

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2016

Bc. Vojtěch Berčík



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

ZAŘÍZENÍ PRO POLOHOVÁNÍ FOTOAPARÁTU

CAMERA POSITIONING DEVICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtěch Berčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.

BRNO 2016



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Bc. Vojtěch Berčík

ID: 147360

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Zařízení pro polohování fotoaparátu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vytvořte finální verzi řídicí desky navržené v rámci semestrálního projektu.
2. Realizujte mechanickou část pohonu s krokovými motory.
3. Vytvořte finální verzi řídicího software.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Vorel P., Patocka M., Průmyslová elektronika, Vydání 1., skriptum FEKT VUT Brno, 2007

[2] P. Vorel, P. Procházka: Řídicí členy v elektrických pohonech (skriptum VUT Brno)

Termín zadání: 21.9.2015

Termín odevzdání: 24.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

Ing. Ondřej Vítek, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem polohovacího zařízení pro fotoaparát za účelem použití jako pomocníka při snímání plynulého videa a časosběrů. Je navržen ideální pohon, napájení a sestaven program pro řízení na platformě Arduino. Je také navržena konstrukce upravená pro tisk na 3D tiskárně. Celý systém je následně vyroben a otestován.

Abstract

This master's thesis deals with the design of a drive for a camera positioning device that could be used for shooting videos and timelapses. The optimal drive and power supply as well as the steering program based on the Arduino platform program are developed. The construction prototype adapted for printing at 3D printers is also designed. The whole system is then produced and tested.

Klíčová slova

Fotoaparát, modelování, Inventor, návrh pohonu, programování, Arduino, natáčení, časosběr

Keywords

Camera, modeling, Inventor, drive design, programming, Arduino, shooting, timelapse

Bibliografická citace

BERČÍK, V. Polohovací zařízení pro fotoaparát. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 43 s. Vedoucí semestrální práce
Ing. Dalibor Červinka, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma polohovací zařízení pro fotoaparát jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrální práce Ing. Daliboru Červinkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

Podpis autora



OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
ÚVOD	12
1 ÚČEL ZAŘÍZENÍ.....	13
1.1 SNÍMÁNÍ PLYNULÉHO VIDEO	13
1.2 TIMELAPSE MÓD	14
2 POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ.....	17
2.1 MOMENT A VÝKON MOTORU	17
2.2 NAPÁJENÍ ELEKTRICKÉ ČÁSTI	17
2.3 POŽADAVKY NA ŘÍZENÍ	17
2.4 CENOVÁ ROZVAHA.....	17
3 DIMENZOVÁNÍ POHONU.....	18
3.1 ZADANÉ PARAMETRY.....	18
3.2 VOLBA NAPÁJECÍ SOUSTAVY	19
3.3 VOLBA MOTORU	21
3.3.1 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR.....	21
3.3.2 KROKOVÝ MOTOR.....	21
3.3.3 DISKUZE O NUTNOSTI PŘEVODOVKY	22
3.3.4 NÁVRH PARAMETRŮ MOTORU	22
3.4 VOLBA ŘÍDÍCÍCH OBVODŮ	26
3.4.1 NAPÁJENÍ ŘÍDÍCÍCH OBVODŮ	27
3.5 NÁVRH DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	28
3.6 GRAFICKÝ VÝSTUP – DISPLAY.....	29
3.7 OVLÁDÁNÍ.....	30
3.8 KONSTRUKČNÍ NÁVRH ZAŘÍZENÍ.....	30
3.8.1 ZÁKLADNÍ ŠASI.....	30



3.8.2 LOŽISKA.....	31
3.8.3 LINEÁRNÍ POSUV.....	31
3.8.4 UCHYCENÍ MOTORŮ.....	32
3.8.5 SPOJOVACÍ SOUČÁSTI	32
3.8.6 VÝROBA A KONSTRUKCE DÍLŮ	32
4 ŘÍDÍCÍ PROGRAM	33
4.1 STRUKTURA PROGRAMU.....	33
4.2 PROMĚNNÉ A NASTAVENÍ	33
4.3 ZOBRAZOVÁNÍ NA DISPLEJI.....	35
4.4 TLAČÍTKA A OVLÁDÁNÍ	35
4.5 PROGRAM PRO OVLÁDÁNÍ KROKOVÉHO MOTORU	36
5 FYZICKÁ REALIZACE.....	38
5.1 3D TISK	38
5.2 POVRCHOVÁ ÚPRAVA	38
6 TESTOVÁNÍ	39
6.1 IDEÁLNÍ NASTAVENÍ RYCHLOSTÍ POHYBU	39
7 ZÁVĚR.....	40
8 BIBLIOGRAFIE	42
9 PŘÍLOHY	43



SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Prvotní návrh zařízení - ilustrační náčrt</i>	12
<i>Obr. 2: Ukázka okna při zpracování timelapse snímků</i>	14
<i>Obr. 3: Porovnání baterií typu 18650 a AA</i>	20
<i>Obr. 4: Graf závislosti momentu na velikosti mikrokrokování, zdroj [3]</i>	22
<i>Obr. 5: Krokový motor Berger-Lahr RDM 50/8G s převodovkou 125:1</i>	24
<i>Obr. 6: Krokový motor Shinano SST59D3100 [5]</i>	25
<i>Obr. 7: Arduino Nano</i>	26
<i>Obr. 8: Řadič DRV8825</i>	27
<i>Obr. 9: Snižující měnič s integrovaným obvodem LM2596s</i>	27
<i>Obr. 10: Navrhnutá základní deska</i>	28
<i>Obr. 11: Navrhnutá tlačítková deska</i>	29
<i>Obr. 12: Display se zobrazovanými údaji</i>	29
<i>Obr. 13: Vývojový diagram ovládacího programu</i>	34
<i>Obr. 14: Minimální zapojení řadiče DRV8825, zdroj [7]</i>	36
<i>Obr. 15: Řez zařízením</i>	39
<i>Obr. 16: Náčrt hotového zařízení</i>	41



SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Parametry motoru RDM 50/8G</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 2: Parametry motoru Shinano SST59D3100 [5]</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3: Parametry ložiska 51117 [9] [10]</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 4: Parametry ložiska 625 2RS [9] [10]</i>	<i>31</i>



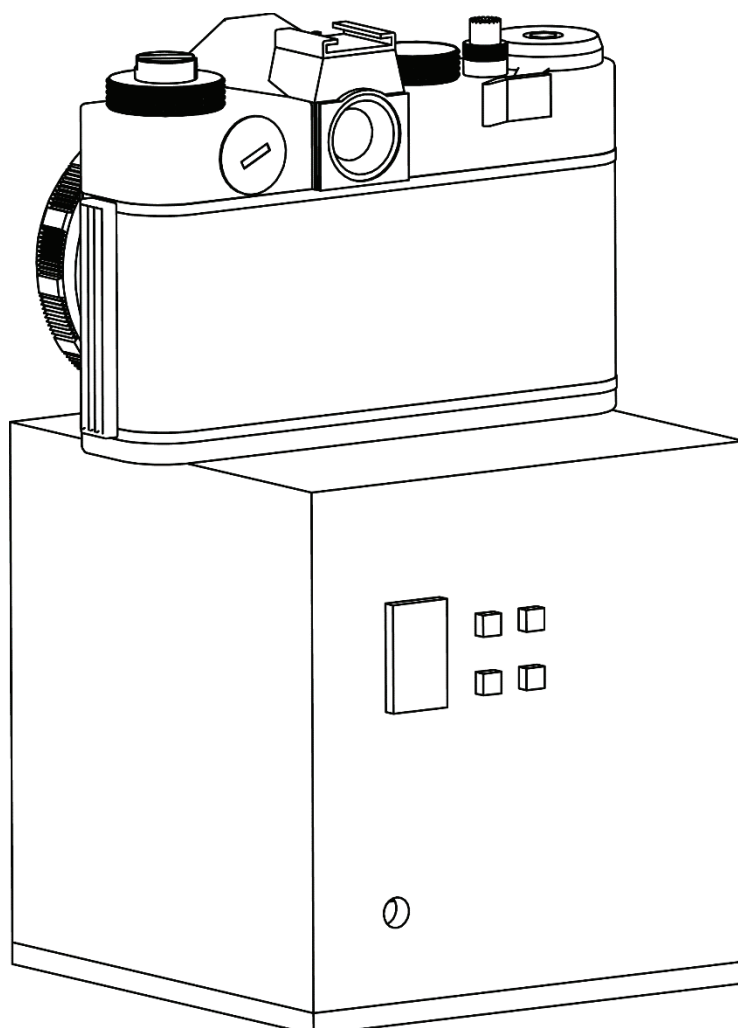
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
I_n	Jmenovitý proud	A
R	Odpor	Ω
P_n	Jmenovitý výkon	W
U_n	Jmenovité napětí	V
η	Účinnost	–
M_n	Jmenovitý moment	Nm
M_d	Dynamický moment	Nm
J	Moment setrvačnosti	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
ω	Úhlová rychlost	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$
n_n	Jmenovité otáčky	min^{-1}
n_0	Otáčky na prázdno	min^{-1}
m	Hmotnost	kg
E	Energie	Wh
t	Čas	s

ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout polohovací zařízení pro fotoaparát, které bude schopné autonomně pořizovat videa a snímat fotografie v režimu timelapse. Zajistí plynulý chod a rovnoměrný pohyb, ať již rotační nebo přímočarý, nebo pohyb po přesně definovaných vzdálenostech s konstantním časovým odstupem, rovněž jak podle své osy, tak vodorovně.

Práce se zabývá návrhem nejvhodnějšího pohonu podle daných kritérií. Hodnotí výhody a nevýhody jednotlivých druhů motorů a vybírá nejvhodnější řešení z hlediska napájení a řízení. Dále je rozebrán návrh desky plošného spoje a v další fázi práce je podrobně popsán celý řídicí software včetně popisu jednotlivých ovládacích prvků.



Obr. 1: Prvotní návrh zařízení - ilustrační nákres



1 ÚČEL ZAŘÍZENÍ

Zařízení navrhované v této práci má sloužit jako pomocník při snímání fotografií nebo videí pomocí digitálního fotoaparátu. V následující kapitole jsou popsány režimy, ve kterých by mělo zařízení pracovat.

1.1 Snímání plynulého videa

Dnešní digitální zrcadlovky jsou již plnohodnotnými videokamerami, které běžně zvládají natáčet FullHD videa a dokonce se objevují i modely s možností natáčení v rozlišení 4K. Takovéto parametry v kombinaci s možností výměny objektivů, manuálního nastavení všech parametrů a poměrně příznivější cenou ve srovnání s filmovými kamerami, předurčují moderní fotoaparáty k profesionální filmové dráze.

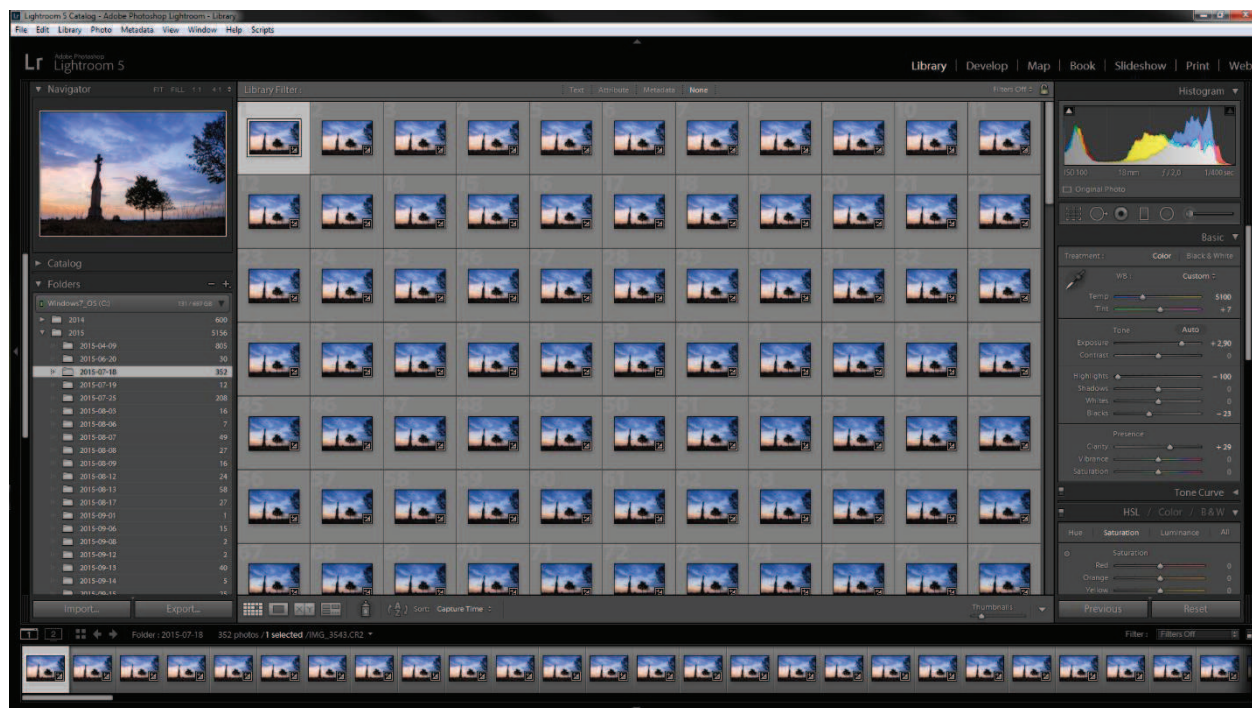
Samotný fotoaparát však většinou na dobrá videa nestačí. Je třeba další zařízení. Tato práce nebude rozebírat potřeby mikrofonů, osvětlení a kvalitního obsahového sdělení. K dobrému filmu patří také dynamické záběry. Je možné natočit filmový trhák pouze staticky z jednoho místa a bez pohybu, ovšem ne vždy je to vhodné. Pokud tedy nastane poptávka po pohybu kamery, je třeba zaručit, že pohyb bude plynulý a pokud možno rovnoměrný. Pokud se toto rozhodne kameraman realizovat sám ručně, musí být většinou velmi zkušený a zručný a přesto se mu nemusí i přes veškerou snahu docílit skutečně rovnoměrného záběru bez záseků a trhání. Jako řešení se nabízí elektrický pohon, který zajistí plynulý rovnoměrný pohyb po libovolně dlouhou dobu nebo dráhu. Pokud budou otáčky konstantní, bude konstantní také požadovaný pohyb. Při správně navrženém systému pro danou aplikaci je možné s obrazem pracovat tak, aby divák nerušilo přemýšlení, proč je obraz roztřepaný či jinak nejistý. To je důležité pro zajištění maximálního filmového zážitku, protože jakmile je divák rušen vlivy okolí, nemůže se plně vnořit do příběhu.

Dále je nutné nejen zajistit plynulý pohyb, ale také stabilizaci snímacího zařízení. U statických záběrů je typicky využíván stativ. U dynamických záběrů jsou v profesionální filmařské technice využívány různé pojezdy a kolejnice, které je však nutné složitě pokládat a vyvažovat. V této práci bude navrženo alternativní řešení, které by mělo postačit k menšímu pohybu s dostatečnou dynamikou a délkou dráhy.

1.2 Timelapse mód

Timelapse neboli časosběr je tvůrčí postup, který má mnohem nižší frekvenci snímání než frekvenci následného přehrávání. Jeho výsledkem jsou pak videa, která zobrazují děje, jež jsou běžně pro člověka příliš pomalé, aby je mohl vnímat jako celek nebo pohyb, ale pokud jsou následně zrychleny technikou timelapse, jsou dobře pozorovatelné a studovatelné.

Časosběr může probíhat od několika minut či hodin až po několik dní. Názorným příkladem mohou být rychlost kažení potravin a jejich napadání plísní, rozevírání okvětních lístků či západy a východy slunce s pohybem mraků, které získávají ve zrychlení jinou dimenzi a pocit zrychleného času.



Obr. 2: Ukázka okna při zpracování timelapse snímků

Prakticky snímání časosběru probíhá tak, že je fotoaparát nastaven na manuální režim (clona, čas, vyvážení bílé, ostření, ISO, ...) a umístěn na stativ nebo jinak zaaretován v požadované poloze. Následně probíhá samotné snímání. Moderní fotoaparáty mají již zabudované funkce na timelapse a mohou autonomně měřit čas mezi snímky a v zadaném intervalu sepnout uzávěrku. Ke starším modelům musel být externí odpalovač s časovačem, který využíval konektor pro kabelovou spoušť. Časový interval snímání může být libovolný, ale záleží na něm doba, která bude nutná pro pořízení alespoň krátkého timelapse videa. Záleží samozřejmě na ději,



který je snímán – jestli jde o kažení potravin, které trvá několik dní, či pohyb mraků nebo hvězd, které se dá docela dobře pozorovat i po několika hodinách. Také je třeba kvůli nastavení manuálního režimu zajistit podobné světelné podmínky. Není možné snímat pohyb oblohy celou noc i den, protože vyžadují jiné nastavení expozice, a to není možné v průběhu snímání měnit, protože by docházelo buď k přeexponování nebo podexponování záběrů. Ani jeden z těchto případů není žádoucí. Dobrým příkladem použití časosběru je západ slunce. Jakmile slunce zapadne za obzor, po krajině se rozlije tma a video přirozeně končí. Pro nastavení času, který bude mezi jednotlivými snímky, musí být tedy uvažováno, jakou plánovanou délku má mít výsledné video. Pokud má mít například $t_x = 2,5$ minuty (150 s), do úplného západu slunce zbývají $t = 2$ hodiny (7200 s) a frekvence přehrávání videa je typicky $n = 24$ snímků za vteřinu, vyjde nám jednoduchým výpočtem, že je potřeba zhruba 3600 snímků a na sejmutí každého jsou k dispozici 2 sekundy, neboli má být mezi jednotlivými snímky časová prodleva $t_x = 2$ s.

$$x = t_x \cdot n \quad (1)$$

$$x = 150 \cdot 24 = 3600$$

$$t_x = \frac{t}{x} \quad (2)$$

$$t_x = \frac{7200}{3600} = 2 \text{ s}$$

Pak již je na uvážení fotografa, jak tento čas využije. V timelapse není vhodné používat delší uzávěrky, protože může dojít k rozmazání fotografií. Příliš krátký čas zase nemusí v případě západu stačit na prokreslení celé scény a může vést k nutnosti zvednout ISO, s čímž jsou spojeny problémy s vyšším šumem. V tomto případě by tedy mohl být v závislosti na daných světelných podmínkách nastaven čas uzávěrky například na $1/50$ s. Jestli nebude uvažována $1/50$ s za prodlení, může být nastaven krok snímání na 2 s, jinak by musel být čas mezi snímky o tuto expoziční prodlevu snížen. Toto je samozřejmě jen příklad, jak je nutné uvažovat před začátkem snímání timelapse. V případě nočního snímání hvězd nebo pohybu mraků po obloze mohou být časy mnohem delší a zase pokud je sledován rychlejší úkaz, jakým je například likvidace mršiny mravenci, je naopak žádoucí použít vyšší frekvenci snímání. Fotograf si musí jasně stanovit, jaký chce mít výsledek, a to se děje většinou a především z jeho zkušeností a praxe, kterou již podobnými experimenty nasbíral. Většinou není třeba podobné výpočty provádět, protože nemá přesně stanovenou dobu, po kterou bude danou scénu snímat, ale nechává situaci



samovolně vyplynout, nebo již ze zkušenosti ví, jak dlouhou časovou prodlevu potřebuje, aby výsledné video nebylo příliš trhané, ale ani aby zbytečně nesnímal mnoho materiálu, který nevyužije, a celé video by pak bylo zbytečně pomalé nebo by musel použít jen část snímků.

Pokud by byl fotograf schopen při časosběru vytvořit také pohyb, je iluze zrychleného času narušena a divák vtažen do děje. Toto je však bez přesného polohovacího zařízení téměř nadlidský výkon. Pohyb totiž musí být maximálně rovnoměrný a před každým snímkem musí být posunut o stále konzistentní vzdálenost či úhel. Při velkém pohybu, v řádech metrů, je to zvládnutelné. Této technice se poté říká hyperlapse, ale i tak musí dojít v postprocesingu ke stabilizaci, natož pokud je uvažováno přesné polohování v malých vzdálenostech či úhlech. To je velmi problematické, i vzhledem ke krátkému času, který na tuto činnost fotograf má mezi jednotlivými snímky, protože snímací frekvence se během časosběru nesmí změnit.

V případě snímání statických scén, jako je kažení potravin, většinou není třeba vytvářet pohyb, ale vyvstávají zase jiné problémy a to je například nutnost zajistit napájení pro fotoaparát, protože na několikadenní provoz baterie nestačí. Rovněž je nutné zajistit konstantní osvětlení po celou dobu experimentu, neboť různé problikávání může být velmi rušivé a výsledné video pak výrazně ztrácí na kvalitě. Toto se proto většinou děje ve studiích, kde je možné napájení ze sítě a kde jsou také světla, která zajistí dobré a stálé osvětlení po celou dobu experimentu. Pro studiové použití však není zařízení z této práce navrhováno. Má být spíše pomocníkem v exteriérech pro snímání přírodních úkazů a jevů.



2 POŽADAVKY NA ZAŘÍZENÍ

Pokud je třeba správně nadimenzovat jakékoliv zařízení, je nejprve nutné definovat požadavky, podle kterých pak následné dimenzování bude probíhat. Každý přístroj má jiný účel a jiné operační prostředí, a proto se liší také potřeby na správný chod. [1]

2.1 Moment a výkon motoru

Nejdůležitějšími parametry jsou moment a výkon, protože je nutné vědět, jak silný je daný stroj potřeba. Jak velkým momentem bude působit a v jakých otáčkách. Je nutné počítat s momenty statickými i dynamickými celého systému.

2.2 Napájení elektrické části

Neméně podstatnou částí návrhu je nutnost zvolit druh napájení. U velkých strojů bývá obvyklé, že se využívá přímo napětí ze sítě, avšak u menších strojů většinou bývá vhodnější zvolit stejnosměrný pohon kvůli jednoduchosti a ceně a možnosti bateriového napájení bez střídavého měniče. V případě této práce a tohoto zařízení bude nejvhodnější stejnosměrné napájení o velikosti 12 V. Je to optimální velikost vzhledem k bezpečnosti, dostupnosti a přenosu výkonu. Pokud bychom zvolili menší napětí, museli bychom dimenzovat vodiče i elektroniku na větší proud. Větší napětí nám naopak zhorší dostupnost elektroniky. 12 V napájení lze snadno a dobře snižovat na hodnoty 5 V a 3,3 V, které jsou potřeba pro řídicí obvody.

S napájením také úzce souvisí spotřeba. Je nutné vytvořit systém co nejefektivnější, aby v případě bateriového napájení vydržel operovat co nejdéle.

2.3 Požadavky na řízení

U řízení je nutné rozhodnout, jaký typ procesoru bude použit a podle druhu pohonu také jestli je nutná zpětná vazba. To se odrazí na spolehlivosti celého systému a na složitosti jeho řízení. Úzce s tím pak také souvisí přesnost a spolehlivost zařízení.

2.4 Cenová rozvaha

Jako u každého výrobku je i zde nutné navrhovat s ohledem na cenu. Zdroje nejsou neomezené a vyšší cena nemusí nutně znamenat vyšší kvalitu. Zařízení se musí dimenzovat ohleduplně k finančním prostředkům zákazníka, ale dostatečně kvalitní, aby vydrželo sloužit co nejdéle.



3 DIMENZOVÁNÍ POHONU

V této kapitole bude navrženo optimální řešení zadaného zařízení jak z pohledu mechanického, tak elektrického a jeho řízení. Budou definovány základní parametry, podle kterých se bude systém sestavovat, a definice, podle kterých se bude zařízení pohybovat. Podle zadaných kritérií budou navrženy pohonné motory, řídicí jednotky i ovladače motorů.

3.1 Zadané parametry

V první kapitole byl popsán účel, k jakému bude zařízení používáno. Vyplývá z ní, že zařízení bude muset dělat buď malé krátké sekvenční kroky o malém úhlu, nebo se definovanou rychlostí pohybovat přímočarým plynulým pohybem.

Je tedy nutné si zadefinovat požadavky, které bude muset pohon splňovat. Předně je to váha, kterou bude třeba pohybovat. Fotoaparát může vážit od 1 do 4 kg. Záleží na modelu, použitém objektivu a množství příslušenství, které je nutné pro snímání použít (přídavné baterie, blesky, dálkové řízení,...). Je tedy třeba uvažovat nejvyšší možnou hmotnost.

Dalším nutným parametrem je, o jaký úhel se bude pohon otáčet. Dalo by se říci, že čím menší úhel na krok, tím snadněji se dá následně tento úhel zvětšit pouhým zvýšením množství kroků. Menší úhel umožní plynulejší snímání a také udělat více fotografií na otáčku, pokud nechceme například udělat několik snímků v každé pozici, což by ovšem mohlo mít za následek poněkud trhaný obraz. Využitelné by to však bylo v případě snímání snímků HDR (High Dynamic Range), které vyžadují více fotografií s různým expozičním nastavením – typicky 3 fotografie – normální expozice, přeexponovaná a podexponovaná. HDR fotografie pak potřebují mít nehnutý obraz, který je jen expozičně posunut. Jejich výhodou pak je, jak název napovídá, vyšší dynamický rozsah, neboli prokreslení i tmavých a světlých částí obrazu. To však nemá vliv na funkčnost polohovacího zařízení, neboť takovéto funkce moderní fotoaparáty vyšších kategorií mají zabudované a toto speciální snímání je rychlé a nevyžaduje zásah fotografa do systému, který by se díky tomu mohl narušit.

Rychlost otáčení se jeví irelevantní v případě snímání timelapse a projeví se až v případě pohybu pro režim videa. V případě časosběru je nutné pro sejmutí každé fotografie, aby bylo zařízení v klidu v ustáleném stavu bez výkyvů, aby při delším času snímání nebyla fotografie rozmazaná, neboli se provede rychlý posun do požadované polohy, musí dojít k ustálení a teprve



potom k expozici. V případě natáčení videa je naopak žádoucí, aby pohyb byl co nejrovnoměrnější a aby ho bylo možné regulovat v širokém rozsahu hodnot. Samozřejmě by pak také měla být možnost pohybovat se oběma směry, aby nebyly kladeny zbytečné překážky kreativitě fotografa.

3.2 Volba napájecí soustavy

Na začátek je nutné zvolit, jestli bude použit stejnosměrný nebo střídavý proud. Vzhledem k předpokládané velikosti použitých motorů se jeví rozumné použití stejnosměrného proudu, protože malé motorky se vyrábějí spíše stejnosměrné a jejich střídavé verze mohou být sice přesnější, ale zcela jistě dražší.

Také z pohledu řídicí elektroniky je výhodnější použít stejnosměrný proud, neboť standardně jsou na něj tyto součástky provozovány.

V neposlední řadě je také nutno uvést, že zařízení by mělo být mobilní a jako takové se musí předpokládat napájení z bateriových zdrojů, které jsou taktéž stejnosměrné. Střídavě přenosným napájecím zdrojem by musel být buď motorový generátor, který je velmi hlučný, a nebylo by tedy možné při něm pořizovat videa, nebo by muselo jít o bateriový zdroj se střídačem. Ten by však zabíral další místo a prostředky. V případě baterií si můžeme vhodnou volbou článků navolit požadované napájecí napětí. Pokud by zařízení mělo pracovat na proud ze sítě, tak bude použit externí zdroj s usměrňovačem, který nebývá nijak nákladný, a v tom případě nás netrápí ani větší rozměry.

Pokud budeme uvažovat ve standardních napěťových hladinách, zjednoduší se nám problém na několik málo možností. Sestupně to jsou 24 V, 12 V, 5 V, 3,3 V. Nejvyšší stupeň, čili 24 V, vyřadíme z důvodu potřeby velkého množství bateriových článků potřebných pro dosažení této napěťové hladiny. 5 V a 3,3 V jsou velmi nízké pro napájení výkonových součástek a protékal by pak obvodem velký proud. Ideálním zdrojem napájení pro tento systém se tedy jeví stejnosměrný proud o napětí 12 V.

Takovýto zdroj lze lehce získat z běžně dostupných a levných síťových měničů a také z baterií, které umožní zařízení pracovat i v terénu. Pokud bychom zvolili vyšší napětí, byl by dražší síťový zdroj a pro bateriové napájení by bylo třeba volit více článků, což se také projeví na ceně. V případě nižšího napětí je nutné volit výkonnější zdroje a více bateriových článků, jinak by nemusel být zajištěn dostatečný výkon. Také by bylo nutné dimenzovat veškeré elektrické části na vyšší proud. Řídicí obvody však většinou potřebují pro svůj chod napětí 5 V nebo 3,3 V. Toto však lze lehce



dosáhnout levnými step-down měniči a výkony, které jsou na této napěťové hladině potřebné, jsou oproti spotřebě motoru zanedbatelné.

Požadované napětí lze získat z baterií různých druhů - buď klasická autobaterie, ta však není příliš skladná, nebo spojením několika menších článků. Nabízí se několik dobře dostupných variant. Klasické AA baterie, které mají napětí 1,5 V, a pro napájení systému by tedy bylo zapotřebí 8 kusů v sérii. Nebo Lithium-iontové baterie typu 18650, u které mají jmenovité napětí 3,7 V, ale ve skutečnosti se pohybuje od 3,5 do 4,2 V v závislosti na stavu vybití. Byly by tedy potřeba sériově spojené 3 kusy. Takto sice získáme 10,5 V – 12,6 V, ale tato malá odchylka není rozhodující. Motorům tato změna napětí nevadí a procesor a drivery jsou napájeny přes snižující měnič, který drží konstantní nastavené napětí nezávisle na napájení, pokud se drží v jeho rozsahu. Mezi výhody Li-ion baterií typu 18650 patří dlouhá životnost, vysoká hustota energie (až 160 Wh/Kg), malá hmotnost a nízké procento samovybití. Nevýhodou je kolísající napětí v závislosti na stavu nabití a náchylnost na hloubkové vybití a přebíjení. Jejich výhody však převyšují nad nevýhodami a při správném zacházení mohou dlouho sloužit svému účelu. V současnosti jsou velmi oblíbené, což je znatelné na četnosti jejich aplikací v průmyslu, což se také projevuje na jejich neustále se snižující ceně a lepší dostupnosti. [2]

Baterie jsou umístěny ve standardním držáku na 3x18650 a ten je přilepen k vnitřní konstrukci zařízení.



Obr. 3: Porovnání baterií typu 18650 a AA



3.3 Volba motoru

Z předchozích kapitol vyplývá, že z cenových důvodů a kvůli jednoduchosti se jako nejlepší řešení nabízí dva druhy motorů. Stejnoseměrný a krokový. Oba mají své výhody a nevýhody, které je třeba brát v potaz.

3.3.1 Stejnoseměrný motor

Je velmi oblíbený pro svou jednoduchost a cenu. Je to nejstarší typ motoru a vyrábí se v široké škále výkonů a napěťových hladin. Pro přesné polohování by však byla nutná zpětná vazba, která by komplikovala celé řízení a zapříčinila nutnost použít množství dalších prvků a součástek.

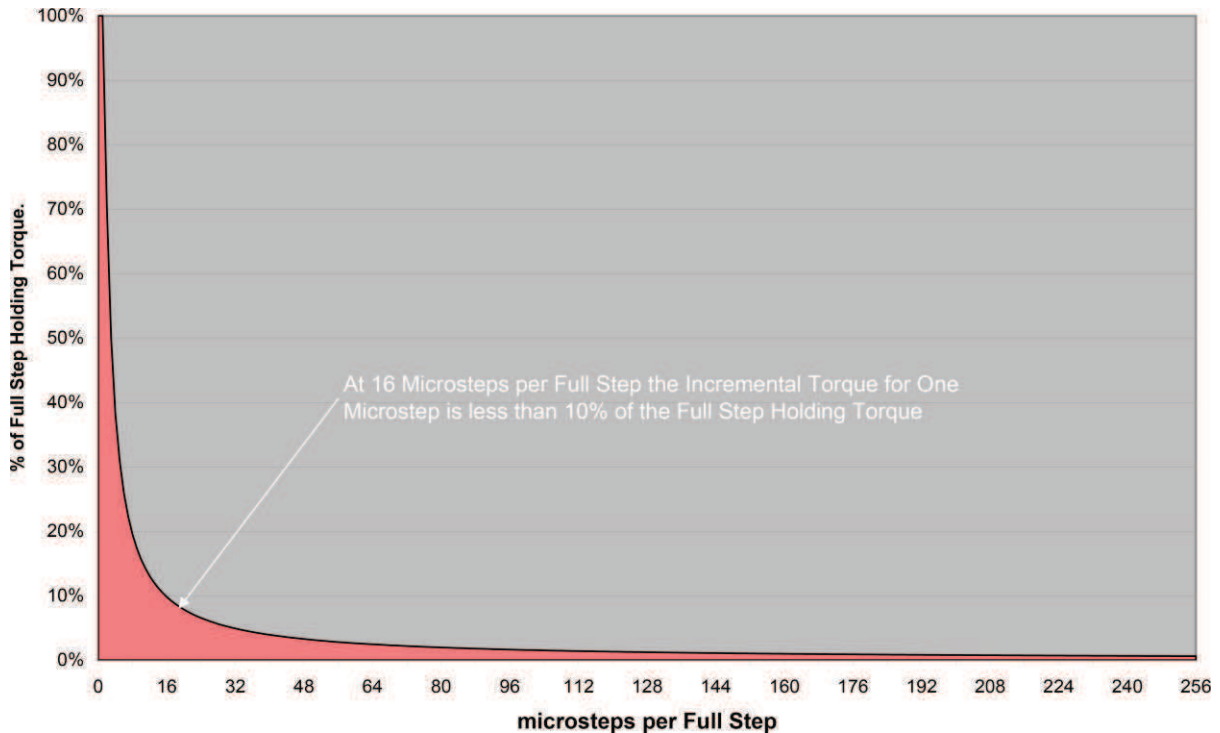
3.3.2 Krokový motor

Má zdánlivě složitější zapojení než stejnoseměrný, kterému stačí pouze přivést napětí na svorky, ale pokud už používáme k řízení mikroprocesor, tak stačí pouze zapojit správný driver a celé řízení se zjednoduší na udávání pulsů, kdy má být proveden krok. Krokový motor je výhodný, protože se dá dobře provozovat v otevřené vazbě. Nevyžaduje pro přesné polohování zpětnou vazbu, protože se pohybuje vždy jen o daný úhel – krok, i když pro absolutně přesné polohování je zpětná vazba nutná, protože v případě ztráty kroku je pak rozdílná poloha skutečná a poloha uložená v řízení. Pro tuto aplikaci však není nutné tak přesně polohovat. Menší nesrovnalosti oku diváka uniknou a navíc se ztráta kroku nepředpokládá, protože pohon nebude přetěžován. Celkově se tedy krokové motory jeví jako lepší řešení pro tuto aplikaci.

V tomto systému nejsou řešeny dorazy, protože se předpokládá, že obsluha bude neustále u zařízení a tudíž uvidí končící dráhu a pohon odpojí. Pokud se tak nestane, dojde však díky vlastnostem krokových motorů pouze k tomu, že se přeskočí krok. Zařízení v takovém případě poškozeno nebude. Dojde maximálně k produkci vibrací a opotřebování řemenového převodu. Dorazy proto nejsou na lineární dráze řešeny, protože by muselo být taženo více pohyblivých přívodů do ovládacího modulu, který bude umístěn na pohyblivé platformě. V případě rotující části zařízení pak dorazy nejsou potřeba vůbec, protože se zařízení klidně může otáčet neustále dokola, pokud to bude obsluha požadovat.

3.3.3 Diskuze o nutnosti převodovky

O nutnosti použít převodovku by bylo možné dlouze diskutovat. S použitím mikrokrokování by bylo možné dosáhnout i malých úhlů posuvu, snížit hlučnost a vibrace. Velkou nevýhodou však je výrazné snížení mechanického momentu, viz Obr. 4. [3]



Obr. 4: Graf závislosti momentu na velikosti mikrokrokování, zdroj [3]

Při použití převodovky můžeme použít mnohem menší motor, který poté bude mít i menší spotřebu. Převodovka převede malý moment na velký a velké otáčky na malé. Navíc nám také umožní polohovat ve velmi malých úhlech, čímž dosáhneme velké přesnosti. Také může částečně eliminovat cogging, který by mohl být nepříjemným jevem a opět způsobit roztřepání výsledných fotografií. Ten však samovolně zanikne také s vyššími otáčkami a navíc u menších motorů není tak výrazný. Převodovka tedy doplňuje mnoho požadavků, které budou ku prospěchu funkčnosti celého zařízení.

3.3.4 Návrh parametrů motoru

Pro dimenzování je třeba uvažovat zadané parametry z kapitoly 3.1. Předně úhel, o který se musí motor otočit, a váhu, kterou má při tom na hřídeli. Předpoklad je, že mechanickým uspořádáním lze zajistit, že osa otáčení bude procházet těžištěm tělesa. Vztah pro dynamický moment pak je:



$$M_d = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

V tomto vztahu se objevuje veličina moment setrvačnosti, označený písmenem J . Je to veličina, která je mírou setrvačných účinků tělesa při rotačním pohybu [4]. Její jednotkou je $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ a lze ji získat z obecného vztahu:

$$J = \int_{(m)} r^2 dm \quad (4)$$

Ne vždy je nutné počítat integrál přes celé těleso, ale lze využít zjednodušení na těleso běžného tvaru, čímž se zjednoduší celý výpočet, ovšem odchylka výsledku bude malá. Nejčastěji se používá krychle, hranol, tyč, válec nebo koule. V této práci bude dostatečně postačující zjednodušení fotoaparátu na tvar válce s osou otáčení procházející osou válce, pro který platí vztah:

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad (5)$$

Dříve bylo definováno, že maximální váha fotoaparátu může být 4 kg. Při této váze lze uvažovat, že velikost zhruba 20 cm, které je možno dosadit za poloměr válce r .

$$J = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 0,2^2 = 0,08 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Nyní je třeba určit velikost úhlové rychlosti ω , kterou bude pohyb vykonán. Je dána jako derivace úhlu podle času.

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (6)$$

Nejmenší úhel, který bude zařízení překonávat, bude zvolen $0,5^\circ$ neboli $30'$ neboli $0,00873$ rad a čas, který by na tuto činnost měl být dostatečný, bude 100 ms. Z toho vyplývá, že při maximální rychlosti by zařízení mělo být schopno udělat jednu otáčku za 72 vteřin, ale této rychlosti nejspíše nebude používáno, protože by nezbýval mezičas na pořizování snímků. Výsledná úhlová rychlost tedy bude:

$$\omega = \frac{0,00873}{0,1} = 87,3 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Nyní je možné pokročit k určení dynamického momentu:

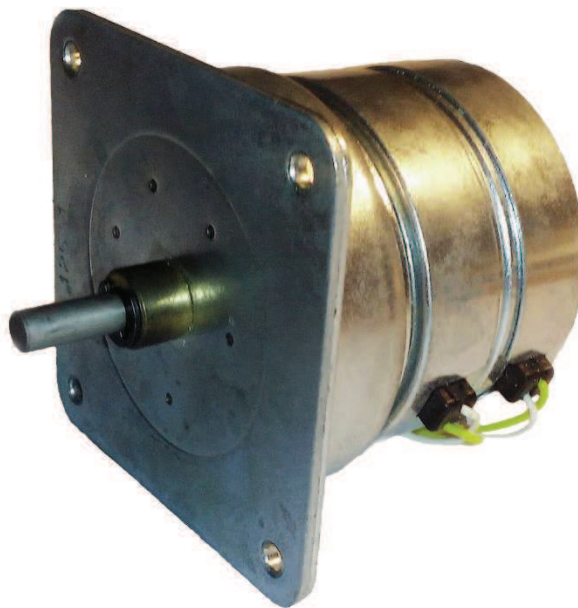
$$M_d = 0,08 \cdot \frac{87,3 \cdot 10^{-3}}{0,1} \doteq 0,07 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Dále je nutné uvažovat vnitřní odpory, které musí motor překonávat. Je to vnitřní rotorový moment hybnosti a detent torque. Protože však výsledný dynamický moment vychází velmi malý, budou všechny ostatní uvažované vnitřní momenty větší a tím pádem je jistota, že kterýkoliv motor bude dostatečně silný, protože bude muset překonat jen o málo větší odpor, než je minimum pro chod na prázdno. Je to způsobeno velmi malým posuvem a umístěním zátěže do osy hřídele.

V reálné aplikaci je složitější dosáhnout přesné umístění těžiště do osy motoru, protože systém upevněný na hřídeli nemá jednoduchý tvar a je proto složitější najít těžiště. Dynamický moment zátěže tedy bude o něco málo větší, než vypočítaný. Zvolen je tedy krokový motor Berger-Lahr RDM 50/8G s převodovkou 125:1, která zajistí zvětšení momentu a snížení úhlu posuvu. Jeho parametry jsou zaneseny v Tab. 1 a ilustrován je na Obr. 5.

Tab. 1: Parametry motoru RDM 50/8G

I_w	305 mA
R_w	16,6 Ω
B_v	0,011 mH



Obr. 5: Krokový motor Berger-Lahr RDM 50/8G s převodovkou 125:1

Pro lineární pohyb můžeme uvažovat podobné parametry jako pro rotační. Váha zařízení bude zvětšena o váhu pojezdového vozíku a samotného zařízení, čili zhruba 6 kg. Poloměr zachováme stejný. Podle vztahu (5) bude pak hodnota momentu setrvačnosti:

$$J = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 0,2^2 = 0,12 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Nejmenší úhlový posun, který je třeba vykonat, bude také větší. Zvolíme $1,8^\circ$ ($0,031416 \text{ rad}$) - to je zhruba velikost jednoho kroku - a z toho nám pak vyplyne úhlová rychlost podle vztahu (6):

$$\omega = \frac{0,03142}{0,1} = 314,2 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

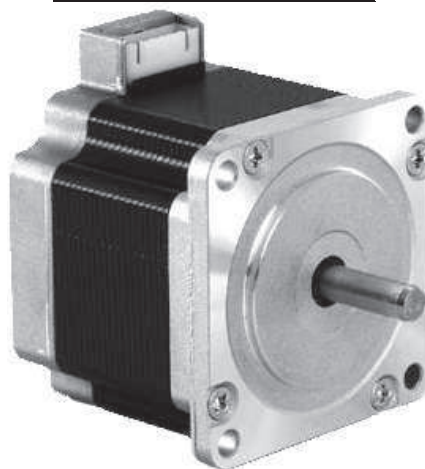
Výsledný dynamický moment podle vztahu (3) pak je:

$$M_d = 0,12 \cdot \frac{314,2 \cdot 10^{-3}}{0,1} \doteq 0,38 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Jak je patrné, tento moment opět není velký a stačil by malý motorek. Je však dobré pohon mírně předimenzovat. Bude se méně zahřívat a méně také bude docházet k jeho opotřebení. Navíc se tím docílí větší celkové zatížitelnosti. Volí se motor Shinano SST59D3100. Jeho parametry jsou v Tab. 2.

Tab. 2: Parametry motoru Shinano SST59D3100 [5]

I_w	1 A
R_w	6,3 Ω
B_v	0,011 mH
krok	$1,8^\circ$

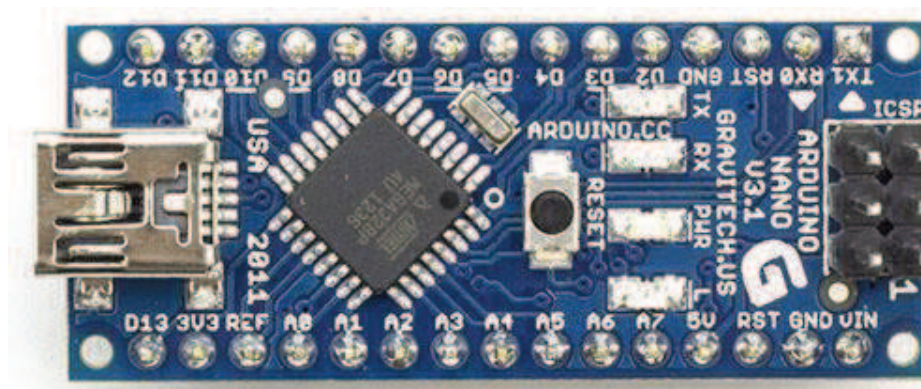


Obr. 6: Krokový motor Shinano SST59D3100 [5]

3.4 Volba řídicích obvodů

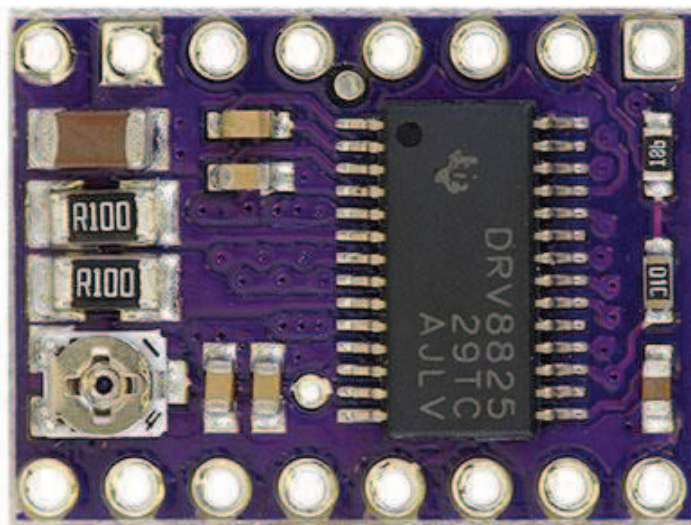
Pro řízení byl zvolen systém Arduino kvůli velkému množství kompatibilních modulů a driverů a kvůli přívětivému uživatelskému prostředí a široké uživatelské základně, která může nejen poskytnout řešení některých problémů, ale také množství již připravených knihoven pro různé periferie a usnadnit a zrychlit celý proces přípravy programu.

Konkrétně byla zvolena varianta Arduino Nano pro své kompaktní rozměry. Deska s procesorem ATmega328 o rychlosti 16 MHz je napájena napětím 5 V a má 12 digitálních vstupů/výstupů, z čehož 6 pinů může mít na výstupu PWM. Dále obsahuje 8 analogových vstupů. Množství pinů není velké a je nutné dobře uvážit, na co bude který z nich použit. Existují klony Arduina, které mají více možností konektivity jak vstupních, tak výstupních zařízení, ale v tom případě pak roste, mimo ceny, také velikost celé desky, což není žádoucí. Maximální výstupní proud může být 40 mA, což je pro napájení motoru málo. Je proto nutné použít driver. [6]



Obr. 7: Arduino Nano

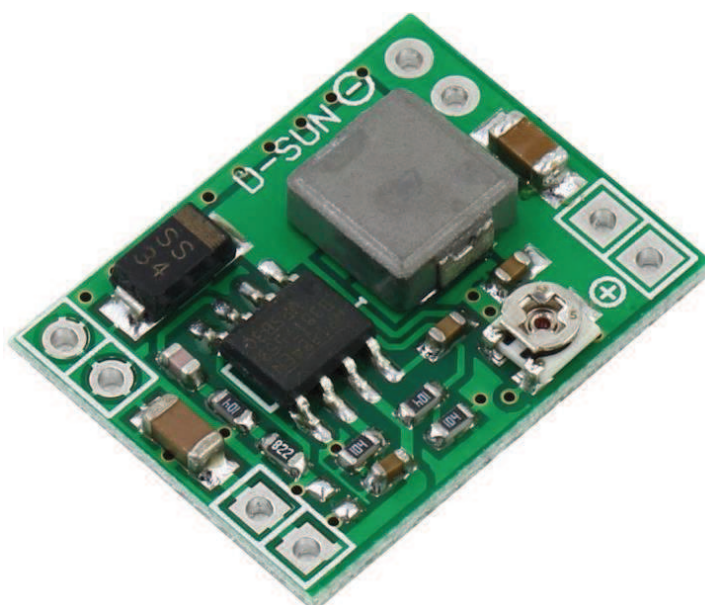
V této aplikaci byl zvolen driver DRV8825 od Texas Instruments, který umí pracovat na napětí až 45 V a proud až 2,2 A na cívkou. Je určen pro krokové motory a zvládá je ovládat od plného kroku až po mikrokrokování 1/32 kroku. Je to moderní zařízení, které se hojně používá v řízení krokových motorů, například v 3D tiskárnách. Konkurenční integrované obvody převyšuje nejen svými parametry, ale také svou cenou. Nevýhoda je jen v nutnosti nastavení výstupního proudu potenciometrem, ale to je záležitost několika málo minut. [7]



Obr. 8: Řadič DRV8825

3.4.1 Napájení řídicích obvodů

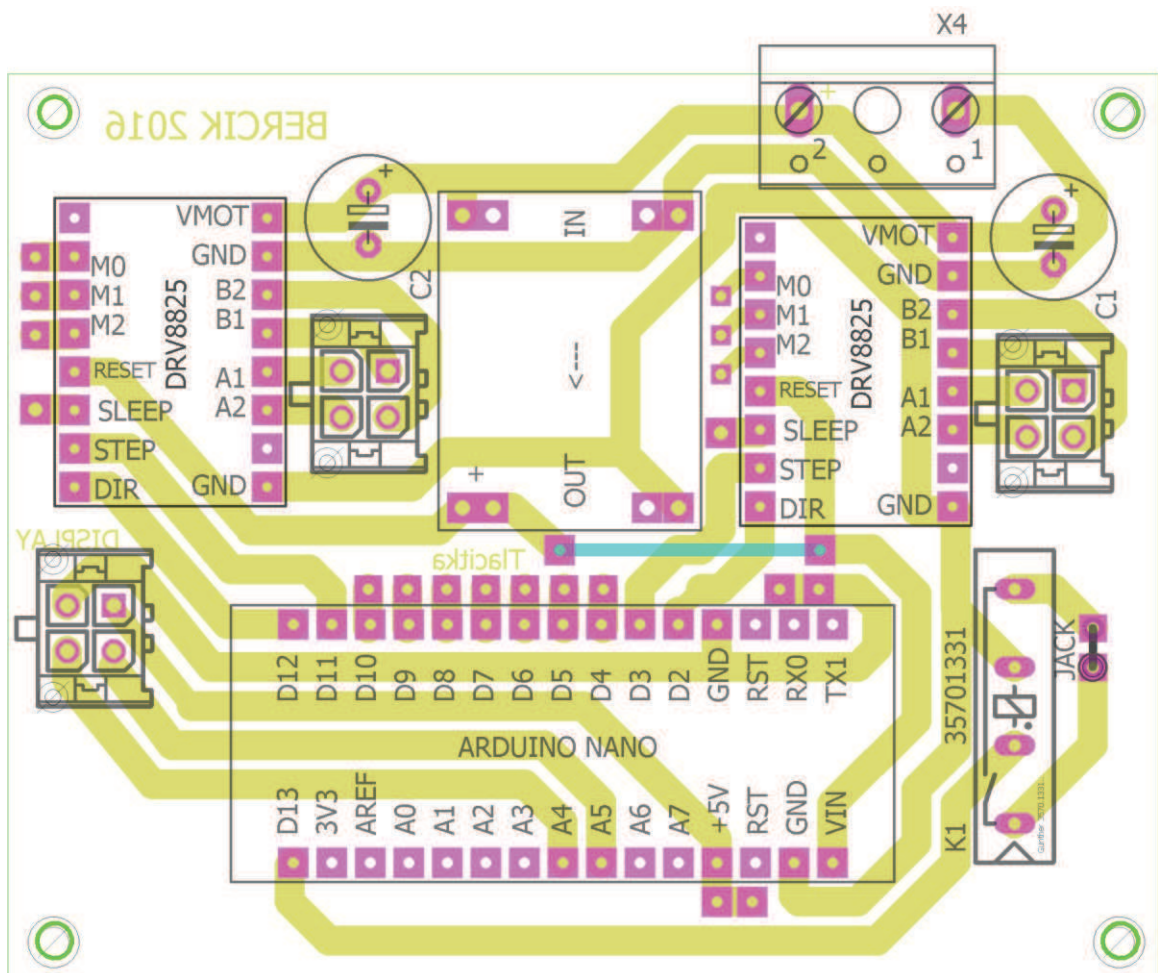
Napájení řídicích obvodů je řešeno snižujícím měničem s integrovaným obvodem LM2596s s rozsahem vstupního napětí 4,5 – 28 V a možností nastavit výstupní napětí v rozsahu 0,8 – 20 V. Spínací frekvence je 150 kHz. Vyniká především dobrou efektivitou (96 %) a výstupním proudem až 3 A. Z tohoto hlediska je značně předimenzován a nemělo by tedy docházet k jeho přehřívání. [8]



Obr. 9: Snižující měnič s integrovaným obvodem LM2596s

3.5 Návrh desek plošných spojů

Pro snadnou manipulaci a stabilní uložení elektroniky byla navržena základní deska. Je vidět na Obr. 10. Díky svým rozměrům (cca 6x7 cm) splňuje požadavky na kompaktnost a díky připojení periferií přes konektory je také zajištěno jednoduché servisování nebo výměna celých dílů za jiné. Velikost bylo nutné redukovat kvůli malému prostoru uvnitř zařízení a i tak bylo dosaženo lepších výsledků, než bylo nutné. Motory nejsou připájeny napevno, ale jsou připojeny přes konektory, které umožní, že je možné celou desku vyjmout a případně upravit nebo nahradit kterýkoliv motor za jiný. Stejně tak je připojen i displej.

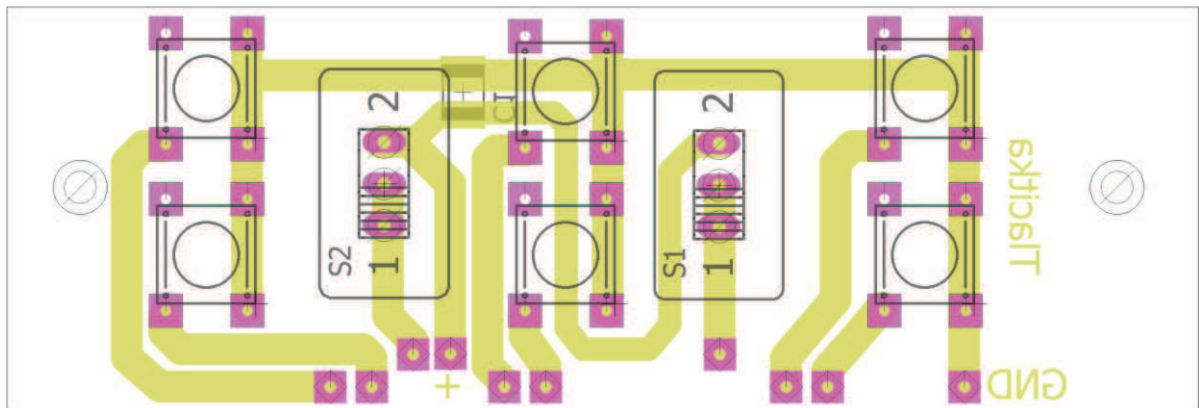


Obr. 10: Navržená základní deska

Kromě základní desky bylo třeba navrhnout i pomocnou desku, na které budou umístěna tlačítka a která bude se základní deskou spojena plochým kabelem. Na základní desce jsou na ni připraveny piny popsány jako tlačítka. Tato tlačítková deska bude zajišťovat přenos



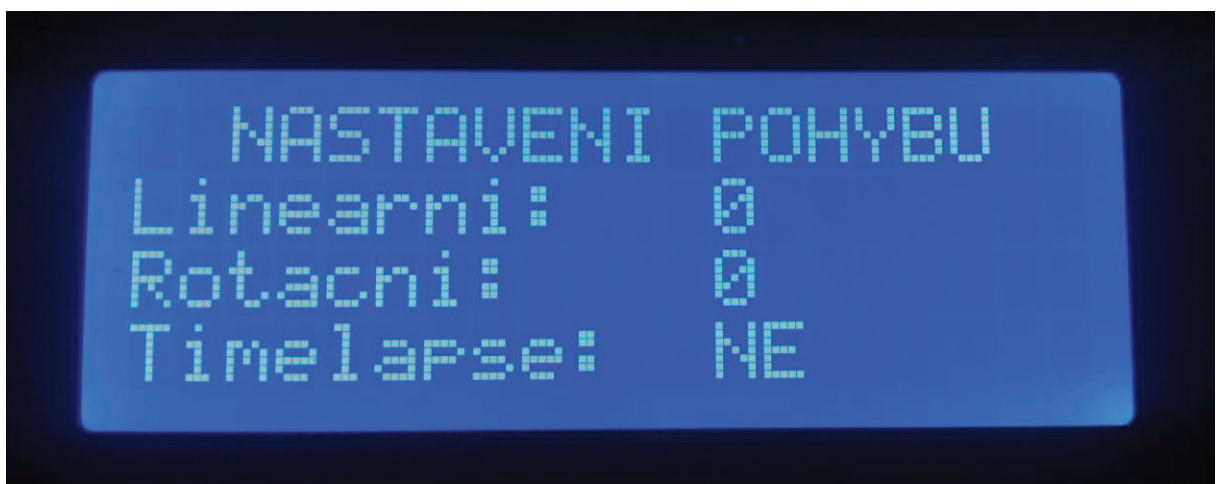
ovládacích příkazů do základní desky – zvyšování a snižování jednotlivých rychlostí a také bude mít připojeny přepínače pro zapnutí nebo vypnutí motorů.



Obr. 11: Navržená tlačítková deska

3.6 Grafický výstup – display

V prvotním návrhu bylo počítáno se sedmissegmentovým displejem, ale jak bylo zjištěno, toto řešení je značně neohrabané a navíc také zbytečně složité. Ovládání sedmissegmentového displeje vyžaduje 8 pinů, což je více než polovina dostupných. Jako lepší a také z tohoto hlediska úspornější řešení byl zvolen řádkový displej (konkrétně 20 znaků x 4 řádky) a jeho ovládání přes protokol I2C. Tento přenos umožňuje ovládat display pouze ze dvou datových pinů a navíc v případě Arduina to jsou takové, které jsou jinak používány jako analogové vstupy, a tudíž by v tomto projektu nebyly jinak využívány.



Obr. 12: Displej se zobrazovanými údaji



3.7 Ovládání

Ovládání je řešeno přes tři dvojice tlačítek a dva posuvné vypínače, jak je patrné z kapitoly 3.5 a Obr. 11. Celé zařízení se pak zapíná jedním centrálním vypínačem. Ovládací tlačítka jsou umístěna na vlastní destičce, která se se základní deskou propojuje plochým kabelem. Funkce každé dvojice tlačítek je patrná z náhledu displeje na Obr. 12. Jedna dvojice mění rychlost lineárního pohybu, druhá rychlost rotačního pohybu a třetí zapíná a také určuje rychlost režimu timelapse. Dva posuvníky pak vyřazují z činnosti pohony tak, aby při jejich nevyužívání byly vypnuty motory i jejich drivery a šetřila se tak energie.

3.8 Konstrukční návrh zařízení

Z konstrukčního hlediska byla práce od počátku navrhována tak, že základní díly budou vyrobeny na 3D tiskárně z plastu. Toto řešení umožnilo navrhovat díly přímo na míru a potřebám tohoto zařízení.

Systém bude tedy složen z vyrobených dílů, které budou pospojovány běžně dostupnými a levnými díly.

3.8.1 Základní šasi

Základní nosný díl má tvar krychle o hraně 150 mm. Po stranách má otvory na umístění displeje, tlačítek, vypínačů a baterií. Zevnitř jsou připraveny úchyty na připevnění ovládací elektroniky a motoru. Po stranách jsou také připraveny díry na umístění závitových šroubů se 3/8 závitem na stativové hlavy a na 3/8 matice, pomocí kterých se může zřízení připevnit na stativ nebo jinou podložku. V horní části je pak připraveno místo na ložiska. K tomuto základnímu dílu patří také ještě spodní část, která celé zařízení uzavírá a na kterém je umístěna základní deska. To umožní snadné opravy desky a také jednoduché nahrávání nových verzí softwaru. Spodní část je k horní připevněna šroubovými spoji. Ty jsou řešeny závitovou tyčí a šroubem. Toto také zajistí vyztužení celé konstrukce, protože závitové tyče budou procházet přes celé zařízení vždy v rohu.

Nad ložisky je pak horní deska, na které bude opět závitový šroub 3/8 a na které bude ležet už samotný fotoaparát.



3.8.2 Ložiska

V horní části zařízení jsou umístěna dvě ložiska, na kterých se bude otáčet fotoaparát. Jedno axiální a jedno radiální.

Axiální bylo zvoleno 51117 – svými rozměry nejlépe kopíruje velikost zařízení a umožní plnou stabilitu uchyceného fotoaparátu. Má výhodu, že je rozebíratelné a je tedy možné jej instalovat na každou část zařízení zvlášť.

Tab. 3: Parametry ložiska 51117 [9] [10]

Vnitřní průměr	85 mm
Vnější průměr	110 mm
Šířka	19 mm
Únosnost statická	120 000 N
Únosnost dynamická	35 500 N
Max. otáčky při mazání tukem	2100
Max. otáčky při mazání olejem	2900
Váha	0,45 kg

Radiální ložisko bylo zvoleno 625 2RS kvůli své velikosti. Toto ložisko bude jen pomocné a bude používáno jen v případě, že bude zařízení provozováno v režimu tažení, kdy bude umístěno na pohyblivé podložce na boku a na otáčející se část bude navíjen provázek, který zajistí dopředný pohyb. Je to z důvodu, že axiální ložisko není schopné přenášet radiální zatížení a tudíž by pak byl takovýto pohyb nemožný. Toto malé ložisko však tento problém vyřeší.

Tab. 4: Parametry ložiska 625 2RS [9] [10]

Vnitřní průměr	5 mm
Vnější průměr	16 mm
Šířka	5 mm
Únosnost statická	680 N
Únosnost dynamická	1880 N
Max. otáčky při mazání tukem	31000
Váha	7,00 g

3.8.3 Lineární posuv

Pro zajištění plynulého posuvu v druhé, horizontální, ose byl použit pojezd ze staré plotrové tiskárny o délce zhruba 160 cm. Je to velmi levné, ale také velmi dobře funkční řešení, které zajistí malý odpor dráhy a poměrně vysokou spolehlivost. Posuv po dráze je řešen řemenovým převodem. Dráha však vyžadovala úpravu a to nahrazení nevyhovujícího starého motoru motorem Shinano navrženým v kapitole 3.3.4.



3.8.4 Uchycení motorů

Motory musí být upevněny tak, aby nedocházelo k přenosu vibrací a aby nemohlo dojít k jejich samovolnému uvolnění.

Motor Berger-Lahr RDM 50/8G, který zajišťuje rotační pohyb a je umístěn přímo uvnitř zařízení, je připevněn přes silentbloky 10/10 Typ2 M3x4, které odstíní jeho vibrování do celého zbytku konstrukce.

Motor Shinano SST59D3100, který zajišťuje lineární posuv, je umístěn na přímo a nepředpokládá se, že by mohl způsobit vibrace, protože jeho pohyb je přenášen přes gumový řemen, který by měl případné nechtěné pohyby odstínit.

3.8.5 Spojovací součásti

Pospojování jednotlivých dílů je řešeno normalizovanými šroubovými spoji, většinou velikosti M3. Hlavní část je spojena a zároveň vyztužena závitovými tyčemi. Některé díly jsou připevněny tzv. „na zacvaknutí.“ Baterie jsou umístěny ve standardizovaném držáku a ten je na své místo přilepen.

3.8.6 Výroba a konstrukce dílů

Výroba dílů, které bylo třeba udělat na míru, proběhla na školní 3D tiskárně. Byl použit materiál ABS, neboli Akrylonitrilbutadienstyren. Je to nejpoužívanější materiál na výrobu modelů na 3D tiskárně. Snadno se barví a má dobrou odolnost vysokým i nízkým teplotám. Je snadno lepitelný a je obecně používán jako stavební materiál širokého množství plastových produktů. [11]



4 ŘÍDÍCÍ PROGRAM

V kapitole 3.4 byl zvolen pro řízení systém Arduino. Ten je programován v jazyce Wiring, který vychází z jazyka C a obsahuje velké množství speciálních knihoven pro Arduino a jeho periferie, díky kterým je programování na této platformě ještě rychlejší. Například knihovna pro komunikaci přes Ethernet či přes Wi-Fi nebo knihovna usnadňující používání displejů. [11] [12]

Strukturálně je programování ve Wiring rozděleno do několika částí. V první jsou definovány globální proměnné, následuje `setup` neboli jednorázové nastavení po zapnutí. Pak už program pokračuje neustále ve smyčce `loop`. Samozřejmě mohou být definovány také vlastní funkce.

Celý program je k nahlédnutí v sekci přílohy. Zde budou popsány důležité části.

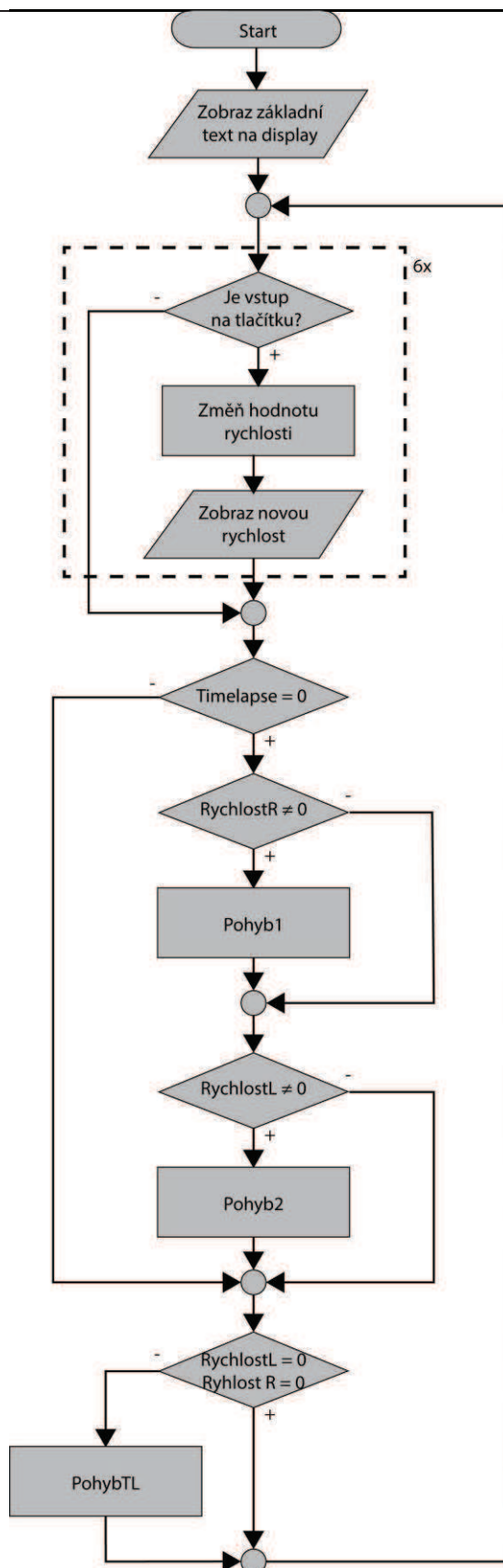
4.1 Struktura programu

Program na ovládání zařízení je složen z několika částí. V první části je ovládání tlačítek zároveň se zobrazováním každé změny na displeji. Dále je již hlavní část, a to ovládající pohyb motorů. Konkrétně jde o funkce `pohyb1` a `pohyb2`, kde každá ovládá jeden pohon. Dále je pak při zapnuté funkci `timelapse pohyb_TL`. Ta už pak sama rozděluje, které motory mají být v pohybu. Tyto funkce jsou popsány v dalších kapitolách a struktura celého programu je dobře patrná z vývojového diagramu, který je na následující straně na Obr. 13.

4.2 Proměnné a nastavení

V úvodní části programu jsou definovány globální proměnné. Jsou rozděleny i podle toho, ke kterému patří pohonu, a to podle písmena R nebo L na konci. R patří k rotačnímu pohybu a L k lineárnímu. Například parametr `rychlostR` určuje, jak rychle se bude otáčet motor, který má na starost rotační pohyb.

V úvodní části se také nastavují výchozí hodnoty, maximální hodnoty pro pohyby a definuje se, na kterém pinu bude které zařízení připojeno.



Obr. 13: Vývojový diagram ovládacího programu



4.3 Zobrazování na displeji

Zobrazování na displeji je řešeno pomocí protokolu I2C, který umožňuje ovládání libovolně velkého displeje pouze přes 2 ovládací a 2 napájecí piny. V jazyce Wiring je na toto připravena knihovna od autora Franka de Brabandera s názvem LiquidCrystal I2C.

V úvodu programu je třeba definovat velikost displeje a jeho adresu. To se děje příkazem `LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4)` – 0x27 je adresa displeje, 20 je počet znaků na řádku a 4 je počet řádků. Pokud má být něco na displeji zobrazeno, děje se to dvojicí příkazů `lcd.setCursor(0, 0)` a `lcd.print()`, kde u `setCursor` je nastaveno, od kterého místa na displeji se má zobrazovat (pokud tento příkaz není zadán, tak se pokračuje na dalším znaku od posledního napsaného) a u `lcd.print` je pak parametrem libovolná proměnná nebo text v uvozovkách, který má být vypsán.

4.4 Tlačítka a ovládání

Zařízení je ovládáno 6 tlačítky a 2 posuvnými vypínači. 6 tlačítek přepíná rychlosti, 2 vypínače ovládají přívod proudu do driverů a přes ně do motorů. Pokud bude uvažováno jako páry + a -, tak jsou to rychlost rotačního pohybu, rychlost lineárního pohybu a rychlost pohybu v timelapse. Timelapse je řešeno tak, že pokud je zvolena nenulová rychlost, tak má efekt na oba motory současně. Nemá smysl, aby jeden pohon jel určitou rychlostí a druhý jinou. Nebylo by pak zabezpečeno, že při snímání bude zařízení stát, což je však nutné pro pořízení ostré fotografie.

Směr pohybu je určen pouze tím, jestli jsou hodnoty kladné nebo záporné.

```
if (digitalRead(plusButton1) == LOW) {
  thisPress = millis();
  if (thisPress - lastPress > 500) {
    lastPress = thisPress;
    rychlostR++;

    if (rychlostR > rychlostMax) {
      rychlostR = rychlostMin;
    }

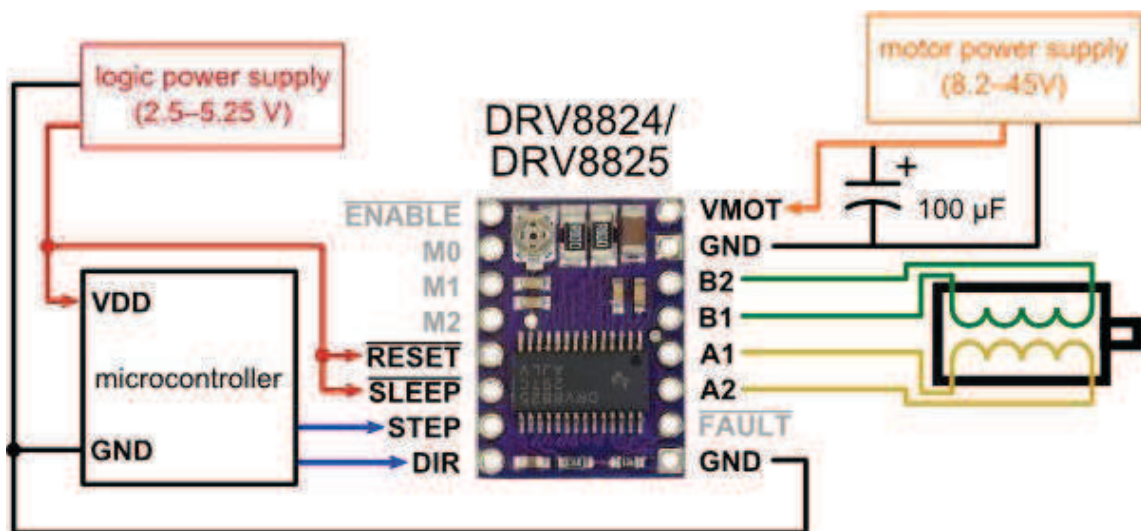
    lcd.setCursor(12, 2);
    lcd.print(rychlostR); lcd.print(" ");
  }
}
```

Ve funkci na čtení tlačítek bylo nutné zajistit, aby bylo sejmuto pouze tolik stlačení, kolik jich bylo provedeno. Jinak totiž dochází k tzv. záchvěvům, které mají mechanický původ, a celý systém se pak chová téměř jako generátor náhodných čísel. Toto odstranění záchvěvů se děje přidáním mrtvé doby, během které není možné znovu zadat další vstupní hodnotu neboli nové zmáčknutí

tlačítka. Byl odladěn čas 500 ms. Je to dost dlouhá doba, aby byly odfiltrovány záchvěvy, ale zase dostatečně krátká, aby uživatel mohl pohodlně navolit požadovanou rychlost. V této funkci je také zajištěno, že pokud dojde k překročení maximální nastavené rychlosti, automaticky se počítadlo přetočí na druhou stranu. Je to tedy jakýsi karusel. Na konci funkce je vykreslení nové hodnoty na display.

4.5 Program pro ovládání krokového motoru

Následuje návrh základního programu pro ovládání krokového motoru pomocí řadiče DRV8825. Ten požaduje pouze určení, kdy má být udělán krok a v jakém směru. Zapojení je na Obr. 14. Konektory M0 – M2 určují velikost kroku – od celého po 1/32, ale ty nejsou v tomto projektu využívány.



Obr. 14: Minimální zapojení řadiče DRV8825, zdroj [7]

Funkce pohyb1 a pohyb2 jsou totožné, jen mají zvlášť proměnné na určení doby čekání mezi kroky. Vypadají následovně:

```
void pohyb1 (int pin, int rychlost, int smerPin)
{
    thisTime1=millis();
    //smer
    if (rychlost<0){
        digitalWrite(smerPin, HIGH);}
    else{
        digitalWrite(smerPin, LOW);}
    //pohyb
    if (thisTime1 - lastTime1 >=((rychlostMax-abs(rychlost))*10)){
        lastTime1=thisTime1;
        digitalWrite (pin, HIGH);
        delayMicroseconds(1);
        digitalWrite (pin, LOW);
        delayMicroseconds(1);
    }
}
```



Funkci je nutné zadat několik proměnných. Předně na kterých pinech má vysílat signál ke krokování a na kterém je pin pro určení směru pohybu. Dále pak už jen samotnou rychlost pohybu. Z té funkce v první části určí směr pohybu podle znaménka rychlosti a v další je pak samotný pohyb. Rychlost pohybu je dána časovou prodlevou mezi jednotlivými kroky. Pokud uplynula prodleva větší, než je určena v hlavičce, tak se provede krok. A vynuluje se časovač.

V případě, že je nastaven i timelapse, provede se kroků více najednou a časová prodleva je pak větší a po každém pohybu je poslán signál k sepnutí spouště. Tato funkce je rozdělena také podle toho, které motory jsou v pohybu. Program pro případ, že se pohybují oba motory, pak vypadá následovně:

```
void pohyb_TL (int pin1, int pin2, int rychlost1, int rychlost2, int delayTime, int krok, int smerPin1, int smerPin2)
{
    thisTime1=millis();
    krok = krok*10;
    rychlost = (rychlostMax-abs(rychlost1))*500;
    if (thisTime1 - lastTime1 >=(abs(rychlost))) {
        lastTime1=thisTime1;
        for (int i=0; i<krok; i++){
            digitalWrite (pin1, HIGH);
            digitalWrite (pin2, HIGH);
            delayMicroseconds(1);
            digitalWrite (pin1, LOW);
            digitalWrite (pin2, LOW);
            delay(delayTime);
        }
        delay(90); // synchronizace spouste
        digitalWrite(shoot,HIGH);
        delay(10);
        digitalWrite(shoot,LOW);
        delay(100);
    }
}
```

Podmínky pro zapínání jednotlivých pohybů vypadají, jak je napsáno za tímto odstavcem. Pokud je timelapse vypnut, určuje se pak jen, jestli jsou nenulové rychlosti jednotlivých motorů a ty se pak podle toho zapínají a pohybují. Pokud je timelapse nenulový, je pohyb automaticky přepnut na režim časosběru. Jak již bylo popsáno, tam se pak určí, které pohyby budou aktivní. Oba motory pak musí mít stejnou rychlost, aby mohlo dojít k synchronizaci se spouští. Prioritu má rychlost rotační, to znamená, že pokud je rychlostR nenulová, tak určuje rychlost celého zařízení, ale pokud je nula, tak se pohyb řídí parametrem rychlostL.

```
if (timelapse==0){
    if (rychlostR!=0) {pohyb1 (vmotR, rychlostR, dirR);}
    if (rychlostL!=0) {pohyb2 (vmotL, rychlostL, dirL);}
}
else if (rychlostR==0 && rychlostL==0){}
else {
    pohyb_TL (vmotR, vmotL, rychlostR, rychlostL, 10, timelapse, dirR, dirL);
}
```



5 FYZICKÁ REALIZACE

Před samotnou výrobou musel být vytvořen celkový model v programu Autodesk Inventor. Byly vytvořeny i díly, které se vyrábět nebudou, ale jsou součástí zařízení, aby bylo zajištěno, že se vše do malého prostoru vměstná. Také to umožnilo návrh upínacích míst tak, aby nebyly problémy při kompletaci. Model je pak k vidění v přílohách v digitální podobě nebo na nákrese v papírové podobě.

5.1 3D tisk

Výroba na 3D tiskárně probíhala se značnými problémy. Malé díly nebylo problém vyrobit, ale v okamžiku, kdy bylo nutné vytisknout základní nosnou kostku, přišly problémy. Tento díl je pro 3D tisk poměrně velkým soustem a i když se výrobci 3D tiskáren předhánějí, kdo bude mít větší tisknutelný prostor, ve skutečnosti jsou limitováni vlastnostmi materiálu, kterým se tiskne. Při vytváření velkých dílů plast více nerovnoměrně chladne a je také větší problém udržet jej na místě tisku. Doba, po kterou probíhá tisk, je u velkých dílů velmi dlouhá a je tedy velmi dobře prověřena spolehlivost celého zařízení.

5.2 Povrchová úprava

Materiál ABS, ze kterého je konstrukce vyrobena, je možné povrchově upravovat. Konkrétně mezi běžné úpravy patří broušení a napařování v acetonových parách. Tím se se dosáhne slití povrchu výrobku a zaniknou pak vrstvy, které jsou principiálně při plastovém 3D tisku patrné. Také je možné výrobek lakovat a změnit tak jeho barvu, která nemusí být odpovídající požadavkům zákazníka a která se odvíjí od právě dostupného materiálu tiskárny.

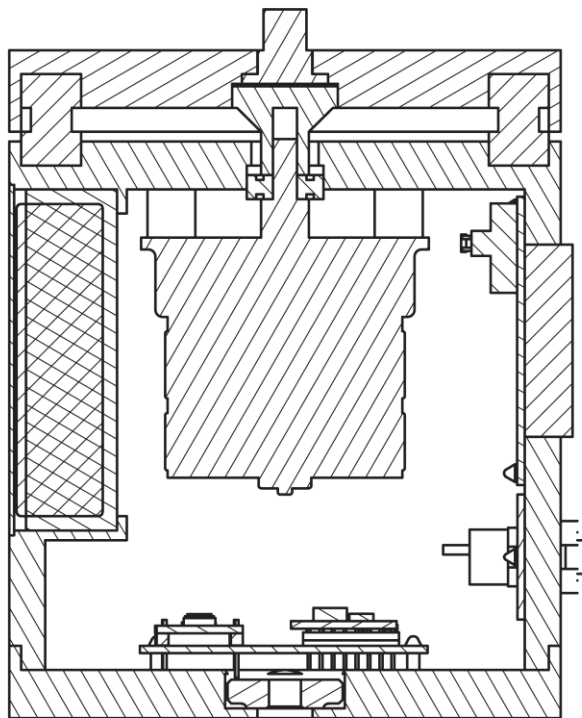
6 TESTOVÁNÍ

Testování tohoto produktu není záležitostí několika dní, ale díky jeho variabilnosti jej bude třeba podrobit důkladnějším zátěžovým testům. Základní funkčnost je však zajištěna a nic nebrání používání tohoto zařízení. V průběhu prvotního základního testování nebyly zjištěny závažné nedostatky a zařízení se tak předpokládá plně funkční a připravené.

Mezi zátěžovými testy, kterými byla konstrukce podrobena, byl také test nosnosti. V tomto testu základní šasi unesla i dospělého muže. Z tohoto pohledu je patrné, že celá konstrukce, ačkoli sestavená z plastu je velmi pevná a bytelná. Nosnost bude tedy omezena jen tím, jak velká bude zátěž na hřídeli, neboli jak těžký fotoaparát bude nainstalován a jak dobře bude postaven do osy motoru.

6.1 Ideální nastavení rychlosti pohybu

Nastavení rychlosti pohybu je záležitost dlouhodobého testování a ideální stav nebyl ještě při dokončování této práce zajištěn. Na funkčnost zařízení toto však nemá vliv a bude to i nadále věcí testování.



Obr. 15: Řez zařízením



7 ZÁVĚR

V této práci bylo navrženo zařízení pro polohování fotoaparátu. Byly definovány požadavky na pohon i řízení a podle nich vybrány nejvhodnější díly a konstrukce. Následně byl navržen řídicí program, který ovládá zařízení v obou požadovaných režimech a je velmi snadné mezi nimi přepínat. Celý systém pak byl fyzicky realizován a ozkoušen.

Zařízení plní požadavky, pro které bylo navrhováno a vytvořeno. Je s ním mnohem snazší a pohodlnější dělat plynulé video záběry, které netrpí vadami pohybu a zasekáváním.

Také režim timelapse plní vše, co je od něj očekáváno. Záběry jsou skutečně zajímavé a díky pohybu získávají nový rozměr. Toto zařízení bude jistě dobrým pomocníkem při snímání časosběrů. Jak bylo psáno v minulé kapitole, je ale ještě nutné doladit rychlosti, kterými se zařízení bude pohybovat, aby bylo skutečně univerzálně použitelné.

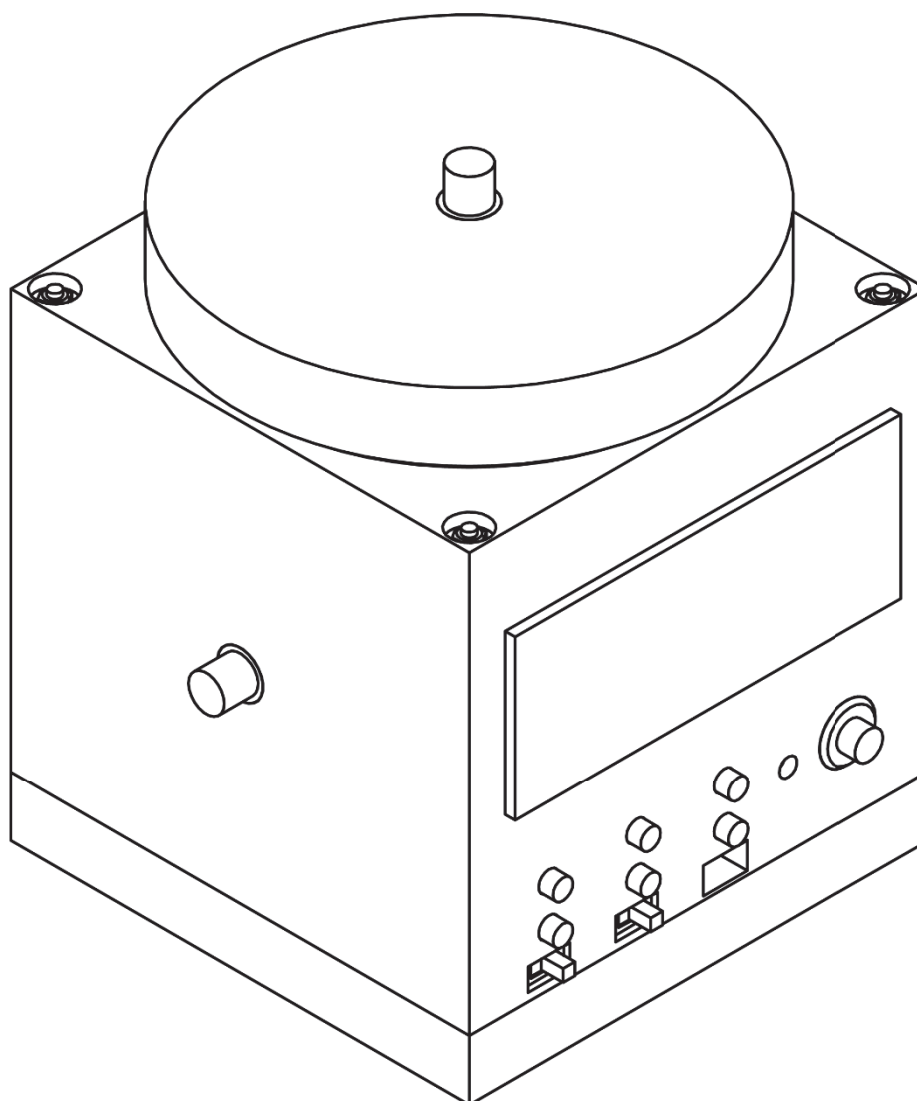
Tato práce tedy splnila veškeré cíle, které měla. Bylo vytvořeno funkční zařízení, které je schopné se pohybovat podle zadaných hodnot. Díky tomu, že je zařízení složeno z již hotových modulů, které jsou snadno a levně dostupné, je velmi snadno opravovatelné a replikovatelné. Nejvíce časově náročným úkolem bylo vytvořit model, podle kterého následně probíhal 3D tisk. Bylo nutné vytvořit všechny díly, aby bylo zajištěno, že do sebe vše správně zapadne a bude lícovat. I tak bylo místy nutné některé hrany zabrousit, protože 3D tisk má také svou toleranci.

Výzvou byla i programovací část práce. Bylo nutné dobře promyslet jakým způsobem se má zařízení pohybovat a pak vše dobře synchronizovat. V této části bylo největším problémem podivné chování tlačítek, které bylo ale úspěšně opraveno odstraněním záchrů. Zajímavá je také část programu, kde je popsáno snímání v režimu timelapse a kde bylo třeba synchronizovat pohyb zařízení a snímání aby, bylo zajištěno, že při snímání bude zařízení už ustáleně stát v požadované pozici a nebude docházet k žádnému nechtěnému dokmitávání.

Do budoucna se počítá s dalším vývojem tohoto produktu. Nejspíše bude přepracován na dálkové řízení přes Bluetooth rozhraní a budou mu přidány další funkce, jako například podrobnější nastavení rychlostí v režimu Timelapse, kdy bude možné nastavovat samostatně množství kroků mezi jednotlivými polohami a dobu čekání i zpoždění spouště po ustálení pohybu.



Cíle, výtýčené na začátku projektu byly splněny. Zařízení bude jistě dobrým pomocníkem fotografa i kameramana. Nezbyvá než popřát autorovi, aby měl stále stejné nadšení zdokonalovat toto zařízení, aby dostalo ještě větší funkční možnosti a bylo nadále vyvíjeno a vylepšováno. A i když má dnes mnohé možnosti, bude snad mít v budoucnu i mnohé další, které se jistě nechají objevit četným používáním a které se budou dát na toto zařízení implementovat a také budou implementovány. Budiž tedy toto zařízení ku prospěchu všech ve svém okolí a potěše oka mnohých diváků, kteří budou pozorovat výsledky, kterých s tímto pomocníkem lze dosáhnout.



Obr. 16: Náčres hotového zařízení



8 BIBLIOGRAFIE

- [1] JIŘÍ, Skalický. *Navrhování elektrických pohonů*. Brno, b.r.. Scriptum. VUT Brno.
- [2] BÁRTA, Jiří. *Akumulátory a jejich využití v nezávislé elektrické trakci*. Brno, 2014, 47 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Procházka, Ph.D.
- [3] MICROMO. *Microstepping: Myths and Realities* [online]. b.r. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.micromo.com/microstepping-myths-and-realities>
- [4] VYBÍRAL, Bohumil. *Kinematika a Dynamika tuhého tělesa: Studijní text pro řešitele FO a ostatní zájemce o fyziku* [online]. b.r. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/dynamika.pdf>
- [5] SHINANO KENSHI. *Stepper Motor Series SST59D Datasheet*. b.r.. Dostupné také z: <http://shinano.com/motors/docs/SST59D.pdf>
- [6] Arduino Board Nano. *Arduino.cc* [online]. b.r. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- [7] DRV8825 Stepper Motor Driver Carrier. *Pololu* [online]. b.r. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2132>
- [8] TEXAS INSTRUMENTS. *LM2596 Datasheet*. b.r.. Dostupné také z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
- [9] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-718-3164-6.
- [10] *ELOtechnik: Loziska.com* [online]. Žamberk, 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: Loziska.com
- [11] ZBYŠEK, Voda. *Průvodce světem Arduina* [online]. 2014, 280 s. [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: <http://arduino.cz/dekujeme/>
- [12] *Arduino reference* [online]. 2015 [cit. 2015-12-08]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference>



9 PŘÍLOHY

Seznam příloh:

1. Zdrojové soubory řídicího programu
2. 3D model celého zařízení
3. Výkresová dokumentace s rozpiskou a rozpadem