VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

HISTORIE AUTOMATIZACE A HODINOVÉ STROJE V ČECHÁCH

HISTORY OF AUTOMATION AND CLOCK MACHINES IN BOHEMIA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE **LUKÁŠ KRAJÍČEK**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **DOC. ING. BRANISLAV LACKO, CSC.**
SUPERVISOR

BRNO 2008

ZADÁNÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

(na místo tohoto listu vložte originál a nebo kopii zadání Vaš práce)

LICENČNÍ SMLOUVA

(na místo tohoto listu vložte vyplněný a podepsaný list formuláře licenčního ujednání)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Ing. Branislavu Lackovi, CSc., vedoucímu mé bakalářské práce, za připomínky a čas, který věnoval mé práci, Ing. Františku Krajíčkovi, mému otci, za cenné rady a Klášteru premonstrátů v Nové Říši za umožnění přístupu k hodinovému stroji.

ABSTRAKT

Hodináři byli průkopníci prvních automatických strojů. Tato práce se převážně zabývá popisem hodinového stroje umístěného na věži kostela v Nové Říši, dokumentujícího historické počátky automatizace u nás ve středověku. V dalších kapitolách jsou uvedena omezení vzniku a popis řízení přesnosti takového hodinového stroje. Poslední kapitola obsahuje informace o expozici hodinových strojů Technického muzea v Brně.

ABSTRACT

Clock makers were the inventors of the first automatic machines. This thesis deals with description of the mechanical clock machine housed in the church tower in Nová Říše, and documents the history of automation in Bohemia. The text describes the history of this clock, as well as difficulties that arose during its construction, as well as its maintenance and regulation. Information is also provided which pertains to the exposition of this clock at the Technical Museum in Brno.

KLÍČOVÁ SLOVA

automatizace, hodinový stroj, měření času, regulace hodinového stroje

KEYWORDS

automation, clock machine, time measuring, regulation of clock machine

Obsah:

Zadání závěrečné práce....3
Licenční smlouva....5
Poděkování....7
Abstrakt....9
Seznam použitých zkratek a specifických termínů....13
1 Úvod....15
1.1 Obecně o vývoji hodinářského oboru....15
1.2 Cíle bakalářské práce....17
2 Řešená problematika bakalářské práce....19
2.1 Popis soustavy hodinového stroje....19
2.2 Technická omezení v době vzniku....23
2.3 Řízení přesnosti hodinového stroje....24
2.4 Hodinové stroje Technického muzea v Brně....28
3 Závěr....31
Seznam použité literatury....33

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SPECIFICKÝCH TERMÍNŮ

cent – metrický cent (q), 1 q = 100 kg, byl dříve používanou jednotkou hmotnosti.

cymbál - označení pro zvony k odbíjení čtvrtí a celých hodin. Obvykle má tvar dutého kulového vrchlíku. Bicí kladiva spojená táhly s věžním hodinovým strojem bijí na vnější stranu zvonu.

DCF, též DCF77 – radiová stanice vysílající přesný časový signál na dlouhých vlnách s kmitočtem 77,5 kHz z vysílače v Mainflingenu v Německu.

denár – původně římská mince o hmotnosti 4,55 g. V Evropě byl od konce 6. století do 13. století hlavní mincí mincovní soustavy.

florén, též zlatý – zlatá mince různého původu, jakosti a hmotnosti, velmi rozšířená v německých zemích (např. rýnský zlatý). V Rakousku byl zlatý užíván jako platidlo až do zavedení korunové měny v roce 1892.

groš – stříbrná mince o hmotnosti 3,75 g, v letech 1300-57 rozšířená v Čechách. Od roku 1469 se v Čechách a na Moravě někdy počítalo na míšeňské groše.

hnací buben – dřevěný nebo kovový buben s navinutým konopným nebo ocelovým lanem se zavěšeným závažím.

libra – stará jednotka hmotnosti o velikosti 0,3 – 0,6 kg používaná od antiky téměř po celém světě.

lihýř – vodorovné dvouramenné vahadlo s regulačními závažími na okrajích. Používán až do poloviny 17. století v mechanických hodinách jako součást regulátoru jejich chodu.

lucerna – polygonální prosklené či otevřené zakončení věže.

OPP – okresní průmyslový podnik.

planisféra – otáčivá mapa hvězdné oblohy.

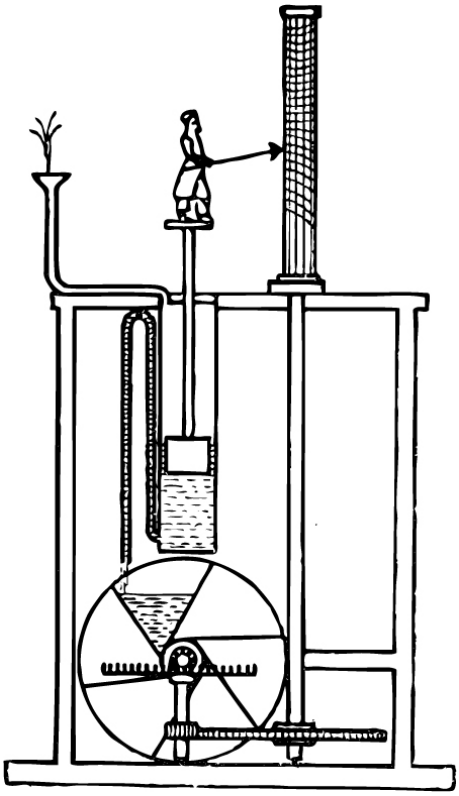
sakristie – místnost připojená ke kostelu, v níž jsou uchovávána bohoslužebná roucha kněží i ministrantů a předměty užívané při bohoslužbě.

větrník – dvouramenný lopatkový mechanismus, který odporem vzduchu vzniklým při otáčení lopatek zajišťuje rovnoměrný nezrychlený chod bicího stroje.

1 ÚVOD

1.1 Obecně o vývoji hodinářského oboru

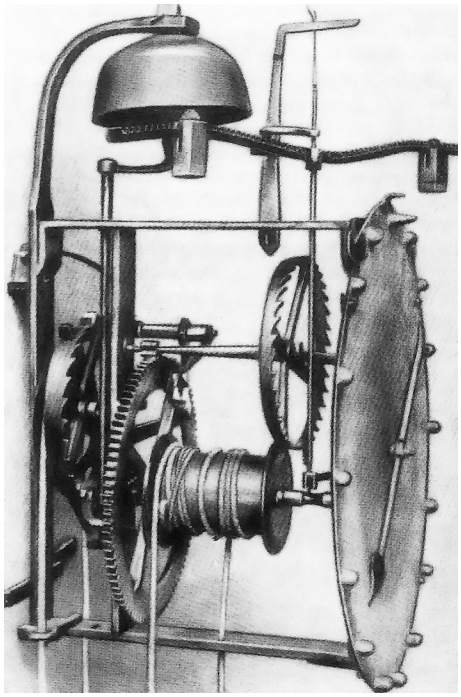
Obor hodinářství se datuje již od středověku. S prvním časoměrným zařízením, které obsahovalo některé mechanické prvky se však můžeme setkat už ve starověku u vodních hodin Ktésibia Alexandrijského. Jak píše Stanislav Michal, tyto hodiny měřily čas rovnoměrným otáčením mechanického soukolí poháněného vodním kolem.[5] Vodní hodiny ovšem nikdy nebyly spolehlivým měřičem času.



Obr. 1 Vodní hodiny Ktesibia Alexandrijského, Řecko, 2. století př. n. l. (schéma).

Na samém počátku vývoje mechanických hodin bylo několik důležitých technických vynálezů, jejichž vznik spadá zpět do minulosti až do působení Archiméda (287-212 před Kr.). Jedním z těchto pro vznik mechanických hodin důležitých vynálezů bylo ozubené soukolí, které Archimédés prokazatelně použil v podobě kola a pastorku.[5] Druhým důležitým zdrojem tvůrčí inspirace byly právě vodní hodiny, přesněji řečeno jejich mechanické ústrojí, které bylo chloubou antických mechaniků i středověkých astronomů.

První mechanické hodiny byly sestrojeny neznámým tvůrcem pravděpodobně koncem 13. století. Geniálním konstrukčním vyřešením mechanismu hodin, který svou originalitou a výrobní náročností neměl do té doby obdoby, získalo lidstvo první univerzálně použitelný prostředek k měření času, jehož funkce byla prakticky nezávislá na vnějších vlivech.[5] Podle Stanislava Michala lze sestrojení prvních mechanických hodin pokládat za druhý největší vynález středověku po Gutenbergově knihtisku.[5] Podrobnější rozbor původu stavebních prvků použitých v těchto hodinách směřuje zpět ke „krokovému ústrojí“ a zvonícímu mechanismu používaných ve vodních hodinám. Zcela původním a nepřevzatým prvkem je však vřetenové krokové ústrojí a regulátor chodu mechanických hodin složený z vodorovného dvouramenného vahadla se závažími na okrajích, které bylo upevněné na svislém paletovém hřídeli se dvěma paletami (tzv. lihýřový oscilátor).



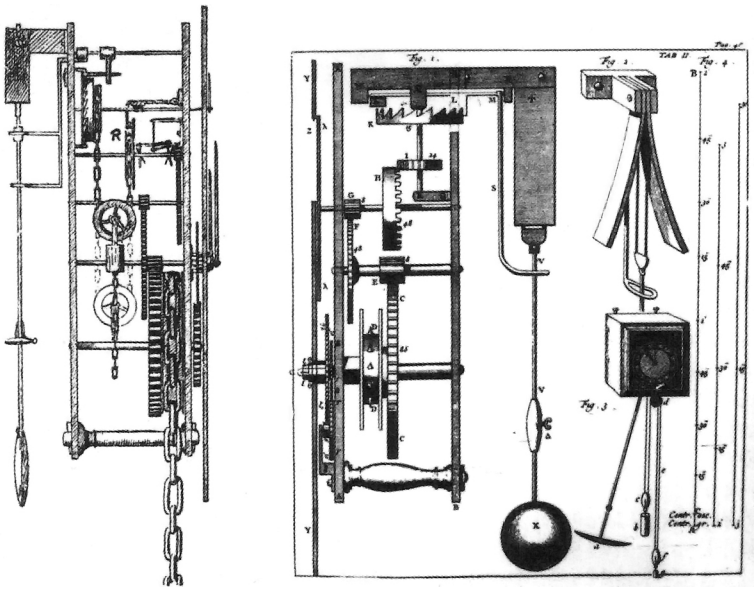
Obr. 2 Nástěnné zvoniční lihýřové hodiny používané ve 14. až 15. století k ohlašování času z věží.

Vynalezení mechanických hodin nepřineslo bezprostřední zvýšení přesnosti měření času. Se svou tehdejší průměrnou denní chybou, která se pohybovala v rozpětí 15 až 60 minut, mechanické hodiny zprvu zaostávaly za některými druhy relativně přesných slunečních hodin s minutovými stupnicemi, jejichž denní chyba obvykle nepřesahovala 4 minuty.[5] Nezanedbatelným přínosem mechanických hodin však již od jejich vzniku byla jejich univerzálnost použití, nezávislost jejich funkce na slunečním svitu, denní nebo noční době, klimatických podmínkách, a především možnost nepřetržitého měření neomezeně dlouhých časových intervalů.[5]

Významným krokem k univerzálnímu využití mechanických hodin bylo vynalezení ocelového hodinového péra a jeho použití u prvních přenosných mechanických časoměrných přístrojů.[5] Za vynálezce prvních malých pérem poháněných mechanických hodin bývá uváděn norimberský zámečník Petr Henlein.[5] Ovšem zřejmě nejstaršími dochovanými pérem poháněnými hodinami budou stolní bicí hodiny, zhotovené již kolem roku 1430 neznámým autorem pro burgundského vévodu Filipa Dobrého.

Dalším významným objevem v historii mechanických hodin bylo použití kyvadla jako spolehlivého a přesného oscilátoru hodinového ústrojí. Průkopníkem této revoluční myšlenky byl italský matematik Galileo Galilei, který v roce 1581 objevil, že rozhoupané kyvadlo dokončuje každou fázi svého výkyvu v konstantním čase bez ohledu na přesnou délku výkyvu. Galileova myšlenka však zůstala jen v náčrtu a on sám se jejího praktického uplatnění nedočkal. Podařilo se to teprve holandskému fyziku a matematiku Christiaanu Huygensovi v roce 1658.[5]

Galileova myšlenka uskutečněná Huygensem vnesla zásadní zvrat do tehdejší přesnosti měření času. Denní chyba do té doby převládajících lihýřových hodin s vřetenovým krokem se pohybovala v poměrně širokém rozpětí od 15 do 60 minut.[5] Huygens u svých hodin zachoval vřetenový krok a lihýř nahradil kyvadlem. Tím snížil denní chybu na pouhých 10 sekund.



Obr. 3 Nákres prvních kyvadlových hodin Christiaana Huygense uveřejněný v roce 1658 v článku Horologium.

Použitím ocelového hodinového péra a kyvadla byl dovršen základní vývoj univerzálně použitelných a poměrně přesných mechanických hodin. Oba vynálezy se staly dostatečným předpokladem pro další úspěšný vývoj mechanických hodin, který trval ještě několik staletí. [5]

1.2 Cíle bakalářské práce

Cíle bakalářské práce jsem si odvodil ze zadání:

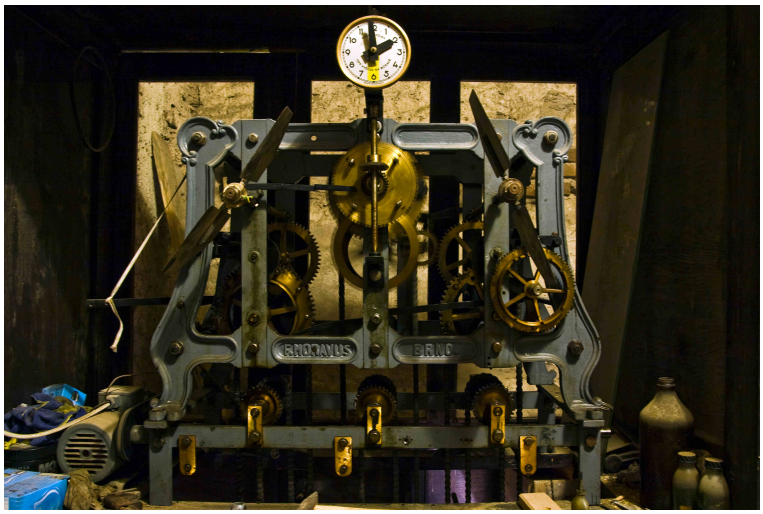
1. Popsat konkrétní vybranou technickou soustavu hodinového stroje, která využívala ve středověku u nás automatických principů.
2. Charakterizovat předpoklady a omezení, která v tehdejší době ovlivnila vznik takové technické soustavy.
3. Popsat, jak bylo zajištěno automatizované řízení přesnosti chodu hodinového stroje.

2 ŘEŠENÁ PROBLEMATIKA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

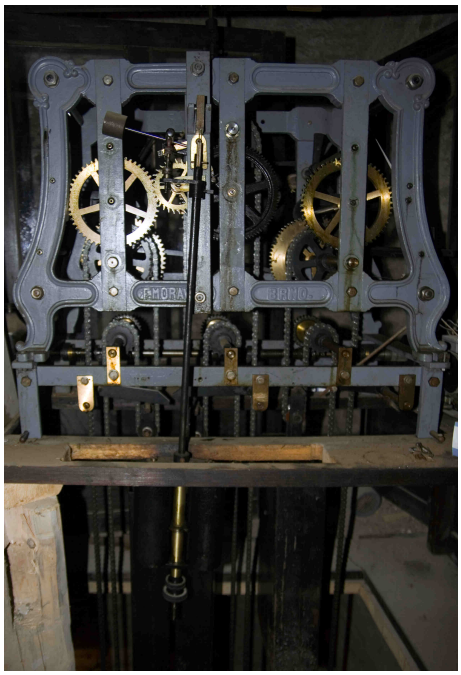
2.1 Popis soustavy hodinového stroje

Věžní hodiny byly na kostelní věže a na zámecké nebo radniční budovy umisťovány z několika důvodů.[6] Jednak zdůrazňovaly význam stavby, jež byly součástí, ale především měly funkci zcela praktickou. Jako hodiny určené pro veřejnost byly často ve své době jediným zdrojem relativně přesného času. Ciferníky hodin byly na věžích viditelné z velké dálky a také údery paliček do zvonů nebo cymbálů byly slyšitelné po celém okolí.

Pro popis konkrétní soustavy hodinového stroje jsem si vybral věžní hodiny umístěné na věži kostela sv. Petra a Pavla v Nové Říši na Moravě, které naše rodina seřizuje již po více jak půl století.



Obr. 4 Současný stav hodinového stroje – pohled zepředu.



Obr. 5 Současný stav hodinového stroje – pohled zezadu.

Věže jsou zde osazeny číselníky a hodinovým strojem Františka Moravuse z Brna. Přivezeny byly 31. října 1891 za sumu 450 florénů a na věž byly osazeny 5. listopadu téhož roku.[7] Hodinový stroj byl však koncem sedmdesátých let minulého století zrekonstruován a přestavěn na elektrický pohon. Dnes se tedy o starém hodinovém stroji dozvídáme jen ze vzpomínek obyvatel obce. Dovídáme se tedy, že vlastní hodinový stroj byl umístěn v mohutné dřevěné skříni, která jej chránila vůči vnějším vlivům, hlavně pak vůči všudypřítomnému prachu. Umístěny byly na zvonovém patře věže sousedící s budovou premonstrátského kláštera. Chod stroje zajišťovaly tři závaží připevněna na ocelových lanech, která byla dále navinuta na hnacích bubnech jednotlivých částí hodinového stroje. Na největší odvinutí lan, které čítalo více jak dvacet metrů, byl stroj schopen ukazovat relativně přesný čas po celých šest dní. Hodiny však byly seřizovány a natahovány každý třetí den. V případě delšího nepřesného chodu, ovlivněného povětšinou teplotní roztažností materiálu, byl do závaží přidáván železný šrot, čímž se nepřesnosti vyrovnávaly. Hodinový stroj rovněž odbíjel každou čtvrthodinu na dva cymbály umístěné v lucerně věže.

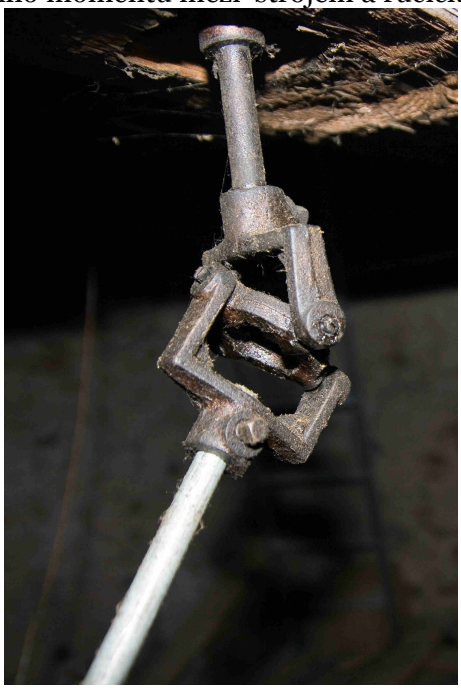
Obr. 6 Dva bronzové cymbály umístěné v lucerně věže.

Na konci sedmdesátých let 20. století provedla firma OPP Vyškov na Moravě kompletní rekonstrukci a přestavbu hodinového stroje na elektrický pohon. Tím jej však zvětšila natolik, že se již do původní dřevěné skříně nevešel a tak musela být vyrobena skříň nová. Zároveň byl hodinový stroj přenesen do třetího patra na stejné věži. Z původního hodinového stroje firma zanechala pouze litinový rám do kterého byly vsazeny nové hřídele a ozubená soukolí. Dále byl oproti původní konstrukci přidán kontrolní ciferník a hnací bubny a ocelová lana byly nahrazeny řetězovým převodem. V zásadě však můžeme říci, že se nově zrekonstruovaný hodinový stroj až na pohon konstrukčně od starého stroje příliš neliší.

Při pohledu na současnou podobu hodinového stroje upoutá naši pozornost původní litinový rám s čitelným nápisem výrobce hodin *F. MORAVUS. BRNO.* a s výrazným novobarokním zdobením. Rám je široký 830 mm, dlouhý 350 mm a vysoký 580 mm. Dále jsou k němu přišroubovány z každé strany tři ocelové pásnice nesoucí hřídele s ozubenými soukolími jednotlivých částí stroje. Samotný hodinový stroj můžeme rozdělit do třech částí. Vlastní časoměrné zařízení, tzv. jicí stroj, se nachází uprostřed rámu pod velkým kontrolním ciferníkem. Vlevo od jicího stroje je stroj pro odbíjení čtvrtí a vpravo pak stroj pro odbíjení celých hodin. Celý původní litinový rám je přidělán šrouby k novému rámu natahovacího mechanismu.

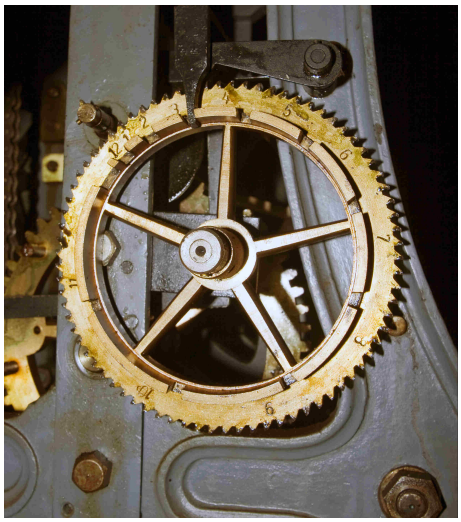
Obr. 7 Krokový mechanismus a detail zavěšení kyvadla.

Přesnost celého hodinového stroje zajišťuje kyvadlo a upravený klidový Grahamův krok. Kyvadlo je dlouhé 900 mm a jednu dobu kyvu vykoná za 0,95 s. Na konci je opatřeno dvěma ocelovými válcovými závažími, jejichž polohu je možno měnit mikrometrickým šroubem. Zavěšeno je na dvou pružných ocelových páscích tak, aby se co nejvíce zamezilo ovlivnění kyvu kyvadla mechanikou stroje. Krokové ústrojí se skládá z mosazného krokového kola se 30 zuby, kotvy a dvou palet. Tento mechanismus kyvy kyvadla nejen odpočítává, ale zároveň kyvadlo udržuje malými impulzy pomocí palet v neustálém kývání. Energie pro tyto impulzy je krokovému, též stoupacímu, kolu dodávána pomocí převodového ústrojí z padajícího závaží zavěšeného na řetězu přes ocelové řetězové kolo na hnacím hřídeli. Krokové otáčení této hřídele je dále přenášeno pomocí ozubeného soukolí přes spojku na početníkové kolo. Toto kolo je dalším ozubeným soukolím spojeno s pomocným ciferníkem a dále táhly s ručičkami ciferníku venku na věži. Samotné početníkové kolo má po obvodu 72 zubů do kterých zapadá palec páky kluzné spojky. Zatlačením této páky směrem dozadu dojde k oddálení spojky od náboje početníkového kola a tedy k přerušení spojení mezi vlastním strojem a mechanismem otáčení ručiček. Nyní můžeme volně početníkem otáčet a provést tak ruční seřízení hodinového stroje. Vrácením páky a zasunutím palce spojky do zubové mezery dojde opět k přenosu kroutícího momentu mezi strojem a ručičkami.



Obr. 8 Detail kloubu táhla přenášejícího krouticí moment na ručičky ciferníku.

Zde je nutno zmínit výrazně nepřesný chod a časté zastavování hodin po rekonstrukci firmou OPP Vyškov. Neustálé přidávání ocelového šrotu do závaží problém neřešilo. Ani samotná firma a hodináři z blízkého okolí si nevěděli rady. Problém se podařilo vyřešit až mému otci, Ing Františku Krajíčkovi, který zjistil velkou výstřednost hnacího hřídele. Následně po demontáži mosazného hnacího kola bylo zřejmé, že problémem je příliš krátký hnací hřídel, který pracovníci firmy z Vyškova v tomto kole nastavili dalším hřídelem. Při zatížení závažím se hřídel stále více ohýbal a tlačil kolo ze záběru v soukolí. Docházelo tak ke stále menšímu přenosu kroutícího momentu a tím i ke zpožďování hodin. Byl tedy vyroben nový hnací hřídel již o správné délce.



Obr. 9 Závěrkové kolo hodinového bicího stroje.

Další důležitou úlohou početníku je řízení obou bicích strojů, které je prováděno čtyřmi kolíčky umístěnými na čele tohoto kola. Nadzvednutím spouštěcí páky kolíčkem je uveden v chod čtvrťový bicí stroj. Kolíčky na hnacím kole bicího stroje je rozkmitáno raménko, které pomocí táhel ovládá bicí kladívko menšího cymbálu. Aby se bicí stroj nezrychloval, brzdí jeho pohyb dvoukřídlý větrník. Vždy v celou hodinu je po odbití čtyř čtvrtí spuštěn spouštěcí pákou hodinový bicí stroj. Zde je nejdůležitější součástí závěrkové kolo, které má po obvodu jedenáct mezer rozmístěných v úměrně narůstajících vzdálenostech, daných počtem úderů bicího kladívka. Při odbíjení se nadzvedne zapadající raménko, které sleduje svým palcem obvod závěrkového kola. Bicí stroj odbíjí na větší cymbál tak dlouho, dokud palec zapadajícího raménka nezapadne do další mezery na obvodě kola a spouštěcí páka stroj nezastaví.

Obr. 10 Pohled na hnací hřídel natahovacího mechanismu.

Nejnovější částí stroje je již zmíněné elektrické natahování umístěné v rámu pod

hodinovým strojem. Pohon natahovacího mechanismu zajišťuje jednofázový asynchronní motor firmy MEZ Mohelnice – 3AP~S63-4s – o výkonu 120 W a převodovka s převodem 1:24. Řemenovým převodem je dále krouticí moment přenášen na hnací hřídel, který jej dále šnekovým ozubením rozvádí na tři hřídele s řetězovými koly pro vlastní natahování závaží jednotlivých části stroje, tedy jicího stroje a obou strojů bicích. Spouštění motoru obstarává rtuťový polohový snímač zvaný též „prasátko“ umístěný otočně na rámu hodinového stroje. Natahování stroje začíná ve chvíli dokončení jedné otáčky hnacího kola čtvrťového bicího stroje, jehož kolíček odklopí směrem ze stroje snímač, který tak spustí motor. Tři závaží jsou následně současně vytahována směrem vzhůru. Na každém závaží je rovněž umístěn jeden kolíček, který po vytažení závaží do své nejvyšší polohy nadzvedne rameno páky mechanismu odpojení spojky. Dochází tak postupně k ukončení vytahování závaží na hodinovém bicím stroji a jicím stroji. Natahování stroje končí opět u čtvrťového bicího stroje. Zde kolíček na závaží nadzvedne rameno páky spojené s polohovým snímačem, jenž se sklopí do původní vodorovné polohy a vypne tak motor. Natahování hodinového stroje je rovněž možné provádět i ručně při výpadku elektrického proudu. Hnací hřídel natahovacího mechanismu je k tomuto účelu na konci vybaven drážkou pro nasazení ocelové kliky.

Obr. 11 Závaží hodinového stroje naplněna pískem a ocelovými koulemi.

V současné době již mechanický hodinový stroj na věži kostela v Nové Říši neodbíjí na cymbály. Tuto činnost převzaly nové elektronické hodiny zakoupené roku 2006 v ceně 20 000 Kč. Je tedy jen otázkou času, kdy tyto nové hodiny, jejichž přesný čas je řízen radiosignálem DCF, úplně nahradí starý mechanický hodinový stroj.

Obr. 12 Nové elektronické hodiny umístěné v sakristii a přijímač signálu DCF na věži.

2.2 Technická omezení v době vzniku

Technologie limituje realizaci technických vynálezů. Velmi názorně to ukazuje autor monografie Stroje a lidé v dějinách, S. Lilley [2], který technická omezení považuje za velmi

významná, kromě takových jako finanční možnosti, organizační techniky a stupeň poznání. Podobně to uvádí i publikace, která popisuje historii techniky v Čechách [1].

Nejinak tomu bylo i v oblasti realizací hodinových strojů.

Prvními hodináři ve středověku byli kováři a zámečníci. Kovářská technika tedy značně ovlivňovala v počátcích stavební prvky stroje, jako například klínové spoje částí rámu, zajištění ozubených kol příčnými klíny na kovaných hřídelích. Ty měly původně čtyřboký až osmiboký průřez a až později dávali hodináři přednost kruhovým profilům. Nerozebiratelné spoje byly nýtované nebo svařované v kovářské výhni.

K nejobtížnějším rukodělným pracím té doby patřila výroba ozubení. Věnce ozubených kol kováři zprvu svinovali z pásového železa a svařovali v ohni, ale později se přišlo na výhodné vlastnosti bronzových kol. Ozubení pak kováři a zámečníci ručně vysekávali nebo prořezávali a následně pilovali. Jak píše Stanislav Michal na bocích věnců bývají dodnes viditelné stopy orýsovaných patních kružnic, udávajících výšku zubů.[8] Výroba prvních pastorků byla zcela odlišná. Zde se do proražených otvorů na jejich plechových čelech zanýtovávaly ocelové kolíčky, plnící úlohu zubů.

První mechanické hodiny rovněž neměly žádná ložiska. Čepy hřídelů se otáčely přímo v rámu hodinového stroje. Později byla do otvorů vkládána mosazná pouzdra, aby se zlepšily kluzné vlastnosti a snížilo opotřebení čepů. Zpočátku však hodináři prosazovali nevhodný čtvercový tvar otvorů těchto kluzných ložisek. Počátkem 18. století došlo k dalšímu zdokonalení objevením způsobu výroby kamenných ložisek, což umožnilo zlepšit hlavně funkci setrvačky u malých hodinových strojů.

Materiál na výrobu železných věžních hodin byl velmi vzácný a drahý. Čeští kováři a zámečníci dováželi v 16. století potřebný materiál často až z Moravy a někdy dokonce i z ciziny. V roce 1509 byl v Kouřimi cent železa za 84 míšeňských grošů, v Berouně v roce 1517 libra železa za 6 denárů, dvě „holi“ železné za 21 grošů, kámen železa v Praze v roce 1483 za 13 grošů.[5]

Téměř až do počátku 20. století se u nás vyráběly hodiny v malých hodinářských dílnách. Zde většinou pracoval mistr – majitel dílny, jeden nebo dva tovaryši a učeň. Výroba hodin byla kusová, závislá na zakázkách. Všechny součástky byly v dílně vyráběny ručně pomocí jednoduchých pomůcek. Později pak byly některé odlitky, číselníky a hodinové skříně dodávány jinými výrobci.

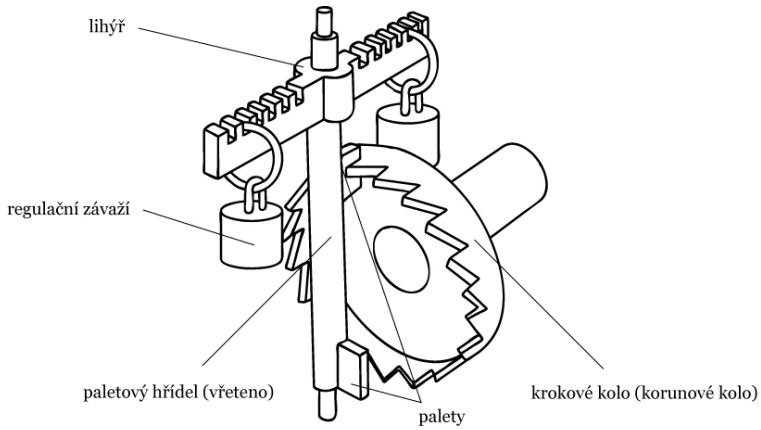
2.3 Řízení přesnosti hodinového stroje

Přesnost chodu mechanických hodin závisí především na prvcích regulačního ústrojí, kroku a oscilátoru. Zkoumáme-li mechanismus starých hodin, setkáme se s nepřebernými konstrukčními variantami, se stovkami úspěšných i méně zdařilých kroků a různými tvary oscilátorů – od prostých setrvačníků přes důmyslně řešená kyvadla až k moderním samokompenzačním setrvačkám.[8]

Na první pohled se může zdát, že mezi jednotlivými typy neexistují žádné společné znaky. Opak je ovšem pravdou. Nalézáme mnoho společných znaků, podle kterých lze posuzovat princip i funkci kroků.

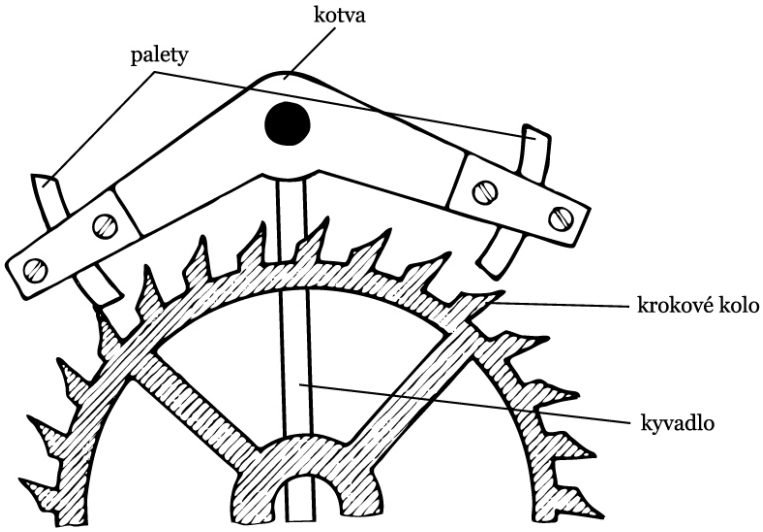
U starších krokových soustav se často setkáváme s jevem, že kotva při dokončování kyvu oscilátoru tlačí zpět krokové kolo a donutí je k malému, sotva znatelnému vratnému pohybu.[8] Naopak u moderních kroků zůstává krokové kolo v klidu. Můžeme tedy rozdělit kroky na vratné a klidové.

Nejstarším vratným krokem, provázejícím mechanické hodiny od jejich vzniku, je vřetenový krok, sestávající se z velkého krokového kola a hřídele – vřetena. V době vzniku tohoto kroku však nebylo známé kyvadlo a proto byl nejdříve spojován s oscilátorem, který měl tvar dvouramenného vahadla – tzv. lihýře, s posuvnými regulačními závažími. Ten byl pevně nasazen na paletovém hřídeli, jenž postupně vypouštěl svými paletami zuby krokového kola. Lihýř však lze jen těžko nazvat oscilátorem v pravém slova smyslu, byl vlastně pouhým setrvačníkem. Jelikož byl stále spojen mechanicky se soukolím hodinového stroje, byly na něj přenášeny všechny jeho nepřesnosti.



Obr. 13 Schéma vřetenového kroku.

Podstatné zjednodušení kroku přinesl vynález „anglického háku“ v roce 1666 Robertem Hookem, jehož myšlenku později propracoval anglický hodinář William Clement, který tak dal podobu prvnímu použitelnému tvaru vratného kotvového kroku.



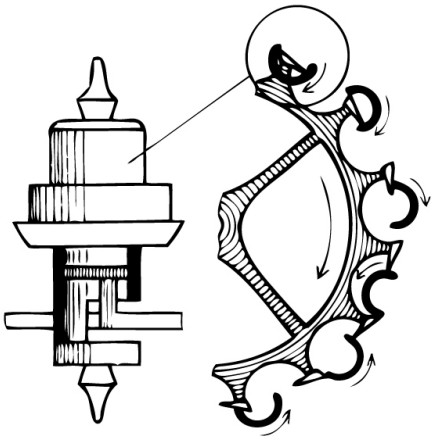
Obr. 14 Klidový Grahamův krok v úpravě F. Leonharda.

Přibližně v roce 1715 sestrojil George Graham první klidový krok, jenž se stal pro svou spolehlivost jedním z hlavních kroků středních a velkých hodinových strojů. V pozdější praxi se uplatnil tento krok v úpravě německého hodináře F. Leonharda tak, jak jej můžeme vidět u popisovaných věžních hodin v Nové Říši. Hlavní částí je kotva, která svými rameny obkračuje určitý počet zubů krokového kola. Funkční plochy kotvy, tzv. palety, umístěné stavitelně na koncích ramen, postupně zapadají do zubových mezer což doprovází charakteristický tikot hodin. Zub krokového kola se následně opře o šikmou plochu palety, čímž udělí silový popud kyvadlu pevně spojenému s kotvou, které překývne do opačné úvrati. Zároveň dojde k uvolnění krokového kola a jeho pootočení než je zachyceno plochou druhé palety. Ta opět udělí kyvadlu popud a cyklus se opakuje.

Zcela nový druh kotvového kroku zhotovil roku 1741 francouzský hodinář Amant, který použil na krokovém kole kolíčků upevněných na boku věnce místo obvyklých zubů. Oblíbenost tohoto systému dokládají i dva exponáty věžních hodin vybavené tímto krokem, které jsou vystavené v Technickém muzeu v Brně.

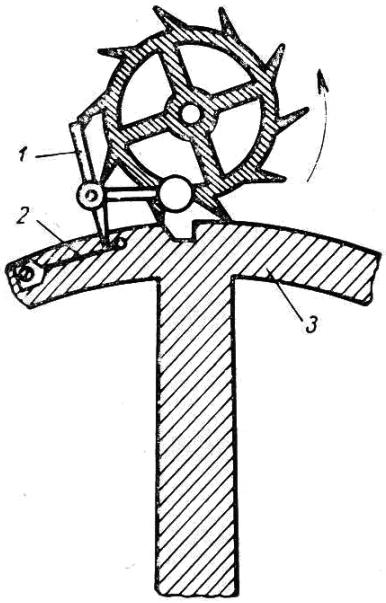
Klidové kroky se také ujaly i u malých hodin. Vznikla tak celá řada kombinací, z nichž mnohé byly odvozeny z vratných kroků. Jedním z nejrozšířenějších klidových kroků malých hodin byl válečkový (cylindrický) krok, který byl montován v druhé polovině 19. století a ještě na počátku minulého století do levných kapesních a prvních náramkových hodin.[8] Jednalo

se o velmi jednoduchý a provozně spolehlivý princip, kdy kotva obkračuje jen jediný krok krokového kola. Nedostatkem však bylo poměrně velké tření válečku o zuby krokového kola, a tím značná nepřesnost. Tento krok vynalezl Thomas Tompion. Podstatně jej však zdokonalil jeho žák George Graham a další hodináři - Thiout, Lepaute, Berthoud, Jean, Jodin a jiní. Na vývoji žádného jiného kroku se nepodílelo tolik významných hodinářů jako na vývoji válečkového kroku.[8]



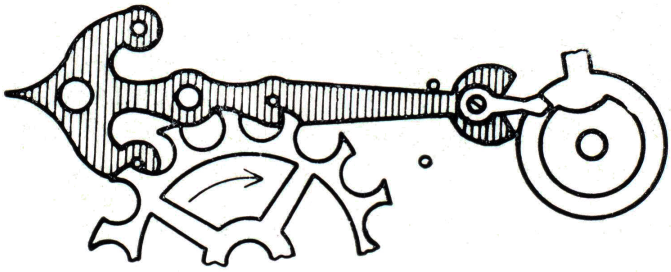
Obr. 15 Válečkový krok standardního provedení.

Mnozí hodináři 18. století však dávali přednost různým systémům zarážkových kroků, čímž se snažili omezit dobu udílení popudu oscilátoru. Tím vznikla početná skupina volných kroků. Hlavní částí volných kroků býval zarážkový mechanismus, který při odpoutání oscilátoru zastavil krokové kolo. Princip volného zarážkového kroku pro kyvadlové oscilátory již v návrhu propracoval Galilei, uskutečněn však byl mnohem později. Jedním z těchto pokusů o zavedení byl Berthoudův krok. Jako jiné zarážkové kroky i tento pracoval s jednostranným popudem udíleným kyvadlu. O principu činnosti se dozvídáme z knihy Stanislava Michala. Zachytávání a vypouštění krokového kola obstarávalo raménko 1 se závažím a listová pružinka 2, upevněná na kyvadle.[8] Popud udílely zuby krokového kola přes popudnou plošku kyvadlu 3.[8]



Obr. 16 Schéma volného zarážkového Berthoudova kroku.

S nejjednodušším volným kotvovým krokem se můžeme setkat ještě dnes v budících a levných náramkových hodinkách v podobě Roskopfova kolíčkového kroku. Pohyb kotvy je zde omezen dosednutím kolíčku kotvy na patní kružnici krokového kola.



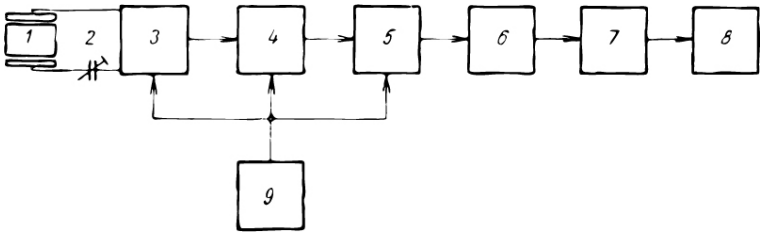
Obr. 17 Roskopfův kolíčkový krok.

Popsal jsem několik mechanických principů a zařízení, které byly používány pro regulaci přesnosti chodu hodinových strojů ve středověku a raném novověku. Principiálně bylo časování chodu těchto mechanizmů odvozeno od mechanického kyvadla, jehož délku kmitu lze totiž snadno (a poměrně přesně) nastavit změnou jediného parametru - délky kyvadla. Konstrukcí prvních kyvadlových hodin se zabýval holandský fyzik Christian Huygens (1629 - 1695) [9]. Za tím účelem byl na konci hodinových kyvadel mikrometrický šroub, jehož pootáčením se dala měnit podle potřeby délka kyvadla. Problém teplotní roztažnosti kyvadla vyřešil celkem úspěšně roku 1720 anglický hodinář George Graham. Pomocí rtuti zaplňující částečně prostor čočky kyvadla klesla jeho teplotní chyba na 0,001 s/den 1°C.

Až později, v souvislosti s nástupem náramkových hodinek a malých domácích budíků, se přešlo na řízení přesnosti, které bylo odvozeno od délky kmitu stočené pružiny - tzv. hodinový nepokoj (též pružinový, setrvačníkový oscilátor), který sestrojil Robert Hooke (1635-1703), objevitel Hookova zákona. Ten první stanovil úměrnost mezi zatěžující silou a prodloužením pružného tělesa (pružiny) [10].

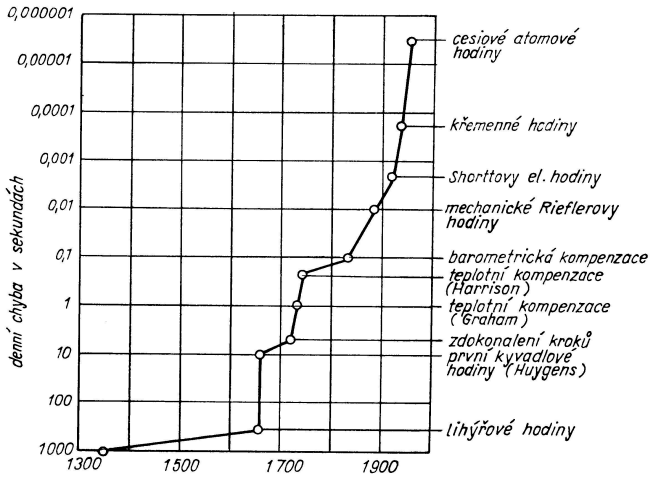
S rozvojem elektrotechniky a automatizační techniky [3,4] se však stále více začalo prosazovat elektronické řízení přesnosti hodinových strojů.

Ve třicátých letech 20. století se fyzikové zabývali možností využití piezoelektrického jevu pro měření času. Tento jev nastává při mechanickém stlačování vhodně vybroušených krystalů, především křemene, na jejichž plochách tímto vzniká elektrický náboj. Vývoj elektroniky a integrovaných obvodů následně umožnil i použití křemenného krystalu k řízení oscilátorů v hodinách. Hlavní částí je krystal křemene, jím řízený oscilátor a dělič kmitočtu. Většina dnešních krystalů kmitá na frekvenci 32 768 Hz. Při krátkodobém provozu těchto hodin jejich přesnost mnohonásobně převyšuje přesnost mechanických hodin. Avšak při dlouhodobém měření času vykazují mechanické kyvadlové hodiny větší stabilitu chodu, jelikož u krystalových hodin dochází ke změnám vnitřní struktury křemene, což způsobuje nestabilní charakter kmitočtu.



Obr. 18 Blokové schéma elektronických hodin s ručkovým číselníkem a oscilátorem řízeným krystalem křemene: (1 – krystal, 2 – kondenzátor s proměnnou kapacitou, 3 – oscilátor řízený krystalem, 4 – dělič frekvence, 5 – impulsní budič, 6 - nízkofrekvenční elektromechanický měnič, 7 – převodové ústrojí, 8 – ukazatel času, 9 – zdroj).

V padesátých letech minulého století se podařilo vědcům dosáhnout konstantních kmitů u molekul čpavku a položit tak základ tzv. atomovým hodinám, nejpřesnějšího etalonu pro jednotku pozemského času.



Obr. 19 Přesnost chodu časoměrných přístrojů v letech 1300 až 1950.

2.4 Hodinové stroje Technického muzea v Brně

V technickém muzeu v Brně můžeme zhlédnout expozici nazvanou *Čas nad námi a kolem nás*, jejíž součástí je několik funkčních věžních hodinových strojů.

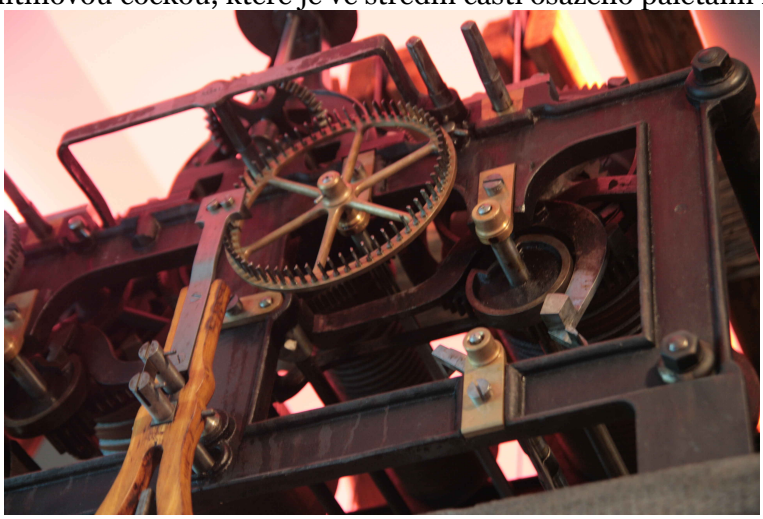
Hned při vstupu do muzea nás „přivítá“ tikot nejstaršího exponátu věžních hodin z roku 1729, který se původně nacházel na nové radnici v Brně. Konstrukci tvoří kovaný železný rám spojený šrouby. Závaží, naplněna kameny a zavěšena na lanech, jsou natahována na dřevěné bubny. Hodinový stroj se skládá ze tří částí, jicího stroje uprostřed, čtvrťového odbíjení vlevo a hodinového odbíjení vpravo. Čepy hřídelů jsou uloženy v bronzových ložiscích. Přesnost celého stroje řídí velká Grahamova kotva s ocelovými stavitelnými paletami a dvousekundové kyvadlo s litinovou čočkou - sluncem zavěšené na ocelových planžetách.

Obr. 20 Hodinový stroj z roku 1729 ve vstupní hale Technického muzea v Brně.

V prvním patře muzea nalézáme hodinový stroj, který jako jediný z vystavených exponátů věžních hodin otáčí přes táhlo ručičkami nedaleko na stěně. Stroj, původem z Neplachovic u Opavy, byl vyroben kolem roku 1913. Konstrukci tvoří dvě litinové plotny spojené ocelovými sloupky. Složen je opět z jicího stroje a dvou strojů bicích. Regulační ústrojí tvoří krátká Grahamova kotva a sekundové kyvadlo s litinovou čočkou.

Ve druhém patře se pak nachází dva hodinové stroje se čtvrťovým bitím. Konstrukci obou strojů tvoří opět dvě litinové plotny spojené ocelovými sloupky a u obou je použito kolíčkové krokové stoupací kolo v modifikaci systému Amant. První hodinový stroj byl

vyroben ve Vídni roku 1905 a jako oscilátor zde slouží jeden a půl sekundové dřevěné kyvadlo s litinovou čočkou. Druhý stroj byl vyroben v roce 1927 v Čáslavi a konstrukčně se velice podobá popisovaným věžním hodinám v Nové Říši. Jako oscilátor je použito sekundové dělené kyvadlo s litinovou čočkou, které je ve střední části osazeno paletami kotvy.



Obr. 21 Detail Amantova kolíčkového kroku na hodinovém stroji z roku 1905.

Za zmínku určitě stojí i expozice věnovaná hodináři, matematiku a konstruktéru panu Karlu Šebelovi, který se celý život věnoval kinetickým studiím, mechanizmům a rovněž také opravou a restaurováním historických hodin. Na výstavě tedy můžeme vidět mimo modelů strojů a zařízení i velmi zdařilé modely hodin z nichž asi nejcennější je model Pražského Staroměstského orloje v měřítku 1:10, kde jsou všechny funkce planisfér, zvířetníku, pohyby apoštolů a ostatních figurek shodné s originálem.

3 ZÁVĚR

S ohledem na zadání mé bakalářské práce jsem nejprve v úvodu zhodnotil vývoj hodinářského oboru a popsal nejdůležitější vynálezy, které vedly k úspěšnému vývoji mechanických hodin.

První cíl bakalářské práce jsem splnil v kapitole 2.1, kde jsem popsal hodinový stroj na věži kostela sv. Petra a Pavla v Nové Říši. Původní hodinový stroj zde byl na konci sedmdesátých let minulého století zrekonstruován. Přesné datum rekonstrukce se mi však nepodařilo v klášterní kronice ani u firmy, která tuto rekonstrukci prováděla, zjistit. Vycházel jsem tedy ze vzpomínek obyvatel obce. Na závěr této kapitoly jsem se zmínil o nově zakoupených elektronických hodinách, které v budoucnu současný mechanický hodinový stroj zcela nahradí.

V kapitole 2.2 jsem se věnoval druhému cíli bakalářské práce, tedy charakterizování předpokladů a omezení, která v tehdejší době ovlivnila vznik hodinového stroje popsaného v předchozí kapitole. Jako zajímavost jsem zde uvedl ceny, za které kováři, zámečníci a hodináři nakupovali železo v 16. století.

Poslední cíl mé práce, řízení přesnosti hodinového stroje, jsem splnil v kapitole 2.3. Přesnost chodu mechanických hodin závisí především na prvcích regulačního ústrojí, kroku a oscilátoru. V této kapitole jsem tedy převážně popsal nejčastěji používané krokové mechanismy. Kapitolu jsem zakončil zmínkou o moderním řízení přesnosti hodin pomocí krystalového oscilátoru, jehož kmitočet je opravován podle kmitů molekul čpavku či césia, tzv. atomovými hodinami.

Bakalářskou práci jsem navíc doplnil o kapitolu popisující expozici mechanických hodinových strojů Technického muzea v Brně, abych ukázal, že současná doba pečuje o zachování památek na zručnost hodinářských mistrů z minulosti uchováním zachovalých hodin v muzeích [11]. Kromě toho existuje i řada firem, které se snaží zachovat historické stroje funkční. Jmenujme například anglickou firmu L. Hainz, založenou Ludvíkem Hainzem v roce 1836, která působí i u nás. Ta v roce 1860, 1945 a 1994 provedla generální opravu Staroměstského orloje a zároveň pečuje o jeho nepřetržitý chod stejně jako o dalších 80 věžních strojů v Praze. Mezi rekonstruovanými a udržovanými stroji jsou i hodiny chrámu sv. Víta, sv. Mikuláše, Klementina, rezidence kanadského velvyslance apod.[12]

Zručnost, dovednost a krása výtvorů starých hodinářských mistrů bude oslovovat ještě dlouho nejen naše současníky, ale i potomky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] Kraus, I. Dějiny technických věd a vynálezů v českých zemích. Academia 2004 Praha, 270 s.
[2] Lilley, S. Stroje a lidé v dějinách. ORBIS 1973 Praha, 547 s.
[3] Balátě, J. Automatické řízení. BEN 2003 Praha, 663 s.
[4] Lacko a kol. Automatizace a automatizační technika. Computer Press 2000 Praha, 99 s.
[5] Michal, S. Hodinářství a hodináři v českých zemích. Libri 2002 Praha, 311 s.
[6] Skála, P. Věžní hodiny [online]. 2007, 29.9.2007 [cit. 2008-04-05]. Dostupné z: http://www.veznihodiny.cz/zhistorie.htm
[7] Dušek, M. Nová Říše. NOvoříšský KUlturní Spolek 2007 Nová Říše, 288 s.
[8] Michal, S. Hodiny. SNTL 1980 Praha, 256 s.
[9] Reichl, J. Encyklopedie fyziky [online]. , 13.1.2008 [cit. 2008-04-29]. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/index.php?sekce=browse&page=183
[10] Prause, P. Quido magazin [online]. , 28.4.2008 [cit. 2008-04-28]. Dostupné z: http://www.quido.cz/osobnosti/hooke.htm
[11] Řezáčová, E. Technické muzeum v Brně [online]. , 21.4.2008 [cit. 2008-04-27]. Dostupné z: www.technicalmuseum.cz
[12] Hainz, L. L. Hainz [online]. , 2008 [cit. 2008-04-26]. Dostupné z: www.lhainz.cz