

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Petr Skála

Malé závěrkové kolečko na bicím stroji pražského orloje

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 58 (2013), No. 3, 225–231

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/143461>

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>

Malé závěrkové kolečko na bicím stroji pražského orloje

Petr Skála, Sadská

Na bicím stroji orloje se nachází velmi zajímavá konstrukční zvláštnost, obdivovaná především milovníky matematiky. Je to podivuhodná soustava dvou závěrkových kol.

Jako každý běžný bicí stroj odbíjející hodiny, má i bicí stroj orloje jedno velké závěrkové kolo, které určuje počet právě odbíjených úderů na cimbál. Na orloji je však již toto závěrkové kolo poněkud neobvyklé. Na rozdíl od běžných hodin, které odbíjejí nejvíce 12 úderů – v poledne a o půlnoci, orloj odbíjí 1 až 24 úderů, tedy celkem 300 úderů za den. Závěrkové kolo se proto otáčí relativně velmi pomalu, na jeden úder bicího stroje připadá pouhá jedna třisetina jeho obvodu. V principu je to však stále běžné závěrkové kolo. Skutečnou zvláštností je ještě jedno, mnohem menší závěrkové kolečko, které se otáčí spolu se závěrkovým kolem velkým (obr. 1). Otáčí se však dvacetkrát rychleji a má tu vlastnost, že kdykoliv se dostane výřez na obvodu velkého závěrkového kola pod zapadací raménko, ocitne se pod ním také jeden z nestejně rozmístěných výřezů na obvodu tohoto malého závěrkového kola a umožní tak zapadnutí raménka do výřezu velkého závěrkového kola.

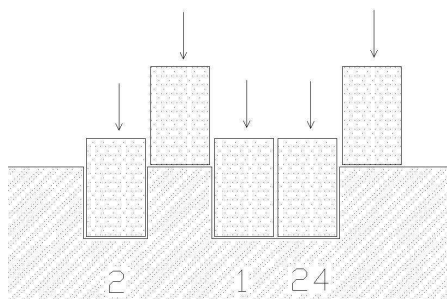
O tom, kdy bylo toto malé závěrkové kolo na bicí stroj orloje osazeno, se můžeme jenom dohadovat. Víme, že ve 2. polovině 16. století Jan Táborský ve svém popisu orloje výslovně píše „ktož jiným orlojům rozumí, ten v straně této třetí také snadné všecko spatří a, čeho tu třeba jest, porozumí“. Píše tedy, že tento bicí stroj je jako každý jiný. Malé závěrkové kolečko tedy není původní a ani v roce 1570 zde ještě nebylo. V roce 1864 na orloji však již bylo, zobrazil jej Romuald Božek na své kresbě stroje orloje¹. Snad se na orloj dostalo v roce 1629, kdy byl pravděpodobně bicí stroj snesen shora z věže a připojen dole ke stroji orloje.

Nejzajímavější je však jeho funkce a z ní vyplývající jeho význam, důvod, proč jej vůbec na bicí stroj orloje kdysi někdo osadil. Logicky bychom předpokládali, že pokud je ve stroji nějaká pohyblivá součást, bude mít nějakou potřebnou mechanickou funkci. U malého závěrkového kolečka tomu ale tak není. Toto kolečko zde překvapivě žádnou potřebnou mechanickou funkci nemá a ani mít nemůže. Zdůvodníme, proč tomu tak

¹Kresby stroje orloje zhotovené Romualdem Božkem (archiv NTM) jsou autory písčícími o orloji považovány za kresby pocházející z roku 1828. Podle V. Rosického (str. 32 knihy Staroměstský orloj v Praze) byl v prosinci roku 1828 povolán k posouzení stavu orloje Romuald Božek s hodinářem Krausem. Později byl tento omyl převzat Z. Horským a S. Michalem (a dalšími), oba pak ještě přiřadili do této doby i vznik kreseb. Kresby jsou však datovány 30. Juli 1864 a byly tedy zhotoveny měsíc před zahájením velké opravy a demontáže stroje orloje. J. Teige v knize Staroměstský orloj v Praze (1908) píše, že „na radu výborného mechanika Božka byla . . . zadána oprava orloje. . .“. Tímto mechanikem mohl být pouze Josef Božek, Romualdův otec. Romualdovi v prosinci roku 1829 nebylo ještě ani 15 let. Tuto skutečnost V. Rosický a po něm další autoři patrně přehlédli. Zmíněná kresba a kótování (v rakouských palcích = 2,63 cm) s popisky jsou pak provedeny zkušenou rukou, kresby nejsou signovány, ale rukopis je shodný s dochovaným rukopisem R. Božka ze 60. let 19. stol.



Obr. 1



Obr. 2

je, a také vyslovíme domněnku, jak byl možná princip kolečka objeven. Nejprve však popíšeme, jak obecně závěrkové kolo funguje.

Závěrkové kolo a jeho funkce

Na obrázku 2 je schematicky nakreslen profil obvodu části běžného závěrkového kola s výřezy a také řez zapadacím raménkem. Zapadací raménko má dvě polohy. Horní – v této poloze nebrání bicímu stroji v otáčení, a dolní, kdy otáčení soukolí zastaví. Účelem závěrkového kola je zabránit zastavení bicího stroje tím, že udržuje zapadací raménko v horní poloze. Při každém úderu se závěrkové kolo posune doprava o jeden krok (tj. o vzdálenost mezi jednotlivými šípkami) a pod raménkem se ocitne buď výřez, do kterého raménko zapadne, nebo obvod kola, který zapadnutí raménka zabrání. Dole na závěrkovém kole je vyznačen počet úderů odpovídající příslušné poloze raménka po zapadnutí a ukončení odbíjení.

Na počátku odbíjení jedné hodiny se raménko zvedne z pozice 24, ve které setrvalo po odbití půlnoci, po odbití jednoho úderu se závěrkové kolo pootočí o jeden krok, pod raménko se tak dostane výřez 1 a raménko do něho zapadne, čímž zastaví bicí stroj (pro odbití pouze jedné hodiny nemusí být na obvodě kola segment). Ve dvě hodiny se na počátku odbíjení dvou úderů raménko zvedne, po odbití prvního úderu se kolo pootočí o jeden krok a úkolem doprava se posouvajícího závěrkového kola je nyní nastavit pod raménko segment a podržet tak raménko v horní poloze, aby se bicí stroj ještě nezastavil. Po druhém úderu se kolo pootočí o druhý krok, pod raménko se dostane výřez 2, raménko do něho zapadne, zaujme tak dolní polohu a stroj se zastaví. Bicí stroj jednoduše vždy odbíjí tak dlouho, dokud se na obvodu závěrkového kola, které se pod zapadacím raménkem při odbíjení posouvá, neobjeví výřez, do kterého raménko zapadne.

Posun závěrkového kola se může dít buď plynule, nebo skokem, podle způsobu převodu pohybu od soukolí na závěrkové kolo. Délku posunu odpovídající jednomu úderu jsme nazvali *krok*. Označíme-li délku jednoho kroku k a maximální počet úderů p , bude délka obvodu kola $k(1 + 2 + \dots + p) = kp(p + 1)/2$. Obvod kola bude rozdělen na $p - 1$ segmentů dlouhých $k, 2k, \dots, (p - 1)k$ oddělených $p - 1$ výřezy, z nichž $p - 2$ bude širokých k a jeden $2k$. V bicích strojích se běžně vyskytují závěrková kola pro $p = 4$ (pro odbíjení čtvrtí) a $p = 12$, jen vzácně pro $p = 24$ jako na orloji. Pro $p = 4$ se kolo otočí po 10, pro $p = 12$ po 78 a pro $p = 24$ po 300 úderech a krocích.

Zatím jsme však uvažovali teoretické řešení zobrazené na obrázku 2, které by bylo funkční v případě, že by v systému nebyly žádné vůle a byl by absolutně přesně proveden. Šířka raménka, šířka výřezu v závěrkovém kole a krok závěrkového kola jsou zde shodné. V systému jsou však vždy vůle a nepřesnosti v provedení, tedy vzájemné postavení výřezu a zapadacího raménka může být proměnlivé. V provozu by zapadací raménko nemuselo zapadnout do výřezu přesně stejně širokého jako raménko samo a odbíjení by pokračovalo. Aby systém fungoval, musíme buď zúžit raménko, nebo rozšířit výřezy. Případně provést do jisté míry oboje. Optimálním řešením (obr. 3) je stejnou měrou provedené zúžení raménka i rozšíření výřezů o polovinu délky kroku (na každé straně o čtvrtinu délky kroku). Zde zůstává dostatečná šířka (tedy i mechanická pevnost) nejkratšího segmentu pro dva údery i dostatečná šířka zapadacího raménka. Toto provedení zajistí bezchybné fungování i v případě, kdy chyba v postavení raménka vzhledem k výřezu bude jen o málo menší než polovina délky kroku. K zapadnutí raménka tak dojde vždy, když raménko zapadnout má, a nedojde, pokud zapadnout nemá.

Pravidlo. Je-li délka kroku k , pak optimální šíře výřezu je $k + k/2$ a šíře zapadacího raménka $k/2$. Součet vzájemných vůlí a nepřesností, tj. chyba ve vzájemné poloze raménka a výřezu, však musí být vždy menší než $k/2$.

V tomto případě bude na závěrkovém kole $p - 1$ segmentů dlouhých $k/2, 3k/2, \dots, (2p - 3)k/2$ oddělených $p - 1$ výřezy, z nichž $p - 2$ bude širokých $3k/2$ a jeden $5k/2$. Optimální řešení na obr. 3 je pak stejně odolné jak proti předčasnému zapadnutí raménka, a tedy předčasnému zastavení stroje, tak proti nezapadnutí raménka, a tedy chybnému pokračování odbíjení.

Pokud je však šířka výřezu nebo šířka zapadacího raménka jiná než u tohoto optimálního řešení, riziko chybné funkce se změní takto:

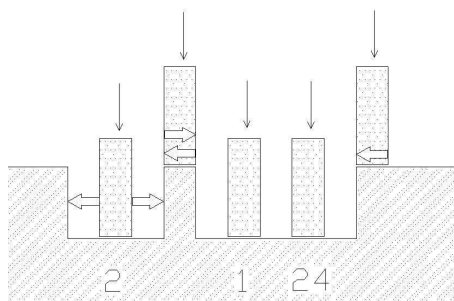
- a) Jestliže by bylo raménko příliš široké (nebo výřez příliš úzký), zvýšilo by se riziko nezapadnutí raménka do výřezu v závěrkovém kole, a tedy nežádoucího pokračování stroje v odbíjení.
- b) Jestliže by bylo raménko příliš úzké (nebo výřez příliš široký), zvýšilo by se riziko předčasného zapadnutí raménka, které by do výřezu zapadlo dříve, než je potřeba, stroj by se předčasně zastavil a odbíjení nedokončil.

Pokud je šířka výřezu nebo šířka zapadacího raménka jiná, je nutná vyšší přesnost provedení a jsou nezbytné menší vůle v mechanismu.

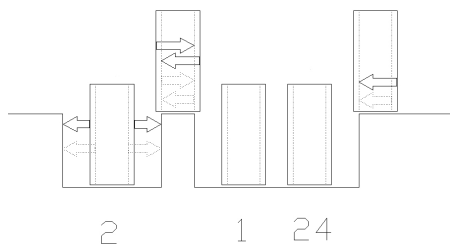
Bicí stroj pražského orloje

Na orloji je krok závěrkového kola 6,75 mm. Celkový součet vůlí a nepřesností by tedy neměl nikdy přesáhnout 3,37 mm na každou stranu (vzhledem k ideální poloze). Optimální šíře výřezu by měla být 10,12 mm a odpovídající šíře zapadacího raménka a nejkratšího segmentu pro dva údery 3,37 mm.

Na obr. 4 je situace na bicím stroji orloje. Šířka výřezu a šířka nejkratšího segmentu pro dva údery je na závěrkovém kole přibližně správná. Zapadací raménko je zde ale o 2 mm širší, mezera mezi bokem raménka a bokem výřezu je tedy cca o 30% menší. Je zde zvýšené riziko, že raménko nezapadne, ale riziko, že by mohlo zapadnout předčasně, je tak stejnou měrou snižené. Optimální šířka raménka je zobrazena tečkovaně,



Obr. 3



Obr. 4

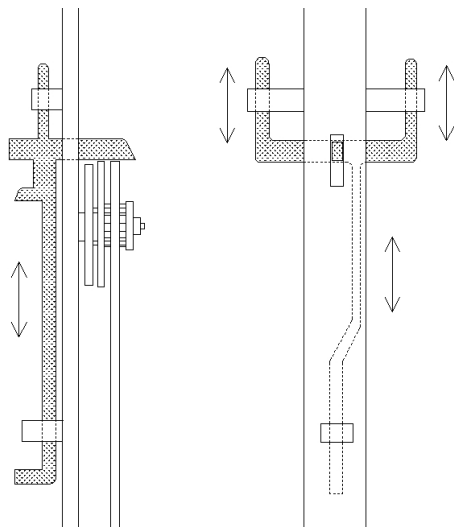
plnou čarou je zobrazena skutečná situace. Delší šipky na obrázku znamenají možnost větší odchylky ve vzájemné poloze raménka a výřezu bez následku chybné funkce. U raménka v horní poloze je to větší možná vůle bez následku předčasného zapadnutí raménka, kratší šipky demonstrují větší riziko předčasného zapadnutí raménka. U raménka v dolní poloze znázorňují kratší šipky menší odolnost proti nezapadnutí raménka.

Na orloji poměrně velkou přesnost polohy závěrkového kola zajišťuje jeho skokový pohyb. Při každém úderu na cimbál přetočí palec patnáctizubovou rohatku o jeden zub, tato rohatka je pak v každé poloze aretována klínem vtlačovaným mezi její zuby zpruhou. V okamžiku zapadání zapadacího raménka je tedy závěrkové kolo v klidu, drženo klínem rohatky ve správné poloze. Malá nepřesnost jeho polohy může být způsobena jen vůlí mezi cévami pastorku (pevně aretovanými rohatkou) a zuby závěrkového kola.²

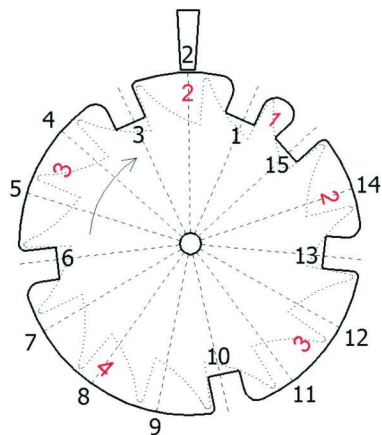
Spolehlivost odbíjení ale nezávisí jen na přesné poloze závěrkového kola, ale i na přesné poloze zapadacího raménka, které do výřezů v závěrkovém kole musí vždy spolehlivě a v pravý okamžik zapadnout, a zastavit tak chod bicího stroje. Zapadací raménko mělo však na bicím stroji orloje ve svém původním uložení a vedení velké vůle. Bylo osazeno na svislém rameni výpustné páky, která se pohybovala nahoru a dolů a byla při tom pohybu vedena dvěma tyčkami ve dvou okách (obr. 5). Vedení raménka bylo vystaveno značnému mechanickému namáhání, jelikož po staletí bylo výpustné rameno se zapadacím raménkem při spuštění stroje vyhazováno nahoru úderem palice. Navíc výpustné rameno i s vodicími tyčkami zachytávalo při každém zastavování chodu stroje náraz otáčejícího se zástavného ramene a celý tento ráz muselo zachytávat toto vedení zapadacího raménka. Důsledkem otřesů při vyhazování palic a také značného bočního namáhání vidlice i oka muselo být zvýšené opotřebení vodicích ploch a vznik nezanedbatelných vůlí znemožňujících dodržování přesné polohy raménka.

Když byl bicí stroj přemístěn z věže k orloji (pravděpodobně v roce 1629), bylo vypouštění na palici změněno na vypouštění s náběhem, prováděné kolíčkem na hlavním

²Oproti velkému závěrkovému kolu zaujímá malé závěrkové kolečko vždy přesnou polohu. Je totiž pevně spojeno s rohatkovým kolem, které je vždy pevně drženo v přesné poloze klínem vtlačovaným zpruhou mezi jeho zuby. Není zde žádná vůle ovlivňující přesnost jeho polohy. Při každém úderu, kdy dojde ke skokovému posunu závěrkových kol, se velké závěrkové kolo posune na svém obvodu o pouhých 6,75 mm (1,2 stupně), ale malé závěrkové kolo o 26,2 mm (24 stupňů), takže pod zapadacím raménkem proběhne téměř čtyřnásobná délka obvodu.



Obr. 5



Obr. 6

kole zvonického stroje. V roce 1865 pak bylo (v důsledku změny způsobu vypouštění – nově kolíky na slunečním kole) změněno uchycení zapadacího raménka a raménko je nyní upevněno na dlouhém vodorovném rameni otočně uloženém na střední svislé plotně rámu. Tím byla zcela odstraněna stranová vůle raménka.

Malé závěrkové kolo a jeho součinnost s velkým závěrkovým kolem

Na bicím stroji pražského orloje probíhá synchronně s velkým závěrkovým kolem pod stejným zapadacím raménkem ještě malé závěrkové kolečko. To se zcela otočí po 15 krocích, je upevněno na patnáctizubové rohatce (obr. 7) a při každém kroku se pod zapadacím raménkem ocitne buď segment na obvodu kolečka, nebo výřez mezi jednotlivými jeho segmenty. Jednotlivé pozice zapadacího raménka vzhledem k obvodu kolečka jsou krok po kroku znázorněny na obr. 6. Na kolečku je pět segmentů (dva pro jednu pozici, dva pro dvě a jeden pro tři pozice) a navíc jeden velmi krátký (situovaný mimo možnou pozici raménka). Mezi segmenty je šest zářezů, každý pro jednu pozici raménka. Velmi krátký segment se nachází mezi sousedními pozicemi 15 a 1, zapadací raménko přes tento segment přechází z pozice 15 jediným krokem do pozice 1 a segmentu se nijak nedotkne. Ten je tedy na kolečku zcela zbytečný, nemá zde žádnou praktickou funkci. Kdyby byl z malého kolečka odstraněn, nic by se na jeho funkci nezměnilo.

Zasloužený zájem budí součinnost velkého a malého závěrkového kola. Jak bylo už mnohokrát popsáno [1], [2], [3], ačkoliv se malé kolečko otáčí $20\times$ větší rychlostí, vždy v dané chvíli, kdy se na velkém závěrkovém kole ocitne pod zapadacím raménkem výřez, aby do něho raménko zapadlo a zastavilo odbíjení, přijde na řadu výřez i na malém kolečku a raménko tak může zapadnout do obou výřezů současně. Za tím je, jak známo, podivuhodná vlastnost posloupnosti 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1, 2, 3, 4, 3, 2, ... vzniklé opakováním sekvence 1, 2, 3, 4, 3, 2. Tato sekvence čísel je na malém kolečku obsažena

v počtu kroků mezi jednotlivými po sobě jdoucími výřezy³. Celou posloupnost vzniklou opakováním sekvence 1, 2, 3, 4, 3 a 2 můžeme totiž rozdělit na bezprostředně po sobě následující úseky tak, že jejich součty budou postupně 1, 2, 3, 4, 5, ..., 24 (tedy počty potřebných úderů bicího stroje) a následující úsek bude začínat opět 1. Tak třeba v 8 hodin zapadací raménko zapadne před počátkem odbíjení ve výřezu 13 zaujme v 8 krocích postupně 8 pozic 14, 15, 1, 2, 3, 4, 5, 6, kde skončí ve výřezu (obr. 5). Pod raménkem tak projdou na malém kolečku segmenty o číselné hodnotě 2, 1, 2 a 3, znamenající počet kroků od jednoho zapadnutí raménka ke druhému.

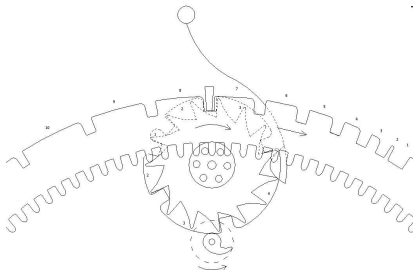
S malým kolečkem v pražském orloji se často spojují různé mýty, ať již o poselství matematiků z dávných časů, nebo o jeho magickém významu. Celý mechanismus malého závěrkového kolečka a jeho funkce dělá dojem sofistikovaně zkonstruovaného systému s obdivuhodně složitou funkcí. Bicí stroj ale s tímto kolečkem zkonstruován a postaven nebyl. Velké závěrkové kolo je patrně původní součástí bicího stroje orloje a stejně tak zde byla od počátku patnáctizubová rohatka, avšak bez tohoto kolečka. Tato rohatka prostřednictvím ozubeného převodu 6 : 120 pohybuje krok za krokem velkým závěrkovým kolem a mezi její zuby vždy po ukončení odbíjení zapadne zapadací raménko zapadající současně do výřezu na obvodu velkého závěrkového kola (obr. 7). Tato západka však na patnáctizubové rohatce zapadá pouze do šesti z patnácti mezer mezi zuby. Součty proběhlých úderů – čísla $1 + 2 + \dots + n$ – dávají totiž při dělení 15 jen šest zbytků 0, 1, 3, 6, 10, 13. Na rohatce jsou tato čísla pořadím mezer, do kterých zapadá západka, počítaným od mezery výchozí, ve které se nalézá západka před prvním z celé řady úderů 1–24 (na obr. 6 pozice 15). Vzdálenosti od první z těchto šesti mezer vždy k následující sousední mezeře, počítané v krocích, jsou pak 1, 2, 3, 4, 3 a 2.

Vlastnost rohatky, danou uvedenou posloupností, mohl vypozerovat i některý dávný orlojník. Kterých šesti mezer z patnácti jsou ty, kam západka zapadá, je možné na rohatce poznat. Kolečko musí být totiž stále mazáno, protože po stranách jeho zubů klouže otáčecí palec a klín západky. Mazání prováděli orlojníci sádlem nebo kolomazí (minerální olej nebyl tehdy k dispozici). Po letech tedy musely být mezery mezi zuby rohatkového kolečka nevyhnutelně zaneseny v hloubkách ztvrdlou směsí prachu a maziva. Pak bylo téměř nemožné si při čištění nevšimnout zvláštnosti – otisků západky pouze v některých mezerách. Kolečko tak mohlo být na tomto základě ke stroji přidáno jako zábavná mechanická hříčka. Na bicím stroji nebylo třeba velkých změn, tvůrce toto malé kolečko jen s výřezy přinýtoval na stávající patnáctizubové rohatkové kolo.

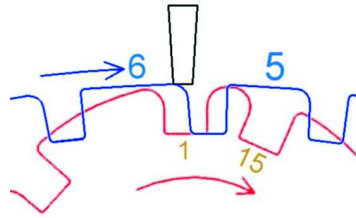
Vliv malého závěrkového kolečka na funkci bicího stroje

Často se uvádí, že malé závěrkové kolečko sloužilo ke zpřesnění chodu bicího stroje a eliminovalo chyby v odbíjení. Již jsme uvedli, že na orloji je dnes vzhledem ke zvětšené šíři raménka sníženo riziko jeho předčasného zapadnutí na úkor vyššího rizika jeho možného nezapadnutí. Riziko nezapadnutí ale osazení malého závěrkového kolečka nijak snížit nemůže. Může z principu bránit jen předčasnému zapadnutí.

³Není pravda, že délky segmentů jsou v poměru 1 : 2 : 3 : 4 : 3 : 2, jak se někdy uvádí. Rovněž lze i v odborných textech o závěrkovém kolečku orloje nalézt chybné vyobrazení kolečka (nejprve v [1] a poté v dalších). Na používaném vyobrazení jsou zaoblené rohy nakresleny na opačné straně segmentů. Segmenty každého závěrkového kola a tedy i tohoto malého kolečka mají zaobleny rohy, kterými segmenty nabíhají pod zapadací raménko (viz obr. 6, 7 a 8). Je to z toho důvodu, kdyby se raménko z nějakých technických příčin zvedlo nedostatečně, segment kolečka se o raménko nezarazí hranou, ale obloukovitým náběhem si jej přizdvihne.



Obr. 7



Obr. 8

Také jsme již uvedli, proč na bicím stroji pravděpodobně vznikla časem velká vůle v uložení raménka. Pokud by byla dokonce větší, než je krok závěrkového kola, bylo by pak řešením zapadací raménko nikoli rozšířit, ale naopak maximálně zúžit, aby i v případě velké odchylky od středu výřezu v závěrkovém kole mohlo v pravý okamžik bezpečně zapadnout. Důsledkem tohoto řešení by pak byla velká pravděpodobnost předčasného zapadání raménka na začátku nebo na konci každého vícečetného odbíjení. Právě předčasnému zapadání raménka by pak mohlo bránit osazení malého kolečka.

Problém je však v tom, že malé závěrkové kolečko tuto svoji funkci nemůže plnit vždy. Předčasnému zapadnutí raménka by nebylo schopno zabránit v situacích, ve kterých se při prvním z více úderů dostane pod zapadací raménko výřez 1 na malém kolečku (viz obr. 6 a 8), což nastane při odbíjení 6, 10, 15, 16 a 21 hodin. V těchto případech hrozí zapadnutí raménka již po prvním úderu a kolečko tomu nemůže zabránit. Když je podobně při předposledním úderu pod zapadacím raménkem výřez 15 (viz obr. 6 a 8), což je vždy při odbíjení 13 a 16 hodin, mohlo by odbíjení skončit o jeden úder dříve a malé kolečko by tak předčasnému zapadnutí zabránit nemohlo (při odbíjení 16 hodin může dojít k chybnému předčasnému zapadnutí raménka jak na začátku, tak na konci odbíjení).

Na obr. 8 je jako příklad zobrazena situace po prvním ze šesti úderů bicího stroje, kdy je pod zapadacím raménkem nasunuta jen zaoblená hrana segmentu velkého závěrkového kola a na malém kolečku je nastaven výřez (červená linka). Malé kolečko zde žádnou funkci plnit nemůže, případnému nežádoucímu zapadnutí raménka nezabrání.

Přidání malého závěrkového kolečka na bicí stroj tedy nemohlo mít za účel bránění předčasnému zapadnutí západky a tedy zdokonalení funkce bicího stroje. Úkolem kolečka by mělo být zabránění nežádoucímu zapadnutí raménka v $2p - 2$, tedy ve 46 situacích, kdy se raménko na počátku nebo na konci odbíjení nachází těsně na okraji každého z $p - 1$, tedy 23 segmentů velkého závěrkového kola. Systém zábrany, který je v 7 ze 46 situací nefunkční, není prakticky použitelný. Závada v odbíjení s následkem chybného každého dalšího odbíjení by zde totiž mohla nastat $6 \times$ denně při odbíjení 6, 10, 13, 15, 16 a 21 hodin. Důvod, proč malé závěrkové kolečko na bicí stroj někdo osadil, nemohl být tedy praktický.

L i t e r a t u r a

- [1] HORSKÝ, Z.: *Pražský orloj*. Panorama, Praha, 1988.
- [2] KRÍŽEK, M., SOMER, L., ŠOLCOVÁ, A.: *Deset matematických vět o pražském orloji*. PMFA 54 (2009), 281–300.
- [3] ŠÍMA, Z.: *Staroměstský orloj – hi-tech 14. století*. Čs. čas. fyz. 50 (2000), 435–447.