



Úplné zatmenie Slnka 21. augusta 2017. Thorton, Idaho, USA. (Foto: J. Škvarka. Spracoval M. Harman)

Saros a jeho série

Saros je obdobie, po ktorom sa opakujú navzájom veľmi podobné zatmenia Slnka a aj Mesiaca. Túto zákonitosť poznali už Chaldejci v dobe niekoľko storočí pred našim letopočtom. O perióde saros sme už v *Kozmose* písali v čísle 3/1999. Jednoduchým pripočítavaním alebo odpočítavaním periódy saros sa tak ľahko dostávame k predpovedi budúcich (aj minulých) zatmení. Slnečné zatmenia, ktoré sú časovo oddelené periódou saros sú navzájom veľmi podobné a tvoria tzv. sériu. S danou sériou sa stretávame stovky rokov, no táto raz začala a nakoniec aj zanikne. Každá séria má zavedené jednoznačné číslo. Aj zatmenia Mesiaca vytvárajú série, sú tiež číslované, no ich čísla nesúvisia so sériami slnečných zatmení.

Budeme sa venovať najmä vývoju týchto skupín. Na úvod je potrebné stručne objasniť celý problém slnečných aj mesačných zatmení a samotnú podstatu periódy saros.

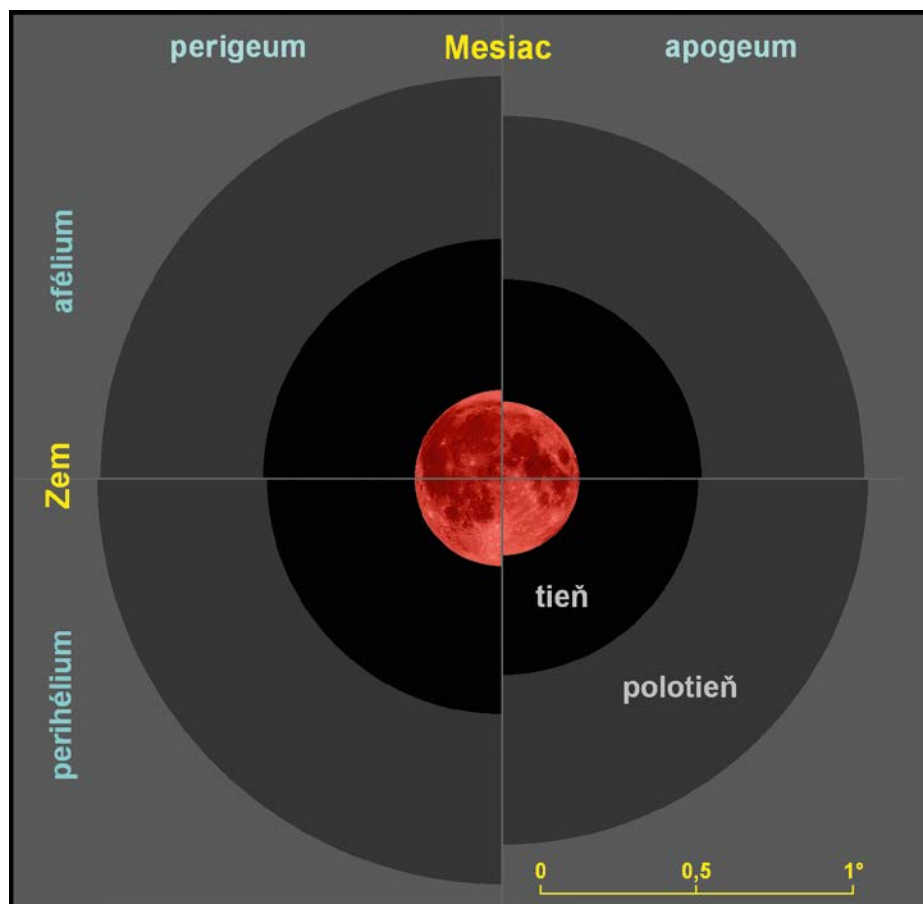
Najpôsobivejšie úkazy na oblohe

Zatmenia Slnka a Mesiaca patria k najpôsobivejším a v minulosti aj najdesivejším úkazom na oblohe. Vznikajú v dôsledku vzájomnej polohy Zeme, Slnka a Mesiaca a navzájom spolu úzko súvisia.

Slnečné zatmenia nastávajú, ak sa Mesiac dostane medzi Zem a Slnko. Podľa vzájomnej polohy Slnka a Mesiaca na oblohe a ich pomernej veľkosti počas úkazu delíme slnečné zatmenia na čiastočné, úplné a prstencové. Počas zatmenia Slnka musí byť Mesiac práve v nove. Naopak, ak je Mesiac v splne, môže sa dostať do tieňa Zeme a nastane tak zatmenie Mesiaca. Tieň, ktorý do priestoru vrhá Zem (aj Mesiac), nie je ostrý, pretože Slnko nie je bodový zdroj. Tieňom nazývame všetky miesta, ktoré nie sú priamo osvetľované Slnkom. Miesta, ktoré sú osvetľované len časťou Slnka (z nich by sme videli čiastočné zatmenie Slnka) nazývame polotieň. Uhlový rozmer zemského tieňa je vo vzdialenosti Mesiaca asi 2,6-krát väčší ako Mesiac a polotieň je väčší asi 4,6-násobne. Pomer veľkostí tieňa a polotieňa závisí na aktuálnej vzdialenosti Mesiaca a do istej miery aj Slnka od Zeme (obr. hore na strane 44). Podľa toho, či Mesiac prechádza tieňom Zeme celý, svojou časťou alebo prechádza len polotieňom, rozlišujeme zatmenia Mesiaca na úplné, čiastočné alebo polotieňové.

Zatmenia Slnka aj Mesiaca nastávajú pomerne často. Ak sa ale obmedzíme na pozorovanie z menšej oblasti zemského povrchu, zatmenia už nebudú takým bežným úkazom. Mesačné zatmenia možno pozorovať zo všet-

kých miest Zeme, v ktorých je Mesiac práve nad obzorom. Čiastočné zatmenie trvá aj niekoľko hodín a preto môžeme z daného miesta odpozorovať asi 60 % všetkých úkazov. Najťažšie sú pozorovateľné úplné zatmenia Slnka. Mesačný tieň, ktorý počas zatmenia dopadá na Zem, má na jej povrchu rozmer najviac asi 270 km. Táto hodnota sa mení v závislosti na vzdialenosti Mesiaca od Zeme ale aj od vzdialenosti Zeme od Slnka. Ak je v danom mieste Slnko v zenite, tieň je približne kruhový. Narastajúcou vzdialenosťou Slnka od zenitu sa tieň predlžuje do tvaru elipsy v azimute opačnom, ako má Slnko. Úplné zatmenie môžeme pozorovať len vo vnútri tieňa. V dôsledku pohybu Mesiaca okolo Zeme aj rotácie Zeme sa tieň pomerne rýchlo premiestňuje po zemskom povrchu a tak behom niekoľkých hodín prejde tisíce kilometrov. Myslenú plochu, ktorú na povrchu Zeme vykreslí, nazývame pás totality. Pozorovatelia mimo pásu totality sa nachádzajú v polotieni Mesiaca a vidia zatmenie ako čiastočné. Vzdáľovaním sa od pásu totality klesá veľkosť čiastočného zatmenia a v určitej vzdialenosti zatmenie nenastane vôbec. Úplné zatmenie začína v západnom bode pásu počas východu Slnka. V strede pásu sa pozoruje maximálna fáza zatmenia, Slnko sa tam dostáva najvyššie nad obzor a je



Uhlový rozmer Mesiaca, tieňa a polotieňa vzhľadom na rôzne vzdialenosti Zeme od Slnka a od Mesiaca.

tam aj najväčšia doba trvania úkazu. Zatmenie sa končí vo východnom bode pásu počas západu Slnka. Trvanie úplného zatmenia Slnka v jednom mieste je dané vzájomným pomerom zdanlivých uhlových rozmerov Slnka a Mesiaca. Úplné zatmenie Slnka v jednom mieste môže najviac trvať 7 minút a 40 sekúnd, väčšina zatmení však trvá oveľa menej, asi 1 – 4 minúty. Zatmenia, ktoré majú veľmi krátku dobu trvania v strede pásu totality sú po jeho stranách pozorované ako prstencové a vtedy hovoríme o hybridných zatmeniach.

Skupiny zatmení

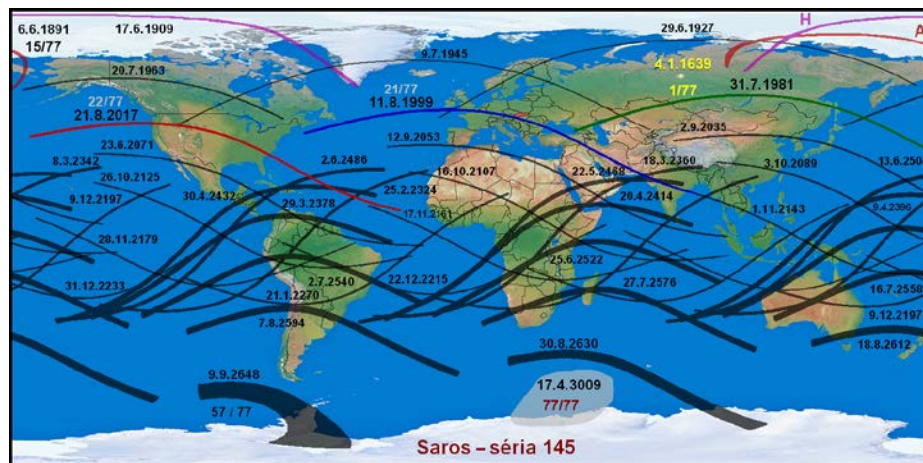
Zem obieha okolo Slnka v rovine, ktorú voláme rovina ekliptiky. Táto rovina pretína svetovú sféru v kružnici, ktorú nazývame ekliptika.

Po ekliptike sa v priebehu roka zdanlivo pohybuje Slnko. V dôsledku obehu Zeme sa pozdĺž ekliptiky posúva asi 1 stupeň za deň. Mesiak obieha okolo Zeme tak, že vzhľadom na hviezdne pozadie obehne raz za 27,3 dňa (siderická obežná doba) v tom istom smere ako sa zdanlivo pohybuje Slnko. Preto mu trvá asi 29,5 dňa (synodická obežná doba), kým sa na oblohe dostane znovu k Slnku. Takáto doba teda uplynie medzi dvomi po sebe nasledujúcimi novmi alebo splnmi. Ak by Mesiak obiehal okolo Zeme v rovine ekliptiky, potom by nastalo v každom jeho synodickom obehu jedno slnečné a jedno mesačné zatmenie. V skutočnosti je rovina obehu Mesiaca okolo Zeme sklonená k rovine ekliptiky asi o 5,1 stupňa a tak počas väčšiny novov pre-

de Mesiak povedľa slnečného disku a počas splnov mimo tieňa Zeme. Zatmenie nastane iba vtedy, keď sa Mesiak počas novu, či splnu dostane do blízkosti uzla svojej dráhy, teda do bodu, v ktorom jeho dráha pretína rovinu ekliptiky. Takéto body sú dva – výstupný a zostupný uzol. Priamka, na ktorej ležia sa volá uzlová priamka. Rovina obehu Mesiaca nie je v priestore stála, natáča sa s periódou asi 18,6 roka a takto sa natáča aj uzlová priamka. Mesiaku preto trvá asi 27,5 dňa kým prejde tým istým uzlom svojej dráhy (drakonická obežná doba). Aby mohlo nastať zatmenie Slnka či Mesiaca, Mesiak musí byť blízko jedného z uzlov so Slnkom. Z toho vyplýva, že Slnko tiež musí byť blízko jedného z uzlov mesačnej dráhy. Vznik zatmenia je podmienený vzdialenosťou Slnka od uzla dráhy Mesiaca. Ak sa Slnko dostane k uzlu bližšie ako asi 10 stupňov, musí nastať jeho úplné zatmenie. Ak je táto vzdialenosť od 10 do 18 stupňov, nastane čiastočné zatmenie. Pre zatmenia Mesiaca sú trochu prísnejšie kritériá. Ak je Slnko počas splnu asi do 10 stupňov od uzla, nastane čiastočné zatmenie a len keď je táto vzdialenosť menšia ako 5 stupňov, nastane úplné zatmenie Mesiaca. Keďže Slnko sa vzhľadom na uzly mesačnej dráhy pohybuje pomerne pomaly, podmienka býva splnená asi mesiac a preto zatmenia (striedavo slnečné a mesačné) nastávajú v skupinách s časovým odstupom asi 14 dní. Väčšinou po sebe nasledujú dve zatmenia. Výnimočne nastane len jedno zatmenie, no občas nastanú až tri. Situácia sa opakuje asi po polroku, keď sa Slnko dostane do blízkosti druhého z uzlov mesačnej dráhy. Stáva sa, že v danom roku nastane až sedem zatmení, potom je z nich 5 slnečných. Naopak, v niektorých rokoch sa vyskytnú len dve zatmenia. Vtedy sú obidve slnečné. Obrázok na strane 45 predstavuje prehľad zatmení v období rokov 1999 až 2040. Nad symbolmi znázorňujúcimi jednotlivé typy zatmení je uvedené číslo série, ku ktorej prináležia. Čiernym písmom sú označené tie zatmenia, ktoré sú aspoň čiastočne pozorovateľné z nášho územia.

Periódá saros

Periódá, po ktorej sa zatmenia opakujú, vyplýva z podmienok ich vzniku. Ak uvažujeme zatmenie Slnka, Mesiak musí byť v nove a v uzle svojej dráhy. Do novu sa dostáva raz za jeden synodický obch, teda každých 29,5 dňa; uzlom prechádza raz za 27,5 dňa (drakonická obežná doba). Úlohou je nájsť také časové obdobie, ktoré by bolo celočíselným násobkom oboch týchto obežných dób. Dá sa ukázať (po dosadení presných hodnôt), že 223 synodických obehov Mesiaca trvá 6585,321 dní a 242 drakonických obehov trvá 6585,357 dní. Rozdiel je veľmi malý, len asi 0,036 dňa, čo je približne 52 minút. Obdobie trvajúce 6585,321 dňa môžeme teda považovať za periódu, po ktorej sa slnečné aj mesačné zatmenia opakujú. Presne určené trvanie periód saros je 6585,321347 dňa. Toto obdobie predstavuje 18 rokov a 10 alebo 11 dní (v závislosti na počte priestupných rokov, ktoré do periód spadajú) a ešte približne 1/3 dňa. Po uplynutí obdobia saros sa zatmenia neopa-



Pásky totality centrálnych zatmení série 145.

kujú úplne rovnako. Zlomok dňa (0,321) v perióde predstavuje približne 7 hodín 42 minút. Zem bude proti predchádzajúcej polohe natočená o uhol zodpovedajúci tomuto času, teda asi o 115 stupňov. Zatmenie bude podobné, no pás totality bude na povrchu Zeme o tento uhol posunutý smerom na západ. Podobne to platí aj pre miesta pozorovateľnosti čiastočných zatmení a aj zatmení Mesiaca. Po uplynutí troch periód saros (54 rokov a 1 mesiac) sa pás totality dostane do blízkosti pôvodného miesta. V zemepisnej šírke bude posunutý asi o 15 stupňov na východ. Jednotlivé pásy sa pomaly posúvajú aj v zemepisnej šírke. Toto je dôsledok rozdielu 52 minút medzi počtom synodických a drakonických obehov v perióde saros. Tento čas chýba Mesiacu, aby sa po uplynutí tohto obdobia dostal do tej istej vzdialenosti od uzla svojej dráhy. Do pôvodnej vzdialenosti mu bude chýbať asi 0,4 stupňa. Ak zatmenie nastáva v blízkosti výstupného uzla, bude Mesiak oproti Slnku o niečo južnejšie a pás totality sa na zemskom povrchu presunie tiež južnejšie. Ak zatmenie nastáva pri zostupnom uzle, bude sa postupom času pás totality presúvať severnejšie.

Dnes je pre nás nepochopiteľné, že zákonitosť saros mohla objaviť civilizácia, ktorá predbehla tú našu o viac ako dve tisícročia.

Po uplynutí periódy saros sa Mesiak dostáva aj do podobnej vzdialenosti od Zeme a má preto na oblohe približne rovnaký uhlový rozmer. Zdanlivý rozmer Mesiaca je daný jeho vzdialenosťou od perigea. Do perigea sa vracia po uplynutí anomalistickej obežnej doby (27,555 dňa). Perióda saros predstavuje približne 238,99 anomalistických obehov a tak rozdielová stotina dňa predstavuje len veľmi malú zmenu v polohe Mesiaca vzhľadom na perigeum. Navyše aj hviezdne okolie po uplynutí tejto periódy ostáva dosť podobné, lebo 241 siderických obehov trvá len asi o 0,8 dňa menej ako saros.

Série saros

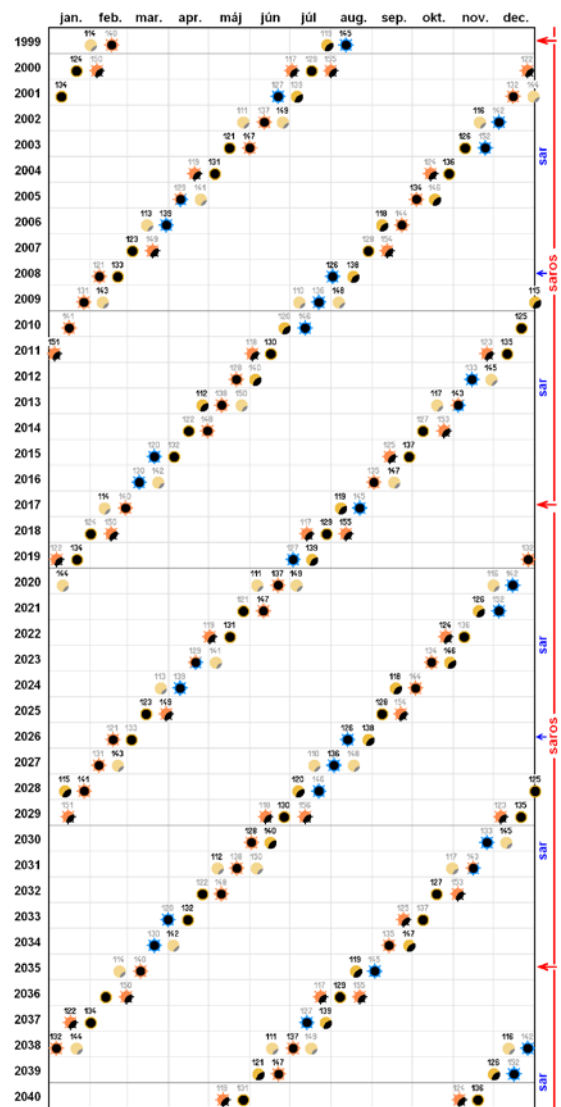
Zatmenia Slnka, ktoré postupne nastávajú po období saros, predstavujú tzv. sériu. Každá séria saros začína zatmením pozorovateľným v blízkosti jedného zo zemských pólů. Ak slnečné zatmenia tejto série nastávajú pri výstupnom uzle mesačnej dráhy, potom zatmenia začínajú pri severnom póle. Postupom času sa oblasti pozorovateľnosti na zemskom povrchu posúvajú smerom na juh až sa nakoniec séria skončí zatmením pri južnom póle. Na začiatku a aj koncom série sú zatmenia čiastočné no v strednom období sú centrálné (úplné, prstencové alebo hybridné). K jednej sérii patrí 69 až 87 zatmení, najčastejšie je ich však 71 alebo 72. Z toho 39 až 59 zatmení býva centrálnych, no obvyčajne ich je okolo 45. Za-

tmenia nastávajúce pri zostupnom uzle dráhy Mesiaca začínajú pri južnom póle a oblasti pozorovateľnosti sa postupne presúvajú na sever.

Série mesačných zatmení majú podobný vývoj. Začínajú sa veľmi krátkym polotieňovým zatmením pri niektorom z mesačných pólů. Ak je séria zatmení pri výstupnom uzle mesačnej dráhy, zatmenia začínajú pri severnom póle a končia pri južnom. Ak séria nastáva pri zostupnom uzle, začína byť pozorovateľná pri južnom okraji Mesiaca a končí pri severnom.

Jednotlivým sériám je priradené číslovanie. Slnečné a mesačné zatmenia sa číslujú nezávisle na sebe. Zostavovatelia tabuliek historických zatmení označili ako sériu 1 takú, ktorú reprezentuje zatmenie 16. novembra 1990 pred n. l. (–1989). Séria 1 mesačných zatmení je definovaná zatmením 23. februára –1994. Série slnečných zatmení nastávajúcich pri výstupnom uzle Mesiaca majú priradené nepárne čísla a tie pri zostupnom uzle sú čísla párne. Pri zatmeniach Mesiaca sa číslovanie odvíja od polohy Slnka a preto pre Mesiak pri výstupnom uzle sú čísla sérií párne a nepárne sú pri zostupnom uzle. Čísla sérií sú priradované na základe poradia, v akom dosiahli svoju najväčšiu fázu. V súčasnosti je aktívnych 40 sérií zatmení Slnka a 41 sérií mesačných zatmení.

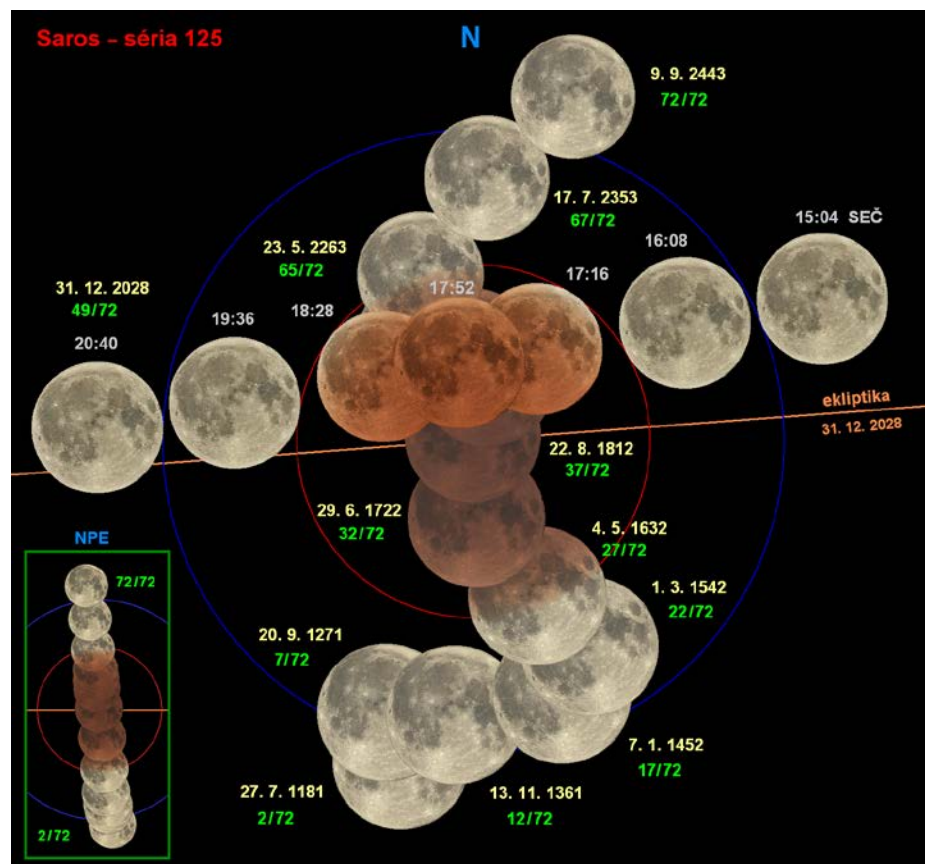
Na bližšie vysvetlenie problému sme zvolili sériu 145. Do nej patrí zatmenie z 11. augusta 1999 a aj



Výskyt slnečných a mesačných zatmení od roku 1999 do roku 2040.



Úplné zatmenie Mesiaca 27. júla 2018. (Foto: M. Harman)



Vývoj zatmení Mesiaca série 125.

„americké“ zatmenie z 21. augusta 2017 (obr. na začiatku článku). Séria začala pri severnom póle krátkym čiastočným zatmením 4. 1. 1639 a skončí čiastočným zatmením 9. 9. 3009 pri južnom póle. Postupne pribúdali čiastočné zatmenia so stále väčšou fázou. Centrálne začali 6. 6. 1891 prstencovým a potom 17. 6. 1909 hybridným zatmením. Všetky nasledujúce zatmenia sú centrálne a skončia zatmením 9. 9. 2648. Centrálne zatmenia nastali pri veľkej vzdialenosti Mesiaca od Zeme a preto mali veľmi krátke trvania a pásy totality sú preto úzke. V priebehu času sa Mesiac pomaly dostáva bližšie k perigeu a pásy totality budú širšie a zatmenia budú mať dlhšie trvanie.

Na ukážku vývoja mesačných zatmení oddelených periódou saros sme zvolili sériu 125, do ktorej patrí úplné zatmenie 31. decembra 2028, ktoré bude veľmi dobre pozorovateľné aj u nás. Táto séria má 72 zatmení, v obrázku je kvôli prehľadnosti zobrazená poloha Mesiaca len každého 5. úkazu. Geocentrické polohy Mesiaca zodpovedajú časom najväčšej fázy daného úkazu. Hlavný obrázok je orien-

tovaný k severnému svetovému pólu. Pomalá zmena ekliptikálnej dĺžky uzlov spôsobuje, že jednotlivé polohy Mesiaca sa javia nesystematické. Menší obrázok je orientovaný k severnému pólu ekliptiky a tak je dobre vidieť celý systém priebehu úkazu v danej sérii. Veľkosti jednotlivých obrazov Mesiaca sa pozvoľna menia v závislosti na jeho aktuálnej vzdialenosti od Zeme no zároveň sa menia aj rozmery tieňa a polotieňa. Toto všetko spôsobuje, že v niektorých obdobiach sa polohy Mesiaca viac približujú k sebe a inde sú zase vzdialenejšie. Zobrazené hranice tieňa a polotieňa zodpovedajú zatmeniu 21. 12. 2028. Toto zatmenie má zobrazený celý jeho priebeh.

Periódou sar

Polovica periódou saros, trvajúca približne 9 rokov a 5,5 dňa, má tiež svoje zákonitosti. Toto obdobie sa niekedy označuje ako *sar*. Ak nastane zatmenie Slnka, potom po uplynutí *sar* nastane zatmenie Mesiaca a naopak, po mesačnom zatmení nasleduje slnečné. Obidve zatmenia Slnka sú si veľmi podobné a tiež to

platí aj pre zatmenia Mesiaca. Tieto zatmenia ale nepatria do tej istej série a vždy nastávajú pri opačnom uzle mesačnej dráhy. Čísla sérií, ku ktorým patria, sa zmenia z nepárnych na párne, alebo naopak. Napríklad úplnému zatmeniu Slnka 21. 8. 2017 predchádzalo čiastočné zatmenie Mesiaca 7. 8. 2017. Po pripočítaní periódou *sar* k tomuto dátumu nastane 12. 8. 2026 úplné zatmenie Slnka, za ktorým bude nasledovať čiastočné zatmenie Mesiaca 28. 8. 2026.

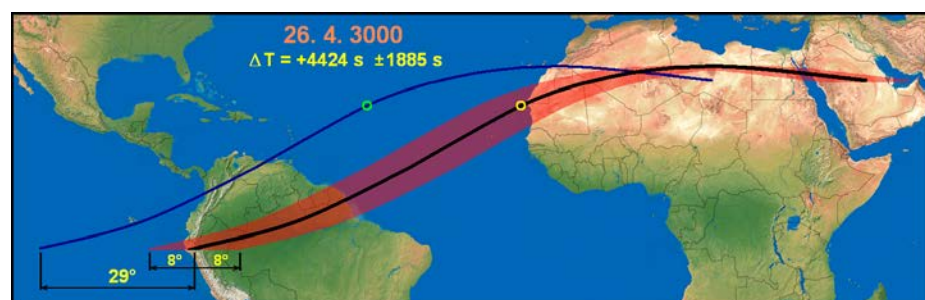
Dynamický čas

Súčasná teória pohybu Zeme aj Mesiaca umožňuje presné predpovede zatmení vo veľmi veľkom časovom rozsahu do minulosti aj budúcnosti. Paradoxne ale, kde presne sa tieto úkazy na zemskom povrchu budú dať pozorovať je neisté. Dôvodom je pozvoľná zmena rotácie Zeme, ktorá nie je dostatočne dobre predvídateľná. Hlavnou príčinou tejto zmeny je slapové pôsobenie spôsobené Mesiacom. Zem pozvoľna stráca moment hybnosti na úkor Mesiaca, jej rotácia sa spomaľuje a Mesiac sa od Zeme vzdaluje. Zmena rotácie Zeme je ovplyvňovaná aj inými, nepredvídateľnými faktormi, napríklad náhlým uvoľnením napätia v zemskom kôre, cunami, zmenami klímy... Deň sa predlžuje asi o 2,3 milisekundy za storočie. Táto hodnota sa nejako veľká, no kumulatívny súčet 36 525 otáčok po jednom storočí už spôsobí „zmeškanie“ povrchu Zeme asi o 42 sekúnd. Polohy telies sa vypočítavajú na základe svetového času UT, ktorý vychádza z nemennej dĺžky dňa trvajúceho 86 400 sekúnd. Terestrický čas TT je závislý na zemskej rotácii. Veličina ΔT je rozdielom medzi terestrickým časom a svetovým časom. Platí:

$$\Delta T = TT - UT$$

a o jej hodnotu sa v predpovediach opravuje skutočné natočenie Zeme. Hodnoty ΔT do minulosti aj do budúcnosti sekulárne narastajú. Preto pásy totality sú vždy oproti vypočítaným posunuté na východ. Máme viacero matematických rozvojev, ktoré sa snažia vývoj ΔT popísať. Vychádzajú z mála minulých skutočných hodnôt získaných z historických záznamov zatmení a zo súčasných trendov. Neznáme vplyvy ale do nich prinášajú dosť veľkú neistotu. Obrázok nižšie je ukážkou celého problému. Pre rok 3000 je hodnota ΔT určená na 4424 sekúnd no s chybou ± 1885 s (Espenak, Meeus). Je to doba veľmi vzdialená, no už teraz v odhadoch hodnoty ΔT nastávajú významné rozdiely. Pre rok 2023 Espenak a Meeus predpokladali hodnotu $+80$ s, no v skutočnosti bola okolo $+70$ s.

Dnes je pre nás nepochopiteľné, ako zákonitosť saros mohla objaviť civilizácia žijúca pred nami viac ako dve tisícročia. Bez formálneho vzdelania, výpočtovej techniky, možnosti cestovania, výmeny informácií a s krátkym aktívnym vekom, možno len dve tieto obdobia. Isteže, presné časové údaje o dĺžke periódou ΔT sa zistili oveľa neskôr. Aj tak si musíme veľmi vážne pozorovať schopnosti našich dávnych predchodcov. Isté je, že v minulosti žili ľudia oveľa viac spätí s oblohou a nám už takmer zostala len tá virtuálna.



Posun pásu totality pri úplnom zatmení Slnka 26. 4. 3000.

Peter Zimnikoval