



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## ŘÍDICÍ JEDNOTKA OSTŘENÍ PRO OPTICKÝ MIKROSKOP

THE FOCUS CONTROL UNIT FOR THE OPTICAL MICROSCOPE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Flek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Adámek, Ph.D.

BRNO 2016



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**  
Ústav mikroelektroniky

**Student:** Petr Flek

**ID:** 164266

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## Řídicí jednotka ostření pro optický mikroskop

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Seznamte se s problematikou pozorování pomocí optického mikroskopu JENAVERT (Carl Zeiss) a s vývojem desky řady Arduino. Seznamte se s vývojovým prostředím pro tuto platformu.

Navrhněte jednotku řízenou modulem řady Arduino pro ovládání ostření optického mikroskopu JENAVERT (Carl Zeiss). Navrženou jednotku realizujte a otestujte. Zhodnoťte váš návrh a jeho možnosti.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 8.2.2013

**Termín odevzdání:** 2.6.2016

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Adámek, Ph.D.

**Konzultant bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D., předseda oborové rady**

**UPOZORNĚNÍ:**

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

## Abstrakt:

Cílem bakalářské práce bylo zaměřit se na problematiku vytváření fotografií s velkou hloubkou ostrosti, které jsou vytvářeny na elektronicky řízeném optickém mikroskopu s fotografickým přístrojem. Modul Arduino s mikrokontrolérem řady ATmega (Atmel Corporation), který byl vybrán pro řízení ovládacího zařízení, byl podrobněji popsán v další části práce. Práce zahrnuje návrh a realizaci řídicí jednotky, která automatizuje proces pořizování digitálních fotografií z mikroskopu. Řídicí jednotka obsahuje modul Arduino s procesorem ATmega328, který ovládá krokový motor připojený na ostření mikroskopu JENAVERT (Carl Zeiss). Zařízení komunikuje s uživatelem pomocí tlačítek a LCD displeje.

## Klíčová slova:

Arduino, Arduino NANO, krokový motor, hloubka ostrosti, mikroskop

## Abstract:

The aim of bachelor thesis was to focus on the issue of creating photos with great depth of field, which are developed on an electronically controlled optical microscope with photographic equipment. Arduino module with a series ATmega (Atmel Corporation) microcontroller, that was selected for management control device has been described in detail in the next section. Work includes the design and implementation of the control unit, which automates the process of capturing digital images from the microscope. The control unit contains a module Arduino with ATmega328 processor, which controls the stepper motor connected to focus of the JENAVERT microscope (Carl Zeiss). Device communicates with the user by buttons and LCD display.

## Keywords:

Arduino, Arduino NANO, stepper motor, depth of field, microscope

## Bibliografická citace díla:

FLEK, P. *Řídicí jednotka ostření pro optický mikroskop*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky 2016. 40 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce Ing. Martin Adámek, Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řídící jednotka pro ostřicí mikroskop jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## Poděkování:

Děkuji vedoucímu semestrální práce Ing. Martinovi Adámkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>6</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2 VIZUALIZACE VELMI MALÝCH OBJEKTŮ</b> .....	<b>10</b>
2.1 HLOUBKA OSTROSTI .....	10
2.2 SKLÁDANÁ FOTOGRAFIE MALÝCH OBJEKTŮ .....	10
2.3 SKLÁDÁNÍ FOTOGRAFIÍ POMOCÍ PROGRAMU COMBINEZM .....	10
<b>3 MIKROSKOP JENAVER</b> .....	<b>12</b>
<b>4 DIGITÁLNÍ MIKROSKOPY</b> .....	<b>13</b>
4.1 CELESTRON.....	13
4.2 VISION ENGINEERING.....	14
<b>5 ARDUINO</b> .....	<b>15</b>
5.1 ZÁKLADNÍ POPIS PLATFORMY ARDUINO .....	15
5.2 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ PRO ARDUINO .....	16
5.2.1 <i>Psaní programů</i> .....	16
5.2.2 <i>Nahrání programu</i> .....	16
5.2.3 <i>Knihovny</i> .....	16
5.2.1 <i>Monitor sériové linky</i> .....	17
5.2.2 <i>Podporované jazyky</i> .....	17
5.2.3 <i>Desky</i> .....	17
5.2.4 <i>Wiring</i> .....	17
5.2.5 <i>Processing</i> .....	17
5.3 HLAVNÍ VÝHODY ARDUINA .....	17
<b>6 KROKOVÝ MOTOR</b> .....	<b>18</b>
6.1 ZÁKLADNÍ POPIS KROKOVÉHO MOTORU .....	18
6.2 ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU .....	19
6.3 MIKROKROKOVÁNÍ.....	20
6.4 PARAMETRY MOTORŮ .....	20
6.4.1 <i>Krok</i> .....	20
6.4.2 <i>Úhel kroku</i> .....	20
6.5 DRUHY KROKOVÝCH MOTORŮ.....	20
<b>7 SOUČÁSTI POUŽITÉ V NAVRŽENÉ JEDNOTCE</b> .....	<b>21</b>
7.1 ARDUINO NANO.....	21
7.2 DISPLEJ .....	22
7.2.1 <i>Integrovaný obvod HD44780</i> .....	22
7.2.2 <i>Informace o displeji ATM1602B</i> .....	22
7.3 DÁLKOVÁ SPOUŠŤ .....	23
7.4 KROKOVÝ MOTOR.....	23
7.5 VÝKONOVÝ STUPEŇ PRO ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU.....	24
<b>8 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>26</b>
8.1 BLOKOVÉ SCHÉMA JEDNOTKY.....	26
8.2 ŘÍDÍCÍ DESKA .....	26
8.3 PŘIPEVNĚNÍ KROKOVÉHO MOTORU K MIKROSKOPU JENAVER.....	27
8.4 OVLÁDACÍ DESKA S TLAČÍTKY .....	29
8.5 DESKA S DISPLEJEM .....	30
8.6 KOMPLETNÍ KONSTRUKCE ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY .....	31

8.7	NAPÁJENÍ .....	32
<b>9</b>	<b>SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>33</b>
9.1	SNÍMÁNÍ .....	33
9.1.1	<i>Manuální zaostření mikroskopu .....</i>	<i>33</i>
9.1.2	<i>Nastavení vrchní polohy .....</i>	<i>33</i>
9.1.3	<i>Nastavení dolní polohy .....</i>	<i>33</i>
9.1.4	<i>Nastavení vzdálenosti kroku .....</i>	<i>33</i>
9.1.5	<i>Dokončení akce .....</i>	<i>35</i>
9.2	MĚŘENÍ .....	35
9.2.1	<i>Nastavení nulové polohy .....</i>	<i>35</i>
9.2.2	<i>Měření .....</i>	<i>35</i>
<b>10</b>	<b>DOSAŽENÉ VÝSLEDKY .....</b>	<b>36</b>
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>38</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>39</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Sada šesti fotografií ve vzdálenosti 0 - 215 $\mu$ m .....	11
Obr. 2: Výsledná fotografie s vysokou hloubkou ostrosti .....	11
Obr. 3: Stereomikroskop JENA VERT .....	12
Obr. 4: Digitální mikroskop HDM DELUXE 2Pix .....	13
Obr. 5: Digitální mikroskop ENGINEERING Vision Z2 .....	14
Obr. 6: Řez krokovým motorem .....	18
Obr. 7: Označení cívek .....	19
Obr. 8: Řízení motoru: a) unipolární b) bipolární .....	19
Obr. 9: Unipolární dvoufázové buzení .....	20
Obr. 10: Modul Arduino NANO .....	21
Obr. 11: Displej ATM1602B .....	22
Obr. 12: Dálková spoušť fotoaparátu .....	23
Obr. 13: Krokový motor Microcon SX17-0905 .....	24
Obr. 14: Označení vývodů integrovaného obvodu TA8435H [xxxx] .....	25
Obr. 15: Blokové schéma zapojení řídicí jednotky .....	26
Obr. 16: Schéma zapojení řídicí desky .....	28
Obr. 17: DPS řídicí desky ze strany spojů .....	28
Obr. 18: Pohled na řídicí desku ze strany součástek .....	29
Obr. 19: Připevnění krokového motoru k mikroskopu .....	29
Obr. 20: DPS pro čtyři řídicí tlačítka .....	30
Obr. 21: Pohled na desku s tlačítky ze strany součástek .....	30
Obr. 22: DPS pro displej .....	30
Obr. 23: Pohled na desku s displejem ze strany součástek .....	31
Obr. 24: Pohled na zapojení zařízení v krabici .....	31
Obr. 25: Výsledné zařízení .....	32
Obr. 26: Blokové schéma softwaru řídicí jednotky .....	34
Obr. 27: Kompletní sestavení funkční jednotky .....	36
Obr. 28: Výběr třech fotografií pro složení výsledné fotografie .....	37
Obr. 29: Výsledná fotografie složená z 12 fotografií ve vzdálenosti po 40 $\mu$ m .....	37



# 1 Úvod

Princip vytváření fotografií je znám už několik desítek let. K největšímu rozmachu došlo na počátku 20. století, kdy se v obchodech začaly objevovat první fotoaparáty, které zaznamenávaly obraz na film pomocí chemického principu. Koncem 20. století byl vynalezen CCD čip, který byl implementován do fotoaparátu a ukládal obraz na elektronické prvky. Výrobek se schopností zaznamenávat aktuální moment zaujal snad každého, ale nesl s sebou i řadu nevýhod či nedostatků. Jeden z nedostatků je ostrost fotografie.

Fotografie pořízené s malou ohniskovou vzdáleností jsou vždy zaostřeny na určitou oblast v určité výškové hladině. Neostrost ostatní plochy je způsobena zkreslením obrazu mimo ohniskovou vzdálenost čočky. Výsledná fotografie daného snímaného předmětu je proto zaostřena jen na určitou část a zbytek je rozmazaný. Z tohoto důvodu je pořízeno více snímků s různou hloubkou ostrosti a ostré části jsou pomocí programového vybavení poskládány do jediné fotografie s ostrým obrazem v celé požadované hloubce. Technologie skládání více fotografií do jedné má téměř neomezenou hloubku ostrosti. Uplatnění této metody se nachází u mikrofotografií nejen v elektronice, která se v poslední době razantně miniaturizuje, ale hlavně u focení drobného hmyzu, jehož výsledky jsou použity především pro publikační účely.

Cílem bakalářské práce je návrh a sestavení zařízení, které bude pomocí optického mikroskopu JENAVERT a digitálního fotoaparátu automaticky pořizovat snímky zkoumaného objektu s danou hloubkou ostrosti pomocí automatického ostření. Princip automatického ostření spočívá v manuálním určení vzdálenosti krajních poloh pro pořizování fotografií. Řídící jednotka pak pomocí fotoaparátu, který je připevněn na okuláru mikroskopu, a pomocí krokového motoru, který je připevněn mechanickou spojkou na ostření mikroskopu, pořídí sled postupně zaostřených fotografií.

## 2 Vizualizace velmi malých objektů

### 2.1 Hloubka ostrosti

Pro vytvoření mikrografie, tedy fotografie velmi malých objektů, je velice důležitá hloubka ostrosti. Pokud jsou fotografovány malé předměty, hloubka ostrosti je velmi malá a nemusí dojít k zaostření celého objektu.

Hloubka ostrosti fotografií závisí na třech faktorech:

- na ohniskové vzdálenosti (čím větší je ohnisková vzdálenost, tím menší je hloubka ostrosti).
- na vzdálenosti objektu (čím menší je vzdálenost objektu, tím menší je hloubka ostrosti).
- na clonovém čísle (čím větší je clonové číslo, tím větší je hloubka ostrosti).

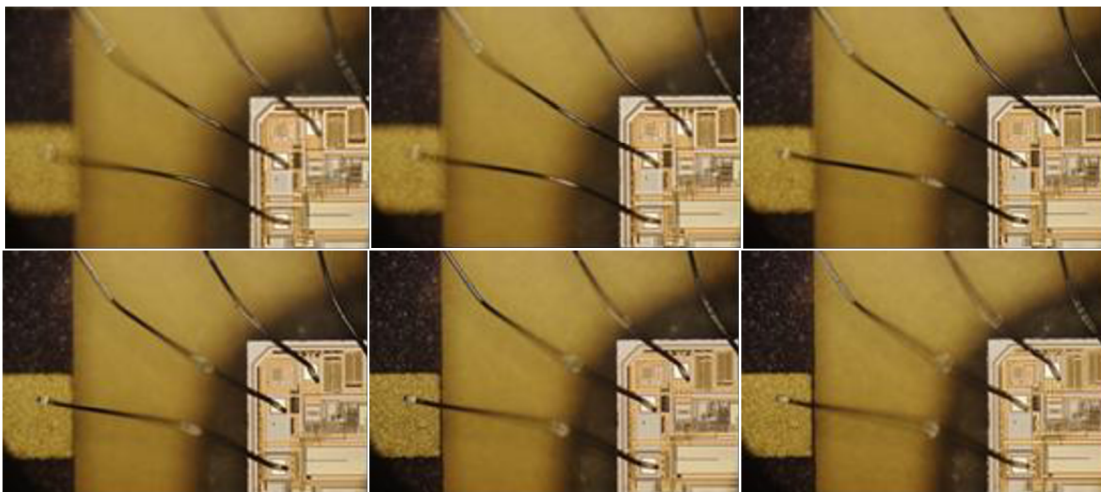
### 2.2 Skládání fotografií malých objektů

Jeden způsob, jak zvětšit hloubku ostrosti je pomocí skládané fotografie. Princip je takový, že se zaostří na krajní část objektu a postupně se přechází na druhý kraj za postupného pořizování fotografií v jednotlivých hladinách. Výstupním materiálem je soubor fotografií zaostřených právě na určitou hladinu. Je potřeba, aby se zaostřené části fotografií navzájem překrývaly, nebo se alespoň sebe dotýkaly. Výsledná fotografie je poskládaná z těchto vytvořených fotografií nejčastěji pomocí počítačového programu. Pokud bylo zaostřeno na všechny potřebné části objektu, nedostatečná hloubka ostrosti původních fotografií se ve výsledku neprojeví.

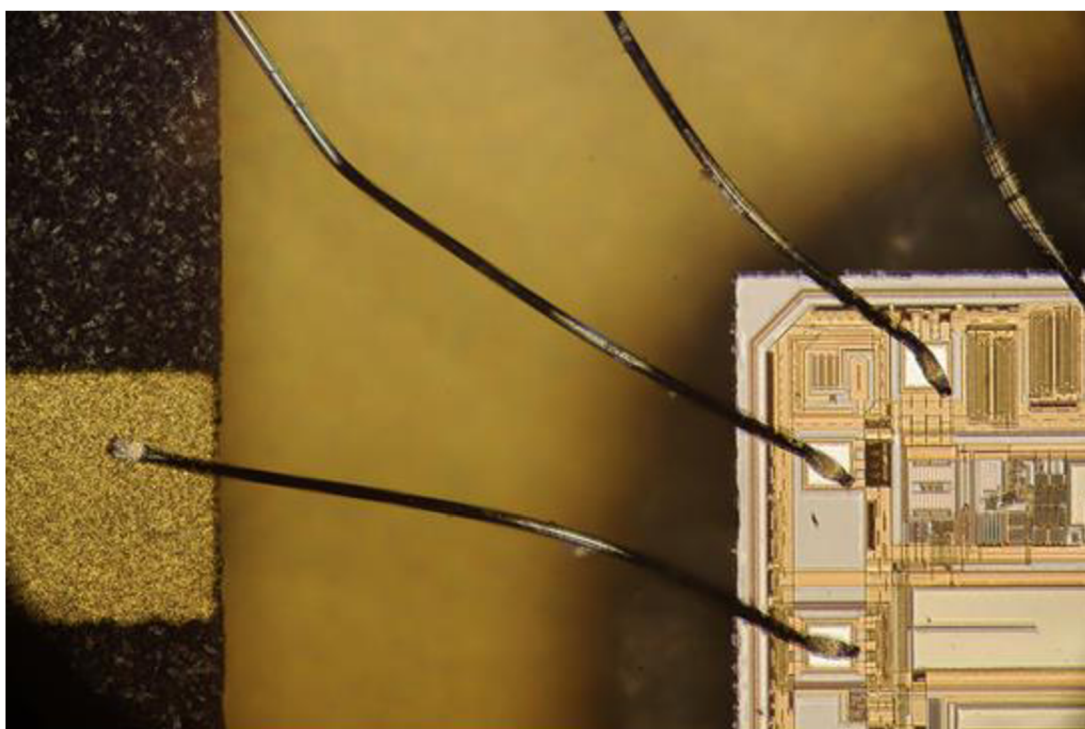
Na následujícím příkladu (obr. 1) je zobrazena sada šesti fotografií čipu. Fotografie byly pořízeny tím způsobem, že bylo zaostřeno na horní část čipu a postupně se přecházelo na spodní okraj čipu. Je vidět, jak se zaostření fotografií posouvá směrem dolů. Výsledná fotografie (obr. 2) je poskládaná z těchto fotografií pomocí programu CombineZP. Program sám rozpoznal zaostřené části a ty použil k vytvoření celku. [1]

### 2.3 Skládání fotografií pomocí programu CombineZM

Jak bylo výše uvedeno, pořízený soubor fotografií se dále softwarově upravuje pomocí příslušných programů. Jedním z nich je program CombineZM. Tento program lze používat ve dvou režimech. Složitější režim umožňuje podrobné nastavení pro složení fotografie, jako je například úprava kontrastu, nebo ostrost. Dále je v programu jednodušší režim pro příležitostné uživatele. Pokud jsou fotografie před posláním do programu vytříděné, umí program fotografii poskládat sám. Výhodou programu je také jeho bezplatná licence. Dalšími podobnými programy jsou například Helicon Focus a Zerene Stacker. Původně navržené programy pro laboratorní účely, které skládaly fotografie pořízené laboratorními mikroskopy.[2]



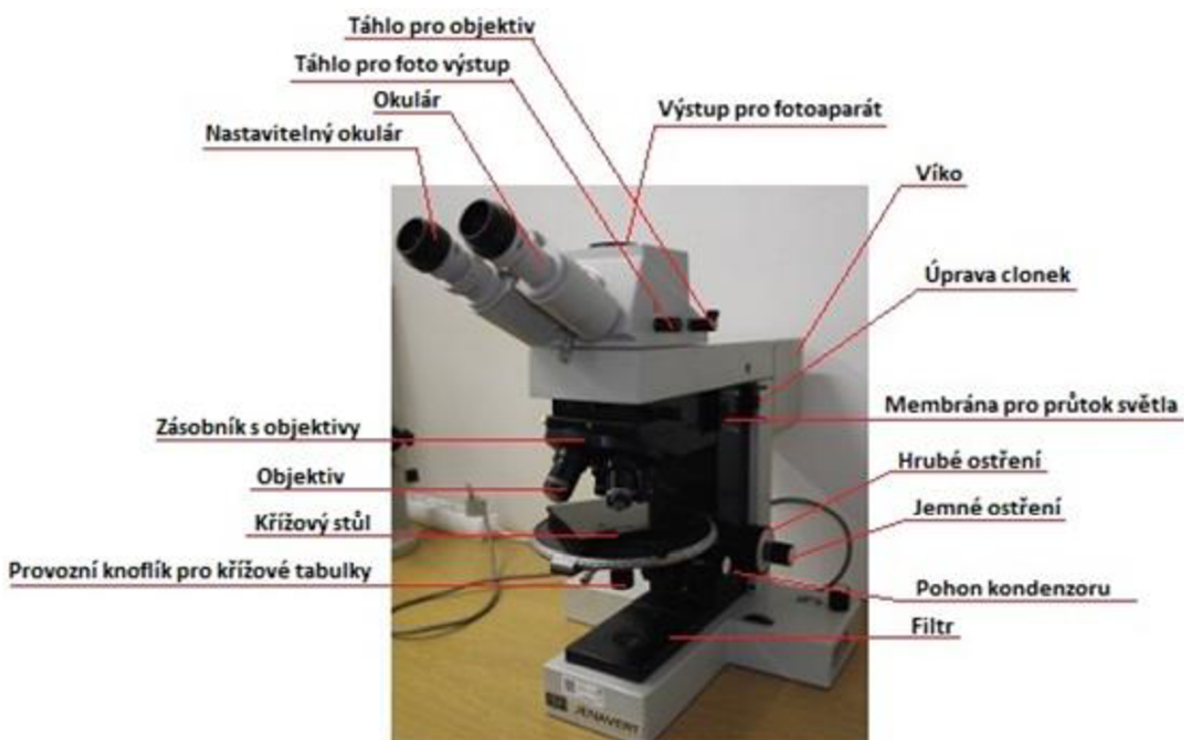
Obr. 1: Sada šesti fotografií ve vzdálenosti 0 - 215 $\mu$ m



Obr. 2: Výsledná fotografie s vysokou hloubkou ostrosti

### 3 Mikroskop JENAVER

Zařízení bylo navrženo pro stereomikroskop JENAVERT (obr. 3), který je výrobkem firmy VEB Carl Zeiss Jena. Využívá osvětlení odrazem světla. Jako zdroj světla byla použita 12 V žárovka s příkonem 100W napájená externím zdrojem, který náleží mikroskopu. Zvětšení mikroskopu může být 50x, 100x, 200x a 1000x podle toho, jaký objektiv je z pětimístného zásobníku zrovna vybraný. [3] Hlavní výhodou mikroskopu je možnost umístění fotoaparátu, který přímo snímá pozorovaný objekt. To je nezbytná podmínka pro realizaci zařízení.



Obr. 3: Stereomikroskop JENAVERT

Mikroskop je určen pro všeobecné použití. V tomto případě je používán pro hodnocení topografie součástek a mikrostruktury materiálu v elektronice.

## 4 Digitální mikroskopy

Digitální mikroskopy jsou vhodnou alternativou k této práci. Umožňují pohodlný přenos obrazu sledovaných objektů do PC, notebooku nebo monitoru. Některé mikroskopy jsou vybaveny i vlastním displejem a umožňují sledovaný objekt zobrazovat na něm. Nabídka digitálních mikroskopů zahrnuje velkou škálu mikroskopů od základních příručních s cenou v řádech tisíce korun až po velké stolní mikroskopy s cenou až stovky tisíc korun. U levnějších variant ale nelze počítat s výjimečnou kvalitou pořízených snímků. Jako příklad je zde uveden jeden přístroj od firmy Celestron (obr. 4). U propracovanějších mikroskopů by se dalo dosáhnout kvalitních výsledků. Jejich pořizovací náklady jsou ale několikanásobně vyšší než náklady spojené s výrobou zařízení popsaného dále v práci. Jako příklad takového mikroskopu je uveden přístroj od firmy Vision ENGINEERING (obr. 5).

### 4.1 Celestron

Mikroskop Celestron HDM DELUXE 2Mpix je malý, příruční, přenosný mikroskop. K jeho provozu stačí napájení z USB konektoru. Kromě pořizování snímků je zde i možnost záznamu videa.

Popis:

- Označení: HDM DELUXE 2MPix
- Orientační cena: 1830 Kč
- Optické zvětšení 10x až 40x (až 150x digitální)
- Obrazový snímač 2 Mpx – snímání jednotlivých snímků či videa
- LED přisvětlení
- Software pro ukládání a organizaci snímků
- Napájení z USB portu 2.0
- Rozměry 108 x 32mm [4]



Obr. 4: Digitální mikroskop HDM DELUXE 2Pix [4]

## 4.2 Vision ENGINEERING

FULL DH digitální mikroskop, který je určen pro kvalitní a rychlou inspekci různých typů materiálů a výrobků, zvláště pro měření materiálových nesrovnalostí a různých vad na materiálu nebo výrobku. Nabízí manuální a automatické ostření. Výhodou je i možnost přímého ukládání snímků na USB FLASH disk. Mikroskop má robustní stojan s fixací, díky čemuž bude mít vždy zafixovanou požadovanou pozici.

Popis:

- Označení: Vision Z2
- Orientační cena: \$5,665.00 v přepočtu 138 573 Kč
- FULL HD kamera s rozlišením 1920x1080px
- Optické zvětšení 1,8x – 50x (digitálně až 122x)
- Ukládání snímků přes USB
- Pracovní vzdálenost 250 mm
- Velké zorné pole – až 295 mm
- Automatické nebo manuální ostření
- Nastavitelné LED osvětlení
- Přenos obrazu na LCD přes HDMI
- Robustní stojan s fixací
- Volitelně – externí ovladač [5]



Obr. 5: Digitální mikroskop ENGINEERING Vision Z2 [5]

## 5 Arduino

### 5.1 Základní popis platformy Arduino

Arduino je open-source platforma založená na mikrokontrolérech od firmy Atmel a nově je na jednom modulu použit čip od firmy Intel. Lze zakoupit verze, které jsou už zkompletované, nebo si každý může svůj vybraný modul postavit sám. Schéma a návrh plošného spoje je pro všechny volně dostupné. Desky Arduino obsahují množství podpůrných obvodů. Oficiální Arduino desky vyrábí a prodává Italská firma Smart Projects. Používají 8bitové až 32bitové čipy od firmy Atmel a od firmy Intel používají čip Curie. Každá deska má většinu I/O pinů přístupných přes patice, do kterých se připojují další obvody. Na deskách bývá několik diod, resetovací tlačítko, konektory pro ICSP programování, napájecí konektor, oscilátor a obvod zprostředkovávající komunikaci po USB. Mikrokontrolér má již bootloader, což je kód, který se stará o jeho základní nastavení. To usnadňuje uživateli práci, nemusí se starat o detaily nastavení. Přehled právě nabízených modulů je popsán v tabulce 1. [6]

Tab. 1: Seznam nabízených Arduino modulů

Označení modulu	Mikrokontrolér	Digitalní I/O piny	PWM kanály	Analogové vstupy	Rozměry [mm]
Základní moduly					
UNO	ATmega328P	14	6	6	68.6 x 53.3
101	Intel Curie	14	4	6	68.6 x 53.4
Pro	ATmega168 ATmega328	14	6	6	52.07 x 53.34
MICRO	ATmega32U4	20	7	12	48.0 x 18.0
Pro Mini	ATmega328	14	6	6	17.78 x 33.02
Nano	ATmega168 ATmega328	14	6	8	45.0 x 18.0
Rozšířené moduly					
MEGA	ATmega2560	54	15	16	101.52 x 53.3
Zero	ATSAMD21G18	20	7	6	68.58 x 53.34
Due	AT91SAM3X8E	54	12	12	101.52 x 53.3
Některé zastaralé modely					
Leonardo	ATmega32u4	14	6	12	68.6 x 53.3
Fio	ATmega328P	14	6	8	40.6 x 27.9
MEGA ADK	ATmega2560	54	55	16	101.52 x 53.3
Mini	ATmega328	14	6	8	30.0 x 18.0

## 5.2 Vývojové prostředí pro Arduino

Vývojové prostředí pro Arduino se sestává z textového editoru pro psaní kódu, prostoru pro zprávy, textové konzole, lišty s příkazy pro běžné funkce a řady nabídek. Připojuje se přímo na hardware Arduina, nahrává programy a komunikuje s nimi. [7]

Je k dispozici ve verzích pro Windows, Mac OS X a Linux. Grafické vývojové prostředí vychází z prostředí Wiring a Processing a svůj program píše uživatel přímo v jazyce podobnému C/C++. [8]

### 5.2.1 Psaní programů

Programy psané ve vývojovém prostředí pro Arduino se říká „sketches“. Jsou psány v textovém editoru, který obsahuje funkce pro vyjímání, vkládání, hledání nebo nahrazování textu. Zprávy nabízí zpětnou vazbu při uložení programu a upozorňují na chyby. Na konzoli se ukazují textové výstupy z prostředí Arduina včetně kompletních chybových zpráv a jiných informací.

### 5.2.2 Nahrání programu

Před nahráním programu je zapotřebí ve vývojovém prostředí zvolit správný sériový port. Každý operační systém používá jiné označení pro sériový port. Ve Windows se pro označení používá označení COMX, kde písmeno „X“ je nahrazeno příslušným číslem portu. Pomocí *Správce zařízení* v počítači lze zjistit, na který COM je Arduino připojeno. Kromě portu je také potřeba zadat označení desky a popřípadě i vybrat druh procesoru na modulu.

Po příslušném nastavení je možné začít s nahráváním programu. Po zadání příkazu pro nahrávání se novější moduly automaticky restartují a začnou s nahráváním. Starší moduly je potřeba před nahráváním restartovat pomocí tlačítka na modulu. Na většině desek začnou blikat LED diody RX a TX, které značí přenos na sériové lince. Prostředí Arduina ukáže zprávu, jakmile je nahrávání dokončeno, nebo ohlásí chybu.

Během nahrávání programu je používán bootloader. Bootloader je program, který byl nahraný do ovladače na modulu Arduino. Umožňuje nahrávání programu, aniž by k tomu byl zapotřebí další hardware.

### 5.2.3 Knihovny

Knihovny nabízí kvalitnější funkce pro programy, například aby lépe fungovaly s hardwarem nebo manipulovaly daty. Pomocí příkazu *#include* ve vrchní části programu je do kódu zahrnuta příslušná knihovna. Protože se knihovny nahrávají na desku spolu s programem, zabírají více místa. Ve chvíli, kdy program již knihovnu nepotřebuje, vymaže z něj všechna *#include*. Existuje seznam knihoven, ze kterého je možné vybírat. Některé knihovny jsou součástí softwaru Arduina. Další lze stáhnout z celé řady zdrojů.



### **5.2.1 Monitor sériové linky**

Zobrazuje data, která se posílají z desky Arduina pomocí USB nebo sériového portu.

### **5.2.2 Podporované jazyky**

Vývojové prostředí Arduina bylo přeloženo do více než třiceti jazyků. Základní nastavení je takové, aby se program nainstaloval v jazyce, v kterém je operační systém.

### **5.2.3 Desky**

Volba desky se provádí ze dvou hlavních důvodů. Jeden důvod je, že se nastavují parametry, jako je rychlost CPU a monitorovací rychlost, které se uplatňují při kompilaci programu. Druhý důvod je, že se určuje nastavení souborů a pojistek v příkazu *vypal zavaděč*. [7]

### **5.2.4 Wiring**

Wiring jako takový není sám osobě programovací jazyk, ale jedná se pouze o knihovnu obsaženou v jazyce C++. Uživateli usnadňuje práci se psaním, ale ve skutečnosti se vlastně píše program v jazyku C++.

### **5.2.5 Processing**

Processing je jednoduché programovací prostředí, které slouží k vytvoření vizualizačních programů. Je napsaný v jazyku Java a funguje na platformě Linux, Mac i Windows. Komunikace s modulem Arduino probíhá po sériové lince. Do modulu stačí nahrát daný firmware a v processingu přidat jednu knihovnu, která slouží pro práci s Arduinem. Kromě běžných funkcí, které obsahuje jazyk C/C++ jsou zde i funkce pro práci se sériovým portem, myši, klávesnici, funkce pro ukládání nebo načítání dat.

## **5.3 Hlavní výhody Arduina**

Mezi hlavní výhody Arduina patří:

- jednoduché programování,
- jednoduché zapojení,
- nízká cena oproti jiným kitům,
- spousta návodů,
- uživatelská komunita,
- platformní nezávislost (Win/Linux/MacOS/...). [8]

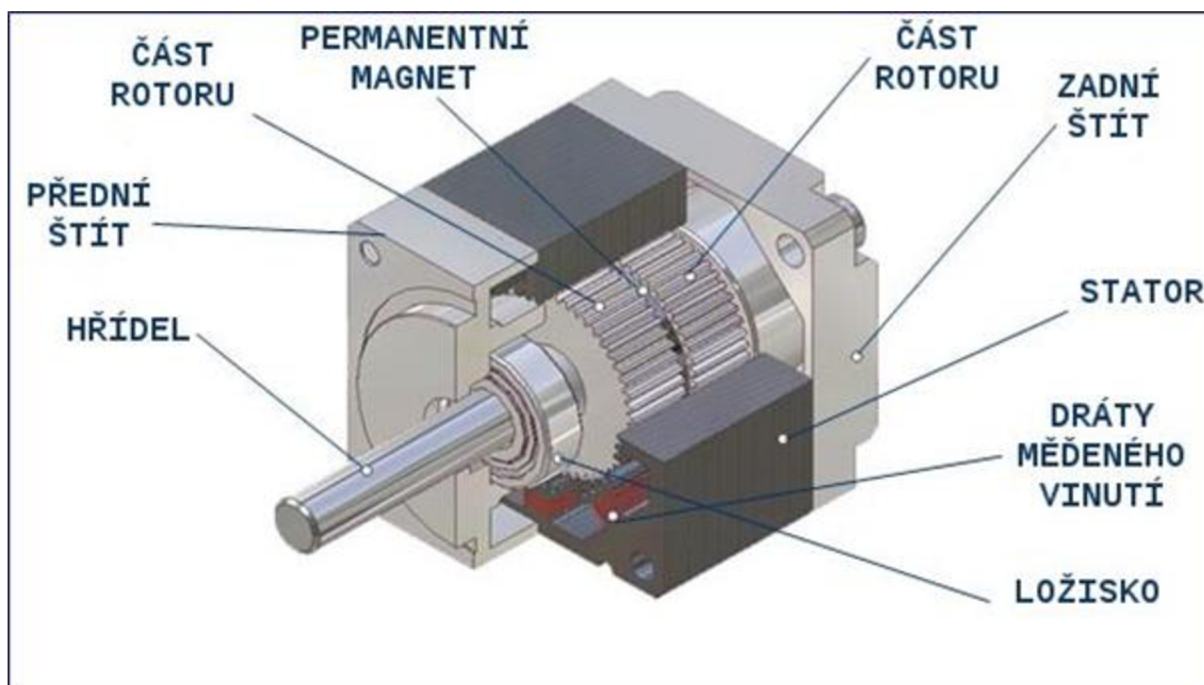
## 6 Krokový motor

K realizaci pohybu stolku ostřícím kolečkem mikroskopu byl vybrán krokový motor. Krokový motor je v tomto případě ideální nástroj, protože otáčení lze provádět s velkou přesností a lze jej ovládat pomocí elektroniky. Tím lze celý proces automatizovat.

### 6.1 Základní popis krokového motoru

Krokový motor je synchronní točivý stroj většinou napájený impulsy stejnosměrného proudu. Magnetické pole je generováno postupným napájením jednotlivých pólových dvojic. Pohyb rotoru krokového motoru je při nízkých rychlostech nespojitý, rotor se pohybuje mezi stabilními polohami vždy v určitém úhlu – mluvíme o pohybu v krocích. Počet kroků (stabilních klidových poloh) je dán počtem pólových dvojic, rovněž může být ovlivněn způsobem ovládání. K mechanickému kontaktu a tudíž otěru nedochází u krokových motorů jinde než v ložiscích. Vyznačují se proto velkou mechanickou odolností, dlouhou dobou života a provozem téměř bez údržby. Nevýhodou krokových motorů je tzv. ztráta kroku, která nastává při překročení mezního zatížení a sklon k mechanickému zakmitávání, které může vést k nestabilitě při pohybu. Obě tyto negativní vlastnosti lze předem vyloučit volbou vhodného motoru a ovladače s přihlédnutím k momentovým charakteristikám pohonu. [9]

Na obrázku (obr. 6) je vidět stator i rotor motoru v řezu. Rotor je hřídel, usazená v ložiskách, tvořená dvojicí zubatých válců, mezi nimiž je permanentní magnet. Stator se skládá z trafoplechů se zuby a místem na vinutí. Vinutí je okolo zubatých polů statoru.



Obr. 6: Řez krokovým motorem [10]

## 6.2 Řízení krokového motoru

K řízení krokového motoru se využívá speciální elektronický obvod generující impulsy v určitém sledu a délce. Tyto impulsy následně přes výkonovou část budí v přesném pořadí jednotlivá vinutí rotoru. Frekvence, pořadí a délka impulsů z řídicího obvodu řídí počet, smysl otáček rotoru a rovněž točivý moment stroje. Výkonovou část buzení je nejjednodušší realizovat nějakým integrovaným obvodem. Na trhu je v dnešní době celá řada takovýchto obvodů. Nejjednodušší slouží jen jako výkonové spínače, složitější už zvládají regulovat proud cívkami, nebo jsou to složité kontroléry, které zvládají více funkcí řízení motorku.

Řízení lze rozdělit na unipolární a bipolární. Pro jednoduchost je uvažován zjednodušený motor se čtyřmi kroky na otáčku. Nejjednodušší zapojení je unipolární jednofázové [obr. 8 a)]. Cívky jsou spojeny na jednom konci k sobě a k jejich ovládání je stačí spínat například pomocí tranzistorů. Motor má nejmenší odběr proudu a také poskytuje nejmenší krouticí moment. Výhodou je jednoduchost zapojení. U bipolárního zapojení je buzena vždy dvojice protilehlých cívek [obr. 8 b)]. To komplikuje řízení, ke kterému už nestačí pouze tranzistory ke spínání, ale lze použít například H můstky, díky kterým jde řídit směr procházejícího proudu. Při bipolárním zapojení jsou cívky zapojeny buď sériově, nebo paralelně. Dále se buzení motorků dělí na dvoufázové a jednofázové. U dvoufázového buzení se budí souhlasně vždy dvě sousedící cívky na stejnou polaritu (obr. 9). Tím je dosaženo většího krouticího momentu, polovičního kroku, ale samozřejmě větší spotřeby. [11]







Obr. 7: Označení cívek [11]

Cívka 1	-	0	0	0	Cívka 1	-	0	+	0
Cívka 2	0	-	0	0	Cívka 2	0	-	0	+
Cívka 3	0	0	-	0	Cívka 3	+	0	-	0
Cívka 4	0	0	0	-	Cívka 4	0	+	0	-

a)

b)

Obr. 8: Řízení motoru: a) unipolární b) bipolární [11]

				
Cívka 1	-	0	0	-
Cívka 2	-	-	0	0
Cívka 3	0	-	-	0
Cívka 4	0	0	-	-

Obr. 9: Unipolární dvoufázové buzení [11]

### 6.3 Mikrokování

Při obyčejné práci krokového motorku protéká vždy cívkami proud o stejné velikosti. Je-li požadováno opravdu jemné dostavování motoru, je zapotřebí řídit proud cívkami. Nejefektivnější způsob pro řízení proudu cívek je pulsně šířková modulace. Touto technikou lze dosáhnout teoreticky jakékoliv polohy natočení rotoru.

### 6.4 Parametry motorů

#### 6.4.1 Krok

Krok je reakce rotoru krokového motoru na řídicí impuls. Rotor se vždy při jednom takovém kroku pootočí z výchozí polohy do nejbližší magnetické klidové polohy.

#### 6.4.2 Úhel kroku

Úhel kroku  $\alpha$  je jmenovitý úhel, který odpovídá změně polohy rotoru po příchodu jednoho impulsu. Na velikost úhlu kroku má vliv konstrukce motoru tj. počet fází statoru, počet pólů rotoru a způsob řízení krokového motoru.

### 6.5 Druhy krokových motorů

Podle konstrukčního provedení se krokové motory rozdělují do čtyř skupin:

- **Pasivní krokové motory** – rotor tohoto typu je tvořen vyniklými póly z magneticky měkkého materiálu.
- **Aktivní krokové motory** – rotor tohoto typu je tvořen permanentním magnetem, po obvodu rotoru se střídajícím se severním a jižním pólem permanentního magnetu.
- **Hybridní krokové motory** – kombinace obou předcházejících typů motorů. Rotor je tvořen axiálně uloženým permanentním magnetem, který má na koncích umístěny feromagnetické pólové nástavce.
- **Lineární krokové motory** – stator motoru je rozvinut do přímky. Tyto motory vykonávají nespojitý posuvný pohyb. [9]

## 7 Součásti použité v navržené jednotce

V téhle kapitole je podrobně popsán hardware k realizaci zařízení.

### 7.1 *Arduino NANO*

Arduino NANO (obr. 10) je malá vývojová deska s mikrokontrolérem AVR ATmega328. Díky pinům, které jsou vyvedeny na spodní straně desky, je deska přizpůsobena pro zasunutí do kontaktního pole, nebo do přizpůsobené patice. Kvůli minimalizaci, chybí konektor pro externí napájení a USB je zmenšen na verzi mini USB. K napájení tedy slouží dvojice pinů, na kterou lze připojit externí napájení 7-12V. Rovněž je na desce připojena jedna LED dioda, kterou lze ovládat, ostatní periferie je nutné připojit zvlášť.

Dále lze nalézt v popisu výrobce následující údaje:

Mikrokontrolér

- Čip: ATmega328
- Frekvence: 16 MHz
- Paměť: 32 kB, 2 kB použity bootloaderem
- SRAM: 2 Kb
- EEPROM: 1 kB

Vstupy a výstupy

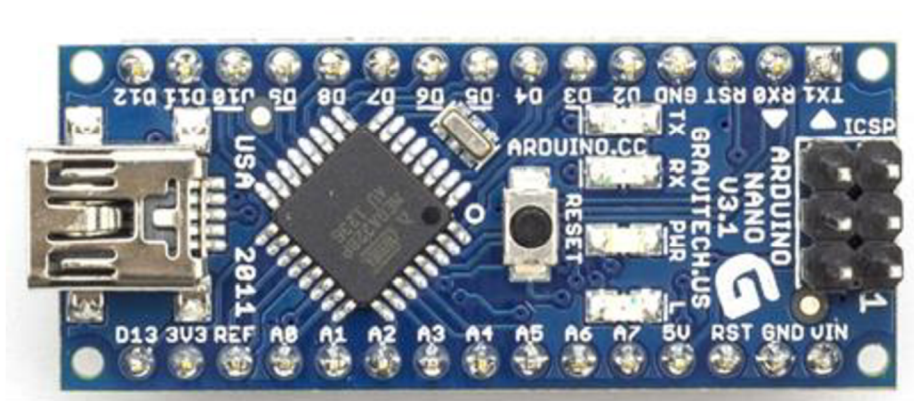
- 14 x digitální vstup/výstup (Sériový port, externí přerušení, PWM)
- x analogový vstup

Rozhraní

- mini USB 2.0
- SPI konektor, I2C

Rozměry

- 4,32 x 1,85 cm[12]

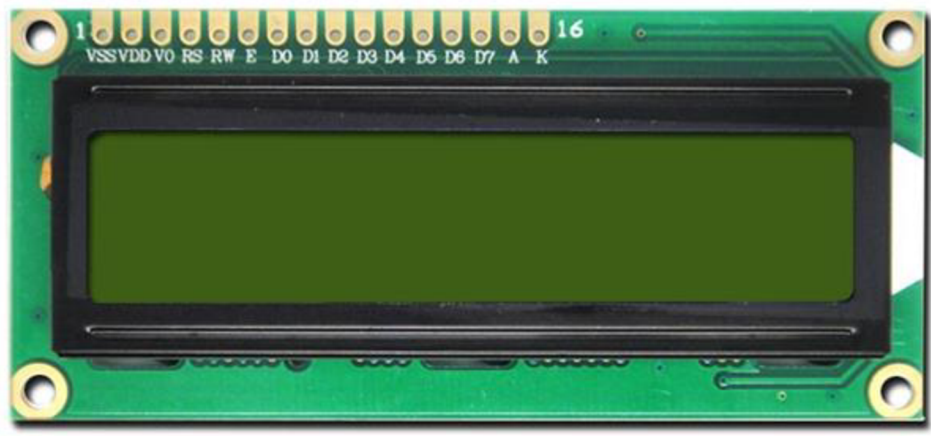


Obr. 10: Modul Arduino NANO [13]

## 7.2 Displej

Displej z tekutých krystalů je tenké a ploché zobrazovací zařízení skládající se z omezeného počtu barevných nebo monochromatických pixelů seřazených před zdrojem světla nebo reflektorem. Vyžaduje poměrně malé množství elektrické energie, proto je vhodné pro použití v přístrojích běžících na baterie. LCD monitory nemají žádný negativní vliv na zrak člověka. Každý pixel LCD se skládá z molekul tekutých krystalů.[14]

Na toto zařízení byl vybrán displej s označením ATM1602B (obr.11). Tento displej má integrovaný řadič HD44780.



Obr. 11: Displej ATM1602B

### 7.2.1 Integrovaný obvod HD44780

Integrovaný obvod s označením HD44780, který je od firmy Hitachi, se stal standardním rozhraním pro ovládání malých řádkových alfanumerických displejů. Obvod komunikuje po sběrnici o šíři 4 nebo 8 bitů a 3 řídicích bitů. Spolu se zemnicím vodičem je tedy obvykle spojen s řídicím mikrokontrolérem 8 nebo 12 vodiči. Mikrokontrolér posílá po sběrnici do obvodu údaje o poloze kurzoru a ASCII kódy zobrazovaných znaků. Ty jsou pak automaticky zobrazeny na displeji. Obvod umožňuje také definici několika vlastních znaků. [15]

### 7.2.2 Informace o displeji ATM1602B

Základní

- podsvícení: ANO
- barva LCD displej: šedá
- 5 x 8 bodů na znak
- + 5 V napájení
- napájecí proud ( $I_{dd}$ ): 1,5 mA

Rozměry:

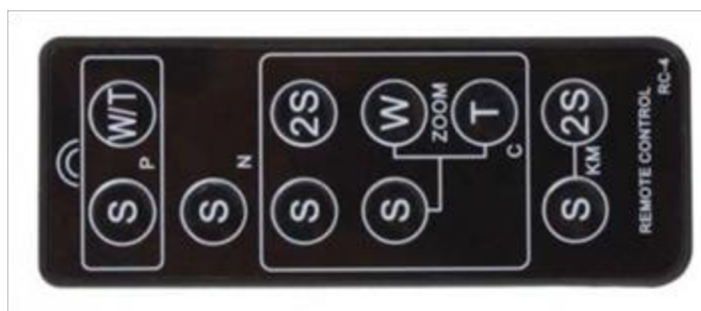
- modul: 84,0 mm x 440 mm
- velikost obrazovky: 64,0 mm x 16,4 mm

Piny:

- GND: 1 (Vpp)
- + 5 V: 2 (VDD)
- úprava kontrastu: 3 (V0)
- H / L signál: 4 (RS)
- H / L Read / Write signál: 5 (R / W)
- H / L povolovací signál: 6 (E)
- H / L datová linka: 7 ~ 14 (DB0 ~ DB7)
- + 4.2V pro BKL: 15 (A)
- napájení pro BKL (0 V): 16 (K) [16]

### 7.3 Dálková spoušť

Pro spínání fotoaparátu byla použita univerzální dálková spoušť s označením RC-4 (obr. 12). Dálková spoušť RC-4 byla vybrána z důvodu své dostupnosti, ceně a kompatibilitě s používaným fotoaparátem. Dálková spoušť komunikuje s fotoaparátem v infračerveném spektru pomocí vysílací LED diody. Bylo zapotřebí umístit spoušť na vhodné místo tak, aby vysílací dioda směřovala na přijímač fotoaparátu. Dálková spoušť byla upravena tak, aby ji bylo možné spínat externím zařízením a ne pouze příslušným tlačítkem na spoušti. Na konkrétní tlačítko byla napájena dvojice drátových vodičů, při jejichž spojení dojde k vyslání signálu. Požadavek na sepnutí je řízený pomocí modulu Arduino NANO a o samotné sepnutí se stará NPN tranzistor s označením BC 547. Schéma samotného zapojení je na obr. 16. O napájení dálkové spouště se stará 3 V baterie s označením CR2. V původním zamýšleném návrhu se o napájení dálkové spouště měl starat 3,3 V napěťový stabilizátor na modulu Arduino NANO. Při testování se ale dostávaly do dálkové spouště nechtěné rušivé signály, které nekontrolovatelně ovlivňovali spouštění signálu. Od napájení spouště externím zdrojem bylo z tohoto důvodu ustoupeno.



Obr. 12: Dálková spoušť fotoaparátu

### 7.4 Krokový motor

Na konstrukci pohonné jednotky byl vybrán krokový motor od české firmy Microcon s označením SX17-0905 (obr. 13). Krokové motory řady SX se vyznačují vysokými kroutícími a statickými momenty při zachování malých rozměrů. Mechanické upevnění motoru je zajištěno pomocí příruby NEMA 17. Standartní délka kroku je  $1,8^\circ$  s tolerancí  $\pm 0,1^\circ$  s možností dalšího elektronického zmenšení. Největší dostupný statický moment u tohoto

motoru je 0,6 Nm a to při proudech 0,88 A v sériovém bipolárním zapojení a v paralelním bipolárním zapojení je to 1,77 A. Odpor v sériovém zapojení je 8  $\Omega$  a v paralelním zapojení 2  $\Omega$ . Moment setrvačnosti motoru je 68 gcm<sup>2</sup> a hmotnost je 380 g. Vinutí cívek tohoto krokového motoru lze zapojit jako bipolární paralelní i sériové, bipolární paralelní nebo unipolární. [17]



Obr. 13: Krokový motor Microcon SX17-0905

Při použití budiče TA8435 je vinutí motoru zapojeno jako paralelní. Zapojení vodičů je popsáno v následující tabulce (tab. 2). Motor bude propojen s budičem pomocí čtyř párů vodičů.

Tab. 2: Zapojení vodičů pro motor Microcon sx17-0905 [18]

zapojení vinutí bipolární	sériové	paralelní
spojeno (nepřipojovat k výkonovému zesilovači)	červený s hnědým	
spojeno (nepřipojovat k výkonovému zesilovači)	žlutý se zeleným	
A (1. fáze)	oranžový	oranžový + hnědý
/A (1. fáze)	černý	červený + černý
B (2. fáze)	modrý	modrý + zelený
/B (2. fáze)	bílý	žlutý + bílý

### 7.5 Výkonový stupeň pro řízení krokového motorku

Pro řízení krokového motorku byl vybrán obvod s označením TA8435H (obr.14). Tento obvod pochází od firmy TOHSHIBA a je speciálně určen pro bipolární řízení krokových motorků. Pro svoji činnost vyžaduje napájení 5 V a do vinutí je schopen dodat až 40 V. Obvod je řízen pomocí hodinového signálu a nastavení směru otáčení. Disponuje také tepelnou ochranou, která obvod automaticky odpojí při překročení vlastní teploty 85 °C. Je tedy důležité obvod chladit, aby nedocházelo k jeho výpadkům. Pomocí rezistorů R1 a R2, které můžou být v rozsahu 0,68  $\Omega$  – 1,2  $\Omega$  a jsou připojeny na piny NF<sub>a</sub> a NF<sub>b</sub>, lze korigovat proud cívkami a to v rozsahu 65 – 100 %. [19]



Umožňuje řízení v plném, 1/2, 1/4 nebo 1/8 kroku, což u 200 krokového motorku představuje 200, 400, 800, 1600 kroků. Toto mikrokrokování se provádí nastavením pinů M1 a M2. Jejich různou kombinací lze nastavit dělení kroku. Nastavení je ukázáno v tabulce 3.

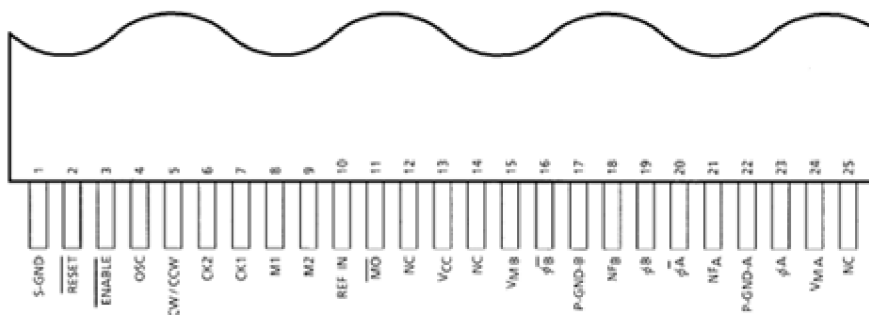
Tab. 3: Dělení kroku motoru pomocí pinů M1 a M2 [19]

Logická úroveň		Krok
M1	M2	
0	0	Plný
1	0	Poloviční
0	1	Čtvrtinový
1	1	Osminový

Otočením ostříčího kolečka o 360° u mikroskopu se podstavec pohne o 100 μm. Nastavením výkonové části na velikost kroku 1 (200 kroků na otáčku) tedy zajistí posun podstavce vždy o 0,5μm na jeden krok. Rezistory byly zvoleny 1 Ω a musí odolávat velkým tepelným ztrátám, který jsou dány procházejícím proudem. Dopocítání proudu bylo provedeno přes vzorec:

$$R = \frac{0,5}{I}$$

Proud cívkou tedy vychází 0,5 A a rezistory byly dimenzovány na 2 W.

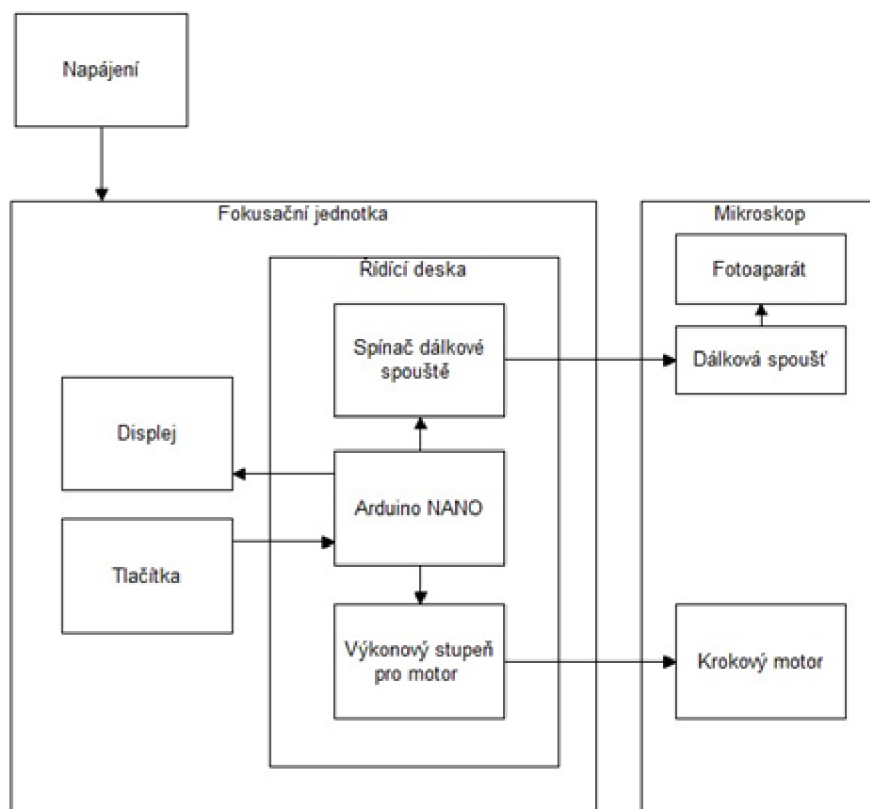


Obr. 14: Označení vývodů integrovaného obvodu TA8435H [19]

## 8 Konstrukce zařízení

### 8.1 Blokové schéma jednotky

Blokové schéma automatické jednotky, ze kterého je zřetelné propojení jednotlivých periférií (obr. 15).



Obr. 15: Blokové schéma zapojení řídicí jednotky

### 8.2 Řídicí deska

Jádrem celého zařízení je řídicí deska, která obsahuje:

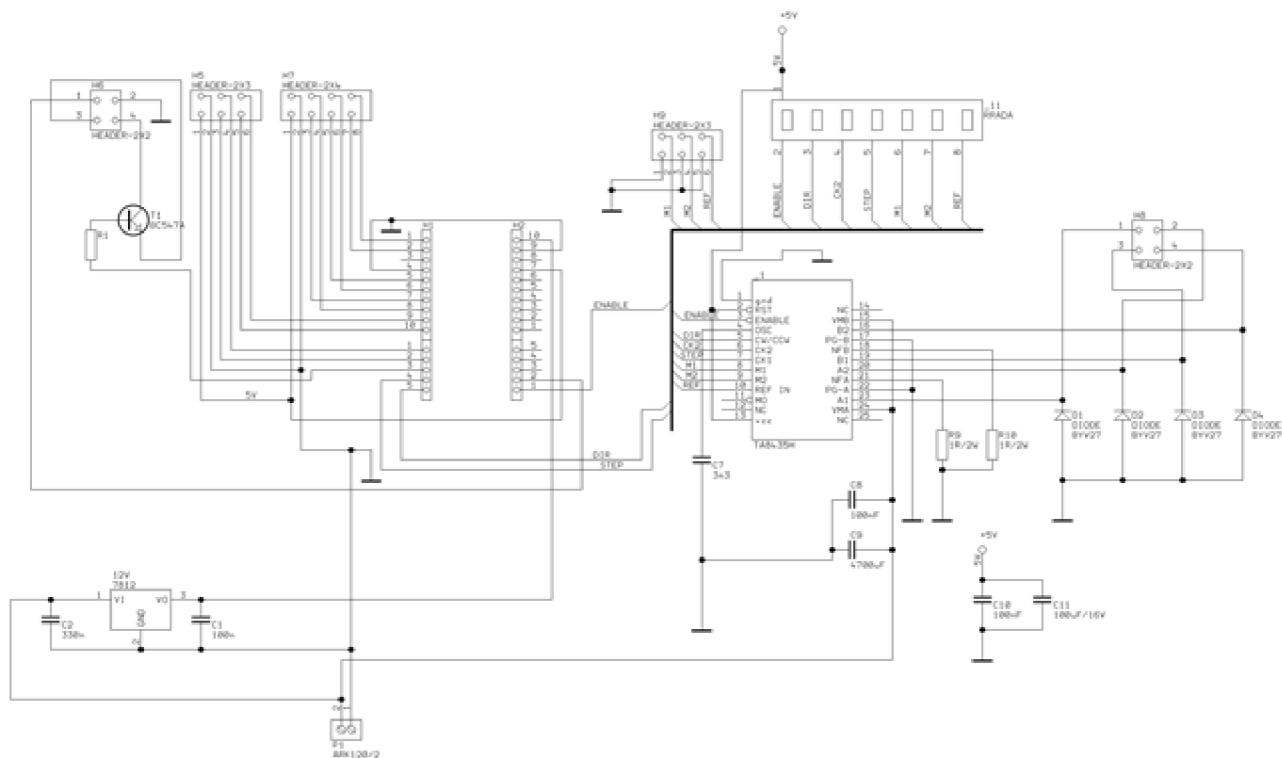
- patičky pro připojení Arduina NANO
- driver krokového motoru TA8435H
- piny pro mechanické propojky sloužící k nastavení velikosti kroku
- podpůrné součástky pro driver
- napěťový stabilizátor 12V
- spínač dálkové spouště
- konektor pro připojení klávesnice
- konektor pro připojení displeje
- konektor pro připojení dálkové spouště fotoaparátu
- konektor pro napájení
- konektor pro připojení krokového motoru

Deska plošného spoje byla navrhnutá v programu Formica a byla vyrobena autorem v domácích podmínkách.[20] Schéma zapojení (obr. 16) bylo navrženo tak, aby splňovalo všechny zadané podmínky a kladlo důraz na funkčnost a co nejnázornější vyrobiteľnosť desky. Driver TA8435H má pouzdro HZIP25, ktoré je určené spíše pro oboustrannou DPS, kdy jedna strana pinů je na vrchní straně desky a druhá na spodní. Výroba oboustranné desky je v tomto případě příliš nákladná a zbytečně složitá. Desku se podařilo navrhnout pouze na jedné straně (obr. 17) s použitím jedné drátové propojky. Stabilizátor napětí pro 12 V slouží ke snížení napájecího napětí adaptéru z 24 V na 12 V a napájí modul Arduino, který vyžaduje pro svoji funkčnost napětí od 7 V do 12 V. Driver je umístěn společně se stabilizátorem napětí na kraj desky a obě součástky jsou připevněny na jeden společný chladič, který je vyveden ven z krabičky. Desku bylo zapotřebí navrhnout tak, aby bylo možno využít všech 14 digitálních pinů Arduina. Konektor pro display je desetipinový, ale využito je jen osm pinů. Osmipinové konektory se nevyrábí. Byl použit 5V stabilizátor Arduina a do konektoru přivedeno na dva piny napájecí napětí pro display, dále dva řídicí piny a čtyři datové. Konektor pro klávesnici je šestipinový, obsahuje také dva piny pro napájení klávesnice a čtyři konektory, kdy každý je řízen jedním tlačítkem. Stabilizátor na 5V z Arduina dále slouží k napájení driveru motoru. Konektor pro připojení dálkové spouště obsahuje čtyři piny. Mělo být využito i dalšího napěťového stabilizátoru na modulu Arduino a to 3,3V, který měl sloužit k napájení dálkové spouště, ale k níže uvedeným důvodům tento stabilizátor není využit. Na další dva piny byl připojený kolektor a emitor tranzistoru, který je řízen Arduinem a bude sloužit jako spínač dálkové spouště. Dále je na desce umístěn dvoupinový napájecí konektor a čtyřpinový konektor pro připojení krokového motoru. Piny pro mechanické propojky na desce slouží k nastavení velikosti kroku tak, jak je uvedeno na obrázku 18. Dále byly připojeny k driveru ochranné diody, které zkratují napětí z motoru, který se u něj může objevit při jeho brzdění. Zabráni se tím tak vniknutí nebezpečného napětí do driveru. V našem případě se napětí na motoru může objevit například při ručním zaostřování mikroskopu. Z Arduina tedy slouží 6 výstupů pro display, 4 pro tlačítka, 1 pro dálkovou spoušť a 3 pro driver. Celkem 14 pinů. Jeden ze tří vodičů pro driver slouží jako ENABLE, tedy povolovací signál, který povoluje, nebo naopak zakazuje funkci driveru. Druhý vodič je ve schématu (obr. 16) popsán jako DIRECTION, pomocí logické 1 nebo 0 jednoduše určí směr otáčení krokového motoru. Třetím vodičem STEP jsou posílány jednotlivé pulsy, které určují rychlost otáčení motoru. Osm analogových vstupů není na modulu Arduino využito. Hotová deska je na obrázku 18.

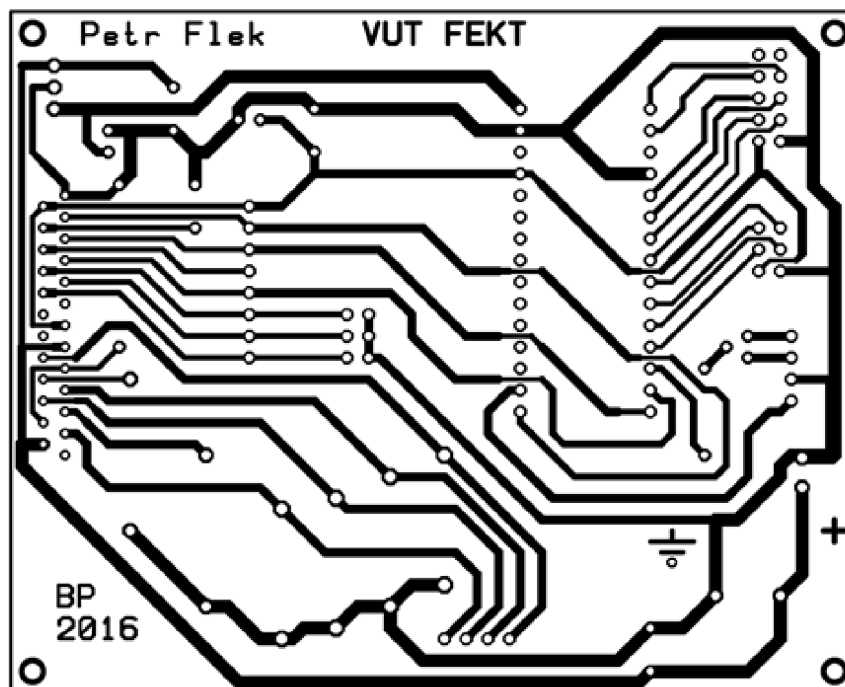
### **8.3 Připevnění krokového motoru k mikroskopu Jenavert**

Pro připevnění krokového motoru byla vyrobena jednoduchá konstrukce (obr. 19), která byla pomocí šroubků přišroubovaná na konstrukci mikroskopu. Konstrukce je sestavena ze tří hliníkových „L“ profilů. Dva profily jsou proti sobě a slouží jako nosná část, na které je připevněna podložka z pertinaxu. Samotný krokový motor je přišroubovaný k třetímu hliníkovému profilu a ten je společně s motorem připevněný na pertinaxové podložce. Celou konstrukci drží při sobě 6 šroubů velikosti M4. Připevnění konstrukce k mikroskopu bylo provedeno pomocí šroubů M3. Kovová propojka mezi osami krokového motoru a mikroskopu byla vyrobena tak, že na jedné straně byla provrtaná díra 5 mm pro osu krokového motoru a na druhé straně byla provrtaná díra 6 mm pro osu mikroskopu.

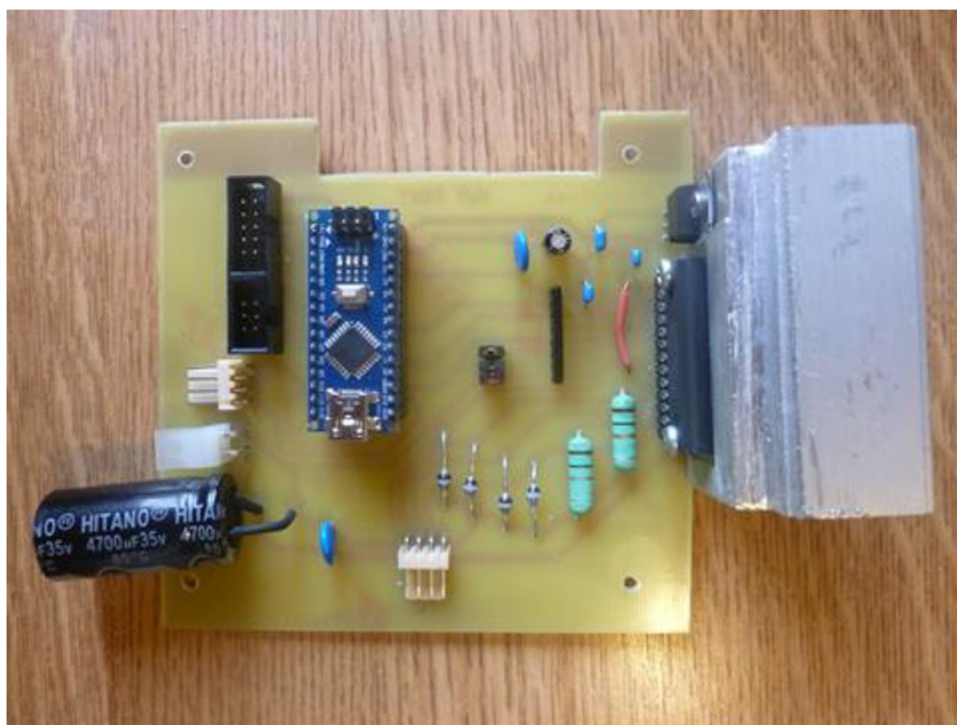
Přípevnění propojky je řešeno pomocí svou malých šroubků, které jsou zapuštěny v propojce a jsou dotáhnuty k osám.



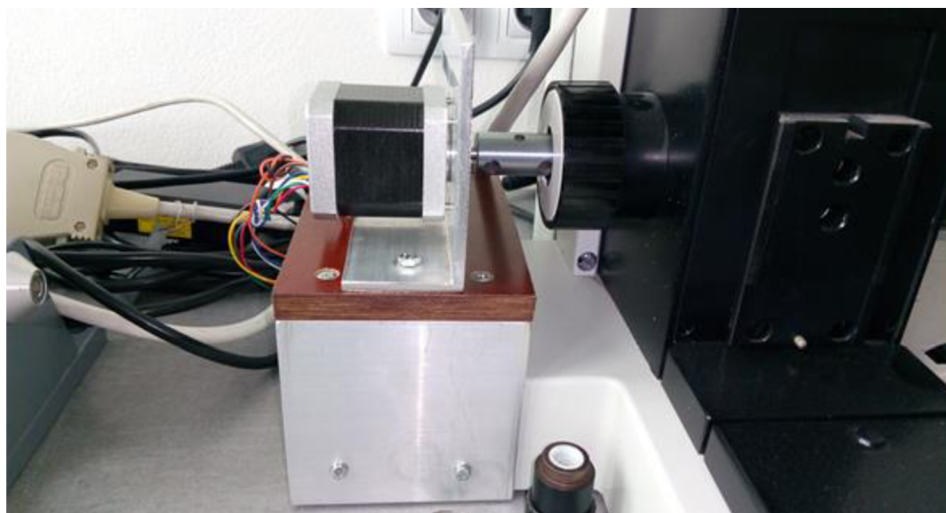
Obr. 16: Schéma zapojení řídicí desky



Obr. 17: DPS řídicí desky ze strany spojů



Obr. 18: Pohled na řídicí desku ze strany součástek

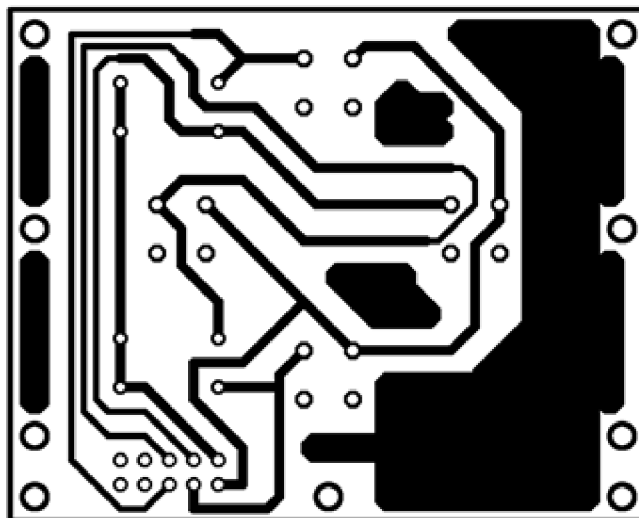


Obr. 19: Připevnění krokového motoru k mikroskopu

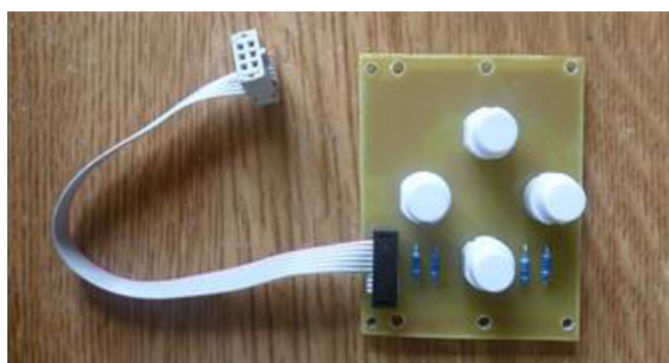
#### **8.4 Ovládací deska s tlačítky**

Byla vyrobena deska plošných spojů (obr. 20) pro tlačítka, které slouží pro orientaci v menu a tím ovládnání zařízení. Obsahuje čtyři standardně rozmístěná tlačítka (obr. 21), kdy horní tlačítko slouží jako šipka nahoru a nebo „+“, dolní jako šipka dolů nebo „-“. Pravé tlačítko slouží jako potvrzovací tlačítko „OK“ a levé tlačítko jako „ZPĚT“. Dále jsou na dece

umístěny čtyři rezistory, které zajišťují, aby se výstup mikrokontroléru Arduina nedostal do stavu vysoké impedance a konektor pro připojení plochého kabelu.



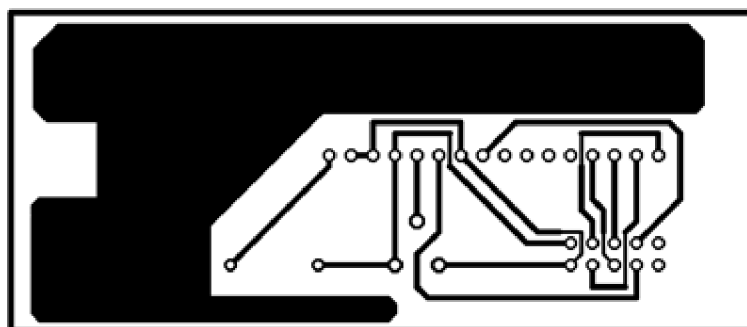
Obr. 20: DPS pro čtyři řídicí tlačítka



Obr. 21: Pohled na desku s tlačítky ze strany součástek

### 8.5 Deska s displejem

Třetí deska byla vyrobená k displeji. Zobrazení plošného spoje je na obrázku 22. Obsahuje trimr, kterým lze nastavit jas displeje a konektor pro připojení plochého kabelu (obr 23).



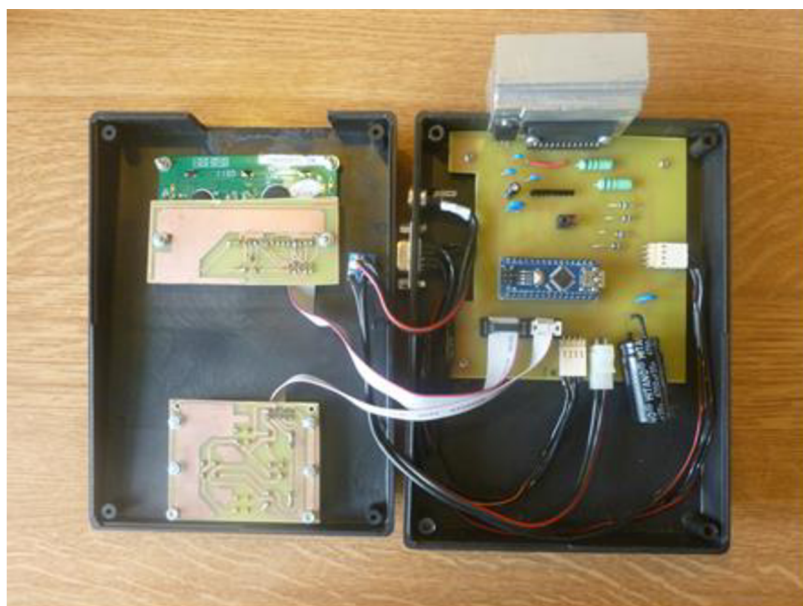
Obr. 22: DPS pro displej



Obr. 23: Pohled na desku s displejem ze strany součástek

## 8.6 Kompletní konstrukce řídicí jednotky

Celé zařízení bylo zabudováno do konstrukční krabičky (obr. 24). Na horní straně se nachází otvory pro tlačítka, otvor pro displej a hlavní vypínač (obr. 25). Na zadní straně je umístěn chladič driveru krokového motoru a stabilizátor napětí. Na levé straně je napájecí konektor pro externí zdroj a CAN konektor. CAN konektor má devět pinů. Čtyři z nich jsou využity pro řízení krokového motoru a dva pro řízení a napájení dálkové spouště. Další dva piny měly být využity pro napájení dálkové spouště fotoaparátu. Tři piny zůstaly nevyužité. Vodivé propojení mezi konektory na DPS a konektory na krabičce je řešeno pomocí drátových vodičů.



Obr. 24: Pohled na zapojení zařízení v krabičce



Obr. 25: Výsledné zařízení

### **8.7 Napájení**

Zařízení je napájeno 24 V externím zdrojem. Celkový příkon zařízení by neměl překročit hodnotu proudu 1,5 A. Použití 24 V zdroje je z důvodu napájení krokového motoru. Driver má maximální vstupní napětí až 40 V. Zde platí, že čím větší napětí, tím můžeme dosáhnout větší rychlosti otáčení krokového motoru. 24 V zdroj byl tedy zvolen jako dobrý kompromis, kdy rychlost motoru je dostatečná a na trhu je dobrá dostupnost takovýchto zdrojů.



## 9 Softwarové vybavení zařízení

Program byl napsán ve vývojovém prostředí pro Arduino. Byly navrženy dva samostatné režimy. Na obrázku 26 je software popsán pomocí blokového schématu. Režim „SNÍMÁNÍ“ a režim „MĚŘENÍ“. Podrobné popsání obou režimů je v následující kapitole. Režim „SNÍMÁNÍ“ byl mnohem náročnější na odladění drobných chyb při samostatném testování. Bylo potřeba vzít v úvahu prodlevu mezi odesláním a zpracováním požadavku u fotoaparátu a dálkové spouště, aby motor při pořizování fotografie již nepřeostrhoval na další část, ale fotoaparát vždy zaznamenal snímek na požadované vzdálenosti. Také byla testována a určena prodleva na uložení fotografie ve fotoaparátu. Požadavek na pořizování fotografie nemohl být vyslán v době, kdy fotoaparát ukládal předchozí fotografii. Následující fotografie by tedy nebyla pořízena a chyběla by ve výsledné sérii snímků. Prodleva byla stanovena s rezervou na 7 sekund. [21]

### 9.1 SNÍMÁNÍ

Tento režim slouží k automatickému snímání sledu fotografií z mikroskopu. Uživatel si sám nastaví rozsah snímání a vzdálenost, mezi kterou budou fotografie pořizovány.

#### 9.1.1 Manuální zaostření mikroskopu

Po vybrání tohoto režimu budete vyzváni k nastavení mikroskopu do polohy sledování objektu. Je zapotřebí po vložení zkoumaného vzorku ručně zaostřit mikroskop na vzorek. V téhle chvíli je vypnut ENABLE signál a to znamená, že cívkami motoru neprochází žádný proud a lze jím volně otáčet.

#### 9.1.2 Nastavení vrchní polohy

V dalším kroku se pomocí tlačítek na zařízení zaostří krokovým motorkem na nejvrchnější část zkoumaného objektu. Po přejití na další krok si program zapamatuje polohu zaostření a pořídí první fotografii.

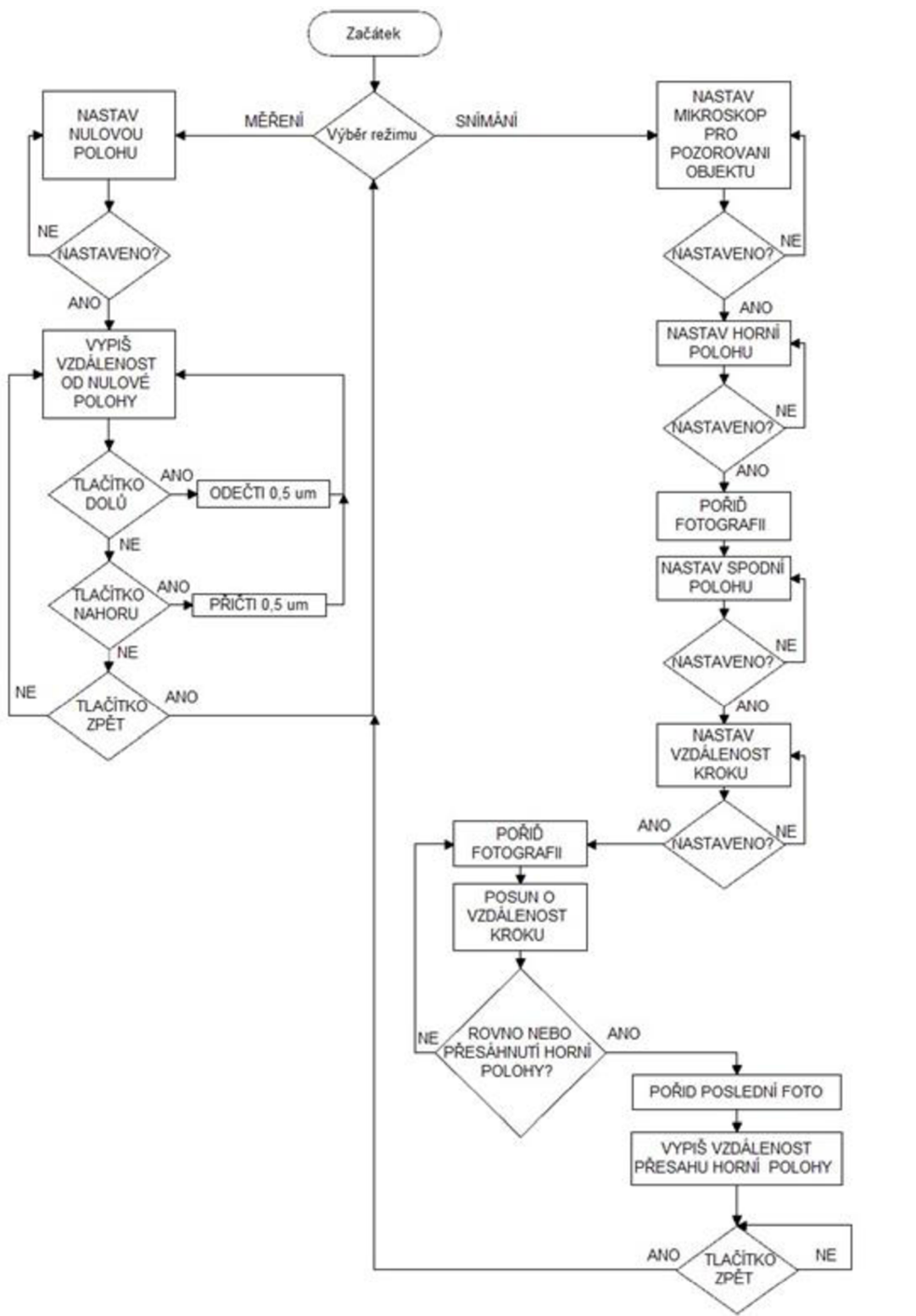
#### 9.1.3 Nastavení dolní polohy

V tomto dalším kroku je potřeba pomocí krokového motoru nastavit nejspodnější zaostřenou část zkoumaného objektu. Na displeji se zároveň ukáže vzdálenost od vrchní polohy v  $\mu\text{m}$ . Spodní polohu poté potvrdíte tlačítkem „OK“.

#### 9.1.4 Nastavení vzdálenosti kroku

Po zadání spodní polohy je uživatel vyzván k nastavení vzdálenosti, po které se mají fotografie pořizovat. Nejmenší možná vzdálenost je  $0,5 \mu\text{m}$  a největší není omezena. Nastaví se tím tedy vzdálenost v  $\mu\text{m}$  mezi jednotlivými fotografiemi. Zde nastává problém, že celková vzdálenost nemusí být násobkem zvolené vzdálenosti pro pořizování fotografií. Pokud je například celkovou vzdálenost pořizování fotografií  $205 \mu\text{m}$  a zadám velikost kroku po  $10 \mu\text{m}$ , bude  $5 \mu\text{m}$  přebývat nebo chybět. Program je navržen tak, aby horní polohu přesáhl o rozdíl posledního kroku, aby se dostal nad požadovanou úroveň a pořídil poslední fotografii nad úroveň horní polohy. V našem případě to bude přesně  $210 \mu\text{m}$  od spodní polohy. Po potvrzení zadané vzdálenosti se na spodní poloze pořídí fotografie, poté zařízení zaostří mikroskop o zadanou vzdálenost a opět pořídí fotografii. Svoji činnost ukončí, až když se dostane na, nebo nad úroveň horní polohy. Při pořizování fotografie je vždy nutná dostatečně

dlouhá prodleva, aby fotoaparát stihl uložit fotografii a čekal na další signál z dálkové spouště.



Obr. 26: Blokové schéma softwaru řídicí jednotky

### **9.1.5 Dokončení akce**

Po akci zůstane na displeji vypsaná hodnota, o kterou zařízení přejelo vrchní polohu. Ve výše uvedeném případě by to bylo 5 $\mu$ m. O stisknutí tlačítka OK nebo ZPĚT se uživatel dostává zpět do hlavního menu.

## **9.2 MĚŘENÍ**

Druhý režim slouží pouze pro samostatné měření zkoumaného objektu.

### **9.2.1 Nastavení nulové polohy**

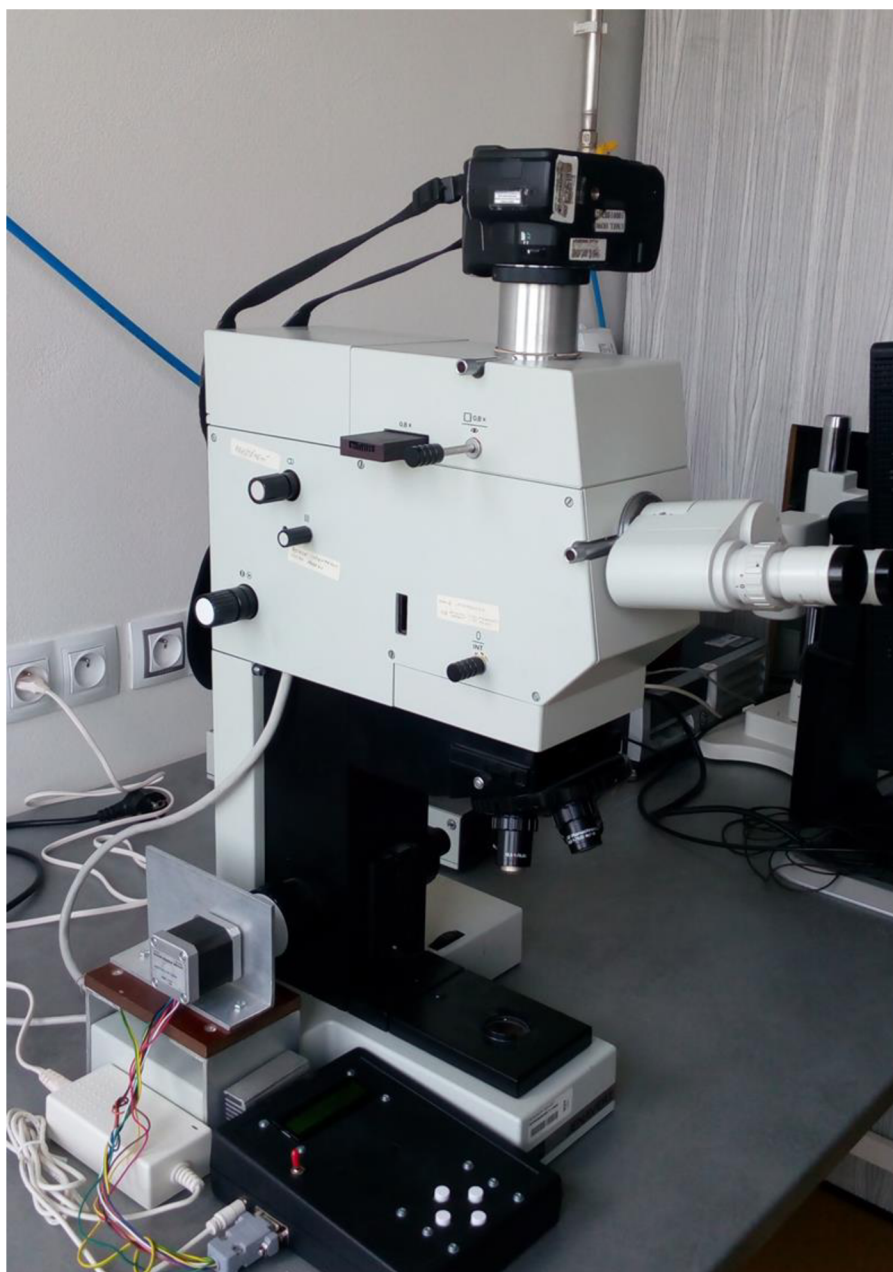
Po vybrání režimu si uživatel nastaví nulovou polohu, od které bude chtít vzdálenost odměřovat.

### **9.2.2 Měření**

Po stisknutí tlačítka OK si program zapamatuje svoji polohu a tlačítka „nahoru“ a „dolů“ si pak jednoduše posouvá polohu zaostření, přičemž se mu zároveň na displeji vypisuje celková vzdálenost od nulové polohy. Stisknutím tlačítka zpět se opět uživatel dostává do hlavního menu.

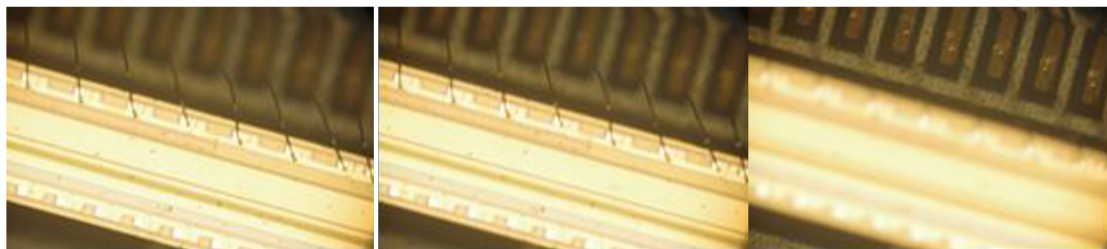
## 10 Dosažené výsledky

Celkové zařízení je na obrázku 27. Zařízení je spolu s motorem umístěné na levé straně mikroskopu tak, aby spojení s motorem nebylo příliš dlouhé a zařízení se dalo pohodlně ovládat. Dálková spoušť je umístěna na pravé straně mikroskopu proto, že fotoaparát má přijímací systém pro dálkovou spoušť umístěný na pravé straně. Je tedy správně orientován displejem k uživateli. Pokud by se spoušť dala na levou stranu, fotoaparát by se musel otočit o 180° a displej fotoaparátu by byl k uživateli obráceně. Poslední odladění celkové funkce jednotky probíhalo jen za pomoci drobných úprav v softwaru zařízení.



Obr. 27: Kompletní sestavení funkční jednotky

Obrázek 28 zobrazuje několik fotografií pořízených pomocí zrealizované jednotky a výsledná fotografie (obr. 29) je složena pomocí programu CombineZP z 12 fotografií.



Obr. 28: Výběr třech fotografií pro složení výsledné fotografie



Obr. 29: Výsledná fotografie složená z 12 fotografií ve vzdálenosti po 40 um

## 11 Závěr

Cílem projektu bylo seznámit se s problémem snímání mikro objektů při malé hloubce ostrosti obrazu a navrhnout zařízení, které by pořizovalo snímky automaticky a tím minimalizovalo chyby lidského faktoru.

V první části teoretického textu bylo pojednáno o principu mikrografii a příslušného programového vybavení na tvoření výsledných fotografií. V druhé části práce byl popsán návrh a konstrukce zařízení, které splňuje zadaný úkol zadání.

Hloubku ostrosti lze zvětšit pomocí skládáním více fotografií. Bylo navrženo a zrealizováno zařízení, které pomocí fotoaparátu, umístěného na těle mikroskopu pořizuje automaticky sled postupných fotografií, které jsou zaostřeny na různou hladinu zkoumaného objektu. Jednotka zajišťuje posuv ostření mikroskopu, spínání fotoaparátu a zároveň plní požadavky na komunikaci s uživatelem.

Řízení jednotky bylo realizované pomocí modulu Arduino NANO, který disponuje mikrokontrolerem od firmy Atmel. Posun ostření mikroskopu byl realizován pomocí krokového motoru od firmy Microcon s označením SX17-0905 řízeného výkonovým stupněm TA8435H. Pro komunikaci s uživatelem byl použit LCD displej s označením ATM1602B a čtyři tlačítka pro manuální řízení motoru a orientování se v menu zařízení.

Použití modulu Arduino NANO má několik výhod. Návrh a výroba řídicí desky s mikrokontrolerem, která by přímo komunikovala s PC by byla velmi složitá a i cena by byla oproti Arduino vyšší. Model NANO má své vývody navrhnuté tak, aby se dal přímo připojit do desky. Stačí je jen nasunout do příslušné patice, která je pro tento modul přímo přizpůsobená. Navíc je u Arduina i možnost processingu. Celé zařízení by se tedy později dalo ovládat pomocí programu přímo z PC.

Při testování dálkové spouště napájené modulem Arduino pomocí 3,3 V stabilizátoru se spínání pomocí tranzistoru neprojevovalo jako nejvhodnější způsob. Do dálkové spouště se dostávaly nechtěné signály, protože emitor tranzistoru byl uzeměný a tím byl uzeměný i jeden kontakt tlačítka. Dálková spoušť pak nekontrolovatelně vysílala požadavek pro pořízení fotografie fotoaparátem. Pro správnou funkci bylo tedy od napájení Arduinem ustoupeno a dálková spoušť byla standartně napájena pomocí baterie.

Mnohem efektivnější by bylo použití příslušného relé, které by do dálkové spouště nezanášelo nechtěné signály. Proud procházející přes tlačítko by byl tedy mechanicky oddělený a fungoval by pouze jako spínač. Při použití relé by se pak jako napájení dálkové spouště nemusela použít baterie, ale byla by zde původně zamýšlená možnost využít 3,3 V stabilizátoru Arduina.

Hlavním výsledkem realizovaného zařízení bylo vyhnout se chybám, kterých se člověk lehce dopustí, a pořizovat fotografie, které mají vždy stejnou ohniskovou vzdálenost. Další výhodou je vyhnout se otřesům fotoaparátu při mačkání spouště na fotoaparátu a úspora času uživatele.

## Seznam použité literatury

- [1] Pavel Krásenský. *Proč skládat mikrografie* [online] 8. 12. 2013 [cit. 3. 3. 2016] Dostupné z WWW: <http://www.macrophotography.cz/blog/skladana-fotografie-97.html>
- [2] Pavel Krásenský. *Potřebné programové vybavení* [online] 5. 6. 2012 [cit. 3. 3. 2016] Dostupné z WWW: <https://www.fotoaparát.cz/clanek/1034/skladani-makrofotografii-1-cast-11149/>
- [3] Petr Jiří. *Laboratoře mikroskopie* [online] 30. 7. 2015 [cit. 9. 3. 2016] Dostupné z WWW: <http://technology.feld.cvut.cz:8080/xwiki/bin/view/K13113/labmicro?xpage=print&language=cs>
- [4] ANON. *Mikroskop Celestron* [online] 4. 4. 2016 [cit. 9. 3. 2016] Dostupné z WWW: <http://www.supra-dalekohledy.cz/mikroskop-celestron-44302a-celestron-hdm-deluxe-2mpix-digital-3-7949.html>
- [5] Radek Kmeť. *FULL HD digitální mikroskop Vision Z2*. [online] 25. 11. 2014 [cit. 9. 3. 2016] Dostupné z WWW: <http://www.merici-pristroje.cz/full-hd-digitalni-mikroskop-vision-z2/>
- [6] Milan Keršláger. *Arduino* [online] 6. 1. 2016 [cit. 29. 3. 2016] Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [7] ANON. *Arduino Software IDE* [online] 7. 9. 2015 [cit. 29. 3. 2016] Dostupné z WWW: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>
- [8] ANON. *Arduino software, Hlavní výhody* [online] 2012 [cit. 30. 3. 2016] Dostupné z WWW: <http://czechduino.cz/?co-je-to-arduino,29>
- [9] Václav Makeš. *Krokový motor* [online] 24. 12. 2013 [cit. 7. 4. 2016] Dostupné z WWW: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Krokov%C3%BD\\_motor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Krokov%C3%BD_motor)
- [10] ANON. *Co je to krokový motor a jak funguje?* [online] 27. 5. 2009 [cit. 7. 4. 2016] Dostupné z WWW: [http://www.servo-drive.cz/specialni\\_krokovy\\_motory\\_krokovy\\_motory\\_na\\_miru.php](http://www.servo-drive.cz/specialni_krokovy_motory_krokovy_motory_na_miru.php)
- [11] Kamil Řezáč. *Krokové motory* [online] 28. 10. 2012 [cit. 7. 4. 2016] Dostupné z WWW: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [12] Jan Smolík. *Arduino NANO* [online] 15. 6. 2011 [cit. 20. 4. 2016] Dostupné z WWW: <http://honzasmolik.cz/arduino.html>
- [13] ANON. *Arduino NANO* [online] 3. 4. 2016 [cit. 20. 4. 2016] Dostupné z WWW: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>

- [14] ANON. *Displej* [online] 27. 9. 2015 [cit. 20. 4. 2016] Dostupné z WWW: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Displej\\_z\\_tekut%C3%BDch\\_krystal%C5%AF](https://cs.wikipedia.org/wiki/Displej_z_tekut%C3%BDch_krystal%C5%AF)
- [15] ANON. *HD44780* [online] 15. 1. 2016 [cit. 28. 4. 2016] Dostupné z WWW: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Displej\\_z\\_tekut%C3%BDch\\_krystal%C5%AF](https://cs.wikipedia.org/wiki/Displej_z_tekut%C3%BDch_krystal%C5%AF)
- [16] *ATM1602B SERIES* [online] 16. 11. 2006 [cit. 28. 4. 2016] Dostupné z WWW: <http://www.arrowtech.cn/upload/ATM1602B.pdf>
- [17] *Technické parametry krokových motorů řady SX16, SX17* [online] 29. 3. 2013 [cit. 7. 4. 2016] Dostupné z WWW: [http://www.jmf.cz/pdf/tp\\_sx1617.pdf](http://www.jmf.cz/pdf/tp_sx1617.pdf)
- [18] *Krokový motor SX17-0905, SX17-1705* [online] 10. 9. 2013 [cit. 7. 4. 2016] Dostupné z WWW: <http://www.jmf.cz/pdf/SX17-0905,1705.pdf>
- [19] *Toshiba bipolar linear integrated circuit* [online] 22. 6. 2001 [cit. 9. 4. 2016] Dostupné z WWW: <http://www.kosmodrom.com.ua/data/cncstepdriver/ta8435hq.pdf>
- [20] MACH, P., V. SKOČIL a J. URBÁNEK. *Montáž v elektrotechnice*. Praha: ČVUT, 2001, 440 s. ISBN 80-01-02392-3.
- [21] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky*. Praha: BEN, 2003, 279 s. 1 CD-ROM. ISBN 80-7300-077-6.