M. Gajdošík, Dubová; J. Šuchta, Svinica; I. Miškovičová, Košice; M. Luptovec, Raková; L. Šiška, Hrušovany; P. Travník, Žilina; J. Krajčovič, Svit; E. Macejka, Dolné Trhovište; R. Jánov, Lučenec; R. Lehotský, Bratislava; P. Onderčín, Belá nad Cirochou; M. Štrba, Trenčín; P. Otčenáš, Štrba; L. Křivonožka, Adamov, ČR; T. Szanislo, Banská Bystri-

ca; P. Žatko, Sliach; P. Kálnai, Levice; M. Vetrík, Košeca; J. Tkáčik, Sabinov; R. Lacko, Sabinov; M. Weis, Prievidza; J. Illa, Svinná; J. Fabuš, Stará Turá.

### Kluby

SZAA Rimavská Sobota; Astronomický klub A. Bečvářa, Púchov; Astronomický klub Bratislava; Astronomický kabinet Kunov; SZAA Snina; Astronomický klub Police nad Metují, ČR.

### Centrá voľného času

CVČ Domino, Košice; CVČ Cvrček, Kremnica; CVČ Šafa; CVČ Ahoj, Piešťany.

Okrem uvedených registrovaných účastníkov v projekte Venus Transit 2004 aktívne pracovali aj: Hvezdárne a planetárium Prešov; Hvezdárne Michalovce; P. Orolín, SZAA Žiar nad Hronom.

## Slovenské www stránky venované prechodu Venuše 8. júna 2004

Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica	<a href="http://www.astro.sk/VENUS-TRANSIT-2004/">www.astro.sk/VENUS-TRANSIT-2004/</a>
Slovenský zväz astronómov amatérov	<a href="http://www.venustransit.sk">www.venustransit.sk</a>
Gymnázium, Poštová 9, Košice	<a href="http://www.vt2004.unas.cz">www.vt2004.unas.cz</a>
Gymnázium, Šrobárova 1, Košice	<a href="http://www.srobarka.sk/rozne/mff/venus/index.html">www.srobarka.sk/rozne/mff/venus/index.html</a>
1. ZŠ, Hriňová	<a href="http://www.zshriňova.edu.sk/venus_transit_2004/venus.html">www.zshriňova.edu.sk/venus_transit_2004/venus.html</a>
Hvezdárne a planetárium Hlohovec	<a href="http://www.portcoeli.sk/vt/vt.html">www.portcoeli.sk/vt/vt.html</a>
Hvezdárne Sobotište	<a href="http://www.zssobotiste.edu.sk">www.zssobotiste.edu.sk</a>
Hvezdárne a planetárium Prešov	<a href="http://www.astropresov.sk/prechod_venusu.htm">www.astropresov.sk/prechod_venusu.htm</a>
Hvezdárne Partizánske	<a href="http://www.hvezdaren.sk/pozor/venus/venusu.htm">www.hvezdaren.sk/pozor/venus/venusu.htm</a>
Hvezdárne Michalovce	<a href="http://www.astromice.host.sk/sk/z_056sun.htm">www.astromice.host.sk/sk/z_056sun.htm</a>

O Projekte Príbeh Výsledky Dokumentácia Linky

## VENUS TRANSIT

V určitých časových intervaloch sa Venuša, Zem a Slnko dostávajú na jednu priamku a vtedy dochádza k zaujímavému úkazu – prechodu Venuše cez disk Slnka – VENUS TRANSIT. Prechody Venuše cez Slnko sa opakujú po 121,5 a 105,5 rokoch, pričom každý prechod je z pohľadu Zeme viditeľný po pritom. Od zistenia existencie celého vesmíru a zvlášť jeho útvarov už anglikán J. Kepler v roku 1631, 1639, 1761, 1784, 1858, 1894, 2004. Posledný menovaný vznikol možnosť sledovať 8.6. 2004. Najbližšie vzniknú v roku 2012 (6. júna), ale bude sledovateľná z menšej plochy povrchu ako tento posledný krát. Cieľom tohto projektu je nielen pozorovanie, ale aj vypočítanie presnej vzdialenosti Zeme od Slnka pomocou Úst. Astronómia na jednotku pomocou slnecnej paralaxy. To sa dá vypočítať pomocou zistených čísel. Každý účastník kontroly Venuše a Slnka. Merajú sa tieto 4 kontakty:

www.astro.sk

Obr. 2:

Stránku vytvoril Roman Hol, študent gymnázia na Poštovej 9 v Košiciach.

JÚLIUS KOZA, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica