Využití digitální projekce obrazu v průmyslové výrobě

Jiří Mrázek

Bakalářská práce
2020

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav informatiky a umělé inteligence

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Jiří Mrázek**
Osobní číslo:	**A17565**
Studijní program:	**B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor:	**Softwarové inženýrství**
Forma studia:	**Prezenční**
Téma práce:	**Využití digitální projekce obrazu v průmyslové výrobě**
Téma práce anglicky:	**Digital Image Projection and Its Use in Manufacturing**

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte problematiku a možnosti využití digitální projekce obrazu v oblasti průmyslové výroby, zaměřené na vyřezávání a vysekávání dílů z kůží, textilu a jiných plošných materiálů.
2. Zpracujte ucelený přehled výrobních operací, kde lze projekci využít.
3. Navrhněte pro každou z možných aplikací digitální projekce ve výrobě doporučenou softwarovou a hardwarovou konfiguraci - specifikace projektoru, počítače, SW aplikací atd.
4. Analyzujte funkční a nefunkční požadavky na SW aplikaci pro ovládání a nastavení parametrů projektoru z počítače, monitorování stavu projektoru a kalibraci projekce promítaného obrazu v software využívající projekci.
5. Ve vámi vybraném jazyce SW aplikaci implementujte.

Rozsah bakalářské práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. SWART, Bob. Borland C++Builder 6 developer's guide. Indianapolis, Ind.: Sams, c2003. ISBN 0672324806.
2. AXELSON, Jan. Serial port complete: programming and circuits for RS-232 and RS-485 links and networks. Madison, WI: Lakeview Research, c1998. ISBN 0965081923.
3. PAVLIDIS, Theodosios. Algorithms for graphics and image processing. Rockville, MD: Computer Science Press, c1982. ISBN 091489465x.
4. VACEK, Václav. Sériová komunikace ve WIN 32. Praha: BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-086-5
5. J. R. PARKER. Algorithms for Image Processing and Computer Vision. John Wiley, 2010. ISBN 0470643854.
6. MATOUŠEK, David. C++ Builder – vývojové prostředí: určeno pro verze 4.0 a 5.0. 2. rozš. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2000. ISBN 80-86056-70-8.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Dulík, Ph.D.**
Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání bakalářské práce: **28. listopadu 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2020**

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 9. prosince 2019

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 20.7.2020 Jiří Mrázek, v. r.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi využití digitální projekce v průmyslové výrobě. Teoretická část obsahuje ucelený popis projekčních zařízení včetně parametrů ovlivňujících projekci a principů dataprojekce. Následně je uveden popis konkrétních výrobních aplikací, kde je možné dataprojekci využít a také jsou navrhnuty vhodné konfigurace software a hardware pro vybrané výrobní aplikace. V praktické části je popsán návrh, implementace a testování aplikace umožňující ovládání, monitoring a konfiguraci dataprojektorů. Druhým bodem praktické části je popis a návod kalibrační procedury sloužící ke kalibraci projekce.

Klíčová slova: Dataprojekce, Kalibrace, Monitorování, Konfigurace

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with possibilities of digital projection usage in industrial production. The theoretical part contains a comprehensive description of projection devices including description of parameters affecting projection and principles of dataprojection. Description of specific production applications with possibilities of dataprojection usage and design configuration of hardware and software for some of these production applications are presented in the next part of the theoretical part. The practical part describes the design, implementation and testing of application for managing, monitoring and configuration of dataprojectors. The second goal of the practical part is to describe calibration procedure, which is the whole process of projection calibration.

Keywords: Dataprojection, Calibration, Monitoring, Configuration

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Tomáši Dulíkovi, Ph.D. za odborné rady, vedení a pomoc při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě MiriSys Software s.r.o. za cenné podklady, konzultace při vývoji a poskytnutí testovacích prostředků při tvorbě této aplikace.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD **9**

I TEORETICKÁ ČÁST **11**

1 DATAPROJEKTORY **12**

1.1 ROZDĚLENÍ TYPŮ PROJEKTORŮ 12

1.1.1 Ultralehké datové projektory 12

1.1.2 Osobní datové projektory 12

1.1.3 Mobilní datové projektory 12

1.1.4 Konferenční datové projektory 12

1.2 TECHNICKÉ PARAMETRY DATAPROJEKTORU 13

1.2.1 Rozlišení 13

1.2.2 Světelný výkon 13

1.2.3 Kontrast 13

1.2.4 Projekční vzdálenost 14

1.2.5 Životnost projekční lampy 14

1.3 TECHNOLOGIE PROJEKTORŮ 14

1.3.1 LCD 14

1.3.2 DLP 15

1.3.3 CRT 15

2 POPIS KONKRÉTNÍCH VÝROBNÍCH APLIKACÍ, KDE LZE PROJEKTORY VYUŽÍT **17**

2.1 INTERAKTIVNÍ POLOHOVÁNÍ 17

2.2 INTERAKTIVNÍ POLOHOVÁNÍ DO KŮŽÍ 17

2.3 INTERAKTIVNÍ POLOHOVÁNÍ DO LÁTKY S KÁREM 19

2.4 SYSTÉM PRO ODEBÍRÁNÍ A TŘÍDĚNÍ VYŘEZANÝCH DÍLŮ 20

2.5 VYUŽITÍ PROJEKCE PŘI VYSEKÁVÁNÍ DÍLŮ POMOCÍ VÁLCOVÝCH LISŮ 21

2.6 VYUŽITÍ PROJEKCE PRO KONTROLU DÍLŮ 22

2.6.1 Kontrola tvaru vyřezaných dílů 22

2.6.2 Sestavování dílů pro šití 22

3 SPECIFIKA POUŽITÍ PROJEKCE VE VÝROBĚ A JEJICH ŘEŠENÍ **24**

3.1 PROJEKTOR JAKO SAMOSTATNÁ ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA 24

3.2 PROMÍTANÉ DÍLY V MĚŘÍTKU 1:1 24

3.3 DOSTATEČNÁ PŘESNOST PROMÍTÁNÍ 24

3.4 PROMÍTÁNÍ NA POVRCH MATERIÁLU 24

3.5 VERTIKÁLNÍ UMÍSTĚNÍ PROJEKTORU 25

3.6 POKRYTÍ CELÉ PRACOVNÍ PLOCHY 25

3.7 MAXIMÁLNÍ ŽIVOTNOST LAMPY 25

3.8 OVLÁDÁNÍ DATAPROJEKTORŮ 26

4 NÁVRH VHODNÉ KONFIGURACE HW A SW PRO VYBRANÉ APLIKACE VE VÝROBĚ **27**

4.1 KONFIGURACE PRACOVIŠTĚ PRO VYŘEZÁVÁNÍ DÍLCŮ Z KŮŽÍ S VYUŽITÍM INTERAKTIVNÍHO POLOHOVÁNÍ 27

4.1.1 CNC Cutter 27

4.1.2 Projektory 27
4.1.3 Umístění projektorů a rozvržení pracoviště 27
4.1.4 Počítač a příslušenství 29
4.1.5 Konfigurace SW 29
4.2 KONFIGURACE PRACOVIŠTĚ PRO ODEBÍRÁNÍ A TŘÍDĚNÍ VYŘEZANÝCH DÍLŮ 29
4.2.1 Projektory 29
4.2.2 Umístění projektorů a rozvržení pracoviště 30
4.2.3 Počítač a příslušenství 31
4.2.4 Konfigurace SW 31
4.3 KONFIGURACE PRACOVIŠTĚ PRO POLOHOVÁNÍ VYSEKÁVACÍCH NOŽŮ 31
4.3.1 Projektory 31
4.3.2 Umístění projektorů a rozvržení pracoviště 32
4.3.3 Počítač a příslušenství 33
4.3.4 Konfigurace SW 33
II PRAKTICKÁ ČÁST 34
5 PROJECTOR MANAGER 35
5.1 PROČ BYL PROGRAM VYVINUT 35
5.1.1 Konfigurace zařízení 36
5.1.2 Monitorování zařízení 37
5.2 KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ 37
5.2.1 Obecný přehled 37
5.2.1.1 Princip přenosu dat 37
5.2.1.2 Přenosová rychlost 38
5.2.1.3 Parita 38
5.2.1.4 Napěťové úrovně 38
5.2.2 Konkrétní specifikace 38
5.2.2.1 Hardware sériového portu 38
5.2.2.2 Softwarová komunikace 39
5.3 IMPLEMENTACE 40
5.3.1 Použité prostředky 40
5.3.2 Struktura programu 41
5.3.3 Prostředky pro komunikaci s RS-232 41
5.3.3.1 Připojení DLL 41
5.3.3.2 Struktura DLL 42
5.3.4 Popis modulů 43
5.3.4.1 CommandController 43
5.3.4.2 Projector 44
5.3.4.3 Moduly nastavení 46
5.3.4.4 ProjectorManager 47
5.3.4.5 Konfigurace 49
5.3.5 Uživatelské rozhraní 49
5.3.5.1 Hlavní panel 50
5.3.5.2 Základní nastavení 51
5.3.5.3 Pokročilé nastavení 52
5.3.5.4 Informační panel 53
6 KALIBRACE PROJEKCE 54

6.1 UMÍSTĚNÍ PROJEKTORŮ 55
6.2 NASTAVENÍ MONITORŮ VE WINDOWS 55
6.3 NASTAVENÍ ROZMĚRŮ PRACOVNÍ PLOCHY A PARAMETRŮ MŘÍŽKY V MODULU PLUG-IN PROJECTION 56
6.4 VYKRESLENÍ KALIBRAČNÍ MŘÍŽKY NA PLOTTERU 57
6.5 NASTAVENÍ POZICE A ROZMĚRŮ OKNA PROJEKCE V PIXELECH 58
6.6 KALIBRACE ZOBRAZENÍ PROJEKCE S VYUŽITÍM KALIBRAČNÍ MŘÍŽKY 59
6.7 DODATEČNÁ KALIBRACE PODLE TLOUŠŤKY MATERIÁLU 61
ZÁVĚR 65
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 67
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 68
SEZNAM OBRÁZKŮ 69
SEZNAM TABULEK 71
SEZNAM PŘÍLOH 72

ÚVOD

Datové projektory slouží pro promítání obrazu a videa a jejich nejčastější využití je určeno pro promítání filmů, fotografií, prezentace, reklamu, výuku, školení atd.

Obr. 1 - Projektor BenQ [11]

S rozvojem výpočetní techniky, vývojem nových technologií a automatizace se objevují i různé oblasti v průmyslové výrobě, kde se dá projekční technika vhodně využít. Cílem využití projekční techniky v kombinaci s různými výrobními zařízeními je pak snížení výrobních nákladů, flexibilita ve výrobě, automatizace některých výrobních procesů, zvýšení přesnosti výroby, zvýšení konkurenceschopnosti a v neposlední řadě úspora pracovních sil, či možnost využití méně kvalifikovaných pracovníků.

Jednou z oblastí, kde se dá projekční technika vhodně využít, je průmyslová výroba, kde se zpracovávají plošné materiály, jako jsou přírodní kůže (usně), textilní materiály či různé jiné syntetické plošné materiály. Jedná se především o tato průmyslová odvětví: čalounická a nábytkářská výroba, automobilový a letecký průmysl, obuvnický, textilní a galanterní průmysl, výroba padáků, balónů atd. A právě na tyto oblasti výroby je zaměřena i tato práce.

Tak jak se rozvíjí výpočetní technika, dochází i k vývoji v oblasti projekční techniky a v současné době je již k dispozici řada modelů s vlastnostmi a parametry vhodnými pro požadovanou výrobní aplikaci.

Dřívější modely projektorů neposkytovaly požadované možnosti a měly řadu omezení. Jednalo se především o nízké rozlišení obrazu, malou svítivost, velkou vzdálenost potřebnou pro osvícení požadované pracovní plochy, nízkou životnost lamp, způsob chlazení neumožňující vertikální umístění projektoru, a v neposlední řadě vysokou pořizovací cenu.

Dnes je již k dispozici řada modelů projektorů, které tyto nedostatky více či méně eliminují.

Softwarová řešení pro využití projekce ve výrobních procesech ve výše zmíněných průmyslových odvětvích nejsou úplně jednoduchá a nabízí je jen několik firem po celém světě. Jednou z nich je firma MiriSys Software s.r.o, sídlící ve Zlíně v České republice.

Tato práce je částečně zaměřena právě na softwarová i technická řešení firmy MiriSys Software s.r.o a je doplněna vlastním vývojem souvisejících doplňkových programů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DATAPROJEKTORY

Dataprojektory jsou zařízení, která umožňují pomocí silného zdroje světla zobrazit prosvětlením poloprůhledné obrazové předlohy a čočky obraz. Na rozdíl od jeho předchůdců je obrazová předloha digitálního původu. Využívají se zejména z toho důvodu, že zobrazení obrazu na monitoru nedosahuje potřebných rozměrů a dataprojektory umožňují zobrazit předlohu na dostatečně velké plochy, mezi které patří například projekční plátno nebo stěna. [1]

1.1 Rozdělení typů projektorů

1.1.1 Ultralehké datové projektory

Nejlehčími a zároveň nejmenšími jsou zařízení označované jako ultralehké datové projektory. Jejich váha nepřesahuje 1,5 kilogramu a jsou výhodné především svou skladností ale i dostatečným světelným výkonem, což jsou ideální parametry pro jejich časté přenášení. [2]

1.1.2 Osobní datové projektory

Tato kategorie projektorů vychází vstříc požadavku na jednoduchost obsluhy, názornost výkladu a eleganci prezentační pomůcky. Zařízení z této kategorie disponují větším světelným výkonem než ultralehké datové projektory, a proto je možné je využívat i v hůře zatemněných prostorech. Jejich instalace na místě je rychlá a jednoduchá, neboť veškeré nastavení parametrů obrazu je plně automatické. Typickými rysy této kategorie projektorů je nízká hmotnost do pěti kilogramů, malé rozměry, jednoduchá instalace a snadná obsluha. [2]

1.1.3 Mobilní datové projektory

Charakteristika mobilních datových projektorů předurčuje tyto přístroje pro použití před více posluchači, ve větších prostorách nebo v nepříliš zatemněných místnostech. Jsou o málo větší, ale zároveň výkonnější než osobní projektory a splňují dokonale požadavek na univerzálnost a všestrannost použití. Mezi typické vlastnosti této kategorie patří vysoký světelný výkon a všestrannost. [2]

1.1.4 Konferenční datové projektory

Konferenční datové projektory jsou součástí moderních konferenčních místností, přednáškových sálů a školicích středisek. Projektory této kategorie vyhovují těm nejvyšším nárokům na světelný výkon a kvalitu obrazu. Proto dosahují věrných barev a vysokého kontrastu i ve

velkých místnostech s rozptýleným denním nebo umělým světlem. Konferenční datové projektory obvykle pracují v nejvyšších rozlišeních, takže jsou schopny věrně znázornit i náročné grafické aplikace. Každý přístroj je mimoto vybaven širokou škálou vstupů pro připojení několika různých zdrojů signálu najednou. [2]

1.2 Technické parametry dataprojektoru

1.2.1 Rozlišení

Rozlišení neboli celkový počet pixelů, které jsou schopny měnit svůj jas a barvu, souvisí s kvalitou digitální projekce a pozorovací vzdálenosti. V případě, že se fyzické rozlišení projektoru shoduje s tím z připojeného zdroje signálu, dostáváme ve výsledku nejlepší možnou kvalitu zobrazení. Mimo to jsou také vybaveny konverzními mechanizmy (*Downscaling*, *Upscaling*) pro zobrazení nižších/vyšších rozlišení než nativního. V takových případech se nedají vyloučit mírné vady v obraze (snížení kvality). [3]

1.2.2 Světelný výkon

Světelný výkon nebo také svítivost je základní parametr dataprojektoru ovlivňující kvalitu obrazu. Jednotkou je *ANSI lumen (lm)* a čím vyšších hodnot dosahuje, tím více je projektor schopen osvítit promítací plochu. Čím vyšší je výkon projektoru, tím je promítaný obraz jasnější a kvalitnější. Při volbě konkrétní hodnoty je ale třeba počítat se dvěma dalšími faktory, které se výrazným způsobem podílejí na výsledné kvalitě projekce. Vysoká hladina okolního osvětlení zvyšuje nároky na výkon. Pokud dopředu nemáme přesnou představu o světelných podmínkách v místě projekce, je dobré počítat raději s horší variantou a mít dostatečnou rezervu světelného výkonu. Druhým determinujícím faktorem výsledné kvality projekce je projekční plocha. S její rostoucí velikostí roste požadavek na světelný výkon kvadraticky. [2]

1.2.3 Kontrast

Kontrast je definován jako poměr jasů nejsvětlejšího a nejtmavšího místa v obraze. Jeho hodnota v reálných podmínkách je ale dána spíše světelným výkonem projektoru než hodnotou udávaného kontrastu. Větší kontrastní poměr se pozitivně projevuje na eliminaci dopadu vnějšího světla na promítací plochu a vyšší barevnost. [2]

1.2.4 Projekční vzdálenost

Projekční vzdálenost se v domácích podmínkách pohybuje kolem 3 až 5 metrů a ovlivňuje výslednou úhlopříčku. Žádoucí je místnost co nejvíce zatemnit (pro osvětlení je třeba použít lokální stíněné lampy se směrovým světlem) a vhodně projektor umístit. S kvalitou výstupu je spojena i vhodná projekční plocha. K dispozici je řada povrchů s různou odrazivostí. Pro věrné zobrazení barev při promítání se doporučuje použít kvalitní promítací plátno nebo lze promítat i na hladkou bílou stěnu. [3]

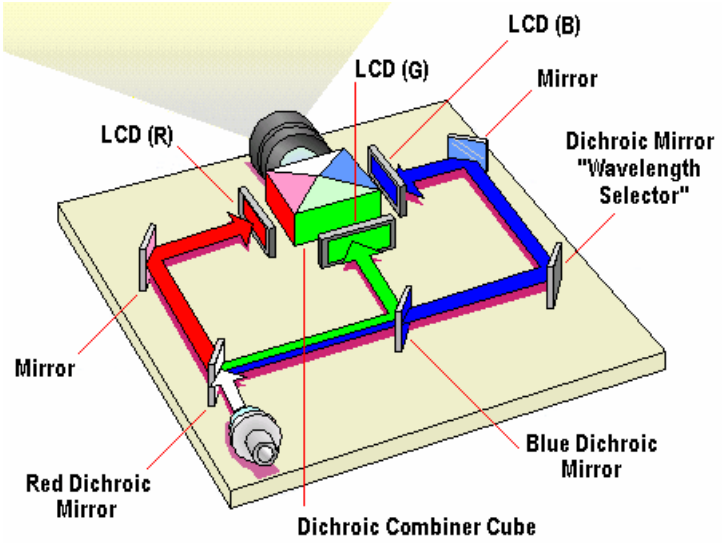
1.2.5 Životnost projekční lampy

Základní prvkem digitálního projektoru je projekční lampa (nejčastěji halogenidová), která nabízí ideální barevnou teplotu. Lampa musí poskytovat dostatečný výkon, aby dokázala vykreslit obraz i pokud nejsou světelné podmínky v projekčním prostoru ideální. Životnost lampy se udává v hodinách a je možné ji prodloužit uvedením projektoru do *eco* (šetřícího) módu, který ztlumí intenzitu osvětlení. [4]

1.3 Technologie projektorů

1.3.1 LCD

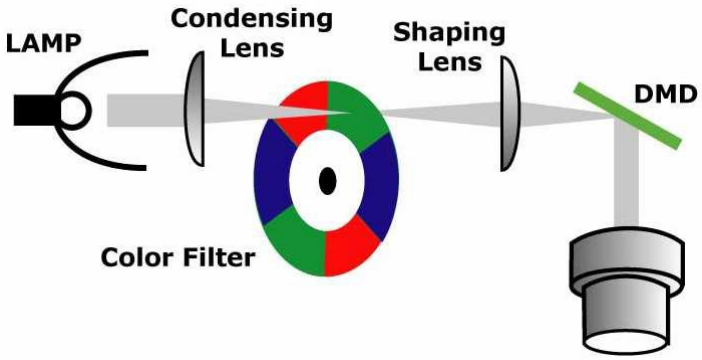
Technologie LCD je nejrozšířenější a je nejvíce zastoupena na trhu. Využívá optické soustavy, která rozděluje bílé světlo do tří barevných složek – červené, zelené a modré. Jednotlivé barvy jsou pak zpracovávány zvláštními panely. LCD projektory jsou založeny na soustavě optických, spektrálně propustných hranolů a systému mikročoček. Negativem těchto přístrojů je ale to, že některé jejich součástky ovlivňují procházející světlo a tak dochází k jistým omezením. Tato omezení jsou ovšem překonána technologií DLP, která je lepší také v tom, že potlačuje bodovou strukturu. [14]



Obr. 2 – LCD [14]

1.3.2 DLP

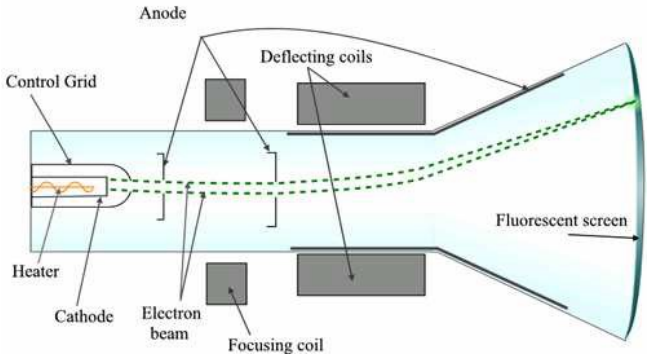
Pro projektory těchto technologií je charakteristický vysoký kontrast a vysoká svítivost. Projektory se vyznačují vysokým výkonem, ale i velkou rozměrností. Existují dvě varianty DLP projektoru – s jedním nebo se třemi DMD čipy. DLP projektor s jedním DMD čipem využívá rotujícího barevného filtru a patří mezi ně nejmenší projektory, u tříčipových se pak obraz vytváří na třech čipech zvlášť, a proto jsou nejvýkonnější. [14]



Obr. 3 – DLP [14]

1.3.3 CRT

Projektory používající tuto spolehlivou technologii patří mezi tradiční přístroje. Jejich výhodami jsou možnost trvalého provozu, vysoké rozlišení a kvalitní reprodukce barev. Základem jsou tři katodové projekční obrazovky, z nichž každá promítá v jedné ze základních barev (červená, modrá, zelená) a výsledný obraz je složen až přímo na projekční ploše. [14]


Anode
Deflecting coils
Control Grid
Fluorescent screen
Heater
Cathode
Electron beam
Focusing coil

Obr. 4 – CRT [14]

2 POPIS KONKRÉTNÍCH VÝROBNÍCH APLIKACÍ, KDE LZE PROJEKTORY VYUŽÍT

2.1 Interaktivní polohování

Tato aplikace využívá projekci k interaktivnímu polohování (rozmístění) dílů do materiálu, z kterého se pak díly vyřezávají nebo vysekávají. Jedná se především o materiály, jako jsou přírodní kůže nebo látky s pruhy, kárem či jinými různými vzory.

Příslušné hardwarové a softwarové vybavení pak umožňuje zobrazit díly přímo na povrch materiálu v měřítku 1:1 a pomocí myši je pak vhodně umístit na požadovanou pozici. Zobrazovat lze nejen tvary dílů, ale také například název dílu, název velikosti (u obuvnických nebo oděvních dílů), kurzor myši a další potřebné informace a zobrazení potřebné pro interaktivní polohování, jako například pomocnou šipku pro dorážení dílů, okno pro výběr skupin dílů atd.

Rozložené a správně umístěné díly se pak dle této předlohy většinou následně vyřežou automaticky pomocí CNC cutteru.

2.2 Interaktivní polohování do kůží

Aplikace interaktivního polohování s využitím projekce společně s vyřezáváním dílů pomocí CNC cutteru nahrazuje původní tradiční výrobu, kdy se díly z kůže vysekávaly pomocí vysekávacích nožů na vysekávacích lisech nebo se vyřezávaly ručně nožíkem podle šablony.

Tento tradiční způsob výroby však začal přinášet pro výrobce značná omezení a nedostatky, a to především z následujících důvodů. Výroba ocelových vysekávacích nožů je velmi nákladná. Například pro jeden složitější obuvnický model, který se vyrábí až v deseti velikostech, je třeba vyrobit až několik stovek nožů. Dalším důvodem je, že v současné době se vyrábějí výrobky ve stále menších sériích a více variantách, čímž výroba vysekávacích nožů značně prodražuje výslednou cenu výrobků a tím se stávají méně konkurenceschopné. Výroba vysekávacích nožů je také časově náročná a z tohoto důvodu nemůžou výrobci dostatečně rychle reagovat na požadavky trhu a zákazníků.

Obr. 5 - Zobrazení obuvnických dílů na kůži

Aplikace interaktivního polohování s využitím projekce společně s vyřezáváním dílů pomocí CNC cutterů přináší následující výhody oproti použití vysekávacích nožů:

- Po zhotovení modelu v CAD systému lze okamžitě zahájit výrobu, není třeba čekat na výrobu vysekávacích nožů.
- Odpadají náklady na výrobu vysekávacích nožů.
- Lze snadno provádět jakékoliv změny v již hotovém modelu, což u tradiční technologie vždy způsobilo problém s čekáním na úpravy nebo výrobu nových vysekávacích nožů.
- Nemalý efekt přináší i úspory materiálu a to z následujících důvodů:
    - Při vyseknutí dílu nožem, pokud nůž z nějakého důvodu nebyl umístěn do správné pozice na materiál, již nelze akci vrátit.
    - Při použití interaktivního polohování dílů s pomocí projekce lze již položený díl kdykoliv přemístit na jinou pozici.
    - Vyřezávání dílů se spustí, až je celá poloha (rozložení dílů na materiál) kompletní a operátor je spokojen s rozložením dílů a využitím materiálu.
    - Při interaktivním polohování dílů systém automaticky hlídá překrytí dílů, čímž zamezuje možnost vzniku zmetků. Dále umožňuje dodržovat přesně stanovenou vzdálenost mezi díly (tzv. buffer), čímž se opět minimalizuje odpad materiálu tím, že mezi díly není zbytečně velká mezera.
- Vyšší komfort a přehled při interaktivním polohováním dílů díky těmto výhodám:
    - Sledování výrobního plánu (požadovaného počtu dílů, které je potřeba vypolohovat a vyřezat).
    - Možnost barevného rozlišení dílů podle typu nebo vystupňovaných velikostí.
    - Možnost barevného rozlišení levého a pravého dílu (např. u obuvnické výroby).
    - Možnost zobrazení informací u polohovaných dílů, např. název dílu a velikost.
- Možnost sledování plnění výrobního plánu, produktivity jednotlivých pracovníků a procentuální využitelnosti materiálu napojením na MRP databázový systém.

Zde je třeba zmínit i to, že v současné době existuje i řada počítačových programů, které umožňují plně automatické rozložení dílů do materiálu. To však v řadě výrobních aplikací

nelze vždy využít a vhodnější je právě interaktivní polohování, případně kombinace interaktivního a automatického polohování. Nejčastěji se jedná o zpracování kůží. Důvody jsou následující:

- Každá kůže má originální tvar, a pokud bychom chtěli použít plně automatické polohování, je třeba tento tvar dostat do počítače. To lze provést například snímáním pomocí digitálního fotoaparátu. Toto řešení však dosti prodražuje pořizovací náklady na tuto technologii (jak hardware, tak software), přičemž to neřeší automaticky některé z následujících problémů.
- Přírodní kůže může obsahovat řadu defektů, do kterých nelze umístit vyráběný dílec. Tyto defekty nelze většinou automaticky detekovat pomocí snímání fotoaparátem, některé nejsou dostatečně nebo vůbec viditelné. Operátor musí před vyseknutím dílu nebo jeho umístěním (při interaktivním polohování) vždy vizuálně a často i hmatově kůži v daném místě zkontrolovat a posoudit její využití. V případě snímání kůže pomocí digitálního fotoaparátu je nutno tyto defekty před snímáním ručně označit, což prodlužuje samotný proces výroby.
- Kůže mají v různých oblastech různou kvalitu a taky různý směr tažnosti. Tyto vlastnosti je třeba zohlednit při umísťování dílů podle požadavku na jejich kvalitu a vlastnosti. Toto opět nelze plně automatizovat.

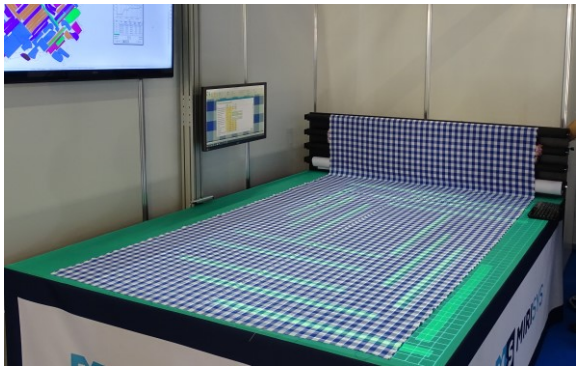
2.3 Interaktivní polohování do látky s kárem

Aplikace interaktivního polohování dílů do textilních materiálů s kárem s využitím projekce společně s vyřezáváním dílů pomocí CNC cutteru nahrazuje původní tradiční ruční stříhání dílů. U textilních materiálů s kárem, pásky nebo jinými vzory je často třeba umístit díly vhodně tak, aby při jejich sešití do výsledného výrobku tyto vzory na sebe správně navazovaly. Tyto situace se často vyskytují při výrobě oděvů nebo čalouněného nábytku.

Při tradičním způsobu výroby se využívají papírové šablony, které se položí na materiál a podle nich se díly ručně vystřihnou. Při řešení s projekcí se pak díly vysvítí přímo na materiál a pomocí myši se umístí do správné pozice.

Řešení s projekcí má následující výhody:

- není třeba používat papírové šablony
- umožňuje připravit správnou polohu s možností následného vyřezání pomocí CNC cutteru

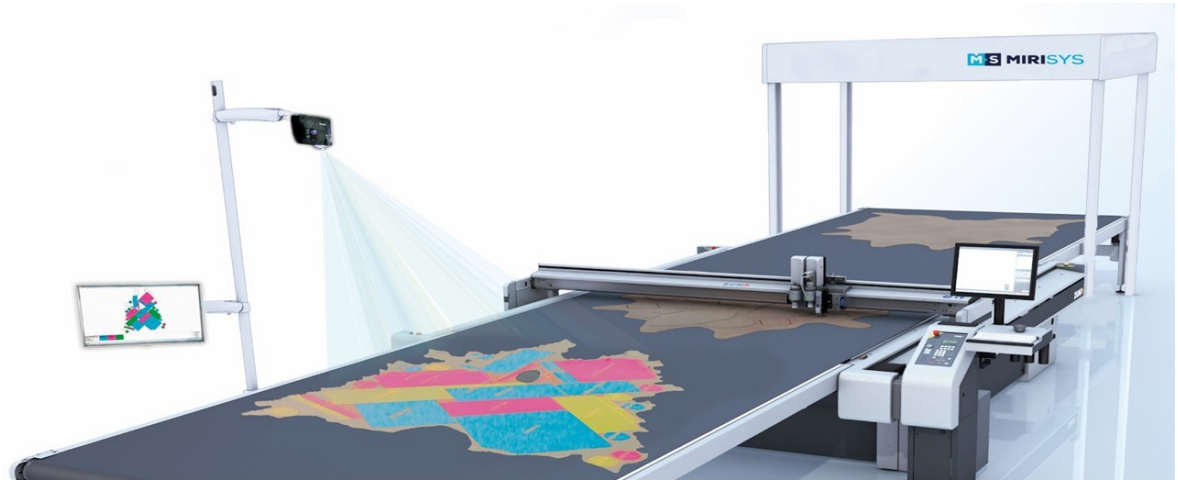


Obr. 6 - Látka se vzorem

2.4 Systém pro odebírání a třídění vyřezaných dílů

Systém pro odebírání a třídění (anglicky "sorting") se používá pro efektivní sběr a třídění vyřezaných dílů na CNC cutteru. Pro toto řešení je velmi výhodné využít právě projekci, kdy lze zobrazit jen určitou skupinu dílů definovanou třídícími filtry – tzv. *bundles*. Vyřezané díly lze pak snadno třídit např. podle:

- výrobku, v případě, že se v poloze kombinují díly z více různých výrobků za účelem lepšího využití materiálu
- typu nebo názvu dílů
- názvu velikosti (např. u výrobců obuvi nebo oděvů).



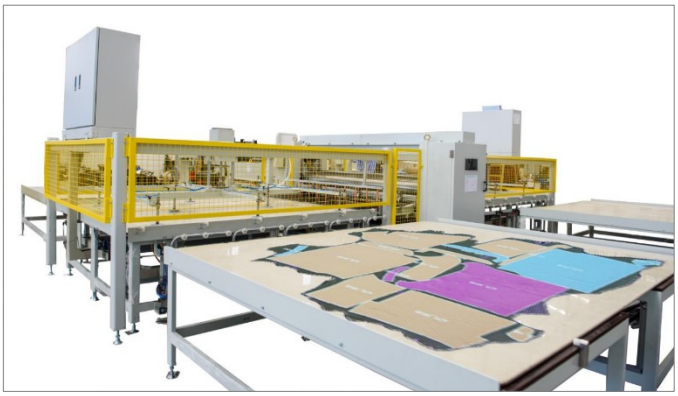
Obr. 7 - Vyřezávací linka na kůže se sekcí pro odebírání vyřezaných dílů

Aplikace pro odebírání a třídění dílů s využitím projekce přináší následující výhody:

- Snadné a přehledné odebírání a třídění vyřezaných dílů, čímž se zvyšuje efektivnost a bezchybnost práce.
- Možnost kombinování dílů z více různých výrobků při polohování do materiálu, čímž se může výrazně zvýšit využitelnost materiálu.

2.5 Využití projekce při vysekávání dílů pomocí válcových lisů

Tato technologie se nejčastěji využívá v automobilovém průmyslu u výrobců kožených autosedaček a dalších interiérových doplňků. Pracuje se zde s vysekávacími noži, které se ručně rozloží na kůži, přičemž je třeba respektovat různé defekty a oblasti kvality kůže. Kůže s rozloženými noži pak projede válcovým lisem, kde se díly tlakem na nože vyseknou. Zařízení je určené většinou pro zpracování velkých kůží (celých hovězin) v rozměrech až 3 x 3 m.



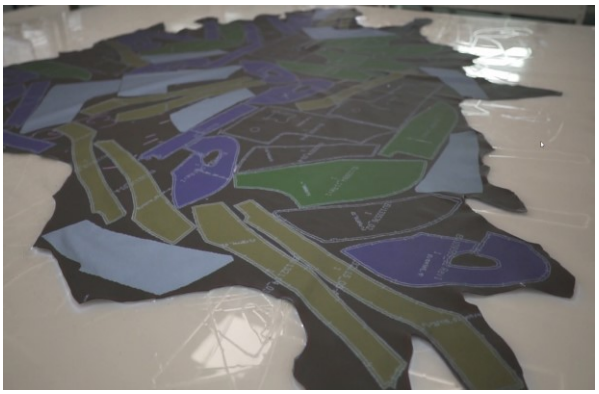
Obr. 8 - Vysekávací linka s válcovým lisem

U tohoto způsobu existují následující problémy. V případě, že jsou různí operátoři, je také rozdílná kvalita polohování dílů na kůži. Získání odborné způsobilosti pro tuto činnost trvá dlouho a ne každý pracovník je schopen dosáhnout výsledků na požadované úrovni, na níž pak závisí efektivnost výroby a úspory ve využití materiálu. Operátor musí mít vysoké znalosti vlastností kůží (typy vad a oblastí kvality) a také dovednost pro co nejlepší rozložení nožů do celé plochy kůže. Dalším problémem je, že neexistují žádné nebo jen nepřesné a nedostatečné statistické informace, které umožňují sledovat efektivitu polohování dílů a produktivitu výroby a také neexistuje automatické sledování počtu vyseknutých dílů podle výrobního plánu. Operátor musí neustále vyrobené počty dílů přepočítávat.

Firma MiriSys Software vyvinula a dodává automatizovanou technologii, která řeší výše zmíněné problémy a přináší řadu dalších výhod. Řešení je založeno na automatickém polohování (rozmístění) dílů, které jsou elektronickou formou vysekávacích nožů. Polohování se provádí dle výrobního plánu do kůží, které jsou předem naskenovány a převedeny do digitální formy včetně označených defektů a zón kvality. Výsledná poloha (rozložení dílů) se pak pomocí projekce vysvítí přímo na kůži jako předloha pro operátora, podle které pak rozloží na kůži vysekávací nože.

Efekty tohoto řešení jsou následující:

- zkvalitnění polohování dílů a tím zvýšení využití materiálu
- zvýšení produktivity
- zvýšení kvality výroby
- možnost využití i méně kvalifikovaných operátorů
- sledování výroby v reálném čase



Obr. 9 - Zobrazené díly na kůži pomocí projekce

2.6 Využití projekce pro kontrolu dílů

Tuto aplikaci úspěšně využívají např. výrobci oděvů. Jedná se především o tvarovou kontrolu dílů a o správné sestavování dílů, které se mají sešívat. Pro tyto činnosti lze právě výhodně využít projekci.

2.6.1 Kontrola tvaru vyřezaných dílů

Vyřezané díly je někdy nutno před použitím ve finálním výrobku tvarově zkontrolovat. Dříve se tato kontrola prováděla za použití papírových šablon, které se přikládaly na díly. V současné době se však často pro vyřezávání dílů používají CNC cuttery a papírové šablony se již ani nezhotovují.

Aplikace využívající projekci umožní přesně vysvítit tvar příslušného dílu na pracovní plochu a lze pak snadno zkontrolovat tvarovou přesnost vyřezaného dílu bez použití papírových šablon.

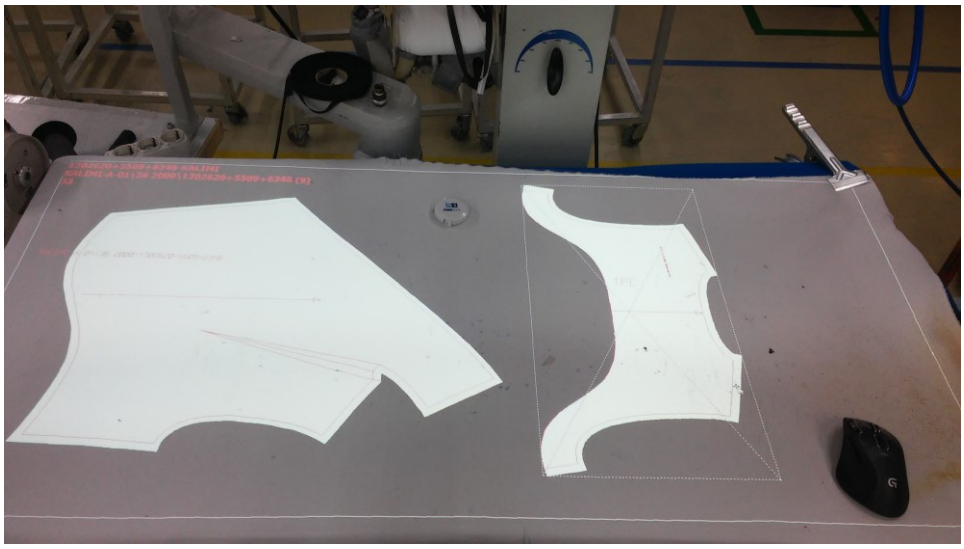
2.6.2 Sestavování dílů pro šití

Vyřezané díly, které se mají sešívat, je třeba k sobě správně přiložit podle definovaných šicích drah a různých referenčních značek. Tyto dráhy a značky však většinou nejsou na vyřezaných dílech nijak zobrazeny a správné sestavení dílů je někdy dost náročné. Zde se opět ideálně nabízí využití projekce, která umožní vysvítit na pracovní ploše nejen obrysy

dílů, ale dokáže zobrazit i šicí dráhy a všechny potřebné referenční značky. Podle tohoto zobrazení pak pracovník snadno a přesně díly sestaví a připraví pro šití.

Efekty tohoto řešení jsou následující:

- ke kontrole dílů není třeba vyrábět a používat papírové šablony
- snadné a přesné sestavování dílů při výrobě finálního výrobku
- snížení zmetkovosti
- zvýšení kvality a přesnosti výroby



Obr. 10 - Vysvícené díly na pracovní ploše

3 SPECIFIKA POUŽITÍ PROJEKCE VE VÝROBĚ A JEJICH ŘEŠENÍ

Použití projekce ve výrobě ve výše zmíněných aplikacích má ve srovnání s klasickým využití projekce značná specifika. V následující části je uveden přehled jednotlivých specifik včetně navrženého řešení.

3.1 Projektor jako samostatná zobrazovací jednotka

Projektor nepromítá kopii obrazovky počítače, ale pracuje jako samostatná zobrazovací jednotka.
Řešením je správná konfigurace více obrazovek v systému Windows. Software, který generuje zobrazovaná data (např. díly) musí pracovat tak, aby prováděl zobrazení jen na vybranou obrazovku, která přísluší připojenému projektoru.

3.2 Promítané díly v měřítku 1:1

Promítané díly musí být zobrazeny přesně v měřítku 1:1. Tvary promítaných dílů nesmí být nijak tvarově zkreslené, např. díky lichoběžníkovému či soudkovitému zkreslení promítaného obrazu. Díly musí být zobrazeny v přesně stanovené pozici na pracovní ploše.
Přesného promítání lze dosáhnout pouze vhodnou metodou kalibrace projekce. Řešení kalibrace je podrobně popsáno v praktické části věnující se kalibraci projekce.

3.3 Dostatečná přesnost promítání

Podle typu výrobní aplikace je třeba zajistit dostatečně velkou přesnost promítání, která odpovídá velikosti jednoho zobrazeného pixelu.
Řešením je volba projektoru s dostatečně vysokým rozlišením. Běžně jsou již dostupné projektory s rozlišením Full HD 1920 x 1080 pixelů. V případě, že je pracovní plocha větších rozměrů a s jedním projektorem nejsme schopni dosáhnout požadované přesnosti, volí se varianta s kombinací dvou nebo i více projektorů.

3.4 Promítání na povrch materiálu

Nepromítá se na bílé pozadí, jako je tomu u klasické projekce, ale promítá se na povrch materiálu (kůže, textil, …), který může mít libovolnou barvu od bílé až po černou.

Řešením je volba projektoru s dostatečně vysokou svítivostí. Vhodná svítivost je 3000 – 4000 ANSI lm. V software nastavit barvy zobrazovaných objektů (dílů) tak aby byly na daném materiálu co nejlépe viditelné. Optimální je pracovat s různými přednastavenými barevnými konfiguracemi pro různé typy a barvy materiálů a zamezit přílišnému osvětlení pracovní plochy ztlumením osvětlení v místnosti nebo zastíněním oken.

3.5 Vertikální umístění projektoru

Ve většině případů je požadováno, aby byl projektor umístěn vertikálně (svisle). Ne všechny projektory lze takto umístit, a to hlavně z důvodu chlazení lampy.

Řešením je výběr vhodného typu projektoru, který takovéto svislé umístění umožňuje. K tomuto účelu jsou vhodné pouze některé typy projektorů BenQ nebo Epson. Pro návrh konfigurací pracovišť v této práci byl zvolen projektor typu BenQ TH671ST.

3.6 Pokrytí celé pracovní plochy

Často nelze projektor umístit nad pracovní plochu v libovolné výšce tak, aby pokryl (osvítil) celou pracovní plochu. Je to např. z důvodu nízkého stropu.

Řešením je volba širokoúhlého projektoru, který dokáže z malé vzdálenosti osvítit co největší plochu a použití kombinace dvou nebo i více projektorů. Pro snadný výpočet výšky umístění projektoru nad pracovní plochou lze použít aplikaci „*Benq Projection Calculator*“, která je volně dostupná na: https://projectorcalculator.benq.com/.

3.7 Maximální životnost lampy

Projektor ve výrobním procesu pracuje nepřetržitě po celou pracovní dobu, někdy se pracuje i na 3 směny, a proto by měla být životnost lampy co nejvyšší.

Řešením je výběr vhodného typu projektoru s dostatečnou životností lampy a s přijatelnou cenou lampy. Tuto podmínku splňuje např. vybraný typ projektoru BenQ, kde je životnost lampy 4000 – 15000 hodin provozu. Ke sledování životnosti lampy, s upozorněním na blížící se nutnost výměny, je k dispozici jedna z funkcí programu „*Projector Manager*“, který byl vyvinut v rámci této práce a je podrobně popsán v praktické části.

3.8 Ovládání dataprojektorů

Ovládání projektorů a projekce musí být co nejjednodušší i pro nekvalifikovanou obsluhu. Velký problém vzniká také při použití sestavy více projektorů, kdy je obtížné dodaným dálkovým ovladačem ovládat jen jeden vybraný projektor. Většinou reagují všechny. Důležité je také zajištění správného vypínání a zapínání projektorů, čímž se výrazně prodlužuje životnost lamp.

Za účelem zjednodušení obsluhy a správného a bezpečného ovládání projektorů byl v rámci této práce vyvinut program „*Projector Manager*“, který dokáže současně spravovat sestavu až se 4 projektory. Tento program je podrobně popsán v praktické části.

4 NÁVRH VHODNÉ KONFIGURACE HW A SW PRO VYBRANÉ APLIKACE VE VÝROBĚ

4.1 Konfigurace pracoviště pro vyřezávání dílců z kůží s využitím interaktivního polohování

Následující konfigurace je navržena pro pracoviště určené pro vyřezávání kůží menších rozměrů (hovězí půlky, koziny, teletiny) pomocí CNC cutteru s využitím projekce pro interaktivní polohování dílů do materiálu. Tato aplikace je vhodná pro výrobce obuvi nebo kožené galanterie.

4.1.1 CNC Cutter

Rozměry pracovní plochy jsou 3000 x 1000 mm. Vícenástrojová řezací hlava obsahuje nožík s elektrickou nebo pneumatickou oscilací pro řezání materiálu, bodec pro značení v materiálu, dírkáč pro perforace materiálu. Vhodné typy cutterů s těmito požadavky dodávají například firmy Zund, Atom, Filiz.

4.1.2 Projektory

Při volbě typu projektoru a jejich počtu pro tuto aplikaci musíme zohlednit následující požadavky, mezi které patří především přesnost zobrazení při promítání dílů (rozlišení obrazu) do 1 mm, dostatečná svítivost, aby byly díly dobře viditelné na všech barvách materiálu a širokoúhlé promítání, aby nebylo nutné projektory umísťovat v příliš velké výšce (z důvodu snadnější instalace a manipulace a také z důvodu omezení výškou stropu).
Pro splnění výše uvedených požadavků zvolíme variantu se 2 širokoúhlými projektory s následujícími parametry:

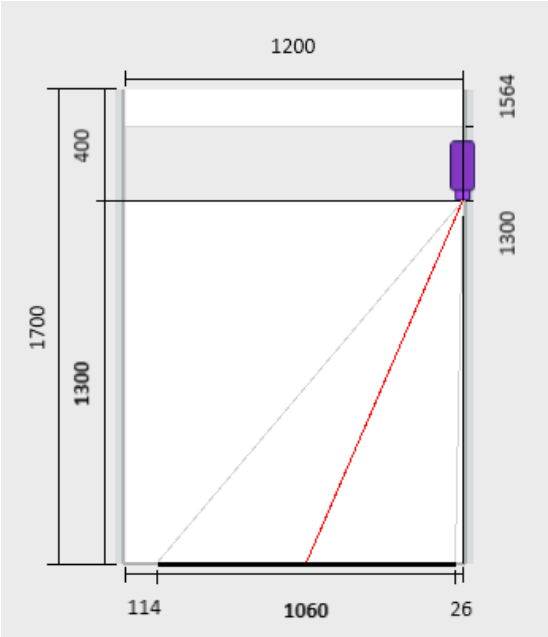
- **typ**: BenQ TH671ST
- **technologie** DLP
- **rozlišení obrazu:** 1920 x 1080 (FullHD)
- **svítivost:** 3000 ANSI lm
- **kontrast:** 10000:1
- **vstupy a výstupy:** HDMI, MHL, VGA, USB, reproduktory
- **životnost lampy:** 4000 hod.

4.1.3 Umístění projektorů a rozvržení pracoviště

Projektory se umístí na nosný rám vytvořený z aluminiových profilů. Pozici a výšku uchycení projektorů zvolíme tak, aby co nejlépe pokryly obrazem pracovní plochu. Pro výpočet

výšky umístění projektoru nad pracovní plochou použijeme aplikaci *„Benq Projection Calculator“* (volně dostupná na: *https://projectorcalculator.benq.com/*).

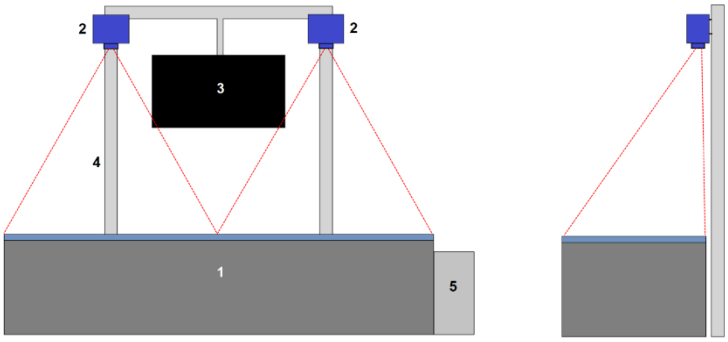
Každý ze dvou projektorů musí osvítit polovinu pracovní plochy, což odpovídá rozměru min. 1500 x 1000 mm.



Obr. 11 - Výpočet umístění výšky projektoru

Dle tohoto kalkulátoru zvolíme výšku umístění projektoru nad pracovní plochou 1300 mm. Maximální zobrazená plocha jedním projektorem bude 1884 x 1060 mm. Přesnost zobrazení, která se rovná velikosti jednoho zobrazeného pixelu, pak bude 0,98 mm, což splňuje požadované zadání.

Návrh výsledného uspořádání pracoviště je na následujícím obrázku:



Obr. 12 - Uspořádání pracoviště s projekcí

Navržené pracoviště obsahuje:

1 – pracovní stůl (cutter) s pracovní plochou 3000 x 1000 mm, výška 700 mm

2 – projektory umístěné ve výšce 1300 mm nad pracovní plochou

3 – velký monitor
4 – nosná konstrukce z aluminiových profilů pro uchycení projektorů a monitoru
5 – počítač s klávesnicí a myší

4.1.4 Počítač a příslušenství

Navržená konfigurace počítače:

- **Typ:** DELL OptiPlex MFF 3060
- **Procesor:** Core i5-8500T
- **Paměť:** 8GB / 256GB SSD
- **Grafická karta:** Intel UHD
- **Operační system:** Windows 10 Pro 64 bit
- **Konektory:** 2x RS-232 pro řízení projektorů

Jako monitor byla použita velkoformátová obrazovka TV Samsung UE55 s úhlopříčkou 55“. Konfigurace je vybavena ovládacími zařízeními v podobě bezdrátové klávesnice a bezdrátová vícetlačítkové myši Logitech (z důvodu ovládaní polohávní dílů).

4.1.5 Konfigurace SW

- **CutNest Professional** – tvorba výrobních plánů, polohování dílů
- **Plug-in Projection** – modul pro promítání pomocí projektorů, kalibrace projekce
- **Plug-in Postprocessor** – generování řezacích dat pro cutter
- **Projector Manager** – softwarové řízení a konfigurace projektorů

4.2 Konfigurace pracoviště pro odebírání a třídění vyřezaných dílů

Následující konfigurace je navržena pro odebírací pracoviště, které může být součástí vyřezávací linky určené pro vyřezávání kůží velkých rozměrů (celé hověziny). Tato aplikace je vhodná pro výrobce v automobilovém nebo nábytkářském průmyslu. Rozměry pracovní plochy: 3000 x 2700 mm a těmto rozměrům musí odpovídat i pracovní stůl.

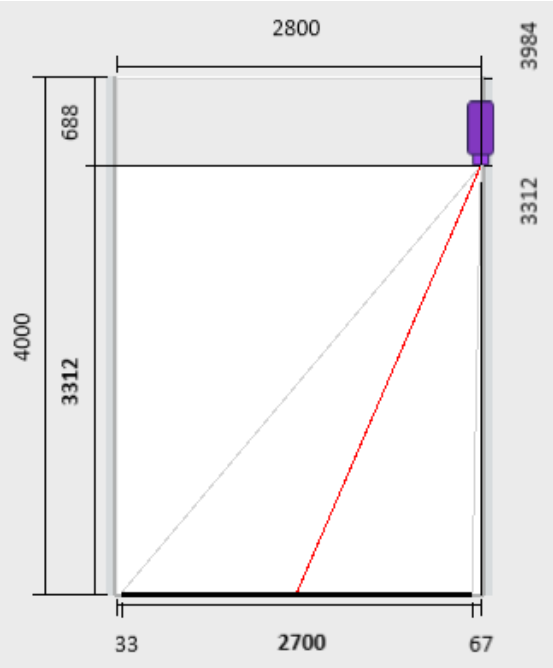
4.2.1 Projektory

Pro tuto aplikaci není vyžadována tak vysoká přesnost zobrazení tak jako např. u interaktivního polohování. Proto můžeme zvolit jednodušší variantu s jedním projektorem.
Navržený typ projektoru:

- **typ:** BenQ TH671ST
- **rozlišení obrazu:** 1920 x 1080 (FullHD)
- **svítivost**: 3000 ANSI lm
- další parametry jsou shodné s předchozí konfigurací

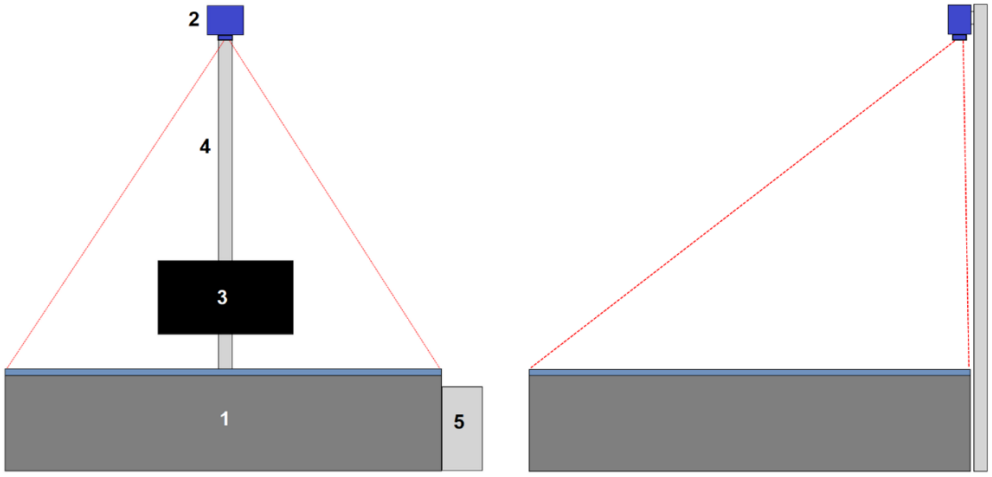
4.2.2 Umístění projektorů a rozvržení pracoviště

Projektory se umístí na nosný rám vytvořený z aluminiových profilů. Pozici a výšku uchycení projektoru nad pracovní plochou určíme pomocí aplikace *„Benq Projection Calculator“*.



Obr. 13 - Výpočet umístění výšky projektoru

Dle tohoto kalkulátoru zvolíme výšku umístění projektoru nad pracovní plochou 3312 mm. Přesnost zobrazení, která se rovná velikosti jednoho zobrazeného pixelu, pak bude 2,5 mm. Pokud by byla požadována vyšší přesnost zobrazení nebo pokud by nebylo možné umístit projektor v požadované výšce (nízký strop), pak by se musela zvolit konfigurace se dvěma projektory tak, jak je uvedená v další kapitole.



Obr. 14 - Uspořádání pracoviště s projekcí

Navržené pracoviště obsahuje:

1 – pracovní stůl s pracovní plochou 3000 x 2700 mm, výška 700 mm

2 – projektor umístěné ve výšce 3312 mm nad pracovní plochou

3 – velký monitor

4 – nosná konstrukce z aluminiových profilů pro uchycení projektoru a monitoru

5 – počítač s klávesnicí a myší

4.2.3 Počítač a příslušenství

Navržená konfigurace počítače:

- **Typ**: DELL OptiPlex MFF 3060
- **Procesor**: Core i5-8500T
- **Paměť**: 8GB / 256GB SSD
- **Grafická karta**: Intel UHD
- **Operační systém**: Windows 10 Pro 64 bit
- **Konektory**: 1x RS-232 pro řízení projektorů

Jako monitor byla použita velkoformátová obrazovka TV Samsung UE55, úhlopříčka 55“. Jako ovládací zařízení byly vybrány bezdrátová klávesnice a bezdrátová vícetlačítková myš Logitech.

4.2.4 Konfigurace SW

- **CutNest Lite** – načtení a zobrazení polohy s dílci
- **Plug-in Projection** – modul pro promítání pomocí projektorů, kalibrace projekce
- **Plug-in Sorting Manager** – výběr a zobrazení dílců dle zvolených kritérií
- **Projector Manager** – softwarové řízení a konfigurace projektoru

4.3 Konfigurace pracoviště pro polohování vysekávacích nožů

Následující konfigurace je navržena pro pracoviště, kde se ručně pokládají vysekávací nože na kůži podle vysvícené předlohy pomocí projektoru. Díly se pak následně vyseknou pomocí válcových lisů. Pracoviště je určeno pro zpracování kůží velkých rozměrů (celé hověziny). Tato aplikace se využívá v automobilovém průmyslu. Pracovní stůl odpovídá rozměrům pracovní plochy: 3000 x 3000 mm.

4.3.1 Projektory

Při volbě typu projektoru a jejich počtu pro tuto aplikaci musíme zohlednit následující požadavky: přesnost zobrazení při promítání dílců (rozlišení obrazu) do 2 mm a dostatečná

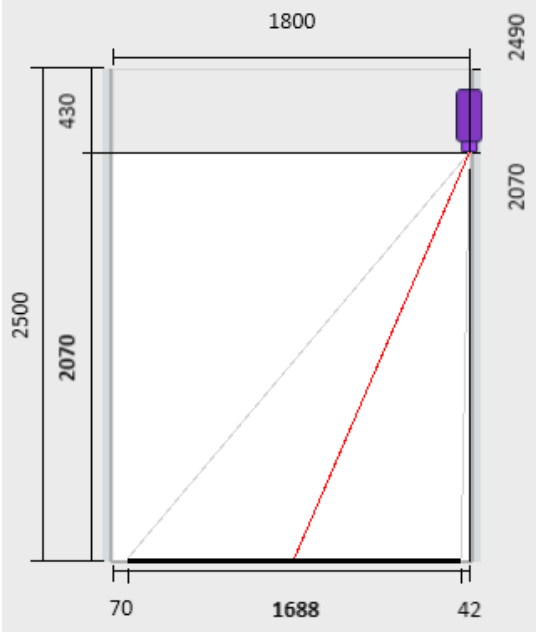
svítivost, aby byly díly dobře viditelné na všech barvách materiálu. Pro splnění výše uvedených požadavků zvolíme variantu se 2 širokoúhlými projektory s následujícími parametry:

- **typ**: BenQ TH671ST
- **rozlišení obrazu:** 1920 x 1080 (FullHD)
- **svítivost:** 3000 ANSI lm
- ostatní parametry jsou shodné s předchozí konfigurací

4.3.2 Umístění projektorů a rozvržení pracoviště

Protože je potřeba, aby byl pracovní stůl přístupný ze všech stran, zvolíme uchycení projektorů na nosný rám, který bude upevněn na stropní konstrukci.

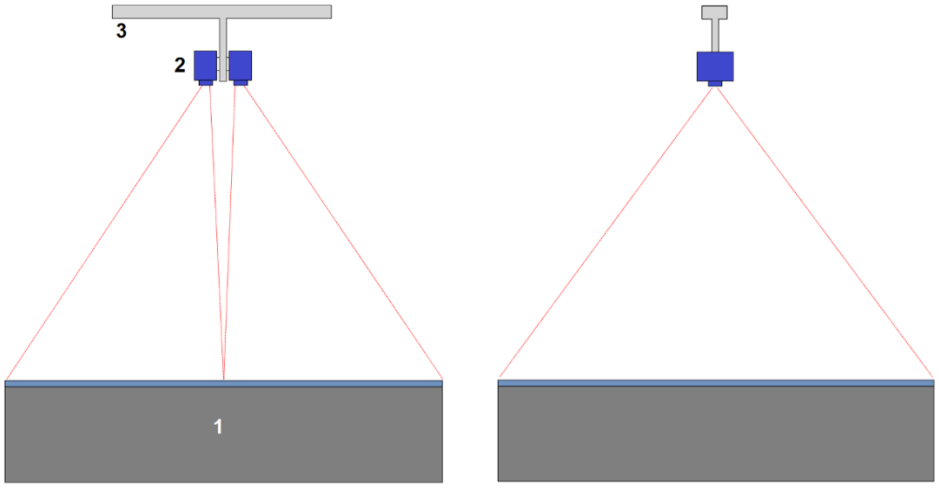
Výšku uchycení projektoru nad pracovní plochou určíme pomocí aplikace *„Benq Projection Calculator“*. Každý ze dvou projektorů musí osvítit polovinu pracovní plochy, což odpovídá rozměru min. 3000 x 1500 mm.



Obr. 15 - Výpočet umístění výšky projektoru

Dle tohoto kalkulátoru zvolíme výšku umístění projektoru nad pracovní plochou 2070 mm. Přesnost zobrazení, která se rovná velikosti jednoho zobrazeného pixelu, pak bude 1,56 mm, což splňuje požadované zadání.

Návrh výsledného uspořádání pracoviště je na následujícím obrázku:



Obr. 16 - Uspořádání pracoviště s projekcí

Navržené pracoviště obsahuje:

1 – pracovní stůl (cutter) s pracovní plochou 3000 x 3000 mm, výška 700 mm

2 – projektory umístěné ve výšce 2070 mm nad pracovní plochou

3 – nosná konstrukce z aluminiových profilů pro uchycení projektorů a monitoru, uchycená ze stropu

4 – počítač s klávesnicí a myší je umístěn mimo pracovní stůl

4.3.3 Počítač a příslušenství

Navržená konfigurace počítače:

- **Typ**: DELL OptiPlex MFF 3060
- **Procesor**: Core i5-8500T
- **Paměť**: 8GB / 256GB SSD
- **Grafická karta**: Intel UHD
- **Operační systém**: Windows 10 Pro 64 bit
- **Konektory**: 2x RS-232 pro řízení projektorů

Jako monitor byl vybrán Dell monitor P2419H 24” WLED. Ovládací zařízení jsou klávesnice a třítlačítková myš Logitech.

4.3.4 Konfigurace SW

Navržená konfigurace sestavená ze softwarových modulů firmy MiriSys Software:

- **MRP system** – komplexní databázový systém umožňující vybrat a zobrazit připravenou polohu s dílci, monitorování výroby
- **Plug-in Barcode** – načítání čarových kódů na kůži
- **Plug-in Projection** – modul pro promítání pomocí projektorů, kalibrace projekce
- **Projector Manager** – softwarové řízení a konfigurace projektorů

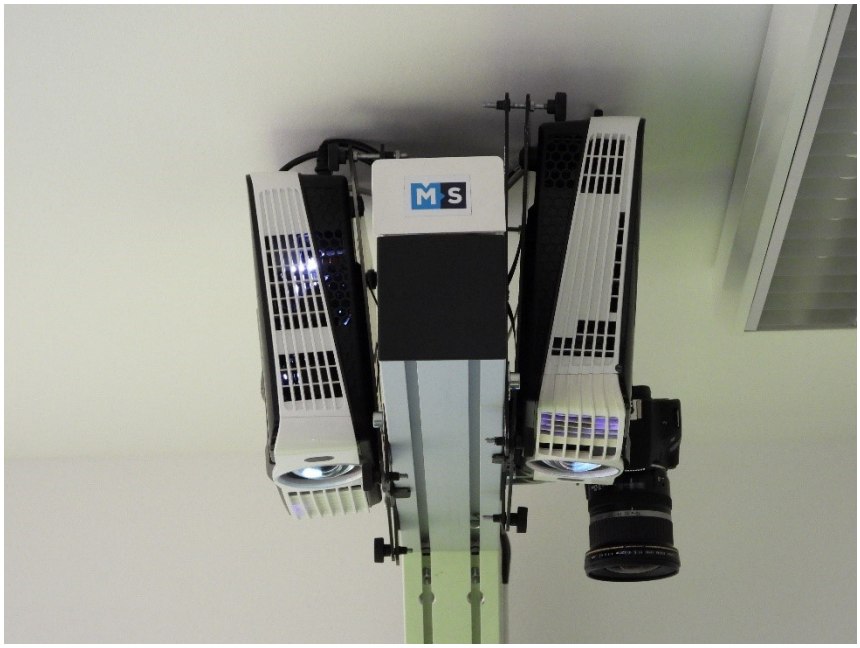
II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PROJECTOR MANAGER

5.1 Proč byl program vyvinut

V praxi ve výrobním prostředí obecně vyvstává mnoho problémů spojených s řízením, ovládáním, manipulací, konfigurací a údržbou projekčních stanic, zejména pak samostatných dataprojektorů. Problémy jsou způsobeny několika různými důvody, mezi které patří především neexistující či nedostačující softwarové prostředky, které by poskytoval přímo výrobce instalovaných dataprojektorů či jiný poskytovatel, nebo také samotná vnitřní struktura projekčního zařízení, která neumožňuje uživateli přizpůsobit si zařízení dle jeho vlastních požadavků.

Dalším důvodem je nejednotnost rozhraní pro projekční zařízení od různých výrobců. Mezi hlavní problémy, které omezovaly či znemožňovaly práci s využitím dataprojekce a které jsou řešeny tímto programem, patří zejména neexistující způsob, jak cíleně ovládat jednotlivá projekční zařízení. To je způsobeno především nevhodným návrhem ovládání zařízení od výrobce. Projekční stanice jsou koncipovány tak, že na každé z nich je instalováno několik dataprojektorů a ty jsou vždy umístěny bezprostředně vedle sebe. Jejich ovládání je umožněno pomocí ovládacích prvků přímo na zařízení či pomocí dodávaného ovladače. První možnost vzhledem k samotnému návrhu pracovní stanice je značně neefektivní až nepoužitelná, protože umístění dataprojektorů je zvoleno tak, aby projekce pokryla celou pracovní plochu a to v praxi znamená, že vzdálenost mezi pracovní plochou a projektorem je přibližně 2 metry a více v závislosti na velikosti pracovní plochy a počtu projektorů. Z toho vyplývá, že ruční manipulace s projektorem je velmi obtížná a nepraktická.



Obr. 17 - Umístění dataprojektorů v pracovní stanici

Další možností je ovládání pomocí ovladače, který je k projektoru dodán výrobcem, ale i tento způsob ovládání není ideální. Problém je způsoben kombinací celkového návrhu pracovní stanice (umístění dataprojektorů těsně vedle sebe) a nedokonalostí a nejednoznačností ovládání dataprojektoru pomocí ovladače. Dálkové ovládání funguje pomocí infračerveného paprsku a tím pádem není možné nijak rozlišit, na které zařízení byl v omezeném rozsahu cílen. V praxi to tedy znamená, že při daném konceptu pracovní stanice, kde jsou všechny dataprojektory spojeny v podstatě do jednoho celku a není mezi nimi žádný prostor, je téměř nemožné pomocí dálkového ovládání ovládat jeden konkrétní dataprojektor, protože při sepnutí tlačítka na ovladači jsou z důvodu nedokonalosti dálkového ovládání aktivovány všechny dataprojektory v pracovní stanici.

Tyto dva způsoby ovládání jsou proto v praxi v podstatě nepoužitelné a bylo proto nutné hledat jiné způsoby řešení. Výrobce kromě těchto dvou způsobů poskytuje ještě navíc možnost komunikace pomocí *RS-232*, což bylo základním předpokladem pro vznik tohoto programu.

5.1.1 Konfigurace zařízení

Dalším důvodem, který vedl ke vzniku tohoto programu je fakt, že projekční zařízení jsou navrženy tak, že umožňují uložit v paměti právě jedno celkové nastavení zařízení. To vyplývá z předpokladu, že zařízení bylo navrženo tak, že na začátku používání proběhne jednotná konfigurace dle požadavků uživatele, která může být kdykoliv změněna, ale pouze

některým ze způsobů manuálního ovládání a to tak, že změnit lze libovolný parametr. Tento způsob opět naráží na přechozí problém s ovládáním a je prakticky nemožné jakýkoliv dataprojektor v nainstalované pracovní stanici konfigurovat.

5.1.2 Monitorování zařízení

V praxi je také nezbytně nutné mít při velkém počtu pracovních stanic, a tedy i projekčních zařízení, kontrolu nad tím, jak dané zařízení pracuje, zda nenastala porucha, kdy bude nutné vyměnit projekční lampy atd. To je velmi obtížné kontrolovat manuálně a je proto potřeba řízený monitoring. Kromě celkového stavu zařízení je nutné sledovat i různé parametry zařízení, a to zejména životnost projekční lampy. Celkový počet hodin, kdy je lampa v chodu je možné vyčíst z konfigurace zařízení, což opět naráží na problém ovládání. Bylo proto nutné implementovat i možnost monitoringu stavu zařízení i jeho parametrů.

5.2 Komunikační rozhraní

Kromě výše popsaných způsobů komunikace a problémů s nimi spojených, umožňují dataprojektory komunikaci i prostřednictvím sériového portu *RS-232C*, což bylo základním předpokladem pro realizaci tohoto projektu.

5.2.1 Obecný přehled

RS-232C je komunikační rozhraní využívající sériový přenos dat, což znamená, že data jsou na rozdíl od paralelní komunikace přenášena postupně po jednotlivých bitech za sebou a to simplexně, poloduplexně i plnoduplexně.

5.2.1.1 Princip přenosu dat

Rozhraní *RS-232C* využívá asynchronní přenos dat, který na rozdíl od synchronního přenosu dat nepoužívá samostatný vodič pro přenos synchronizačního signálu, ale synchronizační bity (nejčastěji 8 bitů) jsou ukládány na začátek a konec větších datových celků. Každý rámec se skládá z tzv. *start bitu*, kterým se změní stav linky, datová část, *paritní bit*, který slouží pro kontrolu chyb sériového přenosu a *stop bity*, ukončující rámec. Na rozdíl od synchronního přenosu dat je nutné obě komunikační strany (přijímač i vysílač) nastavit tak, aby přijímač věděl, v jakém formátu a s jakou přenosovou rychlostí budou data posílány. Nastavení musí být na obou stranách shodné a jedná se především o počet přenášených bitů v jednom celku, přenosovou rychlost v bitech za sekundu, délku *stopbitu* a způsob přenosu paritního bitu. [5]

5.2.1.2 Přenosová rychlost

Přenosová rychlost udává počet změn stavu přenosového média za sekundu, tedy počet přenesených bitů za sekundu. U standardu *RS-232C* se pro přenosovou rychlost udává jednotka modulační rychlosti (baud rate) baud, kde platí, že 1 baud = 1bit/s. Běžné přenosové rychlosti jsou 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 19200, 38400, 115200 bd. [6]

5.2.1.3 Parita

Parita neboli paritní bit je způsob ochrany proti chybám v sériovém přenosu dat. Princip spočívá v doplnění součtu jedničkových bitů paritním bitem tak, aby byla zachována podmínka sudého či lichého počtu jedničkových bitů. *Sudá parita* vyjadřuje způsob přidělení paritního bitu tak, aby součet jedničkových bitů doplněný o paritní bit byl sudý. *Lichá parita* musí být počet jedničkových bitů v součtu s paritním bitem liché číslo. *Nulová parita* vyjadřuje, že paritní bit je vždy 0, naproti tomu tzv. *mark parity* udává, že paritní bit je vždy 1. [7]

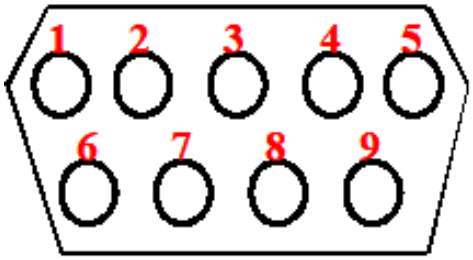
5.2.1.4 Napěťové úrovně

Rozhraní *RS232* využívá napěťové úrovně 0 (*space state*) a 1 (*marking state*). Napěťové úrovně jsou rozdílné pro datové a řídící signály – mají přesně opačnou logiku. *Space state* pro řídící signály je v rozmezí -3 V až -15 V a *marking state* je v rozmezí +3 V až +15 V. Naopak pro datové signály je *space state* v rozmezí +3 V až +15 V a *marking state* je v rozmezí -3 V až -15 V. [7]

5.2.2 Konkrétní specifikace

5.2.2.1 Hardware sériového portu

Obecně signály sériového portu dělíme na dvě skupiny, kde první skupina je složena ze dvou signálů určených pro přenos dat – signál pro vysílání dat označovaný jako *TxD* a signál pro příjem dat označovaný jako *RxD*. Druhou skupinu tvoří signály modemu sériového rozhraní, které přenášejí informace o stavu vysílače a přijímače sériových dat při navazování a spojení a zároveň řídí vlastní přenos dat. U dataprojektorů BenQ je přiřazení pinů sériového portu následující: [8]



Obr. 18 - Přiřazení pinů RS232 [12]

Tab. 1 - Popis pinů RS232

Pin	Název	Popis	Směr signálu
1	NC	Not Connected	-
2	RxD	Received Data	In
3	TxD	Transmit Data	Out
4	NC	Not Connected	-
5	GND	Ground	-
6	NC	Not Connected	-
7	RTS	Request to Send	Out
8	CTS	Clear to Send	In
9	NC	Not Connected	-

[13]

5.2.2.2 Softwarová komunikace

5.2.2.2.1 Konfigurace

První krokem k umožnění komunikace je nakonfigurování parametrů *RS232-C* protokolu pro obě komunikační zařízení. Pro dataprojektory BenQ je možné nastavit přenosovou rychlost v rozsahu od 2400 bd – 115200 bd, přičemž výchozí a doporučená rychlost je 115200 bd. Délka dat jednoho rámce je stanovena na 8 bitů, není obsažena informace o kontrole parity ani o kontrole toku dat a na 1 bitu je stop bit.

5.2.2.2.2 Komunikace

Komunikace probíhá odesíláním přesně specifikovaných příkazů, kterými je možné ze zařízení číst i zapisovat. Každý odeslaný vstupní znak je po přečtení koncovým zařízením

odeslán zpět k odesilateli a celkový návratový text je v případě, že byl odeslán příkaz pro zápis, shodný s příkazem, který byl odeslán. V případě čtení ze zařízení (byl odeslán příkaz pro čtení), je návratovou hodnotou aktuální hodnota dotazovaného parametru. Pro dotaz na aktuální stav možnosti komunikace je odeslán znak s ascii hodnotou 13 a pokud je návratová hodnota 3E, 00, je projektor připraven přijímat *RS-232* příkazy. Pokud se nejedná o žádný příkaz, po 5 sekundách je vrácena hodnota 0D, 0A, 00. Kontrola tvaru příkazu probíhá tím způsobem, že pokud se jedná o neplatný příkaz je návratová hodnota *„Illegal format“* a pokud je příkaz ve správném tvaru, ale není validní pro daný model je vráceno *„Unsupported item“*. Může nastat situace, že odeslaný příkaz je ve správném tvaru, ale z nějakého důvodu jej není možné spustit, což je signalizováno hodnotou *„Block item“*. Všechny příkazy týkající se stavu zařízení a příkaz spuštění by měly být prováděny v *low power* módu (<0.5 W). Návratová hodnota je zapsána vždy velkými písmeny. Ukázka některých příkazů je uvedena v následující tabulce (celý seznam příkazů je v uvedeném zdroji):

Tab. 2 - Seznam RS232 příkazů

Funkce	Typ	Operace	ASCII
Napájení	Write	Power On	<CR>*pow=on#<CR>
	Write	Power Off	<CR>*pow=off#<CR>
	Read	Power Status	<CR>*pow=?#<CR>
Nastavení obrazu	Write	Contrast +	<CR>*con=+#<CR>
	Write	Contrast -	<CR>*con=-#<CR>
	Read	Contrast value	<CR>*con=?#<CR>

[12]

5.3 Implementace

5.3.1 Použité prostředky

Pro vývoj tohoto projektu byl zvolen programovací jazyk C++, konkrétně standard C++14 a to především z důvodu výkonu, přenositelnosti a možnosti přístup k nízkoúrovňovým prostředkům. Projekt byl vytvořen s využitím frameworku VCL (Visual Component Library), který poskytuje dostatek prostředků potřebných pro realizaci tohoto projektu a to zejména širokou možnost tvorby grafického uživatelského rozhraní, prostředky pro komunikaci

s hardwarem, serializaci objektů a ukládání konfigurací, import knihoven atd. Program byl vyvíjen ve vývojovém prostředí RAD Studio 10.1 Berlin.

5.3.2 Struktura programu

5.3.3 Prostředky pro komunikaci s RS-232

Vzhledem k tomu, že komunikace přes sériový port je z hlediska vývoje softwaru poměrně náročná operace a framework VCL neposkytuje přímo rozhraní pro komunikace přes sériový port, ale podporuje připojit do projektu dynamicky připojitelné knihovny (DLL), bylo nutné napojit knihovnu, která rozhraní pro tuto komunikaci poskytuje.

5.3.3.1 Připojení DLL

Použití DLL v aplikaci je zajištěno pouze připojením knihovny importů do projektu, ale je potřeba použít i některé funkce Win API, které s DLL pracují přímo. Funkce `LoadLibrary()` mapuje specifikovaný proveditelný modul do adresového prostoru volajícího procesu. Tato funkce se obvykle používá pro získání handle daného modulu.

```
HINSTANCE LoadLibrary(LPCTSTR lpLibDFileName);
```

- lpLibFileName řetězec názvu proveditelného modulu (.DLL)

Funkce `FreeLibrary()` sníží počítadlo odkazů dříve nahrané DLL. Je-li počítadlo odkazů rovno nule, bude DLL vyjmuta z adresového prostoru volajícího procesu a její handle nebude již dále platný.

```
BOOL FreeLibrary(HMODULE hLibModule);
```

- *hLibModule* handle DLL, kterou chceme uvolnit. Handle lze získat předchozím voláním `LoadLibrary()`. Při úspěchu vrací true, při neúspěchu false.

Funkce `DllEntryPoint()` zajišťuje vstup do DLL.

```
BOOL WINAPI DllEntryPoint(HINSTANCE hinstDLL, DWORD fdwReason,
LPVOID lpvReserved).
```

- *hinstDLL* handle DLL, získáme voláním funkce LoadLibrary()
- *fdwReason* specifikuje, proč je funkce volána. Jsou povoleny hodnoty uvedené v tabulce
- *lpvReserved* rezervováno pro inicializaci a vyprazdňování

Tab. 3 - Popis stavů připojení DLL

Hodnota	Význam
DLL_PROCESS_ATTACH	Indikuje připojení DLL do adresářového prostoru aktivního procesu
DLL_THREAD_ATTACH	Indikuje vytvoření nového vlákna aktivním procesem
DLL_THREAD_DETACH	Indikuje vyprázdnění vlákna
DLL_PROCESS_DETACH	Indikuje odpojení DLL z adresového prostoru volající aplikace.

Funkce `GetProcAddress()` vrátí adresu specifikované exportní funkce obsažené v DLL.

```
FARPROC GetProcAddress (HMODULE hModule, LPCSTR lpProcName);
```

- *hModule* handle DLL (získáno voláním LoadLibrary())
- *lpProcName* řetězec jména funkce, nebo ordinálním číslo funkce
- Návratová hodnota: Adresa funkce ve formě ukazatele FARPROC, při chybě vrací NULL. [9]

5.3.3.2 Struktura DLL

Po úspěšném načtení DLL pomocí funkce `LoadLibrary()` popsané v předchozí části je možné získat ukazatele na metody definované v DLL pomocí funkce `GetProcAddress()`. Pokud se mapování všech potřebných ukazatelů na funkce implementované v načtené knihovně podaří (funkce `GetProcAddress()` nevrátí null), je možné začít využívat volání těchto funkcí přes získané ukazatele. Celá komunikace probíhá vždy v rámci jedné session, která zabezpečuje přístup ke komunikačním zdrojům tak, aby v rámci jednoho programu nebylo využíváno totéž rozhraní bez jakékoliv kontroly z několika různých zdrojů. Před začátkem komunikace je tedy potřeba vytvořit danou session pomocí funkce `StartSession()`. Na konci programu – tj. v destruktoru hlavní třídy programu je pak session ukončena pomocí volání funkce `EndSession()`. Po úspěšném ukončení session je možné uvolnit DLL z paměti pomocí volání `FreeLibrary()`. Pokud je session úspěšně vytvořena, je možné zinicializovat komunikační rozhraní a nastavit potřebné parametry RS232 pro komunikaci – tak aby se shodovaly s konfigurací cílového zařízení. To zprostředkovává

funkce `OpenProjectorInterface()` s prametry projectorId, stopBit, baudRate, dataLength, parityCheck, flowControl. V případě úspěšného otevření rozhraní je možné číst a zapisovat do koncového zařízení. Před odesláním příkazu je však nutné získat dostupný COM port, přes který je možné komunikovat. Seznam všech dostupných COM portů je možné získat pomocí volání funkce `GetComPorts(char **port_list)`, která postupně kontroluje dostupnost portů na indexech v rozsahu od 1 do 64. Kontrola je prováděna načtením konfigurace příslušného portu pomocí funkce `GetDefaultConfigW()`, dostupné z knihovny `winbase.h`. Seznam všech nalezených dostupných portů je předán do výstupního parametru jako pole řetězců. Při nalezení dostupných COM portů je již možné zahájit přímou komunikaci se zařízením prostřednictví *RS232* odesláním příkazů pomocí procedury `SendStringToProjector(int id, char* com, char* output)`, kde id představuje id projektoru, com popisuje vybraný COM port a output je parametr určený pro návratovou hodnotu odeslaného příkazu.

5.3.4 Popis modulů

5.3.4.1 CommandController

Modul CommandController slouží jako obálka pro přímou komunikaci se zařízením pomocí funkcí poskytovaných dynamickou knihovnou popsanou v předchozí části. Hlavním účelem je vytvořit rozhraní pro zápis a čtení hodnot tak, aby nebyly pro komunikaci v programu využívány funkce z DLL přímo, ale aby před odesláním daných hodnot do zařízení proběhla jejich validace a tím se zabránilo odesílání libovolných nepovolených hodnot do zařízení a tím pádem nekonzistentnímu chování celé aplikace. Dalším účelem tohoto modulu je i monitorování veškeré probíhající komunikace mezi programem a zařízením pomocí logování.

5.3.4.1.1 Inicializace

Inicializace tohoto modulu probíhá tím způsobem, že jsou načteny všechny příkazy z konfiguračního souboru commands.ini (viz sekce konfigurace) ve formátu specifikovaném v dokumentaci výrobce a následně jsou uloženy do pole, přičemž index, na kterém se hodnota daného příkazu nachází je specifikovaném výčtem `enum Command`, kde je specifikované přesné pořadí příkazů shodné s pořadím příkazů v konfiguračním souboru, ze kterého byly načteny. Další krokem inicializace je otevření výstupního streamu ofstream, který je určen pro logování veškeré činnosti spojené s komunikací se zařízením.

5.3.4.1.2 Odeslání příkazu

O odeslání příkazu na zařízení se stará metoda tohoto modulu `std::string sendCommand (Command command, Projector* sender)`, kde Command command je index příkazu z výčtového typu Command a Projector* sender je ukazatel na instanci třídy Projector, která představuje jedno konkrétní zařízení (viz sekce Projector). Před samotným odesláním příkazu do dataprojektoru proběhne validace vstupního příkazu, která je usnadněna už samotným návrhem formátu příkazů. V případě odeslání příkazů pro zápis s daným parametrem je rozhraní navrženo tak, že pokud se nejedná o číselnou hodnotu, je vždy vymezen výčet hodnot, které lze daným příkazem nastavit, a to tak, že pro každou hodnotu je vyhrazen samostatný příkaz. V případě, že je parametrem číselná hodnota, je rozsah povolených hodnot vždy od 1 do 100 a k dispozici jsou pro danou položku projektoru příkazy pro zvětšení hodnoty o 1 a zmenšení hodnoty o 1. Z tohoto návrhu vyplývá, že odpadá nutnost kontrolovat zapisovanou hodnotu daným příkazem a je pouze zapotřebí provést kontrolu, že id volaného příkazu je v rozsahu povolených příkazů pro dané zařízení. Odeslání příkazu je provedeno funkcí `SendStringToProjector()` popsanou v předchozí části.

5.3.4.2 Projector

Modul Projector slouží jako abstrakce konkrétního fyzického zařízení, což znamená, že daná instance třídy Projector se vždy váže k jednomu konkrétnímu dataprojektoru a veškeré parametry tohoto projektoru jsou namapovány do této instance. Modul zajišťuje tedy prostředky pro práci s konkrétním zařízením, monitorování jeho stavu a ukládání a načítání konfigurace jeho parametrů.

5.3.4.2.1 Inicializace

Inicializování dané instance mapující konkrétní dataprojektor probíhá tak, že je mu přiděleno unikátní id podle kterého je načtena poslední uložená konfigurace, ze které jsou načteny parametry active (parametr, který povoluje/zakazuje veškerou činnost s daným zařízením), name (pojmenování projektoru), port (přidělený COM port), baud_rate (přenosová rychlost), max_hour (maximální počet hodin provozu lamp), last_power_on (čas posledního zapnutí projektoru), last_power_off (čas posledního vypnutí projektoru). Pokud daná konfigurace není dostupná, jsou nastaveny implicitní hodnoty.

5.3.4.2.2 Metody modulu

5.3.4.2.2.1 Otevření komunikačního rozhraní

Před zahájením přímé komunikace odesíláním příkazů je nutné zinicializovat komunikační rozhraní na daném COM portu pro parametry určené pro každý dataprojektor. To je provedeno pomocí funkce `OpenProjectorInterface()`.

5.3.4.2.2.2 Zapnutí a vypnutí dataprojektoru

Po úspěšném otevření komunikačního rozhraní na příslušném COM portu je možné odeslat první příkaz, kterým je dataprojektor spuštěn. Vzhledem k tomu, že proces spouštění i vypínání dataprojektoru zabírá poměrně dlouhý čas, je potřeba s tímto faktem počítat a odesílání těchto dvou příkazů v programu ošetřit. Problémem je, že během procesu spouštění i vypínání dataprojektor neakceptuje žádné příkazy a proto není možné se v tomto časové intervalu dotazovat na stav zařízení. Bylo proto nutné zavést do programu časové konstanty, které vyjadřují přibližný čas obou těchto procesů. Zapnutí projektoru metodou powerOn() tedy probíhá tak, že je proveden rozdíl aktuálního času a času posledního vypnutí (který si každá instance drží v paměti) a pokud je tento čas menší než časový interval procesu vypínání, není příkaz pro zapnutí odeslán a metoda vrací hodnotu 1. Pokud podmínka není splněna, je odeslán příkaz pro zjištění aktuálního stavu dataprojektoru a v případě, že je dataprojektor již zapnutý (STATUS = ON), příkaz pro spuštění není odeslán a je vrácena návratová hodnota 2. V opačném případě je příkaz pro zapnutí dataprojektoru odeslán, je nastaven čas posledního zapnutí na aktuální čas a je vrácena návratová hodnota 0. Proces vypnutí projektoru je realizován analogicky.

5.3.4.2.2.3 Odeslání příkazu

Odesílání všech příkazů je abstrahováno do metody `int sendCommand (Command command)`, což podstatně zjednodušuje odesílání příkazů do zařízení z toho důvodu, že každá instance této třídy je namapovaná na parametry příslušného dataprojektoru a tím pádem je jasné, s jakým zařízením při volání této metody se bude pracovat a tím se dá vyhnout případnému nekonzistentnímu chování celé aplikace. Každá instance si drží v paměti referenci na instanci třídy CommandController, která je v celém programu pouze jedna. Pomocí této reference je odeslán zvolený příkaz. V případě, že není zavoláním metody pro odeslání příkazu navrácena žádná hodnota, indikuje to výskyt chyby a je vrácena hodnota -3. V případě, že je odeslán příkaz, který není pro dané zařízení podporován, je vrácená hodnota

„Block item“ a metoda vrátí hodnotu -1. Posledním možným případem návratové hodnoty je vrácení příkazu, který byl odeslán a pokud jde o příkaz čtení, je vrácena i návratová hodnota. Pokud se podaří tuto číselnou hodnotu z vráceného řetězce získat, je vrácena tato hodnota, v opačném případě je vráceno -2.

5.3.4.2.2.4 Kontrola portu

Kontrola portu, který je nastaven pro danou instanci třídy Projector je potřeba z důvodu ošetření situace, která může nastat jakoukoliv změnou způsobenou fyzickým zásahem do komunikačních zařízení či nevhodným nastavením konfigurace příslušné instance. Tato změna může způsobit, že port, který je namapovaný pro danou instanci se neshoduje s portem, který je pro komunikaci dostupný a přes který komunikace probíhá. Kontrola probíhá vždy při inicializaci či aktivaci této instance. V případě, že je projektor ve stavu Active, je načten seznam všech aktuálně dostupných COM portů pomocí funkce `GetComPorts()` a následně je v tomto seznamu vyhledán port namapovaný pro tuto instanci. Pokud je v seznamu nalezen, metoda vrací true a pokud není nalezen, je vypsaná chybová hláška a vrací false.

5.3.4.2.2.5 Serializace, deserizaliazace objektu

Pro každý objekt mapující daný projektor je nutné udržovat jeho stav i vypnutí programu a proto tento modul poskytuje možnost uložit aktuální nastavení a při dalším spuštění programu uvést objekt do stavu, ve kterém se před ukončením nacházel. K tomu slouží metody `void save()` a `void load()`, které zapíší a načtou stav objektu do/z konfiguračního souboru. (viz sekce konfigurace)

5.3.4.3 Moduly nastavení

Moduly pro nastavení jsou určeny především pro základní nastavení parametrů komunikačního rozhraní pro jednotlivá zařízení a dále slouží jako abstrakce pro odesílání konkrétních příkazů se zvolenými hodnotami do příslušných projektorů. Z hlediska návrhu aplikace jsou moduly pro nastavení dva, a to z toho důvodu, že k některým parametrům daného zařízení by měl mít přístup pouze uživatel s příslušným oprávněním, aby se zamezilo případnému nesprávnému nastavení zařízení a tím pádem i nekonzistenci celé pracovní stanice.

5.3.4.3.1 Základní nastavení

K základnímu nastavení má přístup každý běžný uživatel aplikace a umožňuje modifikovat základní vlastnosti každého zařízení v pracovní stanici. Poskytuje možnost aktivovat či

deaktivovat konkrétní projektor, což znamená, že pokud je projektor deaktivován, není možná jakákoliv komunikace s tímto zařízením, a to až do doby, dokud není opět ve stavu aktivní. Tato funkce slouží zejména k tomu účelu, aby bylo možné zakázat spuštění či vypnutí při startu/konce aplikace, které probíhá automaticky. Parametry, které je možné v tomto modulu měnit jsou jméno projektoru, které slouží jako pojmenování namapované instance na konkrétní zařízení, port, typ a baud rate. Dále umožňuje resetovat počet hodin lampy a uvést projektor do výchozího nastavení.

5.3.4.3.2 Pokročilé nastavení

Využívat metody modulu pokročilého nastavení má možnost pouze uživatel s potřebným přístupovým oprávněním. To je obvykle definováno v licenčním klíči, který je načítán při spuštění aplikace. Při běžném provozu pracovní stanice není obvykle nutné k tomuto nastavení přistupovat a tím pádem systém vystavovat případné nekonzinstenci. Tento modul zastřešuje nastavení všech parametrů poskytovaných daným projektorem a dále umožňuje uložení aktuálního nastavení do konfiguračního souboru či načtení již uložené konfigurace.

5.3.4.4 ProjectorManager

ProjectorManager je hlavní modul, který zastřešuje celou logiku programu a stará se o spouštění aplikace, inicializace objektů, kontrolu licence a načítání konfiguračních parametrů.

5.3.4.4.1 Inicializace

První krokem při spuštění je kontrola licenčního klíče pomocí funcke `LoadGuard()`. V případě, že není licenční klíč platný, je aplikace ukončena. V případě platné licence je načtena obecná konfigurace programu z příslušného konfiguračního souboru, ve kterém jsou uloženy parametry, mezi které patří číslo verze programu, čas posledního spuštění a uživatelské nastavení. V případě úspěšného zpracování vstupní konfigurace je načtena dynamická knihovna pro komunikace přes *RS232* (viz sekce DLL). O vytváření instancí a načtení konfigurací třídy Projector se stará jediná instance třídy ProjectorManagerCore, která slouží jako kontejner pro všechny instance této třídy. Zároveň je při této instanciaci provedena kontrola všech namapovaných COM portů pro konkrétní objekty a v případě, že pro danou instanci je daný port namapován správně, je invokována metoda pro spuštění příslušného projektoru.

5.3.4.4.2 Ukončení a uvolnění zdrojů

V metodě *close()* této třídy probíhá ukončení všech probíhajících operací, uvolnění zdrojů a uložení aktuálního stavu aplikace. Prvním krokem je dotaz na stav všech aktivních projektorů a pokud je alespoň jeden z nich ve stavu „INIT“ je vráceno chybové hlášení a program není možné ukončit z důvodu, že některé zařízení je právě ve fázi spouštění či vypínání a není možné tedy ukončit program, protože by se mohl dostat do nekonzistentního stavu. V opačném případě jsou zavolány metody pro serializaci všech příslušných objektů, je uvolněna veškerá alokovaná paměť a pro všechny instance třídy Projector je invokována metoda pro vypnutí zařízení a po uplynutí časového intervalu, který byl stanoven pro proces vypnutí je invokován destruktor celé aplikace.

5.3.4.4.3 Kontrola provozu lamp

Důležitou funkcí celé aplikace je monitoring provozu lamp v připojených zařízeních. Je nutné sledovat jejich celkový stav a dobu provozu, a to zejména z důvodu jejich svítivosti, která je klíčovým parametrem ve výrobním procesu. V pravidelných intervalech, které je možné nastavit v konfiguraci aplikace, je volána metoda pro zjištění stavu lampy pro všechny instance třídy Projector, uložené v kontejneru ProjectorManagerCore, která vrací počet hodin provozu dané lampy. V případě úspěšného přečtení je hodnota porovnána s definovanými konstantami v konfiguraci programu, které určují, při jakém počtu hodin provozu je potřeba na stav upozornit a jakým způsobem. Podle výsledku porovnání je pak odeslána příslušná notifikace, která může dle specifikace v konfiguraci indikovat varování či nutnost výměny lampy.

5.3.4.4.4 Instanciace aplikace

Z důvodu, aby se alespoň částečně omezila komunikace s projekčními zařízeními s několika různých míst najednou, která by mohla způsobit nekonzistentní stav celé aplikace, bylo nutné vytvořit *mutex* při vytváření instance aplikace. Ten zabrání tomu, aby bylo možné spustit proces aplikace v několika instancích a tím pádem je možné spustit pouze jedinou instanci programu.

```
HANDLE hMutex = OpenMutex(MUTEX_ALL_ACCESS, 0, L"ProjectorMa-
nager");

if (!hMutex)

{

     hMutex = CreateMutex(0, 0, L"ProjectorManager");
```

```
}
else return 0;
```

5.3.4.5 Konfigurace

Jedním ze základních funkčních požadavků bylo udržovat aktuální nastavení projekčních zařízení i celé aplikace tak, aby při každém spuštění této aplikace bylo možné uvést celý systém do předchozího stavu a předejít tak případné nekonzistenci. Dalším důvodem je zjednodušení celého procesu konfigurace parametrů projekčních zařízení a tím pádem i větší kontrola nad jednotným nastavením všech zařízení v dané pracovní stanici. Z důvodu výkonnosti, přenositelnosti a škálovatelnosti byl zvolen způsob ukládání a načítání konfigurací pomocí modulu pro práci se soubory INI knihovny *Vcl*.

5.3.4.5.1 Soubory INI

Přípona (INI) těchto souborů výstižně určuje jejich funkci. Tyto soubory se používají k inicializaci aplikace. Aplikace při svém spuštění z INI souboru načte například rozměry svého formuláře, cestu k souborům nebo jiné informace. Na konci běhu aplikace zase tyto informace ukládá zpět do INI souboru, aby je při opětovném spuštění mohla použít. INI soubor sestává ze sekcí (sections) (poznáme je podle toho, že jejich názvy jsou psány mezi []), sekce obsahující položky (keys) (poznáme je podle toho, že jejich názvy jsou následovány =) a hodnoty položek (values) (poznáme je podle toho, že jejich názvům předchází operátor =). Práce s INI soubory probíhá pomocí třídy TIniFile. [10]

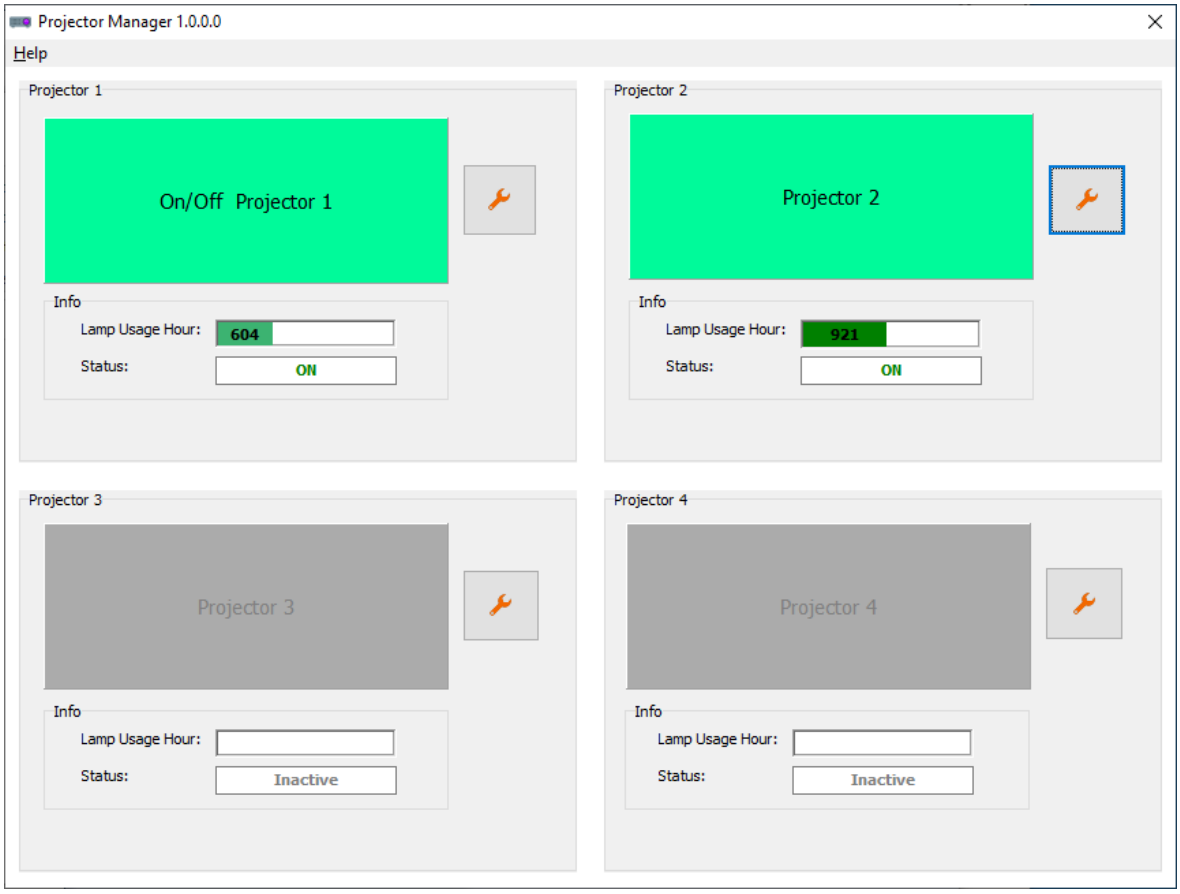
V aplikaci je konfigurováno několik objektů, mezi které patří například seznam všech dostupných příkazů pro zařízení, se kterými následně pracuje třída CommandController. Dalším objektem, jehož stav je ukládán, je každá instance třídy Projector, která uchovává aktuální nastavení jeho namapovaného projekčního zařízení. Dalšími konfiguračními soubory jsou pak konfigurace aplikace a také konfigurace přednastavených parametrů, které je možné použít pro zjednodušení procesu nastavování celého zařízení.

5.3.5 Uživatelské rozhraní

Při návrhu uživatelského rozhraní byl kladen důraz především na jednoduchost, přehlednost a intuitivní ovládání. Byly využity základní VCL komponenty ze skupiny *Standard Component Classes* frameworku VCL.

5.3.5.1 Hlavní panel

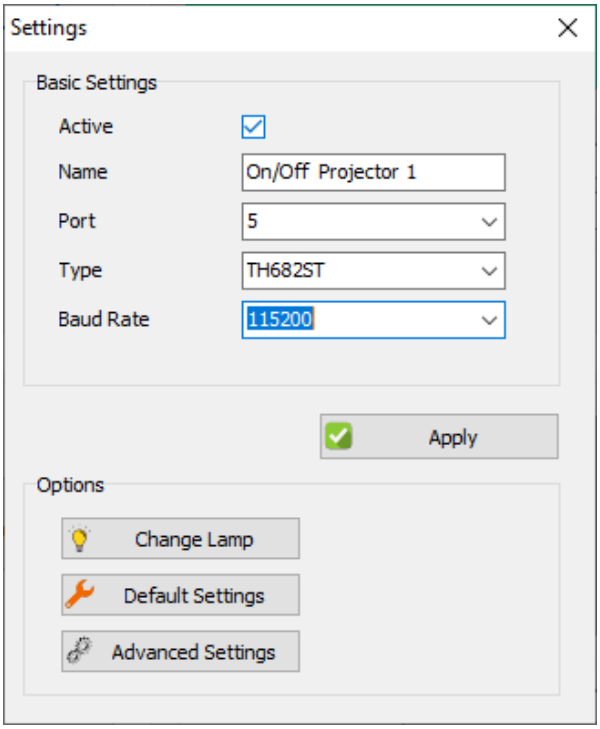
Z důvodu přehlednosti a rychlé orientace v aplikaci, bylo uživatelské rozhraní navrženo tak, aby monitoring byl přehledně zobrazen v jednom panelu a z něj bylo možné ovládat zařízení. Proto je hlavní panel třídy TForm rozdělen do čtyř částí, kde každá část je vyhrazena pro jedno zařízení. Do čtyř částí je pevně rozdělen z toho důvodu, že dle praktických zkušeností není za potřebí instalovat v pracovních stanicích zpravidla více než čtyři dataprojektory, a proto byl napevno stanoven tento počet i do uživatelského rozhraní. Každý sekce pokrývající jedno zařízen je instance třídy TGroupBox, která v sobě zahrnuje komponenty zobrazující stav daného zařízení a umožňuje jejich ovládání. Hlavním prvkem je tlačítko (TButton) pro vypnutí/zapnutí projektoru, jehož popis je zároveň pojmenováním příslušné instance dataprojektoru. Tento ovládací prvek přizpůsobuje svůj vzhled aktuálnímu stavu zařízení. V případě, že projektor není ve stavu Active, je tento ovládací prvek také deaktivován a není možné invokovat jeho události. Pokud je projektor aktivní a je ve stavu OFF, je komponenta zbarvena červenou barvou, v případě ON zelenou a případě stavu INIT oranžovou. O aktuálním stavu zařízení je informováno komponentou TEdit, která vypisuje stav zařízení. Zároveň je zobrazena informace i životnosti lamp zařízení a to pomocí komponenty, která zobrazuje číselnou hodnotu doby provozu lampy a zároveň prvek TProgressBar, který zobrazuje procentuální stav, kde 100% je aktuálně nakonfigurovaná hodnota maximální životnosti lampy a podle toho je i zobrazována barva tohoto prvku. V případě vzniklé notifikace způsobené dosažením nakonfigurovaných limitů životnosti lampy je zobrazena ikona upozorňující na dosažení tohoto limitu. Pro zobrazení aktuálního stavu vypínání/zapínání dataprojektoru je v této sekci umístěna komponenta TProgressBar, která zobrazuje časový průběh procesu vypínání/zapínání zařízení.



Obr. 19 - Projector Manager - hlavní panel

5.3.5.2 Základní nastavení

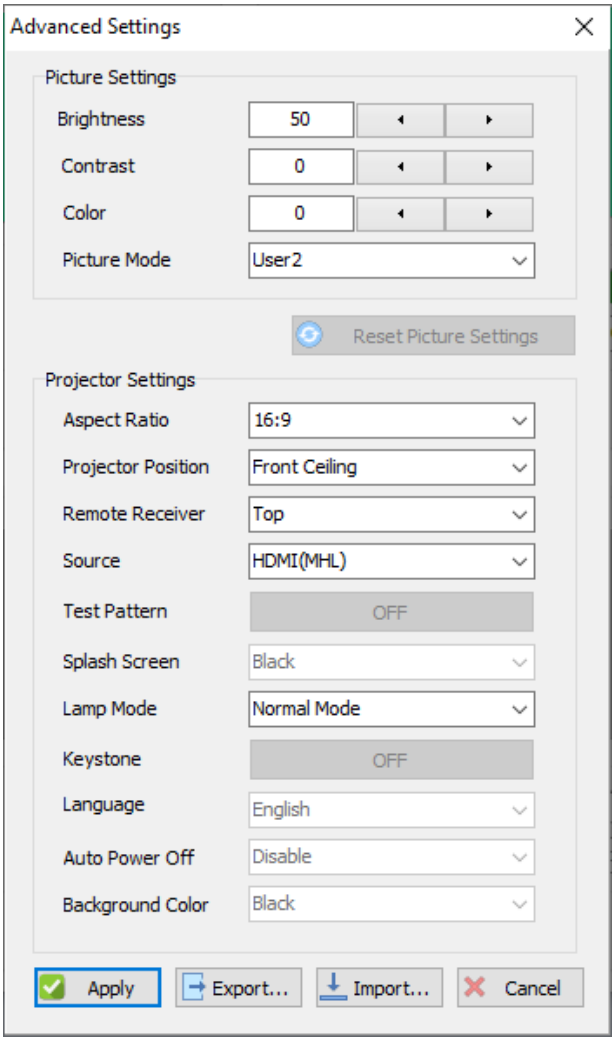
Pro přechod do modulu pro základní nastavení slouží tlačítko umístěné vedle prvku pro vypnutí/zapnutí zařízení a jeho stisknutím je vytvořeno dialogové okno, které slouží pro základní nastavení. Toto je rozděleno do dvou částí, kde v první části je možné nastavit základní parametry projektoru, které je nutné po zadání potvrdit a ve druhé části jsou komponenty pro výměnu lamp, uvedení zařízení do výchozí nastavení a možnost pokročilého nastavení.



Obr. 20 - Projector Manager - základní nastavení

5.3.5.3 Pokročilé nastavení

Přechodem z dialogového okna základní nastavení pomocí stisku tlačítka je možné přejít do dialogového okna pro pokročilé nastavení, a to pouze v případě, že k tomu má uživatel příslušné oprávnění. V případě, že oprávnění nemá, je zobrazena chybová hláška a přechod do tohoto modulu je mu znemožněn. Toto dialogové okno je rozděleno do dvou částí, kde v první části je možné nastavovat parametry týkající se obrazu, a nebo je možné tyto parametry uvést do výchozího nastavení. Druhá část obsahuje parametry, která popisují celkové nastavení daného zařízení. Modifikaci těchto parametrů je nutné potvrdit a dále je k dispozici možnost aktuální nastavení uložit či načíst ze souboru.



Obr. 21 - Projector Manager – pokročilé nastavení

5.3.5.4 Informační panel

Z hlavního ovládacího panelu je možné zvolit volbu hlavního menu (TPopupMenu) About, která zobrazí dialogové okno zobrazující informace o softwaru. Jsou zde uvedeny informace o verzi programu, licenčním klíči, a seznam kontaktů.

6 KALIBRACE PROJEKCE

Projektor, který je umístěn nad pracovní plochou musí promítat díly přesně v měřítku 1:1 a přesně ve stanovené pozici na pracovní ploše. Požadované vysoké přesnosti však nelze nikdy dosáhnout jen fyzickým nastavením pozice projektoru na nosné konstrukci nad pracovní plochou a nastavením zoomu (zvětšení či zmenšení obrazu) pomocí funkcí projektoru.

Dochází k těmto nepřesnostem:

- mírné odchýlení od svislé osy způsobuje tzv. lichoběžníkové zkreslení obrazu
- mírné horizontální natočení způsobuje zarotování obrazu
- nepřesné umístění projektoru nad středem pracovní plochy způsobí zobrazení dílu ve špatné pozici
- velikost dílů 1:1 nelze dosáhnout s dostatečnou přesností jen zoomovací funkcí projektoru.

Často se k osvícení požadované pracovní plochy musí použít současně dva i více projektorů a v těchto případech je přesné nastavení ještě daleko náročnější.

Přesné promítání lze tedy zajistit pouze pomocí propracované *kalibrační procedury*.

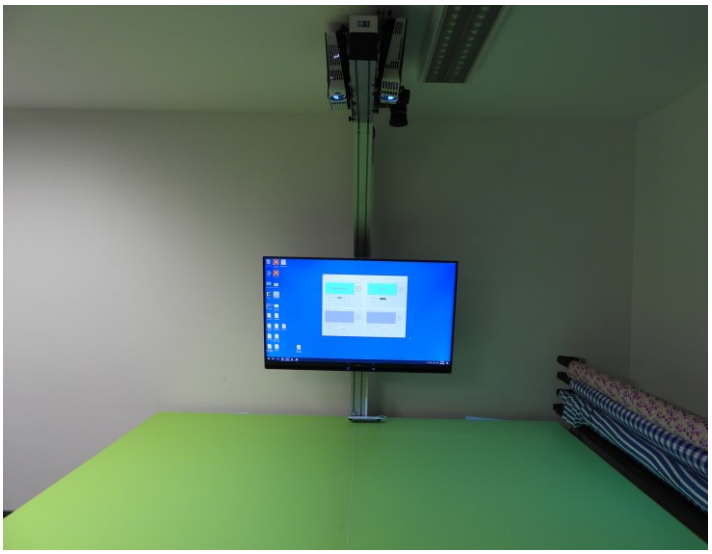
V následující části je popsána metodika a funkčnost procesu kalibrace, který byl vyvinut firmou MiriSys Software s.r.o a je používán v jejich softwarových modulech. Využívá se zde metody tzv. kalibrační mřížky, která umožní nastavit softwarové korekce promítaného obrazu tak, aby se promítané díly zobrazily vždy tvarově nezkreslené, ve správném měřítku a ve správné pozici.

Kalibrační proces probíhá v několika základních krocích:

1. Co nejpřesnější fyzické nastavení pozice projektoru nad pracovní plochou tak, aby byl obraz co nejméně tvarově zkreslen (lichoběžník, rotace) a aby osvítil celou pracovní plochu.
2. Nastavení rozmístění monitorů (což je monitor počítače a připojené projektory), jejich rozlišení a orientaci v nastavení systému Windows.
3. V kalibrační funkci software nadefinovat rozměry pracovní plochy v mm.
4. Nadefinování kalibrační mřížky ve velikosti pracovní plochy.
5. Vykreslení a přesné umístění kalibrační mřížky na pracovní plochu.
6. V kalibrační funkci software nadefinovat rozlišení projektorů a pozici zobrazení v pixelech.
7. Vysvícení kalibrační mřížky pomocí projekce na pracovní plochu, kde je již umístěna vykreslená kalibrační mřížka.
8. Porovnat rozdíly mezi vykreslenou a promítanou mřížkou a pomocí nastavení softwarové korekce promítaného obrazu dosáhnout shody obou kalibračních mřížek – vykreslené a promítané.

6.1 Umístění projektorů

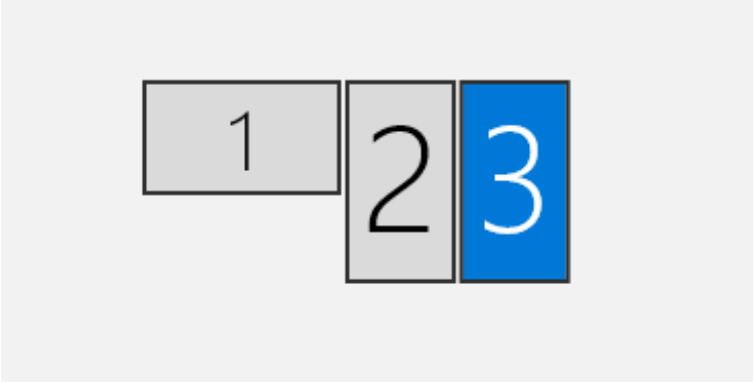
Projektor se umístí nad pracovní plochou ve vhodné pozici a výšce tak, aby osvítil celou pracovní plochu. Fyzické nastavení pozice projektoru nad pracovní plochou je vhodné provést vždy co nejpřesněji tak, aby byl obraz co nejméně tvarově zkreslen (lichoběžník, rotace) a aby optimálně osvítil celou pracovní plochu. Přesné fyzické nastavení pak nevyžaduje tak velké následné softwarové korekce zobrazení. V případě, že jeden projektor nepokryje požadovanou pracovní plochu, použije se sestava 2 nebo i více projektorů.



Obr. 22 - Umístění 2 projektorů nad pracovní plochou

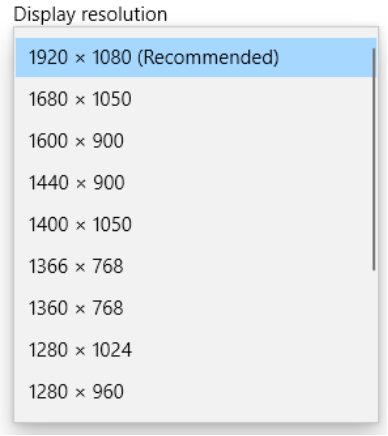
6.2 Nastavení monitorů ve Windows

Projektory figurují v systému Windows jako samostatné monitory a je potřeba je vhodně uspořádat a případně nastavit jejich orientaci podle toho, jak jsou fyzicky umístěny nad pracovní plochou. Monitor počítače je nejčastěji umístěn vlevo a projektory pak vpravo ve správném pořadí. Nastavení se ve Windows provede pomocí funkce "**Display settings**"

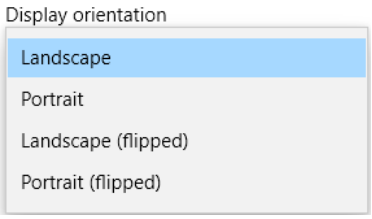


Obr. 23 - Rozmístění monitorů - dva projektory otočené o 90 stupňů

Dále je třeba nastavit správné rozlišení obrazu v pixelech a požadovanou orientaci (landscape, portrait), případně zrcadlové překlopení obrazu (flipped).



Obr. 24 - Nastavení rozlišení



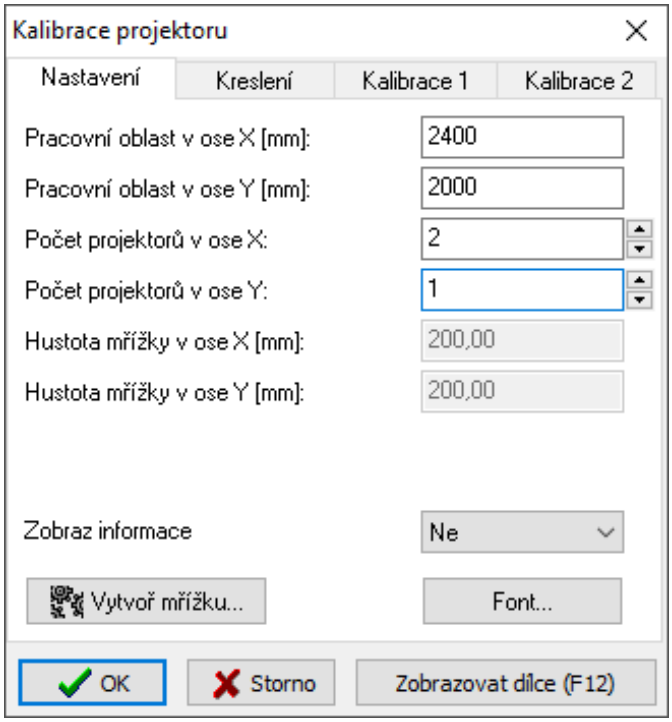
Obr. 25 - Orientace obrazu

Další kroky se již provádějí pomocí speciálních kalibračních funkcí v softwarovém modulu firmy MiriSys Software s.r.o.: **Plug-in Projection**.

6.3 Nastavení rozměrů pracovní plochy a parametrů mřížky v modulu Plug-in Projection

Po spuštění kalibrační procedury v modulu **Plug-in Projection** se zobrazí dialogy, kde na první záložce **Nastavení** postupně zadáme:

- Rozměr pracovní plochy v mm: např. 2400 x 2000 mm
- Počet použitých projektorů v ose x a y: 2 x 1
- Zvolíme vhodnou hustotu kalibrační mřížky v ose x a y, např.: 200 x 200 mm
- Pomocí funkce **Vytvoř mřížku** vygenerujeme data kalibrační mřížky, s kterými se bude dále pracovat.

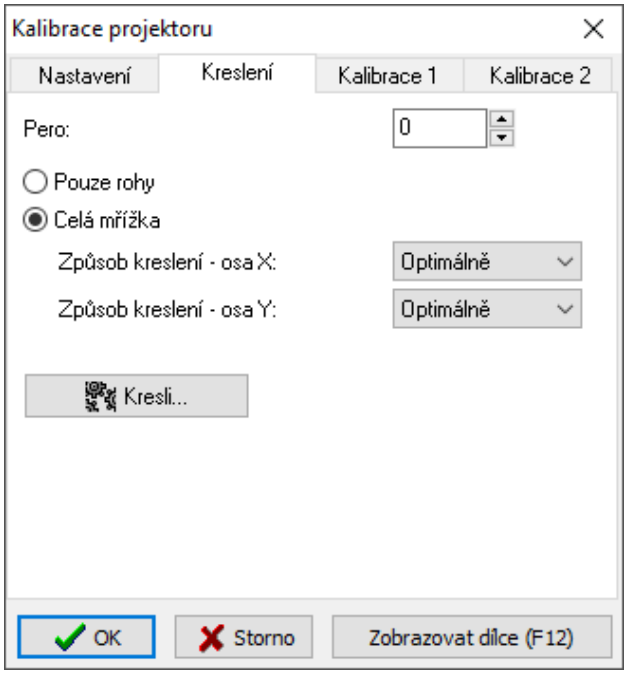


Obr. 26 - Parametry pracovní plochy a kalibrační mřížky

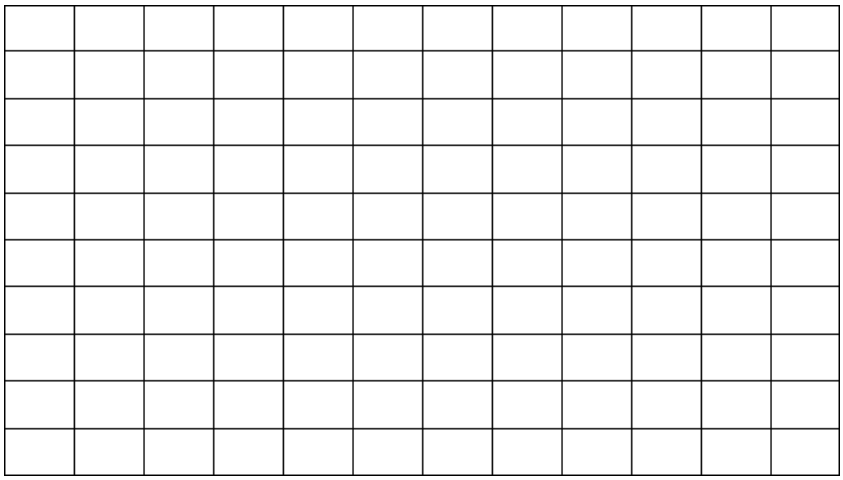
6.4 Vykreslení kalibrační mřížky na plotteru

Pomocí funkce **Kresli** na záložce **Kreslení** provedeme vykreslení mřížky dle zadaných parametrů na plotteru. Kreslení se obvykle provádí na pevný papír. Pokud se projekce provádí na cutteru, je ideální vykreslit tuto mřížku přímo pomocí tohoto cutteru. Cuttery jsou vybaveny většinou i nástrojem pro kreslení. To má výhodu, že mřížka je vykreslena ve skutečně správné pozici na pracovní ploše cutteru.

Pokud byla mřížka vykreslena na plotteru mimo pracovní plochu s projekcí, pak je třeba tuto vykreslenou mřížku následně přesně umístit na pracovní plochu.



Obr. 27 - Funkce pro vykreslení kalibrační mřížky



Obr. 28 - Vykreslená kalibrační mřížka

6.5 Nastavení pozice a rozměrů okna projekce v pixelech

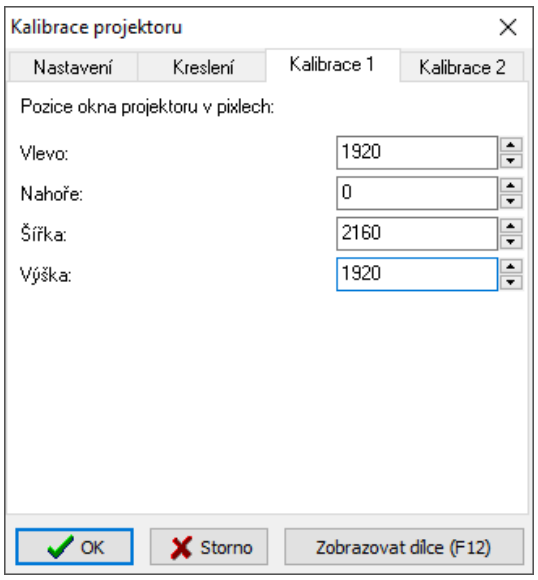
Nastavení pozice a rozměrů okna projekce se provede pomocí parametrů na záložce **Kalibrace 1**.

Na následujícím příkladu je ukázáno nastavení parametrů při použití 2 projektorů 1080 x 1920 pixelů, přičemž uspořádání ve Windows je dle následujícího obrázku. Monitor 1 je monitor počítače s rozlišením 1920 x 1080 pixelů.

Postupně zadáme následující parametry:

- Pozice okna projekce v pixelech: 1920, 0

- Rozměry okna projekce v pixelech: 2160, 1920



Obr. 29 - Parametry okna projekce v pixelech

6.6 Kalibrace zobrazení projekce s využitím kalibrační mřížky

Po zadání všech parametrů v předchozím bodě lze již pomocí projektorů vysvítit nadefinovanou kalibrační mřížku na pracovní plochu, na které již máme vykreslenou kalibrační mřížku, která je umístěná ve správné pozici.

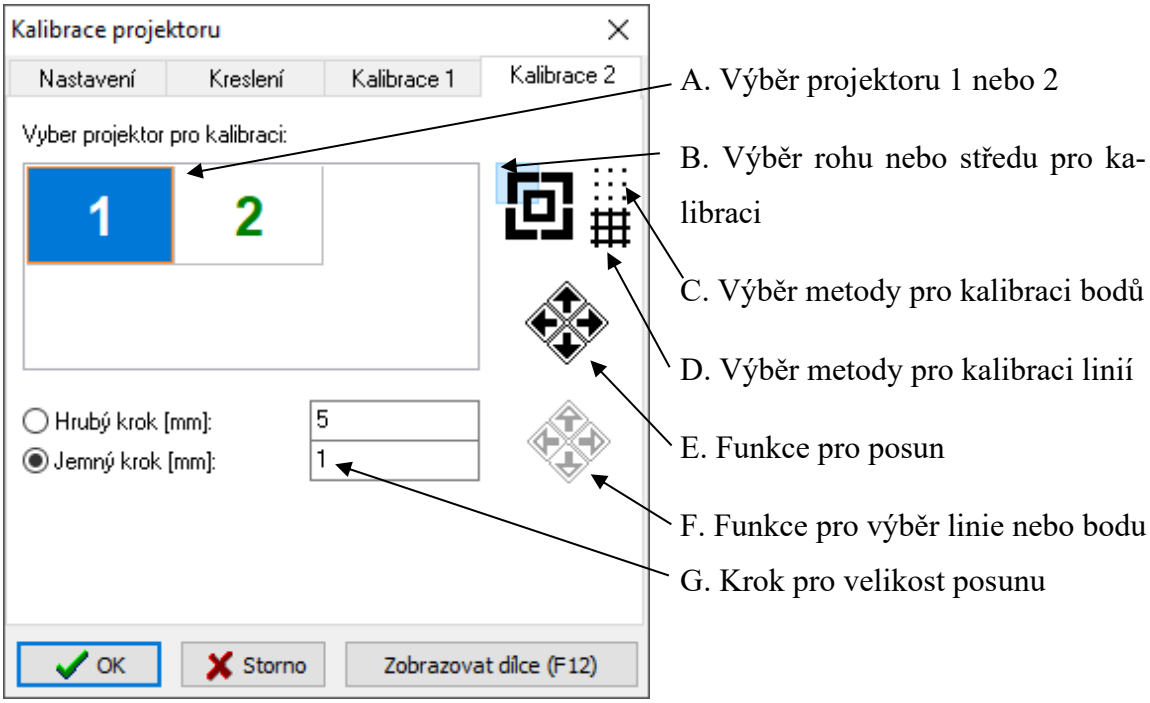
Jak již bylo dříve uvedeno, vysvícená kalibrační mřížka pomocí projektorů není bez kalibrace nikdy přesně zobrazená ve správné pozici a rozměrech.

Proces kalibrace pak spočívá v tom, že operátor porovnává rozdíly mezi vykreslenou a promítanou mřížkou a pomocí kalibračních funkcí na záložce **Kalibrace 2** provádí posuny a korekce promítaného obrazu tak, aby se dosáhlo shody obou kalibračních mřížek – vykreslené a promítané.

Pomocí propracovaných funkcí může operátor nastavovat zobrazení promítané mřížky do správné pozice následně:

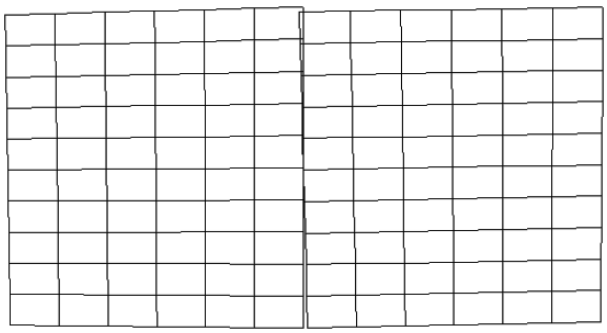
- Posunem celé mřížky nebo jejich rohů
- Posunem jednotlivých linií mřížky (vertikálních nebo horizontálních)
- Posunem jednotlivých uzlů (průsečíků linií mřížky)

Při této činnosti operátor využívá myši a klávesnice.

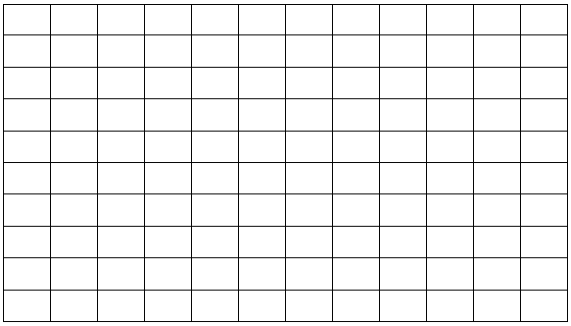


Obr. 30 - Menu s funkcemi pro kalibraci s využitím kalibrační mřížky

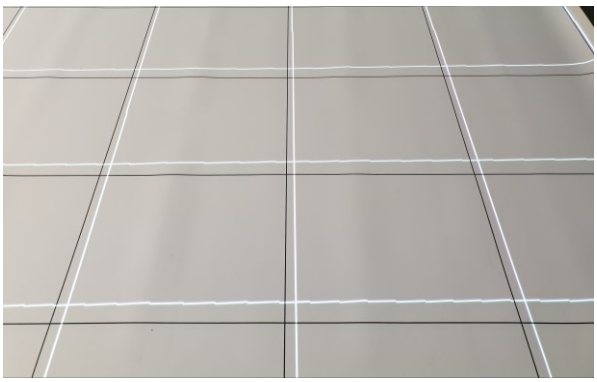
Na následujícím obrázku je znázorněna situace, jak by mohl vypadat tvar kalibrační mřížky vysvícené projektory (při použití 2 projektorů) před kalibrací a jak by měla vypadat po správném zkalibrování zobrazení.



Obr. 31 - Situace před kalibrací



Obr. 32 - Situace po kalibraci



Obr. 33 - Reálná situace před kalibrací

Obr. 34 - Reálná situace po kalibraci

Po dokončení procesu kalibrace, kdy jsme dosáhli toho, že vykreslená a promítaná kalibrační mřížka se co nejlépe shodují, se provede uložení kalibračních parametrů do konfigurace systému. S těmito uloženými parametry pak následně pracují zobrazovací funkce příslušných softwarových modulů (např. modul interaktivního polohování, sorting atd.), což umožní promítání dílů tak, aby se zobrazily tvarově nezkreslené a ve správných pozicích.

6.7 Dodatečná kalibrace podle tloušťky materiálu

Kalibrace projekce, která byla popsána v předchozí části, lze bez problémů použít, pokud materiál, na který se promítá, má stále stejnou tloušťku a tato tloušťka není velká.

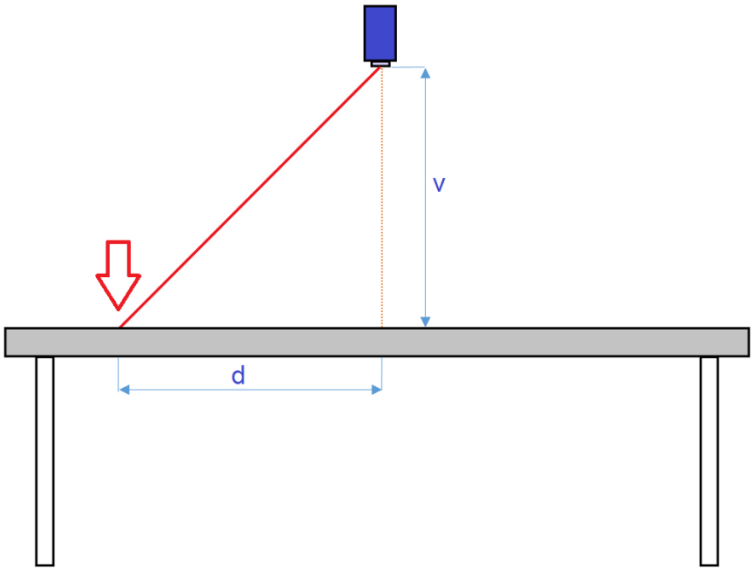
Pokud však má materiál větší tloušťku, dochází k určité nepřesnosti v promítání. Čím více je promítaný bod vzdálen od středu projekce, tím více se promítá pod úhlem a na povrchu materiálu se pak zobrazí ve špatné pozici.

Řešení jsou v tomto případě dvě:

1. Provést kalibraci popsanou v předchozích bodech samostatně pro každou používanou tloušťku materiálu.
2. Provést jen jednu kalibraci pro nulovou tloušťku materiálu a dodatečnou korekci zobrazení pak provádět automaticky matematickým výpočtem podle zadané tloušťky materiálu.

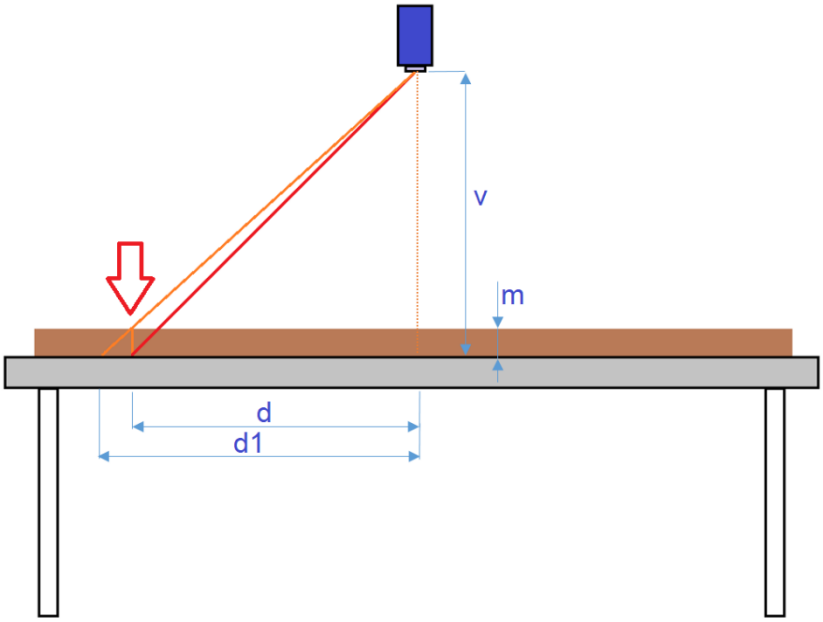
V rámci této práce byla vyvinuta vlastní funkce pro kalibraci dle bodu 2. V následující části je toto řešení podrobně popsáno.

Na následujícím obrázku je schematicky znázorněno pracoviště s projektorem umístěným nad pracovní plochou ve výšce **v** a situace, kdy promítáme bod ve vzdálenosti **d** od středu projekce, a to na materiál s nulovou tloušťkou.



Obr. 35 - Schematické znázornění pracoviště

Na dalším obrázku je pak znázorněná tatáž situace s tím rozdílem, že promítáme na povrch materiálu s tloušťkou **m**. Pokud chceme promítnout bod na povrchu tohoto materiálu ve vzdálenosti **d**, musíme ve skutečnosti bod promítnout do vzdálenosti **d1**, jak je názorně naznačeno na obrázku.



Obr. 36 - Schéma pracoviště s materiálem dané tloušťky

Na základě tohoto schématu pak můžeme provést matematickou korekci promítání. Při výpočtu pracujeme s těmito parametry a proměnnými:

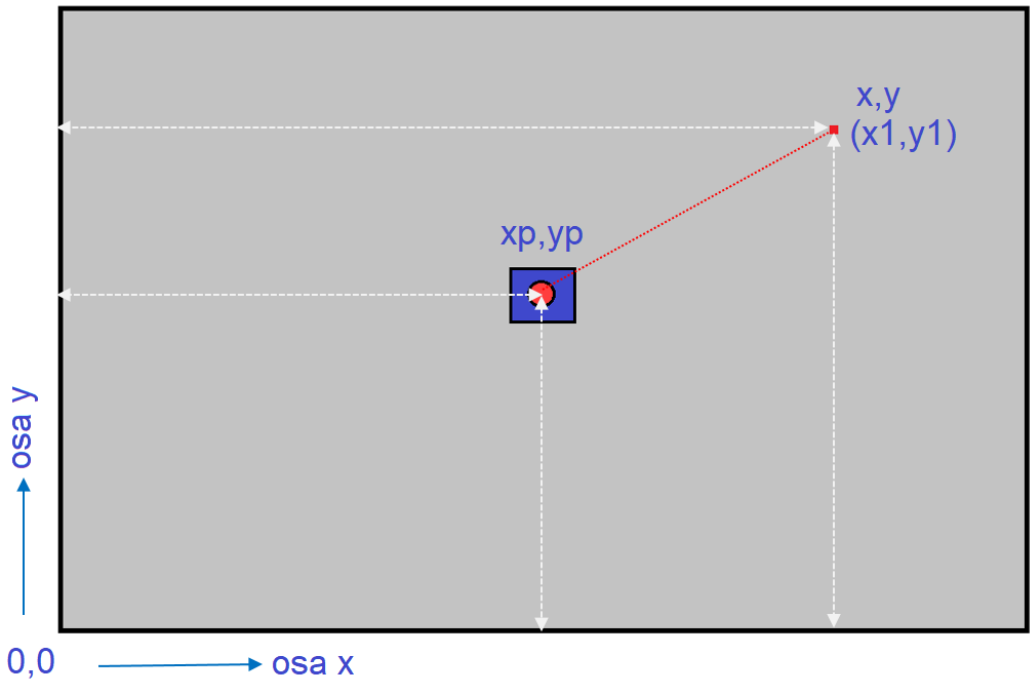
- **v** – výška projektoru nad pracovní plochou
- **m** – tloušťka materiálu umístěného na pracovní ploše
- **d** – požadovaná pozice, ve které se má promítnout bod na povrch materiálu
- **d1** – přepočítaná pozice promítaného bodu na povrch pracovní plochy tak, aby se na povrchu materiálu zobrazil právě v požadované pozici **d**.

Přepočet pozice provedeme podle následujícího vzorce:

$$\boldsymbol{d1 = d * \frac{v}{(v - m)}}$$

Při použití výpočtu této korekce v reálné situaci je pak třeba ještě pracovat se souřadnou soustavou pracovní plochy a pozicí projektoru v této souřadné soustavě. Situace je znázorněna na následujícím obrázku.

Na tomto obrázku je znázorněn pohled na pracovní plochu shora, kde počátek souřadné soustavy **0,0** je v levém dolním rohu, pozice projektoru je **xp, yp** a pozice, ve které chceme promítnout bod na povrch materiálu je **x, y**. Přepočítaná pozice je pak **x1, y1**.



Obr. 37 - Pohled na pracovní plochu shora

Kalibrační funkce zapsaná v jazyku C pak bude vypadat následovně:

```
int kalibrace_podle_materialu (
                  float xp, float yp,       //pozice projektoru v souřadné soustavě
                  float v,          //výška projektoru nad pracovní plochou
                  float m,          //tloušťka materiálu
                  float x, float y,         //požadovaná pozice bodu na povrchu materiálu
                  float *x1, float *y1)     //zkalibrovaná pozice bodu pro promítání
{
   float dx, dy, dx1, dy1;
   if (m <= v)  return(-1);      //chyba
    //vzdálenost pozice bodu od pozice projektoru
   dx = x - xp;
   dy = y - yp;
    //zkalibrovaná vzdálenost pozice bodu od pozice projektoru
   dx1 = dx * v /(v-m);
   dy1 = dy * v /(v-m);
    //vysledná zkalibrovaná souřadnice bodu
   *x1 = xp + dx1;
   *y1 = yp + dy1;
   return(0);
}
```

Obr. 38 - Funkce pro kalibraci podle materiálu

ZÁVĚR

Výstupem této práce je ucelený přehled využití digitální projekce v průmyslové výrobě a především pak vytvoření a popsání prostředků, které práci s digitální projekcí umožňují, ve spolupráci s firmou MiriSys Software s.r.o.

Teoretická část se zabývá popisem projekce a projekčních zařízení. V první části jsou uvedeny používané technologie projektorů, kde nejrozšířenější a nejvíce zastoupenou technologií na trhu je LCD, ale dalšími používanými technologiemi jsou například DLP či CRT. Dále jsou v této části popsány hlavní parametry ovlivňující projekci, mezi které patří rozlišení, světelný výkon, kontrast, projekční vzdálenost a životnost projekční lampy. Tuto část uzavírá obecné rozdělení typů projektorů.

Druhá část teorie popisuje konkrétní výrobní aplikace, kde lze projektory využít. Nejčastějšími případy využití jsou aplikace pro interaktivní polohování a interaktivní polohování do kůží. Mezi další popisované aplikace pak patří interaktivní polohování do látky s kárem, systém pro odebírání a třídění vyřezaných dílů, využití projekce při vysekávání dílů pomocí válcových lisů a využití projekce pro kontrolu dílů (kontrola tvaru vyřezaných dílů, sestavování dílů pro šití).

Posledním bodem teoretické části bylo navržení několika možných konfigurací hardware a software pro vybrané aplikace ve výrobě. Byly navrženy možné konfigurace pro pracoviště pro vyřezávání dílců kůží s využitím interaktivního polohování, pracoviště pro odebírání a třídění vyřezaných dílů a pracoviště pro polohování vysekávacích nožů.

Výstupem praktické části je program umožňující ovládaní, monitoring a konfiguraci projekčních zařízení pro pracovní stanice. První krokem bylo stanovení funkčních a nefunkčních požadavků. Po stanovení požadavků bylo možné aplikaci navrhnout a naimplementovat. Celý vývoj probíhal s využitím testovací pracovní stanice firmy MiriSys Software s.r.o. a tím pádem bylo možné testovat aplikaci již během vývoje přímo s využitím hardwarových prostředků. Během vývoje vyvstalo několik překážek, mezi které patřila například nejednotná příkazová sada pro konkrétní modely projektorů BenQ. Bez větších překážek se však podařilo vydat a otestovat funkční verzi této aplikace, která je již využívána v reálných instalacích pracovních stanic. Do budoucna je v plánu několik možných vylepšení, mezi které patří například centrální monitoring všech pracovních stanic či mobilní verze této aplikace.

Druhým bodem praktické části je podrobný manuál tzv. kalibrační procedury, která popisuje kalibraci projekce. Jsou zde popsány jednotlivé kroky popisující umístění projektorů, nastavení projektorů v operačním systému, nastavení rozměrů pracovní plochy a parametrů mřížky v modulu Plug-in Projection, vykreslení kalibrační mřížky na plotteru, nastavení pozice a rozměrů okna projekce v pixelech, kalibrace zobrazení projekce s využitím kalibrační mřížky a dodatečná kalibrace podle tloušťky materiálu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ČAREK, Jan. Digitální projektory – promítačky 21. století. *Cnews.cz* [online]. 2010 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.cnews.cz/digitalni-projektory-promitacky-21-stoleti/

[2] ŠPITÁLNÍK, Michal. Jak vybrat vhodný datový projektor. *SystemOnline* [online]. 2005 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.systemonline.cz/clanky/jak-vybrat-vhodny-datovy-projektor.htm

[3] KOLÁČEK, Michal. Parametry projektorů - co je dobré vědět? *TVFreak* [online]. 2008 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.tvfreak.cz/parametry-projektoru-co-je-dobre-vedet/2733

[4] Jak funguje dataprojektor? Na co byste měli při jeho koupi myslet? *Objevit.cz* [online]. 2012 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.objevit.cz/jak-funguje-dataprojektor-t11464

[5] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Sériový port RS-232C. *Root.cz* [online]. 2008 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.root.cz/clanky/seriovy-port-rs-232c/

[6] Baud rate. *Itbiz* [online]. 2011 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.it-biz.cz/slovnik/telekomunikace/baud-rate

[7] Sériový port RS232. *Papouch Store* [online]. 2019 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://papouch.com/seriovy-port-rs232-p3740/

[8] VACEK, Václav. *Sériová komunikace ve WIN 32*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-086-5.

[9] Použití DLL. *C++ Builder - vývojové prostředí: určeno pro verze 4.0 a 5.0*. 2. rozš. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000. ISBN 80-86056-70-8.

[10] Použití souborů INI a RES. *C++ Builder - vývojové prostředí: určeno pro verze 4.0 a 5.0*. 2. rozš. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000. ISBN 80-86056-70-8.

[11] BenQ Projector. In: *BenQ* [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: https://www.benq.eu/

[12] BENQ. *BenQ RS232 Code* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: www.benq.eu

[13] BIES, Lammert. RS232 serial cables pinout. *Lammertbies.nl* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: https://www.lammertbies.nl/comm/cable/rs-232

[14] *Dataprojektory* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: http://www.kyberman.wz.cz/files/10_Projektory.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MRP *Manufacturing Resource Planning*. Plánování výrobních zdrojů.

LCD *Liquid Crystal Display*. Displej z tekutých krystalů.

DLP *Digital Light Processing*. Technologie tvorby obrazu v digitálních projektorech.

DMP *Digital Micromirror Device*. Technologie tvorby obrazu v digitálních projektorech

CRT *Cathode Ray Tube*. Katodová trubice

CNC *Computer Numeric Control*. Číslicové zařízení sloužící k automatizaci.

RS232 *Recommended Standard 232*. Komunikační rozhraní – sériová linka.

COM *Communication Port*. Komunikační port.

TxD *Transmit Data*. Vysílání dat,

RxD *Receive Data*. Příjem dat.

VCL *Visual Component Librabry*. Framework učený pro vývoj aplikací.

DLL *Dynamic Linked Library*. Dynamicky připojovaná knihovna.

INI *Inicialization*. Přípona inicializačního souboru.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Projektor BenQ 9
Obr. 2 - LCD 15
Obr. 3 - DLP 15
Obr. 4 - CRT 16
Obr. 5 - Zobrazení obuvnických dílů na kůži 18
Obr. 6 - Látka se vzorem 20
Obr. 7 - Vyřezávací linka na kůže se sekcí pro odebírání vyřezaných dílů 20
Obr. 8 - Vysekávací linka s válcovým lisem 21
Obr. 9 - Zobrazené díly na kůži pomocí projekce 22
Obr. 10 - Vysvícené díly na pracovní ploše 23
Obr. 11 - Výpočet umístění výšky projektoru 28
Obr. 12 - Uspořádání pracoviště s projekcí 28
Obr. 13 - Výpočet umístění výšky projektoru 30
Obr. 14 - Uspořádání pracoviště s projekcí 30
Obr. 15 - Výpočet umístění výšky projektoru 32
Obr. 16 - Uspořádání pracoviště s projekcí 33
Obr. 17 - Umístění dataprojektorů v pracovní stanici 36
Obr. 18 - Přiřazení pinů RS232 39
Obr. 19 - Projector Manager - hlavní panel 51
Obr. 20 - Projector Manager - základní nastavení 52
Obr. 21 - Projector Manager – pokročilé nastavení 53
Obr. 22 - Umístění 2 projektorů nad pracovní plochou 55
Obr. 23 - Rozmístění monitorů - dva projektory otočené o 90 stupňů 55
Obr. 24 - Nastavení rozlišení 56
Obr. 25 - Orientace obrazu 56
Obr. 26 - Parametry pracovní plochy a kalibrační mřížky 57
Obr. 27 - Funkce pro vykreslení kalibrační mřížky 58
Obr. 28 - Vykreslená kalibrační mřížka 58
Obr. 29 - Parametry okna projekce v pixelech 59
Obr. 30 - Menu s funkcemi pro kalibraci s využitím kalibrační mřížky 60
Obr. 31 - Situace před kalibrací 60
Obr. 32 - Situace po kalibraci 61

Obr. 33 - Reálná situace před kalibrací.....61
Obr. 34 - Reálná situace po kalibraci.....61
Obr. 35 - Schematické znázornění pracoviště 62
Obr. 36 - Schéma pracoviště s materiálem dané tloušťky 63
Obr. 37 - Pohled na pracovní plochu shora 64
Obr. 38 - Funkce pro kalibraci podle materiálu.....64

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Popis pinů RS232 39
Tab. 2 - Seznam RS232 příkazů 40
Tab. 3 - Popis stavů připojení DLL 42

SEZNAM PŘÍLOH

P1 Obsah CD

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY

Přiložené CD obsahuje:

- Text:
  - Vyuziti_digitalni_projekce_obrazu_v_prumyslove_vyrobe_Jiri_Mrazek.docx – bakalářská práce ve formátu docx
  - Vyuziti_digitalni_projekce_obrazu_v_prumyslove_vyrobe_Jiri_Mrazek.pdf – bakalářská práce ve formátu pdf
- Zdrojové kódy
  - prilohy.zip – Zdrojové kódy pro aplikaci Projector Manager