



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE LINEÁRNÍCH HODIN ŘÍZENÝCH POMOCÍ ARDUINO UNO

DESIGN OF LINEAR CLOCK CONTROLLED BY ARDUINO UNO

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Hladík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	Ondřej Hladík
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce lineárních hodin řízených pomocí Arduino Uno

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpravidla existují dvě široce využívaná rozhraní pro měření času. Na jedné straně analogové, které k zobrazení času využívají rotující ručičky s číselníkem. Na druhé straně digitální s přímým výstupem ukazatele času pomocí alfanumerických znaků na displeji. Za předpokladu, že čas plyne lineárně, je však výzvou konstrukce lineárních hodin, které dokážou unikátní cestou zobrazit aktuální čas.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je konstrukce a následná realizace funkčního vzorku lineárních hodin užitím technologie 3D tisku a řízené pomocí Arduino Uno s těmito parametry: analogová stupnice s rozsahem 12 hodin a rozlišitelností 5 minut.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- popsat současné konstrukce lineárních hodin,
- definovat vhodné parametry pro konstrukční řešení,
- navrhnout varianty konstrukčních uspořádání,
- zpracovat výkresovou dokumentaci vybrané varianty včetně řídicího softwaru,
- realizovat funkční vzorek pomocí 3D tisku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15–20 stran textu bez obrázků). Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

BROWN, H. T. 507 Mechanical Movements: Mechanisms and Devices. 18th Edition. Wexford College Press, 2010. ISBN 978-1-60386-311-7.

MOLINE, D., J. WAGNER a E. VOLK. Model of a mechanical clock escapement. American Journal of Physics. 2012, 80(7), 599-606. DOI: 10.1119/1.4705517. ISSN 0002-9505.

MAJOR, F. G. Celestial and Mechanical Clocks. The Quantum Beat. New York, NY: Springer New York, 1998, 1-21. DOI: 10.1007/978-1-4757-2923-8_1. ISBN 978-1-4757-2925-2.

RAWLINGS, A. L. The Science of Clocks and Watches. 3rd. Upton, England: British Horological Society, 1993. ISBN 978-0-95096-213-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakult

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a realizovat funkční vzorek lineárních hodin s analogovou stupnicí pomocí 3D tisku. Nejdříve je řešeno konstrukční uspořádání dostupných zařízení a výběr použitelných elektronických komponent na základě požadovaných parametrů. Dále práce obsahuje konstrukční řešení tištěných dílů, kde je lineární pohybový mechanismus realizován jako ozubený hřeben a pastorek a posuv je řešen pomocí kluzného lineárního vedení. V práci je zahrnuto schéma zapojení použitých elektronických dílů. O řízení hodin se stará deska Arduino Uno, pro kterou byl vytvořen program dle požadovaných vlastností. V závěru byla ověřena funkčnost na vytvořeném vzorku. K práci jsou přiloženy výkresy sestavení a hlavních dílů a kompletní program.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lineární hodiny, hřeben, pastorek, Arduino Uno

ABSTRAKT

The bachelor thesis deals with designing and realization of functional sample of linear clock with analog scale using 3D printing. Firstly, the structural arrangement of available devices and the selection of usable electronic components are solved based on the required parameters. After that, the work contains a design solution of printed parts, where the linear motion mechanism is designed as a rack and pinion and the feed of scales is solved using a sliding linear guide. The work includes a wiring diagram of used electronic parts. The Arduino Uno board takes care of the clock control, for which a program was created according to the required properties. In the end, the functionality on the created sample was verified. The work is accompanied by assembly drawings and drawings of the main parts and the complete program.

KEYWORDS

Linear clock, rack, pinion, Arduino Uno

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HLADÍK, Ondřej. *Konstrukce lineárních hodin řízených pomocí Arduino Uno*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131956>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Petr Svoboda.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Svobodovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a ochotu při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu a všem, kteří mi k vytvoření této práce pomohli.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením pana doc. Ing. Petra Svobody, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	Historie	14
2.2	Konstrukce mechanických hodin	15
2.3	Konstrukce elektronických hodin	17
2.4	Typy zobrazení	18
2.4.1	Digitální zobrazení	18
2.4.2	Analogové zobrazení	19
2.5	Přehled konstrukčních řešení lineárních hodin	19
2.5.1	Analýza Patentových řešení	20
2.5.2	Komerční řešení	21
2.6	Řídící platformy lineárních hodin	22
2.6.1	Arduino Uno	23
2.6.2	Raspberry Pi Zero H	24
2.6.3	Raspberry Pi Pico	25
2.6.4	Zhodnocení použitelných vývojových platforem	27
2.7	Lineární pohybové mechanismy	27
2.8	Lineární vedení	28
2.8.1	Druhy lineárních vedení	28
2.8.2	Vybraná řešení lineárních vedení	29
2.9	Akční členy	30
2.9.1	Zhodnocení použitelných akčních členů	33
2.10	Koncové snímače	33
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	35
3.1	Analýza problému	35
3.2	Cíl práce	36
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	37
4.1	Koncept 1	37
4.2	Koncept 2	38

4.3	Koncept 3	39
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	40
5.1	Hardware	41
5.1.1	Nakupované díly	41
5.1.2	Tištěné díly	43
5.2	Software	46
5.3	Tiskové vlastnosti a cenové zhodnocení	48
6	DISKUZE	50
7	ZÁVĚR	51
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	52
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	55
9.1	Příklady použitých fyzikálních veličin	55
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	56
11	SEZNAM TABULEK	57
12	SEZNAM PŘÍLOH	58

1 ÚVOD

Práce je zaměřena na problematiku konstrukce lineárních hodin, které, narozdíl od běžně dostupných časoměrných zařízení, zobrazují čas na přímé stupnici či stupnicích. Ty mohou zobrazovat čas s různou rozlišitelností, která bývá v různých oblastech použití rozdílná. Obecným cílem hodin je zobrazovat čas s dostatečnou přesností, dále by měly být snadno nastavitelné a některé typy hodin mohou také působit jako nekonvenční doplněk v domácnosti. Dostatečná přesnost by měla odpovídat cílové skupině uživatelů. V případě lineárního zobrazení se jedná o unikátní způsob, jak lze na zobrazování času pohlížet a za předpokladu lineárně plynoucího času se jde i o intuitivnější způsob než rotační zobrazení. Lineární hodiny nepatří mezi novodobé vynálezy, ale z historického pohledu vychází z mechanických hodin, u kterých poté docházelo pouze k přeměně rotačního pohybu na lineární. Později, s nástupem elektronických hodin, se využívalo elektronických strojků, které nabízí větší přesnost. V současnosti lze při konstrukci lineárních hodin použít relativně nové a dostupné technologie, které mohou umožnit další rozvoj těchto hodin. S použitím 3D tisku lze navrhnout a vyrobit lineární hodiny za velmi rozumnou cenu v porovnání s komerčními, u nás ne příliš dostupnými, produkty. V práci jsou řešeny základní konstrukční uzly analogových lineárních hodin, tedy lineární pohybový mechanismus a lineární vedení. Dále se nabízí použít velmi rozšířené vývojové platformy jako řídicí mikroprocesor, který bude v kombinaci s akčními členy a senzory celé hodiny řídit. Vhodně zvolený komerčně dostupný mikroprocesor navíc může zpřístupnit celou řadu dalších možností nad rámec této práce, které jsou zmíněny v diskuzi.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Historie

Na počátcích vývoje lidstva byl vnímán čas pouze intuitivně, například během výpravy pravěkých lovců, kteří cítili potřebu se vrátit do jeskyně ještě za světla. Postupem času se lidská civilizace vyvíjela a s ní i způsoby, jakými lze na čas a jeho měření pohlížet. Lidé se snažili vyjádřit lineárně plynoucí čas pomocí pravidelně se opakujících jevů a intervalů. Tím vznikla základní jednotka, která se více či méně pravidelně opakovala. Pravidelnost byla doprovázena snahou o dosažení nejmenší časové odchylky. Jako příklad lze uvést vzájemnou polohu Slunce a Země, či změny poloh hvězd na noční obloze, jejichž základní jednotkou je den, resp. roční období [1] [2]. Civilizace v různých koutech světa a různých dobách přicházely na odlišná zařízení. Tato zařízení často zobrazovala čas na lineárních stupnicích, a proto je lze považovat za rané předchůdce lineárních hodin. K nejstarším datovaným zařízením, pomocí kterých lze měřit čas, se řadí sluneční hodiny. Pravděpodobně prvními slunečními hodinami byl svislý obelisk, který vrhal stín určité délky na stupnici na zemi. Obelisk sloužil Egypťanům kolem roku 3500 př. n. l. Ze 13. století př. n. l. pochází vertikální sluneční hodiny, které určují čas směrem vrženého stínu [3]. Přestože se jedná o jednu z nejstarších metod měření času, lze tuto variantu i dnes zřídka zahlédnout na fasádách domů. Hlavní nevýhodou slunečních hodin je, že se dají použít pouze při přímém slunečním svitu a nejsou příliš přesné, vzhledem k nerovnoměrnému pohybu Země kolem slunce, navíc zemská osa není k rovině zemské dráhy kolmá, ale je přibližně o $23,5^\circ$ odkloněná [4]. To způsobí, že hodinové intervaly na slunečních hodinách nejsou v průběhu roku stejné [3] [2]. K možnostem, jak lze rozdělit čas na přibližně stejně trvající časové úseky i během noci, patří svíčky. Označené svíčky byly používány v asijských zemích a podstatou této metody je ubývání ohořelého vosku či parafínu. Nutností však bylo použití svíček stejných rozměrů a knotů. Vliv na hoření má i kvalita vosku. Jelikož je zde přítomno příliš mnoho rušivých elementů, tato metoda nebyla příliš používána [5]. K dalším metodám založených na měření stejně trvajících, ale kratších časových úseků, patří přesýpací hodiny pracující na jednoduchém principu prosypání jemných zrněk písku skrz úzké skleněné hrdlo. K jejich slabinám patřilo například postupné omílání zrněk písku nebo obrušování skleněného hrdla, což vedlo k časové nerovnoměrnosti [2]. Podobně jako svíčky či přesýpací hodiny i vodní hodiny neměří denní čas, ale pouze odměřují časový interval. Díky svojí jednoduchosti a malému počtu komponent zcela jistě patří vodní hodiny čili klepsydry k brzkým vynálezům rané civilizace. Původní klepsydry lze rozdělit na vtokové a výtokové, přičemž první zmiňované jsou méně častou variantou. Plovoucí nádoba v sobě měla otvor, kterým dovnitř tekla voda. Když se nádoba naplnila a klesla ke dnu, byl to signál, že je daný

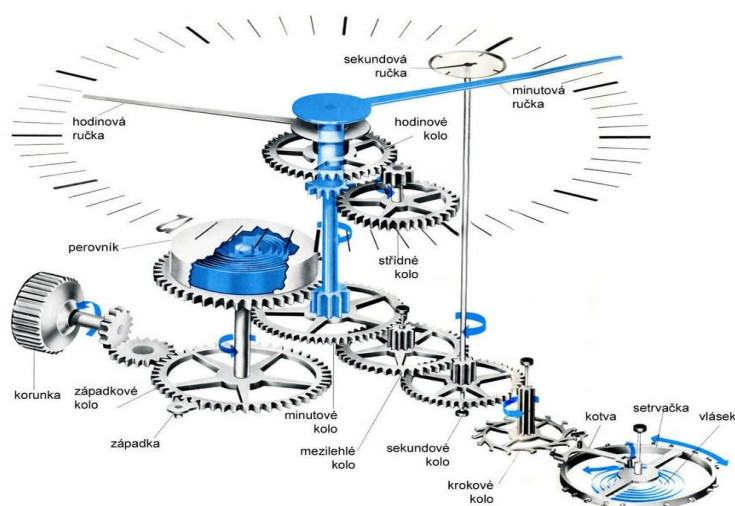
čas u konce. Nejstarší dochované výtokové hodiny pochází z Egypta ze 14. století př.n.l. Fungovaly na opačném principu, tedy že voda vytékala malým otvorem u dna. Na vnitřním plášti bylo vyryto dvanáct hodinových stupnic. Problém, kterým výtokové hodiny obecně trpí, je proměnlivý tlak u dna nádoby. Ten se řešil kuželovitostí pláště [2].

Každé z těchto historických řešení však obsahuje nedokonalosti, které posouvaly vývoj v této oblasti dále. Lidé se snažili sestavit hodiny co nejvíce nezávislé, nepřetržitě fungující, spolehlivé a především přesné. Vývoj se tedy posunul směrem k hodinám, které mají autonomní chod založený na pravidelném periodickém pohybu, tj. pohyb kyvadla, pružiny, křemenného krystalu nebo atomu. Avšak na dlouhou dobu si lidé vystačili s čistě mechanickými hodinami.

2.2 Konstrukce mechanických hodin

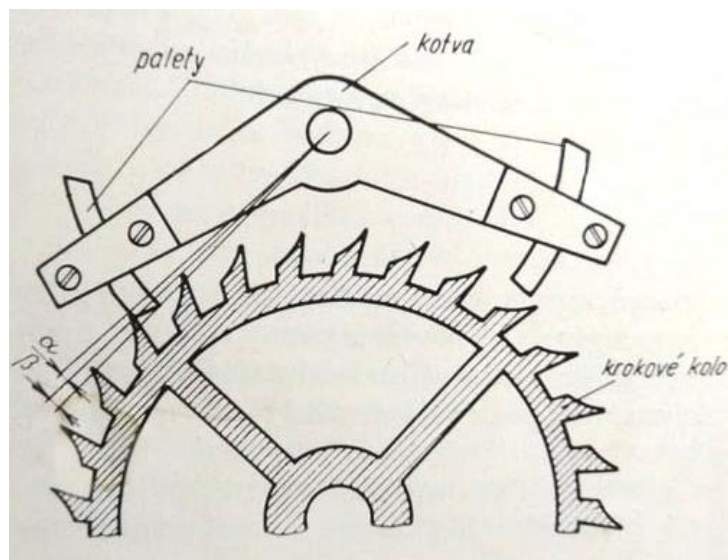
Mechanické hodiny byly vynalezeny na počátku 14. století v Evropě. Tyto hodiny ještě nebyly vybaveny ciferníkem, ale informovaly o čase za pomoci zvukových signálů, nejčastěji zvonů. Základním principem mechanických hodin je přeměna potenciální energie uchované v závaží či pružině na kmitavý pohyb oscilátoru (kyvadla nebo setrvačky).

Mechanismus lze rozdělit do několika základních skupin: oscilátor – krokové ústrojí – zdroj energie – převodové (přenosové) ústrojí – časový ukazatel. Mezi těmito prvky dochází k obousměrnému přenosu energie. Například jde o sílu působící z kroku na oscilátor, a naopak dochází k přenosu pohybu z oscilátoru zpět na krok a dále na časový ukazatel [6]. Schéma mechanických hodin je zobrazeno na Obr. 2-1.



Obr. 2-1 Schéma mechanických hodin [7]

Krok a oscilátor jsou prvky regulačního ústrojí, na jejichž funkci závisí přesnost nejvíce. Krok rozděljuje stálou hnací sílu na silové impulsy, které přímo přenáší na oscilátor. To udržuje oscilátor ve stejnoměrném kmitavém pohybu. Krok současně počítá jeho kyvy, tedy pokud oscilátor kmitá pravidelně, počítá stálé časové intervaly. Krokové ústrojí mechanických hodin je zobrazeno na Obr. 2-2.



Obr. 2-2 Krokové ústrojí mechanických hodin [6]

Oscilátor koná periodicky se opakující kmitavý pohyb. V případě hodin jde o těleso kmitající kolem pevné osy. Důležitou vlastností oscilátoru je ta, že doba kyvu není závislá na velikosti amplitudy. Avšak velikost hnací síly by měla být v čase konstantní, aby došlo k dosažení maximální přesnosti. „Energie odměřená do stejných kvant přechází z kroku na oscilátor, který stálými kmity tvoří a neustále reprodukuje takto uměle utvořenou časovou jednotku, kterou odborně nazýváme časový normál – frekvenční normál. Stálost kmitočtu oscilátoru je proto hlavním předpokladem pro přesnost mechanických hodin.“ [6] Oscilátor vykonává určitý počet kyvů za sekundu. Počet kmitů za sekundu udává tzv. kmitočet, tedy frekvenci. Vztah mezi frekvencí a časem vyjadřuje vzorec:

$$f = \frac{1}{T}$$

Časový ukazatel spojený s přenosovým ústrojím jako výstupní zařízení udává v daných časových intervalech přírůstek času. Obvykle je realizován pomocí stálého ciferníku a pohyblivých ručiček, avšak existují i konstrukce s pevnými ukazateli, a naopak pohyblivým ciferníkem.

Hnací ústrojí lze rozdělit do dvou skupin. Pohon může být realizován pomocí závaží, mezi jehož výhody patří jednoduchost, spolehlivost a konstantní hnací síla. V závaží se dá nashromáždit velké množství energie. Hodiny hnané závažím ovšem nelze během chodu přemísťovat a při každém pohybu krokového kola dochází ke ztrátě potenciální energie.

Alternativou se stal novější pérový pohon, který dovoluje konstruovat zařízení malé velikosti, avšak přináší s sebou problém proměnlivé hnací síly.

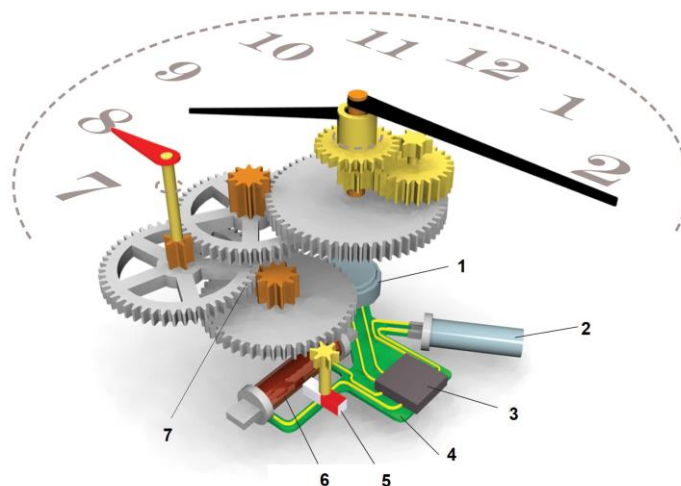
Převodové ústrojí slouží k přenosu energie k oscilátoru a zároveň sčítá jeho kyvy. Jedná se především o hodinová soukolí kol s čelními zuby s cykloidním ozubením. „*Protože pastorky mívají velmi malý počet zubů, docházelo by při záběru s velkým ozubeným kolem u evolventního ozubení k velkému kolísání hnací síly. U cykloidního ozubení jsou podmínky přenosu síly příznivější za předpokladu, že se pečlivě dodrží předepsané vzdálenosti os soukolí.*“ [6]

Mechanické hodiny se staly základním stavebním kamenem pro vývoj a stavbu elektronických hodin. S příchodem elektrické energie se naskytly nové možnosti zpřesnění či zjednodušení dosavadních konstrukcí. Zprvu byla elektrická energie využívána pouze k natahování hnacího ústrojí – závaží či péra, avšak postupně bylo mechanické hnací ústrojí nahrazeno galvanickými články. Později došlo k nahrazení i mechanického oscilátoru, za oscilátor řízený křemenným krystalem, který kmitá na nesrovnatelně vyšší frekvenci. Přesto se některé součásti mechanických hodin, jako ozubená soukolí či časový ukazatel, staly součástí i novějších elektronických hodin.

2.3 Konstrukce elektronických hodin

Hlavním prvkem je integrovaný obvod s mikroprocesorem umístěný na desce velké jen několik mm². Přesnost těchto hodin zajišťuje elektronický oscilátor, který převádí energii dodávanou baterií na elektrické kmity [8]. Oscilátor bývá řízený křemenným krystalem s velmi přesnou a stabilní rezonanční frekvencí. „*Krystaly některých látek, křemene, Seignettovy soli, turmalínu apod., vybroušené vhodným způsobem, vykazují při mechanickém stlačování na koncových plochách elektrický náboj. Tento tzv. piezoelektrický jev má reciproční charakter, tj. při přivedení elektrického náboje na tyto plochy krystalu dochází naopak k jeho stlačování.*“ [6] Elektronické hodiny s oscilátorem z křemene dosahují vysoké přesnosti díky vysoké frekvenci kmitů (32 kHz). Běžná přesnost těchto quartzových strojků se pohybuje v rozmezí 10 sekund měsíčně. Mezi další výhody proti mechanickým strojčkům patří lepší odolnost vůči nárazu a menší nároky na obsluhu po dobu co je baterie nabita. K nevýhodám se řadí životnost strojků, která dosahuje 25-30 let, ale především poměrně častá výměna baterie průměrně každé 3 roky. Výhody strojku řízeného křemenným krystalem výrazně převažují nad jeho nevýhodami. Oscilátor z křemenného krystalu se v současnosti velmi používá nejen v elektronických hodinách a hodinkách, ale i v noteboocích v RTC (Real Time Clock) modulu.

Elektronické hodiny existují ve dvou provedeních: s ručkovým číselníkem – elektronickým digitálním ukazatelem. Hlavní funkční prvky obou soustav jsou v podstatě stejné, pouze u digitálního zobrazení je ručkové ústrojí nahrazené digitálním displejem, který je řízen impulsy přímo z integrovaného obvodu [6], [8], [9]. Konstrukční uspořádání quartzového strojku je zobrazeno na Obr. 2-3



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

Obr. 2-3 Quartzový strojek; 1 – baterie dodávající energii; 2 – oscilující křemenný krystal; 3 – mikroprocesor; 4 – plošný spoj; 5,6 – Elektromagnet, cívka – elektromotor převádějící elektrickou energii na kinetickou; 7 – Převodové soukolí [10]

2.4 Typy zobrazení

V současnosti se nejvíce používají dva základní typy zobrazování. Analogové, digitální nebo jejich kombinace.

2.4.1 Digitální zobrazení

Digitální (číslicové) zobrazení souvisí především s nástupem elektrických hodin. Ty nevyžadují zobrazování času ručičkami. Jelikož i oscilátor je zde elektronický, nabízí se použít i čistě elektronický zobrazovač – displej. Toto zobrazení je digitální jednak skokovou změnou hodnoty i zápisem pomocí číslic. Digitální display také často slouží k zobrazení dalších vedlejších funkcí [11]. Speciálním případem digitálního zobrazení je binární zobrazení, kde je časový údaj zobrazen pomocí binárního kódu. V takovém případě nemusí být na displeji proměnlivá čísla, ale například barevné proužky, které se skokově mění [12].

2.4.2 Analogové zobrazení

Analogový signál je spojitý, mění tedy své hodnoty plynule. Stejně posuzujeme zobrazování na hodinách mechanických i elektrických. Ty, které mají ručky, nazýváme analogovými. Z klasického analogového displeje nelze odečítat čas s takovou přesností jako u digitálního [11]. Porovnání zmíněných variant je na Obr. 2-4.



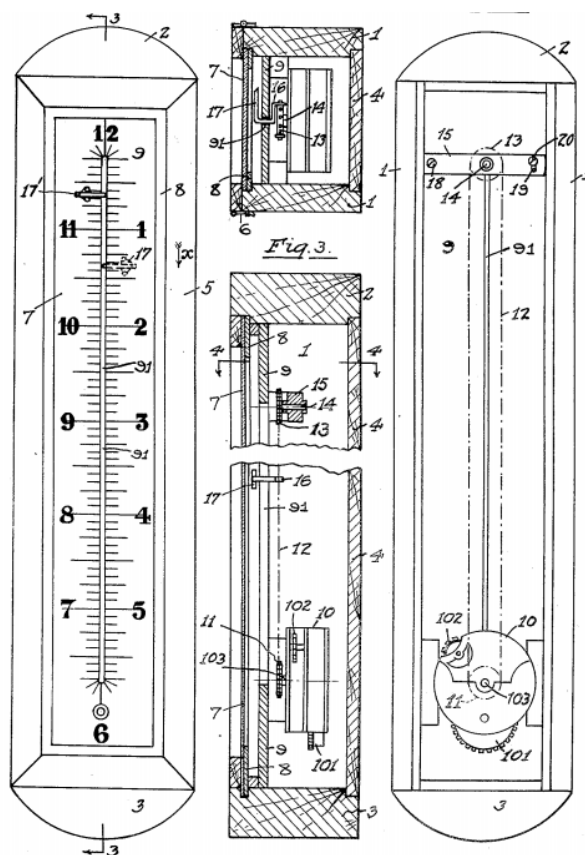
Obr. 2-4 Typy zobrazení; a) analogové; b) digitální; c) binární; d) analogové i digitální [12]

2.5 Přehled konstrukčních řešení lineárních hodin

Lineární hodiny historicky vychází z konstrukce mechanických hodin, ale pro řízení času lze použít mechanický i elektronický strojek. Poté dochází ke konstrukčním změnám rotačního zobrazovače za lineární pomocí různých mechanismů. V současnosti se pro řízení nabízí využití vhodného mikrokontroléru, který dokáže zaznamenávat čas s vysokou přesností a zároveň řídit ostatní členy konstrukce.

2.5.1 Analýza Patentových řešení

Přímé hodiny-US2221413A

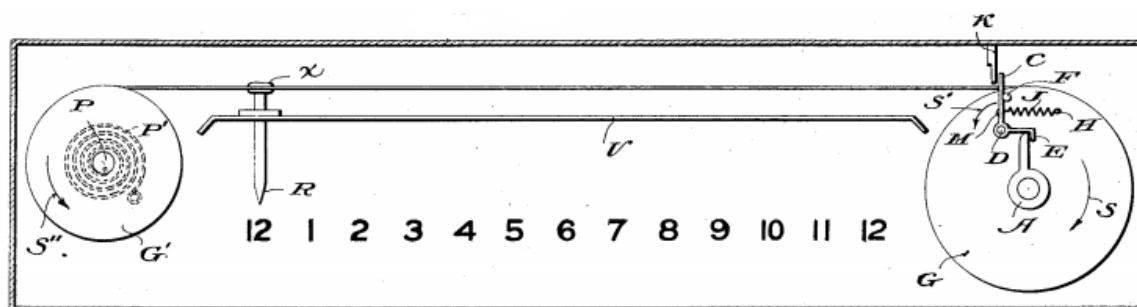


Obr. 2-5 Přímé hodiny – US2221413A [13]

Podstata tohoto řešení spočívá v lineárním pohybu rafičky či ukazatele po svislé stupnici. Výhodou tohoto designu oproti běžným kruhovým hodinám je, že tělo může mít úzký obdélníkový tvar umístěný vodorovně či svisle, což lze využít k propojení s jiným přístrojem, například teploměrem.

Uzavřenou konstrukci tvoří boční členy krytování (1) spojené s horní a dolní podstavou (2,3) a plochým krytem (4) zezadu. Přední rám hodin (5) je upevněný k bočním deskám na pantech pro lepší přístup k ciferníku (9), opatřeném svislou drážkou (91), ve které se pohybuje hodinová ručička. Ve spodní části krytu se nachází klasický mechanický hodinový strojek s natahovacím ústrojím, převodovým ústrojím a krokovým kolem (102). Na výstupním hřídeli (103), jehož otáčky odpovídají hodinám, je usazeno řetězové kolo (11). To je řetězem (12) spojeno s vodícím kolem (13), které se otáčí na ložiskách v příčniku (15). Ten se používá k napínání řetězu a je upevněn k rámu na jednom konci šroubem (18) a pomocí šroubu (20) a drážky (19) se nastaví správná poloha. Ukazatel připevněný na jeden článek řetězu poté ukazuje čas na stupnici ve dvanáctihodinových cyklech. Stupnice má rozlišitelnost pět minut. [13]

US2333832A Mechanismus lineárních hodin



Obr. 2-6 Mechanismus lineárních hodin – US2333832A [14]

Podobně jako u předchozí konstrukce i zde může sloužit k řízení lineárních hodin libovolný strojek. Mechanismus lze použít pro hodinové, minutové nebo vteřinové intervaly odpovídající výstupu z hodinového strojku. Na Obr. 2-6 je znázorněn upravený typ číselníku pro hodinové intervaly a schéma mechanismu. Kladka (G) je volně uložena na výstupním hřídeli z hodinového strojku. Její průměr závisí na celkové vzdálenosti, kterou má ručička urazit. Na kladce je dále otočně uložena páka (CDE) zakončená malým zubem (E), do kterého se opírá páka (A), ta uvádí kladku (G) a sní i celý mechanismus do pohybu. Lanko, na kterém je pevně usazena ručička (R), spojuje hlavní kladku s vedlejší (G'). S postupným otáčením se akumuluje energie ve zkrutné pružině (P') spojené s vedlejší kladkou. Poté co uplyne celý cyklus páka (CDE) narazí do zářáčky K zleva a dojde k uvolnění se zubu (E). Díky tomu pružina (P') uvede do pohybu obě kladky a s nimi i ručku. Poté co se mechanismus dostane do základní polohy jako je na schématu se celý cyklus opakuje. [14]

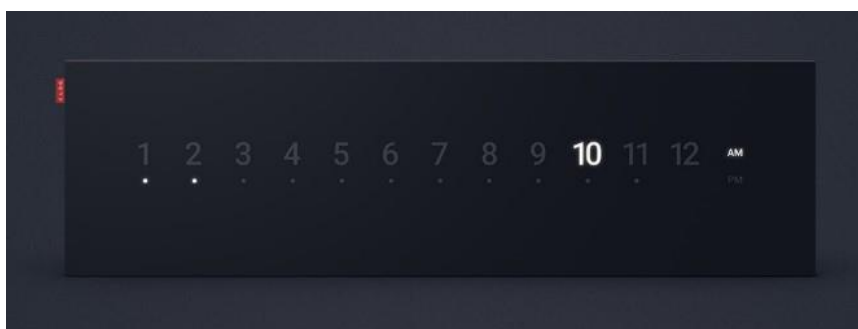
2.5.2 Komerční řešení

Firem nabízejících lineární hodiny na trhu není mnoho, a s tím souvisí i problém dostupnosti. Konstrukce komerčních lineárních hodin se liší zejména použitým způsobem zobrazování. Například americká firma Linear Clockworks nabízí svoje řešení lineárních hodin s analogovým zobrazením pomocí pohyblivého ukazatele [15]. Jednoduché dřevěné krytování je v zadní části hodin uchyceno ke stěně a v přední části jsou umístěné číslice. Hodiny jsou řízeny pomocí desky plošných spojů, na které se nachází i RTC modul s vnitřní baterií. Deska dále řídí pohyb boxu, v níž je umístěná společně s ukazatelem. O napájení desky se stará další baterie. Výrobce uvádí výdrž baterie desky na devět až dvanáct měsíců, po kterých je nutné baterii opět nabít. Cena modelu na Obr. 2-7 je v přepočtu 8 300 Kč, ale ceny se pohybují v závislosti na zvoleném modelu a dřevě od 3 300 Kč až po 20 500 Kč. Většina modelů nabízí stupnici s rozlišitelností pouze jedné hodiny.



Obr. 2-7 Analogové lineární hodiny od firmy Linear Clockworks [15]

Další řešení lineárních hodin, tentokrát digitálních, nabízí firma CLOQ, která se zabývá zakázkovým prodejem hodin na Obr. 2-8 v černém a bílém provedení [16]. Jedná se o hodiny s rozlišitelností pět minut, které jsou zobrazeny jako tečky na stupnici, které se postupně rozsvěčí.



Obr. 2-8 Digitální hodiny od firmy CLOQ [16]

Použitím vhodné řídicí platformy lze zkonstruovat jak hodiny s digitálním zobrazením, tak s analogovým, přičemž u konstrukce s analogovou stupnicí je nutné realizovat lineární pohyb pomocí dalších komponent. Například z rozboru patentových řešení je pohyb ukazatele řešen za pomoci a) řetězového převodu, u kterého je ovšem nutnost řetěz napínat nebo b) složitějšího mechanismu, který pohybuje s napnutým lankem. Díky mikrokontroléru lze obě řešení zjednodušit, a to použitím akčních členů, u kterých lze nastavit přesnou polohu natočení osy. Pro převod rotačního pohybu na lineární je poté nutné použít vhodný lineární pohybový mechanismus. V závislosti na použitém pohybovém mechanismu je výběr lineárního vedení, které zaručí pohyb ukazatele či ciferníku po geometricky přesné dráze.

2.6 Řídicí platformy lineárních hodin

Možností, ke kterým se lze přiklonit pro řízení lineárních hodin, je opravdu mnoho. V následujícím textu jsou popsány parametry společně s výběrem vhodné platformy pro tento účel. K důležitým faktorům, podle kterých jsem přistoupil k výběru desky patří její velikost, dostatečný výkon, paměť, elektronická náročnost, dostupnost, dokumentace včetně

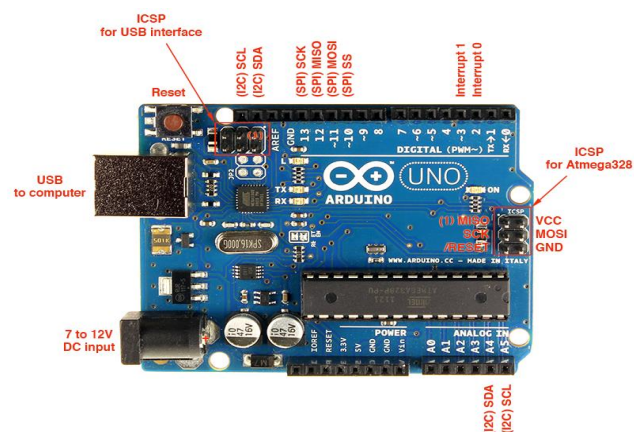
návodů, uživatelská náročnost, dostatečný počet pinů a cena. Následuje shrnutí vhodnosti těchto platforem do jednoduché tabulky.

2.6.1 Arduino Uno

Arduino Uno jako vývojová platforma je celosvětově velmi rozšířená vzhledem k její jednoduchosti a přijatelné ceně. V současnosti lze originální desku zakoupit v rozmezí 550 – 700 Kč. Na trhu jsou poměrně rozšířené podstatně levnější Arduino klony, které ovšem jsou často problémové a nemají možnost reklamace, a proto bude dále popsána originální deska. Arduino jako takové je navíc open source projekt původně pro studenty, tudíž, lze k němu najít mnoho návodů. Vývojová deska Uno je velmi variabilní. Pomocí rozšiřujících modulů tzv. shieldů se hodí do různorodých oblastí. Většina Arduino shieldů je kompatibilní právě s Uno. Přesto se jedná především o platformu vhodnou na prototypy, ale do realizace komerčního projektu se příliš nehodí. Základní parametry jsou uvedeny v Tab. 2-1. Na desce nalezneme osmibitový mikroprocesor ATmega328P od společnosti ATMEL. Procesor disponuje 32 kB flash pamětí určenou pro uložení programu, 2 kB SRAM operační pamětí a 1 kB pamětí EEPROM a komunikuje s počítačem pomocí převodníku z USB na RS 232 [17]. Platforma je osazena čtrnácti digitálními piny, z nichž šest podporuje PWM (pulzně šířková modulace) a dalšími šesti analogovými piny [18]. K programování Arduina lze použít dodávaný software Arduino IDE. V samotném prostředí je možné programovat v jazyce C něco C++, v současnosti je však velmi rozšířená C++ knihovna zvaná Wiring. Pro připojení některých shieldů, či senzorů k Arduinu lze I²C sběrnici.

Tab. 2-1 Shrnutí parametrů Arduino Uno [18]

Arduino Uno – základní parametry	
Procesor	ATmega328P
CPU	16Mhz AVR 8-bit
Operační paměť	2 kB SRAM
Úložiště programu	32 kB Flash
USB	USB-B
GPIO	20 pinů
Pracovní napětí	5 V
Napájení	USB-B 5 V DC, konektor 7–12 V DC, vstupní piny
Rozměry	68,6 × 53,4 mm
Jmenovitý výkon	46 mA (0.225 W) v průměru nezátížené



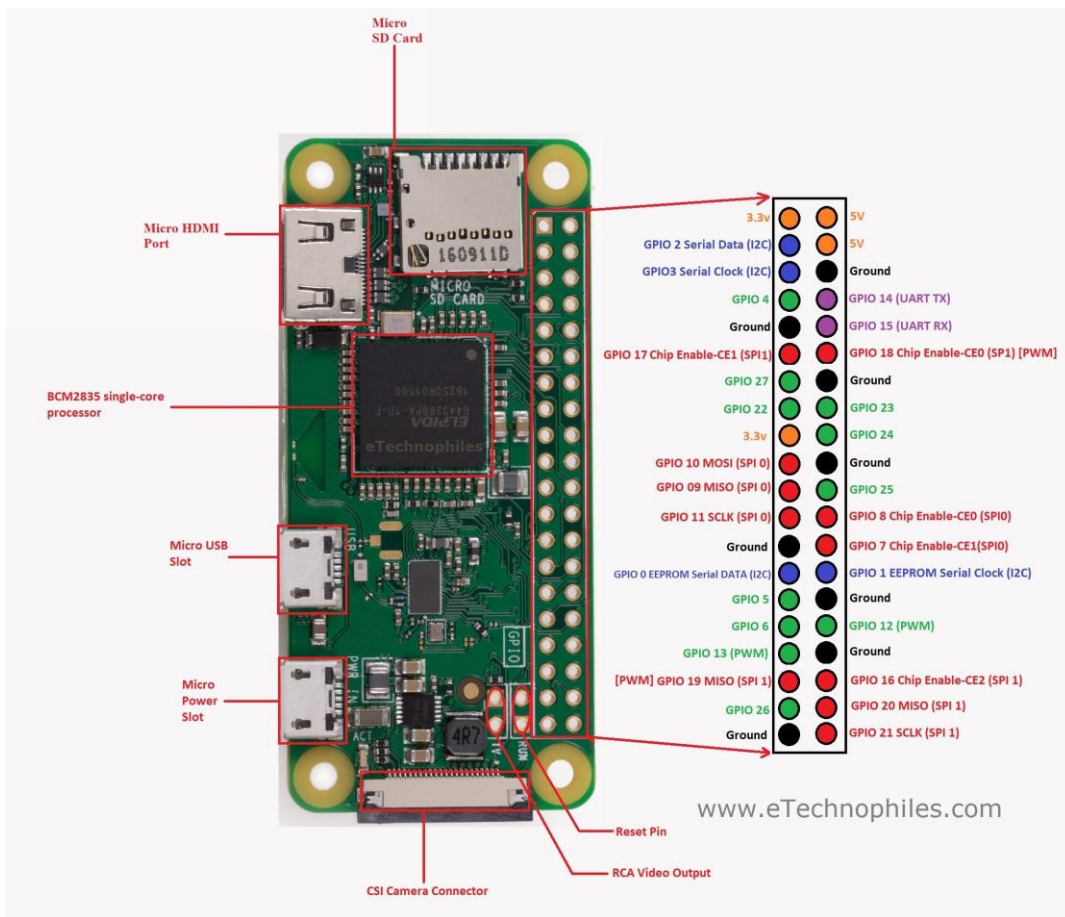
Obr. 2-9 Popis funkcí pinů na desce Arduino Uno [19]

2.6.2 Raspberry Pi Zero H

Raspberry Pi je také open source platformou s velmi obsáhlou dokumentací a velkou podporou veřejnosti. Podobně jako Arduino má mnoho různých modelů, mezi kterými jsou velké rozdíly především v oblasti výkonu, paměti, možnosti komunikace s počítačem a tomu odpovídající ceně. Raspberry Pi Zero H je malou nízkorozpočtovou počítačovou deskou, která se ale dá použít do nepřeberného množství aplikací, a díky dostatečnému množství pinů a výkonu jedno-jádrového procesoru se hodí i pro provoz lineárních hodin. Obecně se Raspberry Pi dá považovat za mini počítač, který dokáže spouštět více programů současně, ovšem pro interakci se senzory a dalšími akčními členy je třeba složitějších úkonů jako je instalace knihoven a softwaru. Jako doporučený programovací jazyk je python, ale lze použít i C a C++. Technické specifikace jsou uvedeny v Tab. 2-2 níže.

Tab. 2-2 Shrnutí parametrů Raspberry Pi Zero H [20]

Raspberry Pi Zero H – základní parametry	
Procesor	ARMv6Z (32-bit) Broadcom BCM2835
CPU	1 GHz ARM1176JZF-S
GPU	Broadcom VideoCore IV @ 250 MHz
Paměť	512 MB SDRAM (sdílená s GPU)
Úložiště	microSDHC
USB	USB2.0 microUSB
GPIO	40 - pinů
Pracovní napětí	3,3 V
Napájení	microUSB 5 V DC, vstupní piny
Rozměry	65 × 30 × 5 mm
Jmenovitý výkon	100 mA (0.5 W) v průměru nezatížené



Obr. 2-10 Popis pinů na desce Raspberry Pi Zero H [21]

2.6.3 Raspberry Pi Pico

Další variantou může být nový jednočipový počítač Raspberry Pi Pico založený na mikrokontroleru Raspberry Pi RP2040. Mezi modelem Pico a Zero H je rozdíl několika let vývoje, avšak v možnostech využití jsou si stále podobné. Pico je levnější, úspornější, méně výkonnou variantou, avšak stále vhodnou do konstrukce lineárních hodin. Hlavním rozdílem bude právě nový mikrokontroler, jehož parametry lze najít v datasheetu [22]. Pico je programovatelné v programovacích jazycích MicroPython i C/C++. Pico v maximální zátěži spotřebuje v průměru 86 mA což odpovídá jmenovitému výkonu 0,33 W. Avšak ve sleep módu se spotřeba pohybuje pod 2 mA a tedy 0,006 W. Technické parametry desky jsou opět uvedeny v tabulce níže.

2.6.4 Zhodnocení použitelných vývojových platforem

Jelikož všechny vývojové platformy jsou pro lineární hodiny vhodné, je třeba rozebrat rozhodující parametry v Tab. 2-4. Energetická náročnost Raspberry Pi Pico není uvedena, protože hodnoty pro spotřebu desky v nezatíženém stavu v základním módu nejsou dostupné, proto s ostatními deskami nelze hodnoty srovnávat. Rozhodujícím parametrem pro stavbu lineárních hodin je počet použitelných pinů, a to z důvodu možnosti připojení potřebných externích periférií nebo shieldů. Velkou výhodou Arduina a některých shieldů je možnost skládat desky na sebe. Tím sice dochází ke zvětšení zástavbových rozměrů, avšak je dostupný stále stejný počet pinů. Raspberry Pi Pico vzhledem k jeho ceně a parametrům by bylo vhodnou variantou, avšak na trh přišlo až v březnu 2021, tedy v době, kdy tato práce byla rozpracovaná.

Tab. 2-4 Zhodnocení vybraných parametrů vývojových platforem

Vývojová platforma	Rozměry [mm]	Programovací jazyk	Energetická náročnost [mA]	Počet pinů	Cena [Kč] ^{a)}
Arduino UNO	69 × 54	Wiring	46	20	599
Raspberry Pi Zero H	65 × 30	Python	100	40	287
Raspberry Pi Pico	21 × 51	MicroPython	-	30	150

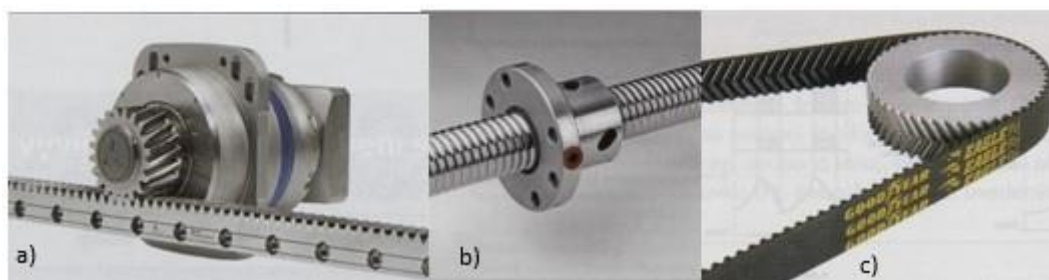
a) Srovnávané ceny pro všechny platformy vychází z internetového obchodu RPishop [23].

2.7 Lineární pohybové mechanismy

Lineární pohybový mechanismus slouží pro transformaci rotačního pohybu motoru na pohyb translační. Mezi nejvhodnější varianty pro použití v lineárních hodinách se řadí ozubený hřeben a pastorek, kuličkový šroub a matice, trapézový šroub a matice a ozubený řemen (viz Obr. 2-12).

Trapézový šroub a matice patří k nejlevnějším možnostem zajištění převodu rotačního pohybu na translační. Mají ale řadu nevýhod, jako je vůle mezi maticí a šroubem při změně otáček nebo ve srovnání s kuličkovými šrouby mají vyšší součinitel tření a s tím související nižší účinnost. Již zmíněný kuličkový šroub a matice má výrazně menší součinitel tření, díky odvalování kuliček v drážkách matice a šroubu, ale je podstatně dražší [24]. S přihlédnutím na možnost využití 3D tisku je nejvhodnější variantou ozubený hřeben a pastorek. Pomocí tohoto řešení lze dosáhnout libovolné délky posuvového mechanismu, což umožňuje velkou variabilitu v zástavbových rozměrech. Na rozdíl od použití ozubeného řemenu není třeba použít napínací mechanismus. Využití technologie 3D tisku je také nejlevnější variantou s dostatečnou přesností polohování a jelikož u lineárních hodin není mechanismus výrazně

namáhán, tak i dostatečnou tuhostí. Oproti řešení s pohybovým šroubem je zde osa motoru kolmo na směr pohybu. Základní parametry převodů jsou uvedeny v Tab. 2-5.



Obr. 2-12 Lineární pohybové mechanismy; a) pastorek a hřeben; b) kuličkový šroub; c) ozubený řemen [25]

Tab. 2-5 Vlastnosti převodů rotačního pohybu na lineární [24]

Druh převodu	Rozsah [m]	Přesnost [mm]	Tuhost
Kuličkový šroub	< 5	Max. 0,001	Střední až vysoká
Ozubený hřeben – pastorek 1	Teoreticky neomezený	–	Nízká
Ozubený řemen	< 10	Max. 0,1	Nízká až střední

2.8 Lineární vedení

Lineární vedení slouží k zajištění přesných přímočarých pohybů. Hlavním problémem lineárních vedení je tření mezi kontaktními plochami, proto je třeba dostatečně snížit součinitel tření. Dále je snahou dosáhnout po celé délce vedení stejného součinitele tření k zajištění rovnoměrnosti pohybu při malých rychlostech a zamezení trhavého pohybu. K důležitým požadavkům na vedení patří také dostatečná tuhost, minimální vůle, jednoduchá konstrukce a vysoká životnost [26]. Vedení lineárních hodin není značně namáháno, a proto není nutné volit variantu s vysokou tuhostí. Důležitějším parametrem je jednoduchá konstrukce a plynulost chodu.

2.8.1 Druhy lineárních vedení

Používaných druhů lineárních vedení je mnoho. Mezi nejběžněji používaná patří vedení kluzná a vedení valivá. Jako další nekonvenční vedení lze uvést vedení servostatická, vedení aerostatická a vedení kombinovaná [26].

- Vedení kluzná:

Kluzná vedení dělíme na hydrodynamické a hydrostatické v závislosti na třecím poměru [25]. Bývají konstruována v několika tvarových variantách styčných ploch jako jsou ploché, prizmatické, rybinové a kruhové. Nezbytností u kluzných vedení je použití vhodných maziv. Mezi výhody kluzného vedení se řadí jednoduchá konstrukce, údržba a nízká cena. K nevýhodám patří rozdíl mezi součinitelem smykového tření za klidu a za pohybu [26].
- Vedení valivá:

Tento druh vedení se liší od kluzného přidáním valivého tělesa mezi styčné plochy. Mezi valivým tělesem a vodícími plochami vzniká valivé tření, které bývá řádově menší než u kluzných vedení. Vyznačuje se plynulostí pohybu díky velmi podobnému součiniteli tření za klidu a za pohybu a zároveň se valivé vedení dá předepnout během montáže, čímž dojde k vymezení vůle a ke zvýšení tuhosti. Nevýhodou tohoto typu je horší schopnost tlumení chvění a vyšší pořizovací náklady z důvodu náročnější výroby [26].

2.8.2 Vybraná řešení lineárních vedení

Nepodepřené tyče

Toto řešení se vyznačuje jednoduchou konstrukcí, montáží, nízkou cenou, ale také nižší únosností než například vedení tvarové. Vedení se skládá z povrchově kalené a následně broušené válcové tyče a dále z pouzdra. To může být jak kluzné b), tak valivé c). Nevýhodou tohoto řešení je neschopnost přenášet moment rovnoběžný s osou tyče. Pro jeho zachycení se využívá zdvojení vedení [27].



Obr. 2-13 Lineární vedení s nepodepřenou tyčí; a) kalená tyč; b) kluzné pouzdro; c) valivé pouzdro [27]

Podepřené tyče

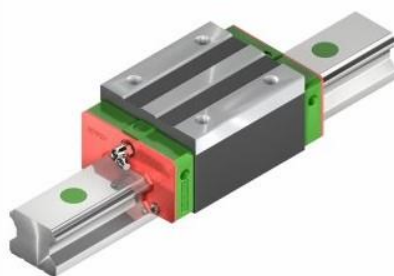
Tento typ vedení je principiálně velmi podobný předchozímu. Rozdíl je pouze v přidání podpěry po celé délce tyče, která zajišťuje větší tuhost. Opět lze využít jak kluzná, tak valivá pouzdra.



Obr. 2-14 Lineární vedení s podepřenou tyčí; a) kalená tyč; b) kluzné pouzdro; c) valivé pouzdro [27]

Lineární vedení s profilovou drážkou

Umožňuje lineární pohyb pomocí valivých elementů, kterými mohou být kuličky nebo válečky. Tento typ vedení je schopen zachytit momenty ve všech směrech a síly horizontálně i vertikálně. Vedení je vhodné pro zařízení s vysokými požadavky na přesnost, plynulost vedení a konstantní rozložení součinitele tření. Nevýhoda tohoto vedení je vyšší pořizovací cena [28].



Obr. 2-15 Lineární vedení s profilovou drážkou [28]

2.9 Akční členy

K nejjednodušším akčním členům, které slouží pro nastavení přesného úhlu natočení patří krokové motory. Jsou řízeny impulsy stejnosměrného proudu. Tyto impulsy generují točivé magnetické pole postupným spínáním pólových dvojic, a to zajistí pootočení osy o určitý krok. K výhodám krokových motorů se řadí cena, dosažení přesného úhlu natočení, opakovatelnost pohybu a setrvání motoru pevně v klidové poloze, pokud je na cívky přiveden proud [26]. Nevýhodou je absence zabudovaného snímače polohy a dále ztráta kroku při přetížení či nadměrné rychlosti. Pro ovládání krokových motorů je nutné použít tzv. driver, tedy ovladač krokových motorů.

Servomotory mohou být synchronní i asynchronní. Jedná se o klasický elektromotor opatřený o regulátor otáček a snímač polohy. Výhodou servomotorů oproti krokovým motorům je ta, že může dojít ke krátkodobému přetížení. Nevýhodou těchto motorů je však vysoká pořizovací cena či případné omezení úhlu natočení.

Parametry, podle kterých budou vybrány vhodné krokové motory a servopohony jsou následující: kompatibilita s vybranými vývojovými platformami, přenášený kroutící moment, cena a zástavbové rozměry.

Krokový motor 28BYJ-48

Jedná se o unipolární krokový motor, jehož napájecí napětí je 5 V. Uvnitř motoru je integrovaná převodovka s převodovým poměrem přibližně 1 / 64 [29]. V případě, že motor pracuje v režimu čtyřtaktím s magnetizací dvou fází (Full step mode), tak každému kroku odpovídá úhlový přírůstek na rotoru 11,25 °. To znamená, že na jednu otáčku rotoru musí motor vykonat 32 kroků. Vzhledem ke zmiňovanému převodovému poměru vykoná motor přibližně 2038 kroků na jednu otáčku výstupního hřídele. V osmitaktím režimu (Half step mode) se počet kroků ještě rozpůlí, takže jedna otáčka výstupního hřídele odpovídá 4 076 krokům. Motor tedy nabízí přesnost kroku až 5,625° / 64.

Tab. 2-6 Shrnutí parametrů motoru 28BYJ – 48 [29]

Krokový motor 28BYJ – 48	
Jmenovité napětí	5 V
Převodový poměr	1 : 64
Úhel kroku	5,625 / 64
Průměr šasi	28 × 20 mm
Počet fází	4
Točivý moment	0,0343 N · m
Spotřeba energie	240 mA
Pracovní zvýšení teploty	< 40 K



Obr. 2-16 Krokový motor 28BYJ – 48 [29]

Krokový motor Nema17HS2408

Krokové motory normalizované velikosti Nema 17 jsou dostupné v mnoha řadách, které se od sebe velikostně liší pouze délkou. Ta odpovídá nabízenému výkonu. Jde o motory s velkým rozsahem použití, které jsou vhodné například jako součásti pojezdových ústrojí hobby CNC frézek, či 3D tiskáren. Jelikož motory typu Nema 17 jsou poměrně výkonné, tak byl vybrán model HS2408, který patří k nejméně výkonným motorům této řady, avšak rozměrově nejpřívětivějším. Jde o bipolární krokový motor se 4 fázemi. Úhel jednoho kroku rotoru je $1,8^\circ$ což odpovídá 200 krokům na otáčku [30].

Tab. 2-7 Shrnutí parametrů motoru Nema 17HS2408 [30]

Krokový motor 28BYJ – 48	
Jmenovitý proud	0,6 A
Úhel kroku	$1,8^\circ$
Rozměry	42×42×28 mm
Počet fází	4
Točivý moment	0,12 N · m
Fázový odpor	8 Ω



Obr. 2-17 Krokový motor Nema17HS2408 [30]

Servo Kitronik Mini FS90R

Servo FS90R s nepřetržitou 360° rotací má odlišný provoz od běžného serva. Toto servo při pulsu 1,5 ms bude statické narozdíl od otočení do určité pozice. Delší puls znamená rotaci jedním směrem, a naopak kratší puls znamená zpětnou rotaci. Rychlost rotace serva se mění společně se změnou šířky impulsu [31].

Tab. 2-8 Shrnutí parametrů serva Kitronik Mini FS90R [31]

Servomotor Kitronik Mini FS90R	
Rozsah napětí	4,8 – 6 V
Točivý moment	1,3 – 1,5 Kg / cm
Maximální rychlost	100 – 130 RPM
Rozměry	23,2 × 12,5 × 22 mm



Obr. 2-18 Servomotor Kitronik Mini FS90R [31]

2.9.1 Zhodnocení použitelných akčních členů

Pro pohon lineárních hodin se nejvíce hodí snadno dostupný motor s nízkou cenou. Jelikož vybrané motory mají dostatečný točivý moment, tak rozhodujícím kritériem je především jeho velikost a jednoduchost montáže.

Tab. 2-9 Zhodnocení vybraných parametrů akčních členů

Motor	Rozměry [mm]	Cena [Kč] ^{a)}	Moment [N · m]
28BYJ-48	∅ 28 × 20	69	0,0343
Nema17HS2408	42 × 42 × 28	220	0,12
Kitronik Mini FS90R	23,2 × 12,5 × 22	160	0,12-0,14

a) Srovnávané ceny pro všechny platformy vychází z internetového obchodu RPishop [23].

2.10 Koncové snímače

Koncové snímače polohy se zpravidla používají pro snímání limitní hodnoty pohybových os tedy mohou sloužit k nájezdu do referenčního a koncového bodu. Další funkcí těchto snímačů může být ochrana před havarijním stavem lineárních posuvových mechanismů. K nejvíce využívaným typům koncových snímačů patří mechanické snímače, induktivní snímače a magnetické snímače. Zde zmíněné typy pracují každý na jiném principu, ale

všechny jsou pro konstrukci lineárních hodin vhodné. Vzhledem k jednoduchosti a ceně jsou použity mechanické spínače.

Mikrospínač Jietong MSW-02 L=27 mm

Jedná se o mechanický koncový spínač s páčkou, která ovládá přepínací kontakt uvnitř snímače. Konektory jsou typu faston 6,3 mm. Důležitými parametry pro další použití jsou zástavbové rozměry $10,3 \times 15,8 \times 28,8$ mm a dále délka páčky, která v tom to provedení odpovídá délce 27 mm [32].

Mikrospínač Jietong MSW-22

Opět jde o mechanický koncový spínač, který je původně určen k zasazení do desky plošných spojů. K jeho přednostem se řadí především jeho kompaktní zástavbové rozměry $12,8 \times 5,8 \times 6,5$ mm. Páčka má délku 13 mm [33].

V konstrukci lineárních hodin řízených vývojovou deskou se pracovní napětí i proud pohybuje na nízkých hodnotách. Maximální napětí a proudy mikrospínačů jsou násobně vyšší. Parametry, podle kterých budou vybrány jednotlivé spínače, jsou zejména zástavbové rozměry a délka páčky.

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Za předpokladu lineárně plynoucího času lze považovat za správné ho i tímto způsobem zobrazovat. Lineární hodiny jsou unikátním řešením, jak na zobrazování času pohlížet, avšak mají předpoklady zobrazovat čas intuitivněji než konvenční zobrazovače. Přesto se ale na trhu nevyskytuje mnoho komerčně dostupných řešení a lze tedy usuzovat, že se jedná spíše o doplněk pro nadšence. Lineární hodiny jsou určeny pro uživatele, pro které velmi přesné zobrazení času není vysoce směrodatné. Zároveň mohou sloužit jako základní podklad pro technické nadšence pro představení současných technologií, proto hodiny budou konstruovány pro realizaci pomocí běžně dostupných komponent a technologií. Zařízení tedy nemá sloužit pro komerční účely, má být dostupné pro širokou veřejnost a sloužit spíše jako technické představení relativně nových dostupných technologií.

V současnosti k velmi rozšířeným a dostupným způsobům díky nimž lze relativně snadno doma zhotovit i tvarově složité součásti patří 3D tisk. Využití technologie FDM (Fused deposition modelling) 3D tisku k výrobě patří bezesporu k nejlevnějším variantám, která nabízí uživatelům široké možnosti další modifikace. Vzhledem k cílové skupině uživatelů je pro řízení použita komerční deska Arduino Uno pro své jednoduché programování a velké rozšíření mezi technickou komunitou.

Jelikož se předpokládá výsledná realizace lineárních hodin ve formě funkčního vzorku, tak výrobní náklady nejsou považovány za hlavní kritérium. I přesto je snahou je optimálně snížit například úpravou a následným vytištěním komerčně dostupných mechanických částí. Toto lze považovat za správné pouze za předpokladu, že tyto části nebudou výrazně namáhány.

Jako důležité konstrukční parametry pro následné řešení lze považovat maximální zástavbové rozměry, zejména rozpětí: 1300 mm, výška 120 mm, hloubka 120 mm. Dále maximální možná hmotnost 1,5 kg. Lineární hodiny jsou určeny pro vnitřní použití s okolními teplotami v rozsahu $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. K použití technologie FDM se váží omezené možnosti plastů dostupných pro tuto technologii. Použitý materiál by měl mít dostatečné pevnostní vlastnosti, měl by být levný a dostupný. V úvahu tedy přichází materiály PLA, ABS a PETG.

3.2 Cíl práce

Hlavním cílem je konstrukce a následná realizace funkčního vzorku lineárních hodin užitím technologie 3D tisku a řízené pomocí Arduino Uno, přičemž je nutné přihlížet k cílové skupině uživatelů.

Zařízení musí dále umožňovat nastavení času pomocí tlačítek bez nutné úpravy kódu. Po úvodním nastavení času, pomocí tlačítek nebo nahráním kódu, musí hodiny při každém dalším připojení ke zdroji napájení automaticky nastavit předem zvolený čas. Cílem této práce není zkonstruovat hodiny s maximální přesností vzhledem jejich použití, ale hodiny mají umožňovat přehled o aktuálním čase orientačně. Vzhledem k tomu, že veškeré díly budou vyrobeny 3D tiskem, lze jako výstup použít bezvýkresovou dokumentaci, tedy model, a proto bude výkresová dokumentace obsahovat pouze výkres sestavy a jako výkresy součástí budou zpracovány hřeben a pastorek.

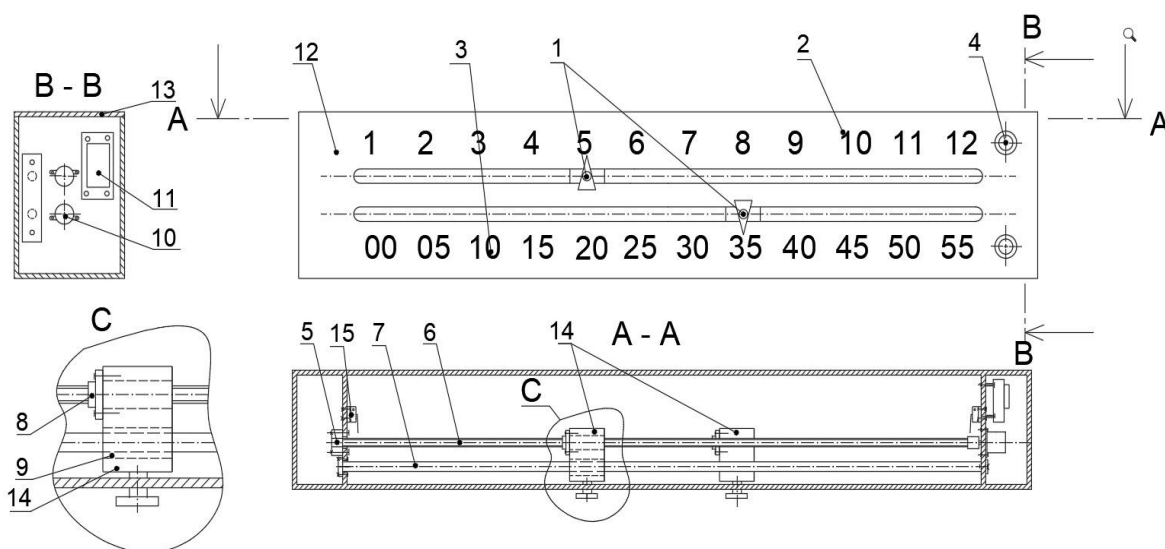
Požadované parametry:

- analogová stupnice
- rozsah stupnice 12 hodin
- rozlišitelnost stupnice 5 minut
- zavěšení na zeď
- schopnost automatického nastavení času po spuštění

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Lineární hodiny s analogovou stupnicí se skládají ze dvou řešených částí. Ze softwarové a hardwarové části, ta se skládá z návrhu krytování, lineárního vedení, lineárního pohybového mechanismu a elektronických komponent. V koncepčním návrhu nebudou rozebrány softwarová a elektronická část.

4.1 Koncept 1

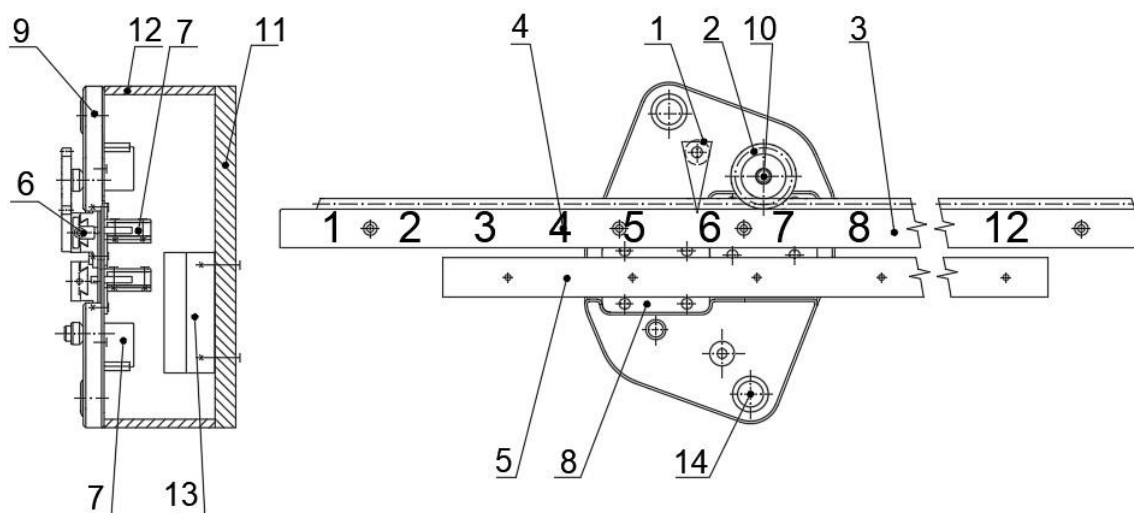


Obr. 4-1 Koncept 1

První varianta se skládá z pevného krytování (12) zavřeného shora víkem (13) přišroubovaným v rozích. V příčkách je uloženo lineární vedení, které je řešené pomocí nepodepřených tyčí (7) a lineárního valivého ložiska (9) pro hodinovou a minutovou stupnici odděleně. Jako lineární pohybový mechanismus je navržen trapézový šroub (6) a matice (8), která je přišroubovaná k tištěnému ložiskovému domku (14). Ten spojuje nepodepřenou tyč s trapézovým šroubem a společně zamezí rotaci domku kolem jedné z jejich os. Trapézový šroub je na jedné straně uložen v dalším ložiskovém domku (5) v radiálním ložisku. Čas je zobrazen na hodinové (2) a minutové (3) stupnici pomocí pohyblivých ukazatelů (1). Ty jsou součástí ložiskových domků (14). Jako akční členy byly vybrány krokové motory (10) spojené spojkami s trapézovými šrouby. Řídící platforma (11) spolu s RTC modulem je přišroubována k příčce konstrukce poblíž krokových motorů. Tlačítka (4) slouží pro případnou úpravu nastavovaného času.

Toto řešení je kombinací tištěných a komerčně dostupných mechanických dílů. Použitím pohyblivého ukazatele a nikoli stupnice se dosáhne menších zástavbových rozměrů. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je nutnost použití některých komerčních mechanických součástí.

4.2 Koncept 2



Obr. 4-2 Koncept 2

Druhý koncepční návrh vychází z konstrukce Jonathana Odoma [34], ze které byla použita pohyblivá stupnice a statické ukazatele (1). Z tohoto návrhu bylo převzato ozubení pastorku a hřebene a dále číselné stupnice.

Tento koncept se maximálním možným způsobem skládá z tištěných dílů. V návrhu je pro snadnější zobrazení vedení zobrazena pouze hodinová stupnice (4). Lineární pohyblivý mechanismus je navržen jako pastorek (2) a hřeben (3). Ten je spojen s kluzným lineárním vedením, na jehož koncích jsou z obou stran přišroubovány dorazy (6) pro spínání koncových spínačů. Ty indikují limitní polohu kolejnic (5) s hřebenem. Pastorek je pevně uložen na čepu (10), který je spojen s hřídelí krokového motoru (7) pomocí tvarových prvků. Kolejnice lineárního vedení se pohybují v blocích (8), které jsou přišroubovány k přední desce krytování (9). Přední a zadní desku (11) odděluje vložený boční kryt (12). K zadnímu krytu je připevněna řídicí platforma (13) s RTC modulem. Tlačítka (14) i zde slouží pro úpravu zobrazovaného času.

Toto řešení přináší možnost maximálního využití tisku mechanických součástí, což je vzhledem k uživatelům žádoucí. Dále konstrukce nabízí přímý náhled na to, jakým způsobem tyto hodiny pracují.

Nevýhodou tohoto řešení je větší rozměrová náročnost, kvůli rozsahu pohybu obou vedení. Další nevýhodou mohou být nepřesnosti způsobené tištěným vedením, například větší odchylky od rovnoběžnosti kolejnic nebo horší pohyblivost vedení.

4.3 Koncept 3

Tato varianta vychází z konceptu 2. Liší se použitým lineárním vedením, kde je kluzné tištěné vedení nahrazeno tvarovým (prizmatickým) vedením. To sice odstraní nevýhody způsobené tištěným vedením, zato je finančně nákladné. Výhodou tohoto řešení oproti konceptu 2 je tuhost a plynulost celé pohybové soustavy.

Firma Hiwin nabízí kuličkové lineární vedení označené dle výrobce MG (viz Obr. 4-3), které je vhodné díky své malé velikosti a provedení pro lehké, ale přesné aplikace. Firma dodává kolejnice v délkách dle požadavku, a vzhledem k větším zástavbovým rozměrům by bylo použito vedení MGN 07 s maximální délkou kolejnice $L_{max} = 600$ mm [28].

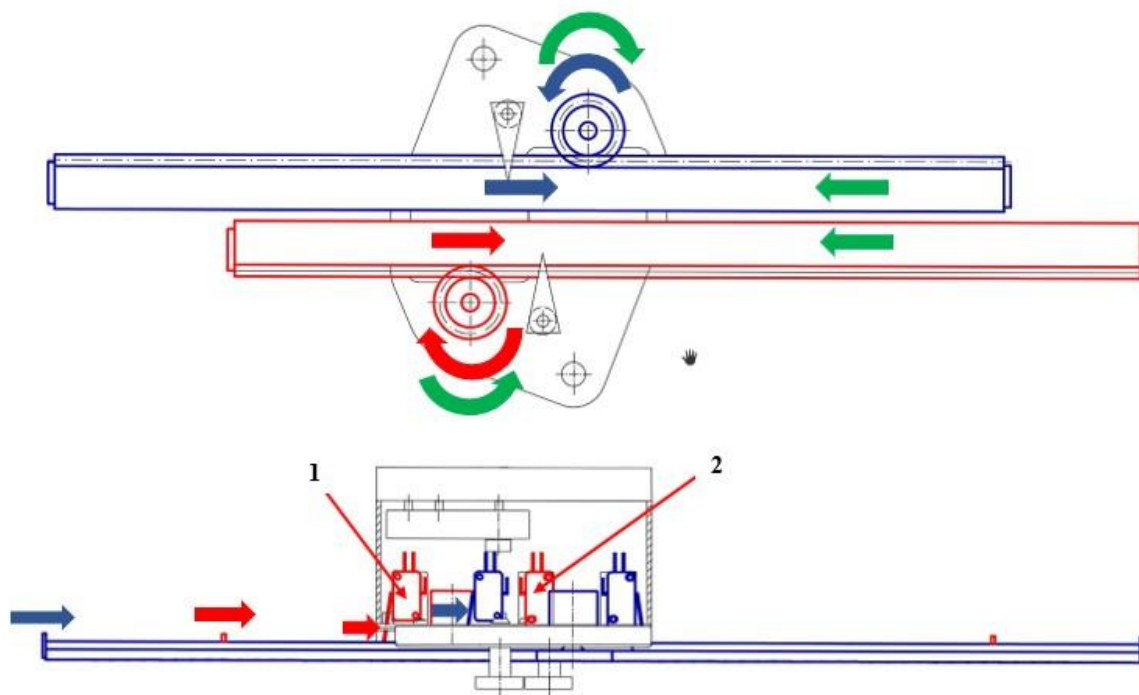


Obr. 4-3 Kuličkové lineární vedení MGN [28]

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Pro konstrukční zpracování byl vybrán koncept 2 (4.2). To bude obsahovat rozbor jednotlivých řešených soustav, tj. hardwarové a softwarové. Hardware je dále rozdělen na nakupované komerčně dostupné díly a díly vytisknuté na 3D tiskárně.

Na Obr. 5-1 je zobrazeno funkční schéma řešených lineárních hodin. Červeně je označena minutová stupnice a její pohyb do referenční pozice, tedy do polohy, kdy hodiny zobrazují nula minut. Stupnice se na pozici zastaví po sepnutí spínače (1). Modrá barva odpovídá hodinové stupnici se stejným principem. Zeleně je poté označen pracovní pohyb obou stupnic, který je po částech spojitý, minutová stupnice po pohybuje po pětiminutových intervalech a hodinová po hodinových. Po sepnutí spínače (2) na minutové stupnici dojde opět k pohybu do reference a posunu hodinové stupnice o hodinu ve směru zelené šipky. Po uplynutí dvanácti hodin najede hodinová stupnice do reference stejným způsobem jako minutová.

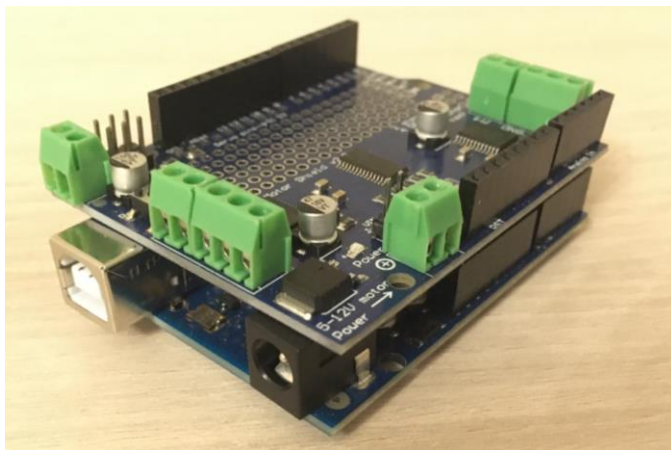


Obr. 5-1 Funkční schéma

5.1 Hardware

5.1.1 Nakupované díly

Hlavním prvkem pro řízení hodin bylo vybráno Arduino Uno zejména pro jeho počet použitelných pinů, dostupnost a jednoduchost programování. V kombinaci s deskou s drivery krokových motorů Arduino I²C motor shield TB6612 + PCA9685 (viz Obr. 5-2) totiž nabízí stále stejný počet pinů, jelikož se tyto desky dají zasunout do sebe. Tato kombinace byla použita, protože jako akční členy byly zvoleny dva krokové motory 28BYJ – 48 (parametry viz Tab. 2-6), které každý při použití externích driverů potřebuje alespoň 4 piny a napájení. Tyto motory byly zvoleny pro jejich zástavbové rozměry, cenu a dostatečný moment. Další klíčové vlastnosti Arduina jsou uvedeny v Tab. 2-1. Dále pro zpřesnění zobrazovaného času a ukládání dat i po odpojení od napájení bude použit RTC modul s integrovanou baterií. Vzhledem k doporučenému vstupnímu napětí Arduina je použit 9 V stejnosměrný zdroj s výkonem 1,5 W. Jelikož použité krokové motory pracují na 5 V napětí, je nutné přivést do Shieldu napájení s 5 V a z tohoto důvodu je do obvodu připojen DC – DC měnič napětí. Jako koncové spínače byly vybrány mikrosvítače Jietong MSW – 02 zejména kvůli délce páčky, která musí dosahovat skrz přední kryt až do úrovně dorazu lineárního vedení. Pro nastavování času nebudou použity tlačítka, ale kolébkové ON – OFF přepínače, které usnadní použití. Elektronické schéma zapojení je zobrazeno na Obr. 5-4.



Obr. 5-2 Arduino Uno s motorovým shieldem

Arduino I²C motor shield TB6612 + PCA9685

Tento doplňkový shield slouží k ovládání dvou krokových motorů nebo čtyř stejnosměrných motorů společně se dvěma servomotory. Pro tento konstrukční návrh stačí možnost ovládání dvou krokových motorů, ale důležitou vlastností je možnost komunikace s Arduinem přes I²C sběrnici, což umožňuje kombinaci s jinými shieldy. Kontrolér PCA9685 slouží ke komunikaci s Arduinem a pomocí dvou driverů TB6612 řídí krokové motory [35].

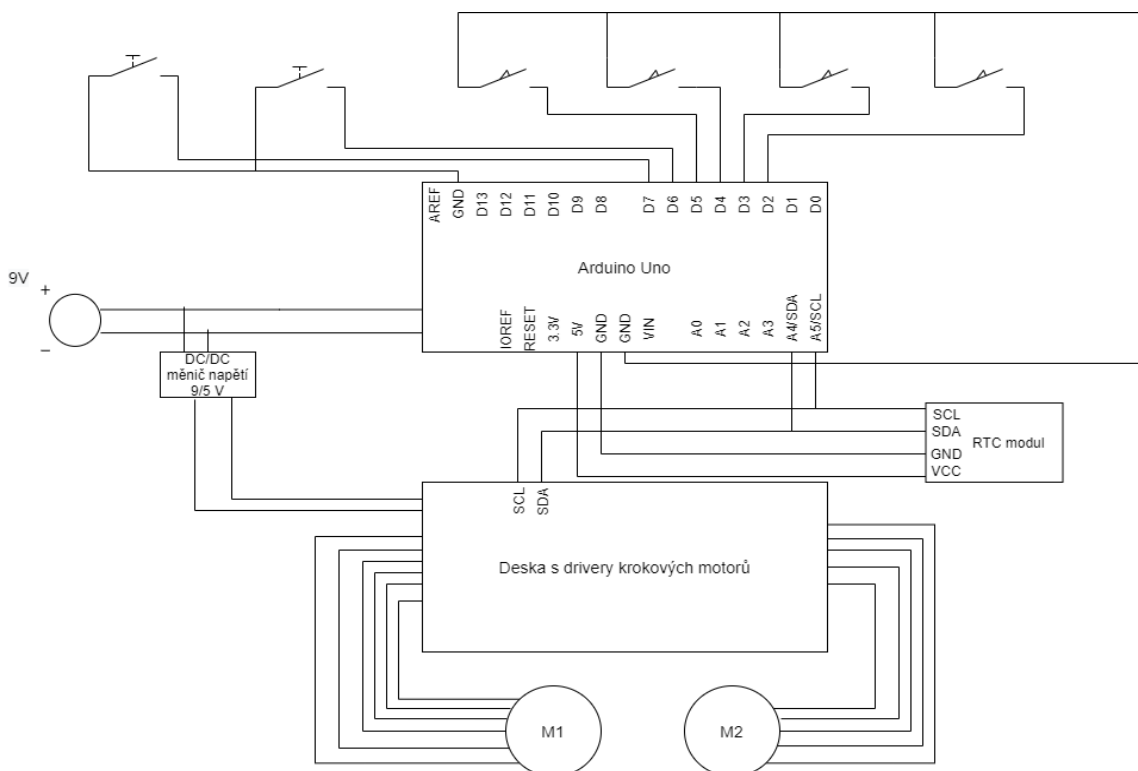
RTC modul DS1307

Jedná se o obvod reálného času, který, pokud je připojen k napájení, počítá impulsy z oscilátoru a ukládá aktuální hodnoty data a času na SRAM paměť o velikosti 56 b. Modul umožňuje komunikaci pomocí sběrnice I²C. Napájet tento obvod lze buď na 5 V z desky, nebo 3 V ze záložní baterie. Obvod si sám přepíná tyto dva zdroje podle potřeby. Pokud je připojen pouze k baterii má spotřebu méně než 500 nA. Oscilátor je schopen kmitat na frekvenci 32 kHz [36].



Obr. 5-3 RTC modul DS1307 [36]

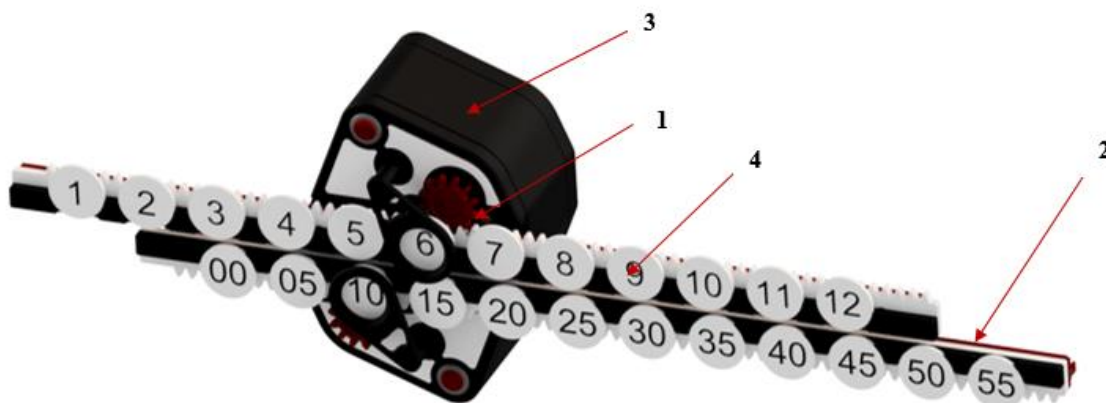
Arduino společně s motorovým shieldem bude upevněno k zadnímu krytu pomocí tří šroubů M3 a díky vymešovacím válečkům bude ustaveno ve správné poloze, tak aby otvory v bočním krytu odpovídaly USB-B konektoru a napájecímu konektoru. Dále je k shieldu připevněn i RTC modul. Mikrosvítače jsou přišroubovány k držákům spojeným k přednímu krytu a kolébkové přepínače se nacvaknou do otvorů na předním krytu.



Obr. 5-4 Elektronické schéma zapojení

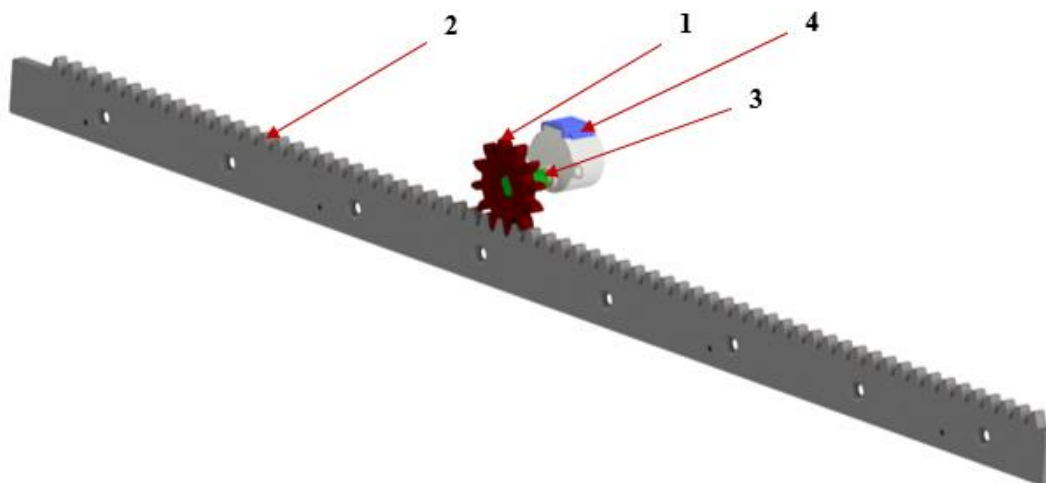
5.1.2 Tištěné díly

Na obr. je znázorněno výsledný konstrukční návrh 3D tištěných částí. Mimo spojovací materiál a elektronické komponenty se jedná o kompletní plastové řešení. Hlavní části jsou níže blíže rozebrány.



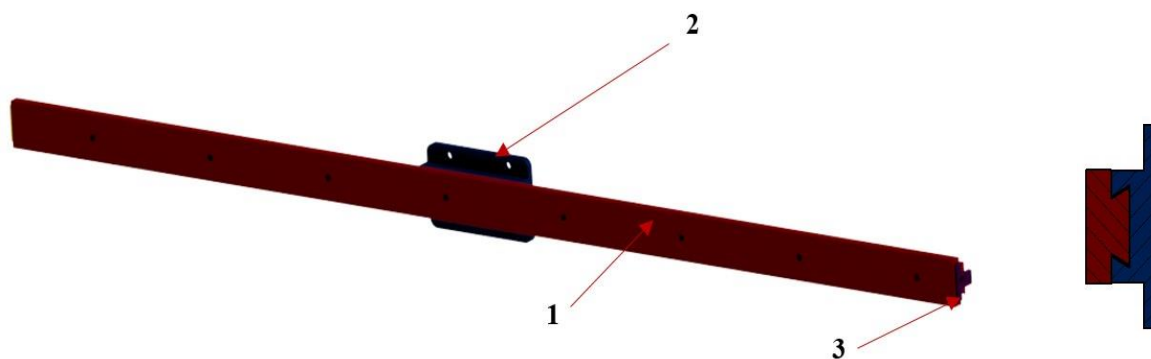
Obr. 5-5 Výsledný návrh; 1 - hřeben a pastorek; 2 - lineární vedení; 3 - krytování; 4 - stupnice

Jako lineární pohybový mechanismus je navržen ozubený hřeben a pastorek. Přímé ozubení je použito díky nevznikajícím axiálním silám a jednoduchosti tisku. Díky absenci větších axiálních sil pastorek na čepu a čep na výstupní hřídeli motoru není axiálně zajištěn, a tedy drží na místě díky tření. Kroutící moment se přenáší z hřídele motoru na čep a dále na pastorek tvarovým stykem. Předběžný modul ozubení byl zvolen $m = 3$ mm, roztečný průměr pastorku $d = 36$ mm a počet zubů $z = 12$. Celková délka ozubení hřebene odpovídá $L = 630$ mm, kvůli velikosti číslic na stupnici. S hřebenem se dále pojí lišta s číslicemi pomocí šroubů do plastu a jednotlivé číslice jsou nalepeny na liště.



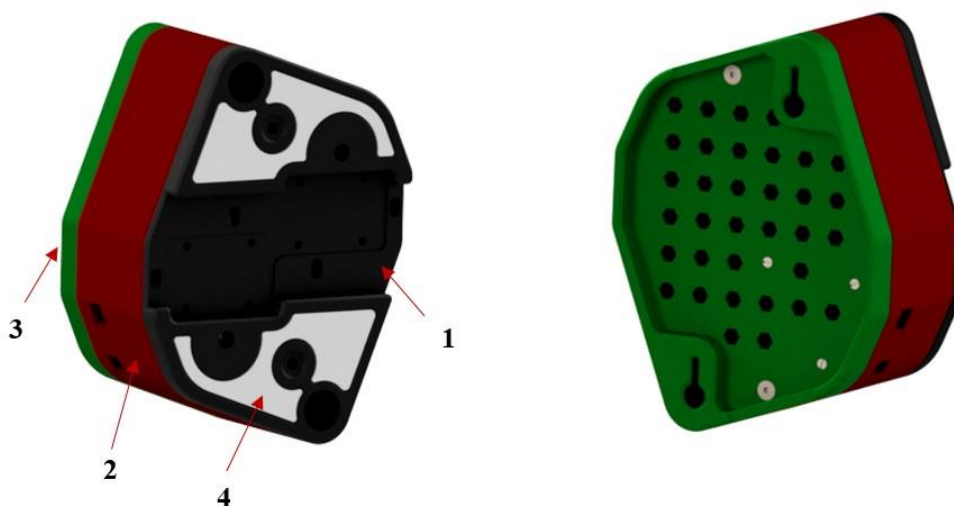
Obr. 5-6 Pohybový mechanismus; 1 – pastorek; 2 – hřeben; 3 – čep; 4 – krokový motor

Lineární vedení obou stupnic bylo navrženo jako vedení kluzné s rybinovou drážkou. Vedení umožňuje přenášení vodorovných i svislých zatížení, a to bez použití vymežovacích lišt. Blok lineárního vedení je pevně spojen s předním krytem pomocí šroubů M4. Kolejnice má jeden stupeň volnosti, a to je posuv po ose X, jehož limitní polohy jsou omezeny dorazy přišroubovanými ke koncům vedení. V kolejnici jsou dále díry, které slouží pro uchycení hřebene.



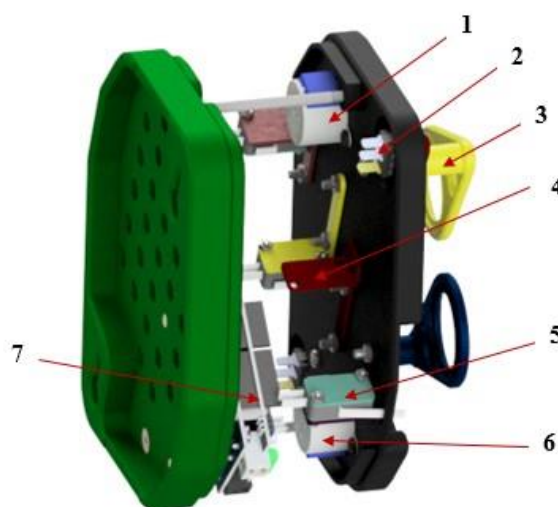
Obr. 5-7 Kluzné lineární vedení; 1 – kolejnice; 2 – blok; 3 – doraz

Krytování slouží zároveň jako nosný prvek obou stupnic, ukazatelů, koncových spínačů a řídicí elektroniky. Tři hlavní části jsou spojeny šrouby dvěma šrouby, které vedou skrze celý kryt až po vložené matky, které jsou zakryty přední deskou. Ta je na krytu přilepena. K přední části krytu jsou spojeny bloky lineárního vedení pomocí průchozích šroubů, kterými jsou uvnitř přichyceny i držáky koncových spínačů. V boční části se nachází otvory pro napájecí konektor a USB-B pro možnost nahrání nového kódu. Zavěšení na zeď je řešeno na zadní části krytu pomocí otvorů pro hlavu vrutu. Použitím dvou vrutů se zamezí možnosti rotace při vysunutí kolejnic souhlasným směrem. Zadní kryt dále obsahuje otvory pro pasivní odvětrávání.



Obr. 5-8 Krytování; 1 – přední kryt; 2 – boční kryt; 3 – zadní kryt; 4 – přední deska

Na Obr. 5-9 je znázorněn pohled na uspořádání komponent uvnitř krytu. Držáky na koncové snímače obsahují drážky pro šrouby na usazení koncových spínačů na správné poloze vůči dorazům na lineárním vedení.



Obr. 5-9 Vnitřní uspořádání; 1 – motor hodin; 2 – přepínač; 3 – ukazatel; 4 – držák spínače; 5 – koncový spínač; 6 – motor minut; 7 – řídicí elektronika

5.2 Software

Dílní součástí této práce je program, který běží na pozadí ve smyčce a musí umožňovat jednak automatické nastavení času uloženého v programu, a dále úpravu uloženého času pomocí přepínačů, které po manuální změně času uloží nová data do RTC modulu. Po případném opětovném připojení dojde ke zpětnému čtení dat z RTC modulu a nastavení odpovídajícímu času.

Vzhledem k použití RTC modulu a motorového shieldu, které jsou rozšířené, bylo výhodné použít dostupné knihovny k jejich ovládání. Jednou ze základních knihoven Arduino IDE je knihovna Wire, která se využívá pro připojení pomocí I²C. K obsluze modulu DS1307 je využito knihovny RTCLib [37], která mimo připojení obsahuje funkce pro nastavení současného času, přečtení současného času a nastavení funkce alarmu. Pro ovládání motorového shieldu je použita knihovna Adafruit MotorShield [35]. Ta obsahuje jednoduché funkce pro nastavení počtu kroků, rychlosti motoru, směru pohybu a také možnost volby řízení motorů. Pro řízení motorů je použito dvoufázové řízení krokového motoru s plným krokem, při kterém má motor sice větší spotřebu, ale zato větší kroutící moment. Díky integrované převodovce v motoru se dosáhne dostatečné přesnosti krokování, a proto není třeba použít řízení krokového motoru s polovičním krokem.

Pro zjednodušení programování byl vytvořen vývojový diagram (viz Obr. 5-10), který zobrazuje funkci programu. Celý program je součástí příloh této práce.

Výpočty kroků motorů

Pro najetí krokových motorů do správné pozice je nutné spočítat počet kroků, kterému odpovídá posunutí hřebene o požadovanou rozteč. Výpočet provedený pro hodinovou stupnici, tedy odpovídá posunu stupnice o celou hodinu.

Rozteč mezi hodinami:

$$s = 49,6 \text{ mm}$$

Poloměr roztečné kružnice:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{z \cdot m}{2} = \frac{12 \cdot 3}{2} = 18 \text{ mm}$$

Úhel, o který se otočí rotor motoru na jeden krok:

$$\alpha = 11,25^\circ$$

Převodový poměr převodovky v motoru:

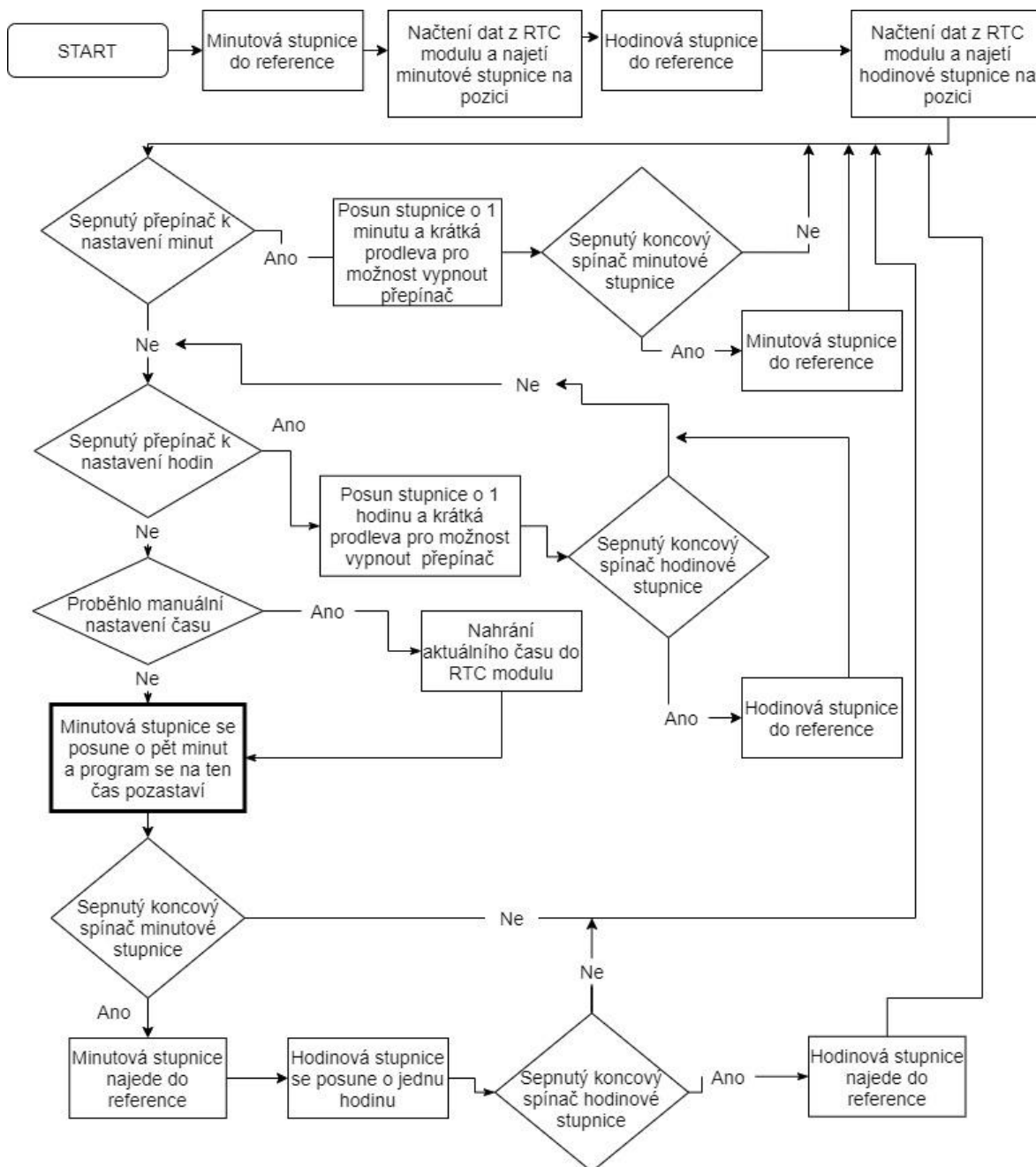
$$i = \frac{1}{64}$$

Úhel φ o který se musí otočit výstupní hřídel motoru, aby se stupnice posunula o vzdálenost s bude:

$$\varphi = \frac{s}{r} = \frac{49,6}{18} = 2,76 \text{ rad} = 157,88^\circ$$

Výsledný počet kroků pro posun hřebene o vzdálenost s je dán vztahem:

$$p_h = \frac{\varphi}{\alpha \cdot i} = \frac{157,88 \cdot 64}{11,25} = 898,16$$



Obr. 5-10 Vývojový diagram

5.3 Tiskové vlastnosti a cenové zhodnocení

Tiskové vlastnosti navržených součástí byly shrnuty v Tab. 5-1. Uvedené hodnoty jsou získané z programu PrusaSlicer a mohou se tedy od skutečnosti mírně lišit. Cena se týká pouze spotřebovaného materiálu, nikoli energie. Ta ale bude vzhledem k ceně materiálu zanedbatelná. Součásti jsou tištěny s vzorem výplně typu gyroid a s různou hustotou výplně. Všechny součásti jsou tištěny se třemi perimetry pro zajištění dostatečné pevnosti, ale zároveň optimálnímu množství materiálu.

Tab. 5-1 Tiskové vlastnosti

Součást	Počet kusů	Čas tisku [h.min]	Váha [g]	Materiál	Cena/ks [Kč]	Cena [Kč]
Zadní kryt	1	9:44	107,40	PETG	53,70	53,70
Přední kryt	1	7:41	89,66	PETG	44,83	44,83
Boční kryt	1	10:06	133,37	PETG	66,69	66,69
Přední krytka	1	1:00	9,62	PLA	3,85	3,85
Pastorek	2	0:52	4,42	PETG	2,21	4,42
Hřeben	2	10:14	110,76	PETG	27,69	55,38
Čep	2	0:40	3,24	PETG	0,81	1,62
Blok vedení	2	2:42	29,00	PETG	7,25	14,50
Kolejnice vedení	2	11:14	128,02	PETG	32,01	64,01
Lišta pro čísla	2	5:24	58,24	PETG	14,56	29,12
Čísla podklad	24	7:34	76,78	PLA	15,36	30,71
Ukazatel	2	2:00	15,70	PETG	3,93	7,85
Držák spínače	4	1:40	9,84	PETG	1,23	4,92
Doraz	4	0:16	1,36	PETG	0,17	0,68
Σ	-	71:07	781,83	-	274,27 Kč	382,28 Kč

Výsledné cenové zhodnocení použitých komponent včetně tištěných dílů je uvedeno v Tab. 5-3.

Tab. 5-2 Cenové zhodnocení

Součást	Počet kusů	Cena / ks [Kč]	Celková cena [Kč]
Tištěné součásti	-	-	382,28 Kč
Arduino Uno	1	599	599
Motorový shield	1	298	298
Krokový motor	2	69	138
Koncový spínač	4	20	80
Měnič napětí	1	45	45
RTC modul	1	65	65
Σ	-	-	1 607,28 Kč

Na Obr. 5-11 je zobrazen realizovaný funkční vzorek.



Obr. 5-11 Vytvořený funkční vzorek

6 DISKUZE

Výsledný konstrukční návrh lineárních hodin slouží pro zobrazení času na stupnicích s rozlišitelností pěti minut. Lineární pohybový mechanismus je navržen jako ozubený hřeben a lineární vedení je realizováno jako kluzné vedení s rybinovou drážkou. Funkce těchto dílčích konstrukčních uzlů byla odzkoušena na vzniklém funkčním vzorku.

Při realizaci tištěného vedení se vyskytl problém se zadrháváním kolejnice v důsledku rozdělení vedení na části, kvůli velikosti tiskové plochy. Problém byl vyřešen úběrem materiálu dlouhým zaoblením v místech spojení. Dále může dojít při plném výsuvu k neplynulému pohybu kolejnice. Tyto problémy by byly odstraněny použitím komerčního lineárního vedení s valivými členy. Pohyb by byl plynulejší a byl by kladen menší odpor krokovým motorům. Nevýhodou by však byl značný nárůst hmotnosti celých hodin a při plném výsuvu obou stupnic by mohlo docházet k deformaci krytu, který zároveň plní funkci nosného rámu. Proto by musel být kryt celkově více robustní. Další nevýhodou by byly pořizovací náklady.

Případné problémy s plynulostí pohybu při vysunutých stupnicích by pomohly vyřešit silnější, ale také energeticky a cenově nákladnější, motory. To však není nutností, vzhledem tomu, že motory během pohybu neztrácí kroky.

Jako materiál funkčních tištěných částí je použit PETG, a to pro kombinaci jeho mechanických vlastností a snadného tisku. Dále je PETG použit jako materiál krytu, kde může, i přes pasivní odvětrávání, být zvýšená teplota zejména díky ztrátovému teplu z krokových motorů, které se zahřívají na vyšší teplotu. Ta by mohla u dostupnějšího a běžnějšího materiálu PLA způsobit teplotní deformace v místech kontaktu krytu s motorem.

Možným zlepšením by mohlo být rozšíření možností Arduina o připojení k internetu a připojení k časovému serveru pro synchronizaci aktuálních dat. Toho lze dosáhnout například pomocí ESP modulů, které jsou velmi dostupné a podporují I²C komunikaci. Dále lze hodiny rozšířit o možnost osvětlení ukazatelů, a to s pomocí tlačítek nebo úpravou programu, která by obsahovala automatické rozsvícení v určitý čas.

Řídící deska Arduino Uno by v případě větší výrobní série šla nahradit deskou plošných spojů, která by byla cenově přívětivější.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce byla konstrukce a následná realizace funkčního vzorku lineárních hodin s požadovanými parametry. Tedy s analogovou stupnicí s rozsahem dvanácti hodin a rozlišitelností pěti minut. Hodiny dále musí umožňovat nastavení času automaticky po spuštění nebo manuálně pomocí tlačítek. Mezi dílčí cíle patří popis současných konstrukcí lineárních hodin, definice vhodných parametrů a návrh variant konstrukčního uspořádání. Dále zpracovat výkresovou dokumentaci vybrané varianty včetně řídicího softwaru.

Práce obsahuje shrnutí současného stavu poznání, ve kterém jsou probrány dostupná konstrukční řešení lineárních hodin a dále rozebrány použitelné elektronické komponenty pro návrh. Na základě rešerše je definována cílová skupina uživatelů, jsou stanoveny požadované parametry a dílčí cíle práce. Dále jsou v práci uvedeny varianty konstrukčního uspořádání, ze kterých je na základě požadovaných vlastností vybrán koncept ke konstrukčnímu řešení. V konstrukční části práce je rozebrán hardware a software. Hardwarová část se jednak odkazuje na vybrané elektronické prvky z rešerše a dále řeší tištěné díly, tedy lineární pohybový mechanismus řešený jako hřeben a pastorek, kluzné lineární vedení s rybinovou drážkou, krytování a držáky koncových snímačů. Dále je zde uvedeno schéma zapojení elektronických komponent. V softwarové části je řešen program pro Arduino, jehož princip zobrazuje vývojový diagram. V závěru práce byly v diskuzi uvedeny možné nedostatky a možnosti pro budoucí vylepšení. Výsledný vzorek, vyrobený metodou 3D tisku FDM, byl odzkoušen a je funkční. Hlavní i dílčí cíle práce byly splněny. Program a výkresová dokumentace vybraných dílů jsou uvedeny v příloze této práce.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BELLIS, Mary. *The Development of Clocks and Watches Over Time* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: thoughtco.com/clock-and-calendar-history-1991475
- [2] TROJAN, David. *Vodní hodiny*. Zlín, 2013. Diplomová. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav prostorového a produktového designu.
- [3] ATKINS, William a Philip KOTH. *Time, Measurement of* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.encyclopedia.com/science-and-technology/mathematics/mathematics/measurement-time#3407500302>
- [4] ŠKUBALOVÁ, Anežka. *Dokumentace a hodnocení slunečních hodin v okrese Jičín*. Olomouc, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta.
- [5] Historie měření času. *Hodinky pro všechny* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <http://www.hodinkyprovsechny.cz/2015/04/15/historie-mereni-casu/>
- [6] MICHAL, Stanislav. *Hodiny: (od gnómonu k atomovým hodinám)*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1980. ISBN 04-319-80.
- [7] Mechanické hodiny. In: *Hodinářství Bechyně* [online]. 2017 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.hodinarstvibechyne.cz/cs/poradna/mechanicke-hodinky/>
- [8] Jak fungují hodinky Proč hodinky tikají?. *Zlato-Stříbro-Hodinky* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.zlato-strebro-hodinky.cz/vse-o-hodinkach/jak-funguji-hodinky-proc-hodinky-tikaji/>
- [9] VYSKOČIL, Tomáš. Automatické nebo quartz. *Tovys* [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://www.tovys.cz/clanky/vse-o-hodinkach/automaticke-nebo-quartz.html>
- [10] BETTS, Jonathan D. Typical quartz mechanism. In: *Britannica* [online]. Royal Observatory Greenwich, 2021 [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/clock>
- [11] JAN, koutník. *Design budíku*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [12] Druhy a typy hodin. *Hodinářství.cz* [online]. 2021 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.hodinarstvi.cz/druhy-a-typy-hodin.html>

- [13] SCHANZ, Jacob L. *Straight-line clock*. United States. 2,221,413. Uděleno 1939.
- [14] TORROJA, Juan Maria. *Mechanism of linear clocks*. 2 ,333,832. Uděleno 1941.
- [15] *Linear Clockworks* [online]. South Asheville, 2021 [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://linearclockworks.com>
- [16] *CLOQ - The Linear Clock* [online]. 2021 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <http://thelinearclock.co.uk/>
- [17] *Atmel Corporation: ATmega328P*© [online katalogový list]. San Jose, 2015 [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [18] Arduino Uno Rev3. *Arduino Store* [online]. [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [19] *Arduino Uno Pinout* [online]. In: . [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <https://www.electroschematics.com/arduino-uno-pinout/>
- [20] *Raspberry Pi: Raspberry Pi hardware* [online katalogový list]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/README.md>
- [21] *Raspberry PI Zero GPIO Pinout* [online]. In: . 2016 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.etechnophiles.com/raspberry-pi-zero-gpio-pinout-specifications-programming-language/>
- [22] *Raspberry Pi: Pico datasheet* [online katalogový list]. 2021 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://datasheets.raspberrypi.org/pico/pico-datasheet.pdf>
- [23] *RPshop* [online]. 2021 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/>
- [24] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2021-05-19]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [25] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 9788026067801.
- [26] POLÁŠEK, Jaromír. *Číslicově řízené stroje* [online]. Kopřivnice: VOŠ, SOŠ A SOU Kopřivnice, 2012 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf

- [27] Matis: Lineární technika. *Matis* [online katalogový list]. 2015 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: https://www.matis.cz/data/pdf-katalogy/Katalog%202010%20Kulickova%20puzdra%20Tyce/Web/Matis_kulickova_pouzdra_2015.pdf
- [28] Hiwin: Lineární vedení: Miniaturní vedení. *Hiwin* [online]. Brno [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/miniaturni-vedeni>
- [29] *Kiatronics: 28BYJ-48 – 5V Stepper Motor* [online katalogový list]. New Zealand [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/0B4B30jzMyzG8YXFYQ111aDZsdFk/view>
- [30] *MotionKing Motor Industry Co., Ltd.: Stepper motor 17HS series* [online katalogový list]. 2020 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/0B4B30jzMyzG8UzBQQXA4MDU0TGs/view>
- [31] RPshop: Kitronik Mini 360stupňové servo FS90R s nepřetržitou rotací. *RPshop* [online]. 2021 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/motory-serva-a-cerpadla/1292-kitronik-mini-360stupnove-servo-fs90r-s-nepretrzitou-rotaci.html>
- [32] Mikrospínač MSW-02. *SvětSoučástek.cz* [online]. Praha, 2013 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.svetsoucastek.cz/mikrospinac-jietong-msw-02-l-27mm-p58252/>
- [33] Mikrospínač MSW-22. *SvětSoučástek.cz* [online]. Praha, 2013 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.svetsoucastek.cz/mikrospinac-jietong-msw-22-p58244/>
- [34] ODOM, Jonathan. Linear Clock. *Instructables* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/Perpetual-Clock-With-Arduino/>
- [35] Adafruit Motor Shield V2: Overview. *Adafruit* [online]. New York, 2005 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/adafruit-motor-shield-v2-for-arduino/overview>
- [36] *Maxim Integrated Products, Inc.: DS1307* [online]. Sunnyvale, 2015 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>
- [37] RTCLib: Adafruit. *GitHub* [online]. 2019 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://github.com/adafruit/RTCLib>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

9.1 Použité veličiny, jednotky a význam

f	s^{-1}	frekvence
T	s	doba kyvu
s	mm	rozteč mezi hodinami
r	mm	poloměr roztečné kružnice
α	°	úhel motoru na jeden krok
i	–	převodový poměr motoru
φ	°	úhel výstupní hřídele motoru odpovídající dráze s
p_h	–	počet kroků motoru pro posuv o dráhu s

9.2 Použité zkratky

RTC	modul reálného času
SRAM	statická paměť
EEPROM	elektronicky vymazatelná paměť
RS 232	sériový port
PWM	pulzně šířková modulace
I2C	nízkorychlostní počítačová sběrnice
CNC	číslicové řízení
USB	univerzální sériová sběrnice
PLA	kyselina polyléčná
PETG	Polyethylentereftalát s příměsí glykolu
ABS	akrylonitril butadien styren (termoplastický polymer)
FDM	tisková technologie (Fused Deposition Modeling)
3D	trojrozměrný systém

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1	Schéma mechanických hodin [7].....	15
Obr. 2-2	Krokové ústrojí mechanických hodin [6].....	16
Obr. 2-3	Quartzový strojek [10]	18
Obr. 2-4	Typy zobrazení [12].....	19
Obr. 2-5	Přímé hodiny – US2221413A [13]	20
Obr. 2-6	Mechanismus lineárních hodin – US2333832A [14].....	21
Obr. 2-7	Analogové lineární hodiny od firmy Linear Clockworks [15].....	22
Obr. 2-8	Digitální hodiny od firmy CLOQ [16]	22
Obr. 2-9	Popis funkcí pinů na desce Arduino Uno [19].....	24
Obr. 2-10	Popis pinů na desce Raspberry Pi Zero H [21]	25
Obr. 2-11	Popis rozložení pinů na desce Raspberry Pi Pico [22]	26
Obr. 2-12	Lineární pohybové mechanismy [25].....	28
Obr. 2-13	Lineární vedení s nepodepřenou tyčí [27]	29
Obr. 2-14	Lineární vedení s podepřenou tyčí [27]	30
Obr. 2-15	Lineární vedení s profilovou drážkou [28].....	30
Obr. 2-16	Krokový motor 28BYJ – 48 [29].....	31
Obr. 2-17	Krokový motor Nema17HS2408 [30]	32
Obr. 2-18	Servomotor Kitronik Mini FS90R [31].....	33
Obr. 4-1	Koncept 1	37
Obr. 4-2	Koncept 2.....	38
Obr. 4-3	Kuličkové lineární vedení MGN [28].....	39
Obr. 5-1	Funkční schéma	40
Obr. 5-2	Arduino Uno s motorovým shieldem	41
Obr. 5-3	RTC modul DS1307 [36]	42
Obr. 5-4	Elektronické schéma zapojení	42
Obr. 5-5	Výsledný návrh	43
Obr. 5-6	Pohybový mechanismus	44
Obr. 5-7	Kluzné lineární vedení	44
Obr. 5-8	Krytování	45
Obr. 5-9	Vnitřní uspořádání.....	45
Obr. 5-10	Vývojový diagram.....	47
Obr. 5-11	Vytvořený funkční vzorek	49

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1	Shrnutí parametrů Arduino Uno [18]	23
Tab. 2-2	Shrnutí parametrů Raspberry Pi Zero H [20]	24
Tab. 2-3	Shrnutí parametrů Raspberry Pi Pico [22]	26
Tab. 2-4	Zhodnocení vybraných parametrů vývojových platforem.....	27
Tab. 2-5	Vlastnosti převodů rotačního pohybu na lineární [24].....	28
Tab. 2-6	Shrnutí parametrů motoru 28BYJ – 48 [29].....	31
Tab. 2-7	Shrnutí parametrů motoru Nema 17HS2408 [30]	32
Tab. 2-8	Shrnutí parametrů serva Kitronik Mini FS90R [31].....	33
Tab. 2-9	Zhodnocení vybraných parametrů akčních členů.....	33
Tab. 5-1	Tiskové vlastnosti.....	48
Tab. 5-2	Cenové zhodnocení	49

12 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Výkres sestavení
- Příloha 2: Výkres pastorku
- Příloha 3: Výkres hřebene
- Příloha 4: Kompletní program