

Petr Hadrava; Alena Hadravová  
Antický předchůdce středověkých orlojů?

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 54 (2009), No. 4, 318--324

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141924>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2009

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

# Antický předchůdce středověkých orlojů?

*Petr Hadrava, Alena Hadravová, Praha*

Pražský orloj bývá považován za unikátní, ba až bezpříkladnou technickou památku a svědectví nečekaně vyspělé technologie začátku 15. století. Unikátní bezesporu je, bezpříkladný však nikoli. Je známo, že podobné orloje, hodiny a zařízení existovaly v mnoha středověkých městech; monumentální orloje přitom vznikaly od poloviny čtrnáctého století do konce století šestnáctého. Typologii a klasifikaci orlojů se zabýval po mnoho desítek let především Emmanuel Poulle. Podle něj je v Evropě buď dochováno či v minulosti existovalo více než dvacet astronomických orlojů, jejichž hlavní součástí je astroláb. Jsou či byly (některé orloje byly zničeny např. za druhé světové války) např. ve městech Augsburg, Bern, Bourges, Cambrai, Chartres, Doberan, Frankfurt, Lübeck, Lund, Lyon, Mantova, Münster, Olomouc (postupně tu vznikly dva orloje), Osnabrück, Praha, Saint-Omer, Stralsund, Strasbourg (i zde postupně vznikly orloje dva), Tours, Tübingen, Ulm, Villingen a Wismar (srov. např. [12, str. 661], i další Poullovy práce). Pražský orloj je tak jedním z dochovaných článků dlouhé vývojové řady obdobných mechanismů.

Odvažme se nyní k velkému skoku v prostoru i čase a alespoň v hlavních rysech popíšme přístroj, jehož tvůrci ve starověkém Řecku hledali odpovědi na podobné otázky jako středověcí konstruktéři orlojů.

V roce 1901 archeologové při vyzvedávání obsahu vraku antické lodi, která ztroskotala u řeckého ostrova Antikythéry, objevili a postupně na světlo světa vynesli kovové zbytky nějakého zařízení uloženého původně v dřevěné skříňce (velikosti krabice od bot), která se ovšem na vzduchu rozpadla, stejně jako se na drobné součástky a úlomky – jichž je dnes celkem 82 – rozdrobil i silně korodovaný bronzový předmět. Největší úlomek, jakési jádro složené z koncentricky i excentricky situovaných a korozí a mořskými usazeninami dohromady spečených ozubených koleček, byl vystaven v athénském Národním archeologickém muzeu. Při postupném zkoumání artefaktu v průběhu 20. století se ukázalo, že jde o části přístroje zhotoveného pro účely astronomických a kalendářních výpočtů. Až v současnosti, více než sto let po vyzdvižení zlomků z mořského dna, se však zásluhou interdisciplinárního týmu, soustředěného kolem „The Antikythera Mechanism Research Project“ a pracujícího s pomocí rentgenovského tomografu, daří získávat zcela zásadní informace.<sup>1)</sup> Použitím tomografu se podařilo nejen zmapovat rozložení vnitřních ozubených koleček, ale dokonce na nich přečíst více než 2000 písmen řeckého textu (mnohdy o výšce písmene pouhých 1.7–2 mm), který

<sup>1)</sup> Srov. [www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr).

---

Doc. RNDr. PETR HADRAVA, DrSc., Astronomický ústav AV ČR, v. v. i., Boční II/1401, 141 31 Praha 4, e-mail: [had@sunstel.asu.cas.cz](mailto:had@sunstel.asu.cas.cz)

PhDr. ALENA HADRAVOVÁ, CSc., Kabinet dějin vědy ÚSD AV ČR, v. v. i., Puškinovo nám. 9, 160 00 Praha 6, e-mail: [hadravova@usd.cas.cz](mailto:hadravova@usd.cas.cz)

paleografové již z velké části složili do srozumitelných slovních celků a nápisů. Rozbor písma datuje vznik přístroje do let 150 – 100 př. n. l. Loď sama ztroskotala kolem roku 80 př. n. l., když vezla množství soch, nádob, skla, mincí, nábytku a dalšího žádaného řeckého zboží z východního Středomoří (patrně z ostrova Rhodu) bohatým patricijům do Říma. Náklad tedy ve slané vodě spočíval celých 2000 let. . .



Obr. 1. Největší zlolek antikythérského mechanismu. (Poskytl The Antikythera Mechanism Research Project.)

„Mechanismus z Antikythéry“, jak se bronzovému zařízení nejčastěji říká, měl na přední straně jeden ciferník s ukazateli podobnými hodinovým ručičkám. Šlo o planetárium, které znázorňovalo pohyby Slunce a Měsíce po ekliptice podobně, jako je zobrazuje astronomický ciferník pražského orloje. Na zadní straně mechanismu byly dva hlavní ciferníky: horní sloužil k odečítání data podle devatenáctiletého lunisolárního kalendáře a doplněn byl malým vnitřním ciferníkem k výpočtu data hlavních všerečkých her. Předpokládá se, že druhý hlavní (bohužel nedochovaný) ciferník znázorňoval šestasedmdesátiletou tzv. Kallippovu periodu. Tyto stupnice tedy sloužily ke kalendářním účelům, podobně jako dolní, kalendářní deska pražského orloje. Dolní ciferník na zadní straně antikythérského mechanismu, doplněný dalším malým ciferníkem, umožňoval navíc výpočet zatmění Slunce a Měsíce.

Na rozdíl od středověkých orlojů antikythérský mechanismus neměl vlastní hodinový pohon, a nesloužil tedy k samostatnému měření času. Čas byl tehdy určován podle pozorování nebeských těles nebo také pomocí vodních hodin (klepsyder). Funkcí můžeme mechanismus z Antikythéry přirovnat spíše k mechanickým planetáriím konstruovaným od 18. století; byl to jakýsi analogový počítač, mechanický kalendář, který – pokud se vhodně nastavil – umožňoval zjišťovat příslušné údaje k libovolně zvolenému datu jak v minulosti, tak i v budoucnosti. Konstrukčním řešením směřujícím k přesnému napodobení pohybu nebeských těles (konkrétně zahrnutím tzv. velké nerovnosti

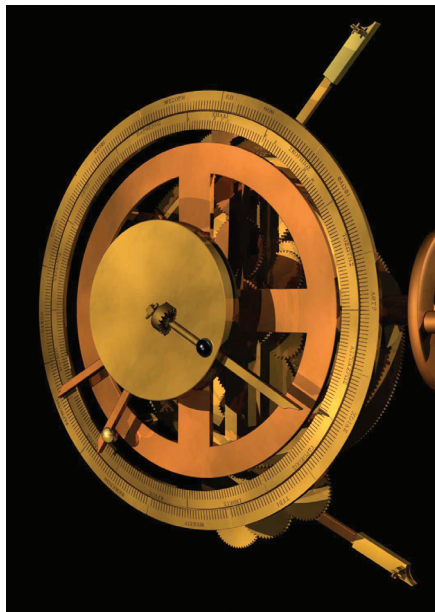
Měsíce, tj. opravy na nerovnoměrnost jeho pohybu v excentrické dráze) však mechanismus středověké orloje daleko předčil. Rovněž jeho řemeslné zpracování je svou přesností srovnatelné spíše s úrovní hodinových strojů 16. a 17. století. Zjištění, že zařízení pracovalo na principu ozubených koleček, bylo původně přijímáno jako velmi překvapivé, protože něco takového se pro antiku vůbec nepředpokládalo. Na druhou stranu však ve Vitruviově spise *O architektuře* (*De architectura*, IX 8,5) lze nalézt poměrně přesný popis využití ozubených koleček a převodů v mechanismech klepsyder. Ukazuje se, že mechanismus nebyl primárně určen pro potřeby astronomů, pro jejich výpočty. Nešlo o abstraktní vědecký přístroj, ale o srozumitelné představení astronomických jevů v úžasné funkční, jednoduché a komorní, přitom však vysoce sofistikované podobě. Jako mechanický lunisolární kalendář byl přístroj použitelný i pro laického uživatele, který nemusel znát jeho principy, ale naučil-li se s ním zacházet, získával rovnou praktické výsledky.

Konstrukci mechanismu a jeho základní funkce, především jeho přední stranu zobrazující pohyby Slunce a Měsíce, jsme popsali v předchozích článcích,<sup>2)</sup> kde lze nalézt i citace tehdejší původní literatury interpretující přístroj. V uvedených příspěvcích jsme rovněž shrnuli a z latiny a řečtiny do češtiny přeložili svědectví o podobných zařízeních dochovaná v antické literatuře. V tomto příspěvku se soustředíme na nové pokroky ve výzkumu antikythérského mechanismu, které se týkají hlavně interpretace kalendářních stupnic na zadní straně mechanismu a mají zajímavé důsledky i pro zařazení nálezu do historických a kulturních kontextů, srov. [4] a [1].

Astronomickým východiskem lunisolárních kalendářů jsou tři základní periody, tj. den, synodický měsíc (tj. např. od úplňku k úplňku; trvá přibližně 29.530588 dne) a tropický rok (od jednoho letního slunovratu k příštímu; trvá přibližně 365.2421897 dne), které nejsou přesně soudělné, lze je však s různou mírou přesnosti aproximovat různě složitými pravidly. Tato pravidla většinou nahrazují poměry různých period, které jsou obecně dány iracionálními čísly, čísla racionálními.<sup>3)</sup>

<sup>2)</sup> Nově získané výsledky v mnohém potvrdily závěry, k nimž v 50. letech minulého století došel Derek J. de Solla Price a v nedávné době především Michael Trevillian Wright. O jejich návrzích a pracích informují práce [7] a [6].

<sup>3)</sup> Iracionální číslo  $x$  můžeme vyjádřit ve tvaru nekonečného složeného zlomku  $x = [x_0] + 1/([x_1] + 1/([x_2] + \dots))$ , kde  $x_0 \equiv x$  a čísla  $x_k$  počítáme rekurentně podle vztahu  $x_{k+1} = 1/(x_k - [x_k])$ , kde  $[\ ]$  označuje celou část čísla. Racionální aproximaci čísla  $x$  pak dostaneme,



Obr. 2. Rekonstrukce předního ciferníku s ukazateli poloh Slunce, Měsíce a jeho fází. (Poskytl The Antikythera Mechanism Research Project.)

Jednotlivé městské státy starověkého Řecka užívaly různé druhy kalendářů vycházející především z délky synodického měsíce a přizpůsobené tak, aby vystihovaly i délku roku. Z obecného hlediska je zřejmé, že roční perioda je pro praktický život společnosti, zejména pro její zemědělské aktivity, důležitější než měsíční. Výhoda kalendářů založených na fázích Měsíce však spočívala v jejich snadnější sledovatelnosti (podobně jako velká ručička na hodinách umožňuje přesnější určení zvoleného okamžiku než malá ručička). Tato výhoda ve starších historických obdobích převažovala i nad komplikovaností přepočtu měsíců na roky. Proto také kalendářní stupnice antikythérského mechanismu musela být podstatně komplikovanější než u pražského orloje užívajícího juliánský kalendář, ve kterém kalendářní měsíce již nesledují fáze skutečného Měsíce. Názvy, pořadí, začátky i délky jednotlivých měsíců se lišily podle místních zvyklostí. Rozborem názvů měsíců přečtených s pomocí tomografu na kalendářní desce v horní části zadní strany antikythérského mechanismu se zjistilo, že kalendář mechanismu odpovídá lokálnímu kalendáři užívanému v Korintu a jeho koloniích, to znamená v severozápadním Řecku (v Épeiru, na ostrově Korfu, v Illyrii), ale také v korintské kolonii Syrakúsách na Sicílii, kde ve 3. století př. n. l. žil a pracoval Archimédés. Shodou okolností se dochovalo písemné svědectví o dvou přístrojích podobných antikythérskému mechanismu, které Archimédés v Syrakúsách vyrobil. Poměrně podrobně je popisuje Marcus Tullius Cicero v díle *O státě* (*De re publica*) 1,21–22, a píše i o jejich osudu: po dobytí Syrakús Římany roku 212 př. n. l., při němž byl Archimédés zabit, se přístroje dostaly s válečnou kořistí do Říma. Mohlo by tedy v případě mechanismu z Antikythéry jít o mladší přístroj, vyrobený v Syrakúsách v archimédovské tradici? Nebo jedinečná památka pochází ze severozápadního, hornatého cípu Řecka, kde by ji nikdo neočekával? Část odborníků však vzdor svědectví nápisů na mechanismu zatím neopustila ani tradiční názor, že přístroj – stejně jako celý náklad lodi – pochází z východního Středomoří, speciálně ze Rhodu. Tomu, že se tradice konstruování podobných zařízení přenesla za římské nadvlády i do východního Středomoří, nasvědčuje i další Ciceronova zmínka o planetáriu, které na Rhodu sestrojil Ciceronův přítel Poseidónius.<sup>4)</sup> Cicero s obdivem popsal funkční schopnosti Archimédových i Poseidóniových planetárií, vůbec se však nezminil o jejich konstrukčních principech. Proto ještě i dlouho po nálezů antikythérského mechanismu převládala skepse k této Ciceronově nadšené interpretaci, srov. [11, str. 652].

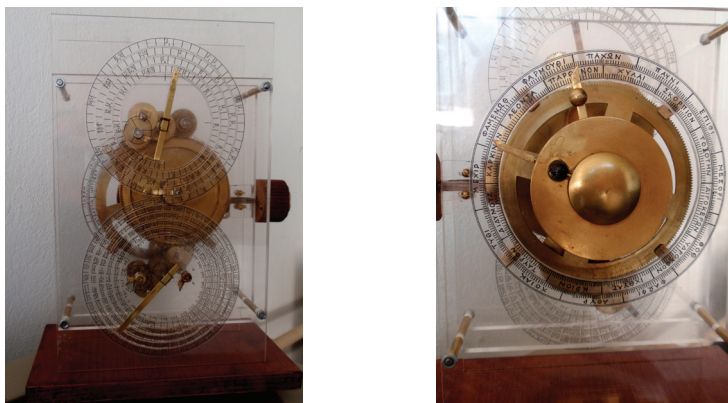
Lunisolární kalendář na mechanismu z Antikythéry užívá tzv. Metónův cyklus, pojmenovaný podle astronoma Metóna působícího kolem roku 425 př. n. l. v Athénách, cyklus však byl již dříve znám v Babylónii i Číně. Metónův cyklus trvá 19 let  $\simeq 6939.6016$  dne, což je zároveň přibližně 235 synodických měsíců (tj.  $\simeq 6939.68818$

---

jestliže v tomto vyjádření  $x_k$  zanedbáme od zvoleného  $k$  (přičemž s rostoucím  $k$  se zvyšuje přesnost aproximace). Například poměr tropického roku a synodického měsíce můžeme aproximovat  $12.3682668 \simeq 12 + 1/(2 + 1/(1 + 1/(2 + 1/(1 + 1/(1 + 1/(17.37)))))) \simeq 235/19 \simeq 12.36842$ , tj. poměr tropických roků a měsíců v tzv. Metónově cyklu, jestliže člen  $1/17.37$  zanedbáme, další přesnějším přiblížením  $4131/334 \simeq 12.3682635$ , jestliže 17.37 zaokrouhlíme na 17. Takovýto výpočet se uplatňoval právě při konstrukci mechanických planetárií a orlojů, napodobujících pohyby nebeských těles ozubenými převody.

<sup>4)</sup> M. T. Cicero, *O přirozenosti bohů* (*De natura deorum*) 2,88.

dne).<sup>5)</sup> V průběhu těchto devatenácti let má dvanáct roků po dvanácti měsících a zbylých sedm roků obsahuje navíc po jednom přídatném třináctém, přestupném měsíci.<sup>6)</sup> Z celkového počtu 235 měsíců jich 110 trvá 29 dnů a 125 jich má 30 dnů, takže celý cyklus skončí za 6940 dnů.<sup>7)</sup> Počet měsíců i dnů je dělitelný pěti, proto je kalendářní stupnice uspořádána do spirály s pěti celými závity po 47 měsících. Měsíce měly v základu po třiceti dnech, každý 64. (někdy 65.) den se však vynechával. Proto je uvnitř spirály u dvaadvaceti ze sedmačtyřiceti měsíců vyznačeno, kolikátý ze dnů se ve všech měsících na příslušné radiále spirály vynechává. Takový kalendářní systém



Obr. 3. Replika antikythérského mechanismu. (Poskytl V. Rušin)

popisuje v řecké literatuře asi nejlépe Geminos<sup>8)</sup> Přesnost a praktická použitelnost kalendáře podle Geminova výkladu byla odborníky tradičně zlehčována, srov. [11, str. 617], nyní ji však potvrzuje rozluštění nápisů na antikythérském mechanismu.

Původní interpretace dochovaného malého ciferníku uvnitř spirály metónského kalendáře předpokládala, že je zde zobrazena tzv. Kallippova perioda šestasedmdesáti let, která je rovna čtyřem metónským rokům a je také zmíněna v nápisu na jiné části mechanismu, na destičce s jakýmsi návodem k použití umístěným na zadních dvířkách skříňky přístroje. Tato perioda je výhodná hlavně ve spojení s nějakým poněkud přesnějším slunečním kalendářem, jako je např. juliánský kalendář, ve kterém průměrný rok 365.25 dne je bližší skutečnému tropickému roku a cyklus devatenácti

<sup>5)</sup> Metónův cyklus obsahuje tedy také 254 siderických měsíců, tj. oběhů Měsíce ke stejnému místu na obloze, jejichž frekvence je součtem frekvence ročního oběhu Slunce po obloze a frekvence synodického měsíce.

<sup>6)</sup> Názvy těchto měsíců (*Foinikaios*, *Kraneios*, *Lanotropios*, *Machaneys*, *Dódekateys*, *Eykleios*, *Artemisios*, *Psydreys*, *Gameilios*, *Agrianios*, *Panamos*, *Apellaios*) jsou zapsány na kalendářní desce mechanismu v chronologickém pořadí pro celý cyklus. První měsíc (*Foinikaios*) je vždy očíslován pořadím roku v cyklu. Šestý měsíc (*Eykleios*) se přitom v 1., 3., 6., 9., 11., 14. a 17. roce cyklu opakuje dvakrát za sebou.

<sup>7)</sup> Průměrný kalendářní rok je tak  $6940/19 = 365 + 5/19 \approx 365.2632$  dne, tj. asi o 0.021 dne delší než přesný tropický rok.

<sup>8)</sup> Gemina nově datovala ve své recenzi Anne Tihon ([13]) do let 90–35 př. n. l. ve svém spise *Eisagógé eis ta fainomena (Úvod do astronomie)*, VIII, 50–58, srov. edici [5].

let trvá 6939.75 dne, což je v lepší shodě s délkou 235 synodických měsíců. Kallippova perioda je pak s větší přesností společným celočíselným násobkem všech tří základních period, tj. 27759 dnů, 940 synodických měsíců a 76 let. Nejnovější výzkumy (srov. [4]) však ukazují, že tento předpokládaný kallippovský ciferník je ve skutečnosti ukazatelem čtyřleté a dvouleté periody všech hlavních, tzv. panhellénských (tj. všeřeckých) her, závislých na nejdůležitějších z nich, na Olympijských hrách, konaných se čtyřletou periodicitou vždy v době úplňku nejbližšího letního slunovratu, a to od roku 776 př. n. l. do roku 394 n. l., kdy je křesťanský císař Theodosius I. zakázal. Na přístroji tedy lze spočítat jak minulé a budoucí hry se čtyřletou periodou (Olympijské, Pýthijské a Dódónské, u čtvrtých her nebyl jejich název dosud rozluštěn), tak i hry opakující se každého druhého roku (hry Nemejské a Isthmické). Kromě astronomických „specialit“ na přední straně přístroje tak mechanismus zaznamenával i periodicky se opakující společenské události, podle nichž se ovšem v souladu s vžitým územ i datovalo.

Jak jsme již řekli, dolní stupnice zadní strany mechanismu z Antikythéry umožňovala vypočítávat zatmění Slunce a Měsíce. Řešení této úlohy vyžaduje započítat kromě synodického měsíce ještě další základní periodu, tzv. drakonický měsíc, tj. dobu 27.21222 dne mezi dvěma následujícími průchody Měsíce vzestupným uzlem jeho dráhy.<sup>9)</sup> Stejným postupem, jakým jsme našli metónskou periodu, můžeme nalézt i tzv. *saros*, tj. období 223 synodických měsíců ( $\approx 6585.321$  dne  $\approx 18.03$  roku) a 242 drakonických měsíců ( $\approx 6585.357$  dne).<sup>10)</sup> Kromě toho za toto období (přesněji za 6585.537 dnů) uplyne také 239 anomalistických měsíců, tj. oběhů Měsíce od jednoho perigea ke druhému (jeden oběh trvá přibližně 27.55455 dne).<sup>11)</sup> S touto periodou se tedy poměrně přesně opakují zatmění Slunce a Měsíce. Toho využívá i dolní stupnice na zadní straně antikythérského mechanismu, uspořádaná do spirály se čtyřmi závity, na níž jsou zaznamenána zatmění pozorovaná v průběhu této periody, takže bez složitých výpočtů bylo možné předvídat analogická zatmění v dalších cyklech. Protože délka cyklu se od celočíselného násobku délky dne liší přibližně o 1/3 dne, odpovídající zatmění Měsíce v následujících cyklech jsou vždy posunutá v čase přibližně o osm hodin, zatmění Slunce jsou pak zároveň pozorovatelná v místech Země posunutých o 120° v zeměpisné délce. Po trojnásobné periodě přibližně čtyřiapadesáti let, nazývané *exeligmos*, se tedy zatmění Měsíce opakují i přibližně ve stejnou denní dobu a zatmění Slunce jsou pozorovatelná v zeměpisně blízkých oblastech. Proto je na mechanismu také menší stupnice ukazující, který ze tří *sarosů* periody *exeligmu* nastává a jakou časovou opravu (0, 8 nebo 16 hodin) je třeba přičíst k časovým údajům zatmění nalezeným na stupnici *saros*. Protože zatmění jsou však pouze kvaziperiodická,

<sup>9)</sup> Tj. průsečíkem roviny ekliptiky s oběžnou rovinou Měsíce, která se stáčí dokola jednou za přibližně 18.6 let. K zatmění Slunce nebo Měsíce může dojít pouze tehdy, když nov nebo úplňk nastane v blízkosti těchto průsečíků a stín Měsíce nebo Země může zasáhnout druhé těleso (srov. [8, str. 127]). Slunce tímto úsekem ekliptiky (velikosti  $\pm 32.8^\circ$ ) projde v průměru za 33,3 dne a za tu dobu Měsíc projde alespoň jedním novem a jedním úplňkem. Proto vždy musí nastat jedno zatmění Slunce i Měsíce, k jednomu z nich může dojít i dvakrát.

<sup>10)</sup> Poměr těchto period  $29.530588/27.21222 \approx 1.0851958 \approx 1 + 1/(11 + 1/(1 + 1/(2 + 1/(1 + 1/4.32)))) \approx 242/223 \approx 1.0852018$ , jestliže 4.32 zaokrouhlíme na 4.

<sup>11)</sup> Úhlová vzdálenost tělesa od pericentra totiž podle druhého Keplerova zákona ovlivňuje jeho rychlost, takže postavení perigea (které se rovněž pomalu stáčí) vůči přímce uzlů ovlivňuje čas, kdy nastanou zatmění.

v každém následujícím cyklu *sarosy* se jejich podmínky poněkud mění a každá řada někdy končí (zpravidla po 1250 až 1550 letech od svého vzniku) a jiné začínají. V periodě *sarosy* mezi lety –117 až –100 nastalo celkem 43 zatmění Slunce (včetně částečných, pozorovatelných z některého místa Země) a 46 zatmění Měsíce (z toho 17 polostínových), srov. [9] a [10]. Na stupnici mechanismu z Antikythéry se podařilo zrekonstruovat 38 měsíčních a 27 slunečních zatmění.

I když tradice konstruování mechanických planetárií upadla postupem času v zapomnění, pojetí nebeských těles a jejich pohybů jako projevů jistého dokonalého stroje přetrvávalo jak v astronomických teoriích, tak i ve vnímání světa přemýšlivých lidí. Není proto nijak překvapivé, že s postupným rozvojem mechanických hodin, který navazoval na antické klepsydry, se vracela i myšlenka zobrazit na hodinách také aktuální postavení nebeských těles, a to tím spíše, že mechanické hodiny se vlastně pouze postupně a pomalu prosazovaly jako doplněk a náhražka měření času astronomickými metodami. V tomto smyslu je tedy i pražský orloj jistým znovuzrozením myšlenky starověkého mechanismu z Antikythéry.

## L i t e r a t u r a

- [1] BALL, PH.: *Complex clock combines calendars*. Nature, vol. 454, 31 July 2008, 561.
- [2] CICERO, MARCUS TULLIUS: *De natura deorum*. Bibliotheca Teubneriana Latina – 2. CD-ROM. K. G. Saur – Brepols, München – Turnhout 2002. (Český překlad: *O přirozenosti bohů*. Přeložil A. Kolář. Praha 1948.)
- [3] CICERO, MARCUS TULLIUS: *De re publica*. Bibliotheca Teubneriana Latina – 2. CD-ROM. München – Turnhout, K. G. Saur – Brepols 2002.
- [4] FREETH, T., JONES, A., STEELE, J. M., BITSAKIS, Y.: *Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism*. Nature, vol. 454, 31 July 2008, 614–617.
- [5] GÉMINOS: *Introduction aux Phénomènes*. Texte établi et traduit par G. Aujac. Les Belles Lettres, Paris 1975.
- [6] HADRAVA, P., HADRAVOVÁ, A.: *Nové pohledy na mechanismus z Antikythéry*. Dějiny věd a techniky 41, 2008, 255–266.
- [7] HADRAVOVÁ, A., HADRAVA, P.: *Mechanismus z Antikythéry. Analogový počítač z vraku antické lodi*. Vesmír 86, prosinec 2007, 802–806.
- [8] KEPLER, J.: *Sen neboli Měsíční astronomie*. Z latinského originálu přeložili A. a P. Hadravovi. Paseka – NTM, Praha 2004.
- [9] MEEUS, J., MUCKE, H.: *Canon of lunar eclipses – 2002 to 2526*. Astronomisches Büro, Wien 1983.
- [10] MUCKE, H., MEEUS, J.: *Canon of solar eclipses – 2003 to 2526*. Astronomisches Büro, Wien 1983.
- [11] NEUGEBAUER, O.: *A history of ancient mathematical astronomy*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1975.
- [12] POULLE, E.: *Pour une typologie de l'horlogerie astronomique médiévale*. Académie des Inscriptions & Belles-Lettres. Comptes rendus des séances de l'année 1997, Janvier – Mars. Diffusion de Boccard, Paris 1997.
- [13] TIHON, A. (rec.): *Geminus's Introduction to the Phenomena*. Translated by James Evans, Lennart Berggren, Princeton Univ. Press 2006. Journal for the History of Astronomy 38, 2007, 505–507.
- [14] VITRUVIUS: *De architectura*. Bibliotheca Teubneriana Latina – 2. CD-ROM. K. G. Saur – Brepols, München – Turnhout 2002. (Český překlad: *Deset knih o architektuře*. Přeložil A. Otoupalík. Svoboda, Praha 1979.)