

# Automatická identifikace pilových pásů

Bc. Luděk Koutný

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Luděk Koutný**  
Osobní číslo: **A13432**  
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Automatická identifikace pilových pásů**  
Téma anglicky: **Automatic Identification of Band Saws**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Analyzujte a popište současný průběh procesu broušení pilových pásů - tj. manuální měření a identifikaci typu pásu.
3. Navrhněte algoritmus pro identifikaci a měření parametrů pilového pásu pomocí kamery.
4. Jednotlivé typy naměřených profilů zubů ukládejte do databáze.
5. Navržený algoritmus implementujte a otestujte na několika vzorcích pilových pásů.
6. Naznačte, jak se bude dát vytvořený systém využít pro automatické řízení procesu broušení pilových pásů.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. DOBEŠ, Michal. Zpracování obrazu a algoritmy v C#. Praha: BEN – technická literatura, 2008, 143 s. ISBN 978-80-7300-233-6.
2. ŽÁRA, Jiří, Bedřich BENEŠ, Jiří SOCHOR a Petr FEKEL. Moderní počítačová grafika. Brno: Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0454-0.
3. STRAKA, Stanislav. Segmentace obrazu. Brno, 2009. Diplomová práce. Masarykova Univerzita, Fakulta informatiky.
4. BRADSKI, Gary a Adrian KAEHLER. Learning OpenCV. O'Reilly Media, 2008. ISBN 978-0-596-51613-0.
5. CHROBOCZEK, Martin. Grafická uživatelská rozhraní v Qt a C++. Brno: Computer Press, 2013, 392 s. ISBN 978-80-251-4124-3.
6. SCHNEIDER, Robert. MySQL: oficiální průvodce tvorbou, správou a laděním databází. Praha: Grada Publishing, 2006, 372 s. ISBN 80-247-1516-3.
7. KAŠPAR, Ladislav. Analýza konveční technologie dělení materiálu. Brno, 2008. 42s. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
8. SIMMONDS, Arthur. Wide Bandsaws: The Art of Saw Doctoring. London: Stobart, 1980.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Gazdoš, Ph.D.**  
Ústav řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: **27. února 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **20. května 2015**

Ve Zlíně dne 27. února 2015

  
doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové 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 diplomovou/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 diplomové 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 diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové 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 diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

V této diplomové práci je představeno vyvíjené rozhraní pro automatickou identifikaci pilových pásů. Tento systém umožní identifikovat pilový pás prostřednictvím počítače a digitální kamery. Navrhovaný systém obsahuje hlavní uživatelské prostředí a několik režimů pro ukládání a editaci nasnímaných profilů. Úvod práce je věnován rešerši podobných systémů na trhu. Pokračuje charakteristikou pilových pásů a obecnou teorií křivek. Úvod praktické části začíná ukázkou současného průběhu identifikace a měření pilových pásů. V závěru jsou prezentovány dosavadní výsledky spolu s dalšími možnostmi vývoje a zpracování dat pro CNC stroj.

Klíčová slova: pilový pás, identifikace, zpracování obrazu, Bézierova křivka, geometrické transformace

## **ABSTRACT**

This thesis presents an interface developed for automatic identification of band saws. This system allows to identify the saw blade through computer and digital camera. The proposed system includes main user interface and several modes for storing and editing scanned profiles. Introduction of this thesis is dedicated to the state of the art of similar systems on the market. Then it continues with characteristic of saw blades and general theory of curves. Practical part begins with an example of the current process of identification and measurement of the blades. In the conclusion, actual results with other possibilities of future development of the systems are presented together with next data processing for CNC machines.

Keywords: bend saw, identification, image processing, Bézier curve, geometric transformation

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu panu doc. Ing. Františku Gazdošovi, Ph.D za odbornou podporu při tvorbě práce, panu Ing. Tomáši Dudrovi za cenné rady a možnosti realizace této diplomové práce. Mým rodičům, že mě vždy plně podporovali jak v rámci studia na vysoké škole, tak v životě.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>11</b>
<b>2 KOMPONENTY PRO STROJOVÉ VIDĚNÍ</b> .....	<b>12</b>
2.1 OBJEKTIVY A OPTICKÁ SOUSTAVA.....	12
2.1.1 Uchycení objektivů .....	13
2.1.2 Příklad výpočtu ohniskové vzdálenosti.....	14
2.2 DIGITÁLNÍ PROGRAMOVATELNÉ KAMERY UĚYE.....	16
2.3 OSVĚTLOVACÍ JEDNOTKA DATA LIGHT.....	16
2.3.1 Nastavení jednotky DataLight.....	17
<b>3 PILOVÉ PÁSY</b> .....	<b>19</b>
3.1 BIMETALICKÉ PÁSY .....	19
3.2 PÁSY Z NÁSTROJOVÝCH OCELÍ .....	20
3.3 TVARY ZUBŮ PILOVÝCH PÁSŮ .....	20
3.4 GEOMETRIE ZUBU PILOVÝCH PÁSŮ .....	21
3.5 ROZTEČ ZUBŮ.....	21
3.6 TYPY ROZVODŮ ZUBŮ .....	22
3.7 ZÁVADY PŘI OSTŘENÍ PILOVÝCH PÁSŮ .....	23
3.8 DALŠÍ OBECNÉ ZÁVADY PILOVÝCH PÁSŮ A JEJICH MOŽNÉ PŘÍČINY .....	25
<b>4 OPENCV (OPEN SOURCE COMPUTER VISION)</b> .....	<b>27</b>
<b>5 DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU</b> .....	<b>28</b>
5.1 BAREVNÉ MODEL Y .....	28
5.1.1 Barevný model RGB .....	28
5.1.2 Barevný model CMY a CMYK .....	29
5.1.3 Barevné modely HSV a HLS .....	30
5.2 SEGMENTACE OBRAZU A SEGMENTAČNÍ TECHNIKY .....	32
5.2.1 Region-based techniky .....	32
5.2.2 Statistické metody .....	33
5.2.3 Detekce hran (edge-based metody).....	34
<b>6 KŘIVKY</b> .....	<b>40</b>
6.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KŘIVEK .....	40
6.1.1 Explicitní vyjádření křivky .....	40
6.1.2 Implicitní vyjádření křivky .....	41
6.1.3 Parametrické vyjádření křivky .....	41
6.2 NAPOJOVÁNÍ KŘIVEK .....	43
6.3 MODELOVÁNÍ KŘIVEK .....	46
6.4 BÉZIEROVY KŘIVKY .....	47
6.4.1 Algoritmus de Casteljau .....	48
6.4.2 Bézierovy kubiky .....	49
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>52</b>
<b>7 SOUČASNÝ PRŮBĚH IDENTIFIKACE</b> .....	<b>53</b>

<b>8</b>	<b>BLOKOVÉ SCHÉMA VYTVOŘENÉHO SYSTÉMU AUTOMATICKE IDENTIFIKACE .....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>TŘÍDY VYTVOŘENÉHO PROGRAMU .....</b>	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>DATABÁZE .....</b>	<b>58</b>
10.1	VYTVOŘENÍ DATABÁZE .....	58
10.2	VYTVOŘENÍ TABULEK .....	59
<b>11</b>	<b>VYTVOŘENÉ UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ.....</b>	<b>62</b>
<b>12</b>	<b>BRUSNÝ KOTOUČ.....</b>	<b>65</b>
12.1	VOLBA BROUSÍCIHO KOTOUČE .....	65
12.2	TVAR BRUSNÉHO KOTOUČE .....	65
12.3	OROVNÁNÍ BRUSNÉHO KOTOUČE.....	66
12.3.1	Bezdiamantové orovnávače .....	67
12.3.2	Diamantové orovnávače.....	67
<b>13</b>	<b>KALIBRACE KAMERY.....</b>	<b>70</b>
<b>14</b>	<b>TESTOVÁNÍ VYTVOŘENÉHO SYSTÉMU .....</b>	<b>72</b>
<b>15</b>	<b>ZPRACOVÁNÍ DAT PRO CNC STROJ .....</b>	<b>73</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>82</b>

## ÚVOD

Dříve byly systémy strojového vidění složité, drahé a nespolehlivé. S dnešním rozvojem a vývojem technologií se přiblížili k požadavkům uživatelů. Selhání lidského faktoru nelze vyloučit, kdežto systémy strojového vidění mohou pracovat bezchybně 24 hodin denně, 365 dní v roce. Ve většině případů jsou tyto systémy nejlepším, ne-li jediným, možným způsobem řešení. Využití těchto systémů, najdeme v různých oborech jako je automatizace, silniční provoz, průmysl, ale i v medicíně.

Aplikace strojového vidění jsou velice nekompromisní, uděláme-li zde zásadní chybu, třeba ve fázi návrhu systému, je pravděpodobnost úspěchu nulová. Proto musíme věnovat velkou pozornost výběru typu kamer, objektivu, vhodného osvětlení a programových prostředků pro zpracování dat.

V této diplomové práci je představeno vyvíjené rozhraní pro automatickou identifikaci pilových pásů. Nabízí uživateli plnohodnotně identifikovat pilový pás na základě vytvořeného algoritmu. V práci je využito několika základních algoritmů pro práci s obrazovými daty, jako je převod do stupně šedi a převod do černobílého obrazu (Threshold), což usnadňuje vyhodnocování pro identifikaci.

V teoretické části se zaměřuji na parametry vybrané kamery, objektivu a vhodného osvětlení. V další části jsou rozebrány vlastnosti Bézierovy křivky, která je nedílnou součástí vyvíjeného systému. Praktická část začíná ukázkou současnému průběh identifikace a měření pilových pásů. Pokračuje vytvořením systému, který se stará o správné rozeznání o jaký typ pásu a zákazníka se jedná. Závěr praktické části je věnován testování systému na několika typech pilových pásů s proměnnými parametry nastavení.

Vyvinutý automatický systém identifikace bude prakticky nasazen ve firmě zabývající se kompletním servisem a výrobou pilových pásů, kde dovolí významně zvýšit efektivitu práce (výrazné zkrácení času identifikace, zvýšení přesnosti, snížení nákladů a chyb).

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 LITERÁRNÍ REŠERŠE

V práci se zaměřuji na detekci profilu pilového pásu. Jsou zde použity základní metody pro detekci hran v obraze a jejich následné zpracování.

V současné době není žádný podobný systém na trhu, kromě německé firmy KOHLBACHER GmbH [1], která dodává současný systém, jako součást ke svým strojům, dodávané firmě Dudr Tools. Byl proveden průzkum největších konkurentů firmy Dudr Tools i firem se zaměřením na broušení pilových pásů. Ani jedna firma neposkytla informace z důvodu firemního tajemství. Hlavní výhodou zmíněné firmy Dudr Tools (pro kterou je systém vyvíjen) oproti konkurenci je, že nabízí zákazníkům výběr vlastních parametrů pilového pásu, kdežto u konkurence mají zákazníci výběr pouze z několika dostupných profilů s pevně danými neměnnými parametry.

Současné řešení je sice rámcově vyhovující, ale z větší části nedostačující. Tento systém dodává firma jako součást ke svým zařízením. Na systém jsou kladeny podmínky, kvůli kterým se nedokáže sám rychle adaptovat a je zapotřebí lidský zásah. Poté zde dochází k velkým prostojům, které stojí firmu nemalé peníze.

V rámci předkládané práce, byl vytvořen automatický systém, který identifikuje přiložený pás a navrhne jeho případné broušení na CNC stroji. V práci se využívá metoda pro převod do stupně šedi a následně do černobílé. Díky tomuto převodu se zjistí dva stěžejní vrcholy a paty profilu. Tyto body se proloží několika Béziérovými křivkami [2][3] a určí se úhel čela, který slouží jako hlavní identifikátor pilového pásu. Systém obsahuje několik uživatelských režimů pro usnadnění práce.

Hlavní výhodou vyvíjeného systému je plně automatizovaný proces s minimálním lidským zásahem a velmi malými prostoji ve firmě. V závěru jsou prezentovány dosavadní výsledky spolu s dalšími možnostmi vývoje a zpracování dat pro CNC stroj.

## 2 KOMPONENTY PRO STROJOVÉ VIDĚNÍ

Mezi klíčové kroky strojového vidění je správný výběr komponent, proto bychom mu měli věnovat zvýšenou pozornost.

### 2.1 Objektivy a optická soustava

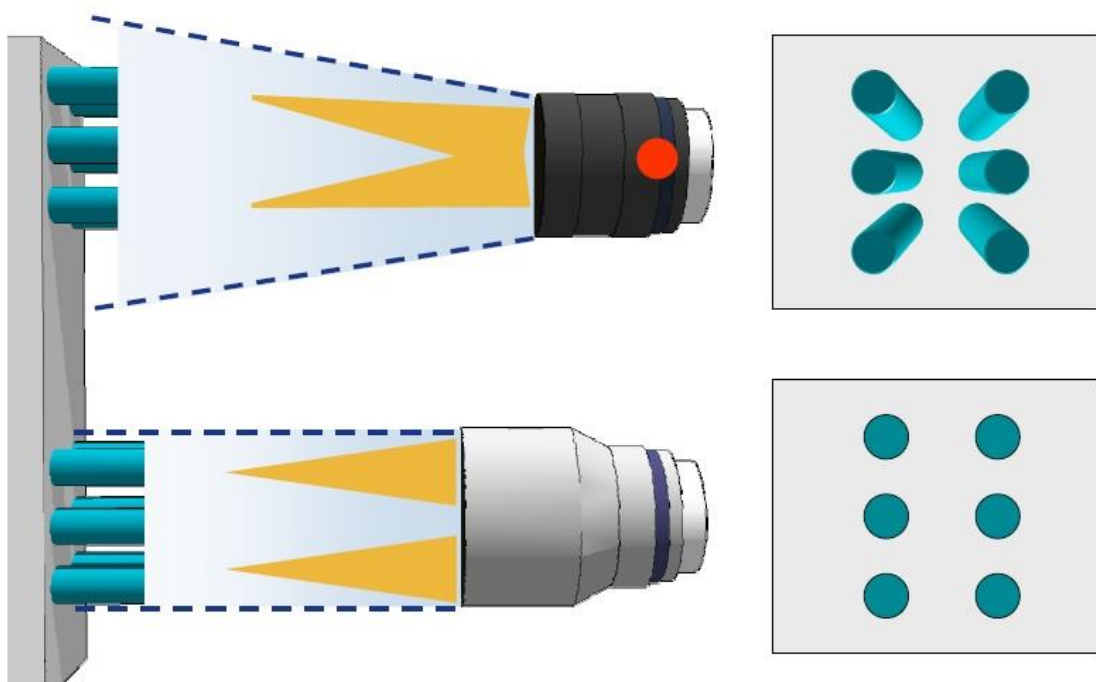
Návrh a výběr optické soustavy patří mezi nejdůležitější kroky při návrhu systémů strojového vidění. Optická soustava se skládá z vhodného objektivu a příslušného osvětlení. [4]

Optická soustava má za úkol zobrazit snímanou scénu na senzoru kamery a měla by splňovat (vzhledem k požadavkům aplikace) následující parametry:

- získat dostatečné rozlišení,
- zajistit dostatečnou hloubku ostrosti,
- mít přijatelné zkreslení. [4]

Všechny tyto parametry jsou ovlivňovány řadou aspektů – zaclonění a zaostření objektivu, ohnisková vzdálenost v závislosti na pracovní vzdálenosti, okolní osvětlení, atd. Při návrhu je potřeba brát v úvahu všechny aspekty a předem znát k jakým účelům má kamerový systém sloužit. K dispozici je široká škála objektivů s různými ohniskovými vzdálenostmi a s rozdílnou kvalitou zobrazení. U každé optické soustavy najdeme různé typy vad. Pro strojové vidění jsou nejdůležitější vinětace, barevná vada a zkreslení. U méně kvalitních objektivů se s těmito vadami můžeme s jistotou setkat. Nevhodné pro strojové vidění jsou i objektivy s proměnlivou ohniskovou vzdáleností (zoom). Z konstrukčních důvodů je nemožné zajistit stabilitu parametrů v celém rozsahu nastavení. [4]

„Zvláštní postavení má perspektivní zkreslení obrazu. Tohoto zkreslení dosáhneme vždy, použijeme-li standardní (endocentrický) objektiv. Ve většině aplikací si se standardními objektivy hravě vystačíme. Jsou však případy, kdy potřebujeme snímat scénu bez perspektivního zkreslení, což může být například aplikace měření. Pro tyto účely se používají tzv. telecentrické objektivy. Charakteristickou vlastností telecentrických objektivů je, že průměr vstupního členu optické soustavy se rovná úhlopříčce zorného pole – při změně snímací vzdálenosti se úhlopříčka nemění. Z obrázku dále (Obr. 1) je vidět, jak zobrazuje šest válečků standardní objektiv (horní) a jak ten stejný počet zobrazuje telecentrický objektiv (spodní).“ [4]



Obr. 1: Zobrazení standardního objektivu (horní) a telecentrického objektivu (spodní). [4]

### 2.1.1 Uchycení objektivů

„Existuje několik typů uchycení objektivů – F-Mount, C-Mount, CS-Mount, S-Mount. Objektivy s C-Mount uchycením jsou nejčastěji používané ve všech aplikacích. Rozdíl mezi C-Mount a CS-Mount je velice nepatrný a pouhým okem nelze rozpoznat. Oba typy objektivů mají upevňovací závit o průměru jeden palec. Jediný rozdíl je pouze ve vzdálenosti příruby od obrazového ohniska, resp. od aktivní plochy obrazového senzoru (Flange Focal Distance, někdy také nazývaný Flange Back Distance). CS-Mount provedení má tuto vzdálenost 12,5 mm a objektiv s C-Mount závitem pak 17,5 mm. V praxi to znamená, že objektiv C-Mount lze na kameru s CS-Mount upevnit přes mezikroužek o tloušťce 5 mm. **Objektiv CS-Mount na kameru určené pro objektiv C-Mount nelze zaostřit.**“ [4] Na Obr. 2 jsou znázorněny typy objektivů a v Tab. 1 jejich parametry.



Obr. 2 Různé typy uchycení objektivů F-Mount, C-Mount, CS-Mount, S-Mount. [4]

Tab. 1 Tabulka parametrů objektivů C-Mount a CS-Mount. [4]

	C-Mount kamera	CS-Mount kamera
Průměr závitu	1" (25,4mm)	1" (25,4mm)
Vzdálenost příruby	17,52mm	12,52mm
Závit	1-32 UN 2A	1-32 UN 2A
Max. velikost senzoru	1"	1"
C-Mount objektiv	ANO	ANO (+5mm)
CS-Mount objektiv	NE	ANO

### 2.1.2 Příklad výpočtu ohniskové vzdálenosti

Pro výpočet správné ohniskové vzdálenosti je potřeba znát tři hodnoty – velikost snímaného objektu, jeho vzdálenost od objektivu a velikost senzoru. Pro výpočet použijeme následující vzorec vycházející ze zobrazovací rovnice a zvětšení [4]:

$$\text{ohnisková vzdálenost} = \frac{\text{velikost senzoru} * \text{vzdálenost objektu}}{\text{velikost objektu} + \text{velikost senzoru}} \quad (1)$$

**Praktický příklad výpočtu:**Zadání:

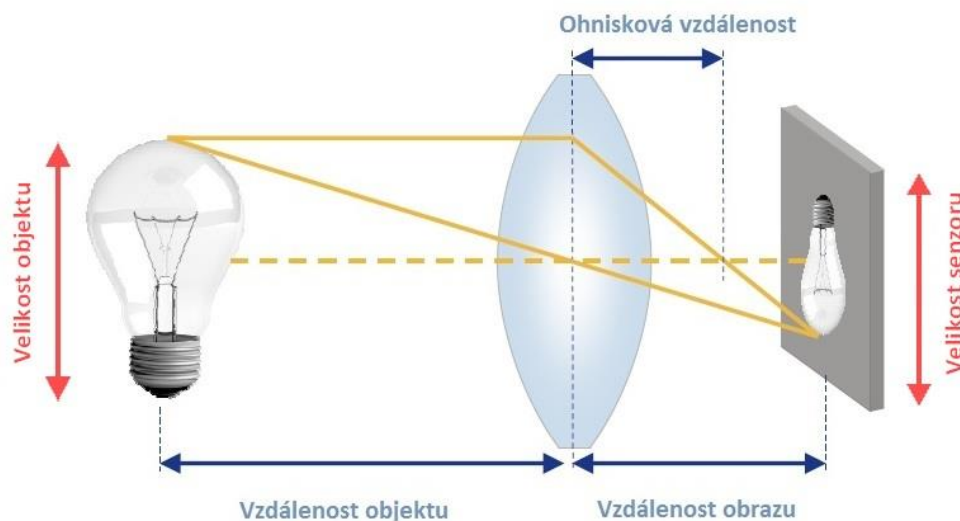
- velikost objektu = 100mm
- velikost senzoru = 6,78mm (UI-1240SE – velikost senzoru 6,78x5,43mm)
- vzdálenost objektu = 300mm
- ohnisková vzdálenost =  $f = ?$  [4]

Výpočet: [4]

$$f = (6,78 \times 300) / (100 + 6,78) = 2034 / 106,78 = 19 \text{ mm} \quad (2)$$

Závěr:

Pro snímání objektu o velikosti 100 mm ze vzdálenosti 300mm kamerou UI-1240SE o velikosti senzoru 6,78 x 5,43 mm potřebujeme objektiv s ohniskovou vzdáleností **19 mm**. V tomto případě se nám velikost objektu zobrazí v celé šířce zorného pole kamery. Chceme-li objekt o velikosti 100 mm zobrazit na výšku, pak stačí nahradit šířku senzoru 6,78mm za jeho výšku 5,43 mm. V tomto případě je pak ohnisková vzdálenost **15,5 mm** (viz Obr. 3). [4]



Obr. 3 Ohnisková vzdálenost. [4]

## 2.2 Digitální programovatelné kamery uEye

U těchto kamer je snímáný obraz digitalizován přímo v kameře a přenášen do počítače bez nutnosti použití grabovacích karet. Průmyslová kamera od firmy IDS je ideální volbou pro naše potřeby měření. Nabízí ovladače jak pro Windows, tak pro Linux, API rozhraní a velkou škálu nastavení. Její CMOS čip s rozlišením 1280x1024 v kombinaci s kvalitním objektivem dosahuje vysoké přesnosti měření (až 2 $\mu$ m). Rozhraní USB 2.0, stupeň krytí IP30, snímkovací frekvence 25,8 fps, barevná hloubka 8 bitů, dvojitě stíněný šroubovací USB kabel.



Obr. 4 CMOS kamera UI-1240ML-C-HQ. [21]

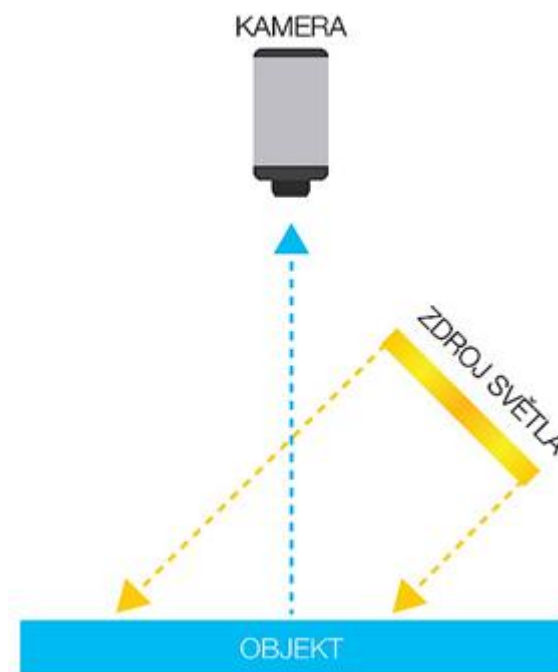
## 2.3 Osvětlovací jednotka DataLight

Mezi důležité kroky při návrhu aplikací strojového vidění patří také výběr správného a vhodného osvětlení. Volba správného osvětlení může být v některých případech důležitější než volba správné kamery nebo objektivu. Některé úlohy strojového vidění mohou být velmi nenáročné na kvalitu osvětlení scény. Zvláště při použití kamer, které dokáží při slabém osvětlení dostatečně prodloužit expoziční dobu bez podstatného nárůstu šumu v obraze, si můžeme vystačit i s běžným osvětlením místnosti či stolní lampou. Často lze levné osvětlení řešit pomocí zářivkových trubíc, které poskytují intenzivní a barevně stabilní světlo. U velkorozměrových osvětlovačů mohou být zářivkové trubice dokonce jediným rozumným řešením. V praxi ale převažují takové aplikace, kde správné parametry osvětlení, jako je intenzita, barva a směřování, jsou rozhodujícím faktorem pro viditelnost sledovaných objektů ve scéně. Zde nalézají uplatnění osvětlovače se svítivými diodami. Tyto osvětlovače se vyznačují nízkým příkonem a dlouhodobou stabilitou parametrů. [5][6]

Lze volit barvu světla, která může být:

- bílá,
- červená,
- červená,
- modrá,
- infračervená.

Volbou barvy světla je možno účinně řešit např. potlačení nežádoucího osvětlení z okolí. Kameru lze vybavit barevným filtrem, propouštějícím právě světlo osvětlovací jednotky a potlačující zbytek barevného spektra. Toto opatření může rozhodujícím způsobem zvýšit odolnost aplikace proti nežádoucímu osvětlení. [5]



Obr. 5 Princip osvětlení plošným osvětlovačem. [7]

### 2.3.1 Nastavení jednotky DataLight

Na boční straně jednotek se nachází dvojitý přepínač (DIP), pomocí kterého se dá nastavit adresa jednotky pro případ, že je ke kameře potřeba připojit více než jednu osvětlovací jednotku. [5]

Tab. 2 Nastavení jednotky DataLight. [5]

<b>Adresa</b>	<b>Přepínač č.1</b>	<b>Přepínač č.2</b>
1	OFF	OFF
2	ON	OFF
3	OFF	ON
4	ON	ON

### 3 PILOVÉ PÁSY

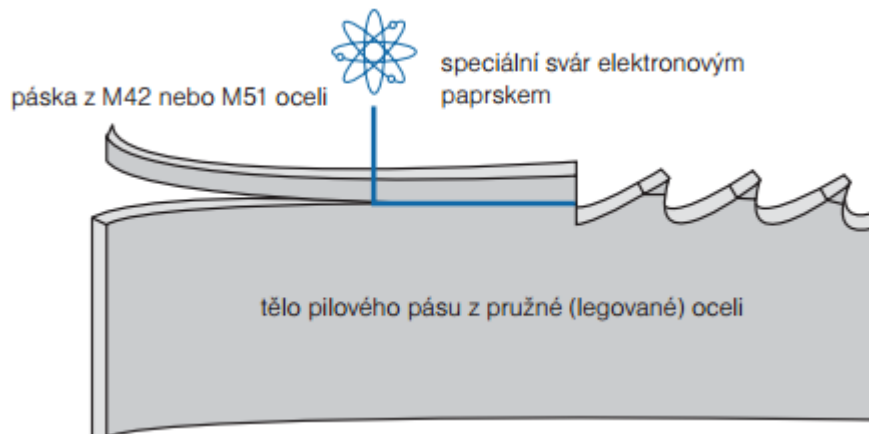
Pilové pásy jsou k sobě svařovány na délky 3 500 až 8 300 mm nebo jsou vyráběny rovnou ve svitcích (celku) o délce až 25m. Volba pilového pásu je ovlivněna typem obrobku, stroje a obráběného materiálu. Pásy se vyrábějí z nástrojových ocelí nebo jsou vyrobeny v provedení bimetalickém. [8]



Obr. 6 Rozdělení pilových pásů. [8]

#### 3.1 Bimetalické pásy

Bimetalické pásy se vyrábějí moderní technologií. Jsou z ušlechtilé oceli speciálního složení. Na hranu pásu se navaří elektronovým paprskem HSS ocel (M42 nebo M51) a díky tomu se docílí delší životnosti pásu, vysoké tvrdosti špiček zubů a vyšší odolnosti vůči ohybu a krutu. [8][9]



Obr. 7 Bimetalové pásy. [8][9]

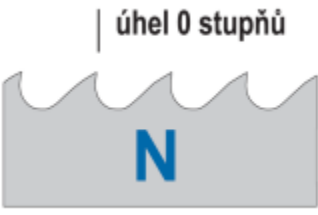

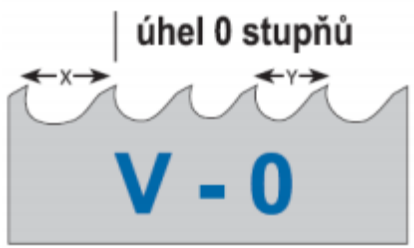
### 3.2 Pásy z nástrojových ocelí

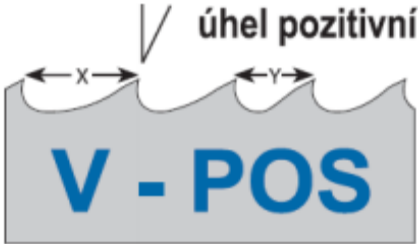
Pro výrobu pásů z nástrojové oceli se nejčastěji používá nízkolegovaná nástrojová ocel legovaná wolframem nebo chromem. Řezná část zubů je vysokofrekvenčně kalená na tvrdost 64 až 65 HRC. Tyto pásy se používají zejména pro dělení běžných typů materiálu. [8][9]

### 3.3 Tvary zubů pilových pásů

Nejčastější tvary pilových zubů jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 3 Tabulka tvarů zubů pilových pásů. [8][9]

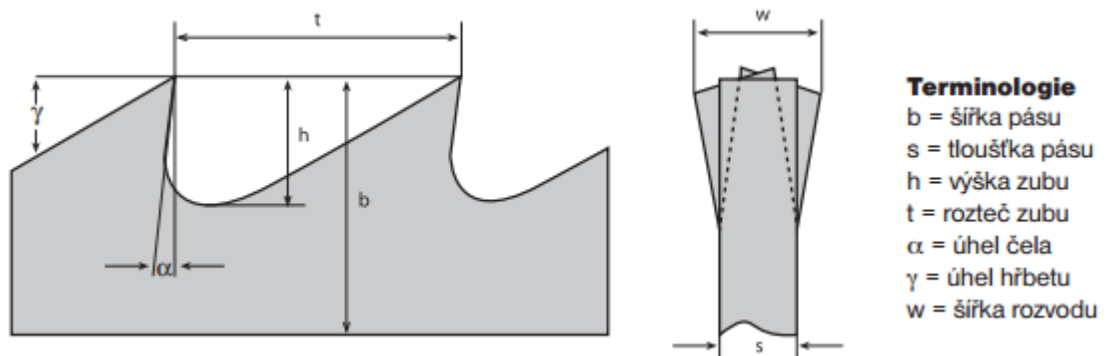
<p><b>Standard</b></p> <p>Standartní tvar zubu má <math>0^\circ</math> řezného úhlu a je vhodný na řezání materiálu menších rozměrů.</p>	
<p><b>Hook</b></p> <p>Tvar zubu s pozitivním řezným úhlem je určen pro tažné materiály tvořící dlouhou třísku a plné materiály větších průřezů.</p>	
<p><b>Variabilní</b></p> <p>Tvar zubu vhodný pro řezání bez vibrace. Úhel čela je <math>0^\circ</math>.</p>	

<p><b>Variabilní s kladným úhlem čela</b></p> <p>Tvar zubu vhodný pro řezání bez vibrací. Úhel čela je pozitivní. Určen pro plně materiály.</p>	
---	--

### 3.4 Geometrie zubu pilových pásů

Krátké uvedení do základní geometrie pásu pomůže pochopit základní parametry profilu.

- Rozteč zubů – vzdálenost mezi zuby.
- Výška zubu – vzdálenost od nejnižšího bodu mezery ke špičce zubu.
- Úhel čela – počet stupňů, o které je čelo nakloněno dopředu od 90 stupňů.
- Úhel hřbetu – počet stupňů, o které je hřbet nakloněn dozadu od 180 stupňů.

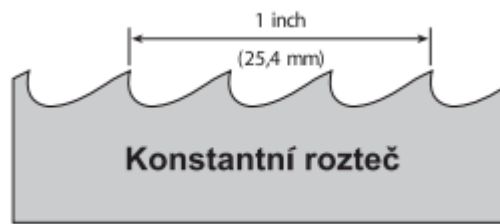


Obr. 8 Geometrie zubu pilových pásů. [8][9]

### 3.5 Rozteč zubů

V praxi se rozlišují dvě základní rozteče zubů:

- **Konstantní rozteč**  
Zuby jsou uspořádány v jednotném odstupu. Ozubení pilového pásu označuje počet zubů na palec (25,4 mm). [8][9]



Obr. 9 Konstantní rozteč. [8][9]

- **Variabilní rozteč**

V rámci skupiny zubů se mění odstupů zubů. Variabilní ozubení pilového pásu se označuje podle největší a nejmenší rozteče zubů. [8][9]







Obr. 10 Variabilní rozteč. [8][9]

### 3.6 Typy rozvodů zubů

Kromě tvaru a rozteče zubů je pro výkon pilového pásu rozhodující i přesný rozvod. Správná vůle pásu je dosažena specifickým rozvodem pro daný řez. Brání sevření pásu, což je velmi důležité zvláště u problematických řezacích prací. Typ a šířka rozvodu jsou odpovídající typu řezu. [8][9]

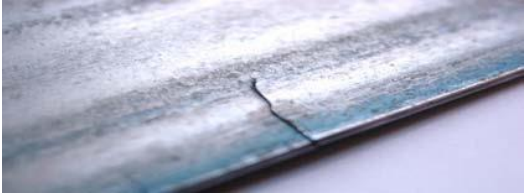
Tab. 4 Tabulka typů rozvodů zubů. [8][9]

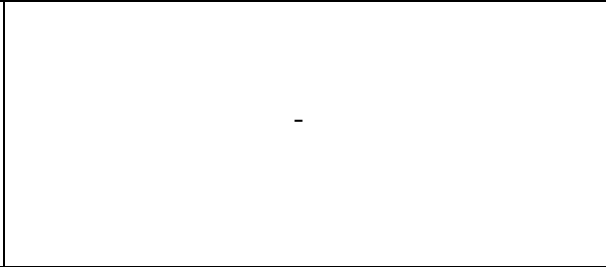
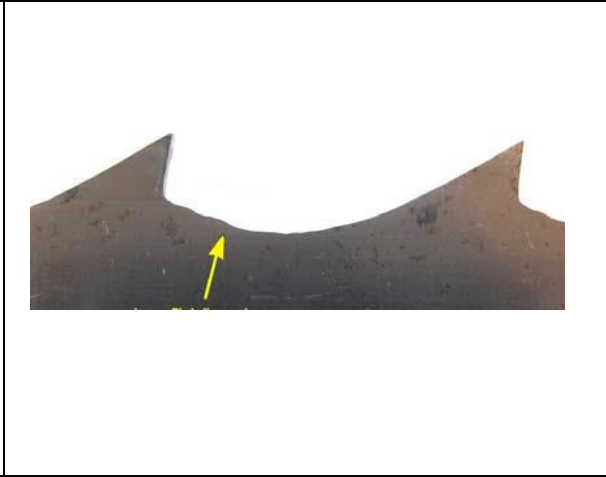
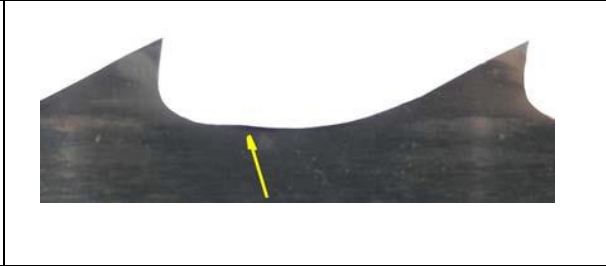
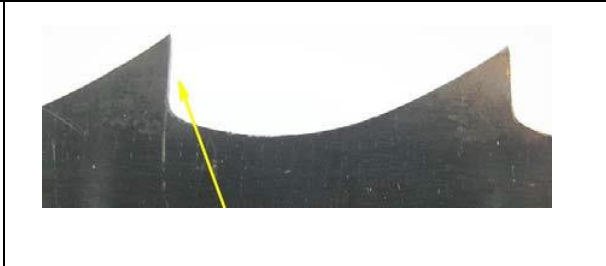
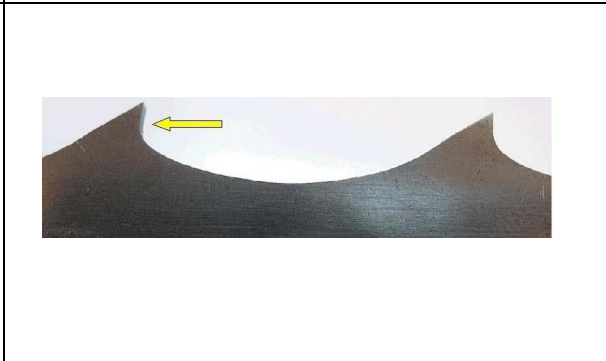
<p><b><u>Standartní rozvod (S,SW):</u></b> do 10 zubů na palec tvar zubu N, H</p>	
<p><b><u>Skupinový rozvod (G,GW):</u></b> 0,75/1,25 + 10/14 zubů na palec tvar zubu K</p>	
<p><b><u>Vlnovitý rozvod (W):</u></b> do 14 zubů na palec tvar zubu N</p>	
<p><b><u>Variabilní rozvod:</u></b></p>	

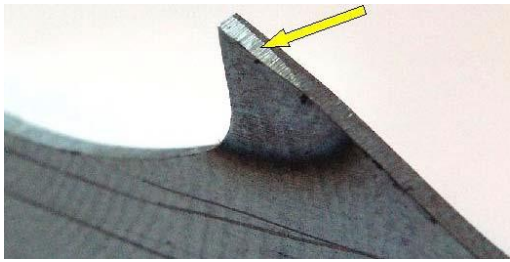


### 3.7 Závady při ostření pilových pásů

Typické chyby při ostření a nastavování pilového pásu viz následující tabulka:

Tab. 5 Tabulka typických závad při ostření pilových pásů. [10]

<p><b><u>Praskání na zadní straně:</u></b></p> <p>Takové praskliny jsou následkem nesprávného seřízení kladky (rolničky) pilového pásu. Zadní strana pilového pásu se trvale dře o kraj kladky, což způsobí vytvrzení zadní části a to má za následek trhliny začínající na zadní straně.</p>	
---	--

<p><b><u>Spálená mezizubová mezera:</u></b></p> <p>Pilový pás se velice rychle ztupí, to je způsobeno příliš drsným broušením a nadměrným zahřátím mezizubové mezery.</p>	
<p><b><u>Špatný profil zubu:</u></b></p> <p>Brusný kotouč nevybrousí plný profil zubu, protože sklon hlavy ostříčky byl nesprávný. Dalším důvodem může být opotřeбенý excentr (vačka) ostříčky a je třeba jej vyměnit. Praskliny začínají v místě, kde brusný kotouč mezizubovou mezeru vynechává (nedokonale zaoblí).</p>	
<p><b><u>Špatná mezizubová mezera:</u></b></p> <p>V tomto případě pilový pás praská, protože ostříčka byla nesprávně nastavena.</p>	
<p><b><u>Špatné úhly přední a zadní strany zubu:</u></b></p> <p>Malý úhel přední strany zubu. Pilový pás bude při řezání vibrovat a s ním celá řezná hlava.</p>	
<p><b><u>Špatné úhly přední a zadní strany a špatná výška zubu:</u></b></p> <p>Jestliže je výška zubu příliš malá, vytváří pilový pás „vlnitý“ řez, protože nemůže z řezu odstranit všechny piliny. Piliny budou jemné a prachové.</p>	

<p><b><u>Špatné nastavení hlavy ostříčky:</u></b></p> <p>Nesprávně naostřené zuby vedou k tomu, že hlava ostříčky nebyla kolmo k upínání. Pilový pás se velice brzy ztupí.</p>	
<p><b><u>Špatný rozvod zubů:</u></b></p> <p>Zuby jsou rozváděny příliš daleko od těla pilového pásu, což bude mít za následek rychlé ztupení listu. List se velice brzy ztupí.</p>	
<p><b><u>Špatné seřízení bodu:</u></b></p> <p>Bod pro nastavení šranku, pilového rozvodu, je nesprávně nastaven ve vztahu k výšce zubu. To má za následek nesprávné místo ohybu na zubu a následkem je nekvalitní řezání.</p>	

### 3.8 Další obecné závady pilových pásů a jejich možné příčiny

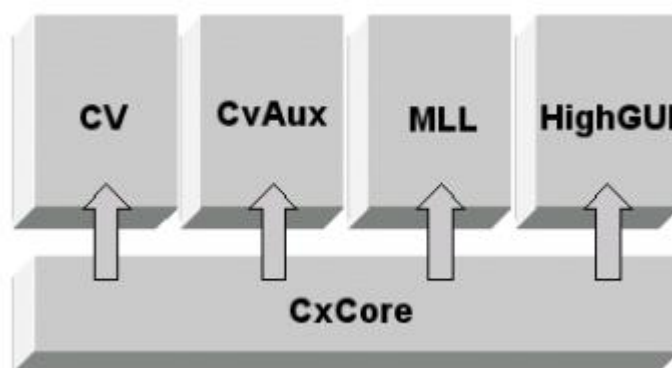
- Rychlé otupení
  - nesprávná volba počtu zubů
  - nepřesné upnutí pilového pásu
  - velká rychlost
  - příliš velký tlak
  - nedostatečný tlak – zuby třou a nezařezávají
  - nedostatečné ochlazení
  - závada v mechanismu pro zpětný chod
- Vylamování zubů
  - příliš malý počet zubů v záběru

- nesprávné upnutí materiálu
- Zlomení pilového pásu
  - Špatné napnutí v rámu stroje
  - Nevhodně zvolený pilový pás
- Křivý řez
  - Příliš velký tlak a nevhodný pilový pás
  - Tvrdá místa v řezaném materiálu

[8]

## 4 OPENCV (OPEN SOURCE COMPUTER VISION)

OpenCV je svobodná a otevřená multiplatformní knihovna pro implementaci počítačového vidění. Je napsána v jazyce C a C++, a proto ji lze zkompilovat na různých platformách a operačních systémech. OpenCV je strukturovaná do pěti hlavních komponent. CV obsahuje základní zpracování obrazu a algoritmy počítačového vidění vyšší úrovně. CvAux obsahuje HMM (rozpoznávání obličejů) a experimentální algoritmy (pozadí / popředí segmentace). MLL je knihovna strojového učení, která obsahuje mnoho nástrojů pro klasifikaci, shlukování a analýzu dat. HighGUI obsahuje vstupní / výstupní rutiny a funkce pro ukládání a načítání videa a obrázků. CXCore obsahuje základní datové typy, maticovou algebru, transformace nebo algoritmy pro správu paměti. [11]



Obr. 11 Závislost částí knihoven OpenCV. [12]

Knihovna OpenCV je plně zodpovědná za digitální zpracování obrazu. Stará se o načtení obrazu, detekci hran, zachycení aktivních kontur, určení důležitých parametrů pro jednoznačnou identifikaci pilového pásu a mnoho dalšího co se zpracování obrazu týče.

## 5 DIGITÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Systémy strojového vidění pracují tak, že kamera zachytí obraz snímaného předmětu, systém analýzy obrazu jej vyhodnotí podle přesně definovaného algoritmu a provede požadovanou akci na základě výsledku vyhodnocení. V dnešní době je jediným efektivním a prakticky možným způsobem vyhodnocení obrazové informace počítač. Pro strojové vidění je typické, že se výměna získaných informací s okolím provádí na základě zpětné vazby s výrobním procesem. Na jedné straně se získají vstupní informace a na druhé straně se na základě výsledků analýzy obrazu provádí různé úkony, kterými může být například vyřazení nevhodného či špatně vyrobeného výrobku, přesnost při plnění lahví, kontrola přítomnosti etiket a další. Informace o splnění požadovaného úkonu jde pomocí digitálních vstupů přímo do zařízení nebo je informace předána řídicímu systému, který již sám provede potřebný zásah. [13]

### 5.1 Barevné modely

Barva a barevné modely hrají velkou roli ve zpracování obrazu. [14]

#### 5.1.1 Barevný model RGB

Různé barvy, které se používají při vytváření obrazu, jsou tvořeny kombinací několika základních barev z barevného spektra. Byl standardizován již v roce 1931 komisí CIE. Barevný obraz dle tohoto standardizovaného modelu je složen aditivně (čím vyšší hodnoty, tím světlejší) ze tří barev:

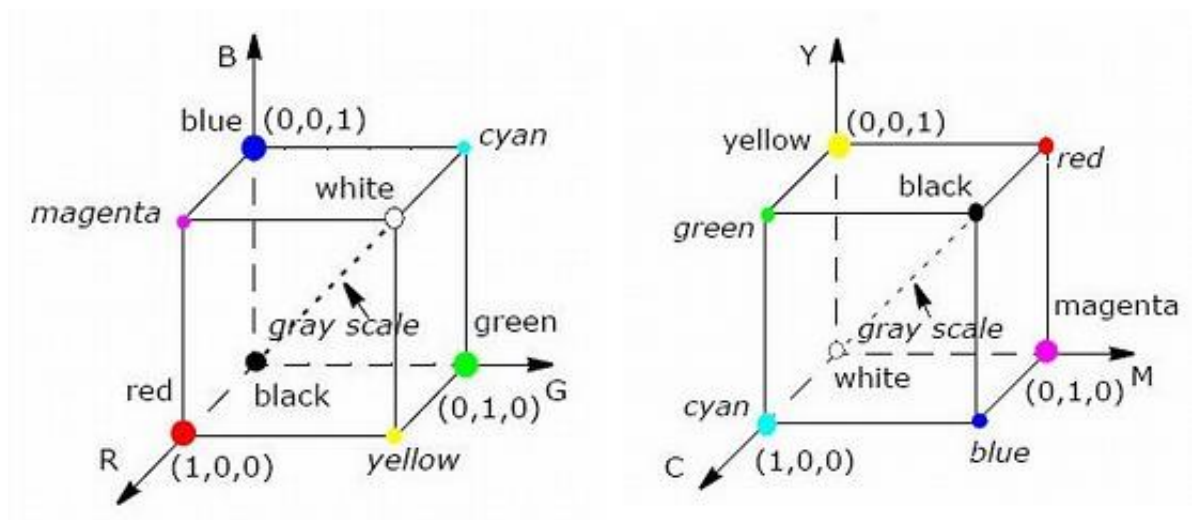
- červené (red),
- zelené (green),
- modré (blue). [14]

Jednotlivým složkám byly přiřazeny vlnové délky:

- red = 700 nm,
- green = 546,1 nm,
- blue = 435,8 nm. [14]

Z technického hlediska je každá barva reprezentována určitým počtem bitů (běžně to bývá 8bit/barvu) což je v celočíselném rozsahu hodnota 0-255 na každou složku. Hodnota 0 znamená, že složka není zastoupena, maximální hodnota indikuje, že složka nabývá své největší intenzity. Počet barevných odstínů, který lze reprezentovat trojicí bytů  $256^3 = 16,7$  milionů barev. Tento model je znázorněn na obr.12, kde na osách jednotkové krychle jsou umístěny barvy R, G, B. Počátek souřadnic odpovídá černé barvě ( $R=0, G=0, B=0$ ), vrchol se souřadnicemi ( $R=1, G=1, B=1$ ) bílé. Vrcholy krychle, které leží na osách, představují základní barvy a zbývající vrcholy reprezentující doplňkové barvy ke každé ze základních barev. [14]

Každému barevnému vektoru v prostoru RGB odpovídá v této reprezentaci jeden bod krychle. Fialová (magenta) barva, která je získána součtem červené a modré. Tyrkysová (cyan) barva, která je získána součtem zelené a modré. Žlutá (yellow) barva, která je získána součtem červené a zelené. Odstíny šedi odpovídají bodům na diagonále krychle spojující černý a bílý vrchol. V grafických softwarech se setkáme také s modelem RGBA, kde kanál A nese informaci o průhlednosti a nazývá se alfa kanál. Informace o průhlednosti se používá při prolínání obrazů. [14]



Obr. 12 Reprezentace barevného prostoru RGB a CMY pomocí krychle. [14]

### 5.1.2 Barevný model CMY a CMYK

Prostor RGB je technicky orientovaný prostor, vhodný pro displeje. Lidská zkušenost s mícháním barev však vychází ze zcela jiné práce s barvami. Například pro malíře je běž-

né, že nové barvy vytváří mísením jednotlivých barevných pigmentů, přičemž každé přidání pigmentu vytvoří tmavší barvu. Toto skládání barev se nazývá subtraktivní. Barevný model CMY (Cyan, Magenta, Yellow – modrozelená, purpurová, žlutá) se používá pro tisk. Také tento prostor lze popsat jednotkovou krychlí (Obr. 12.). U subtraktivního modelu odpovídá počátek souřadnic bílé a vrchol  $[1, 1, 1]$  černé. Barvy modrozelená **C**, purpurová **M** a žlutá **Y** leží na krychli v protilehlých rozích oproti RGB. CMY se označují jako doplňkové k RGB. Překrýváním těchto tří barev nevznikne dokonalá černá, ale pouze špinavě hnědá, proto byl zaveden model CMYK, kde **K** znamená černou (black) jako čtvrtou základní barvu. Velikost černé složky pro daný barevný bod získáme jako minimální hodnotu ze složek **C**, **M**, a **Y**, které poté snížíme o **K**. K dosažení realističtějších barev se u tiskáren používá i šesti barevných odstínů a černé. [14]

Převod mezi RGB a CMY lze provést pomocí jednoduchého vztahu:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} \\ \mathbf{1} \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{R} \\ \mathbf{G} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} \quad (3)$$

V tomto vztahu předpokládáme, že jasové úrovně jsou normovány v intervalu  $\langle 0, 1 \rangle$ . Je třeba upozornit, že barevné prostory modelů RGB a CMY se ve skutečnosti zcela nepřekrývají (barevný gamut), což znamená ne zcela přesnou reprodukci barev při přechodu z jednoho modelu do druhého. [14]

### 5.1.3 Barevné modely HSV a HLS

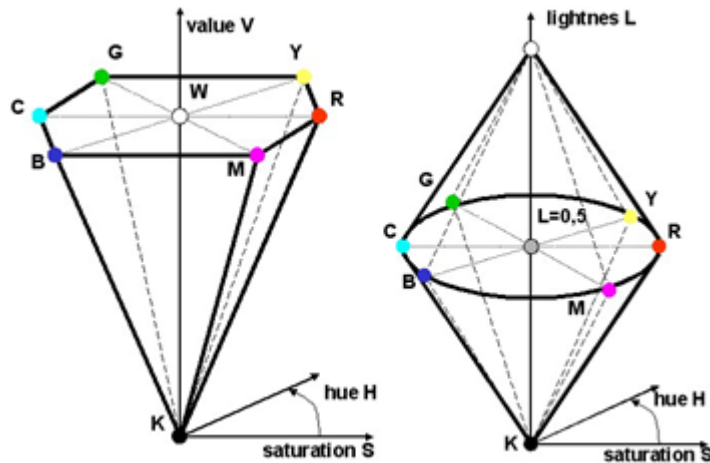
„Oba prostory HSV i HLS definují barvu trojicí složek, které však tentokrát nepředstavují základní barvy. Třemi hlavními parametry prostoru HSV jsou barevný tón (**H**, hue), sytost (**S**, saturation) a jasová hodnota (**V**, value). Barevný tón označuje převládající spektrální barvu, sytost určuje příměs jiných barev a jas je dán množstvím bílého (bezbarvého) světla. Pro zobrazení prostoru se nepoužívá krychle, nýbrž šestiboký jehlan, jehož vrchol leží v počátku soustavy souřadnic HSV. Souřadnice  $s$  a  $v$  se mění od 0 do 1, souřadnice  $h$  reprezentuje úhel a nabývá hodnot z intervalu  $(0^\circ, 360^\circ)$ . Vrchol jehlanu představuje černou barvu. Jas roste směrem k podstavě, střed podstavy reprezentuje bílou barvu. Sytost odpovídá relativní vzdálenosti bodu od osy jehlanu. Dominantní barvy (se sytos-

tí jedna) tedy leží na plášti, čisté barvy jsou na obvodu podstavy. Při pohybu po obvodu ve stejné výši od základny se postupně mění barevný tón, sytost a jas zůstávají nezměněny.“ [14]

„Prostor HSV vykazuje některé nedostatky, které sice nejsou zásadního charakteru, nicméně mohou ztěžovat práci s přesným určením barvy. Jedním z nedostatků je jehlanovitý tvar, který způsobuje, že ve "vodorovném" řezu se musí bod o konstantní hodnotě  $s$  pohybovat při změně  $h$  po dráze ve tvaru šestiúhelníku, nikoliv po kružnici, jak by bylo přirozené. Dalším záporným jevem je nesymetrie prostoru z hlediska jasu. Tyto nedostatky odstraňuje prostor HLS, jehož geometrie je uvedena na Obr. 13.“ [14]

„Název prostoru je odvozen z pojmů barevný tón (**H**, hue), světlost (**L**, lightness) a sytost (**S**, saturation). Prostor HLS je obdobou prostoru HSV, v němž byl jehlan nahrazen dvojicí kuželů. Barevný tón je opět vyjádřen úhlovou hodnotou, světlost se mění od 0 (černá v dolním vrcholu) do 1 (bílá v horním vrcholu). Sytost nabývá na povrchu kuželů hodnoty 1 a klesá na 0 směrem k ose kuželů. Nejjasnější čisté barvy mají tedy souřadnice  $s = 1$  a  $L = 0.5$  a leží na obvodu podstav kuželů.“ [14]

„Tvar prostoru HLS plně odpovídá skutečnosti, že nejvíce různých barev vnímáme při "průměrné" světlosti (oblast podstav). Schopnost rozlišit barvy klesá jak při velkém ztmavení, tak při přesvětlení (oblasti obou vrcholů kuželů). Další dobrá vlastnost prostoru HLS spočívá v analogii míchání barev přidáváním černých a bílých pigmentů k základním spektrálním barvám. Zvýšení světlosti při nezměněné sytosti si lze představit jako přidání jistého množství bílých a ubrání stejného množství černých pigmentů. Samotné zvýšení sytosti odpovídá odebrání stejného množství bílých a černých pigmentů.“ [14]



Obr. 13 Geometrická reprezentace prostoru

HSV a HLS. [14]

## 5.2 Segmentace obrazu a segmentační techniky

Cílem segmentace je rozdělit obraz na nepřekrývající se oblasti, které mají určitou souvislost s věcným obsahem obrazu, a které mají stejné charakteristiky (např. barevnou výplň, jas, texturu, apod.). Výsledkem segmentace je obraz s vyznačenými oblastmi. Vedlejším výstupem segmentace je detekce hran objektů. Minimální počet zvýrazněných oblastí jsou dva (binární obraz). [15]

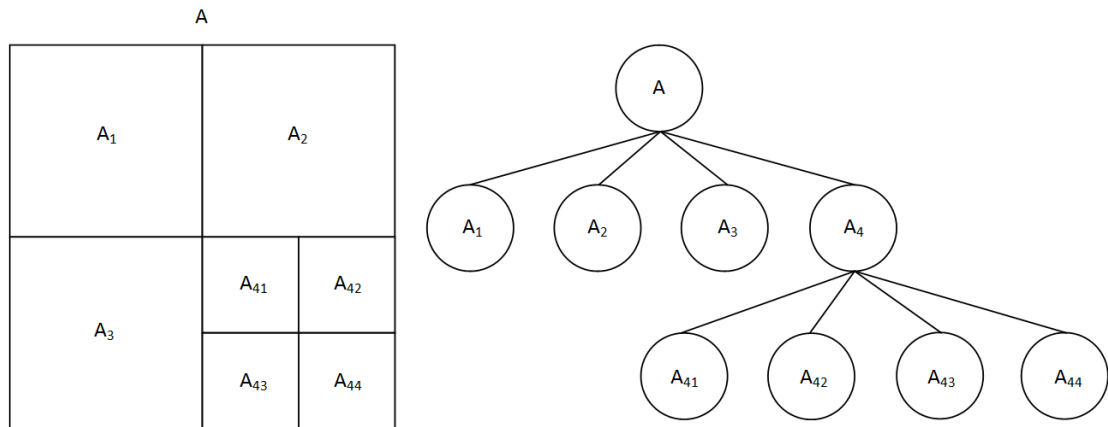
### 5.2.1 Region-based techniky

Region-based techniky se dělí na:

- **Rozdělování a spojování oblastí (Region Splitting and Merging)**
- **Metoda narůstání oblastí (Region Growing)**

Rozdělování a spojování oblastí patří do skupiny algoritmů hledající oblasti na základě nějakého kritéria podobnosti. Tato metoda rozdělí původní obraz do oblastí, které se vzájemně nepřekrývají. Obraz je postupně rozdělován na nově vzniklé oblasti, které jsou testovány, zda splňují podmínku kritéria stejnorodosti. Pokud je podmínka splněna, oblasti se sloučí a dále se nedělí. Pokud podmínka splněna není, podoblasti se dělí dále.“ [14]

„Nejčastější dělení je dělení obrazu na čtverce a následný popis pomocí struktury, tzv. čtyřstrom (*quadtree*). Metodě se říká dekompozice čtyřstromem.“ [14]



Obr. 14 Dělení oblasti a výsledný strom. [14]

Metoda narůstání oblastí je založena na opačném principu než metoda rozdělování a spojování oblastí. Oblasti se postupně zvětšují na základě definovaných kritérií. Na začátku jsou vybrány tzv. startovací body, které splňují požadované podmínky. Je zkoumáno okolí bodu a oblast se rozrůstá. Podmínka zastavení rozrůstání oblastí je splněna pokud již nejde přidat žádný bod, ale nemusí být vzhledem k určeným kritériím jednoduchá.“ [14]

### 5.2.2 Statistické metody

„V tomto případě je základem segmentace statistická analýza obrazových dat, nejčastěji hodnot pixelů. Strukturní informace je obvykle zanedbávána.“ [15]

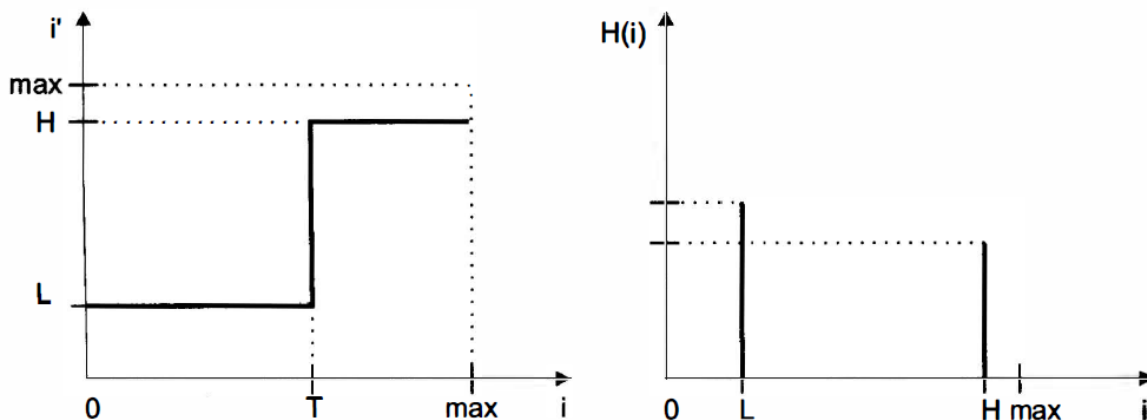
- **Prahování alias Thresholding**

Separace objektů od pozadí se nazývá segmentace. Jednou z možných a současně velmi jednoduchých metod segmentace je prahování. Operace prahování (*thresholding*) spočívá v rozdělení jasové škály na dvě části a nahrazení každé z částí jedinou hodnotou tak, jak je uvedeno v následujícím vztahu [2]:

$$i' = \begin{cases} L & \text{pro } i < T \\ H & \text{pro } i \geq T, \end{cases} \quad (4)$$

kde:

- $i$  je vstupní hodnota,
- $i'$  je výstupní hodnota,
- $T$  je práh,
- $L$  a  $H$  jsou dvě výstupní hodnoty. [2]

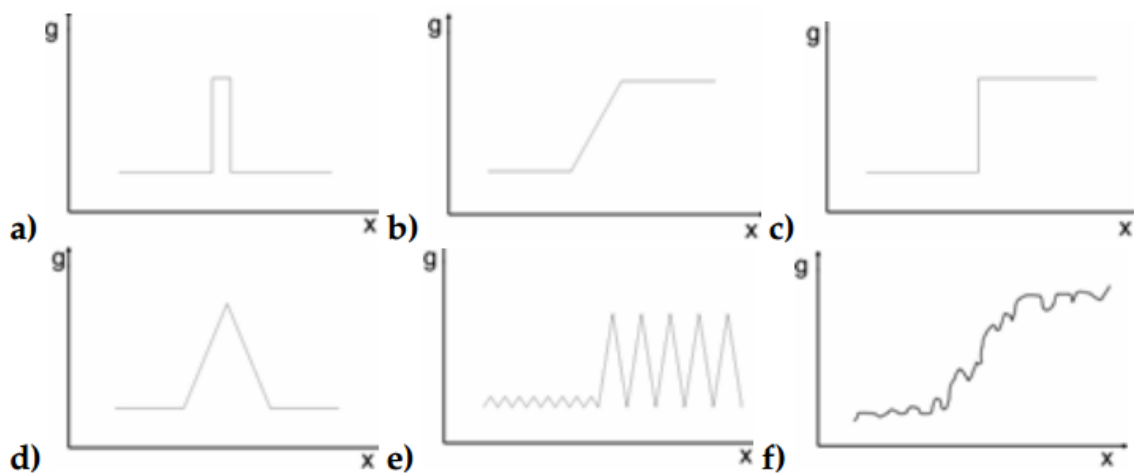


Obr. 15 Vyhledávací tabulka prahování (vlevo) a příklad výsledného histogramu. [2]

Všechny hodnoty s intenzitou menší než je práh  $T$  jsou nahrazeny hodnotou  $L$ , intenzity vyšší a rovné hodnotě prahu jsou nahrazeny hodnotou  $H$ . Výsledný obraz, obsahuje dvě barevné intenzity (bílá a černá). [2]

### 5.2.3 Detekce hran (edge-based metody)

Hrany v obraze (Obr. 16) odpovídají prudkým změnám hodnot jasu. [16][14] Detekce hran je postup, při kterém se hledají místa v obraze, kde se jas prudce mění. Změny jasu se dají detekovat pomocí prvních a druhých derivací intenzity jasu. Kritériem pro detekci těchto změn je velikost první derivace intenzity jasu, velikost druhé derivace intenzity jasu nebo také detekce změny znaménka derivace. [17][14]



Obr. 16 Ukázka tvarů hran: a) line edge; b) ramp edge; c) step edge; d) roof edge; e) variance edge; f) noisy edge; [16][14]

- **Hranové detektory**

„Základní metody detekce hran se dají rozdělit do dvou hlavních skupin. Metody využívající *první derivaci* nebo *druhou derivaci*. Při použití první derivace je výsledný hranový gradient porovnán s prahem, který určuje, jedná-li se o hrany či nikoli. U metod druhé derivace je výskyt hrany detekován, je-li prostorová změna v polaritě druhé derivace dostatečně významná.“ [15]

- **První derivace, gradient**

Výsledkem první derivace (změna intenzity jasu) obrazu ve směrech  $x$  a  $y$  je gradient. Gradient funkce dvou proměnných  $f(x, y)$  je definován jako vektor: [14]

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Velikost tohoto vektoru je: [14]

$$\text{mag}(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \sqrt{\frac{\partial f^2}{\partial x} + \frac{\partial f^2}{\partial y}} \quad (6)$$

Směr gradientu určuje úhel  $\varphi(x, y)$ . V bodě o souřadnicích  $(x, y)$  je dán vztahem: [14]

$$\varphi(x, y) = \arctan \frac{G_x}{G_y} \quad (7)$$

Gradient lze využít jako informaci pro hledání hran (je kolmý na hranu).

#### ▪ *Druhá derivace, Laplaceův operátor*

„Druhá derivace představuje rychlost změny hodnot jasu. Projeví se zejména na strmých nebo izolovaných hranách nebo ji lze použít pro detekci izolovaných bodů (je zřejmé, že bude zvýrazňovat i šum).“ [14]

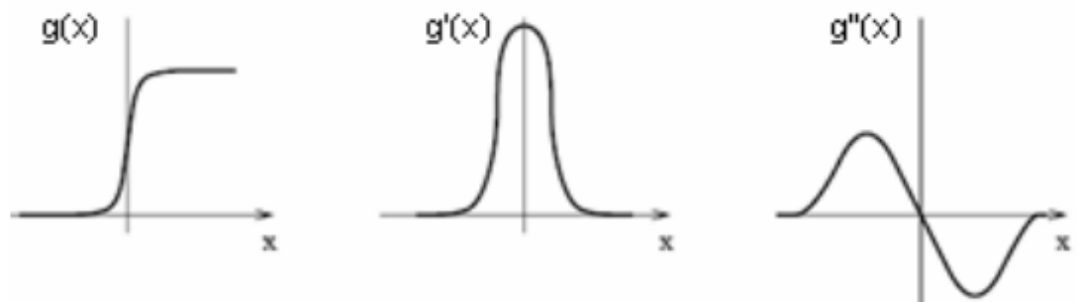
K detekci izolovaných bodů lze použít tzv. Laplaceův operátor  $\nabla^2$ . Výsledek tohoto operátoru na funkci  $f$  v bodě  $(x, y)$  bude: [14]

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (8)$$

Pro Laplaceův operátor se používají určité konvoluční masky v pozitivní nebo negativní variantě: [14]

$$\mathbf{L}_{\text{pos}} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{1} & \mathbf{-4} & \mathbf{1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad \mathbf{L}_{\text{neg}} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{-1} & \mathbf{4} & \mathbf{-1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{-1} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Na následujícím obrázku je znázorněn průchod původní funkcí, první a druhou derivací. Kde je první derivace největší, dochází zde k největší změně intenzity a druhá derivace prochází nulou. [14]



Obr. 17 Průběh obrazové funkce: a) původní funkce; b) první derivace; c) druhá derivace; [14]

#### ▪ *Aktivní kontury*

„Aktivní kontury (snakes, active contours) je metoda postupného tvarování kontur až ke hraně objektu v obraze. Model aktivní kontury je řízená uzavřená kontura, která se deformuje vlivem tzv. vnitřních, obrazových a vnějších sil. Vnitřní síly kontrolují hladkost průběhu, obrazové síly směřují tvarování kontury směrem ke hraně objektu a vnější síly jsou výsledkem počátečního umístění kontury.“ [15]

Mějme konturu v diskretním tvaru: [15]

$$v_n = [x_n, y_n] \text{ pro } n = 0, 1, \dots, N \quad (10)$$

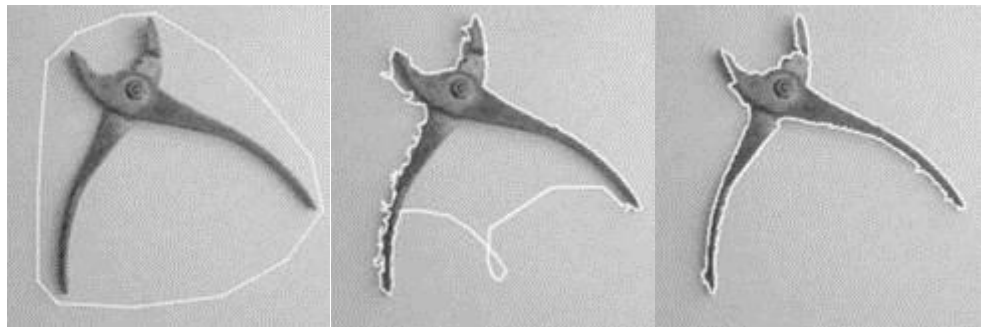
Výsledná pozice aktivní kontury koresponduje s lokálním minimem energie kontury: [15]

$$E_s = \sum_{n=1}^N E_N \{v_n\} + \sum_{n=1}^N E_I \{v_n\} + \sum_{n=1}^N E_T \{v_n\} \quad (11)$$

Kde:

- $E_N$  je vnitřní energie kontury (ohyb, zlom),
- $E_I$  je reprezentace energie obrazu a
- $E_T$  je energie omezení. [15]

Pro zobrazení a aplikaci aktivních kontur nám poslouží funkce `findContours` z knihovny OpenCV.



Obr. 18 Aktivní kontury – počáteční stav (vlevo), standardní postup (uprostřed) a modifikovaná verze algoritmu (vlevo). [15]

„Standardní algoritmus nedosahuje při složitějších konturách dostatečných kvalit, není schopen se přimknout k prudkým zlomům hranic objektu, vytváří falešné kontury či smyčky. Dvojice Ji a Yan [18] navrhl modifikovanou verzi, která některé tyto nedostatky odstraňuje.“ [15]

Tab. 6 Parametry metody aktivních kontur. [15]

<i>Název</i>	<b>Aktivní kontury</b>
<i>Kategorie</i>	Pokročilá detekce hran.
<i>Vstupní data</i>	Obrazová diskrétní data.
<i>Výstupní data</i>	Kontura objektu.
<i>Cílové aplikace</i>	Detekce hran objektů v obraze.

<i>Výhody</i>	Metoda je vhodná i pro složité a komplexní tvary. Umožňuje nastavení parametrů ovlivňujících výsledný tvar kontury.
<i>Nevýhody</i>	Nutná manuální inicializace.

Z výše uvedených funkcí bylo využito prahování, které převedlo vstupní obraz do černobílé, kde za pomoci první derivace neboli gradientu byly nalezeny hrany v obraze, které posloužili jako vstupní data pro použití aktivních kontur a prvků zpracování obrazu pro nalezení a následné vykreslení potřebného profilu pilového pásu.

## 6 KŘIVKY

„Křivky a plochy se používají v počítačové grafice a souvisejících aplikacích na mnoha různých místech. Setkáváme se s nimi při modelování ve třech i ve dvou dimenzích, při definici fontů, při určování dráhy pohybujících se objektů v počítačové animaci, při definici objektů pro šablonování aj. Různé aplikace mají různé požadavky a proto je tato oblast poměrně široká.“ [2]

„V roce 1959 používal P. de Casteljau u firmy Citroen matematický model křivek a ploch, jenž mu je umožňoval jednoduše zadávat. Podobně v šedesátých letech vedl P. Béziere vývoj programového systému UNISURF pro návrh křivek a ploch u firmy Renault. Metody tvarování křivek a ploch se postupem času zdokonalovaly a v současné době je k dispozici velmi silný nástroj, který je stále aktivně rozvíjen.“ [2]

„Výrazný pokrok do této oblasti a především sjednocení dříve používaných různorodých přístupů přineslo používání racionálních B-spline křivek a ploch s neuniformní parametризací, NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline). Tyto metody umožňují generovat klasické geometrické prvky (úsečky, kružnice, elipsy a v prostoru koule, válce atp.), za pomoci stejných metod, které umožňují vytvořit křivky a plochy se složitými průběhy a tvary.“ [2]

### 6.1 Základní vlastnosti křivek

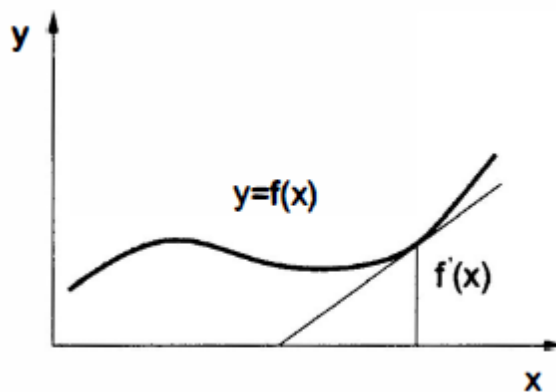
Křivky jsou obvykle v počítači reprezentovány jako soustava parametrů rovnice, která je posléze generativně zobrazována. Toto vyjádření může být v podstatě trojího druhu:

- explicitní,
- implicitní,
- parametrické. [2]

#### 6.1.1 Explicitní vyjádření křivky

Explicitně vyjádřená křivka, může být zadána například jako spojitá funkce ve tvaru: [2]

$$y = f(x), \text{ kde } x \in \langle a, b \rangle \quad (12)$$



Obr. 19 Explicitní zadání křivky. [2]

### 6.1.2 Implicitní vyjádření křivky

Implicitní zadání křivky má tvar: [2]

$$F(x, y) = 0 \quad (13)$$

Příkladem je rovnice kružnice: [2]

$$F(x, y) = (x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 - r^2 = 0 \quad (14)$$

Toto vyjádření je poměrně obtížně zobrazitelné v porovnání s ostatními, neboť neumožňuje v obecnějších případech postupný výpočet křivky. [2]

### 6.1.3 Parametrické vyjádření křivky

V počítačové grafice se pro vyjádření křivek nejčastěji používá tvar parametrický. Křivku můžeme chápat fyzikálně, jako dráhu pohybujícího se bodu, jehož souřadnice jsou funkcemi parametru  $t$  (času). [2]

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t), \quad t \in \langle a, b \rangle \quad (15)$$

Parametr  $t$  je z intervalu  $t \in \langle t_{\min}, t_{\max} \rangle$ .

Bodová rovnice křivky: [2]

$$Q(t) = [x(t), y(t), z(t)] \quad (16)$$

Vektorová rovnice křivky: [2]

$$\vec{q}(t) = (x(t), y(t), z(t)) \quad (17)$$

Vektor  $\vec{q}(t) = Q(t) - [0, 0, 0]$  se nazývá polohový vektor, jeho velikost je rovna vzdálenosti bodu  $Q(t)$  od počátku. Výhodou parametrického zápisu je závislost souřadnic křivky na jediném parametru  $t$ , jehož fyzikální interpretací je čas. [2]

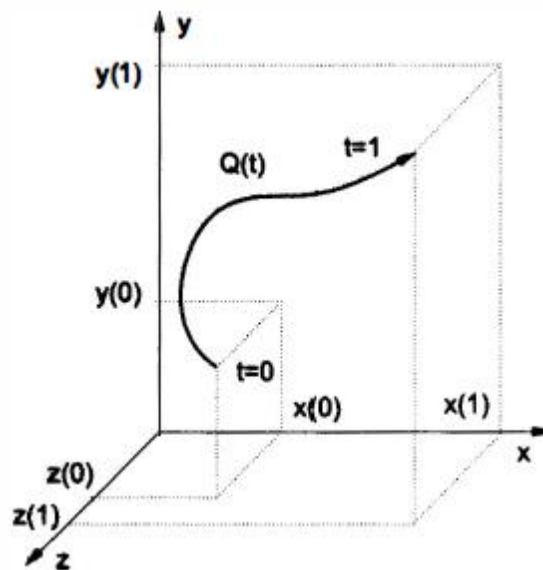
Tečný vektor v bodě  $Q(t_0)$  je určen derivacemi parametricky vyjádřené křivky po složkách ve tvaru: [2]

$$\vec{q}'(t_0) = (x'(t_0), y'(t_0), z'(t_0)) = \left( \frac{dx(t_0)}{dt}, \frac{dy(t_0)}{dt}, \frac{dz(t_0)}{dt} \right) \quad (18)$$

Rovnice tečny, tj. přímky, která se křivky v tomto bodě dotýká, se vypočítá z tečného vektoru a bodu na křivce jako: [2]

$$P(u) = Q(t_0) + u\vec{q}'(t_0), u \in R \quad (19)$$

Vektor  $\vec{q}(t)$  se také nazývá směrový vektor přímky. Ze vztahu (18) je patrné, že parametrická reprezentace křivek umožňuje snadno vyjádřit tečny ke křivce. Toho se využívá zejména při navazování křivek a skládání složitých tvarů u jednodušších částí. [2]



Obr. 20 Křivka vyjádřená parametricky. [2]

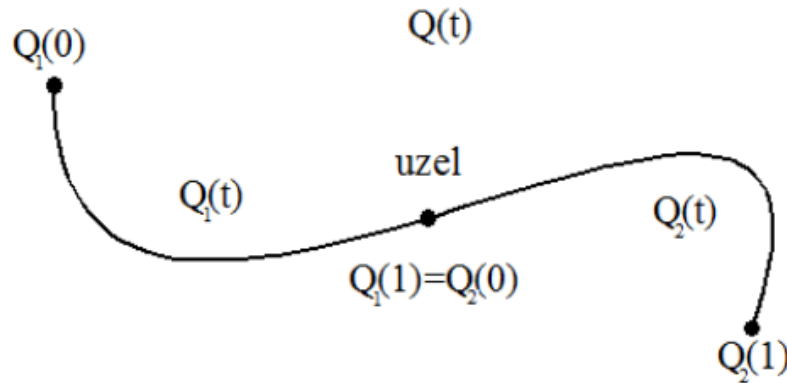
### Mezi často požadované vlastnosti křivek patří:

- Invariance k lineárním transformacím a projekcím, která zaručuje, že například otočení řídicího polygonu a následné generování křivky dá stejný výsledek, jako otočení každého bodu z vygenerované křivky.
- Vlastnost konvexní obálky (convex hull property):
  - silná podmínka - celá křivka leží v konvexní obálce všech svých řídicích bodů,
  - slabá podmínka - část křivky leží v konvexní obálce některých řídicích bodů (segment v obálce svého generujícího polygonu).
- Lokalita změn - změnou polohy a/nebo váhy řídicího bodu se mění jen část křivky, nikoli křivka celá.
- Křivka má procházet krajními body svého řídicího polygonu. [2]

## 6.2 Napojování křivek

Při modelování složitějších křivek nemá smysl provádět modelování pomocí jedné složité křivky vyššího řádku. Daleko praktičtější je modelovat tyto křivky jako navzájem napoju-

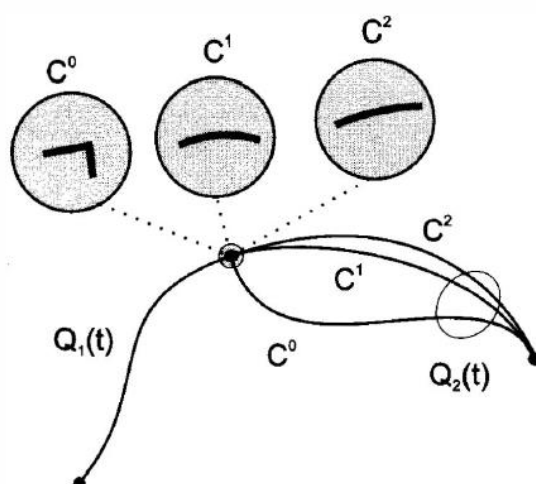
jící se křivky jednoduché složitosti. Koncový bod jedné křivky je zároveň počátečním bodem křivky následující. Tento bod nazveme uzel. Příklad zobrazení můžeme vidět na následujícím obrázku: [3]



Obr. 21 Křivka  $Q(t)$  vzniklá spojením dvou segmentů  $Q_1(t)$  a  $Q_2(t)$  [2][3]

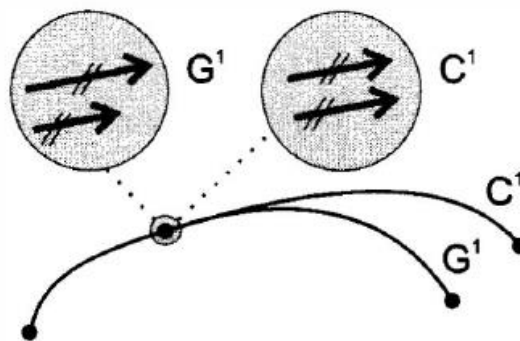
- Parametrická spojitost, značíme  $C^n$ . Říkáme, že křivka  $Q(t)$  je třídy  $C^n$ , má-li ve všech bodech spojitě derivace podle parametru  $t$  do řádu  $n$  [2]. Spojitá návaznost u dvou segmentů, tj. mají spojení třídy  $C^0$ , pokud je koncový bod prvního segmentu počátečním bodem segmentu druhého. Dva segmenty mají spojení  $C^1$ , pokud je tečný vektor v koncovém bodě segmentu  $Q_1$  roven tečnému vektoru segmentu  $Q_2$  v jeho počátečním bodě. [2][3]

$$\vec{q}_1^{(i)}(1) = \vec{q}_2^{(i)}(0); \forall i = 0, 1, \dots, n \quad (20)$$


 Obr. 22 Spojitost  $C^0$ ,  $C^1$  a  $C^2$  [2]

- Geometrická spojitost, označována jako  $G^n$ . Tato spojitost zaručuje totožnost tečen (nikoli tečných vektorů). Pohybující se bod v uzlu nemůže změnit skokem směr, ale může změnit rychlost, křivka je vizuálně hladká. Pro geometrickou spojitost platí, že segmenty křivky  $Q(t)$  jsou  $G^0$  spojitě, pokud je koncový bod  $Q_1$  totožný s počátkem  $Q_2$  [2][3].  $G^1$  spojitost u dvou segmentů nastává tehdy, jestliže je dodržena spojitost  $G^0$  a zároveň u tečných vektorů  $\vec{q}'_1(1)$ ,  $\vec{q}'_2(0)$  dochází k lineární závislosti. Podmínka spojitosti  $G^n$  je splněna, jsou-li segmenty v uzlu  $G^{n-1}$  spojitě a všechny derivace až do  $n-1$  jsou rovnoběžné a souhlasně orientované. [2][3]

$$\vec{q}'_1(1) = k\vec{q}'_2(0); k > 0. \quad (21)$$



Obr. 23 Geometrická a parametrická spojitost. [2]

### 6.3 Modelování křivek

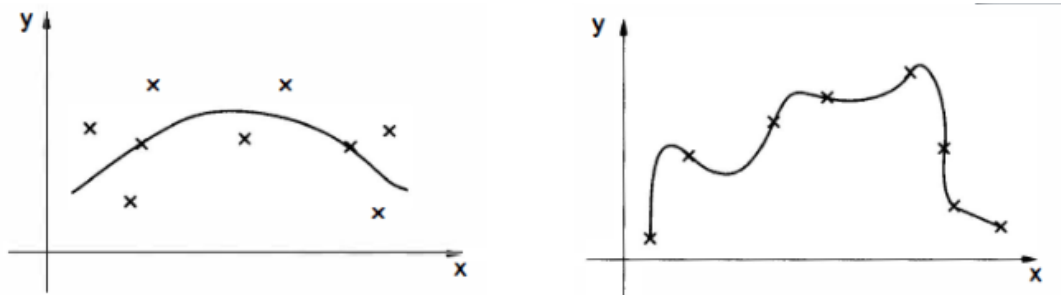
Nejčastěji používaným druhem křivek v počítačové grafice jsou křivky polynomiální: [2][3]

$$Q_n(t) = a_0 + a_1t + \dots + a_nt^n \quad (22)$$

Mezi jejich hlavní výhodu patří rychlost výpočtu a jejich snadná diferencovatelnost. Složením několika segmentů polynomiálních křivek lze vytvořit křivky po částech polynomiální. Nejčastěji bývají využívány křivky třetího stupně tzv. kubiky. Jejich výhodou je nenáročný výpočet, snadná manipulace a lze u nich zaručit spojitost  $C^2$ . U křivek vyššího stupně vznikají nežádoucí vlnění a oscilace. [2][3]

Pro modelování se musí nadefinovat několik řídicích bodů (řídicí polygon) a matematický aparát určí z jejich polohy průběh křivky. Rozlišujeme dva základní způsoby jak interpretovat řídicí body:

1. Interpolace – křivka prochází řídicími body.
2. Aproximace – křivka prochází pouze v blízkosti řídicích bodů. [2][3]



Obr. 24 Aproximační křivka (vlevo) a interpolační křivka. [2][3]

Parametricky zadaná kubika  $Q(t)$  se vyjádří ve tvaru: [2][3]

$$\begin{aligned} x(t) &= a_x t^3 + b_x t^2 + c_x t + d_x \\ y(t) &= a_y t^3 + b_y t^2 + c_y t + d_y \\ z(t) &= a_z t^3 + b_z t^2 + c_z t + d_z \end{aligned} \quad (23)$$

Ve zkráceném maticovém tvaru: [2][3]

$$\mathbf{Q}(t) = \mathbf{TC} = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_x & \mathbf{a}_y & \mathbf{a}_z \\ \mathbf{b}_x & \mathbf{b}_y & \mathbf{b}_z \\ \mathbf{c}_x & \mathbf{c}_y & \mathbf{c}_z \\ \mathbf{d}_x & \mathbf{d}_y & \mathbf{d}_z \end{bmatrix} \quad (24)$$

Derivaci  $\vec{q}'(t)$  získáme derivací vektoru T: [2][3]

$$\vec{q}'(t) = \frac{d}{dt} Q(t) = \frac{d}{dt} TC = \begin{bmatrix} 3t^2 & 2t & 1 & 0 \end{bmatrix} C \quad (25)$$

V případě kubik můžeme matici C rozepsat do součinu: [2][3]

$$C = \mathbf{MG}, \quad (26)$$

kde  $\mathbf{M}$  značí matici konstant tzv. bázovou matici a čtyř-prvkový vektor  $\mathbf{G}$  se označuje jako vektor geometrických podmínek. Součin  $\mathbf{TM}$  definuje polynomiální bázi tj. skupinu polynomů, která je společná pro všechny křivky určitého typu.

Vektor geometrických podmínek obsahuje konkrétní parametry, které ovlivňují tvar křivky. [2][3]

Kubika je potom definována vztahem: [2][3]

$$\mathbf{Q}(t) = \mathbf{TMG} = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_{11} & \mathbf{m}_{12} & \mathbf{m}_{13} & \mathbf{m}_{14} \\ \mathbf{m}_{21} & \mathbf{m}_{22} & \mathbf{m}_{23} & \mathbf{m}_{24} \\ \mathbf{m}_{31} & \mathbf{m}_{32} & \mathbf{m}_{33} & \mathbf{m}_{34} \\ \mathbf{m}_{41} & \mathbf{m}_{42} & \mathbf{m}_{43} & \mathbf{m}_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{G}_1 \\ \mathbf{G}_2 \\ \mathbf{G}_3 \\ \mathbf{G}_4 \end{bmatrix} \quad (27)$$

## 6.4 Bézierovy křivky

Nejpoužívanější křivky používané pro modelování ve 2D prostoru jsou Bézierovy křivky.

V praxi se tyto křivky využívají při definici písma (fontů). [2][3]

Bézierovu křivku  $n$ -tého stupně definujeme vztahem: [2][3]

$$Q(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(t) \quad (28)$$

Kde  $B_i^n$  jsou Bernsteinovy polynomy  $n$ -tého stupně: [2][3]

$$B_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}; t \in \langle 0,1 \rangle; i = 0,1,\dots,n. \quad (29)$$

$$\text{Kde platí } \binom{n}{0} = 1 \text{ a } 0^0 = 1.$$

U Bézierových kubik je tečna v počátečním bodě dána rovnicí: [2][3]

$$\begin{aligned} \vec{q}'(0) &= n(P_1 - P_0), \\ \vec{q}'(1) &= n(P_n - P_{n-1}). \end{aligned} \quad (30)$$

Vlastnosti Bézierových křivek:

- Při změně polohy jediného řídicího bodu dojde ke změně tvaru celé křivky.
- Nezápornost Bernsteinových polynomů.
- Výsledná křivka bude vždy ležet v konvexní obálce.
- Invariantnost [2][3]

#### 6.4.1 Algoritmus de Casteljau

Algoritmus de Casteljau patří mezi jedinou metodu jak vypočítat Bézierovu křivku stupně  $n$ . Jedná se o rekurzivní algoritmus, kde jednotlivé body křivky o souřadnicích  $Q(t)$  se vypočítají podle rekurentního vztahu: [2][3]

$$P_{j,i}(t) = (1-t)P_{j-1,i-1} + tP_{j,i-1} \quad (31)$$

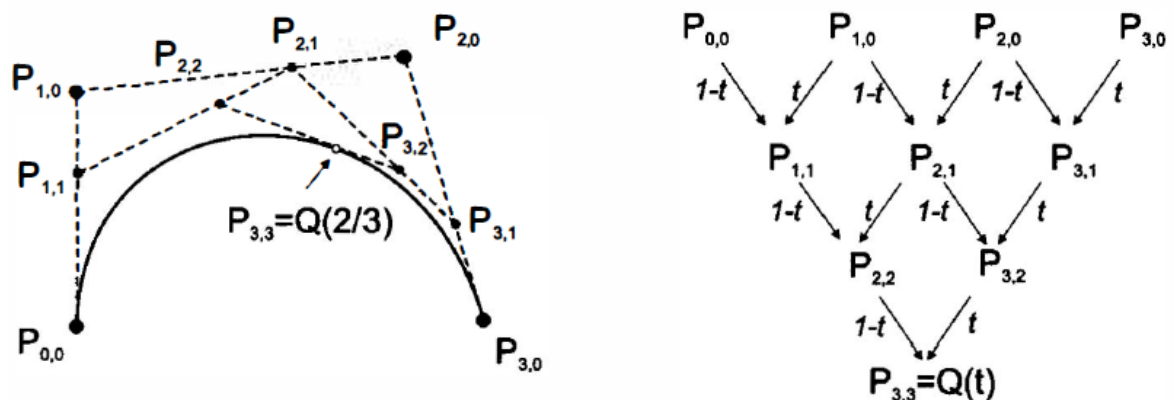
Kde  $i=1,2,\dots, n$  a  $j=i, i+1, \dots, n$ . Vstupem do algoritmu jsou body řídicího polygonu a časový okamžik  $t \in [0,1]$ . Postupně dosazujeme za  $P_{i,0} = P_i$  a rekurentní vztah postupně vypočítává body  $P_{i,j}$ . Algoritmus de Casteljau rozděluje Bézierovu křivku na dvě části v libovolném místě, kdy nejjednodušší je dělení ve středu křivky, tj.  $t = 1/2$ . Při dělení se vytvoří dvě skupiny řídicích bodů  $L_0, \dots, L_n$  a  $R_0, \dots, R_n$ , které přísluší části rozpuštěné křivky. [2][3]

Tím získáme nové řídicí body pomocí vztahů: [2][3]

$$L_i = \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \frac{P_j}{2^i} \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (32)$$

$$R_i = \sum_{j=i}^n \binom{n-i}{n-j} \frac{P_j}{2^{n-i}} \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (33)$$

Které se graficky zobrazí jako půlení úseček. Pokud tento postup budeme opakovat, konverguje polygon určený řídicími body k Bézierově křivce. Řídicí polygon je aproximací Bézierovy křivky a každé dělení generuje dva nové řídicí polygony, které jsou přesnějšími aproximacemi této křivky. [2][3]



Obr. 25 Algoritmus de Casteljau: výpočet bodu  $Q(2/3)$  (vlevo) a schéma výpočtu. [2]

#### 6.4.2 Bézierovy kubiky

Bézierovy kubiky patří mezi nejčastěji používané křivky. Bézierova kubika je tvořena křivkami třetího stupně  $n = 3$ . Je zadána čtyřmi body  $P_0, P_1, P_2, P_3$ . [2][3]

Vychází z prvního řídicího bodu  $P_0$  a končí v posledním bodě  $P_3$  a je určena vztahem: [2][3]

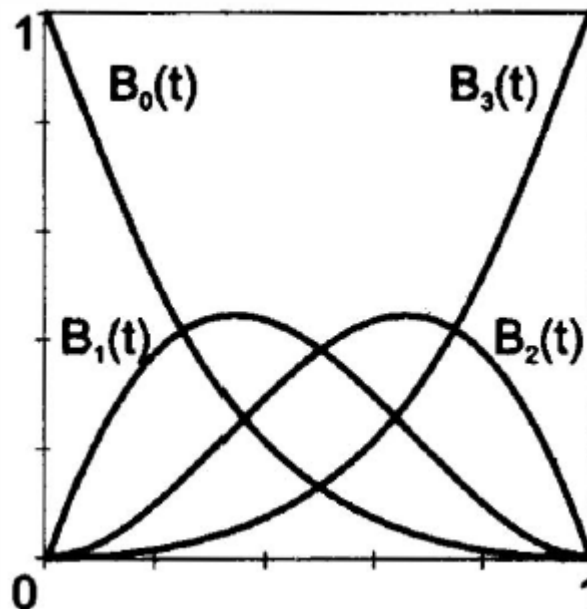
$$Q(t) = \sum_{i=0}^3 P_i B_i(t), \quad (34)$$

Maticový zápis je ve formě: [2][3]

$$Q(t) = \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (35)$$

Pro tečné vektory v prvním a posledním bodě platí vztah: [2][3]

$$\begin{aligned} \vec{p}'(0) &= 3(P_1 - P_0) \\ \vec{p}'(1) &= 3(P_3 - P_2) \end{aligned} \quad (36)$$



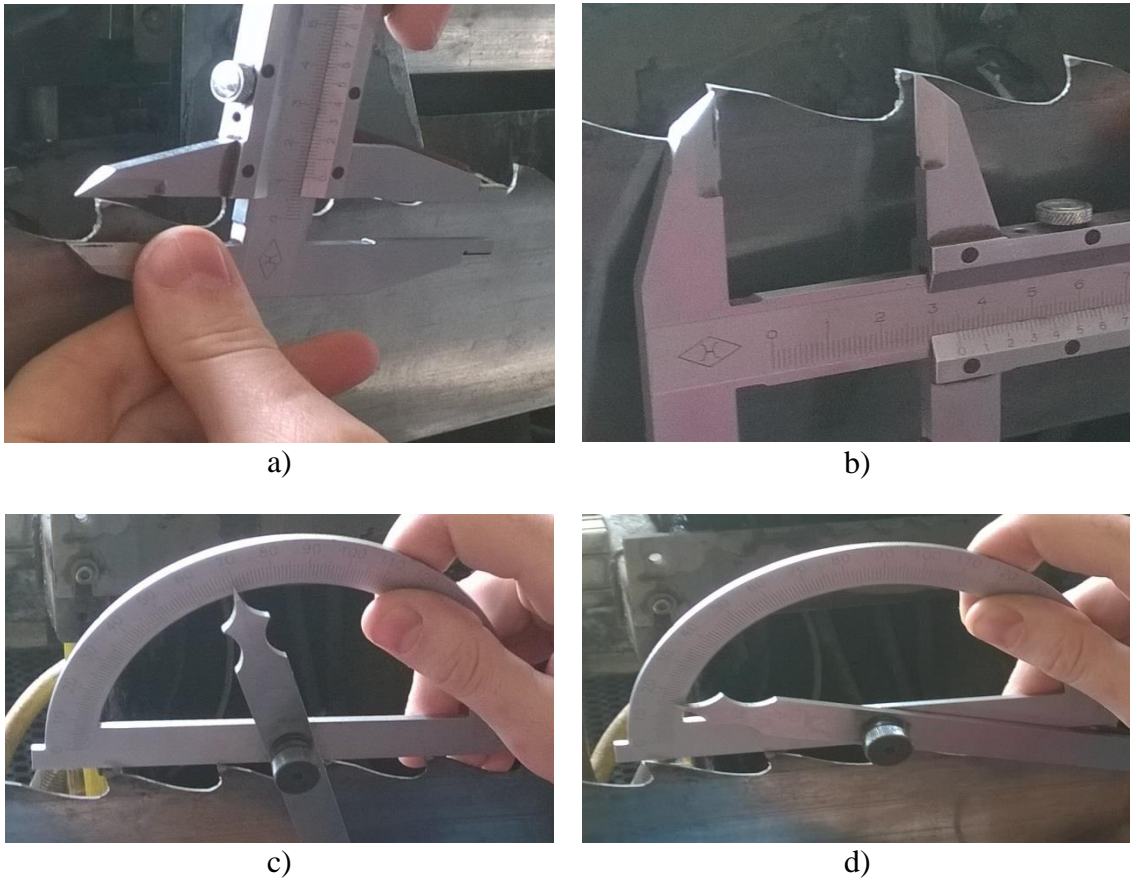
Obr. 26 Vyobrazení Bernsteinových polynomů 3. stupně. [2]

Díky zmíněným Bézierovým křivkám bylo možné proložit tvar profilu zubu, získaného pomocí aktivních kontur ze snímaného obrazu. Tím docílíme hladkého průběhu po celé délce křivky.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 SOUČASNÝ PRŮBĚH IDENTIFIKACE

V současné době probíhá identifikace pilových pásů ručně, tj. rozteč a výška profilu zubu se zjišťuje pomocí posuvného měřítka, dále se pomocí úhloměru měří úhel čela a úhel zadního zubu.



Obr. 27 Současné měření: a) výška zubu; b) rozteč zubu; c) úhel čela; d) zadní úhel čela;

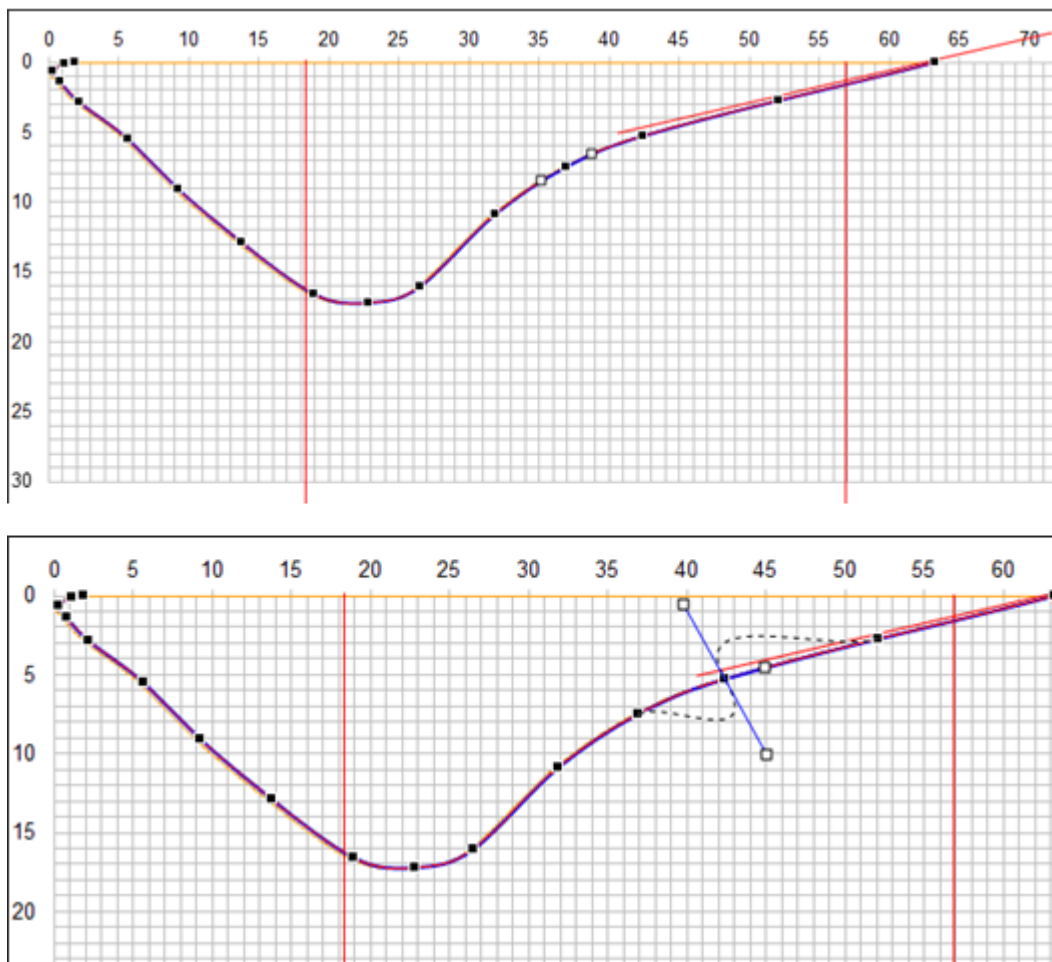
Poté se přistoupí k samotné identifikaci pilového pásu. Podle získaných hodnot z měření a získaných zkušeností z praxe se přibližně odhadne, jaký již existující pás odpovídá těmto parametrům.

V pracovním PC se najde soubor s tímto profilem a parametry se zapíše do zvolených buněk.

Rozteč	+	Zvětšení rozteče	Celkový posun podavače
45,00	mm	40	63,0 mm
Výška zubu		Úhel zad zubu	Celkový posun brousícího kotouče
14	mm	13	17,3 mm
<small>15,71</small>		<small>1,61</small>	
Úhel čela		Tloušťka brusného kotouče	
27	°	10,5	mm
Pořadové číslo		Popis	
162		Mebor 45/14/27° (10 r 2&8)	

Obr. 28 Vložení aktuálně naměřených hodnot.

Dále se nastaví křivka, která graficky znázorňuje hodnoty společných tečen brousícího kotouče a samotného profilu zubu.



Obr. 29 Tvarování křivky pomocí jednotlivých řídicích bodů.

Experimentální metodou se odhadne tvar křivky a veškerá vypočtená data se pošlou pomocí síťového kabelu LAN do CNC stroje. Nejdříve je ale potřeba se podívat do dalšího souboru, který obsahuje seznam profilů, které se už jednou brousily. CNC stroj dokáže uchovat a přečíst ze souboru pouze 500 profilů. Tudiž pokud je překročen limit, je potřeba nějaký nejdéle nepoužívaný profil smazat a místo něho nahrát nový, který je potřeba aktuálně vybrousit.

Další experimentální metodou se nejprve obrousí čelo zubu a poté hřbet. Pokud profil neodpovídá požadovanému tvaru, mění se tvar křivky do té doby, než tvar zubu bude uspokojivý. Pokud profil odpovídá požadovanému tvaru, veškeré hodnoty jsou uloženy a může se začít s broušením a k vyhotovení zakázky.

Postup je potřeba opakovat na další dva stroje, už bez nastavování hodnot, pouze připojení pracovního PC ke stroji a nahrání patřičných dat.

Tímto postupem identifikace jsou pověřeny pouze tři osoby a samotný jednatel firmy. Pokud se jedná o významného zákazníka, identifikaci provede samotný jednatel.

<u>Číslo programu</u>	<u>Jméno</u>	<u>Číslo profilu</u>
143	Valtin 35/11/16° (10 r 2&8)	497
316	2 Max 40/12/22° (10 r 2&8)	
202	Africa1 30/10,5/18° (10 r 2&8)	
83	Agroforest 40/11/21° (10 r 2&8)	
122	Aldima 35/12/25° (10 r 2&8)	
305	Apia 30/9,4/19° (10 r 2&8)	
215	ArtWood 45/12,7/25° (10 r 2&8)	
350	B a R 35/12/21° (10 r 2&8)	
158	B a R 40/12/25° (10 r 2&8)	
490	B30-18 30/9,5/18° (10 r 2&8)	
133	B30-20 30/9,5/20° (10 r 2&8)	
113	B30-24 30/10/24° (10 r 2&8)	

Setridit podle cisla

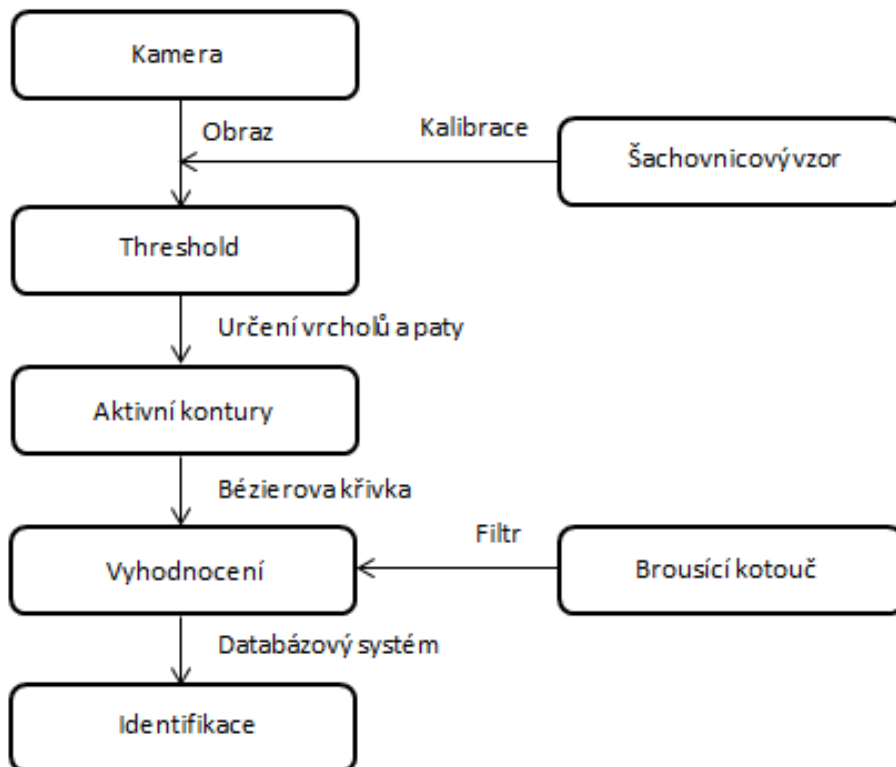
Setridit podle jmena

Poslat do stroje

Obr. 30 Soubor se seznamem profilů pro CNC stroj.

## 8 BLOKOVÉ SCHÉMA VYTVOŘENÉHO SYSTÉMU AUTOMATICKÉ IDENTIFIKACE

Na následujícím obrázku je znázorněno zjednodušené blokové schéma vytvořeného systému pro automatickou identifikaci pilových pásů:

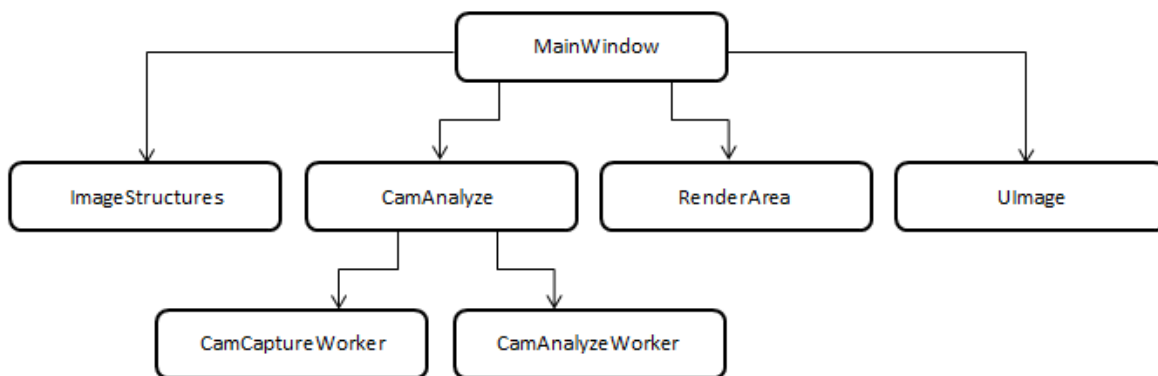


Obr. 31 Blokové schéma.

Kamera zachycuje snímání objekt v podobě vstupního obrazu, který se kalibruje pomocí šachovnicového vzoru. Vstupní obraz se převede pomocí ručního/automatického *thresholdu* na černobílý. Pomocí algoritmu se určí dva vrcholy zubu a jeho pata. Na tyto parametry profilu se aplikuje algoritmus aktivních kontur, které zachytí obrys profilu a uloží ho do vektoru. Výsledný obrys se proloží pomocí několika Bézierových křivek za sebou, jež na sebe budou plynule navazovat. Poté dojde k vyhodnocení všech potřebných údajů k identifikaci, může se použít filtr pomocí tvaru brousíciho kotouče. Systém oznámí, zdali byl profil v databázi nalezen či nikoliv.

## 9 TŘÍDY VYTVOŘENÉHO PROGRAMU

Aby byl zdrojový kód programu přehledný, bylo zapotřebí ho rozdělit do několika tříd, viz Obr. 32. Každá třída definuje množinu vlastností (atributů a operací) společných pro všechny své instance.



Obr. 32 Zobrazení vývojového diagramu tříd.

Třída *MainWindow* je hlavní třída programu, zastřešující všechny ostatní třídy, stará se především o vykreslování a ukládání dat. Třída *ImageStructures* definuje strukturu profilů v programu, např. informace o profilu zubu. Následuje třída *CamAnalyze*, která zastřešuje další dvě třídy (*CamCaptureWorker* a *CamAnalyzeWorker*) běžící v samostatných vláknech pro analýzu obrazu. Již zmíněná třída *CamCaptureWorker* se stará o sejmутí snímku z kamery a předání jejich ukazatelů, kdežto *CamAnalyzeWorker* aplikuje metody zpracování obrazu. Je zde také třída *RenderArea*, která se stará o vykreslování obrazců a snímků v programu. Poslední třídou je *UImage* obsahující hlavní metody zpracování obrazu.

## 10 DATABÁZE

Databáze je obecně registr (papírová agenda) v elektronické podobě, v podobě perzistentních dat. To jsou data s dobou života překračující běh aplikačního programu i vypnutí počítače. V našem vyvíjeném systému se využívá databáze MySQL.

MySQL je tzv. relační databáze, to označuje pojem založený na tabulkách. Položky ukládáme na jednotlivé řádky, sloupce označují atributy (vlastnosti), které položky mají. MySQL databáze je typovaná tzn., že každý sloupec má svůj neměnný datový typ (číslo, znak, krátký text, dlouhý text, apod.) a může obsahovat hodnoty pouze tohoto typu. Každý řádek tabulky by měl mít svůj unikátní identifikátor, pro lepší práci s relační databází.

Prostředí, které je použito pro náš systém je *phpMyAdmin* a běží na firemním serveru. Existují i lepší databáze (např. SQLite nebo PostgreSQL), ale pro jednoduchost a rozšířenost byl použit *phpMyAdmin*, který plně vyhovuje požadavkům.

Aby bylo možné jednotlivé profily ukládat a vyhledávat mezi nimi shodu, bylo potřeba vytvořit databázi.

### 10.1 Vytvoření databáze

Jako první krok je třeba vyplnit název databáze (v příkladu níže *dudr*). Název by měl být bez diakritiky, malými písmeny a s podtržítkovou notací. Nastavení porovnání na *utf8\_czech\_ci*. Následující příkazy jsou prováděny v jazyku SQL (*Structured Query Language*), tedy ve strukturovaném dotazovacím jazyku.

Příkaz pro vytvoření databáze:

```
CREATE DATABASE `dudr` CHARACTER SET utf8 COLLATE utf8_czech_ci;
```

## 10.2 Vytvoření tabulek

Po úspěšném vykonání příkazu pro vytvoření databáze následuje příkaz pro vytvoření tabulky parametrů profilu brousícího kotouče:

```
CREATE TABLE `feeder`  
(  
  `id_feeder` int NOT NULL AUTO_INCREMENT,  
  `grindstone_width` decimal(10,5),  
  `grindstone_motion` decimal(10,5),  
  `grindstone_rRadius` decimal(10,5),  
  `grindstone_lRadius` decimal(10,5),  
  `grindstone_diameter` decimal(10,5),  
  `grindstone_rAngle` decimal(10,5),  
  `grindstone_lAngle` decimal(10,5),  
  `diamond_motion` decimal(10,5),  
  `headMotion` decimal(10,5),  
  PRIMARY KEY (`id_feeder`)  
)
```

První řádek slouží pro vytvoření názvu tabulky, na dalších řádcích se definují jednotlivé sloupce tabulky a jejich datový typ. U typu *decimal* je ještě uveden rozsah. *AUTO\_INCREMENT* u *id\_feeder* označuje, aby se každý nově vytvořený řádek čísloval o hodnotu 1 větší, než měl řádek předchozí. Na konci příkazu se nastaví *id\_feeder* jako primární klíč tabulky.

V kódu výše značí:

- *id\_feeder*: identifikační číslo brousícího kotouče
- *grindstone\_width*: tloušťka brousícího kotouče
- *grindstone\_motion*: celkový posun brousícího kotouče

- *grindstone\_rRadius*: pravý rádius kotouče
- *grindstone\_lRadius*: levý rádius kotouče
- *grindstone\_diameter*: průměr diamantového orovnávače
- *grindstone\_rAngle*: pravý úhel orovnění
- *grindstone\_lAngle*: levý úhel orovnění
- *diamond\_motion*: chod orovnávacího diamantu
- *headMotion*: celkový posun hlavy orovnávače

V dalším kroku se vytvoří tabulka parametrů profilu pilového pásu:

```
CREATE TABLE `toothprofile`  
(  
  `id_tooth` int NOT NULL AUTO_INCREMENT,  
  `id_feeder` int NOT NULL,  
  `name` varchar(100),  
  `profNumber` int,  
  `distance` double,  
  `height` double,  
  `angle` int,  
  `backAngle` double,  
  `scale` int,  
  PRIMARY KEY (`id_tooth`),  
  FOREIGN KEY (`id_feeder`) REFERENCES feeder(`id_feeder`)  
)
```

Kde opět první řádek slouží pro vytvoření názvu tabulky, na dalších řádcích se definují jednotlivé sloupce tabulky a jejich datový typ. U typu *varchar* je ještě uveden počet znaků. *AUTO\_INCREMENT* u *id\_tooth* opět označuje, aby se každý nově vytvořený řádek čísloval o hodnotu 1 větší, než měl řádek předchozí. Na konci příkazu se nastaví *id\_tooth* jako

primární klíč tabulky a *id\_feeder* jako cizí klíč se spojením (referencí) na *id\_feeder* druhé tabulky *feeder*.

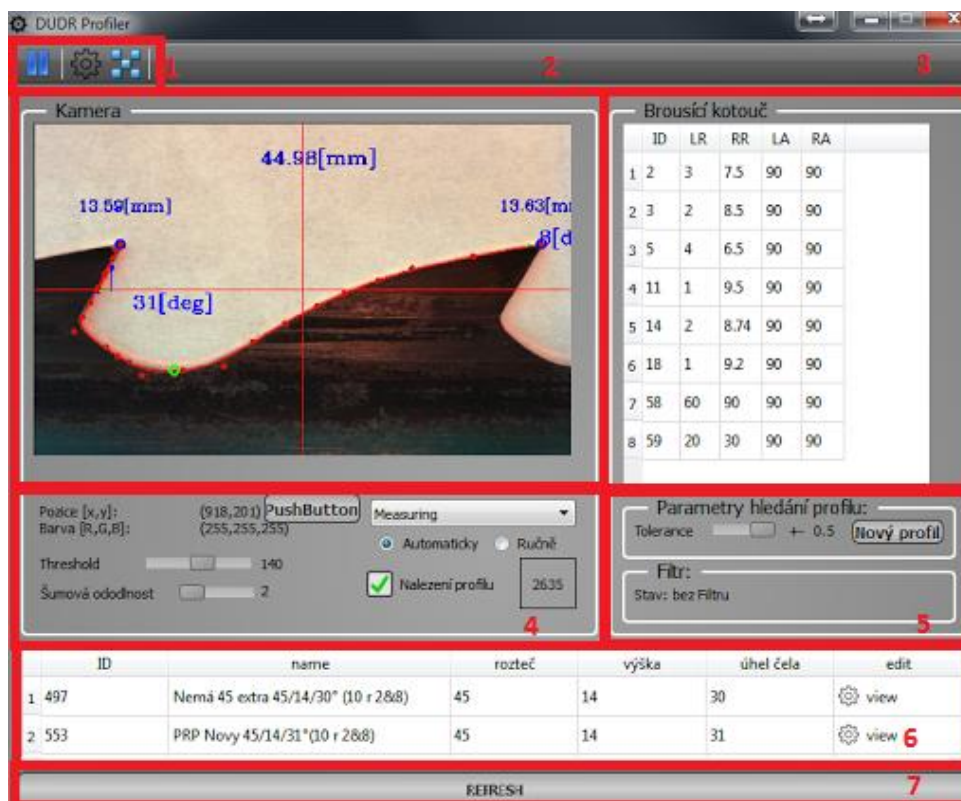
Význam jednotlivých proměnných:

- *id\_tooth*: identifikační číslo zubu
- *id\_feeder*: identifikační číslo brousícího kotouče
- *name*: název profilu
- *profNumber*: firemní číslo profilu
- *distance*: rozteč profilu
- *height*: výška profilu
- *angle*: úhel čela profilu
- *backAngle*: zadní úhel profilu
- *scale*: zvětšení rozteče profilu

## 11 VYTVOŘENÉ UŽIVATELSKÉ ROZHŘANÍ

Vytvořené uživatelské rozhraní pro identifikaci profilu, viz obr. 33, se skládá ze sedmi hlavních bloků, ve kterých je možno nastavovat různé parametry pro správnou identifikaci profilu pilového pásu, konkrétně se jedná o:

1. Panel nástrojů – rychlé nastavení výstupu z kamery a profilů.
2. Výstupní obraz z kamery – nalezení 3 důležitých bodů (2 vrcholy a paty profilu).
3. Výběr parametrů brousícího kotouče – filtr pomocí tvaru brousícího kotouče.
4. Nastavení parametrů výstupního obrazu – nastavení *thresholdu*, šumové odolnosti a vykreslení Bézierovy křivky.
5. Nastavení parametrů pro identifikaci profilu - filtr podle brousícího kotouče a nastavení tolerance míry měření.
6. Seznam nalezených profilů podle zadaných parametrů - zobrazení důležitých parametrů profilu (ID, název, rozteč, výška, úhel čela).
7. Tlačítko pro obnovení dat.



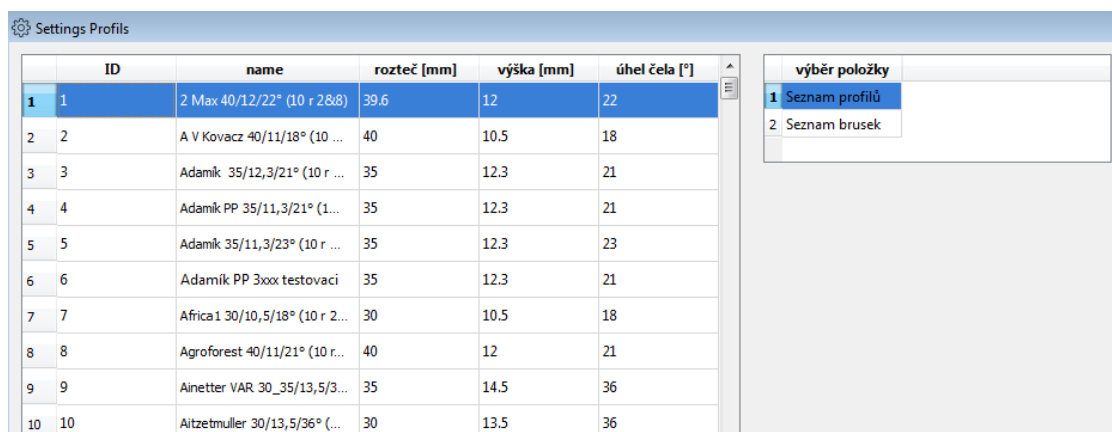
Obr. 33 Hlavní uživatelské prostředí identifikace profilu.

Uživatelské rozhraní pro nový profil/editaci profilu se skládá z 5 bloků. Obrázek zobrazující tyto bloky je přiložen v přílohách pod označením P II.

V těchto blocích je možno nastavovat různé parametry pilového pásu, a to:

1. Profil pilového pásu – zobrazení tvaru profilu
2. Parametry profilu – nastavení důležitých parametrů profilu (název, rozteč, výška, úhel čela).
3. Parametry brousícího kotouče – nastavení/vyhledání parametrů brousícího kotouče
4. Profil brousícího kotouče a orovnávače – zobrazení tvaru profilu brousícího kotouče a orovnávače podle zadaných parametrů
5. Ovládací prvky

Uživatelské rozhraní pro správu profilů (rychlý náhled a mazání profilů) se skládá ze dvou bloků, jak je znázorněno na následujícím obrázku:



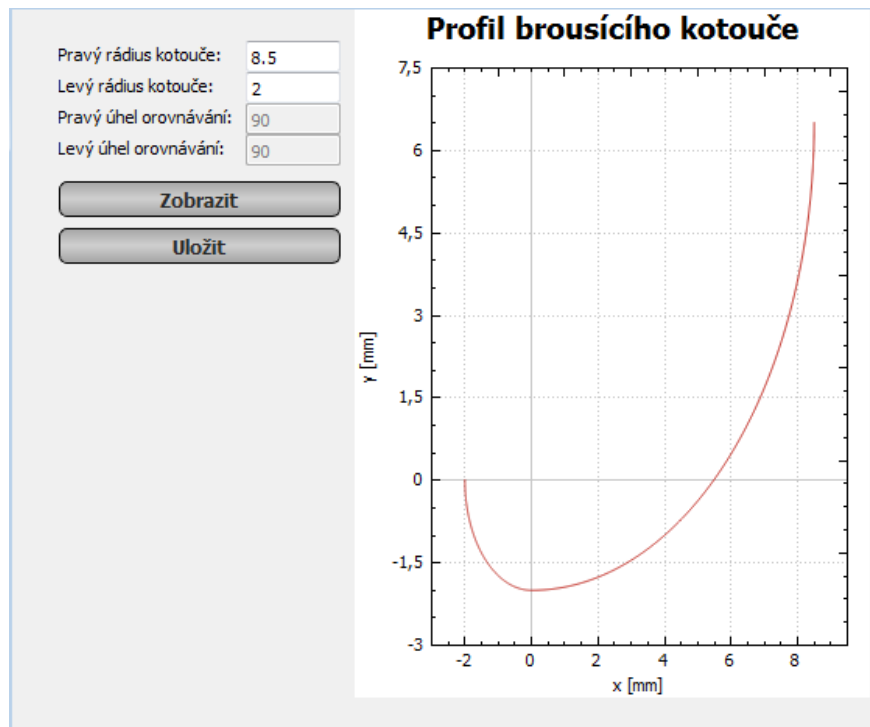
ID	name	rozteč [mm]	výška [mm]	úhel čela [°]
1	2 Max 40/12/22° (10 r 2&8)	39.6	12	22
2	A V Kovacz 40/11/18° (10 r ...)	40	10.5	18
3	Adamik 35/12,3/21° (10 r ...)	35	12.3	21
4	Adamik PP 35/11,3/21° (1...	35	12.3	21
5	Adamik 35/11,3/23° (10 r ...)	35	12.3	23
6	Adamik PP 3xxx testovací	35	12.3	21
7	Africa1 30/10,5/18° (10 r 2...	30	10.5	18
8	Agroforest 40/11/21° (10 r...	40	12	21
9	Ainetter VAR 30_35/13,5/3...	35	14.5	36
10	Aitzetmuller 30/13,5/36° (...)	30	13.5	36

Obr. 34 Uživatelské prostředí pro správu profilů.

Na pravé straně si uživatel může vybrat kategorii, ze které chce dané profily zobrazit. Poté se na levé straně zobrazí seznam dostupných profilů.

Pokud uživatel zmáčkne klávesu *Enter* zobrazí se mu náhled profilu, který může editovat. Pokud bude zmáčknutá klávesa *Delete* bude uživatel dotázán, zdali chce opravdu vybraný profil smazat či nikoliv. Pokud dotaz potvrdí, vybraný profil bude odstraněn.

U seznamu brusek si uživatel může zvolit i vložení nové brusky (Obr. 35), kde je možné nastavit si velikost pravého a levého rádiusu a zároveň si vykreslit jeho náhled do grafu. V budoucím rozšíření je plánováno, že se bude přidávat i nový profil, kde jednotlivé body Bézierovy křivky bude zadávat sám uživatel. Doposud lze vytvořit nový profil pilového pásu, ale Bézierovy body jsou získávány automaticky po zpracování vstupního obrazu.



Obr. 35 Uživatelské prostředí pro editaci/vložení profilu brousícího kotouče.

## 12 BRUSNÝ KOTOUČ

Brusný kotouč, tedy jeho tvar, má velký vliv na výsledný vzhled profilu pilového pásu. Proto je potřeba ho správně orovnat, z důvodu jeho opotřebení a kvůli jeho správnému tvaru pro broušení.

### 12.1 Volba brousícího kotouče

Správná volba kotouče je obtížná a záleží na mnoha činitelích např.:

- Na vlastnostech broušeného materiálu – pevnost, tvrdost, houževnatost
- Na druhu brusné operace – broušení válcových ploch vnějších, vnitřních, rovinné apod. [19]

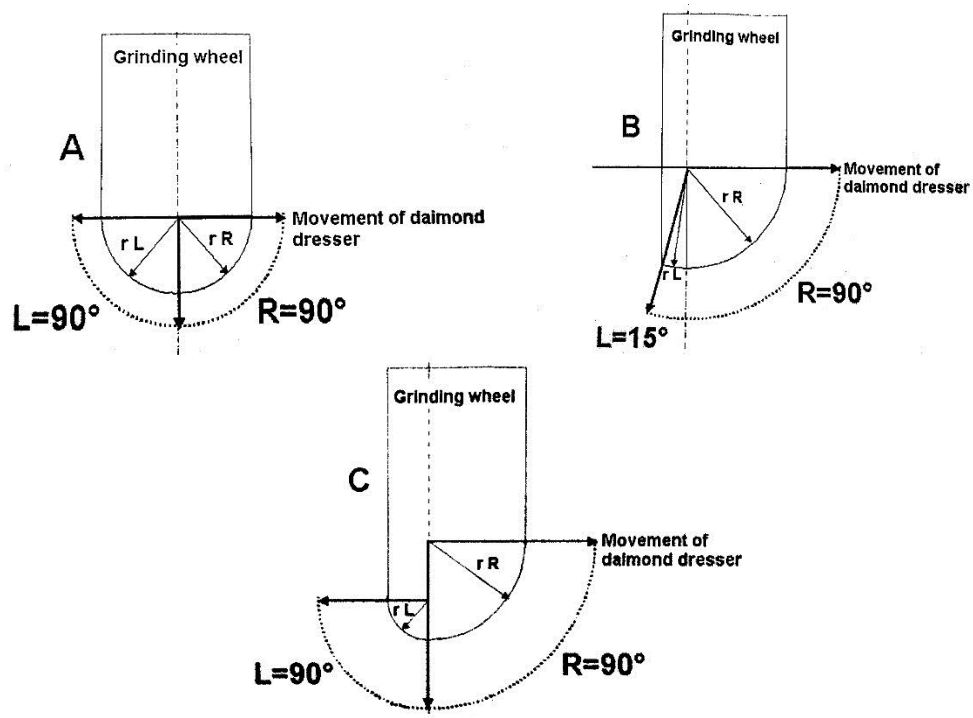
Na podmínkách broušení:

- Typ stroje, rychlost obvodová a posuvná
- Styková plocha brousícího kotouče, šířka, rozsah a způsob dotyku (kontinuální či přerušovaný)
- Chlazení [19]

### 12.2 Tvar brusného kotouče

Používají se 3 základní typy tvaru brusného kotouče, které jsou zobrazeny na následujícím obrázku:

- a) Stejný rádius, stejný počátek středů.
- b) Stejný počátek středů, jiný rádius.
- c) Různý počátek středů, stejný rádius.



Obr. 36 Ukázky různých tvarů brusných kotoučů.

Vytvořený systém si poradí se všemi typy tvarů brusného kotouče, avšak firma che pro systém využít zatím jen typ A, tedy stejný pravý i levý radius  $90^\circ$  a stejný počátek středů. Parametry brusného kotouče lze vybrat ze seznamu kotoučů, které jsou generovány přímo z databáze nebo jejich ručním zadáním. Pro přehlednost uživatele se tvar kotouče automaticky vygeneruje do grafické podoby jak je vidět na Obr. 35.

### 12.3 Orovnání brusného kotouče

Orovnáváním brusného kotouče se odstraňují nerovnosti povrchu kotouče a odstraňují opotřebená zrna.

**Účelem orování je:**

- vytvořit nebo obnovit na brusném kotouči požadovaný geometrický tvar
- odstranit broušený materiál a prach ze struktury kotouče
- obnovovat řezivost kotouče (zajistí se odstraněním otupené vrstvy)
- ovlivnit způsobem orování jakost broušeného povrchu obrobku, resp. drsnost jeho povrchu

Pro orovnění se používá různých způsobů orovňávání a typů orovnávačů. Můžeme je rozdělit do dvou skupin:

- bezdiantové orovnávače
- diamantové orovnávače

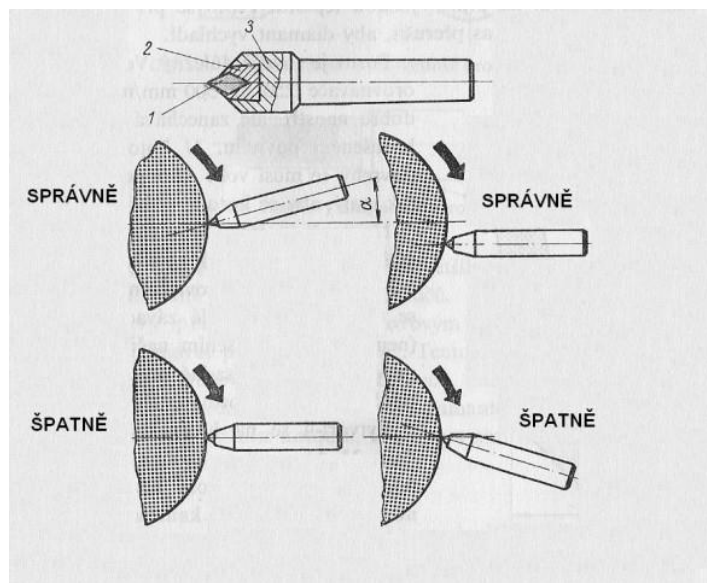
### 12.3.1 Bezdiamantové orovnávače

Diamantové orovnávače jsou určeny většinou pro vytvoření hrubého tvaru kotouče. Orvnává se buď ručně, nebo pomocí speciálního orovňovacího zařízení. [20]

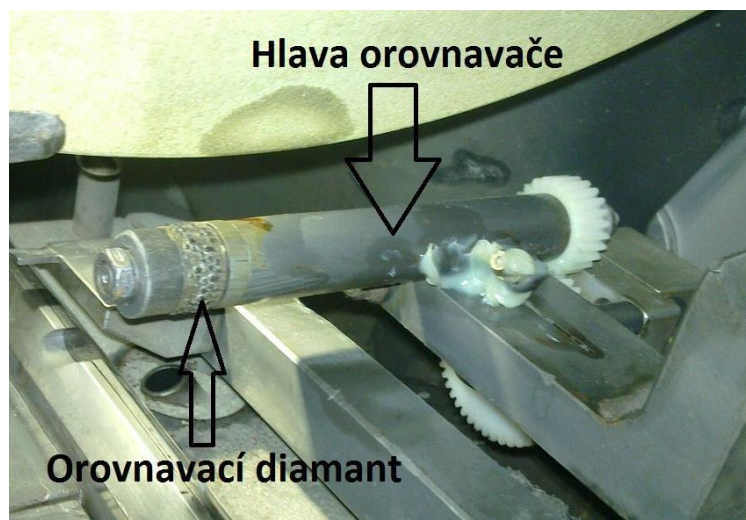
### 12.3.2 Diamantové orovnávače

Diamantové orovnávače [20] se používají pro přesné orovnění. Oproti bezdiamantovým orovnávačům jsou sice dražší, ale pro své přednosti jsou nejrozšířenější a nejužívanější.

„Při orovňávání diamantem musí být brusný kotouč dobře vyvážen, aby mezi kotoučem a diamantem nepůsobilo chvění. Ke směru orovňávání musí být diamantový orovnávač skloněn pod úhlem  $\alpha = 10$  až  $15^\circ$ . Toho se dosáhne buď nakloněním diamantu, nebo posunutím vodorovně ustaveného diamantu pod střed.“ [20]

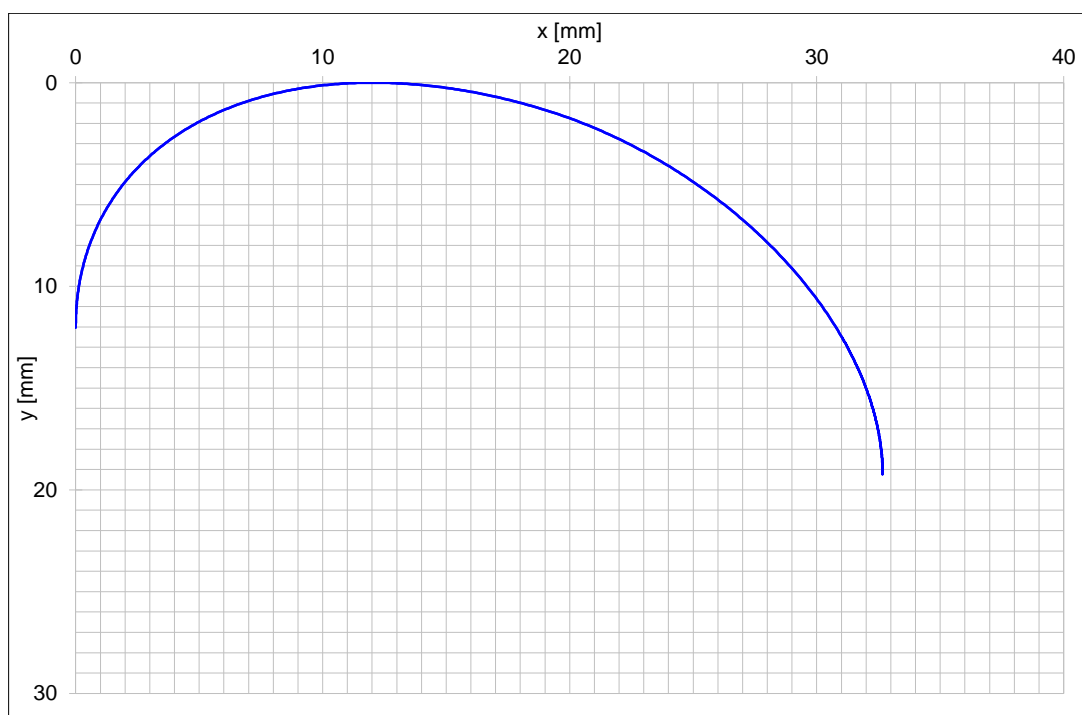


Obr. 37 Postavení diamantového orovnávače. [20]

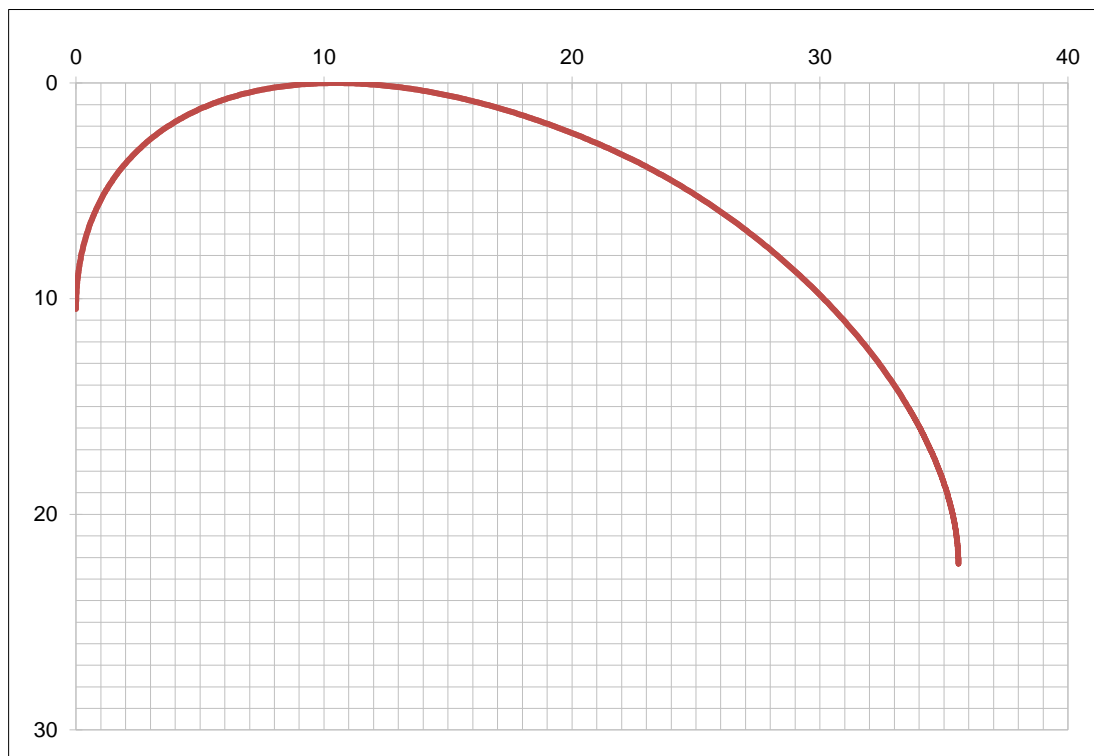


Obr. 38 Zobrazení hlavy orovnávače a orovnávacího diamantu.

Na základě stejných tečen (směrnic) tvaru brousícího kotouče a tvaru orovnávače, se vypočítají souřadnice průchodu orovnávače. Tyto souřadnice se zobrazí do grafu, viz následující obrázek:



Obr. 39 Původní křivka pohybu orovnávače.



Obr. 40 Vypočítaná křivka pohybu orovnávače vytvořeného systému.

Jak je z grafů patrné, lze nalézt viditelné shody tvaru křivek. Výsledný algoritmus pro orovnávací diamant je tedy aplikovatelný v praxi.

### 13 KALIBRACE KAMERY

Před začátkem používání systému je dobré provést kalibraci pomocí šachovnicového vzoru, viz obr. 41 (vlevo).

Typ kalibrace:

- Automatický
- Ruční

Automatický typ kalibrace se děje pomocí funkce z knihovny openCV viz následující kód:

```
int cvFindChessboardCorners(const void* image, CvSize
patternSize, CvPoint2D32f* corners, int* cornerCount=NULL,
int flags=CV_CALIB_CB_ADAPTIVE_THRESH
```

*image* – černobílý obraz z kamery,

*patternSize* – počet vnitřních rohů šachovnice,

*corners* – výstupní pole nalezených rohů,

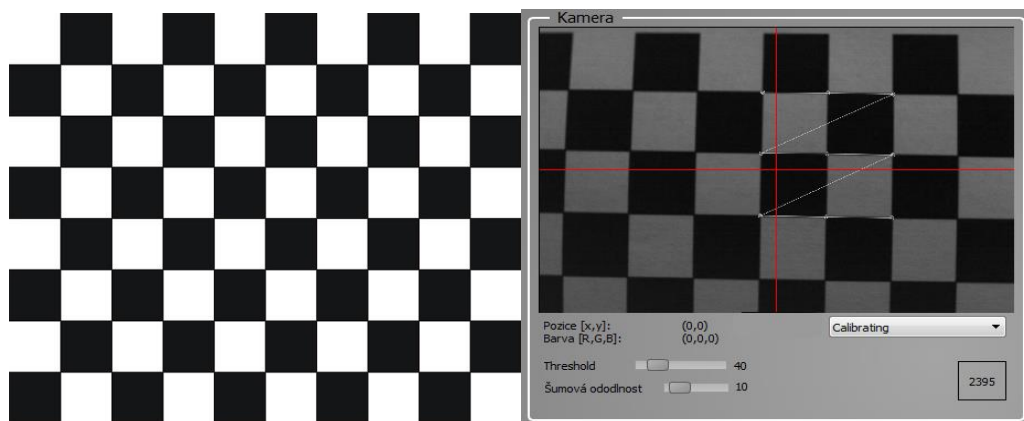
*cornerCount* – počet nalezených rohů,

*flags* – nastavení vyhledávání:

- CV\_CALIB\_CB\_ADAPTIVE\_THRESH – použij adaptivní prahování vstupního obrazu, místo pevného průměru,
- CV\_CALIB\_CB\_NORMALIZE\_IMAGE – proved' ekvalizaci histogramu před samotným prahováním.
- CV\_CALIB\_CB\_FILTER\_QUADS – použij další metody pro odstranění falešných rohů.

Používají se obrazce šachovnicového vzoru, které jsou snadno viditelné ve snímané scéně. Šachovnicový vzor je vhodný zejména proto, že program snadno zaznamená kontrastní body v místech křížení čtverců.

Ruční kalibrace probíhá na základě sejmutí šířky černého čtverečku ze šachovnicového vzoru. Poté se vykoná algoritmus, který přepočítá, kolik pixelů odpovídá 1 $\mu$ m.



Obr. 41 Šachovnicový vzor pro kalibraci kamery (vlevo), správná kalibrace kamery.

## 14 TESTOVÁNÍ VYTVOŘENÉHO SYSTÉMU

Základní testování vyvíjeného systému probíhalo na čtyřech typech pilových pásů. Každý pás byl pro každou toleranci změřen desetkrát.

Tab. 7 Testovací tabulka identifikace profilu pilového pásu.

Název pilového pásu	Tolerance [mm]	Detekce [počet]	
		ANO	NE
Lesy Teletvín 45 31°	0,5	9	1
	0,4	9	1
	0,3	10	0
	0,2	8	2
PRP Nový 45 31°	0,5	10	0
	0,4	10	0
	0,3	10	0
	0,2	9	1
Mebor 45 27°	0,5	10	0
	0,4	9	1
	0,3	8	2
	0,2	2	8
Krupala 45 27°	0,5	9	1
	0,4	9	1
	0,3	8	2
	0,2	2	8

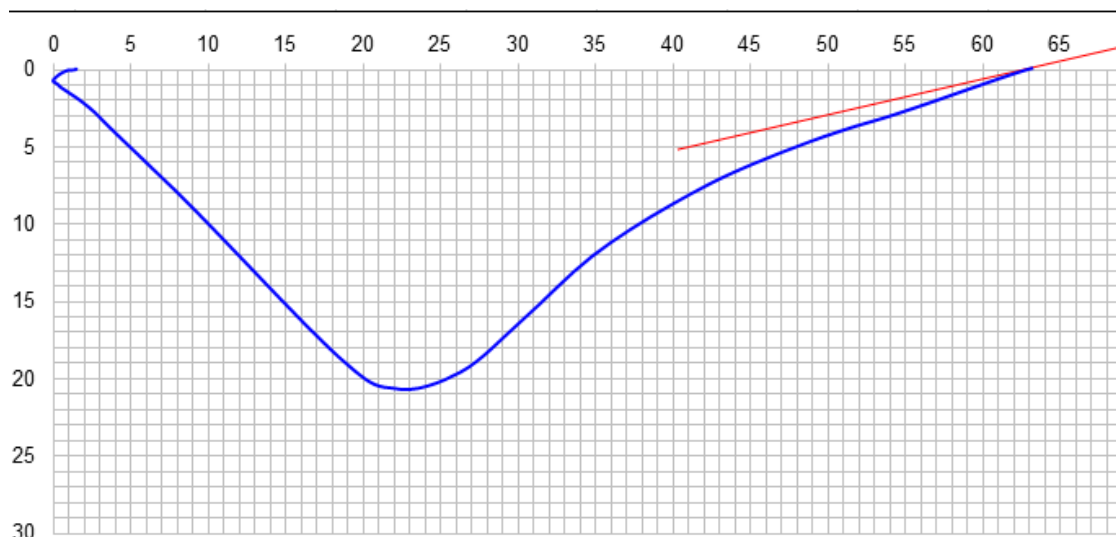
Z tabulky lze vyčíst, že optimální hodnota tolerance pro nalezení profilu je od 0,3 do 0,5 mm. Tato odchylka je akceptovatelná z pohledu identifikace. Úspěšnost identifikace se pohybuje okolo 92 % v toleranci 0,3mm - 0,5mm.

Správná identifikace proběhne v řádech desetiný sekundy a tím se ušetří čas, který byl za potřebí u identifikace prováděné ručně (několik minut).

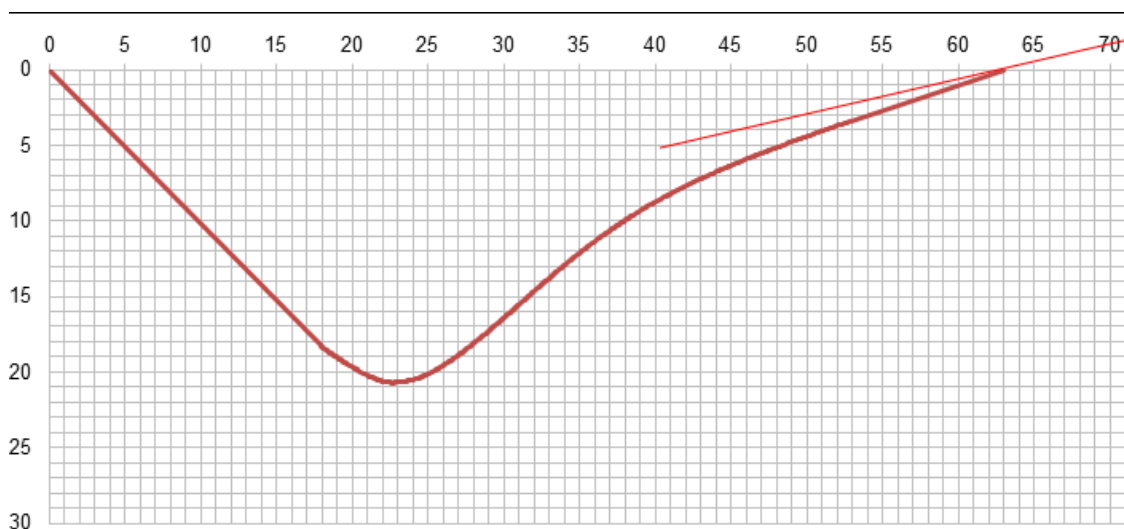
Vyvinutý systém momentálně prochází praktickým testováním ve firmě Dudr Tools, s.r.o. Dosavadní výsledky potvrzují, že si vytvořený systém úspěšně poradí s běžně používanými profily pilových pásů v uvedené firmě.

## 15 ZPRACOVÁNÍ DAT PRO CNC STROJ

Na základě stejných tečen (směrnic) tvaru pilového pásu a tvaru brousícího kotouče, se vypočítají souřadnice průchodu CNC brusky. Tyto souřadnice se zobrazí do grafu a opět se proloží pomocí Bézierových křivek, viz následující obrázek:



Obr. 42 Originální tvar křivky pro CNC stroj.



Obr. 43 Zobrazení křivky pomocí vyvíjeného systému.

Jak je z grafů patrné, lze nalézt viditelné shody tvaru křivek. Na začátku křivky v Obr. 42 je vidět drobný oblouk křivky, který je akceptovatelný, ale není vhodný, proto byl v grafu na Obr. 43 odstraněn. Poté co budou tyto data vypočítána, uloží se do databáze k patřičnému profilu pásu. Posléze se vygeneruje požadavek na *broadcast*, jež pošle po firemní LAN síti data do všech brusek, které budou daný profil brousit. Tímto posledním krokem by se proces stal plně automatizovaným.

## ZÁVĚR

Cílem představené práce je vytvořit plně automatizovaný proces identifikace pilových pásů a umožnit tak mnohem menší časové prostoje ve firmě. Dále se tímto procesem zvýší celková efektivita práce a dosáhne se mnohem větších kvalit služeb pro zákazníka. Další logické rozšíření systému spočívá v zaslání vypočtených souřadnicových dat pro CNC stroj pomocí LAN propojení přes *broadcast* do všech tří strojů, které začnou brousit zadaný profil. Poté by se systém stal plně automatickým.

Začátek práce je věnován rešerši podobných systémů na trhu. Další část se zabývá výběrem vhodných komponent, které jsou velmi závislé na úspěšnosti celého projektu, a následuje také krátké uvedení do základní geometrie pásu, které pomůže pochopit základní parametry profilu. Velká pozornost je věnována teorii Bézierových křivek, které tvoří základ pro budoucí zpracování dat do CNC stroje. Důležitým bodem práce bylo porozumění problematice počítačového vidění a využití knihovny OpenCV.

Praktická část byla věnována současnému měření a identifikaci pilových pásů. Pro rozeznání profilu pásu byl navržen algoritmus, který podle získaných parametrů vyhledá v databázi, zdali snímaný profil již existuje či nikoliv. V další části je seznámení uživatele s vytvořeným systémem a jeho grafickým uživatelským prostředím, několika režimy pro ukládání a editaci nasnímaných profilů.

V závěru jsou prezentovány dosavadní dílčí výsledky spolu s dalšími možnostmi vývoje.

Vytvořený systém identifikace pilových pásů prochází neustálým vývojem a optimalizací. V současné době probíhá zpracování dat pro CNC stroj, který podle vypočítaných souřadnic bude brousit přesně zadaný tvar pilového pásu podle Bézierových křivek. Je plánováno, že se bude přidávat i nový profil pilového pásu, kde jednotlivé body Bézierovy křivky bude zadávat sám uživatel. V poslední fázi je zapotřebí plně nahradit současnou databázi (souhrn souborů) profilů, databází nově navrženou. Na základě tohoto požadavku byl vytvořen algoritmus, který transformuje současná data do struktury nově vytvořené databáze.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Kohlbacher GmbH. KOHLBACHER GMBH. *Kohlbacher GmbH* [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z:<http://www.kohlbacher.com/>
- [2] ŽÁRA, Jiří, Bedřich BENEŠ, Jiří SOCHOR a Petr FEKEL. *Moderní počítačová grafika*. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 80-251-0454-0.
- [3] BALUSEK, Radim. *VYTVOŘENÍ INTERAKTIVNÍCH POMŮCEK Z OBLASTI 3D POČÍTAČOVÉ GRAFIKY* [online]. Brno, 2012 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=52062](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52062). Diplomová práce. VUT Brno.
- [4] Objektivy pro strojové vidění. *Analýza obrazu* [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z:<http://www.analyza-obrazu.cz/objektivy/>
- [5] Osvětlovací jednotky pro průmyslové kamery. In: *Osvětlovací jednotky pro průmyslové kamery* [online]. 2013 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.mii.cz/download/datacam/DataCamCZ.pdf>
- [6] Osvětlovače pro strojové vidění. *Analýza obrazu* [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.analyza-obrazu.cz/osvetlovace/>
- [7] Plošné osvětlovače. *Analýza obrazu* [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.analyza-obrazu.cz/osvetlovace/plosne/>
- [8] KAŠPAR, Ladislav. *Analýza konveční technologie dělení materiálu*. Brno, 2008. 42s. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [9] Bimetalové pilové pásy. In: *Bimetalové pilové pásy* [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.pilart-drevoobrabeci-nastroje.cz/files/PILANA-Bimetalove-pasy-na-kov-Ozubeni-Doporuceni-Zavady.pdf>
- [10] Problémy při ostření pilových pásů. In: *Problémy při ostření pilových pásů*. [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.woodmizer.cz/files/Probl%C3%A9my%20p%C5%99i%20ost%C5%99en%C3%AD.pdf>
- [11] GROULÍK, Tomáš. *KAMEROVÝ SUBSYSTÉM MOBILNÍHO ROBOTU MINIDARPA*. Brno, 2010. Dostupné

- z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=26961](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26961).  
Diplomová práce. Vysoké učení technické.
- [12] PRYMUS, Jiří. *ROZŠÍŘENÍ KNIHOVNY PRO ZPRACOVÁNÍ OBRAZU*. Brno, 2010. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=27890](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27890).  
Diplomová práce. Vysoké učení technické.
- [13] Strojové vidění, počítačové vidění, machine vision, analýza obrazu .... *Analýza obrazu* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.analyza-obrazu.cz/strojove-videni/>
- [14] KOUTNÝ, Luděk. *Systém ovládání počítače pomocí očních pohybů* [online]. Zlín, 2013 [cit. 2015-02-07]. Bakalářská. Univerzita Tomáše Bati.
- [15] ŠPANĚL, Michal a Vítězslav BERAN. *Obrazové segmentační techniky*. In: *Obrazové segmentační techniky* [online]. 2005 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://www.fit.vutbr.cz/~spanel/segmentace/#\\_Toc125769332](http://www.fit.vutbr.cz/~spanel/segmentace/#_Toc125769332)
- [16] STRAKA, Stanislav. *Segmentace obrazu*. Brno, 2009. 57 s. Diplomová práce.
- [17] DOBEŠ, Michal. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. Praha : BEN-technická
- [18] Ji L., Yan H.: Loop-Free Snakes for Image Segmentation. Proc. 1999 International Conference on Image Processing, 3, Kobe, Japan, 1999, 193-197.
- [19] DRIML, Bohuslav. BROUŠENÍ. In: *BROUŠENÍ* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [http://spsbrno-sokolska.jakubsvestka.cz/files/nas\\_DROPBOX/STT/Ro%E8n%EDk%201%20-%204,%20kompletn%ED%20skripta%20-%20z%20nich%20u%E8%ED%20Ing.%20Zden%ECk%20Voj%E1%E8ek/R3/BR OU%8AEN%CD-1.pdf](http://spsbrno-sokolska.jakubsvestka.cz/files/nas_DROPBOX/STT/Ro%E8n%EDk%201%20-%204,%20kompletn%ED%20skripta%20-%20z%20nich%20u%E8%ED%20Ing.%20Zden%ECk%20Voj%E1%E8ek/R3/BR OU%8AEN%CD-1.pdf)
- [20] Orovňávání brusných keramických kotoučů. *Orovňávání brusných keramických kotoučů* [online]. 2010 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/orovnavani-brusnych-keramickyh-kotoucu/>
- [21] Vision-sensor. 2014. *Vision-sensor* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.vision-sensor.com/en/3am-lighting/about-3am/36-ids-ueye-usb2-0.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

API	Application Programming Interface – programové rozhraní aplikace
CMYK	Cyan Magenta Yellow Black – subtraktivní barevný model
HLS	Hue, Lightness, Saturation – barevný tón, světlost, sytost
HSV	Hue, Saturation, Value – barevný tón, sytost, jas
RGB	Red-Green-Blue: aditivní systém barev
USB	Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice
CNC	Computer Numerical Control – Číslicové řízení pomocí počítače
CMOS	Complementary MOS – Technologie výroby polovodičů
FPS	Frames Per Second – Počet snímků za vteřinu
CIE	IECommission Internationale de l'Éclairage – Je barevný model vytvořený mezinárodní komisí pro světlo
NURBS	Non-Uniform Rational B-Splines – Racionální Bézierovy křivky s neuniformní parametrizací
LAN	Local Area Network – lokální síť (počítačová)
PC	personal computer – osobní počítač
ID	IDentification – Identifikace
SQL	Structured Query Language - Strukturovaný dotazovací jazyk

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Zobrazení standardního objektivu (horní) a telecentrického objektivu (spodní). [4] .....	13
Obr. 2 Různé typy uchycení objektivů F-Mount, C-Mount, CS-Mount, S-Mount. [4].....	14
Obr. 3 Ohnisková vzdálenost. [4] .....	15
Obr. 4 CMOS kamera UI-1240ML-C-HQ. [21].....	16
Obr. 5 Princip osvětlení plošným osvětlovačem. [7].....	17
Obr. 6 Rozdělení pilových pásů. [8] .....	19
Obr. 7 Bimetalové pásy. [8][9] .....	19
Obr. 8 Geometrie zubu pilových pásů. [8][9].....	21
Obr. 9 Konstantní rozteč. [8][9].....	22
Obr. 10 Variabilní rozteč. [8][9] .....	22
Obr. 11 Závislost částí knihoven OpenCV. [12] .....	27
Obr. 12 Reprezentace barevného prostoru RGB a CMY pomocí krychle. [14].....	29
Obr. 13 Geometrická reprezentace prostoru HSV a HLS. [14].....	32
Obr. 14 Dělení oblasti a výsledný strom. [14].....	33
Obr. 15 Vyhledávací tabulka prahování (vlevo) a příklad výsledného histogramu. [2].....	34
Obr. 16 Ukázka tvarů hran: a) line edge; b) ramp edge; c) step edge; d) roof edge; e) variance edge; f) noisy edge; [16][14] .....	35
Obr. 17 Průběh obrazové funkce: a) původní funkce; b) první derivace; c) druhá derivace; [14].....	37
Obr. 18 Aktivní kontury – počáteční stav (vlevo), standardní postup (uprostřed) a modifikovaná verze algoritmu (vlevo). [15] .....	38
Obr. 19 Explicitní zadání křivky. [2] .....	41
Obr. 20 Křivka vyjádřená parametricky. [2].....	43
Obr. 21 Křivka $Q(t)$ vzniklá spojením dvou segmentů $Q_1(t)$ a $Q_2(t)$ [2][3] .....	44
Obr. 22 Spojitost $C_0$ , $C_1$ a $C_2$ [2] .....	45
Obr. 23 Geometrická a parametrická spojitost. [2].....	45
Obr. 24 Aproximační křivka (vlevo) a interpolační křivka. [2][3].....	46
Obr. 25 Algoritmus de Casteljau: výpočet bodu $Q(2/3)$ (vlevo) a schéma výpočtu.....	49
Obr. 26 Vyobrazení Bernsteinových polynomů 3. stupně. [2] .....	50
Obr. 27 Současné měření: a) výška zubu; b) rozteč zubu; c) úhel čela; d) zadní úhel čela; .....	53

Obr. 28 Vložení aktuálně naměřených hodnot. ....	54
Obr. 29 Tvarování křivky pomocí jednotlivých řídicích bodů. ....	54
Obr. 30 Soubor se seznamem profilů pro CNC stroj. ....	55
Obr. 31 Blokové schéma. ....	56
Obr. 32 Zobrazení vývojového diagramu tříd. ....	57
Obr. 33 Hlavní uživatelské prostředí identifikace profilu. ....	62
Obr. 34 Uživatelské prostředí pro správu profilů. ....	63
Obr. 35 Uživatelské prostředí pro editaci/vložení profilu brousícího kotouče. ....	64
Obr. 36 Ukázky různých tvarů brusných kotoučů. ....	66
Obr. 37 Postavení diamantového orovnávače. [20] ....	67
Obr. 38 Zobrazení hlavy orovnávače a orovnávacího diamantu. ....	68
Obr. 39 Původní křivka pohybu orovnávače. ....	68
Obr. 40 Vypočítaná křivka pohybu orovnávače vytvořeného systému. ....	69
Obr. 41 Šachovnicový vzor pro kalibraci kamery (vlevo), správná kalibrace kamery. ....	71
Obr. 42 Originální tvar křivky pro CNC stroj. ....	73
Obr. 43 Zobrazení křivky pomocí vyvíjeného systému. ....	73

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Tabulka parametrů objektivů C-Mount a CS-Mount. [4].....	14
Tab. 2 Nastavení jednotky DataLight. [5] .....	18
Tab. 3 Tabulka tvarů zubů pilových pásů. [8][9] .....	20
Tab. 4 Tabulka typů rozvodů zubů. [8][9].....	23
Tab. 5 Tabulka typických závad při ostření pilových pásů. [10].....	23
Tab. 6 Parametry metody aktivních kontur. [15].....	38
Tab. 7 Testovací tabulka identifikace profilu pilového pásu.....	72

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I: Seznam příloh na vloženém CD
- P II: Editace/Vytvoření profilu a jeho parametry

## **PŘÍLOHA P I: SEZNAM PŘÍLOH NA VLOŽENÉM CD**

- DB - adresář se souborem pro vytvoření databáze
- icons – adresář s ikonami
- mysql – adresář s ovladačem pro připojení k databázi
- include – adresář s pomocnými hlavičkovými soubory
- OpenCV249 – adresář s knihovnou pro zpracování obrazu
- src – adresář s pomocnými zdrojovými kódy
- uEye – adresář s ovladačem pro připojení kamery
- Bezier.cpp – zdrojový soubor využívající Bézierovy křivky
- Bezier.h – hlavičkový soubor Bézierových křivek
- camanalyze.cpp - zdrojový soubor
- camanalyze.h – hlavičkový soubor pro analýzu obrazu
- camanalyzeworker.cpp – soubor pro analýzu obrazu
- camanalyzeworker.h – hlavičkový soubor pro analýzu obrazu
- camcaptureworker.cpp – soubor s nastavením vstupního obrazu
- camcaptureworker.h – hlavičkový soubor s nastavením vstupního obrazu
- feeder.cpp – soubor pro správu profilu brousícího kotouče
- feeder.h – hlavičkový soubor pro správu profilu brousícího kotouče
- ui\_feeder.ui – soubor s rozložením grafického rozhraní profilu brousícího kotouče
- LaserCameraCapture.pro – soubor s informacemi o projektu v prostředí QT
- main.cpp - zdrojový soubor
- mainwindow.cpp - zdrojový soubor
- newprofil.cpp – soubor pro správu profilu pilového pásu
- newprofil.h – hlavičkový soubor pro správu profilu pilového pásu
- ui\_newprofil.ui - soubor s rozložením grafického rozhraní profilu pilového pásu
- renderarea.cpp – soubor pro vykreslování obrazců a snímků v programu
- renderarea.h – hlavičkový soubor pro vykreslování obrazců a snímků v programu
- resources.qrc – soubor pro nastavení stylů a ikon programu
- settingsprofil.cpp – soubor pro procházení profilů z databáze
- settingsprofil.h – hlavičkový soubor pro procházení profilů z databáze
- ui\_settingsprofil.ui - soubor s rozložením grafického rozhraní procházení profilů
- ueye\_image.cpp – soubor pro načtení ovladače kamery

- `eye_image.h` – hlavičkový soubor pro načtení ovladače kamery

# PŘÍLOHA P II: EDITACE/VYTVOŘENÍ PROFILU A JEHO PARAMETRY

**1**

### Bezierova křivka

**2**

### Parametry profilu

Název:

Úhel čela:  [°]/deg

Rozteč:  [mm]

Výška zubu:  [mm]

**3**

### Parametry brusky

Všeř ze seznamu

ID	LR	RR	LA	RA
1	2	3	7.5	90
2	4	2	8.74	90

**5**

**3**

### Profil orovnávače CNC

**4**

### Profil brousícího kotoče

**5**

### Profil orovnávače