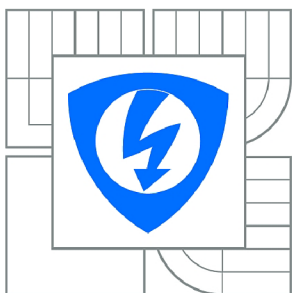




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ DVOUOSÉ POLOHOVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT

DIGITALLY-CONTROLLED DUAL-AXIS POSITIONING RIG FOR DIGITAL CAMERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL HRUBÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL HANÁK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Michal Hrubý

ID: 98491

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Číslicově řízené dvouosé polohovací zařízení pro digitální fotoaparát

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vytvořte polohovatelný držák pro digitální fotoaparát, který bude možné nastavovat ve dvou osách. Polohování bude prováděno krokovými motory a celek bude řízen vhodným mikrokontrolérem. Celé zařízení musí být možné uchytit na stativ a napájet z baterií. Výstupem práce musí být funkční řídicí elektronika a alespoň výkresová dokumentace mechanické konstrukce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Martinek R. Senzory v průmyslové praxi. BEN, Praha 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [2] Pinker J. Mikroprocesory a mikropočítače. BEN, Praha 2004. ISBN 80-7300-110-1.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Pavel Hanák

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE:

HRUBÝ, M. Číslicově řízené dvouosé polohovací zařízení pro digitální fotoaparát. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 91 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Hanák.

PROHLÁŠENÍ

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

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

V Brně dne 26. 5. 2011

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Hanákovi, za ochotu pomoci a za cenné rady při zpracovávání této diplomové práce.

V Brně dne 26. 5. 2011

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem a realizací digitálně řízeného dvouosého polohovacího zařízení, které slouží pro pořizování panoramatických fotografií. Teoretická část, zabývající se jednotlivými díly zařízení, je doplněna praktickou částí, ve které je celé zařízení sestaveno a zprovozněno. Výsledkem je kompletní řešení polohovacího zařízení pro digitální fotoaparát Canon EOS 500D a jemu podobné.

Klíčová slova: polohovací zařízení, krokový motor, fotoaparát, panorama, panoramatická hlava, uzlový bod, Atmel, ATmega16, MC34063, L297, L298.

ABSTRACT

This thesis introduces the construction design of two-axis positioning device to be used as panoramic head. Theoretical part explains parts of the device and in the practical part is the device assembled. The result is a complete positioning device for digital camera Canon EOS 500D and for similar camera.

Keywords: positioning device, stepper motor, camera, panorama, panoramic head, nodal point, Atmel, Atmega16, MC34063, L297, L298.

OBSAH

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	10
Úvod.....	12
1 Polohovací zařízení.....	13
1.1 Motorický stativ na dalekohled.....	13
1.2 Motorický stativ na kameru	14
1.3 Motorický stativ pro fotografování panoramatických snímků.....	14
2 Panoramatické fotografie	16
2.1 Paralaxe	16
2.2 Uzlový bod – nodal point	17
2.3 Zorný úhel objektivu.....	18
3 Krokový motor	20
3.1 Konstrukce krokového motoru	20
3.2 Uspořádání vinutí motoru	21
3.2.1 Unipolárně.....	21
3.2.2 Bipolárně	22
3.3 Buzení krokového motoru:	23
3.4 Způsoby řízení	24
4 Elektronické části zařízení.....	26
4.1 Napájecí část.....	26
4.1.1 Napájení 5V větve.....	28
4.2 LCD displej [7].....	31
4.3 Maticová klávesnice [13].....	32
4.4 Mikrokontrolér [3].....	33
4.5 Obvod pro řízení krokových motorů	36
4.5.1 L297 – obvod pro řízení krokových motorů.....	36
4.5.2 L298 - Obvod pro buzení krokových motorů.....	38
4.6 Vybrané krokové motory	38
4.6.1 Lineární aktuátor	39
4.7 Snímač polohy	40
4.8 Komunikace s fotoaparátem	40
4.9 Celkové zapojení	42
5 Software.....	43
5.1 Knihovny	43
5.1.1 Knihovna pro práci s LCD	43
5.1.2 Knihovna pro práci s maticovou klávesnicí	44

5.1.3	Knihovna pro práci s krokovými motory	44
5.1.4	Knihovna pro práci s fotoaparátem	45
5.1.5	Knihovna pro práci s optozávorou	45
5.1.6	Knihovna pro práci s menu	45
5.1.7	Knihovna pro práci s ADpřevodníkem.....	46
5.1.8	Knihovna pro práci s vytvářením panoramatu	46
5.1.9	Hlavní program.....	47
5.2	Uživatelský manuál	47
5.2.1	Automatický režim	48
5.2.2	Manuální režim.....	48
5.2.3	Verze PanoHead	48
5.2.4	Debug	49
6	Konstrukce	50
6.1	Nosná konstrukce.....	50
6.1.1	Nosná konstrukce	50
6.1.2	Řídící box	51
6.1.3	Propojovací kabel	51
6.2	Deska plošného spoje	52
6.3	Oživení zapojení	52
6.4	Technické parametry	53
	Závěr	54
	Použitá literatura	55
	Příloha	57

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Motorický stativ na dalekohled [8]	14
Obr. 1.2 Motorický stativ na kameru [9].....	14
Obr. 1.3 Motorický stativ na fotoaparát [6]	15
Obr. 2.1 a) snímek A b) snímek B c) složený snímek A a B	17
Obr. 2.2 Řez objektivem – uzlový bod.....	17
Obr. 2.3 Upevnění fotoaparátu pro rotaci kolem uzlového bodu	18
Obr. 2.4 Závislost zorného úhlu na velikosti snímače	19
Obr. 3.1 Vnitřní zapojení cívek motoru.	21
Obr. 3.2 Unipolární zapojení krokového motoru	22
Obr. 3.3 Bipolární zapojení krokového motoru	22
Obr. 3.4 Chopper drive.....	23
Obr. 4.1 Blokové schéma polohovacího zařízení.....	26
Obr. 4.2 Blok NiMH baterií 7,2 V 3 Ah	27
Obr. 4.3 Vnitřní zapojení MC34063 [20].....	29
Obr. 4.4 Schéma napájecí části	30
Obr. 4.5 LCD displej 2x20 s řadičem HD44780.....	31
Obr. 4.6 Schéma zapojení LCD	31
Obr. 4.7 Numerická klávesnice.....	32
Obr. 4.8 Atmega32 – pouzdro TQFP	33
Obr. 4.9 Schéma zapojení mikroprocesoru	34
Obr. 4.10 Schéma zapojení řízení a buzení krokového motoru	36
Obr. 4.11 Vnitřní zapojení řídicího obvodu L297 [15]	37
Obr. 4.12 Vnitřní zapojení L298 [16]	38
Obr. 4.13 Krokový motor SX16-0503	39
Obr. 4.14 Lineární aktuátor SX16-0402LA-120.....	39
Obr. 4.15 Optozávora a její zapojení.....	40
Obr. 4.16 Kabelová spoušť RC60-E3 [18].....	41
Obr. 4.17 Vnitřní zapojení fotoaparátu [17].....	42
Obr. 4.18 Schéma zapojení ovládání fotoaparátu	42
Obr. 5.1 Hlavní menu.....	47
Obr. 5.2 Zadání ohniska objektivu	48
Obr. 5.3 Upozornění na překročení limitu zadávaného parametru	48
Obr. 5.4 Výpočet snímku panoramatického záběru	48
Obr. 5.5 Manuální režim	48
Obr. 5.6 Debug obrazovka	49

Obr. 6.1 Model nosné konstrukce polohovacího zařízení	51
Obr. 6.2 Rozložení pinů propojovacího konektoru	51
Obr. 6.3 Spodní strana DPS	53
Obr. 6.4 Horní strana DPS	53

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1: Zorné úhly pro Canon EOS 500D.....	19
Tabulka 3.1: Čtyřtaktní způsob ovládnání KM po jedné fázi	24
Tabulka 3.2: Čtyřtaktní způsob ovládnání KM po dvou fázích	24
Tabulka 3.3: Osmitaktní způsob spínání fází krokového motoru	25
Tabulka 3.4: Vícetaktní spínání fází krokového motoru.....	25
Tabulka 4.1: Parametry akumulátoru NOSRAM 3000 NiMH.....	27
Tabulka 4.2: Parametry obvodu MC34063	28
Tabulka 4.3: Parametry numerické klávesnice	32
Tabulka 4.4: Zapojení pinů mikrokontroléru	35
Tabulka 4.5: Popis pinů L297	37
Tabulka 4.6: Parametry vybraných krokových motorů.....	40
Tabulka 4.7: Seznam fotoaparátů s externím vstupem pro spoušť	41

SEZNAM ZKRATEK

A/D	Analogově digitální převodník
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren – plast (Acrylonitrile butadiene styrene)
ASCII	Kódová tabulka (American Standard Code for Information Interchange)
AVR	Rodina mikrokontrolerů Atmel
CCW	Proti směru hodinových ručiček (Counterclockwise)
CPLD	Komplexní programovatelné logické zařízení (Complex programmable logic device)
CW	Po směru hodinových ručiček (Clockwise)
DPS	Deska plošných spojů
EEPROM	Elektricky mazatelná ROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
FLASH	Elektricky programovatelná paměť s libovolným přístupem
FPGA	Programovatelné hradlové pole (Field-programmable gate array)
I ² C	Multi-masterová počítačová sériová sběrnice (Inter-Integrated Circuit)
ISP	Programování uvnitř obvodu (In System Programming)
JSA	Jazyk symbolických adres
JTAG	Standard podle normy IEEE 1149.1 (Joint Test Action Group)
LCD	Displej z tekutých krystalů (Liquid crystal display)
MF	Manuální ostření (Manual Focus)
PWM	Pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
RISC	Redukovaná instrukční sada (Reduced Instruction Set Computer)
ROM	Paměť pouze pro čtení (Read-Only Memory)
SPI	Sériové periferní rozhraní (Serial Peripheral Interface)
TQFP	Typ pouzdra (Thin Quad Flat Pack)
TWI	Dvou vodičová sériová sběrnice (Two Wire serial Interface)
U _F	Napětí v propustném směru (Diode forward voltage)
U _{PP}	Napětí špička-špička (Peak-to-peak voltage)
USART	Synchronní / asynchronní seriové rozhraní
U _{SAT}	Saturační napětí

ÚVOD

Aniž si to uvědomujeme, prakticky neustále se setkáváme s nějakým druhem polohovacího zařízení. Některé druhy používáme pro naši pohodlnost (polohovatelná židle), jiné jsou nám nápomocné (robot) a některé mohou být i životně důležité (například ve zdravotnictví). Nelze se tedy divit, že se s polohovacím zařízením setkáme i u fotoaparátů. Nejjednodušším příkladem je stativ, který nám umožní fixovat pevnou pozici fotoaparátu. Setkat se můžeme i se složitějšími systémy, které dokážou být plně automatizované. Jedná se o rozličné motorické stativy a právě návrhem jednoho z nich se tato práce zabývá. Jako konkrétní aplikace je pak dvouosé polohovací zařízení pro fotografování panoramatických snímků.

V posledních letech došlo především díky nárůstu výkonu počítačové techniky doslova k soupeření o největší panoramatickou fotografii, co se pixelů týká. Současným rekordmanem (květen 2011) je panorama Londýnu z 80 milionu pixelů [5] sestavené ze 7886 snímků.

Práce se v teoretické části zaměřuje na seznámení s rozdělením polohovacích zařízení, základy panoramatické fotografie, teorie krokových motorů, výběr jednotlivých komponent zařízení a návrh konstrukce. Ta je navržena pro použití s digitální zrcadlovkou Canon EOS 500D.

Praktická část práce se zabývá výběrem vhodných součástí, vytvoření programu pro mikrokontrolér Atmega16 v jazyku C a samotnou konstrukcí zařízení. Výsledkem je funkční polohovací zařízení, jak po stránce elektronické, tak i konstrukční.

1 POLOHOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Polohovací zařízení nám má zajistit určitou polohu, kterou jakožto uživatelé požadujeme. Můžeme je řadit do několika kategorií:

- **Fixní** – polohu zařízení není možno měnit, je nastavená od výrobce, např. jednoduchá židle.
- **Flexibilní** – je možno měnit polohu dvěma způsoby:
 - **Manuální** – polohu je možno ručně nastavit a pomocí určitých mechanismů aretovat (počítačový monitor, autosedačka).
 - **Automatická** – zařízení je polohováno automaticky podle nastavených parametrů nebo v závislosti na nějaké veličině (elektronická autosedačka s pamětí, pohybující se solární panely).

Další rozdělení je dle počtu os, ve kterém můžeme se zařízením pohybovat (pouze u manuálního a automatického polohovacího zařízení):

- **Jednoosé** – (nahoru a dolů), např. okna či dveře
- **Dvouosé** – počítačová myš
- **Tříosé** – jednoduché frézy
- **Víceosé** – robotická paže, flexibilnější stativ

U fotoaparátů se můžeme setkat jak s fixním manuálním, tak i s automatickým polohovacím zařízením. Za fixní se v tomto případě dá považovat jednoduchý stativ, na který je nám umožněno fotoaparát pouze nasadit (našroubovat). Manuální a automatická polohovací zařízení již mohou být nastavitelná v několika osách.

Protože se v této práci zabýváme dvouosým zařízením pro fotoaparát, pro které lze v praxi najít několik uplatnění. Pro fotografie je v některých situacích přímo nezbytně nutné fotoaparát aretovat, aby snímky pořizované při delší expozici či použití teleobjektivů nebyly rozmazány. Následuje přehled nejčastějších použití.

1.1 Motorický stativ na dalekohled

Při fotografování noční oblohy – souhvězdí, galaxií, atd. nestačí pouze aretovat fotoaparát doplněný případně dalekohledem, ale při použití delšího času expozice se nám do snímků projeví rotace zemské osy. Tím se nám hvězdy rozmazávají až v konečném efektu, vytváří světelné stopy. Z tohoto důvodu je velice výhodné použít motorický stativ, který nám dovoluje nejenom se s danou rotací země vypořádat, ale některé modely nám dokonce po zadání názvu hvězdy natočí dalekohled daným směrem a hvězdu potom neustále sledují.



Obr. 1.1 Motorický stativ na dalekohled [8]

1.2 Motorický stativ na kameru

Nejčastěji se s ním setkáváme na průmyslových kamerách, které nám střeží určitou oblast nebo se může použít i při natáčení filmu, aby se divákovi nezdál otočný pohyb kamery trhavý.



Obr. 1.2 Motorický stativ na kameru [9]

1.3 Motorický stativ pro fotografování panoramatických snímků

S příchodem digitální fotografie nastal i veliký rozmach panoramatických snímků. Jednotlivé fotografie se pořídí s určitých přesahem a posléze se pomocí počítačového softwaru snímky spojí v jeden celek. Pořídit fotografie lze v tomto případě i pomocí manuálního polohovacího zařízení. Avšak čím přesněji potřebujeme nastavit požadovaný úhel otočení fotoaparátu mezi jednotlivými

snímky, tím hůře se nám to může podařit a fotografie pak nemusí dosáhnout požadovaného překrytí. Nebo v případě, kdy chceme pořídit rozměrově opravdu rozsáhlé panorama např. ve třech řadách po 50 snímcích, by to bylo manuálně téměř vyloučeno. Některé firmy začaly nabízet motorizované řešení, jejich ceny se však pohybují v nepřiměřených částkách. Příkladem je níže uvedený Epic Pro od firmy GigaPan za cenu cca 18 000 Kč.



Obr. 1.3 Motorický stativ na fotoaparát [6]

2 PANORAMATICKÉ FOTOGRAFIE

Panoramatické fotografie zobrazují velký úhel pohledu, nejčastěji krajiny nebo jiného celku a díky tomuto širokoúhlému pohledu je fotografie pro diváka více přitažlivější, protože se přibližuje způsobu, jakým vnímáme. Takovou fotografii je možné získat několika způsoby:

- výřezem ze stávající fotografie,
- použitím speciálního panoramatického fotoaparátu,
- pořízením jednotlivých částí/dílů panoramatické fotografie a jejich následným složením pomocí grafického či speciálního programu.

Pro pořízení částí panoramatické fotografie je potřeba dodržet určité postupy a nastavení. Níže jsou uvedené některé základní [7]:

- **Překryv fotografií** – přesné číslo není nikde uvedeno, protože závisí na mnoha faktorech (typ objektivu, vzdálenost objektu, použitý program, apod.), obecně se ovšem doporučuje pro fotografování vzdálenějších objektů 30% překryv a pro objekty blízké 50% a více.
- **Rovina** – po složení do výsledné panoramatické fotografie je jí sice možné vodorovně vyrovnat, ovšem budeme nuceni výsledek ořezat, a tím můžeme ztratit velkou část panoramatu.
- **Clonové číslo a čas závěrky** – všechny pořízené snímky musí být pořízené se stejným jasem, jinak nám budou vznikat nežádoucí přechody mezi světlými a tmavými snímky. Nelze používat automatický režim fotografování.
- **Ohnisková vzdálenost** – pokud bychom jednotlivé snímky panoramatické fotografie přitahovali a oddalovali, nebylo by možné výsledné panorama složit.
- **Zaostřování** – je nutné aby byly všechny snímky zaostřené na stejnou vzdálenost. To zajistíme pomocí režimu manuálního ostření (MF).
- **Paralaxe** – bližší popis viz. další kapitola 2.1.

2.1 Paralaxe

Při spojování jednotlivých fotografií do výsledného panoramatu se nám v případě fotografování objektů v popředí a v pozadí vyskytne problém v jejich napojení. Je tomu tak kvůli chybě zkreslení paralaxy. Paralaxa je úhel, který svírají dvě přímky vedoucí z různých dvou bodů v prostoru k jednomu společnému bodu. Pokud to převedeme na reálný příklad, pak je to úhel, který svírá předmět a přímky do našich očí. Nejjednodušším příkladem paralaxy v praxi je pozorování předmětů střídavě levým a pravým okem. Chybu paralaxy ilustruje následující text doplněný o ilustrativní obrázky. Jako názorný příklad nám poslouží v popředí stojící muž s kufříkem a za ním v pozadí stojící

dům. Scénu vyfotografujeme Obr. 2.1a, dále fotoaparát pootočíme doleva a scénu opět vyfotografujeme (Obr. 2.1b), avšak muž stojící v popředí vypadá, jako by se vzhledem k domu posunul. Při skládání výsledného panoramatického snímku, kde jsou oba snímky spojeny v jeden, se nám muž v popředí objeví dvakrát (Obr. 2.1c). Abychom se vyvarovali chyby paralaxy, je nutné otáčet fotoaparát přesně podle uzlového bodu objektivu.



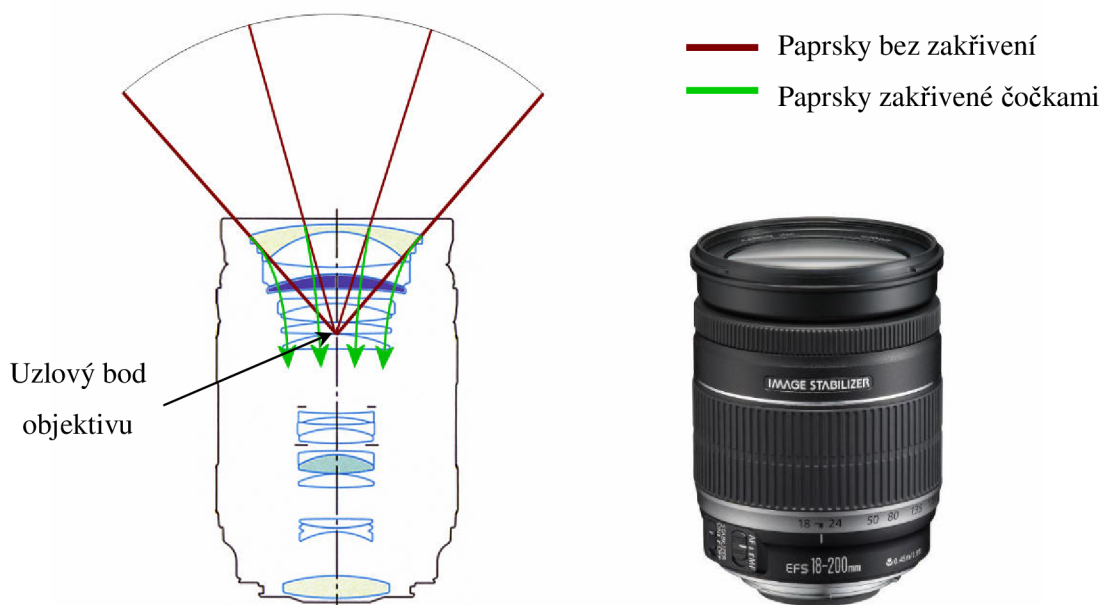
Obr. 2.1 a) snímek A

b) snímek B

c) složený snímek A a B

2.2 Uzlový bod – nodal point

Jak bylo výše uvedeno, pro dokonalé složení dvou a více překrývajících se fotografií je potřeba otáčet fotoaparát přesně podle uzlového bodu objektivu, což je místo uvnitř objektivu, kde by se sbíhaly paprsky světla, kdyby nebyly zakřiveny čočkami objektivu (Obr. 2.2).



Obr. 2.2 Řez objektivem – uzlový bod

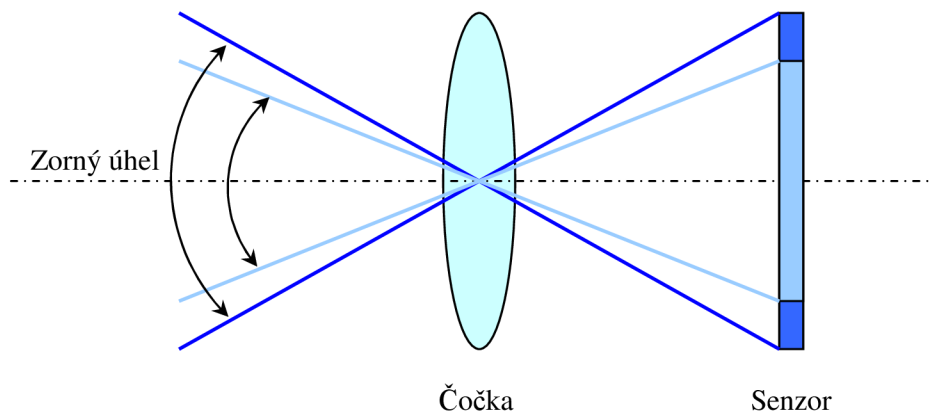
Je tedy patrné, že při menším ohnisku se nachází uzlový bod blíže přední části objektivu, při větším ohnisku je naopak dále od přední části. Žádný výrobce neuvádí, kde přesně se uzlový bod nachází. V praxi se tedy nejčastěji vyhledává pomocí testů a zkoušení na určité scéně, kde se vyskytují předměty v popředí a v pozadí. Na Obr. 2.3 můžeme vidět upevnění fotoaparátu na polohovacím zařízení tak, aby byl uzlový bod středem otáčení fotoaparátu.



Obr. 2.3 Upevnění fotoaparátu pro rotaci kolem uzlového bodu

2.3 Zorný úhel objektivu

Abychom dokázali spočítat počet podkladových snímků pro panoramatickou fotografii, potřebujeme znát zorný úhel, neboli záběr objektivu. Ten udává zorný úhel pro jednu fotografii. Je závislý na zvoleném ohnisku objektivu a velikosti snímače fotoaparátu. S rostoucí ohniskovou vzdáleností zorný úhel klesá, totéž platí pro snižující se velikost objektivu, viz Obr. 2.4.



Obr. 2.4 Závislost zorného úhlu na velikosti snímače

Pro výpočet zorného úhlu se využívá následující vzorec [10]:

$$\omega = 2 \arctg\left(\frac{D}{2a}\right) \quad (2.1)$$

kde ω je zorný úhel, D je velikost snímače a a je ohnisko.

Pro Canon EOS 500D, který používá APS-C snímač rozměrů 22,3 mm x 14,9 mm, lze následovně vypočítat tabulku zorných úhlů (Tabulka 2.1).

Tabulka 2.1: Zorné úhly pro Canon EOS 500D

Ohnisko	[mm]	18	24	35	50	65	80	95	115	135	150	170	200
Zorný úhel	[°]	55,8	45,7	33,7	24,5	19,2	15,7	13,3	11,0	9,4	8,5	7,5	6,4
osa X													
Zorný úhel	[°]	41,7	32,9	23,4	16,7	13,0	10,6	8,9	7,4	6,3	5,7	5,0	4,3
osa Y													

Příklad výpočtu zorného úhlu osy X pro ohnisko 50 mm:

$$\omega = 2 \arctg\left(\frac{22,3}{2 \cdot 115}\right) = 11,0^\circ \quad (2.2)$$

3 KROKOVÝ MOTOR

Jedná se o speciální druh synchronního vícepólového motoru. To znamená, že se rotor snaží udržet svojí konstantní polohu vůči otáčivému magnetickému poli. Na rozdíl od ostatních druhů motorů nevykonávají krokové motory spojitý pohyb, ale vykonávají ho po krocích (odtud jejich název). Díky tomu má každý přivedený impuls pevnou odezvu – krok, a proto není potřeba zpětné vazby pro určení polohy (tzn. způsob řízení v otevřené smyčce). Počet těchto kroků na otáčku je dán výrobcem a nepřesnost velikosti jednotlivých kroků je daná výrobní tolerancí, ovšem celková chyba na otočku je nulová. Kvůli absenci zpětné vazby neobdržíme informaci o ztrátě kroku zejména při nadměrné zátěži (tzn. více než kolik je motor schopný utáhnout) a nebo při příliš vysoké rychlosti. Některé řídicí jednotky motorů dokáží na základě měření proudu motorem detekovat ztrátu kroku, případně lze použít enkodér. Díky vnitřnímu uspořádání nemůže dojít k poškození motoru při nesprávném buzení jednotlivých vinutí. Nevýhodou bývá někdy malý kroutící moment, přesto se krokové motory těší oblibě v různých aplikacích v regulační technice, přesné mechanice a robotice většinou do nosnosti 5 kg.

3.1 Konstrukce krokového motoru

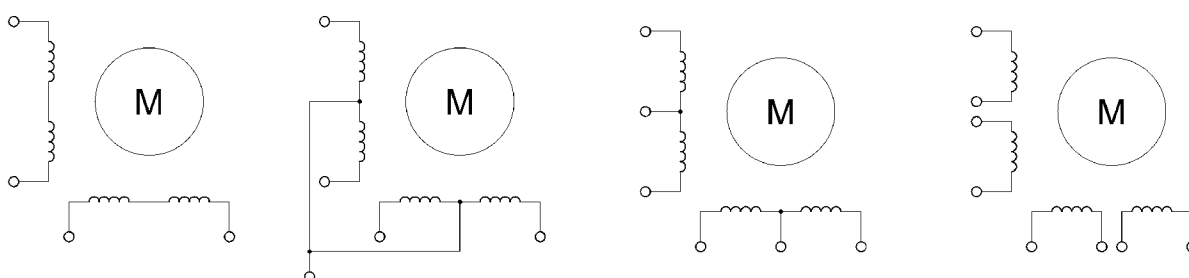
Z konstrukčního hlediska je možné krokové motory rozdělit na několik typů. Nelze však říct, že se vyrábí výhradně podle jednoho typu, protože i ostatní typy mají své přednosti. Na následujících řádcích jsou popsány jednotlivé typy konstrukce.

- **Motory s pasivním rotorem** – rotor je vyroben z magneticky měkkého materiálu se zuby. Jednoduchá a tedy levná konstrukce, velikost kroku $1^\circ \div 5^\circ$
- **Krokové motory s aktivním rotorem** – rotor obsahuje magneticky aktivní část (permanentní magnet), působí teda jistou silou.
 - **Motory s radiálně polarizovaným permanentním magnetem** – rotor je podélně magnetizován. Vyšší momentová charakteristika, větší velikost kroku $7,5^\circ \div 15^\circ$
 - **Motory s axiálně polarizovaným permanentním magnetem** – označované jako hybridní motory – jsou dnes nejpoužívanějším typem krokového motoru. Kombinují konstrukci a vlastnosti dříve uvedených krokových motorů. Na rotoru jsou umístěny dva ozubené nádstavce. Každý nádstavec je jinak polarizován. Oproti motorům s pasivním rotorem má tento dokonce až 2,5krát větší statický moment, velikost kroku $0,36^\circ \div 5^\circ$. Jejich konstrukce je náročná, a proto je i cena vyšší.
- **Motory s odvalujícím rotorem** – jsou typické tím, že jejich vzduchová mezera je v jednom nebo několika místech nulová (rotor se dotýká statoru) [12]. Jsou vhodné pro velmi malé kroky a vysoké kmitočty.

3.2 Uspořádání vinutí motoru

Všechny vývody jednotlivých cívek motoru nemusí být vždy z motoru vyvedeny, záleží pouze na výrobci, jak vinutí cívek zapojí a kolik konců vinutí z motoru vyvede. V praxi se můžeme setkat s tímto počtem vyvedených vodičů:

- 4 vodiče (jsou vyvedeny konce 2 cívek) Obr. 3.1a
- 5 vodičů (jsou vyvedeny konce 2 cívek + napájecí) Obr. 3.1b
- 6 vodičů (jsou vyvedeny konce 2 cívek + napájecí pro každou cívku zvlášť) nebo se jedná o 3 cívky a jejich konce – Obr. 3.1c
- 8 vodičů (jsou vyvedeny konce rozdělených cívek) Obr. 3.1d



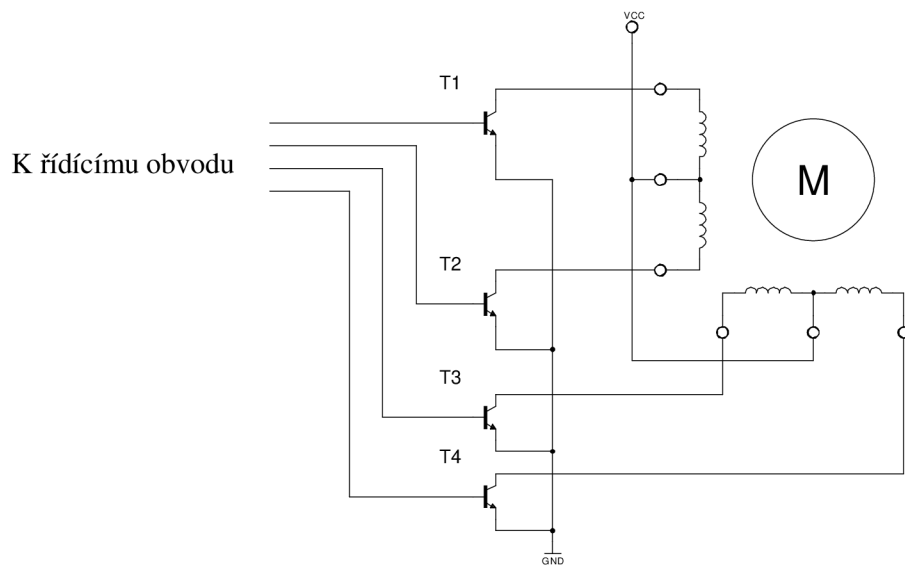
Obr. 3.1 Vnitřní zapojení cívek motoru.

Podle způsobu průchodu proudu jednotlivými vinutími je možné krokové motory budít (zapojit) dvojím způsobem – unipolárně a bipolárně. Každé buzení má své výhody a nevýhody.

Motory s těmito druhy vinutí jsou označovány jako 2-fázové krokové motory a jsou nejvíce rozšířené. V praxi se však můžeme setkat i s 3fázovými motory (výrobce Berger-Lahr) nebo výjimečně i s nejstaršími 5-fázovými motory.

3.2.1 Unipolárně

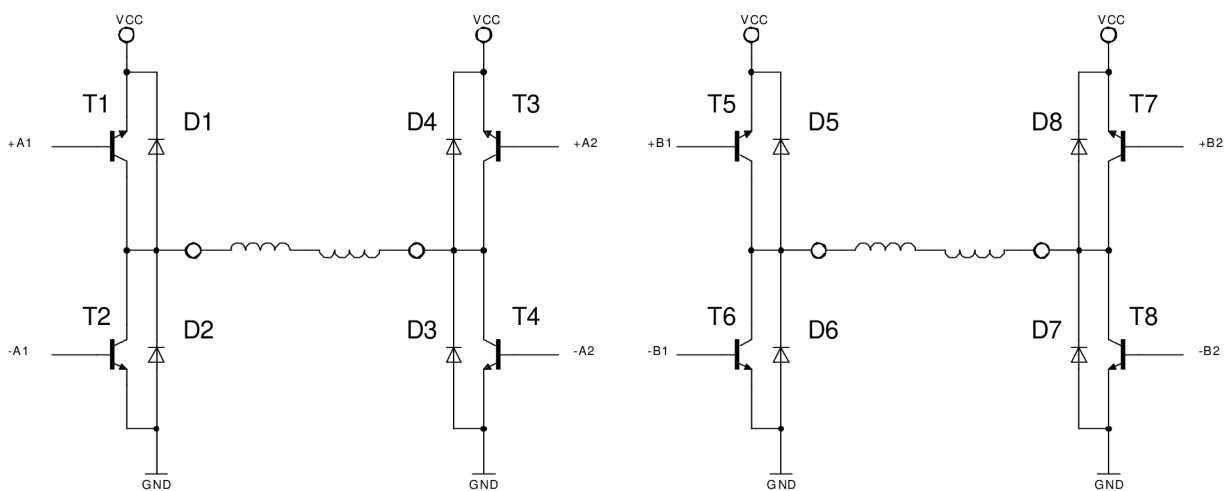
Při unipolárním zapojení prochází proud pouze jedním směrem vinutí. Není tedy nutné měnit polaritu připojeného napětí a právě z tohoto důvodu se jedná o jednodušší zapojení. Vzhledem k tomu, že není buzena protilehlá cívka, toto zapojení poskytuje nižší kroučící moment. Na Obr. 3.2 je unipolární zapojení krokového motoru. V praxi se jako budič využívá integrovaného obvodu typu ULN2003A, tedy tranzistorů v Darlingtonově zapojení, doplněné o ochranné diody.



Obr. 3.2 Unipolární zapojení krokového motoru

3.2.2 Bipolárně

U bipolárního buzení je požadována změna proudu v jednotlivých vinutích, tedy změny polarity přivedeného napětí. To s sebou přineslo potřebu složitějšího zapojení budícího obvodu. V praxi se proto nejčastěji používá buzení pomocí dvojitého H-můstku, kdy se pro každou fázi používá jeden H-můstek. Při buzení cívky má protilehlá cívka opačné magnetické pole, a to zvyšuje kroutící moment oproti unipolárnímu zapojení, avšak díky tomu stoupá i spotřeba. Bipolární zapojení pomocí H-můstku je nejen dražší, ale také složitější na řídicí systém. Navíc v případě, že nejsou ošetřeny spínací posloupnosti tranzistorů, může nastat zkrat a destrukce tranzistorů. Tento způsob buzení není možný u motorů s pěti vývody.



Obr. 3.3 Bipolární zapojení krokového motoru

3.3 Buzení krokového motoru:

Vinutí krokových motorů je pro buďící obvod RL zátěž, jedná se o obvod s přechodným dějem, který má časovou konstantu τ podle vzorce:

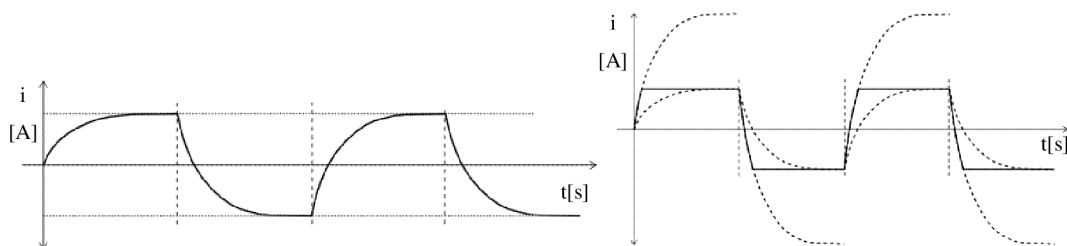
$$\tau = \frac{L}{R} [\text{s}] \quad (3.1)$$

Po přiložení napětí se tedy okamžitě nevybudí ustálený protékající proud, ale tento proud roste po logaritmické křivce. Průběh napětí na vinutí v závislosti na čase je na Obr. 3.4a. V případě nízkých frekvencí spínání vinutí, nás časová konstanta nikterak neomezí, problém ovšem nastane při frekvencích vysokých, kdy bude časová konstanta natolik velká, že než dojde k ustálenému průchodu proudem, bude obvod již rozepnut. Abychom se tohoto problému vyvarovali, máme několik možností zapojení.

Použití předřadného odporu – sníží se nám časová konstanta τ , ovšem k dosažení ustálené hodnoty proudu budeme potřebovat vyšší napájecí napětí a navíc nám na předřadném odporu budou vznikat ztráty.

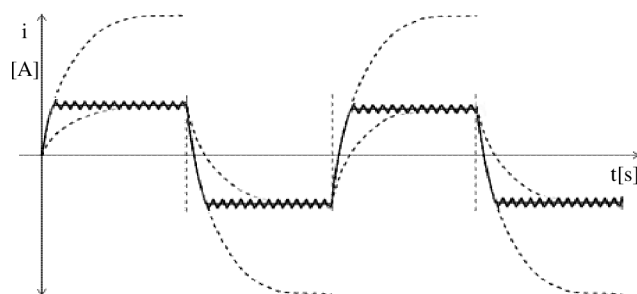
Dvouúrovňový budič – zde je vinutí motoru připojeno ke dvěma zdrojům napětí (jedním vyšším a druhým nižším). Abychom urychlili nástup proudu, nejprve připojíme vinutí k vyššímu napětí a okamžik, kdy se bude procházející proud blížit ustálené hodnotě, napětí přepojíme na nižší. Průběh napětí na vinutí je na Obr. 3.4b.

Přerušovací budič – takzvaný chopper drive využívá jedné velikosti napájení, která je po dosažení požadovaného průchodového proudu neustále připíná a odepíná ve vysoké frekvenci. Je tedy možné použít vysokého vstupního napětí bez nebezpečí proudového přetížení krokového motoru. Průběh napětí na vinutí je na Obr. 3.4c.



a) základní buzení

b) Dvouúrovňový budič



Obr. 3.4 c) Chopper drive

3.4 Způsoby řízení

V terminologii řízení krokovým motorem narážíme na slovo fáze, která se zde používá místo slova cívka. Další slovo je takt, což je elementární část pracovního cyklu. Řídit pohyb krokového motoru je možné několika následujícími způsoby:

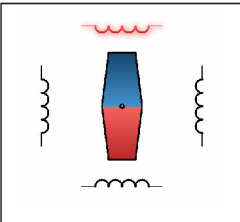
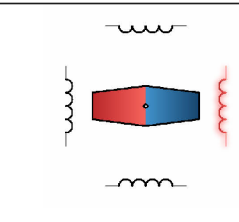
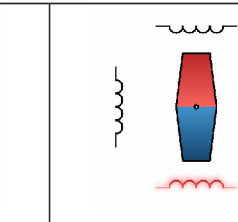
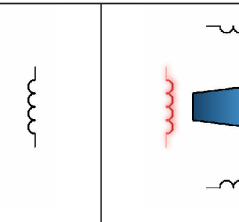
1. Čtyřtaktní způsob spínání fází krokového motoru:

Pro vykonání celého pracovního cyklu je potřeba vykonat čtyři elementární části. Dle množství sepnutých fází zároveň dělíme na:

a) Čtyřtaktní způsob ovládání KM po jedné fázi

Spínáme vždy pouze jednu fázi, v jednu chvíli tedy prochází proud pouze jednou fází a krokový motor má tedy nižší kroutící moment.

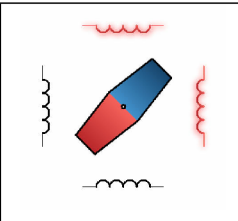
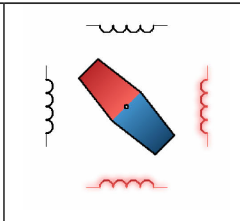
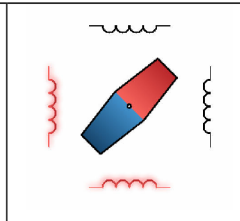
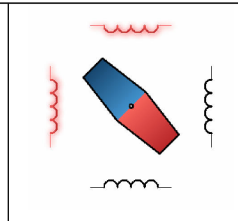
Tabulka 3.1: Čtyřtaktní způsob ovládání KM po jedné fázi

				
Fáze A	1	0	0	0
Fáze B	0	1	0	0
Fáze C	0	0	1	0
Fáze D	0	0	0	1

b) Čtyřtaktní způsob ovládání KM po dvou fázích

V jeden moment jsou sepnuty dvě vedlejší cívky, rotor je tedy přitahován oběma vybuzenými magnetickými poli současně. Rotor se tedy nastaví do polohy mezi nimi. Magnetické pole působí dvojnásobnou velikostí, a proto je možno dosáhnout vyššího kroutícího momentu, ovšem za cenu vyšší proudové náročnosti.

Tabulka 3.2: Čtyřtaktní způsob ovládání KM po dvou fázích

				
Fáze A	1	0	0	1
Fáze B	1	1	0	0
Fáze C	0	1	1	0
Fáze D	0	0	1	1

2. Osmitaktní způsob spínání fází krokového motoru

Vznikne sloučením dvou předchozích způsobů řízení. Nevýhodou je kolísající kroutící moment, ovšem za cenu možnosti provádění půlkroků, proto se označuje jako řízení s polovičním krokem.

Tabulka 3.3: Osmitaktní způsob spínání fází krokového motoru

					...
Fáze A	1	1	0	0	...
Fáze B	0	1	1	1	...
Fáze C	0	0	0	1	...
Fáze D	0	0	0	0	...

3. Vícetaktní spínání fází krokového motoru neboli mikrokrokování

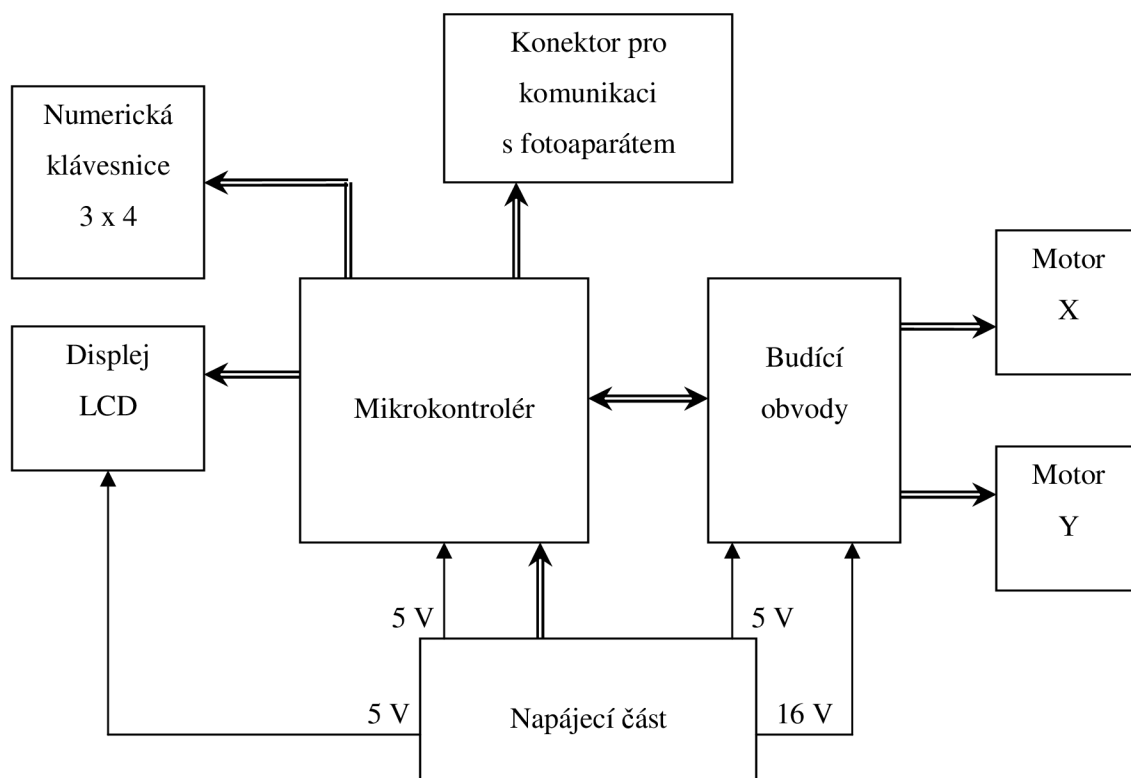
Pomocí tohoto způsobu lze docílit nejjemnějšího polohování. Tento způsob řízení vychází z řízení s polovičním krokem, který je však více rozšířen. Jednotlivé sousední cívky jsou napájeny pomocí pulzně šířkové modulace, čímž nastavíme střední hodnotu proudu procházející cívkami. Ten v nich vybudí odpovídající magnetické pole. Výsledné magnetické pole je dáno jejich součtem a je tedy možno přesně směřovat polohu rotoru. Obvody pro mikrokrokování jsou konstrukčně náročné. V praxi se mikrokrokování používá spíše pro zklidnění chodu motoru.

Tabulka 3.4: Vícetaktní spínání fází krokového motoru

					...
Fáze A	1	1	1	1/2	...
Fáze B	0	1/2	1	1	...
Fáze C	0	0	0	0	...
Fáze D	0	0	0	0	...

4 ELEKTRONICKÉ ČÁSTI ZAŘÍZENÍ

Na následujících stránkách rozebereme elektronické části zařízení. Nejprve je uvedeno propojení jednotlivých dílčích bloků (Obr. 4.1) a posléze samotný rozbor.



Obr. 4.1 Blokové schéma polohovacího zařízení

4.1 Napájecí část

Jelikož je potřeba, aby bylo celé zařízení mobilní, je nutné jej napájet z autonomního zdroje elektrické energie - jakým je galvanický článek, neboli baterie či akumulátor. V dnešní době je dostupná spousta technologií přeměny chemické látky na elektrické napětí, ve stručnosti jsou níže uvedeny alespoň základní druhy:

- Olověný (Pb)
- Nikl-kadmiový (NiCd)
- Nikl-metal hydridový (NiMH)
- Lithium-iontový (Li-ion)
- Lithium-polymerový (Li-Pol)

Každá technologie z výše uvedených nabízí jisté přednosti (měrná kapacita na objem, dlouhá životnost, samovybití), ale také nevýhody (cena, nízké svorkové napětí, počet cyklů, toxicita). Proto je potřeba přihlídnout ke všem parametrům pro konkrétní aplikaci.

Pro polohovací zařízení byla vybrána technologie Ni-MH a to hned z několika důvodů. Cena, dostupnost, svorkové napětí a jednoduchost nabíjení jsou výhodou. Nevýhodou jsou větší rozměry. Pro napájení zařízení je použita dvojice NiMH bloků NOSRAM 3000. Tím zajistíme dostatečnou energii pro delší použití a zapojením do série zvýšíme napájecí napětí na 14,4 V, které je pro vybrané krokové motory dostatečné. Blok vybraných akumulátorů je možné si prohlédnout na Obr. 4.2 a parametry udávané výrobcem v Tabulka 4.1.



Obr. 4.2 Blok NiMH baterií 7,2 V 3 Ah

Tabulka 4.1: Parametry akumulátoru NOSRAM 3000 NiMH

Kapacita	3000 mAh
Jmenovité napětí	7,2 V
Počet článků	6 ks
Maximální nabíjecí proud	3 ÷ 3,2 A
Přípustné vybití	4,8 V

Z tabulky je patrné, že akumulátorový blok je přípustné vybití na 4,8 V, dále již nesmí docházet k dalšímu vybíjení, protože pak se velmi intenzivně zkracuje životnost. Abychom tomu zabránili, napětí baterií sledujeme pomocí A/D převodníku obsaženém v mikrokontroléru ATmega16, v případě poklesu napětí pod nastavenou úroveň odpojíme napájení krokových motorů a uživatele informuje na LCD displeji. Schéma napájecí části je na Obr. 4.4.

Napájecí část je vybavena proti přepólování baterií pomocí diody D_1 , kterou by začal při přepólování procházet proud a přepálil by pojistku. Toto řešení je oproti sériově řazené diodě lepší v tom, že na diodě D_1 nevzniká trvalý úbytek napětí. Dále je zde použit spínač (svorkovnice ON-OFF) pro celkové zapnutí a vypnutí zařízení.

4.1.1 Napájení 5V větve

Obvody mikrokontroléru a řídicích obvodů krokových motorů vyžadují napájení pomocí 5 V, jsme tedy nuceni napětí z akumulátorů snížit. Uvažujeme-li o maximálním odběru 500 mA na 5V větvi, pak nám při použití jednoduchého řešení v podobě klasického lineárního zdroje – např. stabilizátoru 7805 vychází ztrátový výkon:

$$P_Z = (U_{VST(MAX)} - U_{VYST}) \cdot I_{MAX} = (14,4 - 5) \cdot 0,5 = 9,4 \cdot 0,5 = 4,7 \text{ W} \quad (4.1)$$

Veškerý ztrátový výkon se promění na teplo, z čehož vyplývá nutnost použití chladiče.

Dalším způsobem změny napětí je použití spínaného zdroje. S těmi se v dnešní době setkáváme stále častěji – vykazují vysokou účinnost. Jejich nevýhodou je složitější návrh. Pro zařízení byl vybrán DC-DC měnič MC34063, jehož vnitřní zapojení je na Obr. 4.3 a parametry v Tabulka 4.2.

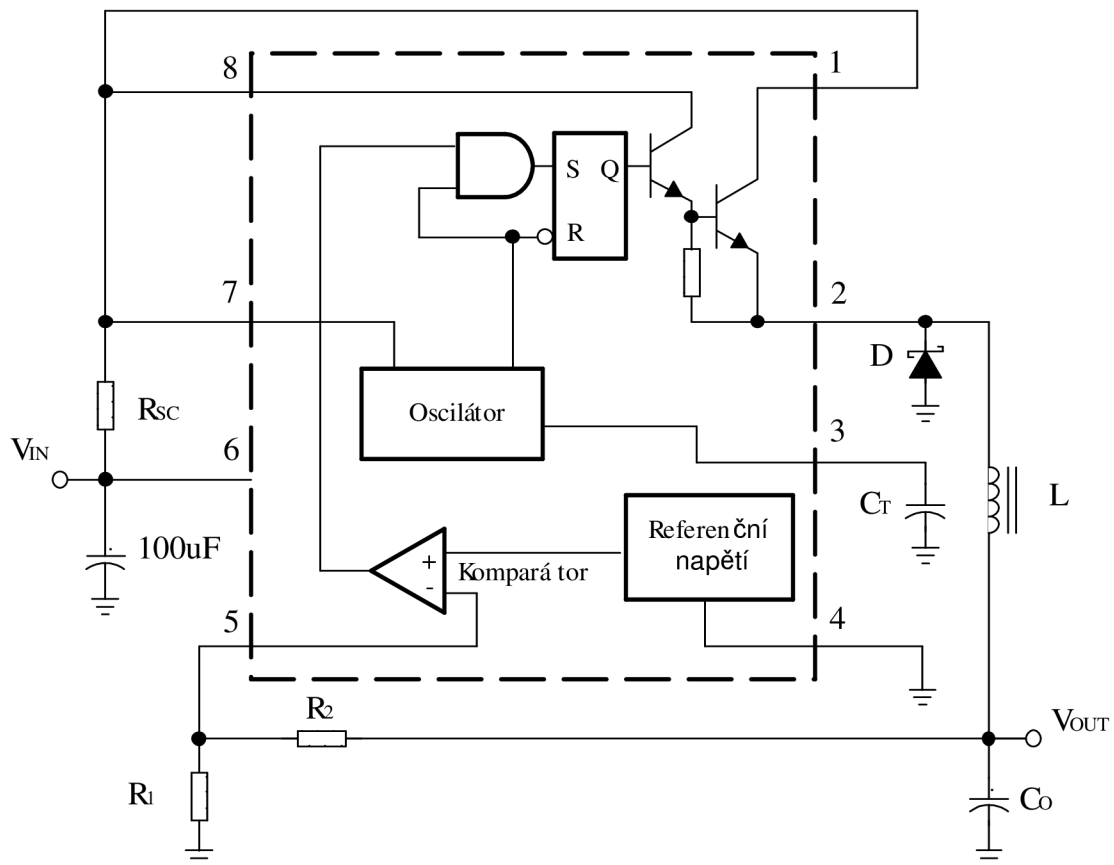
MC34063 obsahuje následující :

- teplotně stabilizovaný zdroj referenčního napětí 1,25 V,
- komparátor pro porovnání referenčního napětí s výstupním napětím,
- oscilátor pilového průběhu pracující na nastavené frekvenci pomocí kondenzátoru C_T ,
- budič tranzistoru,
- spínací tranzistor,
- omezovač špičkového proudu.

Výhodou tohoto měniče je použití minima externích součástek. Na výstupu je zapojen kondenzátor C_0 , který je vlivem výstupního proudu dobíjen. Spolu s indukčností L , tvoří integrující článek LC. Pokud dojde k sepnutí tranzistorů, dochází k nárůstu výstupního napětí a při rozepnutí se indukčnost snaží, aby byl směr a velikost proudu stejný. Naakumulovaná energie se při sepnutém stavu mění na proud, kterým je výstupní kondenzátor dobíjen. Přes diodu D se tento okruh uzavírá, je tedy nutné použít rychlou diodu (Shottkyho diodu). Volbu výstupního napětí tudíž ovlivníme rychlostí spínání tranzistoru.

Tabulka 4.2: Parametry obvodu MC34063

Rozsah vstupních napětí	3 ÷ 40 V
Rozsah výstupních napětí	1,25 ÷ 40 V
Maximální spínací proud	0,75 A
Maximální pracovní kmitočet	100 kHz
Účinnost	70 ÷ 89 %



Obr. 4.3 Vnitřní zapojení MC34063 [20]

Na následujících řádcích je rozebrán postup návrhu snižujícího měniče z $U_1 = 14,4 \text{ V}$ na $U_2 = 5 \text{ V}$ při maximálním proudu $0,5 \text{ A}$, při pracovní frekvenci 40 kHz . Další známé hodnoty pro výpočet jsou minimální vstupní napětí $U_{\text{IMIN}} = 9,6 \text{ V}$, napětí Shottkyho diody v propustném směru $U_F = 0,385 \text{ V}$, saturační napětí výstupního tranzistoru v sepnutém stavu $U_{\text{SAT}} = 1 \text{ V}$ a dovolené zvlnění $U_{\text{PP}} = 100 \text{ mV}$. Následný výpočet:

$$(t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) = \frac{1}{f} = \frac{1}{40 \cdot 10^3} = 25 \mu\text{s} \quad (4.2)$$

$$\frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}} = \frac{U_{\text{out}} + U_F}{U_{\text{in}(\text{min})} - U_{\text{SAT}} - U_{\text{out}}} = \frac{5 + 0,385}{9,6 - 1 - 5} = 1,496 \quad (4.3)$$

$$t_{\text{off}} = \frac{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}}{\frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{off}}} + 1} = \frac{25 \cdot 10^{-6}}{1,496 + 1} = 10 \mu\text{s} \quad (4.4)$$

$$t_{\text{on}} = (t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) - t_{\text{off}} = 25 - 10 = 15 \mu\text{s} \quad (4.5)$$

Doba sepnutí výstupního tranzistoru je $15 \mu\text{s}$ a rozepnutí $10 \mu\text{s}$.

4.2 LCD displej [7]

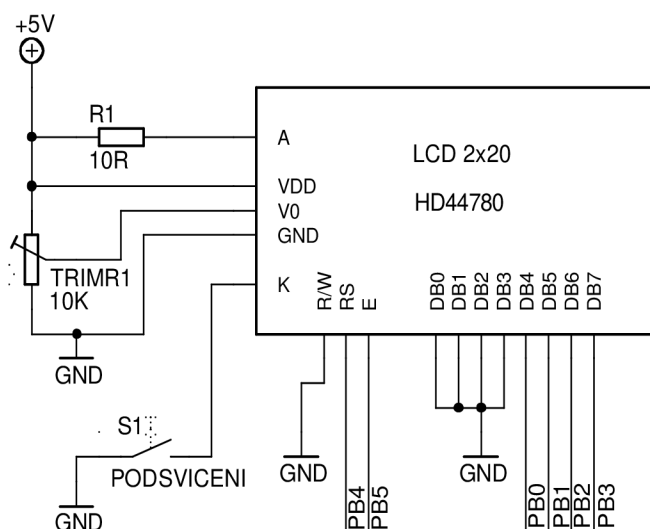
Pro přehledné zobrazení nastavených či zadávaných údajů a stavu zařízení nám slouží zobrazovací jednotka. V současné době jsou nejvíce rozšířené technologie:

- LCD (Liquid Crystal Display)
- VFD (Vacuum Fluorescent Display)
- OLED (Organic light-emitting diode)

Nejlepších vlastností dosahuje nejnovější technologie OLED, kterou (zatím) omezuje cena. Do navrhovaného zařízení bylo tedy vybráno LCD. Displeje této technologie jsou vyráběny s možností výpisu po znacích (znakové displeje), nebo s výpisem po bodu (grafické displeje). Protože není třeba žádných graficky náročných obrazců, byl vybrán znakový displej 2x20 (Obr. 4.5) obsahující řadič HD44780, jehož výhodou je snadné ovládání a možnost posílat data po 4 vodičích. Tím lze ušetřit porty řídicího procesoru.



Obr. 4.5 LCD displej 2x20 s řadičem HD44780



Obr. 4.6 Schéma zapojení LCD

Důležitým parametrem pro výběr je i spotřeba. Displej má při napájecím napětí 5 V spotřebu pro napájení logických obvodů pouze maximálně 2 mA a pro podsvícení 80 mA. Na schématu zapojení LCD displeje (Obr. 4.6) vidíme napájecí napětí 5 V, které jde přímo na pin V_{DD} displeje. Protože anoda displeje vyžaduje pouze 4,2 V, je předřazen odpor R_1 , který zajistí úbytek napětí 0,8 V při 80 mA. Pro regulaci kontrastu displeje nám slouží vstup V_0 , kterému předřadíme trimr o velikosti $10\text{ k}\Omega \div 20\text{ k}\Omega$. Podsvícení je možné zapínat/vypínat pomocí posuvného spínače S_1 , který je umístěný na ovládacím panelu. Pin R/S slouží pro určení, zda do displeje posíláme data nebo příkazy, pinem E je následně potvrdíme. Při práci s displejem využíváme pouze zápisu, pin R/W je tedy uzemněn. Použit je pouze 4 bitový přenos dat ($DB0 \div DB3$ uzemníme).

4.3 Maticová klávesnice [13]

Jako vstupní prvek celého zařízení slouží maticová numerická klávesnice. Ta slouží nejen pro zadávání číselných hodnot pro počet snímků, ale i pro potvrzování údajů (pomocí tlačítka „#“) a případně pro jejich stornování (tlačítko „*“). Dále je možné pomocí klávesnice řídit pohyb fotoaparátu jak v horizontální, tak i vertikální ose a to přes klávesy 2, 8, 4, 6, které zastupují kurzorové klávesy. Obr. 4.7 zobrazuje vybranou klávesnici, Tabulka 4.3 popisuje její parametry.



Obr. 4.7 Numerická klávesnice

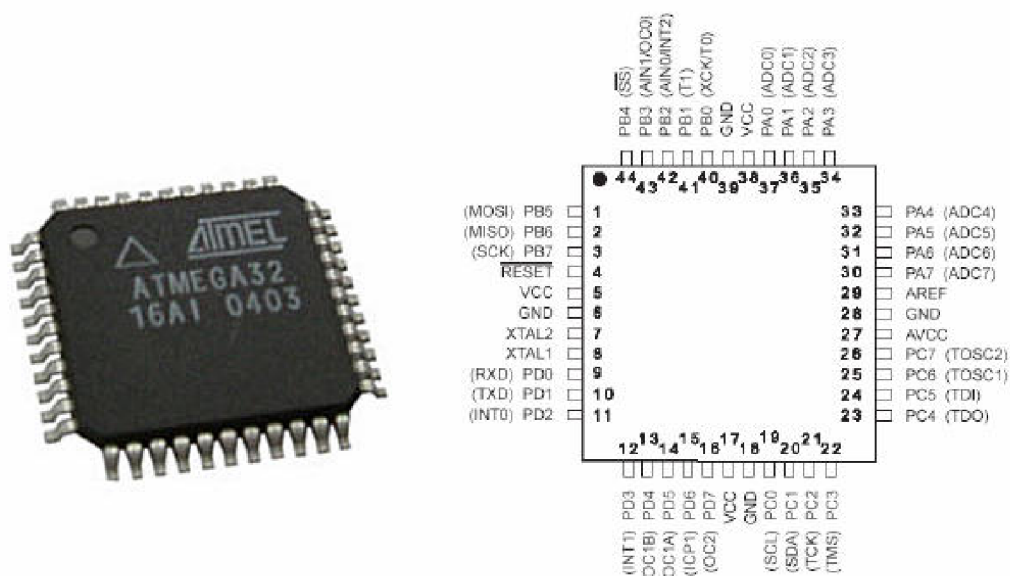
Tabulka 4.3: Parametry numerické klávesnice

Max. pracovní proud				20 mA			
Max. pracovní napětí				24 V DC			
Max. odpor kontaktu				200 m Ω			
Mechanická trvanlivost				10 ⁶ cyklů			
PIN1	PIN2	PIN3	PIN4	PIN5	PIN6	PIN7	
COL2	ROW1	COL1	ROW4	COL3	ROW3	ROW2	

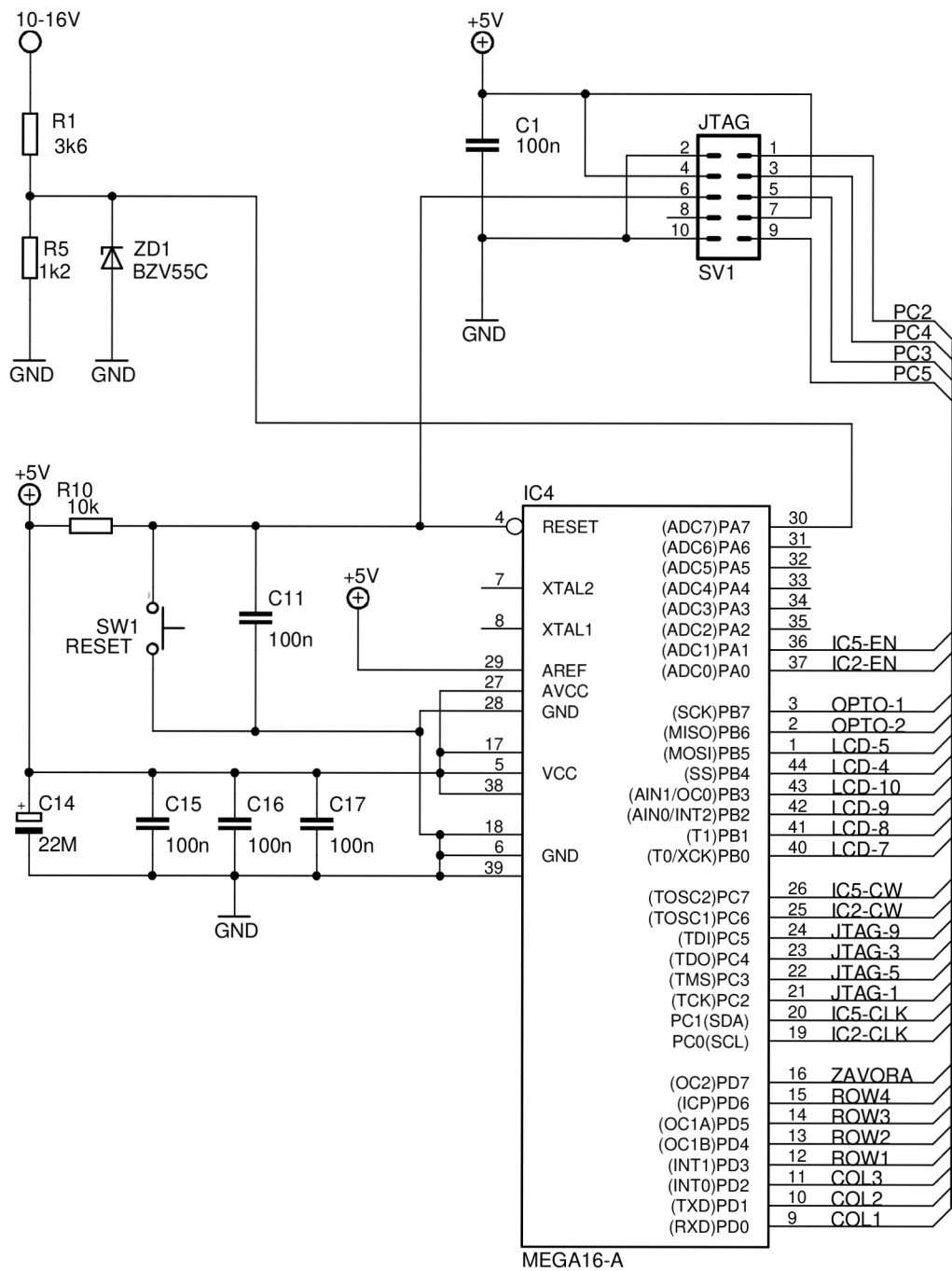
4.4 Mikrokontrolér [3]

Řízení zařízení má na starosti 8bitový RISC mikroprocesor od firmy ATMEL. Firma ATMEL je jedním z největších výrobců mikroprocesorů. Z nabídky firmy byl vybrán hojně používaný a oblíbený procesor ATmega16 (Obr. 4.8), který má následující parametry:

- instrukční soubor 131 příkazů,
- 32 osmibitových registrů,
- 4 osmibitové vstupně/výstupní porty,
- maximální hodinový kmitočet 16 MHz,
- paměť programu FLASH o velikosti 16 KB,
- datová paměť ROM o velikosti 1 KB,
- datová paměť EEPROM o velikosti 512 B,
- 2 osmibitové a 1 šestnáctibitový čítač/časovač,
- 4 PWM kanály,
- analogový komparátor,
- 8 desetibitových A/D převodníků,
- jednotky USART, SPI, TWI (s I2C),
- jednotky WatchDog Timer, Power-on-Reset,
- 8 MHz interní oscilátor.



Obr. 4.8 Atmega32 – pouzdro TQFP



Obr. 4.9 Schéma zapojení mikroprocesoru

Pro naprogramování mikrokontroléru je využito standartu JTAG, který slouží nejenom k programování mikroprocesorů, ale i pro hradlových polí (CPLD, FPGA), či pro testování plošných spojů.

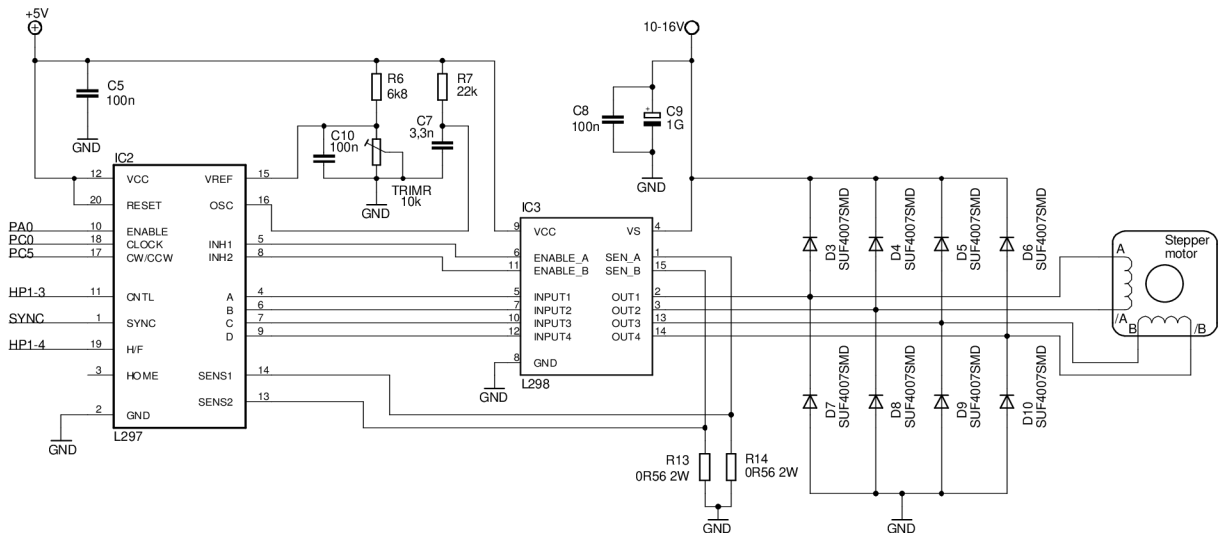
Ke sledování stavu baterií bude využit integrovaný 10bitový A/D převodník na pinu PA₇. Jako referenční napětí použijeme 5 V, ZD₁ nás ochrání před vyšším napětím na vstupu A/D převodníku. Tlačítko SW₁ slouží pro resetování obvodu.

Tabulka 4.4: Zapojení pinů mikrokontroléru

Pin	Využití
PORTA	
PA0	<i>ENABLE</i> – povolení krokového motoru X
PA1	<i>ENABLE</i> – povolení krokového motoru Y
PA2	
PA3	
PA4	
PA5	
PA6	
PA7	A/D převodník pro sledování napětí akumulátorů
PORTB	
PB0	<i>DB4</i> – datová komunikace LCD
PB1	<i>DB5</i> – datová komunikace LCD
PB2	<i>DB6</i> – datová komunikace LCD
PB3	<i>DB7</i> – datová komunikace LCD
PB4	<i>R/S</i> – nastavení Data/Příkaz pro LCD
PB5	<i>E</i> – potvrzení zápisu do LCD
PB6	Spoušť fotoaparátu
PB7	Ostření fotoaparátu
PORTC	
PC0	<i>CLOCK</i> – pulsy krokového motoru X
PC1	<i>CLOCK</i> – pulsy krokového motoru Y
PC2	<i>TCK</i> – JTAG
PC3	<i>TMS</i> – JTAG
PC4	<i>TD0</i> – JTAG
PC5	<i>TDI</i> – JTAG
PC6	<i>CW/CCW</i> – směr otáčení krokového motoru X
PC7	<i>CW/CCW</i> – směr otáčení krokového motoru Y
PORTD	
PD0	<i>CL1</i> – 1. sloupec klávesnice
PD1	<i>CL2</i> – 2. sloupec klávesnice
PD2	<i>CL3</i> – 3. sloupec klávesnice
PD3	<i>RO4</i> – 4. řádek klávesnice
PD4	<i>RO3</i> – 3. řádek klávesnice
PD5	<i>RO2</i> – 2. řádek klávesnice
PD6	<i>RO1</i> – 1. řádek klávesnice
PD7	Snímání optozávory

4.5 Obvod pro řízení krokových motorů

O řízení krokových motorů se stará dvojice integrovaných obvodů L297 a pro buzení pak další dvojice integrovaných obvodů L298 – jejich popis je v následujících podkapitolách. Celkové zapojení jednoho motoru je na Obr. 4.10. Pro ochranu obvodu proti proudu, který by vybudil motor při jeho ruční rotaci, jsou připojeny diody $D_3 \div D_{10}$, které musí být dostatečně rychlé ($t_{tr} \leq 200$ ns).



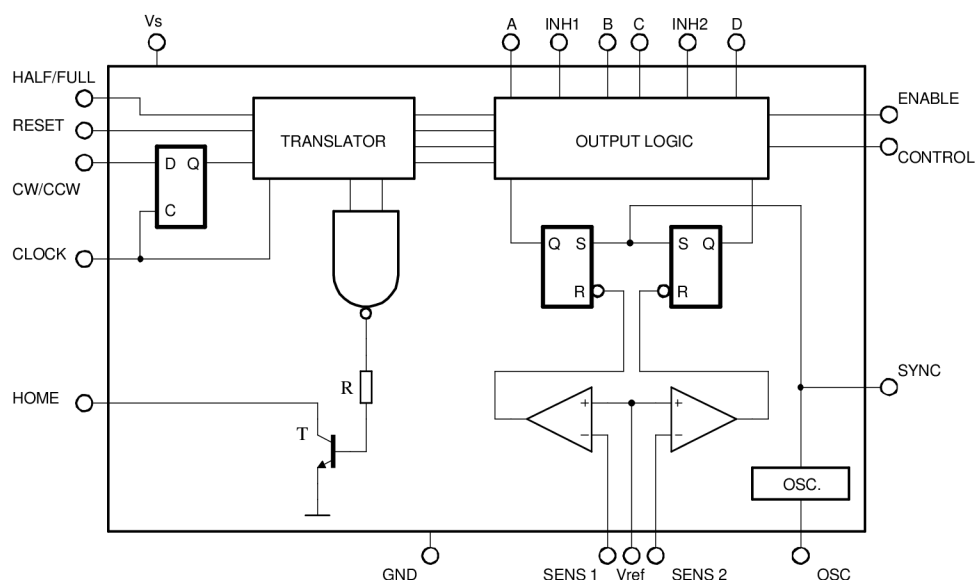
Obr. 4.10 Schéma zapojení řízení a buzení krokového motoru

4.5.1 L297 – obvod pro řízení krokových motorů

Jak bylo uvedeno v kapitole 3.3, dají se krokové motory řídit několika způsoby (jednofázově, dvoufázově, s polovičním krokem). Abychom dosáhli vysokého kroutícího momentu, vybrali jsme bipolární řízení. Nabízí se nám řídit výkonovou část přímo z procesoru ATmega, ovšem v tomto případě bychom potřebovali velké množství pinů procesoru. Pro jeden krokový motor jsou to vstupy na jednotlivá vinutí (A, /A, B, /B), dále pak pro kontrolu proudu procházejícím vinutím motorem (SEN1, SEN2) a v případě výkonového budiče L298 ještě výstupy pro IN1 a IN2, které nám aktivují proudy jednotlivými vinutími. Při takovém počtu potřebných vstupů/výstupů již nezůstávají další volné piny pro přidané periferie. Z tohoto důvodu využijeme specializovaného integrovaného obvodu a sice L297. Na jeho vstup přivedeme pouze informaci o směru (direction), povolení (enable) motoru a jednotlivé pulzy pro krokování (step). L297 dokáže řídit motor i s polovičním krokem a díky integrovanému chopper drive nabízí i nejlepší buzení.

Vnitřní schéma zapojení je na Obr. 4.11. Popis jednotlivých pinů L297 pak v následující tabulce (Tabulka 4.5). Piny HALF/FULL a CONTROL je možno pomocí „jumperů“ připnout na 5 V nebo GND, to z důvodu kdybychom například chtěli použít jiné motory.

Napětím přivedeným na V_{ref} regulujeme proud procházející vinutím motorů. Při použití odporu $R_6 = 6800 \Omega$ a trimru $10 \text{ k}\Omega$ je možné nastavení v rozmezí $0 \div 3 \text{ V}$. Přesné napětí nastavíme podle hodnoty napětí na snímacích odporech.



Obr. 4.11 Vnitřní zapojení řídicího obvodu L297 [15]

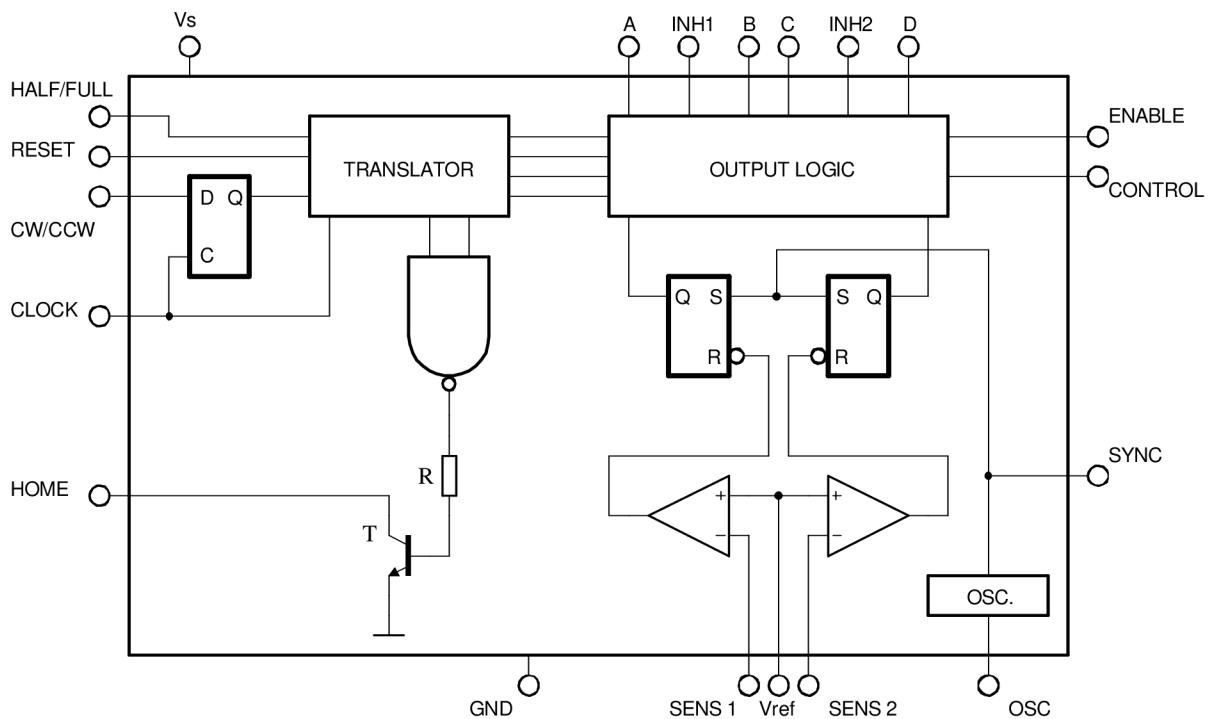
Tabulka 4.5: Popis pinů L297

Číslo pinu	Název	Funkce
1	SYNC	Pro potřebu synchronizace více obvodů L297
2	GND	Uzemnění
3	HOME	Výstup, který nás informuje, že motor vykonal všechny fáze otočení
4	A	Připojení fáze "A" k budiči
5	/INH1	Spíná fáze A a B například při použití chopper drive
6	B	Připojení fáze "B" k budiči
7	C	Připojení fáze "C" k budiči
8	INH1	Spíná fáze C a D například při použití chopper drive
9	D	Připojení fáze "D" k budiči
10	ENABLE	Vstup pro povolení připojení krokového motoru k napájecímu napětí
11	CONTROL	Vstup pro volbu módu chopper drive
12	V_s	Napájecí napětí +5 V
13	SENS2	Vstup pro detekci proudu procházejícím fázemi C a D
14	SENS1	Vstup pro detekci proudu procházejícím fázemi A a D
15	V_{REF}	Vstup pro nastavení napětí pro spínání chopper drive
16	OSC	Připojení RC článku k internímu osciloskopu pro chopper drive
17	CW/CCW	Vstup - směr otáčení rotoru
18	/CLOCK	Vstup - kroky motoru
19	HALF/FULL	Řízení s polovičním/plným krokem
20	/RESET	Vstup pro resetování vnitřních obvodů

4.5.2 L298 - Obvod pro buzení krokových motorů

Přímo pro řídicí obvod L297 nabízí výrobce budící stupeň tvořený integrovaným obvodem L298. Jedná se o dva H-můstky, které jsou schopny proudu do fáze maximálně 2 A. To je pro naše použití využití plně dostačující. Vnitřní zapojení je na Obr. 4.12. Dva vstupy (EnA a EnB) povolují/zakazují připojení motoru k napájecímu napětí nezávisle na vstupních signálech pro motor. Emitory spodních tranzistorů jsou spojeny a vyvedeny na výstupy SENSE A a SENSE B, ke kterých jsou připojeny snímací rezistory proudu protékajícího vinutím. Jelikož jimi protékají relativně velké proudy (200 mA až 1 A) podle nastavení V_{ref} na obvodu L297, je potřeba, aby hodnota těchto odporů byla co nejnižší a jednalo se o výkonové odpory (2 W).

Jelikož bude docházet při spínání k proudovým nárazům, jsou obvody L298 vybaveny elektrolytickými kondenzátory o kapacitě 1000 μF , které je eliminují.



Obr. 4.12 Vnitřní zapojení L298 [16]

4.6 Vybrané krokové motory

S ohledem na mobilitu je vhodné vybrat motory, které jsou svými rozměry přiměřeně malé a mají také nízkou hmotnost. Dalším požadavkem je malá délka kroku (minimálně 1,8 $^\circ$), kvůli napájení z baterií potřebujeme i vysokou účinnost. Těmto požadavkům vyhovují hybridní dvoufázové krokové motory od firmy MICROCON, a to konkrétně řada SX16 [13]. Z této řady byly vybrány motory

s označením SX16-0503 (Obr. 4.13) a SX16-0402LA-120 (Obr. 4.14). Technické parametry těchto motorů jsou uvedeny v Tabulka 4.6. Lze použít i různé krokové motorky např. z tiskáren, avšak u těchto typů nelze většinou zaručit technické parametry ani opakovatelnost konstrukce.



Obr. 4.13 Krokový motor SX16-0503

4.6.1 Lineární aktuátor

Pro polohování vertikální osy (osa Y) je potřeba značné síly, neboť fotoaparát s objektivem váží něco přes jeden kilogram. Z tohoto důvodu není možné uchytit fotoaparát rovnou na hřídel motoru. Možná varianta je uchycení přes převodové ústrojí, nejlépe pomocí šnekového převodu. Na trhu však existuje i speciální úprava krokového motoru, a tou je lineární aktuátor. Jedná se o krokový motor, jehož rotorem prochází trapézový šroub. Při běhu motoru a současném pevném uchycení šroubu dochází k lineárnímu posunu. Vybraný motor pochází rovněž od firmy MICROCON a jedná se konkrétně o model SX16-0402LA-120, jenž má trapézový šroub o průměru 5 mm se stoupáním 2 mm na otáčku. Další parametry jsou uvedeny v Tabulka 4.6.



Obr. 4.14 Lineární aktuátor SX16-0402LA-120

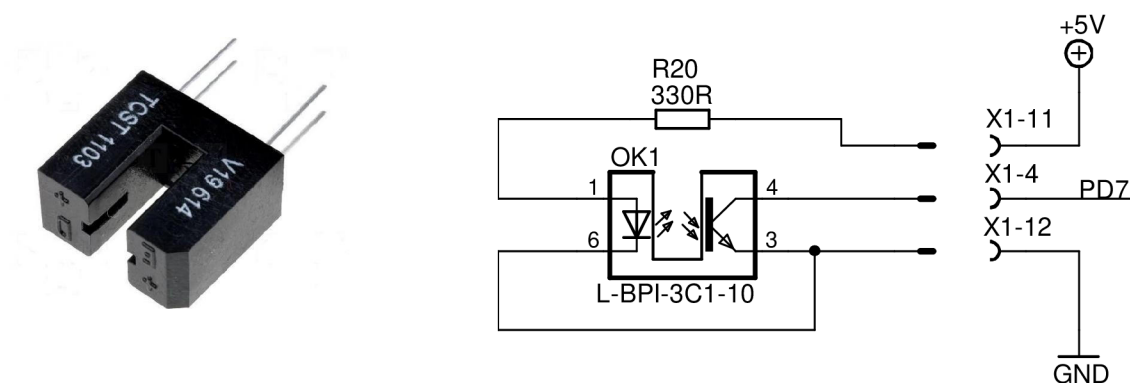
Tabulka 4.6: Parametry vybraných krokových motorů

Parametr	SX16-0503	SX16-0402LA-120*
Délka kroku [°]	1,8	1,8
Tolerance kroku [°]	0,1	0,1
Statický moment při bipolárním zapojení [Nm]	0,3	0,21
Jmenovitý proud při sériovém zapojení [A]	0,5	0,4
Indukčnost vinutí při sériovém zapojení [mH]	40	32
Odpor vinutí při sériovém zapojení [Ω]	24	30
Zbytkový moment [Nm]	0,018	0,012
Moment setrvačnosti rotoru [g·cm ³]	24	20
Hmotnost [g]	240	180

* Maximální možné axiální zatížení 20 N.

4.7 Snímač polohy

Pro vertikální osu platí jistá omezení z důvodu konstrukce zařízení. Ta je schopna vykonat vertikální natočení max 50°. K tomuto ošetření je použito systému optozávory a tzv. domovské polohy. Trapézový šroub prochází optozávorou, a při jejím opuštění je tato událost zaznamenána řídicím systémem a posun se zastaví. Následně je nastavena tzv. domovská poloha, od které je aktuální poloha dopočítávána pomocí počtu pulsů pro posun krokového motoru. Optozávora a její zapojení je na Obr. 4.15.



Obr. 4.15 Optozávora a její zapojení

4.8 Komunikace s fotoaparátem

Aby bylo možné provádět plně automatizované fotografování, je nutné zajistit zmáčknutí spouště fotoaparátu řídicím systémem. To lze řešit pomocí nějakého mechanického zařízení, které by stisklo

spoušť fotoaparátu. Většina kvalitnějších fotoaparátů má však vstup pro možnost dálkového ovládání. Jedná se o infračervené (IrDa) ovládání, nebo pomocí konektoru pro dálkové ovládání.

Použitý Canon EOS 500D nabízí oba uvedené vstupy. Snímač IrDa signálu se nachází v přední části fotoaparátu (protože se počítá s tím, že na něj bude dálkové ovládání mířit). Pro tuto aplikaci je však výhodnější využít konektor pro dálkové ovládání, který je ukrytý pod gumovou krytkou na levé straně těla fotoaparátu.

Jako volitelné příslušenství lze dokoupit kabelovou spoušť RC60-E3 (Obr. 4.16). Po průzkumu jejího zapojení ji lze nahradit spínači s kabelem a konektorem pro připojení v podobě běžného 2,5 mm stereo JACKu.



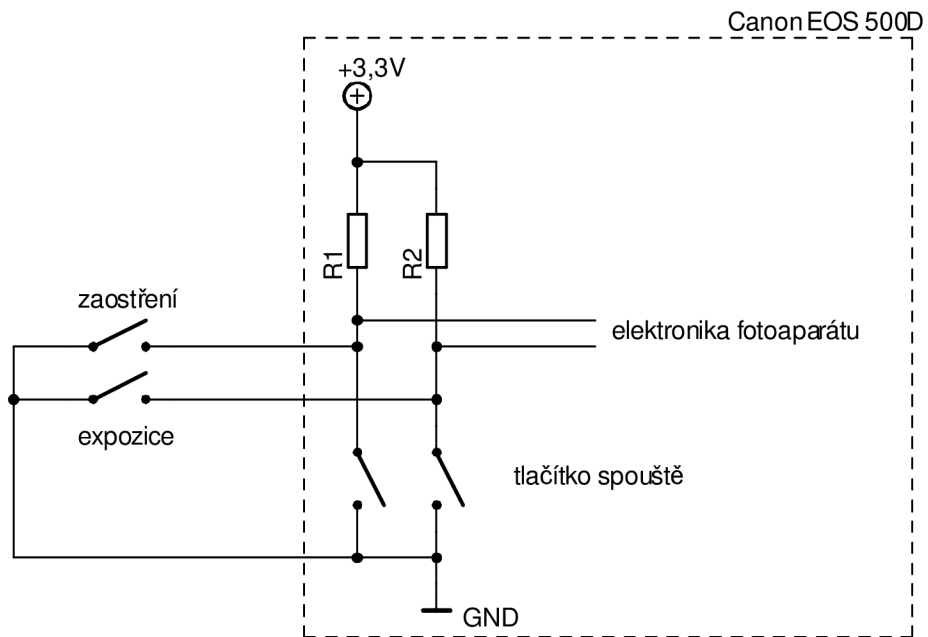
Obr. 4.16 Kabelová spoušť RC60-E3 [18]

Vnitřní zapojení fotoaparátu Canon EOS 500D je na Obr. 4.17, externí vývody jsou vyvedeny do konektoru JACK 2,5 mm stereo. Tělo JACKu je zem, prostřední prstenec je vstup pro ostření a špička je vstup spouště. Pro ovládání fotoaparátu je využito zapojení Obr. 4.18. Pomocí optočlenů je provedeno galvanické oddělení elektroniky fotoaparátu od našeho zařízení.

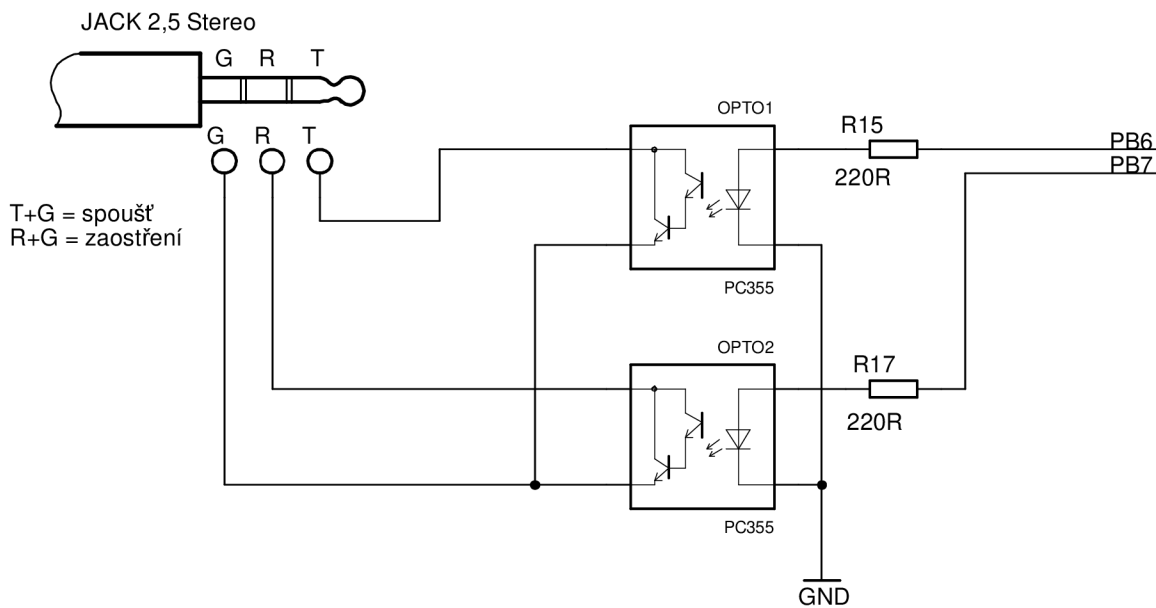
Stejného principu spínání spouště využívají i jiní výrobci fotoaparátů. Každý má však jiný konektor. Zdroj [26] uvádí zapojení konektorů fotoaparátů. Seznam je shrnut v Tabulka 4.7.

Tabulka 4.7: Seznam fotoaparátů s externím vstupem pro spoušť

Výrobce	Model
Canon	350D, 400D, 450D, 500D, 550D, 1000D, 30D, 40D, 50D, 60D, 5D, 7D, 1D
Nikon	D70, D70s, D80, D90, D7000, D5000, D3100, D200, D300, D700, D3, D3x
Olympus	E-PL2, E-P2, E-P1, E-620, E-30, série E-400, E-510, E-520, E-1, E-3



Obr. 4.17 Vnitřní zapojení fotoaparátu [17]



Obr. 4.18 Schéma zapojení ovládání fotoaparátu

4.9 Celkové zapojení

V příloze je možné najít kompletní schéma zapojení celého polohovacího zařízení. Celkový seznam součástek je taktéž možno nalézt v příloze.

5 SOFTWARE

O řízení celého zařízení se stará mikrokontrolér firmy ATMEL řady ATmega. Jeho technické parametry jsou uvedeny v kapitole 4.4. Je postaven na tzv. Hardwarové architektuře, což znamená, že je oddělená paměť pro program a data. Jádro tvoří tzv. RISC (Reduced Instruction Set Computer), tedy jádro s redukovanou instrukční sadou – konkrétně s 131 instrukcemi. K programování AVR mikrokontroléru je nutný AVR programátor. Díky ISP (In System Programming) je možné programovat mikrokontrolér přímo v obvodu konkrétní aplikace, není jej tedy nutné umístit do samostatného obvodu programátoru. U řady ATmega si můžeme vybrat, zdali budeme používat programování přes SPI nebo JTAG rozhraní. V závislosti na použitém programátoru bylo zvoleno JTAG rozhraní.

Pro kompilaci programového kódu (zdrojového kódu) do strojového kódu byl vybrán software AVR Studio vyvinutý přímo firmou ATMEL. Samotný program umožňuje tvořit zdrojový kód v Jazyku symbolických adres (JSA), případně při doinstalování WinAVR kompilátoru pak v jazyce C/C++.

Jazyk C byl zvolen jako programovací [22]. Jedná se o vysokoúrovňový jazyk, který nám přináší mnohem vyšší čitelnost kódu než JSA, ovšem někdy za cenu zvýšené paměťové náročnosti a počtu strojových cyklů.

Z důvodu rozsáhlosti zdrojových kódů, zde budou prezentovány pouze vývojové diagramy, případně krátké ukázky kódu. Veškeré zdrojové kódy jsou uloženy na přiloženém CD.

Projekt byl vytvářen za použití následujícího softwaru:

- AVR Studio 4.18 build 716
- WinAVR 20100110

5.1 Knihovny

Pro zpřehlednění zdrojového kódu a oddělení jednotlivých částí bylo vytvořeno několik knihoven. Snaha byla kladena na jejich srozumitelnost, efektivnost a i na možnost aplikovat je v jiných projektech. Z tohoto důvodu obsahují bohatý popis a definice konstant pro jejich případné jednoduché upravení na konkrétní projekt. Na následujících stránkách budou vytvořené knihovny popsány, případně uvedeny jejich ukázky.

5.1.1 Knihovna pro práci s LCD

Slouží pro komunikaci s dvouřádkovým znakovým LCD displejem, který je připojen pomocí 4bitové sběrnice. Kromě inicializace displeje, jehož vývojový diagram se nachází v příloze, umí

i definovat a zobrazovat vlastní znaky, vypisovat textové řetězce, hodnoty proměnných. Knihovna `lcd_xhruby00` obsahuje následující funkce:

- `void lcd_reset(void);` Provede restart LCD a základní inicializaci.
- `void lcd_init(void);` Základní inicializace LCD a nastavení módu.
- `void lcd_cmd(char cmd);` Zaslání příkazu.
- `void lcd_data(char data);` Zaslání dat.
- `void lcd_print_c(char ch);` Vytisknutí znaku.
- `void lcd_print_s(const char *s);` Vytisknutí textového řetězce.
- `void lcd_clear(void);` Vymazání zobrazeného obsahu displeje.
- `void lcd_goXY(char posX, char posY);` Přesunutí kurzoru na danou souřadnici.
- `void lcd_set_cursor(char state);` Nastavení zvýraznění kurzoru.
- `void lcd_clear_line(char line);` Smazání zobrazeného obsahu řádku.
- `void lcd_print_int(unsigned int val, char length);` Vypsání hodnoty typu `INTEGER`.
- `void lcd_print_float(float value, char decimal);` Vypsání hodnoty typu `FLOAT`.
- `void lcd_write_symbol(unsigned char location, unsigned char *ptr);` Zapsání vlastního symbolu do `CGRAM` paměti LCD.
- `void lcd_lines_print(const char *line0, const char *line1);` Vypsání textových řetězců na oba řádky.
- `void lcd_battery_print(char battery_energy);` Zobrazení ikony baterie.

5.1.2 Knihovna pro práci s maticovou klávesnicí

Na rozdíl od klávesnic, kde má každé tlačítko vyvedený svůj kontakt, je čtení stisknutého tlačítka u maticově zapojené klávesnice podstatně těžší. Čtení v tomto případě znamená, že postupně aktivujeme jednotlivé řádky a k tomu vyčítáme stav sloupců. Ze zjištěných hodnot dále určíme, které tlačítko bylo stisknuto. Knihovna `keypad_xhruby00` obsahuje následující funkce:

- `char keypad_read(void);` Čtení stavu klávesnice.
- `char keypad_decode(char button);` Přiřazení vyčtenému tlačítku ASCII hodnotu.

5.1.3 Knihovna pro práci s krokovými motory

Protože jsou použity obvody pro řízení krokového motoru L297, je práce značně ulehčena. Pro řízení používáme pouze 3 piny: řízení směru (`DIR`), aktivaci motoru (`ENABLE`) a jednotlivé kroky (`STEP`). Knihovna je tedy kompatibilní i s jinými obvody pro řízení, které obsahují tyto tři vstupy. Knihovna `motor_xhruby00` obsahuje funkce:

- `void motor_init(void)`; Inicializace pinů řadičů motorů.
- `void motor_startup(void)`; Nastavení motoru do domácí pozice.
- `void motor_ena(char motor)`; Povolení (ENABLE) motor.
- `void motor_disa(char motor)`; Zakázání motoru.
- `void motors_disa(void)`; Zakázání obou motorů.
- `void motor_set_right(void)`; Nastavení směru (DIR) pohybu doprava.
- `void motor_set_left(void)`; Nastavení směru pohybu doleva.
- `void motor_set_down(void)`; Nastavení směru pohybu dolů.
- `void motor_set_up(void)`; Nastavení směru pohybu nahoru.
- `void step(char motor)`; Pulz (STEP) pro motor.
- `void delay_step(const int delay, const char motor)`; Pulz s prodlevou pro motor.
- `void steps(int count, int delay, char motor)`; Pulzy pro motor.
- `void change_dir(char motor)`; Změna směru pohybu motoru.

5.1.4 Knihovna pro práci s fotoaparátem

Jak bylo vysvětleno v kapitole 4.8, pro ovládání fotoaparátu stačí pouze ovládat externí zaostření a externí stisk spouště. Důležité je správné pořadí a časové prodlevy. Knihovna `foto_xhruby00` obsahuje:

- `void foto_init(void)`; Inicializace pinů optočlenů pro fotoaparát.
- `void foto_shot(void)`; Sekvence pro zaostření a vyfocení snímku.
- `void foto_manual(void)`; Sekvence pro zaostření a vyfocení snímku v manuálním režimu.

5.1.5 Knihovna pro práci s optozávorou

Knihovna `opto_xhruby00` se stará o správné detekování, zda-li se ve šterbině optozávory nachází překážka či nikoli. Obsažené funkce:

- `void opto_init(void)`; Inicializace pinů optozávory.
- `char opto_check(void)`; Zjištění stavu optozávory.

5.1.6 Knihovna pro práci s menu

Úkony spojené s pohybem v menu má na starosti knihovna `menu_xhruby00` obsahující funkce:

- `char menu_forw(char item_menu)`; Posun do podmenu.
- `char menu_back(char item_menu)`; Zpět do podmenu.
- `char menu_dec(char item_menu)`; Pohyb v menu nahoru.

- `char menu_inc(char item_menu);` Pohyb v menu dolu.
- `int new_value_set(int old_set, int position, char value);` Zadání nové hodnoty přes klávesnici.
- `int input_screen(int value, const char *line0, const char *line1, int max_set);` Obrazovka pro zadání nové hodnoty s ověřením limitu.
- `void manual_control(void);` Menu pro manuální režim.

5.1.7 Knihovna pro práci s ADpřevodníkem

Aby nedocházelo k vybití akumulátorů pod úroveň, kterou stanovil výrobce (v našem případě 9,6 V), hlídáme jejich napětí pomocí vestavěného A/D převodníku. Podpůrná knihovna `adc_xhruby00` obsahuje následující funkce:

- `void InitADC(void);` Inicializace A/D převodníku
- `char readADC(void);` Vyčtení hodnoty A/D převodu
- `char averageADC(char count);` Průměr hodnot A/D převodů
- `char battery_check(char adc_value);` Určení stavu baterie

5.1.8 Knihovna pro práci s vytvářením panoramatu

Knihovna `pano_xhruby00` má za úkol řídit postup při snímání jednotlivých snímků panoramatického záběru. Základem je pole prvků obsahující údaje o zorných polích pro jednotlivé osy a ohniskové vzdálenosti vycházející z tabulky 2.1. Funkce `make_pano_X` má za úkol vytvořit sérii snímků ve vodorovné ose, případně pouze zjistit počet snímků. Vývojový diagram lze najít v příloze. Další funkcí je `make_pano_XY`, starající se o vytvoření série snímků v obou osách, přitom využívá předchozí funkce. I její vývojový diagram lze najít v příloze. Celkový přehled funkcí obsažení v této knihovně:

- `float read_angles(unsigned char row, unsigned char col);` Vyčtení hodnot z tabulky zorných úhlů.
- `char fix_focus(char focus);` Přiřazení ohniska.
- `char index_focus(char focus);` Vyčtení indexu ohniska z tabulky.
- `char make_pano_X(char calculate, char focus, char overlap, int osaX);` Vytvoření/vypočtení panoramatu v ose X.
- `char make_pano_XY(char calculate, char focus, char overlap, int osaY, const int osaX);` Vytvoření/vypočtení panoramatu v obou osách.

5.1.9 Hlavní program

Knihovna PanoHead_103 obsahuje hlavní funkci `void main(void)`, která běží v nekonečné smyčce. Vývojový diagram lze najít v příloze. Kromě inicializace procesoru a výběru pozice menu je zde ještě funkce:

- `float decodeADC(char adc_value);` Výpočet napětí vstupu A/D převodníků.

Je zde z důvodu chyby překladače - při umístění funkce do knihovny tato funkce vracela nekorektní výsledek.

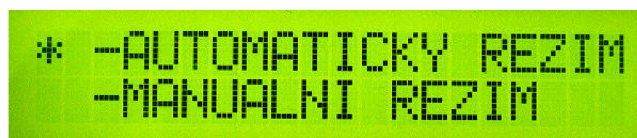
5.2 Uživatelský manuál

Po zapnutí napájení hlavním spínačem ON-OFF se nám na displeji objeví uvítací obrazovka, následně proběhne kontrola stavu akumulátorů spolu se zobrazením pomocí grafického symbolu. V následující chvíli proběhne nastavení motoru vertikální osy do výchozí pozice – během této doby je zobrazen na displeji nápis „moment“ a po dokončení se ocitneme v hlavním menu Obr. 5.1.

Struktura menu zařízení je následující:

- Automatický režim
 - Zadejte ohnisko objektivu (Obr. 5.2)
 - Zadejte přesah fotografií
 - Zadejte počet stupňů pro osu X
 - Zadejte počet stupňů pro osu Y (Obr. 5.3)
 - Výpočet snímků panoramatického záběru – spustit focení? (Obr. 5.4)
 - Focení
 - Opakovat cyklus?
- Manuální režim (Obr. 5.5)
- Verze PanoHead
- Debug

Dále je popsáno chování jednotlivých položek menu.



Obr. 5.1 Hlavní menu

5.2.1 Automatický režim

Při volbě automatického režimu budeme postupně vyzváni k zadání parametrů zamýšleného panoramatu (Obr. 5.2). Vždy je prováděna kontrola, jestli jsou zadané hodnoty v odpovídajícím rozsahu (Obr. 5.3) a je možnost se pomocí tlačítka „*“ vrátit a kteroukoli hodnotu opravit. Následně je zobrazeno kolik snímků a v kolika řadách se chystá zařízení provést (Obr. 5.4). Jestliže návrh odsouhlasíme, zařízení začne vytvářet jednotlivé snímky. Během této doby jsme informováni o stavu procesu v podobě zobrazení „aktuální/celkový počet snímků“.



```
Ohnisko: [200]
Ø50 mm
```

Obr. 5.2 Zadání ohniska objektivu



```
PREKROCENO! [maxØ50]
900 stupnu
```

Obr. 5.3 Upozornění na překročení limitu zadávaného parametru



```
007 x 027 = 0189
(Y x X) SPUSTIT?
```

Obr. 5.4 Výpočet snímků panoramatického záběru

5.2.2 Manuální režim

V tomto režimu je možné ovládat pohyb zařízení (klávesy 2, 4, 6, 8) a vytvářet snímky (klávesa 5). Na displeji se nám zobrazuje poslední stisknutá klávesa a ikona baterie (Obr. 5.5).



```
Manualni ovladani [Battery Icon]
stisknuto: UPRAVO
```

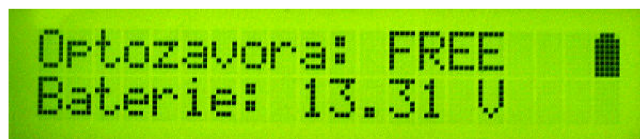
Obr. 5.5 Manuální režim

5.2.3 Verze PanoHead

Zobrazení aktuálního firmware zařízení.

5.2.4 Debug

Obrazovka informující nás o stavu optozávory a napětí akumulátorů ve voltech. Tyto hodnoty jsou v intervalu cca 200 ms aktualizovány (Obr. 5.6).



Obr. 5.6 Debug obrazovka

6 KONSTRUKCE

Polohovací zařízení je navrženo pro digitální zrcadlovku Canon EOS 500D a objektiv EF-S 18-200 mm, celý fotoaparát je tedy poměrně těžký (cca 1,8 kg) a rozměrný. Z tohoto důvodu bylo potřeba sestrojít pevnou nosnou konstrukci, kterou je možné připevnit ke stativu. Na následujících stránkách je proveden popis jak nosné konstrukce, tak desky plošných spojů.

6.1 Nosná konstrukce

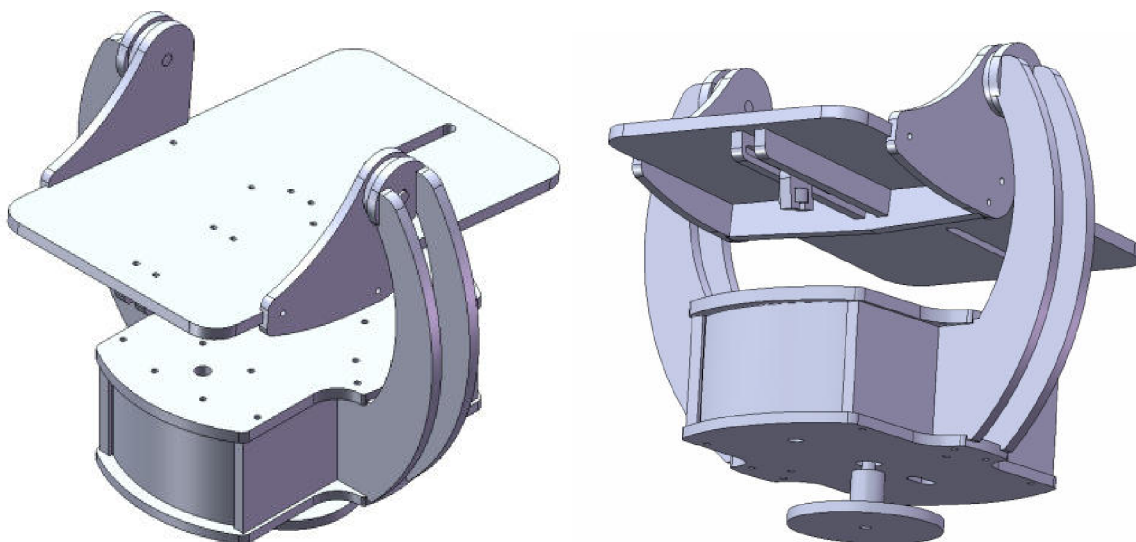
Pro návrh byl použit program SolidWorks 2003 [23], který umožňuje vytvářet 3D modely a následně i jejich výkresovou dokumentaci.

Abychom zbytečně nezatěžovali stativ, bylo zvoleno řešení s odděleným ovládáním a napájením. Zařízení tedy obsahuje nosnou konstrukci (box) s motory. Ta je upevněna na stativ a propojena kabelem k řídicímu boxu s akumulátory. Výhodou tohoto řešení je nejen zmíněné menší zatížení stativu, ale pohodlnější ovládání.

6.1.1 Nosná konstrukce

Tvoří ji kolébka, ve které je umístěn fotoaparát. S tou je možné pohybovat směrem nahoru a dolů. Pro pohyb do stran se otáčí konstrukce kolem hřídele. Tato hřídel je ve spodní části rozšířena, aby se dalo zařízení v případě demontáže bezpečně postavit na pevnou podložku. Ze spodní strany je umístěn závit pro připevnění na stativový šroub. Jeho závit není klasický metrický, ale americký 1/4" UNC, tedy se stoupáním 1,27 mm. Na hřídeli je připevněn převod tvořeným dvěma ozubenými koly, které zjemňují kroky motoru a zároveň násobí jeho kroutící moment pro horizontální posun. Pro vertikální posun slouží lineární aktuátor (kap. 4.6.1), jehož trapézové šrouby jsou pevně zajištěny ke kolébce s fotoaparátem. Model konstrukce je na Obr. 6.1 a výsledný stav na obrázku v příloze.

Jako materiál byl vybrán ABS plast o šířce 6 mm, který má dobré vlastnosti (odolný vůči mechanickému poškození, elektricky nevodivý [25]) a je výborně opracovatelný pomocí stolní frézky. Některé další části jsou vysoustruženy z hliníku. Kompletní výkresová dokumentace se nachází v příloze.

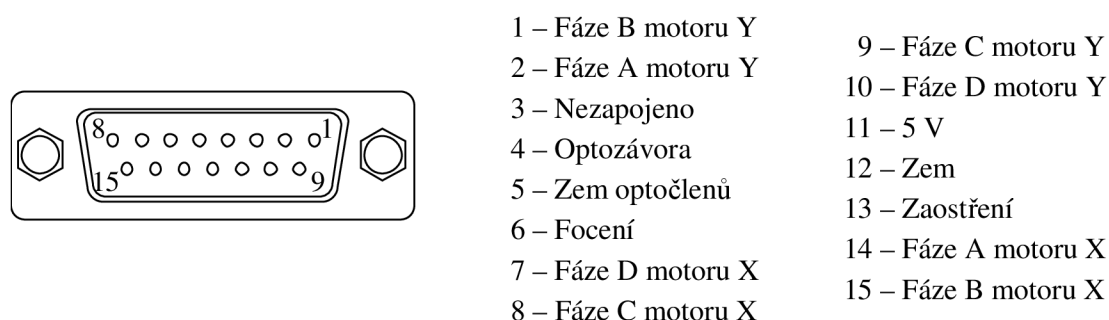


Obr. 6.1 Model nosné konstrukce polohovacího zařízení

6.1.2 Řídící box

Zakoupená plastová krabice slouží jako řídicí box. Z levé strany je osazena hlavním spínačem (ON-OFF) a konektorem pro připojení nabíječky akumulátorů. Na pravé straně se nachází posuvný spínač pro zapnutí/vypnutí podsvícení displeje. Horní strana obsahuje displej a numerickou klávesnici. Celou tuto stranu překrývá samolepicí fólie, na níž se nachází označení zařízení a popisky k jednotlivým tlačítkům. Vzor této samolepky se nachází v příloze. Na čelní straně je umístěn dvouřadý 15-ti pinový D-SUB konektor pro připojení propojovacího kabelu. Rozložení pinů konektoru je na Obr. 6.2.

Uvnitř boxu se nachází dvojice bateriových bloků a deska plošného spoje – jak je možno vidět na obrázku v příloze.



Obr. 6.2 Rozložení pinů propojovacího konektoru

6.1.3 Propojovací kabel

K propojení nosné konstrukce a řídicího boxu slouží přímý 14ti vodičový kabel. Jeho délka je 1 m a na obou koncích je osazen dvouřadými konektory D_SUB.

6.2 Deska plošného spoje

DPS má jednu vodivou vrstvu (je jednostranná), což s sebou přináší výhodu v podobě ceny a termínu dodání. Na druhou stranu se u takto složitého návrhu nevyhneme propojkám. Snaha byla použít, co nejvíce součástek v provedení SMD, bohužel integrované obvody L297 v tomto provedení nebylo možné sehnat a některé výkonové prvky se takto ani nevyrobí. Z důvodu použití jednostranné desky bylo nutné použít resetovací tlačítko a LED diody jako vývodové součástky, abychom je měli přístupné na horní straně DPS. Z tohoto důvodu by také bylo lepší použít potenciometrické trimry pro klasickou montáž. Rozměr DPS je přesně vymezen rozměry použité krabičky.

Spodní strana DPS (s měděnou vrstvou) je osazena SMD součástkami a jednou propojkou, která spojuje SYNC piny obvodů L297. Na horní straně jsou vývodové součástky, svorkovnice, konektory a také popisky. Budící obvody motorů L298 je možno opatřit chlazením, v našem použití to není nezbytně nutné.

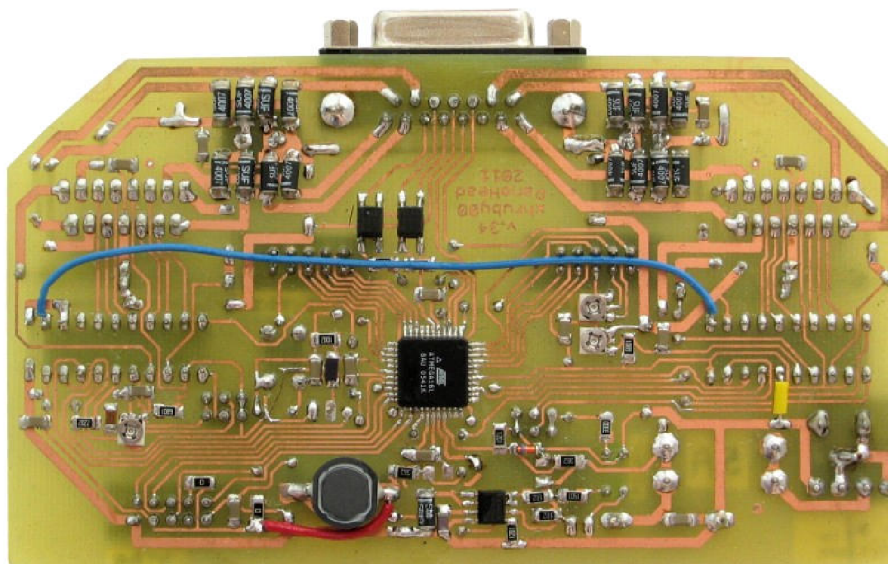
Na Obr. 6.3 a Obr. 6.4 můžeme vidět osazenou DPS, jedná se o prototypovou verzi, která obsahuje některé opravené chyby. Opravenou vizualizaci vrstvy v měřítku 1:1 lze nalézt v příložené výkresové dokumentaci, kde je uveden také seznam všech použitých součástek.

Návrh byl prováděn za pomoci softwaru Eagle 5.11 [24].

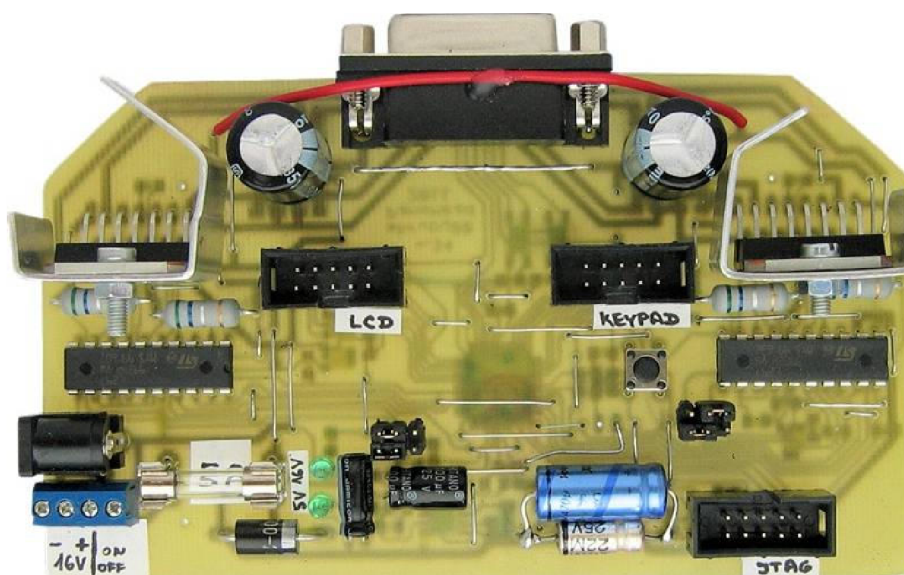
6.3 Oživení zapojení

Při ožívování zapojení se postupovalo následovně:

- zapojení snižujícího DC-DC měniče a ověření výstupního napětí.
- zapojení mikrokontroléru, připojení displeje a klávesnice, nastavení kontrastu displeje,
- naprogramování mikrokontroléru, ověření funkčnosti,
- zapojení optočlenů, optozávory, ověření funkčnosti.
- zapojení řídicích a budících součástek krokových motorů, včetně nastavení maximálních proudů protékajících motory, ověření funkčnosti.



Obr. 6.3 Spodní strana DPS



Obr. 6.4 Horní strana DPS

6.4 Technické parametry

Rozměry boxu:	135 × 185 × 40 mm
Rozměry konstrukce:	235 × 235 × 220 mm
Váha:	2800 g (včetně baterií)
Spotřeba:	100 mA (menu); 140 mA (zapnuté posvícení); 1800 mA (oba motory)
Rozsah – osa X:	0° ÷ 360°
Rozsah – osa Y:	-20° ÷ 30°
Rozlišení – osa X:	0,13° na krok
Rozlišení – osa Y:	0,005° na krok
Podporované fotoaparáty:	Tabulka 4.7

ZÁVĚR

Diplomová práce seznamuje s různými typy polohovacích zařízení. Navržené elektronické polohovací zařízení slouží ke snímání panoramatických fotografií, proto práce obsahuje i základy fotografování panoramatické fotografie. Především pak zásady pro pořízení jednotlivých snímků panoramatické fotografie a s tím související problém paralaxy. Zmiňuje teorii krokových motorů, od jejich konstrukce, až po způsoby jejich buzení. Práce uvádí možnosti zapojení a řízení kroků krokového motoru.

V rámci práce je proveden rozbor jednotlivých částí polohovacího zařízení, od způsobu napájení, přes ovládací prvky až k buzení krokových motorů a způsobu komunikace s fotoaparátem. Zařízení je navrženo pro napájení ze dvou bloků NiMH 7,2 V akumulátorů, ovládáno pomocí numerické klávesnice s informacemi zobrazujícími se na LCD displeji 2x20 znaků. O dvouosý pohyb se starají dva krokové motory, buzené obvody L298 a podpůrné obvody L297. Celý systém řídí mikrokontrolér Atmega16. Sleduje také napětí akumulátorů a v případě jeho poklesu je na displeji zobrazena výstražná zpráva a následně se odpojí motory, aby nedošlo k poškození akumulátorů jejich úplným vybitím. Celé polohovací zařízení je plně automatizované včetně ovládání spouště fotoaparátu pomocí externího vstupu. Součástí této práce je také kompletní schéma zapojení.

Práce rovněž zahrnuje návrh konstrukce, kterou je možné umístit na stativ. Její nosná část obsahuje dva motory a kolébku na fotoaparát. Řídící jednotka, která je s nosnou částí spojena odpojitelným kabelem, obsahuje displej, klávesnici a akumulátory. Kompletní výkresová dokumentace je přiložena v příloze.

Celé polohovací zařízení bylo sestrojeno a vyzkoušeno, a přestože se jedná o jeho první testovací kus, je zařízení plně funkční a plní svoji funkci. Přiložené CD obsahuje panorama složené z 24 fotek o výsledném rozlišení 23111 px × 6290 px, tedy 202 Mpixelu.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Martinek R. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-114-4
- [2] Pinker J. *Mikroprocesory a mikropočítače*. Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-110-1.
- [3] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATmega16*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 320 s., CD-ROM. ISBN 80-7300-174-8.
- [4] MATOUŠEK, David. *Práce s inteligentními displeji LCD*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 224 s., CD-ROM. ISBN 80-7300-121-7.
- [5] *80 gigapixelové panorama Londýnu* [online]. [cit. 2010-12-13]. Dostupné z WWW: <http://www.360cities.net/london-photo-en.html>
- [6] *Gigapan Systems Online - GigaPan EPIC Pro Product Page* [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW: <http://gigapansystems.com/gigapan-products/gigapan-epic-pro-product-page.html>
- [7] *Panoramatická fotografie snadno a rychle* [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW: http://www.digimanie.cz/art_doc-9FBB9FDF55AC10F7C12577A100310522.html
- [8] *Motorický stativ pro dalekohled MEADE LXD 75* [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW: http://handsonoptics.com/images/LXD75_8_sn.jpg
- [9] *Motorické otočné hlavy* [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW: <http://www.liveczechmodels.com/sony-evi-otocne-hlavy/>
- [10] Úhel obrazového pole [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW: http://measure.feld.cvut.cz/groups/edu/osv/optika/Uhel_zobrazeni.html
- [11] *Panoramic Gear Guide* [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW: <http://www.dentonimages.com/img/bphead2.jpg>
- [12] *Zesilovače a akční členy LYT* [online]. [cit. 2010-10-25]. Dostupné z WWW: www.spszl.cz/modules/wfdownloads/visit.php?cid=8&lid=58
- [13] *Obsluha maticové klávesnice 3x4 tlačítka jednochipem* [online]. [cit. 2010-12-21]. Dostupné z WWW: <http://programujte.com/?akce=clanek&cl=2007012602-obsluha-maticove-klavesnice-3x4-tlacitka-asm51-jednochipem>
- [14] *Microcon – produkty* [online]. Dostupné z WWW: <http://www.microcon.cz/produkty2.asp>
- [15] *The L297 Stepper Motor Ccontroller* [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW: us.st.com/stonline/books/pdf/docs/1734.pdf
- [16] *L298 - Dual Full-Bridge Driver* [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW: http://maelabs.ucsd.edu/mae_ds/stamp/how/hardware/data_sheets/L298%20Data%20Sheet.pdf
- [17] *Building a Cable Release and Serial-Port Cable for Canon Digital Rebel Cameras* [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW: <http://www.covingtoninnovations.com/dslr/CanonRelease.html>

- [18] *Dálková spoušť RS60-E3* [online]. [cit. 2010-11-13]. Dostupné z WWW:
<<http://www.megapixel.cz/canon-dalkova-spoust-rs-60-e3-kopie-cz#attached-1>>
- [19] FRÝZA, T. Mikroprocesorová technika, Přednášky. Elektronická skripta, evid. číslo: REL 0802. Brno: FEKT, VUT v Brně, 2008. s. 1-164.
- [20] *DC/DC Converter (Integrated Switch) - Inverting Regulator - MC34063A - TI.com* [online]. [cit. 2011-02-13]. Dostupné z WWW: <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/mc34063a.html>
- [21] *NOSRAM Power Pack 3000 - 7.2V - 6-cell NiMH Stickpack* [online]. [cit. 2011-06-13]. Dostupné z WWW:
<<http://www.nosram.com/typo3conf/ext/lrp/mod4/index.php?p=99265&lng=1>>
- [22] HEROUT, P. *Učebnice jazyka C. 1. díl. 4. přeprac. vyd.*. České Budějovice: Kopp, 2004. 271 s. ISBN: 80-7232-220-6.
- [23] HENCL, L.; VLÁČILOVÁ, H.; VILIMKOVÁ, M. *SolidWorks, 1. vyd.* Brno: Computer Press, 2006. 319 s. ISBN: 80-251-1314-0.
- [24] JURÁNEK, A.; HRABOVSKÝ, M. *EAGLE : návrhový systém plošných spojů pro začátečníky : uživatelská a referenční příručka*, 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 191 s. ISBN: 80-7300-177-2
- [25] Acrylonitrile butadiene styrene - Wikipedia, the free encyclopedia [online]. [cit. 2011-02-16]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene>
- [26] Camera remote release pinout list [online]. [cit. 2011-01-15]. Dostupné z WWW:
<http://www.doc-diy.net/photo/remote_pinout/>

PŘÍLOHA

Seznam příloh

Příloha 1 – Fotodokumentace

Příloha 2 – Deska plošných spojů, rozmístění součástek

Příloha 3 – Rozpis součástek

Příloha 4 – Vývojové diagramy

Příloha 5 – Vytvořené panorama

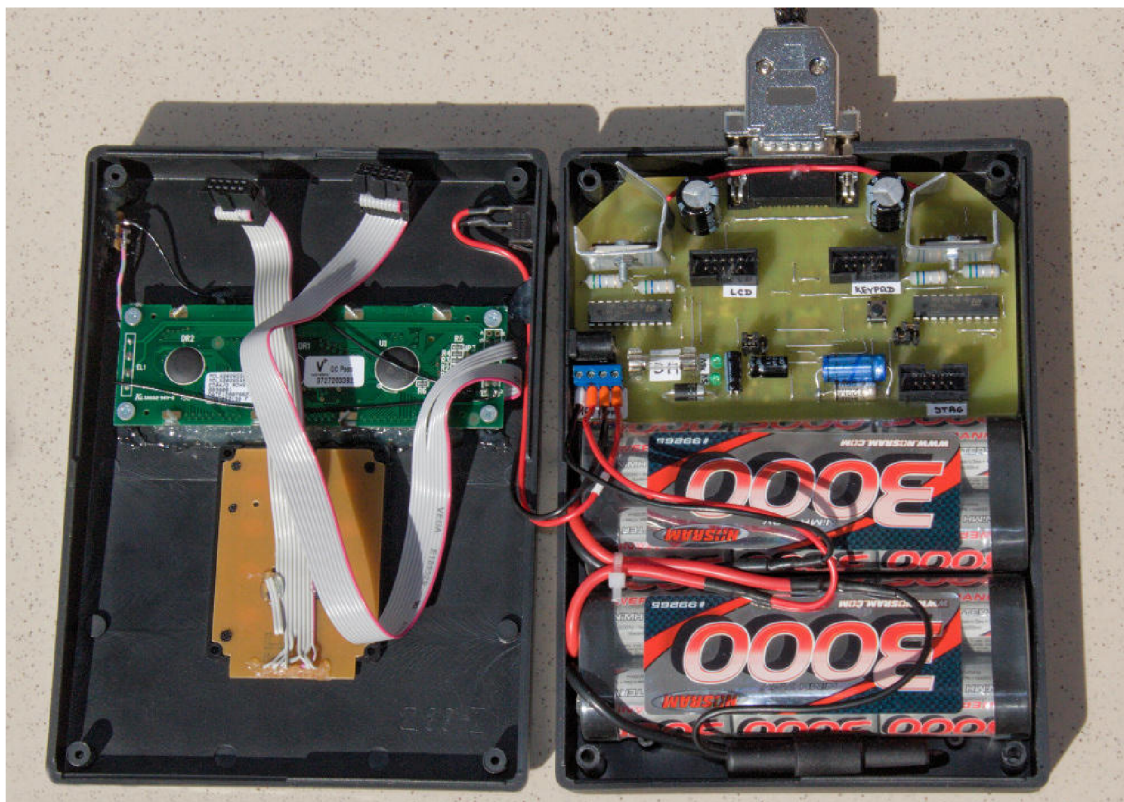
Příloha 7 – Celkové schéma zapojení

Příloha 6 – Výkresová dokumentace

OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

/Diplomova_prace/	(PDF verze diplomové práce)
/Datasheety/	(Jednotlivé datasheety pro použité součástky)
/Deska_plosnych_spoju/	(DPS – projekt Eagle 5.11)
/Fotografie_zarizeni/	(Ukázkové fotografie sestaveného zařízení)
/Video_zarizeni/	(Ukázková videa sestaveného zařízení)
/Panorama/	(Ukázkový panoramatický snímek)
/PanoHead_103/	(Zdrojové kódy zařízení– projekt AVRstudia 4.18)
/Software/	(Podpůrný software)
/Vykresova_dokumentace/	(Výkresová dokumentace pro konstrukci zařízení)

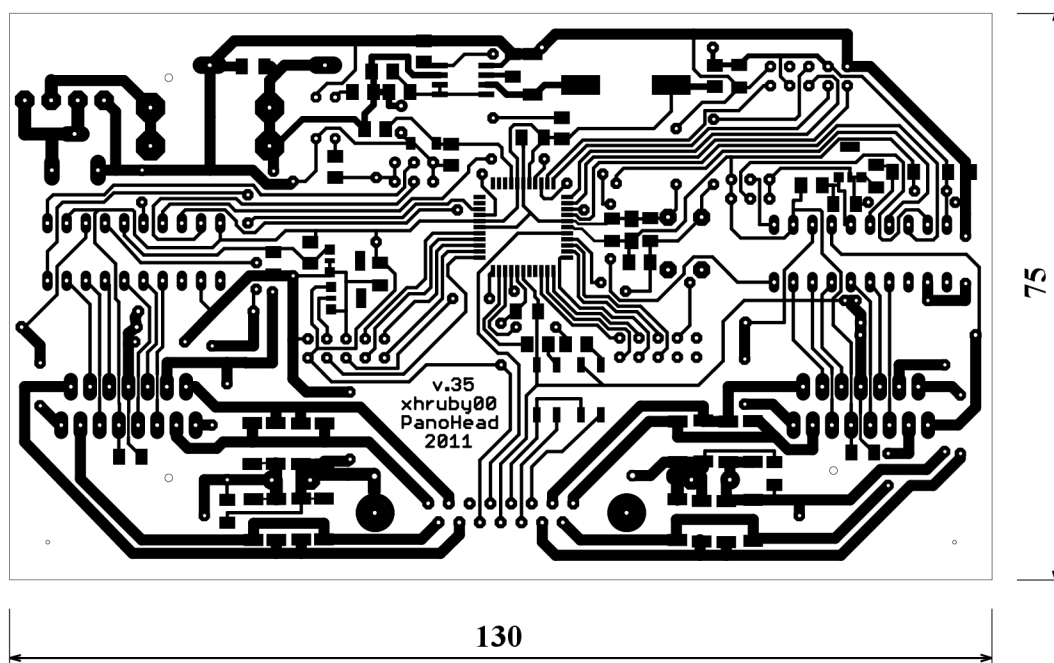
Příloha 1 - Fotodokumentace





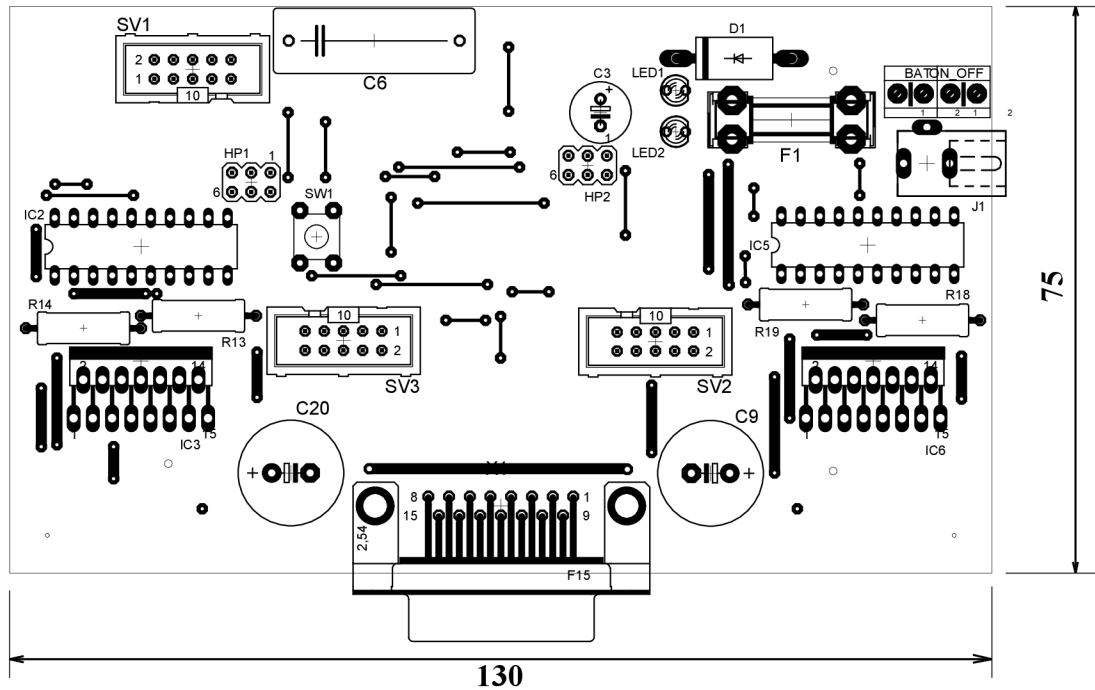
Příloha 2 - Deska plošných spojů

2.1 DPS v měřítku 1:1

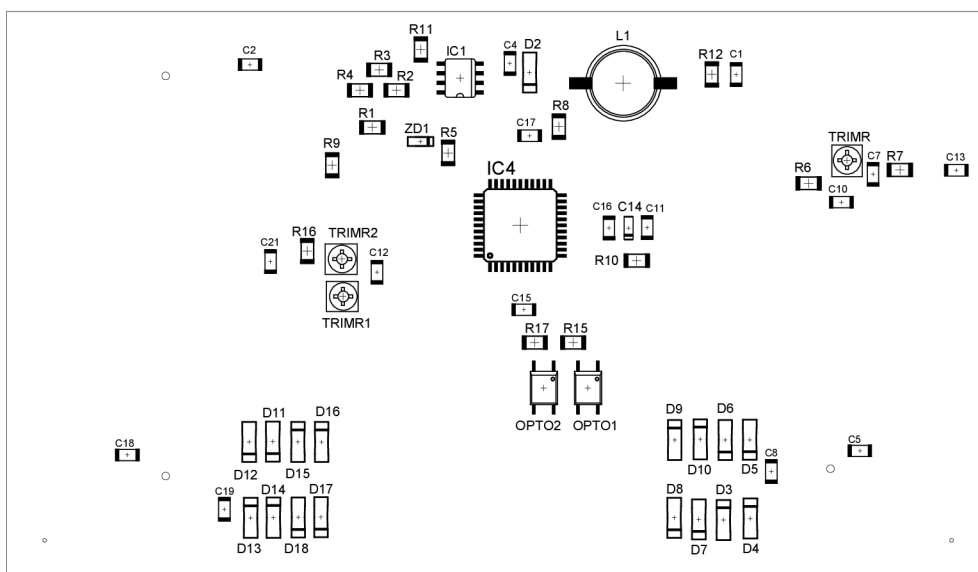


Příloha 2 - rozmístění součástek

2.2 Horní strana DPS



2.3 Spodní strana DPS



Kusů	Cena/kus	GME číslo	Označení ve schématu	Název	Popis
1	2,00 Kč	900-001	R12,	R1206 0R	Rezistor SMD 1206 0R Ohm
2	2,00 Kč	900-049	R2, R3	R1206 1R2 5%	Rezistor SMD 1206 1R2 Ohm
2	2,00 Kč	900-295	R15, R17	R1206 220R 1%	Rezistor SMD 1206 220R Ohm
1	2,00 Kč	900-274	R11	R1206 1K2 1%	Rezistor SMD 1206 1K2 Ohm
1		900-187	R9	R1206 1K8 1%	Rezistor SMD 1206 1K8 Ohm
1	2,00 Kč	900-100	R8	R1206 3K6 5%	Rezistor SMD 1206 3K6 Ohm
2	2,00 Kč	900-378	R6, R16	R1206 6K8 1%	Rezistor SMD 1206 6K8 Ohm
1		900-307	R4	R1206 8K2 1%	Rezistor SMD 1206 8K2 Ohm
1	2,00 Kč	900-179	R10	R1206 10K 1%	Rezistor SMD 1206 10K Ohm
1	2,00 Kč	900-224	R7	R1206 22K 1%	Rezistor SMD 1206 22K Ohm
1	1,00 Kč	110-061	R20	RR 330R	Rezistor metalizovaný 330R Ohm, pouzdro
15	2,50 Kč	905-081	C1, C2, C5, C8, C10, C11, C12, C13, C15, C16, C17, C18, C19, C21	CK1206 100N/50V X7R	Kondenzátor keramický SMD 1206
1	2,00 Kč	905-039	C4	CK1206 470P/50V	Kondenzátor keramický SMD 1206
1	3,00 Kč	000-036	C7	CK1206 3N3/63V	Kondenzátor keramický SMD 1206
1	13,50 Kč	123-303	C6	E470M/16VA	Kondenzátor elektrolytický axiální Standardní, 470uF/16V
1	3,70 Kč	920-121	D2	1N5819 MELF	Dioda 40V/1A, MELF0204
1	7,00 Kč	965-080	L1	TL.SC75F 220uH	SMD tlumivka 220uH, R=0,77Ohm, I _{max} =0,6A, tolerance ±20%, rozměr 13mm x 10mm, výška 5,5mm
2	3,70 Kč	511-024	LED1, LED2	L-HLMP-1790	LED 3mm zelená; 50°, 2, 1 mcd; 1,8 V; 2
16	2,10 Kč	917-024	D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16, D17, D18	SUF4007 SMD	Dioda 1000V/1A, MELF0207
1	1,10 Kč	919-012	ZD1	BZV55C4.7SMD	Zenerova dioda 4,7V/0,5W, MELF0204
2	11,00 Kč	961-032	OPTO1, OPTO2	PC355 SMD	SHARP 3,75kV >600% 35V 50mA MFP4
4	2,00 Kč	114-506	R13, R14, R18, R19	RR W2 E00.56	Rezistor metaloxidový 0R56 Ohm, pouzdro 0414
3	17,00 Kč	903-048	TRIMR1, TRIMR2, TRIMR3	3152-SMD 10K	trimr SMD cermet 25%, 0,15W, 4X4,5X2,25, 270°, ± 250ppm/°C at -25°C to +85°C
2	105,00 Kč	332-004	IC2, IC5	L297	Kontrolér pro řízení motoru, DIP20
2	101,00 Kč	332-005	IC3, IC6	L298N	obvod pro řízení DC motoru, Multiwatt Vert. 15pin
2	9,00 Kč	123-178	C9, C20	E1000M/35V	Kondenzátor elektrolytický radiální Standardní, 1000uF/35V
1	2,10 Kč	829-018	F1	SHH1A	kovový pojistkový držák na pojistky 5x20mm, 250V, 6,3A,
1	4,50 Kč	633-154	F1	FSF05	F-pojistka 5x20mm 5A
1	4,80 Kč	223-100	D1	BY500-200	Dioda 200V/5A, DO201AD
2	5,90 Kč	821-038	ON_OFF, BAT	ARK550/2EX	Šroubovací svorkovnice do DPS, modrá.

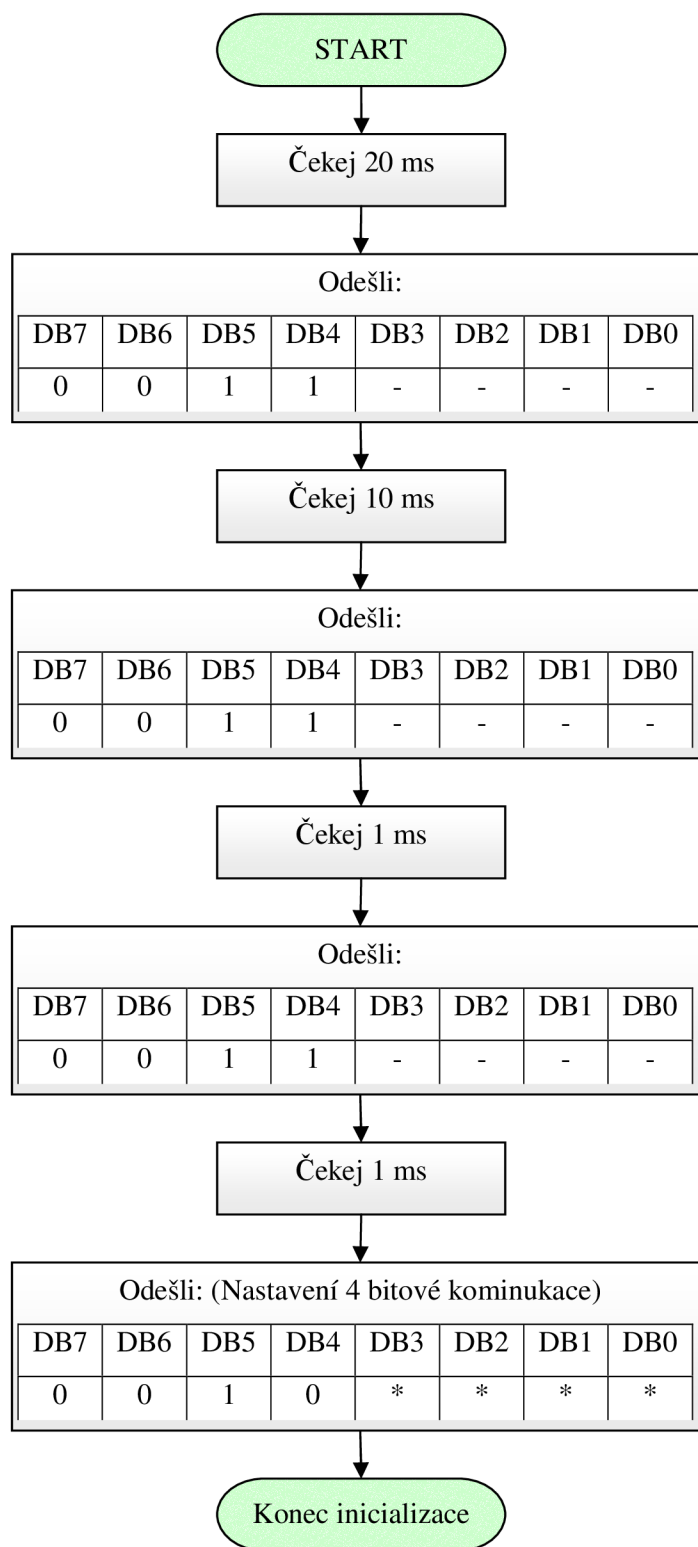
Kusů	Cena/kus	GME číslo	Označení ve schématu	Název	Popis
2	8,60 Kč	832-050	HP1, HP2	S2G40 2,54mm	KONEKTOROVÝ KOLÍK LÁMACÍ, pozlacený, dvouřadý, rovný, 40pinů, rozteč 2,54mm
1	16,10 Kč	801-011	X1	CAN 15 Z 90	CANON ZÁSUVKA, 15 kontaktů, kontakty zahnuté 90st., do DPS
1	5,40 Kč	806-049	J1	K375A	Konektor napájecí do PLS 90°, male (vidlice) 2.1mm
3	5,40 Kč	800-035	SV1, SV2, SV3	MLW10G	KONEKTOR MLW, vidlice, rovné piny, 2 x 5pinů, rozteč 2,54mm
1	3,20 Kč	630-091	SW1	P-B1720A	Mikrospínač do DPS 1-pólový spínací ON-
1	115,00 Kč	958-099	IC4	ATmega16L-8AU	ATMEL AVR 16kB program FLASH, 1kB SRAM, 512B EEPROM, 2x8bit Timers, 1x16bit Timers, 4 PWM channels, 8x10bit ADC, I2C, USART, SPI, Brown-out, internal RC oscilator, Power save modes, compatibility fuse, JTAG, TQFP44
1	9,60 Kč	974-001	IC1	MC34063AD	DC-DC měnič 3 - 40V vstup
1	4,00 Kč	907-138	C14	CTS 22M/6.3V A	Tantalový kondenzátor SMD 22M/6,3 V,

Seznam ostatních položek

Kusů	Cena/kus	GME číslo	Označení ve schématu	Název	Popis
1	6,40 Kč	801-004	-	CAN 15 V	CANON VIDLICE, 15 kontaktů, pájecí
1	6,40 Kč	801-009	-	CAN 15 Z	CANON ZÁSUVKA, 15 kontaktů, pájecí
2	10,70 Kč	801-074	-	KRYT CAN 15	KRYT CANON 15, plastový, pokovený plast
1	4,80 Kč	800-007	-	PFL10	KONEKTOR PFL, 10 kontaktů (2 x 5), samosvorné na kabel, rozteč 2,54mm
1	19,30 Kč	521-042	-	L-BPI-3C1-10	opto závora 13x6.4x7mm mezera 5mm, If=50mA max., Ifp=1A,
1	16,10 Kč	829-049	-	KS-PTF80A	Pojistkový držák na kabel pro poj. 5x20 a 6,3x32mm l=57mm
1	8,60 Kč	624-251	-	P-SM101-2B3	Kolébkový spínač do panelu 1-pólový spínací ON-OFF.
	91,00 Kč	622-428	-	U-KP26	Krabička se skládá ze dvou dílů, které sestavíme a sešroubujeme čtyřmi vruty.
	40,00 Kč	*	-	KB304 12KEY BLACK	Klávesnice 3x4 tlač.
	280,00 Kč	*	-	VL-FS-MDLS20265SP-04	Display 2x20
				ekvivalent TME:	
				DEM20231SYH-PY	
	450,00 Kč	*	-	NOSRAM NiMH 7,2V 3000mAh	Akumulátor
	360,00 Kč	*	-	SX16-0503	Krokový motor
	700,00 Kč	*	-	SX16-0402LA-120	Lineární aktuátor

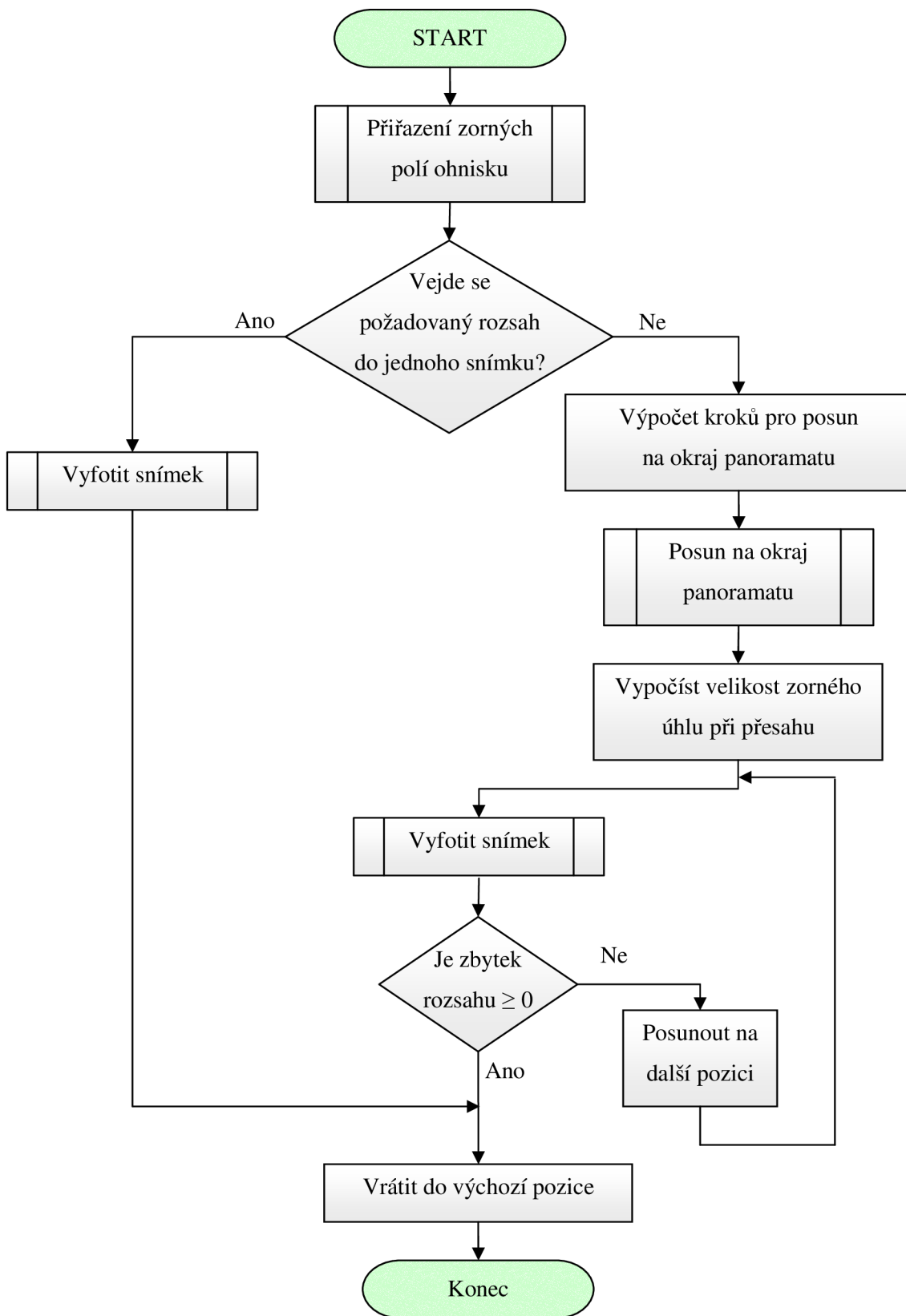
Příloha 4: Vývojový diagram funkce:

```
void lcd_reset(void);
```



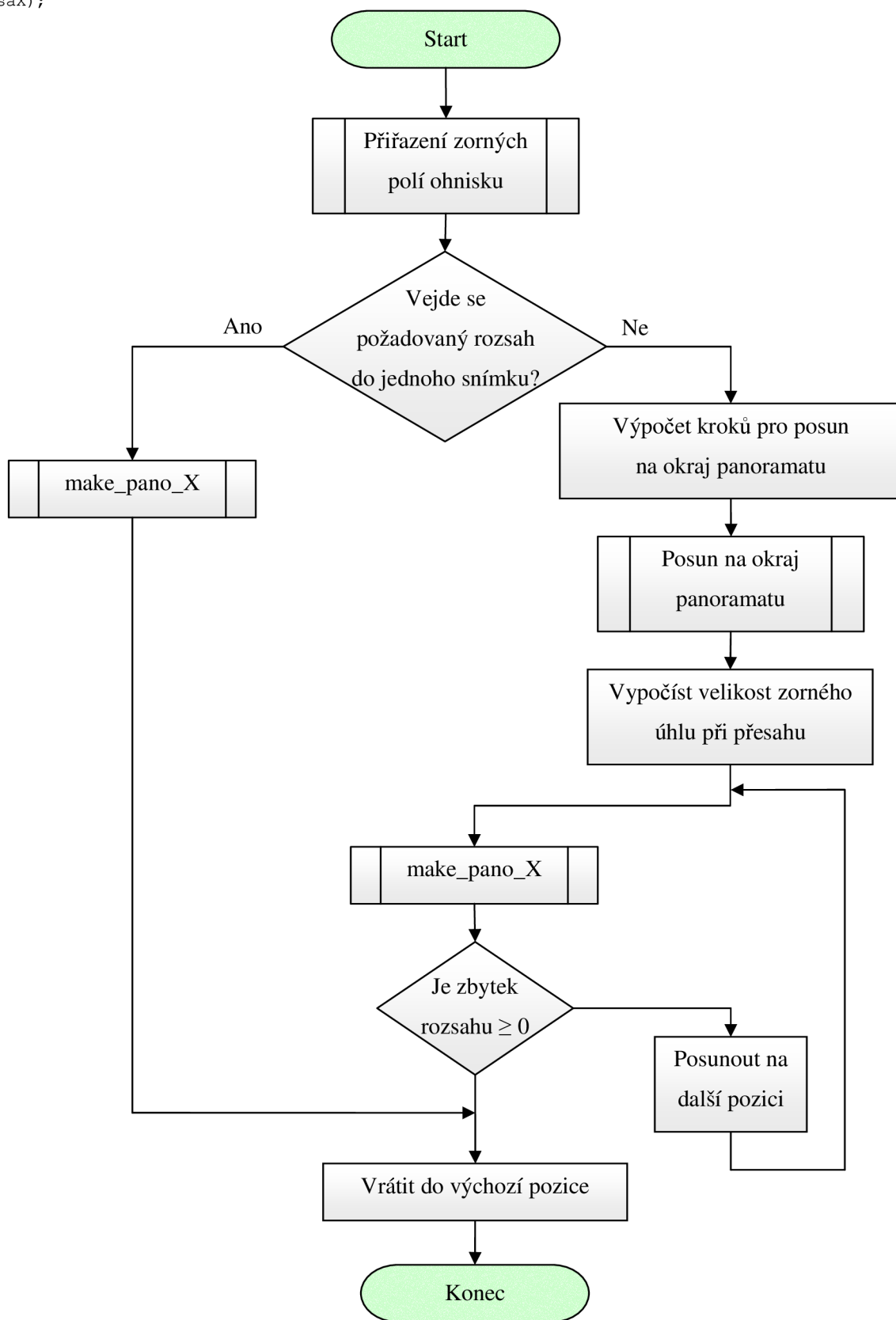
Příloha 4: Vývojový diagram funkce:

`char make_pano_X(char calculate, char focus, char overlap, int osaX)`



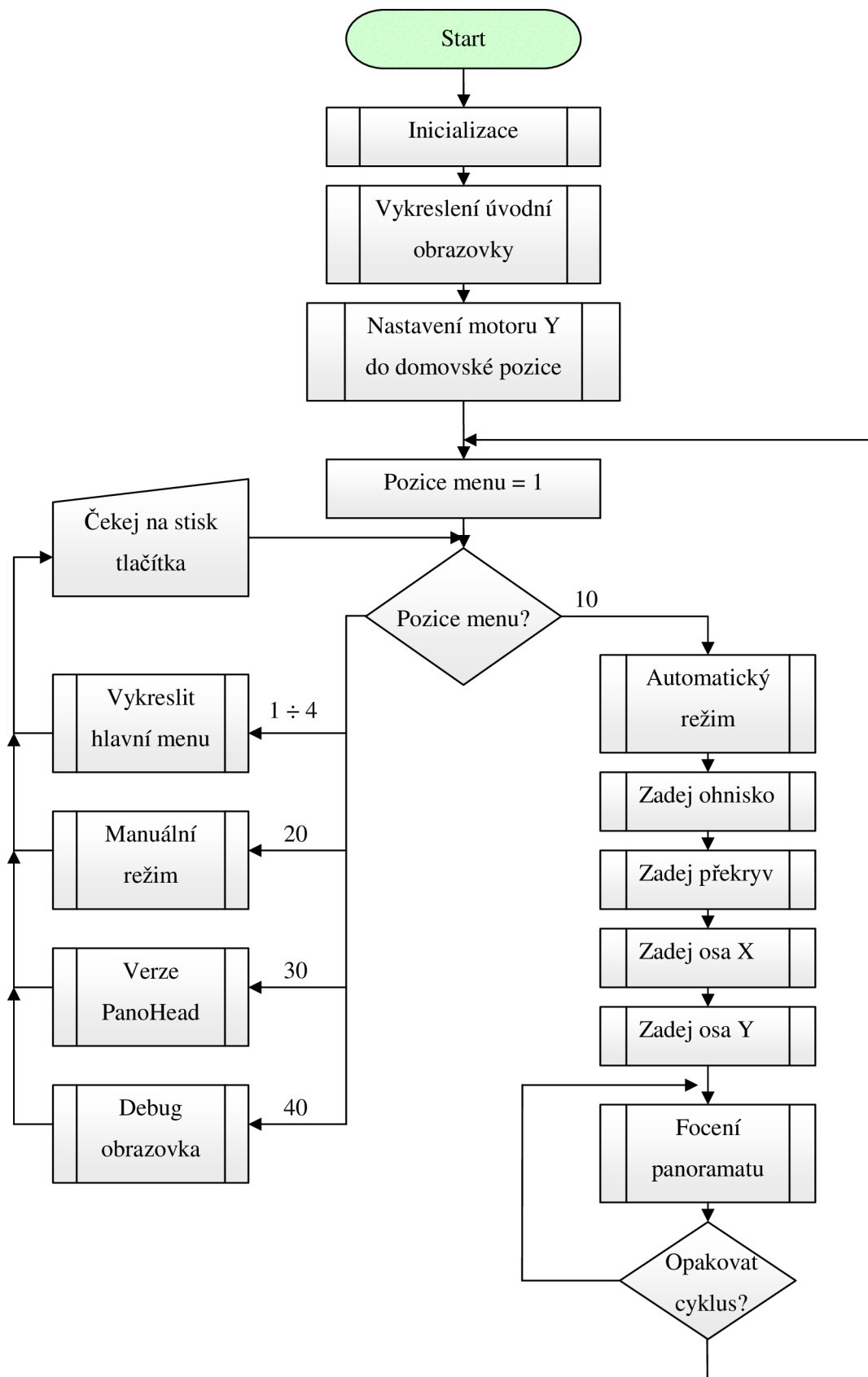
Příloha 4: Vývojový diagram funkce:

```
char make_pano_XY(char calculate, char focus, char overlap, int osaY, const int  
osaX);
```



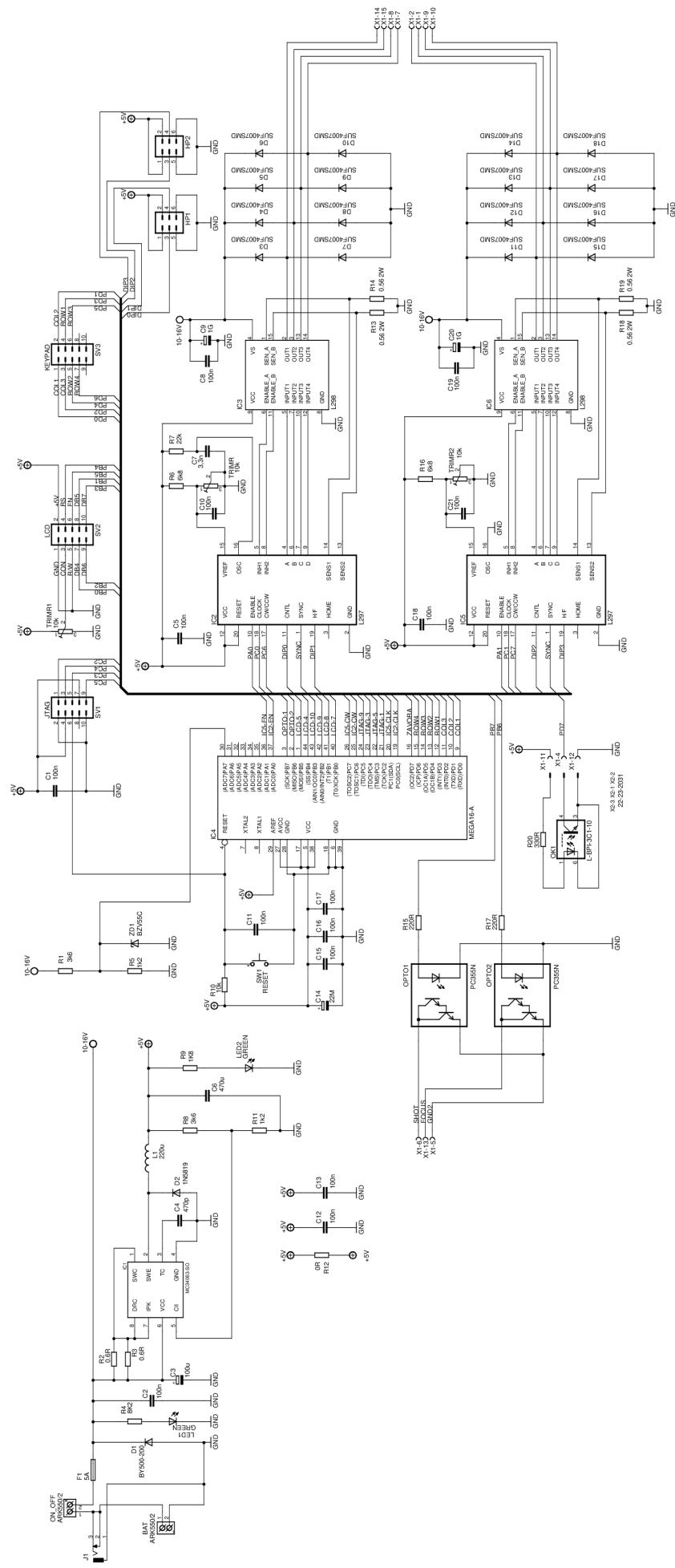
Příloha 4: Vývojový diagram funkce:

```
void main(void);
```

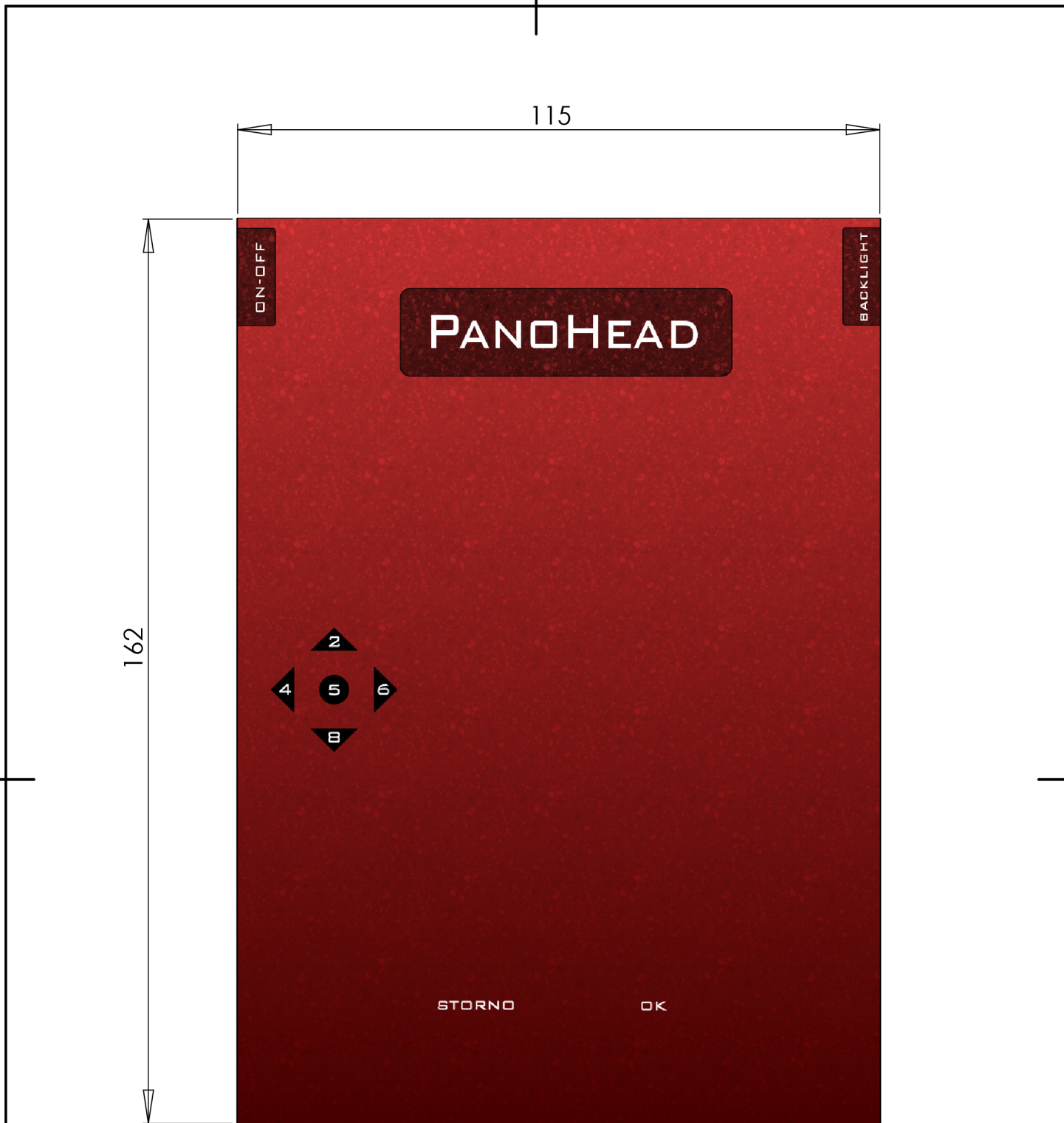



Příloha 5 – Vytvořené panorama

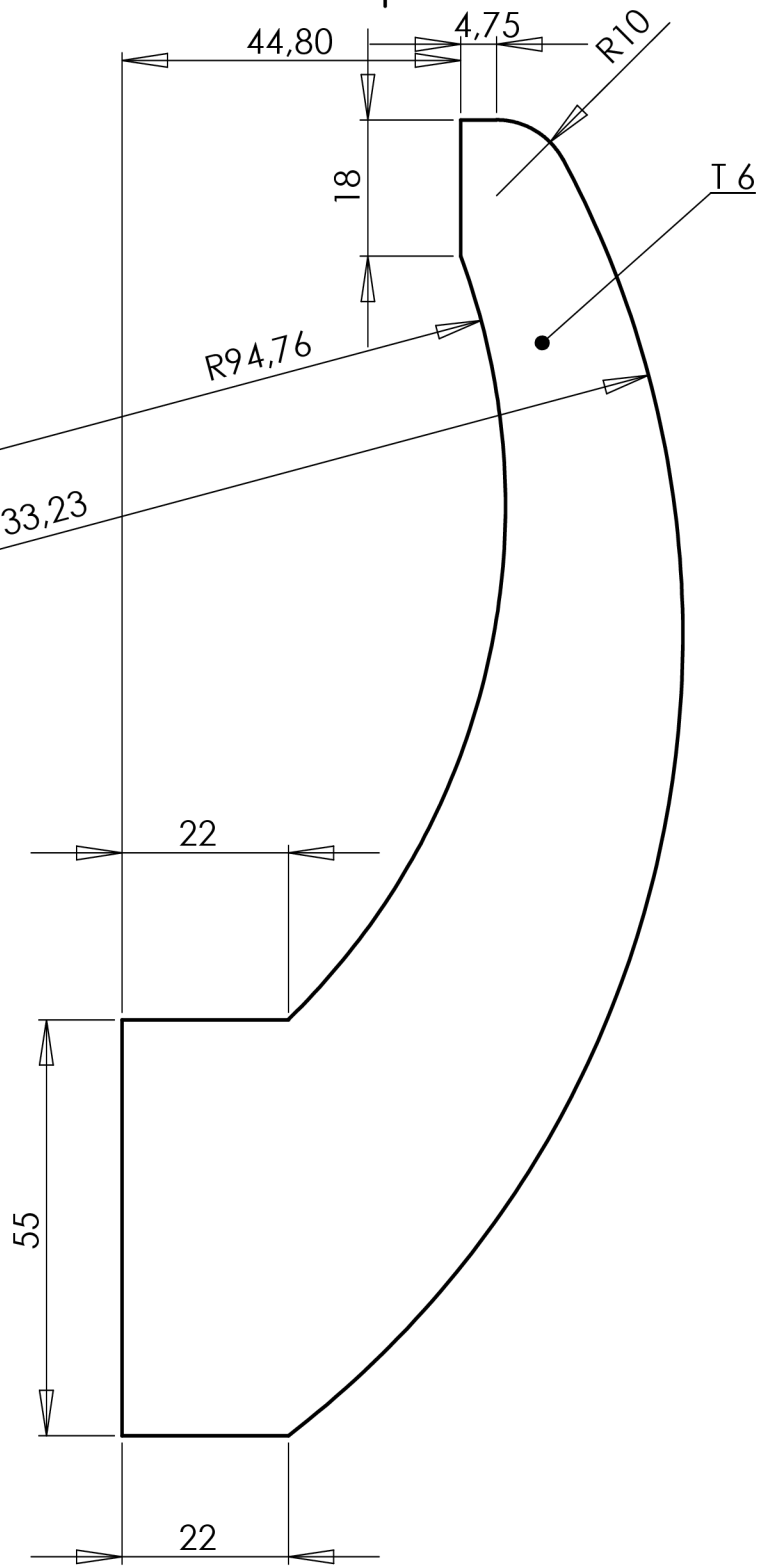




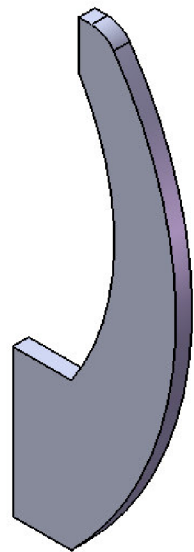
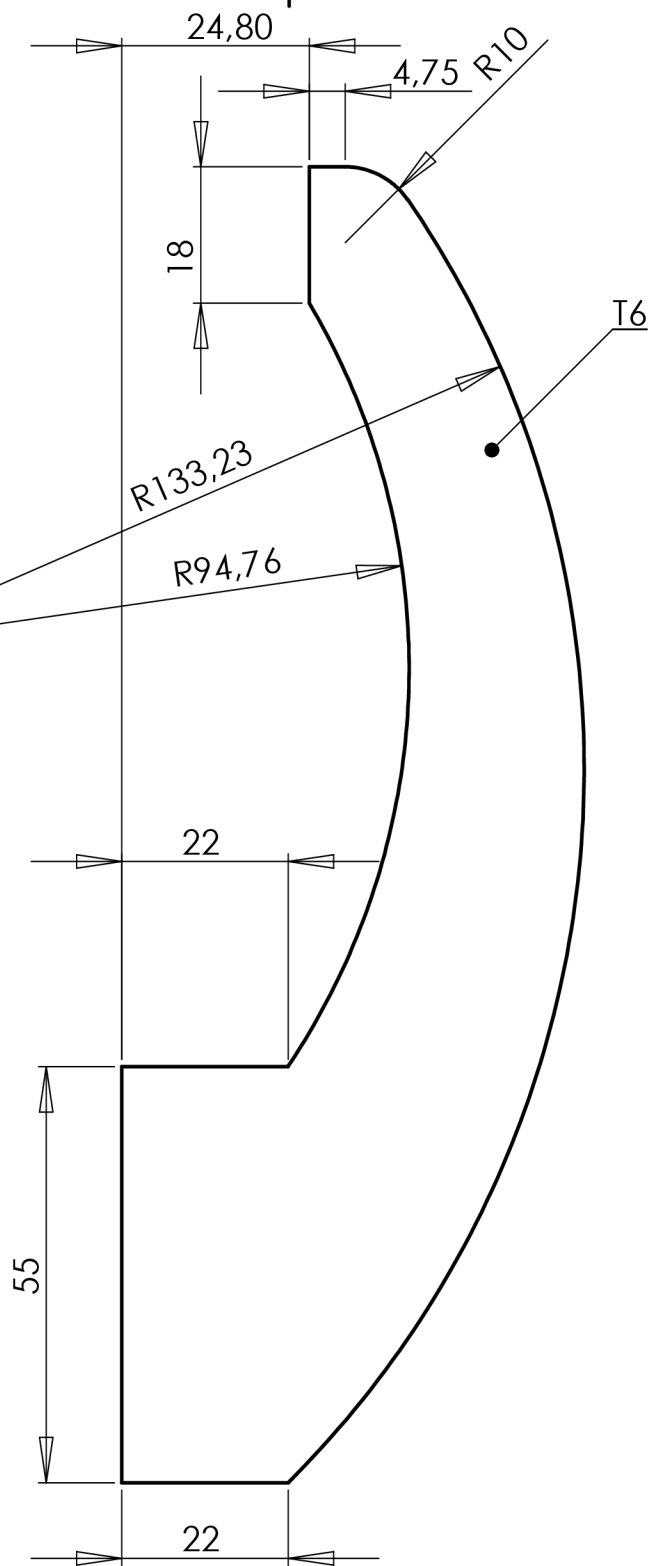
V1.0 10.10.06
20:22:2001



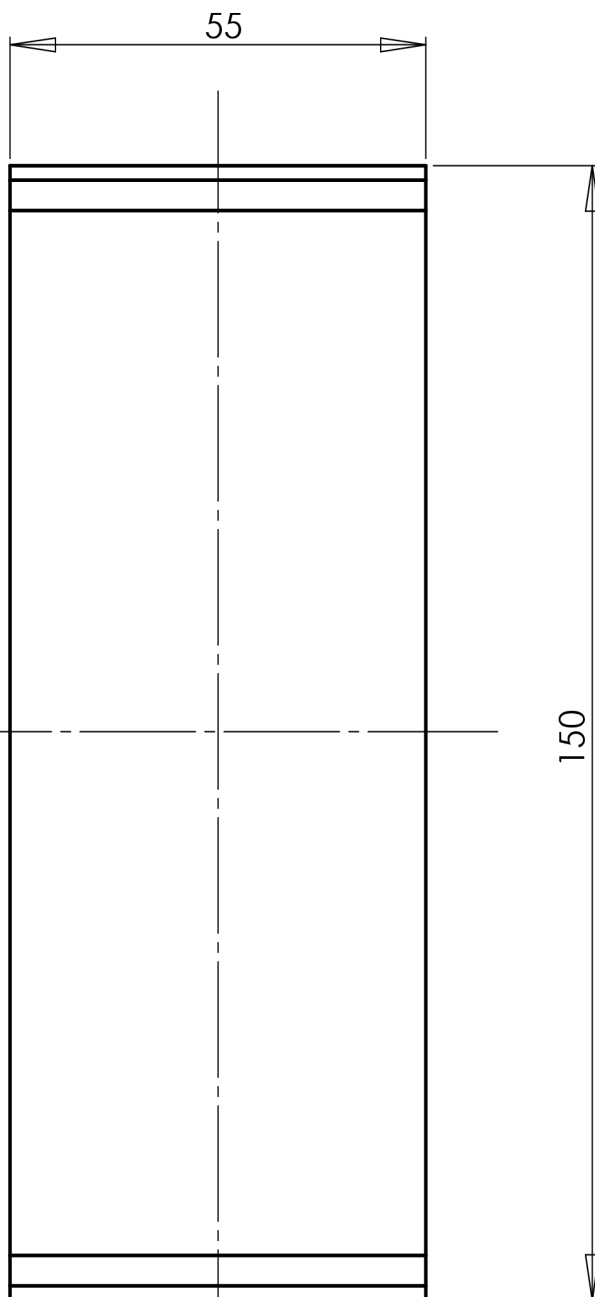
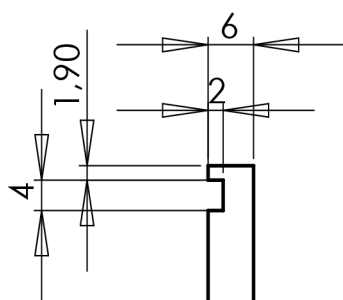
				Přesnost	Materiál Samolepka	T.O.
				Tolerování	Polotovar	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis			
	Formát:	Měřítko	Název	Polepový štítek		
	A4	1:1				
Normalizace				Číslo výkresu		
Navrhl Bc. Michal Hrubý						
Schválil						
Datum	17.05.2011				List 1 / 1	




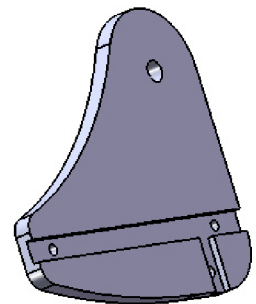
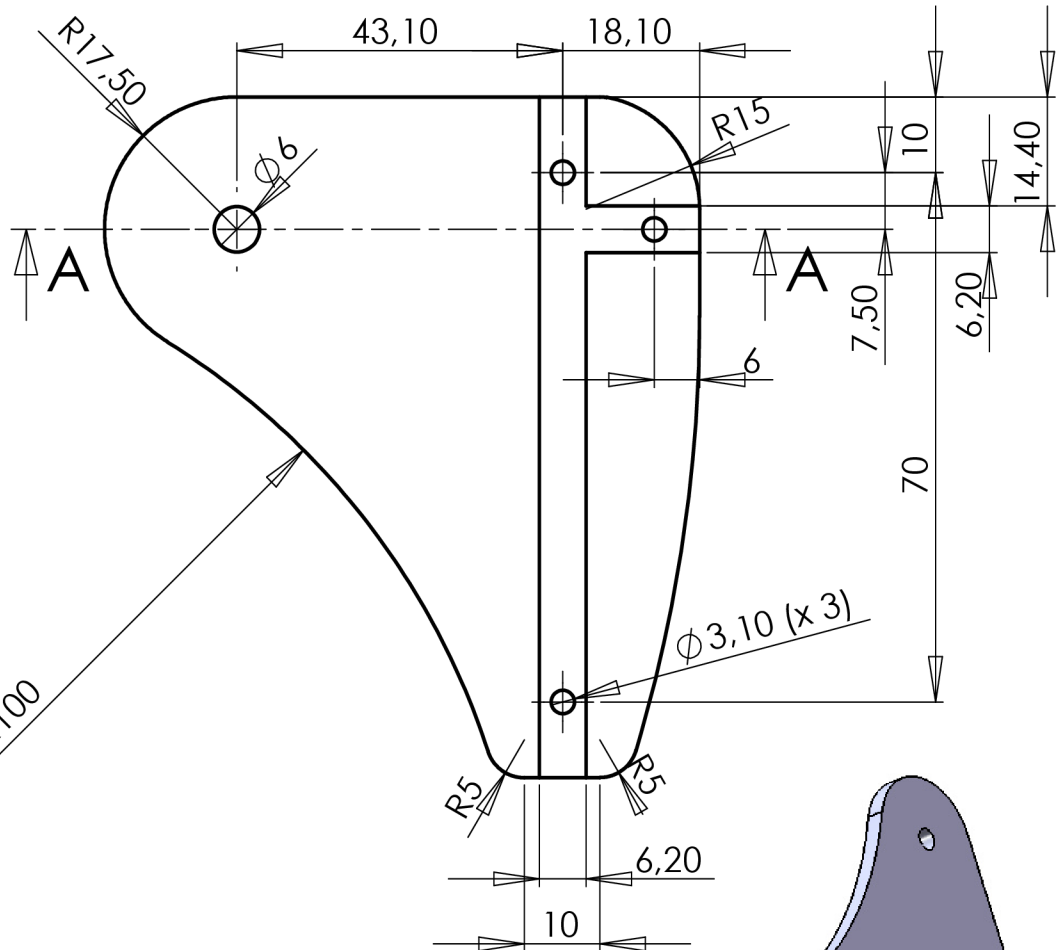
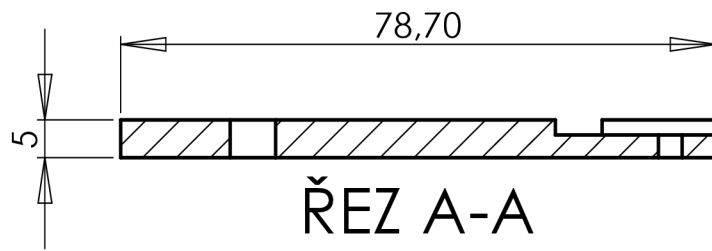
				Přesnost	Materiál	ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovár		
				Promítání		Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně			
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií			
Změna	Datum	Index	Podpis	Název	Rameno pravé		
	Formát:	Měřítko		Číslo výkresu			
	A4	1:1					
Normalizace							
Navrhl	Bc. Michal Hrubý						
Schválil							
Datum	17.5.2011						



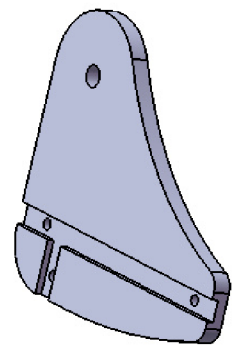
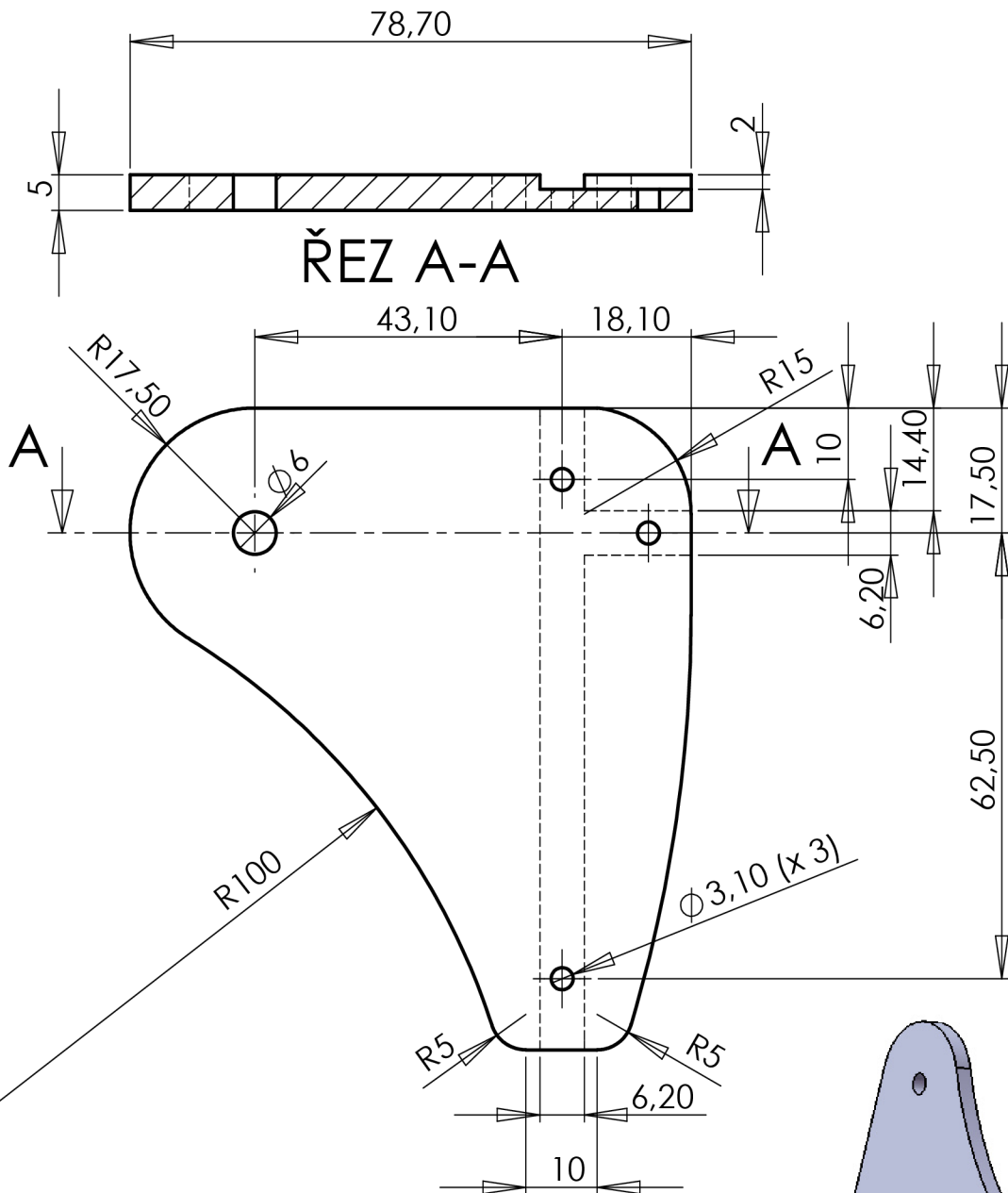
				Přesnost	Materiál	ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovár		
				Promítání		Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně			
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií			
Změna	Datum	Index	Podpis	Rameno levé			
	Formát:	Měřítko		Název			
	A4	1:1					
Normalizace				Číslo výkresu			
Navrhl	Bc. Michal Hrubý						
Schválil							
Datum	17.5.2011			List 1 / 1			



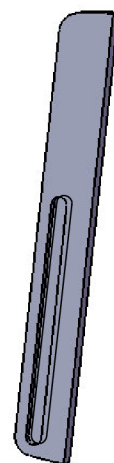
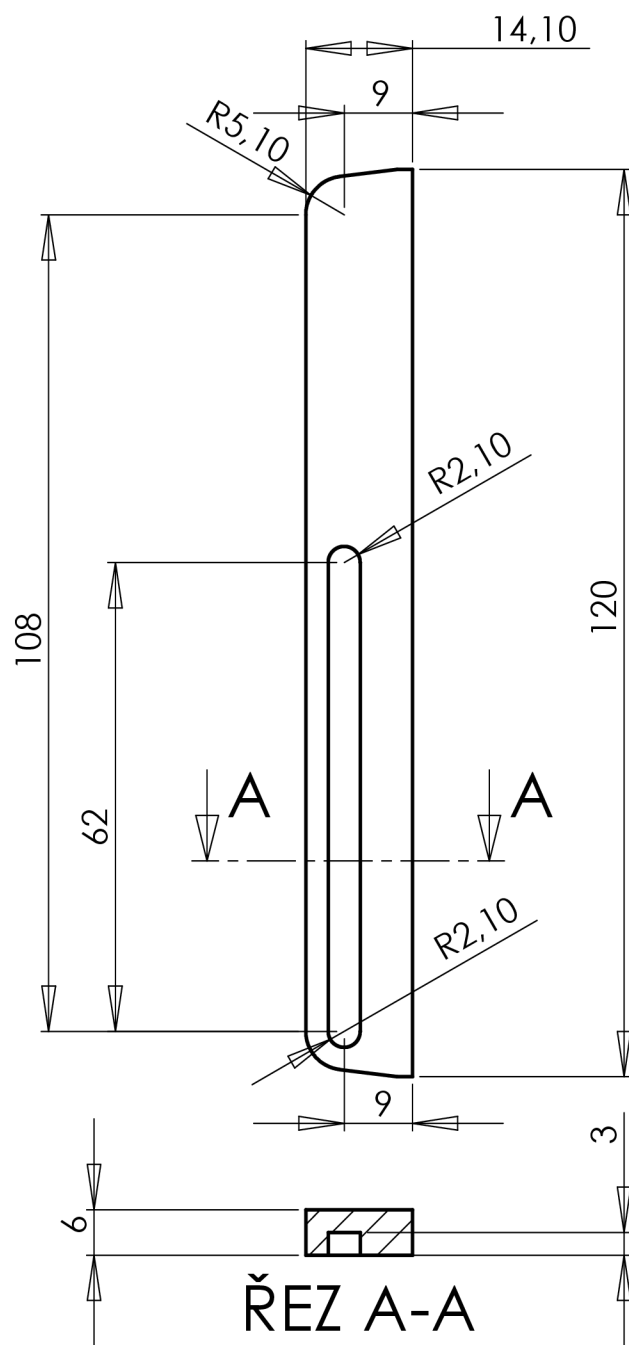
				Přesnost	Materiál ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovar	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis	Boční strana boxu		
	Formát: A4	Měřítko 1:1	Název	Číslo výkresu		
Normalizace						
Navrhl Bc. Michal Hrubý						
Schválil				List 1 / 1		
Datum 17.5.2011						




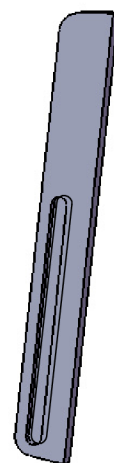
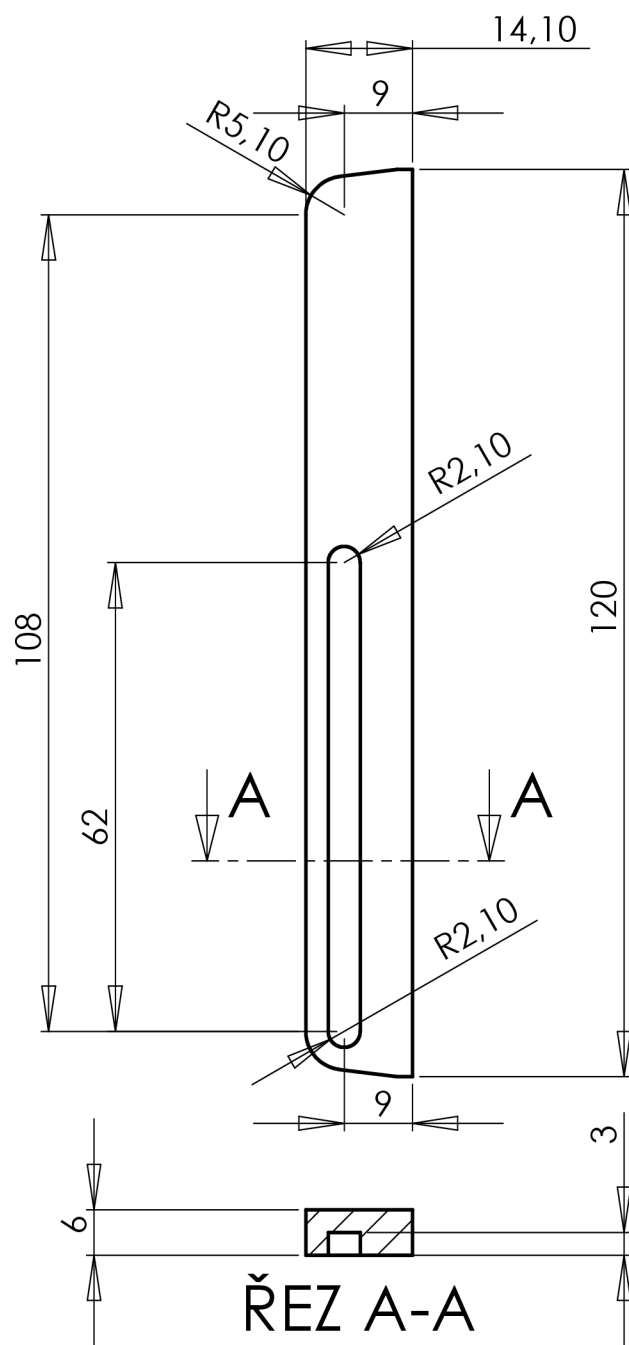
				Přesnost	Materiál	ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovar		
				Promítání		Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně			
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií			
Změna	Datum	Index	Podpis	Kolibka bok pravý			
	Formát:	Měřítko		Název			
	A4	1:1					
Normalizace				Číslo výkresu			
Navrhl Bc. Michal Hrubý							
Schválil							
Datum 17.5.2011				List 1 / 1			




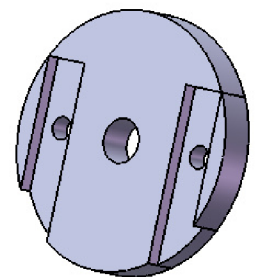
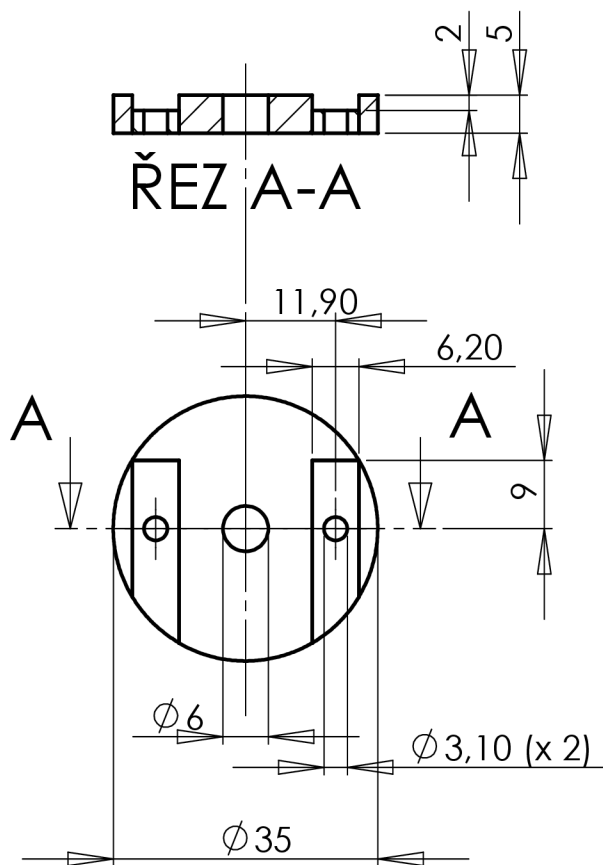
				Přesnost	Materiál ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovár	
				Promítání	Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně		
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis	Bok kolebka levý		
	Formát: A4	Měřítko 1:1	Název	Bok kolebka levý		
Normalizace						
Navrhl Bc. Michal Hrubý				Číslo výkresu		
Schválil						
Datum 17.5.2011						




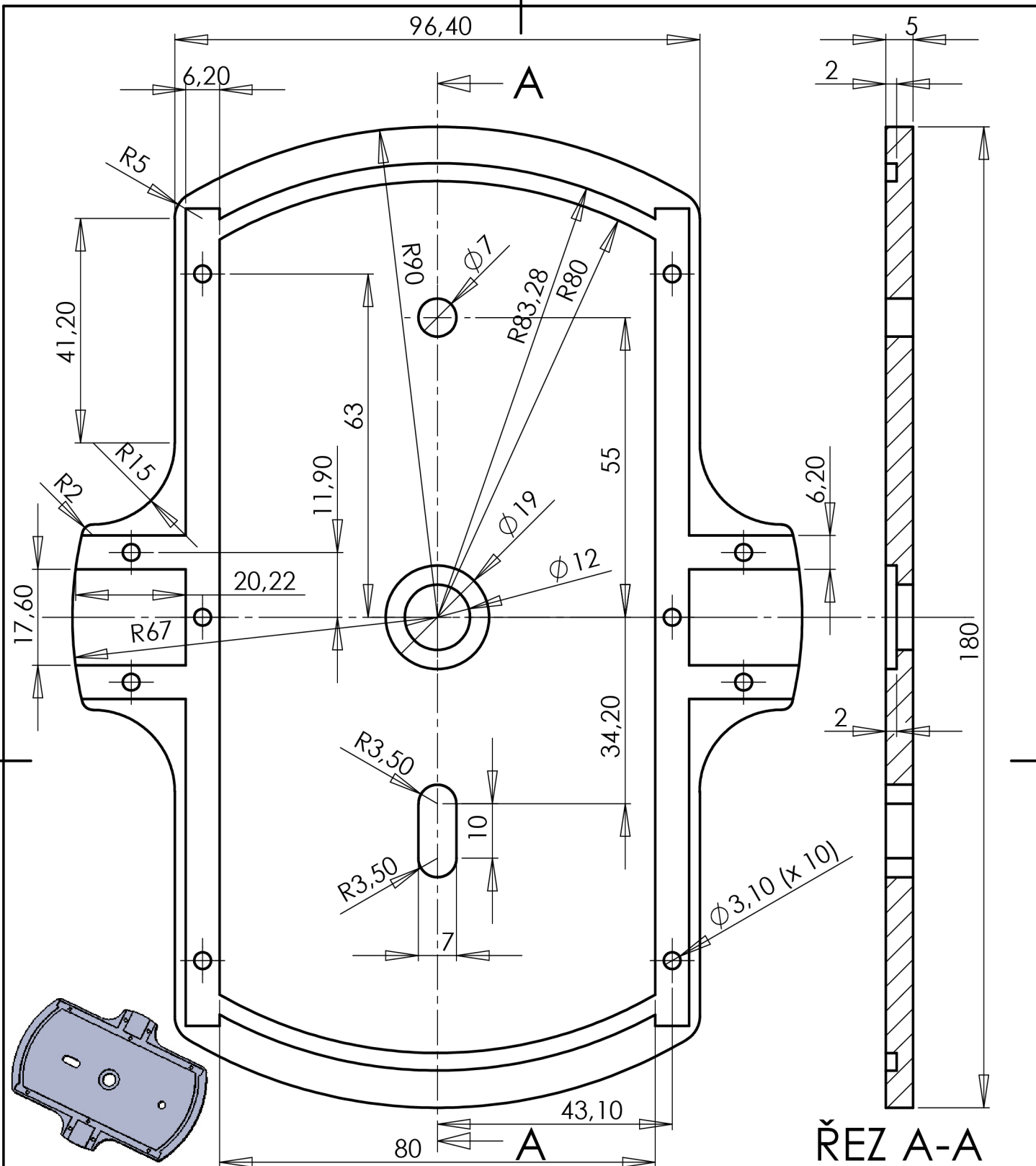
				Přesnost	Materiál ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovar	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis	Vodítko levé		
	Formát: A4	Měřítko 1:1	Název	Číslo výkresu		
Normalizace						
Navrhl Bc. Michal Hrubý				List 1 / 1		
Schválil						
Datum 17.5.2011						



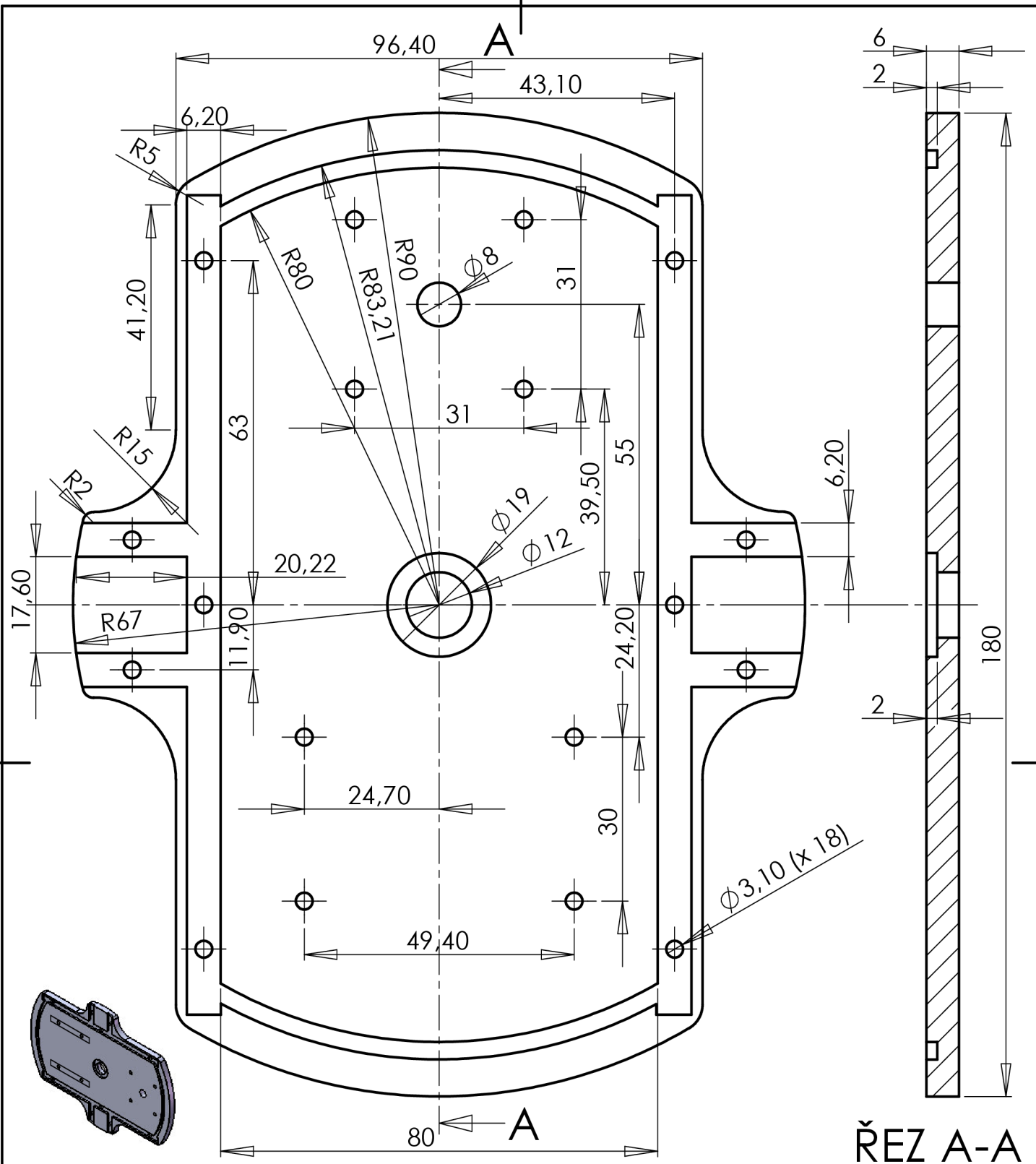
				Přesnost	Materiál ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovar	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis	Vodítko pravé		
	Formát: A4	Měřítko 1:1	Název	Číslo výkresu		
Normalizace						
Navrhl Bc. Michal Hrubý				List 1 / 1		
Schválil						
Datum 17.5.2011						



				Přesnost	Materiál ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovár	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis	Spoj ramen		
	Formát: A4	Měřítko 1:1	Název	Číslo výkresu		
Normalizace						
Navrhl Bc. Michal Hrubý				List 1 / 1		
Schválil						
Datum 17.5.2011						

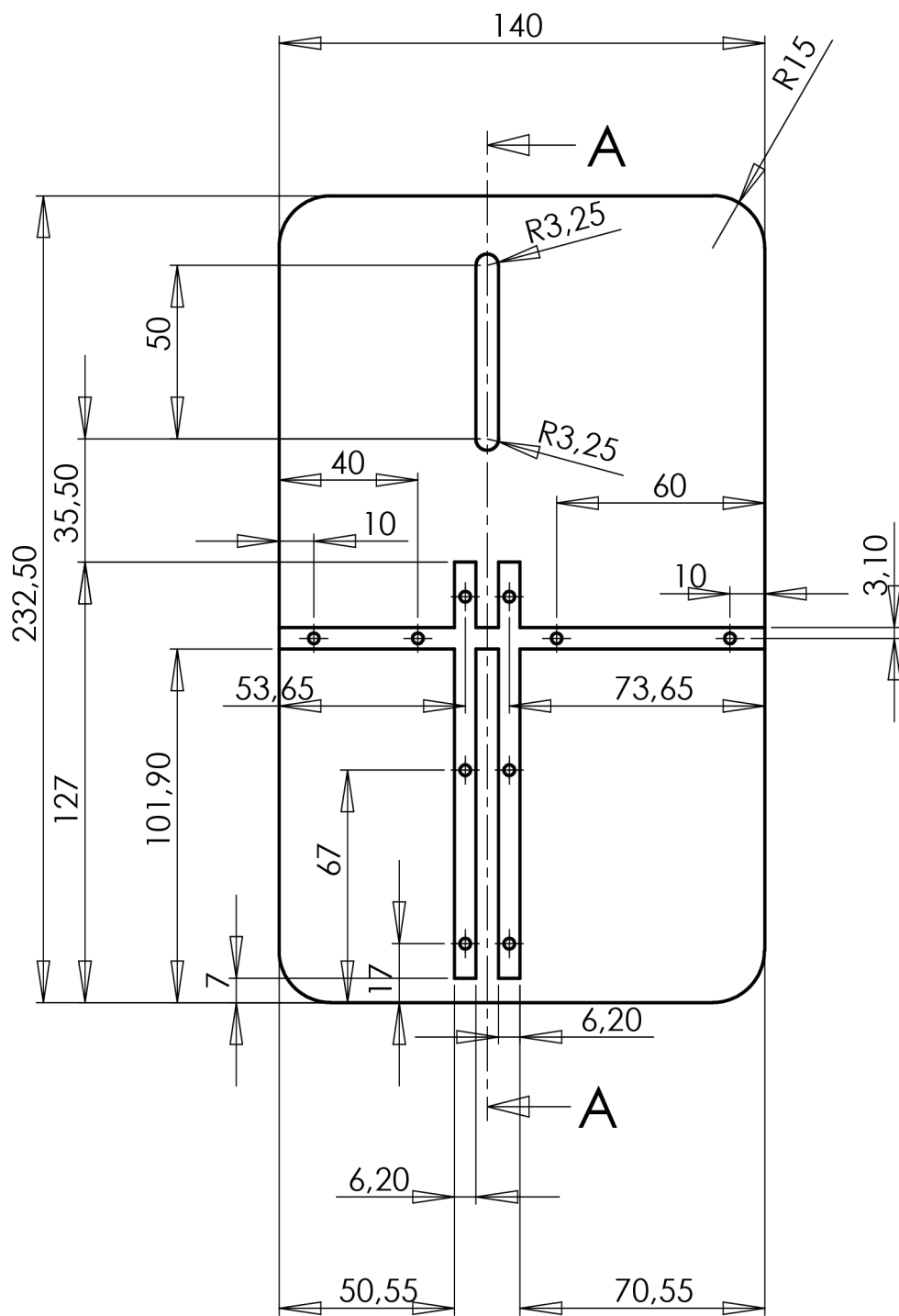


				Přesnost	Materiál	ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovár		
				Promítání		Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně			
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií			
Změna	Datum	Index	Podpis	Box spodní díl			
	Formát: A4	Měřítko: 1:1					
Normalizace				Název			
Navrhl Bc. Michal Hrubý				Číslo výkresu			
Schválil							
Datum 17.5.2011							

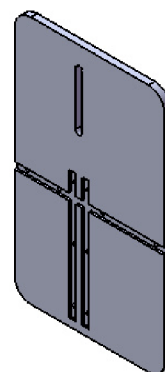
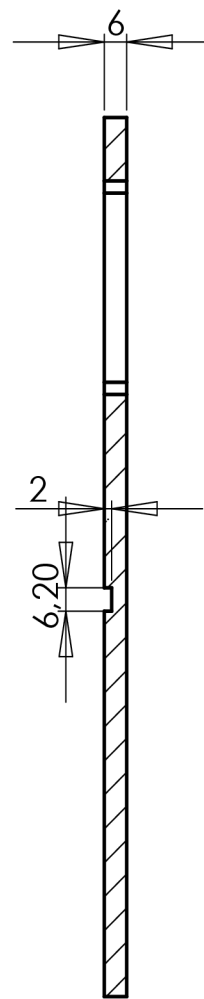


ŘEZ A-A

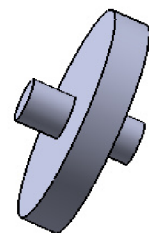
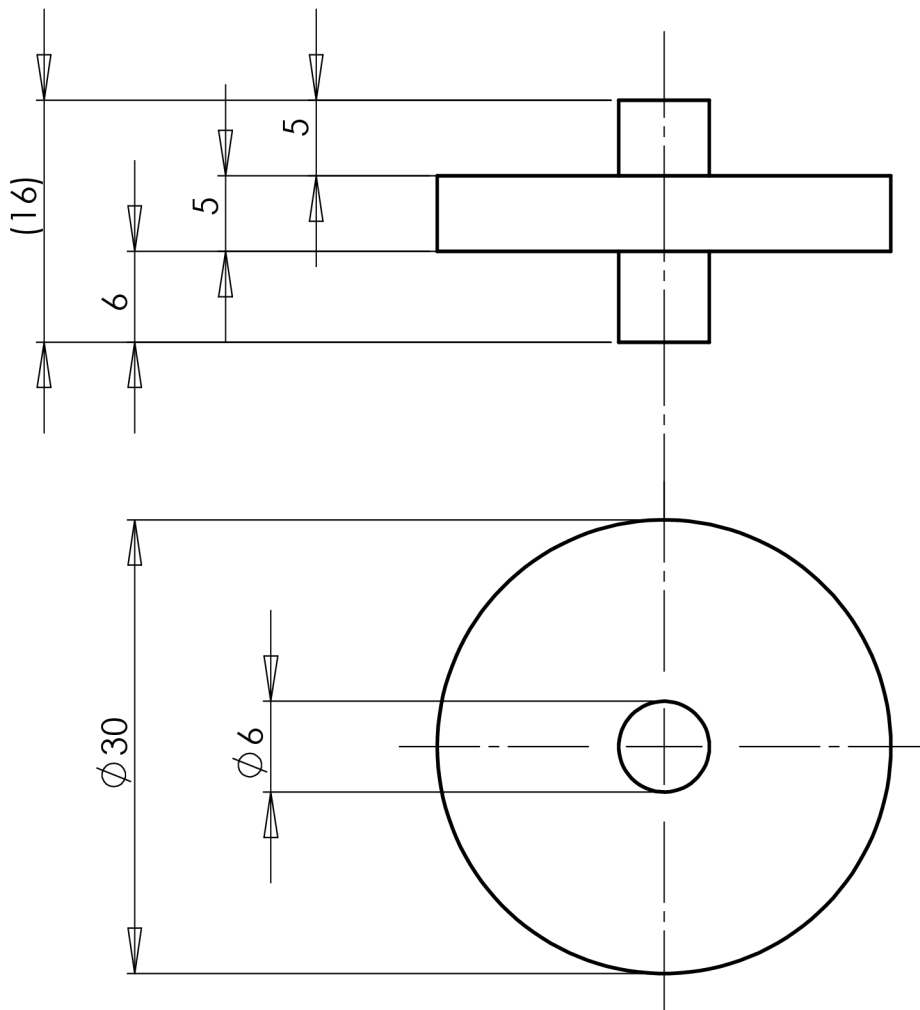
				Přesnost	Materiál	ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovar		
				Promítání		Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně			
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií			
Změna	Datum	Index	Podpis	Box horní díl			
	Formát:	Měřítko		Název			
	A4	1:1					
Normalizace				Číslo výkresu			
Navrhl Bc. Michal Hrubý							
Schválil				List 1 / 1			
Datum 17.5.2011							




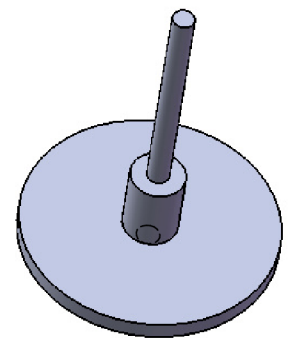
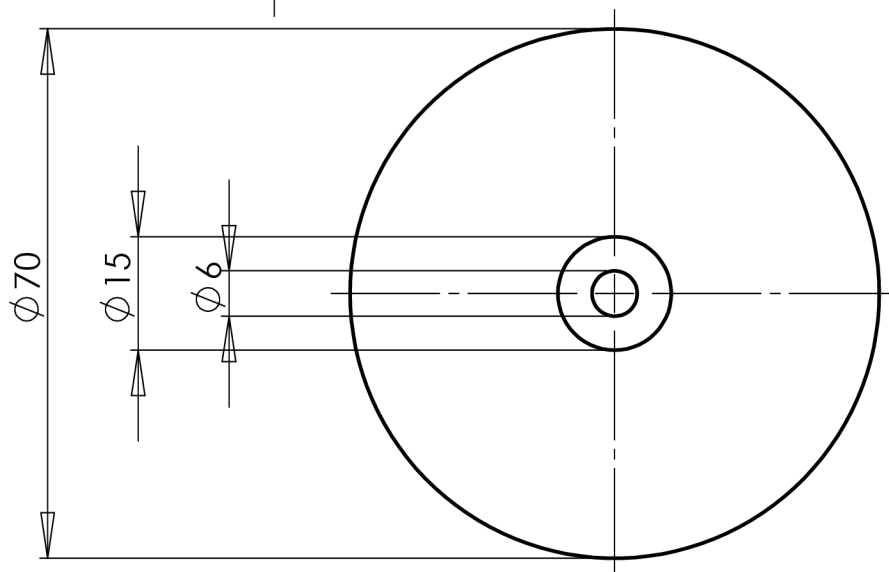
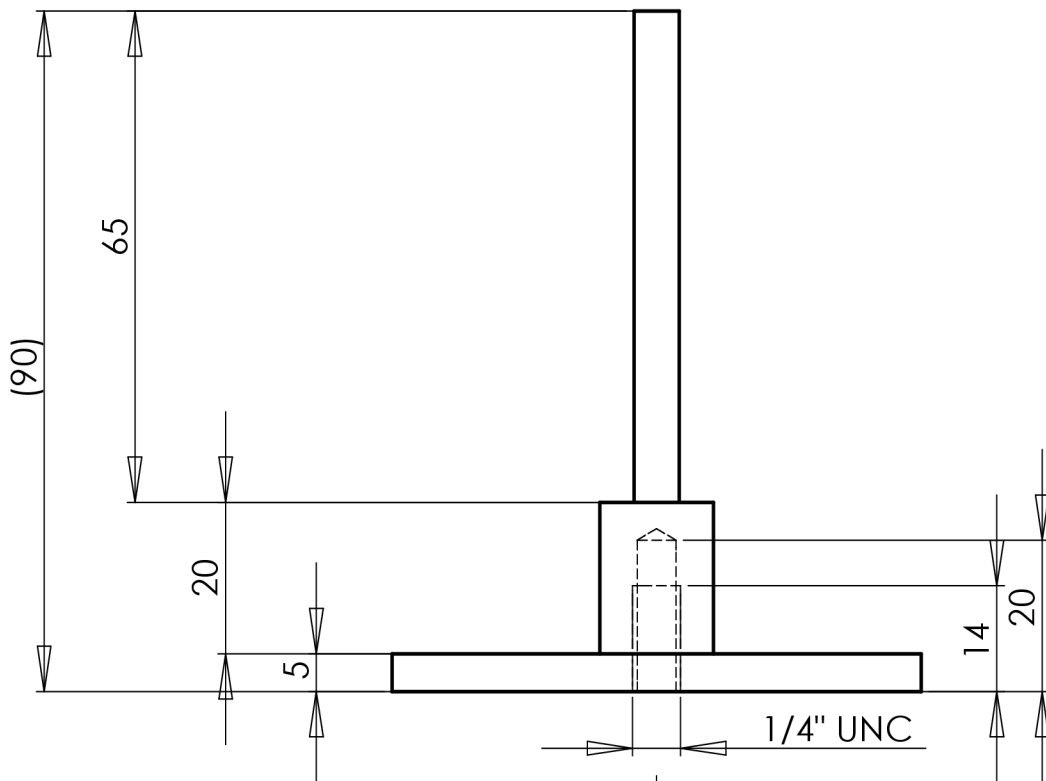
ŘEZ A-A



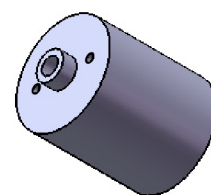
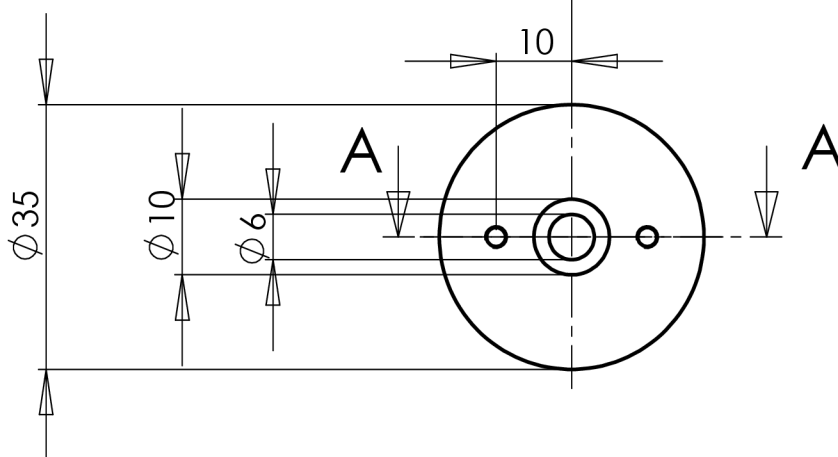
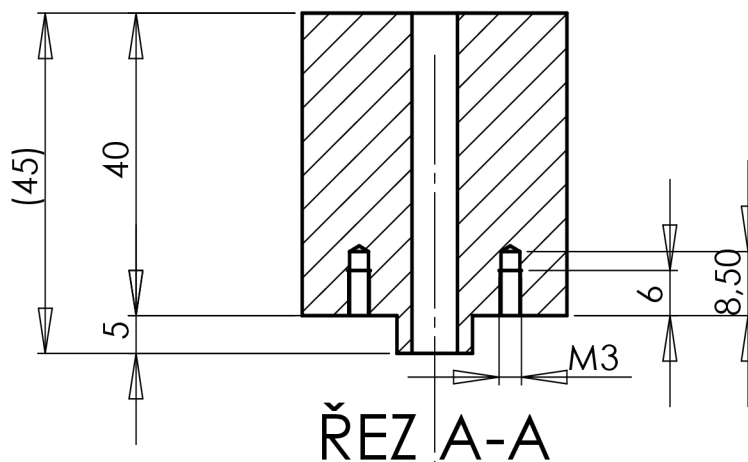
				Přesnost	Materiál	ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovar		
				Promítání		Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně			
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií			
Změna	Datum	Index	Podpis	Kolébka			
	Formát:	Měřítko		Název			
	A4	1:2					
Normalizace				Číslo výkresu			
Navrhl Bc. Michal Hrubý							
Schválil							
Datum 17.5.2011				List 1 / 1			




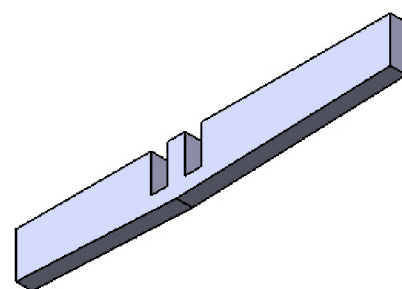
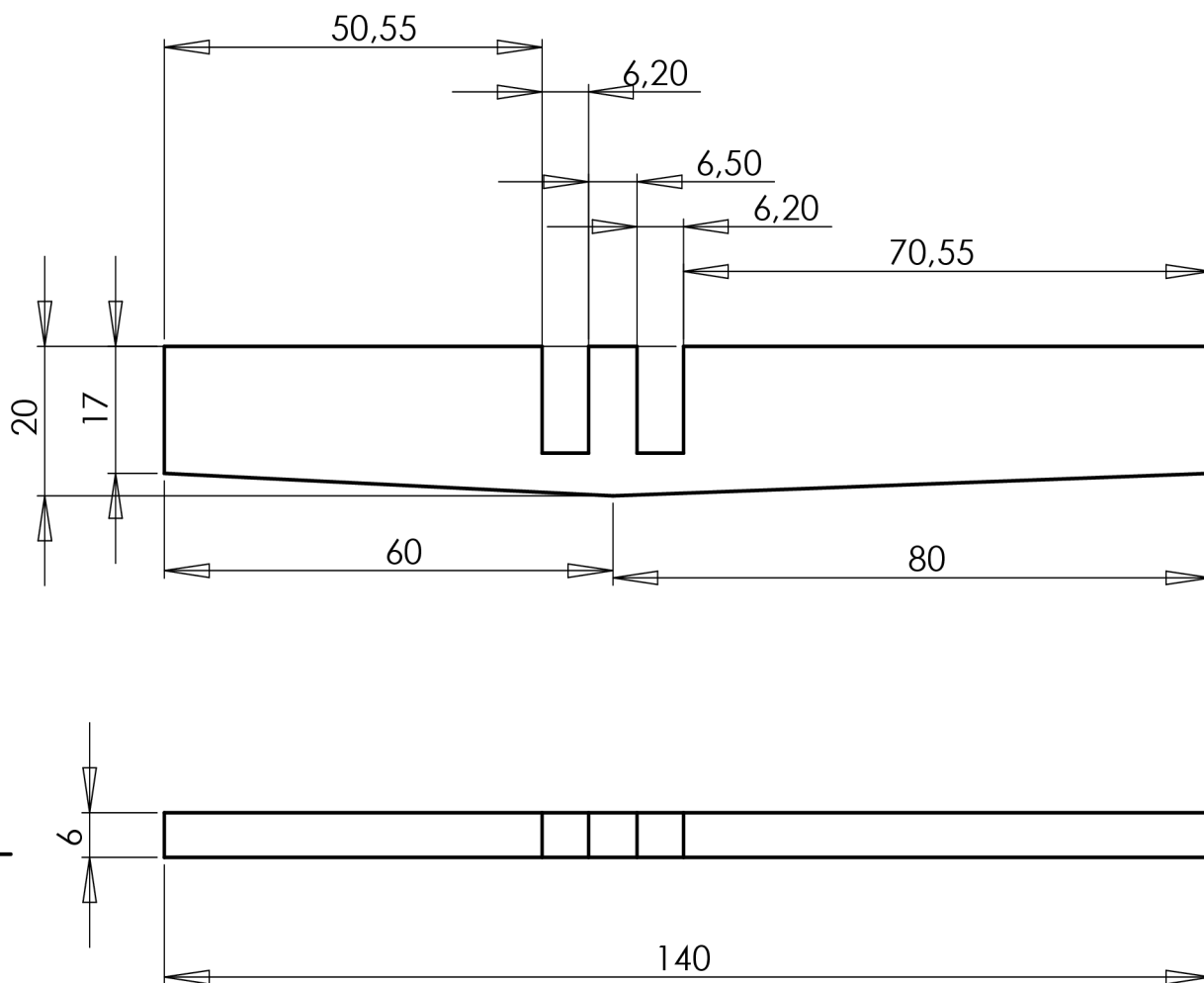
				Přesnost	Materiál Hliník	T.O.
				Tolerování	Polotovár	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis			
	Formát:	Měřítko	Název	Uchycení kolébky		
	A4	1:2				
Normalizace			Číslo výkresu			
Navrhl Bc. Michal Hrubý						
Schválil						
Datum 17.5.2011						




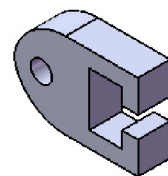
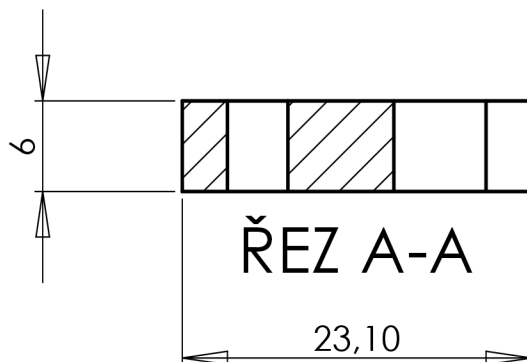
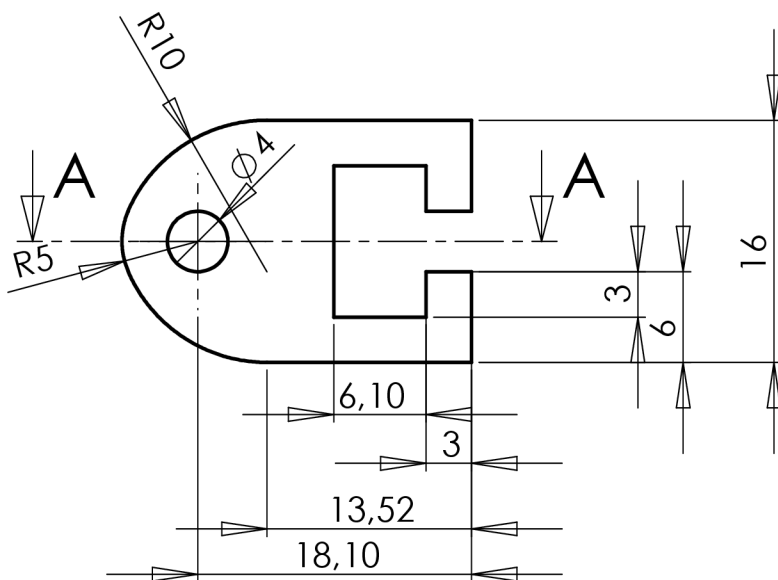
				Přesnost	Materiál	Ocel	T.O.
				Tolerování	Polotovar		
				Promítání		Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně			
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií			
Změna	Datum	Index	Podpis	Hřídel			
	Formát:	Měřítko		Název			
	A4	1:1					
Normalizace				Číslo výkresu			
Navrhl	Bc. Michal Hrubý						
Schválil							
Datum	17.5.2011						



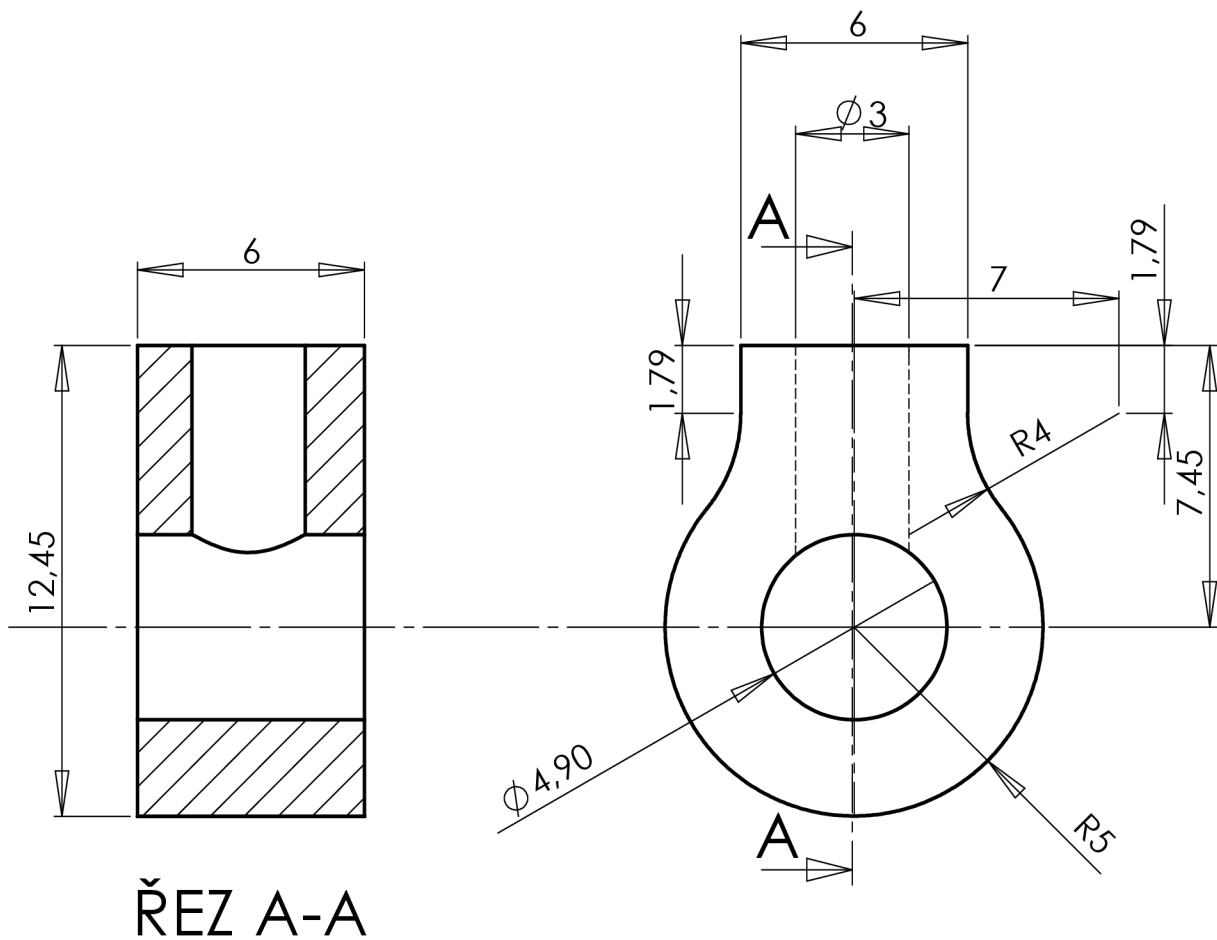
				Přesnost	Materiál Hliník	T.O.
				Tolerování	Polotovar	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně		
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis	Název	Držák ozubeného kola	
				Formát:	Měřítko	
				A4	1:1	
Normalizace				Název		
Navrhl Bc. Michal Hrubý				Číslo výkresu		
Schválil						
Datum 17.5.2011						



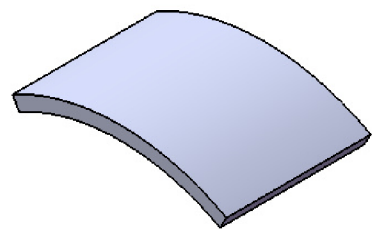
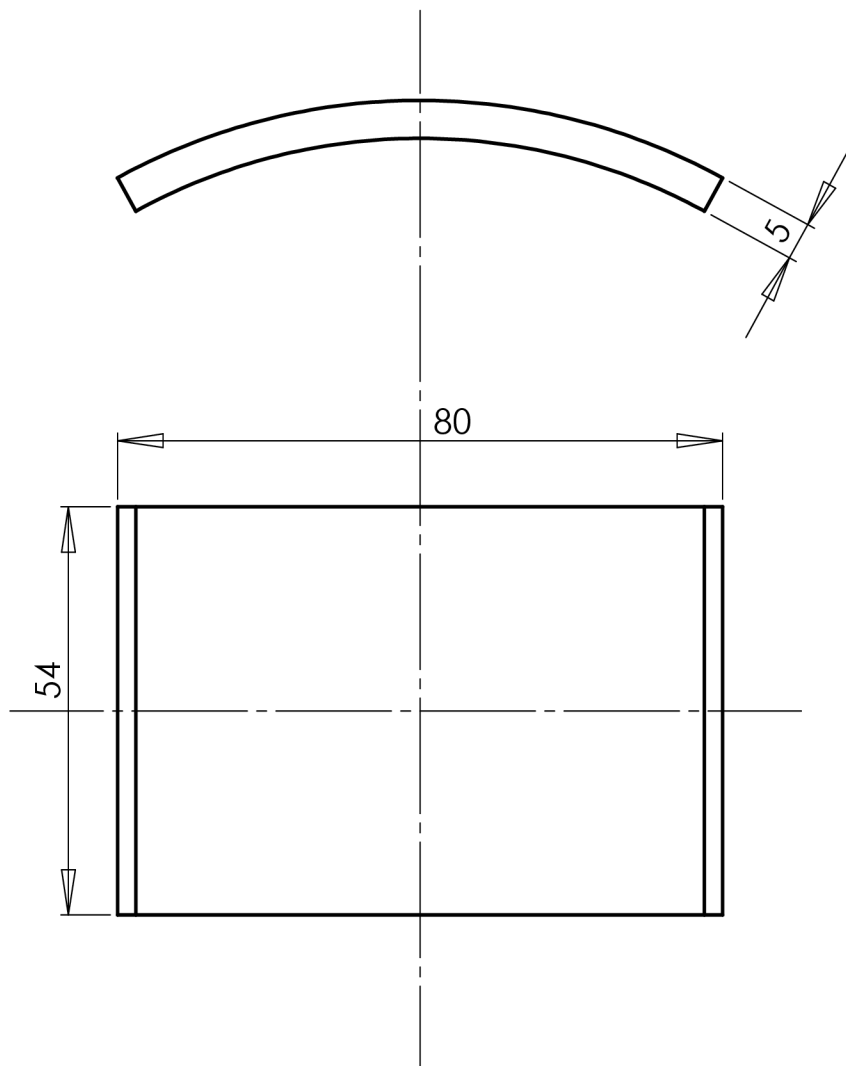
				Přesnost	Materiál ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovár	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis	Příčka pod kolébku		
	Formát: A4	Měřítko 1:1	Název			
Normalizace						
Navrhl Bc. Michal Hrubý			Číslo výkresu			
Schválil						
Datum 17.5.2011						




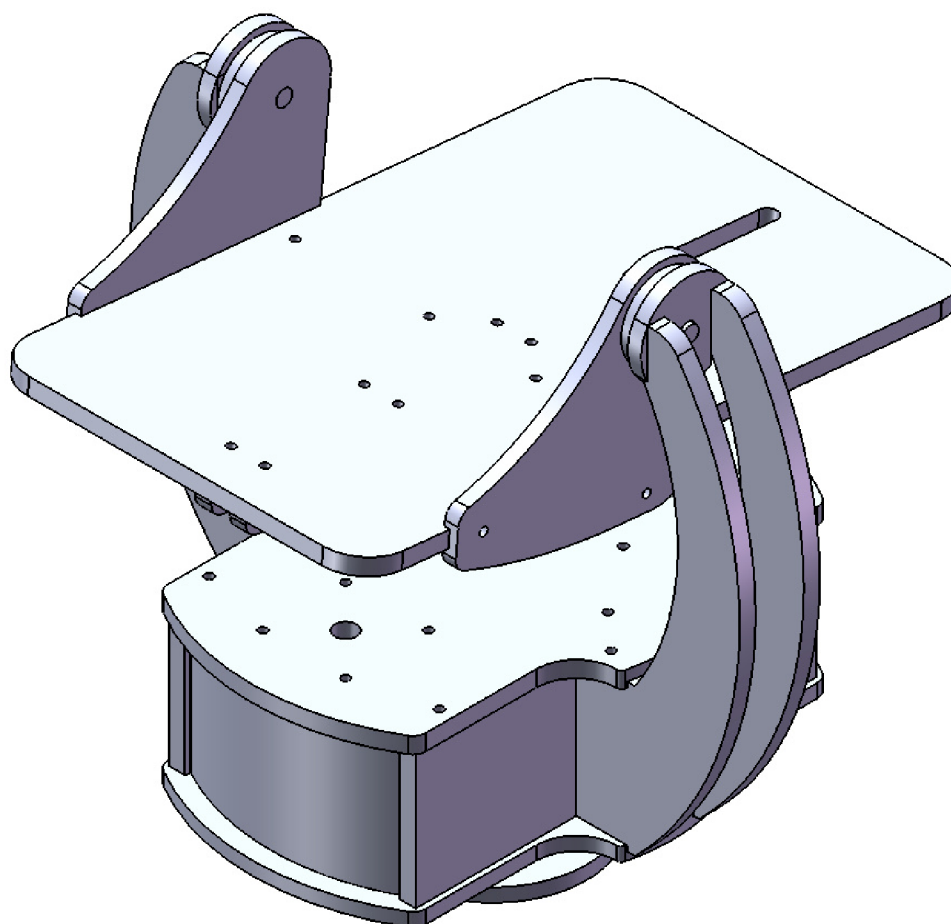
				Přesnost	Materiál ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovár	
				Promítání	Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis	Přichytka		
	Formát: A4	Měřítko 2:1	Název	Číslo výkresu		
Normalizace						
Navrhl Bc. Michal Hrubý						
Schválil				List 1 / 1		
Datum 17.5.2011						




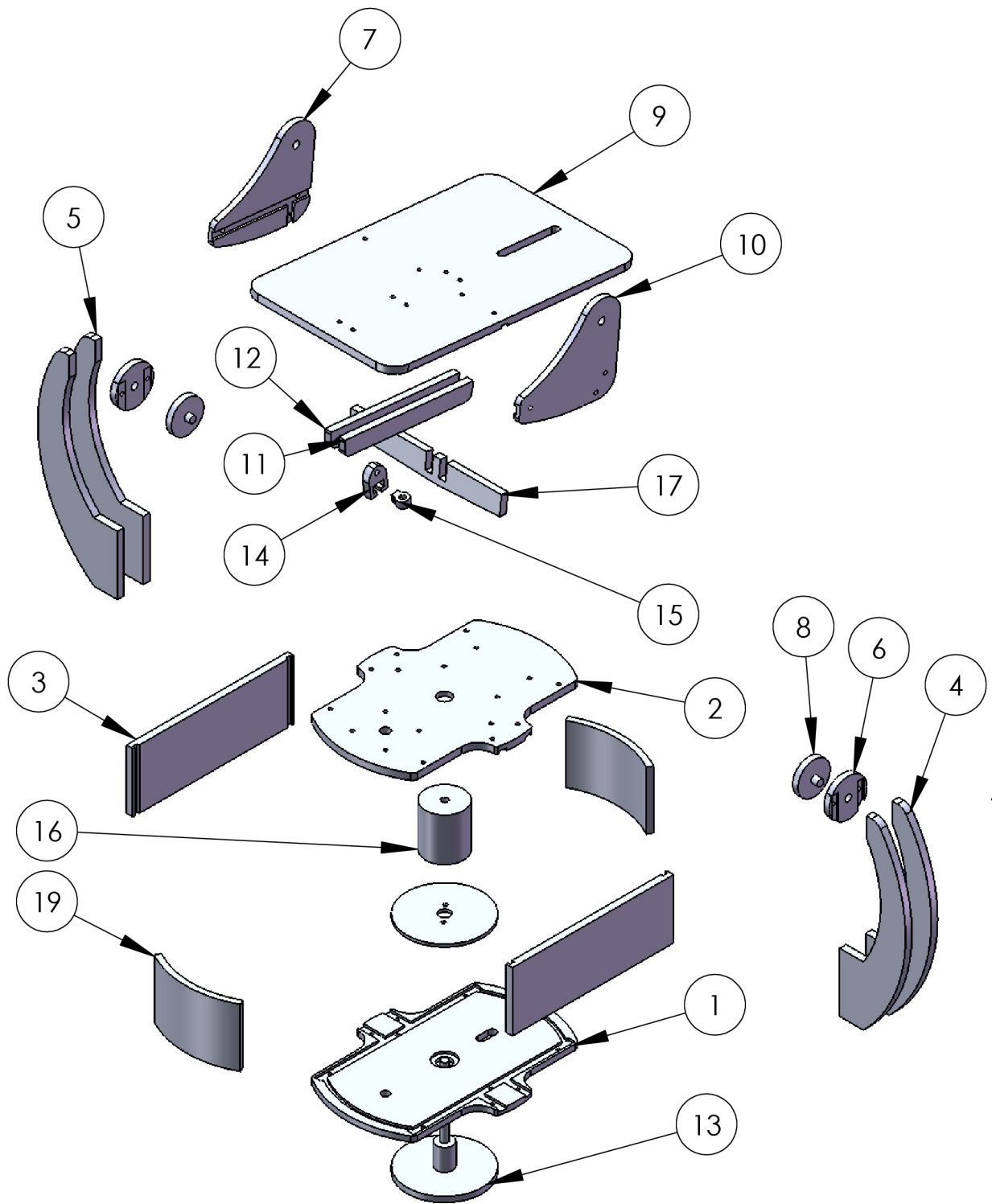
				Přesnost	Materiál	ABS plast 6mm	T.O.
				Tolerování	Polotovár		
				Promítání		Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně			
				Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií			
Změna	Datum	Index	Podpis	Název	Očko		
	Formát:	Měřítko		Číslo výkresu			
	A4	5:1					
Normalizace							
Navrhl	Bc. Michal Hrubý						
Schválil							
Datum	17.5.2011						




				Přesnost	Materiál ABS plast 4mm	T.O.
				Tolerování	Polotovar	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis			
	Formát:	Měřítko	Název	Čelo		
	A4	1:1				
Normalizace			Číslo výkresu			
Navrhl Bc. Michal Hrubý						
Schválil						
Datum 17.5.2011						




				Přesnost	Materiál	T.O.
				Tolerování	Polotovar	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis			
	Formát:	Měřítko	Název	Sestava - komplet		
	A4	1:2				
Normalizace				Číslo výkresu		
Navrhl	Bc. Michal Hrubý					
Schválil						
Datum	17.5.2011			List 1 / 3		



				Přesnost	Materiál	T.O.
				Tolerování	Polotovar	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis	Sestava - rozloženo		
	Formát: A4	Měřítko 1:4	Název			
Normalizace			Číslo výkresu			
Navrhl Bc. Michal Hrubý						
Schválil						
Datum 17.5.2011						

	POPIS	Množství
1	Box spodni dil	1
2	Box horni dil	1
3	Bocni strana boxu	2
4	Rameno leve	2
5	Rameno prave	2
6	Spojka ramen	2
7	Bok kolibky pravy	1
8	Kolebka uchyceni	2
9	Kolebka	1
10	Kolibka bok levy	1
11	Voditko leve	1
12	Voditko prave	1
13	Hridel	1
14	Prichytka	1
15	Ocko	1
16	Upevneni ozubeneho kola	1
17	Pricka pod kolebku	1
18	Ozubene kolo	1
19	Box celo	2

				Přesnost	Materiál	T.O.
				Tolerování	Polotovar	
				Promítání	 Hrubá hmotnost	kg
				Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií		
Změna	Datum	Index	Podpis			
	Formát:	Měřítko		Sestava - kusovník		
	A4					
Normalizace				Číslo výkresu		
Navrhl	Bc. Michal Hrubý					
Schválil						
Datum	17.5.2011			List 3 / 3		