

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Petr Skála

Nepřesnosti v konstrukci původního astrolábu staroměstského orloje

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 58 (2013), No. 3, 187–198

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/143455>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2013

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



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

Nepřesnosti v konstrukci původního astrolábu staroměstského orloje

Petr Skála, Sadská

Úvod

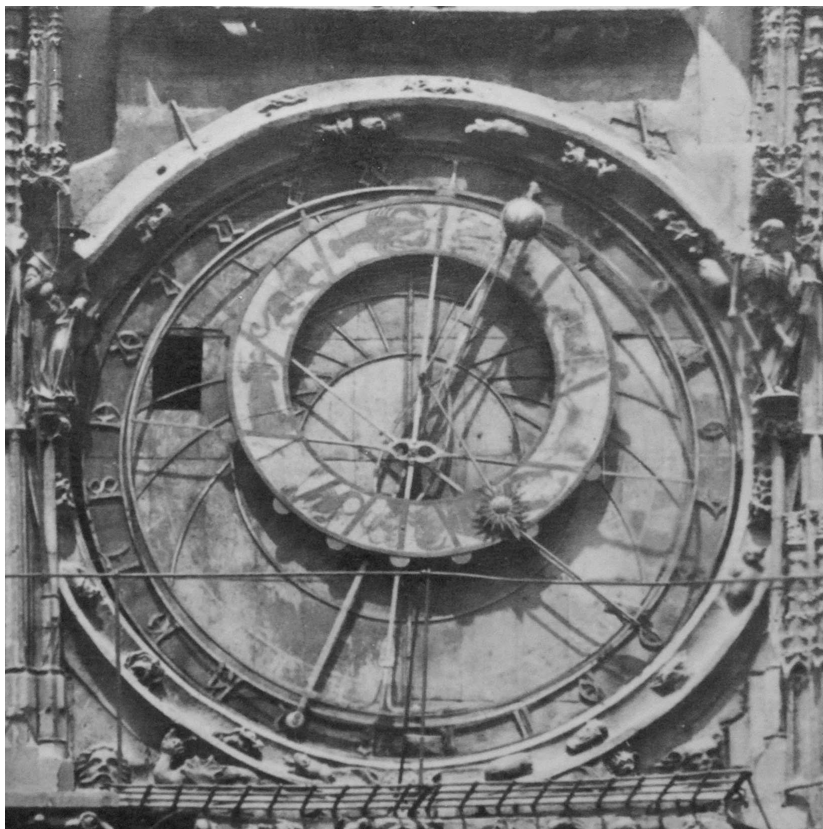
Pražský staroměstský orloj je dílo, jehož vznik, původní podoba a pozdější vývoj nejsou zcela spolehlivě známy. O historii orloje toho s určitostí víme velmi málo. Je zde mnoho záhad, nejasností, a také omylů. Už v 17. století se Bohuslav Balbín na naše předky zlobil, že o tak významné památce zanechali tak málo zpráv. Prvotní, ne zcela vyjasněnou skutečností pak je, kdo se na zhotovení orloje podílel, jak přitom postupoval a jaké byly důvody, které ke zhotovení orloje vedly.

O důvodu, který k postavení orloje vedl, se nedochovala žádná písemná dobová svědectví. Lze se však domnívat, že důvodů ke stavbě orloje mohlo být více. Hlavním důvodem mohla být potřeba demonstrovat vysokou prestiž Staroměstské radnice v tehdejší mocenské hierarchii společnosti. V evropském prostoru byla tehdy již několik desetiletí stavba veřejných orlojů významnou demonstrací moci, bohatství a v neposlední řadě technické i vzdělanostní úrovně. Byly ale pravděpodobně i důvody jiné, duchovní i praktické. Mohla to být touha zobrazit dokonalost vesmíru, předvádět pochopení nebeské mechaniky člověkem a jeho schopnost ji napodobit. Byla to pravděpodobně i praktická potřeba sestrojít mechanismus, který nepřetržitě a viditelně ukazuje aktuální čas – na rozdíl od jeho oznamování údery na zvon pouze na konci celé uplynulé hodiny. Také to byla zřejmě snaha zpřístupnit veřejnosti možnost jednoduše odečítat na orloji řadu důležitých astrologických hodnot.

Předpokládané okolnosti stavby staroměstského orloje

Purkmistr a konšelé Starého města se s úkolem postavit orloj obrátili na největší domácí autoritu v daném oboru – tehdejšího královského hodináře Mikuláše z Kadaně [6] a podle názoru některých historiků také na renomovaného učenice, královského lékaře, astronoma a matematika Jana Šindela [4], [9]. Hypotéza o účasti astronoma a matematika na stavbě orloje je postavena mj. na předpokladech, že astroláb orloje je astronomickým přístrojem a jeho pohyblivými prvky otáčí složitý mechanismus, jehož konstrukce a také konstrukce přesného astrolábu vyžadovala teoretické znalosti, které, jak se rovněž předpokládá, tehdejší královský hodinář mít nemohl.

¹O původnosti astrolábu na fotografii nelze podat důkazy, protože se nedochoval. Dochovala se pouze celožezezná ekliptika (zobrazená na fotografii). Deska astrolábu byla v době pořízení fotografie asi 450 let stará. Podle zprávy Jana Táborského byla počátkem druhé poloviny 16. století deska nově omalována, a byla tedy v dobrém stavu. Od této doby po čas, kdy byla pořízena fotografie, uplynulo



Obr. 1. Podoba pravděpodobně původního astrolábu.¹ Fotografie pochází z doby před opravou v letech 1864–5. Deska astrolábu mohla být dřevěná, potažená plechy nebo celoželezná. Lze na ní rozeznat stopy po římských cifrách hodin německých, poloorlojních, vyznačených Janem Táborským po polovině 16. století. Slunce je umístěno pod obvodem ekliptiky, Měsíc je na obvodu. Kružnice horizontu protíná obratník Raka cca 5 minut po osmé hodině večerní. Čtyřřadvacetník je v poloze, která vylučuje možnost indikace staročeských hodin (vzhledem ke konstrukci původního nosného systému čtyřřadvacetníku je zde nejspíše chybně namontován). Vzájemné poměry velikostí kružnic, představujících rovník, obratník Kozoroha a obratník Raka, pak ve stereografické projekci odpovídají nesprávně hodnotě sklonu zemské osy k ekliptice $25,4^\circ$.

Orloj byl dílem, které mělo mnoho významů a účelů, nebyl to však přesný astronomický přístroj. Jeho astroláb měl funkci časoměrnou a astrologickou. Byl postaven proto, aby především co nejvíce vizuálně napodoboval běh Slunce a Měsíce po nebi, zatímco astroláby pro účely astronomických měření měly podobu méně názornou. Ozna-

300 let. Z tohoto období se nedochovala žádná zpráva, která by popisovala výměnu astrolábu. Je prokazatelné, že životnost hodinových ciferníků stejného provedení (dřevěná deska potažená plechovými železnými pláty nebo deska celoželezná) dosahuje stovky let – v závislosti na orientaci vzhledem ke světové straně a především vlhkosti udržující se dlouhodobě v mezere mezi zdivem a ciferníkem. Astroláb orloje je ale uchycen ve stejně velkém otvoru v kamenném zdivu na jižní straně, neleží na zdi, a je proto vystaven proudění vzduchu z obou stran. Deska tak není na rubové straně vlhkosti vystavena.

O tom, že posláním orloje bylo poskytovat především názorný obraz aktuálních jevů na nebi, svědčí skutečnost, že provedení kružnic na ploše astrolábu bylo pozoruhodně nepřesné (viz obr. 1 a 2). Soukolí, která pohyb obstarávala, pak byla velmi jednoduchá, s nepříliš přesným převodovým poměrem a již dříve snad jinde používaná [4]³. Ve své době ani nepatřila k nejpřesnějším. Starší orloj ve Stralsundu měl převody pro pohyb Měsíce složitější a přesnější, i když provedením nebyl tak dokonalý – měl pouze dřevěný rám [10].

Pravděpodobné příčiny nepřesností v konstrukci astrolábů

Astroláb staroměstského orloje byl zhotoven v době, kdy pohled na vesmír a na principy nebeské mechaniky byl jiný než dnes. V souladu s křesťanskými dogmaty byl vesmír považován za geocentrický. Denní pohyb nebeské sféry se Sluncem, Měsícem a planetami chápán a nazýván jako běh násilný, spěšný a vzájemné pohyby Slunce, Měsíce a planet po hvězdném pozadí jako pohyb přirozený. Namísto s úhlem sklonu osy Země pracovali astronomové s úhlem největší deklinace Slunce. Základní vztahy byly ale i v tomto systému platné a shodné se systémem heliocentrickým.

Astroláby středověkých orlojů byly v principu hodinovými ciferníky znázorňujícími také denní a roční běh Slunce a Měsíce po nebi. Pro jejich zhotovení ale nebylo nutné znát matematickou teorii astrolábu. K dispozici byl popsáný jednoduchý postup konstrukce astrolábu včetně konstrukce místního horizontu [3] ([1] – zdroj z doby pozdější).

Jestliže byl původní astroláb orloje proveden nepřesně, pak tato nepřesnost mohla mít několik příčin: jeho tvůrci na přesném provedení nezáleželo a kružnice na ploše astrolábu zkonstruoval sice podle dobové metody konstrukce astrolábu, ale jen přibližně; po případě nedokázal na plochu astrolábu vynést přesný úhel deklinace Slunce a vynesl jej chybně, což ovlivnilo výsledné rozměry kružnic. Také však mohl astroláb zhotovit jiným způsobem, který není založen na přesné konstrukci vycházející z konstrukce úhlu největší deklinace Slunce. Pokud stavitel orloje znal vzhled astrolábu jiného orloje, mohl jej zkonstruovat jen intuitivně. Pro stavbu astrolábu, který slouží pouze k demonstraci pohybů Slunce a Měsíce vzhledem k zodiaku (ekliptice) a jejich denního pohybu po obloze, stačí znát a dodržet jednoduché podmínky:

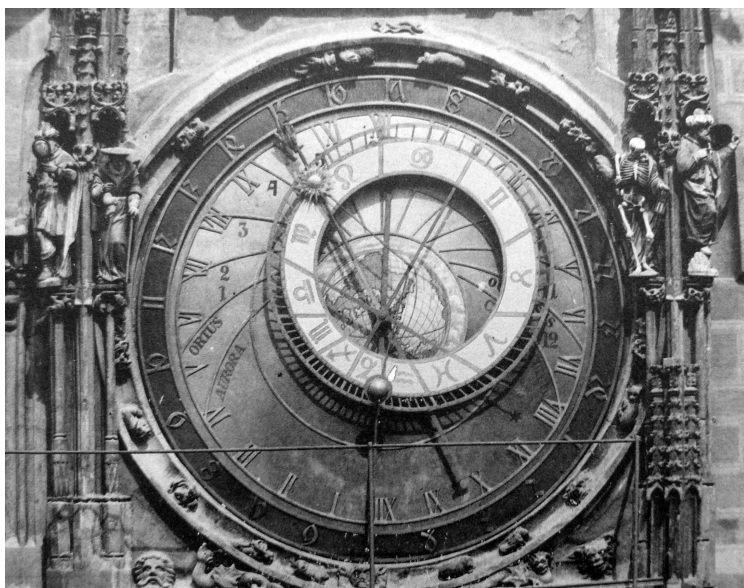
- kružnice obratníků a rovníku musí být soustředné,
- kružnice ekliptiky musí být umístěna excentricky a musí se dotýkat obou obratníků (její průměr je roven součtu poloměrů kružnic obou obratníků),
- kružnice rovníku pak musí protnout kružnici ekliptiky tak, aby spojnice těchto průsečíků procházela středem astrolábu.

Vzájemné poměry velikostí kružnic, vyplývající ze sklonu zemské osy k rovině ekliptiky, nejsou pro tento účel důležité. Pokud se stavitel astrolábu šťastnou náhodou přiblíží realitě, může výsledek vypadat na pohled bezchybně.

Astroláb mohl každý stavitel orloje zkonstruovat rovněž tak, že použil již známé řešení. S výjimkou vyznačení horizontu není konstrukce astrolábu závislá na lokalitě,

³V práci [4] Z. Horského a E. Procházky *Pražský orloj* na str. 94 je tento systém soukolí popisován jako řešení užívané u orlojů běžně. Konstatování ale není doloženo příklady.

a je tedy přenosná. Univerzálnost platí jak pro konstrukci astrolábu, tak pro otáčení všech jeho prvků a tedy i pro převody soukolí. Podle tvrzení Z. Horského [4] byly takové převody běžně používané. Převod otáčení od hlavní hřídele jicího stroje na otáčení Slunce, Měsíce a zodiaku na ploše astrolábu, jaký byl použit na staroměstském orloji – kola Slunce, Měsíce a zodiaku otáčena jediným společným pastorkem – je ostatně natolik jednoduchý, že k jeho zhotovení není třeba žádných složitých výpočtů. Lze k němu dojít pouze jednoduchou úvahou.⁴ Křivka místního horizontu neboli východů a západů Slunce by pak měla souhlasit s odpozorovanou situací v přírodě, proto je možné zkonstruovat ji empiricky jako spojnici bodů vnesených na plochu astrolábu podle známých časů západů a východů Slunce během roku. Obdobný způsob později popsal K. J. Erben [2].



Obr. 3. Podoba astrolábu po opravě orloje v roce 1865. Fotografie pořízena před rokem 1911. Při opravě v roce 1865, kdy byl astroláb zhotoven celý nově, byla chybná konstrukce původního astrolábu zachována (viz obr. 2). Oproti předchozímu, pravděpodobně původnímu stavu před opravou, zde navíc ekliptika není správně umístěna vzhledem ke středu astrolábu a kružnice horizontu neodpovídá časům západů Slunce, protíná obratník Raka chybně na osm hodině večerní. Došlo zde také k chybnému umístění nápisů ORTUS a OCCASUS (východ, západ), nápisy jsou u oblouku 1. a 11. hodiny planetní (chyba byla opravena v roce 1911). Nový astroláb byl také upraven na chod podle místního středního slunečního času – na ekliptiku byl osazen ukazatel času hvězdného. To ale znemožnilo nastavování orloje na místní pravý sluneční čas a tedy správnost indikace jiných hodnot.

⁴Počet zubů kol otáčejících Sluncem, Měsícem a ekliptikou lze určit velmi jednoduše. V jednom případě s použitím násobení a dělení, ve druhém zcela bez početních úkonů – úvahou a ověřením zkusmo. (Na počtu zubů společného hnacího pastorku přitom nezáleží, ten se odvíjí od rychlosti otáčení hodinového stroje.) Ke zhotovení tohoto soukolí je třeba pouze přibližně znát dvě obecně známé veličiny: a) Počet dnů v běžném kalendářním roce – 365. b) Délku průměrného měsíčního cyklu (synodického měsíce) neboli dobu mezi dvěma novy – 29,5 dne. (Více viz http://www.orloj.eu/cs/zuby_kol_astrolabu.htm)



Obr. 4. Kresba astrolábu v knize *Beschreibung der alterhümlichen prager Rathhaus-Uhr* z roku 1866. Autorem nebo zadavatelem kresby je pravděpodobně předseda komise pro opravu orloje, profesor astronomie J. G. Böhm. I zde konstrukce odpovídá sklonu zemské osy k ekliptice cca $25,5^\circ$. Kružnice horizontu zde chybně neprotíná průsečík rovníku s vodorovnou přímkou procházející středem astrolábu a neodpovídá horizontu konstruovanému pro 50° s.š.

Zobrazení místního horizontu na astrolábu orloje

Protože konstrukce astrolábu staroměstského orloje neodpovídá správnému sklonu zemské osy (úhlu největší deklinace Slunce), při konstrukci horizontu pro správnou hodnotu zeměpisné šířky by se ve stereografické projekci (nebo při použití dobových návodů na konstrukci astrolábu) tato kružnice místního horizontu odchylovala od skutečných východů a západů Slunce v daném místě. Kružnice místního horizontu totiž musí procházet průsečíkem kružnice rovníku a vodorovné přímky procházející středem astrolábu. Jestliže je kružnice rovníku na astrolábu menší, než by měla vzhledem ke kružnici obratníku Raka být, nachází se tento průsečík od kružnice Raka dále a kružnice horizontu pak kružnici Raka při stereografické projekci odpovídající 50° severní šířky protne jinde (v bodě, který v této zeměpisné šířce neodpovídá času západu nebo východu Slunce o letním slunovratu). Namísto konstrukce pro správnou polohu 50° severní šířky by musela být kružnice horizontu na astrolábu orloje konstruována pro polohu jinou, v tomto případě pro 48° s.š.

Na obr. 2 je kružnice místního obzoru odpovídající poloze Prahy (tj. 50° s.š.) vyznačena modrou linkou. Vpravo v místě, kde se nachází průsečík kružnice horizontu a kružnice obratníku Raka, tedy okamžik západu Slunce o letním slunovratu, je vyznačeno rozdělení čtyřia dvacetihodinového číselníku po pěti minutách. Skutečná kružnice obzoru na orloji zde protíná obratník Raka na poloze cca 20.05 hodin, tato kružnice však odpovídá konstrukci pro 48° s.š. Pro kompenzaci vlivu nesprávného sklonu osy Země by bylo tedy teoreticky nutné konstruovat tuto kružnici jinak, s poloměrem

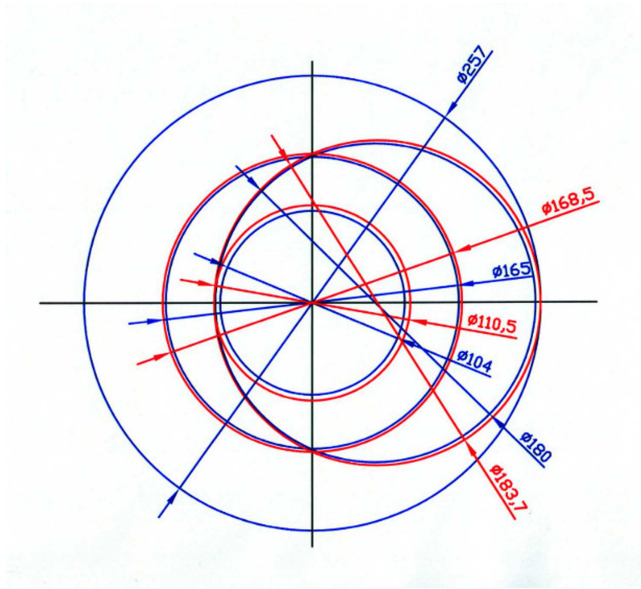


Obr. 5. Současný stav astrolábu orloje. Tento astroláb původně pochází z roku 1865. Po roce 1945 byl zrestaurován, byl vyměněn plechový potah, ale podoba byla zachována. Konstrukce současného astrolábu proto rovněž neodpovídá správnému sklonu zemské osy, ani vyznačení horizontu neodpovídá správné zeměpisné šířce ($46,5^\circ$ namísto 50°). Kružnice horizontu, stejně jako u astrolábu z roku 1865, neodpovídá časům západů Slunce, chybně protíná obratník Raka na 8. hodině večerní.

průměry kružnic v cm měřeno na středech železných pásů tvořících linie	správné přepočítáno na průměr kružnice obratníku Raka	současný stav	původní stav před r. 1864
obr. Raka	257	257	cca 257
rovníku	168,5	165	cca 162
obr. Kozoroha	110,5	104	cca 103
ekliptiky (měřeno na okraji)	183,7	180	180

o něco větším, odpovídajícím menší hodnotě zeměpisné šířky. Najít míru kompenzace ale nelze provést nějakým jednoduchým způsobem. Mnohem pravděpodobnější je, že kružnice horizontu byla zakreslena tak, aby pouze odpovídala známým časům východů a západů Slunce [8].⁵

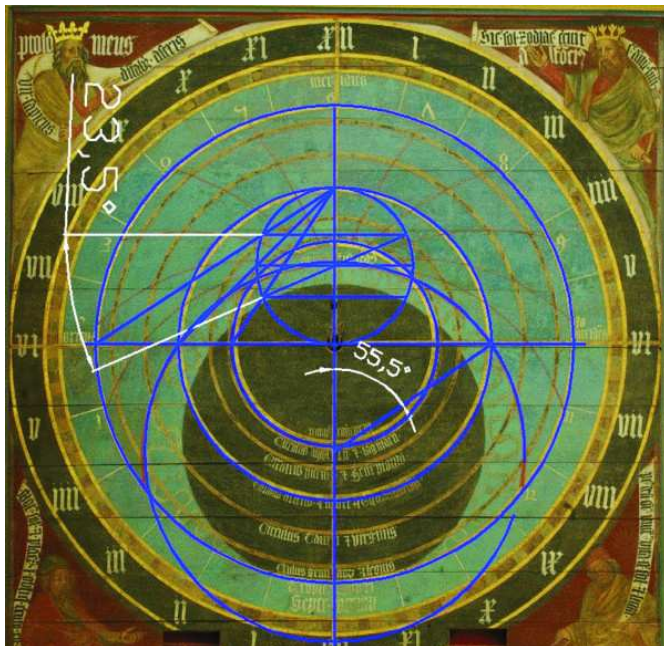
⁵K tomu stačilo propojit bod na obratníku Raka odpovídající na hodinovém dělení okamžiku západu Slunce o letním slunovratu s bodem na rovníku odpovídajícím poloze Slunce na ekliptice v okamžiku západu Slunce o rovnodennosti (v každé lokalitě s průsečíkem kružnice rovníku s vodorovnou přímkou procházející jejím středem). Vzniklou úsečku pak rozdělit na polovinu a vyznačeným středem vést k ní kolmici směrem na svislou osu astrolábu. Z takto vzniklého průsečíku této kolmice se svislou osou astrolábu pak nakreslit kružnici procházející oběma krajními body úsečky.



Obr. 6. Současné kružnice astrolábu orloje jsou vyznačeny modře. Teoreticky správné rozměry kružnic konstruované podle sklonu zemské osy $23,5^\circ$ jsou vyznačeny červeně. (Přepočítáno na současnou velikost průměru obratníku Raka 257 cm, která je dána celkovou velikostí astrolábu.) Kresba zobrazuje také špatný rozměr současné ekliptiky a její špatné umístění, nedotýká se obratníků.



Obr. 7. Současná podoba astrolábu s chybnými rozměry ekliptiky nedosahujícími na kružnice obratníků



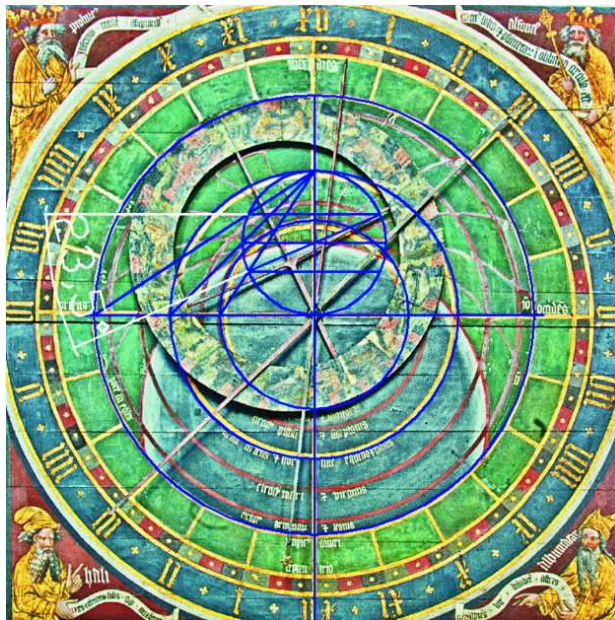
Obr. 8. Nepřesnosti na dochované desce astrolábu orloje v Bad Doberanu (Nicolaus Lilienfeld, 1390 – orloj zanikl v 17. století). Kružnice astrolábu mají odlišné rozměry vzhledem ke kresbě, která odpovídá správné hodnotě sklonu osy země k rovině ekliptiky. Srovnání je provedeno vzhledem k největší kružnici – obratníku Raka. Kružnice představující horizont odpovídá ve stereografické projekci cca $55,5^\circ$ s. š. – poloha Bad Doberanu je 54° s. š.

Skutečnost, že vzájemné poměry velikostí kružnic obratníků a rovníku odpovídají stereografické projekci provedené pro nesprávný sklon zemské osy a vyznačená kružnice horizontu je přitom správná, prakticky vylučuje možnost, že byl celý astroláb konstruován přesně na základě stereografické projekce nebo na základě obdobné dobové metody konstrukce astrolábu stereografické projekci odpovídající.

Je velmi zajímavé a zřejmě významné, že takto nepřesné byly i jiné evropské orloje, nepřesnost staroměstského orloje nebyla ojedinělá (viz obr. 8–11). To zvyšuje pravděpodobnost, že stavba orlojních astrolábů mohla být na přelomu 14. a 15. století prováděna také jen intuitivně, pouze za dodržení výše uvedených nezbytných vztahů mezi velikostmi kružnic představujících obratníky, ekliptiku a rovník. Velikost kružnice obratníku Raka byla často dána velikostí desky, velikost kružnice obratníku Kozoroha pak bylo možné zvolit v nějakém na pohled vyhovujícím rozmezí téměř libovolně. Průměr ekliptiky byl pak jednoduše určen těmito kružnicemi. Pak už stačilo jen vést středem astrolábu kolmicí ke spojnici středu astrolábu se středem ekliptiky a průsečík této kolmice s kružnicí ekliptiky určil poloměr kružnice rovníku.

Závěr

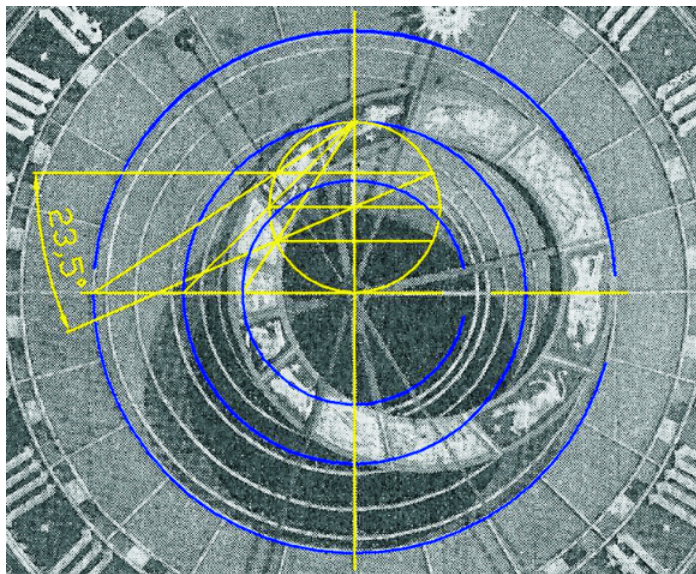
Nepřesnost konstrukce astrolábu a také jednoduchost jeho soukolí neumožňující větší přesnost převodu (chyba v otáčení měsíční rafije $4,6^\circ$ za synodický měsíc) jsou fakta



Obr. 9. Nepřesnosti na astrolábu orloje ve Stralsundu (Nicolaus Lillienfeld, 1394). Konstrukce na fotografii nakreslená odpovídá správné hodnotě sklonu osy Země k rovině ekliptiky.

zpochybnující platnost hypotézy, která předpokládá spolupráci astronoma a matematika na stavbě orloje. Vzniká totiž otázka, zda by účast astronoma a matematika mohla k takovému výsledku vést a jestli tyto skutečnosti pravděpodobnost spolupráce s matematikem a astronomem spíše nevylučují. Astroláby, konstruované tehdejšími učenými, byly totiž velmi přesné. Schopnost královského hodináře samostatně postavit orloj včetně astrolábu přitom nelze zpochybnit. V té době byli mezi staviteli orlojů nejen učenými jako Jean Fusoris nebo Jacopo de Dondi, ale rozměrově velké orloje staví také Nicolaus Lillienfeld, zvaný hodinář (horologista). V Čechách hodinářství zatím nemělo tradici (do Čech přišlo za vlády Karla IV.), a proto je velmi pravděpodobné, že se Mikuláš z Kadaně (* okolo 1350 – † 1419), hodinář krále Václava IV., který orloj postavil, řemeslu vyučil a mistrovskou zkoušku složil jinde. Lze tak předpokládat, že znal pravděpodobně konstrukci nejméně jednoho evropského orloje severského typu a při stavbě staroměstského orloje z ní mohl vycházet. Mohl použít jednoduchou a již osvědčenou koncepci převodů a pouze zjednodušený postup při konstrukci astrolábu, při kterém mu na velké přesnosti a shodě s astronomickými hodnotami nezáleželo. Byl si patrně vědom, že při tak značné vzdálenosti ukazatelů – symbolů Slunce, Měsíce a zodiaku – od plochy astrolábu přesné údaje odečítat stejně nelze. Svoje konstruktérské umění spíše nasměroval na vyřešení technického problému se zobrazováním staročeského času, které se u severských orlojů nemohlo vyskytovat.⁶

⁶Staročeský čas (dělení dne na 24 stejně dlouhých hodin odpočítávaných od okamžiku západu Slunce), nazývaný také italský, k nám přišel z Itálie. V severněji položených evropských zemích, kde se stavěly orloje s astrolábem, se nepoužíval, rozdíl v časech západů a východů Slunce o letním a zimním slunovratu (v délce světelného dne) je zde příliš velký. V jižněji položené Itálii se zase na rozdíl od severských zemí nestavěly orloje s astrolábem, ale se soustřednými ciferníky, kde technický problém s indikací těchto hodin není.



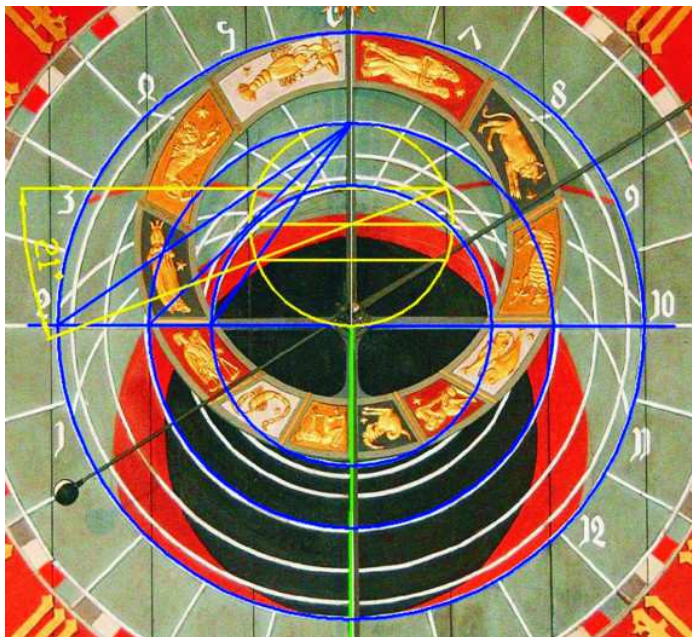
Obr. 10. Orloj v Lundu (pravděpodobně Nicolaus Lilienfeld, konec 14. století). Fotografie astrolábu orloje před restaurací dokončenou v roce 1923. Kresba modrou linkou představuje teoreticky správné rozměry kružnic astrolábu. Kružnice obratníku Kozorooha je zde na rozdíl od orlojů v Praze, Stralsundu a Bad Doberanu naopak větší, než by měla být. Ekliptika je proto v tomto případě také větší (v důsledku o něco méně excentrická a tedy i méně staticky nevyvážená).

Nepřesnost konstrukce astrolábu a převodů jeho soukolí výjimečnost staroměstského orloje nijak nesnižuje. Pokud by pak tato skutečnost ukazovala na Mikuláše z Kadaně jako samostatného stavitele orloje, spíše by to výjimečnost staroměstského orloje a především jeho stavitele posílilo. Konstrukce astrolábu jako časoměrného přístroje obsahuje navíc ve své době pravděpodobně unikátní řešení, kterým je zobrazování staročeského času přímo symbolem Slunce [7].

Použité fotografie: č. 1 a 2 Archiv NTM, č. 3 Archiv Muzea hl. města Prahy, č. 5 a 7 autor. Ostatní www.orloj.eu a Wikipedie.

L i t e r a t u r a

- [1] Anonym, *Astrolabium parvum*. Orlojní kniha ze 17. století. Dostupné z: http://www.orloj.eu/cs/astrolabium_parvum.htm
- [2] ERBEN, K. J.: *Zpráva o starobylém orloji na radnici Starého města Pražského* (rukopis z roku 1867). Na Erbenově kresbě astrolábu orloje je obratník Kozorooha viditelně menší, než by odpovídalo stereografické projekci. O Erbenově spisu Petr Král, dostupné z: http://www.orloj.eu/cs/jak_erbena.htm
- [3] HADRAVOVÁ, A., HADRAVA, P.: *Křišťan z Prachatic, stavba a užití astrolábu*. Praha, Filosofia, 2001.
- [4] HORSKÝ, Z., PROCHÁZKA, E.: *Pražský orloj*. Sborník pro dějiny přírodních věd a techniky 9, NČSAV, Praha, 1964.



Obr. 11. Fotografie současné podoby astrolábu orloje v Lundu po zrestaurování. Velikosti kružnic, představujících obratníky Raka a Kozoroha, odpovídají hodnotě sklonu zemské osy 21° , velikost kružnice rovníku je však o něco větší, než by měla i podle stereografické projekce provedené pro sklon osy 21° být. Obzor, při restaurování patrně upravený, přibližně odpovídá na hodinové stupnici astrolábu místním časům východů a západů Slunce.

- [5] KRÍŽEK, M., SOMER, L., ŠOLCOVÁ, A.: *Deset matematických vět o pražském orloji*. PMFA 54 (2009), 281–300.
- [6] MACHÁČEK, S.: *Nález zprávy o vytvoření orloje Starého Města r. 1410*. Zprávy komise pro dějiny přírodních, lékařských a technických věd Československé akademie věd č. 10/1962.
- [7] MARUŠÁK, S., KRÁL, P.: *Čtyřiadvacetník*. Dostupné z: http://www.orloj.eu/cs/orloj_ctyriadvacetnik.htm
- [8] PATKA, M., KRÁL, P.: *Západ Slunce na Pražském orloji*. Dostupné z: http://www.orloj.eu/cs/zapad_slunce.htm
- [9] ŠOLCOVÁ, A.: *Mistr Jan Šindel – pravděpodobný tvůrce matematického modelu pražského orloje*. PMFA 54 (2009), 307–317.
- [10] <http://www.orloj.eu/cs/stralsund.htm>