



## ZADÁNÍ BAKALÁ SKÉ PRÁCE

<b>Název:</b>	Po íta em ízená plošina pro posuv kamery/fotoaparátu
<b>Student:</b>	Adam Podroužek
<b>Vedoucí:</b>	Dr.-Ing. Martin Novotný
<b>Studijní program:</b>	Informatika
<b>Studijní obor:</b>	Po íta ové inženýrství
<b>Katedra:</b>	Katedra íslicového návrhu
<b>Platnost zadání:</b>	Do konce letního semestru 2017/18

### Pokyny pro vypracování

Navrhn te a realizujte plošinu pro posuv kamery nebo fotoaparátu v jedné ose (tzv. camera slider). Plošina je ízena procesorem. Rychlost posuvu je íditelná. Navrhn te a realizujte vhodný zp sob ovládání plošiny (nap . pomocí displeje a tla ítek nebo pomocí nad azeného PC). Sou ástí práce je i realizace mechanické konstrukce plošiny.

### Seznam odborné literatury

Dodá vedoucí práce.

doc. Ing. Hana Kubátová, CSc.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Tvrdík, CSc.  
d kan

V Praze dne 30. íjna 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
KATEDRA ČÍSLICOVÉHO NÁVRHU



Bakalářská práce

## **Počítačem řízená plošina pro posuv kamery/fotoaparátu**

Vedoucí práce: Dr.-Ing. Martin Novotný

15. května 2017



---

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Dr.-Ing. Martinovi Novotnému za podporu a ochotu. Také bych chtěl poděkovat Jonáši Rackovi za to, že mne přivedl na myšlenku této práce.



---

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s ust. § 46 odst. 6 tohoto zákona tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mojí práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou, a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo“), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli způsobem, který nesnižuje hodnotu Díla, a za jakýmkoli účelem (včetně užití k výdělečným účelům). Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené. Každá osoba, která využije výše uvedenou licenci, se však zavazuje udělit ke každému dílu, které vznikne (byť jen zčásti) na základě Díla, úpravou Díla, spojením Díla s jiným dílem, zařazením Díla do díla souborného či zpracováním Díla (včetně překladu), licenci alespoň ve výše uvedeném rozsahu a zároveň zpřístupnit zdrojový kód takového díla alespoň srovnatelným způsobem a ve srovnatelném rozsahu, jako je zpřístupněn zdrojový kód Díla.

V Praze dne 15. května 2017

.....

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta informačních technologií

© 2017 Adam Podroužek. Všechna práva vyhrazena.

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí, je nezbytný souhlas autora.*

### **Odkaz na tuto práci**

Podroužek, Adam. *Počítačem řízená plošina pro posuv kamery/fotoaparátu*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2017.



---

## Abstrakt

Tato bakalářská práce má za cíl sestrojít jednoduchý, rozšiřitelný a levný posuvník na fotografická zařízení – tzv. camera slider. Mechanická část zařízení má podobu kulatých kovových kolejnic, po kterých je posouván vozík pomocí ozubeného řemene a motoru, pevně umístěného na jednom konci kolejnic. Ovládání poskytuje běžně dostupný a programovatelný přípravek Arduino. Uživatelské rozhraní je zajištěno přes joystick a malý display a zároveň je možné slider konfigurovat přes sériové rozhraní z GUI aplikace.

Přínosem je zejména snadná budoucí rozšiřitelnost (lze připojit až tři motory) a nízká celková cena. Slider je vhodný na pořizování časosběrných snímků.

**Klíčová slova** posuvník fotografického zařízení, camera slider, fotografické příslušenství, cenová dostupnost, rozšiřitelnost

---

## Abstract

This bachelor's thesis aims to build a simple, expandable and cheap slider for photographic devices — so-called camera slider. The mechanical part of the device is in a form of round metal rails, on which a carriage is moved using a toothed belt and a motor, firmly fixed on one side of the rails. Controlling is

done by a commonly available and programmable device called Arduino. The user interface is provided by a joystick and a small display. It is possible to configure the slider via the serial interface from a GUI application.

The benefits of this work include easy future device-expansion (it is possible to connect and control up to three motors) and affordable price. The slider is suitable for creating timelapses.

**Keywords** camera slider, photographic accessory, affordability, expandability

---

# Obsah

Úvod	1
<b>1 Existující řešení</b>	<b>3</b>
<b>2 Analýza</b>	<b>7</b>
2.1 Mechanická část . . . . .	7
2.2 Uživatelské rozhraní . . . . .	18
2.3 Hardwarová část . . . . .	19
2.4 Softwarová část . . . . .	30
<b>3 Realizace a implementace</b>	<b>33</b>
3.1 Mechanická část . . . . .	34
3.2 Hardwarová část . . . . .	40
3.3 Softwarová část . . . . .	48
3.4 Seznam materiálu . . . . .	54
<b>4 Testování</b>	<b>57</b>
4.1 Spotřeba . . . . .	57
4.2 Přesnost posuvu . . . . .	58
4.3 Testování při implementaci . . . . .	59
4.4 Uživatelské testování . . . . .	59
<b>5 Budoucí práce</b>	<b>61</b>
5.1 Konstrukce . . . . .	61
5.2 Hardware . . . . .	61
5.3 Software . . . . .	62
<b>Závěr</b>	<b>63</b>
<b>Literatura</b>	<b>65</b>

A Seznam použitých zkratek	69
B Obsah přiloženého CD	71

---

## Seznam obrázků

1.1	Profesionální slider [1]	4
1.2	PVC slider s lineárními ložisky [2]	4
1.3	Kolečkový slider [3]	5
1.4	Lištový slider [4]	6
1.5	Slider se závitovou tyčí [5]	6
1.6	Slider s přímým ovládním motoru [6]	6
2.1	Součástky k přichycení na trubky	9
2.2	Kovový profil s drážkami [7]	11
2.3	Srovnání MDF a DTD	12
2.4	Závitová tyč [8]	14
2.5	Ozubený řemen	15
2.6	Řemenice	15
2.7	Motor na vozíku [4]	16
2.8	Stacionární motor [9]	16
2.9	Ozubená lišta [10]	17
2.10	Příklady pouzder mikrokontrolérů	21
2.11	Arduino Mega2560, Uno, Nano a Pro Mini	23
2.12	Krokový motor [11]	25
2.13	Senzory krajní polohy	25
2.14	Příklady displejů	27
2.15	Joystick modul	27
3.1	Výsledný slider	33
3.2	Levá deska	35
3.3	Pravá deska	36
3.4	Zmenšené původní předlohy desek [12]	37
3.5	Způsob připevnění koncového spínače	37
3.6	Zmenšené původní předlohy vozíku [12]	38
3.7	Deska vozíku	39

3.8	Způsob uchycení vozíku na kolejnice . . . . .	40
3.9	Přípevnění řemene k vozíku . . . . .	40
3.10	Horní pohled na levou desku . . . . .	41
3.11	Spodní pohled na levou desku . . . . .	41
3.12	Blokový diagram zapojení . . . . .	42
3.13	Schéma obvodu . . . . .	44
3.14	Deska plošných spojů . . . . .	46
3.15	Uložení v krabici . . . . .	47
3.16	Diagram napájení . . . . .	47
3.17	Desktopová aplikace . . . . .	53
4.1	Nezdařilý plošný spoj . . . . .	60

---

## Seznam tabulek

2.1	Vlastnosti materiálů [13] [14] . . . . .	8
2.2	Příklady verzí Arduina . . . . .	22
2.3	Srovnání paměti a USB rozhraní . . . . .	23
3.1	Nastavení rozlišení mikrokroků . . . . .	43
3.2	Seznam součástek . . . . .	45
3.3	Hlavičkový bajt sekvence . . . . .	49
3.4	Dva bajty úseku . . . . .	49
3.5	Seznam materiálu . . . . .	55
4.1	Test spotřeby . . . . .	57
4.2	Výdrž na akumulátor kapacity 1300 mAh . . . . .	58
4.3	Test přesnosti posuvu . . . . .	58





---

# Úvod

Fotografická zařízení jsou v dnešní době velmi rozšířená a na kvalitu a originalitu se klade čím dál větší důraz. Kvalitní fotografie nebo video je samozřejmě výsledkem uměleckých schopností autora a kvalitního fotoaparátu, ale podstatnou roli hrají i další podpůrná zařízení. Těmi jsou například stativy, stabilizátory, blesky anebo posuvníky. Zmíněná příslušenství jsou však velmi drahá a pro občasného fotografa jsou zbytečnou investicí. Tato práce se zaměřuje konkrétně na fotografický posuvník – tzv. *camera slider*.

Cílem práce je vyrobit jednoduchý a levný posuvník pro fotografická zařízení, který je vhodný pro amatérské fotografy. Zařízení by mělo být motorizované, snadno ovladatelné a z dostupných materiálů.

Sekundárním cílem je snadná budoucí rozšiřitelnost. Ta spočívá v možnosti připojení více motorů nebo ovládání jiného, nezávislého zařízení. Dále by měl být slider vhodně dimenzovaný, aby bylo možné ho pohodlně přenášet, ale zároveň by měl být dostatečně velký, aby se s ním daly dělat rozmanitější záběry. Cena materiálu by se měla pohybovat kolem 1000 Kč.



## Existující řešení

Celý trh s kamerovými posuvníky lze rozdělit na 3 skupiny. Každá z těchto kategorií se navíc dělí na posuvníky motorizované a nemotorizované. Jsou jimi posuvníky:

- profesionální,
- polo-profesionální,
- amatérské.

Profesionální posuvníky (obr. 1.1 [1]) se vyznačují velmi precizním zpracováním a kvalitními materiály, kdy bývá často používáno lehkých a pevných kovů. Tato zařízení jsou schopna nést velkou kamerovou techniku s vysokou hmotností. Do této kategorie se řadí i velké jeřábové posuvníky s pohyblivými rameny. Jejich převážné využití je ve filmovém průmyslu.

Jednodušší, polo-profesionální posuvníky používají opět kvalitní materiály a dbá se na precizní a jemný posuv. Rozdíl oproti předchozí kategorii je v podstatě jen ve skupině uživatelů. Polo-profesionální slider je určen spíše pro jednotlivce, kteří jej využijí pro svou náplň práce.

Tyto dvě kategorie spojuje jeden významný faktor – jejich vysoká cena. Pohybuje se obvykle v řádu desetitisíců korun českých, u těch nejkvalitnějších i více. Toto je zároveň staví mimo rozsah této práce, která se zabývá levným řešením.

Amatérský posuvník se často označuje jako tzv. DIY slider, neboli „do it yourself“. Realizace řešení v této kategorii je bezpochyby nejrozmanitější. Vynalézavým způsobem je použití těch nejběžnějších materiálů, jako např. PVC trubky na kolejnici a dřevo na vozík i podkladovou desku. Jeden z nejpoužívanějších konstrukčních prvků jsou trubky kruhového průřezu. Bývají uchyceny na obou koncích k sobě a tvoří tak rovnoběžné kolejnici. Uchycení vozíků je už různé. Je používána buď nějaká forma lineárních ložisek (obr. 1.2 [2]) nebo koleček (obr. 1.3 [3]). Rozdíl je opět v materiálech – lineární ložiska se realizují např. trubkovými spojkami z PVC a slider se pohybuje po kolejích třením

## 1. EXISTUJÍCÍ ŘEŠENÍ

---



Obrázek 1.1: Profesionální slider [1]

nebo se použijí opravdová lineární ložiska a vliv tření se minimalizuje. Dalším poměrně častým způsobem realizace kolejnic je využití pouze jedné lišty. Ta má v sobě podélné drážky, které vedou kolečka vozíku (obr. 1.4 [4]). Toto řešení bývá použito na kratší posuvníky na malé kamery, například GoPro.



Obrázek 1.2: PVC slider s lineárními ložisky [2]

Dále se rozlišuje, zda-li má slider nějaký pohon. Ty bez pohonu jsou nejjednodušší na výrobu, poslouží však jen na nenáročné záběry. Nelze s nimi vytvořit například časoběrné snímky. Motorizované slidery využívají nejčastěji krokové motory, které zaručují precizní posuv a snadno se měří ujetá vzdálenost. Liší se způsob vlečného systému a umístění motoru. Motor je umístěn buď fixně na jednom konci kolejí, nebo je přímo na vozíku. Od toho se pak



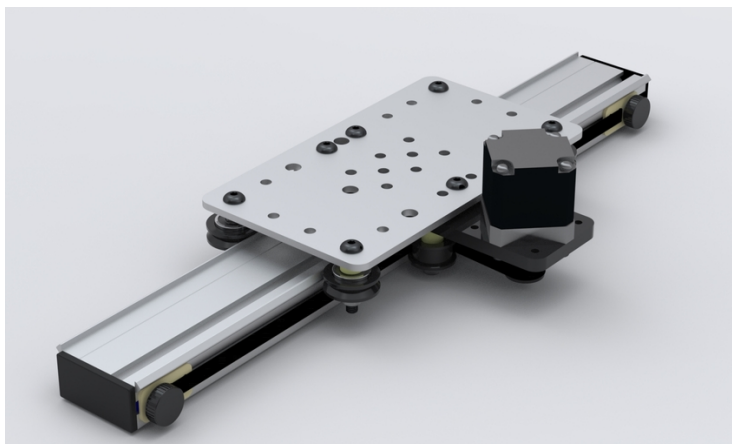
Obrázek 1.3: Kolečkový slider [3]

odvíjí volba vlečného systému, kterým však nejčastěji bývá ozubený řemen (obr. 1.4 [4]). Existují i „exotičtější“ řešení, využívající například závitovou tyč (obr. 1.5 [5]).

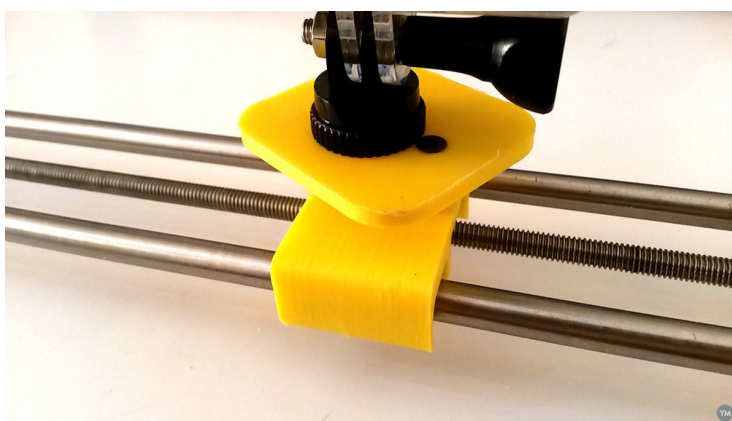
Pokud je slider motorizovaný, řeší se i ovládání motoru. Snadnou variantou je přímé ovládání motoru, kdy se pouze manuálně zapíná a vypíná, popřípadě ovládá rychlost (obr. 1.6 [6]). Je-li vyžadována komplexnější kontrola pohybu, je použita nějaká digitální logika. Tím bývá obvykle programovatelný mikrokontrolér. Používá se samostatně a v ten moment se k němu navrhuje i odpovídající obvod, pomocí něhož se programuje. Častěji se používá mikrokontrolér už v obvodu, který tyto základní funkce zajišťuje a uživatel se může zabývat výhradně programováním a samotným zapojením. Z těchto desek, používajících mikrokontrolér, je zřejmě nejpoužívanější Arduino, a to kvůli jeho rozšíření a snadnému programování. Arduino je založeno na mikrokontroléru AVR. Existují i podobné vývojové desky s mikrokontroléry PIC nebo ARM.

## 1. EXISTUJÍCÍ ŘEŠENÍ

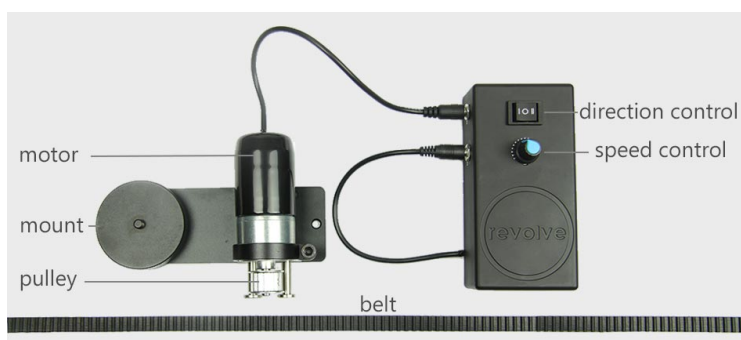
---



Obrázek 1.4: Lištový slider [4]



Obrázek 1.5: Slider se závitovou tyčí [5]



Obrázek 1.6: Slider s přímým ovládáním motoru [6]

---

# Analýza

Analytická část práce je rozdělena na sekci:

- mechanickou,
- hardwarovou,
- softwarovou.

Mechanická část analyzuje konstrukční možnosti a způsoby posuvu. Hardwarová část rozebírá volbu řídicí jednotky, senzorů, napájení a motoru. Softwarová část volí programy a jazyky, ve kterých bude provedena implementace.

Samostatnou částí je sekce o uživatelském rozhraní, která rozhoduje o volbě komunikace mezi posuvníkem a uživatelem.

## 2.1 Mechanická část

Tato sekce analyzuje možnosti mechanické části posuvníku. To lze rozdělit na dvě části: posuvný a vlečný systém. Posuvný systém je hlavní konstrukcí celého posuvníku. Vlečný systém je nadstavba nad touto konstrukcí, která je základem pro automatizovaný posuv vozíku.

### 2.1.1 Posuvný systém

Posuvný systém je základním určujícím rysem celého posuvníku. Prvotně jde o nějaký druh kolejnic nebo desky, které povedou vozík v jednom směru. Dále sem patří i desky, na které se upevní případné kolejnice a které celou konstrukci drží pohromadě. V neposlední řadě sem patří samotný vozík. Při volbě materiálu na tuto část je třeba sledovat tyto parametry:

- pevnost,
- hmotnost,

## 2. ANALÝZA

---

- cena,
- dostupnost.

Tyto parametry jsou ovlivněny jak materiálem, tak způsobem, kterým je posuvný systém realizován. Podrobnější popis jednotlivých možností je uveden v následujících podkapitolách.

### 2.1.1.1 Trubky / tyče

Jednou z možností je použít trubky jako kolejnice, které povedou vozík. V tomto kontextu jsou uvažovány trubky kruhového průřezu. Materiál může být buď nějaký kov nebo plast. Kovové materiály mají výhodu vyšší pevnosti a odolnosti při manipulaci. Na druhou stranu jsou těžké a korodují. Chceme-li se těchto nežádoucích vlastností zbavit, je třeba volit kvalitnější kovy, což znamená vyšší cenu. Naproti tomu jsou plastové trubky lehké, snadno se opracovávají a nejsou náchylné na vlhkost. Nevýhodou je nízká pevnost a křehkost.

Látka	Hustota ( $kg.m^{-3}$ )	Cena (Kč/kg)
Bronz	7800 - 8800	95
Dural	2800	31
Hliník	2700	31
Měď	8960	118
Ocel	7850	60
PVC	1370	40

Tabulka 2.1: Vlastnosti materiálů [13] [14]

Sloučenin a slitin existuje mnoho, nicméně ne z každé se vyrábí trubky kruhového průřezu a o vhodném průměru, které by se hodily na výrobu slideru. Průměr trubek by měl být zhruba kolem 20 milimetrů. Za tohoto předpokladu se ihned nabízí například měděná, topenářská trubka o průměru 22 mm. Výhodou je její vysoká dostupnost na trhu, je to běžný stavební materiál. Avšak tento materiál není zcela vhodný pro tuto práci, a to hlavně kvůli jeho třem zásadním nevýhodám. Za prvé je to relativně vysoká cena, která se pohybuje mezi 140 a 200 Kč za metr. Druhým problémem je poměrně nízká pevnost mědi, což je u slideru závažné, jelikož je třeba co největší pevnosti. Posledním problémem je i vysoká hustota mědi (tabulka 2.1), z čehož plyne i její vysoká hmotnost. Místo mědi je výhodné použít jiný materiál s lepšími vlastnostmi, hlavně s vyšší pevností a nižší hmotností při stejném objemu.

Ideální náhradou je nějaká slitina hliníku. Slitina proto, že čistý hliník má poměrně nízkou pevnost a také se z něj vyrábí trubky vhodných rozměrů. Do čistého hliníku se přidávají různé prvky ovlivňující jeho pevnost, tvrdost, odolnost vůči korozi či tvárnost. Jednou z nejpoužívanějších slitin hliníku je



jeho směs s mědí a hořčíkem, známá pod obchodním názvem dural. Využívaný je v automobilovém nebo leteckém průmyslu zejména kvůli jeho lehkosti a pevnosti. Tento materiál řeší i problém vysoké hustoty mědi.

Podobných vlastností jako dural dosahuje i slitina hliníku, hořčíku a křemíku, běžně označovaná jako pantal. Na rozdíl od duralu má tento materiál velmi dobrou korozní odolnost [15], což je u slideru vhodné, neboť bývá používán ve venkovním prostředí. Pevnost je sice o něco nižší, ale to není takový problém, pokud se slider příliš nepředimenzuje a trubky nejsou moc dlouhé.

Slitina hliníku má oproti mědi výhodu nižší ceny. Výkupní cena mědi je zhruba 120 Kč za kilo, směsi hliníku cca 30 Kč za kilo. V tabulce 2.1 jsou ceny jednotlivých materiálů za 1 kg. Ceny jsou pouze orientační, jedná se o výkupní ceny kovů ze dvou zdrojů a oba se pohybují na stejných cenách [16] [14]. Jeden metr pantalové nebo podobné trubky, uřízlé na požadovanou délku, vyjde zhruba třikrát levněji než metr měděné trubky.

Plastová trubka, například z PVC, má nízkou hmotnost a je relativně levná a dostupná na trhu. I přes tyto výhody však není vhodné ji použít na tento posuvník, a to kvůli její nízké pevnosti, kdy se snadno prohne již při malé zátěži.

Obdobná pravidla lze aplikovat i na tyče (pokud se z daného materiálu vyrábí), avšak zde je možné je ihned zavrhnout, neboť oproti trubkám nepředstavují žádnou podstatnou výhodu. Naopak jsou zbytečně těžší. Dalo by se sice říci, že jsou pevnější, ale pro tento typ posuvníku, který poveze běžnou zrcadlovku o hmotnosti maximálně několika kilogramů, je to zbytečné. Stačí použít trubku a pevnost si určit tloušťkou její stěny.



(a) Lineární ložisko [17]



(b) Kolečko s prohnutým profilem [18]

Obrázek 2.1: Součástky k přichycení na trubky

Vozík pro tento typ kolejnic může mít buď lineární ložiska, která obepínají celou trubku, nebo kolečka. Ložiska (obr. 2.1a [17]) mají výhodu pevného uchycení na kolejnici a vozík z nich nemůže spadnout. Jejich nevýhodou je

vyšší náchylnost na rovnost kolejí. Při prohnutí trubky by pak ložiska dřela a posuv by nebyl jemný. Zároveň se vozík nedá z kolejí snadno sundat, pokud by to bylo potřeba. Další nevýhodou je, že trubky nemohou být upevněny k pevnému podkladu na více místech, než jen na krajích. Dráha, po kterých ložisko jede, musí být po celé délce hladká a bez překážky.

Kolečka lze umístit na koleje několika způsoby. Buď seshora, z vnitřní strany nebo více koleček z několika stran. První možnost je jednoduchá a vozík lze z kolejí snadno sundavat, což je zároveň i nevýhoda, slider nelze například otočit vzhůru nohama a vozík při prudších změnách pohybu může vypadnout. Na rozdíl od ložisek lze v tomto případě trubky upevnit na pevný podklad v kterémkoliv místě. Hladká musí být pouze horní strana trubky, po které jede kolečko. Při zvolení vhodného profilu koleček (obr. 2.1b [18]) je způsob uchycení z vnitřní strany lepší. Vozík je pevně fixován na koleje, celý posuvník lze otočit vzhůru nohama a zároveň mohou být trubky upevněny k pevnému podkladu na jakémkoliv místě, nebrání-li pojezdu kolečka po vnitřní straně. Poslední způsob uchycení je nejnáročnější na výrobu a nepřináší mnoho výhod oproti předchozím. Jedna „náprava“ vozíku zde nemá dvě kolečka, ale třeba čtyři – dvě na každé straně. Ty jsou umístěny například naproti sobě (seshora a zespoda) a tím svírají trubku.

### 2.1.1.2 Kolejnice

Další možností je realizovat posuvný systém jako standardní kolejnice, podobně jako železnice. Zde platí, že musíme sledovat stejné parametry jako v podkapitole 2.1.1.1. Tyče mohou být upevněny na koncích a nebo mohou celé ležet na podkladové desce. První možnost se zbavuje váhy desky, na druhou stranu není konstrukce tolik pevná. U druhé možnosti je deska po celé délce kolejí a tyče se na ni připevní v několika místech. Tím odpadá problém ohýbání tyčí a celá konstrukce je velmi robustní. V tomto případě lze použít i plastové tyče, například z PVC.

Uchycení vozíku je zde možné jen shora. Kolečka musí mít rovný profil na rozdíl od řešení s kruhovými trubkami. Zároveň musí mít nějaký vodící prvek, aby nesjela z kolejí – podobně jako kola u vlaku. Problémem celého tohoto řešení je za prvé dostupnost materiálu. Kruhové trubky různých rozměrů lze sehnat snáze než takto profilované tyče, jelikož je to běžnější materiál. Kolečka, která přesně sedí na daný profil tyče a mající vodící prvky, aby z tyče nesjela, je obtížnější sehnat, než kolečka s prohnutým profilem. Tato kolečka s prohnutým profilem jsou často používána například v kladkách a nalézt velikost odpovídající kruhové trubce je snazší. Druhým problémem je volné uchycení vozíku na koleje. Posuvník nelze převracet a nevhodnou manipulací může vozík vykolejit.

### 2.1.1.3 Profil s drážkami

Profilem s drážkami je zde myšlen kovový, obdélníkový profil, který má drážky po stranách. Příklad je na obrázku 2.2 [7]. Drážky mohou být buď zapuštěné nebo vystouplé. Od toho se odvíjí druh koleček, použitých na vozíku. Použití takového specifického typu profilu znamená, že se velmi omezuje výběr materiálu. Plast lze rovnou vyloučit, neboť do této formy se nezpracovává a nebo nevhodně pro tento účel. Materiál, ze kterého jsou tyto profily vyráběny, je většinou slitina hliníku – to je na tuto práci ideální, jak je popsáno v odstavci 2.1.1.1.



Obrázek 2.2: Kovový profil s drážkami [7]

Výhodou tohoto řešení je, že profil lze použít několika způsoby. Buď jako tzv. monorail (jeden profil, který vede vozík), nebo podobně jako trubkové kolejnice. Kolečka lze umístit do drážek z horní i boční strany a posuvík je tak možné otáčet všemi směry a vozík nespadne. Kolečka pro takovýto typ profilu, jsou však jedním z problémů. Sehnat kolečka přesně sedící do drážky na daném profilu je obtížné. Také vozík musí přesně sedět na profil. V neposlední řadě je to i cena těchto komponent. Jedná se přeci jenom o specifičtější součástky, a tak jsou dražší, než například běžné trubky.

### 2.1.1.4 Deska s mantinely

Zcela jiným způsobem řešení je úplné odstranění kolejnic. Vozík pojede přímo po podkladové desce obyčejnými kolečky. Po stranách desky musí být mantinely, které povedou vozík v jedné ose. Těchto mantinelů se musí vozík přímo dotýkat, nebo po nich z vnitřní strany pojede dalšími kolečky.

Toto řešení by mělo smysl, pokud by se jednalo o nějaký stacionární posuvník. Přenášení slideru, který má po celé délce desku a zároveň vodící mantinely, je přinejmenším nepraktické. Zároveň má toto řešení celkovou vyšší hmotnost. Konstrukčně je naopak tento způsob relativně jednoduchý.

### 2.1.1.5 Materiál na desky

Kolejnice, či podobný vodící prvek, se musí upevnit na nějaký podkladový materiál. Pokud ne, je nutné koleje aspoň spojit na koncích, aby byly rovnoběžné. Zároveň je tato deska použita na stavbu vozíku. Možnosti materiálů jsou zde široké. Může se použít:

- kov,
- dřevo,
- materiál na bázi dřeva,
- plast.

Kovové desky mohou být hliníkové, železné, měděné apod. Ideální jsou hliníkové. Jsou relativně levné a hlavně lehké na rozdíl od železných, které jsou těžké, a měděných, které jsou drahé i těžké. Použije-li se vhodná slitina, je výhodou také jejich pevnost. Na druhou stranu se hůře opracovávají a bývají náchylné na vlhkost, korodují a musí se lakovat.

Použití surového dřeva má výhodu v snadné opracovatelnosti a dostupnosti tohoto materiálu. Dřevo po nalakování vydrží vlhkost. Ve stavebnictví a konstrukci nábytku nebo modelů se častěji používá materiál na bázi dřeva. Tím jsou různé typy lisovaného dřeva. Jedním z takových je MDF (polotvrdá dřevovláknitá deska, viz obr. 2.3a). Je to alternativa k obyčejnému masivnímu dřevu. Vyrábí se rozsekáním jeho zbytků do vláken, která se pak za vysokého tlaku a teploty slisují do desek [19]. Výhoda těchto desek je hlavně v pevnosti a snadné opracovatelnosti.



(a) MDF deska



(b) Dřevotřísková deska

Obrázek 2.3: Srovnání MDF a DTD

Problémem MDF může být její vysoká hustota, a tudíž i hmotnost. Nejpodstatnější překážkou je však špatná dostupnost tohoto materiálu v takto

malém množství. Jelikož se jedná o celkem specializovaný produkt, je dodáván často na objednávku a se stanoveným minimálním odběrovým množstvím. Zároveň je to i drahé, na což se v této práci bere ohled.

Vhodným materiálem, který lze použít místo MDF, je DTD (viz obr. 2.3b), neboli dřevotřísková deska. Ta je také snadno opracovatelná a tedy vhodná na domácí zpracování. Má také nižší hustotu. Podobně jako u MDF je DTD rovněž lisovaným materiálem. Vyrábí se roztřískováním dřeva, avšak na větší kusy než u MDF, které se následně lepí a lisují. Nevýhodou je nižší pevnost oproti MDF, což lze vykompenzovat vyšší tloušťkou desky. Dřevotříska je zároveň velmi dostupným a levným materiálem.

Poslední možností je použít desky plastové. Jsou-li dostatečně široké, tak jsou i pevné. Opracování je také snadné. U kvalitních, lehčených plastů je problémem jejich cena. Zároveň je však plast obecně měkčí než dřevo a při manipulaci se například snáz vyviklají otvory na šrouby a konstrukce postupně ztratí na pevnosti.

#### 2.1.1.6 Shrnutí a volba posuvného systému

Po zvážení všech možností realizace posuvného systému je zvoleno následující řešení:

- pantalové (duralové) trubky na kolejnice,
- kolečka s prohnutým profilem, jedoucí po vnitřní straně kolejí,
- dřevotřísková upevňovací a vozíková deska.

DTD je zvolena kvůli její ceně, dostupnosti a snadné opracovatelnosti. Pantalové trubky představují ideální materiál co se týče pevnosti, dostupnosti a ceny. Umístění vozíkových koleček z vnitřní strany kolejí umožňuje pevné uchycení vozíku, a tudíž lze slider obracet.

#### 2.1.2 Vlečný systém

Vlečný systém zahrnuje veškeré mechanické součásti, které umožňují motorizovaný pohyb vozíku. Tato sekce určí, jaký systém je nejvýhodnější na použití pro tuto práci. Hlavními sledovanými parametry tohoto systému jsou:

- spolehlivost,
- rychlost posuvu (zpřevodování),
- náročnost konstrukce,
- cena,
- dostupnost materiálu.

### 2.1.2.1 Závítová tyč

Použití závítové tyče je jeden ze způsobů, jak převést otáčivý pohyb na posuvný. Motor je umístěn na jednom konci posuvníku a jeho hřídel je připojena na závítovou tyč (obr. 2.4 [8]). Zde je třeba uvažovat stoupání závitů tyče. Tento parametr bývá nejčastěji udáván v milimetrech a značí vzdálenost dvou sousedních závitových vrcholů, tedy vzdálenost, o kterou se posune matice, pokud se závit otočí o 360 stupňů. Například standardní stoupání závitů o průměru 10 mm je 1.5 mm (viz ISO 261 [20]). Zvolíme-li si dále rychlost otáčení motoru třeba 1000 otáček za minutu, spočítáme rychlost posuvu následujícím vzorcem:

$$v = p * \frac{R}{60} = 1.5 * \frac{1000}{60} = 25 \text{ mm} * \text{s}^{-1},$$

kde  $p$  je stoupání závitů a  $R$  je počet otáček za minutu. Výsledkem je, že matice se při této rychlosti otáčení posune po závitě o 25 mm za jednu sekundu.



Obrázek 2.4: Závítová tyč [8]

Z toho plyne, že samotná závítová tyč poskytuje vysoké zpřevodování u standardního závitů. To může být jak k užtku, tak na škodu. Pokud chceme extrémně precizní a pomalý posuv, je toto řešení ideální. Chceme-li však zároveň s vozíkem pojíždět i rychleji, je tyč nevhodná. Další nevýhodou je, že tyč musí být po celé délce pojezdové dráhy, tudíž je těžká. V důsledku se může i prohnut a způsobit nerovnoměrný tlak na vozík při pojezdu.

### 2.1.2.2 Ozubený řemen

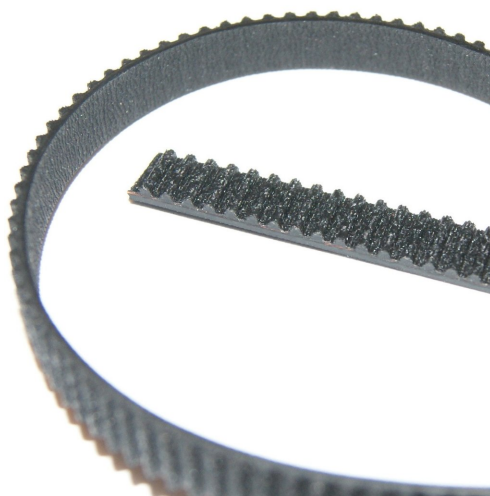
Druhou možností je použít ozubený řemen. Ten se často používá v podobných zařízeních, například u 3D tiskáren, CNC strojů a jiných robotických mechanismech. Výhodou je snadnější konstrukce, řemen je možné ohýbat. Také neváží tolik jako závítová tyč.

Další podstatnou výhodou je vysoce variabilní možnost zpřevodování. To se odvíjí od volby řemenice. Čím větší je její průměr, tím vyšší rychlosti můžeme dosáhnout při stejných otáčkách motoru, avšak na úkor síly. Následujícím

jednoduchým vztahem lze vypočítat rychlost posuvu řemenu, známe-li průměr řemenice a rychlost otáčení motoru:

$$O = \pi d,$$
$$v = O \frac{R}{60},$$

kde  $d$  je průměr řemenice v centimetrech,  $R$  je počet otáček motoru za minutu a  $v$  je výsledná rychlost v centimetrech za sekundu.



Obrázek 2.5: Ozubený řemen



Obrázek 2.6: Řemenice



Obrázek 2.7: Motor na vozíku [4]



Obrázek 2.8: Stacionární motor [9]

U tohoto řešení je důležité zvážit umístění motoru. Zde jsou dvě možnosti. Buď stacionární uchycení na jednom konci posuvníku, nebo přímo na vozíku. První volba má výhodu snazší konstrukce – motor s řemenicí je na jedné straně, volnoběžné kolečko na straně druhé a mezi nimi je dokola natažen řemen. Vozík je pak k řemenu napevno uchycen. Druhá možnost s motorem na vozíku má tu výhodu, že samotný řemen není pohyblivý. Je připevněn na obou koncích posuvníku a podél dráhy posuvu vede jen jeden konec, není tedy spojen ve smyčce. Vozík se tak po řemenu sám posouvá místo toho, aby byl posouván pohyblivým řemenem. Nevýhodou této možnosti je složitější konstrukce, kdy je potřeba na vozíku dalších volnoběžných koleček pro usměrnění řemenu. Také je problém, jak přivést k motoru napájecí dráty. Nelze je nechat jen tak volně, vozík je pak za sebou tahá a překáží mu nebo se mohou zachytit. Z tohoto hlediska je lepší první způsob. Tyto možnosti jsou znázorněny na obrázku 2.7 [4] a 2.8 [9].



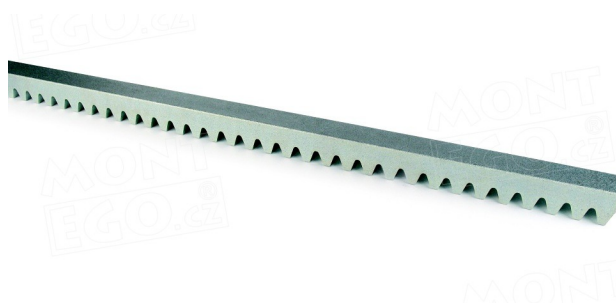
### 2.1.2.3 Lanko

Princip posuvu s lankem je podobný ozubenému řemenu. Na jedné straně dráhy je motor s bubnem, na který se navíjí ocelové lanko. Na druhé straně je volnoběžné kolečko. Oba konce lanka jsou přidělány k bubnu a při otáčení se jeden konec navíjí a druhý odvíjí. Vozík je k lanku pevně uchycen a tím je posouván.

Výhodou je stále relativně jednoduchá konstrukce a dostupnost materiálu, avšak složitější, než u ozubeného řemene. Je komplikovanější sehnat a vhodně uchytit navíjecí buben ke konstrukci, narozdíl od řemenice. Nevýhoda je, že lanko není pružné, což znamená, že se při rychlých změnách tahu neprotáhne. To se může projevit vyšším šhubáním vozíku, například při změně směru. Naproti tomu možnost s gumovým ozubeným řemenem tento problém řeší.

### 2.1.2.4 Ozubená lišta

Toto řešení je podobné ozubenému řemenu s motorem na vozíku. Zde je ovšem místo řemene použita kovová ozubená lišta, po které jede kolečko motoru, který je na vozíku. Platí, že lišta není pružná jako řemen a nemůže se tedy protahovat při rychlých změnách tahu. Dále je problémem i složitější konstrukce – lišta s kolečkem motoru musí po celé dráze perfektně lícovat. V neposlední řadě je nevýhodou hmotnost lišty, postupné opotřebování ozubení, koroze materiálu a vysoká cena, která se pohybuje kolem 1000 Kč za metr (viz [10]).



Obrázek 2.9: Ozubená lišta [10]

### 2.1.2.5 Shrnutí a volba vlečného systému

Po zvážení všech možností realizace vlečného systému je zvoleno následující řešení:

- ozubený řemen,
- motor umístěn na jedné straně posuvníku.

Ozubený řemen je pro tento účel nejvýhodnější, neboť se používá na podobná zařízení a je snadno dostupný i se všemi potřebnými součástkami. Nejlevnější je objednat tyto komponenty online z Číny, například na e-shopu eBay, kde je největší výběr. Nutno objednávat s předstihem a počítat s delší doručovací dobou kolem 3 až 4 týdnů. Umístění motoru stacionárně mimo vozík je nejjednodušší na výrobu. Dráty lze pak lépe svázat a nepřekáží vozíku.

### 2.1.3 Uchycení fotografického zařízení

Uchycení fotoaparátu na vozík musí být pevné a kompatibilní s jeho standardním závitem. Je možné zvolit dva přístupy. První možností je přímé uchycení, tedy přišroubování kamery rovnou k vozíku. Nevýhodou je obtížná manipulace, kameru nelze naklánět, ani otáčet.

Druhou možností je na desku vozíku připevnit tzv. stativovou hlavu, což je uchycovací mechanismus, který je na běžných fotografických stativch. Obvykle je s tímto mechanismem možné otáčet ve více osách, tudíž je možné fotoaparát nastavit přesně podle potřeb. Z tohoto hlediska je druhá možnost nejlepší, neboť slider tak může být i v nakloněném stavu, případně lze fotoaparát nasměrovat například na cíl, který je nad ním.

## 2.2 Uživatelské rozhraní

Komunikaci s uživatelem lze pojmout těmito způsoby:

- ovládání pouze z PC,
- ovládání pouze přes externí ovládací prvky (tlačítka / joystick, display),
- kombinovaný způsob.

### 2.2.1 Ovládání z PC

Výhoda ovládání posuvníku čistě z PC je v širokých možnostech uživatelského rozhraní. V grafickém prostředí lze snadno nastavovat parametry posuvu a provádět složitější funkce. Nevýhodou je, že slider není autonomní a stále musí být připojen k počítači. To není příliš praktické vzhledem k tomu, že posuvník se používá převážně venku a neustálé nošení počítače je nevhodné. Pro tento přístup je fyzickým rozhraním klávesnice a myš.

### 2.2.2 Ovládání přes externí periferie

Možnost ovládání zcela bez PC je snazší na implementaci, neboť není třeba programovat aplikaci na PC. Ovládání je poskytováno přes periferie, čistě připojené k posuvníku. Tím může být nějaký display, tlačítka, joystick, aj. Nevýhodou je složitější implementace přívětivého uživatelského rozhraní. Mikrokontrolér nebo jednodeskový počítač, kterým může být slider ovládán (viz 2.3.1),

standardně nepodporuje grafické funkce a má malou programovou paměť. Z této nevýhody plyne i to, že je v tomto omezeném grafickém rozhraní ne snadné implementovat složitější interakci s uživatelem. Jedinou výhodou je úplná nezávislost na dalších zařízeních.

### 2.2.3 Kombinované ovládání

Poslední přístup kombinuje obě předchozí možnosti. Složitější uživatelské rozhraní je implementováno v PC aplikaci. Zadaná data se pak odesílají do mikrokontroléru, kde se mohou buď rovnou vykonat, nebo se uloží do paměti na později. Pomocí jednoduchého rozhraní přímo na posuvníku pak uživatel ovládá triviální funkce, nebo spouští ty, co byly nahrané do paměti z PC. Výhoda je, že uživatel nemusí nosit PC do terénu, ale nahraje funkce do slideru předem.

### 2.2.4 Shrnutí a volba uživatelského rozhraní

Pro tuto práci je zvolena možnost kombinovaného ovládání. Představuje nejlepší kompromis mezi náročností implementace a funkcemi, které může poskytovat. Externími periferiemi jsou joystick a displej. Joystick je lepší volbou než obyčejná tlačítka, jelikož dokáže jejich funkci v tomto případě nahradit a zároveň poskytuje i analogový vstup.

PC aplikace je v tomto případě jednoduché rozhraní, kterým lze pohodlně zadávat složitější konfigurace posuvů.

## 2.3 Hardwarová část

Při implementaci hardwarové části, tedy řídicí elektroniky, je nutné zvážit, čím se bude celý slider řídit, tedy jaký mikrokontrolér nebo desku s mikrokontrolérem pro jeho ovládání zvolit. Důležitá je rovněž volba motoru, který bude zajišťovat pohyb vozíku. Od volby motoru se odvíjí volba způsobu jeho ovládání.

Aby vozík nemohl vyjet mimo kraje plošiny a případně poničit konstrukci, měla by být plošina vybavena senzory detekujícími jeho koncovou polohu. Plošina bude autonomně ovládána pomocí joysticku, zbývá ale rozhodnout, zda použitý displej bude textový nebo grafický a případně jakého bude podtypu. V neposlední řadě je potřeba rozhodnout, jakým způsobem bude plošina napájena a jak bude provedena deska plošných spojů.

V této sekci jsou probrány možné varianty řešení hardwarové části a na základě toho zvoleno příslušné řešení.

### 2.3.1 Centrální řídicí jednotka

Řízení motoru, senzorů a komunikaci s uživatelem musí zajišťovat nějaká digitální logika. K tomu se nejlépe hodí mikrokontrolér nebo mikroprocesor. Tyto dva se liší tím, že mikroprocesor obsahuje pouze samotné CPU, kdežto mikrokontrolér má navíc i vestavěné periferie jako RAM, ROM, EEPROM nebo I/O porty. Vhodné je proto zvolit mikrokontrolér. Ty můžeme rozdělit na následující skupiny dle výrobců:

- PIC – Microchip,
- AVR – Atmel (Microchip),
- ARM – ARM Holdings,
- STM32 – ARM Holdings.

Tyto čipy je možné použít buď samostatně nebo na již hotových plošných spojích, které obsahují další podpůrné součástky. Takovéhle spoje se běžně nazývají *development board* nebo *prototype board*. Česky jej lze nazvat jako *jednodeskový počítač*.

#### 2.3.1.1 Samostatný mikrokontrolér

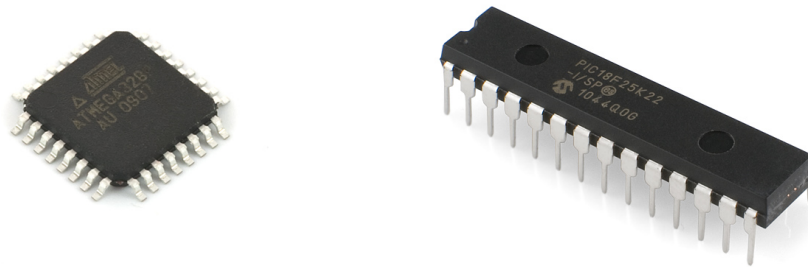
Použití samostatného mikročipu s sebou přináší různé výhody i nevýhody. Plusem je, že máme mnohem větší možnost výběru konkrétního čipu. Podle nároků tak můžeme vybrat čip s ideální velikostí paměti, taktem procesoru, počtem bitů datové sběrnice nebo registrů, spotřebou nebo procesorovou architekturou (harvardská / von Neumannova).

Mikrokontroléry PIC jsou 8 až 32 bitové s RISC architekturou. Jejich výhodou je malá a jednoduchá instrukční sada, vestavěný oscilátor s konfigurovatelnou frekvencí. Jsou levné a dostupné v DIL pouzdrech, což je činí vhodnými na amatérské práce a experimentování. Nevýhodou je střadačová architektura a nemožnost adresovat přímo celou RAM. Registry procesoru jsou rozděleny do několika „bank“, mezi kterými je nutné se pomocí speciální instrukce přepínat, což zpomaluje efektivní běh programu. Čip je možné programovat buď v assembleru, nebo v jazyce C.

AVR čipy jsou většinou 8 bitové nebo 32 bitové. Jsou podobné řadě PIC, liší se především instrukční sadou. Registry zde nejsou rozděleny do bank, což usnadňuje práci v assembleru. Nejčastěji se však píše v jazyce C, pro který je vyvinutý dobrý překladač i vývojové prostředí od Atmelu. Ze zmíněných mikrokontrolérů jsou AVR asi nejznámější, existuje na ně mnoho knihoven a mají početnou komunitu. Jsou to vhodné čipy pro amatérské projekty.

ARM se od předcházejících liší svým využitím. Je spíše pro profesionální, proprietární projekty nebo RTS (real-time system). Jsou většinou 32 nebo 64

bitové. Disponují vyšší výpočetní silou oproti čipům PIC a AVR a celkově jsou komplexnější.



(a) AVR ATmega v TQFP pouzdře [21]      (b) PIC18F25 v DIL pouzdře [22]

Obrázek 2.10: Příklady pouzder mikrokontrolérů

Zvolíme-li cestu samostatného mikrokontroléru, výběr čipu se zúží na AVR a PIC. Je to z důvodu jednoduchosti těchto čipů a jejich nízké ceny. Navíc se zde nevyužije vyšší výpočetní schopnosti ARM čipů. Nevýhodou je však nutnost navrhnout veškeré podpurné obvody pro jejich chod. Je tím například napájení, které musí být stabilizované, většinou na 5 voltů. Dalším kritériem je možnost připojení k PC. Byť tyto čipy podporují běžný sériový protokol, je nutné mít v obvodu alespoň RS232 konektor. Ten je ovšem celkem nepraktický, jelikož jej dnes již většina počítačů nemá, proto je lepší rozhraní USB. K tomu už je potřeba další čip (např. od FTDI), který převádí tyto protokoly. Zároveň programování tohoto čipu je možné jen přes speciální piny, na což je potřeba externí zařízení, které už něco stojí. Ideální je, pokud čip lze programovat přímo z RS232, nebo ještě lépe z USB. Tyto problémy přesně řeší jednodeskové počítače rozebrané v následujícím odstavci 2.3.1.2.

### 2.3.1.2 Jednodeskový počítač

Jednodeskový počítač je ve své podstatě jen plošný spoj, zprostředkovávající funkce mikrokontroléru. Obvykle obsahuje stabilizátor napětí, takže jej lze napájet neregulovaným napětím v určitém rozsahu. I/O piny jsou z mikrokontroléru vyvedeny na větší piny nebo zdířky. Deska se tak dá zasunout například do nepájivého pole, do dalších zdířek nebo se lze k pinům připojit DuPont<sup>1</sup> dráty. Na plošném spoji je také často USB konektor, přes který je možné čip napájet a programovat, nebo alespoň snadno dostupné programo-

<sup>1</sup>krátké propojovací kabely se zdířkami nebo piny na koncích

## 2. ANALÝZA

---

vací piny. Dvě desky, které dnes jednoznačně dominují trhu s jednodeskovými počítači jsou Raspberry a Arduino.

Raspberry je rodina mikropočítačů založených na procesorech ARM. Je to plnohodnotný počítač, na kterém běží unixový operační systém. Má HDMI, ethernetový konektor RJ45, USB a další porty. Oproti klasickému počítači má navíc GPIO porty, kterými lze ovládat externí obvody, nemá však analogové piny kvůli absenci AD převodníku. Vzniklo několik verzí, namátkově model A, B, Pi 2 nebo Pi 3. Nejzajímavější pro tuto práci je z poslední doby model Zero. Jeho hlavním marketingovým tahem je to, že se chlubí cenovkou pouhých 5 dolarů. Navíc má 40 GPIO pinů. Problémem je, že na práci tohoto rozsahu je mikropočítač s 1 GHz procesorem, 512 MB RAM a schopným rozběhnout plnohodnotný operační systém, zbytečný.

Platforma Arduino je mnohem jednodušší než Raspberry. Jedná se opravdu o čistý AVR mikrokontrolér doplněný o nejnужnější obvody a s vyvedenými I/O piny. Arduino je levné, přívětivě programovatelné v jazyce podobném jazyku C a existuje na něj velké množství knihoven. Zároveň je celý projekt Arduino open-source. Z toho plyne i existence velkého množství neoficiálních klonů, zejména čínských, které se prodávají za téměř symbolické ceny. Tyto desky jsou však tak jednoduché, že se vyplatí si koupit klon, který stojí 60 Kč místo oficiálních 450 Kč. Čip je dostatečně spolehlivý a lze jej dokonce programovat i přes oficiální vývojové prostředí. V případě chybného chodu jej lze vyměnit za nový a stále to vyjde levněji, než si pořizovat originál.

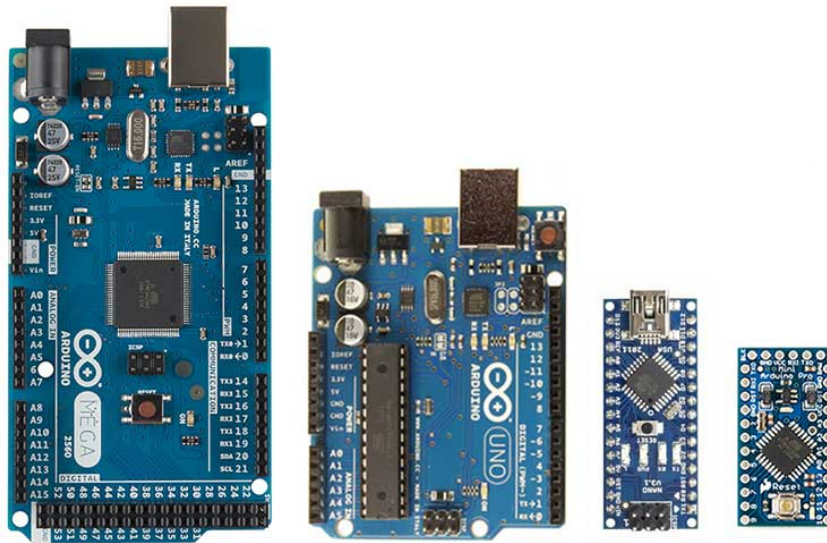
Je na výběr z několika verzí Arduina [23]. V tabulce 2.2 a 2.3 je výběr zúžen na srovnání těch základních a nejpoužívanějších. Nejzajímavěji vypadá verze Mega2560 s velkou pamětí flash i EEPROM, avšak má zásadní nevýhodu. Tou je její fyzická velikost a nevhodné typy pinů (zdířkové, neboli „samice“). Připojení periférií by muselo být přímo přes dráty, což je velmi nepraktické a nespolehlivé – snadno se může propojení přerušit. Stejný problém má i verze Uno.

Název	Frekvence (MHz)	Digitální piny	Analogové piny
Mega2560	16	54	16
Pro Mini	8 (16)	14	6
Uno	16	14	6
Nano	16	14	6

Tabulka 2.2: Příklady verzí Arduina

Název	Flash (kB)	EEPROM (kB)	USB
Mega2560	256	4	Regular
Pro Mini	32	1	-
Uno	32	1	Regular
Nano	32	1	Mini

Tabulka 2.3: Srovnání paměti a USB rozhraní



Obrázek 2.11: Arduino Mega2560, Uno, Nano a Pro Mini

Lepší možností je Nano nebo Pro Mini. Tyto desky už jsou rozměrově malé, ale mají stále dostatek pinů, které jsou navíc kolíkového typu („samec“) a celé Arduino lze lehce zasunout do vhodného konektoru. Zbývajícím rozdílem je pouze USB port, respektive jeho absence u verze Pro Mini.

### 2.3.1.3 Shrnutí a volba centrální řídicí jednotky

Finální volbou centrální řídicí jednotky je Arduino Nano. Známé verze Mega2560 nebo Uno jsou zbytečně velké a mají nevhodný typ pinů. Typ Pro Mini zase nemá USB rozhraní. Řešení se samostatným mikrokontrolérem je zbytečně složité kvůli nutnosti periferních obvodů. I přes dobré parametry (velké množství I/O pinů), je Raspberry Zero pro tuto práci zbytečně předimenzované. Jednodeskové počítače typu Arduino s mikrokontroléry PIC neexistují nebo se jedná pouze o prototypovací desky, které nejsou vhodné k nasazení do reálného projektu. Arduino je z podobných platforem zdaleka nejrozšířenější, s největší komunitou a množstvím knihoven.

### 2.3.2 Motor

Prioritou volby motoru je, aby měl jednoduché rozhraní pro digitální řídicí jednotku. Měl by být snadno dostupný a levný. Musí být schopný vykonávat přesný posuv, aby bylo možné měřit ujetou vzdálenost. Zároveň musí mít dostatečný točivý moment, aby udržel vozík s kamerou i na nakloněném posuvníku.

#### 2.3.2.1 DC / AC motor

Obyčejný DC motor je velmi jednoduchý. Rychlost jeho otáčení se ovládá pouze změnou napětí. Na změnu směru už je potřeba speciální obvod zvaný H-můstek. K ovládnutí z digitální logiky je nutný externí driver, který převádí číslicové hodnoty na analogové. Jeho největším problémem je nemožnost jednoduchého a velmi přesného posuvu. Při stejném napětí a různé zátěži se motor točí jinak rychle. V digitální logice tak není možné přímo odvodit uraženou vzdálenost bez další zpětné vazby.

U AC motorů platí stejné vlastnosti, navíc však potřebuje střídavý regulátor, který ze stejnosměrného napětí udělá střídavé a změnou jeho frekvence reguluje rychlost.

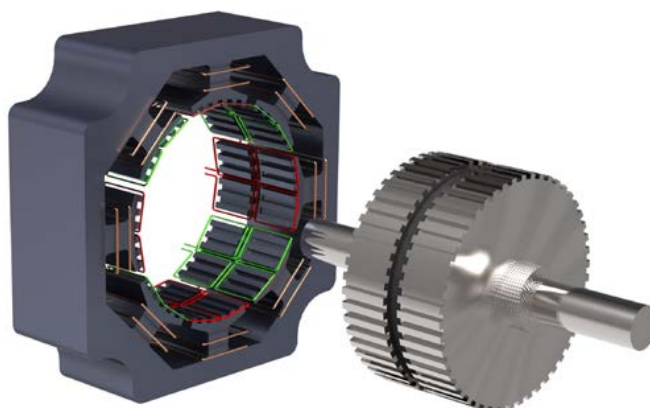
#### 2.3.2.2 Krokový motor

Nevýhody nepřesného pohybu DC a AC motorů řeší krokový motor. Ten pracuje na jiném mechanickém principu. Stator má po svém obvodu zuby, do kterých zapadají zuby rotoru (obr. 2.12 [11]). Pokud se do cívek v motoru pustí proud určitým způsobem, rotor se posune o jeden zub, neboli krok. Zvolí-li se vhodný driver mezi motorem a řídicí jednotkou, nejsou potřeba další senzory pro zpětnou vazbu o otáčení. Čipu stačí jen sledovat počet kroků, které motor udělal. Z tohoto důvodu jsou krokové motory převážně využívány v robotických zařízeních, vyžadujících přesný pohyb.

Nevýhodou těchto motorů je, že mohou rezonovat a být relativně hlučné. Dále je při malém počtu zubů ve vnitřním mechanismu pohyb trhaný. Tento problém řeší pokročilejší drivery, které podporují tzv. *microstepping*, neboli mikrokroky. To funguje tak, že cívky motoru jsou napájeny proporcionálně a rotor se tak nachází v „mezifázi“ mezi celými kroky. Zuby rotoru a statoru do sebe v tu chvíli přesně nezapadají.

Populární volbou pro amatérské projekty jsou motory NEMA 17 a driver A4988. Jejich výhodou je cena a rozšířenost, například u stavebnic 3D tiskáren. Motor stojí na eBay okolo 240 Kč a driver zhruba 30 Kč. Takto nízké ceny jsou nepřekvapivé u produktů z Číny, doprava proto trvá 3 až 4 týdny. Driver A4988 je ideální rozhraní mezi čipem a motorem. Ovládnutí probíhá tak, že se jedním pinem určí směr otáčení a druhým pinem se při náběžné hraně signálu motor posune o jeden krok (případně mikrokrok).



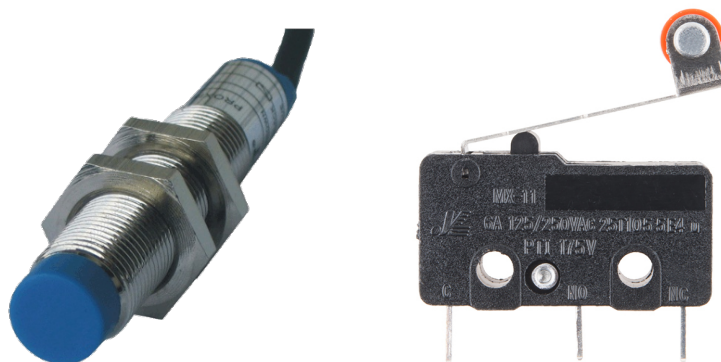


Obrázek 2.12: Krokový motor [11]

### 2.3.2.3 Shrnutí a volba motoru

Pro tuto práci je nejvhodnější krokový motor s příslušným driverem, kvůli snadnému ovládní z mikrokontroléru a nízké ceně. Motor také nepotřebuje složitý zpětnovazební systém pro ovládní přesného pohybu. Dobrou volbou je běžný krokový motor NEMA 17, který je dostatečně výkonný, aby utáhl zátěž vozíku, jelikož se používá v podobně dimenzovaných zařízeních (posuvníky, CNC). A4988 je volba driveru, jelikož je kompatibilní s motory NEMA 17 a podporuje *microstepping*.

### 2.3.3 Senzory



(a) Kapacitní snímač přiblížení [24] (b) Koncový mikrospínač [25]

Obrázek 2.13: Senzory krajní polohy

Jedinými potřebnými senzory jsou ty, detekující krajní polohu vozíku. Ty jsou napojeny na řídicí jednotku, která podle stavu senzorů ovládá motor.

### 2.3.3.1 Optické senzory a senzory přiblížení

Optický senzor se vyznačuje vysokou spolehlivostí, protože nemá pohyblivé části. Příkladem je pár zářič - přijímač, kde jsou obě jeho části umístěny naproti sobě. Při přerušení paprsku je detekováno „sepnutí“.

Senzor přiblížení rovněž neobsahuje pohyblivé části. Narozdíl od optického senzoru se zářičem a přijímačem se skládá jen z jedné nepárové součástky. Příkladem je kapacitní nebo indukční snímač přiblížení. Tyto senzory se liší materiálem, který jsou schopny detekovat. Indukční snímač detekuje jen elektricky vodivé materiály. Problémem těchto senzorů je, že obsahují obvody, které vyhodnocují přiblížení objektu a jsou tak celkově složitější a dražší. Ceny čínských kapacitních senzorů (viz obr. 2.13a [24]) se pohybují kolem 200 Kč.

### 2.3.3.2 Koncový spínač

Mechanický spínač je nejjednodušším mechanismem detekce koncové polohy. Vozík se fyzicky spínače dotkne, což detekuje řídicí jednotka. Ceny mechanických koncových spínačů se velmi liší v závislosti na způsobu provedení. Velké, kvalitní spínače stojí 150 až 1000 Kč, malé koncové mikrospínače (obr. 2.13b [25]) jsou v řádu jednotek korun. Nevýhodou je jejich laciné provedení a nižší spolehlivost.

### 2.3.3.3 Shrnutí a volba senzorů

Pro tuto práci je nejjednodušším řešením použití mechanického koncového spínače, konkrétně mikrospínače. Je to nejlevnější možnost a nejsnáze se zapojuje k řídicí jednotce. Kontrolu správné funkce spínačů lze řešit ve firmwaru řídicí jednotky, například při každém spuštění.

## 2.3.4 Prvky uživatelského rozhraní

Display pro zobrazování přímo na posuvníku musí být malý, snadno ovladatelný z řídicí jednotky a levný. Do této kategorie patří malé OLED nebo LCD displeje. Ty stojí zhruba 100 Kč, ovládají se přes běžné sběrnice (např. I<sup>2</sup>C nebo SPI) a existují na ně knihovny (zejména pro Arduino). OLED displej má výhodu ve vyšším rozlišení.

Joystick je nejlepší náhradou za obyčejná tlačítka. Lze s ním pohybovat ve dvou osách a mačkat středové tlačítko. Princip joysticku je triviální a používá pouze proměnný odpor. Mikrokontrolér na svém analogovém vstupu jen měří změnu napětí pro obě osy a vyhodnocuje polohu joysticku.

Uživatelské rozhraní využije kombinovaného přístupu, kdy půjde posuvník ovládat jak z PC, tak z ovládacích prvků. Tím je za prvé OLED display, který je levný, snadno připojitelný na Arduino a s dostatečným rozlišením. Za druhé joystick, kterým se dá detekovat pohyb ve dvou osách, na rozdíl od obyčejných tlačítek.



(a) OLED displej [26]



(b) LCD displej [27]

Obrázek 2.14: Příklady displejů



Obrázek 2.15: Joystick modul

### 2.3.5 Napájení

Možnosti napájení se odvíjejí od typu použitých součástek. Při využití jednodeskového počítače Arduino je napájení v rozmezí neregulovaných 7 až 20 voltů DC při použití pinu `VIN` nebo regulovaných 5 voltů při použití pinu `VCC` nebo USB portu. Dle informací z diskuze [28] jsou však zřejmě v čínských klonech Arduina použity horší regulátory napětí a při 12 voltech se hodně zahřívají. Je proto dobré použít externí regulátor napětí například na 8 voltů a tím teprve Arduino napájet přes pin `VIN`.

Driver A4988 pro krokový motor používá dvě napájecí úrovně, a to 5 voltů pro řídicí logiku a rozsah 8 až 35 voltů pro výkonovou část. 5 voltů lze dodávat z pinu `VCC` na Arduino. Ideálním napětím pro druhý rozsah je 12 voltů, protože je to standardní úroveň. Dělají se pro ni adaptéry do 220 V a také je 12 V napětí olověného akumulátoru, který je vhodným napájecím zdrojem

pro zařízení, které má být přenositelné a použitelné mimo dosah sítě.

Elektroniku posuvníku by mělo jít napájet jak z akumulátoru, tak ze sítě a volit mezi oběma způsoby. Olověný akumulátor je sice označen jako 12 voltový, ale při plném nabití má kolem 13.5 voltu. Tím se dá bez problému napájet driver motoru a pro Arduino se toto napětí předem zreguluje na 8 V.

### 2.3.5.1 Shrnutí a volba napájení

Pro tuto práci je nejvhodnější použít variabilní možnost napájení. Jeden způsob je napájení přes 12 V olověný akumulátor, pomocí kterého lze zařízení napájet v terénu. Druhým způsobem je připojení na externí 12 V zdroj.

### 2.3.6 Výroba plošného spoje

Naskytují se tři možnosti, jak vyrobit plošný spoj, který propojí veškeré komponenty. Je to:

- výroba v Číně,
- výroba v ČR,
- vlastní výroba,
  - ★ nanesení masky, vyleptání,
  - ★ použití univerzálního pájivého pole.

#### 2.3.6.1 Výroba v Číně

Levnou možností, jejímž výsledkem je navíc relativně kvalitní plošný spoj, je objednat jej z Číny. Mezi nenáročnými návrháři je tato volba dnes velmi populární. Čínské fabrice se přes internetové rozhraní jen odešlou všechny potřebné výrobní soubory. Ty popisují masku spojů v jednotlivých vrstvách, otvory pro vrtání, prokovy, nepájivou masku a další. Všechna tato data se generují z návrhářských nástrojů, jako například Eagle nebo OrCad.

Výhodou je, že toto je nejlevnější způsob, jak si vyrobit skutečně profesionální plošný spoj. Za cenu 10 dolarů si lze nechat zhotovit 10 dvouvrstevných spojů (například zde [29]). Je možné vyrobit spoje s velmi malými SMD součástkami, čehož nelze dosáhnout vlastní výrobou.

Nevýhodou je neflexibilita tohoto řešení. Jakmile je spoj objednan a zaplacen, je pozdě k nečekaným úpravám. Výroba trvá cca 5 dní, ale doba doručení zásilky je podobná, jako například u objednávání z portálu eBay, tedy 3 až 4 týdny. Pokud člověk přijde na nějaké důležité změny nebo chyby, musí udělat novou objednávku a tu starou posléze vyhodit.

### 2.3.6.2 Výroba v ČR

V ČR existuje jen pár firem, které se zabývají profesionální výrobou plošných spojů, například firma Prago Board, která je schopna vyrobit i ty nejnáročnější spoje. Tomu odpovídá i vysoká cena, která je minimálně dvakrát vyšší než čínské ceny. I přes vhodnou lokaci v Praze, je standardní výrobní lhůta 10 dní, u jednoduchých spojů ji lze zkrátit.

Existuje i levnější varianta na úkor profesionality. Pokud člověk nemá k dispozici materiál a chemikálie pro vlastní výrobu, může podklady poslat lidem, kteří si výrobou spojů přivydělávají (např. [30]). Spoje jsou vyráběny „po domácku“, takže mohou být maximálně dvoustranné, bez prokovených otvorů, bez nepájivé masky a s omezením na šířku spojů a mezer. Tato možnost je akceptovatelná pro výrobu plošného spoje pro tuto práci.

### 2.3.6.3 Vlastní výroba

Výroba plošného spoje vlastními silami je nejflexibilnější řešení. Pokud se objeví chyba v návrhu, je snadné a rychlé vyrobit spoj znovu. Jedinou nevýhodou je nutnost vlastnit potřebné pomůcky, chemikálie a materiál. Samotná výroba je relativně pracná a časově náročná (v řádu hodin). Proces se skládá vždy z nanesení masky spojů na měděnou desku a následné vyleptání. Masku lze nanést například těmito způsoby:

- ručně speciální fixou,
- přenosem toneru z laserové tiskárny,
- fotocestou.

Metoda s fixou je na ty úplně nejtriviálnější a velké spoje. Nakreslí se maska na měděnou desku, která se následně vloží do leptacího roztoku (např.  $\text{FeCl}_3$ ). Zakrytá místa se neodleptají a zůstanou pod nimi měděné spoje. Plošný spoj pro tuto práci obsahuje relativně velké množství spojů, tudíž se tato metoda pro tento účel nehodí.

Přenos toneru spočívá ve vytištění masky na laserové tiskárně, většinou na lesklý papír. Z něj se dá toner různými způsoby přenést na měděnou desku, aniž by se poškodil. Populární metoda je, že se papír s tonerem přitlačí na měděnou desku a zahřívá žehličkou. Toner se papíru pustí a zůstane na mědi. Výsledky nejsou moc konzistentní, záleží na době zahřívání, typu toneru, papíru a podobně.

Nejkvalitnějších spojů lze dosáhnout přenosem fotocestou. Na měděnou desku se nanese fotocitlivý film, na který se UV světlem nasvítí maska spojů, která se předem vytiskne na průhlednou fólii. Film se vyvolá a následně se spoj vyleptá. Této metody využívají amatérští výrobci (např. [30]). Nevýhodou je specializovanější vybavení a chemikálie, než u předchozích dvou metod.

Alternativním způsobem výroby bez speciálních pomůcek a nutnosti leptání je použití univerzálního pájivého pole. Jedná se o desku s připravenými pájecími ploškami. Spoje jsou realizovány pomocí drátových propojek. Toto řešení je ideální na prototypování. Na finální spoj je však vhodnější použít leptaný plošný spoj, jelikož drátové propojky nejsou tak spolehlivé. Pokud je spojů hodně, je řešení s pájivým polem velmi pracné a nepřehledné.

### 2.3.6.4 Shrnutí výroby DPS

Pro tuto práci je vhodná vlastní výroba, protože je zde možnost změn v průběhu implementace. Tato metoda je také nejlevnější, pokud se ovšem nepočítá čas práce. Zvolenou metodou je přenos toneru, jelikož je dobrým kompromisem mezi kvalitou spoje a náročností.

### 2.3.7 Rozšiřitelnost a udržovatelnost

Požadavkem práce je i budoucí rozšiřitelnost. S ohledem na omezený počet pinů na Arduinu bude možné zapojit až 3 motory. V této práci bude ve výsledku používán jen jeden. V rámci rozšiřitelnosti bude také přidán jeden univerzální výstupní signál, který může být zapojen na nějaký externí obvod. V této práci zůstane rovněž nevyužit.

Aby byl obvod dobře udržovatelný a rozebíratelný, musí k němu být veškeré dráty připojeny přes konektory. Samotné Arduino by mělo jít bez pájení snadno vyjmout. To samé platí o driverech motorů. Toho lze docílit zapojením těchto dvou komponent do tzv. *header pinů*, neboli dutinkových lišt. Ty jsou připájeny na plošném spoji.

## 2.4 Softwarová část

Tato sekce analyzuje možnosti programů a jazyků, ve kterých tuto práci implementovat. Je zde analyzována implementace softwaru pro mikrokontrolér a pro PC.

### 2.4.1 Firmware pro mikrokontrolér

Mikrokontroléry lze obecně programovat v assembleru nebo v jazyce C. Čistý assembler je v této situaci velmi nevýhodný, protože je velmi pracné v něm napsat takovýto komplexnější ovládací firmware. Jazyk C odstíní programátora od nízkourovňových operací a výrazně zpřehlední kód. Je však stále třeba pracovat se samotnými registry konkrétního procesoru a neexistuje abstrakce základních funkcí, jako například nastavení logické úrovně pinu, přečtení úrovně pinu, ovládání sériové komunikace, atd.

Arduino tyto problémy řeší. Programuje se ve vlastním jazyce podobnému C++ a operace jako zápis a čtení z pinu jsou záležitostmi jednoho volání funkce.

Psát kód se dá v běžném textovém editoru nebo v IDE od Arduina, které program rovnou překládá a nahrává do zařízení.

### 2.4.2 Software pro PC

Desktopová část může být buď terminálová aplikace nebo GUI aplikace. Terminálová aplikace má výhodu jednoduchého rozhraní a kódu programu. Nevýhodou je neintuitivní uživatelské rozhraní, nevhodné na nějaké složité funkce a konfiguraci.

Výhodnější je napsat GUI aplikaci, která je pokud možno platformově nezávislá. Psát ji nativně bez knihoven je pracné, je tedy nutné zvolit vhodný framework. Tím je například QT. Tento framework je v jazyce C++, je open-source a lze s ním pohodlně tvořit komplexnější grafické uživatelské rozhraní. Jeho největší výhodou je jeho IDE s názvem *Qt Creator*, které obsahuje intuitivní nástroje na kreslení rozhraní myši a není nutné ho ručně definovat v kódu.

Existuje nespočet dalších možností jak napsat multiplatformní GUI aplikaci – například v Pythonu, Javě a dalších. Pro tuto práci je zvolena QT aplikace v C++, jelikož s tímto frameworkem mám jako autor zkušenosti.





## Realizace a implementace

V této kapitole je popsána výroba a implementace navrženého posuvníku. Popis je rozdělen na tři části, a to na mechanickou, hardwarovou a softwarovou část. Na obrázku 3.1 je vyobrazen výsledný posuvník. Další fotografie finální implementace jsou na přiloženém CD ve složce photos.



Obrázek 3.1: Výsledný slider

## 3.1 Mechanická část

Při návrhu slideru bylo dbáno zejména na co nejmenší materiálovou a technickou náročnost. Celková cena veškerých použitých komponent by se měla odhadem pohybovat kolem 1000 Kč, slider by neměl být náročný na sestavení a materiál by měl být snadno dostupný v České republice.

Mechanická část byla inspirována již existujícím řešením z článku [12], které bylo modifikováno, a to zejména přidáním motorizované části.

### 3.1.1 Kolejnice

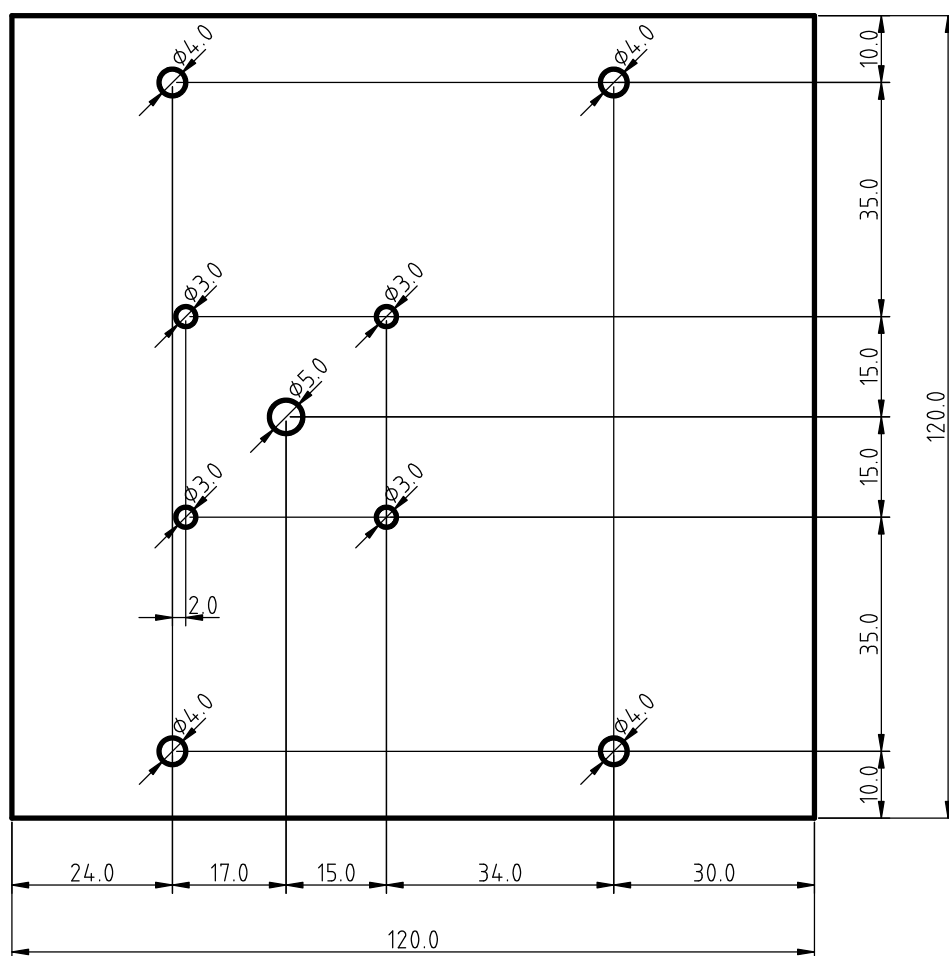
V předloze [12] autor používá na slider měděné trubky o průměru 22 mm. Na tento slider je však použita trubka pantalová o průměru 22 mm a tloušťce stěny 2 mm z důvodu zvýšení pevnosti. Délka trubek je zvolena stejná jako v předloze, tedy 1.5 metru každá. Pokud by byl zvolen rozměr vyšší, byl by posuvník obtížně přenositelný a těžký. Naopak by mohl být klidně kratší a používat se na makrofotografii, ale zvolený materiál umožňuje bez problému tuto délku, přičemž zachovává dostatečnou pevnost.

Šrouby, připevňující kolejnici k desce, jsou imbusové M4. Díry v kolejnici musí být velmi přesné, zejména musí po celé délce perfektně lícovat, jinak nebudou desky rovnoběžné. Před vrtáním se proto udělá tužkou rovná čára po celé délce, na kterou se vyznačí otvory k vyvrtání. Každý otvor se nejprve vyvrtá skrz obě stěny na velikost 4 mm, jeden otvor se poté rozšíří na 7 mm. Tímto širším otvorem je poté možné prostrčit šroub i s hlavičkou, která zůstane uvnitř trubky. Na takto prostrčené šrouby se nasadí podkladové desky, podložky a vše se dotáhne maticemi. Po sestavení se na kolejnice přilepí štítky, které vyznačují vzdálenost od začátku pojezdové dráhy.

### 3.1.2 Desky pro upevnění kolejnic

Na obrázcích 3.2 a 3.3 je návrh desek ve velikosti 1:1, umístěných na koncích kolejí. Na obrázku 3.4 je zmenšený původní návrh desek z článku. V tomto návrhu jsou použity 3 desky – dvě koncové a jedna prostřední, která zpevňuje konstrukci. Změnou vůči článku [12] je odstranění prostřední desky, která je v důsledku použití pantalových trubek zbytečná, jelikož konstrukce je i bez ní dostatečně pevná (otestováno experimentálně). Dále jsou odstraněny zaoblené rohy, které jsou pouze estetickým prvkem a zbytečně komplikují výrobu. Rovněž je přidáno místo pro uchycení motoru a koncových spínačů. Použitý materiál není MDF jako v předloze, ale DTD (dřevotřísková deska).

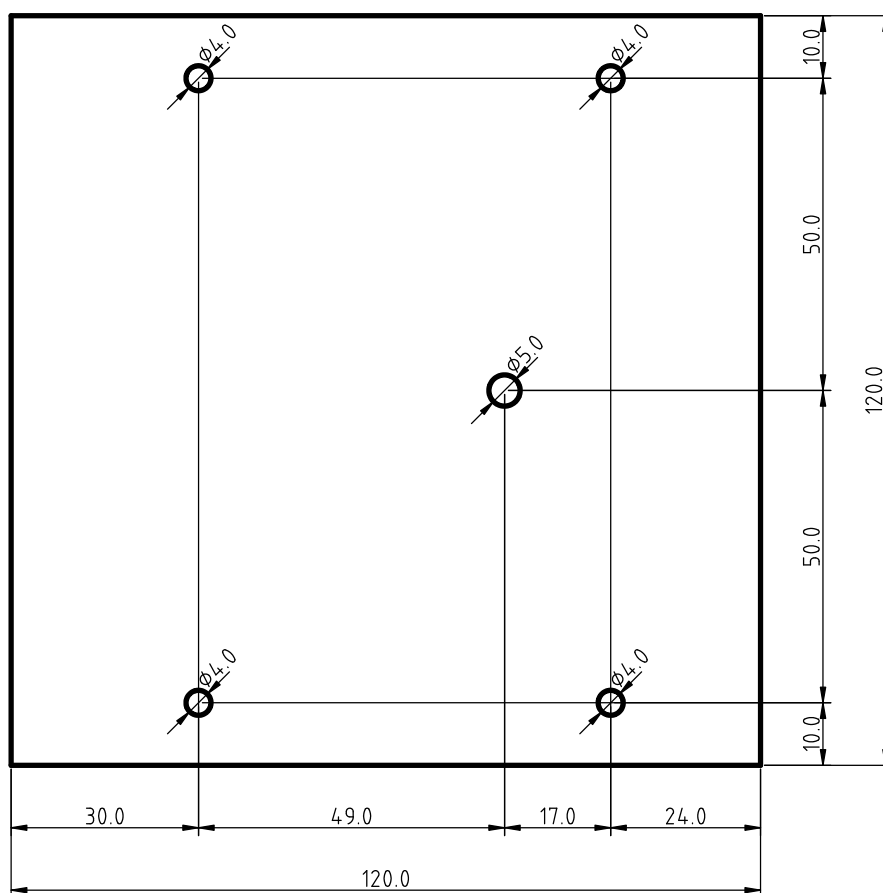
Koncové spínače, které detekují dojezd vozíku do krajní pozice, musí být přidělány nad deskou, aby je vozík opravdu sepnul. Jsou proto připevněny na malý, dřevěný kvádr, který je přilepen k podkladové desce lepidlem na dřevo (např. Herkules). Výška tohoto kvádru je 22 mm. Ukázka je na obrázku 3.5. Celá deska je poté nabarvena na černo barvou ve spreji.



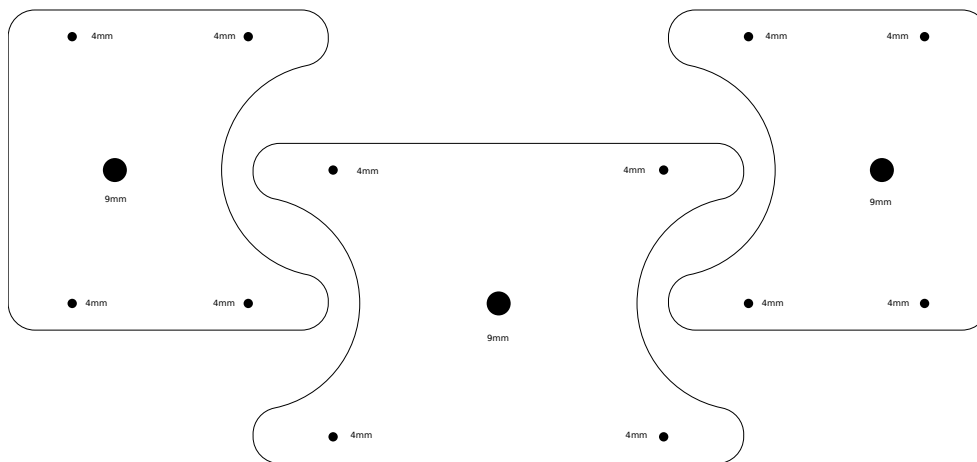
Obrázek 3.2: Levá deska

### 3. REALIZACE A IMPLEMENTACE

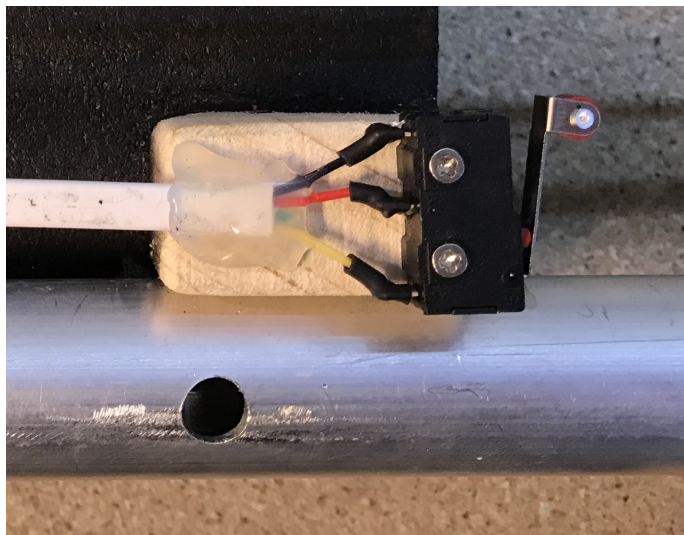
---



Obrázek 3.3: Pravá deska



Obrázek 3.4: Zmenšené původní předlohy desek [12]



Obrázek 3.5: Způsob připevnění koncového spínače

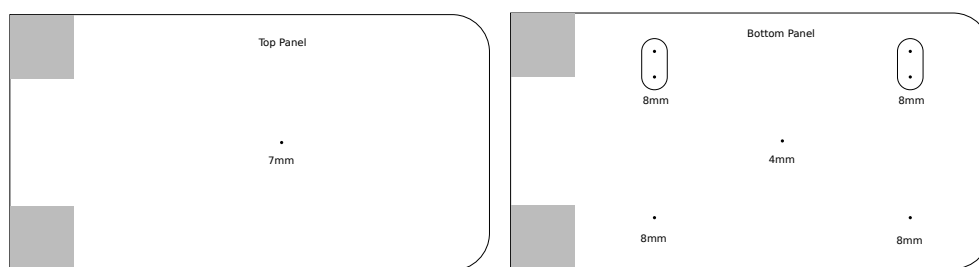
### 3.1.3 Vozík

V originálním konceptu (viz [12]) jsou na výrobu vozíku použity MDF desky, stejně jako na výrobu spojovacích desek. V této práci se použije ke stejnému účelu dřevotřísková deska, jak je zdůvodněno v odstavci 2.1.1.5.

Vozík z článku (obr. 3.6 [12]) má dvě desky. Na jedné jsou ze spodní strany upevněna kolečka, konkrétně s označením 0840UU, která jezdí z vnitřní boční strany kolejí. Druhá deska je upevněna nad první a je na ní umístěna pouze stativová hlava, na kterou se nasazuje fotoaparát. Tyto dvě desky jsou spojeny pantovým mechanismem (šedé čtverečky na obrázku), což umožňuje naklápění horní desky až o 90 stupňů. Díky dvěma oválným otvorům na šrouby lze

### 3. REALIZACE A IMPLEMENTACE

---



Obrázek 3.6: Zmenšené původní předlohy vozíku [12]

kolečka mírně posouvat v jedné ose, čímž je možné je přesně dotáhnout tak, aby se vozík neviklal a zároveň příliš netlačil na kolejnice.

Na obrázku 3.7 je použitý návrh desky vozíku. Liší se od předlohy odebráním horní desky. Stativová hlava je umístěna přímo na desku spodní. Tím pádem vozík postrádá pantové naklápění, což nevádí, jelikož použitá stativová hlava má kloub a fotoaparát lze rovněž naklápět. V důsledku odebrání těchto částí má zároveň vozík i nižší hmotnost. Jelikož předloha není koncipována jako motorový posuvník, jsou v upraveném návrhu přidány otvory na šrouby, které uchycují ozubený řemen od motoru. Tento mechanismus je souhrnně popsán v podsekcí 3.1.4. Celkový způsob uchycení vozíku na kolejnice je znázorněn na obrázku 3.8.

#### 3.1.4 Pohonný systém

Hlavní přidanou hodnotou tohoto posuvníku oproti konceptu v článku [12] je pohonný systém s motorem. Motor je fixně umístěn ze spodní strany na levé koncové desce, hřídel prochází skrz desku a z horní strany je na ní ozubená řemenice. Na protější desce je nad deskou volnoběžné kolečko, které je totožné s ozubenou řemenicí na hřídeli motoru, avšak není přitaženo stavěcím šroubem (červíkem) a může se volně otáčet. Mezi oběma koly je natažen ozubený řemen, který převádí otáčivý pohyb na posuvný. Motor je přidělán krátkými šrouby o průměru 3 mm.

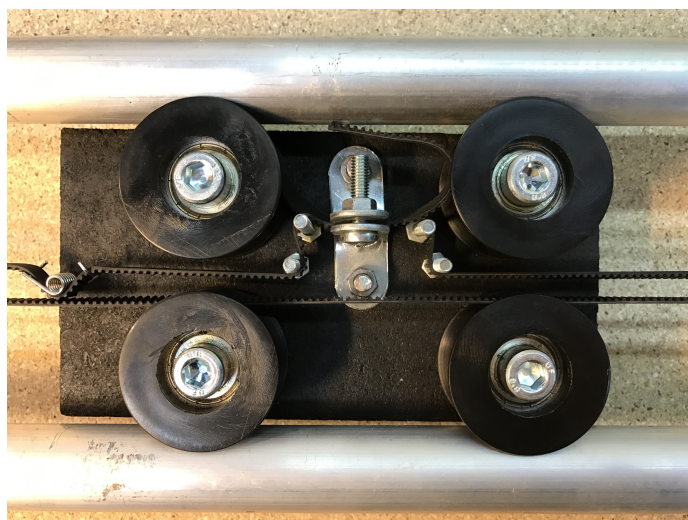
Použitý ozubený řemen je standardu GT-2. Používá se často v 3D tiskárnách, zejména v populárních „DIY“ RepRap tiskárnách. Byť se jedná o již celkem specializovanou součástku, je snadno dostupný. Optimální je nechat si jej poslat z nějakého internetového obchodu, například z portálu eBay. Tři metry řemenu i se dvěma řemenicemi a imbusovým klíčem lze obstarat za cca 120 Kč. Tento způsob pohonu vyjde levně a hlavně není náročný na sestavení.

Přichycení vozíku k řemenu je dosaženo jednoduchým způsobem, jak je znázorněno na obrázku 3.9. Oba dva konce jsou provlečeny okolo dvou šroubů na spodní straně vozíku a následně společně chyceny mezi dvěma kovovými úhelníky. Pohyblivá strana řemene je ve spodní části obrázku. Aby byl pohyb vozíku plynulý, je nutné řemen dobře napnout. K tomu se hodí pružinový napínák (viditelný v levé části obrázku 3.8), přímo určený pro ozubený ře-

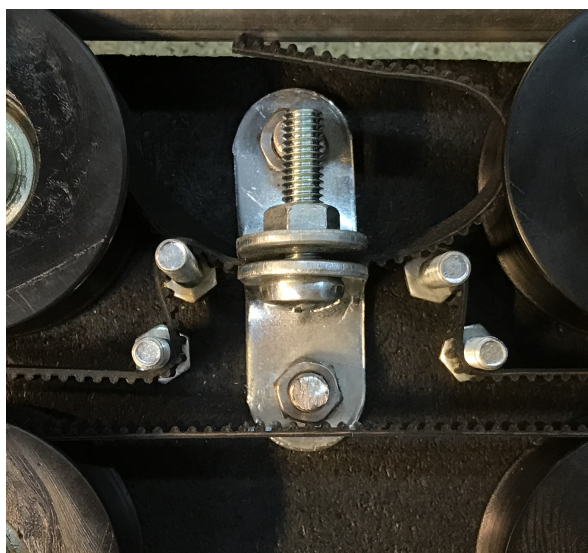


### 3. REALIZACE A IMPLEMENTACE

---



Obrázek 3.8: Způsob uchycení vozíku na kolejnice



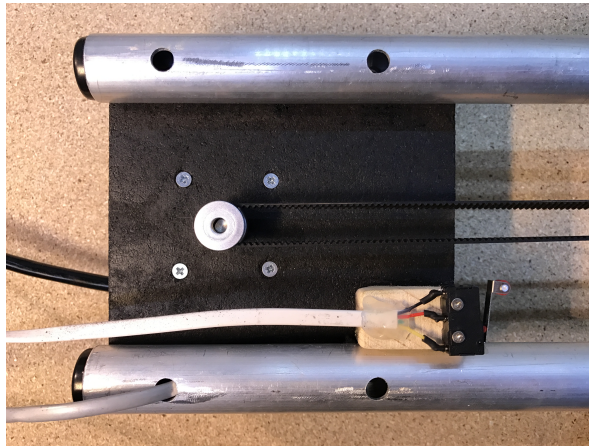
Obrázek 3.9: Připevnění řemene k vozíku

men, popřípadě jej lze nahradit pružinkou z kolíčku na prádlo. Horní a spodní pohled na připevnění motoru je na obrázcích 3.10 a 3.11.

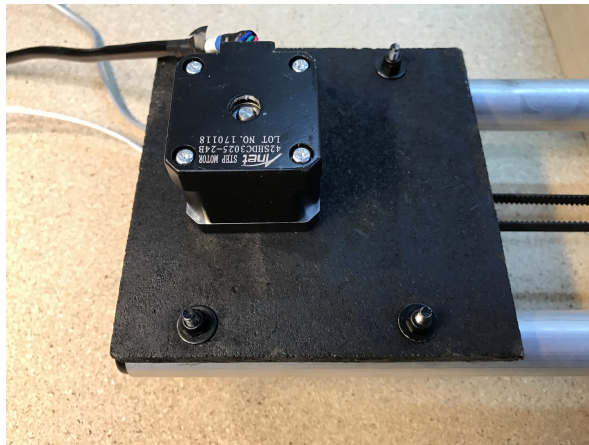
## 3.2 Hardwarová část

V této sekci je rozebrána implementace veškeré elektroniky. Je zde navrženo blokové zapojení, následně schéma obvodu a maska DPS. Na závěr je popsáno uložení elektroniky do plastového obalu.





Obrázek 3.10: Horní pohled na levou desku

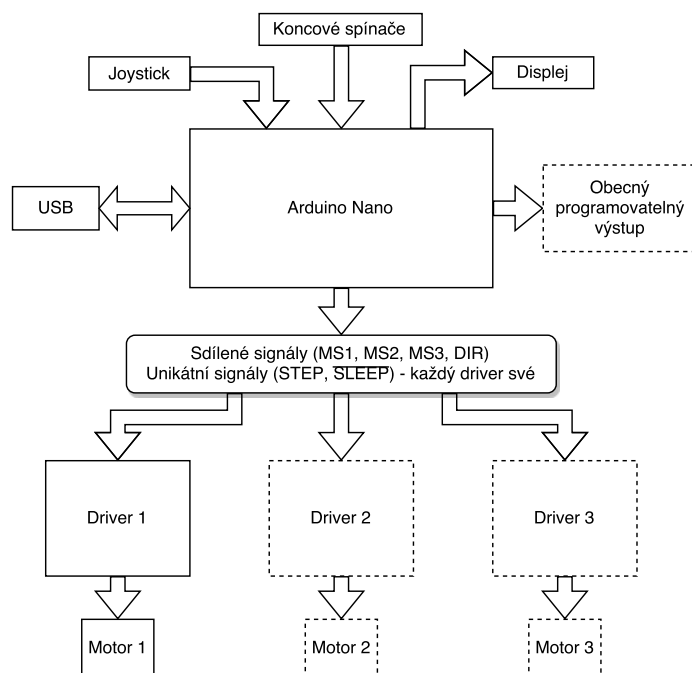


Obrázek 3.11: Spodní pohled na levou desku

### 3.2.1 Návrh zapojení

Centrálním prvkem celého obvodu je Arduino Nano. K němu je připojen OLED displej, joystick a 2 koncové spínače. Kvůli podmínce budoucí rozšiřitelnosti se při návrhu spoje počítá se zapojením až 3 motorů a 3 driverů, avšak výsledný posuvník z této práce používá jen jeden motor. Dále je k dispozici jeden opticky izolovaný výstup, který také není použit. Blokové schéma je naznačeno na obrázku 3.12 (nepoužité součásti jsou označeny přerušovanou čarou).

Z důvodu omezeného množství pinů na Arduino jsou některé signály sdílené všemi třemi drivery. Jsou to signály *MS1*, *MS2*, *MS3* a *DIR*. Unikátní signály, které nelze sdílet, se nazývají *SLEEP* a *STEP*. Dohromady jsou 4 sdílené a 6 unikátních signálů, které komunikují s drivery (podrobný popis v odstavci 3.2.1.1).



Obrázek 3.12: Blokový diagram zapojení

### 3.2.1.1 Ovládání driveru

Použitým obvodovým driverem je A4988 [31]. Krokový motor je typu NEMA 17 s konkrétním označením 42STH40-1684A [32]. Driver je napájen ze dvou zdrojů – 5 a 12 voltů. 5 voltů lze vzít přímo z pinu VCC na Arduino. Tím je napájena řídicí logika driveru. 12 voltů se vezme ze vstupního napájení celého propojovacího plošného spoje. Tím se napájí výkonová část driveru, tedy motor. Motor je k driveru připojen přes 4 piny s názvy 1A, 1B, 2A a 2B. Prefix 1 a 2 u těchto pinů udává příslušnou cívku v motoru. Pinem *DIR* se nastaví směr otáčení, pulsem na pin *STEP* se vykoná samotný krok motoru. Logická nula na pinu  $\overline{SLEEP}$  aktivuje mód nízké spotřeby, kdy se vypnou výkonové výstupy i logická část. Tento signál se využívá ve chvíli, kdy se motor nepoužívá a šetří se energie. Pin  $\overline{RESET}$  v této práci není použit, je proto „natvrdo“ připojen na 5 voltů, tedy na logickou jedničku. Pin  $\overline{ENABLE}$  vypíná **pouze** výkonové výstupy. Zde není rovněž použit a je fixně připojen na logickou nulu.

Rozlišení mikrokroků se nastavuje piny *MS1*, *MS2* a *MS3*, jak je znázorněno v tabulce 3.1. Logické nuly na všech těchto pinech znamenají plnou velikost kroku. Lze dosáhnout až šestnáctinových kroků, kde jedné otáčky hřídele odpovídá 3200 pulsů na pin *STEP*. Při nastavení celých kroků (rozlišení 1) je počet pulsů na otáčku roven 200.

MS1	MS2	MS3	Rozlišení
0	0	0	1
1	0	0	1/2
0	1	0	1/4
1	1	0	1/8
1	1	1	1/16

Tabulka 3.1: Nastavení rozlišení mikrokroků

Signály pro nastavení mikrokroků a směru otáčení jsou sdílené mezi všemi připojenými drivery. V jeden okamžik tak lze otáčet právě jedním motorem.

### 3.2.2 Schéma zapojení

Na schématu 3.13 je celkové zapojení. Vstupní napájecí napětí obvodu je 12 V. To je přivedeno do všech driverů a do 8 V stabilizátoru, ze kterého je napájeno Arduino. Mezi napájecí piny a zem u driverů, displeje, stabilizátoru a Arduina jsou zapojeny blokovací kondenzátory, které vyhlazují špičky ve spotřebě. Jsou zapojeny buďto jako pár elektrolytického a keramického kondenzátoru, nebo pouze jako jediný keramický kondenzátor. Párové zapojení se dělá proto, že se tím kombinují vlastnosti obou kondenzátorů. Elektrolyt má větší kapacitu, ale je pomalejší. Keramický kondenzátor slouží k vyhlazení rychlých výkyvů ve spotřebě. Oproti elektrolytu má nižší kapacitu, ale je rychlejší.

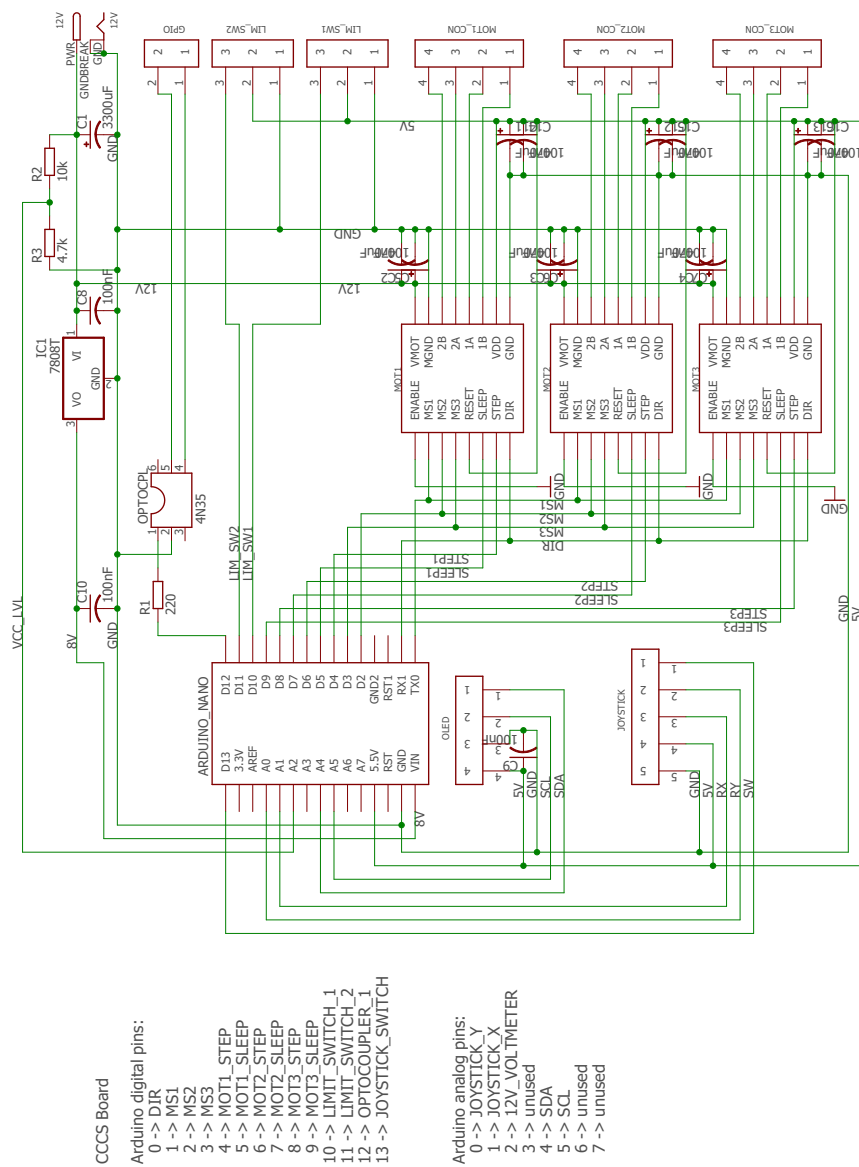
OLED displej je k Arduino připojen přes sběrnici I<sup>2</sup>C. Joystick má své dva výstupy (snímající pohyb) připojeny na analogové vstupy procesoru. Jeho digitální výstup z tlačítka je připojen na digitální vstup procesoru, na kterém se musí aktivovat interní pull-up rezistor.

Koncový spínač, který funguje jako přepínač, má na své tři piny přivedenou zem, napájení a signálový vodič, který je připojen na digitální vstup Arduina. Zde není potřeba pull-up rezistor, protože přepínač přepíná mezi zemí a napájením, narozdíl od obvyčejného spínače, který jen rozpojuje obvod. Na signálovém vodiči je proto vždy stabilní hodnota.

Dělič napětí z rezistorů R2 a R3 transformuje vstupní napětí (12 V) na úroveň 0 až 5 V, kterou lze číst analogovým vstupem na Arduino. Rezistory R2 a R3 jsou záměrně zvoleny tak, aby analogový vstup na Arduino nepřekročil 5 V, a to i pokud bude napětí trochu vyšší než 12 V. Použitý 12 V akumulátor má ve skutečnosti 13 až 14 V při plném nabití. Na tomto analogovém vstupu Arduina tak lze sledovat úroveň napájení, což se hodí, pokud je zdrojem napětí akumulátor. Ve výsledném zařízení této práce není tato funkce implementována.

Arduino a drivery jsou k plošnému spoji připojeny přes dutinkové lišty. Veškeré ostatní periferie jsou připojeny přes konektory se zámkem (viz např. [33]). Seznam všech součástí plošného spoje je v tabulce 3.2.

### 3. REALIZACE A IMPLEMENTACE



Obrázek 3.13: Schéma obvodu

Označení	Součástka	Poznámka
ARDUINO_NANO	Arduino	typ: Nano
C1	kondenzátor	3300 $\mu$ F
C3, C4, C8, C9, C10, C14, C15, C16	kondenzátor	100 nF
C5, C6, C7, C11, C12, C13	kondenzátor	470 $\mu$ F
IC1	stabilizátor napětí	7808-STM
JOYSTICK	konektor se zámkem	5 pinový
LIM_SW1, LIM_SW2	konektor se zámkem	3 pinový
MOT $n$ ; $n \in \{1, 2, 3\}$	driver motoru	A4988
MOT $n$ _CON; $n \in \{1, 2, 3\}$	konektor se zámkem	4 pinový
OLED	konektor se zámkem	4 pinový
OPTOPL	optočlen	4N35
R1	rezistor	220 $\Omega$
R2	rezistor	10 k $\Omega$
R3	rezistor	4.7 k $\Omega$
12V	souosý konektor	-

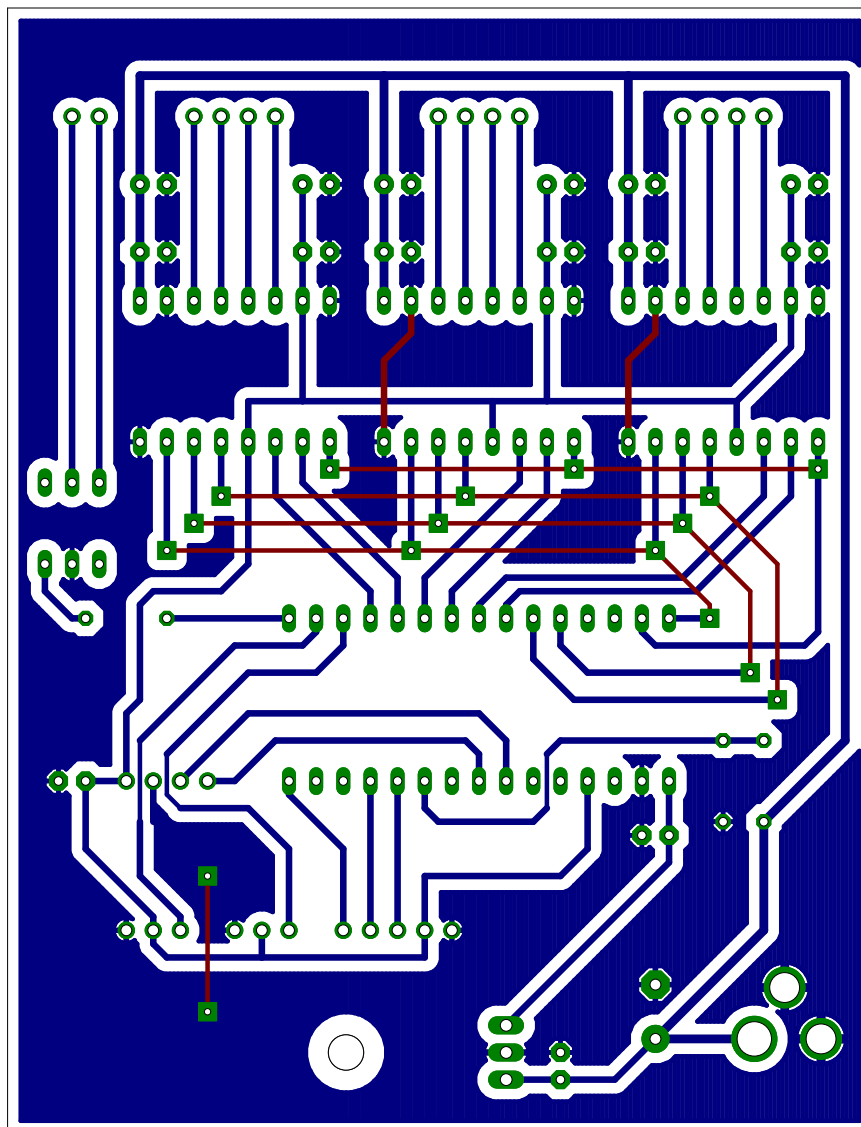
Tabulka 3.2: Seznam součástek

### 3.2.3 Deska plošných spojů

Pro výrobu plošného spoje je použita metoda přenosu toneru. Na rozdíl od běžného postupu, kdy se maska přenáší za použití žehličky nebo laminátoru, je zde otestována experimentální metoda tzv. studeného přenosu (viz návod [34]). Postup spočívá nejprve ve vytištění vzoru na lesklý, nepórovitý, fotografický papír na **laserové** tiskárně. Poté se připraví směs acetonu a lihu. Ta se rovnoměrně nanese na vyčištěný povrch měděné desky a přiloží se papír vzorem dolů. Sloučenina se nechá několik sekund nasáknout do papíru a poté se přitlačí na několik minut. Toner zreaguje s acetonem, který jej učiní lepkavým a pustí se papíru. Líh naopak efekty acetonu tlumí, takže se toner nerozpustí. Po uplynutí zhruba 5 až 10 minut se deska i s papírem ponoří do vlažné vody na dalších cca 15 minut. Pak je možné papír velmi opatrně sloupnout a na desce zůstane pouze maska z toneru. Následuje standardní leptání v  $\text{FeCl}_3$ .

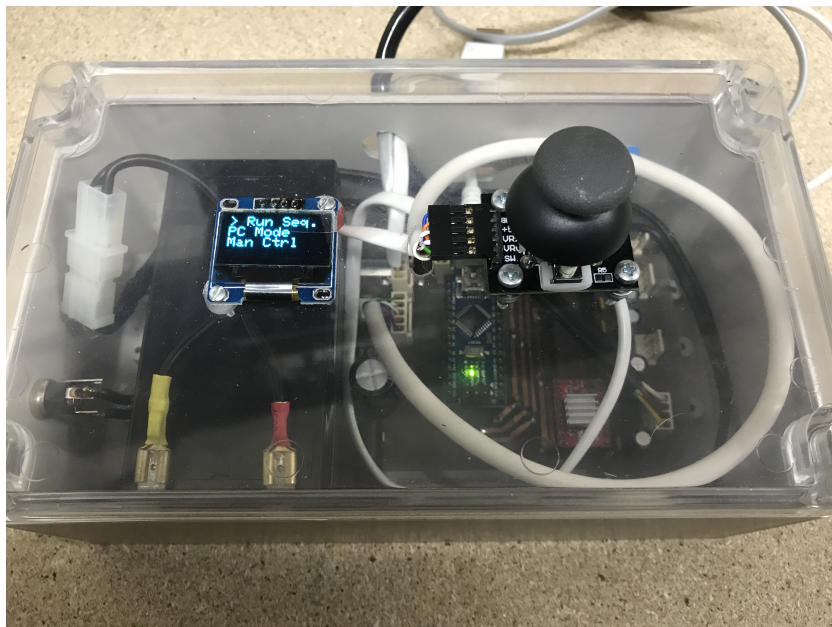
Poměr acetonu a lihu velmi závisí na zvoleném papíru, typu tiskárny a toneru. Dle návodu [34] je poměr 3:8, který však v této instanci nefungoval. Experimentálně byl zvolen poměr 1:1.

Na obrázku 3.14 je maska pro leptání. Modré spoje jsou na spodní straně desky, červené spoje na horní straně. Při postupu přenosem toneru je obtížné udělat oboustranný spoj, aby přenesené masky na sebe přesně pasovaly. Proto je v tomto případě přenesena jen spodní strana, která je složitější. Masky spojů na horní straně je naproti tomu velmi jednoduchá. Pro její přenos je použita metoda se speciální fixou (viz 2.3.6.3).

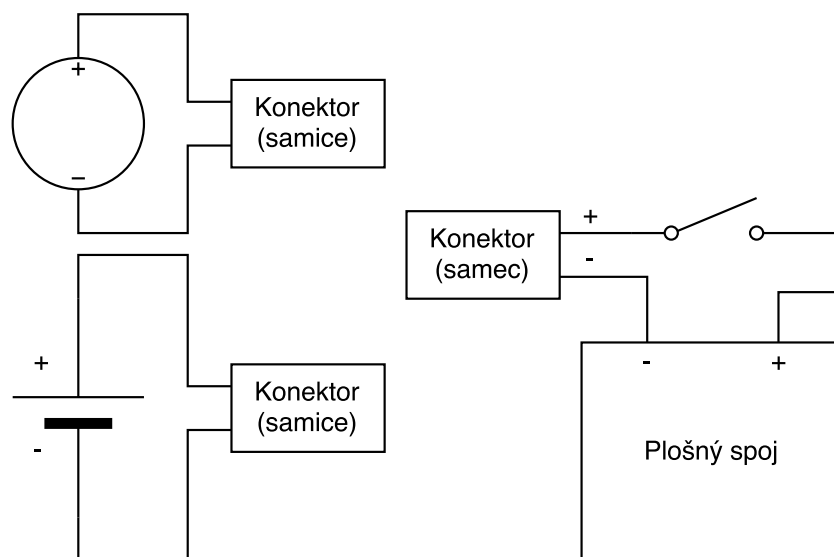


Obrázek 3.14: Deska plošných spojů

## 3.2.4 Plastový obal a napájení



Obrázek 3.15: Uložení v krabici



Obrázek 3.16: Diagram napájení

Plošný spoj je umístěn v plastové krabici o rozměrech 200x120x75 milimetrů s odnímatelným a průhledným víkem. Na víko je přidělán displej a joystick a pomocí kabelů je připojen ke konektorům na DPS. Dráty od motoru a obou

koncových spínačů jsou ke konektorům přivedeny skrz otvor, umístěný v zadní stěně krabice (viz obr. 3.15).

Vedle DPS je na suchém zipu přidělán 12 voltový olověný akumulátor. Jedná se model Panasonic LC-R121R3PG s kapacitou 1300 mAh. Zároveň je v boční stěně krabice napájecí souosý konektor. Od obou těchto zdrojů vede krátký drát se stejným typem konektorů na svém konci. Od opačného typu konektoru je veden drát přes spínač do napájecí zdířky na plošném spoji. Manuálně tak lze volit, ze kterého zdroje bude obvod napájen, záleží které konektory se propojí. Diagram zapojení je naznačen na obrázku 3.16.

## 3.3 Softwarová část

Tato sekce rozebírá implementační detaily softwaru. To zahrnuje firmware běžící v Arduinu a grafický program pro PC. Dále je zde definován datový model pro ukládání pojezdových konfigurací.

### 3.3.1 Firmware pro Arduino

Hlavními činnostmi programu nahraném v Arduinu jsou:

- obsluha displeje a joysticku – uživatelské rozhraní,
- ovládání motoru,
- kontrola koncových senzorů,
- komunikace s PC.

#### 3.3.1.1 Datový model

Použitý mikrokontrolér obsahuje interní EEPROM. To umožňuje ukládat data a zachovat je i při odpojení od napájení. Aby uživatel nemusel pokaždé zadávat parametry pojezdu znovu, jsou uloženy v této paměti. Jeden pojezd je nazván **sekvence**. Ta má jméno, nastavení mikrokroků (rozlišení) a startovací pozici. Sekvence pak obsahuje libovolný počet **úseků**. Úsek je definován směrem pohybu, rychlostí a vzdáleností. Program pak vykonává jednu sekvenci tak, že iteruje přes všechny její úseky a dle načtených dat ovládá rychlost, dobu a směr otáčení motoru.

EEPROM má kapacitu pouze 1024 bajtů, proto jsou data natěsnána do co nejmenšího počtu bitů. Na první adrese paměti je vyhrazený jeden bajt, který uchovává počet uložených sekvencí. Za ním následují bajty sekvencí. První bajt každé sekvence je hlavička (tabulka 3.3). Parametr  $L$  označuje délku názvu sekvence v bajtech. Parametr  $R$  je rozlišení mikrokroků podle tabulky 3.1 a  $P$  udává počáteční pozici slideru, kde 00 je start z aktuální pozice, 01 je start vozíku vlevo a 10 vpravo.



Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název	L			R			P	

Tabulka 3.3: Hlavičkový bajt sekvence

Po hlavičce následuje  $L$  bajtů s názvem sekvence. Každý tento bajt představuje jeden znak kódovaný v ASCII. Z rozsahu parametru  $L$ , který je 3 bitový, plyne, že maximální délka názvu je 7. Po těchto bajtech následují dva bajty úseků.

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Název	-	V					D	E	S							

Tabulka 3.4: Dva bajty úseku

První bajt úseku obsahuje parametr  $S$ , který udává vzdálenost v centimetrech, která se má urazit. V druhém bajtu je rychlost posuvu v  $cm/s$ , uložená v parametru  $V$ . Směr posuvu je určen bitem  $D$ , kde 0 je vlevo a 1 vpravo. Bit  $E$  je ukončující bit sekvence. Pokud je nastaven, jedná se o poslední úsek v právě načítané sekvenci. Minimální nastavitelná rychlost je  $1 cm/s$ , avšak s rozlišením mikrokroků na šestnáctinu lze dosáhnout rychlosti  $\frac{1}{16} cm/s$ . S efektivní délkou dráhy 109 cm je při této minimální rychlosti doba posuvu 29 minut. Vykonání posuvu v jednom úseku probíhá měřením ujeté vzdálenosti nezávisle na čase, **nelze** proto mít úsek s nulovou rychlostí. Z toho vyplývá, že se slider musí při vykonávání sekvence stále pohybovat.

### 3.3.1.2 Uživatelské rozhraní

Po zapnutí zařízení se před dalšími akcemi nejprve testují koncové spínače. Nejprve proběhne detekce fyzického připojení spínačů. Detekce je realizována aktivací interního pull-up rezistoru na digitálním vstupu procesoru. Pokud je koncový spínač odpojen, je hodnota na vstupu procesoru logická jednička namísto logické nuly. Pokud systém detekuje, že jsou oba spínače fyzicky připojeny, tak uživatele vyzve, aby stiskl levý a poté pravý koncový spínač. Pokud jsou stisknuty ve špatném pořadí, zobrazí se upozornění, že jsou spínače pravděpodobně špatně zapojené. Tuto kontrolu lze přeskočit dlouhým stiskem joysticku.

Hlavní rozhraní je realizováno jako navigační menu, ve kterém lze vychylováním joysticku nahoru a dolů listovat položkami. Stisknutím joysticku (zatlačením na joystick kolmo dolů) lze vybranou položku zvolit. V hlavním menu, zobrazeném po kontrole spínačů, je na výběr ze spuštění uložené sekvence, připojení k PC a manuálního ovládání. Když je položka z menu zvolena, zavolá se její callback funkce. V té může být cokoliv, například vykreslení dal-

### 3. REALIZACE A IMPLEMENTACE

---

šího menu nebo zahájení posuvu. Jedna položka je reprezentována následující strukturou:

```

Reprezentace položky v menu
struct MenuItem
{
    MenuItem()
    {
        this->selected = false;
    }

    MenuItem(String str, uint16_t id, byte (*itemFunc)(void))
    {
        this->text = str;
        this->id = id;
        this->itemFunc = itemFunc;
        this->selected = false;
    }

    String text; // display text
    uint16_t id; // item id
    bool selected; // is currently highlighted?
    byte (*itemFunc)(uint16_t id); // callback function
};
```

#### 3.3.1.3 Komunikace s PC

Po otevření sériového rozhraní z PC (popsáno v podsekcí 3.3.2) se Arduino resetuje. Poté se v hlavním menu zvolí možnost PC Mode a následně Connect. Arduino otevře sériovou linku, odešle „hello“ zprávu a čeká na příkazy z PC, kde každý z nich je reprezentován jedním bajtem. Implementovanými příkazy jsou:

- nahrání obsahu EEPROM do PC,
- uložení dat z PC do EEPROM,
- ukončení komunikace.

Nahrání obsahu celé EEPROM do PC probíhá nejprve odesláním velikosti paměti (2 bajty). Poté se odešle bajt po bajtu samotný obsah. Při nahrávání dat z PC se první dva bajty interpretují jako velikost příchozího obsahu. Ze sériové linky se pak čte jeden bajt za druhým a vždy se zapíše do EEPROM paměti. Každý uložený bajt se potvrzuje jednobajtovým ACK paketem <sup>2</sup>.

<sup>2</sup>Acknowledgement, neboli potvrzení. Používané v síťových protokolech

Ukončovací příkaz uzavírá sériovou linku a zařízení se resetuje. V této implementaci slouží PC pouze k předpřípravě sekvencí.

Uložení dat z PC

```

void pcSaveEEPROM()
{
    pcDisplayLog("Downloading memory..."); // log to display
    pcSerialWait(); // wait for available data

    byte buf[2];
    Serial.readBytes(buf, 2); // read incoming data length
    int len = *((uint16_t*) buf);

    byte data;
    for(int addr = 0; addr < len; addr++)
    {
        pcSerialWait(); // wait for available byte
        data = Serial.read(); // read the byte
        EEPROM.update(addr, data); // write it to EEPROM

        data = UART_ACK;
        Serial.write(&data, sizeof(data)); // send ACK
    }

    pcDisplayLog("Memory downloaded");
}

```

#### 3.3.1.4 Spuštění uložené sekvence

Z hlavní nabídky se po zvolení položky Run Seq zobrazí seznam všech uložených sekvencí. Mezi nimi lze listovat stejným způsobem jako v menu. Stiskem joysticku je pak sekvence spuštěna.

Nejprve se načtou hlavičková data o sekvenci, pak se probudí motor ze sleep módu. Pokud je v hlavičce nastavena startovací pozice vlevo nebo vpravo, tak se vozík na tuto pozici nejprve přesune. Jakmile je sepnut koncový spínač na dané straně nebo stisknuto tlačítko joysticku, je počáteční přesun u konce.

Generování signálu *STEP* na driver A4988 je realizováno pomocí časovače v mikrokontroléru. K tomu je použita knihovna FlexiTimer2 (viz [35]), která práci zjednodušuje. Jedním voláním funkce se nastaví perioda přerušení a předá se ukazatel na callback funkci. Pak se časovač spustí a začne se vyvolávat přerušení v daných intervalech tak, že je volána předaná funkce. V této obsluze přerušení je vygenerován pulz s šířkou 1  $\mu$ s, což je dle data-sheetu [31] minimální hodnota. Zároveň je zde akumulována ujetá vzdálenost v centimetrech.

## Obsluha přerušení časovače

```

void makeStepInterrupt() {
    // make pulse to the STEP pin
    digitalWrite(STEP, HIGH);
    delayMicroseconds(1);
    digitalWrite(STEP, LOW);

    // traveled one centimeter
    if(((++stageTmpSteps) % STEPS_PER_CM) == 0) {
        stageTmpSteps = 0;
        stageDistance++; // add 1 cm to traveled distance
    }
}

```

K měření ujeté vzdálenosti je potřeba spočítat, kolik celých kroků motoru připadá na posun řemene o 1 centimetr. Použitý krokový motor má 200 kroků na otáčku a řemenici byl naměřen průměr 12 mm. Tyto hodnoty se dosadí do vzorců:

$$d = 12 \text{ mm}, N_{ot} = 200,$$

$$O = \pi d = 12\pi = 37.7 \text{ mm} = 3.77 \text{ cm},$$

$$N = \frac{N_{ot}}{O} = \frac{200}{3.77} \doteq 53,$$

kde  $N_{ot}$  je počet kroků motoru na jednu otáčku a  $d$  je průměr řemenice. Vyjde, že pro posun vozíku o 1 centimetr je třeba udělat 53 kroků. Po vyzkoušení této hodnoty byla následně experimentálně upravena na 50 kroků na centimetr, jelikož s vypočtenou hodnotou se dosahovalo horší přesnosti.

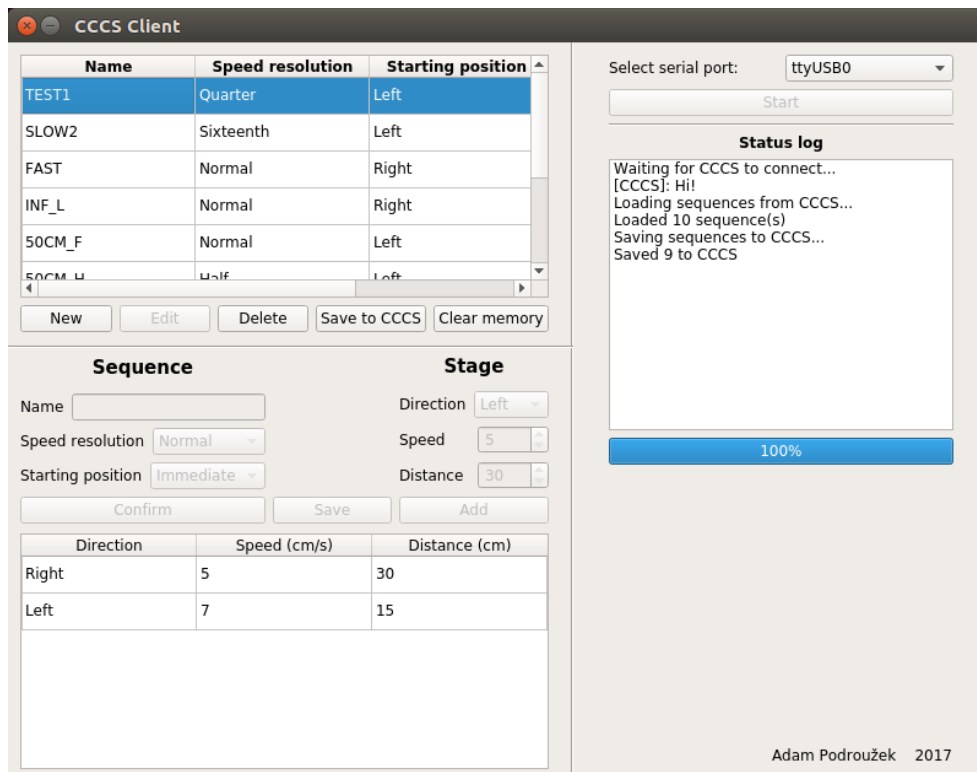
Po dosažení počáteční pozice se postupně iteruje přes všechny úseky dané sekvence. Načtou se data o úseku (rychlost, vzdálenost, směr) a spustí se časovač. Následně se ve smyčce kontroluje ujetá vzdálenost a stav koncových spínačů. V průběhu posuvu jsou na displeji zobrazovány informace o aktuálních akcích. Například pořadí právě aktivního úseku, rychlost vozíku, atd. Po dokončení posledního úseku, který je indikován ukončujícím bitem, posuv končí. Motor se uvede zpět do sleep módu a program se vrátí do hlavní nabídky.

### 3.3.1.5 Manuální ovládání posuvu

Po zvolení možnosti **Man Ctrl** v hlavním menu se slider dostane do módu manuálního ovládání. V tomto módu je směr a rychlost vozíku určována pohybem joysticku v jeho **horizontální** ose. Dále lze nastavit rozlišení mikrokroků pohybem joysticku ve **vertikální** ose. Informace o aktuálním rozlišení a rychlosti jsou vypisovány na displej. Motor je zde ovládán časovačem, který se nastává stejným způsobem jako v podkapitole 3.3.1.4. Manuální mód se ukončí stiskem joysticku a program se vrátí do hlavní nabídky.

### 3.3.2 PC aplikace

PC aplikace je implementována jako jedno-oknová grafická aplikace. Je napsána v C++ ve frameworku QT a lze ji přeložit pro více platform (Windows, Linux, MacOS). V této práci je přeložena a testována verze pro Linux, konkrétně Ubuntu 16.04. Grafický návrh aplikace je na obrázku 3.17.



Obrázek 3.17: Desktopová aplikace

Aplikace musí být spuštěna až po připojení slideru k PC. Poté je možné v pravé horní části zvolit sériový port, přes který bude probíhat komunikace. Po kliknutí na tlačítko **Start** se otevře sériový port a mikrokontrolér v posuvníku se resetuje. Reset při otevření sériového portu je vlastností Arduina, nikoliv této implementace. Po resetu Arduina program čeká, až uživatel pomocí joysticku na slideru zvolí v menu možnost **PC Mode** a **Connect**.

Po úspěšném připojení se odešle příkaz pro načtení obsahu EEPROM ze zařízení. Průběh stahování je zobrazován na indikátoru hned pod oknem stavových logů. Po stažení paměti, která je ve formátu popsaném v odstavci 3.3.1.1, se v levé horní tabulce zobrazí načtené sekvence. Na každou z nich lze kliknout a zobrazit tak všechny její úseky v levé dolní tabulce.

Nová sekvence se vytvoří tlačítkem **New**. Následně se v sekci *sequence* vyplní její jméno, rozlišení rychlosti (mikrokroků motoru) a počáteční pozice.

Zadaná data se potvrdí tlačítkem **Confirm**. Tím se zpřístupní sekce *stage*. Zde se zadají data prvního úseku a potvrdí se tlačítkem **Add**. Po potvrzení lze přidávat další úseky nebo tvorbu nové sekvence ukončit a uložit tlačítkem **Save**. Tím se nová sekvence zobrazí v seznamu nahoře. Označením jedné z nich a následným stiskem tlačítka **Delete** je sekvence smazána. Funkce **Edit** není implementována.

Po vytvoření nebo smazání sekvence však ještě nejsou nová data nahrána do paměti v posuvníku. To se vykoná stiskem tlačítka **Save to CCCS**. Průběh nahrávání je opět zobrazen indikátorem vpravo. Smazání všech sekvencí ze zařízení se provede stiskem **Clear memory**. Zavřením okna programu je sériové spojení ukončeno.

#### 3.4 Seznam materiálu

V tabulce 3.5 je uveden veškerý použitý materiál na výrobu posuvníku. Pokud byla součástka objednána online, bylo to vždy z internetového obchodu eBay, často v různých měnách. Zmíněný obchod poskytuje u každé transakce i převod do českých korun – tyto ceny jsou uvedeny v tabulce. V poznámce je uvedeno místo, odkud byla položka zakoupena.

Původní odhad ceny v okolí 1000 Kč je v podstatě správný. Pokud by nebylo cílem udělat slider rozšiřitelný o další dva motory a izolovaný výstup, dalo by se ušetřit maximálně na konektorech do DPS a optočlenu. Prostor na další snižování ceny není příliš reálný, pokud mají být zachovány vytyčené funkce. Do celkové ceny z tabulky není započítána cena několika součástek, zejména kondenzátorů a dutinkových lišt, neboť již byly k dispozici. Cena po započítání těchto položek by byla odhadem o 20 Kč vyšší.

Název	Poznámka	Cena (Kč)
A4988 driver	eBay	27.69
Arduino Nano	eBay	59.44
dřevotřísková deska 65x50 cm	Hornbach	54.13
joystick modul	eBay	24.50
kolečka 0840UU (4x)	eBay	183.80
koncové mikropínače (10x)	eBay	32.46
konektory do DPS, optočlen, 7808-STM	GME	80.00
krabice plastová 200x120x75 mm	eBay	158.77
krokový motor NEMA17	eBay	247.08
napínačky GT2 (10x)	eBay	26.33
OLED displej I <sup>2</sup> C	eBay	88.00
ozubený řemen GT2 (3 m) + řemenice (2x)	eBay	108.80
spínač páčkový, konektor do panelu	GME	48.00
stativová hlava	eBay	181.04
šrouby, matice, podložky	V.J.Rousek	18.00
trubka 22x2 AlMgSi0.5 (4 m)	Ferona	208.00
Celkem		1546.04

Tabulka 3.5: Seznam materiálu





# Testování

Tato kapitola se zabývá testováním a měřením vybraných funkcí a parametrů výsledného posuvníku. Měřenými parametry jsou:

- spotřeba,
- přesnost posuvu.

Testování funkčnosti jednotlivých součástí (displej, joystick, motor) probíhalo průběžně při implementaci. Na závěr bylo provedeno uživatelské testování.

## 4.1 Spotřeba

Test	Proud (mA)
Menu	
Klidový stav	34
Manuální posuv	
$V = 0, R = 1$ (klidový stav)	310
$V = 15, R = 1$	220
$V = 15, R = 2$	320
$V = 15, R = 4$	340
$V = 15, R = 8$	319
$V = 15, R = 16$	321
Běh sekvence	
Přesun na start	330
Úsek 1	328
Úsek 2	331

Tabulka 4.1: Test spotřeby

## 4. TESTOVÁNÍ

---

Test spotřeby byl proveden běžným multimetrem, zapojeným v sérii na napájení slideru. Byla sledována klidová spotřeba s vypnutým motorem (uspáným driverem pomocí pinu *SLEEP*). Dále byla měřena spotřeba s aktivovaným motorem, ale bez pohybu a nakonec spotřeba při různých rychlostech posuvu.

V tabulce 4.1 je souhrn testů spotřeby. Testy manuálního posuvu probíhaly nastavením joysticku do krajní horizontální polohy, což uvedlo vozík na rychlost  $V = 15$ . Posuvem joysticku ve vertikální ose bylo měněno nastavení rozlišení rychlosti (mikrokroků) – v tabulce je tento parametr vyjádřen písmenem  $R$ . Hodnota 1 značí plnou velikost kroku motoru, hodnota 16 jsou šestnáctinové kroky.

Testovací sekvence obsahovala 2 úseky a start vozíku vlevo. Rozlišení mikrokroků bylo 4. Nastavení úseků bylo následující:

- úsek 1: délka 30 cm, rychlost 5 cm/s,
- úsek 2: délka 15 cm, rychlost 7 cm/s.

Z naměřených hodnot byl vypočítán průměrný proud při pohybu motoru 312 mA. Při použití olověného gelového akumulátoru s kapacitou 1300 mAh byla odvozena výdrž, popsaná v tabulce 4.2. Tyto hodnoty nebyly testovány.

	Výdrž (h)
Klidový stav v menu	38.2
Aktivní motor, klidový stav	4.2
Aktivní motor, man. posuv, $V = 15$	3.8
Při průměrné spotřebě 312 mA	4.15

Tabulka 4.2: Výdrž na akumulátor kapacity 1300 mAh

## 4.2 Přesnost posuvu

Rozlišení mikrokroků	Chyba (mm)
plné	9
poloviční	5
čtvrtinové	5
osminové	1
šestnáctinové	21

Tabulka 4.3: Test přesnosti posuvu

Přesnost posuvu byla testována na sekvencích o jednom úseku, které měly délku 50 cm a rychlost v úseku 10 cm/s. Sekvence se lišily pouze v rozlišení

mikrokroků. V tabulce 4.3 jsou vypsány výsledky testů. Hodnota chyby značí odchylku od požadované vzdálenosti.

## 4.3 Testování při implementaci

Při implementaci byly průběžně testovány jednotlivé součásti. První byl testován motor a jeho driver. Arduino a driver se zapojilo na breadboard a otestovalo se jednoduché otáčení motorem spolu s nastavením mikrokroků.

### 4.3.1 Displej a joystick

Po prvním úspěšném výpisu textu na OLED displej začala implementace a testování uživatelského rozhraní (menu). Při ní se ukázalo, že displej občas přestává reagovat a nelze nic ovládat. Ukázalo se, že se jednalo o špatný kontakt na konektoru u displeje, kde byl nedostatečně připájený drát od *SCL* pinu.

Joystick se nejprve testoval na breadboardu a připojil na analogové vstupy Arduina. Při pohybu byla vypisována aktuální hodnota těchto analogových vstupů na displej. Vyšlo najevo, že je použitý joystick relativně nekvalitní, jelikož není rovnoměrně citlivý ve všech mezích pohybu.

Dalším problémem joysticku bylo připojení jeho tlačítka na pin 13 na Arduinu. Pro čtení stavu tlačítka je třeba pull-up rezistor, který lze programově zapnout na jakémkoliv digitálním vstupním pinu. Bohužel na pin 13 je navíc připojena signalizační LED Arduina, která při aktivním pull-up rezistoru svítí a na vstupu je nesprávná hodnota. Tato skutečnost byla zjištěna až po výrobě a zapojení plošného spoje. Problém byl proto vyřešen odpájením signalizační LED.

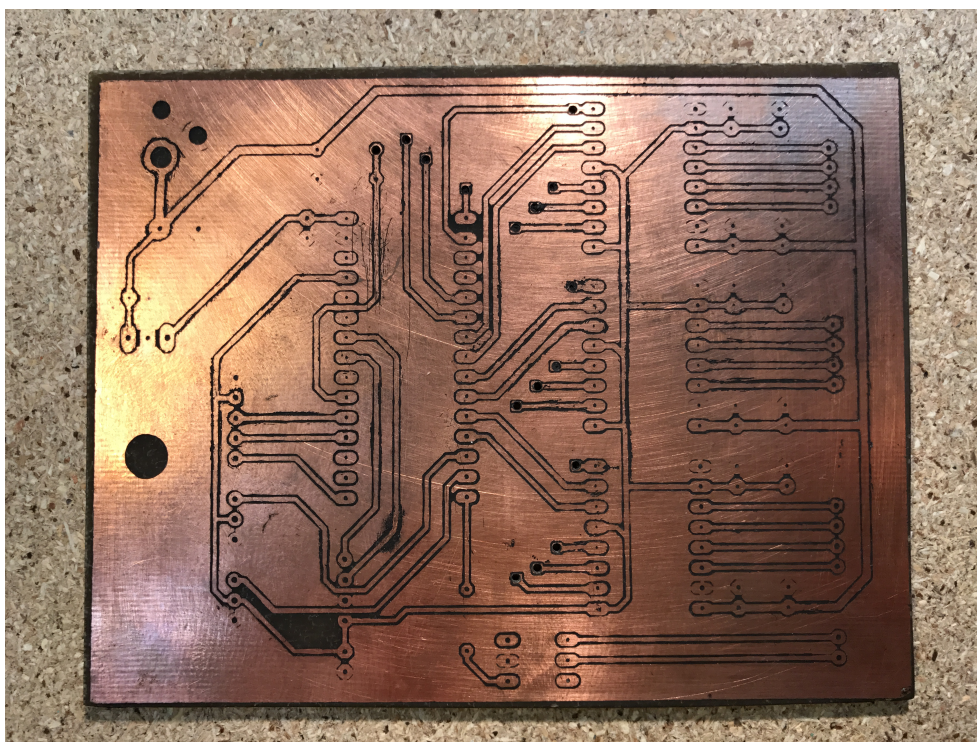
### 4.3.2 Plošný spoj

První pokus výroby plošného spoje skončil neúspěchem, jelikož byly zvoleny příliš malé rozestupy mezi spoji (obr. 4.1). Po přenosu toneru a vyleptání byla většina spojů zkratovaných. U druhého plošného spoje byly mezery rozšířeny a výsledek byl již úspěšný.

Při počátečním testování plošného spoje se ukázalo, že byla udělána chyba ve schématu. Pin  $\overline{ENABLE}$  od driveru motoru byl připojen na 5 V (log. 1) místo na zem (log. 0) a čip tak byl stále deaktivovaný. Odstranění chyby proběhlo přerušením spoje u  $\overline{ENABLE}$  pinu a přidáním krátké drátové propojky na zem.

## 4.4 Uživatelské testování

Výsledný slider byl předložen k otestování potenciálnímu budoucímu uživateli. Na vozík byl připevněn fotoaparát Canon 700D. Otestoval se zejména manuální mód, a to s fotoaparátem mířícím do boku a vpřed ve směru jízdy.



Obrázek 4.1: Nezdařilý plošný spoj

Plynulost posunu byla ohodnocena jako velmi dobrá. Jediným problémem je trhaný rozjezd nebo změna směru. To by bylo možné eliminovat implementací plynulého zrychlování a zpomalování, jak je zmíněno v kapitole 5. Kloubový úchyt na fotoaparát je relativně nekvalitní a obtížně se s ním manipuluje. Tento problém by šlo řešit výměnou za lepší (a dražší) úchyt.

Uživatelské rozhraní bylo zhodnoceno jako intuitivní a jednoduché. Aktuální funkce slideru jsou dostatečné. Do budoucna by se hodilo rozhraní přímo určené pro časosběrné snímky, které by umožňovalo nastavit i pomalejší posuv, než je aktuálně možný (maximálně 29 minut na přejetí celé dráhy o délce 109 cm).

---

## Budoucí práce

Produkt této práce je třeba brát jako první prototyp. Je na místě mnoho změn a vylepšení, které by zlepšily kvalitu posuvu, ovládání a konstrukce. Možné nápady na budoucí práci jsou rozděleny do konstrukční, hardwarové a softwarové sekce.

### 5.1 Konstrukce

Konstrukční část by šla v budoucí práci vylepšit použitím kvalitnějších materiálů, zejména na podkladové desky. Místo aktuální dřevotřískové desky by se mohly použít například desky hliníkové. Zároveň by bylo vhodné lépe umístit koncové spínače. Oba konce posuvníku by se mohly nějak uzavřít a ochránit tak citlivé mechanické části koncového spínače a motoru.

Další vylepšení, které by rozhodně stálo za úvahu, je výměna volnoběžné řemenice. Aktuálně je použita stejná řemenice jako na motoru, která se volně točí nasazená na šroub. Lepším řešením by bylo použít jinou řemenici s ložiskem, aby bylo dosaženo co nejmenšího tření.

### 5.2 Hardware

Hardwarová část práce je koncipována tak, aby umožňovala snadné rozšíření a navázání budoucí práce. Elektronická část je modulární, jelikož jsou veškeré periferie snadno připojitelné přes konektory k DPS. Jednou z nejjednodušších změn může být výměna těchto periférií za jiné a kvalitnější.

Prvními kandidáty by mohly být koncové spínače, které jsou v této práci velmi laciné a představují potenciální slabé místo. Daly by se nahradit kvalitnějšími mechanickými spínači nebo optickými senzory. Stačí pouze zachovat aktuální třídrátové zapojení a plošný spoj se nemusí vůbec měnit.

Další částí k náhradě by mohl být joystick, který je také relativně nekvalitní. Lepším joystickem by se dala vylepšit přesnost manuálního posuvu.

Podobně jako joystick lze nahradit i displej za kvalitnější a větší. Pokud se dodrží komunikační protokol I<sup>2</sup>C, je to záležitost pouhé výměny displejů.

Nejvýznamějším rozšířením však může být přidání až dvou dalších motorů. Ty by mohly ovládat například otáčení fotoaparátu podél svislé osy nebo otáčet jinou plošinou, na které by byl fotografovaný předmět.

### 5.3 Software

Programovou část na Arduinu by šlo rozšířit o komplexnější funkce posuvu. Ideální by bylo implementovat plynulé zrychlování a zpomalování vozíku. Posuvné sekvence, nahrávané z PC, by mohly obsahovat více možností nastavení. Jednou z dalších pokročilých funkcí by mohlo být strojové učení. Uživatel by zařízením „předvedl“ posuv joystickem, řídicí jednotka by jej analyzovala, vyhledala rychlostní trajektorii a uložila jako sekvenci. Uložené sekvence by mohly být více modifikovatelné. Například by se daly škálovat, což znamená, že by se rychlosti všech úseků daly úměrně zvýšit nebo snížit. Dalším rozšířením může být snížení minimální rychlosti posuvu a v důsledku toho zvýšení doby posuvu z jednoho konce na druhý. To by umožnilo dělat delší časosběrné snímky. Rovněž by se dalo implementovat plnohodnotné ovládání z PC, kdy by řízení posuvu převzalo PC a Arduino pouze vykonávalo jeho příkazy.

Pokročilou funkcí pro budoucí práci je ovládání více motorů. Motory by mohly být ovládány v závislosti na předmětu nebo scéně, kterou fotoaparát snímá. Mohlo by tak být implementováno sledování objektu v průběhu posuvu. Zároveň by mohl být ovládán programovatelný výstup, který by ovládal například spoušť fotoaparátu nebo osvětlení scény.

---

## Závěr

Cílem práce bylo vyrobit jednoduchý, počítačem ovládaný, levný posuvník pro fotografická zařízení, který je vhodný pro amatérské fotografy. Za sekundární cíl byla stanovena snadná budoucí rozšiřitelnost. Výsledkem práce je programovatelný, motorizovaný a snadno ovladatelný slider z levných a dostupných materiálů.

Byla provedena analýza možných řešení. Po zvážení všech výhod a nevýhod byl zvolen návrh, využívající kulaté kovové trubky, na kterých je posouván vozík. Fotoaparát je na vozíku umístěn na kloubovém mechanismu. Posuv zajišťuje krokový motor pohánějíci ozubený řemen. Pro detekci krajní polohy jsou použity koncové mikrospínače. Centrální řídicí jednotkou je programovatelný jednodeskový počítač Arduino Nano. Byla zvolena kombinovaná metoda ovládání – z PC a pomocí displeje a joysticku.

Z PC lze do zařízení nahrávat posuvné sekvence, které definují trajektorii a rychlost pohybu. Pomocí joysticku a displeje se poté ovládá samotné zařízení a, mimo jiné, se tyto uložené sekvence spouštějí. K PC se slider připojuje přes USB konektor. PC má pouze roli konfigurační, nelze z něj přímo ovládat pohyb posuvníku, jen nahrávat předpřipravené sekvence.

Slider je možné napájet buď z 12 V olověného akumulátoru, nebo z externího zdroje. Plošný spoj, propojující veškeré elektronické komponenty, byl zhotoven vlastní výrobou, aby bylo ušetřeno co nejvíce nákladů. Veškeré periferie jsou ke spoji připojeny přes konektory, aby bylo možné cokoli snadno odpojit nebo vyměnit. Elektronika je uložena spolu s 12 V akumulátorem v plastové krabici.

Plošný spoj byl navržen tak, aby umožňoval snadné připojení až tří motorů, avšak použit a testován byl pouze jeden motor. Obvod má také jeden programovatelný, opticky izolovaný výstup, kterým může být v budoucí práci ovládáno externí zařízení. Rovněž zůstal nezapojen a netestován.

Byla testována spotřeba a přesnost posuvu. Při aktivovaném motoru by mělo zařízení vydržet nepřetržitě cca 4 h, při vypnutém motoru (ve sleep módu) až 38 h. Naměřená přesnost posuvu je, až na výjimky, v řádu jedno-

## ZÁVĚR

---

tek milimetrů. Programovatelný výstup ani připojení dalších motorů nebylo testováno. Cena veškerého použitého materiálu je přibližně 1500 Kč.



---

## Literatura

- [1] The Cine City: Proaim 8ft velvet professional video camera slider [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <https://www.thecinacity.com/eshop/proaim-8ft-velvet-professional-video-camera-slider.html>
- [2] Nate Bailey Media: DIY Camera Slider Test [online]. 2012, [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <https://natebaileymedia.wordpress.com/2012/09/05/diy-camera-slider-test>
- [3] Rig Wheels: Rail Dolly - Large Camera Slider [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.rigwheels.com/product/large-camera-slider/>
- [4] Dring, Bart: Simple Camera Slider [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <https://www.inventables.com/projects/simple-camera-slider>
- [5] Vicens, Jorge: Hand Motion Camera Slider 3D Print Model [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <https://www.cgtrader.com/3d-print-models/gadgets/video/hand-motion-camera-slider>
- [6] Revolve Camera: RAM Motorized Universal Slider Add-on Kit [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <https://www.revolvecamera.com/products/ram-motorized-slider-add-on-kit>
- [7] RS Components Ltd: RS Pro Aluminium Alloy Strut 40 x 40mm, 8mm Groove [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://uk.rs-online.com/web/p/tubing-struts/7613313/>
- [8] Solida: Závitová tyč M 8 x 1000 mm [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <https://triker.cz/p-309000010100/Zavitova-tyc>
- [9] RobotShop: Motorized Camera Slider 120cm DIY Kit [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/en/motorized-camera-slider-120cm-diy-kit-nema-dc-motor-mount.html>

- [10] 1pohony.cz: ROA81 Ocelov Hřeben Posuvné Brány, Modul Zubů M6 [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.1pohony.cz/roa81-ocelovy-hreben-posuvne-brany--modul-zubu-m6>
- [11] McGuinn, Jack: Servo Motor Performance at Stepper Motor Prices? *Randall Publications LLC [online]*, duben 2015, [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: [http://www.powertransmission.com/articles/0415/Servo\\_Motor\\_Performance\\_at\\_Stepper\\_Motor\\_Prices](http://www.powertransmission.com/articles/0415/Servo_Motor_Performance_at_Stepper_Motor_Prices)
- [12] Burgett, Gannon: How to make a professional camera slider for less than \$50. *DIY Photography [online]*, prosinec 2015, [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.diyphotography.net/how-to-make-a-professional-camera-slider-for-less-than-50>
- [13] Mikulčák, J.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Prometheus, druhé vydání, 1988, ISBN 80-85849-84-4.
- [14] Alba Waste: *Ceník barevných kovů [online]*. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.kvosrot-alba.cz/sberne-suroviny-cenik/barevných-kovu.htm>
- [15] Proal: *Hliník AlMgSi - ČSN 424401 [online]*. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.proal.cz/info/424401.htm>
- [16] MPŠROT.cz: *Ceník barevných kovů [online]*. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.mpsrot.cz/cenik-kovu/>
- [17] Zapp Automation: LM Linear Bearing [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.zappautomation.co.uk/mechanical-products/linear-bearings.html>
- [18] Alex NLD: 8MM U GROOVE BALL BEARING 0840UU [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://alexnld.com/product/8mm-u-groove-ball-bearing-0840uu-groove-guide-pulley-sealed-rail-ball-bearing-8-40-20-7mm>
- [19] McCallum, Don: The Manufacturing Process Medium Density Fibre-board. [online], květen 1999, [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://fennerschool-associated.anu.edu.au/fpt/mdf/manufacture.html>
- [20] ISO 261 – SO general purpose metric screw threads. prosinec 1988.
- [21] Spark fun Electronics: ATmega328 - TQFP [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/retired/9261>
- [22] Spark fun Electronics: PICAXE 28X2 Microcontroller (28 pin) [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/9195>

- 
- [23] Arduino: *Arduino compare board specs [online]*. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>
- [24] Electronics123.com: M12 Unshielded Capacitive Proximity Sensor CPS-12NO4B [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.electronics123.com/shop/product/m12-unshielded-capacitive-proximity-sensor-cps-12no4b-4318>
- [25] Hobby District: Micro Limit Switch [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://hobbydistrict.com/en/product/micro-limit-switch>
- [26] GM Electronics: I2C Bílý OLED Display 0.91 128x32 [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/i2c-bily-oled-display-0-91-128x32>
- [27] Arduino-Shop.cz: IIC I2C Display LCD 1602 16X2 Znaků [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://arduino-shop.cz/arduino/1570-iic-i2c-display-lcd-1602-16x2-znaku-lcd-modul-modry-1487765909.html>
- [28] Arduino forum contributors: 12V + NANO VIN = SMOKE! [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=26954.0>
- [29] Seeed Studio: Fusion PCB [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: [https://www.seeedstudio.com/fusion\\_pcb.html](https://www.seeedstudio.com/fusion_pcb.html)
- [30] Hájek, Tomáš: Plošňáky.cz [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <https://www.plosnaky.cz>
- [31] Pololu: *DMOS Microstepping Driver with Translator And Over-current Protection [online]*. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: [https://www.pololu.com/file/0J450/a4988\\_DMOS\\_microstepping\\_driver\\_with\\_translator.pdf](https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf)
- [32] Pololu: *SY42STH38-1684A Manual [online]*. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: [https://www.pololu.com/file/download/SY42STH38-1684A.pdf?file\\_id=0J714](https://www.pololu.com/file/download/SY42STH38-1684A.pdf?file_id=0J714)
- [33] GM Electronic: Konektor se zámkem PSH02-03PG. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/konektor-se-zamkem-psh02-03pg>
- [34] 'simpletronic': Heatless (cold) Toner Transfer for PCB Making. *Instructables [online]*, [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/Heatless-cold-Toner-Transfer-for-PCB-Making>
- [35] Leers, Wim: FlexiTimer2 library [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://github.com/wimleers/flexitimer2>



## Seznam použitých zkratk

**CCCS** Computer Controlled Camera Slider

**GUI** Graphical User Interface

**PVC** Polyvinylchlorid

**MDF** Medium Density Fiber

**DTD** Dřevotřísková deska

**DIY** Do-It-Yourself

**CNC** Computer Numerical Control

**ROM** Read-Only Memory

**RAM** Random Access Memory

**EEPROM** Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

**RISC** Reduces Instruction Set Computer

**DIL** Dual In-Line

**USB** Universal Serial Bus

**DC** Direct Current

**AC** Alternating Current

**SMD** Surface Mount Device

**DPS** Deska Plošných Spojů

**IDE** Integrated Development Environment



---

## Obsah přiloženého CD

readme.txt.....	stručný popis obsahu CD
src	
├─ impl.....	zdrojové kódy a binární soubory implementace
│ ├─ cccs .....	zdrojové kódy firmwaru pro Arduino
│ ├─ client_qt .....	zdrojové kódy aplikace pro PC
│ └─ client_qt_build.....	spustitelná forma PC aplikace
├─ photos.....	fotografie finálního slideru
├─ thesis .....	zdrojová forma práce ve formátu $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$
└─ text .....	text práce
├─ BP_Podrouzek_Adam_2017.pdf .....	text práce ve formátu PDF