ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bezkontaktní optické snímání gramofonového záznamu

Autor práce: **Bc. Martin Maška**
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Stifter, Ph.D.**

Plzeň 2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2017/2018**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Martin MAŠKA**
Osobní číslo:	**E15N0004P**
Studijní program:	**N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Elektronika a aplikovaná informatika**
Název tématu:	**Bezkontaktní optické snímání gramofonového záznamu**
Zadávající katedra:	**Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši možných technických řešení a způsobů bezkontaktního optického snímání gramofonového (mechanického) záznamu zvuku. Možná řešení shrňte a proveďte jejich porovnání.
2. Navrhněte postup pro bezkontaktní optické snímání měděných originálů, otců, matek a matric gramofonových záznamů tak, aby bylo možné identifikovat případné výrobní vady ve výrobním procesu.
3. Pokuste se zrealizovat navržený postup, experimentálně ověřte jeho možnosti.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Stifter, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2018**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan

L.S.

Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Diplomová práce pojednává o bezkontaktním snímání gramofonového záznamu. Zabývá se dvěmi metodami a topoužitím laserového paprsku nebo CCD snímače pro snímání gramofonového záznamu. Zkoumá vhodnost použití průmyslové rastrové kamery s mikroobjektivem pro účely snímání gramofonové drážky. Práce dále pojednává o návrhu polohovacího zařízení pro polohování gramofonové desky a i pro polohování průmyslové kamery při snímání drážky. Další část se zabývá návrhem algoritmu pro snímání drážky, spojování snímků, extrakce audio stopy z pořízených snímku a jejího přehrávání. Zpracování snímků se provádí v prostředí MATLAB za využití algoritmů počítačového vidění. V neposlední řadě se práce zaměřuje na experimentální ověření detekce výrobních vad.

Klíčová slova

Bezkontaktní snímání, optické snímání, gramofóní záznamu, mechanický záznam.

Abstract

This thesis deals with the non-contact optical based methods of retrieving a phonograph record. It presents the use of the laser beam on a theoretical level, while the practical part concerns photographing of grooves using the raster industrial camera with micro-lenses.

The following part of this paper is dedicated to the design of the structure of positioning devices for a gramophone record and the industrial camera. Next, an algorithm design for photographing grooves, merging images and sound extraction from the taken images, are presented. Processing of the data took place in a MATLAB using the computer vision technology.

The final part of the thesis focuses on the experimental verification of detecting the manufacturing defects.

Key words

Non-contact method, optical method, phonograph record, gramophone records.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušeni ustanovení *§* 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanoveni *§* 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešeni této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 22.5.2018 Martin Maška

Obsah

OBSAH **7**

SEZNAM OBRÁZKŮ **9**

SEZNAM ZKRATEK **12**

SEZNAM SYMBOLŮ **13**

ÚVOD **14**

1 MECHANICKÝ ZÁZNAM **15**

1.1 DRUHY MECHANICKÉHO ZÁZNAMU 15
1.2 SMLUVNÍ HODNOTY ZÁZNAMOVÉ RYCHLOSTI, ZRYCHLENÍ A AMPLITUDY 17
1.3 ZÁZNAMOVÁ A PŘEHRÁVACÍ CHARAKTERISTIKA 19
1.4 POPIS VÝROBY GRAMOFONOVÉ DESKY 21

2 REŠERŠE BEZKONTAKTNÍHO OPTICKÉHO SNÍMÁNÍ **22**

2.1 BEZKONTAKTNÍ SNÍMÁNÍ GRAMOFONOVÉHO ZÁZNAMU POMOCÍ LASEROVÉHO PAPRSKU 22
2.2 BEZKONTAKTNÍ SNÍMÁNÍ GRAMOFONOVÉHO ZÁZNAMU POMOCÍ ŘÁDKOVÉHO NEBO RASTROVÉHO CCD SNÍMAČE 26
2.3 SOUHRN POZNATKŮ Z REŠERŠE 31

3 PŘEHLED SNÍMACÍCH ZAŘÍZENÍ NA TRHU **32**

3.1 OPTIKA - ČOČKY A OBJEKTIVY 32
3.2 SNÍMACÍ ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ LASEROVÝ PAPRSEK 37
3.2.1 CD laserová jednotka *37*
3.2.2 Snímky drážky z fokálního mikroskopu *39*
3.3 SNÍMACÍ ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ ŘÁDKOVÉHO NEBO RASTROVÉHO CCD SNÍMAČE 43
3.3.1 Skener *43*
3.3.2 Digitální fotoaparát *44*
3.3.3 "Levné" digitální mikroskopy *49*
3.3.4 Průmyslové kamery *51*
3.4 OSVĚTLOVACÍ TECHNIKA PRO SNÍMANOU DRÁŽKU 63
3.5 ZMĚNA INTENZITY V HISTOGRAMU DRÁŽKY PŘI ZAOSTŘOVÁNÍ NA DRÁŽKU 67
3.6 SNÍMANÉ GRAMOFONOVÉ DESKY 73
3.7 SOUHRN SNÍMACÍCH ZAŘÍZENÍ 74

4 NÁVRH PRACOVIŠTĚ PRO SNÍMÁNÍ GRAMOFONOVÉHO ZÁZNAMU **75**

4.1 TEORETICKÝ NÁVRH PRACOVIŠTĚ 75
4.2 PRAKTICKÝ NÁVRH PRACOVIŠTĚ 77
4.2.1 Polohování gramofonového talíře *77*
4.2.2 Polohování průmyslové kamery pro ostření snímku *81*
4.2.3 Určování polohy za použití AMS 5311 magnetického kodéru polohy *83*
4.2.4 Stůl pro uchycení kamery nad gramofonovou desku *87*
4.3 SMÍNKY PRACOVIŠTĚ 88

5 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ PRACOVIŠTĚ **90**

5.1 PROGRAM A ZAPOJENÍ PRO POLOHOVÁNÍ GRAMOFONOVÉHO TALÍŘE 90
5.2 PROGRAM A ZAPOJENÍ PRO POLOHOVÁNÍ PRŮMYSLOVÉ KAMERY 93
5.3 PROGRAM PRO SNÍMÁNÍ DRÁŽKY 97
5.4 PROGRAM PRO SPOJOVÁNÍ FOTEK 103
5.5 PROGRAM PRO EXTRAKCI ZVUKU ZE SNÍMKU GRAMOFONOVÉ DRÁŽKY 108

6 SNÍMÁNÍ NOSIČŮ A DETEKCE VÝROBNÍCH VAD 117

ZÁVĚR 118

NÁVRH A REALIZACE EXPERIMENTÁLNÍHO BEZKONTAKTNÍHO SNÍMÁNÍ GRAMOFONOVÉ DESKY 118
Výběr snímacího zařízení 118
Konstrukce polohovacího zařízení pro gramofonovou desku 118
Snímání gramofonové drážky a extrakce zvukové stopy 119
VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍHO OVĚŘENÍ 120

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ 121

PŘÍLOHY TIŠTĚNÉ 1

PŘÍLOHA A - ROZMĚRY PODLOŽKY PRO MAGNETICKÝ PRSTENEC 1
PŘÍLOHA B - ROZMĚRY STOLU PRO UCHYCENÍ PRŮMYSLOVÉ KAMERY NAD GRAMOFONOVOU DESKU 2
PŘÍLOHA C - ZDROJOVÝ KÓD PRO POLOHOVÁNÍ TALÍŘE 3
PŘÍLOHA D - ZDROJOVÝ KÓD PRO POLOHOVÁNÍ KAMERY 9
PŘÍLOHA E - DIGICAMCONTROL 19
PŘÍLOHA F - ALGORITMUS PRO GENERACI GRAMOFONOVÉ DRÁŽKY Z WAV/MP3 SOUBORU 27
PŘÍLOHA G - ALGORITMUS PRO DETEKCI VÝROBNÝCH VAD 30

ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY NA DVD 34

PŘÍLOHA A - SLOŽKA " ARDUINO " 34
PŘÍLOHA B - SLOŽKA " MATLAB " 34
PŘÍLOHA C - SLOŽKA " OBRÁZKY " 34
PŘÍLOHA D - SLOŽKA " PDF " 34
PŘÍLOHA E - SLOŽKA " POLOHOVACÍ ZAŘÍZENÍ " 34
PŘÍLOHA F - SLOŽKA " POUŽITÉ GRAMOFONOVÉ DESKY PRO SNÍMÁNÍ" 34
PŘÍLOHA G - SLOŽKA " RIAA " 34
PŘÍLOHA H - SLOŽKA " SNÍMKY " 34
PŘÍLOHA H - SLOŽKA " SONY PS-15 " 34

Seznam obrázků

Obr. 1 Voskový váleček a znázornění hloubkového záznamu na povrchu 15
Obr. 2 Gramofonová deska a znázornění stranového záznamu na povrchu 15
Obr. 3 Řez drážkou s modulací záznamu, vlevo hloubkový záznam a vpravo stranový záznam 16
Obr. 4 Nadhled drážek s modulací, vlevo hloubkový záznam a vpravo stranový záznam 16
Obr. 5 Řez drážkou stereofonního záznamu, vlevo modulace amplitudy na levou stěnu drážky pro levý kanál zvuku a vpravo modulace amplitudy na pravou stěnu drážky pro pravý kanál zvuku 17
Obr. 6 Nadhled drážky stereofonního záznamu, vlevo levý kanál a vpravo pravý kanál 17
Obr. 7 Smluvené hodnoty záznamové rychlosti, zrychlení a amplitudy 19
Obr. 8 RIAA Záznamová charakteristika 20
Obr. 9 RIAA Přehrávací charakteristika 20
Obr. 10 Výroba gramofonové desky, převzato z [1] 21
Obr. 11 "laserový gramofon" od W. K. Heine, ze zdroje [6] 23
Obr. 12 "laserový gramofon" od W. K. Heine, ze zdroje [6] 23
Obr. 13 Schematické znázornění umístnění zdrojů laserů a detektorů, ze zdroje [7] 24
Obr. 14 Schematické znázornění laserové hlavy s posuvem a magnetickým vychylováním, ze zdroje [7] 25
Obr. 15 T. Iwainův princip snímání Edisonových válečků, ze zdroje [8] 26
Obr. 16 J. Uozuminův a T. Asakuranův princip pro snímání negativů Edisonových válečků, ze zdroje [8] 26
Obr. 17 Oskenovaná deska ze zdroje [10] 27
Obr. 18 Extraxe signálu z drážky, ze zdroje [11] 27
Obr. 19 Schematický postup snímání gramofonového záznamu ze zdroje [12] 28
Obr. 20 Vlevo aparatura pro snímání drážky, vpravo snímek drážky se zaostřenými oblastmi pravé a levé hrany a dna drážky, ze zdroje [16] 28
Obr. 21 Vlevo IRENA, vpravo snímání povrchu za pomocí přenosky, 2D - IRENA a 3D - Keyence senzor, ze zdroje [17] 29
Obr. 22 Vlevo 3D kamera, vpravo snímaná drážka, ze zdroje [18] 29
Obr. 23 Úprava DMM řezací aparatury pro snímání drážky, ze zdroje [4] 30
Obr. 24 Snímaná drážka a detekce hran drážky, ze zdroje [4] 30
Obr. 25 Nahoře spojitá čočka, dole rozptylová čočka 32
Obr. 26 Optický filtr, odrazové sklo a polopropustný hranol 33
Obr. 27 Optická soustava v CD mechanice 33
Obr. 28 Optická soustava u fotoaparátu nebo průmyslové kamery 34
Obr. 29 Úhel záběru v závislosti na ohniskové vzdálenosti 34
Obr. 30 Rozměry pitů a laseru na povrchu CD a DVD 37
Obr. 31 Signály RES, FES a kanálový signál z detektorů A, B, C, D, E a F 38
Obr. 32 Rozebraná CD laserová jednotka na jednotlivé komponenty 39
Obr. 33 Snímek gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - bez výrobní vady 40
Obr. 34 Snímek gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - bez výrobní vady 40
Obr. 35Profil gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - bez výrobní vady 41
Obr. 36 Snímek gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - s výrobní vadou 41
Obr. 37 Snímek gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - s výrobní vadou 42
Obr. 38 Profil gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - s výrobní vadou 42
Obr. 39 Snímek drážky pořízený na skeneru MP560 44
Obr. 40 Focení kalibračního měřidla vlevo pouze s makroobjektivem a vpravo za použití s mezikružím 46
Obr. 41 Ověření velikosti jednoho pixelu vlevo s makroobjektivem a vpravo s mezikružím 46
Obr. 42 Snímek pořízený za pomoci Nikon D7100 a makroobjektivu, foceno pod úhlem 47
Obr. 43 Snímek pořízený za pomoci Nikon D7100 a makroobjektivu, foceno kolmo k desce 48
Obr. 44 Dino-Litle AM4113T, ze zdroje [24] 49
Obr. 45 Schéma optické soustavy mikroskopu 50
Obr. 46 Snímek drážky gramofonové desky a kalibračního měřidla, zvětšení 60x s AM-432B 50
Obr. 47 Snímek pořízený průmyslovou kamerou acA1300-gc a objektivem f = 6 mm 51
Obr. 48 Snímek pořízený průmyslovou kamerou acA1300-gc a objektivem f = 15 mm 52
Obr. 49 Snímek pořízený průmyslovou kamerou acA1300-gc a objektivem f = 25 mm 52
Obr. 50 Schéma popisku na mikroobjektivu 53
Obr. 51 Schéma optické soustavy mikroobjektivu s průmyslovou kamerou 54
Obr. 52 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 6,3x/1 56
Obr. 53 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 6,3x/1 56

Obr. 54 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 8x/0,2 57
Obr. 55 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 8x/0,2 57
Obr. 56 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 10x/0,3 58
Obr. 57 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 10x/0,3 58
Obr. 58 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 20x/0,4 59
Obr. 59 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 20x/0,4 59
Obr. 60 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 40x/0,65 60
Obr. 61 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 40x/0,65 60
Obr. 62 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 60x/1,25 61
Obr. 63 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 60x/1,25 61
Obr. 64 Snímek aparatury pro ověření mikroobjektivu,osvit RGB diodami 5050 2x25 kusů kamera umístěná na posuvný stolek s mikrometrem 0-25 mm 62
Obr. 65 Vlevo 5050 RGB diody (5x5 diod) s regulátorem jasu a barvy a vlevo bíle vysoko svítící diody (1x5 diod) s regulátorem jasu 63
Obr. 66 Vlevo je osvětlení povrchu desky (schéme A) a vpravo je osvětlení stěny drážky (schéma B) 64
Obr. 67 Vlevo ostré bodové světlo a vpravo rovnoměrné osvícení za využití difuzoru 64
Obr. 68 Polohování zdroje světla 64
Obr. 69 Osvícení povrchu desky denním světlem (osvit podle schématu A), snímek pořízený pomocí Nikon D7100 a makroobjektivu, snímaná gramofonová deska 45 ot/min 65
Obr. 70 Osvícení povrchu za pomocí DPS projektoru (osvit podle schématu A), snímek pořízený pomocí Nikon D7100 a makroobjektivu, snímaná gramofonová deska 45 ot/min 65
Obr. 71 Osvícení stěny drážky za pomocí halogenového světla, snímek pořízený pomocí Nikon D7100 a makroobjektivu , snímaná gramofonová deska 45 ot/min 66
Obr. 72 Osvícení stěny drážky za pomocí LED světla, snímek pořízený pomocí průmyslové kamery a mikroobjektivu, snímaná gramofonová deska 45 ot/min 66
Obr. 73 Osvícení stěny drážky za pomocí LED světla, snímek pořízený pomocí průmyslové kamery a mikroobjektivu, snímaná gramofonová deska 78 ot/min 67
Obr. 74 Schéma intenzity histogramu drážky při zaostření na povrch desky, vlevo (schéma A) pro 33 ot/min záznam a vpravo (schéma B) pro 78 ot/min záznam 68
Obr. 75 Schéma intenzity histogramu drážky platí pro 33 ot/min i pro 78 ot/min záznam,vlevo při zastření na stěnu drážky (schéma C) a vpravo při zaostření na dno drážky (schéma D) 68
Obr. 76 Zaostření na povrch desky odpovídá schématu intenzity A 69
Obr. 77 Zaostření na povrch desky odpovídá schématu intenzity B 70
Obr. 78 Zaostření na stěnu nebo dno drážky odpovídá schématu intenzity C a D 70
Obr. 79 Regulace osvícení pravé a levé stěny drážky 71
Obr. 80 Snímky 33 ot/min záznamu při ostření 72
Obr. 81 7" deska s rychlostí přehrávání 45 ot/min 73
Obr. 8210" deska s rychlostí přehrávání 78 ot/min 73
Obr. 83 12" deska s rychlostí přehrávání 33 ot/min 74
Obr. 84 Vlevo magnetický prstenec na talíři gramofonu Sony-PS15, vpravo vyvedení řídícího signálu pro otáčení talíře 78
Obr. 85 Vlevo snímací čidlo polohy AMS 5311, vpravo pokus o polohování gramofonového talíře 78
Obr. 86 Schéma pohonu gramofonového talíře krokovým motorem s převodovkou 79
Obr. 87 Fotka krokového motoru Neocene 2T354238 s převodovkou 1:21 pro pootáčení talíře 80
Obr. 88 Princip fungování krokového motoru s mezikroky, zdroj [36] 80
Obr. 89 Schéma pohonu pro polohování průmyslové kamery 81
Obr. 90 Fotka krokového motoru Neocene 2T354238 s převodovkou 1:21 pro posuv průmyslové kamery 82
Obr. 91 Polohovací zařízení pro polohování na daný poloměr záznamu desky pro snímací kameru 83
Obr. 92 Princip fungování AMS 5311 s magnetickým páskem nebo prstencem, ze zdroje [28] 84
Obr. 93 Schematické znázornění umístnění AMS 5311 magnetického pásku nebo prstence 85
Obr. 94 Umístění senzoru AMS 5311 pro snímání polohy gramofonového talíře 85
Obr. 95 Umístnění podložky pro magnetický prstenec na spodní straně gramofonového talíře 86
Obr. 96 Umístnění senzoru AMS 5311 s magnetickým páskem pro snímání polohy průmyslové kamery 86
Obr. 97 Stůl pro držení kamery nad gramofonovou deskou 87
Obr. 98 Stůl pro držení kamery. Pevné spoje jsou označeny červeně. Zeleně jsou označeny spoje pro nastavení výšky nad talířem. Modře jsou označeny spoje pro nastavení polohy záznamového zařízení nad požadovaným poloměrem desky. 87
Obr. 99 Snímek celého polohovacího zařízení pro gramofonovou desku 88
Obr. 100 Vlevo osvícení drážky za pomocí bílých LED diod, vpravo polohování průmyslové kamery

s osvícením 5050 RGB LED. 88
Obr. 101 Snímek celého polohovacího zařízení pro gramofonovou desku 89
Obr. 102 Snímek celého polohovacího zařízení pro gramofonovou desku 89
Obr. 103 Schéma propojení jednotlivých komponent pro polohování talíře 91
Obr. 104 Vývojový diagram programu v Arduinu Uno pro polohování talíře 92
Obr. 105 Schéma zapojení jednotlivých komponent pro polohování kamery 95
Obr. 106 Vývojový diagram programu v Arduinu Uno pro polohování kamery 96
*Obr. 107 Vývojový diagram programu pro pořizování snímku drážky - Main (skutečný název *.m file je Main.m)* 97
*Obr. 108 Vývojový diagram programu pro pořizování snímku drážky - Focení drážky (skutečný název *.m file je Foceni.m)* 99
*Obr. 109 Vývojový diagram programu pro pořizování snímku drážky - Hledej pozici s nejlepší ostrosti snímku (skutečný název *.m file je HledaniNejOstrosti.m)* 100
*Obr. 110 Vývojový diagram programu pro focení drážky - Vyfoť drážku (skutečný název *.m file je Snimek.m)* 101
Obr. 111 Vývojový diagram programu v MATLABu pro skládání snímků k sobě - panorama_ver02_6 105
Obr. 112 Ukázka funkčnosti algoritmu napojování snímků pro první napojení 106
Obr. 113 Ukázka funkčnosti algoritmu napojování snímků vlevo pro 5-té napojení, pravo pro 25-té napojení. 107
Obr. 114 Vývojový diagram programu pro extrakci zvuku z drážky - Detekce_Hrany_Dazky.m 109
Obr. 115 Vývojový diagram programu pro zpracování dat drážky - Zpracovavani_Dat.m 110
Obr. 116 Načtený snímek pro extrakci zvukové stopy. 111
Obr. 117 Určení pozadí a popředí snímku v bloku "Určení pozadí a popředí scény podle histogramu" 112
Obr. 118 Odstranění segmentů v obraze menších jak 10x1024 pixelů v bloku "Odstranění nemších segmentů jak 10x1024 pixelů" 112
Obr. 119 Určení oblastí pro rozdělení jednotlivých drážek v bloku "Nalezení pozic jednotlivých drážek na snímku" 113
Obr. 120 Separace jednotlivých drážek v bloku "Separace srážek ze snímku" 114
Obr. 121 Detekce hran drážek pomocí detekce hrany (Sobel) v bloku "Detekce hran jednotlivých drážek" 114
Obr. 122 Dílčí proložení detekovaných hran drážek za pomocí polynomu bloku "Proložení jednotlivých hran drážek polynomem" 115
Obr. 123 Vstupní snímek s proloženou detekcí hrany drážek polynomem 116
Obr. 124 Složení jednotlivých drážek do audio stopy před normalizací a úpravou RIAA filtrem 116

Seznam zkratek

Westrex ..... Westrex System 45°/45° - stereofoní záznam

MC, CC..... Music Cassette, Compact Cassette - pásková kazeta

audio CD..... audio Compact Disc - zvukový kompaktní disk

audio DVD..... audio Digital Versatile Disc - zvukový kompaktní disk

PSD senzor..... Position Sensitive Detector - senzor intenzity polohy

DPI..... Dots per inch - počet bodů na palec

RIAA..... zkratka, která se používá pro označování záznamové a přehrávací charakteristiky, ale jedná se o organizaci "Recording Industry Association of America"

CCD ..... Charge Coupled Divice - obrazový snímač

SNR..... Signal to Noise Ration - odstup signálu od šumu

IRENE..... Image, Reconstruct, Erase Noise, Etc - snímácí zařízení gramofonového záznamu v USA

FF ..... Full Frame - kinofilmový rámeček

DOF ..... Depth Of Field - hloubka ostrosti

RES ..... Radial Error Signal - radiální chybový signál

FES..... Focus Error Signal - zaostřovací chybový signál

RAW ..... souborový formát pro fotografie

TIF ..... souborový formát pro fotografie

TCL skript..... Tool Command Language - skriptovací jazyk

LED..... Light Emitting Diode - luminiscenční dioda

PWM..... Pulse Width Modulation - pulzně šířková modulace

OLED..... Organic Light Emitting Diode - organická luminiscenční dioda

Seznam symbolů

v_d .....[m/s] drážková rychlost

π .....[−] konstanta

n .....[Hz] frekvence otáček desky

d .....[m] poloměr

λ .....[m] vlnová délka

u .....[−] harmonický signál

A, A_m .....[−] amplituda signálu, maximální amplituda

t.....[s] čas

φ.....[°] úhel posunu signálu

ω .....[rad/s] úhlová rychlost

v_z, v_{zmax}, v_{zef} ....[m/s] rychlost, maximální rychlost, efektivní rychlost

a, a_{max}, a_m .....[m/s^2] zrychlení, maximální zrychlení, maximální zrychlení výchylky drážky

v_{dm}.....[m/s] maximální drážková rychlost

f .....[Hz] frekvence, ohnisková vzdálenost

N .....[dB] relativní úroveň hladiny hlasitosti

C .....[−] clona

τ_1, τ_2, τ_3.....[s] časové konstanty

F .....[−] bod ohniska

x, y .....[m] vzdálenosti

CF.....[−] Corp Factor - zvětšující faktor ohniska pro daný typ snímače ve fotoaparátu

d .....[m] průměr clony

COF, c.....[m] Circle Of conFusion - kruh rozostření

M.....[−] zvětšení

p .....[−] konstanta objektivu

NA.....[−] Numerical Aperture - numerická apertura

α.....[−] poloviční úhel záběru

Γ.....[−] celkové zvětšení mikroskopu

Z .....[−] zvětšení objektivu nebo okuláru

Δ.....[m] délka tubusu mikroskopu

A, B, C .....[m] průměry hřídele, talíře

Úvod

Práce je zaměřená na bezkontaktní snímání gramofonového záznamu a detekci výrobních vad z výrobního procesu. Touto problematikou se zabýváme z několika důvodů. Hlavním důvodem je zvýšení jakosti výroby gramofonových desek. Dalším důvodem je nalezení vhodného postupu pro automatizovanou kontrolu výroby a vyřazení lidského faktoru z procesu kontroly.

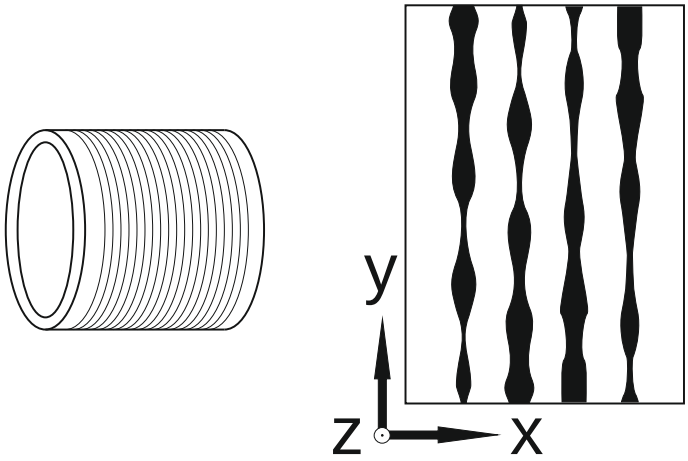
Práce je rozdělena na několik kapitol. První kapitola se zabývá seznámením s mechanickým záznamem na gramofonové desce. Druhá kapitola je rešerší na téma bezkontaktního optického snímání za pomoci laserového paprsku a řádkového/rastrového snímání. Třetí kapitola se zabývá teoretickým návrhem pro bezkontaktní snímání gramofonového záznamu a seznámením s dostupnými technickými zařízeními na trhu jako jsou laserové jednotky, skenery, fotoaparáty, mikroskopy a průmyslové kamery. Čtvrtá kapitola se zabývá realizací snímání záznamu za použití průmyslové kamery. Pátá kapitola popisuje fungování jednotlivých použitých algoritmů. V závěru práce jsou shrnuty výsledky pokusů o snímání gramofonového záznamu za použití průmyslové kamery.

1 Mechanický záznam

1.1 Druhy mechanického záznamu

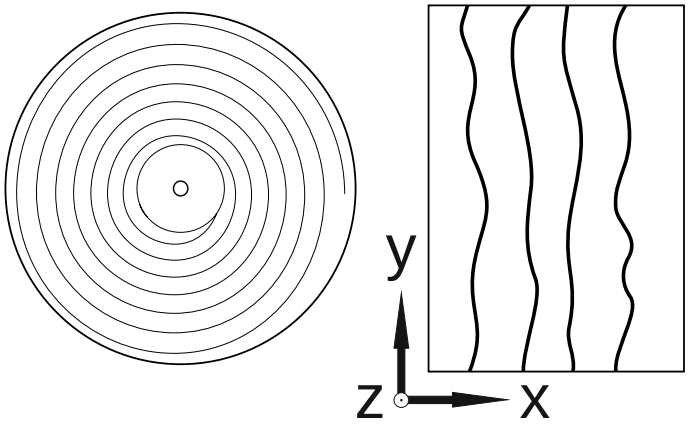
Amplituda zvuku byla dříve zaznamenávána na povrch voskového válečku, později na povrch gramofonové desky. Amplituda zvuku se na tyto povrchy zaznamenávala pomocí hloubkového nebo stranového záznamu **[1]**.

Hloubkový záznam tvoří drážka ve tvaru písmene V, jejíž hloubka se mění (v ose Z). Daná výchylka odpovídá amplitudě nahrávky.



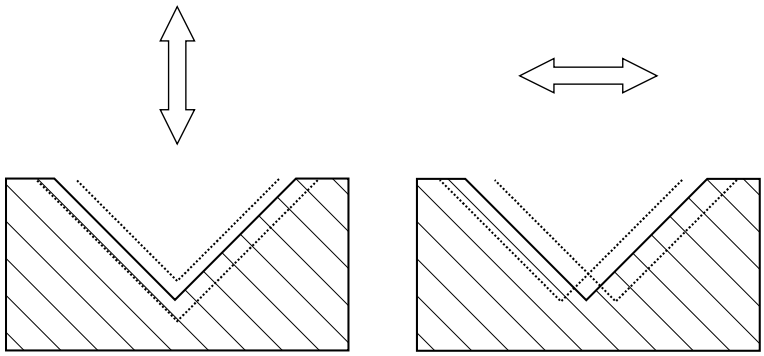
Obr. 1 Voskový váleček a znázornění hloubkového záznamu na povrchu

Stranový záznam tvoří drážka ve tvaru písmene V, jejíž poloha se mění do stran (v ose X). Daná výchlka odpovídá amplitudě nahrávky.

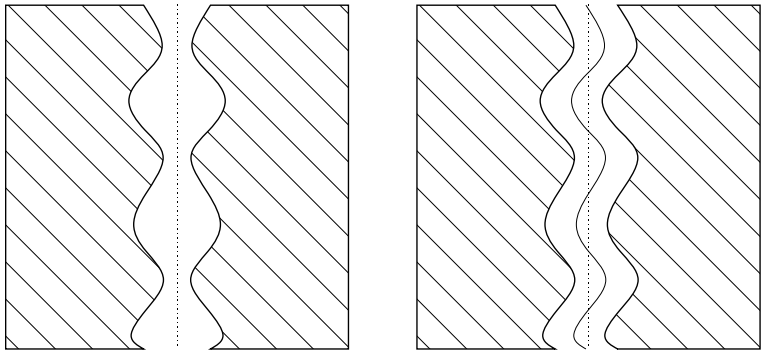


Obr. 2 Gramofonová deska a znázornění stranového záznamu na povrchu

Znázornění modulace signálu hloubkového nebo stranového záznamu v řezu a nadhledu.

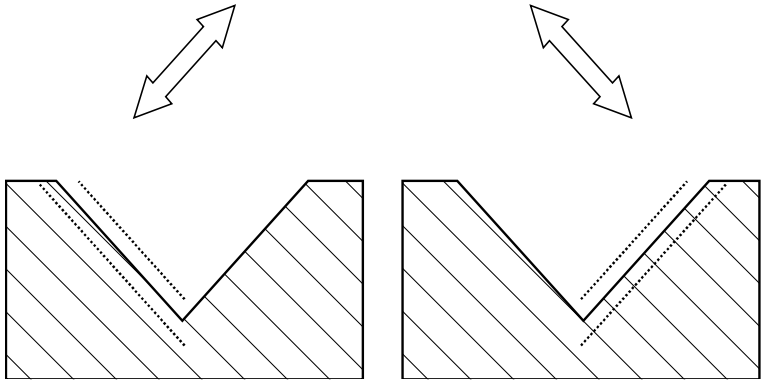


Obr. 3 Řez drážkou s modulací záznamu, vlevo hloubkový záznam a vpravo stranový záznam

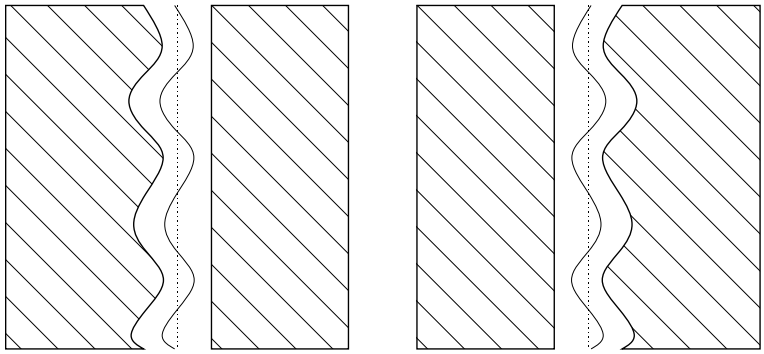


Obr. 4 Nadhled drážek s modulací, vlevo hloubkový záznam a vpravo stranový záznam

Stereofonní záznam je kombinací hloubkového a stranového záznamu. Levá stěna drážky nese informaci o amplitudě levého kanálu zvuku a pravá stěna drážky nese informaci o amplitudě pravého kanálu zvuku. Záznam je známý jako Systém Westrex 45/45.



Obr. 5 Řez drážkou stereofonního záznamu, vlevo modulace amplitudy na levou stěnu drážky pro levý kanál zvuku a vpravo modulace amplitudy na pravou stěnu drážky pro pravý kanál zvuku



Obr. 6 Nadhled drážky stereofonního záznamu, vlevo levý kanál a vpravo pravý kanál

1.2 Smluvní hodnoty záznamové rychlosti, zrychlení a amplitudy

Vývoj gramofonového záznamu vedl výrobce k dohodě o sjednocení smluvních hodnot záznamové rychlosti v_z, zrychlení a a amplitudy A kvůli mechanickým omezením. Maximální záznamovou rychlost, amplitudu a zrychlení určíme podle následujících vztahů:

$$v_d = \pi n d \; [m/s] \tag{1.1}$$

Kde v_d je drážková rychlost, *n* je frekvence otáček desky a *d* průměr příslušné drážky. Drážková rychlost se mění v závislosti na průměru přehrávané drážky. Pro 12" desku s přehrávací rychlostí 33-1/3 ot/min má vnější drážka $v_d = 0{,}509\, m/s$ a vnitřní drážka $v_d = 0{,}209\, m/s$. Na vnějším okraji desky tedy bude drážková rychlost větší než u středu desky. Toto má za následek změnu vlnové délky λ pro stejnou frekvenci:

$$\lambda = \frac{v_d}{f} [m] \tag{1.2}$$

kde f je frekvence signálu. Na vnějším okraji kmitočet 1 kHz bude mít $\lambda = 0{,}509\ mm$ a u středu desky bude $\lambda = 0{,}209\ mm$.

$$u = A\sin(\omega t + \varphi)\ [-] \tag{1.3}$$

$$v_z = \frac{du}{dt} = \omega A\cos(2\pi + \omega t + \varphi)\ [m/s] \tag{1.4}$$

$$v_{zm} = \omega A = 2\pi f A\ [m/s] \tag{1.5}$$

$$v_{zef} = \frac{2\pi f A}{\sqrt{2}} = 4{,}44 f A\ [m/s] \tag{1.6}$$

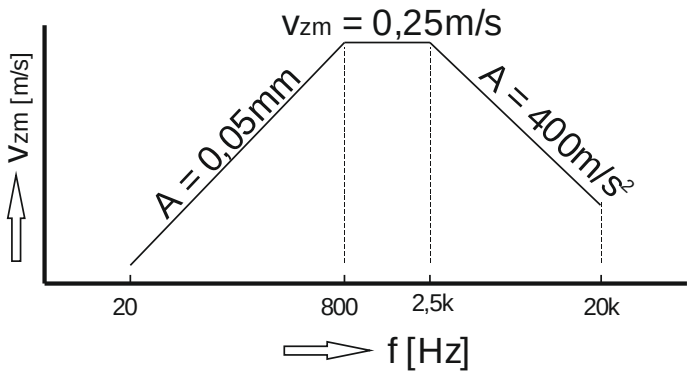
$$A = \frac{v_{zef}}{4{,}44 f}\ [m] \tag{1.7}$$

$$a = \frac{dv_z}{dt} = \omega^2 A\sin(\pi + \omega t + \varphi)\ [m/s^2] \tag{1.8}$$

$$a_m = \omega^2 A = 4\pi^2 f^2 A\ [m/s^2] \tag{1.9}$$

Kde u je harmonický signál a představuje okamžitou výchylku, A je amplituda signálu (1.3). Derivací rovnice (1.3) v čase dostaneme rychlost v_z , rovnice (1.4). V maximální amplitudě je rychlost nulová a v působíku s osou X (nulová poloha) je rychlost maximální. Maximální rychlost $v_{z\,m}$ je tedy pro $\varphi = 0$ a $\cos(\omega t) = 1$, rovnice (1.5). Efektivní hodnota $v_{z\,ef}$ je vyjádřena rovnicí (1.6). Velikost amplitudy A je dána rovnicí (1.7). Rovnice (1.8) představuje zrychlení a, maximální zrychlení a_m je pro $\varphi = 0$ a $\sin(\omega t) = 1$ rovnice (1.9).

Maximální velikost amplituty vychází z požadavku na maximální hrací dobu desky 22,5 minuty s konstantním stoupáním drážky. Maximální zrychlení vychází z požadavku na mechanické sledování nebo řezání drážky nožem ve vysokých frekvencích. Maximální záznamová rychlost byla stanovena jako polovina maximální drážkové rychlosti pro 12" desku se záznamem 33 ot/min.



Obr. 7 Smluvené hodnoty záznamové rychlosti, zrychlení a amplitudy

$$v_{zm} = \frac{v_{dm}}{2} = \frac{0{,}5}{2} = 0{,}25\ m/s$$

Kde v_{dm} je maximální drážková rychlost. Maximální amplituda byla stanovena na $A_m = 50\ \mu m$ a maximální zrychlení na $a_m = 400\ m/s^2$.

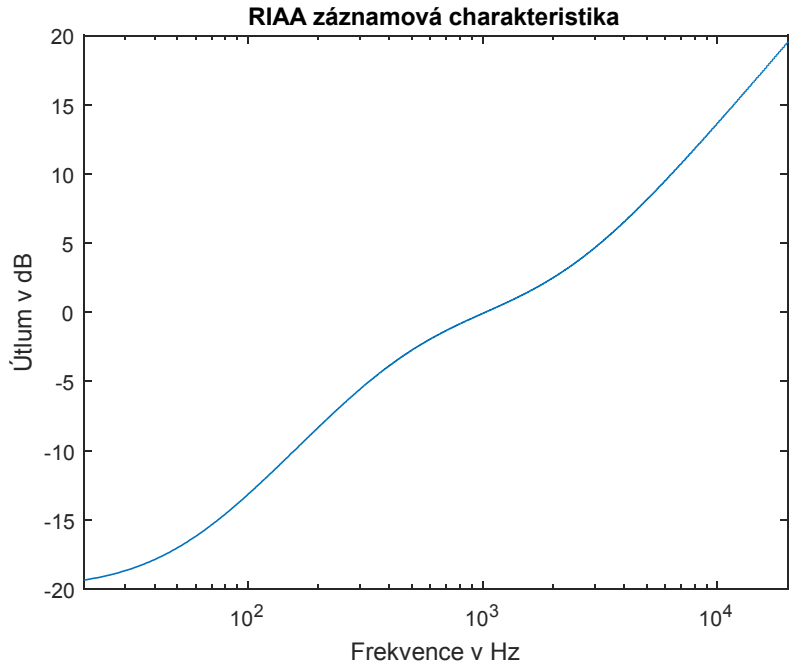
1.3 Záznamová a přehrávací charakteristika

Pokud porovnáme vzájemné velikosti amplitud v rozsahu od 20 Hz do 20 kHz při stejné záznamové rychlosti zjistíme, že poměr amplitud pro nejmenší a největší frekvenci by byl 1:1000. Toto by mělo za následek snížení hrací dobu desky a vyšší úroveň šumu ve vysokých frekvencích. Proto nemůžeme volit konstantní záznamovou rychlost, ale musíme záznamovou rychlost kmitočtově upravovat. Křivka, která předepisuje optimální kmitočtovou závislost je označována jako záznamová nebo přehrávací charakteristika.

Záznamová charakteristika:

$$N = 10\log(1 + 4\pi^2 f^2 \tau_1^2) - 10\log\left(1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 \tau_2^2}\right) + 10\log\left(1 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 \tau_3^2}\right) \text{[dB]} \qquad (1.10)$$

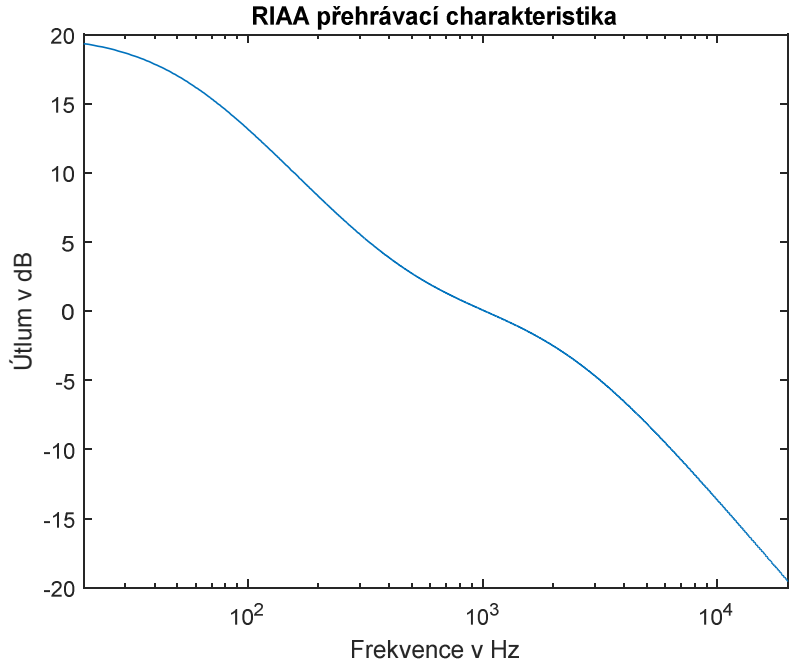
Kde N je relativní úroveň hladiny záznamu, f je frekvence signálu, $\tau_1 = 75 * 10^{-6}\ s$, $\tau_2 = 318 * 10^{-6}\ s$, $\tau_3 = 3180 * 10^{-6}\ s$ a $\tau_4 = 7950 * 10^{-6}\ s$ jsou časové konstanty.



Obr. 8 RIAA Záznamová charakteristika

Přehrávací charakteristika:

$$N = 10\log\left(1+\frac{1}{4\pi^2 f^2 \tau_2^2}\right) - 10\log(1+4\pi^2 f^2 \tau_1^2) - 10\log\left(1+\frac{1}{4\pi^2 f^2 \tau_3^2}\right)\text{[dB]} \qquad (1.11)$$

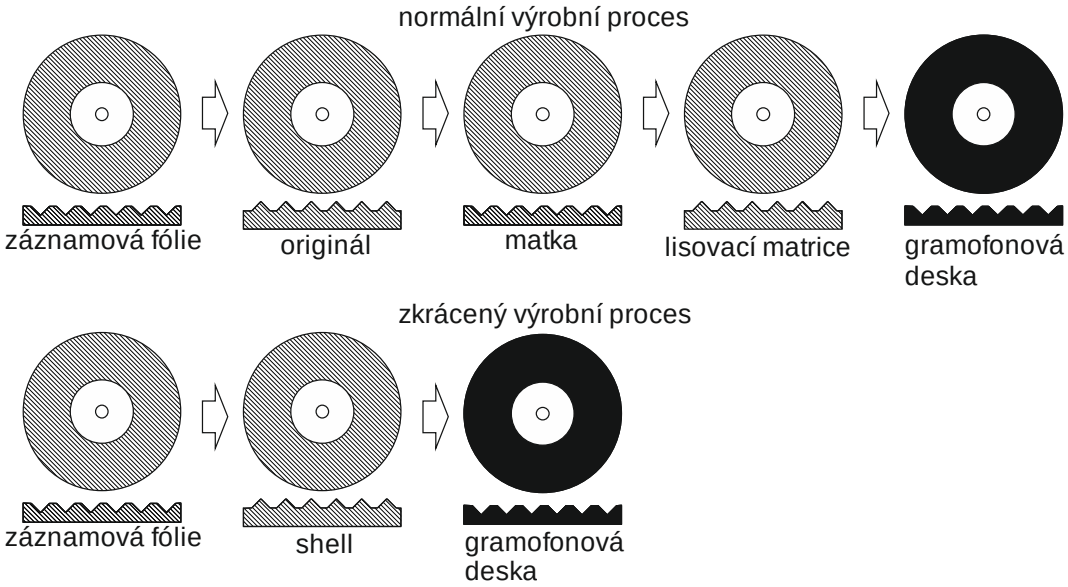


Obr. 9 RIAA Přehrávací charakteristika

Existovalo několik těchto charakteristik drobně se lišících od sebe, a to podle výrobců. V roce 1950 došlo ke sjednocení těchto charakteristik na charakteristiku známou jako RIAA charakteristika [**2]**. Další druhy přehrávacích charakteristik lze nalézt na webovém odkazu [**3]** kde se zabývají optimálním nastavením časových konstant pro předzesilovač.

1.4 Popis výroby gramofonové desky

Na začátku tohoto procesu je WAV soubor, CD a nebo magnetofonový záznam [**1]** a [**4**]. Podle charakteru záznamu se určí mechanické vlastnosti drážky, jako jsou například velikost drážky, rozestupy drážek, atd. Amplituda nahrávky se upraví pomocí záznamové charakteristiky a daný záznam se vyřeže pomocí DMM řezacího zařízení na kovový kruhový nosič. Ten má na povrchu tenkou vrstvu mědi do které se vyřezává drážka (záznam). Nosič je označován jako záznamová fólie (měděný originál). Na povrchu záznamové fólie nemusí být jen měď ale může tam být také lak, který se následně postříbří a po té galvanizuje. Záznamová fólie se pomocí galvanizace v niklových lázních rozmnožuje na další kopie. Tyto kopie jsou označovány jako originál (otec), matka a lisovací matrice. Vzor na lisovací matrici se lisuje do vinylu, který tvoří základní materiál gramofonové desky.



Obr. 10 Výroba gramofonové desky, převzato z [1]

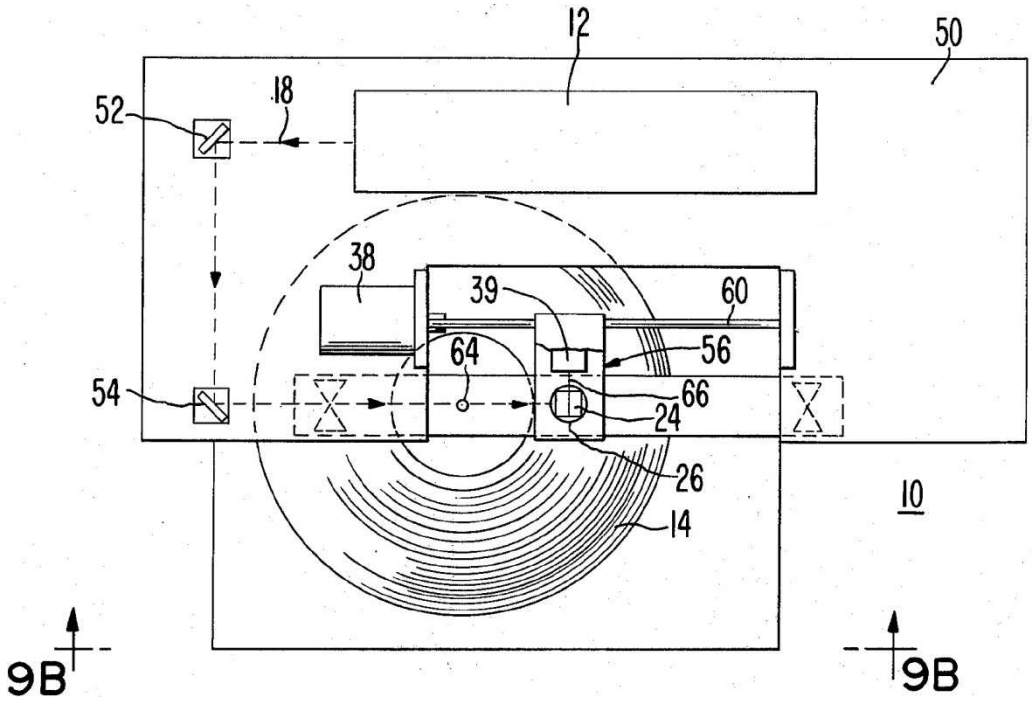
Záznamová folie (měděný originál), matka a gramofonová deska mají drážku vyřezanou v sobě - negativ. Originál (otec), lisovací matrice a shell mají zase drážku vystouplou z povrchu - pozitiv.

2 Rešerše bezkontaktního optického snímání

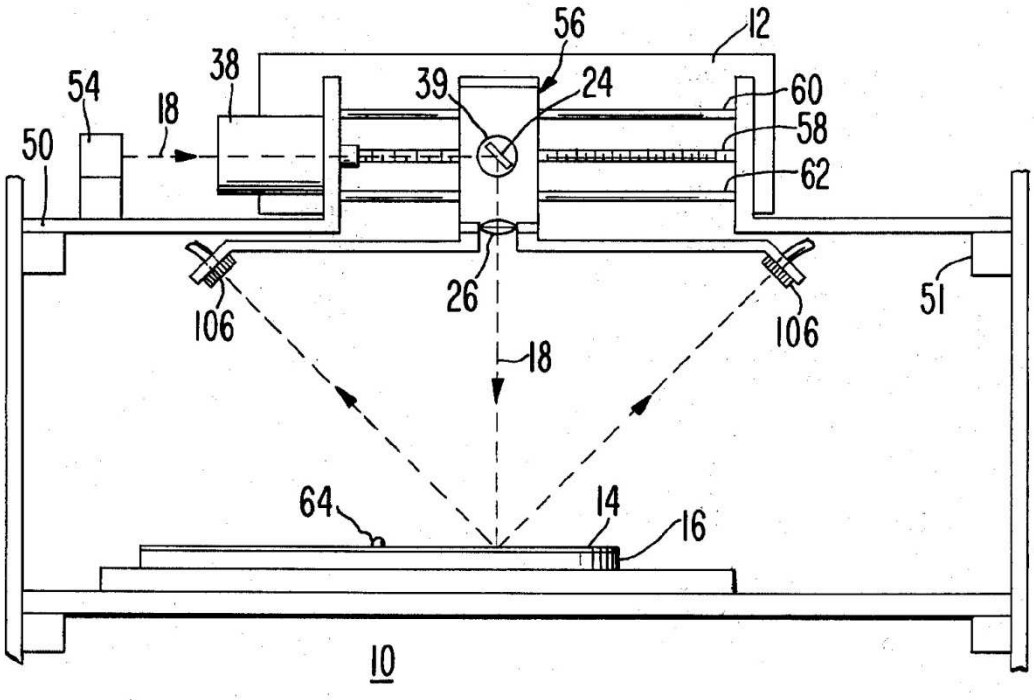
V této kapitole budou rozebrány existující práce zabývající se přehráváním gramofonového záznamu za pomocí laserového paprsku a snímáním řádkovým nebo rastrovým CCD snímačem.

2.1 Bezkontaktní snímání gramofonového záznamu pomocí laserového paprsku

Roku 1974 William K. Heina [**6]** podal patent na "laserový gramofon" pro přehrávání monofonních a stereofonních záznamů. Celek se skládá z 5 částí: zdroje paprsku, optické soustavy, pohonu pro sledování drážky a amplitudy záznamu, mechanické konstrukce a detekční jednotky pro difrakci (odraženého) paprsku. Zdrojem paprsku je laser, který prochází optickou soustavu tvořenou třemi zrcátky a jednou spojnou čočkou. Poslední zrcátko **24** (odkaz na *Obr. **11*** a *Obr. **12***) na cestě paprsku je připevněno na hřídel k servomotoru **39** a pomocí dvou detekčních fotodiod **90** a **92** sleduje amplitudu drážky. Servomotor je schopný vychýlit paprsek přibližně přes 6 až 8 drážek. Další motor **38** se stará o sledování spirály drážky, otáčí hřídelí se závitem **58**. Motor, který je řízený dvěmi fotodiodami **70** a **72**, pomalu přesouvá paprsek z okraje desky do středu desky. Spojná čočka **26** o průměru 1,5 mm s ohniskovou vzdálená 25 cm soustřeďuje paprsek do bodu o velikosti 1,3 násobku šířky drážky. Čočka je ve vzdálenosti 8-10 palců od desky. Přesah paprsku slouží ke sledování spirály drážky a amplitudy drážky. Dvě detekční difrakční jednotky **106** snímají odražený paprsek od drážky. Paprsek přenáší geometrické změny drážky na difrakční detektory, které mají tvar přesýpacích hodin. Střed detektoru je nulová hodnota, která odpovídá nemodulované drážce. Ze získaného elektrického signálu z detektoru se potlačí přeslechy a následně může být signál zesílen pro poslech.



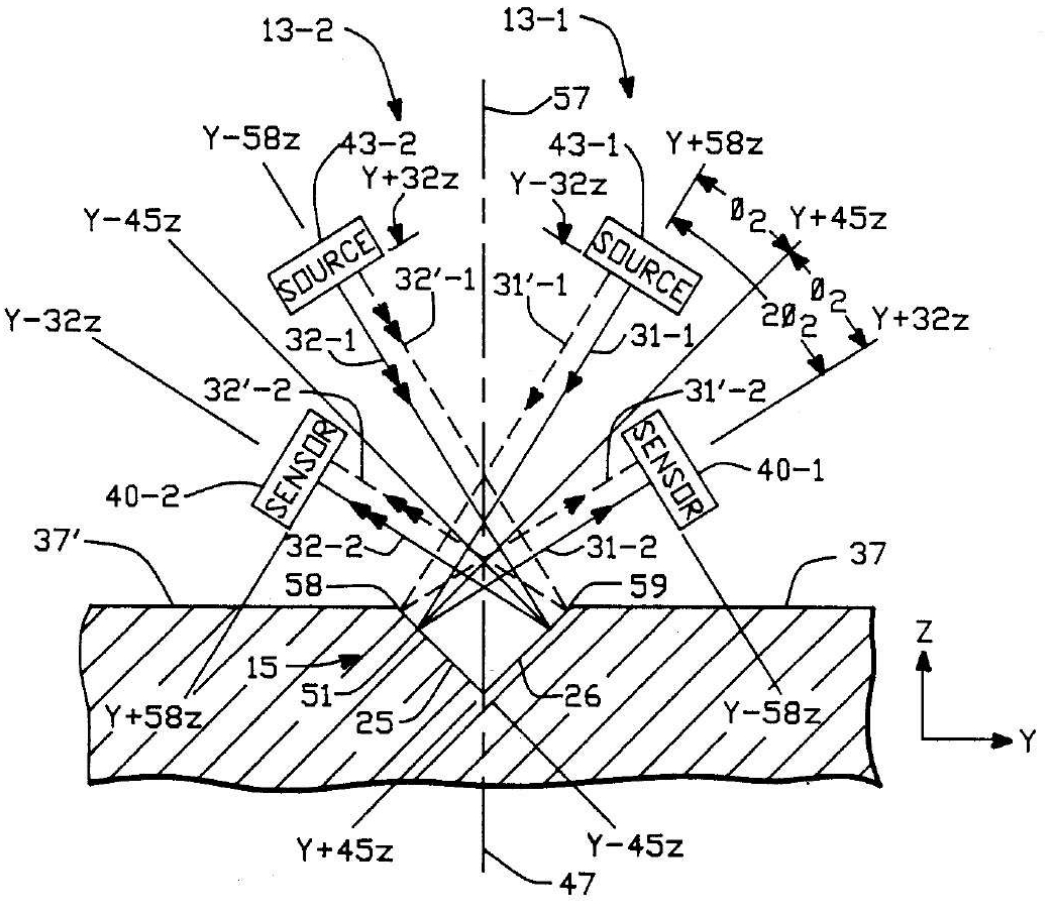
Obr. 11 "laserový gramofon" od W. K. Heine, ze zdroje [6]



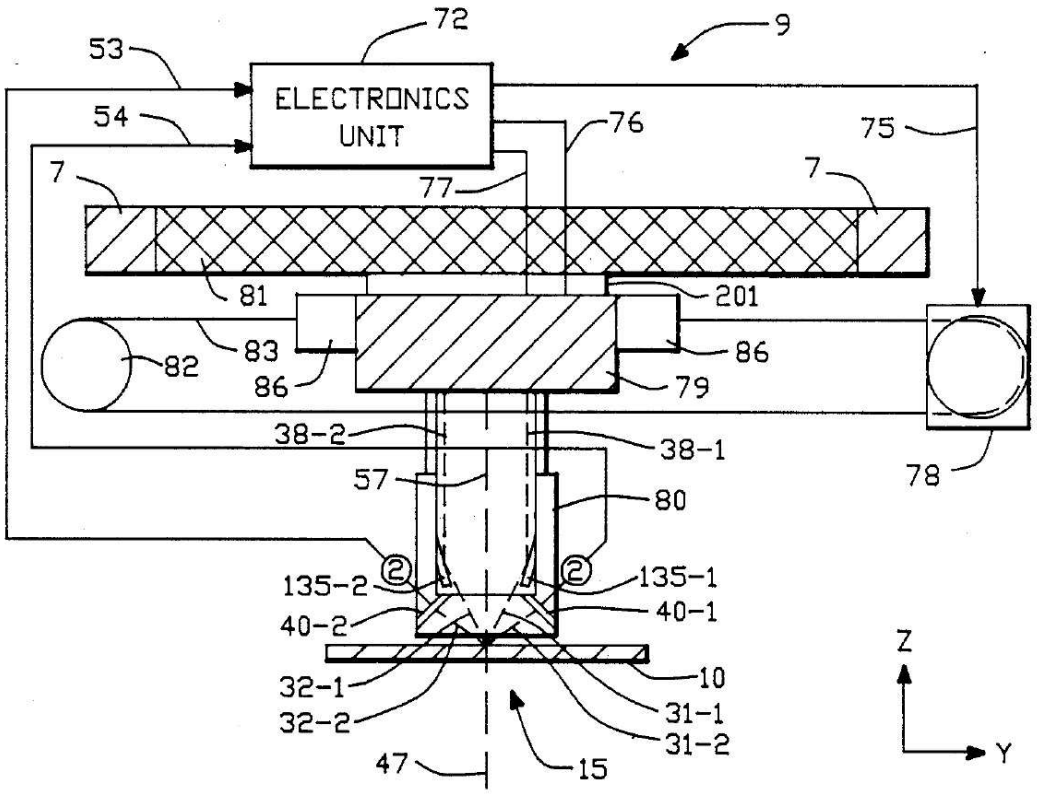
Obr. 12 "laserový gramofon" od W. K. Heine, ze zdroje [6]

Další patent z roku 1990 podali Robert E. Stoddard a Robert N. Stark [**7]**, jehož princip je využit v laserovém gramofonu od firmy ELP. Jejich patent funguje za pomoci dvou zdrojů laserů **43-1** a **43-2** (odkaz na *Obr. **13*** a *Obr. **14***). Paprsky dopadají pod úhlem 58 stupňů na stěny drážky **21**. Odražený paprsek pod úhlem 32 stupňů dopadá na PSD senzor **40-1** a **40-2**.

První zdroj laseru slouží ke sledování výšky senzoru od desky a ke sledování drážky. Tento zdroj generuje tři paprsky laseru. Dva paprsky **32´-1** sledují pravou a levou hranu **58** a **59** drážky pomocí intenzity odraženého paprsku. Třetí paprsek sleduje vzdálenost od povrchu desky. Druhý zdroj laseru se dělí na dva parsky **32-1** a slouží ke čtení audio signálu v drážce **25** a **26,** dále označované jako datový paprsek. Dopadají 5 µm pod hranu stěny drážky s rovinou desky. Tvar paprsku je eliptický o rozměrech 22 µm x 6 µm. Zdroje paprsku fungují v časovém multiplexu, buď svítí paprsek sledující drážku nebo datový paprsek. Pomocí krokového motoru **78** s řemenem **83** je posouvána hlava, která obsahuje zdroje paprsků, optickou soustavu a detektory. Krokový motor zajišťuje sledování šroubovice drážky. V optické soustavě jsou čtyři elektromagneticky vychylovaná zrcátka pro sledování výchylky drážky. Udržování konstantní výšky zajišťuje elektromagnetické vychylování hlavy v ose Z **85-1** a **85-2** zabudované v **79**. Tento způsob snímání firma ELP ještě dále vylepšila a dnes jako jediná firma na světě prodává laserový gramofon.

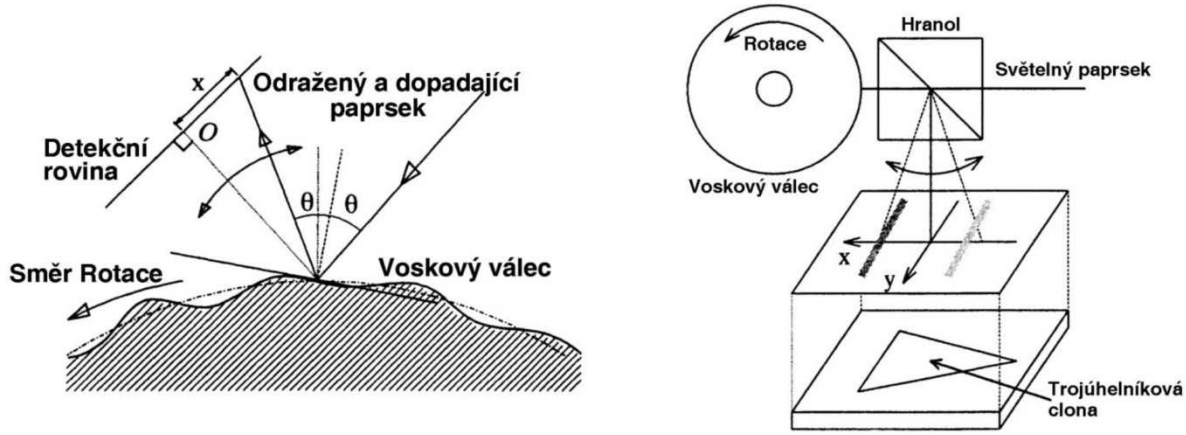


Obr. 13 Schematické znázornění umístnění zdrojů laserů a detektorů, ze zdroje [7]

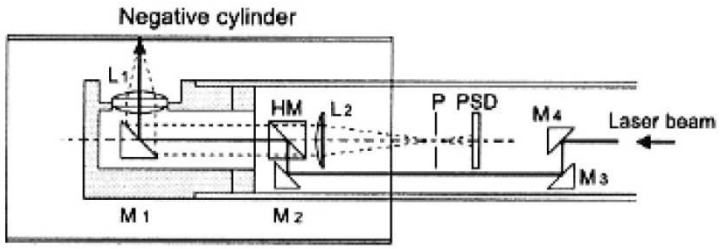


Obr. 14 Schematické znázornění laserové hlavy s posuvem a magnetickým vychylováním, ze zdroje [7]

Další práce T. Iwaineho z roku 1986 [**8**]. Za využití laseru He-Ne přehrával Edisonovy voskové válečky. AC motor otáčel voskovým válečkem rychlostí buď 144 nebo 160 ot/min. Na drážku svítil He-Ne laser, který se odrážel do SPD senzoru s trojúhelníkovou clonou. Senzor vyhodnocoval jestli odražený paprsek na detektoru stoupá nebo klesá z nulové polohy, která byla ve středu trojúhelníku. Toto zařízení potom vylepšili J. Uozumi a T. Asakura. Ti využili 2D PSD senzor s laserovým paprskem s vlnovou délkou 670 nm a DC motor pro otáčení voskového válce. Systém byl upravený tak, aby dokázal snímat i negativ záznamu. Mezi roky 2002 až 2006 vznikl projekt pro vývoj čtyř přenositelných laserových přehrávačů použitelných na archivaci voskových válečků [**9**].



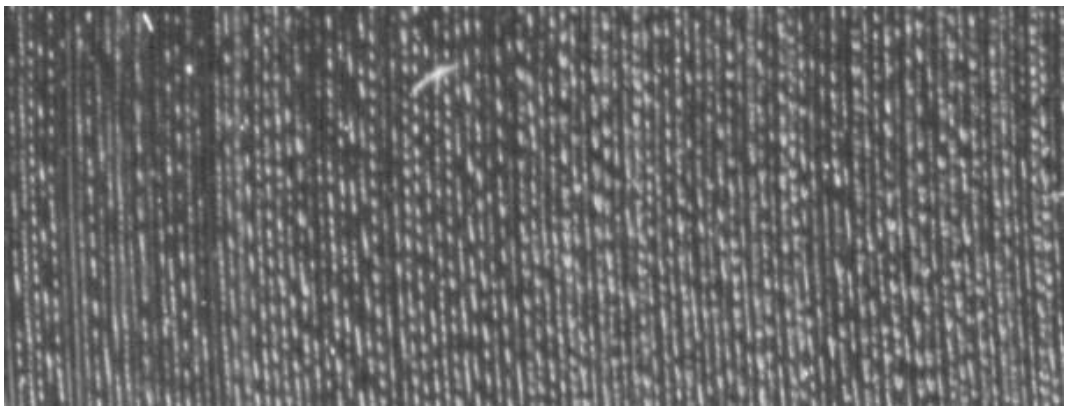
Obr. 15 T. Iwainův princip snímání Edisonových válečků, ze zdroje [8]



Obr. 16 J. Uozuminův a T. Asakuranův princip pro snímání negativů Edisonových válečků, ze zdroje [8]

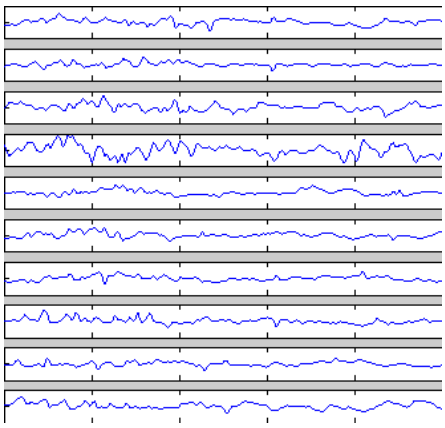
2.2 Bezkontaktní snímání gramofonového záznamu pomocí řádkového nebo rastrového CCD snímače

Olaf Spinger v roce 2002 [**10**] gramofonovou drážku skenoval a následně se drážku snažil přehrát za pomocí "virtuální jehly" na počítači. V této práci je velice hodně podstatných chyb a výsledný přehrávaný záznam je velice zkreslený. Autor bohužel nebyl seznámený s problematikou přehrávání gramofonového záznamu. Nevyužil RIAA přehrávací charakteristiku a vytvářel stereo složku rozdílem L a P kanálu. Parametry jím použitého skeneru se bohužel už nedají dohledat.



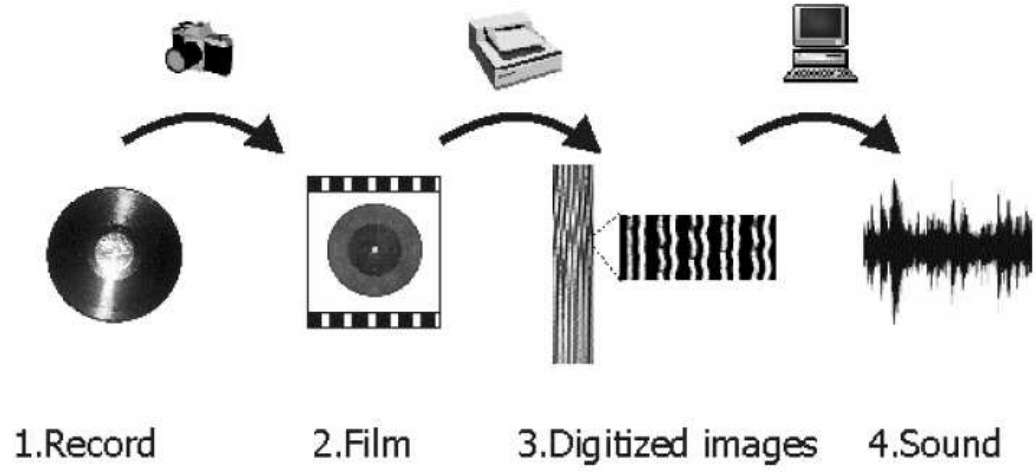
Obr. 17 Oskenovaná deska ze zdroje [10]

Další práce Marka McCanna a kolektiv [**11**] využívá skener Epson Expression 1640XL s optickým rozlišením 1600x3200 DPI. Deska se naskenuje po jednotlivých částech, detekuje se drážka, extrahuje se signál do wav stopy a následně se jednotlivé stopy spojí. Signál se filtruje přes RIAA přehrávací křivku. Doba zpracovávání dat je mezi 2 až 3 hodinami.



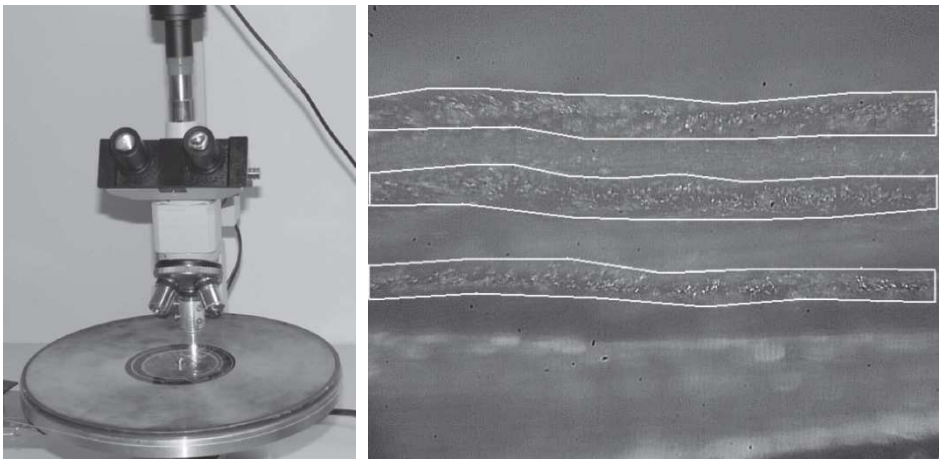
Obr. 18 Extraxe signálu z drážky, ze zdroje [11]

Sylvian Strotzer v roce 2006 [**12**] fotil gramofonovou desku na velkoformátovou fotografii s rozlišením 1000 bodů na 1mm. Fotografii následně uložil na skleněný gramofonový talíř a řádkovou kamerou s 2048 pixelovým CCD senzorem s objektivem s 10x násobným zvětšením snímal fotografii. Snímaný pruh na fotografii byl 5 mm široký. Použitá fotografie byla v negativu. Vzorkovací frekvence byla 24 kHz. Při přehrávání záznamu se šum začínal projevovat od 15 kHz. Pro přehrávání záznamu 33-1/3 ot/min dosahovalo SNR 40 dB a pro 78 ot/min bylo SNR 60 dB. Aparatura prošla několika vylepšeními a modernizacemi [**13**], [**14**] a [**15**], které přinesly lepší výsledky snímání záznamu.



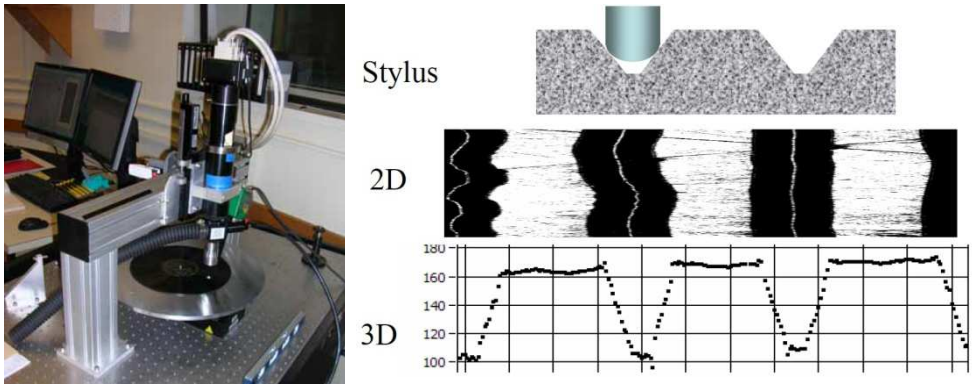
Obr. 19 Schematický postup snímání gramofonového záznamu ze zdroje [12]

Baozhong Tain vydal v roce 2007 publikaci [**16**], ve které se snažil drážku ze snímku rekonstruovat znovu do 3D struktury protože nejvíce informací o záznamu nahrávky se nachází ve stěně drážky. Snímal hrany a dno drážky. Při 400x násobném zvětšení je hloubka ostrosti snímku příliš malá na to, aby se mohla najednou zaostřit hrana i dno drážky. Přes půl objektivem snímané plochy byla umístněna skleněná deska. Síla desky byla spočítaná tak, aby na jedné polovině snímku byla fotografie zaostřená na dno drážky a na druhé polovině snímku na hranu drážky. Snímala se deska s 78 ot/min pomocí CCD rastrové kamery s rozlišením 1280x1024 pixelu při rychlosti snímání 12 obrázků za vteřinu s 24 bitovou hloubkou obrazu. Snímaná plocha byla 500x400 µm. 1 pixel představoval 0,39 µm. Z 6000 skupin po 36 obrázcích rekonstruoval 3D profil drážky, kterou následně převedl na signál.



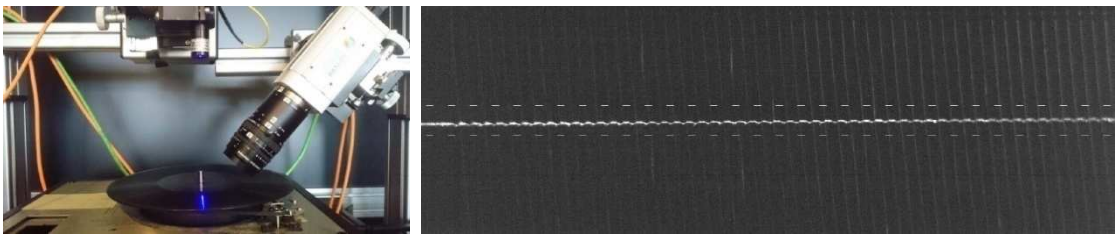
Obr. 20 Vlevo aparatura pro snímání drážky, vpravo snímek drážky se zaostřenými oblastmi pravé a levé hrany a dna drážky, ze zdroje [16]

Dalším snímacím zařízením je IRENA (Image, Reconstruct, Erase Noise, Etc.) [**17**]. Zařízení v Lawrence Berkeley National Lab. v USA slouží k archivaci historických gramofonových nahrávek. Ke snímání povrchu desky využívá řádkovou kameru s 4096 pixelovým senzorem a snímá pruh o šířce 4096 µm. Rychlost snímání je 5000 řádků za vteřinu. K IRENA patří 3D snímací prvek od Keyence, který využívají převážně pro snímání Edisonových voskových válečků. Doba snímání voskového válečku se pohybuje mezi 10-ti až 15-ti minutami. Na voskovém válečku je záznam o délce kolem 3 minut.



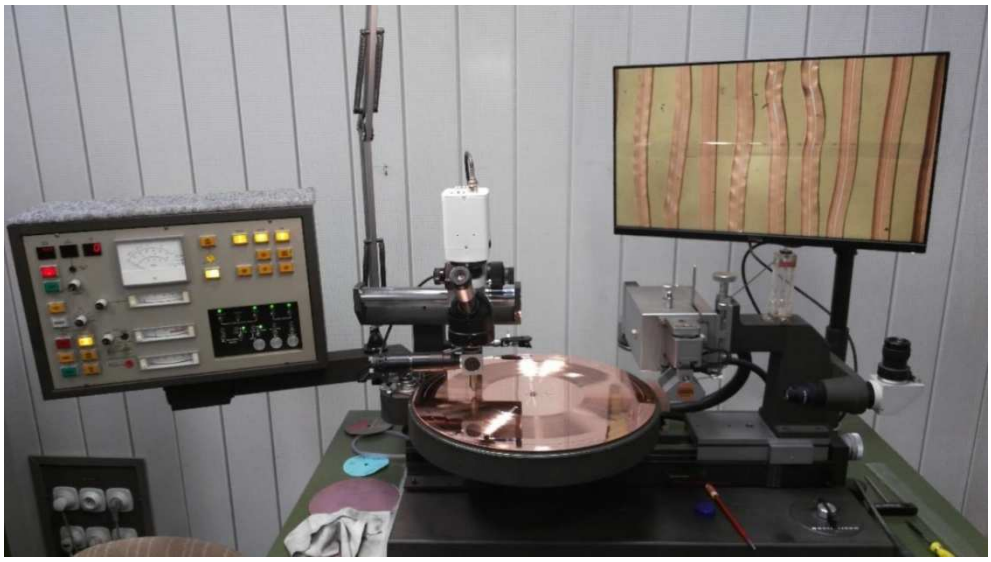
Obr. 21 Vlevo IRENA, vpravo snímání povrchu za pomocí přenosky, 2D - IRENA a 3D - Keyence senzor, ze zdroje [17]

Autor Kristofer Janukiewicz v roce 2016 [**18**] využil pro snímání drážky 3D kameru SICK Rander E50. Snímaný pruh byl široký 13,5 mm při rozlišení 1536 pixelů (přibližně 49 drážek pro 78 ot/min záznam). Snímaný pruh byl osvícen laserem o vlnové délce 450 nm. Ze získaných dat pomocí mediánového filtru odstranil šum (prach a špatně nasnímaná místa) a výškově srovnal pořízená data. Dále navázal jednotlivé drážky na sebe a extrahoval z drážky signál a následně získaný signál porovnával se záznamem přehrávaným na mobilním telefonu. Ve výsledné zvukové stopě je slyšet vysoká úroveň šumu a praskání. Autor chce v budoucnu přehrát takto 33 ot/min desku a zrychlit snímání (real-time přehrávání záznamu).

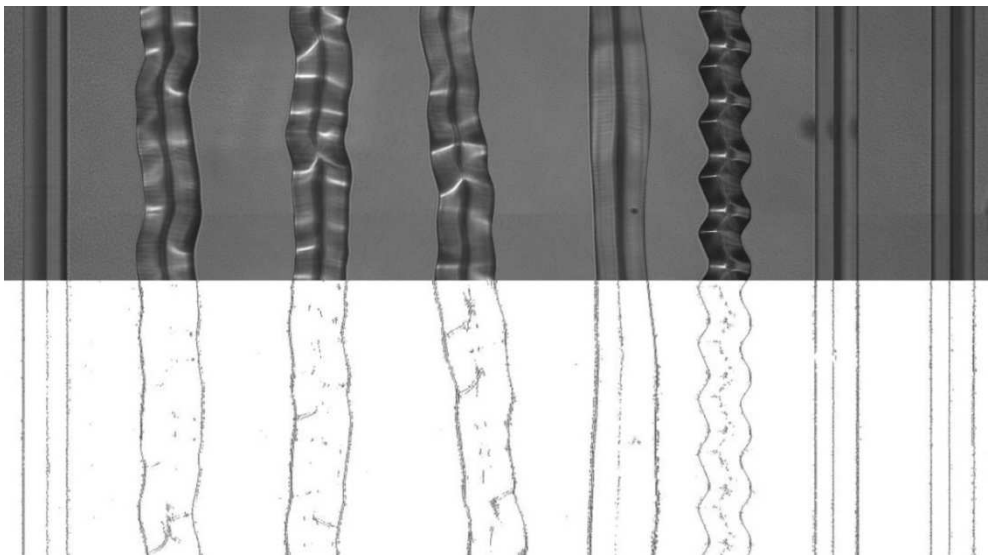


Obr. 22 Vlevo 3D kamera, vpravo snímaná drážka, ze zdroje [18]

Martin Mohla v roce 2017 [**4**] pomocí úpravy řezací DMM aparatury snímal gramofonovou drážku v GZ Media. Byl využit původní mikroskop pro kontrolu drážky, na který se přidala kamera se snímacím rozlišením 1920x1080 pixelů. Snímaná plocha byla 720x405 µm. Při snímání byl talíř otáčen pomocí přídavného krokového motoru. Drážka byla snímána do video sekvence. Při zpracovávání dat z video sekvence se vybíral každý šestý snímek, snímky se napojovaly a vznikla tak velká fotografie drážky na vnější straně desky. Na fotografii se detekovaly hrany a dno drážky. Z hran se extrahoval zvukový signál, který se následně podle přehrávací RIAA charakteristiky upravil a přehrál. Zvukový záznam je velice čistý.



Obr. 23 Úprava DMM řezací aparatury pro snímání drážky, ze zdroje [4]



Obr. 24 Snímaná drážka a detekce hran drážky, ze zdroje [4]

2.3 Souhrn poznatků z rešerše

Cesta využití laseru přináší tyto klady:

- Vyšší výdrž snímacího prvku (až 10 000 hodin) proti přenosce (100 až 200 přehrání)
- Přehrávání v reálném čase bez digitalizace signálu
- SNR až 60 dB při použití filtrace šumu a rušících elementů

Zápory nebo komplikace při využití laseru:

- Nejvhodnější místo pro sledování stěny drážky je 5 až 10 µm od hrany drážky
- Čím je svazek paprsku tenčí, aby mohl jemněji snímat povrch drážky, tím je více náchylnější na šum (nečistoty v drážce nebo mechanické poškození drážky). Roste komplexnost zpracovávání dat z drážky
- Složité sledování drážky
- Při využití laserového paprsku je problematické snímání barevných desek

Cesta využití řádkového nebo rastrového CCD snímače přináší tyto klady:

- Využití počítačového vidění, poškozená data lze snadno aproximovat, například nečistoty a mechanické poškození drážky
- Při použití řádkového CCD snímače se lze přiblížit k real-time zpracovávání dat
- Pro 3D rekonstrukci se raději pokusit využít FC metodu (Frankot and Challappa) [**19**], než využívat 3D kameru nebo Keyence snímače. FC metoda za pomocí tří definovaných směrů nasvícení objektu vytváří 3D profil snímaného objektu.

Zápory nebo komplikace při využití CCD snímače:

- Nelze bez digitalizace zpracovávat data (neexistuje analogová cesta reprodukce drážky)
- Kladen důraz na vlastnosti objektivu nebo mikroobjektivu (jako jsou například: zvětšení, hloubka ostrosti, ohnisková vzdálenost), rozlišení alespoň 1µm na pixel
- Náročné na paměťové místo pro uchovávání pořízených fotografií
- Většina zmíněných zařízení nejdříve snímá drážku a pak následně extrahuje signál z drážky
- Stabilizace ostrosti snímků, podklad není dokonale rovný

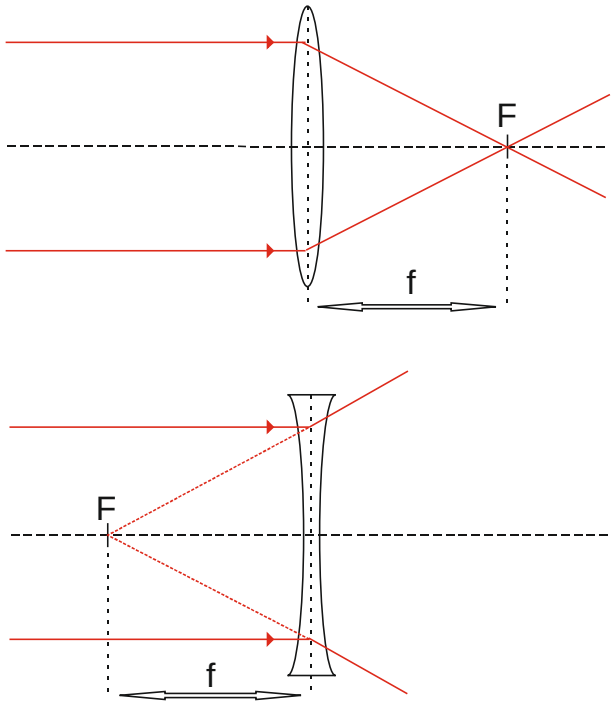
V kapitole se zmínilo několik prací zabývajících se bezkontaktním snímáním gramofonové desky za účelem přehrání záznamu a nebo rekonstrukce staré nahrávky pro archivaci. Cesta využití laseru na první pohled vypadá jako dobrá volba ale při realizaci přináší velké komplikace, které budou zmíněny na závěr další kapitoly. Při využití řádkového nebo rastrového CCD snímače je návrh pracoviště částečně jednodušší a lze využít počítačové zpracovávání obrazu, které je v této době velice často využíváno s průmyslovou kamerou.

3 Přehled snímacích zařízení na trhu

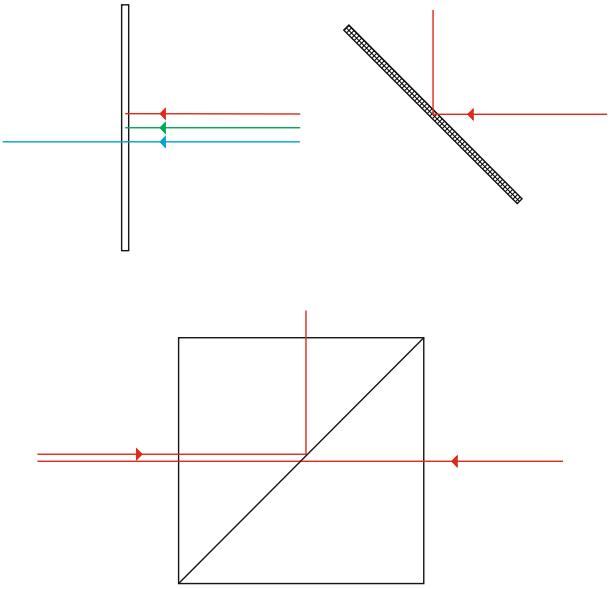
V této kapitole se seznámíme se snímacími zařízeními, která jsou vhodná pro bezkontaktní snímání gramofonové drážky. V první řadě se zaměříme na optiku (čočky a objektivy), protože potřebujeme buď laserový paprsek soustředit na drážku nebo potřebujeme drážku vyfotit s dostatečným detailem. Seznámíme se s principem fungování laserového snímání na CD mechanice. Dále se seznámíme se skenery, fotoaparáty, mikroskopy a i s řádkovým nebo rastrovým CCD snímačem. Nakonec se seznámíme s osvětlovací technikou pro nasvícení drážky.

3.1 Optika - čočky a objektivy

Základní prvky, které tvoří optickou soustavu jsou čočka, odrazové sklo, polopropustný hranol a filtr. Čočky se dále dělí na spojky a rozptylky. Vlastnosti čočky určuje ohniskový bod F, který se nachází v ohniskové vzdálenosti f od středu čočky.

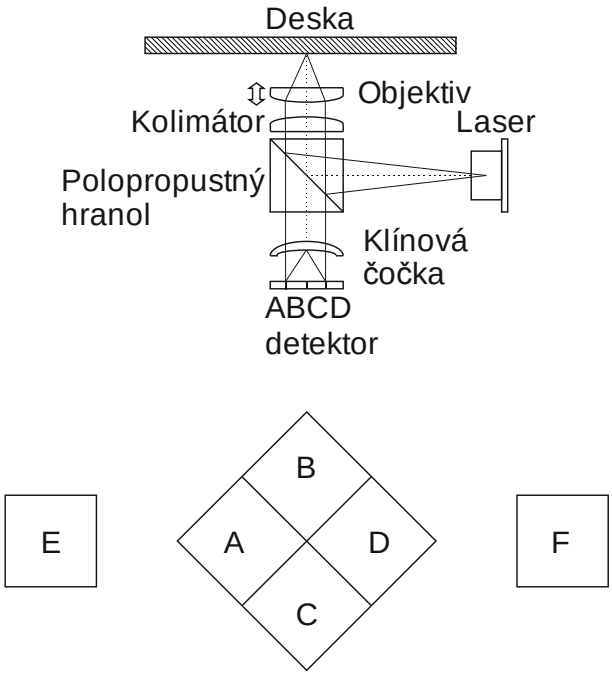


Obr. 25 Nahoře spojitá čočka, dole rozptylová čočka

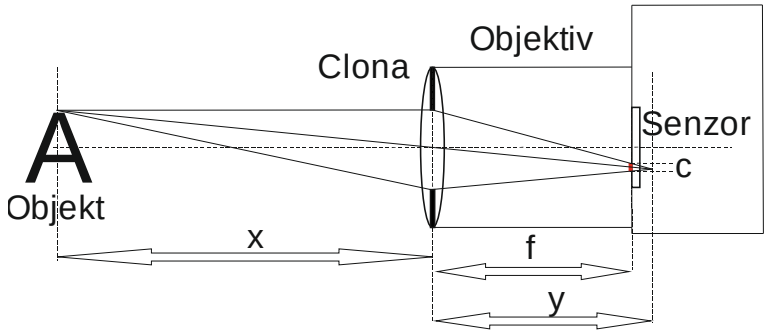


Obr. 26 Optický filtr, odrazové sklo a polopropustný hranol

Tyto prvky tvoří optickou soustavu, kterou musí projít paprsek než dopadne na detekční senzor. Optická soustava má několik důležitých parametrů, které určují její vlastnosti. Optická soustava je například objektiv u fotoaparátu, mikroskopu, průmyslové kamery nebo u laseru.



Obr. 27 Optická soustava v CD mechanice



Obr. 28 Optická soustava u fotoaparátu nebo průmyslové kamery

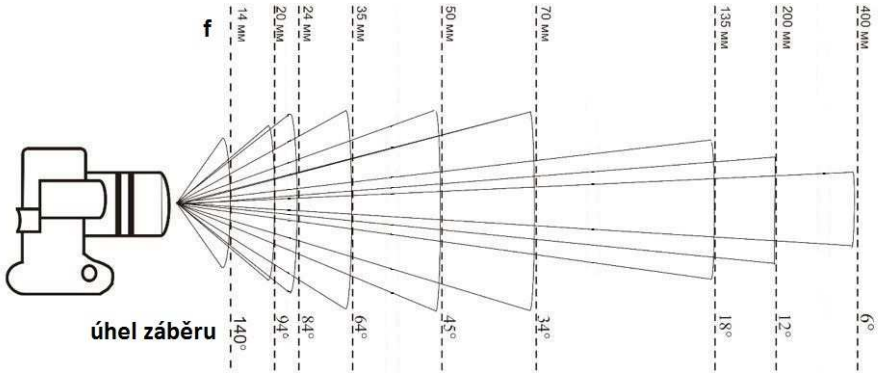
Parametry, které určují jakost optické soustavy (objektivu), kterou je například základní rovnice objektivu:

$$\frac{1}{x}+\frac{1}{y}=\frac{1}{f}\ [-] \tag{3.1}$$

Kde x je vzdálenost objektu od objektivu, y je vzdálenost průmětu obrazu na senzor, f je ohnisková vzdálenost a c kruh rozostření (pro *Obr.* ***28***).

Ohnisková vzdálenost f - je vzdálenost bodu do kterého jsou čočkou soustřeďovány všechny paprsky.

Úhel záběru - je oblast, kterou daný objektiv dokáže pokrýt a přenést na snímač.



Obr. 29 Úhel záběru v závislosti na ohniskové vzdálenosti

$$\text{úhel záběru} = arctg\frac{\text{úhlopříčka senzoru}}{2*f}\ [°] \tag{3.2}$$

$$úhlopříčka\ senzoru = \sqrt{výška\ senzoru^2 + šířka\ senzoru^2}\ [mm] \quad (3.3)$$

Velikost snímače - je aktivní plocha snímače, který snímá obraz. Full Frame (kinofilmové políčko) má velikost 36x24 mm a úhlopříčku 43,27 mm. S tímto se pojí pojem Crop Faktor, zkráceně CF, který má vliv na výslednou velikost ohniskové vzdálenosti f. CF = 1 platí pro kinofilmové políčko. Například snímač APS-C má rozměry 22,5x15 mm a CF = 1,6.

$$Crop\ Faktor = \frac{Velikost\ Full\ Frame\ snímače}{Velikost\ snímačk\ terý\ nás\ zajímá}\ [-] \quad (3.4)$$

$$výsledná\ ohnisková\ vzdálenost = Crop\ Factor\ snímače * f\ [mm] \quad (3.5)$$

Existuje několik druhů formátů snímačů, například pro fotoaparáty v poměru 3:2 a pro videokamery v poměru 4:3 nebo 5:4.

Tab. 1 Rozměry snímačů a Crop Factor

Senzor	Rozměry senzoru	Crop Factor	Kruh rozostření
Full Frame	36 x 24 mm	1	0,0295 mm
APS-C (Canon)	22,5 x 15 mm	1,6	0,0185 mm
kamera 1"	12,8 x 9,6 mm	-	-
kamera 1/2"	6,6 x 5,32 mm	-	-

Zoom - je maximální zvětšení objektivu, určí se poměrem maximálního ku minimálnímu ohnisku objektivu. Například objektiv, který má f=100 až 300 mm má zoom 3x, objektiv který má f=15 až 45 mm má také zoom 3x.

Clona C - je prvek, který reguluje/omezuje množství světla dopadajícího na snímač.

$$C = \frac{f}{d}\ [-] \quad (3.6)$$

kde f je ohnisková vzdálenost a d je průměr otvoru clony.

Minimální vzdálenost zaostření - uvádí výrobce k danému objektivu, jedná se o minimální vzdálenost s_{min} na kterou lze s objektivem zaostřit (zaručuje výrobce objektivu).

Kruh rozostření c (Circle Of conFusion zkráceně COF) - Dohodnutá definice:

- Fotografie o velikosti 8x12 palců (200x300 mm, přibližně A4)
- Pozorovací vzdálenost 38 cm
- Rozlišovací schopnost oka 0,25 mm

Vyfotíme ideální bod, fotografii vytiskneme na zmíněný formát 200x300 mm a budeme jí pozorovat ze vzdálenosti 38 cm. Pokud vyfocený bod (rozostřený bod) nebude větší jak 0,25 mm nebudeme tento bod na fotografii vnímat, protože velikost bodu je pod rozlišovací schopností oka, která je 0,25 mm. Kruh rozostření pro Full Frame (FF) je 0,0295 mm.

$$c\ pro\ FF = \frac{0{,}25\ mm}{8{,}5x} = 0{,}0295\ mm$$

Kde 0,25 mm je rozlišovací schopnost oka a číslo 8,5x udává, kolikrát je větší rozměr fotografie proti rozměru Full Frame snímače.

$$Zvětšení\ rozostření = \frac{velikost\ fotografie}{velikost\ snímače\ FF} = \frac{300\ mm}{36\ mm} = 8{,}33 \cong 8{,}5x$$

Hloubka ostrosti obrazu (Depth Of Field zkráceně DOF) - je ovlivňována ohniskovou vzdáleností, clonou a vzdáleností snímaného objektu od objektivu.

$$DOF = \frac{cC\left(1+\frac{M}{p}\right)}{M^2\left(\frac{1\pm cC}{fM}\right)}\ [mm] \tag{3.7}$$

kde c je kruhové rozostření, C je clonové číslo, M je zvětšení ($M = \frac{f}{s-f}$), f je aktuální ohnisková vzdálenost a $p = 1$ je konstanta objektivu (širokoúhlé objektivy mají $p > 1$).

Numerická apertura NA - udává se u objektivů pro mikroskopy, toto číslo udává účinnou světelnost objektivu.

$$NA = n * \sin(\alpha)\ [-] \tag{3.8}$$

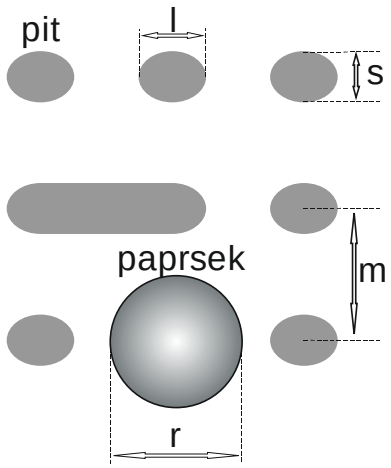
kde n je index lomu prostředí před objektivem (většinou vzduch $n = 1$) a $\sin(\alpha)$ je poloviční úhel záběru objektivu.

3.2 Snímací zařízení využívající laserový paprsek

V této podkapitole se seznámíme s CD laserovou jednotkou.

3.2.1 CD laserová jednotka

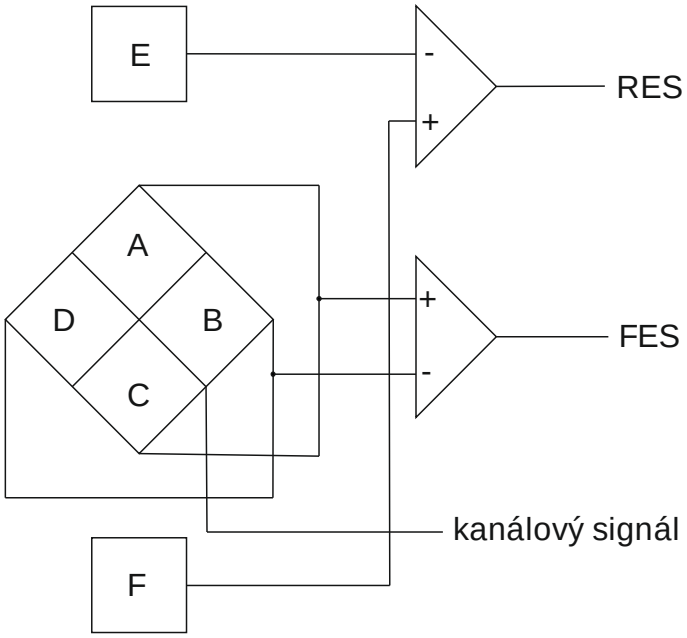
CD mechanika [**20**] má velice podobný princip snímání, jaký byl zmíněný v rešerši o snímání drážky za pomocí laserového paprsku. Na *Obr. **27*** je znázorněné zjednodušené schéma optické cesty paprsku. Pomocí detektorů A, B, C a D je systém schopný určit, jestli je paprsek zaostřený na povrch CD. Z těchto detektorů se generuje řídící signál pro ostření označovaný zkratkou $\mathrm{FES} = (\mathrm{A} + \mathrm{C}) - (\mathrm{B} + \mathrm{D})$. Z detektorů E a F se generuje řídící signál pro stranové navádění paprsku na stopu záznamu označovaný zkratkou $\mathrm{RES} = \mathrm{F} - \mathrm{E}$. Poslední kanálový signál $= \mathrm{A} + \mathrm{B} + \mathrm{C} + \mathrm{D}$ nese informace o pitech z CD.



Obr. 30 Rozměry pitů a laseru na povrchu CD a DVD

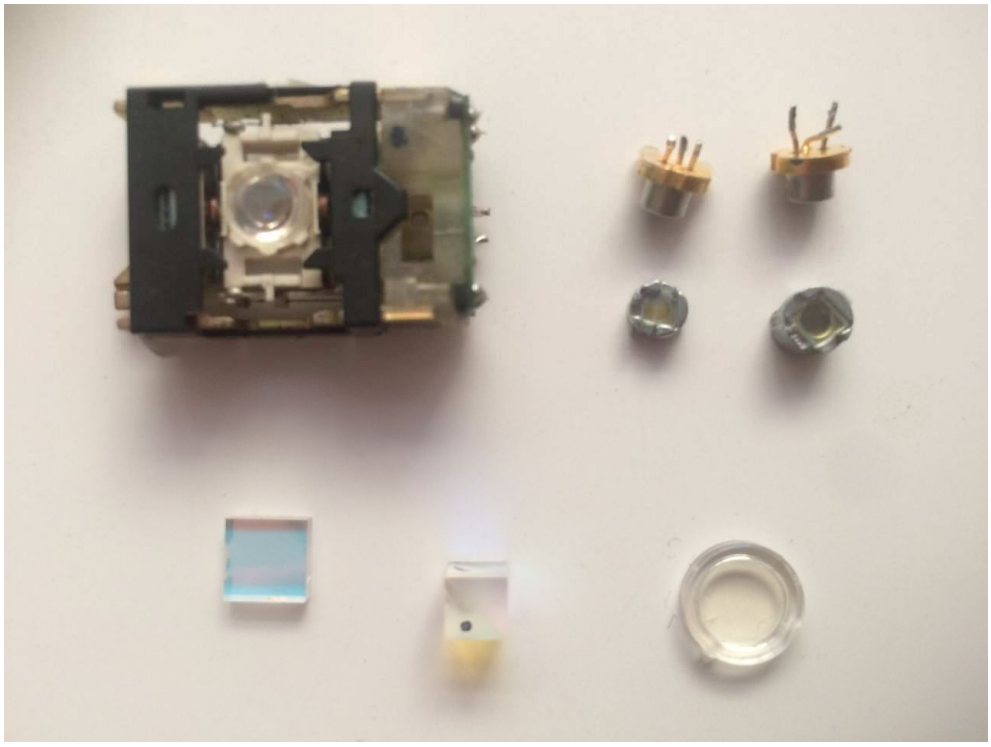
Tab.2 Rozměry pitů a laseru na povrchu CD a DVD

pit	CD	DVD
l - minimální délka pitu	800 nm	400 nm
s - šířka pitu	600 nm	320 nm
m - rozestup řad	1600 nm	740 nm
r - průměr paprsku	1600 nm	1100 nm
vlnová délka paprsku	780 nm	650 nm
rychlost snímání 1x	1,2 m/s	3,49 m/s



Obr. 31 Signály RES, FES a kanálový signál z detektorů A, B, C, D, E a F

Snímací jednotka snímá povrch CD ze vzdálenosti 2 až 3 mm, kde v rozsahu ±0,9 µm může pohybovat s objektivem pro zaostřování paprsku na povrch. Pro snímání gramofonové drážky by byla snímací jednotka umístněna těsně nad povrchem gramofonové desky (2 až 3 mm) a paprsek by musel dopadat kolmo na povrch desky. Paprsek by sledoval hranu drážky nebo dno drážky. Za pomoci řídícího signálu FES by se ostřil paprsek na povrch desky a za pomoci řídícího signálu RES by se snímala amplituda drážky. Kanálový signál by určoval intenzitu odraženého paprsku na detektor. Velikost intenzity odraženého paprsku by odpovídala úhlu naklonění snímané roviny.

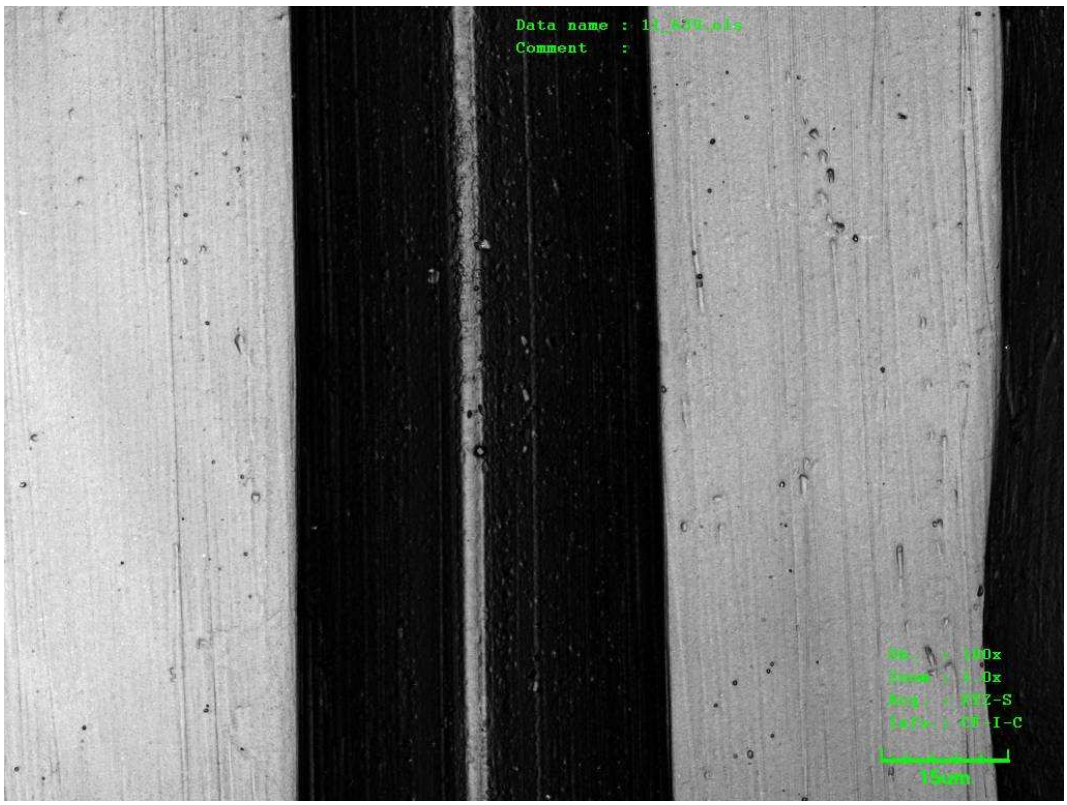


Obr. 32 Rozebraná CD laserová jednotka na jednotlivé komponenty

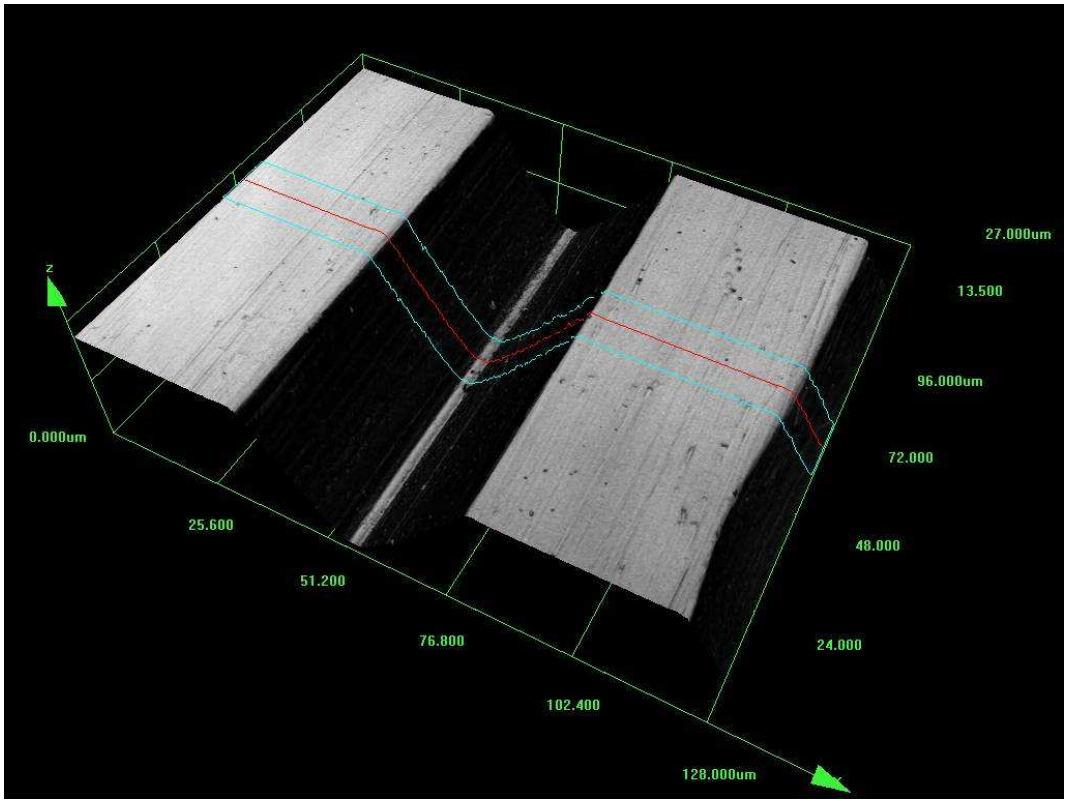
Cesta využití laseru přináší komplikaci při sledování a ostření drážky. Ostření laserových jednotek je průměrně v rozsahu ±0,9 µm ale povrch desky může kolísat v rozmezí ±0,75 mm. Kolísání desky bude více probráno v kapitole 4.1, kde se bude kapitola zabývat ostřením průmyslové kamery na drážku desky. Dále objektiv se může maximálně vychylovat do stran ±0,5 mm (v případě jednotky uvedené na *Obr. **32***). Maximální šířka snímaného pruhu je 1 mm, to je velice podobné snímané ploše při využití průmyslové kamery a mikroobjektivu 20x/0,4 (snímaná plocha 1,28x1,02 mm při rozlišení 1280x1024 pixelů, bude více probráno v kapitole 3.3.4 Průmyslové kamery). Dále se bude muset ověřit intenzita odraženého paprsku zda bude intenzita pro snímací senzor dostatečná pro další vyhodnocování řídících signálů RES a FES.

3.2.2 Snímky drážky z fokálního mikroskopu

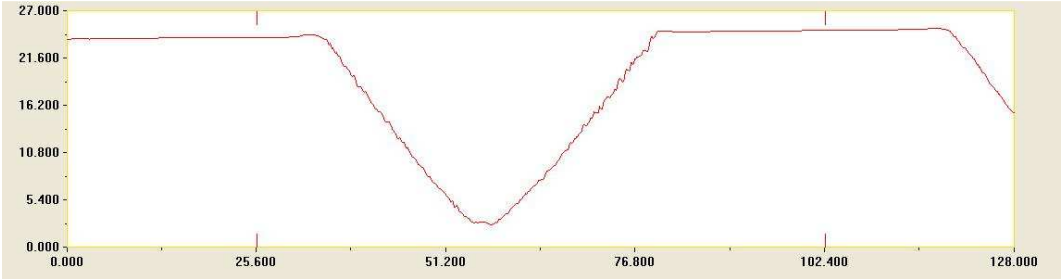
Pohled na gramofonovou drážku přes fokální mikroskop. Na obrázcích je znázorněna tichá drážka. Jedná se o drážku, kde není žádný modulovaný signál. Na první sérii třech obrázků níže je vidět správně vyřezaná tichá drážka.



Obr. 33 Snímek gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - bez výrobní vady

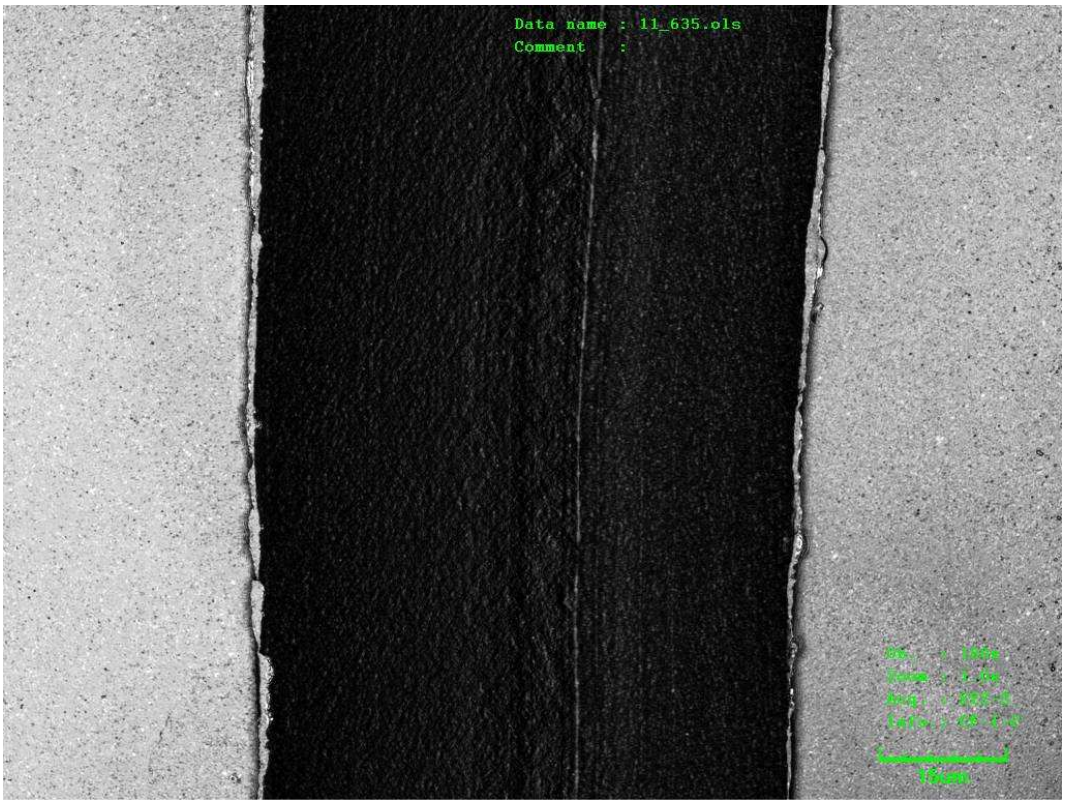


Obr. 34 Snímek gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - bez výrobní vady

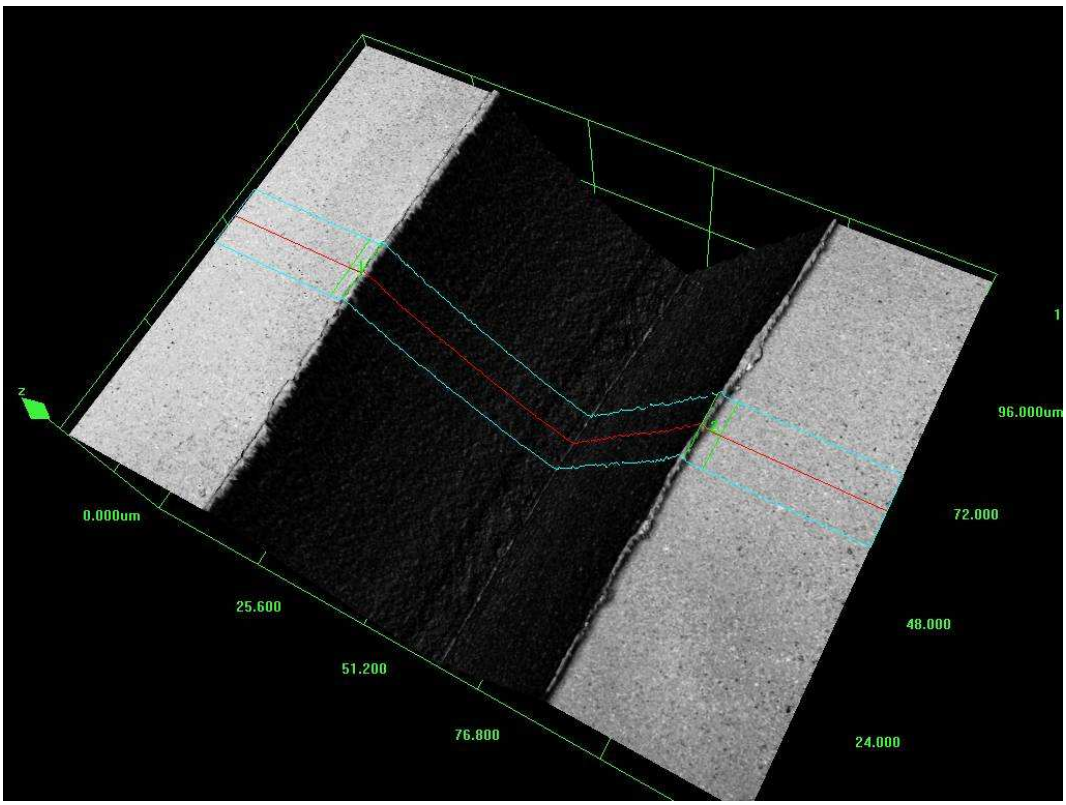


Obr. 35Profil gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - bez výrobní vady

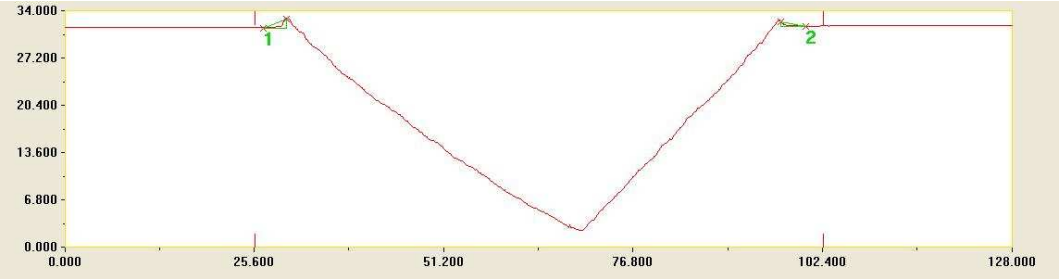
V druhé sérii třech obrázků níže je znázorněna špatně vyřezaná tichá drážka. Drážka není symetrické V a na hranách s rovinou (oblasti 1 a 2 na obrázcích) je vidět převis, který se při dotyku (ruky nebo obalu) odtrhává a způsobuje šmouhy na povrchu desky. Negativně esteticky toto působí na zákazníka. Je to způsobeno opotřebovaným řezacím nožem.



Obr. 36 Snímek gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - s výrobní vadou



Obr. 37 Snímek gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - s výrobní vadou



Obr. 38 Profil gramofonové drážky z fokálního mikroskopu - s výrobní vadou

3.3 Snímací zařízení využívající řádkového nebo rastrového CCD snímače

Tato podkapitola se zabývá snímacími zařízenými jako je skener, digitální fotoaparát, digitální mikroskop a průmyslová kamera.

3.3.1 Skener

Na začátku druhé části rešerše zabývající se použitím CCD snímače byl zmíněn skener [**10**]. Autor v této práci použil kancelářský skener, ale na trhu jsou dostupné skenery s vyšším DPI jako jsou například skenery určené pro skenování diapozitivů. Optické rozlišení těchto skenerů se pohybuje v rozmezí 1200 až 7200 DPI. Například skener OpticFilm120 [**22**].

Technické parametry skeneru OpticFilm120:

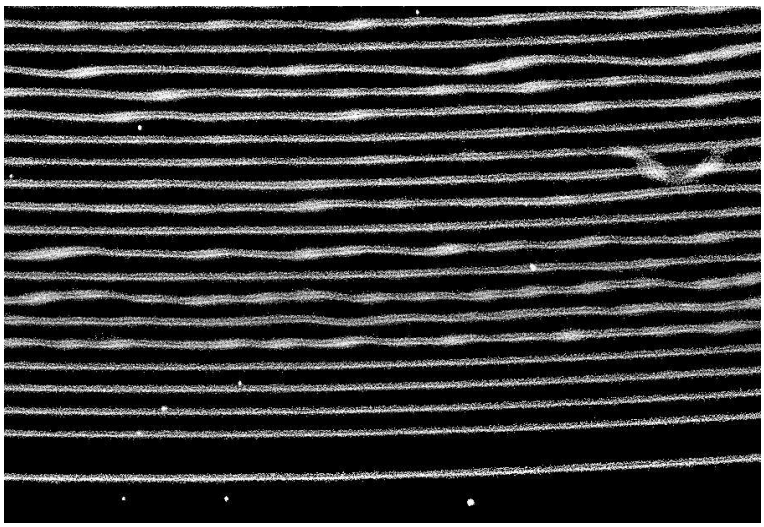
Optické rozlišení senzoru	7200 DPI
Rozlišeni s interpolací	10500 DPI
Bitová hloubka snímku	48-bit barevné a 16-bit černobílé snímky

Rozlišení 7200 DPI odpovídá 7200 bodů na palec (25,4mm). 1 Pixel odpovídá 3,5 µm. Jak bylo zmíněno výše, potřebuji aby jeden pixel odpovídal alespoň 1µm. Tedy DPI by muselo být 25400. Skener na diapozitivy není stále vhodné zařízení pro snímání gramofonové desky.

$$Velikost\ pixelu = \frac{25{,}4\ mm}{7200\ bodů} = 3{,}527\ \mu m \tag{3.9}$$

Pro znázornění sejmutí povrchu gramofonové desky byl využit skener MP560 o optickém rozlišení 2400 DPI. Na *Obr. **39*** níže je vidět, že snímek není vhodný pro další zpracovávání (málo detailní amplituda drážky a velký šum). Snímek byl pořízený z 78 ot/min desky, která byla vložená na skener podobně jako papír. Při nastavení rozhraní skeneru na:

Nastavení obrazu	Automatické
Zaostření s maskou	zapnuto
Funkce Descreen	vypnuto
Zeslabení prachu a škrábanců	žádné
Oprava zrnitosti	žádné
Oprava podsvícení	vysoké
Oprava stínu podél vazby	žádné



Obr. 39 Snímek drážky pořízený na skeneru MP560

3.3.2 Digitální fotoaparát

Dalším zařízením je digitální fotoaparát s makroobjektivem a mezikružím. Na pokus byl použit digitální fotoaparát Nikon D7100 [**23**] s objektivem Nikon 85 mm f/3,5 AF-S G DX Micro VR a mezikruží 12/20/36 mm Tubes od výrobce Kenko. Digitální fotoaparát má snímač formátu APS-C (rozměry 22,5x16 mm) Corp Factor je 1,6 , jak bylo zmíněno v kapitole 3.1. Tedy skutečná ohnisková vzdálenost objektivu je $f = 85\ mm * 1{,}6 = 136\ mm$.

$$Úhel\ záběru\ pro\ úhlopříčku = \ arctg \frac{úhlopříčka\ APS-C}{2 * f_{skutečná}} = arctg \frac{27{,}6088}{2*135} = 5{,}7858°$$

Úhel záběru snímku na délku je 4,72° a na šířku je 3,36°. Minimální zaostřovací vzdálenost udávaná výrobcem je 275 mm. Snímaná plocha bude tedy podle rovnice (3.2):

$$úhlopříčka\ sním.plochy = zaostřovací\ vzdálenost * \frac{\sin(úhel\ záběru)}{\sin(90° - úhel\ záběru)}\ [mm]$$

$$úhlopříčka\ snímané\ plochy = 275\ mm * \frac{\sin(5{,}7858°)}{\sin(90° - 5{,}7858°)} = 27{,}9133\ mm$$

Vypočítaná velikost snímané plochy je 22,74x16,17mm, pro snímací rozlišení 6000x4000 pixelů představuje 1 pixel velikost 3,79 µm. Experimentálně ověřená snímaná plocha tímto fotoaparátem je 22,8x15,2 mm a vzdálenost 1 mm představuje 263 pixelů. Jeden pixel má velikost 3,8 µm.

Za použití mezikruží zvětšíme ohniskovou vzdálenost a zmenšíme minimální zaostřovací vzdálenost:

$$f\ s\ mezikružím = fobjektivu + mezikruží\ [mm]$$

$$f\ s\ mezikružím = 85\ mm + (12 + 20 + 36)\ mm = 153\ mm$$

$$f\ s\ Corp\ Faktorem = 153\ mm * 1{,}6 = 244{,}8\ mm$$

$$úhel\ záběru = arctg\frac{27{,}6088\ mm}{2*244{,}8\ mm} = 3{,}2275°$$

Úhel záběru snímku na dálku je 2,63° a na šířku 1,87°. Dále ze základní rovnice objektivu (3.1) určíme průmět obrazu na senzor:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}$$

kde je x minimální zaostřovací vzdálenost (275 mm), y průmět obrazu na senzor a f ohnisková vzdálenost objektivu (85x1,6 = 136 mm). Tedy y je:

$$y = \frac{f*x}{x-f}\ [mm]$$

$$y = \frac{275*136}{275-136} = 269{,}0647\ mm$$

Průmět obrazu na senzor je ve vzdálenosti 269 mm při použití makroobjekltivu s 85 mm ohniskem. Přidáním mezikruží k objektivu se změní ohnisková vzdálenost na 153 mm. Tedy musí se změnit i průmětová vzdálenost. Vycházíme z přepokladu, že se průmětová vzdálenost změní o stejný poměr jako ohnisková vzdálenost.

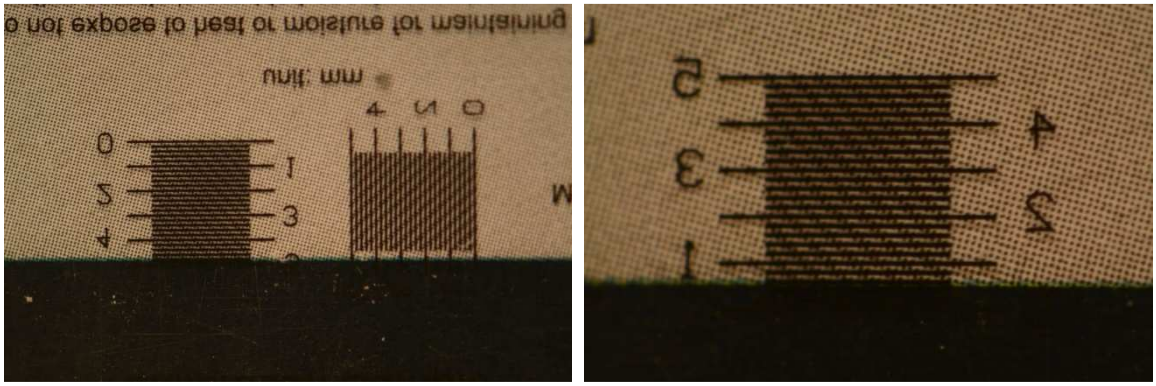
$$zvětšení\ ohniskové\ vzdálenosti = \frac{153\ mm}{85\ mm} = \frac{244{,}8\ \text{mm}}{136\ \text{mm}} = 1{,}8\ x$$

$$min.\ vzdálenost = \frac{f*y*1{,}8}{1{,}8*y-f} = \frac{244{,}8*269{,}06*1{,}8}{1{,}8*269{,}06-244{,}8} = 223{,}65\ mm$$

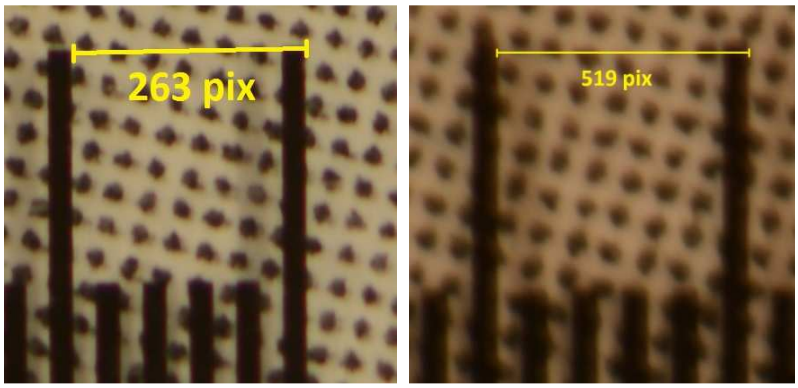
$$úhlopříčka\ snímané\ plochy = 223{,}65\ mm * \frac{\sin(3{,}2275°)}{\sin(90°-3{,}2275°)} = 12{,}61\ mm$$

Vypočítaná snímaná plocha je 10,27x7,30 mm a jeden pixel představuje 1,71 µm. Experimentálně ověřená velikost snímané plochy je 11,52x7,68 mm a vzdálenost 1 mm tvoří 519 pixelů, tedy 1 pixel představuje 1,92 µm. Minimální zaostřovací vzdálenost byla změřena 75 mm. Vysvětlení rozdílné naměřené (75 mm) a vypočítané (223,65 mm) minimální hodnoty zaostření je, že skutečný průmět obrazu na senzor je jiný než byl teoreticky přepokládaný při použití mezikruží.

Níže jsou uvedeny pořízené fotografie drážky a ověření focené plochy za pomocí kalibračního měřidla.



Obr. 40 Focení kalibračního měřidla vlevo pouze s makroobjektivem a vpravo za použití s mezikružím

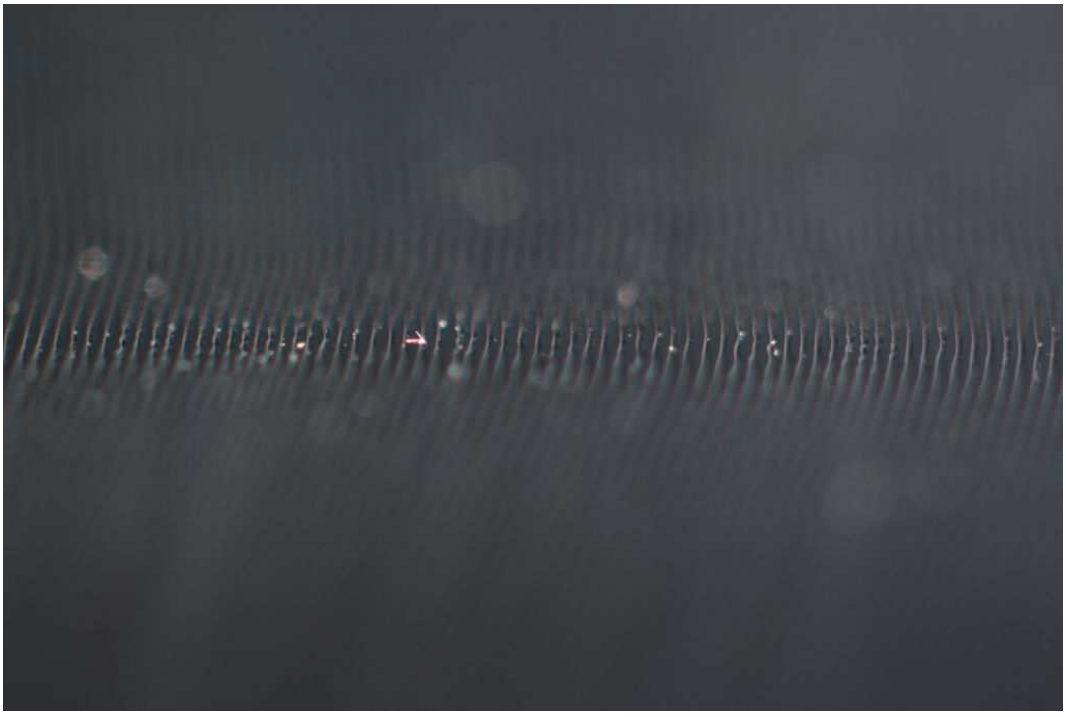


Obr. 41 Ověření velikosti jednoho pixelu vlevo s makroobjektivem a vpravo s mezikružím

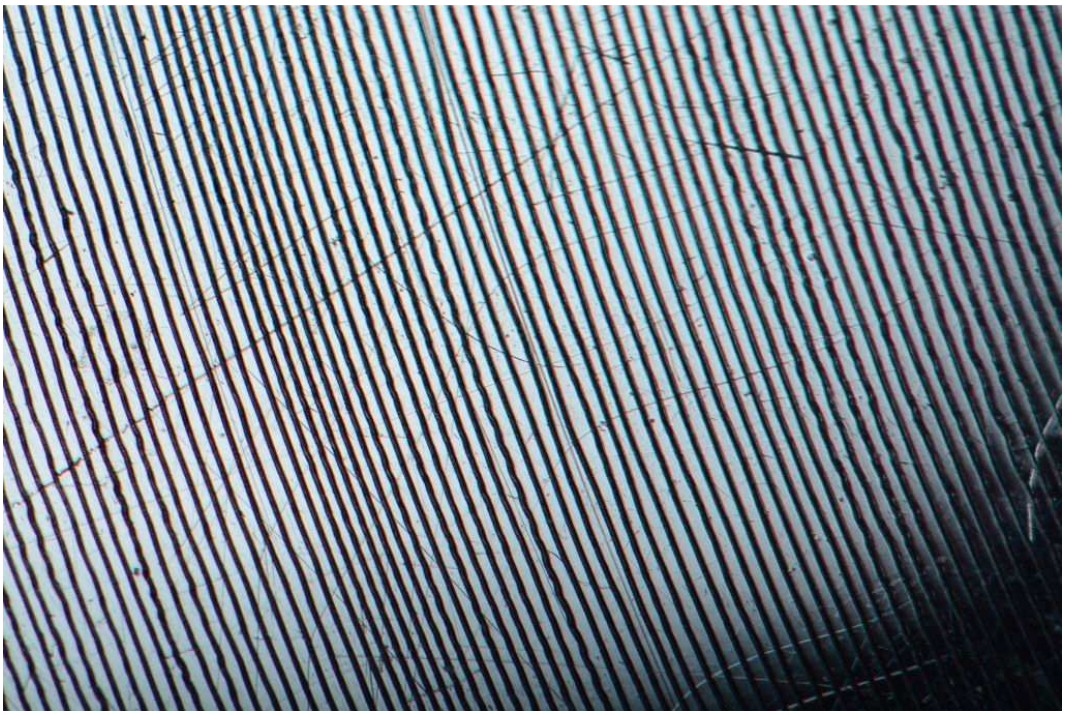
Digitální fotoaparát lze ovládat přes počítač pomocí programu DigiCamControl [**37**]. Pro převod snímku z RAW formátu do TIF formátu lze použít program MRAW [**39**]. Další potřebné informace o programech a ukázkách kódu můžeme najít v diplomové práci od

Lukáše Berana zabývající se měřením optických vlastností zobrazovacích zařízení digitálním fotoaparátem [**40**]. Ukázka základních instrukcí pro MATLAB je v příloze E.

Při použití digitálního fotoaparátu, makroobjektivu a mezikruží s programem DigiCamControl bylo focení na vzdálenost 75 mm a větší bezproblémů (okamžitě se fotoaparát správně zaostřil na danou scénu), ale při focení objektu blíže než 75 mm od objektivu byla elektronika, která se stará o zaostření scény, velice nevyzpytatelná. V některých případech se fotoaparát nedokázal vůbec automaticky zaostřit na scénu, ale při manuálním ovládání nebyl žádný problém scénu zaostřit. Proto, pokud se pro snímání drážky použije digitální fotoaparát, musí se zkontrolovat ostrost snímku.



Obr. 42 Snímek pořízený za pomoci Nikon D7100 a makroobjektivu, foceno pod úhlem



Obr. 43 Snímek pořízený za pomoci Nikon D7100 a makroobjektivu, foceno kolmo k desce

Při použití digitálního fotoaparátu je snímaná plocha 11,52x7,68 mm při rozlišení 6000x4000 pixelů (1 pixel představuje 1,92 µm, přibližuje se více než skener k požadovanému parametru aby jeden pixel odpovídal alespoň 1µm). Pro komunikaci digitálního fotoaparátu s počítačem lze využít program DigiCamControl [**37**] a pro převod snímku program MRAW [**39**]. Problém nastává při focení na vzdálenost 75 mm a blíže k objektu, kde fotoaparát má potíže se správným zaostřením na objekt. U pořízeného snímku by se musela ověřit ostrost v MATLABu.

3.3.3 "Levné" digitální mikroskopy

Na trhu se dá pořídit digitální kamera, kterou lze umístnit do hledí mikroskopu a tak snímat vzorky na mikroskopu, nebo kompletní digitální mikroskop v podání firmy Dino-Litle. Například kamera do hledí Dino-Litle AM-423B nebo digitální mikroskop Dino-Litle AM4113T [**24**]. Digitální mikroskop má v sobě zabudovaný objektiv s až 220-ti násobným zvětšením, více technických parametrů v *Tab. **3***.

Tab. 3 Technické parametry produktu Dino-Litle

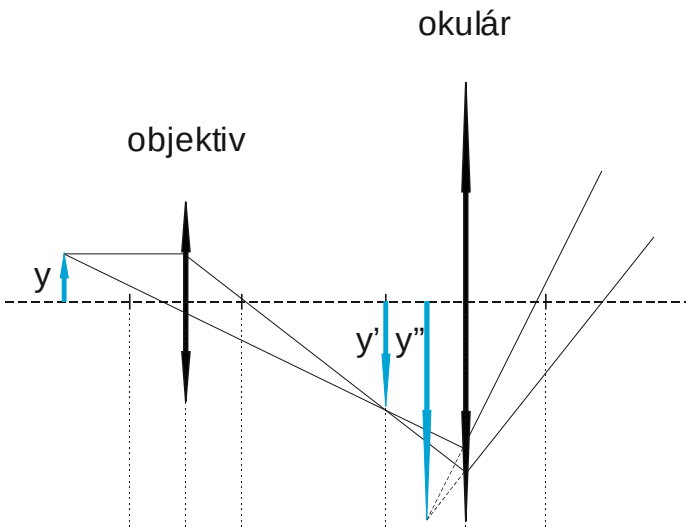
Kamera	AM-432B	AM4113T
rozlišení snímače	1280x1024 pix	1280x1024 pix
zvětšení	až 220x	10x + mikroskop
Připojení k PC	USB 2.0	USB 2.0
snímaná plocha	1,6x1,4 mm	z závislosti na mikroskopu
1 pixel je	1,25 µm	-

Obr. 44 Dino-Litle AM4113T, ze zdroje [24]

Celkové zvětšení mikroskopu Γ je dáno vztahem:

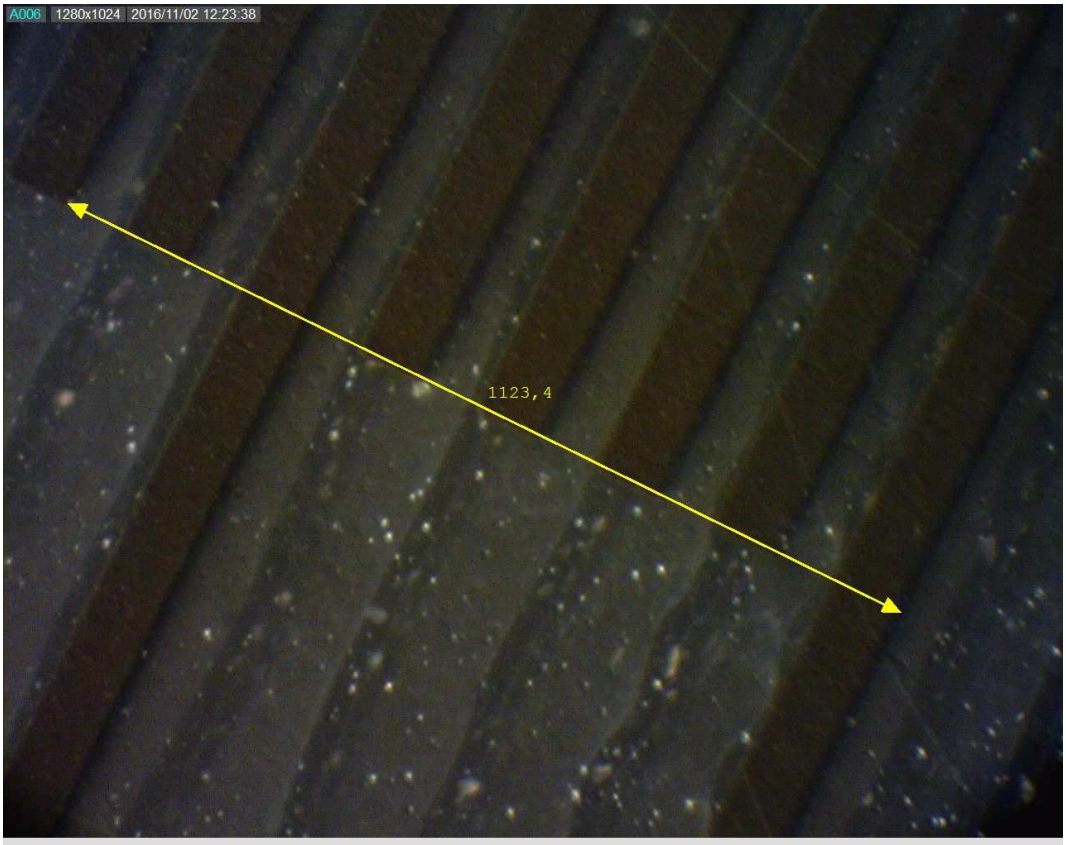
$$\Gamma = Z_{objektivu} * Z_{okuláru} = \frac{\Delta}{f_{objektivu}} * \frac{250\ mm}{f_{okuláru}} \tag{3.10}$$

Kde $Z_{objektivu} = \frac{\Delta}{f_{objektivu}}$ je zvětšení objektivu, Δ je délka tubusu mikroskopu (obvykle 170/250 mm, také jinak řečeno vzdálenost mezi ohnisky objektivu a okuláru) je uvedená na objektivu mikroskopu a $f_{objektivu}$ je ohnisková vzdálenost objektivu. Dále $Z_{okuláru} = \frac{250\ mm}{f_{okuláru}}$ je zvětšení okuláru, 250 mm je konvenční zraková vzdálenost lidského oka (stanoveno) a $f_{okuláru}$ je ohnisková vzdálenost okuláru.



Obr. 45 Schéma optické soustavy mikroskopu

Snímek pořízený za pomocí kamery Dino-Litle AM-432B a mikroskopu. Objektiv kamery (okulár) má 10-ti násobné zvětšení a objektiv mikroskopu má 6-ti násobné zvětšení. Celkové zvětšení je 60x.

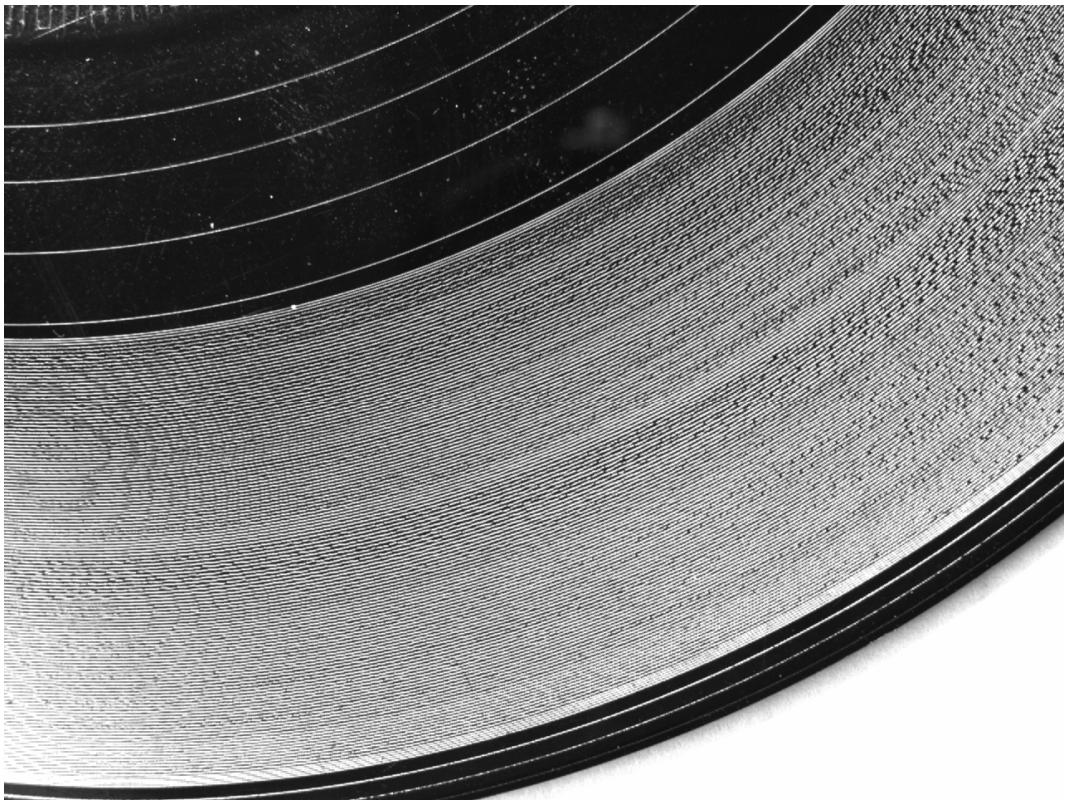


Obr. 46 Snímek drážky gramofonové desky a kalibračního měřidla, zvětšení 60x s AM-432B

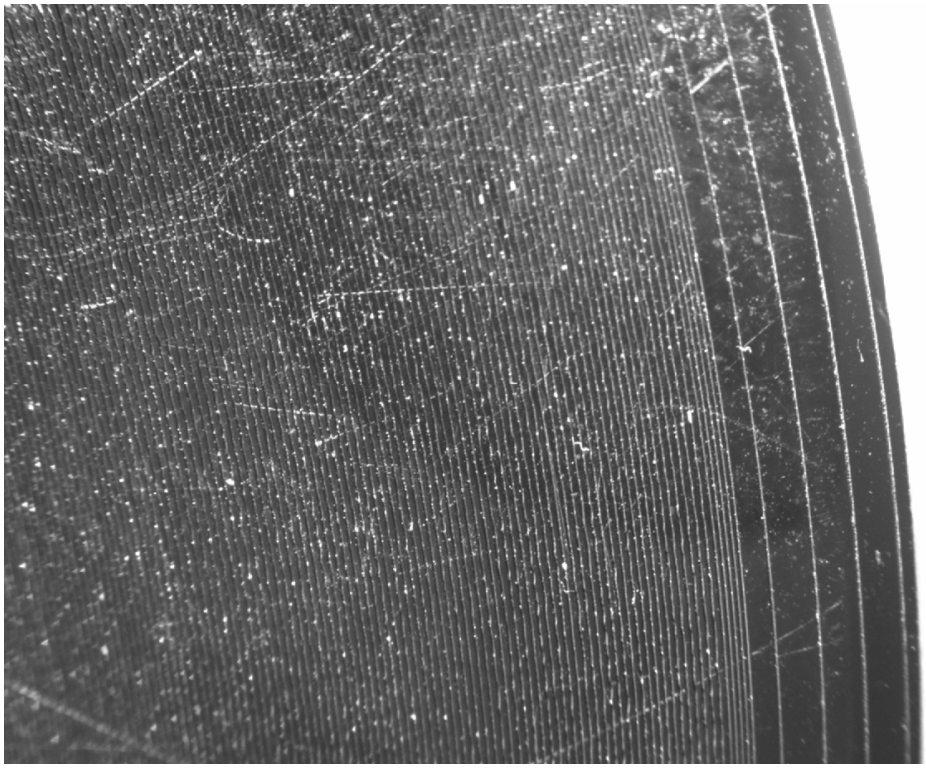
Vzdálenost 1,3 mm představuje 1123,4 pixelů, 1 pixel je vzdálenost $\frac{1{,}3\ mm}{1123{,}4\ pix} = 1{,}15\ \mu m$. Snímaná plocha je 1,472x1,177 mm. Proti digitálnímu fotoaparátu přináší větší detailnost snímku ale podstatně měnší snímanou plochu. Pro pořízení jedné celé otáčky pro 12" desku (obvod první drážky se záznamem je 917,66 mm) by se potřebovalo přibližně 780 snímků pro AM-432B a 120 snímků pro digitální fotoaparát.

3.3.4 Průmyslové kamery

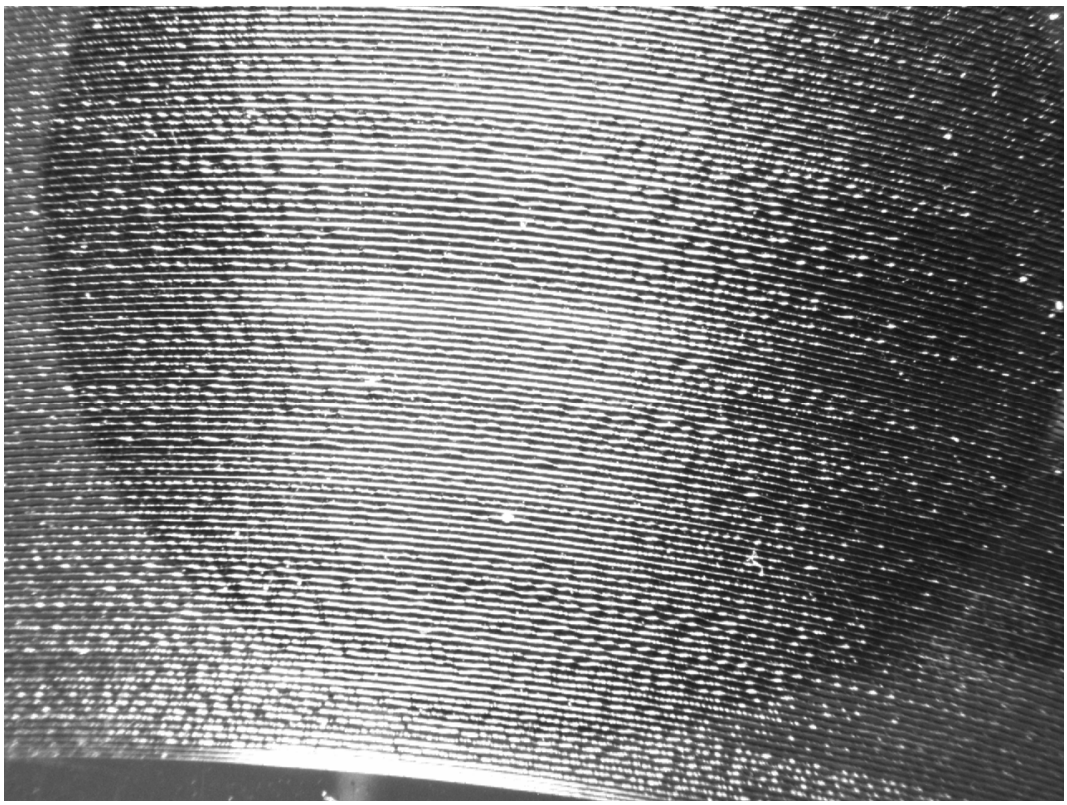
Často se na kontrolu kvality výrobku používá průmyslová kamera, která snímá produkt. Pořízený snímek se zpracuje v počítači a vyhodnotí se, jestli splňuje dané kritérium. Průmyslové kamery vyrábějí například Basler [**25**] nebo ThorLabs [**26**]. Kamery mají standardizovaný závit pro objektivy, které si vybíráme podle požadavků pro danou aplikaci. Objektivy s ohniskovou vzdáleností 6, 15 nebo 25 mm jsou vhodné pro snímání objektů. Například pro snímání etikety na výrobku a určení její správné aplikace na produktu. Ukázka snímků gramofonové drážky za použití těchto objektivů.



Obr. 47 Snímek pořízený průmyslovou kamerou acA1300-gc a objektivem f = 6 mm



Obr. 48 Snímek pořízený průmyslovou kamerou acA1300-gc a objektivem f = 15 mm



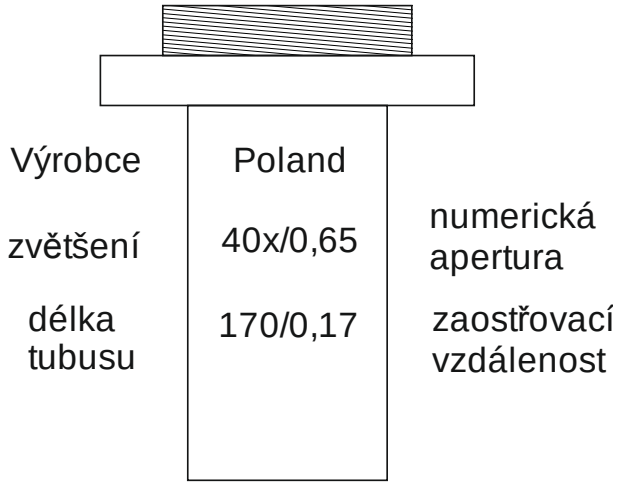
Obr. 49 Snímek pořízený průmyslovou kamerou acA1300-gc a objektivem f = 25 mm

Rozlišení rastrových průmyslových kamer se pohybuje v rozmezí od 1280x1024 do 4608x3288 pixelů a rychlost snímání od 10 do 90 snímků za vteřinu (FPS). U řádkových kamer se rozlišení snímače pohybuje do 2048 do 16384 pixelů s rychlostí snímání od 40 kHz do 120 kHz.

Tab. 4 Parametry průmyslových kamer

Kamera	acA1300-gc	DCC1545M
Výrobce	Basler	ThorLabs
Rozlišení senzoru	1294x964 pix	1280x1024 pix
Typ senzoru	1/3" CCD ICX445	1/2" Micron
Velikost senzoru	4,9x3,6 mm	6,66x5,2 mm
Velikost pixelu	3,75x3,75 µm	5,2x5,2 µm
Mono/Color	Color	Mono
Bitová hloubka snímku	12-bit	10-bit on-chip
Video	ano	ano
Maximální frekvence videa	30 FPS	30 FPS
Rozhraní	GibE	USB 2.0

Pokud chceme snímat detailněji drážku, musíme zvolit mikroobjektiv který je velice podobný objektivové hlavě u mikroskopu. Na objektivu se udávají čtyři hlavní parametry: zvětšení, minimální vzdálenost zaostření, délka tubusu mikroskopu a numerická apertura. Například vezmeme tyto hodnoty objektivu:



Obr. 50 Schéma popisku na mikroobjektivu

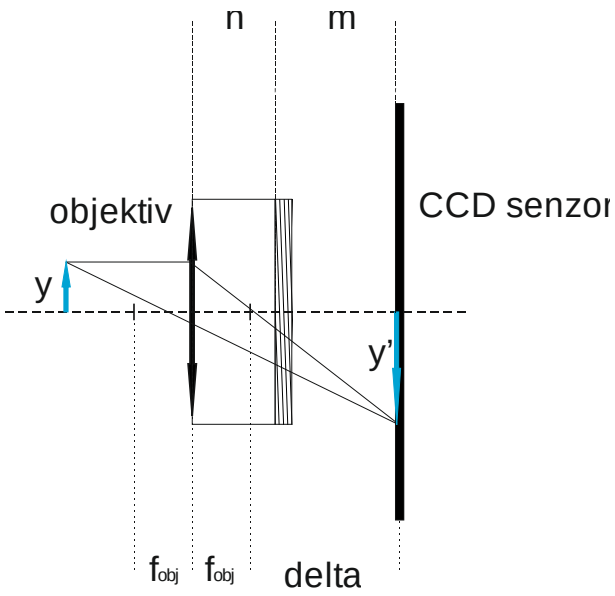
Zvětšení je 40-ti násobné, numerická apertura je 0,65, délka tubusu mikroskopu je 170 mm (standardní velikosti jsou 170 a 250 mm) a rozsah ostření ∞-0,17 mm. Na průmyslovou kameru se přišroubuje pomocí přechodového prstence. Výpočet zvětšení mikroobjektivu pro průmyslovou kameru za využití rovnice (3.5):

$$\Gamma = Z_{objektivu} * Z_{okuláru} = \frac{\Delta}{f_{objektivu}} * \frac{250\ mm}{f_{okuláru}}\ [-]$$

Kde $\frac{\Delta}{f_{objektivu}}$ je zvětšení objektivu, Δ délka tubusu mikroskopu 170 mm (uvedeno na objektivu) a $\frac{250}{f_{okuláru}}$ je zvětšení okuláru, kde zvětšení okuláru představuje kamera, která nemá žádné zvětšení a proto je rovno 1. Při použití mikroobjektivu na průmyslovou kameru bude zvětšení objektivu jiné než na mikroskopu, protože Δ má jinou vzdálenost. Přepočet zvětšení mikroobjektivu pro průmyslovou kameru:

$$f_{objektivu} = \frac{\Delta}{celkové\ zvětšení} = \frac{170\ mm}{40x} = 4{,}25\ mm$$

Ohnisková vzdálenost objektivu je $f_{objektivu} = 4{,}25\ mm$.



Obr. 51 Schéma optické soustavy mikroobjektivu s průmyslovou kamerou

Kde l je celková vzdálenost, m je vzdálenost mezi CCD snímačem a závitem objektivu a n je vzdálenost mezi závitem objektivu a začátkem objektivu.

$$l = m + n = 17\ mm + 31\ mm = \ 47\ mm \tag{3.11}$$

$$\Delta_{pro\ kameru} = \left|l - f_{objektivu}\right| = |47 - 4{,}25| = 42{,}75\ mm \tag{3.12}$$

$$Zvětšeni\ pro\ kameru = \frac{\Delta_{prokmeru}}{f_{objektivu}} * 1 = \frac{42{,}75\ mm}{4\ mm} = 10{,}05\ x$$

Pokud máme průmyslovou kameru se snímačem o rozměrech 6,66x5,32 mm (jedná se o 1/2" snímač) a zvětšení 10,05x , snímaná plocha bude $\frac{6,66mm}{10,05x} x \frac{5,32mm}{10,05x} = 0,663x0,529$ mm.

Tab. 5 Výpočet zvětšení objektivu pro kameru

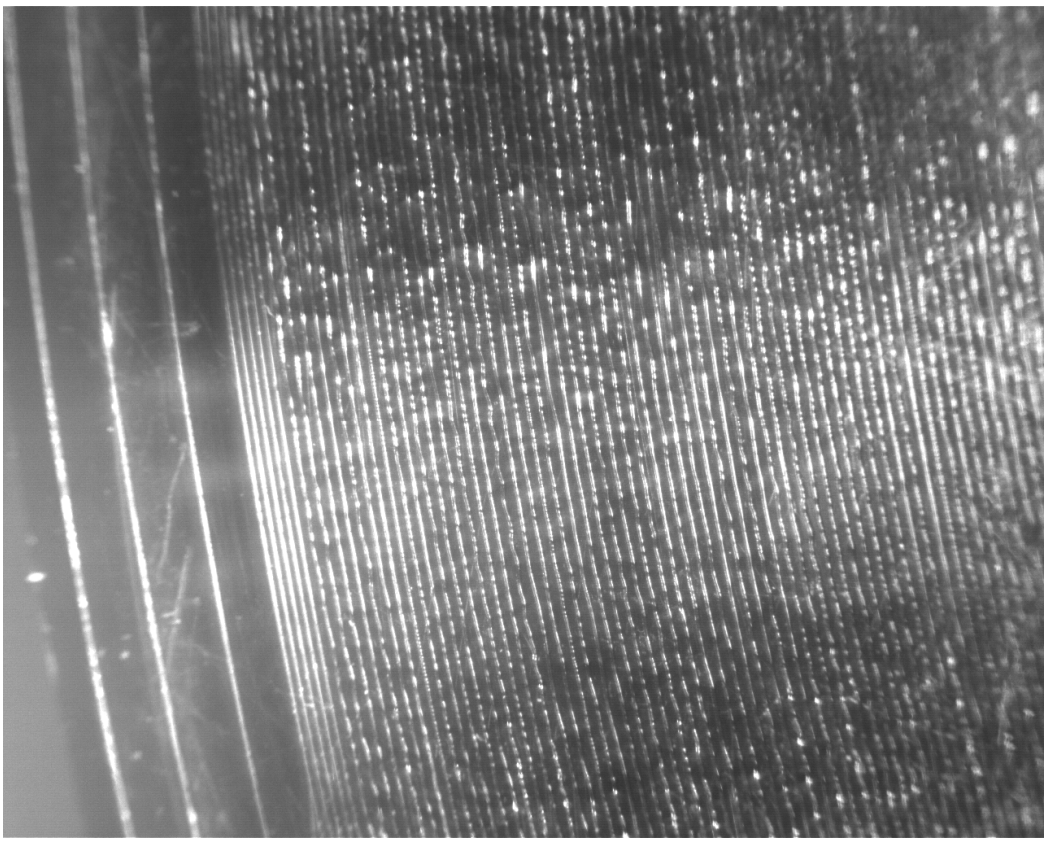
Objektiv	6,3x/1	8x/0,2	10x/0,3	20x/0,4	40x/0,64	60x/1,25
Vzdálenost m (mm)	17	17	17	17	17	17
Vzdálenost n (mm)	21,5	25	28	31	31	31
Vzdálenost l (mm)	38,5	42	45	48	48	48
$f_{objektivu}$ (mm)	26,98	21,25	17,00	8,50	4,25	2,83
Δ (mm)	11,52	20,75	28,00	39,50	43,75	45,17
Zvětšení (-)	0,43	0,98	1,65	4,65	10,29	15,94

Tab. 6 Změřené rozlišení mikroskopických objektivů z pořízených snímků kalibračního měřidla

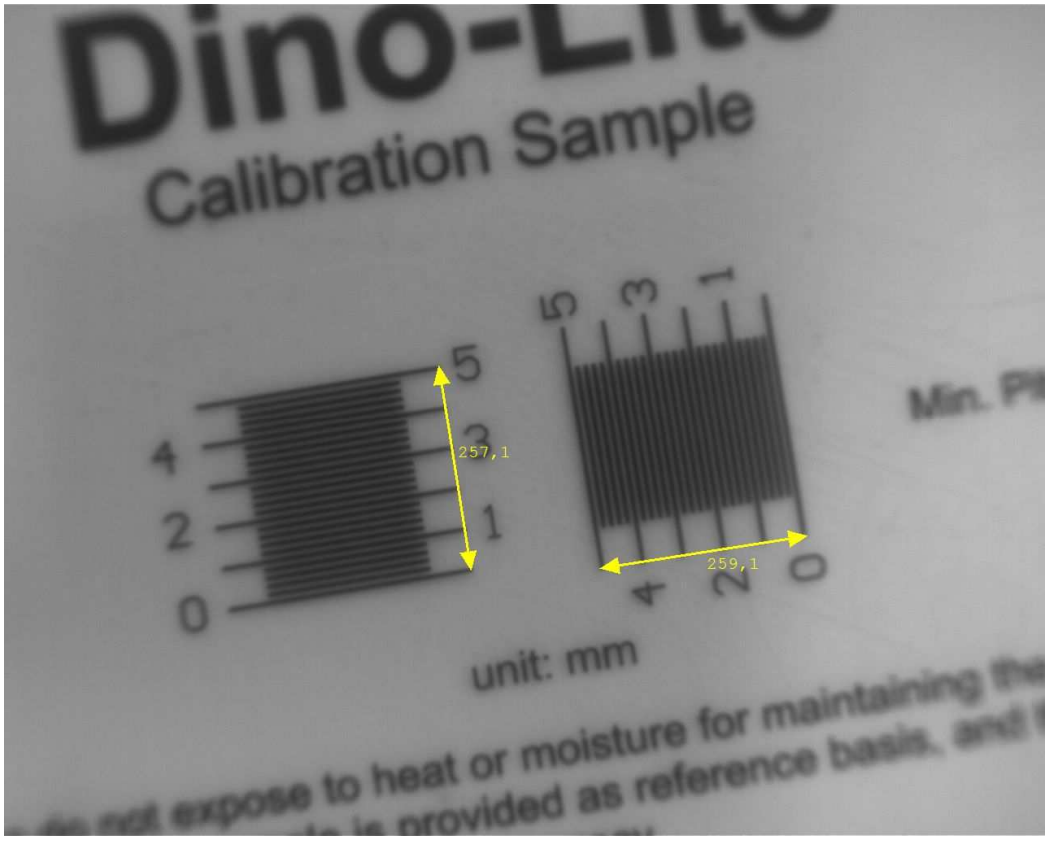
Objektiv	6,3x/1	8x/0,2	10x/0,3	20x/0,4	40x/0,65	60x/1,25
Měřená vzdálenost (mm)	5	5	2,3	0,9	0,5	0,2
Měřená vzdálenost (pix)	258	918,9	974	902	947,6	597,2
1 pixel představuje (um)	19,380	5,441	2,361	0,998	0,528	0,335
Snímaná plocha (mm)	24,81x19,84	6,96x5,57	3,02x2,42	1,28x1,02	0,68x0,54	0,43x0,34
Zvětšení (-)	0,27	0,96	2,20	5,21	9,86	15,54
Vzdálenost snímání (mm)	100,0	30,0	22,0	6,5	3,2	1,9

Jak je vidět v tabulce *Tab.* ***6***, naměřené hodnoty se liší od vypočtených hodnot zvětšení díky použití zjednodušených výpočtových vztahů.

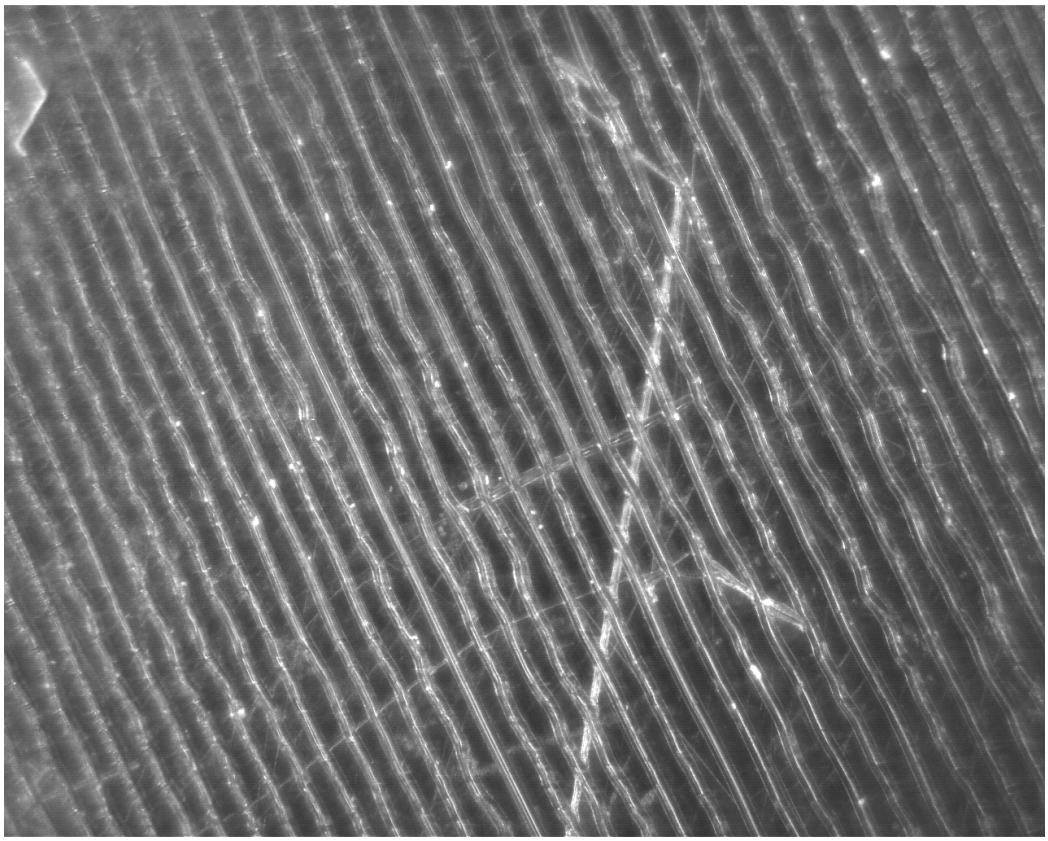
Níže uvádím pořízené snímky z přibližně stejného místa drážky na desce a kalibračního měřidla za pomocí zmíněných objektivů z tabulky *Tab.* ***7*** a průmyslové kamery ThorLabs DCC1545M. Pořízené snímky slouží k ověření parametrů objektivů v tabulce 8. Snímky jsou pořízené ze stereofonní gramofonové desky 45 ot/min. Zvyšující se tmavost snímku je způsobena změnšující se vzdáleností mezi objektivem a snímanou deskou (snižuje se intenzita dopadajícího světla na focené místo).



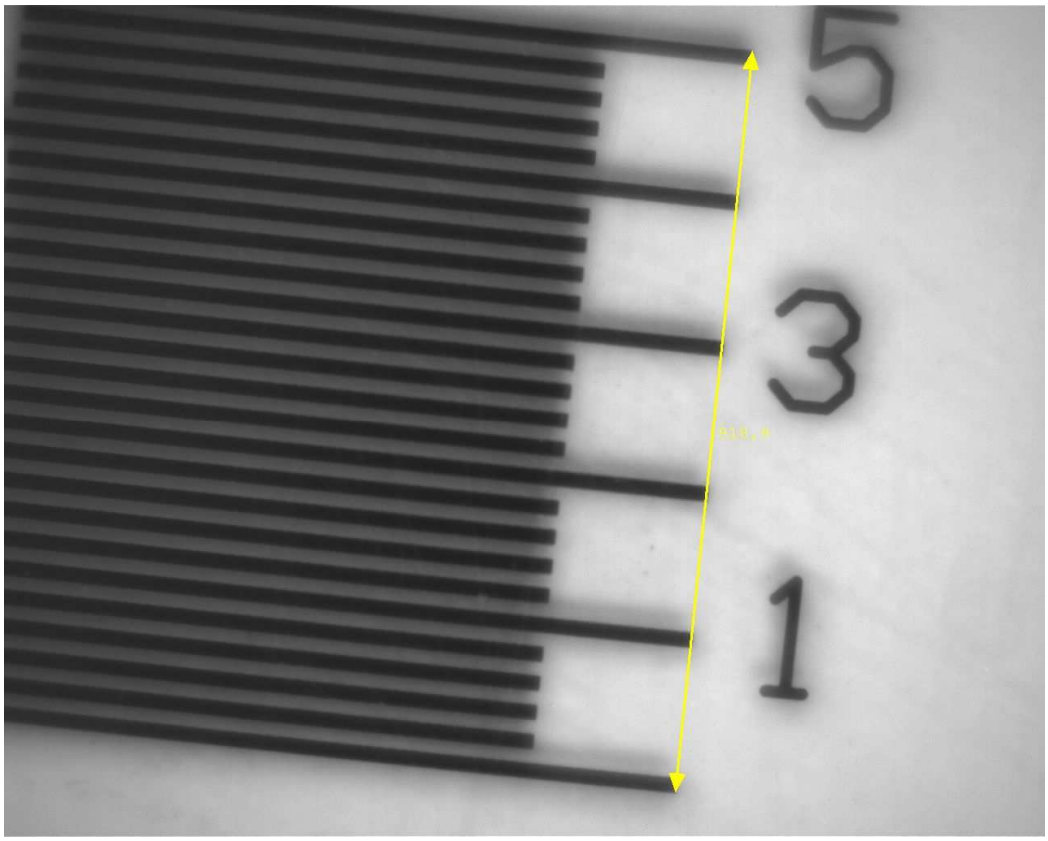
Obr. 52 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 6,3x/1



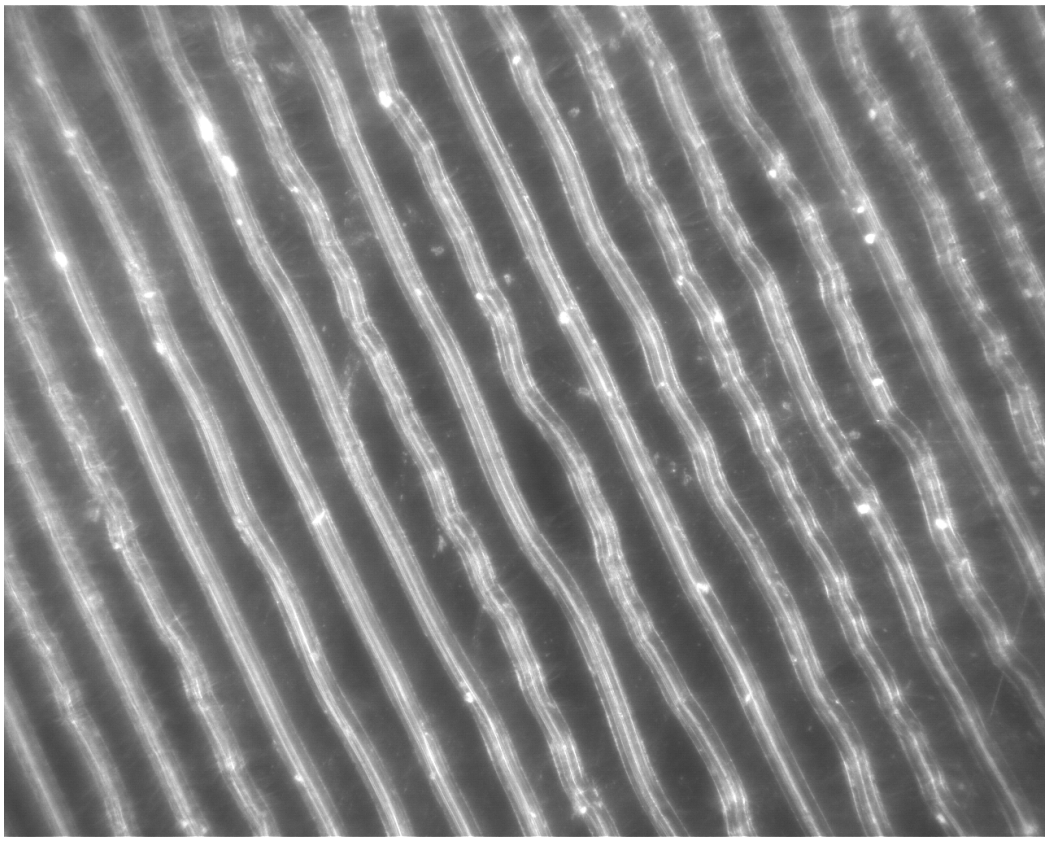
Obr. 53 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 6,3x/1



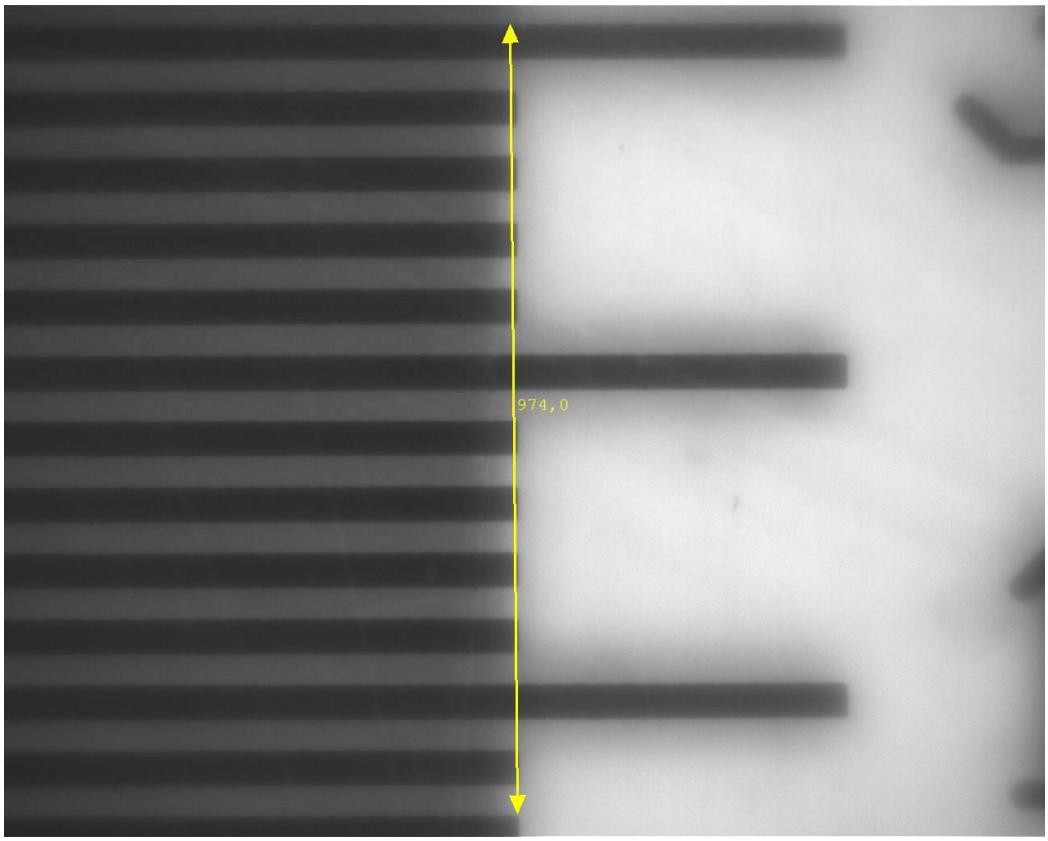
Obr. 54 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 8x/0,2



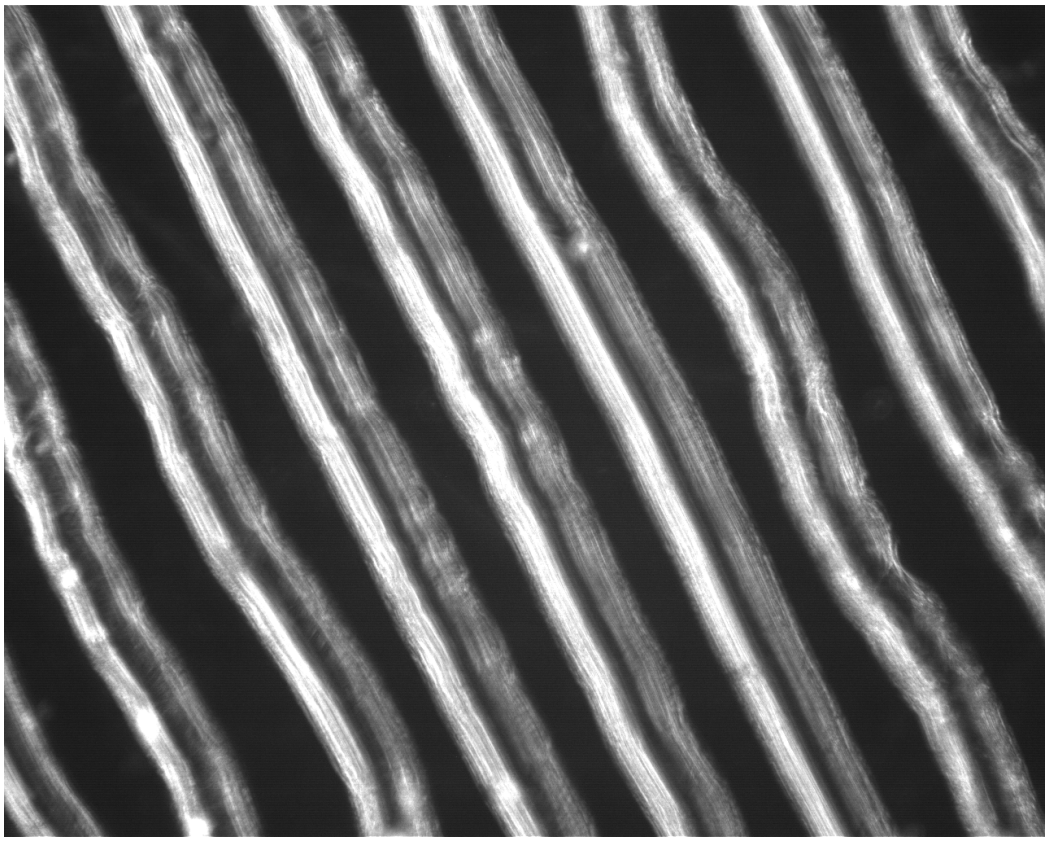
Obr. 55 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 8x/0,2



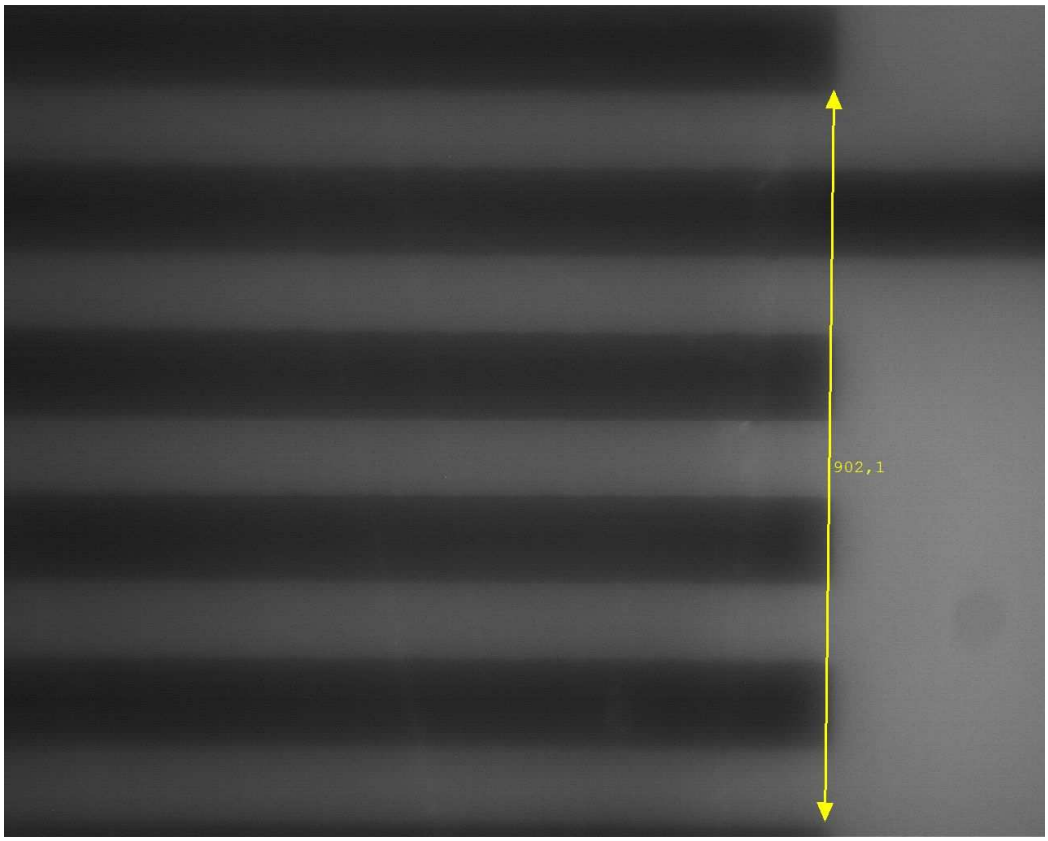
Obr. 56 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 10x/0,3



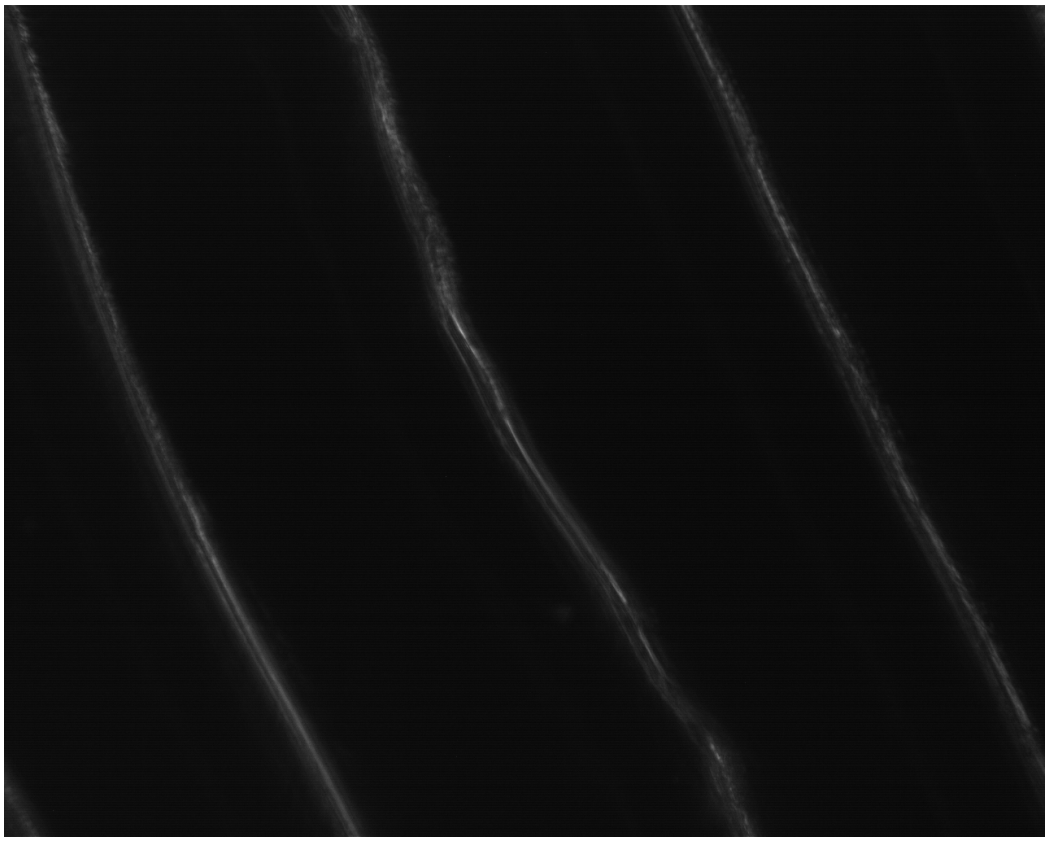
Obr. 57 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 10x/0,3



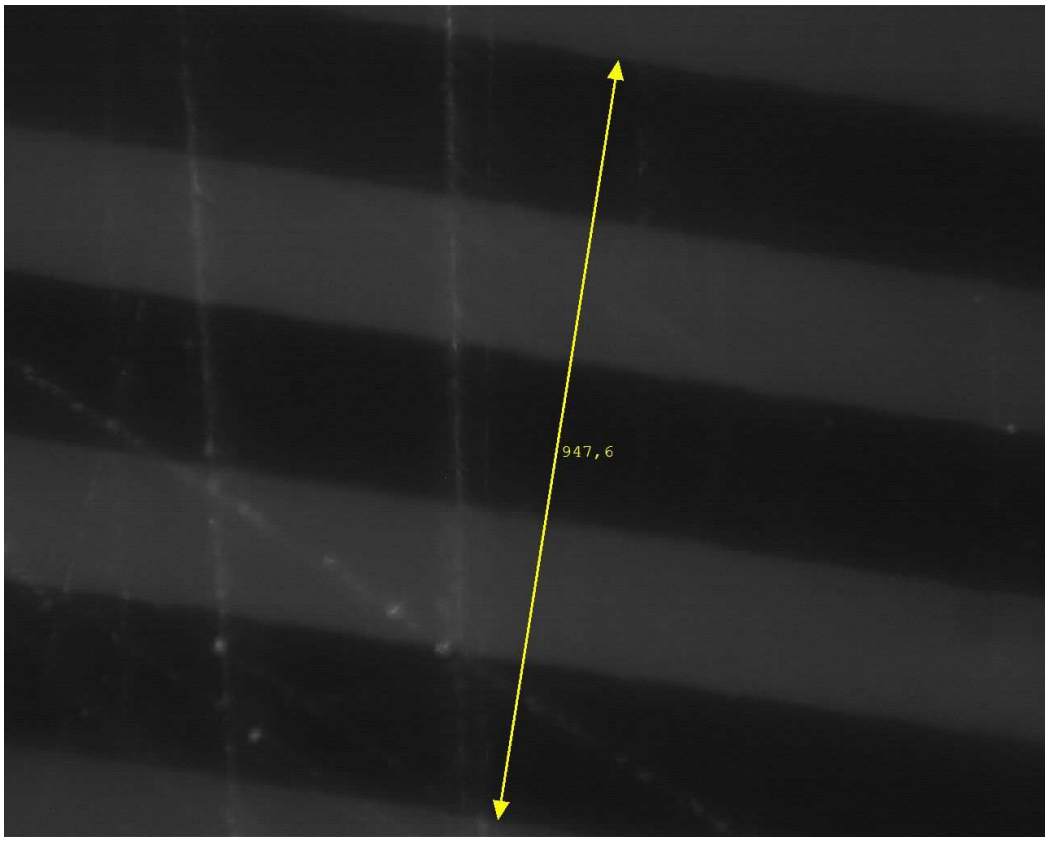
Obr. 58 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 20x/0,4



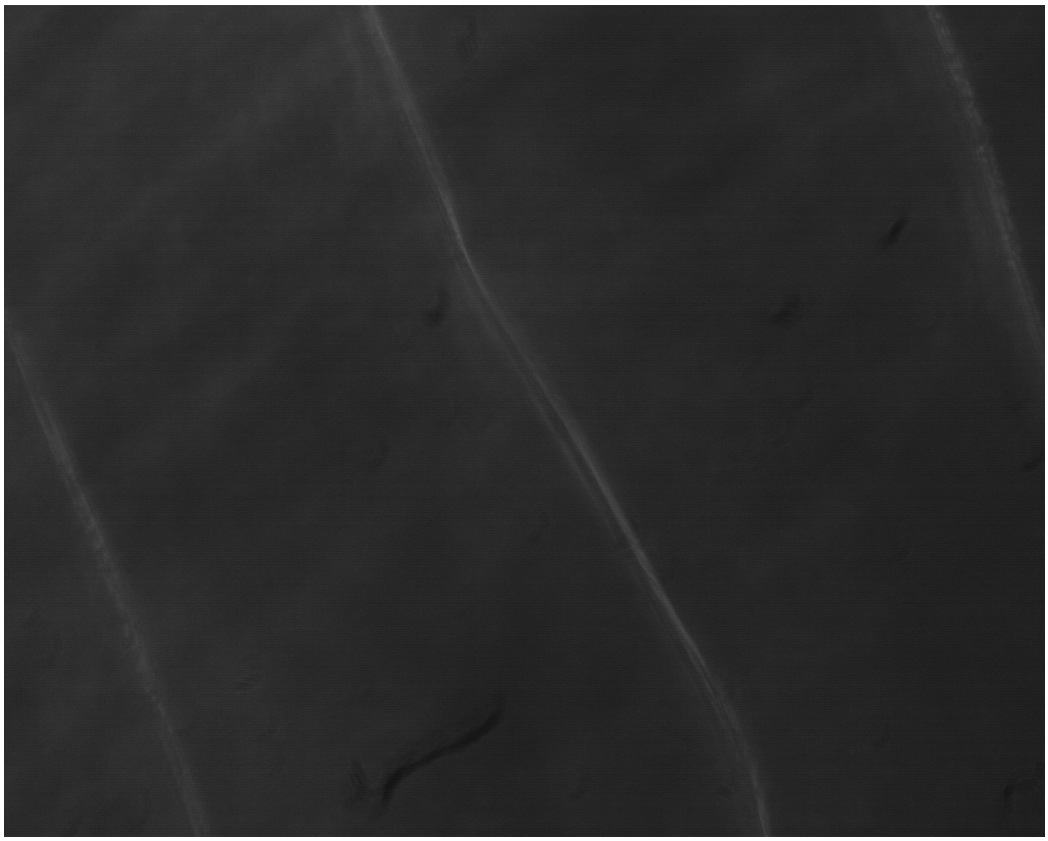
Obr. 59 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 20x/0,4



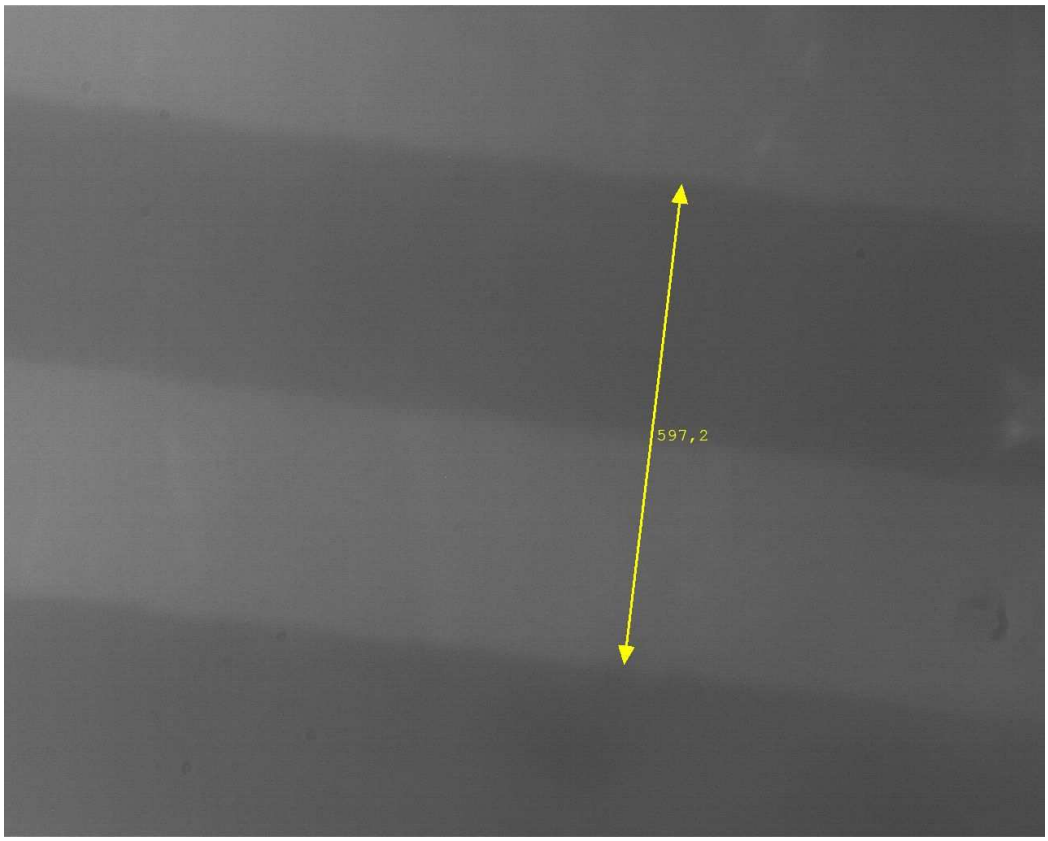
Obr. 60 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 40x/0,65



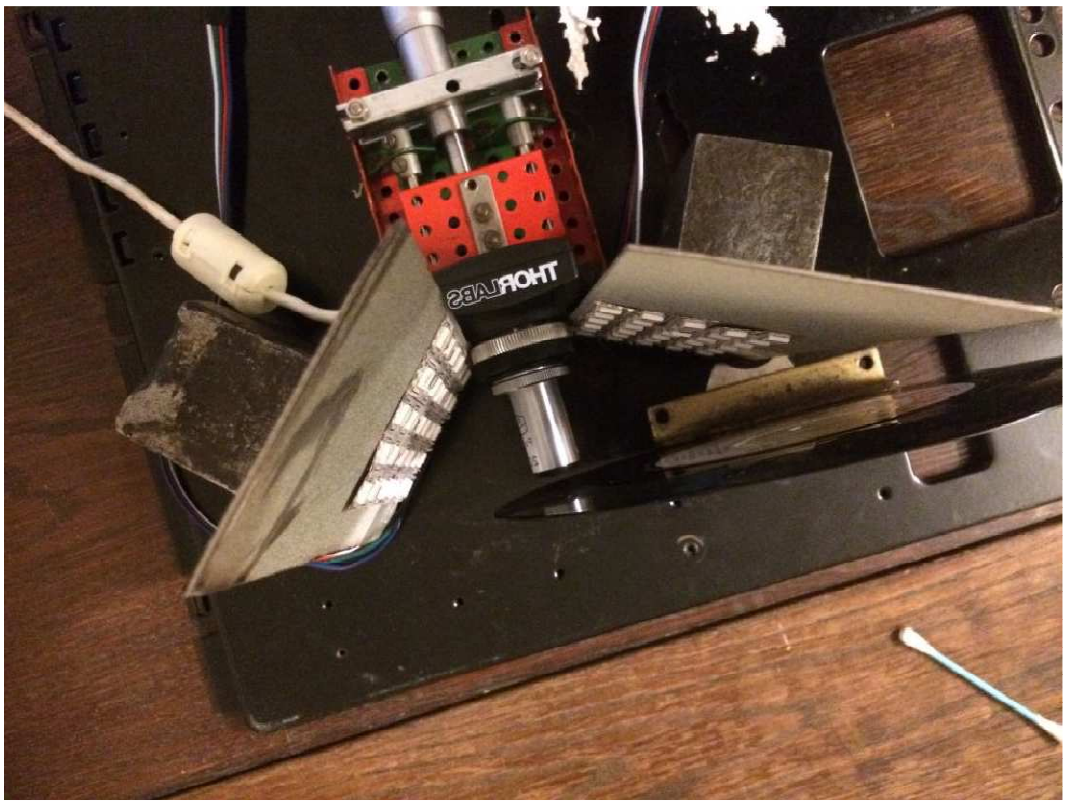
Obr. 61 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 40x/0,65



Obr. 62 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 60x/1,25



Obr. 63 Snímek pořízený průmyslovou kamerou DCC1545M a objektivem 60x/1,25



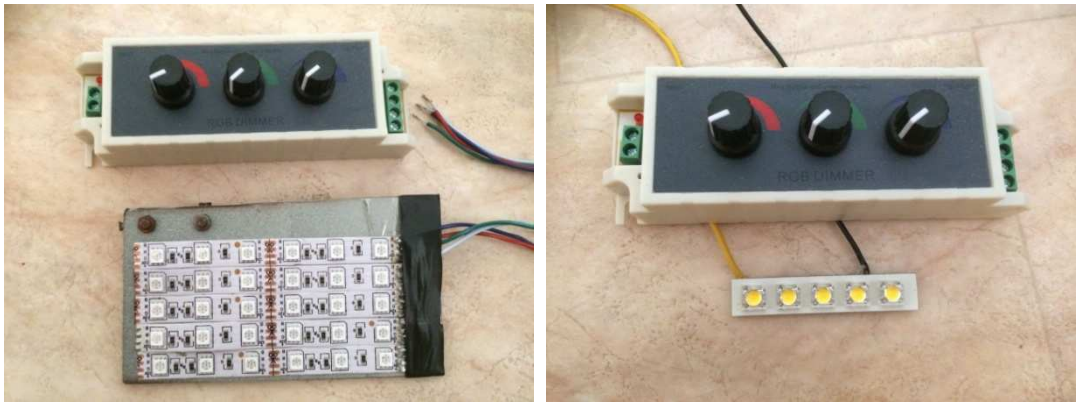
Obr. 64 Snímek aparatury pro ověření mikroobjektivu,osvit RGB diodami 5050 2x25 kusů kamera umístěná na posuvný stolek s mikrometrem 0-25 mm

Ovládat kameru z počítače lze pomocí knihovny .NET programing interface dodávanou výrobcem (MATLAB podporuje .NET rozhraní) nebo pomocí programu ThorCam [**35**], který má v sobě funkci živého náhledu (LiveView), měření rozměrů v pixelech a další funkce.

Při použití průmyslové kamery ThorLabs DCC1545M a objektvivu 20x/0,4 je snímáná plocha desky 1,28x1,02 mm, při rozlišení 1280x1024 pixelů. 1 pixel představuje vzdálenost 0,998 µm. Pro pořízení jedné celé otáčky pro 12" desku (obvod první drážky se záznamem je 917,66 mm) by se potřebovalo přibližně 900 snímků. U objektivu 40x/0,65 a 60x/1,25 je větší detailnost drážky ale na úkor menší snímané ploše desky (vzroste počet pořízených snímků pro drážku). Proto byl zvolen kompromis, dostatečné přiblížení drážky při zachování dostatečné velikosti snímané plochy. Podle krytéria z předchozí kapitoly je potřeba alespoň 1 pixel na 1 µm a dále pro co nejmenší počet pořizovaných snímků drážky byl zvolen objektiv s parametry 20x/0,4.

3.4 Osvětlovací technika pro snímanou drážku

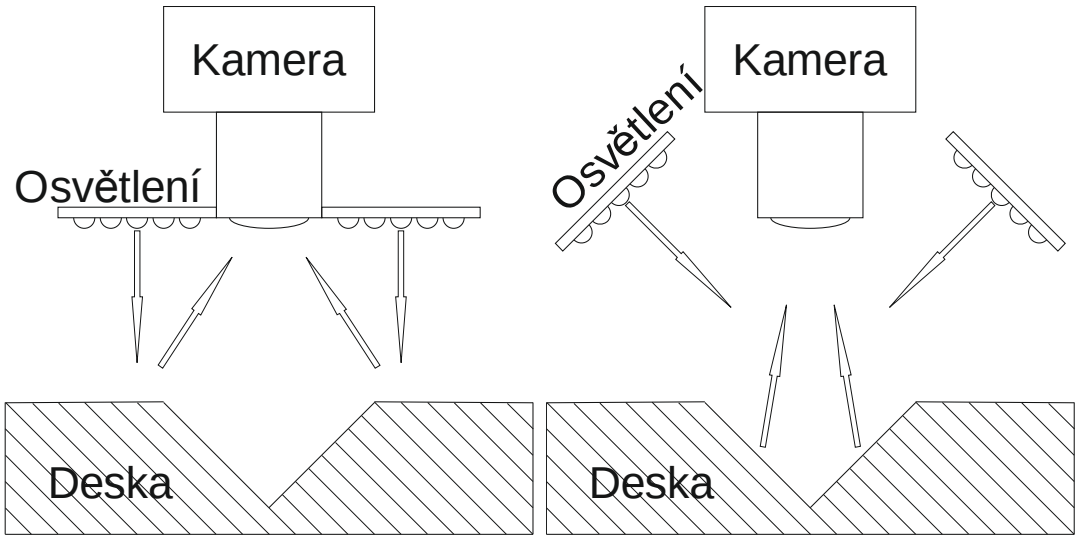
Další důležitou částí je osvětlení snímané drážky. Pro osvícení drážky byl použit plošný zdroj světla. Pro snímání drážky bylo použito jako zdroje světla LED 5050 RGB diody [**27**] a bíle vysoce svítící diody s regulátorem jasu (z rozebrané LED žárovky).



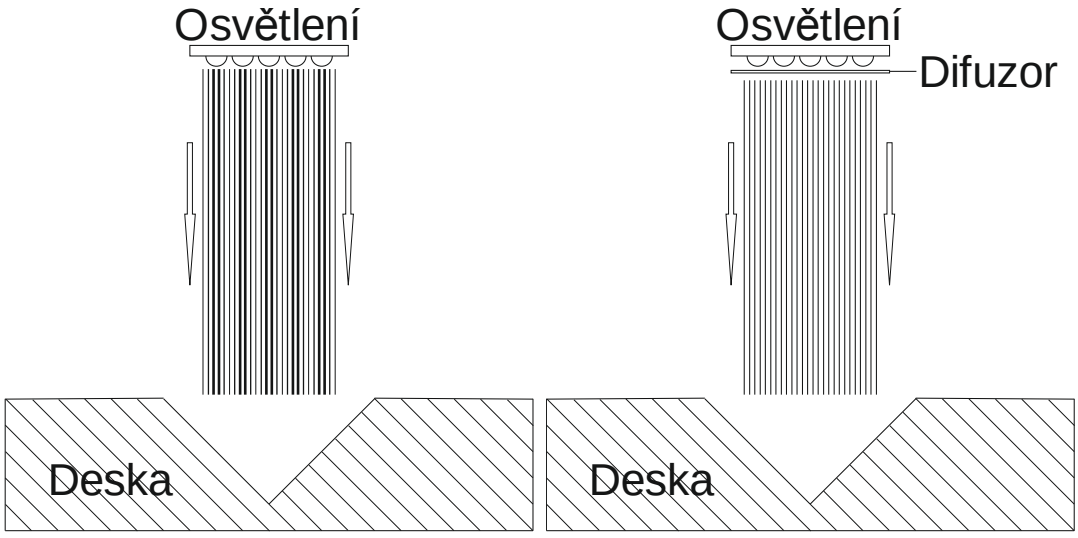
Obr. 65 Vlevo 5050 RGB diody (5x5 diod) s regulátorem jasu a barvy a vlevo bíle vysoko svítící diody (1x5 diod) s regulátorem jasu

U RGB 5050 diody se zkoušel vliv barvy na nasvícení drážky. Snímač průmyslové kamery ThorLabs DCC1545M je nejcitlivější na modré světlo (B subdiodu), na červené a zelené světlo u R a G subdiody má přibližně 1/2 citlivost proti B subdiodě.

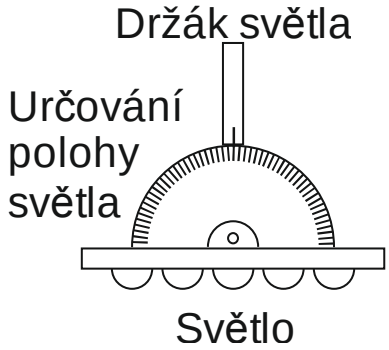
Jsou dvě možnosti jak osvítit gramofonovou desku. Buď světlo dopadá kolmo na povrch desky, zdroj světla je vodorovně nad deskou, nebo na stěnu drážky a zdroj světla je pod úhlem 45 stupňů vůči desce. Na obrázcích níže je vidět schéma nasvícení drážky a pořízené snímky gramofonové drážky.



Obr. 66 Vlevo je osvětlení povrchu desky (schéme A) a vpravo je osvětlení stěny drážky (schéma B)

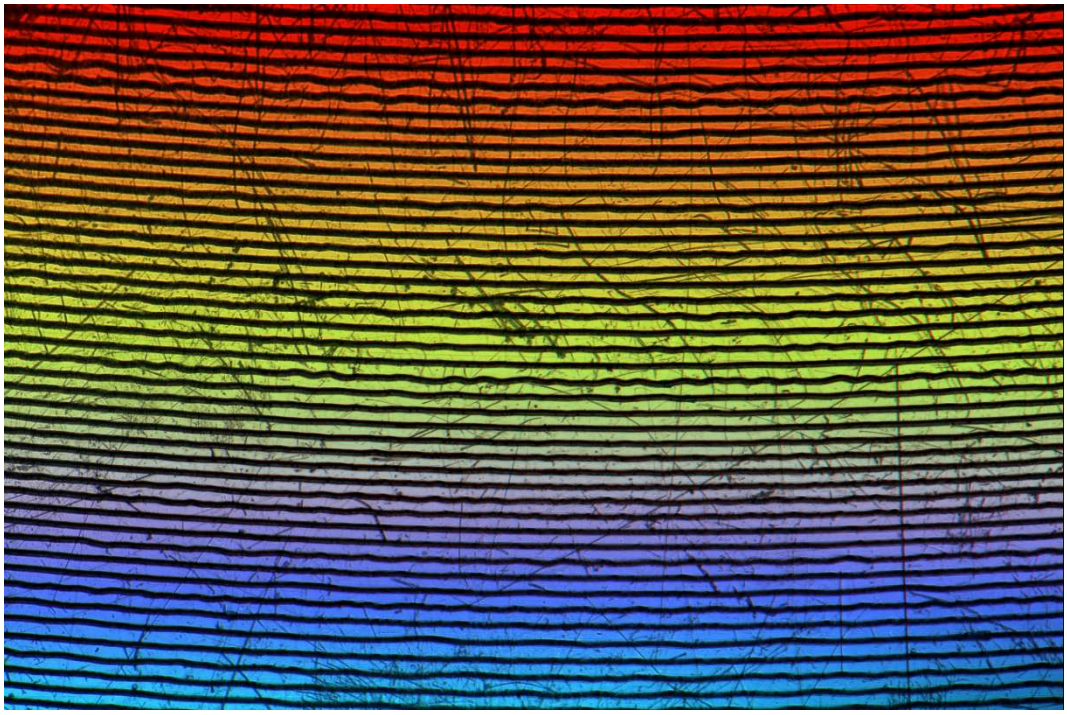


Obr. 67 Vlevo ostré bodové světlo a vpravo rovnoměrné osvícení za využití difuzoru



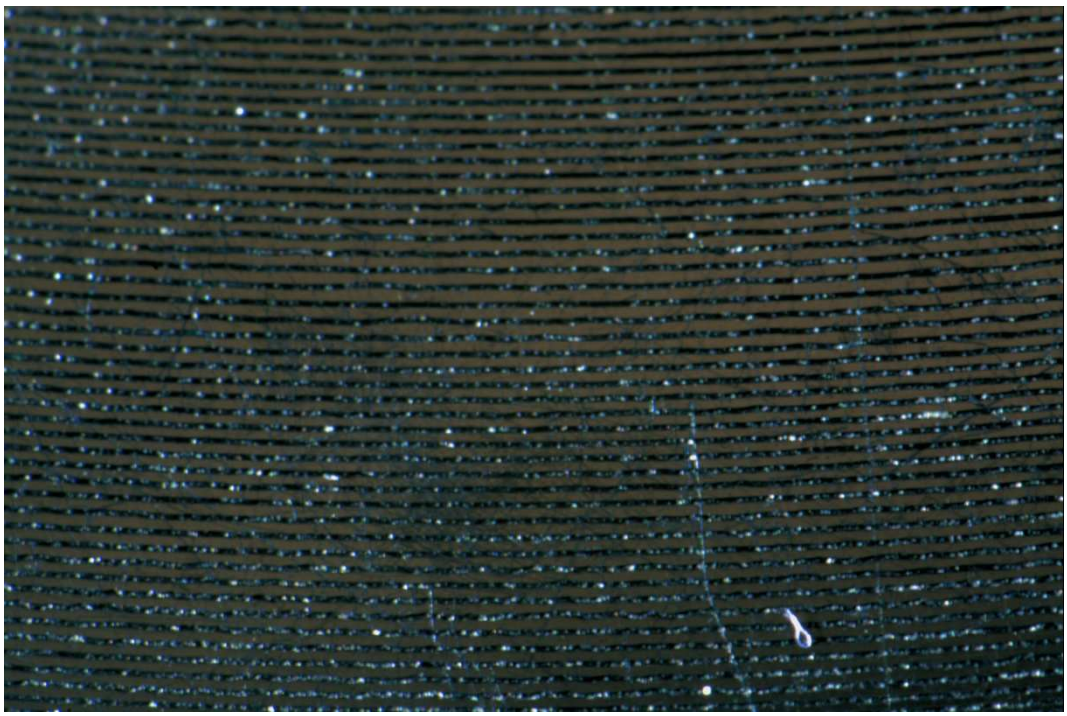
Obr. 68 Polohování zdroje světla

Obr. 69 Osvícení povrchu desky denním světlem (osvit podle schématu A), snímek pořízený pomocí Nikon D7100 a makroobjektivu, snímaná gramofonová deska 45 ot/min

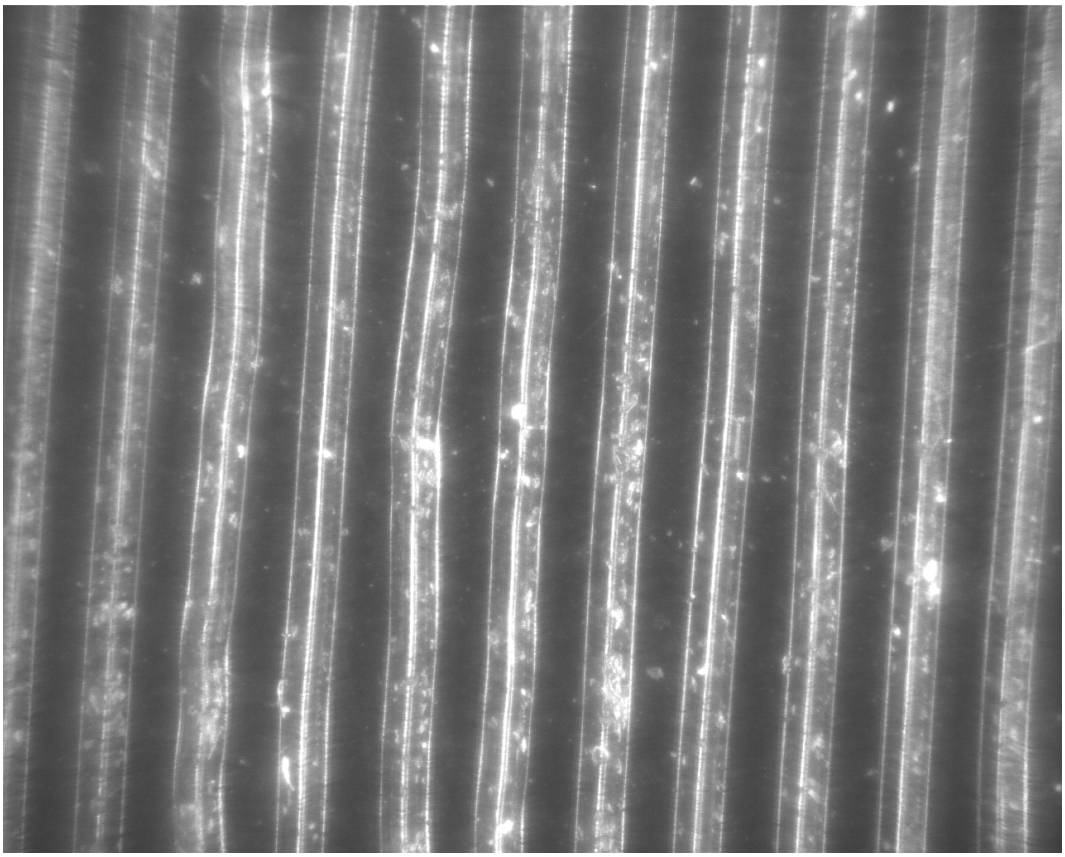


Obr. 70 Osvícení povrchu za pomocí DPS projektoru (osvit podle schématu A), snímek pořízený pomocí Nikon D7100 a makroobjektivu, snímaná gramofonová deska 45 ot/min

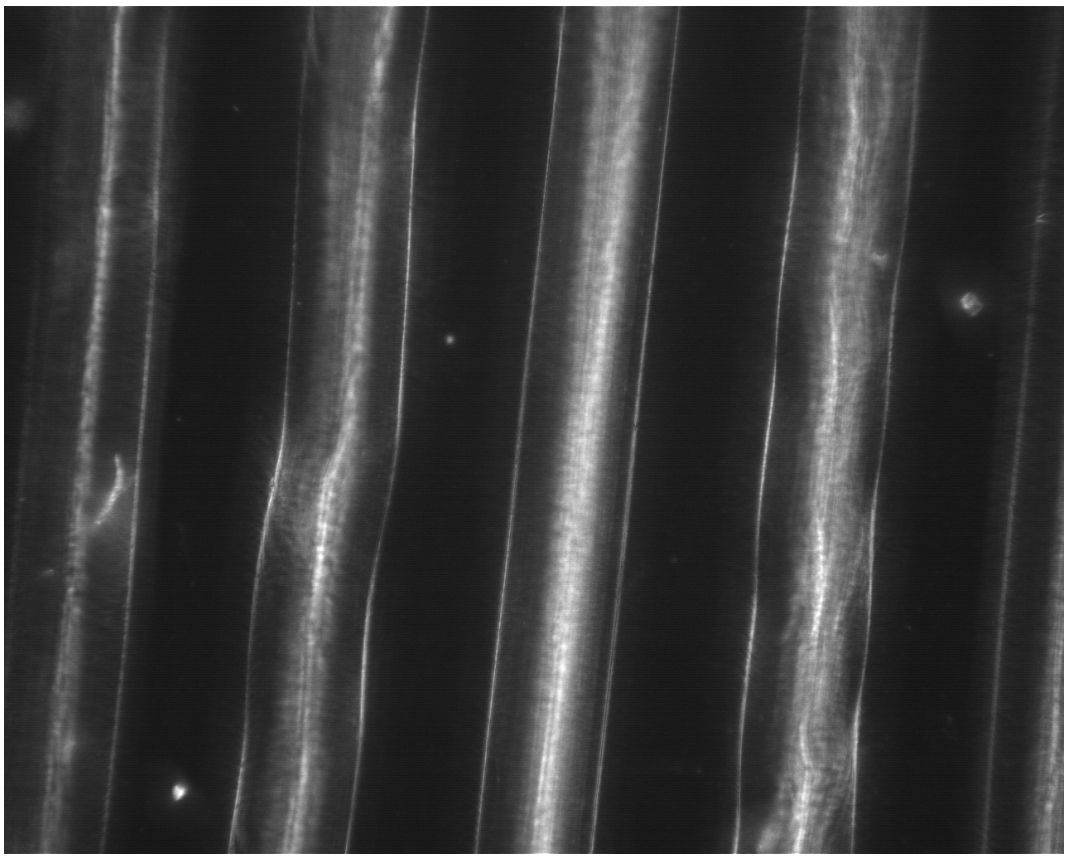
Barevnost snímku je způsobena vysokou rychlostí uzávěrky fotoaparátu při osvětlování bílou barvou z DPS projektoru. Pokud by uzávěrka fotoaparátu byla pomalejší, výsledné dopadající světlo by byla bílá barva, ale snímek by byl příliš přesvětlený.



Obr. 71 Osvícení stěny drážky za pomocí halogenového světla, snímek pořízený pomocí Nikon D7100 a makroobjektivu , snímaná gramofonová deska 45 ot/min



Obr. 72 Osvícení stěny drážky za pomocí LED světla, snímek pořízený pomocí průmyslové kamery a mikroobjektivu, snímaná gramofonová deska 45 ot/min



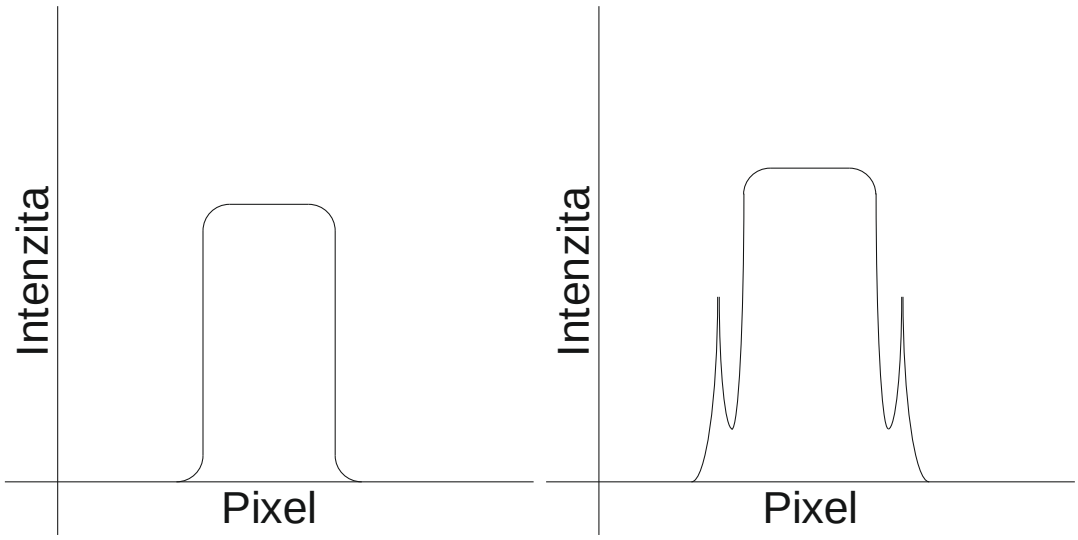
Obr. 73 Osvícení stěny drážky za pomocí LED světla, snímek pořízený pomocí průmyslové kamery a mikroobjektivu, snímaná gramofonová deska 78 ot/min

Na *Obr. **71*** světlo dopadalo kolmo na stěnu drážky, pro *Obr. **72*** a *Obr. **73*** světlo dopadalo kolmo na povrch desky. Zdroj světla byl přichycen na mikroobjektiv (blízký osvit drážky).

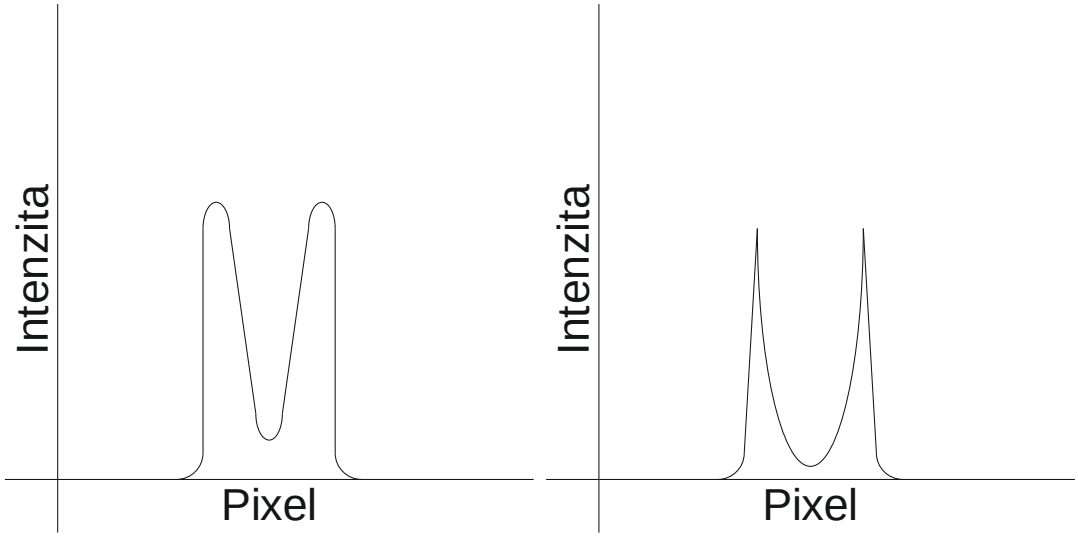
Bylo zvoleno osvícení roviny desky, které je připevněno na mikroobjektiv, při tomto osvitu je dobře vidět hrany a dno drážky. Vhodné pro extrahování informací stereofonního záznamu.

3.5 Změna intenzity v histogramu drážky při zaostřování na drážku

Při ostření na povrch desky, stěnu a dno drážky za pomocí průmyslové kamery se měnila intenzita histogramu drážky. Na schématech níže jsou zobrazeny jednotlivé změny intenzity histogramu drážky při zaostření na povrch desky, stěnu a dno drážky.

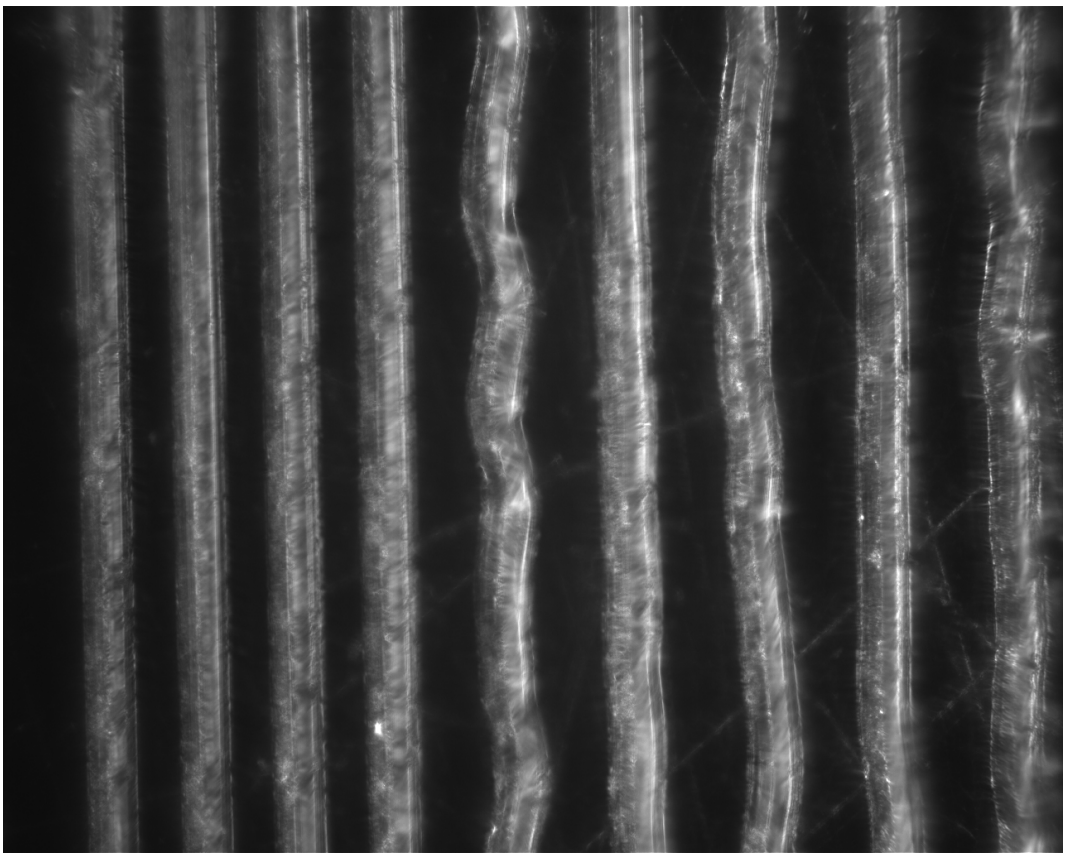


Obr. 74 Schéma intenzity histogramu drážky při zaostření na povrch desky, vlevo (schéma A) pro 33 ot/min záznam a vpravo (schéma B) pro 78 ot/min záznam

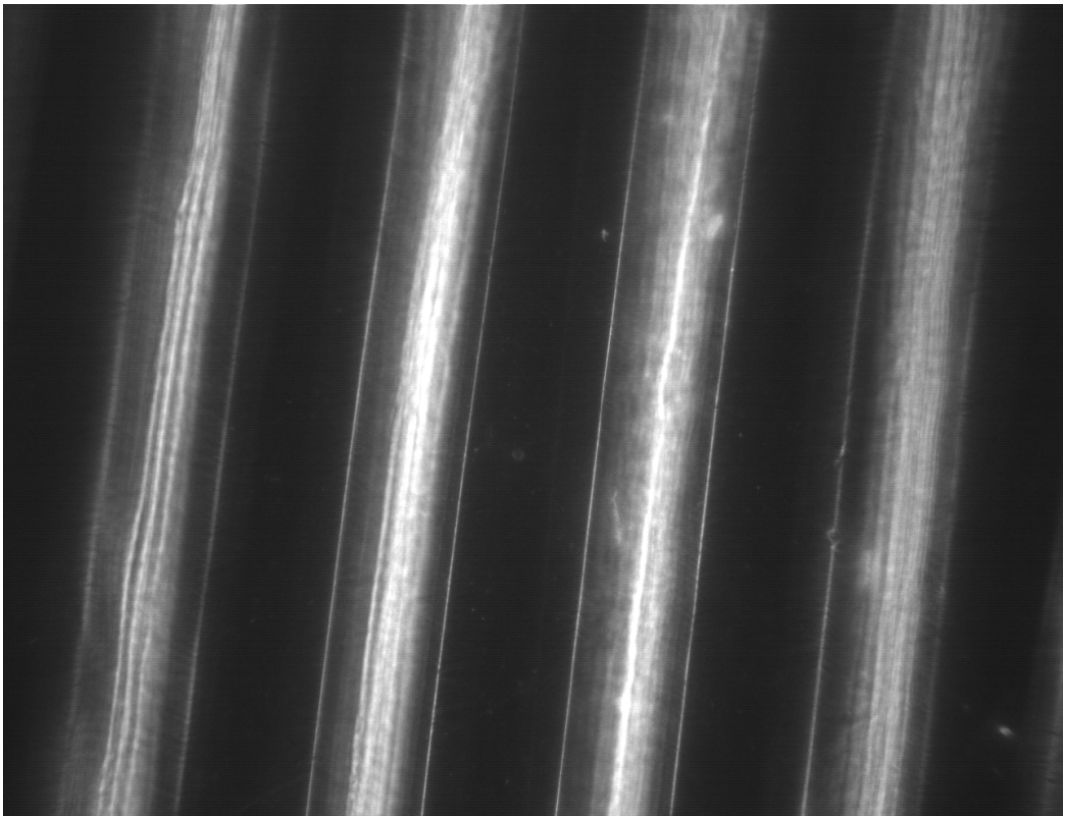


Obr. 75 Schéma intenzity histogramu drážky platí pro 33 ot/min i pro 78 ot/min záznam,vlevo při zastření na stěnu drážky (schéma C) a vpravo při zaostření na dno drážky (schéma D)

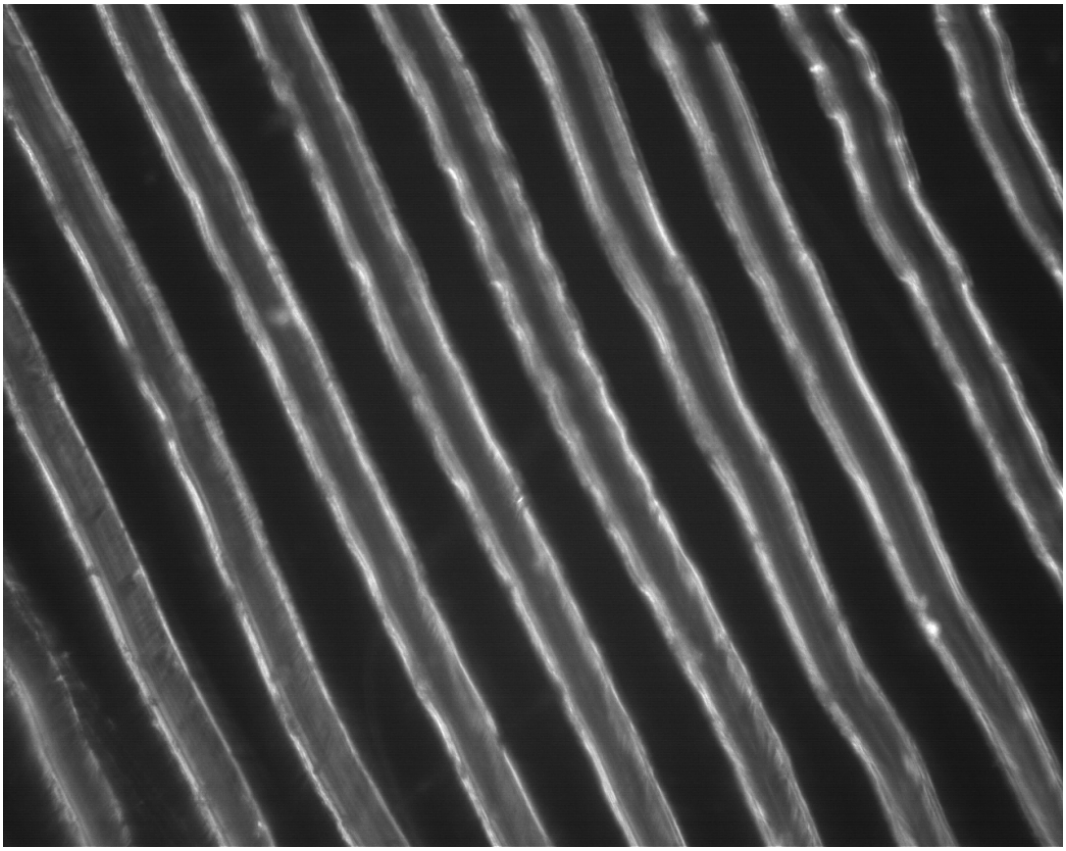
Níže ukázka snímků drážky při zaostření na povrch desky, stěnu a dno drážky:



Obr. 76 Zaostření na povrch desky odpovídá schématu intenzity A

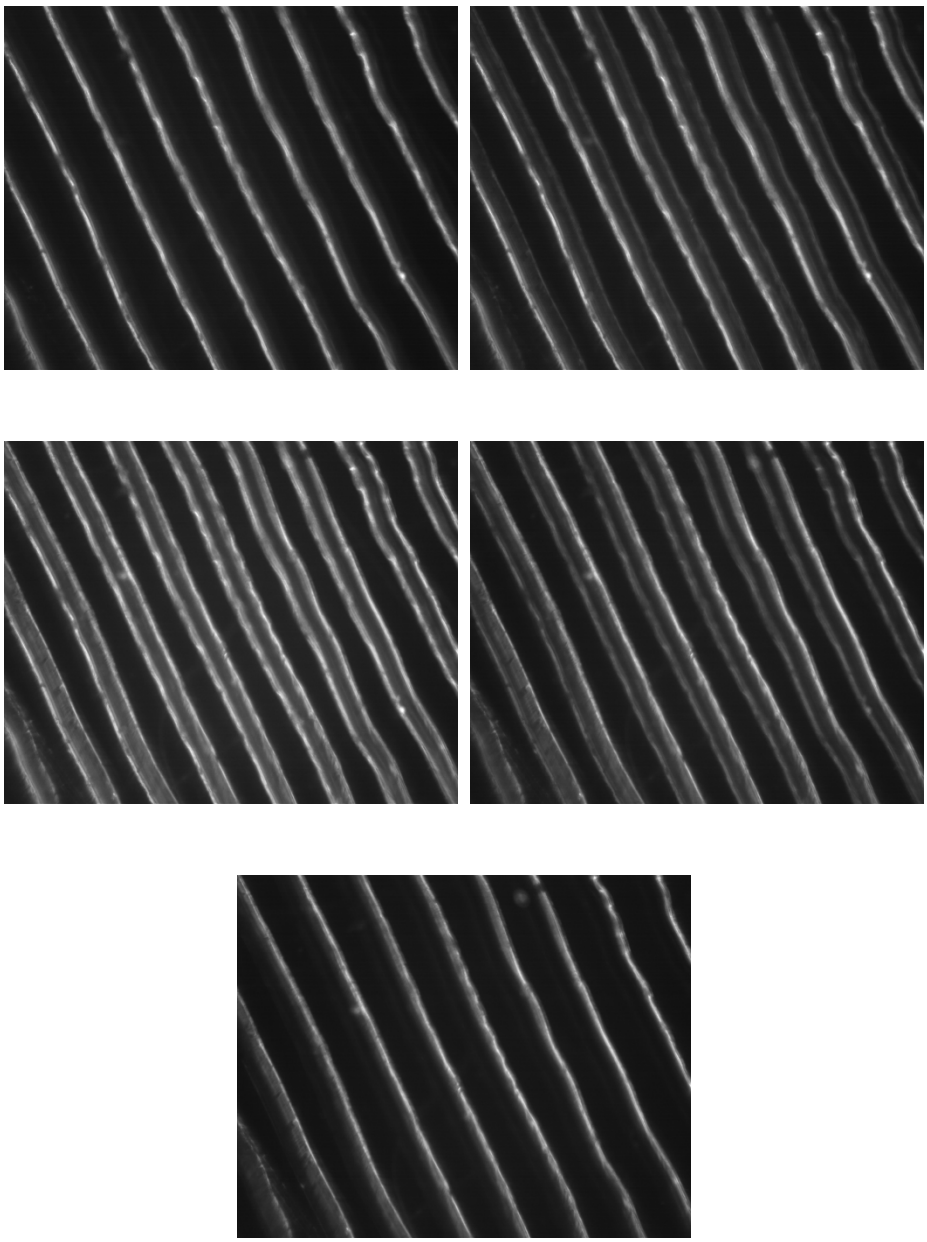


Obr. 77 Zaostření na povrch desky odpovídá schématu intenzity B



Obr. 78 Zaostření na stěnu nebo dno drážky odpovídá schématu intenzity C a D

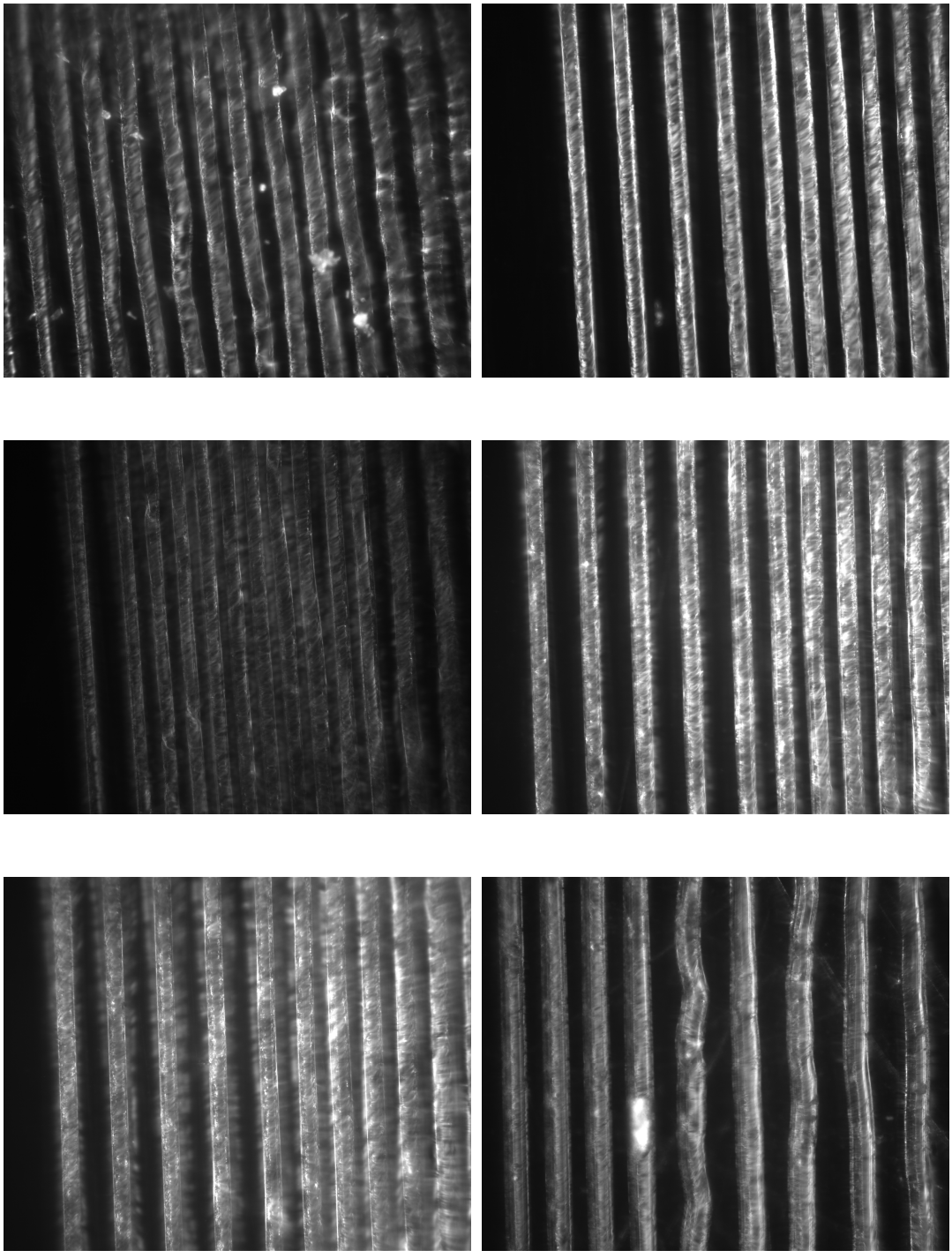
Regulace osvícení levé a pravé stěny drážky pro 33 ot/min záznam:



Obr. 79 Regulace osvícení pravé a levé stěny drážky

První snímek znázorňuje levou stěnu drážky při 100% intenzitě jasu světla zprava. Druhý snímek znázorňuje levou stěnu drážky při 100% intenzitě zprava a pravou stěnu drážky při 25% intenzitě jasu světla zleva. Třetí snímek znázorňuje levou a pravou stěnu při 100% intenzitě jasu světla z obou stran. Čtvrtý snímek znázorňuje levou stěnu drážky při 25% intenzitě zprava a pravou při 100% intenzitě jasu světla zleva. Pátý snímek znázorňuje pravou stěnu drážky při 100% intenzitě jasu světla zleva.

Vliv výsledné intenzity snímku při špatném zaostření na drážku (nad nebo pod požadovanou plochu ostření). První čtyři snímky znázorňují zaostření na stěnu drážky podle schématu C. Pátý a šestý snímek znázorňuje ostření na povrch desky podle schématu A.



Obr. 80 Snímky 33 ot/min záznamu při ostření

3.6 Snímané gramofonové desky

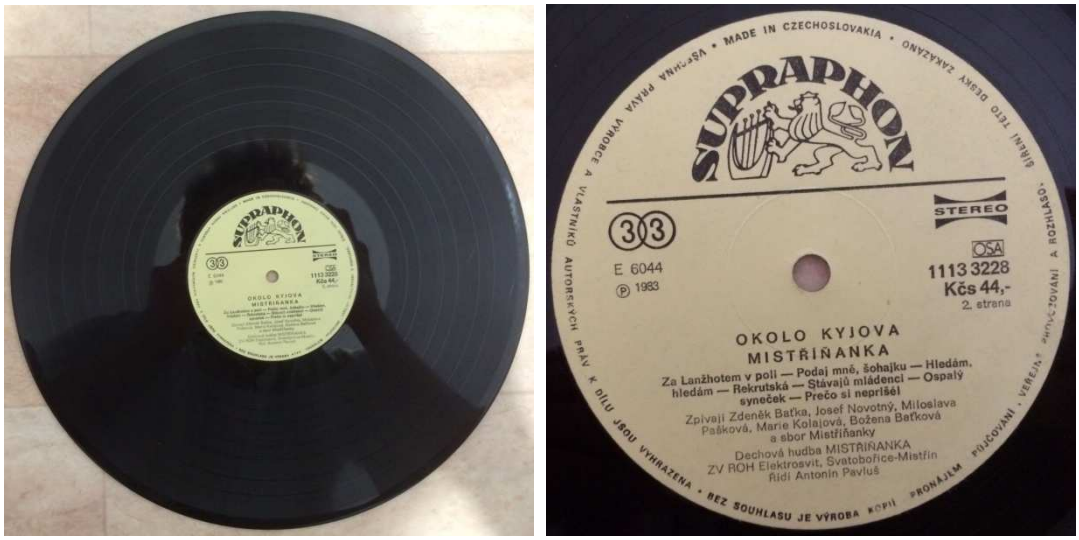
První deska, kterou jsem snímal v této práci je 7" deska s monofonním záznamem o přehrávací rychlosti 45 ot/min z roku 1966.

Obr. 81 7" deska s rychlostí přehrávání 45 ot/min

Druhá snímaná deska je 10" s rychlostí přehrávání 78 ot/min s monofonním záznamem.

Obr. 8210" deska s rychlostí přehrávání 78 ot/min

A poslední třetí deska, kterou v této práci snímám je 12" deska s rychlostí přehrávání 33-1/3 ot/min (zkráceně 33 ot/min) se stereofonním záznamem z roku 1983.



Obr. 83 12" deska s rychlostí přehrávání 33 ot/min

Důvodem, proč se snímaly tyto desky bylo ověření snímání drážky pro odlišné parametry (rozměry) drážek na deskách.

3.7 Souhrn snímacích zařízení

V této kapitole se rozebírá jaké snímací zařízení bude nejvhodnější pro snímání gramofonové drážky. Rozhodl jsem se využít CCD snímač a pořízené snímky zpracovávat v prostředí MATLAB. Snímací zařízení jsem vybíral podle krytéria z předchozí kapitoly, tj. které bude mít velikost snímaného jednoho pixelu co nejblíže 1 µm. Proto jsem zvolil průmyslovou kameru ThorLabs DCC1545M s mikroobjektivem 20x/0,4. Skener má příliš malý detail drážky a na snímku je velice šumu (dáno nastavením parametrů pro skenování). Digitální fotoaparát má lepší detailnost drážky ale stále nesplňuje zadané krytérium. Mikroskop AM-432B je velice blízko danému krytériu, ale má málo místa mezi objektivem a stojanem pro umístnění polohovacího zařízení gramofonové desky.

Tab. 7 Přehled snímacích zařízení

zařízení	snímaná plocha	rozlišení	1 pixel je	počet snímků
Skener MP560	210x297 mm (A4)	2400 DPI	3,527 µm	6,0
Nikon D7100	11,52x7,68 mm	6000x4000 pix	1,92 µm	119,5
AM-432B	1,47x1,17 mm	1280x1024 pix	1,15 µm	784,3
Průmyslová kamera	1,28x1,02 mm	1280x1024 pix	0,99 µm	899,7

4 Návrh pracoviště pro snímání gramofonového záznamu

Tato kapitola se zabývá teoretickým a praktickým návrhem pracoviště pro snímání gramofonové drážky za využití rastrové průmyslové kamery s mikroobjektivem.

4.1 Teoretický návrh pracoviště

Tato podkapitola shrnuje poznatky využitelné pro vhodné sestavení pracoviště pro snímání gramofonové desky a pro detekci výrobních vad.

Mechanické nedokonalosti gramofonové desky mají vliv na návrh snímacího pracoviště, jako například nerovnost povrchu a házivost desky.

Gramofonová deska není dokonale rovná (vlní se, je prohnutá).Zvlnění je dáno výrobou, materiálem a uskladněním. Tento faktor má veliký vliv na snímání drážky. Drážku fotíme za pomocí mikroobjektivu, kde je hloubka ostrosti snímku velice malá. Výpočet hloubky ostrosti podle rovnice (3.7):

$$DOF = \frac{cN\left(1+\frac{M}{p}\right)}{M^2\left(\frac{1\pm cN}{fM}\right)} = \frac{0{,}0055*2{,}8\left(1+\frac{2{,}63}{1}\right)}{2{,}63^2\left(\frac{1\pm 0{,}0055*2{,}8}{4*2{,}63}\right)} = 0{,}0838\ a\ 0{,}0862\ mm$$

Od roviny zaostření směrem k fotoaparátu je snímek ostrý do vzdálenosti 83,8 µm a od roviny zaostření směrem od fotoaparátu do vzdálenosti 86,2 µm (celková hloubka ostrosti je 170 µm). Prohnutí desky dle předpisu může být maximálně ±0,75 mm od dokonalé roviny. Takže povrch desky může kmitat při otáčení v ose Z až o 1,5 mm. Hloubka ostrosti snímku nepokryje toto zvlnění desky a musí se proto pohybovat s průmyslovou kamerou v ose Z aby pořízený snímek byl ostrý. Tento problém ostření by kompenzoval talíř, který by měl vybroušený hladký povrch s vakuovým uchycením desky a kamera by byla postavena kolmo k talíři. Tím by se kompenzovalo zvlnění (křivost) gramofonové desky a odpadlo by polohování průmyslové kamery pro doostření snímku.

Další vadou desky je házivost. Deska může při otáčení na talíři házet do strany vůči kameře. Tento problém není tak důležitý při vlastním snímání jako při prvním nastavení snímané stopy. Může se stát, že při první otáčce se drážka dostane mimo záběr kamery a

nebude na některých snímcích vůbec vyfocena. Proto se musí při snímání první drážky nechat alespoň polovina snímané plochy jako rezerva pro případné házení desky (postup použitý při snímání desek v této práci).

Šířka drážky zase má vliv výběr vhodného objektivu. V této práci se primárně používá objektiv s parametry 20x/0,4 , který na desce s 78 ot/min záznamem zaznamená přibližně 3-4 drážky (šířka drážky je 180 µm) a na desce s 33 ot/min záznamem zaznamená kolem 8 až 10 drážek (šířka drážky je 40 µm).

Byla využita rastrová průmyslová kamera, což mělo vliv na polohování talíře nebo-li pootočení desky. Kamera snímá určitou plochu desky a po vyfocení daného místa se musí přesunout na další místo které má vyfotit. Proto se musí s deskou po určitém kroku pootáčet. Velikost snímané plochy za použití již zmiňovaného mikroobjektivu 20x/0,4 je 1,28x1,02mm. Pokud se zvolí rozměr 1,02 mm snímané plochy za krok posuvu, potřebujeme o tento rozměr pootáčet s deskou před sejmutím každého dalšího snímku.

První drážka, která nese záznam podle normy RIAA může být na poloměru:

Tab. 8 Poloměry záznamu, jednotky v mm

Deska	7"	10"	12"
Vnější poloměr záznamu	84,15	120,65	146,05
Vnější obvod	528,73	758,07	917,66
Vnitřní poloměr záznamu	54,00	60,30	60,30
Vnitřní obvod	339,29	378,88	378,88

Pro následující napojování snímků budeme potřebovat jisté vzájemné překrytí za sebou následujících snímků. Překryv byl zvolen 30% z velikosti snímku:

$$Velikost\ překryvu = délka\ snímku * překriv = 1{,}02\ mm * 30\% = 0{,}306\ mm$$

$$Krok\ posunu = délka\ snímku - velikost\ překrytí = 1{,}02 - 0{,}306 = 0{,}704\ mm$$

Výsledný krok posunu na další snímek činí 0,704 mm. Počet kroků na jednu otáčku desky je dán vztahem:

$$Počet\ kroků = \frac{Vnější\ nebo\ vnitřní\ obvod\ desky}{krok\ posunu}\ [-] \quad (4.1)$$

$$Úhel\ pootočení\ desky\ pro\ jeden\ krok = \frac{360°}{počet\ kroků}\ [°] \quad (4.2)$$

Tab. 9 Vypočtené hodnoty z rovnic 4.1 a 4.2

Deska	7"	10"	12"
Počet kroků na vnějším okraji (-)	749,3	1074,4	1300,5
Úhel pootočení desky o jeden krok (stupeň)	0,480	0,335	0,277
Počet kroků na vnitřním okraji (-)	480,9	537,0	537,0
Úhel pootočení desky o jeden krok (stupeň)	0,749	0,670	0,670

Nejmenší pootočení desky je na vnějším odvodu 12" desky a činí 0,277 stupně. Počet kroků odpovídá počtu pořízených snímků drážky.

Souhrn specifikací pro pracoviště z teoretického návrhu:

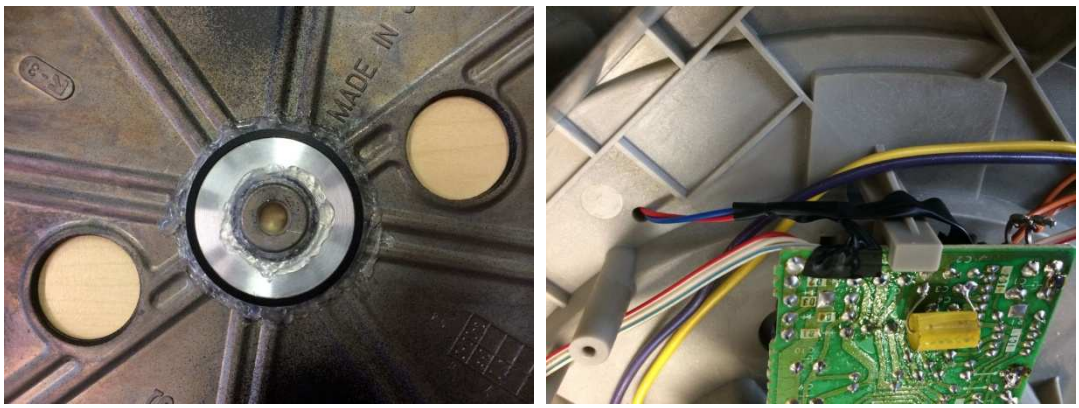
- Polohovat talířem maximálně s krokem 704 µm nebo 0,277 stupně
- Polohovat s kamerou při zaostřování maximálně s krokem 1/4 z hloubky ostrosti $\frac{170\ \mu m}{4} \cong 43\ \mu m$.
- Při prvním snímání nechat 1/2 šířky záběru snímku prázdnou z důvodu eliminace házení desky

4.2 Praktický návrh pracoviště

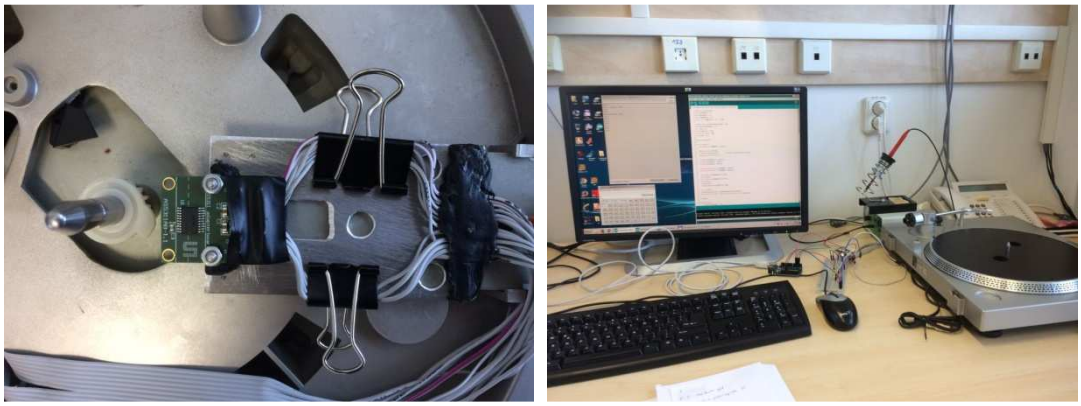
Tato kapitola se zabývá použitými díly a stavbou snímacího pracoviště.

4.2.1 Polohování gramofonového talíře

Během prvního pokusu o sestavení polohovacího zařízení byl použit gramofon Sony PS-15. Díky velké setrvačnosti talířr bylo velice problématické přesně polohovat talíř na požadovanou polohu.



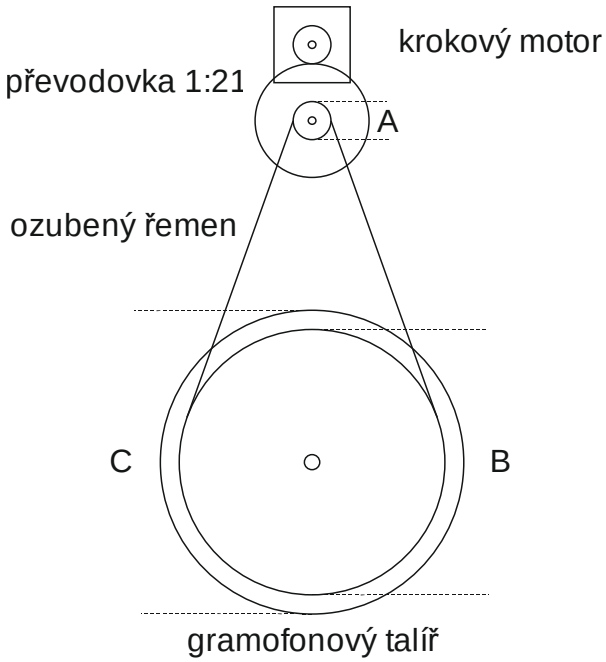
Obr. 84 Vlevo magnetický prstenec na talíři gramofonu Sony-PS15, vpravo vyvedení řídícího signálu pro otáčení talíře



Obr. 85 Vlevo snímací čidlo polohy AMS 5311, vpravo pokus o polohování gramofonového talíře

Druhá varianta zařízení využívala lehký plastový gramofonový talíř s polohováním za pomoci krokového motoru (minimalizovat dynamiku systému). Nebyl použit komerčně dostupný gramofonový přístroj, ale byl vytvořen vlastní koncept polohovacího zařízení.

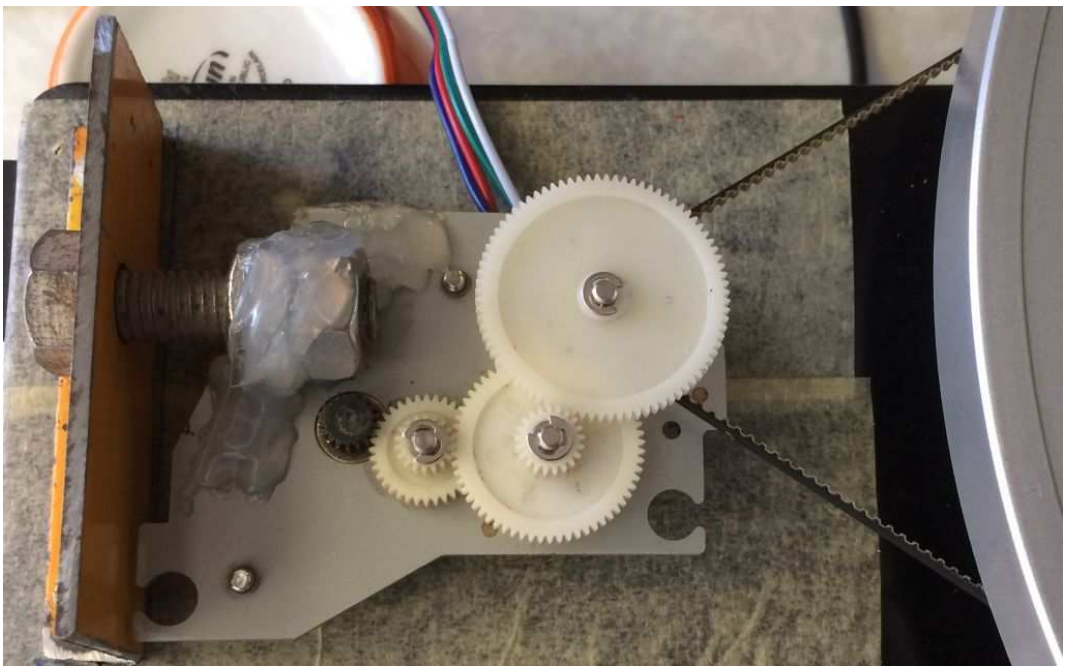
Pro polohování talíře byl vybrán krokový motor s 48 kroky na otáčku a převodovkou 1:21. Jedná se o krokový motor Neocene 2T354238 s převodovkou a ozubeným řemínkem vymontovaný ze skeneru HP. Poslední ozubené kolo v převodovce zabírá do ozubeného řemene, který přenáší pohyb na gramofonový talíř.



Obr. 86 Schéma pohonu gramofonového talíře krokovým motorem s převodovkou

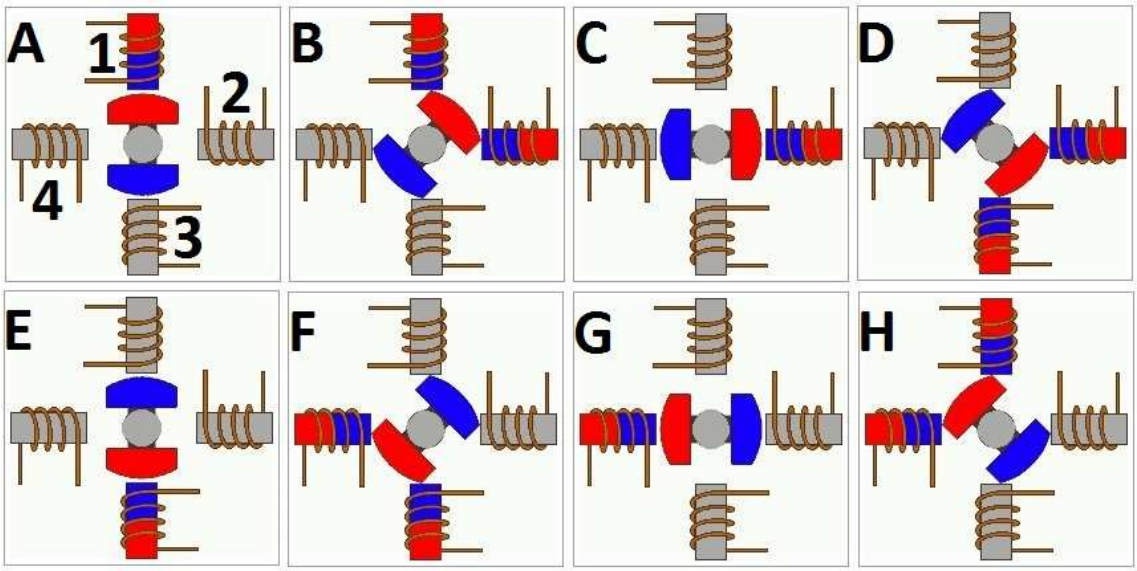
Průměr A = 8,5 mm, B =220 mm a C = 280 mm. Délka řemínku je 750 mm. Převod mezi A a B je $25{,}88\ \left(\frac{220\ mm}{8{,}5\ mm}\right) : 1$. Tedy celkový převod celé sestavy je 1 : 543,48. Krokový motor má 48 kroků na otáčku, jedno otočení talíře je tedy 26 090 (48x543,48) kroků pro krokový motor. Posun na vnějším okraji desky pro jeden krok motoru je $\frac{917{,}66\ mm\ pro\ 12"}{26\ 090\ kroků} = 45{,}6\ \mu m$.

$$Úhel\ pootočení\ talíře\ o\ jeden\ krok = \frac{360°}{26\ 090\ kroků} = 0{,}0137°$$



Obr. 87 Fotka krokového motoru Neocene 2T354238 s převodovkou 1:21 pro pootáčení talíře

Stator krokového motoru má dvě dvojice cívek. Rotor je váleček s vyniklými póly, které se přitahují (otáčejí) za vinutím statoru, které je zrovna pod napětím. Jednotlivá vinutí statoru se musí v určitém sledu zapínat a vypínat, aby se rotor začal daným směrem otáčet po jednotlivých krocích.



Obr. 88 Princip fungování krokového motoru s mezikroky, zdroj [36]

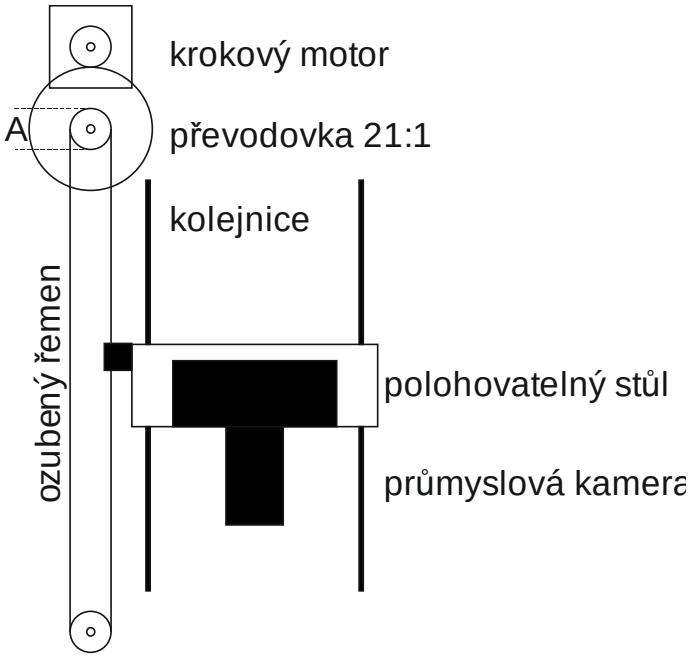
Tab. 10 Spínání jednotlivých cívek pro otáčení rotoru z Obr. 88 výše

Poloha	A	B	C	D	E	F	G	H
Cívka 1	1	1	-	-	-	-	-	1
Cívka 2	-	1	1	1	-	-	-	-
Cívka 3	-	-	-	1	1	1	-	-
Cívka 4	-	-	-	-	-	1	1	1

Talířem lze pootáčet po kroku, který představuje úhel 0,0137 stupně. Požadavek na minimální úhel pootočení s talířem podle specifikací z předchozí kapitoly je tedy splněn (704 µm nebo 0,277 stupně).

4.2.2 Polohování průmyslové kamery pro ostření snímku

Pro polohování průmyslové kamery pro ostření snímku byl použit stejný krokový motor s převodovkou a řemínkem jako pro polohování talíře. Krokový motor Neocene 2T354238 s 48 kroky na otáčku a převodovkou 1:21.



Obr. 89 Schéma pohonu pro polohování průmyslové kamery

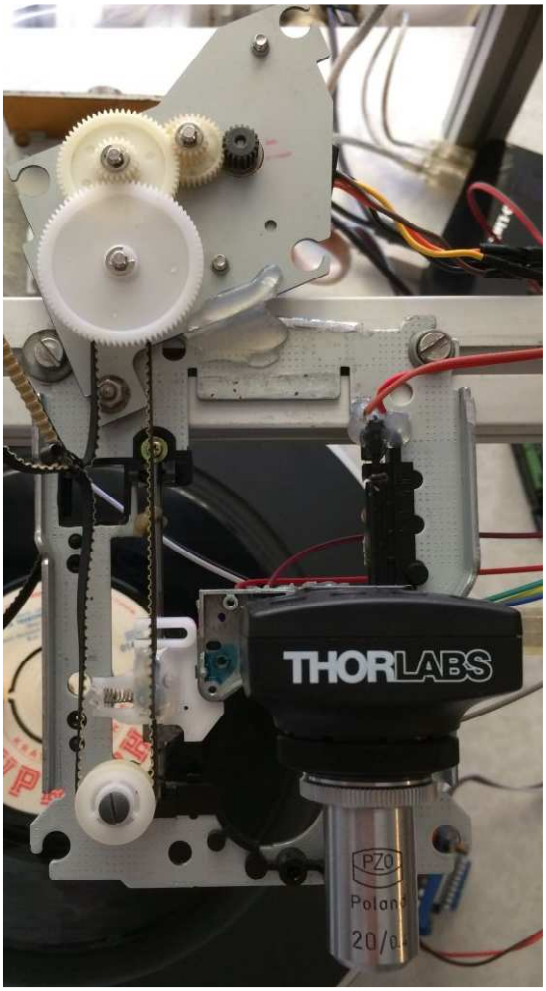
Průměr A = 8,5 mm, obvod ozubeného kola pro průměr A je 26,7 mm. Jedna otáčka ozubeného kola je pro krokový motor 1008 kroků, lze tedy posouvat kamerou o 26,49 µm.

$$Obvod\ A = 2 * \pi * \frac{A}{2} = 2\pi \frac{8{,}5\ mm}{2} = 26{,}7035\ mm \qquad (4.3)$$

$$Počet\ kroků\ otočení\ A = převod * počet\ kroků\ krokového\ motoru \tag{4.4}$$

$$Počet\ kroků\ otočení\ A = 21 * 48 = 1008\ kroků$$

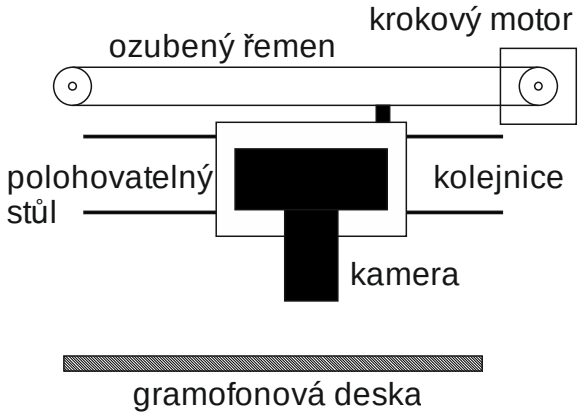
$$Minimální\ posun\ kamery = \frac{obvod\ A}{počet\ kroků\ otočení\ A} = \frac{26{,}7035\ mm}{1008\ kroků} = 26{,}49\ \mu m \tag{4.5}$$



Obr. 90 Fotka krokového motoru Neocene 2T354238 s převodovkou 1:21 pro posuv průmyslové kamery

Kamerou lze pohybovat v rozsahu 32 mm (od nulové polohy, která je u horního okraje kolejnic, až k spodnímu okraji kolejnic kde je zarážka) po jednom kroku, který představuje posun o 26,49 µm. Požadavek na maximální posun kamery podle specifikací z předchozí kapitoly je tedy splněn (43 µm).

Bylo by vhodné sestavit třetí pohon, který by polohoval průmyslovou kamerou na požadovaný poloměr desky. Třetí pohon není zahrnut v této práci. Pohon by mohl být realizován za pomoci podobných částí jako oba předešlé.

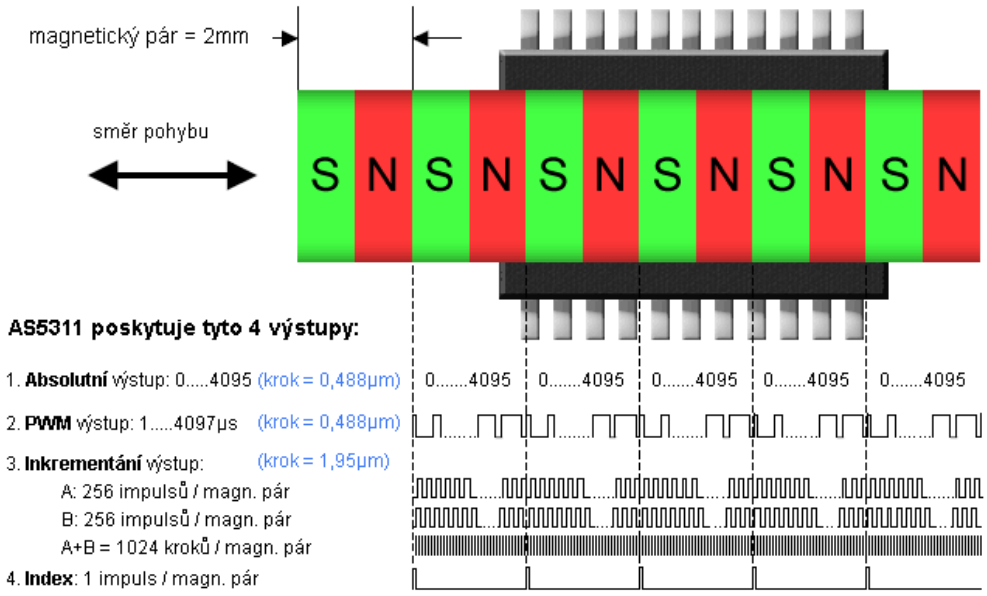


Obr. 91 Polohovací zařízení pro polohování na daný poloměr záznamu desky pro snímací kameru

4.2.3 Určování polohy za použití AMS 5311 magnetického kodéru polohy

Krokové motory používají převodovku pro zvýšení počtu kroků, což je pro přesné polohováním velkým přínosem. Využití převodovky přináší také zápory. Jedná se hlavně o vůli mezi převody. Jelikož tato vůle není v celém rozsahu pohybu konstantní musí se skutečná poloha talíře a kamery snímat. Pro snímání skutečné polohy talíře a kamery se použil senzor AMS 5311 [**28**]. Jedná se lineární magnetický kodér polohy s vysokým rozlišením pracujícím s magnetickým páskem nebo prstencem.

Technické parametry čipu: absolutní výstup (ABI) a pulzně šířková modulace (PWM) je 12 bitů na jeden magnetický pól pár, inkrementální výstup A+B má 10 bitů rozlišení s index pulzem jednou za pól pár. Snímací vzdálenost čidla od magnetického pásku je 1-2 mm. Nejmenší délka magnetického pól páru je 2 mm. Čidlo se dodává s magnetickým páskem s délkou pól páru 2 mm a lze získat vzorek magnetického prstence od výrobce s 64 pól páry o délce pól páru 2 mm.



Obr. 92 Princip fungování AMS 5311 s magnetickým páskem nebo prstencem, ze zdroje [28]

Při použití inkrementálního výstupu (pro použití s kvadraturním enkodérem v mikročipech) A+B má na vzdálenost 2 mm 1024 pulzů.

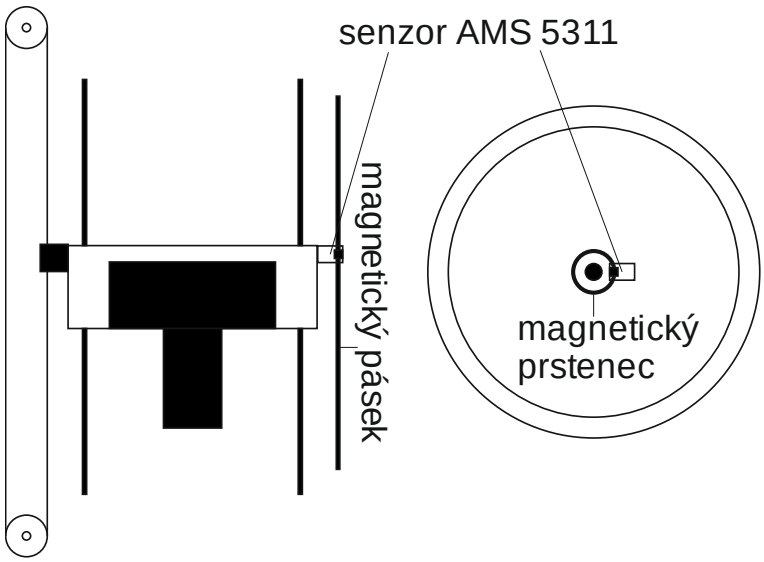
$$Rozlišovací\ krok\ pro\ pásek = \frac{délka\ pól\ páru}{počet\ pulzů\ A{+}B}\ [mm] \tag{4.6}$$

$$Rozlišovací\ krok\ pro\ pásek = \frac{2\ mm}{1024\ pulzů} = 19{,}53\ \mu m$$

$$Rozlišovací\ úhel\ pro\ prstenec = \frac{360°}{počet\ pól\ páru\ prstence * počet\ pulzů\ A{+}B}\ [°] \tag{4,7}$$

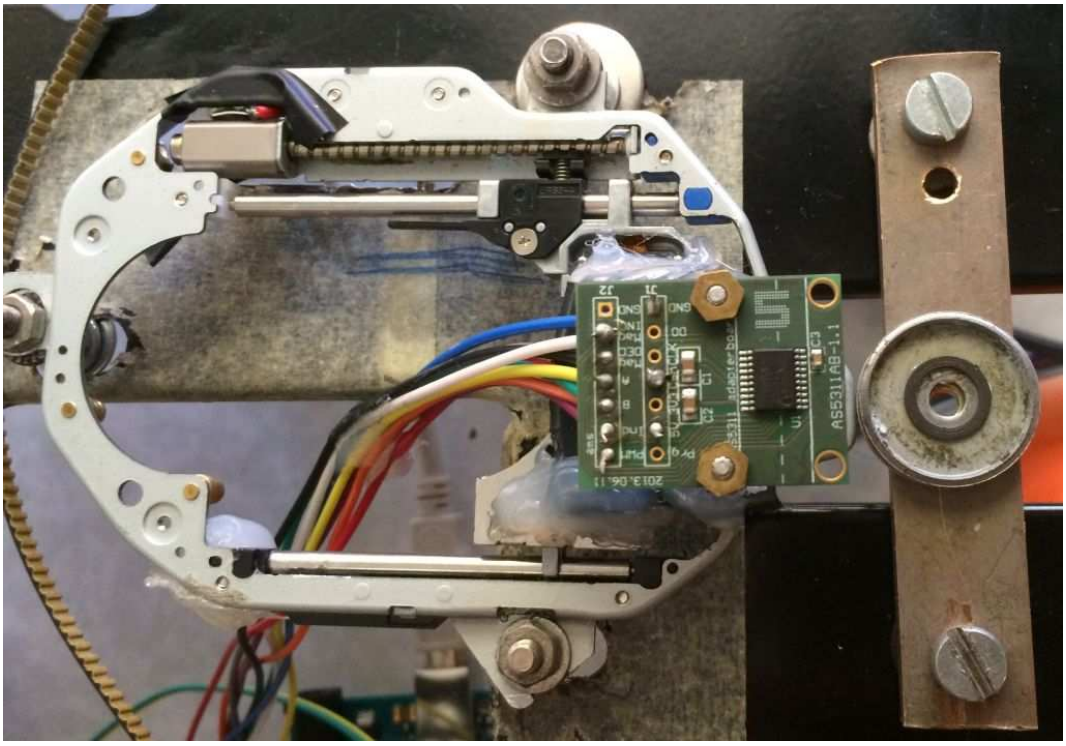
$$Rozlišovací\ úhel\ pro\ prstenec = \frac{360°}{64\ pól\ páru * 1024\ pulzů} = 0{,}00549°$$

Nejmenší pootočení talíře je 0,0137° a nejmenší krok kamery je 26,49 µm. Tento sensor lze použít pro snímání polohy kamery i talíře.



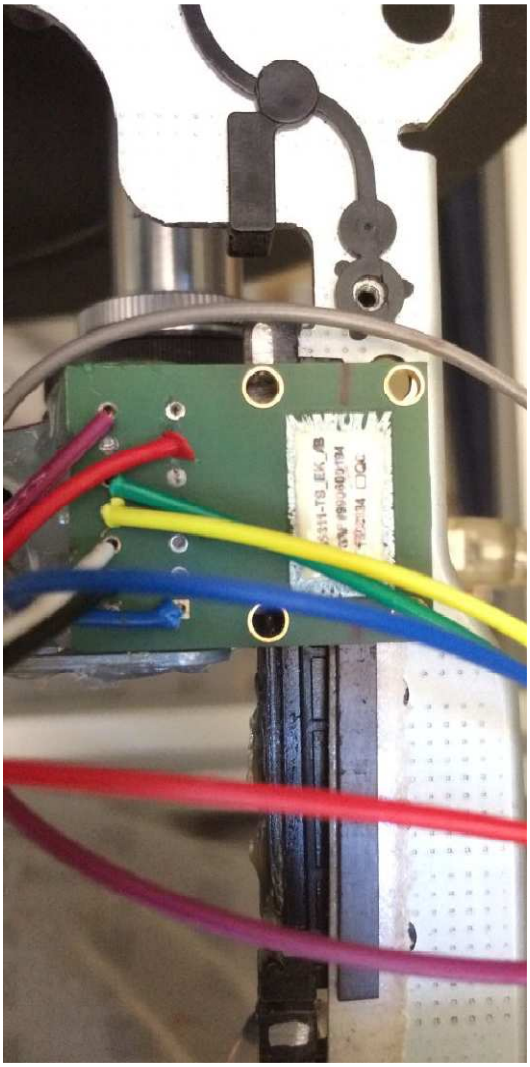
Obr. 93 Schematické znázornění umístnění AMS 5311 magnetického pásku nebo prstence

Magnetický prstenec byl připevněn na spodní stranu gramofonového talíře za pomoci vysoustružené podložky z duralu s rozměry prstence v příloze A. Magnetický pásek byl přilepen podél kolejnic posuvného stolu na kterém je umístněna průmyslová kamera.



Obr. 94 Umístění senzoru AMS 5311 pro snímání polohy gramofonového talíře

Obr. 95 Umístnění podložky pro magnetický prstenec na spodní straně gramofonového talíře

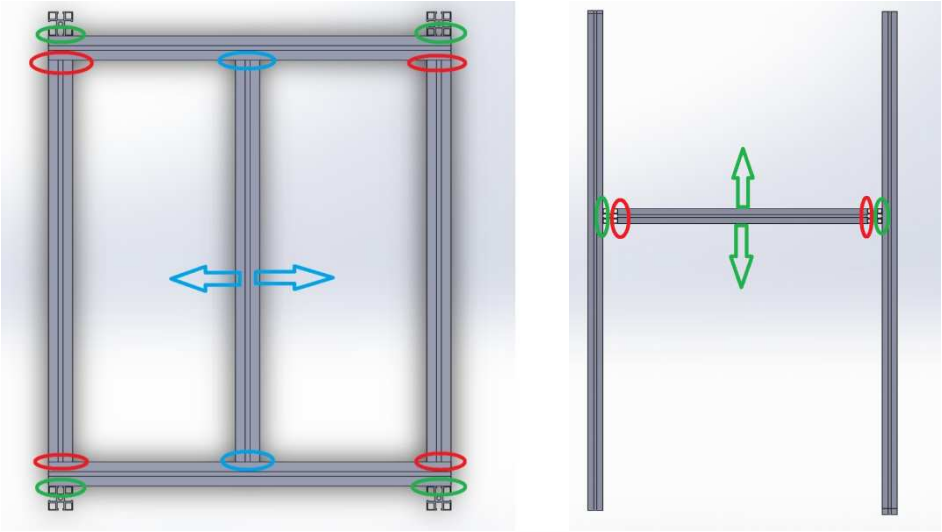


Obr. 96 Umístnění senzoru AMS 5311 s magnetickým páskem pro snímání polohy průmyslové kamery

4.2.4 Stůl pro uchycení kamery nad gramofonovou desku

Pro umístění průmyslové kamery nad gramofonouvou desku bylo potřeba sestrojit nosnou konstrukci. Výroba stolu byla zadána firmě Alutec KK [**29**]. Rozměry stolu jsou v příloze B.

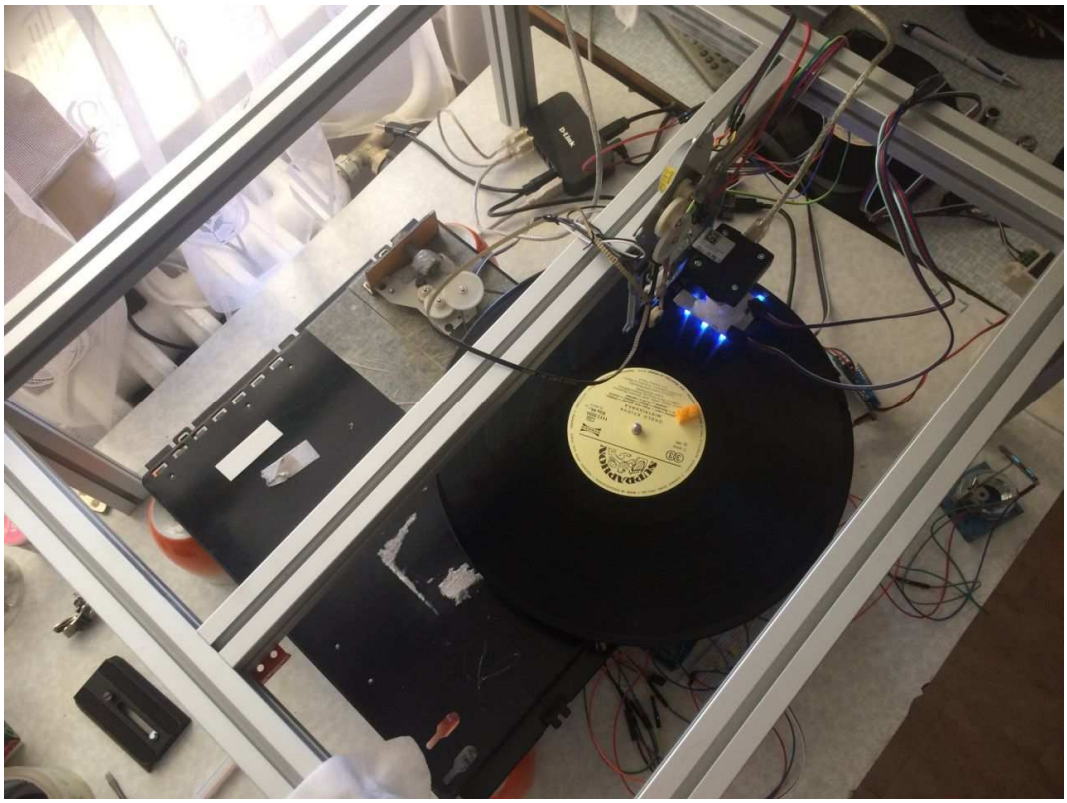
Obr. 97 Stůl pro držení kamery nad gramofonovou deskou



Obr. 98 Stůl pro držení kamery. Pevné spoje jsou označeny červeně. Zeleně jsou označeny spoje pro nastavení výšky nad talířem. Modře jsou označeny spoje pro nastavení polohy záznamového zařízení nad požadovaným poloměrem desky.

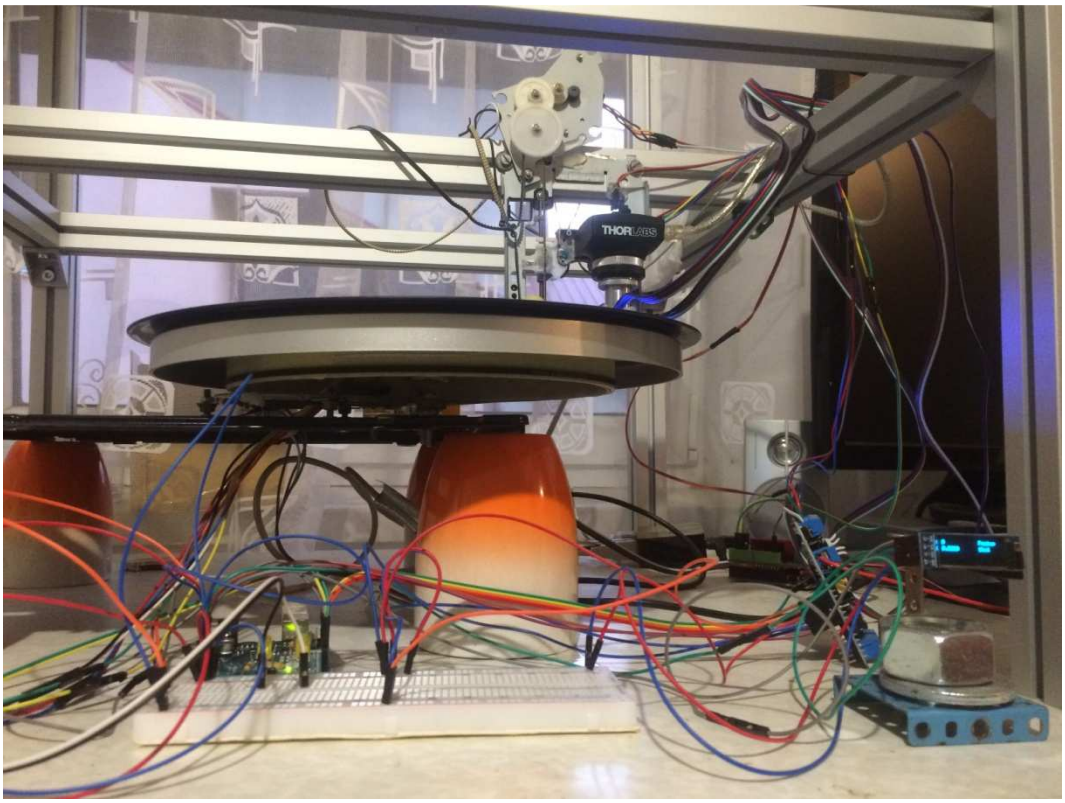
4.3 Smínky pracoviště

Smínky sestaveného pracoviště pro snímání gramofonové drážky.

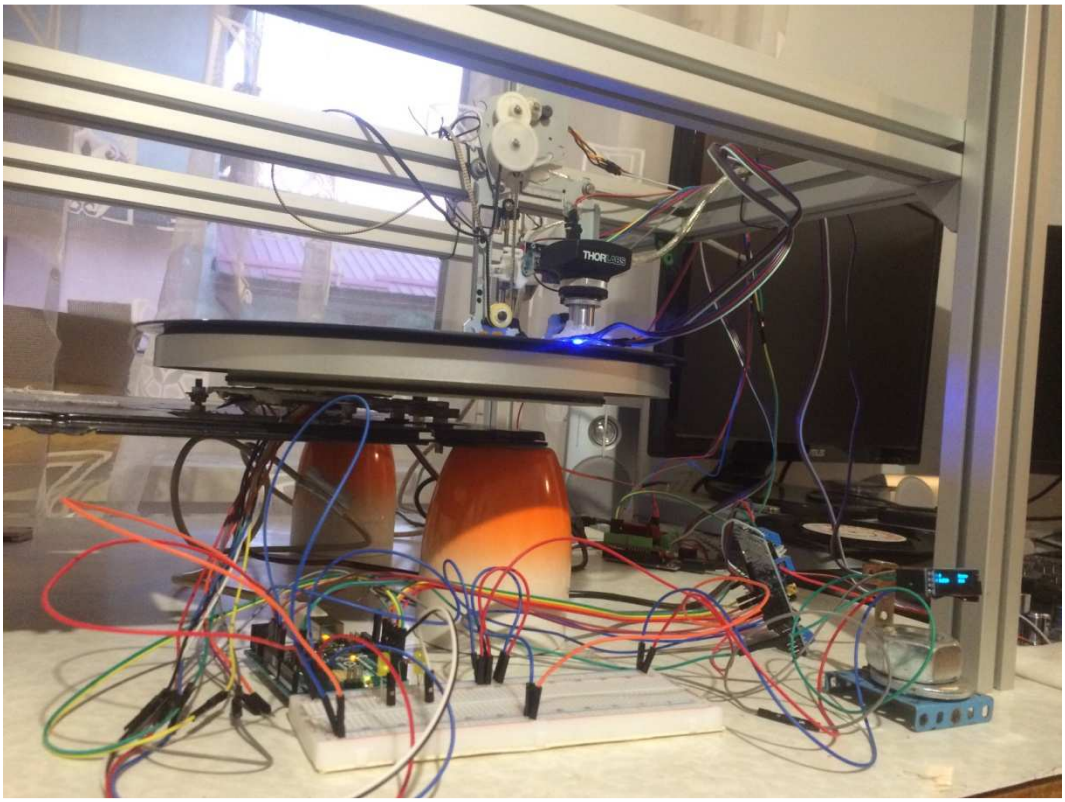


Obr. 99 Snímek celého polohovacího zařízení pro gramofonovou desku

Obr. 100 Vlevo osvícení drážky za pomocí bílých LED diod, vpravo polohování průmyslové kamery s osvícením 5050 RGB LED.



Obr. 101 Snímek celého polohovacího zařízení pro gramofonovou desku



Obr. 102 Snímek celého polohovacího zařízení pro gramofonovou desku

5 Programové vybavení pracoviště

Tato kapitola se zabývá programovou a řídící částí pracoviště. Programová část je psaná v programovacím prostředí pro Arduino, které se stará o řízení krokových motorů a čtení polohy ze senzorů. Řídící část je psaná v prostředí MATLAB, ze které jsou posílány řídící instrukce pro polohování talíře, kamery a focení drážky.

5.1 Program a zapojení pro polohování gramofonového talíře

Pro řízení krokového motoru byl použit vývojový shield DFRobot 2x2A DC motor [**31**], který je osazený do patice na vývojovém kitu Arduino Uno [**30**]. Dále je připojený OLED display SSD1306 [**32**], který komunikuje s Arduinem přes I2C sběrnici (pin A4 - data, pin A5 - hodiny). Dále snímač polohy AMS 5311 [**28**], který je připojený na piny D2 a D3 kvadraturního čítače na Arduinu a pin D4 - výběr zařízení (CS - chip select). Arduino komunikuje s počítačem po sériovém rozhraní (COM).

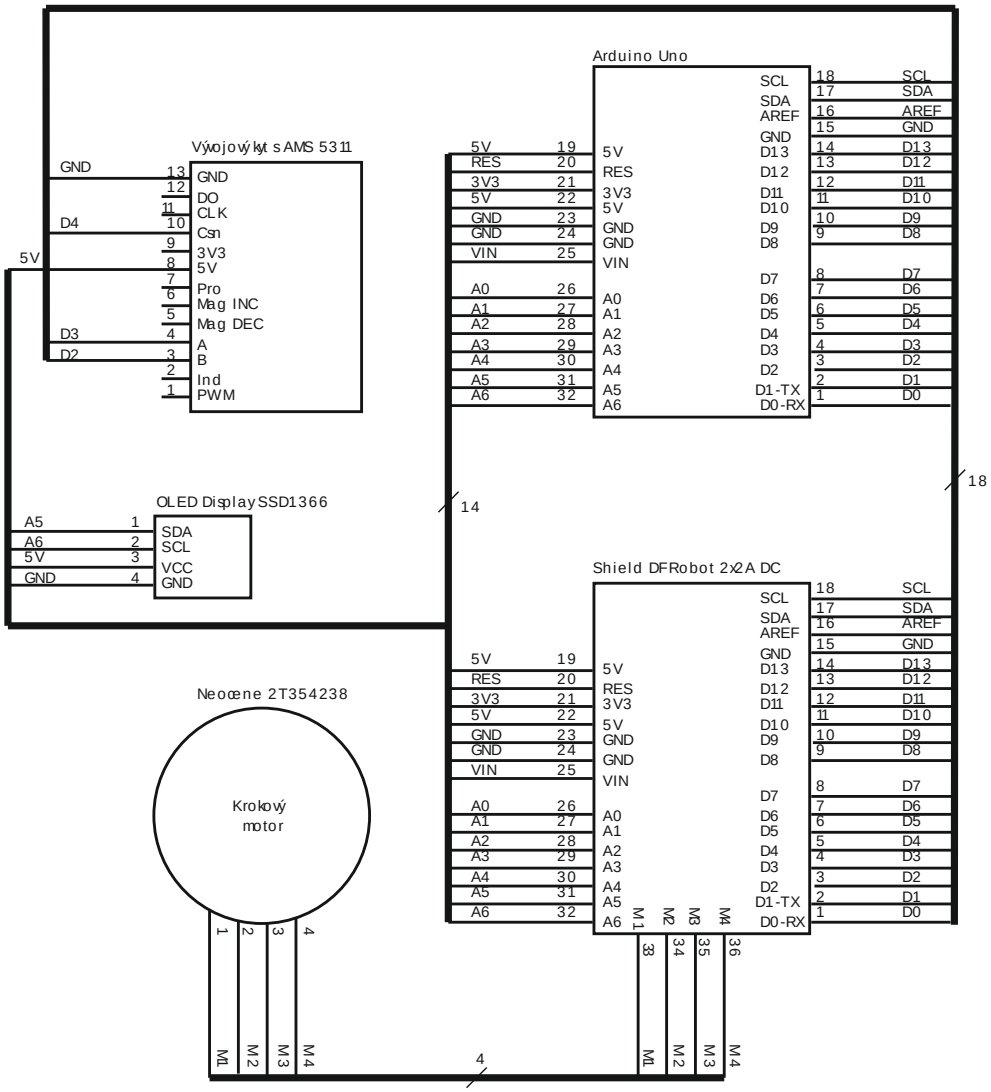
Pro ovládání OLED displaye SSD1306 se použila knihovna dostupná na stránkách github [**42**] pro tento čip. Ze stránek výrobce shieldu DFRobot 2x2A DC motor [**31**] se využila dostupná knihovna pro ovládání shieldu.

Jeden celý krok motoru představuje pootočení talíře o 0,0137°, nejmenší rozlišení pootočení čidla ASM 5311 je 0,00549°. Díky použití mezikroků lze talíř pootáčet po úhlu 0,00685 stupně. Za pomoci mikrokroků krokového motoru lze pootáčet talířem o úhel 0,00137 stupně.

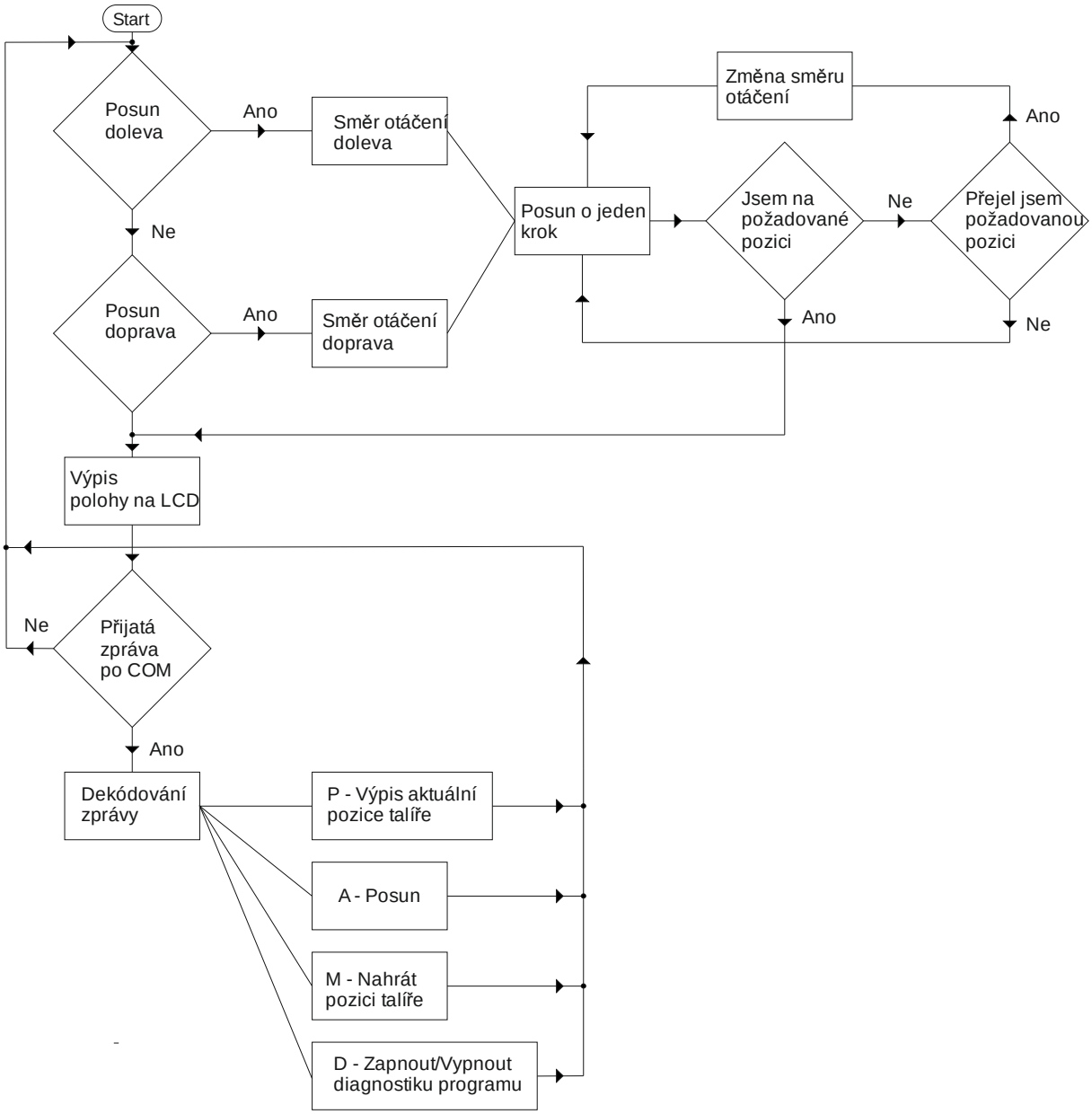
Zobrazení aktuální polohy talíře zle sledovat na OLED displayi. Na prvním řádku je informace o poloze talíře v krocích, kde 1 krok je pootočení talíře o 0,00549° (celá jedna otáčka talíře vyžaduje 65536 kroků). Na druhém řádku se zobrazuje informace o poloze talíře ve stupních (počet kroků * 0,00549°). Lze také zaslat po sériovém rozhraní textovou zprávu do Arduina "P" a Arduino zašle zpětně zprávu o aktuální poloze talíře ve formátu "Pozice: 102". Kde číslo 102 představuje počet kroků pootočení.

Po sériovém rozhraní z počítače do Ardnuina lze zasílat textové zprávy pro řízení polohování talíře:

- Přesun na polohu - formát "*Ax*", kde *x* je číselná poloha talíře. Například zaslání textové zprávy po sériovém rozhraní do Arduina "*A1*" představuje pootočení talíře o jeden krok, tedy pootočení o 0,00549 stupně. Pro celé otočení talíře se musí zaslat zpráva "*A65536*". Zpráva "*A1*" je pootočení talíře o jeden krok doprava a zpráva "*A-1*" je pootočení talíře o jeden krok doleva. Po dosažení požadované polohy Arduino zašle zpět zprávu "*Jsem na pozici :x*".
- Výpis aktuální polohy - formát "*P*". Při zaslání textové zprávy do Arduina "*P*", zpětně zašle Arduino zprávu "*Pozice: x*", kde *x* představuje aktuální pozici talíře, počet kroků (1 krok = úhel 0,0137 stupně).
- Změna výchozí pozice - formát "*Mx*", kde *x* je číselná poloha, kterou chceme nahradit aktuální polohu. Například: Talíř se nachází na pozici "*Pozice: 1020*" (tu zjistíme zasláním zprávy "*P*" nebo podíváním se na OLED display) a chceme tuto pozici změnit na "*Pozice: 100*" beze změny pootočení talíře. Zašleme tedy zprávu ve tvaru "*M100*". Zpětně Arduíno zašle zprávu "*Nahrana pozice :100*".
- Diagnostika - formát "*D*". Zapne nebo vypne diagnostiku programu, slouží pro programátora pro kontrolu funkčnosti kódu. Do sériového rozhraní se začnou vypisovat/nevypisovat podrobnější informace o provedení jednotlivých kroků programu.



Obr. 103 Schéma propojení jednotlivých komponent pro polohování talíře



Obr. 104 Vývojový diagram programu v Arduinu Uno pro polohování talíře

Po zapnutí polohování talíře se na OLED displayi vypíše nulová pozice (výchozí pozice) talíře. Na sériové rozhraní se zašle zpráva "*Start*". Arduinu začne běžet smyčka, která ověřuje příchozí zprávy po COM rozhraní. Pokud příjde zpráva po COM rozhraní, ověří se správnost formátu zprávy (podle formátu uvedeného výše) a následně se provede daný příkaz zprávy, jako je například: posun talíře, výpis polohy talíře, změnit aktualní pozici (nahrát), zapnout/vypnout diagnostiku nebo chybná zráva.

Při změně polohy se program nejdříve rozhodne na jakou stranu se talíř bude pootáčet (doleva/doprava) podle rozdílu aktuální pozice vůči požadované nové pozici. Pokuď je nová požadovaná pozice větší než aktuální, bude se talíř otáčet doprava a naopak se bude talíř

otáčet doleva. Talíř se posune o jeden krok daným směrem, ověří se jeho aktuální pozice s požadovanou polohou a pokud talíř je na dané pozici, posuv se ukončí a vypíše se zpráva o aktuální pozici na OLED displayi a na COM rozhraní. Pokud se talíř nenachází stále na dané pozici, ověří se směr pootáčení stejně jako při požadované nové pozici a talíř se zase pootočí o jeden krok. Toto se bude stále dokola opakovat než se talíř dostane do požadované polohy.

Doba najíždění na danou pozici talíře je dána nastavením krokového motoru. Pokud se v části kódu uvedeného níže změní typ krokování na DOUBLE, INTERLEAVE a nebo MICROSTEP, změní se daná doba najíždění.

```
//motor.step(-krok, FORWARD, MICROSTEP); // OK 0-1000 za 20s dlouhá doba nájezdu na pozici
//motor.step(-krok, FORWARD, INTERLEAVE); // OK 0-1000 za 52s
motor.step(-krok, FORWARD, DOUBLE); // OK 0-1000 za 33s
```

Otočení talíře z pozice *A0* (0°) na pozici *A1000* (5,49°) při nastavení DOUBLE trvá 31,54 sekundy, pro INTERLEAVE trvá 51,74 sekundy a pro MICROSTEP trvá 20,82 sekundy.

Rozptyl času je způsoben odlišnou dobou nájezdu do správné polohy (INTERLEAVE a MICROSTEP velice často přejížděly správnou polohu a následně kmitaly kolem požadované polohy než toto kmitání zastavil čítač změny polohy, který hlídá nezacyklení kmitání kolem požadované polohy, DOUBLE tyto problémy nevykazovalo). Proto bylo ve výsledku použito nastavení DOUBLE pro řízení krokového motoru. Jedna otáčka talíře trvá 1806 *s*. Talíř se nejdříve umístnil do výchozí pozice (zasláním zprávy "*A0*"), aby se talíř otočil o jednu celou otáčku musí se následně zaslat zpráva "*A65536*". Měřil se čas mezi zásláním zprávy "*A65536*" a přijetím zprávy "*Jsem na pozici :65536*".

5.2 Program a zapojení pro polohování průmyslové kamery

Pro řízení krokového motoru byl použit vývojový shield L293D stepper motor driver [**33**], který byl osazený na vývojovém kitu Arduino Uno [**30**]. Dále byl připojený snímač polohy AMS 5311 [**28**], který je připojený na piny *D2* a *D3* kvadraturního čítače na Arduinu a pin *D4* - výběr zařízení (*CS* - chip select). Arduino komunikuje s počítačem po sériovém rozhraní (COM).

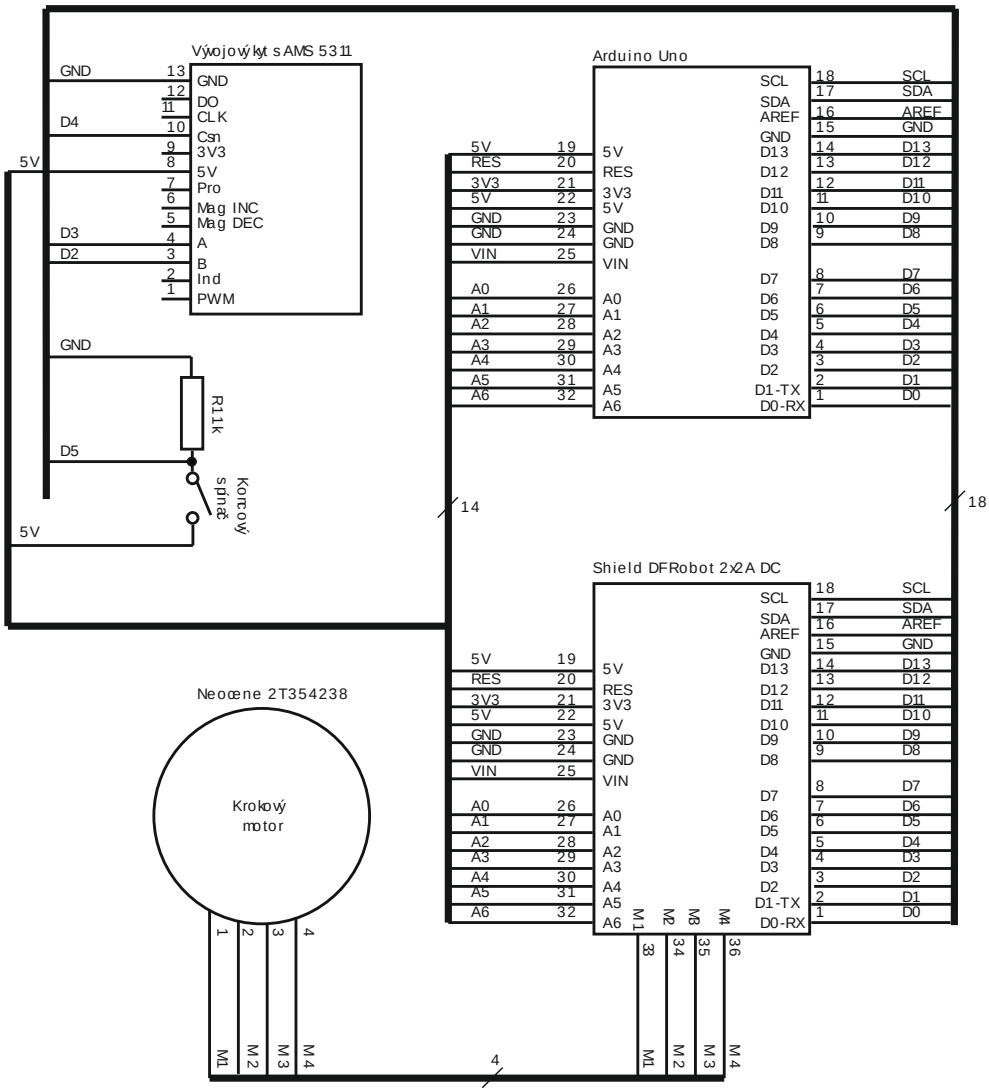
Kameru lze posouvat v rozsahu 32 mm (od výchozí polohy až ke spodní zarážce). Jeden celý krok motoru představuje posun kamery o 26,49 µm, nejmenší rozlišení posunutí čidla

ASM 5311 je 19,53 µm. Díky mezikrokům lze kameru posounout o 13,24 µm. Kamerou lze polohovat od výchozí polohy (poloha *A0*) až do polohy 32,2 mm (poloha *A16500*). 1 krok je posun o 19,53 µm.

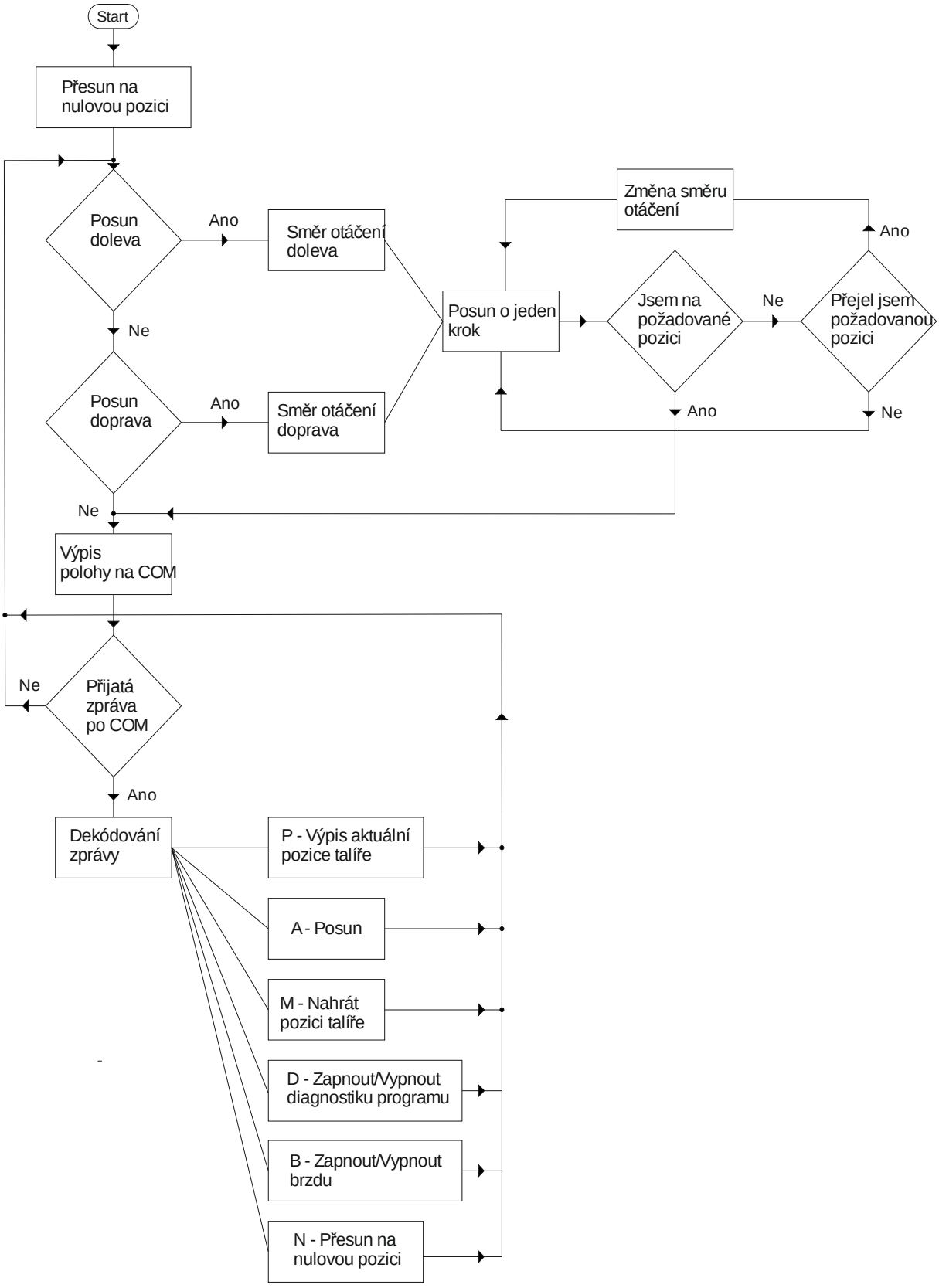
Aktuální polohu kamery zle zjistit zasláním textové zprávy po sériovém rozhraní do Arduina "*P*" a Arduino zašle zpětně zprávu o aktuální poloze kamery ve formátu "*Pozice: 102*", kde číslo *102* představuje počet kroků posunu.

Po sériovém rozhraní z počítače do Ardnuina lze zasílat textové zprávy pro řízení polohování kamery:

- Přesun na polohu - formát "*Ax*", kde *x* je číselná poloha kamery. Například zaslání textové zprávy po sériovém rozhraní do Arduina "*A100*" představuje posun kamery o sto kroků, tedy posun o 1,953 mm. Pro přesun z výchozí polohy do druhé krajní polohy se musí zaslat zpráva "*A16500*". Po dozažení požadované polohy Arduino zašle zpět zprávu "*Jsem na pozici :x*".
- Výpis aktuální polohy - formát "*P*". Při zaslání textové zprávy do Arduina "*P*", zpětně zašle Arduino zprávu "*Pozice: x*", kde *x* představuje aktuální pozici kamery, počet kroků (1 krok = posun o 19,53 µm).
- Změna výchozí pozice - formát "*Mx*", kde *x* je číselná poloha, kterou chceme nahradit aktuální polohu. Například: Kamera se nachází na pozici "*Pozice: 1020*" (tu zjistíme zasláním zprávy "*P*") a chceme tuto pozici změnit na "*Pozice: 100*" beze změny posuvu kamery. Zašleme tedy zprávu ve tvaru "*M100*". Zpětně Arduíno zašle zprávu "*Nahrana pozice :100*".
- Diagnostika - formát "*D*". Zapne nebo vypne diagnostiku programu, slouží pro programátora pro kontrolu funkčnosti kódu. Do sériového rozhraní se začnou vypisovat/nevypisovat podrobnější informace o provedených jednotlivých krocích programu.
- Brzda - formát "*B*". Zapne nebo vypne trvalé napájení statoru krokového motoru.
- Přesun na nulovou pozici - formát "*N*". Přesune kameru do nulové polohy (výchozí polohy *A0*).



Obr. 105 Schéma zapojení jednotlivých komponent pro polohování kamery



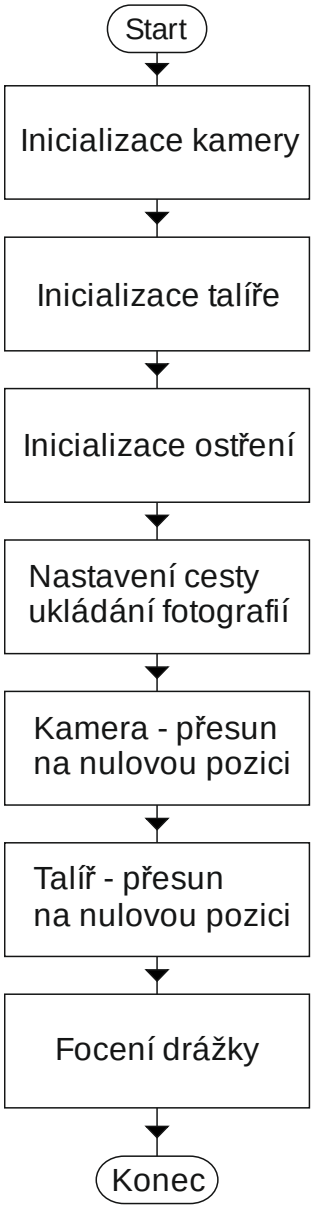
Obr. 106 Vývojový diagram programu v Arduinu Uno pro polohování kamery

Algoritmus funguje stejně jako bylo zmíněno u polohování talíře. Jen se nejedná o pootočení ale o posuv.

Čas přesunu kamery z nulové pozice (A0) do druhé krajní polohy (A16500) trvá průměrně 9.37 sekundy.

5.3 Program pro snímání drážky

Program, který se stará o focení drážky, běží v prostředí MATLAB [**34**].

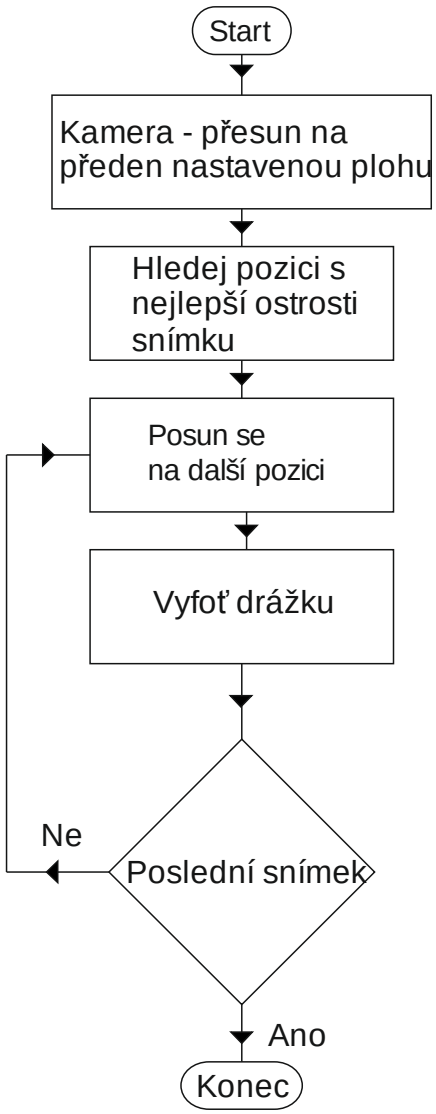


*Obr. 107 Vývojový diagram programu pro pořizování snímku drážky - Main (skutečný název *.m file je Main.m)*

Při inicializaci kamery se naváže komunikace s kamerou přes .NET a kamera se nastaví do režimu focení. Inicializací talíře a ostření se otevře seriové rozhraní pro zasílání textových zpráv pro řízení polohy potočení talíře a posuvu kamery. V dalším kroku se vytvoří složka pro

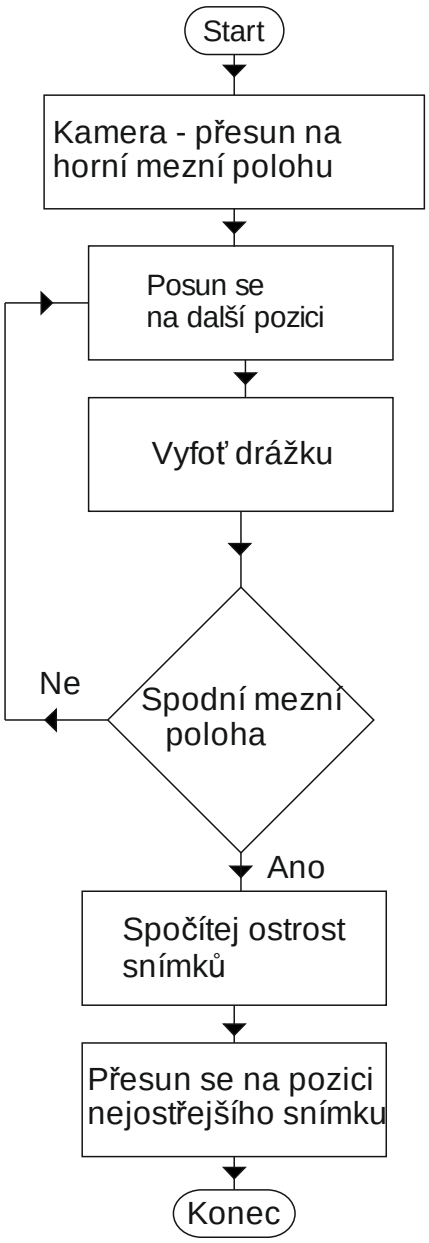
ukládání pořízených snímků. Kamera a talíř se přesunou na výchozí polohu (*A0*). Následně se spustí snímání drážky podle zadaných parametrů:

- *PolohaDesky* - zde se zadá pozice talíře na které se začne fotit drážka. *PolohaDesky = 0* znamená focení drážky od polohy *A0* pro talíř.
- *PolohaOstreni* - zde se zadá poloha kamery, na které je dostatečně ostrý snímek. *PolohaOstreni = 8500* znamená poloha kamery *A8500*, kde je dostatečně ostrý snímek. Tuto polohu zjistíme následným způsobem: spustíme obslužný program pro kameru ThorCam [**35**] ve kterém spustíme živý náhled (LiveView). Navážeme sériovou komunikaci s Arduinem, který se stará o polohování kamery (ostření). Po COM rozhraní budeme zasílat zprávu "*Ax*" (přesuň se na polohu *x*) například po krocích 100 (*A100*, *A200*, ...) dokud v živém náhledu gramofonová drážka nebude dostatečně ostrá, jako například na *Obr. **80***. O další lepší zaostření na drážku se následně dál postará blok programů "Hledej pozici s nejlepší ostrostí snímku".
- *Velikost_kroku_pro_dalsi_snimek* - zde se zadá počet kroků pootočení talíře na vyfocení dalšího snímku (*60* pro 12", *70* pro 10" a *90* pro 7" desku s 30% překryvem).
- *Velikost_kroku_pro_ostreni* - zde se zadá počet kroků posunu kamery při změně polohy pro ostření snímku (doporučuji zadávat hodnoty v rozsahu *1* až *5*, 1 krok je posuv kamery o 19,53 µm).
- *Vyfoceni_posledni_fotky_na_pozici* - zde se zadá pozice talíře na které se vyfotí poslední fotka drážky. *Vyfoceni_posledni_fotky_na_pozici = 70000* na pozici talíře *A70000* se vyfotí poslední fotka při snímání drážky.
- *Kam_mam_ukladat_fotografie* - zde se zadá cesta nebo název složky (která se vytvoří) kam budou ukládány pořízené snímky drážky.
- *OdchylkaOstrosti* - Jedná se minimální procentuální hodnotu ostrosti referenčního snímku, která se určí na začátku běhu programu. (doporučuji zadávat hodnoty v rozsahu *0,05* až *0,1*). *OdchylkaOstrosti = 0,05* znanemá -5% z ostrosti referenčního snímku.
- *Rozsah_pro_hledani_nej_ostrosti* - zde se zadá hodnota, která určuje pásmo pro hledání nejlepší polohy kamery aby snímky byly nejostřejší pro další zpracování. Například pro zadané hodnoty *Rozsah_pro_hledani_nej_ostrosti = 100* a *PolohaOstreni = 8500* se budou v pásmu poloh kamery od *A8400* až do *A8600* s posuvem kamery *Velikost_kroku_pro_ostreni = 2* (tedy na pozicích pro kameru A8400, A8402, A804 až do A8600) pořizovat snímky gramofonové drážky.



*Obr. 108 Vývojový diagram programu pro pořizování snímku drážky - Focení drážky (skutečný název *.m file je Foceni.m)*

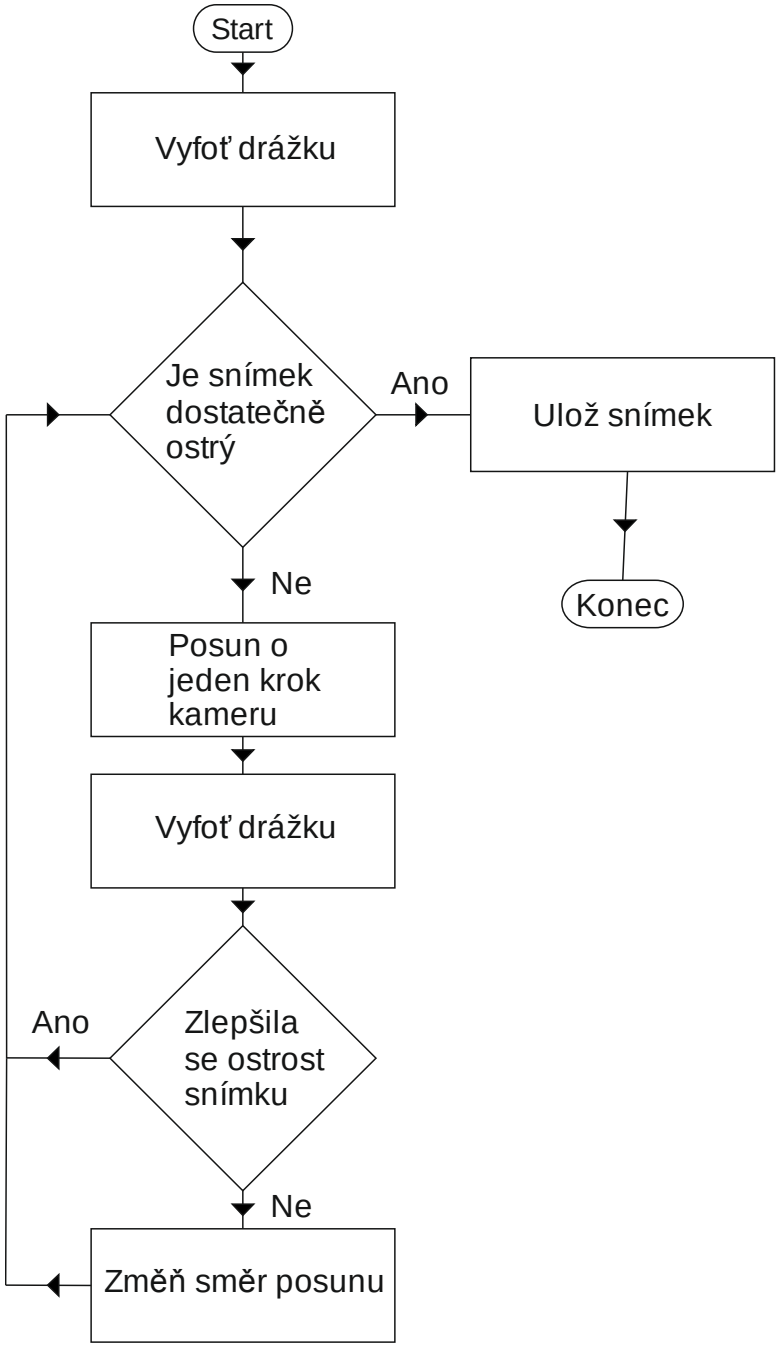
Detailnější popis bloku "Focení drážky" z předchozího diagramu. V prvním kroku se kamera přesune na polohu *PolohaOstreni = 8500*. Následně se hledá pozice s nejostřejším snímkem gramofonové drážky, ze které se stanoví referenční hodnota ostrosti (bude více rozepsáno níže). Dále se talíř pootočí o *Velikost_kroku_pro_dalsi_snimek* na další pozici, kde se vyfotí další snímek drážky (blok "Vyfoť drážku", bude níže více rozepsáno). Takto algoritmus bude stále pootáčet talíř o *Velikost_kroku_pro_dalsi_snimek* a fotit drážku dokud se nedostane na polohu *Vyfoceni_posledni_fotky_na_pozici* kde skončí focení gramofonové drážky.



*Obr. 109 Vývojový diagram programu pro pořizování snímku drážky - Hledej pozici s nejlepší ostrosti snímku (skutečný název *.m file je HledaniNejOstrosti.m)*

Detailnější popis bloku "Hledej pozici s nejlepší ostrostí snímku" z předchozího diagramu. Zde se kamera přesune na pozici *PolohaOstreni* - *Rozsah_pro_hledani_nej_ostrosti* nebo-li kamera se přesune na pozici 8500 - 100 = *A8400*. Od této pozice do pozice *PolohaOstreni* + *Rozsah_pro_hledani_nej_ostrosti* nebo-li do pozice *A8600* se bude kamera pohybovat po krocích *Velikost_kroku_pro_ostreni = 2*, tedy na pozice *A8400*, *A8402*, *A8404* atd... Na těchto pozicích pořídí snímky gramofonové drážky. V tomto případě pořídí celkem 100 snímků, průměrná doba trvání focení 100 snímků je 485,3 sekundy, u pořízeních snímků se určí koeficient ostrosti snímků. Ze snímku s nějvětším koeficientem ostrosti se stanoví referenční hodnota ostrosti sloužící jako krytérium pro

pořízení následných snímků v bloku "Vyfoť drážku". Dále se kamera přesune na pozici, kde tento snímek byl pořízen. Tato část kódu se provede jen jednou na začátku spuštění programu na pozici stolu *PolohaDesky = 0*, tedy na pozici stolu *A0*.



*Obr. 110 Vývojový diagram programu pro focení drážky - Vyfoť drážku (skutečný název *.m file je Snimek.m)*

Detailnější popis bloku "Vyfoť drážku" z předchozího diagramu. Na začátku algoritmu se kamera nachází na pozici referenční ostrosti snímku. Ale stůl se přesune na pozici *A60* (*PolohaDesky + Velikost_kroku_pro_dalsi_snimek*, například pro focení 12" desky bude

Velikost_kroku_pro_dalsi_snimek = 60). Zde se pořídí další snímek gramofonové drážky. Spočítá se ostrost snímku, která se porovná s referenční hodnotou ostrosti (v rozsahu 95% a více referenční hodnoty ostrosti, platí pro nastavení hodnoty *OdchylkaOstrosti = 0,05*). Pokud ostrost snímku je rovna nebo větší 95% referenční hodnoty ostrosti pořízený snímek se uloží a gramofonová deska se pootočí o *Velikost_kroku_pro_dalsi_snimek*, kde se bude fotit další snímek gramofonové drážky a tak dále. Ale pokud ostrost snímku bude menší jak 95% referenční hodnoty ostrosti, kamera se poprvé náhodným směrem (nahoru nebo dolů) posune o *Velikost_kroku_pro_ostreni* a na této nové pozici vyfotí drážku. Ze snímku se určí ostrost snímku, pokud tato ostrost snímku je větší než předchozí ostrost snímku ale stále menší jak 95% referenční hodnoty ostrosti, kamera se stejným směrem bude posouvat o *Velikost_kroku_pro_ostreni* dokud nebude ostrost snímku rovna nebo větší než 95% referenční hodnoty ostrosti. Ale pokud ostrost pořízeného snímku bude menší než předchozí hodnota snímku, změní se směr posuvu a kamera se bude novým směrem posouvat o *Velikost_kroku_pro_ostreni* dokud nebude splněna podmínka s referenční ostrostí snímku.

Program do názvu ukládané fotografie přidá datum a čas vyfocení, dále aktuální pozici talíře a kamery.

Časová náročnost snímání gramofonové drážky:

Tab. 11 Časová náročnost snímání gramofonové drážky

Výchozí pozice talíře	Cílová pozice talíře	Počet fotek	Velikost pootočení talíře	Ostření	Čas zahájení focení	Konec focení	Celková doba (s)	Čas na snímek (s)
A0	A69001	1150	60	ne	15:10:20	17:48:03	9463	8,2
A0	A69960	1166	60	ne	16:39:48	18:22:26	6158	5,2
A0	A38640	645	60	ano	13:46:10	16:59:19	11589	17,9
A0	A70020	776	180	ano	13:45:47	16:35:41	10194	13,1
A0	A70020	776	180	ano	16:53:45	18:27:30	5625	7,2

První dvě focení drážky z tabulky *Tab.* ***11*** jsou bez ostření (ručně se zaostřilo na prvním snímku). Rozdíl času je dán dobou nájezdu na pozici pro focení drážky (zde byl ještě nastavený parametr MICROSTEP pro krokový motor, který pootáčí talířem). Od třetího snímání je nastaven parametr DOUBLE pro krokový motor, který pootáčí talířem. Ve třetím snímání je použit první pokus algoritmu pro ostření, který měl problém s najížděním kamery do požadované polohy (dlouhou dobu kmital kolem požadované polohy). Čtvrté a páté

snímání drážky je s opraveným algoritmem pro ostření snímku, který je uvedený výše. Rozdíl času je dán dobou doostřování smínků.

Nejdelší automaticky pořízená sekvence ostrých snímků je dlouhá 120 záběrů (od A0 do A11000) z 7" desky s 45 ot/min záznamem. Celá jedna otáčka daného záznamu by měla obsahovat 728 snímků.

Nejdelší ručně pořízená sekvence na začátku tvorby algoritmů sloužících pro testování má 103 snímků (od A-2500 do A7600) a jde o 7" desku s 45 ot/min záznamem. Snímání trvalo celý den.

Část logiky algoritmu, který se stárá o doostřování snímku není funkční (*Obr*. ***110***). Při focení algoritmus v některých případech špatně vyhodnotí ostrost snímku a následně další snímky jsou nedoostřené a tedy dále nepoužitelné. Tato část se musí přepracovat. Změma algoritmu by mohla být následnovná:

Když snímek nesplňuje 95% a více hodnoty refereční ostrosti, začít náhodným směrem posouvat kameru a fotit drážku. Z vyfoceného snímku vyhodnotit ostrost snímku. Pokud ostrost snímku bude klesat, změnit směr posuvu kamery. Pokud bude ostrost snímku růst, tak fotit drážku tak dlouho než začne ostrost snímku klesat, následně uložit snímek s největší ostrostí a uložit novou hodnotu referenční ostrosti snímku.

5.4 Program pro spojování fotek

Pořízené snímky drážky se následně složí do jedné velké fotografie drážky. Pro spojení dvou snímků se využívá korelace signálů. Z prvního načteného snímku se vybere jeden řádek snímku, tento řádek pojmenujeme *norma*. *Norma* je vybrána v půlce oblasti překryvu s druhým snímkem. Z druhéno načteného snímku se postupně vybírají jednotlivé řádky snímku. Řádky z druhého snímku se vybírají jen z oblasti překryvu. Tyto vybrané řádky z druhého snímku se porovnávají s *normou* a následně se ukládá hodnota schodnosti řádku a pozice pro složení snímků. Když se porovná celá oblast překryvu druhého snímku s *normou*, vybere se největší hodnota schodnosti s *normou* a pozice pro složení snímků. Snímky se na této pozici složí. Takto algoritmus skládá snímky k sobě dokud nesloží všechny snímky v adresáři. Na

konci se složená fotografie srovná (pořízené snímky drážky nejsou kolmé na gramofonovou drážku, proto výsledná složená fotografie je nakloněná doprava nebo doleva).

Korelace (vzájemná korelace) určuje podobnost tvarů signálů. Matematický vztah pro diskrétní signály v MATLABu:

$$covariace = cov(A,B) = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(A_i - \mu_A) * (B_i - \mu_B) \tag{5.2}$$

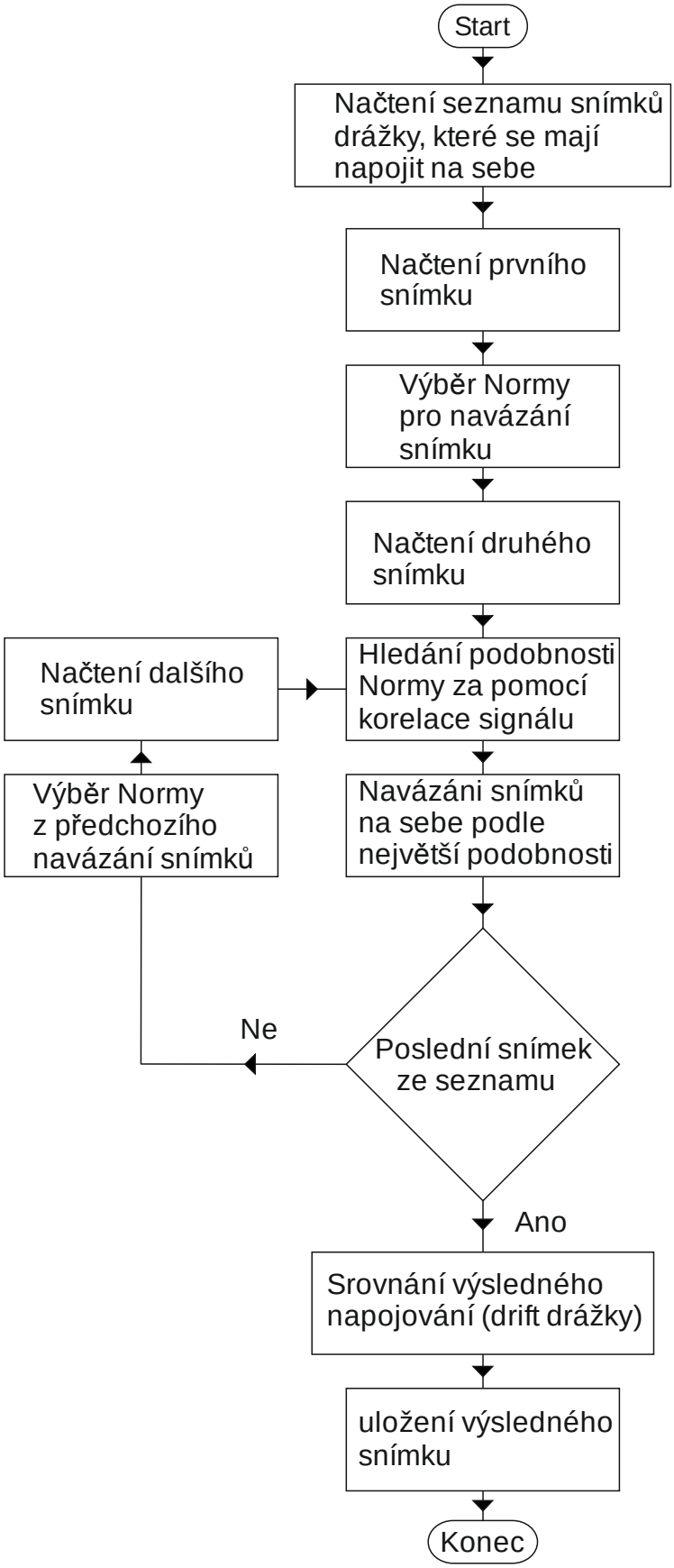
$$covariace = \begin{pmatrix} cov(A,A) & cov(A,B) \\ cov(B,A) & cov(B,B) \end{pmatrix}$$

Kde A a B jsou vstupní vektory signálů pro porovnání, μ_A je střední hodnota A, μ_B je střední hodnota B, i je index prvku a N je počet prvků ve vektorech A nebo B.

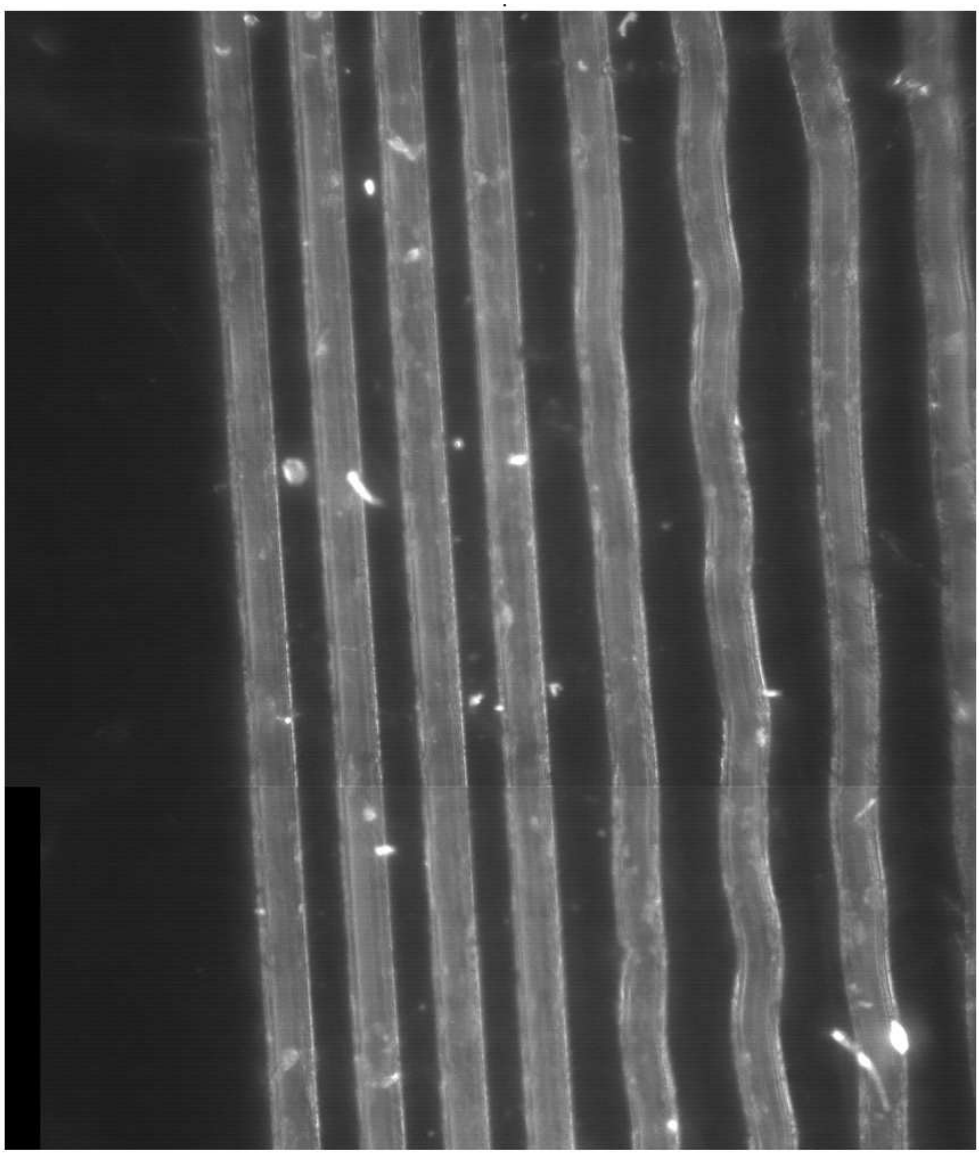
$$rho = \frac{covariace(1,2)}{std(A)*std(B)} \tag{5.3}$$

$$std(A) = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}|A_i - \mu|^2} \tag{5.4}$$

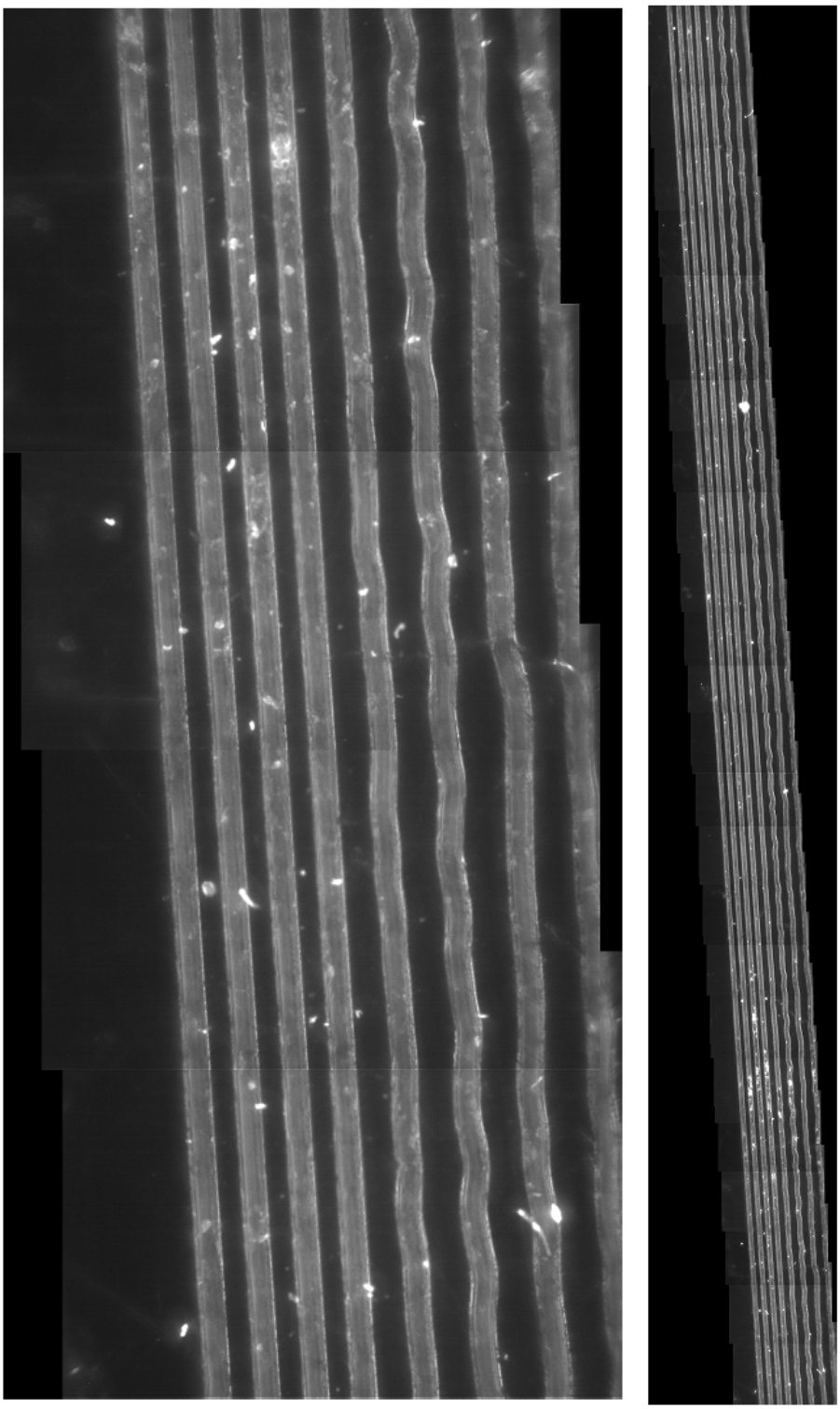
Kde $std()$ je derivace vektoru A nebo B. Dále N je počet prvků ve vektoru A, i je index prvku, μ je střední hodnota A.



Obr. 111 Vývojový diagram programu v MATLABu pro skládání snímků k sobě - panorama_ver02_6



Obr. 112 Ukázka funkčnosti algoritmu napojování snímků pro první napojení



Obr. 113 Ukázka funkčnosti algoritmu napojování snímků vlevo pro 5-té napojení, pravo pro 25-té napojení.

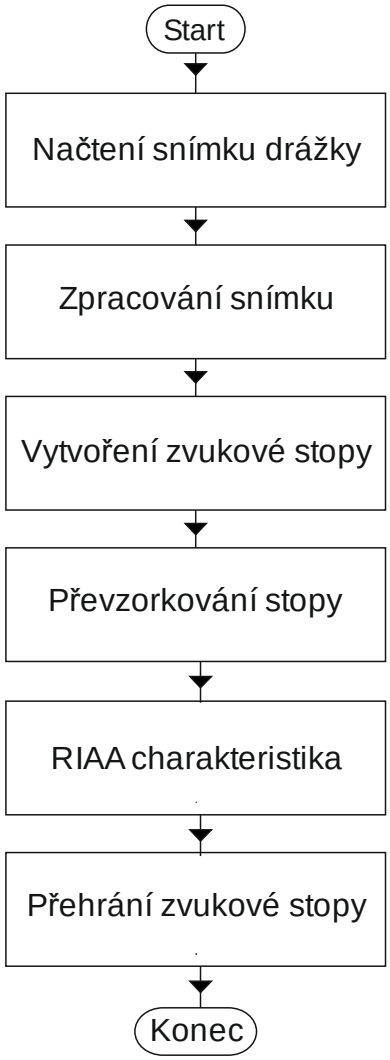
Průměrná rychlost spojování dvou snímků je 9,12 vteřin. Z testovacích dat, která obsahovala celkem 77 (jedná se o 1/10 otáčky desky) snímků trvalo složení panorama 702,63 vteřin. Napojování snímků není bezchybné, v některých případech je na spoji vidět špatná

návaznost snímků. Napojování snímků by se mohlo zlepšit korelací více *normovaných* řádků najendou.

5.5 Program pro extrakci zvuku ze snímku gramofonové drážky

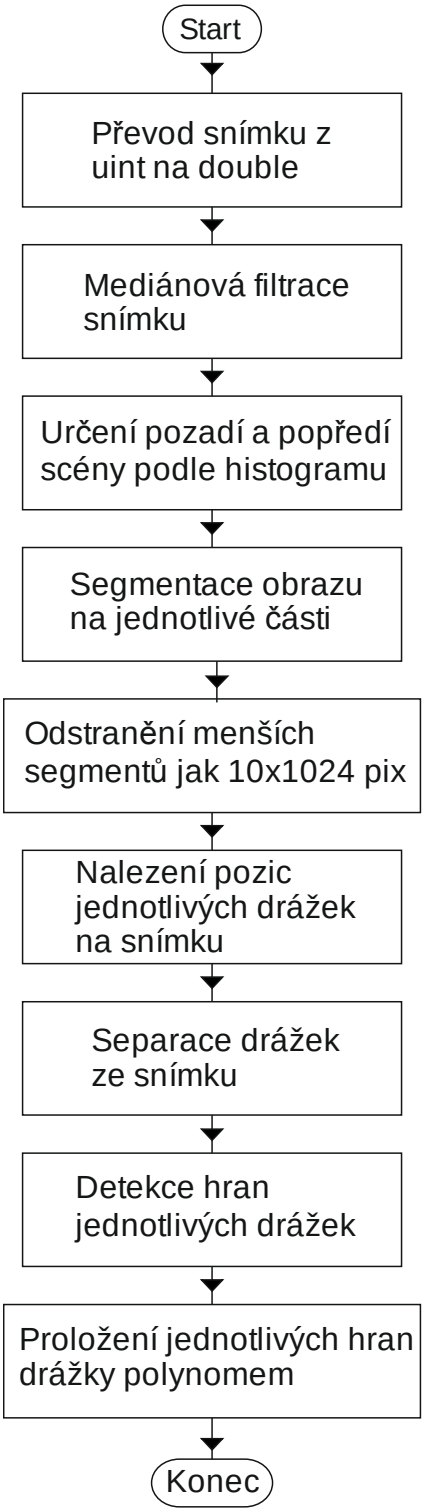
Program z načtených snímků gramofonové drážky extrahuje zvuk nesený na snímcích. V *Detekce_Hrany_Drazky.m* se nejdříve nastaví tyto prarametry:

- *paremetry.rotace* = 0. Zda se mají načtené snímky otáčet o 90°. 0 - neotáčet snímky, 1 - otočení snímku o 90° doprava, 2 - 2x otočení snímku o 90° doprava.
- *paremetry.figure_cislo* = 1. Číslování zobrazených grafů.
- *paremetry.threshold_occupacy_perc* = 0.5. Parametr pro hledání intervalů mezi drážkama. Rozsah hodnoty od 0.1 do 0.9. Experimentálně dobře funguje na hodnotě 0.5.
- *paremetry.additive_px* = 5. Parametr pro zvětšení oblasti při separaci drážek v pixelech, přidá ± počet pixelů zprava a zleva separované plochy s drážkou. Rozsah hodnoty od 1 do 10. Experimentálně dobře funguje na hodnotě 5.
- *paremetry.noise_dilate* = 3. Šíře oblasti kolem detekované hrany drážky, kde se vyhodnocuje prokládání hrany drážky pomocí polynomu. Rozsah hodnoty od 1 do 5. Experimentálně dobře funguje na hodnotě 3.
- *paremetry.closing_px* = 11. Velikost poloměru oblasti pro morfologické uzavření oblasti drážek. Rozsah hodnoty od 1 do 20. Experimentálně dobře funguje na hodnotě 10 až 11.
- *paremetry.nroots* = 75. Řád polynomu prokládající detekovanou hranu gramofonové drážky. Rozsah hodnoty od 1 do 200. Experimentálně dobře funguje na hodnotě 5 až 10.
- *paremetry.con_vec_length* = 200. Přesah pro ustálení polynomu pro sledování detekované gramofonové drážky. Rozsah hodnoty od 1 do 500. Experimentálně dobře funguje na hodnotě 200.
- *paremetry.max_amplituda* = 50. Maximální velikost vykreslené amplitudy polynomu, který sleduje hranu drážky. Rozsah hodnoty od 30 do 60. Experimentálně dobře funguje na hodnotě 50.
- *paremetry.barva* = [0 1 0]. Barva čáry zobrazeného polynomu v obrázku. Je nastavená zelená barva.
- *paremetry.drift_cary* = 4. Posun polynomu v ose y vůči fotografii s drážkou. Rozsah hodnoty od -20 do +20. Experimentálně dobře překrývá hranu drážky na hodnotě 7 až 9.
- *paremetry.silacary* = 1. Nastavení síly čáry polynomu v pixelech. Rozsah hodnoty od 1 do 3.
- *paremetry.posledni_drazka* = 0. Zapnout (1) nebo vypnout (0) zpracovávání poslední drážky na snímku. Na některých pořízených snímcích není poslední vyfocená drážka kompletní a způsobuje to špatnou detekci drážky.
- *paremetry.vzkreslovani_grafu* = 0. Zapnout (1) nebo vypnout (0) vykreslování grafů jednotlivých operací při zpracovávání snímku.



Obr. 114 Vývojový diagram programu pro extrakci zvuku z drážky - Detekce_Hrany_Dazky.m

Ze zadané cesty se načte požadovaný snímek. Dále se načtený snímek zpracuje. Tento blok bude podrobnější rozepsán níže. Z bloku "Zpracování snímku" se vrátí kořeny polynomů pro proložení detekované hrany drážky. Následně v bloku "Vytvoření zvukové stopy" z kořenů polynomů se vypočítají amplitudy drážek. Dílčí části amplitud se následně na sebe napojí a vznikne audio stopa gramofonové drážky. Tato audio stopa se převzorkuje ze vzorkovací frekvence kamery podle snímané desky (510,8 kHz pro záznam 33 ot/min, 689,6 kHz pro záznam 45 ot/min a 1195,3 kHz pro záznam 78 ot/min) na 44,1 kHz. Dále převzorkovaný záznam se upraví přez RIAA přehrávací charkteristiku. Amplituda audio stopy se dále normalizuje a následně se může přehrát.



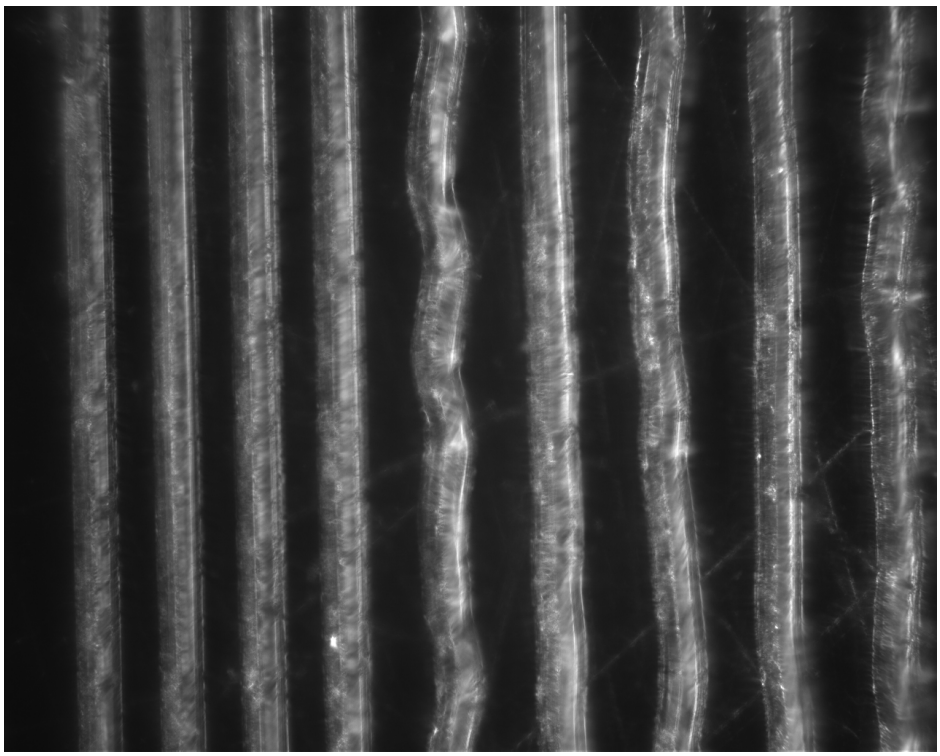
Obr. 115 Vývojový diagram programu pro zpracování dat drážky - Zpracovavani_Dat.m

Detailnější popis bloku "Zpracování snímku". V prvním kroku se snímek datově přetipuje z int na double pro následné zpracovávání. Na snímku se za pomoci mediánové filtrace odstraní šum. Dále se vypočte histogram snímku ze kterého se určí střední váha histogramu, která slouží pro určení popředí a pozadí scény. Všechny stupně šedi menší než střední váha

histogramu se přebarví na černou a stupně šedi větší nebo rovno váze histogramu se přebarví na bílou barvu. Na popředí scény bude několik jednotlivých útvarů, které se segmentují pro další krok zpracování. U jednotlivých útvarů se určuje jejich velikost a pokud jejich velikost je menší jak 10x1024 pixelů (přibližná velikost gramofonové drážky na snímku) je tento segment odstraněn z popředí. Na popředí zůstanou detekované drážky (odstraní se například prach, který není v kontaktu s drážkou). Tyto drážky se následně oddělí od sebe (separují). Dále pomocí detektoru hran (Sobel) se detekují hrany drážky, které se proloží polynomem x-tého řádu. Z daného polynomu se vygenerují kořeny polynomů, které se vrací z toho bloku pro další zpracování.

Průměrná rychlost extrakce zvuku ze snímku trvá 8,5 sekundy pro velikost snímku 1280x1024 pixelů.

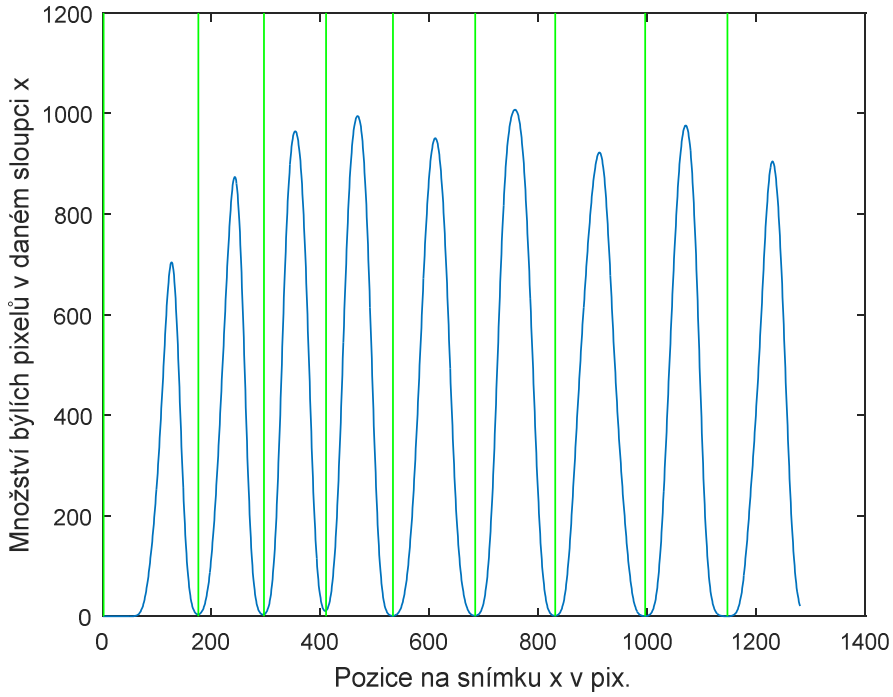
Ukázka fungování algoritmu na obrázcích níže.



Obr. 116 Načtený snímek pro extrakci zvukové stopy

Obr. 117 Určení pozadí a popředí snímku v bloku "Určení pozadí a popředí scény podle histogramu"

Obr. 118 Odstranění segmentů v obraze menších jak 10x1024 pixelů v bloku "Odstranění nemších segmentů jak 10x1024 pixelů"

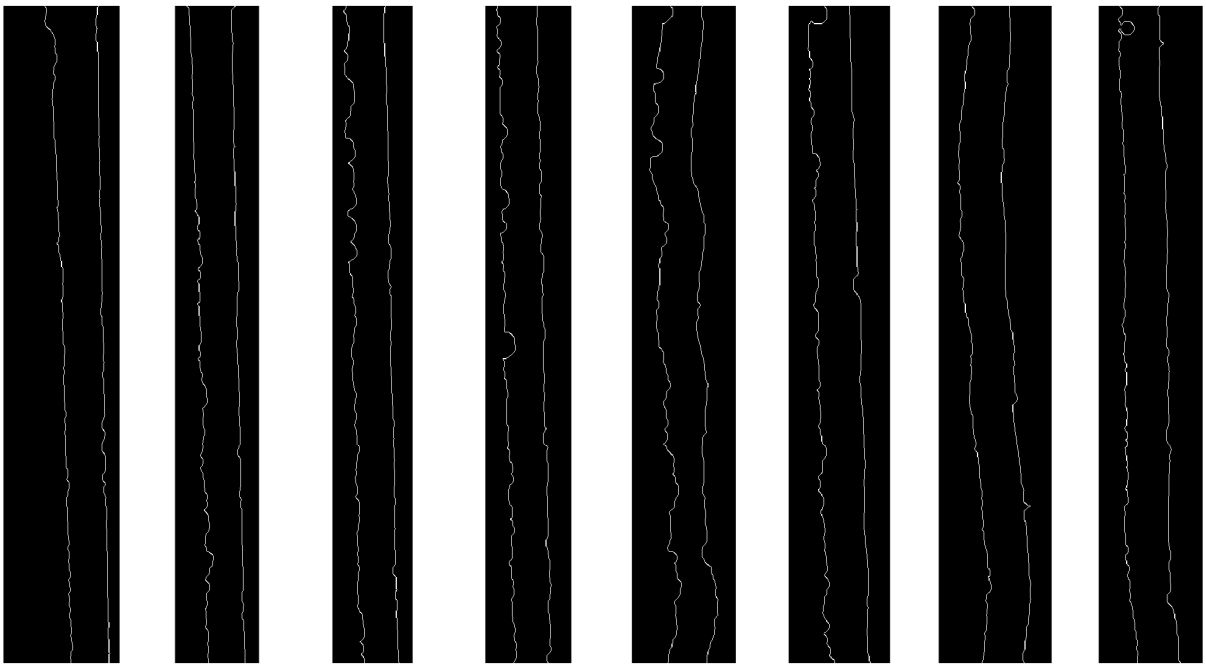


Obr. 119 Určení oblastí pro rozdělení jednotlivých drážek v bloku "Nalezení pozic jednotlivých drážek na snímku"

Pomocí sloupcové hustoty bílých pixelů z obráku 118 se najdou lokální minima. V lokálních minimech se bude snímek rozdělovat pro oddělení (separaci) jednotlivých dílčích drážek na snímku.

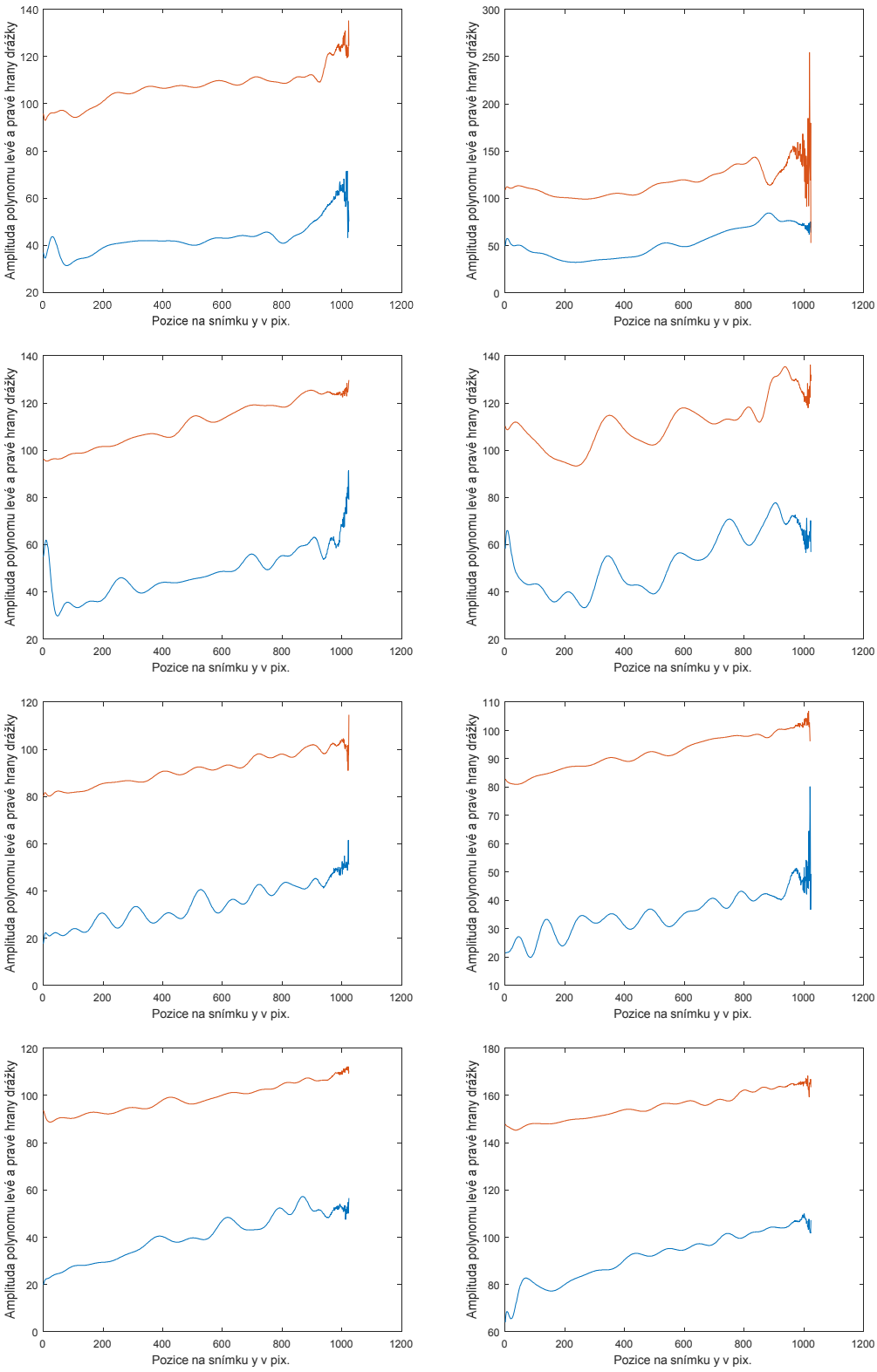
Obr. 120 Separace jednotlivých drážek v bloku "Separace srážek ze snímku"

Snímek vznikl ze snímku na *Obr.* ***117*** s morfologickým uzavřením oblastí kolem drážek.

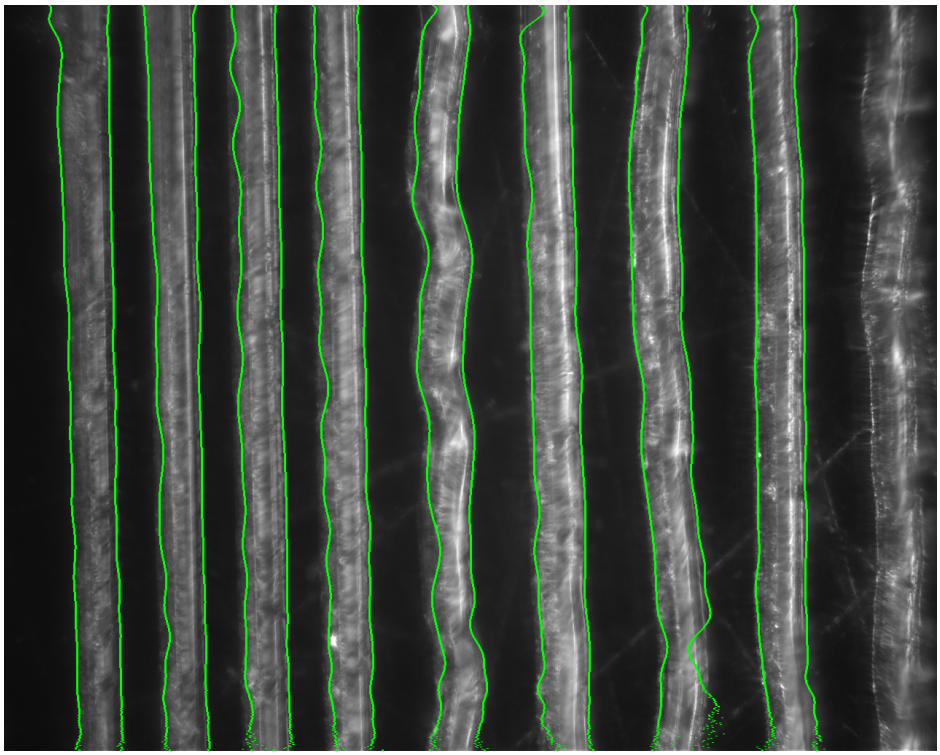


Obr. 121 Detekce hran drážek pomocí detekce hrany (Sobel) v bloku "Detekce hran jednotlivých drážek"

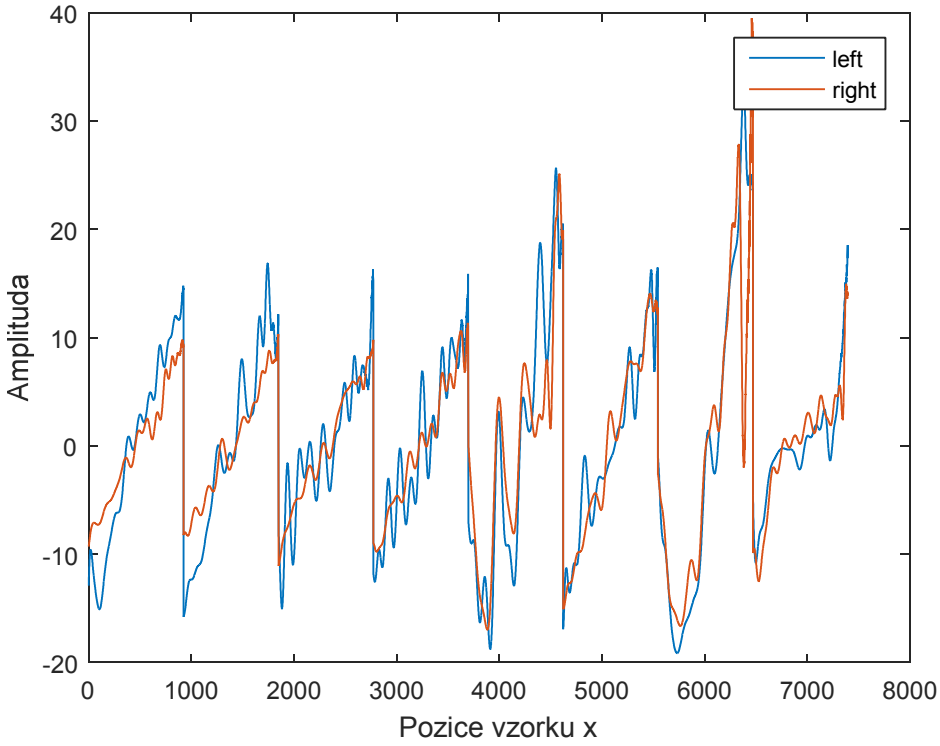
Detekovaná hrana je celistvá a síla čáry je jeden pixel.



Obr. 122 Dílčí proložení detekovaných hran drážek za pomocí polynomu bloku "Proložení jednotlivých hran drážek polynomem"



Obr. 123 Vstupní snímek s proloženou detekcí hrany drážek polynomem



Obr. 124 Složení jednotlivých drážek do audio stopy před normalizací a úpravou RIAA filtrem

Prokládání detekované hrany drážky polynomem není vhodný způsob pro další zpracovávání. Polynom potřebuje na začátku a na konci fotky gramofonové drážky 200 pixelů pro správné sledování hrany drážky. Pro jednotlivé snímky z průmyslové kamery toto není vhodné. Dále proložením polynomem se zkresluje získávaný signál. Bylo by lepší informace z *Obr. **121*** zpracovávat takto: Fotografii otočit o 90° doprava, následně snímek rozdělit na 16 částí, kde v každé části uprostřed by byla detekovaná jedna z dílčích hran drážek (bílá čára na černém pozadí). Následně by se sledovala změna polohy sledované bílé čáry. Ze změny polohy by se generovala amplituda signálu drážky. Následně by se signál převzorkoval, normoval a upravil by se podle RIAA přehrávací charakteristiky.

Drážka na snímku musí být svislá (snímek se musí srovnat, srovnání snímku jsem v této práci neřešil), jak je vidět na *Obr. **124*** amplituda signálu lineárně roste, to je způsobeno natočením drážky vůči průmyslové kameře.

6 Snímání nosičů a detekce výrobních vad

Snímání drážky nosičů mechanického záznamu jako jsou měděný originál, otec, matka shell, lisovací matrice a gramofonová deska na sestrojeném polohovacím zařízení by bylo možné. Ale experimentálně bylo provedeno jen snímání a zpracování snímku na gramofonové desce.

Experimentílní ověření detekce výrobních vad se neprovedlo, protože většinu času zabrala tvorba a programování polohovaciho zařízení a výběr snímacího zařízení.

Závěr

Návrh a realizace experimentálního bezkontaktního snímání gramofonové desky

Výběr snímacího zařízení

Byla využita rastrová průmyslová kamera s mikroobjektivem 20x/0,4. Snímáná plocha gramofonové drážky byla 1,28x1,02 mm při rozlišení snímku 1280x1024 pixelů. Jeden pixel představoval vzdálenost 0,998 µm. K výběru průmyslové kamery mě vedlo převážně místo budoucího použití tohoto zařízení. Možné budoucí zařízení bude provozováno především ve výrobě, kde je zhoršené pracovní prostředí.

Využití mikroobjektivu je vhodnou cestou, jak získat vysoce detailní snímky gramofonového záznamu. Čím větší detail gramofonové drážky je pořizován, tím více roste počet snímků, které se musí zpracovat. Nejvhodněji se jeví použití řádkové průmyslové kamery s mikroobjektivem. Použitím řádkové kamery se zvýší rychlost snímání záznamu a snímání drážky může být prováděno při kontinuální rotaci talíře. Rychlost otáčení talíře je dána rychlostí snímání kamery a požadovaným vzorkováním audio záznamu. Důležitá je správná volba osvětlení drážky. Osvětlení podstatně ovlivní výslednou kvalitu snímků gramofonové drážky.

Využitím počítačového zpracovávání obrazu je možné pomocí statistiky a filtrace dat detekovat výrobní vady. Také se naskýtá možnost ověřovat ze snímků kvalitu (jakost) vyrobeného mechanického záznamu vůči dodanému záznamu od zákazníka.

Důležitá je kalibrace obrazu průmyslové kamery pro redukci zkreslení geometrických rozměrů drážky.

Konstrukce polohovacího zařízení pro gramofonovou desku

Bylo sestaveno polohovací zařízení, které dokáže pootáčet gramofonovým talířem po úhlu 0,0137 stupně. Rozlišení senzoru polohy AMS 5311 je 0,00549 stupně. Byl využit pulzní výstupy *A* a *B* senzoru (10-bit rozlišení). Pokud by byl použit ABI výstup (12-bit rozlišení),

rozlišení by vzrostlo na 0,0013 stupně (4 násobně). Pro účel této práce je dostatečující 10-bit rozlišení polohy.

Polohovat kameru pro zaostřování snímků lze po kroku 26,49 µm při 48 krocích na jednu otáčku motoru.Využitím mezikroků krokového motoru lze pohybovat kamerou po krocích 13,24 µm pro 96 kroků na jednu otáčku motoru. Zásadním problém ostření je algoritmus, který při snímání gramofonové drážky hlídá ostrost snímku.

Dále bude nutné sestavit třetí pohon, který by polohovat průmyslovou kamerou na požadovaný poloměr desky. Konstrukce pohonu nebyla součástí této práce. Konstrukce pohonu by se skládala z obdobných částí jako pohony talíře či kamery. Přesnost polohování při použití těchto kompoment by byla dostatečná.

Konstrukci osvětlení drážky nebylo v této práci věnováno tolik pozornosti, kolik by si zasloužila. Pořízené snímky prozrazují, že výrazně ovlivňuje jejich kvalitu. Bylo by zapotřebí ověřit více způsobů osvícení drážky například využitím kruhového a nebo dark-field typu světla.

Snímání gramofonové drážky a extrakce zvukové stopy

Část pro vyhodnocování ostrosti snímku v algoritmu pro snímání drážky má prostor pro vylepšování. Jedna z možností zlepšení algoritmu je uvedena na konci kapitoly 5.3:

Část logiky algoritmu, který se stárá o doostřování snímku není funkční (*Obr. **110***). Při focení algoritmus v některých případech špatně vyhodnotí ostrost snímku a následně další snímky jsou nedoostřené a tedy dále nepoužitelné. Tato část se musí přepracovat. Změma algoritmu by mohla být následnovná:

Když snímek nesplňuje 95% a více hodnoty refereční ostrosti, začít náhodným směrem posouvat kameru a fotit drážku. Z vyfoceného snímku vyhodnotit ostrost snímku. Pokud ostrost snímku bude klesat, změnit směr posuvu kamery. Pokud bude ostrost snímku růst, tak fotit drážku tak dlouho než začne ostrost snímku klesat, následně uložit snímek s největší ostrostí a uložit novou hodnotu referenční ostrosti snímku.

Prostor pro zlepšování má i algoritmus pro extrakci zvukové stopy ze snímku. Například zmiňovaná možnost úpravy algoritmu na konci kapitoly 5.5:

Prokládání detekované hrany drážky polynomem není vhodný způsob pro další zpracovávání. Polynom potřebuje na začátku a na konci fotky gramofonové drážky 200 pixelů pro správné sledování hrany drážky. Pro jednotlivé snímky z průmyslové kamery toto není vhodné. Dále proložením polynomem se zkresluje získávaný signál. Bylo by lepší informace z *Obr. **121*** zpracovávat takto: Fotografii otočit o 90° doprava, následně snímek rozdělit na 16 částí kde v každé části uprostřed by byla detekovaná jedna z dílčích hran drážek (bílá čára na černém pozadí). Následně by se sledovala změna polohy sledované bílé čáry. Ze změny polohy by se generovala amplituda signálu drážky. Následně by se signál převzorkoval, normoval a upravil by se podle RIAA přehrávací charakteristiky.

Dále je potřeba vytvořit algoritmus pro pootáčení snímku aby drážka na snímku byla svislá nebo vodorovná.

Výsledky experimentálního ověření

Experimentální ověření výrobních vad neproběhlo. Většina času byla věnována konstrukci a programování polohovacího zařízení a výběru snímacího zařízení. Experimentální snímání drážky se provedlo jen na gramofonovém záznamu. Z pořízených snímků jsem následně extrahoval zvukovou stopu. Ale nepovedlo se mi nafotit dostatečně velký úsek drážky pro přehrání zvuku díky nedostatečné kvalitě algoritmu pro doostřování drážky. Dále jsem zvolil nevhodný způsob extrakce zvukové stopy z pořízených snímků. Návrhy pro zlepšení jsou uvedeny výše u jednotlivých částí práce.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] Jozef, Pešák. Gramofon, jeho provoz a tecnické využití. SNTL - Nakladatelství technické literatury, n1982.

[2] Standard recording and Reproducing characteristic. RIAA: Recording industry association of America, 1978.

[3] Druhy přehrávacích charakteristik. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: http://www.fonolab.cz/aktuality.html?aktualita=17

[4] Martin, Mohl. Optická kontrola měděných originálů mechanického záznamu zvuku. Praha, ČVUT, 2017.

[5] Stanislav, Zdvihal. Manuál hudební kontroly pro kontrolu výroby v vzorků. GZM.

[6] William, K., Heine. Disk phonograph recorf playbeck by laser generated diffraction pattern. United States Patent 3,992,593. 1976.

[7] Robert, E., Stoddard,Robert, N., Stark. Dual beam optical turntable. United States Patent 4,972,344. 1990.

[8] Iwai, T.,Asakura, T., Ifukube, T., Kawashima. Reproduction of sound from old wax phonograph cylinders using the laser-beam reclection method. App, Opt, 1986.

[9] T., Ifukube,Y., Shimizu. A portable record player for wax cylinders using both laser-beam reflection and stylus method. Audio Engineering Society, 2006.

[10] Springer, Olaf. *Digital Needle: A Virtual Gramophone,* 2002.Dostupné z: http://archive.li/www.cs.huji.ac.il

[11] Mark, MCCann, Paul, Calamia. Nir, Ailon, Princeton University.[Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: http://www.public.asu.edu/~mamccan1/visionfinal/doc/index.html

[12] Sylvain, Strotzer, Ottar, Jonsen, Frédéric, Bapst, Cédric, Milan, Christoph, Sudan. Pio Pellizzari. University of Applied Sciences of Fribourg. Fonnoteca Nazionale Svizzera, 2006.[Cit. 5.5.2018]. Dostupné z:www.eif.ch/visualaudio

[13] O., Chassot, C., Miauton. "VisualAudio". Diploma project at Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg. Switzerland, 2000.

[14] N, Bosi. "VisualAudio: acquisition de l'image". Diplomam project at Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg. Switzerland. 2000.

[15] Y., Pauchard, C., Sudan. "VisualAudio". Diploma project at Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg. Switzerland, 2001.

[16] Baozhong, Tain. Sound recovery from gramophone record by 3D reconstruction. VDM Verlag Dr. Muller, 2007.

[17] Haber, Lawrence. Brerkeley National Lab. USA.[Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: http://irene.lbl.gov/

[18] Kristofer, Janukiewicz. A laser triangulation approach for optical audio reconstruction of phonograph record. Linkoping University. Sweden, 2016.

[19] Robert, T., Frankot. Rama, Chellappa. Amethod for enforcing integrability in shape from shanding algorithms. IEEE, 1988.

[20] Tomáš, Sálava, a kolektiv. Přehrávače číslicových zvukových desek systému CD. SNTL - Nakladatelství technické literatury. Praha, 1991.

[21] Stránky výrobce Keyence. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.keyence.eu

[22] Stránky výrobce diapozitivního skeneru. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z:

http://plustek.com/oeu/

[23] Stránky výrobce Nikono. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.nikon.cz/cs_CZ/

[24] Stránky výrobce digitálných mikroskopů. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.dinolite.us/

[25] Stránky výrobce průmyslových kamer. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.baslerweb.com/en/

[26] Stránky výrobce průmyslových kamer. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.thorlabs.com/index.cfm

[27] Stránky možného nákupu RGB 5050 LED. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.smdledzarovky.cz/nas.radce/typy.smd.cipu.2835.3014.5630.5050.3528.cob

[28] Stránky výrobce magnetického lineárního sanzoru. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: http://www.spezial.cz/news/as5311-linearni-magneticky-koder-s-vysokym-rozlisenim.html

[29] Stránky výrobce držáku pro průmyslovou kameru. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.aluteckk.cz/

[30] Stránky pro Arduino. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.arduino.cc/

[31] Stránky výrobce shieldu pro řízení krokového motoru. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.dfrobot.com/product-69.html

[32] Stránky možného nákupu OLED displaye. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/0-91-Inch-128x32-IIC-I2C-Blue-OLED-LCD-Display-Module/32836647725.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.ynGz6I

[33] Stránky shieldu pro řízení krokového motoru. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: http://www.14core.com/controlling-the-l293d-unomega-shield-with-stepper-motor/

[34] Stránky pro MATLAB. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/products/matlab.html

[35] Stránky pro stažení programu ThorCam. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=9019

[36] Stránky popisu fungování krokového motoru. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: http://wiki.sps-pi.cz/index.php/Krokov%C3%BD_motor

[37] Stránky programi DigiCamControl. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: http://digicamcontrol.com/

[38] Stránky kde se dájí získat koeficienty pro RIAA filtry. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: http://www.musicdsp.org/showone.php?id=122

[39] Stránky pro program na převod RAW formátu na TIF formát. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: http://fjfi.cce.cz/astro/mraw/mraw.html

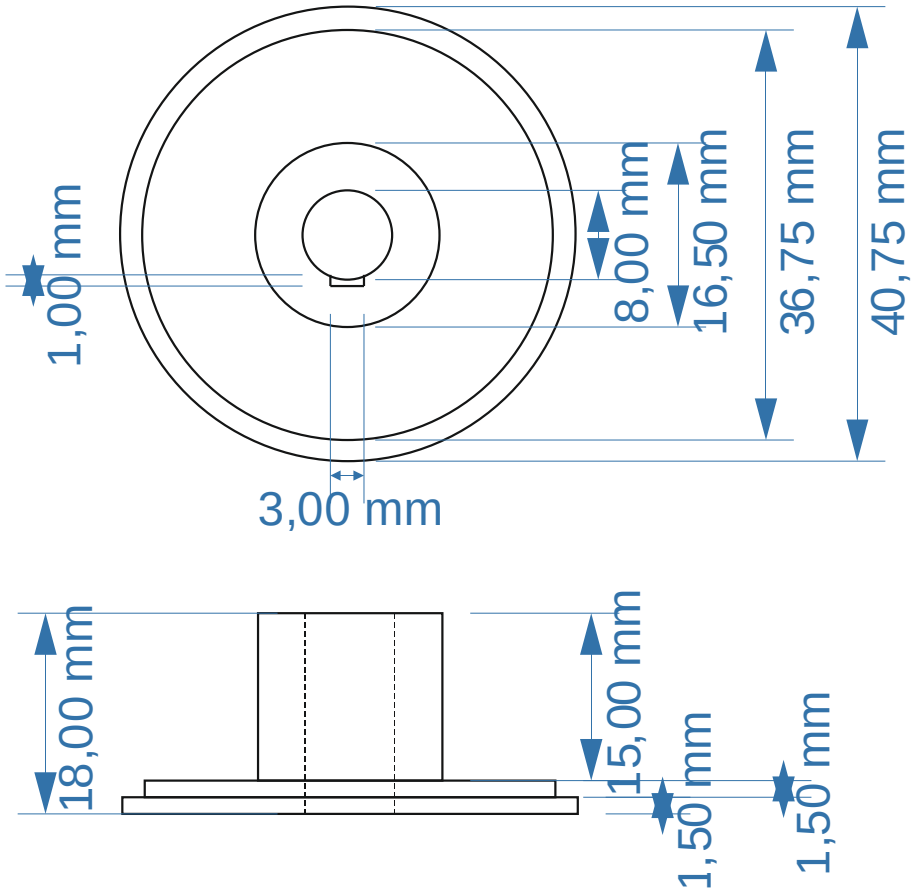
[40] Lukáš, Beran. Měření optických vlastností zobrazovacích zařízení digitálním fotoaparátem. ZČU, Plzeň, 2016.

[41] Ondřej, Mikšík. Praktické využití metod digitálního zpracování obrazu. Gymnázuim Kroměříž, 2007.

[42] Knihovna pro ovládání OLED display čipu SSD1306. [Cit. 5.5.2018]. Dostupné z: https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306

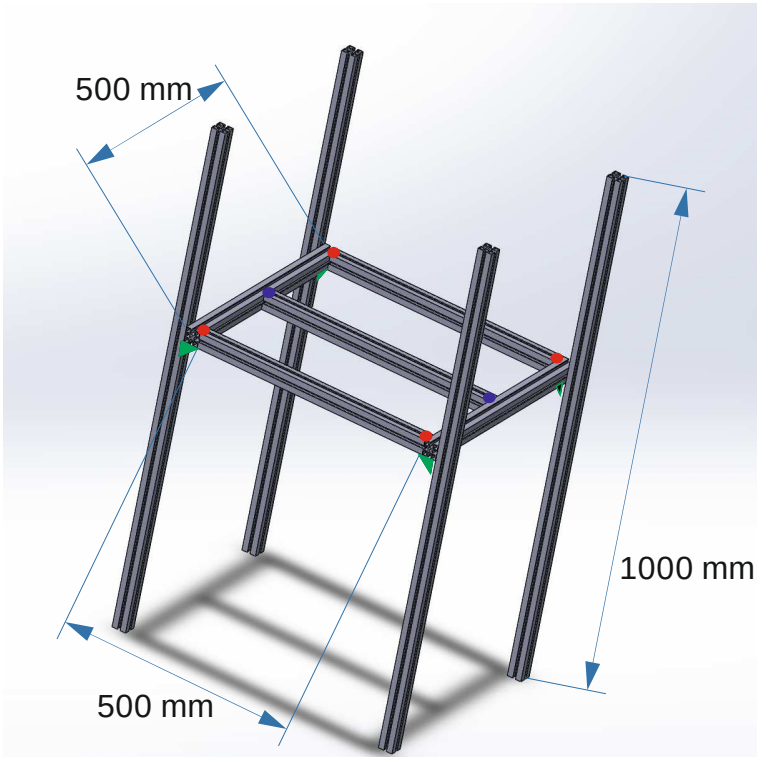
PŘÍLOHY TIŠTĚNÉ

PŘÍLOHA A - Rozměry podložky pro magnetický prstenec



PŘÍLOHA B - Rozměry stolu pro uchycení průmyslové kamery nad gramofonovou desku

Stavební profil je 30x30mm 103030, 5 kusů 30x30x500 mm profil a 4 kusy 30x30x1000 mm profil. Nosnost profilu je 5 kg.



Zelený spoj:	302828.1 - Záslepka úhelníku	4 ks
	302828 - Funkční úhelník 28x28 mm	4 ks
	200612 - Šroub M6	8 ks
	210662 - Matice čtvercová s pružinou pro drážku 6	8 ks
Červený spoj:	200630.1- Šroub M6	4 ks
Modrý spoj:	340630 - Automatický konektor M6 x 29	2 ks

PŘÍLOHA C - Zdrojový kód pro polohování talíře

```
// program slouzi pro otoceni gramofonoveho talire
// kladne cislo otaceni talire ve smeru hod. rucicek "A4000"
// zaporne cislo otaceni talire ve smeru hod. rucicek "A-4000"
// zjisteni polohy talire "P"
// programatorka diagnostika "D"
// nahrani aktualni pozice talire "M4000"
//

#include <AFMotor.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define OLED_RESET 4
Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);

AF_Stepper motor(200, 1);
// inicializace senzoru AMS 5311
// v rezimu qvadraturniho enkoderu
int encoderA = 2;
int encoderB = 3;
int CSnAMS5311 = 5;
int Pocet_Zmen = 5;

// promene
int pulsesChanged = 0;
signed long pulses = 0;
float uhel = 0;
String prijato;
signed long pojezd = 0;
int logika = 0;
int cas;
int krok;
int zmen = 0;
int tolerance = 0;
int minimum = 100;
int diagnostika = 0;

void setup() {
  // inicializace seriove komunikace po USB
  Serial.begin(115200);

  // nastaveni rychlosti otaceni motoru
  motor.setSpeed(100); // rychlost 0-400

  // nastaveni pinu pro senyor AMS 5311
  pinMode(CSnAMS5311, OUTPUT);
  pinMode(encoderA, INPUT);
  pinMode(encoderB, INPUT);

  // nastaveni qvadraturniho enkoderu v ardulinu
  attachInterrupt(0, A_CHANGE, CHANGE);
  attachInterrupt(1, B_CHANGE, CHANGE);

  // zapnuti AMS 5311 odesilani signalu o poloze
  digitalWrite(CSnAMS5311,LOW);
  delay(500);
```

```
  digitalWrite(CSnAMS5311,HIGH);
  delay(500);

  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);  // initialize with the I2C addr 0x3C (for the 128x32)
  // init done

  // Clear the buffer.
  display.clearDisplay();
  display.display();
  delay(1000);

  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.setCursor(0,0);
  display.println("Run. Hello, world!");
  display.display();
  delay(1000);
  display.clearDisplay();

  Serial.println("Start");
}
void loop() {

  // posun o n-kroku
  // otaceni talire do leva
  if( pulses<=pojezd ){
        if(logika == 1){
          krok = 1;
          cas = 0;
          zmen = 0;
          minimum = 100;

          while(1){

            // posun do pozadovane polohy
            if( pulses > pojezd ) {  //&& ( pulses => (pojezd+tolerance)
              logika = 2;
              krok = -1;
              cas = 1000;

            }
            // prejeti pozadovane polohy
            else if ( pulses < pojezd && logika == 2 ){
              krok = 1;
              cas = 1000;
              zmen ++;
            }
            // talir je na pozadovane poloze
            else if ( pulses == pojezd ){
              Serial.print("Jsem na pozice :"); Serial.println(pulses);
              logika = 0;
              break;
            }
            // kontrola kolikrat jsme minula pozadovana poloha
            if(zmen > Pocet_Zmen){
               pojezd = pojezd + minimum;
               zmen = 0;
            }
            // pokud se najezd nemuze strefit na pozadovanou polohu talir zastavi na nejblisi blizsi pozici od ni
            tolerance = pojezd - pulses;
```

```
        if ( abs(tolerance) < abs(minimum) ){
          minimum = tolerance;
        }

        // posun talire
        Dopredu(krok);

        // vypis polohy talire na display
        //Serial.print("Pozice :"); Serial.println(pulses);
        display.setCursor(80,0);
        display.println("Pozice");
        display.setCursor(0,0);
        display.println(pulses);
        display.display();
        display.clearDisplay();
        delay(cas);
      }

      delay(1000);

    }
  }

  // otaceni talire doprava
  if( pulses>pojezd ){
      if(logika == 1){

        krok = -1;
        cas = 0;
        zmen = 0;
        minimum = 100;

        while(1){

          // posun do pozadovane polohy
          if( pulses < pojezd ) {  //&& ( pulses => (pojezd+tolerance)
            logika = 2;
            krok = 1;
            cas = 1000;
          }
          // prejeti pozadovane polohy
          else if ( pulses > pojezd && logika == 2 ){
            krok = -1;
            cas = 1000;
            zmen ++;
          }
          // talir je na pozadovane poloze
          else if ( pulses == pojezd ){
            Serial.print("Jsem na pozice :"); Serial.println(pulses);
            logika = 0;
            break;
          }
          // kontrola kolikrat jsme minula pozadovana poloha
          if(zmen > Pocet_Zmen){
             pojezd = pojezd + minimum;
             zmen = 0;
          }
          // pokud se najezd nemuze strefit na pozadovanou polohu talir zastavi na nejblisi blizsi pozici od ni
          tolerance = pulses - pojezd;
          if ( abs(tolerance) < abs(minimum) ){
```

```
            minimum = tolerance;
          }

          // posun talire
          Dopredu(krok);

          // vypis polohy talire na display
          //Serial.print("Pozice :"); Serial.println(pulses);
          display.setCursor(80,0);
          display.println("Pozice");
          display.setCursor(0,0);
          display.println(pulses);
          display.display();
          display.clearDisplay();
          delay(cas);
        }

        delay(1000);

      }
    }

  // vypis aktulani polohy po posunu
  if (pulsesChanged != 0) {
    pulsesChanged = 0;

    //Serial.print("Pozice :"); Serial.println(pulses);

    display.setCursor(80,0);
    display.println("Pozice");
    display.setCursor(0,0);
    display.println(pulses);
    display.setCursor(80,12);
    display.println("Uhel");
    display.setCursor(0,12);
    uhel = (pulses%65536) * 0.0054931640625;
    display.println(uhel,4);
    display.display();
    display.clearDisplay();
  }

  // prijem dat po seriove komunikaci
  Prijem_po_usartu();

}

// prijem dat po seriove komunikaci
void Prijem_po_usartu(){

  // jestli neco prislo prectito
  if(Serial.available() > 0){
    // prevod ypravz y charu na string
    prijato = Serial.readString();
    // vypis co prislo
    if(diagnostika){
          Serial.print("prijato :"); Serial.println(prijato);
       }
    // vyhodnoceni prijate zpravy
    Vyhodnoceni_prijate_zpravy();
  }
```

```
}

// posun o n-kroku
void Dopredu( int krok){

  // posun po smeru hodinovych rucicek
  if(krok > 0){
      //Serial.print("Dopredu o pocet kroku :"); Serial.println(krok);
      motor.step(krok, BACKWARD, MICROSTEP);
    }
  // posun proti smeru hodinovych rucicek
  else{
      //Serial.print("Dozadu o pocet kroku :"); Serial.println(krok);
      motor.step(-krok, FORWARD, MICROSTEP);
    }

}

// qvadraturni enkoderu v ardulinu kanalu A
void A_CHANGE(){
  if( digitalRead(encoderB) == 0 ) {
    if ( digitalRead(encoderA) == 0 ) {
      // A fell, B is low
      pulses--; // moving reverse
    } else {
      // A rose, B is low
      pulses++; // moving forward
    }
 } else {
    if ( digitalRead(encoderA) == 0 ) {
      // A fell, B is high
      pulses++; // moving forward
    } else {
      // A rose, B is high
      pulses--; // moving reverse
    }
  }
  // tell the loop that the pulses have changed
  pulsesChanged = 1;
}

// qvadraturni enkoderu v ardulinu kanalu B
void B_CHANGE(){
  if ( digitalRead(encoderA) == 0 ) {
    if ( digitalRead(encoderB) == 0 ) {
      // B fell, A is low
      pulses++; // moving forward
    } else {
      // B rose, A is low
      pulses--; // moving reverse
    }
 } else {
    if ( digitalRead(encoderB) == 0 ) {
      // B fell, A is high
      pulses--; // moving reverse
    } else {
      // B rose, A is high
      pulses++; // moving forward
    }
```

```
  }
  // tell the loop that the pulses have changed
  pulsesChanged = 1;
}

// vyhodnoceni prijate zpravy
void Vyhodnoceni_prijate_zpravy(){

  switch (prijato[0]){
  case 'P':
     // zaslani aktualni pozice talire
     Serial.print("Pozice :"); Serial.println(pulses);
  break;
  case 'A':
     // presun talir na pozici
     // prevod stringu na cislo
     prijato = prijato.substring(1);
     //Serial.print("Vyber cisla pouze :"); Serial.println(prijato);
     pojezd = prijato.toInt();
     logika = 1;
  break;
  case 'M':
     // nahrani aktualni pozice
     // prevod stringu na cislo
     prijato = prijato.substring(1);
     //Serial.print("Vyber cisla pouze :"); Serial.println(prijato);
     pulses = prijato.toInt();
     Serial.print("Nahrana poloha :"); Serial.println(pulses);
  break;
  case 'D':
     // zapnuti/vypniti diagnostiky programu
     if(diagnostika == 1){
           diagnostika = 0;
           Serial.println("Diagnostika vypnuta");
        }
      else{
           diagnostika = 1;
           Serial.println("Diagnostika zapnuta");
        }
  break;
  case '4':
    //display.setCursor(30,20);
  break;
  case '5':
    //display.setCursor(30,20);
  break;
  case '6':
    //display.setCursor(30,20);
  break;

  default:
     // neplatna zprava
    Serial.print("Neplatna sintaxe :"); Serial.println(prijato);
  break;
  }
}
```

PŘÍLOHA D - Zdrojový kód pro polohování kamery

```
// program slouzi pro otoceni gramofonoveho talire
// kladne cislo otaceni talire ve smeru hod. rucicek "A4000"
// zaporne cislo otaceni talire ve smeru hod. rucicek "A-4000"
// zjisteni polohy talire "P"
// programatorka diagnostika "D"
// nahrani aktualni pozice talire "M4000"
// aktivuj/deaktivuj brzdu vinuti krokového moturu bude/nebude stale pod napetím "B"
// presun se na vychozi polohu (nulovou polohu) "N"

#include <avr/wdt.h>

// vstupy pro AMS 5311 a kvadraturni enkoder
const int encoderA = 2;
const int encoderB = 3;
const int CSnAMS5311 = 4;
const int Koncovy_spinac = 5;

// promene
//signed long pulses = 0;
int pulses = 0;
int pulsesChanged = 0;

String prijato;
int pojezd = 0;
//signed long pojezd = 0;
int pokus = 0;
int znema = 0;
int minimum = 100;
int Logika = 0;

// vystupy pro rizeni krokoveho motoru
const int Enable_1 = 10; //smer motoru 1
const int Motor_1 = 12; //rychlost motoru 1
const int Enable_2 = 11; //smer motoru 1
const int Motor_2 = 13; //rychlost motoru 1

int i = 1;
int krok = 0;
int cas = 0;  //
int CasNull = 1; // 1 dokonale
int CasPresuv = 1; // 2 dobre
int stav = 0;
int tolerance = 0;
int Poloha_pro_zpomaleni = 300; //500 dobry
int cas_konstanta_po_zpomaleni = 15; //50/25/20 je dobry
int diagnostika = 0;
int Brzda = 1;

void setup()
{
 // nastaveni seriove komunikace
Serial.begin(115200);

// nastaveni kvadraturniho koderu
pinMode(encoderA, INPUT);
pinMode(encoderB, INPUT);
pinMode(CSnAMS5311, OUTPUT);
```

```
// nastaveni koncoveho spinace
pinMode(Koncovy_spinac, INPUT);

// preruseni pro kvadraturni koder
attachInterrupt(0, A_CHANGE, CHANGE);
attachInterrupt(1, B_CHANGE, CHANGE);

// inicializace cidla AMS 5311
digitalWrite(CSnAMS5311,LOW);
delay(500);
digitalWrite(CSnAMS5311,HIGH);
delay(500);

// vypniti napajeni krokoveho motoru
digitalWrite(Enable_1, LOW);
digitalWrite(Enable_2, LOW);
digitalWrite(Motor_1, LOW);
digitalWrite(Motor_2, LOW);

// inicializace krokveho motoru
pinMode(Enable_1, OUTPUT);
pinMode(Enable_2, OUTPUT);
pinMode(Motor_1, OUTPUT);
pinMode(Motor_2, OUTPUT);

// nastaveni wotcheDog
wdt_enable(WDTO_4S);

// vypis na COM kominikaci
Serial.println("Start");
Serial.print("Pozici :"); Serial.println(pulses);

}


void loop() {
 // reset citace WOtcheDog
 wdt_reset();

 // prijem zprav po usartu
 Prijem_po_usartu();

 // polohovani kamery
 if(Logika == 1){
   // posun dolu kamery
   if(pojezd >= pulses){
        pokus = 0;
        znema = 0;
        minimum = 100;
        cas = CasPresuv;
        while(1){
          // posun k pozadovane polohy
          if( pojezd > pulses ) {
                Dozadu(1);
                if(diagnostika){
                  Serial.println("Dolu");
                }
                znema = 1;
                wdt_reset();
            }
```

```
        // prejeti pozadovane polohy
        if( pojezd < pulses ){
            if( znema == 1 ){
                pokus++;
              }
            Dopredu(1);
            Logika = 2;
            cas = cas_konstanta_po_zpomaleni;
            if(diagnostika){
              Serial.println("Nahoru");
            }
            znema = -1;
            wdt_reset();
          }
        // pokud danou polohu nemuze polohovani trefit zastavi na neblisi mozne polohy
        tolerance = pojezd - pulses;
        if( abs(tolerance) < Poloha_pro_zpomaleni ){
            //delay(cas_konstanta_po_zpomaleni);
            cas = cas_konstanta_po_zpomaleni;
            wdt_reset();
          }
        if ( abs(tolerance) < abs(minimum) ){
            minimum = tolerance;
            if(diagnostika){
              Serial.print("Nasel jsem minimum :"); Serial.println(minimum);
            }
            wdt_reset();
          }
        // ochrana proti zacikleni programu
        if(pokus > 6){
            pojezd = pojezd + minimum;
            pokus = 0;
            if(diagnostika){
              Serial.print("Zmena pozice na :"); Serial.println(pojezd);
            }
            wdt_reset();
          }
        // pojezd dojel na pozadovanou polohu
        if( pojezd == pulses ){
            Serial.print("Jsem na pozici :"); Serial.println(pulses);
            Logika = 0;
            wdt_reset();
            break;
          }
        // diagnostika pro programatora
        if(diagnostika){
            Serial.print("Pozice  :"); Serial.println(pulses);
          }
        wdt_reset();
      }

}
// posun nahoru kamery
if (pojezd < pulses){
    pokus = 0;
    znema = 0;
    minimum = 100;
    cas = CasPresuv;
    while(1){
      // posun k pozadovane polohy
```

```
        if( pojezd < pulses ) {  //&& ( pulses => (pojezd+tolerance)
              Dopredu(1);
              if(diagnostika){
                Serial.println("Nahoru");
              }
              znema = 1;
              wdt_reset();
            }
        // prejeti pozadovane polohy
        if( pojezd > pulses ){
              if( znema == 1 ){
                  pokus++;
                }
              Dozadu(1);
              Logika = 2;
              cas = cas_konstanta_po_zpomaleni;
              if(diagnostika){
                Serial.println("Dolu");
              }
              znema = -1;
              wdt_reset();
            }
        // pokud danou polohu nemuze polohovani trefit zastavi na neblisi mozne polohy
        tolerance = pojezd - pulses;
        if( abs(tolerance) < Poloha_pro_zpomaleni ){
              //delay(cas_konstanta_po_zpomaleni);
              cas = cas_konstanta_po_zpomaleni;
              wdt_reset();
            }
        if ( abs(tolerance) < abs(minimum) ){
              minimum = tolerance;
              if(diagnostika){
                Serial.print("Nasel jsem minimum :"); Serial.println(minimum);
              }
              wdt_reset();
            }
        // ochrana proti zacikleni programu
        if(pokus > 6){
              pojezd = pojezd + minimum;
              pokus = 0;
              if(diagnostika){
                Serial.print("Zmena pozice na :"); Serial.println(pojezd);
              }
              wdt_reset();
            }
        // pojezd dojel na pozadovanou polohu
        if( pojezd == pulses ){
              Serial.print("Jsem na pozici :"); Serial.println(pulses);
              Logika = 0;
              wdt_reset();
              break;
            }
        // diagnostika pro programatora
        if(diagnostika){
              Serial.print("Pozice  :"); Serial.println(pulses);
            }
        wdt_reset();
      }
}
```

```
 }

 // vypis aktualni polohy
 if (pulsesChanged != 0 && diagnostika ) {
       Serial.print("Pozice  :"); Serial.println(pulses);
       pulsesChanged = 0;
   }
 wdt_reset();

}

// prijem zprav po seriove lince
void Prijem_po_usartu(){

  if(Serial.available() > 0){
    prijato = Serial.readString();
    if(diagnostika){
       Serial.print("Prijato :"); Serial.println(prijato);
    }
    //pojezd = prijato.toInt();
    //Serial.print("Presouvam se na pozici :"); Serial.println(pojezd);
    // vyhodnoceni prijate zpravy
    Vyhodnoceni_prijate_zpravy();
    //Logika = 1;
    wdt_reset();
  }

}

// vyhodnoceni prijate zpravy
void Vyhodnoceni_prijate_zpravy(){

  switch (prijato[0]){
  case 'P':
     // aktualni pozice kamery
     Serial.print("Pozice  :"); Serial.println(pulses);
  break;
  case 'A':
     // presun kameru na pozici
     // prevod stringu na cislo
     prijato = prijato.substring(1);
     //Serial.print("Vyber cisla pouze :"); Serial.println(prijato);
     pojezd = prijato.toInt();
     if(diagnostika){
            Serial.print("Presouvam se na pozici :"); Serial.println(pojezd);
        }
     Logika = 1;
  break;
  case 'D':
     // diagnostika programu pro programatora
     if(diagnostika == 1){
           diagnostika = 0;
           Serial.println("Diagnostika vypnuta");
        }
      else{
           diagnostika = 1;
           Serial.println("Diagnostika zapnuta");
        }
      wdt_reset();
  break;
```

```
  case 'B':
       // aktivovat/dektivovat brzdu
         if(Brzda == 1){
            Brzda = 0;
            Serial.println("Brzda vypnuta");
         }
      else{
            Brzda = 1;
            Serial.println("Brzda zapnuta");
         }
      wdt_reset();
  break;
  case 'N':
       // presun se na vychozi (nulovou polohu)
       Serial.println("Presouvam se na nulovou pozici");
       /**/
       cas = CasNull;
       while(1){
        if ( digitalRead(Koncovy_spinac) == 1 ) {
            delay(1000);
            Serial.println("Null pozice");
            pulses = 0;
            break;
         }
         Dopredu(1);
         wdt_reset();
       }
       /**/
  break;
  case 'M':
     // nahraj pozici kamery
     // prevod stringu na cislo
     prijato = prijato.substring(1);
     //Serial.print("Vyber cisla pouze :"); Serial.println(prijato);
     pulses = prijato.toInt();
     Serial.print("Nahrana poloha :"); Serial.println(pulses);
  break;
  case '5':
    //display.setCursor(30,20);
  break;
  case '6':
    //display.setCursor(30,20);
  break;

  default:
    Serial.print("Neplatna sintaxe :"); Serial.println(prijato);
    wdt_reset();
  break;
  }
}

// krokování krokoveho motoru s mezi kroky smer otaceni do prava
void Dopredu( int krok){
  int i = 0;
  wdt_reset();

 while(1){
     switch (stav) {
        case 0:
          digitalWrite(Enable_1, HIGH);
```

```
  digitalWrite(Enable_2, LOW);
  digitalWrite(Motor_1, HIGH);
  delay(cas);
  stav++;
  i++;
break;
case 1:
  digitalWrite(Enable_1, HIGH);
  digitalWrite(Enable_2, HIGH);
  digitalWrite(Motor_1, HIGH);
  digitalWrite(Motor_2, HIGH);
  delay(cas);
  stav++;
  i++;
break;
case 2:
  digitalWrite(Enable_1, LOW);
  digitalWrite(Enable_2, HIGH);
  digitalWrite(Motor_2, HIGH);
  delay(cas);
  stav++;
  i++;
break;
case 3:
  digitalWrite(Enable_1, HIGH);
  digitalWrite(Enable_2, HIGH);
  digitalWrite(Motor_1, LOW);
  digitalWrite(Motor_2, HIGH);
  delay(cas);
  stav++;
  i++;
break;
case 4:
  digitalWrite(Enable_1, HIGH);
  digitalWrite(Enable_2, LOW);
  digitalWrite(Motor_1, LOW);
  delay(cas);
  stav++;
  i++;
break;
case 5:
  digitalWrite(Enable_1, HIGH);
  digitalWrite(Enable_2, HIGH);
  digitalWrite(Motor_1, LOW);
  digitalWrite(Motor_2, LOW);
  delay(cas);
  stav++;
  i++;
break;
case 6:
  digitalWrite(Enable_1, LOW);
  digitalWrite(Enable_2, HIGH);
  digitalWrite(Motor_2, LOW);
  delay(cas);
  stav++;
  i++;
break;
case 7:
  digitalWrite(Enable_1, HIGH);
  digitalWrite(Enable_2, HIGH);
```

```
          digitalWrite(Motor_1, HIGH);
          digitalWrite(Motor_2, LOW);
          delay(cas);
          stav = 0;
          i++;
        break;
    }
    if( i==krok ){
      krok = 0;
      i = 0;
      break;
    }
  }

  if(Brzda){
      digitalWrite(Enable_1, LOW);
      digitalWrite(Enable_2, LOW);
  }

}

// krokování krokoveho motoru s mezi kroky smer otaceni do leva
void Dozadu( int krok){
 int i = 0;
 wdt_reset();

 while(1){
     switch (stav) {
        case 0:
          digitalWrite(Enable_1, HIGH);
          digitalWrite(Enable_2, HIGH);
          digitalWrite(Motor_1, HIGH);
          digitalWrite(Motor_2, LOW);
          delay(cas);
          stav = 7;
          i++;
        break;
        case 1:
          digitalWrite(Enable_1, HIGH);
          digitalWrite(Enable_2, LOW);
          digitalWrite(Motor_1, HIGH);
          delay(cas);
          stav--;
          i++;
        break;
        case 2:
          digitalWrite(Enable_1, HIGH);
          digitalWrite(Enable_2, HIGH);
          digitalWrite(Motor_1, HIGH);
          digitalWrite(Motor_2, HIGH);
          delay(cas);
          stav--;
          i++;
        break;
        case 3:
          digitalWrite(Enable_1, LOW);
          digitalWrite(Enable_2, HIGH);
          digitalWrite(Motor_2, HIGH);
          delay(cas);
          stav--;
```

```
          i++;
        break;
        case 4:
          digitalWrite(Enable_1, HIGH);
          digitalWrite(Enable_2, HIGH);
          digitalWrite(Motor_1, LOW);
          digitalWrite(Motor_2, HIGH);
          delay(cas);
          stav--;
          i++;
        break;
        case 5:
          digitalWrite(Enable_1, HIGH);
          digitalWrite(Enable_2, LOW);
          digitalWrite(Motor_1, LOW);
          delay(cas);
          stav--;
          i++;
        break;
        case 6:
          digitalWrite(Enable_1, HIGH);
          digitalWrite(Enable_2, HIGH);
          digitalWrite(Motor_1, LOW);
          digitalWrite(Motor_2, LOW);
          delay(cas);
          stav--;
          i++;
        break;
        case 7:
          digitalWrite(Enable_1, LOW);
          digitalWrite(Enable_2, HIGH);
          digitalWrite(Motor_2, LOW);
          delay(cas);
          stav--;
          i++;
        break;
    }
    if( i==abs(krok) ){
      krok = 0;
      i = 0;
      break;
    }
  }

    if(Brzda){
      digitalWrite(Enable_1, LOW);
      digitalWrite(Enable_2, LOW);
  }

}

// qvadraturni enkoderu v ardulinu kanalu A
  void A_CHANGE(){
    wdt_reset();

  if( digitalRead(encoderB) == 0 ) {
    if ( digitalRead(encoderA) == 0 ) {
      // A fell, B is low
      pulses--; // moving reverse
    } else {
```

```
      // A rose, B is low
      pulses++; // moving forward
    }
  } else {
    if ( digitalRead(encoderA) == 0 ) {
      // A fell, B is high
      pulses++; // moving forward
    } else {
      // A rose, B is high
      pulses--; // moving reverse
    }
  }
  // tell the loop that the pulses have changed
  pulsesChanged = 1;
}

// qvadraturni enkoderu v ardulinu kanalu B
void B_CHANGE(){
  wdt_reset();

  if ( digitalRead(encoderA) == 0 ) {
    if ( digitalRead(encoderB) == 0 ) {
      // B fell, A is low
      pulses++; // moving forward
    } else {
      // B rose, A is low
      pulses--; // moving reverse
    }
  } else {
    if ( digitalRead(encoderB) == 0 ) {
      // B fell, A is high
      pulses--; // moving reverse
    } else {
      // B rose, A is high
      pulses++; // moving forward
    }
  }
  // tell the loop that the pulses have changed
  pulsesChanged = 1;
}
```

PŘÍLOHA E - DigiCamControl

```
% *.m FILE soubor pro ovladání a focení fotoaparátu
% změna disku v prikazovém řádku se provede takho "CD /d E:"
%
%
%

disp('START - hledani optimalniho yaostreni')
% Spustí příkazový řadek v DigiCamControl
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do ScriptWnd_Show')

% nastavení výstupní složky pro danou relaci focení
disp('Fotkz budou uloyenz na teto adrese')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c set session.folder E:\Foto3')
pause(5); % cekani abyfotopaparátměl časvykonavat řadu
instrukci zasebou jinak to bez čekání nestíhá
% nastaveni nazvu fotek pro danou relaci - když se to napise
do CMD v
% DigiCamControl bez uvozovek funguje
%[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c set session.filenametemplate
pokus_dne_28.3.2017_[Counter 4 digit]')
% vytvoření testovací fotografie
disp('Kprvni testovaci fotka')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Capture')
pause(5); % cekani abyfotaparát uložil snímek

% vstup do živého náhledu "LV - LiveVeiw"
disp('spouštím yivz náhled - LV (LiveView)')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveViewWnd_Show')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% nastavit zobrazeni na FIT
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Zoom_All')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% automatické zaostření v LV
disp('Zaostruji v LV')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Focus')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% vyfocení zaostřeného objektu v LV
disp('Fotim v LV')
```

```
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Capture')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% náhled na vyfocenou fotku
disp('Yobrayuji nahled vzfocene fotkz')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do FullScreenWnd_ShowTimed')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% manuální zaostření- do prava se otáčí prstence na objektivu
disp('Royostreni do PRAVA 1x')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Focus_M')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% vyfocení snímku v LV
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Capture')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% náhled na vyfocenou fotku
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do FullScreenWnd_ShowTimed')
pause(5); % cekani abz fotka stihal vzkonavat radu instrukci
yasebou jiank to bey cekani nestihá

% manuální zaostření - do prava se otáčí prstence na objektivu
disp('Royostreni do PRAVA 2x')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Focus_M')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% vyfocení snímku v LV
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Capture')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% náhled na vyfocenou fotku
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do FullScreenWnd_ShowTimed')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% vraceni se do zaostřené polohy
disp('Vracim se do vzchoyí polohz - yaostrene DEFAULT')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do ')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek
```

```
% vraceni se do zaostřené polohy - po druhe pisu pro jistotu
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do ')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% manuální zaostření - do leva se otáčí prstence na objektivu
disp('Royostreni do LEVA 1x')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Focus_P')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% vyfocení snímku v LV
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Capture')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% náhled na vyfocenou fotku
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do FullScreenWnd_ShowTimed')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% manuální zaostření - do leva se otáčí prstence na objektivu
disp('Royostreni do LEVA 2x')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Focus_P')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% vyfocení snímku v LV
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveView_Capture')
pause(5); % cekani aby fotaparát uložil snímek

% náhled na vyfocenou fotku
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do FullScreenWnd_ShowTimed')
pause(5); % cekani abz fotka stihal vzkonavat radu instrukci
yasebou jiank to bey cekani nestihá

% ukončeni LV náhledu
disp('Yaviram LV')
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do LiveViewWnd_Hide')
%
%[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c Do ')

disp('Konec *.M file skrzpru')
```

```
% příkazy pro příkazový řádek z matlabu
% dos(´´)
%
% pokus první
%

% vypíše se help pro CameraControlCmd.exe
% PC se na nějakou dobu odmlčí (sekne asi 50 vteřin)
dos('CD C:\Program Files (x86)\digiCamControl\ &
CameraControlCmd.exe /help')
dos('CD C:\Program Files\digiCamControl\ &
CameraControlCmd.exe /help')


% program CameraControl.exe musí být spuštěný než se začnou
zadávat příkazy, jinak se zasekne Matlba

% 1.)
% spuštění programu "CameraControl.exe"
% spuštění matlab a pak následně *.m file s daným programem co
chci dělat
dos('CD C:\Program Files (x86)\digiCamControl\ &
CameraControlRemoteCmd.exe /c do LiveViewWnd_Show')
% příkaz dos vrací dvě proměné
% Status
% 0 - příkaz se vykonal
% 1 - příkaz se nevykonal
% a druhou proměnou je
% CMDout
% dodatečný informační text
[Status,CMDout] = dos('CD C:\Program Files
(x86)\digiCamControl\ & CameraControlRemoteCmd.exe /c do
LiveViewWnd_Show')
% otestování jestli zadaný příkaz byl vykonán
findstr( CMDout, 'null' )   % vhodné použít když je připojený
fotoaparát
findstr( CMDout, 'error' )  % vhodné použít pro nepřípojený
fotoaparát
% správně vykonyný příkaz vrátí číslo větší než nulu
% nevykonaný příkaz vrátí číselnou hodnotu nulu
%
% Vhodné pro testování jestli je kamera připojená
[Status,CMDout] = dos('CD C:\Program Files
(x86)\digiCamControl\ & CameraControlRemoteCmd.exe /c list
camera')
% v CMDout buď bude zpráva
% :;response:error;message:no camera is connected
% nebo se vypíše číselnou hodnotu jména kamery například
% 441826
% nebo
% CMDout by mela být také zpráva o správně provedeném příkazu
```

```
% :;response:null;
% takže se dá testovat pomocí tohoto příkazu
findstr( CMDout, 'no camera is connected' )
% nebo tohoto
findstr( CMDout, 'response:null' )
% pokud vráti číselnou hodnotu větší jak jedna tak je v CMDout
obsažený daný řetězec
% pokud zadaná sintexe vrátí čislo 0 (nulu) tak hledaný
řetězec se nenachází v CMDout
% příkaz pro FOCENÍ z daného fotoaparátu
[Status,CMDout] = dos('CD C:\Program Files
(x86)\digiCamControl\ & CameraControlRemoteCmd.exe /c
capture')
% nebo pro živý náhled
[Status,CMDout] = dos('CD C:\Program Files
(x86)\digiCamControl\ & CameraControlRemoteCmd.exe /c
LiveView_Capture')
% je vhodné si ohlídat jestli fotka byla vyfocená
% hlídat si hlášku c CMD řádku
findstr( CMDout, 'Unable to focus' )
% pokud vrátí číselnou hodnotu větší jak nulu tak fotka nebyla
pořízená
% pohlídat si také jestli je pořízená fotka uložena do
správného adresáře
[Status,CMDout] = dos('CD C:\Program Files
(x86)\digiCamControl\ & CameraControlRemoteCmd.exe /c get
session.folder')
% V CMDout bude cesta kam se ukládají fotky
% zajímavý příkaz je "list session"
% a položka "session.series=0"
% a položka "session.counter=0"

cesta = 'CD C:\Program Files (x86)\digiCamControl\ &'
CMD = ' CameraControlRemoteCmd.exe /c'
funkce = {' Set',' Get',' List',' Capture',' CaptureNoAF','
Do'}
prikaz_SGL = {' Cameras',' CMDs',' Session',' Sessions','
Property',' LiveVeiw',' Camera',' Shutterspeed',' ISO','
ExposureCompensation',' Aperture',' FocusMode','
WhiteBalance',' Mode',' CompressionSetting'}
prikaz_Do = {'','','','','','','',''}
prikaz_do_CMD = strcat (cesta, CMD, funkce(3), prikaz_SGL(2))
[Status,CMDout] = dos(cahr(prikaz_do_CMD))
```

```
% Vygenerování všech LIST nastaveni pro fotoaparát

disp('Generace LIST funkce a ulozeni do *.TXT souboru')
disp('START')

fileID = fopen('LIST_nastaveni_pro_FOTOAPARAT_Levá.txt','w');
fprintf(fileID,'Seynam vsech nastaveni pro danz fotoaparat.
\n');
fprintf(fileID,'LIST. \n');

disp(' Vzpis /c LIST session')
fprintf(fileID,'  /c LIST session:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST session')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('1')
fprintf(fileID,'  /c LIST cameras:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST cameras')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('2')
fprintf(fileID,'  /c LIST cmds:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST cmds')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('3')
fprintf(fileID,'  /c LIST sessions:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST sessions')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('4')
fprintf(fileID,'  /c LIST property:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST property')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('5')
fprintf(fileID,'  /c LIST liveview:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST liveview')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');
```

```
disp('6')
fprintf(fileID,'  /c LIST camera:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST camera')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('7')
fprintf(fileID,'  /c LIST shutterspeed:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST shutterspeed')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('8')
fprintf(fileID,'  /c LIST iso:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST iso')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('9')
fprintf(fileID,'  /c LIST exposurecompensation:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST exposurecompensation')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('10')
fprintf(fileID,'  /c LIST aperture:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST aperture')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('11')
fprintf(fileID,'  /c LIST focusmode:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST focusmode')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('12')
fprintf(fileID,'  /c LIST whitebalance:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST whitebalance')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('13')
```

```
fprintf(fileID,'  /c LIST mode:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST mode')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');

disp('14')
fprintf(fileID,'  /c LIST compressionsetting:  \n');
[Status,CMDout] = dos('CD /d C:\Program Files\digiCamControl\
& CameraControlRemoteCmd.exe /c LIST compressionsetting')
fprintf(fileID,' %s',CMDout);
fprintf(fileID,' \n');



disp('KONEC')
fclose(fileID);
```

PŘÍLOHA F - Algoritmus pro generaci gramofonové drážky z wav/mp3 souboru

```
clc
clear

tic

% 45/45 zaznam ma +-15 um amplitudu maximalni
Max_Amplituda = 15;
% obvod desky v pixelech
% pro objektiv 20x/0.4
% obdod desky/rozliseni objektivu
% 917 660 / 0.998
Obvod_desky = 919489;
% vzorkovaci kmitocer nafocene drazky
% 60s / 33-1.3 ot/min zaznam
% je 1.8s
% 919 489pix / 1.8s
% je Fvz
Fs_desky = 510827;

%
pocet_snimku = 93;

Start = 13000;
Stop = 16000;

%% nacteni zvuku
[y,Fs] = audioread('petra janů - jedeme dál.mp3');

%y = cumsum(y);
%player = audioplayer(y,Fs);
%player.play
%player.stop

%% RIAA zaznanova charakteristika

% filtrace dle RIAA charakteristiky
b = [ 0.02675918611906  -0.04592084787595   0.01921229297239];
a = [ 1.00000000000000  -0.73845850035973  -0.17951755477430];

y_RIAA(:,1)=filter(a,b,y(:,1));
y_RIAA(:,2)=filter(a,b,y(:,2));

%% resampling zvuku na obraz

[p,q] = rat(Fs_desky/Fs,0.0001);
%ResamlingStopa_L = resample(y_RIAA(:,1),p,q);
%ResamlingStopa_R = resample(y_RIAA(:,1),p,q);
```

```
ResamlingStopa_L = resample(y(:,1),p,q);
ResamlingStopa_R = resample(y(:,1),p,q);


%% kontrola resamplingu

konst = 517050/Fs;
figure(1);
plot(y(Start:Stop,1));
figure(2);
plot(ResamlingStopa_L(Start*konst:Stop*konst));


%% normalizace amplitudy

Maximalni_L = max(abs(ResamlingStopa_L));
Maximalni_R = max(abs(ResamlingStopa_R));

Maximalni_L_normovana = int8(
round(ResamlingStopa_L/Maximalni_L*Max_Amplituda) );
Maximalni_R_normovana = int8(
round(ResamlingStopa_R/Maximalni_R*Max_Amplituda) );

clear ResamlingStopa_LResamlingStopa_R

figure(3);
plot(Maximalni_L_normovana(Start*konst:Stop*konst));

%% priprava parametru pro vytvoreni simulace drezek desky

maximalni_delka_strany = 1000000;
velikost = size(Maximalni_L_normovana);

pocet_drazek = ceil(velikost(1)/Obvod_desky);
sirka_obrazku = pocet_drazek*70+(pocet_drazek+1)*10;

velikost_snimku = round(Obvod_desky/pocet_snimku);

time = toc
%% vztvoreni drozky do stopy
tic
%obrazek = uint8(zeros(Obvod_desky,sirka_obrazku));
obrazek = uint8(zeros(velikost_snimku,sirka_obrazku));

for snimek=1:pocet_snimku
%for snimek=1:2
for i=1:velikost_snimku-1
for drazka=1:pocet_drazek-1
%for drazka=1:6
%index = i + Obvod_desky*(drazka-1);
```

```
            index = i + Obvod_desky*(drazka-1) +
velikost_snimku*(snimek-1);
            drifft = 80*(drazka-1);
            L = double(Maximalni_L_normovana(index)) +25
+drifft;
%L = Maximalni_L_normovana(index) +25;
%Stred =
round((Maximalni_L_normovana(index)+Maximalni_R_normovana(inde
x))/2  +45 +drifft);
            R = double(Maximalni_R_normovana(index)) +65
+drifft;
%R = Maximalni_R_normovana(index) +65;
            Stred = round((R+L)/2);

            obrazek(i, L:Stred ) = 200;     % pro nahled
vhodne barvy 200 a 255
            obrazek(i, Stred:R ) = 200;     % pro dalsi
zpracovavani vhodne barvy 200 a 200
            obrazek(i, Stred ) = 0;


end

end
    text =
strcat('obrazek_cumsum_fce_',num2str(snimek),'.png');
    disp(text);
    imwrite(obrazek,text);
    obrazek = uint8(zeros(velikost_snimku,sirka_obrazku));

end
time = toc
```

PŘÍLOHA G - Algoritmus pro detekci výrobných vad

```
clear
clc

%% nacitane snimky
%im1 = imread('H:\Download\Diplomka\II\Fotky\Vady\000 -
Objektiv 20-0,4 bile svetlo pozice 00240.tif');
%im1 = imread('H:\Download\Diplomka\II\Fotky\Vady\pozice -
00500.tif'); % NE škrábanec na drážce
%im1 = imread('H:\Download\Diplomka\II\Fotky\Vady\pozice
04400.tif');

%im1 = imread('H:\Download\Diplomka\II\Fotky\Vady\pozice
02800.tif');
%im1 = imread('H:\Download\Diplomka\II\Fotky\Vady\pozice -
01600.tif'); % NE škrábanec na drážce
im1 = imread('H:\Download\Diplomka\II\Fotky\Vady\pozice
07000.tif'); % NE škrábanec na drážce


obr1 = rot90(im1(:,:,1),0);
delka = size(im1,2);
vyska = size(im1,1);

%% medianova filtece snimku
obr1 = medfilt2(obr1,[5 5]);

%% detekce hran

HRANY_vertical = edge(obr1,'prewitt',[],'vertical');
HRANY_horizontal = edge(obr1,'prewitt',[],'horizontal');

HandV = HRANY_horizontal & HRANY_vertical; % castecne
zvyrazneni nezadoucich veci
HorV = HRANY_horizontal | HRANY_vertical; % zvyrazneni drazek
a nezadoucich veci
V_rozdil = HRANY_vertical & ~HandV; % zvyrazneni jenom drazek

xor_or = xor(V_rozdil,HorV); % zvyrazneni nezadoucich veci

%% urceni kolk jednotlichzch struktur je na obrazku
[Ohraniceni_Struktur_na_Obrazku, Pocet_struktur] =
bwlabel(xor_or, 8);

% urceni velikosti jednotlivych struktur v obraze
Velikost_Struktur_v_Obraze =
hist(Ohraniceni_Struktur_na_Obrazku(:), -
0.5:(Pocet_struktur+0.5));

Prahova_hodnota_Struktury = 1;
```

```
Index_Drazek = find(Velikost_Struktur_v_Obraze >
Prahova_hodnota_Struktury)-1;
Index_Drazek(Index_Drazek==0) = [];
Obraz_Drazek_tmp =
zeros(size(Ohraniceni_Struktur_na_Obrazku));

for index = 1:numel(Index_Drazek)
    Obraz_Drazek_tmp(Ohraniceni_Struktur_na_Obrazku ==
Index_Drazek(index)) = Index_Drazek(index);
end

%% zobrazení oblasti detekovanych vyrobnich vad
figure(1)
imshow(Obraz_Drazek_tmp);

RGB(:,:,1) = obr1;
RGB(:,:,2) = obr1+255*uint8(logical(Obraz_Drazek_tmp));
RGB(:,:,3) = obr1;

figure(2)
imshow(RGB);
imwrite(RGB, 'detekce_vad.tif', 'tif');
```

Pokusy s detekcí hran na snímku

```
% nacteni snimku
im1 = imread('Rucne_srovnana_fotka_01.tif'); % obraze 1

% uprava snimku
obr1 = rot90(im1(:,:,1),0);
delka = size(im1,2);
vyska = size(im1,1);

% detekce hran pomoci fce adge
HRANY = edge(obr1,'Canny');     %
imwrite(HRANY, 'HRANY_15_Canny.tif', 'tif');
HRANY = edge(obr1,'Sobel');    %
imwrite(HRANY, 'HRANY_16_Sobel.tif', 'tif');
HRANY = edge(obr1,'Roberts');  %
imwrite(HRANY, 'HRANY_17_Roberts.tif', 'tif');
HRANY = edge(obr1,'log');      %
imwrite(HRANY, 'HRANY_18_log.tif', 'tif');
HRANY = edge(obr1,'zerocross');%
imwrite(HRANY, 'HRANY_19_zerocross.tif', 'tif');

% detekce hran pomoci fce adge za vyuziti prewitt algoritmu
HRANY_vertical = edge(obr1,'prewitt',[],'vertical');
HRANY_horizontal = edge(obr1,'prewitt',[],'horizontal');
HRANY_VaH = edge(obr1,'prewitt',[],'both');

%figure(2);
%imshow(HRANY_vertical);
%imshow(HRANY_horizontal);
%imshow(HRANY_VaH);

% pokusy s logiskymi operacemi o zvyrazneni vyrobnich vad nebo
samotne drazky
imwrite(HRANY_vertical, 'HRANY_01_vertical.tif', 'tif');
imwrite(HRANY_horizontal, 'HRANY_02_horizontal.tif', 'tif');
imwrite(HRANY_VaH, 'HRANY_03_VaH.tif', 'tif');

VaHandH = HRANY_VaH & HRANY_horizontal;
imwrite(VaHandH, 'HRANY_04_VaHandH.tif', 'tif');
VaHorH = HRANY_VaH | HRANY_horizontal;
imwrite(VaHorH, 'HRANY_05_VaHorH.tif', 'tif');

VaHandV = HRANY_VaH & HRANY_vertical;
imwrite(VaHandV, 'HRANY_06_VaHandV.tif', 'tif');
VaHorV = HRANY_VaH | HRANY_vertical;
imwrite(VaHorV, 'HRANY_07_VaHorV.tif', 'tif');
```

```
HandV = HRANY_horizontal & HRANY_vertical;
imwrite(HandV, 'HRANY_08_HandV.tif', 'tif');
HorV = HRANY_horizontal | HRANY_vertical;
imwrite(HorV, 'HRANY_09_HorV.tif', 'tif');

HxorV = xor(HRANY_horizontal, HRANY_vertical);
imwrite(HxorV, 'HRANY_10_HxorV.tif', 'tif');
VaHxorH = xor(HRANY_horizontal, HRANY_VaH);
imwrite(VaHxorH, 'HRANY_11_VaHxorH.tif', 'tif');
VaHxorV = xor(HRANY_vertical, HRANY_VaH);
imwrite(VaHxorV, 'HRANY_12_VaHxorV.tif', 'tif');

V_rozdil = HRANY_vertical & ~HandV;
imwrite(V_rozdil, 'HRANY_13_Vrozdil.tif', 'tif');
H_rozdil = HRANY_horizontal & ~HandV;
imwrite(H_rozdil, 'HRANY_14_Hrozdil.tif', 'tif');

xor_or = xor(V_rozdil,HorV);
imwrite(H_rozdil, 'HRANY_20_XOR.tif', 'tif');
```

ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY NA DVD

PŘÍLOHA A - Složka " Arduino "

Zdrojové kódy pro Arduino Uno pro řízení polohovacího zařízení.

PŘÍLOHA B - Složka " Matlab "

Zdrojové kódy algoritmu popsané v této práci.

PŘÍLOHA C - Složka " Obrázky "

Obrázky použité v této práci.

PŘÍLOHA D - Složka " PDF "

Zdroje pro rešerši, počítačové zpracovávání obrazu, mikroskopie a podklady kontroly výrobních vad v GZ Media.

PŘÍLOHA E - Složka " Polohovací zařízení "

Snímky a videa fungování polohovacího zařízení pro gramofonovou desku.

PŘÍLOHA F - Složka " Použité gramofonové desky pro snímání"

Snímky použitých gramofonových desek v této práci.

PŘÍLOHA G - Složka " RIAA "

Norma RIAA charakteristiky a koeficienty pro digitální filtr.

PŘÍLOHA H - Složka " Snímky "

Pořízené snímky drážky, objektivů a držáků pro průmyslovou kameru.

PŘÍLOHA H - Složka " Sony PS-15 "

Podklady pro úpravu řízení talíře na gramofonu Sony PS-15.