

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vizuální kontrola gramofonových desek

vedoucí práce: Ing. Radek Holota, Ph.D.

2016

autor práce: Bc. Ondřej Podzemský

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou vizuální kontroly gramofonových desek. Jsou zde popsány nejčastěji se objevující vady při výrobě gramofonových desek a software a hardware použitý při jejich detekci. Stěžejní část práce je věnována třem nejlépe detekovatelným vadám (škrták, smet' a křivost desky), pro které byly navrženy odzkoušeny detekční metody strojového vidění. Na základě získaných výsledků byly doporučeny vhodné detekční metody.

Klíčová slova

Gramofonové desky, škrták, smet', detekční metody, strojové vidění, Vision Builder for Automated Inspection, LabVIEW.

Abstract

This master thesis deals with the issue of Visual inspection of vinyl records. In this master thesis there are described defects that are appearing most of the time in the manufacture of vinyl records and software with hardware used in their detection. The main (pivotal) part of the master thesis is devoted to the three best detectable defects (stitching, dimple and sag of the vinyl record). These defects have been designed and tested by machine vision detection methods. Based on the obtained results the best possible detection methods have been recommended.

Keywords

Vinyl records stitching, dimple, detection methods, machine vision, Vision Builder for Automated Inspection, LabVIEW.

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 porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

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

V Plzni dne: 16. 5. 2016

Podzemský Ondřej

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Radku Holotovi, Ph.D. za profesionální rady a vedení práce. Dále bych rád poděkoval společnosti GZ Media za půjčení vzorových gramofonových desek a manuálu hudební kontroly pro kontrolu výroby a vzorků.

Obsah

Úvod.....	9
Cíl práce a metodika.....	10
Seznam obrázků.....	11
Seznam tabulek.....	11
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	12
1 Vady vznikající při výrobě.....	13
1.1 Vady vznikající při výrobě.....	14
1.1.1 Informační vady.....	14
1.1.2 Mechanické vady.....	15
1.1.3 Optické vady.....	16
1.1.4 Akustické vady.....	17
1.2 Detekované vady.....	20
2 Softwarové nástroje.....	22
2.1 National Instruments.....	23
2.1.1 Vision Builder for Automated Inspection.....	23
2.1.2 LabVIEW.....	24
2.2 Matlab.....	24
3 Návrh zařízení.....	26
3.1 Kamera.....	26
3.1.1 Použitá kamera.....	27
3.2 Optika.....	28
3.2.1 Použitá optika.....	28
3.3 Osvětlovače.....	29
4 Metody detekce jednotlivých vad.....	31
4.1 Princip metod.....	31
4.1.1 Hranové detektory.....	31
4.1.2 Matematická binární morfologie.....	34
4.1.3 Měření objektů.....	35
4.2 Užití metod.....	35
4.2.1 Škrťák.....	36
4.2.2 Smeť.....	38
4.2.3 Křivost desky.....	41
5 Výsledky měření a jejich hodnocení.....	42
5.1 Osvětlení.....	42
5.2 Detekční metody.....	43
5.2.1 Hodnocení použitých metod.....	44
5.2.2 Rychlost inspekcí.....	47
5.3 Další vývoj.....	49
Závěr.....	50
Seznam použité literatury.....	52
Přílohy.....	53

Úvod

Vinylové desky dnes nejsou zastaralým médiem, naopak jsou stále velice žádané a stále se vyrábí. Výrobce GZ Media Loděnice je jediný výrobce gramofonových desek v Evropě a jeden z mála na světě, který si zachoval kontinuitu výroby.

Při výrobě dochází k různým vadám. Vady vznikají ve výrobním procesu nebo při následné manipulaci s deskami. Desky je nutné po vyrobení kontrolovat. V současné době probíhá kontrola náhodným výběrem, jehož cílem je prověření desky z hlediska optického a akustického. Tento způsob kontroly se provádí manuálně tzv. „na ucho“ k tomu určenými pracovníky. Pro zefektivnění procesu kontroly, lze využít systém strojového vidění pro vizuální kontrolu vinylových desek, kterým se tato práce zabývá.

Cíl práce a metodika

Cílem této diplomové práce je návrh automatické vizuální kontroly gramofonových desek. Důraz je kladen především na shrnutí a popis vad gramofonových desek vyskytujících se při jejich výrobě, návrh a otestování vhodné geometrie osvětlení pro vizuální detekci jednotlivých vad, návrh kamerového systému pro automatickou detekci vad a návrh algoritmů pro automatickou kontrolu gramofonových desek.

Pro samotné zpracování diplomové práce byla využita technika sběru dat vlastním pozorováním a měřením a technika zpracování dat na základě obecně dostupných dokumentů. Software použitý pro realizaci této diplomové práce je majetkem Západočeské univerzity v Plzni, kde je využíván v rámci výuky odborných předmětů. Vzorové gramofonové desky byly poskytnuty výrobcem GZ Media Loděnice. Použitá kamera, optika a osvětlovač je rovněž majetkem Západočeské univerzity v Plzni.

Seznam obrázků

Obr. 1 - Ukázka vady škrábance - fotografie z mikroskopu [1].....	18
Obr. 2 - Ukázka vady nedolisy - fotografie z mikroskopu [1].....	18
Obr. 3 - Ukázka vady škrťák - fotografie z mikroskopu [1].....	19
Obr. 4 - Ukázka vady prořezy - fotografie z mikroskopu [1].....	20
Obr. 5 - Ukázka vady smet' [1].....	21
Obr. 6 - Kamera ace acA1300-30gc [10].....	28
Obr. 7 - LED panel.....	29
Obr. 8 - Objektiv Tamron M118FM06 [15].....	30
Obr. 9 - schéma zpracování obrazu ve frekvenční a prosorové oblasti [20].....	32
Obr. 10 - FFT reprezentace [18].....	33
Obr. 11 - Zvýraznění hran pomocí Sobelova filtru [19].....	35
Obr. 12 - Ukázka tvarů a velikostí strukturního elementu [20].....	36
Obr. 13 - Ukázka obrazu vady škrťák ve frekvenční oblasti a maskování.....	37
Obr. 14 - Konvoluční filtr zvýrazňující detaily v obraze (velikost 7x7).....	38
Obr. 15 - Prostorová transformace pomocí Sobelova filtru.....	39
Obr. 16 - Smet' při průchodu světelnou čarou (a - mála, b - velká).....	40
Obr. 17 - Transformace s vymaskovanými horizontálními prvky.....	40
Obr. 18 - Vertikální Sobelova maska.....	41
Obr. 19 - Měření plochy světelné čáry.....	41
Obr. 20 - Měření šířky světelné čáry.....	42
Obr. 21 - Šířka čáry - prohnutí.....	50

Seznam tabulek

Tab. 1 - Tabulka vah a tolerancí desek [1].....	14
Tab. 2 - Parametry kamery Basler ace acA1300-30gc [11].....	26
Tab. 4 - Parametry LED panelu [18].....	29
Tab. 3 - Parametry objektivu Tamron M118FM06 [14].....	30
Tab. 5 - Typy prostorových filtrů [20].....	32
Tab. 6 - Viditelnost vady škrťák při různé int. osvětlení a úhlu natočení osvětlovače.....	44
Tab. 7 - Viditelnost vady smet' při různé int. osvětlení a úhlu natočení osvětlovače.....	44
Tab. 8 - Tabulka doby trvání jednotlivých inspekci při ideální rychlosti otáčení.....	49
Tab. 9 - Tabulka výsledků pro optimální rychlost otáčení desky.....	50

Seznam použitých symbolů a zkratek

DMM	Direct Metal Mastering – technologie řezání desek
SP	Single play. Gramofonové desky s průměrem 17 cm
LP	Long play. Gramofonové desky s průměrem 30 cm
MP	Zvláštní typ gramofonové desky s průměrem 25 cm
QR	Quick response code nebo-li kód rychlé reakce. Jedná se o maticový kód
NI	National Instruments
VBAI	Vision Builder for Automated Inspection
VA	Vision Assistant
VDM	Vision Development Module
RoI	Region of Interest – Oblast zájmu
TCP	Transmission Control Protocol – Protokol transportní vrstvy
CCD	Charge-Coupled Device – čip pro snímání obrazu
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor – polovodičová technologie
UV	Ultraviolet – ultrafialové (záření)
NIR	Near Infrared – oblast blízká infračervenému záření (včetně)
DC	Direct Current – stejnosměrný proud
PoE	Power over Ethernet – technologie napájení po datovém síťovém kabelu
fps	Frame per second – snímky za sekundu
FFT	Fast Fourier Transform – rychlá Fourierova transformace
DFT	Discrete Fourier Transform – diskrétní Fourierova transformace
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform – zpětná rychlá Fourierova transformace

1 Vady vznikající při výrobě

Ve výrobním procesu gramofonových desek se vyskytuje mnoho aspektů, při kterých mohou vznikat různě se projevující vady. Výrobní proces začíná na zákaznickém servisu, kde se přijímá objednávka, a jsou zde zadávány podklady pro výrobu. Z těchto podkladů se v tzv. premasteringu (příprava dat) seřadí skladby podle dodaného tracklistu (seznamu skladeb). Proveďte se kontrola tracků a jejich požadovaná úprava. V následném masteringu (přizpůsobení finálního zvukového signálu) je již upravován obsah mixu tak, aby šel obsah říznout a zároveň nebyla poškozena řezací aparatura. Tyto úpravy musí mít minimální vliv na změnu charakteru hudby a jsou vyžadovány mechanickou technologií výroby. Mezi hlavní úpravy, které se provádějí proto, aby byla deska zaplněna minimálně ze 75 % plochy, patří: nastavení šířky drážky, zrcátka (rozteč mezi drážkami) a úroveň hlasitosti. Úpravy jsou rozdílné u lakové a DMM (Direct Metal Mastering – metoda řezání do měděného plechu) technologie. [1]

Pokud je vše připraveno, začne proces samotného řezání. Používají se dva druhy řezání, a to řezání do měděného plechu nebo do lakované fólie. Při řezání do měděné fólie se při testovacím řezu provádí kontrola šířky drážky a zároveň se měří šum. Měřením šumu lze detekovat nevhodný plech nebo také zhoršující se šumové vlastnosti nože. Při řezání do lakové fólie se zároveň nastavuje a hlídá ohřívání nože, které je v průběhu řezání nutno měnit. Dále dochází k samotnému řezání skladeb. Tento proces probíhá v reálném čase, tedy to co pracovník slyší se právě řeže. Řezání je zakončeno výjezdovou drážkou. [1]

Z takto připravených plechů či fólií se vyrábí matrice. Opět je zde rozdíl v technologii výroby. Vyrábí-li se matrice z měděného plechu, musí se tento plech opláchnout demineralizovanou vodou, odmastit, vložit do kyselé vody, opláchnout a zpasivovat, čímž se na něm vytvoří důležitá dělicí vrstva. Připravený plech se poté zavěsí do niklovací lázně. Po dokončení niklování se oddělí niklová matrice od měděného plechu. Použije-li se laková fólie, je proces výroby matrice o něco složitější. Střed a kraj lakové fólie se musí upravit tak, aby vznikl vodivý spoj. Upravená fólie se odmastí a postříbí. Postříbřená fólie se zavěsí do niklovací lázně. Po oddělení vzniká negativ, ze kterého se opět v niklovací lázni tvoří tzv. matky.

Z těchto matek je nutné vytvořit matrice stejným způsobem jako u měděného plechu. [1]

Vyrobené matrice jsou v párech posílány do lisovny, kde je obsluha lisu kontroluje. Zkontrolované matrice jsou naraženy do lisu a provedou se první výlisky, podle kterých se nastaví parametry lisu. Z vylisovaných desek jsou vybírány vzorky, které jsou předávány hudební kontrole. Na deskách se provádí tzv. třístupňová kontrola (informační, optická a akustická). [1]

1.1 Vady vznikající při výrobě

Ve výše popsaném procesu výroby gramofonových desek může docházet k výskytu různých vad. Vady mohou vznikat ve všech krocích výrobního procesu. Těchto vad je velké množství a je možno je rozdělit do čtyř základních kategorií: vady informační, mechanické, optické a akustické. Jednotlivé vady striktně nepatří jen do jedné kategorie, ale mohou se v těchto kategoriích prolínat. Níže jsou popsány jednotlivé vady zařazené ve svých hlavních kategoriích. [1]

1.1.1 Informační vady

Informační vady jsou vady způsobené převážně lidským faktorem. Vada může nastat špatným zadáním od zákazníka nebo při samotném zadávání informací pro výrobu. Mezi informační vady patří: záměna, nevyrobení nového přepisu, špatná etiketa, malý počet vylisovaných desek a špatné gravírování. [1]

Záměnou se rozumí to, že na desce není obsah, který by tam měl být. K tomu může dojít několika způsoby. Mohou být dodána špatná data od zákazníka (nebo špatně popsané nosiče). Dále může k záměně dojít, pokud řezač špatně označí říznutý nosič, a nebo se může stát, že byla deska lisována ze špatných matric. [1]

Nevyrobeným novým předpisem nebo nevyrobenou novou matkou se rozumí to, že pro nové zpracování nebylo provedeno nové říznutí do měděného plechu nebo lakové fólie, popř. nebyla vyrobena nová matka. Tento proces se provádí zejména při reklamaci zákazníkem. [1]

Špatná etiketa je vada, která se projevuje buď tím, že jsou jen prohozeny etikety mezi stranami nebo se na desce objeví etiketa z úplně jiného titulu. [1]

V průvodní listu kvality je uveden počet desek, který se má vylisovat. Může se stát, že obsluha lisu si špatně přečte informaci o počtu desek, které musí vylisovat. V takovém případě není splněna výroba požadovaného počtu desek. [1]

Špatné gravírování se projevuje tím, že na matku nebo plech je vygravírováno špatné matriční číslo, katalogové číslo nebo jiné označení. V tomto případě pak dochází k nesplnění požadavku v průvodním listu kvality na gravírování. [1]

1.1.2 Mechanické vady

Mechanické vady vznikají převážně v procesu lisování desky. Existují ale i různé mechanické vady, které vznikají při neopatrné manipulaci jak s hotovými deskami, tak např. při neopatrné manipulaci během výroby matic. Mezi mechanické vady patří: křivost, zvlnění, špatná váha desky, vady etikety, píchnutý nástroj, ohnutý nástroj a špatný ořez kraje desky. [1]

Gramofonová deska jeví známky konvexní nebo konkávní křivosti. Vada vzniká, pokud jsou špatně seřízené parametry lisu, tzn. horní a dolní teplota lisu je rozdílná, nebo pokud není deska „vzrálá“, tzn. pokud je uvnitř desky pnutí, které následně desku zdeformuje. Povolená odchylka od rovinnosti desky je 1,5 mm. Zvláštním druhem křivosti je zvlnění. Vzniká tak, že pokud deska zůstane déle na lisu, začne se zahřívat a při vyndání z lisu se deska prohne kolem prstu obsluhy. [1]

Špatná váha desky může být zapříčiněna malým nebo velkým objemem hmoty, ze které se lisuje, nebo nepřesným nastavením lisovacích parametrů. Po ořezu by měla deska mít váhu podle Tab. 1. [1]

Tab. 1 - Tabulka vah a tolerancí desek [1]

Název	Průměr (cm)	Varianta	Váha (g)	Tolerance (g)
SP	17	Lehká	40	±7
SP	17	Těžká	70	±10
MP	25	-	100	±10
LP	30	Lehká	135	±10
LP	30	Těžká	180	±10

Mezi mechanické vady patří také různé vady etiket. Prasklá etiketa vzniká spálením nebo-li přesušením v peci. Dále mohou vznikat tzv. puchýře na etiketě. Puchýře vznikají, pokud je etiketa nedostatečně vysušena a použita při lisování desky. V lisu se etiketa zahřívá a zbytky vlhkosti se vypařují. Výpary nemají kam unikat a na etiketě vznikají puchýřky. [1]

Píchnutý nástroj vzniká při manipulaci se šablonou pro výrobu matrice. Může vzniknout, pokud se nosič položí větší silou na nějaký výčnělek nebo pokud se provádí rozebírání pomocí nože, kterým se zapáčí. Vada se poté na desce projevuje opticky jako důlek. Podobně jako píchnutý nosič vzniká také vada ohnutý nástroj. Vzniká v případě oddělování nástroje rukama od sebe a při větším zapáčení dojde k prohnutí nástroje. Vada se na desce také projevuje opticky, ale tentokrát ve větší ploše. [1]

1.1.3 Optické vady

Optické vady se projevují pouze opticky, nemají tedy vliv na akustiku. Tyto vady mohou vznikat v každém kroku výroby desky a nejvíce ovlivňují vzhled desky. Zahrnují celé spektrum vad od částecek ve hmotě, přes různé skvrny, až po špatnou barvu nebo typ desky. Mezi optické vady například patří špatný typ gramofonové desky, špatná barva hmoty, zalisovaný papír, skvrny a seky. [1]

Gramofonové desky se nevyrábí pouze černé, ale mohou být různě barevné, průhledné a dokonce tzv. picture disk (deska obsahující jakýkoliv barevný motiv). Pokud typ desky neodpovídá požadavkům zákazníka, jedná se o vadu špatný typ gramofonové desky nebo o vadu špatná barva hmoty. [1]

V desce se může nacházet zalisovaný papír z etikety. Papír se do hmoty desky může dostat dvěma způsoby. Buď při vyražení etikety z desky při recyklaci nebo při lisování desky. [1]

Skvrny nebo-li šmouhy zhoršují vzhled desky. Tyto vady mohou vznikat špatným rozmícháním hmoty, ze které se lisují desky, nebo pokud zůstane po lisování předchozí desky na matrici zbytek hmoty. Takové vady se posuzují pomocí šablon, které posuzují velikost skvrny vůči celkové ploše desky. Na šabloně jsou vytisknuté elipsy, které vymezují toleranci vad. Rozměry elips jsou dány vnitřní směrnici firmy. [1]

Vada zvaná seky vzniká při výrobě měděných plechů. Vzniká, pokud se v lázni nachází nějaká nečistota nebo se na měděném plechu vytvoří bublinka. Vada může způsobit problémy při řezání tím, že poškodí řezací nůž. Na desce se projevuje pouze opticky. [1]

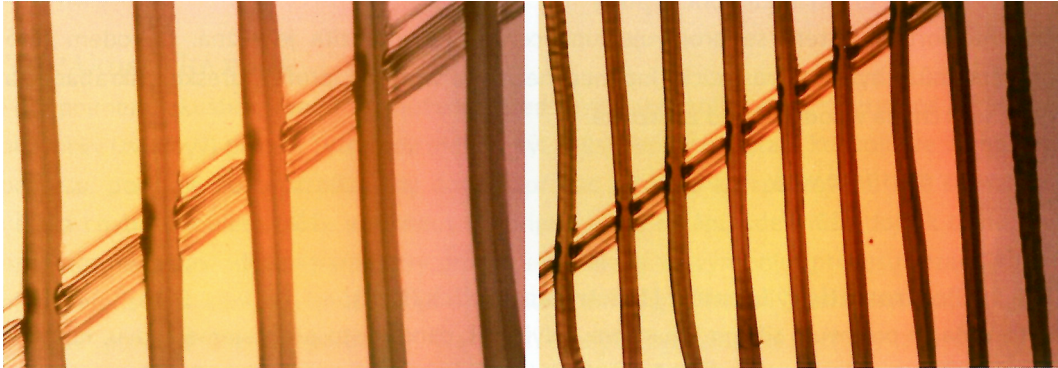
1.1.4 Akustické vady

Objeví-li se na desce vada, která má akustický projev, nazýváme jí akustickou vadou. Tento typ vad může vzniknout kdekoliv ve výrobním procesu. Při řezání špatným nastavením parametrů pro řezání, v galvanoplastice při nedodržení technologického postupu nebo v případě poruchy řezacího zařízení. Nakonec může vzniknout v lisovně špatným nastavením lisu, případně nezbavením se všech nečistot na lisu. Akustické vady jsou nejméně chtěné a jejich počet je oproti předchozím kategoriím vad několikanásobně vyšší. Mezi akustické vady patří šum, lupanec, praskot, škrábanec, nedolisy, škrťák, návalky, prořez, přeskok, úzká drážka, smet', puchýře a pikle. [1]

Šum je rušivá, avšak nedílná součást každého signálu. Na gramofonových deskách je šum způsoben zrnitostí materiálů (měď, nikl), opotřebením diamantového řezacího nože, hmotou pro lisování a i samotným lisováním. Šum se také může nacházet už v podkladech dodaných zákazníkem. Měří se na začátku a konci desky a také mezi jednotlivými stopami (tam, kde je ticho). Pokud se šum projevuje více na konci desky, znamená to, že dochází ke stárnutí a tvrdnutí mědi. Při řezání do takovéto mědi se na dnech drážek objevují černé tečky. [1]

Lupanec není doslova vada, ale spíše projev různých vad, jejichž intenzita je různá. Objeví-li se posloupnost lupanců, je vada označována jako praskot. Obvyklým příkladem je elektrostatický lupanec, který vzniká, pokud je deska nabitá silným statickým nábojem. Dojde-li tedy k lupanci, náboj na desce se vybije. Elektrostatické lupance se projevují velmi ostrým zvukem. Dalším příkladem je nečistota v drážce. Při přehrávání desky narazí přenoska do nečistoty a vada se akusticky projeví (lupanec, praskot). Přenoska může v lepším případě nečistotu vytlačit z drážky. V horším případě je nečistota v drážce zalisována a vada se bude projevovat při každém přehrávání. Je-li na desce škrábanec (viz obr. 1), který narušuje stěny drážky, případně zasahuje do dna

drážky, bude v místě škrábance docházet k lupanci. Dále se lupanec může projevovat u vad přeskoků a prořezu, které jsou popsány níže. [1]



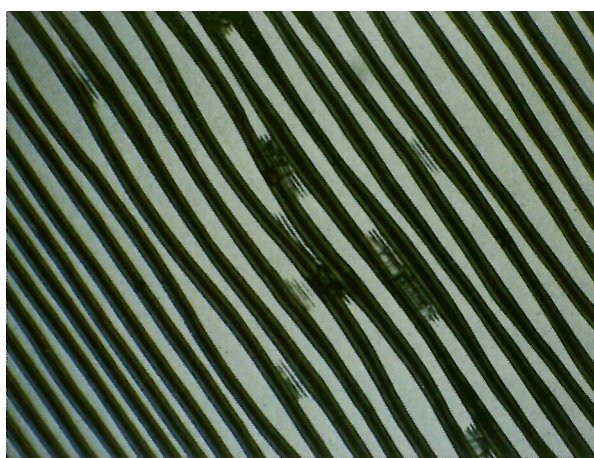
Obr. 1 - Ukázka vady škrábance - fotografie z mikroskopu [1]

Nedolisy se projevují rušivým praskáním v pravém kanálu. Tato vada se většinou vyskytuje v „závětrí“ hran matrice a nachází se v několika drážkách najednou. Praskání se tedy projevuje při více otáčkách desky. Nedolisy vznikají při lisování, když hmota nedostatečně vyplní drážky matrice. Vada je viditelná jako shluk lesklých bílých teček. Příklad vady viz obr. 2. [1]



Obr. 2 - Ukázka vady nedolisy - fotografie z mikroskopu [1]

Škrták je vada projevující se zvukově jako silnější souvislé praskání. To je dáno tím, že škrták není jen jeden ale bývá jich větší množství pohromadě. Zvukový projev má vada pouze pokud tímto způsobem dojde k poškození drážky. Dojde-li pouze k poškození zrcátka (plocha mezi drážkami), zvukově se vada vůbec neprojeví. Opticky se škrtáky projevují jako skupinka bílých teček nebo čárek. Ukázka vady viz obr. 3. Škrták lze rozdělit na pravý a nepravý. Pravý škrták vzniká dvěma způsoby. Při špatném nebo neplynulém rozebírání nástrojů může dojít k opětovnému přiblížení a zarytí výstupků do odlišných míst. Takto je poškozen jak negativ tak pozitiv. Druhá možnost vzniku pravého škrtáku je ta, že během lisování o sebe mohou vzájemně obě matrice škrtnout a tím se poškodit. Nepravý škrták vzniká neopatrnou manipulací po lisování, při které dojde ke škrtnutí o matrici. Tato situace může nastat například při sundávání desky z lisu. Deska zůstane přilepená na horní matrici a při manipulaci zapruží a vrátí se zpět k matrici. Deska se poškodí a vzniknou škrtáky. Pravé a nepravé škrtáky lze rozeznat podle výskytu na deskách lisovaných z jedné matrice. Pokud se na deskách nachází škrtáky ve stejné oblasti, jedná se o škrták pravý, pokud ne, jedná se o škrták nepravý. [1]

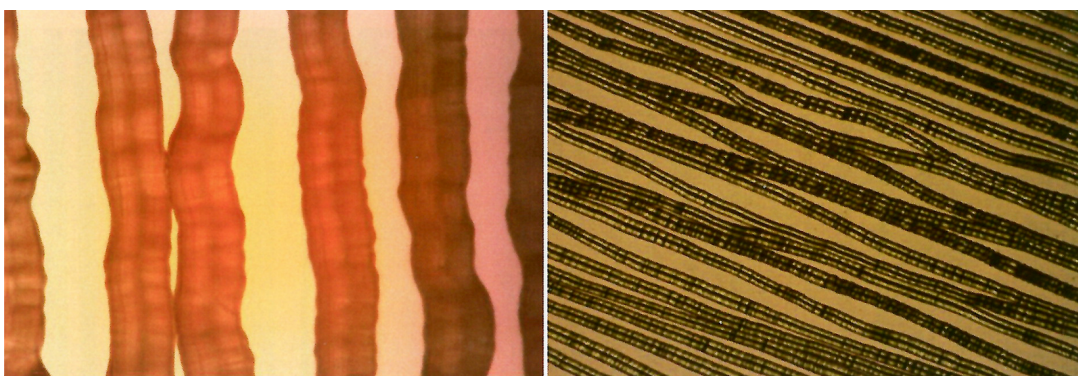


Obr. 3 - Ukázka vady škrták - fotografie z mikroskopu [1]

Návalky se vyskytují pouze na deskách vyrobených z fóliových šablon. Vliv na vznik této vady mají vlastnosti lakové fólie, tvar řezacího nože, nastavení ohřevu řezacího nože a řezací rychlosti. Vada vzniká tak, že při řezání dochází k vytlačování laku nad drážku. Vytlačenému materiálu na okrajích drážky se říká návalky. Kromě drobného praskotu při přehrávání desky se návalky projevují i vizuálně. Pokud se deska dostane do kontaktu s jiným tělesem, tak se mohou návalky rozmazat po zrcátku

a na desce se tak objeví nesmazatelná šmouha. [1]

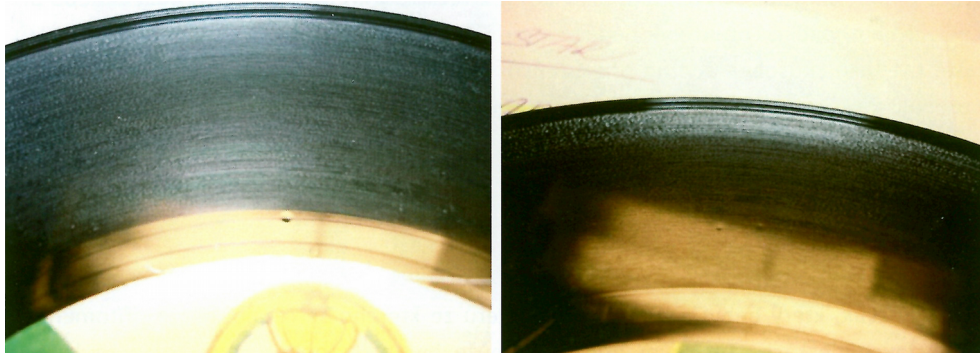
Při řezání do měděné desky nebo lakové fólie může dojít k prořezu (dvě propojené drážky). Vada vzniká špatným nastavením parametrů od operátora nebo poruchou řezací aparatury. Ukázka vady viz obr. 4. Akusticky se tato vada projevuje praskotem, lupancem nebo může dojít k přeskoku a následnému zacyklení celé desky. Přeskok se projevuje tím, že je reprodukován jasně nenavazující úsek skladby. Neprojevuje se ale jen u prořezu. Vzniknout může i zalisováním nečistoty v drážce nebo je-li drážka příliš úzká. Příčinou vzniku úzké drážky je důlek (velká hloubková výchylka) na měděném plechu nebo lakové fólii. [1]



Obr. 4 - Ukázka vady prořezu - fotografie z mikroskopu [1]

Smeť je vada, která může vzniknout v lisovně. Není-li matrice v přípravě na lisování dostatečně otřená a zbavená veškerých nečistot, může se v průběhu lisování nečistota zatlačit do matrice a poškodit ji. Smeť se poté objeví na všech vylisovaných deskách, které se lisují z této matrice. Nečistota se může na matrici dostat i tak, že ji lis nasaje. Na desce se tato vada projevuje jako malý důlek a projevuje se akusticky jako bouchání (obsahuje nízké frekvence). Pokud je smet' velká, bývá často akceptovatelná. Je to dáno tím, že je změna hloubkové výchylky pomalá a není náhlá. Jehla tuto změnu hloubkové výchylky projede pomalu, vada není skoro registrovatelná. Naopak pokud je vada malá, je tedy změna hloubkové výchylky velká, a jehla touto vadou projede rychle. Vada je poté velice akusticky výrazná. Podobně jako smet' se projevují a vypadají pikle. Rozdíl je v tom, že vznikají již v galvanoplastice. Obsahuje-li niklovací lázeň, nějaké nečistoty, mohou poté vznikat pikle. Opakem smeti jsou tzv. puchýře. Ty se mohou tvořit, pokud je nějaká nečistota v hmotě, ze které se lisuje. Projevují se vyboulením

na desce. Ukázka vady viz obr. 5. [1]



Obr. 5 - Ukázka vady smet' [1]

1.2 Detekované vady

Počet vad vznikajících při výrobě je veliký. Automatickou vizuální kontrolou lze detekovat jen takové vady, které mají optický charakter. Některé vady, jako například poškozená struktura drážek, nedolisy, prořezy a další, lze detekovat pouze za pomoci mikroskopu. Tento fakt tedy zamezuje tomu, aby vady byly zachytávány automaticky v procesu výroby. Tvrzení se zakládá na předpokladu, že automatická kontrola každé desky bude provedena za určitý časový úsek. Z výše vypsanych vad lze automatickou vizuální detekcí vyhledávat jen několik vad.

Způsobem, který je dále popsán v této práci, lze tedy detekovat vadu smet' a jí podobné vady. Jak již bylo uvedeno výše, smet' vypadá jako důlek na desce. Dopadá-li světlo na oblast, ve které se nachází smet', dochází ke snadno pozorovatelnému odlišnému odrazu světla od desky. Tato změna je způsobena tvarem vady. Stejným způsobem je možné detekovat vady smeti podobné. Píkle, které jsou smeti velmi podobné a pouze jejich vznik je odlišný, mají při dopadajícím světle stejné vlastnosti. Opakem smeti jsou puchýře. Tato vada, ačkoli je inverzní ke smeti, se za stejných světelných podmínek projevuje stejně. Dále se podobně projevuje vada píchnutý nástroj nebo ohnutý nástroj, která je způsobena neopatrnou manipulací při rozebírání nástrojů a jedná se tedy o mechanické poškození desky. Výsledný projev vady je také totožný s projevem smetí.

Další velmi dobře detekovatelnou vadou je škrťák. Tato vada se vyskytuje vždy ve větším množství a to z důvodů popsaných v kapitole 1.1.4. Podobně jako škrťáky lze detekovat různé škrábance na desce. Rozdíl je poté daný tím, že škrábanec je většinou viditelný jako dlouhá bílá čára vyskytující se v jakémkoliv směru. Zatímco škrťáky vždy tvoří skupinu bílých čárek nebo teček, která kopíruje směr drážky. Jediný problém u detekce škrťáků je snadná a častá záměna s prachovými částicemi, které se díky elektrostatickému náboji zachytávají na desce.

Jako poslední detekovatelnou vadou je nerovnost desky. Tuto vadu lze detekovat za stejných světelných podmínek jako vadu smet'. Deformace desky je v tomto případě jasně viditelná a zaznamenanatelná.

2 Softwarové nástroje

Automatická optická inspekce obrazu nebo-li strojové vidění (ang. machine vision) je systém, který se dnes používá pro výrobní a průmyslové systémy. V těchto systémech je zpracovávána obrazová informace z kamery. Nejpoužívanějším systémem strojového vidění je kamerová kontrola výrobku v celé fázi jeho výrobního procesu. Výsledkem kamerové kontroly je označení výrobku, který je neúplný nebo vadný. Strojové vidění může řešit úlohy typu kontrola komplexnosti výrobku, čtení textů, čtení čárových nebo QR kódů, bezdotyková měření rozměrů, třídění a kategorizace výrobků, navádění robotů, kontrola kvality tisku a mnoho dalších. [2]

Existuje veliké množství softwaru pro inspekci obrazu, jelikož si spousta firem vyvíjí svůj vlastní. Mezi kvalitní nástroje pro práci s obrazem, ať už množstvím přídavných hardwarových zařízení, úpravu obrazu nebo výslednou inspekci, patří nástroje od firmy National Instruments Corporation (dále jen NI). Firma je průkopníkem a výrobcem v oblasti virtuální instrumentace (technická disciplína v oblasti vývoje, výzkumu, školství a průmyslu). Z širokého okruhu produktů a služeb je možné zmínit produkty řady NI vision obsahující hardwarové a softwarové nástroje pro získání obrazu a aplikace pro zpracování obrazu. Mezi hardwarové produkty patří inteligentní kamery (Low-Cost inteligentní kamery, vysoce výkoné inteligentní kamery), kamerové systémy spojující kamery s dalším zařízením systému, nebo speciální vysoce výkonné hardwarové desky, pro zpracování obrazu. Mezi softwarové nástroje pro zpracování obrazu patří programy Vision Builder for Automated Inspection (dále jen VBAI), Vision Assistant (dále jen VA) a knihovna Vision Development Module (dále jen VDM). V neposlední řadě vyvinula firma NI také grafický programovací jazyk LabVIEW, ve kterém lze snadno pracovat s různými periferiemi nebo pracovat s daty zpracovanými z výše zmíněných programů. [3], [4]

Pro zpracování obrazových informací, které budou následně vyhodnoceny programem pro inspekci obrazu, lze například také využít rozsáhlý matematický software MATLAB od firmy MathWorks. Pro tento program jsou vytvořeny knihovny pro práci s obrazem, pomocí kterých lze obraz různě upravovat.

2.1 National Instruments

Pro vizuální kontrolu gramofonových desek jsou využité softwarové nástroje od společnosti NI. K detekci vad byl použit softwarový nástroj VBAI pro zpracování obrazových informací a následné vyhodnocení obrazu, vývojové prostředí a grafický programovací jazyk LabVIEW a softwarový nástroj Matlab. Níže jsou rozepsány funkce nástrojů a jejich následné využití pro danou problematiku.

2.1.1 Vision Builder for Automated Inspection

VBAI je softwarový nástroj pro zpracování obrazu. Tento software umožňuje tvoření algoritmů pro kontrolu komplexnosti výrobku, rozpoznávání a čtení textů, bezdotykové měření rozměrů, detekci objektů v obraze a mnoho dalšího. Sled operací vytvořených uživatelem je nazýván inspekce. Inspekce mohou být spuštěny jak na počítačích, tak mohou být nahrány do tzv. inteligentních kamer. Obraz pro inspekci je získáván ze souboru nebo je snímán kamerou. Obraz snímáný kamerou je dále zpracováván stejně jako obraz nahraný ze souboru. VBAI umožňuje připojení kamer s různým rozhraním jako je Gigabit Ethernet, USB nebo FireWire.

VBAI obsahuje velké množství nástrojů pro zpracování obrazu. Dělí se do jednotlivých kategorií podle funkce nástroje. V kategorii získání obrazu lze nastavit nahrávání obrazu z hardwarového zařízení nebo ze souboru. V další kategorii úprava obrazu lze převést obraz do zjednodušené verze VA, provádět filtraci obrazu, prahování, kalibraci nebo vytvářet region of interest (RoI) nebo-li oblast zájmu. V kategorii měření znaků obrazu lze provádět měření intenzity a barev v RoI, měřit vzdálenosti mezi hranami objektu nebo provádět geometrické úkony na lokalizovaných bodech. Další kategorií je určení rysů obrazu. V tomto kroku lze detekovat hrany objektů, určovat polohu objektu v obraze a vyhledávat shodu objektu. V kategorii rozpoznání částí lze číst text z obrazu, klasifikovat objekty podle tvaru a číst čárové a QR kódy. Kategorie komunikace obsahuje prvky pro vytvoření statických digitálních a analogových vstupů a výstupů, digitálních pulsů pro měření výsledků, vysílání nebo příjem TCP příkazů, čtení nebo zapisování do Modbus registru nebo na DataSocket server. Poslední kategorií je použití dalších nástrojů. Zde se nachází nastavení výsledků inspekce, update pro inspekci, kalkulátor s numerickými a logickými funkcemi, nahrání

LabVIEW VI do inspekce, ukládání zpracovaných dat a další. [5], [6]

2.1.2 LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je programovací jazyk a vývojové prostředí od firmy NI. Toto prostředí je vhodné k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizaci technologických procesů různé složitosti a programování složitých systémů nejen průmyslových robotů. Virtuální instrumentace si bere za cíl dočasně nebo trvale nahradit technické prostředky (hardware) virtuálním řešením za přispění programových prostředků (software). [3]

Jak již bylo řečeno, LabVIEW není jen vývojové prostředí ale také grafický programovací jazyk. Kód programu se tvoří „kreslením“ blokového diagramu. Jednotlivé funkce nebo použité algoritmy jsou v programu zastoupeny samostatnými bloky. Programy se nazývají virtuální přístroje (Virtual Instruments – VI), protože uživatelské rozhraní svým vzhledem a činností připomíná skutečné přístroje, jako jsou osciloskopy nebo multimetry. LabVIEW obsahuje rozsáhlou sadu nástrojů pro sběr, analýzu, zobrazení a ukládání dat. Uživatelské rozhraní nabízí širokou sadu ovládacích prvků a indikátorů (otočné knoflíky, tlačítka, stupnice, grafy, LED diody a další). Program vytvořený v LabVIEW lze importovat do prostředí VBAI a opačně (vytvořená inspekce, může být použita jako část programu v LabVIEW). [7]

Pro lepší zpracování obrazu ve vývojovém prostředí LabVIEW slouží modul NI-IMAQ (National Instruments Image Acquisition). Tento modul nejen zlepšuje práci s obrazem, ale také umožňuje propojení hardwarového zařízení (kamery, fotoaparáty) s LabVIEW. Obraz lze ukládat do paměti a zpracovávat ho později nebo může být zpracováván v reálném čase. [8]

2.2 Matlab

Matlab (Matrix Laboratory), vytvořený firmou MathWorks, je nástroj, jehož nejdůležitější částí je výpočetní jádro. Mezi základní operace výpočetního jádra patří operace s maticemi (determinant, inverze a jiné) a operace s vektory. Vektor může reprezentovat časovou řadu nebo různé signály. Mimo matice umí Matlab zpracovávat

vícerozměrná pole reálných nebo komplexních čísel. Tato pole se nazývají pole buněk a každá jejich část může mít jiný datový typ. Matlab je významný tím, že spojuje technické výpočty, programovací jazyk a vizualizaci dat do jednoho prostředí. Jeho komplexnost zajišťuje množství dostupných modulů a knihoven, které z Matlabu vytváří univerzální nástroj využitelný vědci, matematiky, inženýry a učiteli. Matlab tedy neslouží jen k výpočtu složitých matematických operací ale lze v něm provádět různá modelování, návrhy algoritmů, simulace, analýzu a prezentaci dat, měření, zpracování signálů a mnoho dalšího. [9]

Ke vzniku mnoho modulů a knihoven přispívá otevřená architektura Matlabu. Knihovny rozšiřující funkce Matlabu se nazývají Toolboxy. Pro zpracování a analýzu obrazu je k dispozici knihovna Image Processing Toolbox. Knihovna obsahuje nadstavby pro návrhy filtrů, rekonstrukci a analýzu obrazu, nadstavby pro manipulaci s barvami, geometrií, strukturou obrazu a 2D transformací. Obraz je v Matlabu interpretovaný jako matice o rozměrech x , y , z . Souřadnice x udává počet sloupců odpovídající šířce obrazu. Souřadnice y udává počet řádků odpovídající výšce obrazu. Souřadnice z udává počet barevných složek v obrazu. Obsahuje-li obraz jen odstíny šedi, je hodnota z rovna jedné. Je-li obraz barevný, je hodnota z rovna třem. K získávání obrazových dat přímo z kamer nebo fotoaparátů lze využít knihovnu Image Acquisition Toolbox. [10]

3 Návrh zařízení

Pro testování různých algoritmů a metod detekování vad na gramofonových deskách bylo potřeba navrhnout provizorní zařízení. Toto zařízení bylo použito pro nasnímání fotografií a videozáznamu desek. Pořízené záznamy sloužily k testování použitých algoritmů. Následně bylo použito zařízení ke zpětnému ověření daných metod v reálném čase.

3.1 Kamera

Kamery používané pro strojové vidění ve výrobním průmyslu, v robotice, v dopravě, nebo v laboratořích se vyznačují vysokou spolehlivostí a odolností vůči průmyslovému prostředí. Musí splňovat požadavky na robustnost, odolnost proti mechanickému poškození, odolnost proti prachu a nečistotám, schopnost pracovat v širokém rozsahu teplot a ve speciálních případech je vyžadována vodotěsnost. Kamery snímají obraz v reálném čase a pracují v nepřetržitém provozu, tedy v režimu označeném 7/24/365. Na trhu je dostupné veliké množství průmyslových a tzv. inteligentních kamer (smart camera). Výběr proto závisí například na požadavcích na náročnost systému nebo kvalitě obrazu. Kamery lze kromě rozdělení na „klasické“ a „inteligentní“ dělit podle několika kritérií. Podle typu signálu se dělí na analogové a digitální. Druhou možností dělení je tvar snímače. Patří sem kamery s maticovým senzorem (Area-scan) obsahující CCD nebo CMOS snímač, nebo řádkové kamery (Line-scan) pracující na principu skeneru. Dále je možné je dělit podle druhu snímaného spektra. UV kamery mají CCD snímač s povrchovou úpravou, aby byl citlivý na vlnové délky v rozsahu od 200 nm do 400 nm. Kamery pro viditelné spektrum, které jsou citlivé na vlnové délky viditelné lidským okem (400 – 700 nm). NIR kamery (Near Infrared) s CCD snímačem citlivým na vlnové délky 700 – 2500 nm. Poslední možností je dělení podle komunikačního rozhraní, a to USB 3.0, Gigabit Ethernet, FireWire, Camera Link nebo CoaXPress. [2]

3.1.1 Použitá kamera

Pro danou práci byla použita kamera ace acA1300-30gc od firmy Basler (viz obr. 6). Kamery řady ace jsou pro svoji robustnost, velikost a snadnou implementaci používány pro vizuální inspekci v průmyslu. Poměr cena/výkon předurčuje tyto kamery pro aplikace, ve kterých je použito větší množství kamer zapojených do jednoho systému. Dále se často používají v automatizovaných laboratořích nebo v inteligentních dopravních systémech. [2], [11]



Obr. 6 - Kamera ace acA1300-30gc [11]

Kameru ace acA1300-30gc lze napájet buď 6ti pinovým konektorem Hirose pomocí externího 12 V DC zdroje nebo přes ethernet pomocí PoE (Power Over Ethernet) technologie. Pro napájení pomocí PoE je nutné mít síťový prvek, který tuto technologii podporuje. Z druhé možnosti napájení je zřejmé, že kamera používá jako komunikační rozhraní gigabit ethernet IEEE 802.3ab. Rozlišení kamery je 1,3 megapixelů při snímkové frekvenci 30 fps. Součástí kamery je závit pro objektivu typu CS a při použití distančního kroužku lze namontovat objektivu typu C. Vybrané parametry kamery viz Tab. 2. [12]

Pro snadné polohování kamery byl použit jednoduchý nastavitelný stojan. Kameru lze tak nastavovat do pozice, která je vhodná k detekci dané vady (viz příloha III).

Tab. 2 - Parametry kamery Basler ace acA1300-30gc [11]

Výrobní řada	Basler ace
Druh senzoru	CCD
Senzor	sony ICX204
Velikost senzoru	1/3 "
Bitová hloubka	12 bits
Barva	Color
Rozlišení (V x H)	1294 x 964 pixelů
Velikost pixelu	3,75 x 3,75 palců
Snímací frekvence	30 fps
Komunikační rozhraní	GigE
Napájení	PoE nebo 12 V DC
Výstupní formát videa	Mono 8, Bayer BG 8, Bayer BG 12, Bayer BG 12 Packed, YUV 4:2:2 Packed
Hmotnost	90 g

3.2 Optika

Optika nebo-li objektiv je čočka nebo soustava čoček, která se používá u kamer nebo fotoaparátů k soustředění světla na senzor nebo na film. Soustava různých druhů čoček se používá k potlačení optických vad. Čočky mohou měnit svoji ohniskovou vzdálenost a tím tzv. zoomovat. V objektivu je dále zabudovaná clona, která dovoluje regulovat množství světla procházejícího objektivem na senzor. Podle ohniskové vzdálenosti lze objektivy dělit na normální objektiv, širokoúhlý objektiv a teleobjektiv. Normální objektiv má úhel záběru přibližně 50°, což odpovídá úhlu vidění lidského oka. Širokoúhlý objektiv má ohniskovou vzdálenost kratší (úhel záběru je tedy větší) než normální objektiv. Snímek pořízený širokoúhlým objektivem má tedy širší záběr. Extrémním případem je objektiv typu „rybí oko“, který může mít úhel záběru větší než 180°. Teleobjektiv má velkou ohniskovou vzdálenost (velmi malý úhel záběru) a vyznačuje se malou hloubkou ostrosti. Objektivy lze dělit také podle toho, zda mají pevné nebo proměnné ohnisko. [13]

3.2.1 Použitá optika

Ke kameře ace acA1300-30gc byl vybrán objektiv M118FM06 od firmy Tamron viz obr. 7. Objektiv spadá do skupiny megapixelových objektivů, které poskytují kvalitní obraz s velmi malým zkreslením. Svými vlastnostmi se vyrovnají mnohem dražším objektivům. Obzvláště objektivy s označením M118FM mají při srovnání s konkurencí malé konstrukční rozměry a zachovávají si lepší optické vlastnosti. Výhodou těchto objektivů je velmi krátká minimální vzdálenost snímání. [13]



Obr. 7 - Objektiv Tamron M118FM06 [14]

Megapixelový objektiv M118FM06 je možno použít s čipy do velikosti 1/1,8". Jedná se o objektiv s pevnou ohniskovou vzdáleností 6 mm a manuálně nastavitelnou clonou F1,4-16, který má závit typu C. Podrobné parametry jsou uvedeny v tabulce tab. 3. Objektiv je vhodné použít pro měření tvarů a rozměrů, detekci povrchových vad materiálů, kontrolu elektronických součástek, čtení čárových a QR kódů nebo sledování provozu v dopravě. [14]

Tab. 3 - Parametry objektivu Tamron M118FM06 [14]

Název	M118FM06
Velikost senzoru	1/1,8"
Orientační rozlišení	Megapixel
Ohnisková vzdálenost	6 mm
Minimální clona	F/ 1,4
Maximální clona	F/ 16
Ovládání clony	Manuální
Spektrální rozsah	Viditelné světlo
Minimální vzdálenost	0,1 m
Závit objektivu	Typ C

3.3 Osvětlovače

Stejně jako kamera a inspekční software je nedílnou součástí systémů strojového vidění také osvětlovací soustava. Volba osvětlení je velice důležitá, protože pro jakoukoli aplikaci strojového vidění je potřebné dosáhnout maximálního kontrastu zájmových objektů a minimálního kontrastu rušivých částí. Zároveň je důležité minimalizovat vliv okolních světelných podmínek z důvodů opakovatelnosti výsledků inspekčního programu. Návrh osvětlovací soustavy podléhá analýze interakce objektu a světla. Postup takovéto analýzy lze shrnout do následujících kroků. Analýza vlastností snímaného objektu vzhledem k úloze strojového vidění, analýza potřebných vlastností použitého světla, stanovení vhodného osvětlovače a eliminace rušivých vlivů. [15]

Na trhu se vyskytuje velké množství druhů osvětlovačů. Ve většině případech jsou zdrojem světla osvětlovačů LED diody, které mají dlouhou životnost, a téměř se neměnící světelné vlastnosti. Mezi nejběžnější typy osvětlovačů patří plošné osvětlovače, kruhové osvětlovače, kopulové difuzní osvětlovače, dark-field osvětlovače, backlight osvětlovače a liniové osvětlovače. Jednotlivé typy osvětlovačů jsou určeny pro specifické nasvícení zájmových objektů. [17], [18]



Obr. 8 - LED panel [16]

Pro navrhovanou aplikaci byl vytvořen plošný osvětlovač složený ze 4 LED diodových panelů. Každý panel obsahuje 48 bílých LED diod viz obr. 8. Parametry osvětlovacího panelu jsou uvedeny v tab. 4. K rozptýlení světla z osvětlovačů byl použit difuzor ze zmatněného plexiskla. [16]

Tab. 4 - Parametry LED panelu [16]

Označení panelu	12V White LED Panel Board 48 Piranha LED Energy Saving Light
Světelný tok	200 lm
Teplota barvy	5500 – 6500 K
Vyzařovací úhel	15°
napájecí napětí	10 – 14 V
Proud	300 mA
Příkon	3,6 W
Počet LED	48
Rozměry	74 x 51 mm

Stejně jako pro kameru je i pro polohování osvětlovače použit jednoduchý nastavitelný stojan. Osvětlovač lze tak nastavovat do pozice, která je vhodná k detekci dané vady (viz Příloha III).

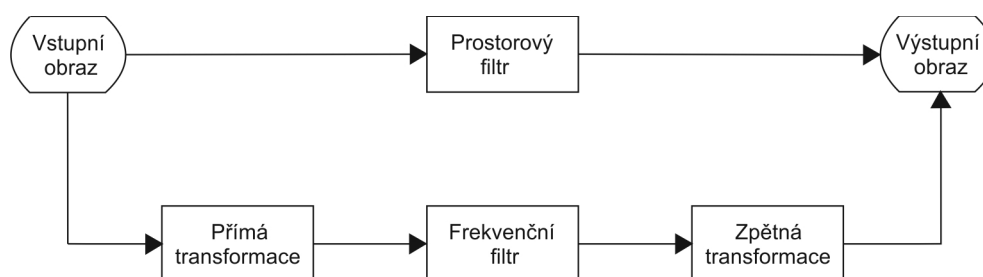
4 Metody detekce jednotlivých vad

4.1 Princip metod

V této kapitole jsou popsány principy způsobů zpracování obrazu, které jsou využity pro metody popsané v kapitole 4.2.

4.1.1 Hranové detektory

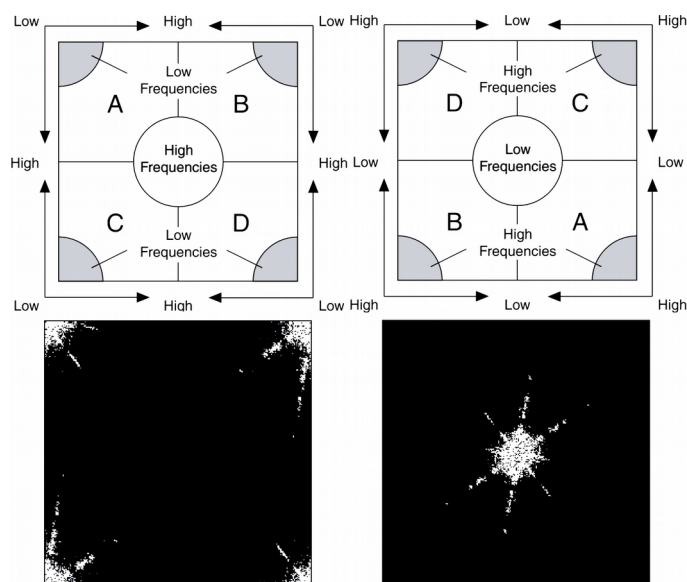
Obraz, nebo-li dvourozměrné pole, lze předzpracovávat pomocí filtrů. Filtraci lze provádět v prostorové nebo frekvenční oblasti, jak je znázorněno na obr. 9. V prostorové oblasti se používá filtrace nebo jasová transformace. Používají se lineární a nelineární filtry, které pracují s okolím pixelu v obraze. Můžeme je řadit do jasových transformací provádějících operace na jednotlivých pixelech. Pro filtraci ve frekvenční oblasti je nutné obraz transformovat. To je možné pomocí diskrétní lineární integrální transformace, kterou je například Fourierova transformace. Nejdříve se obraz pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT – rychlý algoritmus pro diskrétní Fourierovu transformaci DFT) převede do frekvenční reprezentace, kde dojde k požadované filtraci, pomocí frekvenčních filtrů. Poté již stačí jen převést obraz zpět do prostorové reprezentace pomocí zpětné rychlé Fourierovy transformace (IFFT). Fourierova transformace je základním matematickým nástrojem ve zpracování digitálních obrazů. [19]



Obr. 9 - schéma zpracování obrazu ve frekvenční a prostorové oblasti [19]

Analýza ve frekvenční oblasti

Ve frekvenční oblasti se pracuje se složkou nazývanou prostorová frekvence. Tato složka odpovídá frekvenci, se kterou se mění intenzita světla v obraze v závislosti na prostorových souřadnicích. Pro převod z prostorové reprezentace obrazu do frekvenční reprezentace obrazu se používá dvourozměrná FFT počítána ve dvou krocích. Nejdříve se použije jednorozměrná FFT pro transformaci řádků následována jednorozměrnou FFT transformací sloupců. Vzniklý obraz ve frekvenční oblasti je komplexní, tzn. skládá se z reálné a imaginární části. Ostré hrany nebo detaily jsou ve frekvenční oblasti znázorněny vysokou prostorovou frekvencí. To je dáno velkým rozdílem intenzity sousedních pixelů. Pokud je změna intenzity plynulá, odpovídá tato změna nízké prostorové frekvenci. Filtrováním prostorové frekvence lze odstranit, zmírnit nebo zvýraznit jednotlivé složky obrazu. Ve frekvenční oblasti se používají filtry typu dolní propust, horní propust a maskování. Pro vyhlazení šumu, detailů a ostrých hran se před IFFT používá frekvenční filtr dolní propust, který potlačuje rychlé změny intenzity v prostorové oblasti. Naopak pokud je důležité zvýšit ostrost nebo zdůraznit detaily používá se před IFFT frekvenční filtr horní propust. Ten potlačuje pomalé změny



Obr. 10 - FFT reprezentace [18]

- rozložení frekvencí u standardní reprezentace (vlevo nahoře),
- rozložení frekvencí u optické reprezentace (vpravo nahoře),
- FFT ve standardní reprezentaci (vlevo dole),
- FFT v optické reprezentaci (vpravo dole)

intenzity světla v prostorové oblasti. Je-li použita jako frekvenční filtr maska, nabízí se více možností filtrování než u předchozích dvou typů filtrů. Maskováním lze filtrovat specifické prostorové frekvence. Tuto techniku lze například použít, pokud je potřeba filtrovat dominantní frekvence a jejich harmonické ve frekvenčním pásmu. Pro FFT existují dvě různé reprezentace, standardní a optická. Standardní se vyznačuje tím, že má vysoké prostorové frekvence seskupeny v centru obrazu a nízké se nacházejí na okrajích. U optické reprezentace je rozložení opačné. Pro transformaci z jedné reprezentace do druhé je nutné změnit umístění kvadrantů A, B, C a D jak je vidět na obr. 10. [20]

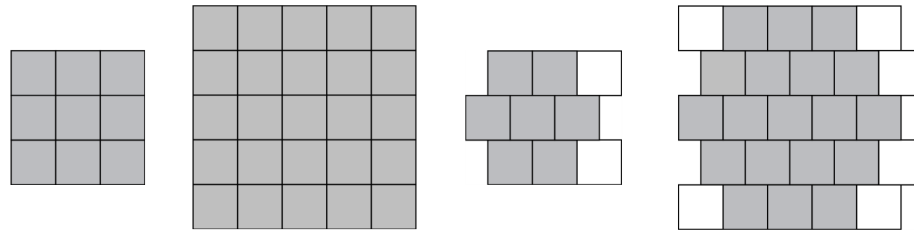
Analýza v prostorové oblasti

Jak bylo výše uvedeno, v prostorové oblasti se pracuje s filtrací nebo s jasovou transformací. Prostorový filtr se skládá z okolí (převážně malé čtvercové okolí) a předdefinované operace, která je vykonávána na obrazových pixelech zahrnutých v okolí. Po filtraci vzniká nový obrazový bod, který má shodné souřadnice se souřadnicemi počátku okolí. Hodnota okolí je výsledkem operace použité při filtraci. Nový bod vzniká převážně tzv. konvolucí. Konvoluce je algoritmus založený na přepočtu původní hodnoty pixelu a hodnot pixelů v jeho okolí ovlivněných koeficienty konvolučního jádra. Výsledek se vydělí součtem prvků v konvolučním jádře, a tím je získána nová hodnota pixelu. Konvoluční jádra jsou nejčastěji čtvercová a jejich velikost není omezená. Standardně se však používají velikosti 3 x 3, 5 x 5 a 7 x 7. Každý typ filtru má specifické koeficienty konvolučního jádra. Existují ale i prostorové filtry, které nepoužívají konvoluční jádra, jako je například filtr medián. Prostorové filtry se dělí viz tab. 5.

Tab. 5 - Typy prostorových filtrů [20]

Typ Filtru	Filtry
Horní propust (zvýrazňující)	Gradientní, Laplaceův, Robertsův, Sobelův, Prewittův, Diferenční, Sigma
Dolní propust (vyhlazující)	Vyhlazovací, Gausův, Medián, N-tého řádu

zpracování obrazu. Strukturní element může mít například tvar čtverce nebo šestiúhelníku o rozměrech 3 x 3, 5 x 5 a 7 x 7 viz obr. 12. [19]



Obr. 12 - Ukázka tvarů a velikostí strukturního elementu [19]

Operace v binární morfologii lze dělit na primární a pokročilé. Primární morfologické operace zpracují v binárním obraze každý pixel podle hodnot pixelů v jeho okolí. Každý pixel je tedy nastaven do 1 nebo 0 v závislosti na informaci okolí a použité operaci. Primární operace vždy mění celkovou velikost a tvar objektů v obraze a používají se pro vyhlazování okrajů objektů, nalezení vnějších a vnitřních hranic objektů a umístění konkrétní konfigurace pixelů. Základními primárními operacemi jsou eroze, dilatace a tref či miň (hit-miss). Ostatní operace vznikají kombinací těchto tří a jsou to otevření, uzavření, vnitřní a vnější gradient, kostra, ztenčování a ztlušťování. Pokročilé morfologické operace jsou založené na primárních operacích, ale nepracují přímo s pixely ale s objekty v binárním obraze. Jednotlivé operace jsou určeny k provedení konkrétních úprav jako například vyplnění díry v objektu, odstranění objektů dotýkající se krajů obrazu, odstranění malých nebo velkých objektů, nalezení konvexní obálky objektu a další.

4.1.3 Měření objektů

Objekty nebo-li souvislé skupiny pixelů v obraze mohou být charakterizovány měřením svých parametrů, například polohou objektu, plochou nebo tvarem. Měření objektů se provádí v binárním obraze. Základní funkcí pro měření objektů je kalibrace. Tato operace umožňuje zkalibrovat obraz tak, aby rozměry v obraze odpovídaly reálným jednotkám. V obraze lze měřit různé parametry objektů například délku ohraničení, plochu, délku a šířku, úhel, konvexní obálku nebo různé souřadnice pixelů objektu. Také je možné měřit nejenom plochu vybraného objektu, ale také je možnost

měřit plochu všech děr, které se v objektu nacházejí. Dále lze měřit konvexní obálku objektu nebo plochu celého obrazu. Výsledky těchto měření jsou udávány v pixelech (nekalibrovaný obraz) nebo v jednotkách vybraných při kalibraci obrazu. Kromě plochy je možné měřit různé délky objektu. Rovněž je možno měřit maximální šířku a výšku daného objektu (přesněji se měří vzdálenost okrajů objektu), průměrnou šířku a výšku, délku diagonály, obvod objektu nebo konvexní obálky a mnoho dalších. [20]

4.2 Užití metod

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2, nezabývá se tato práce detekcí všech vad vznikajících při výrobě gramofonových desek. Níže jsou popsány různé metody pouze pro detekování vad škrtek, smet' a křivost desky.

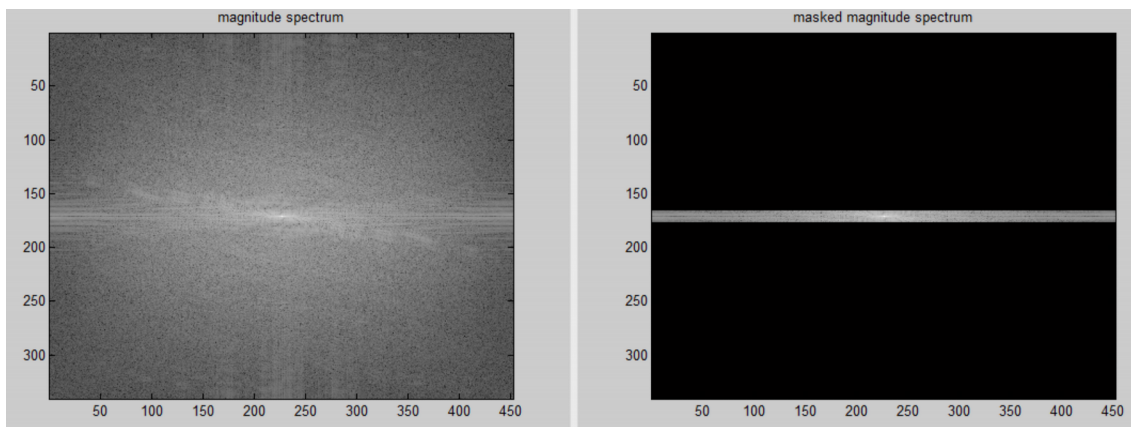
4.2.1 Škrtek

Škrtek se vyskytuje vždy ve větším množství a může se nacházet v drážkách zvukové stopy (akustický projev vady) nebo na zrcátku mezi drážkami zvukové stopy (optický projev vady). Vada je nejlépe výrazná, pokud je osvětlovač umístěn nad středem desky. Světlo z osvětlovače je rozptylováno matným difuzorem z plexiskla. Kamera je umístěna kolmo k desce a snímá výřez desky s viditelnými škrtkami. Fotografie škrtek viz příložené CD. Níže jsou popsány jednotlivé metody pro zachycení (detekování) této vady.

Hranový detektor ve frekvenční oblasti

Tato metoda je založena na transformaci obrazu z prostorové oblasti do frekvenční oblasti. Pomocí FFT je obraz transformován z prostorové do frekvenční oblasti. K filtraci je ve frekvenční oblasti použita maska, která ve frekvenční optické reprezentaci zvýrazňuje hrany škrtek viz obr. 13. Po převedení obrazu zpět do prostorové oblasti pomocí IFFT jsou vyhlazeny ostré hrany objektů. Škrtky jsou v takto upraveném obraze vertikálně „rozmazány“, přičemž mají stále dostatečnou intenzitu, aby mohly být dále zpracovány. Po zpracování obrazu ve frekvenční oblasti se za pomoci binární morfologie škrtky zvýrazní a zbytek obrazu potlačí. První operací v binární morfologii je prahování, které vytvoří binární obraz. Dále jsou pomocí částicového filtru odstraněny objekty, které se nachází na zrcátku na vnitřní části desky.

Operací uzavření jsou spojeny menší škrtáky (jdoucí za sebou) do jednoho objektu, aby byly detekovatelné. Nakonec se za použití dvou částicových filtrů odstraní zbylé malé objekty a mezery mezi stopami (zvýrazněné díky FFT transformaci). Na výsledném obraze jsou zvýrazněny jen detekované škrtáky.



Obr. 13 - Ukázka obrazu vady škrták ve frekvenční oblasti a maskování

Softwarový nástroj VBAI umožňoval FFT transformaci, ale IFFT transformaci již ne. Metoda byla vyzkoušena programem vytvořeným v Matlabu (Příloha I). Po ověření funkčnosti metody, byl vytvořen program pro FFT transformaci, maskování a IFFT transformaci v prostředí LabVIEW (Příloha II). Vytvořený program byl následně importován do VBAI.

Hranový detektor v prostorové oblasti

Metoda se zaměřuje pouze na část obrazu, kde jsou vady viditelné jako svislé čárky (pro jednoduchost detekce). V této metodě je použit konvoluční filtr zvýrazňující detaily ve všech směrech s velikostí jádra 7 x 7 viz obr. 14. Zvýrazněnými detaily jsou škrtáky a mezery mezi hudebními stopami. Filtrovaná část obrazu je následně zpracována binární morfologií. Pomocí prahování se vytvoří binární obraz, ve kterém jsou nejdříve částicovým filtrem odstraněny viditelné stopy mezi skladbami. Operací dilatace jsou vady ve vertikálním směru zvětšeny, aby nedošlo k jejich odstranění v následujícím kroku. Dilatace také způsobí spojení více menších škrtáků do jednoho objektu, aby byly také detekovány. Částicový filtr odstraní zbylé malé a velké objekty (škrábance, nečistoty) a zanechá viditelné pouze škrtáky. Nakonec dochází k operaci

eroze, která zmenší vadu tak, aby měla přibližně stejnou velikost jako v původním obrázku.

-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	60	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Obr. 14 - Konvoluční filtr zvýrazňující detaily v obraze (velikost 7x7)

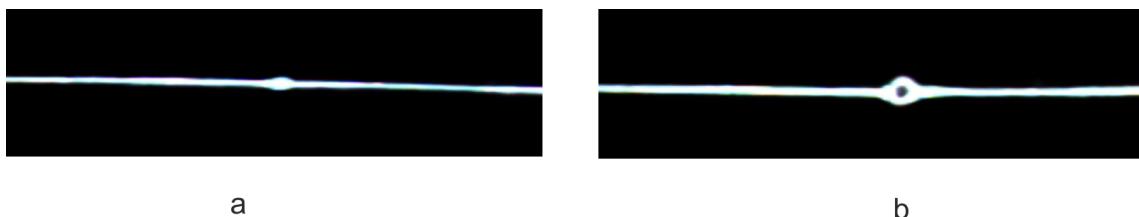
Matematická binární morfologie

Tato metoda je založena pouze na úpravě snímaného obrazu pomocí binární morfologie. Metoda se opět zaměřuje na oblast obrazu, ve které jsou škrťáky svislé. Ve výřezu obrazu je provedeno prahování, a tím vzniká binární obraz. Částicový filtr odstraňuje drobné objekty, které zbyly v obraze po prahování. Následuje operace uzavření, ve které je použita, jako strukturní element svislá čára, způsobující prodloužení svislých objektů. Je-li více škrťáků za sebou, jsou spojeny do jednoho objektu. Další částicový filtr odstraňuje zbylé drobné objekty v obraze. V takto upraveném obraze jsou vady detekovány.

4.2.2 Smet'

Smet', a jí podobné vady (viz kapitola 1.1.4), je nejlépe detekovatelná, pokud se vytvoří ostrý přechod světlo-tma, tzn. velký kontrast (velká změna intenzity) nejlépe mezi bílou a černou barvou. Je-li tento přechod vytvořen tenkou světelnou čarou, lze smet' pozorovat jako deformaci čáry viz obr. 15. Nachází-li se na desce smet' malá, vytvoří se po průchodu světelnou čarou výrazný bod. Pokud je smet' větší, vytvořený

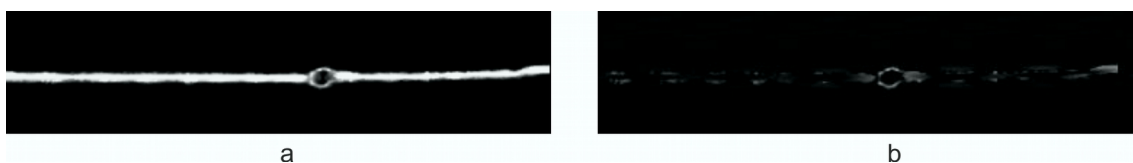
bod je také větší a uprostřed bodu se může objevit černá tečka. Světelná čára se vytvoří tak, že se na osvětlovač použije speciální kryt, který propouští jen tenký světelný paprsek. Osvětlovač je umístěn rovnoběžně nad deskou a vytváří tak od okraje etikety po okraj desky rovnou světelnou čáru. Kamera je umístěna kolmo k desce a snímá výřez desky se světelnou čarou (viz příloha III). Níže jsou popsány jednotlivé metody pro zachycení (detekování) této vady.



Obr. 15 - Smet' při průchodu světelnou čarou (a - malá, b - velká)

Hranový detektor ve frekvenční oblasti

Tato metoda je založena na transformaci obrazu z prostorové oblasti do frekvenční oblasti. Transformovaný obraz je pomocí masky vymaskován. Maska ve frekvenční oblasti odstraňuje horizontální prvky v obraze (světelnou čáru) viz obr. 16. Pokud je v obraze vada, oproti světelné čáře zůstane viditelná. Je to dáno tím, že filtr odstraňuje hrany v horizontálním směru a ostatní hrany zůstanou zachované. Čára není odstraněna úplně celá, ale zůstanou po ní malé světlé objekty, které se dále dají snadno odfiltrovat. Ty v obraze po IFFT zůstávají proto, že čára nemá rovnou hranu, ale kvůli drážkám na desce se čára deformuje. Zbylé částice je nutno odfiltrovat a místo kde se nachází vada zvýraznit tak, aby při filtraci malých částic nedošlo k odstranění vady. K tomuto procesu lze využít binární morfologii a částicový filtr. Jako první se použije prahování, pomocí kterého se zvýrazní světlé objekty v obraze (vada, zbylé částice). Filtrem malých částic se odstraní většina přebývajících objektů. Pomocí



Obr. 16 - Transformace s vymaskovanými horizontálními prvky (a - před FFT, b - po IFFT)

morfologické operace dilatace se spojí objekty, které se v obraze vytvořily výskytem vady. Dále se použije morfologická funkce convex hull, která vytvoří tzv. konvexní

obálku okolo daného tělesa. Touto operací lze vyplnit případné mezery a díry v objektu. Morfologickou operací eroze se objekty v obraze zmenší (pokud jich zbylo ještě více) a následným částicovým filtrem se odstraní přebytečné malé objekty a v obraze zůstane pouze objekt vyznačující vadu.

Ze stejného důvodu jako u škrtkáku byla nejdříve metoda vyzkoušena programem vytvořeným v Matlabu (viz příloha I). Po ověření funkčnosti metody byl vytvořen program pro FFT transformaci, maskování a IFFT transformaci v prostředí LabVIEW (viz příloha II), který byl následně importován do VBAI.

Hranový detektor v prostorové oblasti

V této metodě je použitý Sobelův filtr. Jedná se o prostorový filtr horní propust, viz tab. 5, který zvýrazňuje v horizontálním a vertikálním směru hrany v obraze. V případě detekce vady ve světelné čáře je použita pouze vertikální maska. Použití pouze vertikální masky způsobuje to, že jsou v obraze filtrovány horizontální prvky (světelná čára) a zvýrazněny hrany vertikálních objektů (smeť) viz obr. 17. V oblasti, kde se nacházela světelná čára, zbyly opět světlé body. Stejně jako



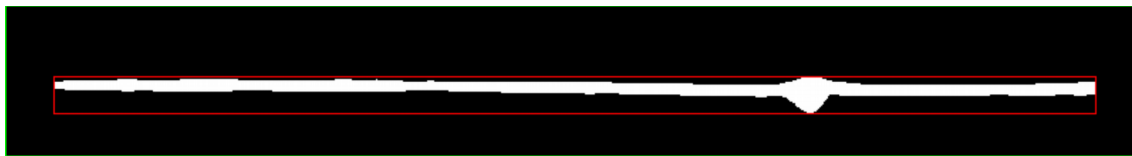
Obr. 17 - Prostorová transformace pomocí Sobelova filtru (a - před transformací, b - po transformaci) v předchozím bodě je to dáno tím, že čára nemá rovnou hranu, ale kvůli drážkám na desce se čára deformuje. Světlé body je nutné znovu odstranit z obrazu a místo, kde se nachází vada, zvýraznit. Použitá vertikální maska Sobelova filtru má jádro o velikosti 3 x 3, viz obr. 18. Odstranění zbylých světlých bodů z obrazu se provede stejně jako u předchozí metody, použitím binární morfologie a částicového filtru. Po morfologickém zpracování zůstane v obraze pouze vada, která byla zachycena světelnou čarou.

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Obr. 18 - Vertikální Sobelova maska

Měření plochy objektu

V této metodě se měří plocha světelné čáry. Vlivem různé hustoty drážek a křivosti desky mění světelná čára svoji šířku a částečně i tvar (prohnutí čáry). Pokud se v oblasti světelné čáry objeví vada, plocha čáry se změní viz obr. 19. Tato změna je

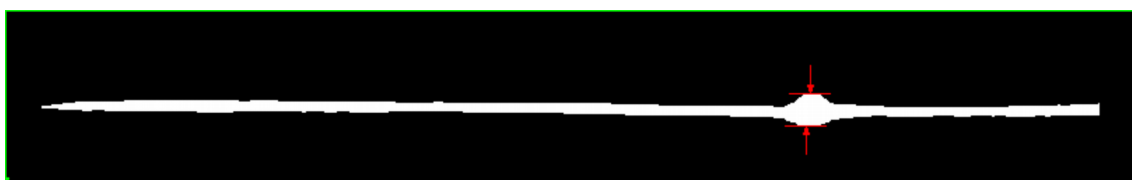


Obr. 19 - Měření plochy světelné čáry

natolik výrazná, že hodnota plochy čáry vzroste nad maximální hodnotu plochy bez vady. Pro výpočet plochy musí být světelná čára upravena. Oblast, kde se nachází světelná čára, je prahováním převedena na binární obraz pro jednodušší měření plochy. Pro odstranění nerovností na hranách světelné čáry je použito morfologické uzavření. Logický kalkulátor porovnává plochu čáry na každém snímku s maximální hodnotou čáry bez vady. Je-li v oblasti světelné čáry vada, je zachycena.

Měření šířky objektu

Metoda je založena na měření maximální šířky světelné čáry. Stejně jako u předchozí metody mění světelná čára svoji šířku a částečně i tvar (prohnutí čáry). Objeví-li se ve světelné čáře vada, změní se tím v jednom místě viditelně šířka světelné čáry, a tato vada je zachycena (šířka je větší než maximální stanovená šířka bez vady). Sledovaná světelná čára je upravena pomocí binární morfologie. Je provedeno prahování a následná morfologická operace uzavření, aby se odstranily nerovnosti na hranách čáry. Na takto upravené čáře je měřena její šířka. Na obr. 20 je vidět měření šířky čáry v nejširším místě (tam kde se zrovna nachází smet'), dále jsou také zřetelné nerovnosti na hranách čáry. Morfologickým uzavřením je snaha tyto nerovnosti eliminovat, to se ale nedaří dokonale.



Obr. 20 - Měření šířky světelné čáry

4.2.3 Křivost desky

Křivost desky je detekovatelná, pokud se použije osvětlení pro vadu smet' a může jí být tedy zachycena. Je-li deska křivá, projeví se to prohnutím světelné čáry. Pokud se křivá deska točí, světelná čára svým prohnutím kopíruje křivost desky. Metoda pro měření křivosti desky je založena na vyhodnocování polohy krajních bodů světelné čáry. Nejprve se za pomoci funkce hledání vzoru naleznou oba konce světelné čáry. Na obou koncích se vytvoří bod. Jelikož deska bývá prohnutá nejčastěji na krajích, je brán bod (konec čáry) nacházející se blíže etikety desky jako výchozí. Vůči tomuto bodu se měří posun bodu na druhém konci čáry. Posun je dán rozdílem hodnot na ose y souřadnicového systému bodů. V kalkulátoru se rozdíl vyhodnocuje a určuje se, zda je křivost desky ještě přípustná či nikoliv.

5 Výsledky měření a jejich hodnocení

5.1 Osvětlení

Pro jednotlivé vady bylo nastaveno specifické osvětlení. K osvětlování desky byl použit vždy stejný osvětlovač, ale měnilo se umístění osvětlovače a difuzor (viz příloha III). Pro vadu smet' byl použit zastíněný matný difuzor z plexiskla, který vytváří rovnou světelnou čáru. U vady škrťák byl použit matný difuzor z plexiskla bez jakéhokoliv zastínění. Osvětlovač byl u každého typu vad umístěn ve výšce 18 cm rovnoběžně nad gramofonovou deskou. Při takto umístěném osvětlovači jsou nejlépe viditelné vady na desce viz tab. 6 a tab. 8. Pokud je osvětlovač upraven pro potřeby osvětlení vady smet', umožňuje tato poloha osvětlovače vytvořit světelnou čáru se stejnou šířkou i intenzitou světla v celé její délce. Je-li pro detekování vady škrťák na osvětlovač umístěn matný difuzor, je rovnoběžné umístění osvětlovače nad deskou nejvhodnější. Tato vada je sice viditelná i s mírným nakloněním osvětlovače, ale při rovnoběžném umístění osvětlovače je detekovatelná nejlépe.

Tab. 6 - Viditelnost vady škrťák při různé intenzitě osvětlení a úhlu natočení osvětlovače

Úhel natočení	Intenzita osvětlení [Lux]				
	14	30	45	63	80
0°	N	LV	LV	V	DV
15°	N	N	LV	V	DV
30°	N	N	N	LV	V
45°	N	N	N	LV	V
60°	N	N	N	N	LV
75°	N	N	N	N	LV
90°	N	N	N	N	N

N - vada není vidět, LV - vada je lehce vidět, V - vada je je vidět, DV - vada je dobře vidět

Tab. 7 - Viditelnost vady smet' při různé intenzitě osvětlení a úhlu natočení osvětlovače

Úhel natočení	Intenzita osvětlení [Lux]				
	11	17	18	24	30
0°	LV	LV	V	DV	DV
15°	N	LV	V	V	DV
30°	N	N	LV	V	V
45°	N	N	N	LV	LV

N - vada není vidět, LV - vada je lehce vidět, V - vada je vidět, DV - vada je dobře vidět

Intenzita dopadajícího světla ve výše uvedených tabulkách byla zvolena rozdělením rozsahu zdroje na pět úrovní a v každé úrovni byla světelná intenzita změřena. Uváděná intenzita je pouze orientační, protože luxmetrem nebylo měřeno osvětlení v přesné vzdálenosti 18 cm od osvětlovače, ale jen v přibližně stejné vzdálenosti (vliv na nepřesnou vzdálenost měly rozměry luxmetru). Dále mohlo intenzitu ovlivnit okolní světlo dopadající na senzor luxmetru. Úhlem natočení 0° je myšlena rovnoběžná pozice osvětlovače s osvětlovanou plochou. Na přiloženém CD se nachází vzorové snímky odpovídající úhlu natočení a intenzitě osvětlení pro vady smet' a škrták.

Zastínění difuzoru pro osvětlení vady smet' bylo nejdříve vytvořeno přelepením difuzoru černou izolační páskou. Tímto způsobem vytvořená světelná čára nebyla dostatečně tenká, aby bylo možné zachytit různé velikosti vady smet'. Tento problém byl dán tím, že vrstva izolační pásky byla příliš slabá, a světlo procházející vytvořenou štěrbinou bylo rozptylováno. Zastínění však potvrdilo předpoklad, že tímto způsobem lze vadu smet' velmi dobře detekovat. Proto byl tedy vyroben dřevěný mechanismus, který umožňoval nastavení šířky světelné čáry. Zde byl problém v tom, že štěrbinu vytvořená dvěma dřevěnými deskami nebyla stejně široká po celé své délce (z důvodu nemožnosti přesného opracování dřevěných dílů), a to se odráželo na tvaru světelné čáry. Konečné zastínění difuzoru bylo vytvořeno pomocí dvou hliníkových profilů ve tvaru L, které byly k sobě sešroubovány. Šířku světelné čáry lze nastavit počtem vložených podložek mezi profily.

5.2 Detekční metody

Všechny navrhované metody z kapitoly 4 jsou schopné detekovat danou vadu na gramofonové desce. Pouze některé však mohou být aplikovány v procesu automatické kontroly gramofonových desek. Vhodnost nebo naopak nevhodnost jednotlivých metod pro automatickou kontrolu je ukázána dále v této kapitole. Pro obě detekované vady byla snímána přibližně jedna čtvrtina gramofonové desky. V nasnímaném obraze se nacházela oblast pro detekování vady a oblast, ve které mělo docházet k detekci počtu otočení desky (snímání matričního čísla desky). Tímto způsobem by bylo možné po každé inspekci vytvořit obraz, ve kterém by byla vyznačena oblast, kde daná vada nachází.

5.2.1 Hodnocení použitých metod

Škrťák – hranový detektor ve frekvenční oblasti

Tato metoda je schopna zachytit vadu škrťák. Kromě škrťáku detekuje metoda i prachové částice přítomné na desce. Problém s prachovými částicemi neměla jen tato metoda, ale všechny metody detekující vadu škrťák. I po zbavení desky prachových částic pomocí speciálního karbonového kartáče se během několika okamžiků začal prach na desce znovu usazovat. Proto by bylo vhodné provádět tuto detekci v bezprašném prostředí. Je-li prachová částice větší a vytvoří-li v detekované oblasti objekt, který má jiný směr než škrťáky, je možné takovouto částici odfiltrovat. Je-li ale prachová částice malá, není často rozpoznatelná.

Metoda byla testována tak, že se umístila detekovaná deska na gramofon, a ten byl puštěný na pomalou rychlost ($33 \frac{1}{3}$ ot/s). S navrhovanou kamerou nebylo možné nasnímat dostatečný počet snímků za jednu otáčku desky a tím tedy nebylo možné zachytit všechny vady vyskytující se na desce. Protože byly za sekundu nasnímány 4 snímky, nebylo možné snímat celý výřez čtvrtiny desky. Následně byl proveden výřez snímané oblasti, ve které se vyhodnocovala přítomnost vady. S takto upravenou snímanou oblastí se podařilo zvýšit počet snímků za sekundu na 25. Z výřezu již ale není možné určit, v jaké části desky se vada nachází.

Velkým problémem, nejenom pro tuto metodu, je rozdílná hustota zvukového záznamu. Hustota záznamu ovlivňuje množství odraženého světla od desky. Pro každou desku se tedy musí nastavit specifické parametry v binární matematické morfologii.

Dalším nedostatkem této metody je rychlost průběhu inspekce pro jeden snímek (viz kapitola 5.2.2), která byla nejvíce závislá na části inspekce transformující obrázek do frekvenční oblasti a zpět, vytvořeném v LabVIEW. Z důvodu velké časové náročnosti je tato metoda pro automatickou kontrolu gramofonových desek nepoužitelná.

Škrták – hranový detektor v prostorové oblasti

Detekce pomocí hranového detektoru v prostorové oblasti je svými vlastnostmi a nedostatky velmi podobná metodě ve frekvenční oblasti. Metoda zachytává vadu, ale také prachové částice na desce. Stejně jako v předchozím případě musí být snímán jen výřez obrazu, ve kterém se vada detekuje, aby bylo dosaženo frekvence snímání 25 snímků za sekundu. Nelze tedy určit, v jaké oblasti na desce se vada nachází. Pro zachycení všech vad je rychlost snímání desky 25 snímky za sekundu nedostačující. Jednotlivé parametry metody je nutno nastavovat pro každou desku zvlášť kvůli rozdílné hustotě zvukového záznamu. Výhoda metody v prostorové oblasti je taková, že inspekce jednoho snímku je přibližně o třetinu rychlejší (viz kapitola 5.2.2), a tím je tedy pro nasazení při automatické kontrole výhodnější.

Škrták – matematická binární morfologie

Metoda využívající pro vyhodnocení obrazu pouze matematickou binární morfologii se potýká se stejnými problémy, jako předchozí dvě metody, nutnost snímat jen malý výřez obrazu (rychlost snímání 25 snímků za sekundu) a nutnost nastavení parametrů metody pro desky obsahující odlišné zvukové stopy. Oproti předchozím metodám je tato metoda nejrychlejší (viz kapitola 5.2.2). Metoda ale nedosahuje takových výsledků detekce vad jako metody využívající filtrování (prostorové nebo frekvenční) pro zvýraznění škrtáků. Ačkoli je tato metoda nejrychlejší, je nejméně vhodná pro automatickou kontrolu z hlediska detekce počtu vad.

Smet' – hranový detektor ve frekvenční oblasti

Stejně jako vada škrtek musí být vada smet' také snímána pouze ve výřezu oblasti, ve které se nachází světelná čára. Opět je tedy problém s určením, kde přesně se vada na desce nachází. Dosažená rychlost 16 snímků za sekundu je pro tuto vadu dostačující, pokud se smet' nenachází až na okraji desky. Pokud by se vada nacházela na okraji desky, může se stát, že vada ve světelné čáře zachycena nebude.

Vadu lze pomocí hranového detektoru dobře zachytit, ale problém nastává na krajích světelné čáry. Hranový detektor zachycuje konce čar, které se projevují podobně jako smet'. Pokud se tyto objekty filtrují částicovým filtrem, je ve většině případů odfiltrována i nalezená vada, to znamená, že objekty vznikající na okrajích světelné čáry mají stejné vlastnosti jako detekovaná vada.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.2.2 může být smet' malá nebo velká. To se projevuje i v nastavení parametrů v matematické binární morfologii. Jsou-li parametry nastaveny pro detekci velké smeti, malá vada není zachycena (a opačně). Z tohoto důvodu byly vytvořeny dvě stejné inspekce s různými parametry v matematické binární morfologii.

Pro transformaci do frekvenční oblasti je v inspekci použita část vytvořená v programu LabVIEW a tato část značně zpomaluje celou inspekci (viz kapitola 5.2.2). Z tohoto důvodu je metoda pro daný návrh zařízení nepoužitelná.

Smet' – hranový detektor v prostorové oblasti

Stejně jako u předchozích vad je snímán pouze výřez z celkového obrazu. Vada je metodou velice dobře detekovatelná, ale pokud by se nacházela na okraji desky, mohlo by se stát, že při rychlosti snímání 16 snímků za sekundu by vada detekována nebyla. Opět rozdílné velikosti smeti vyžadují různé nastavení parametrů v matematické binární morfologii, která odstraňuje přebytečné objekty v obraze po filtraci pomocí Sobelovým hranovým detektorem. Z důvodu detekce vady hranovým detektorem má tato metoda také problém s detekováním konců světelné čáry, které interpretuje jako vady. I přesto je tato metoda pro detekci smeti velmi vhodná. Inspekce jednoho snímku je přibližně o polovinu rychlejší než u metody pracující ve frekvenční oblasti (viz kapitola 5.2.2). Ačkoli se musí vytvořit různé nastavení parametrů pro odlišné velikosti vad, je pro využití v automatické kontrole desek tato metoda ze všech vyzkoušených

nejlepší volbou.

Smet' – měření plochy objektu

Detekování vady pomocí plochy světelné čáry je funkční pouze u smeti větší velikosti. Jak se mění hustota drážek, tak se mění i plocha světelné čáry. Objeví-li se na přechodu světlo–tma, může se stát, že malá smet' nebude vůbec zachycena. Je to dáno tím, že světelná čára mění svoji plochu i v místech, kde se vada nenachází, a malá vada nemusí zvětšit plochu čáry natolik, aby hodnota plochy překročila maximální hodnotu plochy pro čáru bez vady. Zároveň pro různé desky (různé hustoty zvukového záznamu) bude plocha čáry jiná a musely by se vždy přenastavovat parametry detekce. Ačkoliv je metoda velice jednoduchá a časově nenáročná, je z výše uvedených důvodů pro automatickou inspekci nevhodná.

Smet' – měření šířky objektu

Tato metoda velmi spolehlivě detekuje vadu smet', která se objeví ve světelné čáře. Nástroj max caliper použitý v této metodě nachází maximální vzdálenost mezi dvěma hranami objektu. V případě měření vady smet' je měřena maximální šířka světelné čáry. Je-li světelná čára rovná, je vada spolehlivě detekována. Stačí ale lehké prohnutí gramofonové desky, které není na první pohled patrné, a světelná čára se začne vlnit. Zvlnění čáry má za následek, že nástroj max caliper detekuje nejnižší bod spodní hrany a nejvyšší bod horní hrany čáry (viz obr. 21) a tím dojde k detekci vady, která se v daném místě nenachází. Tento problém by se dal vyřešit tak, že by se místo měření světelné čáry v celé délce, měřila šířka čáry lokálně v oblastech, ve kterých má světelná čára stejný směr. To ale dělá tuto jednoduchou metodu složitější a časově náročnější a tedy pro potřeby automatické detekce nevhodnou.



Obr. 21 - Šířka čáry - prohnutí

Křivost desky

Tato metoda využívá nedostatek předchozí metody měření šířky objektu. Zahnutá světelná čára vypovídá o křivosti desky. Metoda by se mohla použít spolu s detekcí vady smet'. Čára by však neměla být snímána jen ve výřezu, protože pro metodu měření křivosti desky je zapotřebí detekovat kraje světelné čáry. Tyto kraje ale vadí při detekci vady smet', takže by se v jedné inspekci musely vytvořit dva na sobě nezávislé výřezy a v každém by byla detekována jedna vada. To ale výrazně prodlouží čas vyhodnocení jednoho snímku (viz kapitola 5.2.2).

5.2.2 Rychlost inspekci

V tabulce 8 jsou doby trvání jednotlivých metod pro zpracování jednoho snímku. U vady škrťák a smet' jsou nejpomalejší metody pracující s frekvenční oblastí obrazu. Ostatní metody pro vadu škrťák jsou přibližně o třetinu rychlejší a u vady smet' jsou přibližně o polovinu rychlejší. Metoda detekce křivosti desky je druhá nejpomalejší. Nejvíce tuto metodu zpomaluje vyhledávání krajů světelné čáry nástrojem match pattern, které trvá přibližně polovinu celkové doby.

Tab. 8 - Tabulka doby trvání jednotlivých inspekci při ideální rychlosti otáčení

Vada	metoda	průměrná doba inspekce [ms]	max. Doba inspekce [ms]	rychlost otáčení [ot/min]
Škrťák	Hranový detektor ve frekvenční oblasti	240	300	0,96
	Hranový detektor v prostorové oblasti	72	90	3,18
	Matematická binární morfologie	58	76	3,77
Smet'	Hranový detektor ve frekvenční oblasti	220	237	1,21
	Hranový detektor v prostorové oblasti	79	98	2,92
	Měření plochy objektu	84	91	3,15
	Měření šířky objektu	83	97	2,95
Křivost desky	Měření polohy krajních bodů	248	313	0,92

Možnost detekce vad (škrťák a smet') je omezena technickými parametry použité kamery. Pro vadu škrťák byla dosažena frekvence snímání 25 snímků za sekundu a pro vadu smet' byla dosažena frekvence snímání 16 snímků za sekundu. Na základě jednoduchého výpočtu byla stanovena maximální rychlost otáčení desky pro detekci jednotlivých vad, která vychází ze normované rychlosti otáček gramofonu pro LP desku v našem případě 33 1/3 ot/min. Za prvé byla stanovena doba jedné otáčky desky, která

činí 1,8 s. Z této rychlosti byl pro každou vadu určen počet snímků na jednu otáčku desky. Na to, aby byly vady vůbec zaznamenány je potřeba větší počet snímků na jednu otáčku desky, z čehož vyplývá, že použití normované rychlosti je nevyhovující (velmi vysoké otáčky). Při normované rychlosti je pro detekci vady škrťák je na obvodu desky zaznamenán jeden snímek každých 2,1 cm. Pro vadu smet' je na obvodu desky zaznamenán jeden snímek každých 3,36 cm. Tyto rozdíly vychází z různých frekvencí snímání jednotlivých vad. Pro optimalizaci snímání byl navržen interval snímků na obvodu desky na 0,25 cm, při kterém vychází na pokrytí detekce celé desky celkový počet snímků na 377. Tento počet snímků je výchozí pro stanovení otáček desky pro detekci jednotlivých vad. Pro stanovené parametry snímací kamery vychází pro vadu škrťák optimální rychlost 7,16 ot/min a pro vadu smet' 4,58 ot/min (viz tab. 9).

Tab. 9 - Tabulka výsledků pro optimální rychlost otáčení desky

vada	frekvence snímání	snímky/otáčka	požadovaný počet snímků/otáčka	optimální rychlost otáčení desky
škrťák	25	28	377	7,16
smet'	16	45	377	4,58

Návrh optimální rychlosti vychází z daných technických parametrů kamery pro jednotlivé vady. Vzhledem k daným dobám trvání jednotlivých inspekcí je zřejmé, že detekce vad není možná v reálném čase. Pro detekci vad v reálném čase jsou nutné jiné rychlosti otáčení desky, z důvodu rozdílných dob trvání jednotlivých inspekcí (viz tab. 8).

5.3 Další vývoj

Problematiku zpracování datových výstupů z kamery je možno řešit následovně. Při zachování současného návrhu snímacího zařízení, je nezbytné použít pro uložení nasnímaných dat mezipaměť, z důvodu dlouhých časových intervalů jednotlivých inspekcí.

Vzhledem k omezeným časům jednotlivých inspekcí a zachování normovaných otáček gramofonu je bezpodmínečně nutné použít vysokorychlostní kameru. Rovněž je nutné použít mezipaměť, pro umožnění offline zpracování získaných dat. Při použití vysokorychlostní kamery je možné snímat obraz odpovídající přibližně jedné čtvrtině gramofonové desky, což umožní detekovat matriční číslo desky a tím stanovit jednu otáčku desky. Následně lze graficky znázornit polohu (smeť) nebo oblast (škrťák) nacházející se vady. Pro detekci matričního čísla na gramofonové desce je nutné použít samostatného zdroje osvětlení.

V dalším případě by bylo možné vady detekovat pomocí liniové kamery, která snímá pouze úzkou oblast obrazu (rozlišení jednotky x tisíce pixelů). Při použití těchto kamer nelze použít navrhované metody detekce jednotlivých vad a musely by být tyto detekční metody přizpůsobeny technickým parametrům kamery.

Velké množství vad není možné detekovat navrhovanou kamerou z důvodu jejich velikosti (poškozená dna drážek, škráblá matrice, nedolisy, stržené návalky, úzká drážka nebo prořez). Tyto vady by bylo možné detekovat pomocí mikroskopické kamery, která by snímala maximálně několik zvukových drážek najednou. Ve výrobě by tato metoda nemohla být použita ke kontrole vylišovaných desek, ale například ke kontrole matic, ze kterých se desky lisují. Takováto detekce by byla velmi časově náročná, ale z důvodu použití detekce vad přímo na matici by nebyly na rychlost inspekce kladeny žádné časové nároky. Mikroskopická kamera by musela být připevněna na pohyblivé konstrukci, aby byla možnost snímat celou matici.

Další možností detekce vad, je použití jiného typu osvětlovače. Kamerou by se snímala celá deska na jednou a kolem objektivu kamery by byl umístěn kruhový osvětlovač. Pro rovnoměrné osvětlení lze použít difuzor nebo Fresnelovu čočku. Jinou variantou by bylo použití kopulového difuzního osvětlovače, který zajistí homogenní osvětlení snímané plochy. Použitelnost této varianty dosud však nebyla prakticky ověřena.

Závěr

Diplomová práce se zabývá vizuální inspekcí gramofonových desek, která vychází z požadavku společnosti GZ Media Loděnice na zavedení automatické kontroly desek při jejich výrobě. Základním předpokladem diplomové práce je znalost vad gramofonových desek vznikajících při výrobě, z něhož vychází řešení stanovených cílů práce.

Hlavním požadavkem společnosti GZ Media Loděnice bylo detekování co největšího počtu známých vad. Ze čtyř druhů vad (informační, mechanické, optické a akustické) lze vizuální inspekcí detekovat pouze akustické vady projevující se opticky. Vzhledem k těmto skutečnostem byly vybrány pouze vady škrťák, smet' a křivost desky, které lze bez větších problémů spolehlivě detekovat navrženými metodami. Požadovaná detekce vady nedolisy nebyla možná navrženým hardwarem detekovat, z důvodu možnosti detekce této vady pouze pomocí mikroskopu.

Prvotní myšlenkou pro návrh geometrie osvětlení bylo zkonstruování multifunkčního systému osvětlení, který spočíval v možnosti nastavení úhlu a intenzity osvětlení desky. Z provedených pokusných měření vyplynulo, že pro navrhované metody detekce jednotlivých vad stačí pouze osvětlovač umístěný rovnoběžně s deskou, který byl následně využit k detekci všech zjišťovaných vad. Návrh komplexnějšího osvětlovacího zařízení by byl součástí samostatné práce, protože hlavním cílem, který vyplynul až z praktického měření detekce jednotlivých vad, je ověření možnosti detekce akustických vad optickou metodou.

S navrhovanou kamerou a optikou, použitou pro praktické ověření teoretických předpokladů detekce jednotlivých vad, nelze daný systém aplikovat pro automatickou detekci vad přímo ve výrobě. Důvodem jsou nevhodné technické parametry použité kamery. Pro automatickou detekci vad by bylo vhodné použít monochromatickou kamerou s vyšší frekvencí snímání a zvýšeným datovým tokem pro přenos dat (například USB 3.0). Navržený a odzkoušený kamerový systém pro automatickou detekci vad funguje jenom za určitých specifických podmínek (pomalé otáčení desky, dlouhotrvající časy jednotlivých inspekcí a frekvence snímání kamery) není vhodný pro automatickou detekci vad ve výrobním procesu.

Na základě prostudovaných metod pro detekci vad gramofonových desek, lze konstatovat, že nejvhodnějšími a tedy využitelnými metodami pro detekci vad škrťák, smet' a křivost desky jsou metody detekce hranovým detektorem (v prostorové i frekvenční oblasti), úpravou obrazu pomocí matematické binární morfologie a měření objektů v obrazu. Tyto metody byly prakticky otestovány na vzorových gramofonových deskách. Následně bylo rozhodnuto o vhodnosti jednotlivých metod pro detekci jednotlivých vad. Při rozhodování o vhodnosti výběru detekční metody byla brána v úvahu úspěšnost detekce vady a zároveň celková doba trvání inspekce.

Některé vytyčené cíle této práce se nepodařilo beze zbytku naplnit, protože při řešení problematiky se stále objevují nové podněty, kterými je třeba se hlouběji zabývat. Vzhledem k rostoucí poptávce po klasických gramofonových deskách má výrobce snahu zkvalitnit výstupní kontrolu svých produktů. Jedním z nástrojů kontroly je i vizuální kontrola gramofonových desek. Tato práce nastínila možnosti budoucího řešení dané problematiky, kterou by se mělo zabývat široké spektrum odborníků.

Seznam použité literatury

- 1: Zdvihal, S, Manuál hudební kontroly pro kontrolu výroby a vzorků,
- 2: Strojové vidění, ATEsystem, 2016, dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz>, [cit. 17. 4. 2016].
- 3: Vlach, J.; Havlíček, J.; Vlach, M.: Začínáme s LabVIEW, BEN - technická literatura, 2008, ISBN 978-80-7300-245-9.
- 4: NI Vision, National Instrument Corporation, 2016, dostupné z: <http://www.ni.com> [cit. 21. 4. 2016].
- 5: NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial, National Instruments Corporation, 2011, dostupné z: <http://www.ni.com>, [cit. 17. 4. 2016].
- 6: Popis jednotlivých ikon programu NI Vision Builder, Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola, 2016, dostupné z: <http://www.docplayer.cz>, [cit. 17. 4. 2016].
- 7: Začínáme s LabVIEW, National Instruments Corporation, 2006, dostupné z: <http://www.ni.com>, [cit. 21. 4. 2016].
- 8: IMAQ Vision for LabVIEW User Manual, National Instruments Corporation, 2004, dostupné z: <http://www.ni.com>, [cit. 21. 4. 2016].
- 9: MATLAB, MathWorks, Inc., 2016, dostupné z: <http://www.mathworks.com>, [cit. 21. 4. 2016].
- 10: Image Processing Toolbox For Use with MATLAB, MathWorks, Inc., 1999, dostupné z: <http://www.mathworks.com>, [cit. 21. 4. 2016].
- 11: Basler Cameras, Basler, 2016, dostupné z: <http://www.baslerweb.com>, [cit. 23. 4. 2016].
- 12: Basler ace, Elcom, 2016, dostupné z: <http://www.prumyslove-kamery.cz>, [cit. 23. 4. 2016].
- 13: Objektivy, Elcom, 2016, dostupné z: <http://www.prumyslove-kamery.cz>, [cit. 25. 4. 2016].
- 14: Tamron M118FM06, Tamron europe GmbH, 2016, dostupné z: <http://www.tamron.eu>, [cit. 25. 4. 2016].
- 15: Havle, O., Strojové vidění IV: Osvětlovače, 2008
- 16: Osvětlovače, Elcom, 2016, dostupné z: <http://http://www.prumyslova-kamera.cz> [cit. 26. 4. 2016].
- 17: Osvětlovače pro strojové vidění, Workswell, 2016, dostupné z: <http://www.prumyslova-kamera.cz>, [cit. 26. 4. 2016].
- 18: LED panel, (stránky prodejce), 2016, dostupné z: <http://www.icstation.com/white-panel-board-piranha-energy-saving-light-p-2053.html>, [1. 5. 2016].
- 19: Hlaváč, V. Sedláček, M., Zpracování signálu a obrazu, ČVUT v Praze, 1999
- 20: NI Vision Concept Manual, 2008, dostupné z: <http://www.ni.com>, [cit. 10. 5. 2016]
- 21: Filtrace v prostorové oblasti, Technická univerzita v Liberci, 2016, dostupné z: <http://www.docplayer.cz>, [cit. 6. 5. 2016]

Přílohy

- I. Zdrojové kódy v Matlabu
- II. Zdrojové kódy v LabVIEW
- III. Fotodokumentace zařízení
- IV. Struktura přiloženého CD

Příloha I

Zdrojové kódy v Matlabu

Zdrojový kód programu FFT pro vadu smet' psaný v Matlabu

```
close all
[baseName, folder] = uigetfile({'*.bmp;*.jpg;*.tif;*.png;*.gif','All Image
Files';'*.','All Files' },'Open Image
File','D:\Škola\Ing\Diplomka\Foto\Frekvenční analýza\Smet\Vyrez pro
matlab\Hlinik - 2 podlozky'); %Výběr souboru k načtení
fullFileName = fullfile(folder, baseName);
img=imread(fullFileName);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
imagesc(img) %vykreslení obrázku
F = fft2(img(:,:,2)); %2D FFT

figure;
FS=fftshift(F); %Vycentrování nulové frekvence - optická reprezentace
imagesc(100*log(1+abs(FS))); colormap(gray); %Vykresleníamplitudového
title('magnitude spectrum'); %spektra

figure;
imagesc(angle(F)); colormap(gray); %Vykreslení fázového spektra
title('phase spectrum'); % Vymaskování spektra
[row,col]=size(F);
for R = 1:row
    ct= col/2;
    for C = 1:col
        if ((C>ct-15)&&(C<(ct+15)))
            FS(R,C)=0;
        end
    end
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure;
imagesc(100*log(1+abs(FS))); colormap(gray); %vykreslenivymaskovaného
title('masked magnitude spectrum'); %amplitudového spektra

imgf=ifft2(ifftshift(FS)); % inverzní 2D FFT ze spektra
figure % (nulové frekvence na rozích obrazu)
imgfuint=uint8(abs(imgf));

imshow(imgfuint);
figure
h=im2bw(imgfuint,0.20); %prahování obrazu
imshow(h)
se = strel('disk',3); %strukturní element disk s poloměrem 3
closeBW = imclose(h,se); %morfologické uzavření
figure, imshow(closeBW)

figure, BW2 = bwareaopen(closeBW, 20); %odfiltrování malých objektů
imshow(BW2), title('odfiltrování malých objektů')

se2 = strel('line',11,90); %vytvoření vertikálního strukturního
%elementu pro dilataci
BW3 = imdilate(BW2,se2); %dilatace -> spojení dvou čar
figure, imshow(BW3), title('Dilatace')

BW4 = imfill(BW3,'holes');%vyplnění děr
imshow(BW4), title('vyplnění děr')

se3 = strel('line',15,90); %vytvoření vertikálního strukturního
%elementu pro erozi
erodedBW = imerode(BW4,se3);%Eroze dilatovaného prvku
figure, imshow(erodedBW), title('Eroze')

BW5 = imclearborder(erodedBW);%odstranění objektů dotýkajících se
imshow(BW5) %hranic obrazu
title('odsraněné objekty dotýkající se hranic')
```

Zdrojový kód programu FFT pro vadu škrtek psaný v Matlabu

```
close all
%Výběr souboru k načtení
[baseName, folder] = uigetfile({'*.bmp;*.jpg;*.tif;*.png;*.gif','All Image
Files'; '*.*', 'All Files' }, 'Open Image
File', 'D:\Škola\Ing\Diplomka\Foto\Frekvenční analýza\Skrtaky\Vyrez pro
matlab\Vyrez rovne');
fullFileName = fullfile(folder, baseName);
img=imread(fullFileName);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
imagesc(img) %vykreslení obrázku
F = fft2(img(:,:,2)); %2D FFT

figure;
FS=fftshift(F); %Vycentrování nulové frekvence
imagesc(100*log(1+abs(FS))); colormap(gray); %Vykreslení amplitudového
%spektra
title('magnitude spectrum');

figure;
imagesc(angle(F)); colormap(gray); %Vykreslení fázového spektra
title('phase spectrum');

% Vymaskování spektra
[row,col]=size(F);

for R = 1:row
    ct=0;
    ct1=176;
    for C = 1:col
        if ((R>ct)&&(R<(ct+166))) || ((R>ct1)&&(R<(ct1+200)))
            FS(R,C)=0;
        end
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure
imagesc(100*log(1+abs(FS))); colormap(gray); %vykreslení vymaskovaného
%amplitudového spektra
title('masked magnitude spectrum');

imgf=ifft2(ifftshift(FS)); %inverzní 2D FFT ze spektra (nulové frekvence
%na rozích obrazu)

figure
imgfuint=uint8(abs(imgf));
imshow(imgfuint);

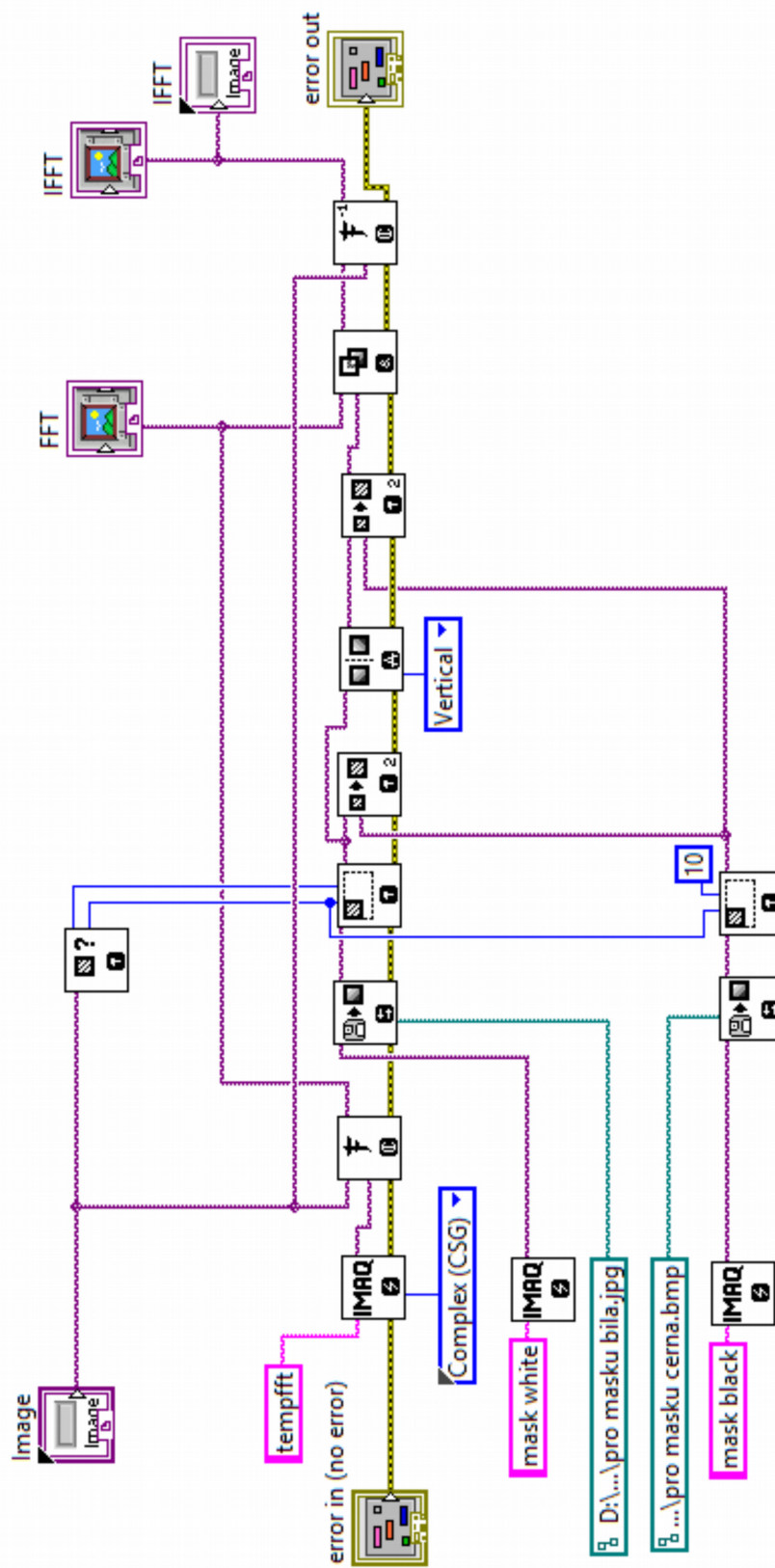
figure
h=im2bw(imgfuint,0.1); %prahování obrazu
imshow(h)
se = strel('line',2,90);
closeBW = imclose(h,se); %morfologické uzavření

figure, imshow(closeBW)
figure
LB = 1;
UB = 20;
Iout = xor(bwareaopen(h, LB), bwareaopen(h, UB)); %odfiltrování velkých objektů
imshow(Iout);
```

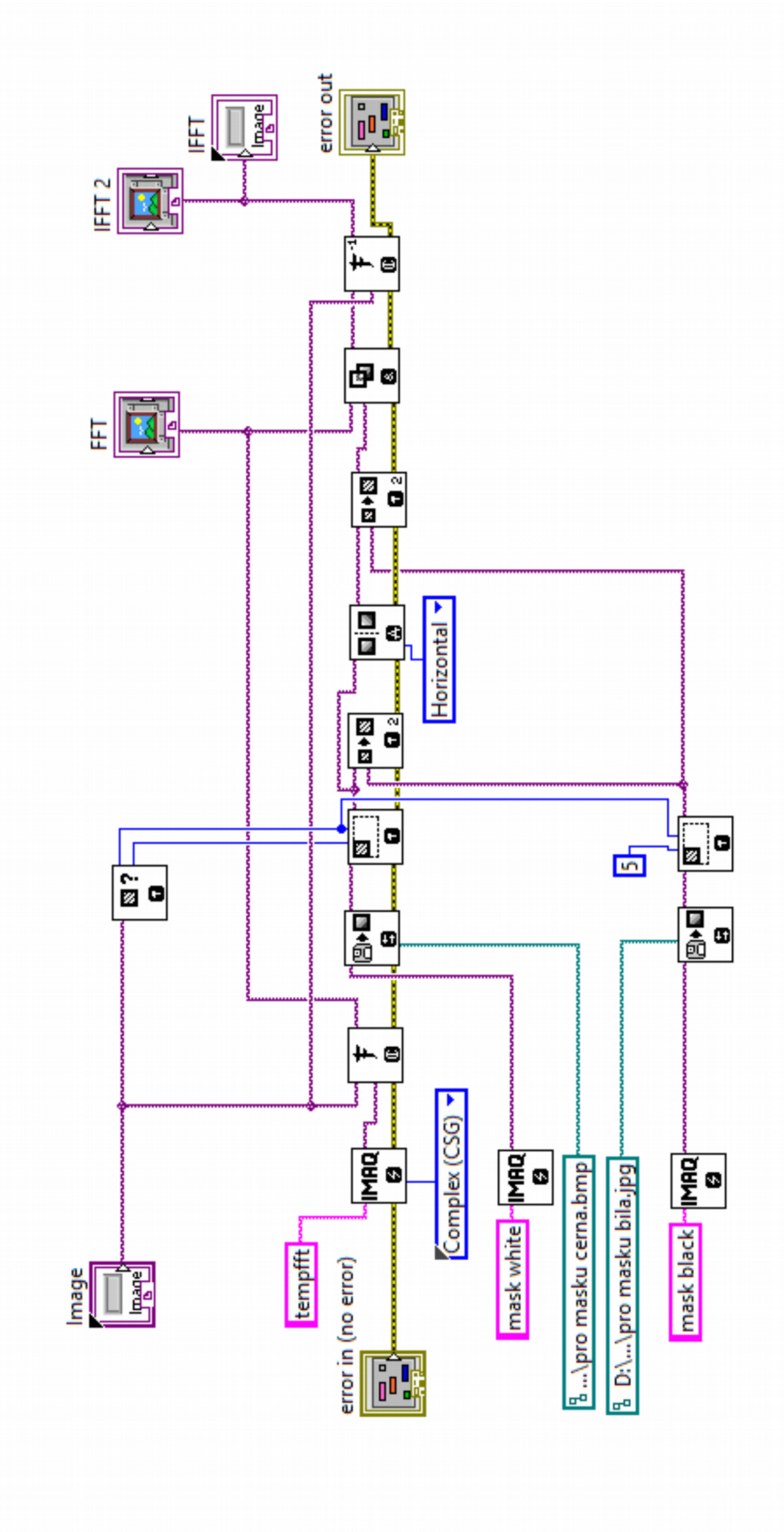
Příloha II

Zdrojové kódy v LabVIEW

Program FFT pro vadu smet' psany v LabVIEW



Program FFT pro vadu škrták psaný v LabVIEW



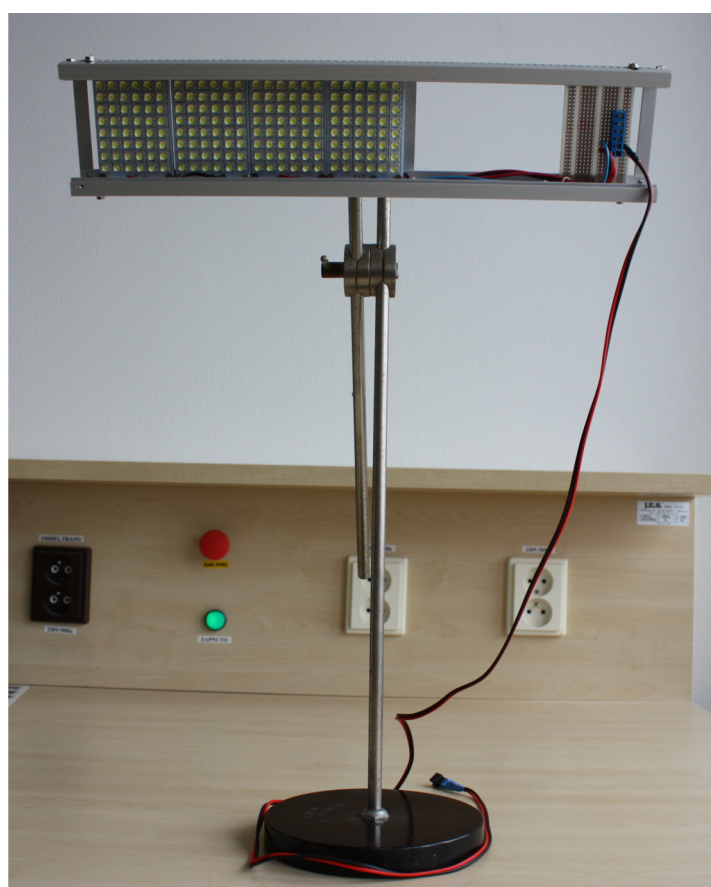
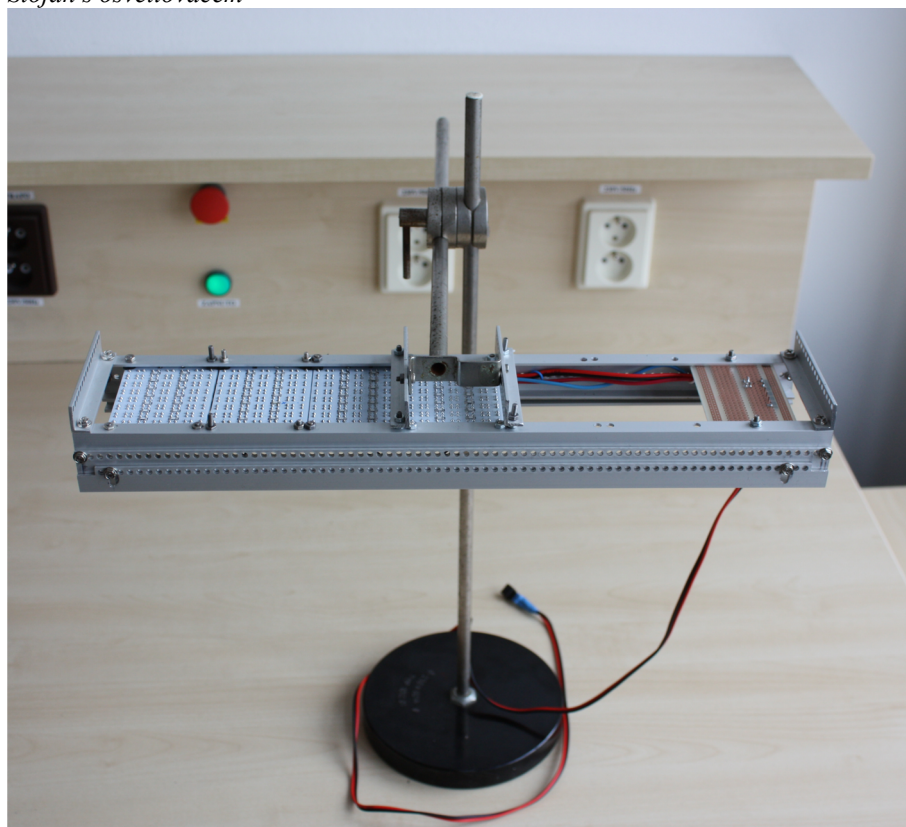
Příloha III

Fotodokumentace zařízení

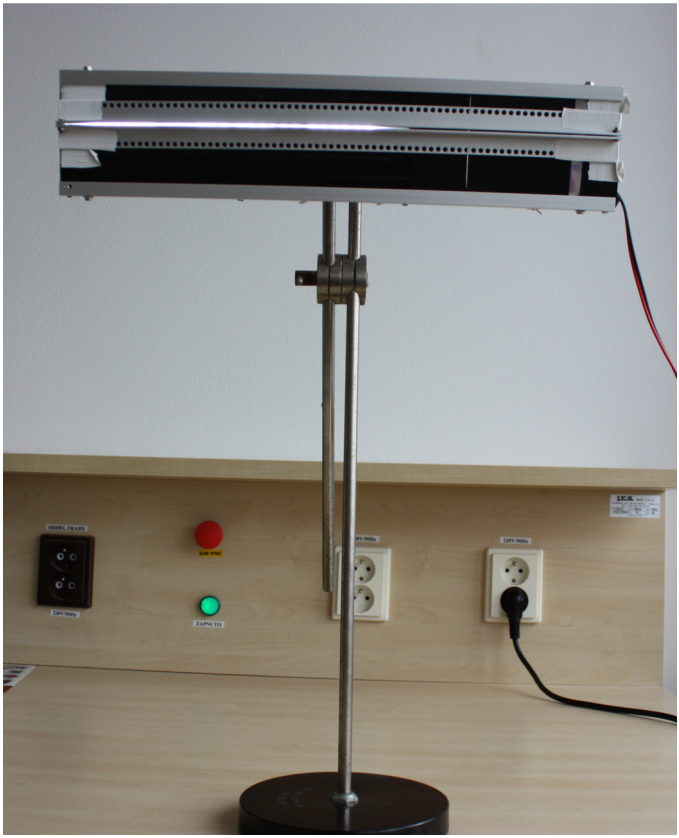
Stojan na kameru



Stojan s osvětlovačem



Difuzory



Rozmístění zařízení pro detekci vady škrťák



Rozmístění zařízení pro detekci vady smet'



Příloha IV

Struktura přiloženého CD

- Diplomová práce
- Fotodokumentace
 - Vzorové fotografie pro jednotlivé úhly osvětlení
 - Škrták
 - Smet'
 - Fotografie zařízení
 - Ukázky vad
 - Škrták
 - Smet'
- Software
 - Matlab
 - LabVIEW
 - Vision Builder for Automated Inspection