

1 Co jste o slunečních hodinách nevěděli?

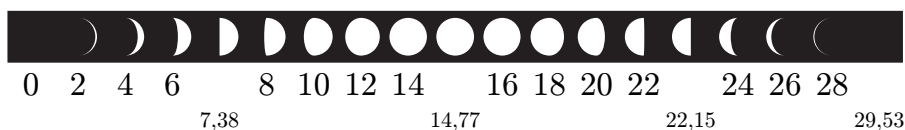
1.1 Měsíční hodiny

Drahomíra Pecinová

Sluneční hodiny různých typů můžeme doplnit měsíčními hodinami a rozšířit tak jejich použití i na noci, kdy svítí Měsíc. Je-li svit Měsíce dostatečný (přibližně od první do poslední čtvrti), lze na slunečních hodinách číst polohu vrženého stínu ukazatele. Použitím měsíčních hodin ve formě tabulky nebo grafu můžeme ze čtené hodnoty přibližně určit místní pravý sluneční čas, i když je noc.

Abychom si mohli ukázat, jak takové měsíční hodiny zkonstruovat, objasníme si nejprve několik základních pojmů. Měsíc se pohybuje kolem Země po eliptické dráze s excentricitou $e = 0,0549$. Dráha je k ekliptice skloněna o úhel, jehož střední hodnota je $5^{\circ}9'$. Podle volby vztažné soustavy rozlišujeme dvě oběžné doby Měsíce kolem Země: dobu siderickou a dobu synodickou. *Siderická oběžná doba* T_{sid} je doba, za kterou opiše průvodič Měsíce úhel 360° vůči lokální inerciální vztažné soustavě určené polohou nejbližších hvězd. Její hodnota je 27 d 7 h 43 min 11,5 s. Oproti tomu *synodická oběžná doba* T_{syn} je doba, která uběhne mezi dvěma po sobě následujícími stejnými fázemi Měsíce, například od novu k novu. Je to tedy oběžná doba měřená pozorovatelem na Zemi, určovaná podle směru k Slunci. Její hodnota je 29 d 12 h 44 min 2,8 s.

V našem odvození schématu měsíčních hodin vyjdeme z faktu, že za dobu jednoho synodického oběhu Měsíce se pro pozorovatele na Zemi vystřídají všechny měsíční fáze. Střídání měsíčních fází ukazuje obr. 1. Budeme předpokládat, že se Měsíc pohybuje v rovině ekliptiky spolu se Sluncem, čímž se dopustíme pouze zanedbatelné chyby. Rozdíl hodinových úhlů Slunce a Měsíce označíme Δt . Tento rozdíl nabývá hodnot z intervalu $(0^\circ, 360^\circ)$ a je roven 0° v novu, 90° v první čtvrti, 180° v úplňku a 270° v poslední čtvrti. Každou hodnotu Δt převedenou na časovou míru označíme $\Delta t'$ ($24 \text{ h} \hat{=} 360^\circ$). Těmto hodnotám můžeme pak přiřadit stáří s Měsíce ve dnech. Stáří s můžeme počítat buď od novu, nebo od úplňku. Těmto dvěma různým způsobům počítání odpovídají také dvě různé varianty měsíčních hodin.



Obr. 1 — Fáze Měsíce. Číslicí je vyznačeno stáří s ve dnech.

Počítejme nejprve stáří s od novu. Mezi veličinami Δt , $\Delta t'$ a s platí následující jednoduché vztahy:

$$\Delta t' = \Delta t \frac{24 \text{ h}}{360^\circ},$$

$$s = T_{\text{syn}} \frac{\Delta t}{360^\circ}.$$

Tab. 1 ukazuje hodnoty Δt a $\Delta t'$ vypočtené pro s volené po jednom dni a v tab. 2 jsou hodnoty s a Δt vypočtené pro $\Delta t'$ po jedné hodině. Vidíme například, že rozdíl Δt hodinových úhlů Slunce a Měsíce je v 1. čtvrti 90° , $\Delta t'$ je rovno 6 h, s je 7,38 d. Znamená to, že Měsíc v 1. čtvrti o stáří $s = 7,38$ d projde meridiánem 6 h po Slunci.

Závislost $\Delta t'$ na s ve formě tabulky nebo grafu nazýváme měsíčními hodinami. Graf (obr. 2) získáme následujícím způsobem. Na vodorovnou osu zobrazíme stáří s Měsíce ve dnech. Na šikmou osu vyneseme rozdíl hodinových úhlů $\Delta t'$ Měsíce a Slunce vyjádřený v hodinách. Do grafu má smysl vynášet pouze hodnoty od 1. čtvrti do 3. čtvrti, protože v jiném období neposkytuje Měsíc dostatečný osvit. Vodorovnou osu můžeme doplnit obrázky měsíčních fází.

Použití měsíčních hodin je následující. Měsíc osvíti nástěnné sluneční hodiny, na nichž přečteme polohu vrženého stínu ukazatele a označíme ji x . Očíma odhadneme nebo z hvězdářské ročenky vyčteme stáří s Měsíce od novu a na měsíčních

hodinách nalezneme tomuto stáří odpovídající časovou hodnotu $\Delta t'$. Časový údaj T v místním pravém slunečním čase získáme ze vztahu

$$T = x + \Delta t' .$$

Pokud bude časový údaj T větší než 24 h, musíme od něho odečíst 24 h a k datu jeden den přičíst. Nástěnné sluneční hodiny, které jsou doplněny tímto grafem, ukazuje obr. 3. Dodejme, že stejnou službu jako graf nám může poskytnout také tabulka.

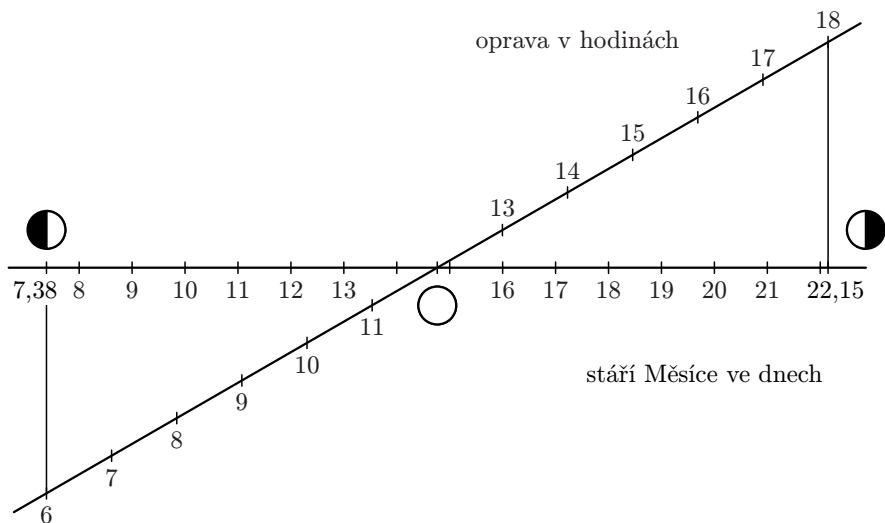
Δt (°)	s (d)	$\Delta t'$ (h)
85,3	7	5,69
90	7,38	6
97,5	8	6,50
109,7	9	7,31
121,9	10	8,13
134,1	11	8,94
146,3	12	9,75
158,5	13	10,57
170,7	14	11,38
180	14,76	12
182,9	15	12,19
195,1	16	13,00
207,2	17	13,89
219,4	18	14,63
231,6	19	15,44
243,8	20	16,25
256,0	21	17,07
268,2	22	17,88
270	22,14	18

Tab. 1 — Hodnoty Δt a $\Delta t'$ pro s rostoucí od novu po jednom dni.

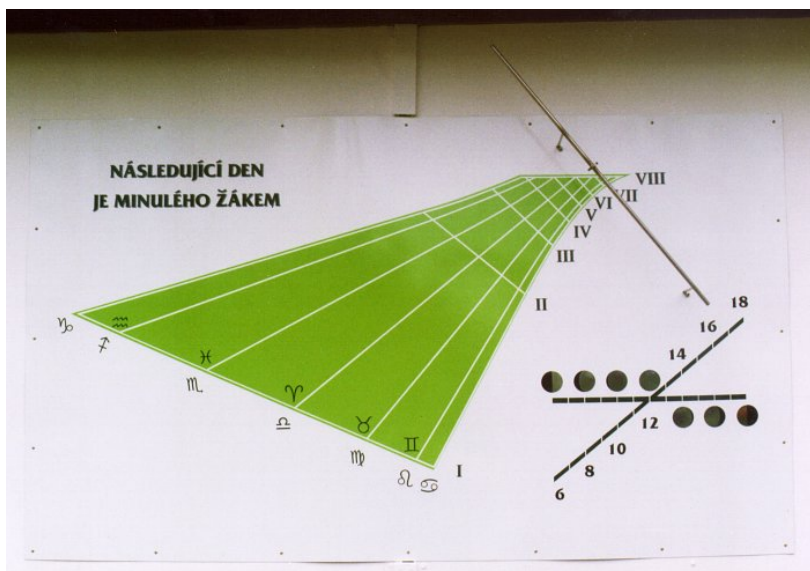
Δt (°)	s (d)	$\Delta t'$ (h)
90	7,38	6
105	8,61	7
120	9,84	8
135	11,07	9
150	12,30	10
165	13,54	11
180	14,76	12
195	16,00	13
210	17,23	14
225	18,46	15
240	19,69	16
255	20,92	17
270	22,14	18

Tab. 2 — Hodnoty Δt a s počítané od novu pro $\Delta t'$ rostoucí po 1 hodině.

Jinou variantu měsíčních hodin dostaneme, budeme-li stáří s Měsíce počítat od úplňku ($t = 180^\circ$), záporně ve směru ubývajícího měsíce, kladně ve směru měsíce dorůstajícího. Tato varianta se zdá být lepší v případě, kdy nemáme neustále k dispozici hvězdářskou ročenku. Tab. 3 ukazuje měnící se hodnoty Δt a $\Delta t'$ pro absolutní hodnotu s rostoucí od úplňku po jednom dni k první a poslední čtvrti. V tab. 4 jsou hodnoty Δt a s pro absolutní hodnotu $\Delta t'$ rostoucí od úplňku po jedné hodině. Graf na obr. 4 je sestaven podle těchto tabulek. Hodnoty s jsou opět vyneseny na vodorovnou osu. Údaje na šikmé ose mají význam rozdílů $\Delta t'$ Měsíce v úplňku a Měsíce o stáří s . Levá část grafu na obrázku je označena znaménkem +, pravá znaménkem -. Význam tohoto označení plyne z použití této varianty měsíčních hodin. Měsíc osvítlí nástěnné sluneční hodiny, na nichž čteme polohu x vrženého stínu ukazatele. Opět očima odhadneme nebo si v hvězdářské



Obr. 2 — Graf měsíčních hodin počítaných od novu.



Obr. 3 — Sluneční a měsíční hodiny v Hradci Králové, Roudničce E48 (HK 15). Jsou to jediné měsíční hodiny v České republice, o kterých víme. Foto Martin Navrátil (1997).

ročenice zjistíme stáří s Měsíce od úplňku a z grafu čteme hodnotu na šikmé ose. Zřejmě mohou nastat tyto dva případy:

1. Měsíc je před úplňkem. K výpočtu časového údaje T použijeme levou část označenou „+“. Potom

$$T = x + 12 - \Delta t' ;$$

2. Měsíc je po úplňku. K výpočtu časového údaje T použijeme pravou část označenou „-“. Pak

$$T = x - (12 - \Delta t') .$$

Tuto variantu měsíčních hodin ukazuje obr. 5.

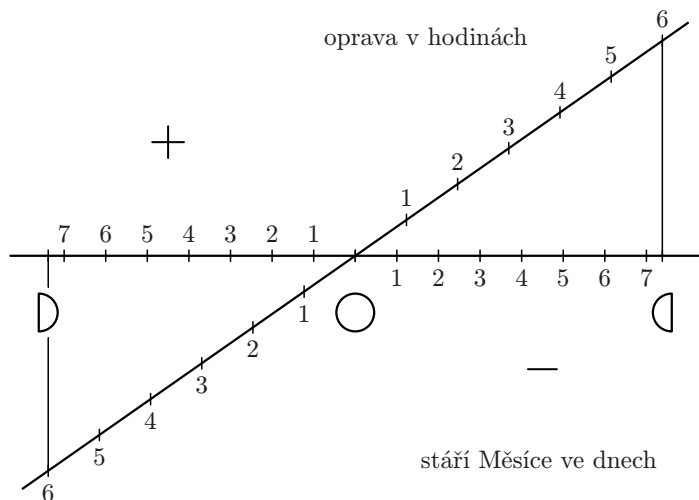
Δt (°)	s (d)	$\Delta t'$ (h)
90,0	7,38	6,0
94,6	7	5,7
106,8	6	4,9
119,0	5	4,1
131,2	4	3,3
143,4	3	2,4
155,6	2	1,6
167,7	1	0,8
180,0	0	0,0
192,1	1	0,8
204,3	2	1,6
216,5	3	2,4
228,7	4	3,3
240,9	5	4,1
253,1	6	4,9
265,3	7	5,7
270,0	7,38	6,0

Δt (°)	s (d)	$\Delta t'$ (h)
90	7,38	6
105	6,15	5
120	4,92	4
135	3,69	3
150	2,46	2
165	1,22	1
180	0,00	0
195	1,22	1
210	2,46	2
225	3,69	3
240	4,92	4
255	6,15	5
270	7,38	6

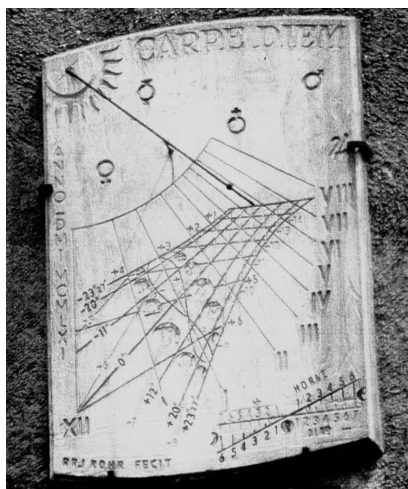
Tab. 3 — Hodnoty Δt a $\Delta t'$ počítané pro s rostoucí od úplňku po jednom dni.

Tab. 4 — Hodnoty Δt a s počítané od úplňku pro $\Delta t'$ rostoucí po 1 hodině.

Uvedené odvození měsíčních hodin je pouze přibližné. Je však v praxi zcela postačující. Pokud nemáme k dispozici hvězdářskou ročenku, odhadování stáří Měsíce, zvláště v období kolem úplňku, není jednoduchou záležitostí. Z tohoto důvodu jsme při odvození předpokládali, že se Měsíc pohybuje po ekliptice jako Slunce, a zanedbali jsme fakt, že sklon dráhy se mění v intervalu od $4^\circ 59'$ do $5^\circ 19'$ (střední hodnota je $5^\circ 9'$) v periodě 18,6 roku. Při přesném odvození měsíčních hodin bychom museli vycházet z exaktní znalosti pohybu Měsíce kolem Země, popsaném například v ??, což znamená uvážit změny excentricity dráhy Měsíce, stáčení přímký apsid a další jevy.

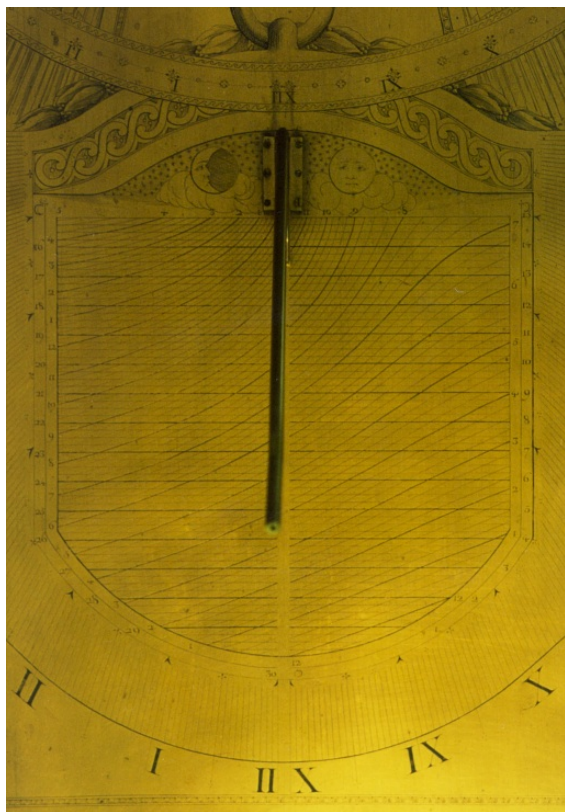


Obr. 4 — Varianta měsíčních hodin počítaných od úplňku.



Obr. 5 — Stanoviště Carcassonne v jižní Francii s měsíčními hodinami. Foto Martin Navrátil (1994).

Měsíční hodiny mohou být v této podobě umístěny na různých typech slunečních hodin, například na vodorovných slunečních hodinách. Jejich princip ani vzhled se s typem slunečních hodin nemění.



Obr. 6 — Zvláštní variantu měsíčních hodin můžeme vidět na přenosných hodinách vystavených v prostorách Štefánikovy hvězdárny v Praze na Petříně. Zařízení sestává z obvyklých vodorovných slunečních hodin se šikmým ukazatelem (dole a po stranách vidíme část číselníku v rozsahu X–XII–II, s drobnými ryskami po 3 minutách a značkami půl- a čtvrt hodin). Nahoře je částečně patrný číselník analematických hodin. Měsíční hodiny jsou zde tvořeny: (a) soustavou rovnoběžných úseček (na snímku se jeví vodorovné, jsou popsány dvojicemi malých čísel na vnější stupnici: 0–30, 1–29, 2–28, atd. — odpovídají stáří Měsíce ve dnech počítaných od novu); (b) soustavou křivek (na snímku jdou přibližně zleva doprava nahoru, jejich popisky sestávají z dvojic stejných číslic na vnitřní stupnici: 12–12, 1–1, 2–2, ..., 12–12, 1–1, ..., 4–4 a 5 — tyto odpovídají hodinám ve slunečním čase). Použití měsíčních hodin může být následující: pohledem na Měsíc určíme jeho stáří ve dnech, na hodinách vyhledáme příslušnou úsečku (a), zjistíme její průsečík se stínem vrženým ukazatelem při svitu Měsíce, po nejbližší křivce (b) „dojedeme“ na okraj, kde si přečteme její popisek udávající sluneční čas. Vyjádřeno jinými slovy: průsečíky úseček (a) a křivek (b) definují pro dané stáří Měsíce hodinové značky měsíčních hodin, které jsou popsány ve slunečním čase. Všimněme si, že při tomto postupu vůbec nepoužíváme stupnici vodorovných slunečních hodin na obvodu. Foto Martin Šolc (2003).