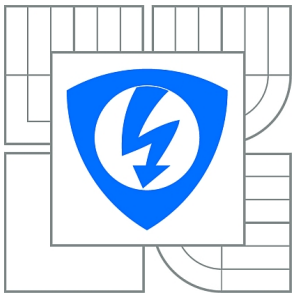
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ PLYNOVÝCH FILTRŮ

MEASUREMENT OF BASIC PARAMETERS OF GAS FILTERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

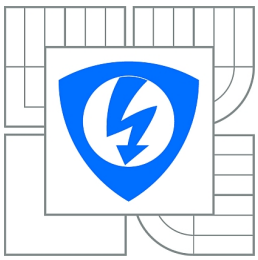
AUTOR PRÁCE — Bc. PAVEL MEDEK

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. LUDVÍK BEJČEK, CSc.

SUPERVISOR

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student:	Bc. Pavel Medek	***ID:***	80526
Ročník:	2	***Akademický rok:***	2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Měření základních parametrů plynových filtrů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V návaznosti na semestrální projekty navrhněte a ověřte metodu pro kontrolu filtrů plynů (zaměřte se zejména na optické metody a snímače) pro filtry s rozsahem od 8 do 50 (80) ppi. Proveďte rozbor chyb a porovnejte parametry. (vlastnosti) s metodou např. rozdílového tlaku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

KREIDEL,M.-ŠMÍD,R.: Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu. BEN Praha 2006, ISBN / EAN 80-7300-158-6 / 9788073001582 a
podle vlastního literárního průzkumu.

Termín zadání:	8.2.2010	***Termín odevzdání:***	24.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Ludvík Bejček, CSc.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Vysoké učení technické Brno

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Měření základních parametrů plynových filtrů

Diplomová práce

Studijní obor: Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Pavel Medek

Vedoucí práce: doc. Ing. Ludvík Bejček, CSc.

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá zjišťováním parametrů filtračního materiálu PPI s využitím metod zpracování obrazu.

První část je zaměřena na obecné metody využívané v praxi, přehled rozdělení do tříd filtrace a charakteristiku materiálu PPI.

Druhá část se zabývá úvodem do problematiky strojového vidění. Jsou zde nastíněny základní metody zpracování obrazu.

Závěrečná část je věnována metodě využívající detekci jasových úrovní. Vlastní měření a vyhodnocení výsledků je provedeno na materiálu PPI 10/6 a 10/12. Zpracování obrazu je v programu MATLAB verze 7.0.1.

Klíčová slova: filtr, třída filtrace, materiál PPI, strojové vidění, zpracování obrazu, jasové úrovně

Brno University of Technology

Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Control, Measurement and Instrumentation

Measurement of basic parameters of gas filters

Master‘s Thesis

Specialisation of study: Cybernetics, Control and Measurement
Student: Bc. Pavel Medek
Supervisor: doc. Ing. Ludvík Bejček, CSc.

Abstract:

This master’s thesis deals with establishment of parameters of the PPI filter material using methods of image analysis.

The first part is aimed at general methods used in practice, an overview of splitting into filter clasification and characterization of the PPI filter material.

The second part represents an introduction to problems of machine vision. There are outlined basic methods of image processing.

Last parts of the thesis study the method using detection of bright light levels. The measurement and interpretation of results is performed with the PPI material - types 10/6 and 10/12. For image processing is used the MATLAB program, version 7.0.1.

Keywords: filter, filter clasification, PPI material, machine vision, image analysis, bright light levels

MEDEK, P. *Měření základních parametrů plynových filtrů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 65 stran. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ludvík Bejček, CSc.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Měření základních parametrů plynových filtrů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **24. května 2010** ……

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ludvíku Bejčkovi, CSc. a Ing. Karlu Horákovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **25. května 2009** ……

podpis autora

1. OBSAH

1. OBSAH 7
1.1 Seznam obrázků 8
2. ÚVOD 10
3. TEORETICKÉ ZÁKLADY 11
3.1 Úvod 11
3.2 Třídy filtrace 11
3.3 Kontrola filtrů 13
3.3.1 Zkušební postupy 14
3.4 Filtrační Materiál ppi - pores per inch 16
4. SYSTÉM STROJOVÉHO VIDĚNÍ 20
4.1 Digitalizace obrazu 22
4.2 Předzpracování obrazu 24
4.3 Segmentace obrazu 30
4.4 Popis objektů 31
4.5 Detekce geometrických tvarů 32
5. PRINCIPY MĚŘENÍ MATERIÁLU PPI 35
6. VLASTNÍ MĚŘENÍ 38
6.1 Zpracování snímků pomocí histogramu 39
6.1.1 PPI 10/6 bez poruch materiálu 43
6.1.2 PPI 10/6 vada materiálu - neúplný 45
6.1.3 PPI 10/6 vada materiálu - neúplný s výsekem 47
6.1.4 PPI 10/6 vada materiálu - zastíněný 48
6.1.5 PPI 10/12 vzor 50
6.1.6 PPI 10/12 vada materiálu - zeslabená tloušťka 51
6.2 Zpracování snímků pomocí obrysů 53
7. ZÁVĚR 55
8. LITERATURA 57
9. SEZNAM PŘÍLOH 59

1.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1: Struktura materiálu PPI 16
Obr. 3.2: Struktura buňky materiálu PPI 16
Obr. 3.3: Graf tlakových ztrát materiálu Bulpren 18
Obr. 3.4: Ukázka materiálu Filtren 19
Obr. 4.1: Sekvence úkonů při zpracování obrazu 21
Obr. 4.2: Uspořádání úlohy strojového vidění 22
Obr. 4.3: Vliv malé vzorkovací frekvence (shodná s rozlišením) 23
Obr. 4.4: Typy vzorkovacích mřížek 23
Obr. 4.5: Geometrické zkreslení obrazového pole 24
Obr. 4.6: Ukázky změny jasu filtračního materiálu 24
Obr. 4.7: Zmenšení jasu – odečtení konstanty 25
Obr. 4.8: Zvýšení jasu – přičtení konstanty 25
Obr. 4.9: Zvýšení kontrastu – násobení konstantou 25
Obr. 4.10: Snížení kontrastu – dělení konstantou 26
Obr. 4.11: Vybrané převodní charakteristiky obrazu č. 1 26
Obr. 4.12: Vybrané převodní charakteristiky obrazu č. 2 27
Obr. 4.13: Způsob aplikace LUT 27
Obr. 4.14: Geometrická transformace 28
Obr. 4.15: Jasová transformace 28
Obr. 4.16: Přehled používaných operátorů 29
Obr. 4.17: Určení prahu z histogramu 30
Obr. 4.18: Sledování hranic v osmi-okolí 31
Obr. 4.19: Sub-pixelové určení hrany 31
Obr. 4.20: Výpočet příznakového vektoru X 32
Obr. 4.21: Reprezentace přímky v prostoru (x,y) a prostoru (k,q) 33
Obr. 4.22: Reprezentace přímky v prostoru (x,y) a prostoru (θ,r) 33
Obr. 4.23: Detekce kruhových objekt (r = 50 pxl) pomocí HT 34
Obr. 4.24: Sestavování Houghova prostoru 34
Obr. 5.1: Ukázka vizualizace softwarového programu 36
Obr. 5.2: Graf tlakové ztráty materiálu PPI 10/10 37

Obr. 5.3: Laboratorní protokol měření materiálu PPI 10/10 37
Obr. 6.1: Měřící pracoviště 38
Obr. 6.2: Kamera a objektiv k pořizování snímků 39
Obr. 6.3: Načtení a rozdělení snímku 39
Obr. 6.4: Funkce histogram histogram2 40
Obr. 6.5: Načtený snímek materiálu PPI 10/6 40
Obr. 6.6: Histogramy jednotlivých podobrázků materiálu PPI 10/6 41
Obr. 6.7: Naprahované histogramy z podoken 41
Obr. 6.8: Funkce rozdíly max_rozdíly 42
Obr. 6.9: Výpočet maximálního rozdílu a výpis chybového hlášení 42
Obr. 6.10: Graf variační šíře v jednotlivých prazích u materiálu PPI 10/6 45
Obr. 6.11: Neúplný materiál 45
Obr. 6.12: Vliv chybějícího materiálu na četnost jasových úrovní 46
Obr. 6.13: Nárůst četnosti bílé barvy vlivem poruchy materiálu 46
Obr. 6.14: Vady v materiál 47
Obr. 6.15: Histogramy jednotlivých podoken - materiál neúplný s výsekem 47
Obr. 6.16: Patrná převažující četnost bílé barvy 48
Obr. 6.17: Zastíněný materiál 48
Obr. 6.18: Histogramy podoken - zastíněný materiál 49
Obr. 6.19: Převažující četnost v prahu 1 - černá barva 49
Obr. 6.20: Graf variační šíře v jednotlivých prazích u materiálu PPI 10/12 51
Obr. 6.21: Zjevné zeslabení materiálu 51
Obr. 6.22: Změna rozložení v histogramu vlivem zastínění 52
Obr. 6.23: Četnost tmavých odstínů: vlevo materiál PPI 10/12, vpravo 10/6 52
Obr. 6.24: Načtení, vykreslení a určení startovacího bodu 52
Obr. 6.25: Vykreslené hranice 53
Obr. 6.26: Cyklus pro vykreslení vad v obraze 53
Obr. 6.27: Ukázka detekce neúplného materiálu 54

2. ÚVOD

Metody, které se dnes užívají ke kontrole filtračních materiálů, se provádí pouze na vybraných vzorcích. Dostáváme tak většinou jen naměřené hodnoty určitých vzorků dané šarže. Navíc jsou dané zkoušky náročné jak na čas, tak na preciznost jejich provedení.

V teoretické části bylo úkolem seznámit se s filtračním materiálem PPI, jeho fyzikálními vlastnostmi, využitím a kontrolními metodami, které se využívají pro tento materiálu. Dalším cílem bylo nastínit problematiku strojového vidění a jeho jednotlivé metody a kroky zpracování obrazu.

Na tyto části pak navazoval hlavní cíl této práce. Navrhnout a ověřit metodu pro kontrolu filtračního materiálu PPI s využitím optických metod a snímačů. Navržená metoda by měla být jednoduchá, snadno aplikovatelná v praxi a cenově dostupná. V hlavní řadě by měla být schopna kontrolovat materiál v reálném čase a současně dokázat zjišťovat více parametrů (tloušťku, strukturu a detekovat vady materiálu).

Dalším úkolem bylo provést porovnání těchto navržených metod s metodami běžně používanými v praxi, jako je například metoda založená na zjišťování diferenčních tlaků nebo metoda Visiocell.

3. TEORETICKÉ ZÁKLADY

3.1 ÚVOD

Mezi hlavní faktory ovlivňující kvalitu vzduchu (případně kapalin), patří působení nejrůznějších částic a nečistot. Z fyzikálního hlediska tyto částice můžeme rozdělit na plyny, páry, tuhé a kapalné částice.

Všechny tyto nečistoty (prach, aerosol, popílek, různé oxidy síry, uhlíku atd.) jsou charakterizovány fyzikálními a chemickými vlastnostmi, pevné částice pak rozměrovými parametry. Znalost těchto vlastností a parametrů má zásadní vliv na filtraci těchto částic.

3.2 TŘÍDY FILTRACE

K filtraci lze použít různé druhy látek, které se vyrábějí v celé řadě možných provedení. Tyto materiály musí splňovat základní požadavky na strukturu, elektrické, mechanické, tepelné a chemické vlastnosti. V současné době se vzduchové filtry dělí podle odlučivosti, dle mezinárodní normalizace v Evropě a ČSN do tříd [13]:

- třída filtrace G1-G4 - odlučivost na syntetický prach udává váhová hodnota A_m (%) zkušebního prachu zachyceného za definovaných zkušebních podmínek ve zkoušeném filtru, dle ČSN EN 779 (tab. 3.1).
- třída filtrace F5-F9 - odlučivost na atmosférický prach je vyjádření míry schopnosti filtru E_m (%) zachytit za předepsaných podmínek atmosférický prach, dle ČSN EN 779 (tab. 3.1).
- třída filtrace H10-H14 a U15-U17 - filtry aerosolové (HEPA) a filtry vysoce aerosolové (ULPA), za podmínek kdy prochází nejvíce částic (MPPS) se zjišťuje % pronikajících částic, dle ČSN EN 1822 (tab. 3.2).

Třída filtru		Hraniční hodnoty třídy	
		Střední odlučivost na syntetický prach A_m (%)	Střední odlučivost na atmosférický prach E_m (%)
hrubý	G 1	$A_m < 65$	-
	G 2	$65 \leq A_m < 80$	-
	G 3	$80 \leq A_m < 90$	-
	G 4	$90 \leq A_m$	-
jemný	F 5	-	$40 \leq E_m < 60$
	F 6	-	$60 \leq E_m < 80$
	F 7	-	$80 \leq E_m < 90$
	F 8	-	$90 \leq E_m < 95$
	F 9	-	$95 \leq E_m$

Tab. 3.1: Klasifikační tabulka tříd filtrace G 1 až F 9 DLE EN 779 (ČSN EN 779) ([23], str. 287)

Třída filtrace	Střední účinnost [%]		Průnik [%]	
	Celková hodnota	Lokální hodnota	Celkový průnik	Lokální průnik
H 10	85	-	15	-
H 11	95	-	5	-
H 12	99,5	-	0,5	-
H 13	99,95	99,75	0,05	0,25
H 14	99,995	99,975	0,005	0,025
U 15	99,9995	99,9975	0,0005	0,0025
U 16	99,99995	99,99975	0,00005	0,00025
U 17	99,999995	99,9999	0,000005	0,00010

Tab. 3.2: Klasifikační tabulka tříd filtrace H 10 až U 17 DLE EN 1822 (ČSN EN 1822) [17]

3.3 KONTROLA FILTRŮ

Kontrolu filtrů můžeme rozdělit podle použitých metod a snímačů do dvou základních skupin.

V první řadě jde o metody používané přímo v provozu. Využívají se především odečtové a diferenční tlakoměry, které slouží ke zjišťování aktuálního stavu (zanesenosti) filtru. Přehled těchto metod a snímačů je uveden v mé SP1.

V druhé řadě jde o metody používané pro kontrolu filtru při výrobě. Rozlišujeme zkoušku typovou a zkoušku ve výrobním závodě [21]:

- *Zkoušky ve výrobním závodě* - vztahují se na filtry, které nemají typové zkoušky, nebo filtry, které musí být podrobeny individuálním zkouškám dle platných norem (HEPA, ULPA filtry). Tyto zkoušky se provádí na zkušebním zařízení výrobce. Pro zařazení do tříd slouží zkušební atest, který jasně definuje jednoznačný popis testovaného filtru, podmínky a výsledky zkoušky.
- *Typová zkouška* - tyto zkoušky mohou provádět všechny autorizované zkušebny akreditované dle EN ISO/IEC 17025. Jako základ pro zařazení do třídy slouží platný zkušební atest. Typové zkoušky filtru se provádí vhodným normovaným postupem odpovídajícím danému filtru. Přehled je uveden v tabulce 3.3.

Charakteristické veličiny	Střední stupeň odloučení A_m [%]	Střední stupeň účinnosti E_m [%]	Integrální činitel počátečního prostupu D_i [%]	Místní činitel počátečního prostupu D_L [%]
Zkušební postupy	EN 779 - 2002	EN 779 - 2002	EN 1822 - 1998	EN 1822 - 1998
Princip měření	Vážení	Počítání částic s LPC	Počítání částic s CNC nebo LPC	Scanning s počítáním částic / vizuálně[16]
Zkušební aerosol	Vzduch s hrubým syntetickým zkušebním prachem	Čistý vzduch s DEHS-aerosolem, 0,4 µm	Čistý vzduch + MPPS-DEHS-aerosol	Čistý vzduch + MPPS-DEHS-/Paraf.-aerosol
Kritéria	$\Delta p_{(konc.)}$ = 250 Pa	$\Delta p_{(konc.)}$ = 450 Pa	Průkazné hranice CNC/LPC < MPPS	Průkazné hranice CNC/LPC < MPPS

Tab. 3.3: Přehled typových zkoušek [21]

Pro danou konstrukční řadu je definován reprezentativní filtr. Porovnáváním musí být splněna řada znaků: popis konstrukčního vzorku (zahrnuje popis filtračního materiálu - druh, plošnou hmotnost, tloušťku vrstvy, údaje o ploše a prostorovém uspořádání, konstrukční stavbu filtračního článku), hloubku „filtračního složence“ ve

směru proudění vzduchu a rychlost proudění filtračním médiem. Ostatní znaky, jako je například velikost či tvar náběhové plochy, se mohou lišit [21].

3.3.1 Zkušební postupy

Zkušební postupy kontroly filtrů jsou dány evropskou normou EN 779 pro třídu filtrace G1-G4, F5-F9 a evropskou normou EN 1882 pro třídu filtrace H10-H14 a U15-U17 [21].

- *Skupina G - Filtry pro hrubý prach Třídy G1 - G4:* Gravimetrická zkušební metoda dle EN 779 pro stanovení stupně odloučení: Několikanásobné poprášení testovaného kusu známým množstvím standardizovaného umělého zkušebního prachu (složení syntetického zkušebního prachu je definováno v EN 779) v proudícím vzduchu až po maximální koncovou tlakovou ztrátu 250Pa. Stanovení stupně odloučení na základě poměrů hmot zvážením aerosolového filtru následně zařazeného za testovaný kus. Ze všech jednotlivých měřeni se vypočte střední stupeň odloučeni (A_m).

- *Skupina F - Filtry pro jemný prach Třídy F5 - F9:* Zkušební metoda založená na změně zabarvení dle EN 779 pro stanovení stupně účinnosti: Několikanásobné měření frakčního stupně účinnosti DEHS-aerosolem (0,2 - 3,0 µm) v čistém vzduchu. Testovaný kus se po prvním měření v novém stavu zatíží známým množstvím standardizovaného syntetického zkušebního prachu a poté se opět provede stanovení frakčního stupně účinnosti, a to až do dosažení koncové tlakové ztráty 450 Pa. Měření frakčního stupně účinnosti se provádí pomocí laserového počítače částic pro nejméně 5 oblastí velikostí částic. Zařazení filtrů do tříd se provádí na základě středního stupně účinnosti (E_m) pro částice o velikosti 0,4 µm, vypočteného ze všech jednotlivých měřeni. Dodatečně se měří stupeň účinnosti vyprázdněného filtračního media pro částice 0,4 µm.

- *Skupina H - HEPA filtry pro mikročástice třídy H10 - H14:* Třídy H10-H12 nezkoušeny na netěsnost, Třídy H13 a H14 zkoušeny pomoci „Scanningu“ nebo vizuálně (Pro filtry skupiny H je dovoleno prokázat těsnost alternativně, pomocí

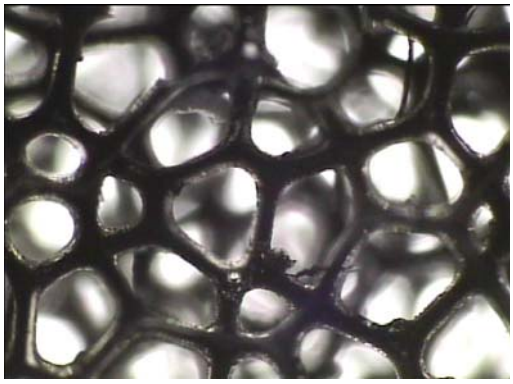
tzv. „praménkové zkoušky olejovou mlhou“ dle EN 1822-4, dodatek A. Zkušební kus se pro tuto zkoušku namontuje na komoru a na vstupní stranu se vpouští malý proud vzduchu a mlha s vysokým obsahem parafinového oleje. Výstupní strana filtru se osvítí lampou v tmavé místnosti. Netěsnost lze vyloučit, když se na tmavém pozorovaném pozadí nevyskytují žádné vizuálně rozeznatelné olejové praménky) na vyloučení netěsnosti. Zkušební metoda – viz „skupina U“.

- *Skupina U - ULPA filtry pro mikročástice Třídy U15 - U17:* Zkoušeny na vyloučení netěsností pomocí „Scanningu“. Zkušební metoda dle EN 1822. Zkouška se provádí na neznečištěných filtrech pomocí kapalného zkušebního aerosolu (např. DEHS), na základě naměřených hodnot pro průměr částic odpovídající maximálnímu činiteli prostupu (tzv. MPPS): V prvním kroku testování se zjistí na plochých vzorcích filtračního média velikost částic, při které se dosáhne maximálního činitele prostupu (MPPS). Následující posouzení a klasifikace filtru se potom provede už jenom pro MPPS. V druhém kroku se změří integrální činitel prostupu D_i pro MPPS (zjištěny přes výstupní plochu) a tlaková ztráta filtru, obojí při jmenovitém objemovém průtoku. Ve třetím kroku se při jmenovitém průtoku vzduchu zjistí lokální činitel prostupu DL (penetrace v místě netěsnosti) pro MPPS přes celou výstupní plochu filtru i jeho rám (metoda Scanningu). Pro filtry tříd H13 a vyšší přitom nesmí lokální činitel prostupu DL pětinásobně překročit hodnotu maximálního integrálního činitele prostupu D_i příslušné třídy ($DL < 5x\ D_i$).

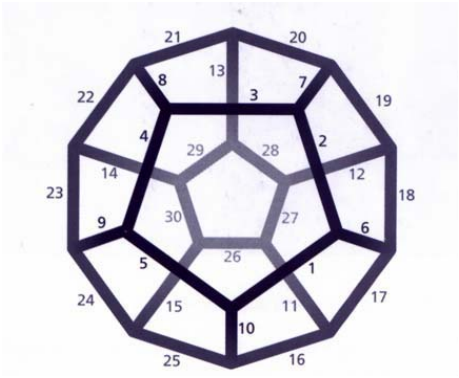
3.4 FILTRAČNÍ MATERIÁL PPI - PORES PER INCH

Materiály PPI jsou retikulované (otevřené) PU pěny na polyesterové bázi. Síťová struktura je plně otevřená a neobsahuje žádné uzavřené buňky (obr. 3.1). Toho se dosahuje při tepelném retikulačním procesu (síťování, mřížkování, praskání, zvrásnění) při kterém se všechny buněčné membrány, které zůstaly po vypěnění, rozbijí a splynou s buněčnými žebry [11,21]. Tyto materiály můžeme rozdělit na pěnu se střední tuhostí při stlačení, pěnu s vyšší tuhostí při stlačení a pěnu s lepší ohnivzdornou vlastností, která odpovídá normě MVSS 302.

Základní strukturální buňkou PPI je 12-boký pětihran (obr. 3.2), který je charakterizován: průměrem buňky, tloušťkou vlákna a velikostí „okna“ [11,21].



Obr. 3.1: Struktura materiálu PPI [11]



Obr. 3.2: Struktura buňky materiálu PPI [11]

Pěnu je možno vytřepávat a prát (možno opakovaného použití). Voda, benzín, žíraviny a detergenty, minerální oleje, tuky atd., nezapříčiňují u této pěny bobtnání. Většina organických látek (benzol, etanol, chloroform...) nabobtnává pěnu, přičemž míra poškození je závislá na typu pěny. Skutečný objem pěnových žeber činí pouze 3% objemu pěny.

Díky kalibrované velikosti buněk, stejnorodé buněčné struktuře a trojrozměrné síti je tato pěna ideálním materiálem k filtrování a předfiltrování v automobilovém průmyslu, stejně dobře se dá využít ve větracích a klimatizačních zařízeních. Díky trojrozměrné struktuře materiálu a bakteriálním kulturám, které se v tomto prostředí vytvářejí, se také používá při výrobě akvarijních filtrů a filtrů do bazénů pro čističky odpadních vod. Struktura materiálu PPI zajišťuje stálou účinnost při filtrování, přičemž trojrozměrná síť dovoluje použití při vysokém stupni prašnosti, aniž by se podstatně projevila ztráta při stlačení.

Přesně definované rozměry jednotlivých typů filtrační pěny nabízejí možnost sestavit filtrační jednotky s různou strukturou filtrů a předfiltrů. Díky struktuře je zaručena stálost filtračních parametrů [11,21].

Pěna se může řezat, frézovat, lepit, natavovat a vysekávat (zpravidla jsou k vysekávání vhodné pěny 1. třídy do 60 PPI a pěny 2. třídy od 60 PPI podle testovací metody Recticel SS/T.012.0) [11,21]. PPI může být tepelně komprimován. Lze jej napouštět speciálními látkami, čímž pak získává zvláštní vlastnosti (keramické filtry apod.).

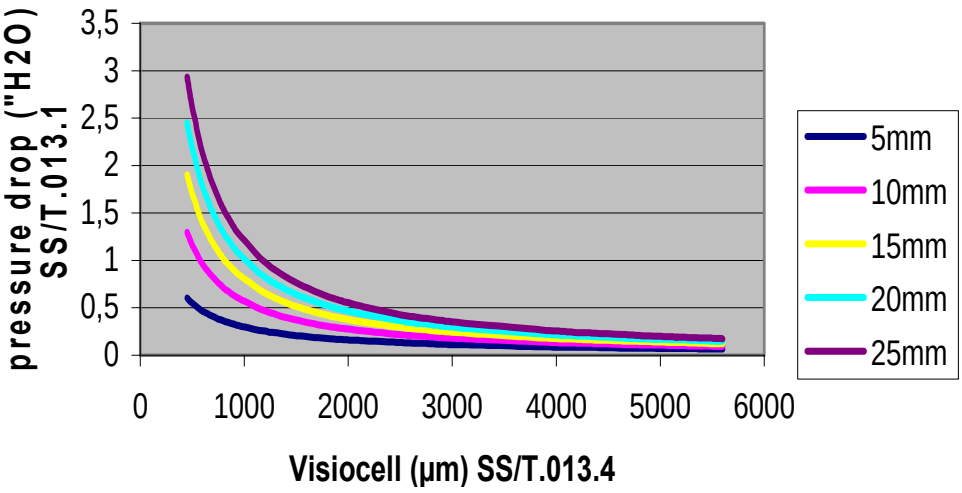
Na našem trhu je celá řada firem, které se zabývají výrobou PPI materiálů. Mezi největší výrobce patří firma Eurofoam TP spol. s r. o. se sídlem v Brně. Ta nabízí tento materiál s označením [11]:

- **Bulpren® S** je standardní filtrační pěna s objemovou hmotností od 30kg/m^3. Vyrábí se v základním rozměru 2000 x 1500 mm. Tloušťka je volitelná (min. 10 mm, max. 450 mm). Je možné objednat i jako nopkované desky, formáty, výseky. Přehled filtračních tříd je uveden v tabulce 3.4. Na obrázku 3.3 je uveden graf tlakových ztrát pro různé tloušťky materiálu Bulpren.

Počet pórů [PPI]	Velikost buňky [mm]	Tlaková ztráta při 907 m^3/h [Pa]		Stupeň filtrace [%]*		Filtrační třída
		na začátku	na konci	na začátku	střední hodnota	
45	1080-1580	11	29	54,7	60,1	EU1
60	740-1040	18	250	72,7	82,6	EU2
90	440-520	35	250	86,7	88,5	EU3
*Stupeň filtrace syntetického prachu dle EN 779						

Tab. 3.4: Tabulka filtračních tříd Bulprenu dle EN 779, tl. vzorku 10 mm [11]

- **Bulpren® R** je podobný jako Bulpren® S, má však vyšší tuhost při stlačení.
- **Bulpren® D** má ohnivzdorné vlastnosti a odpovídá normě MVSS 302.



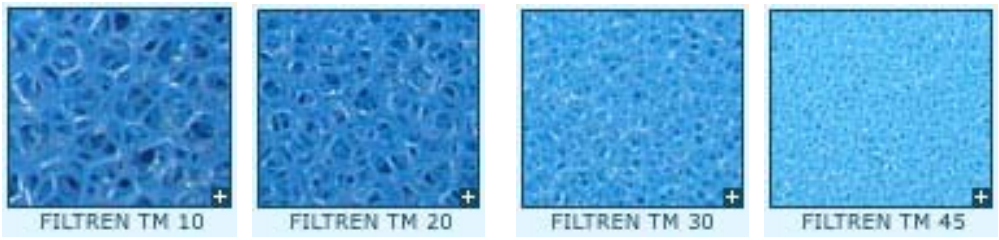
Obr. 3.3: Graf tlakových ztrát materiálu Bulpren [11,21]

- **Filtren® TM** je ideální pro mechanickou a biologickou filtraci vody s mikrobiologickou násadou. Parametry tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce 3.5.

označení	šířka mm	výška mm	délka mm	porezita	objemová hmotnost kg/m3	průměr buněk mikrony
TM 23450	1500	460	2000	7 - 15	19 - 22	3400-5600
TM 23280	1500	530	2000	15 - 25	2200-3400	2200-3400
TM 23190	1500	550	2000	25 - 35	19 - 22	1600-2200
TM 23133	1500	550	2000	35 - 50	19 - 22	1060-1600

Tab. 3.5: Tabulka parametrů materiálu Filtren [11,21]

Na obrázku 3.4 je zobrazen filtrační materiál FILTREN TM 10 až 45.



Obr. 3.4: Ukázka materiálu Filtren [11,21]

Další možnosti využití PPI materiálu jsou impregnované pěny. Všechny tyto produkty jsou označovány trojmístným číslem, které označuje střední průměr buňky dělený 10. Technické označení impregnovaných pěn:

- **Bulpren Firend®** - vysoce ohnivzdorný,
- **Bulpren® HC** - samonosný a odolný proti hydrolýze,
- **Bulpren® B** - k chemické filtraci plynů,
- **TANKSCHAUM** - specifická pěna pro dvojité stěny podzemních zásobníků.

4. SYSTÉM STROJOVÉHO VIDĚNÍ

Princip činnosti systému strojového vidění je velmi podobný tomu, jak na stejném úkolu pracuje člověk. Stejně jako lidské oko, tak i kamera zachytí obraz detekovaného předmětu, systém jej vyhodnotí podle předepsaného algoritmu a provede akci na základě výsledku vyhodnocení [12]. Pořízení obrazu je prvotní operací a kvalita obrazu je touto operací značně ovlivněna [16]. Informaci, kterou ztratíme špatným snímáním, v průběhu zpracování již nikdy nezískáme. Každý systém počítačového vidění musí obsahovat celou řadu znalostí [15]:

a) fyzikální principy – geometrie, světlo,

b) hardware – pořízení dat, diskretizace, digitalizace,

c) algoritmy – zpracování signálu,

d) interpretace výsledků,

e) velké množství kombinací pro výběr řešení.

Základními problémy systému strojového vidění je velké množství dat, které je nutno zpracovat, vysoká variabilita obrazových dat, ztráta informace třetího rozměru vlivem projekce, šum a změna vzhledu objektu se změnou orientace osvětlení. K zvládnutí těchto problémů je nutná znalost geometrie (transformace lineární a nelineární), optiky (jasová a geometrická zkreslení, projekce, různé typy odrazů), teorie signálu, strojové učení atd.

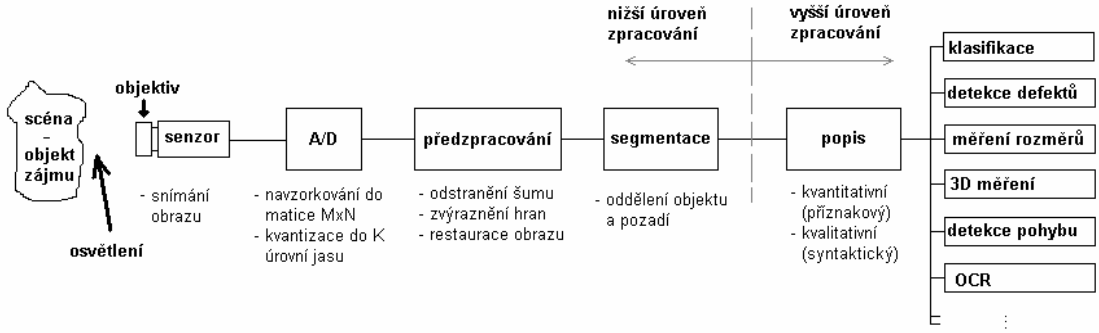
Při sestavování a realizaci určité scény je nejdůležitější první fáze návrhu, tj. stanovení geometrického uspořádání inspekčního systému, volba kamery, objektivu, osvětlení a výběr vhodných technických a programových prostředků pro zpracování obrazových dat. Volba prostorového uspořádání je dána typem, počtem kamer a osvětlovacích jednotek a požadavky na ohniskové vzdálenosti objektivů. Je důležité rozhodnout, z jakého směru a vzdálenosti budou kamery scénu snímat, způsob a barvu osvětlení (eliminace rušivého světla, návrh zastínění s případnou nutností použít barevné či polarizační filtry v kameře).

Zpracování získaných obrazových dat je zpravidla založeno na extrakci příznaků, na něž jsou při klasifikaci aplikovány metody založené na učení.

Zpracováním dat se rozumí předzpracování, vyhledání objektů (entit, markant), porozumění obsahu obrazu (OCR, 3D rekonstrukce) atd.

Upravená obrazová data je třeba správně interpretovat a zpracovat výsledky měření: kalibrace, převody mezi měřením a kalibrací, učení, srovnání se vzorem, určení počtu, určení polohy, rychlosti, určení tvaru, úprava signálu pro člověka apod.

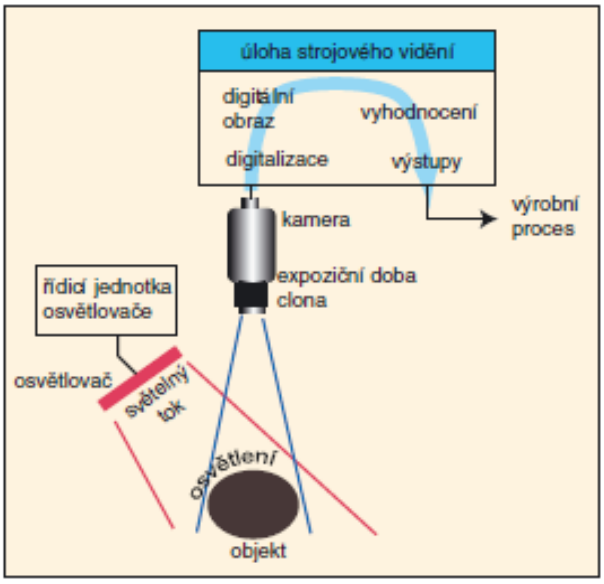
Řetězec zpracování obrazové informace lze rozdělit na dvě úrovně: nižší úroveň a vyšší úroveň zpracování. Jednotlivé sekvence úkonů jsou vyobrazeny na obrázku 4.1 [15].



Obr. 4.1: Sekvence úkonů při zpracování obrazu ([15],str. 37)

Obecný systém zpracování obrazu je patrný z obrázku 4.2, kde je sledovaný objekt osvětlen zdroji světla nebo jiného záření. Na snímacím prvku kamery se vytvoří dvojrozměrný jasový obraz sledovaného objektu. Tím získáme informaci redukovanou na údaj o kombinovaném jasu barevných složek dopadajícího světla (černobílé kamery) nebo informaci o barvě zkoumaného předmětu (barevné kamery). Poté se provede digitalizace obrazu.

Informace v digitální podobě je v počítači zpracována vhodnými algoritmy tak, aby byla získána požadovaná informace o objektu - provádí se tzv. image processing. Získaná informace se dále předává do okolí prostřednictvím digitálních výstupů nebo pomocí digitálního komunikačního rozhraní. V systému může být k dispozici původní digitální obraz v některém z obrazových formátů, případně rekonstruovaný analogový obraz na rozhraní pro TV monitor [1, 12].

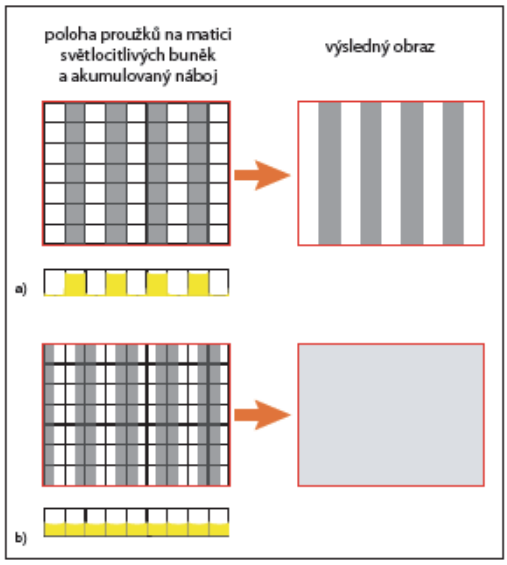


Obr. 4.2: Uspořádání úlohy strojového vidění [4]

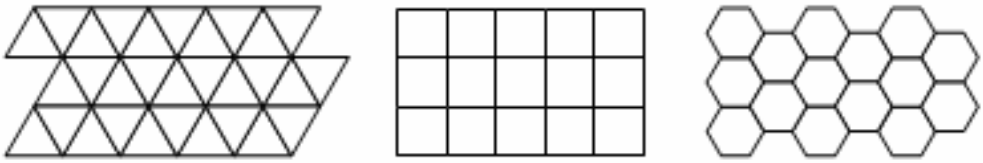
4.1 DIGITALIZACE OBRAZU

Čidla pro vstup obrazové funkce jsou většinou zdrojem spojitého signálu. Abychom obrazovou funkci mohli zpracovat v počítači, musíme nejdříve získat její digitální ekvivalent. Digitalizace spočívá ve vzorkování obrazu v matici M x N bodů a v kvantování spojité jasové úrovně každého vzorku do K intervalů. Díky kvantování nabývá jasová funkce v digitalizovaných obrazech celočíselných hodnot. Čím jemnější je vzorkování (čím větší M a N) a kvantování, tím lépe je aproximován původní spojitý obrazový signál. Interval vzorkování (zobecněný Shannonový teorém pro vícerozměrné signály) je nutné volit tak, aby byl menší nebo roven polovině rozměru nejmenších detailů v obraze (obr. 4.3).

Důležitý je také výběr plošného uspořádání bodů při vzorkování. Výhodné je využít pravidelnou mřížku. Existují pouze tři pravidelné mnohoúhelníky, jejichž síť úplně pokrývá rovinu (obr. 4.4)[15].



Obr. 4.3: Vliv malé vzorkovací frekvence (shodná s rozlišením)
a) proužky padnou do matic buněk - objekt se zobrazí; b) proužky posunuty o ½ šířky buňky - objekt se nezobrazí ([3],str. 43)

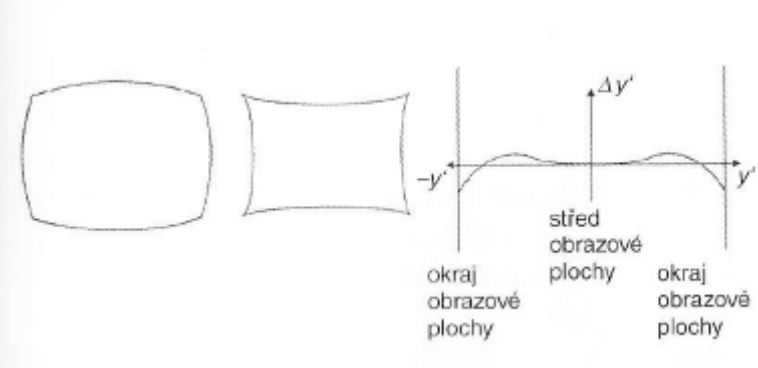


Obr. 4.4: Typy vzorkovacích mřížek [15]

Další důležitou součástí procesu digitalizace je kvantování obrazové funkce. Amplituda ve vzorkovaném obraze musí být pro zpracování počítačem vyjádřena jako digitální údaj. Počet kvantovacích úrovní má být dostatečně velký, aby byly přesně vyjádřeny jemné detaily obrazu, nevznikaly falešné obrysy a aby se citlivost zařízení blížila citlivosti lidského oka. Většina systémů pro digitální zpracování obrazu používá kvantování do k stejných intervalů. Jestliže je pro reprezentaci informace o obrazovém elementu použito b bitů, je počet úrovní jasu $k = 2^b$. Obvykle se používá 8 bitů na obrazový element. Binární obrazy reprezentují informaci o obrazovém bodě jedním bitem. Jedničky v obraze označují objekty (to, co nás zajímá) a nuly zbytek, tj. pozadí [16, 25].

4.2 PŘEDZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Předzpracování obrazu se provádění zejména pro potlačení šumu, odstranění zkreslení (obr. 4.5) a potlačení respektive zvýraznění rysů obrazu (zvýraznění hran).



Obr. 4.5: Geometrické zkreslení obrazového pole ([4],str. 37])

Při předzpracování je nutno zohlednit co chceme z obrazu získat a co budeme s daným snímkem provádět dál. Nejčastěji se provádějí operace jako je úprava jasu (obr 4.6) a kontrastu, úprava histogramu, operace zvětšení, zmenšení, otočení, různé druhy filtrace apod. Vstupem i výstupem předzpracování je obraz.

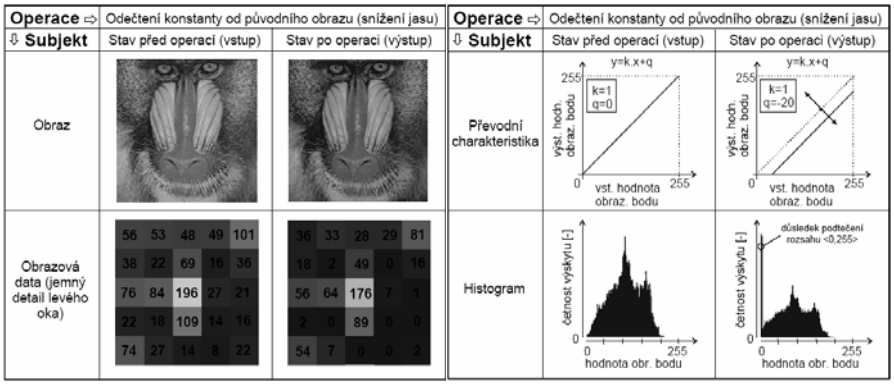
- *Bodové jasové transformace* - jas v bodě výstupního obrazu závisí pouze na jasu bodu ve vstupním obraze. Pro úpravu konkrétního jednoho pixelu použijeme jen tento jeden pixel vstupního obrazu. Rozlišujeme tyto bodové transformace:

a) jasová korekce - řeší poruchy hardwaru – jiná citlivost jednotlivých světlocitlivých prvků snímače (vadné pixely), nerovnoměrné osvětlení, jiná citlivost snímacího a digitalizačního zařízení (systematické chyby),

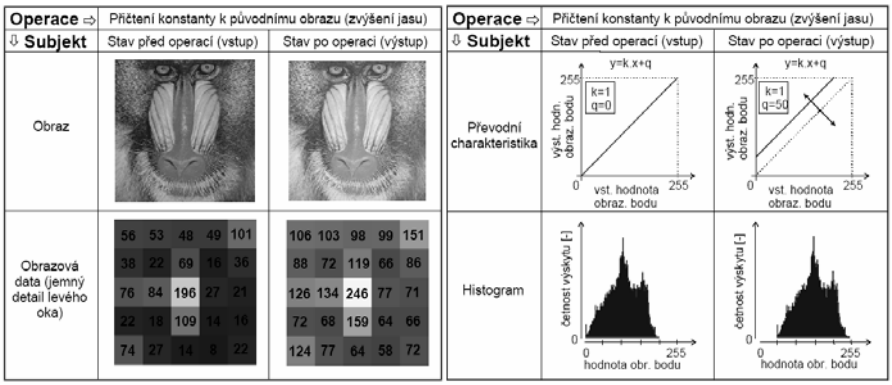
Obr. 4.6: Ukázky změny jasu filtračního materiálu pro vzduchotechnickou jednotku DUPLEX (třída filtrace G4)

b) transformace jasové stupnice - jen určitá hodnota jasu ve vstupním obraze je transformována na jinou hodnotu, bez ohledu na pozici. Transformace T výchozí stupnice jasu p na novou stupnici q: $q = T(p)$.

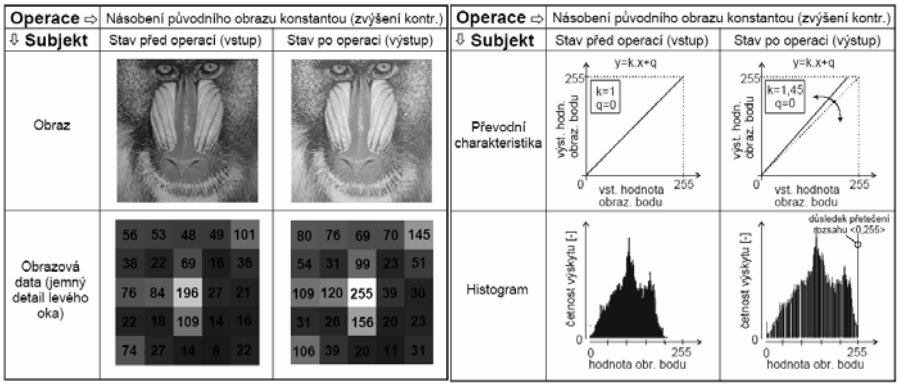
Na následujících obrázcích jsou ukázány jednotlivé operace jasové transformace (obr. 4.7, 4.8, 4.9 a 4.10):



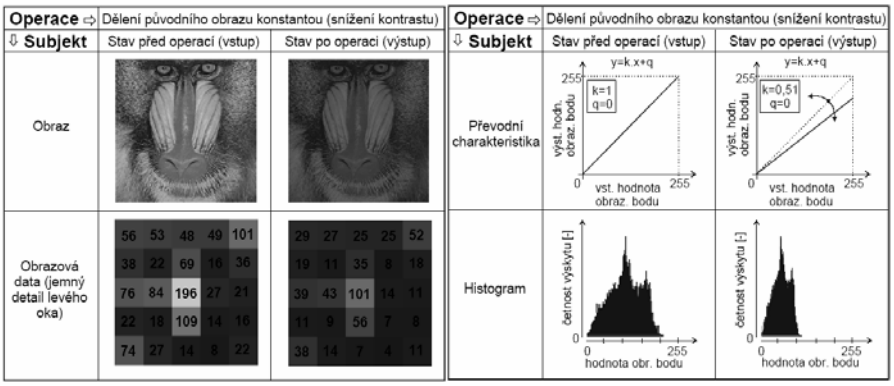
Obr. 4.7: Zmenšení jasu – odečtení konstanty [9]



Obr. 4.8: Zvýšení jasu – přičtení konstanty [9]

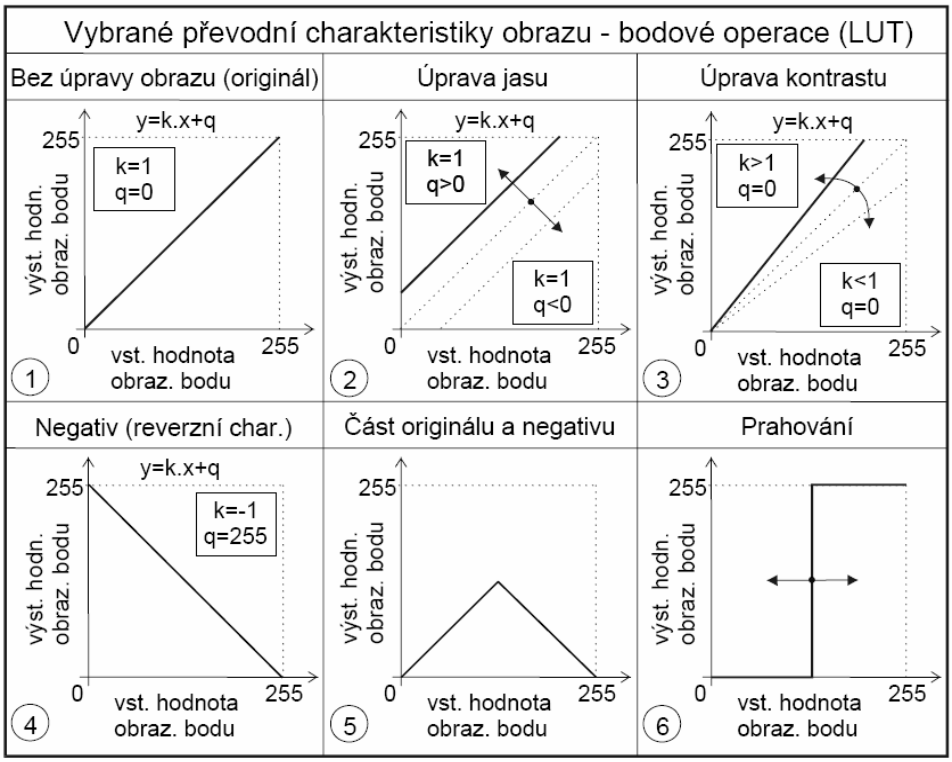


Obr. 4.9: Zvýšení kontrastu – násobení konstantou [9]

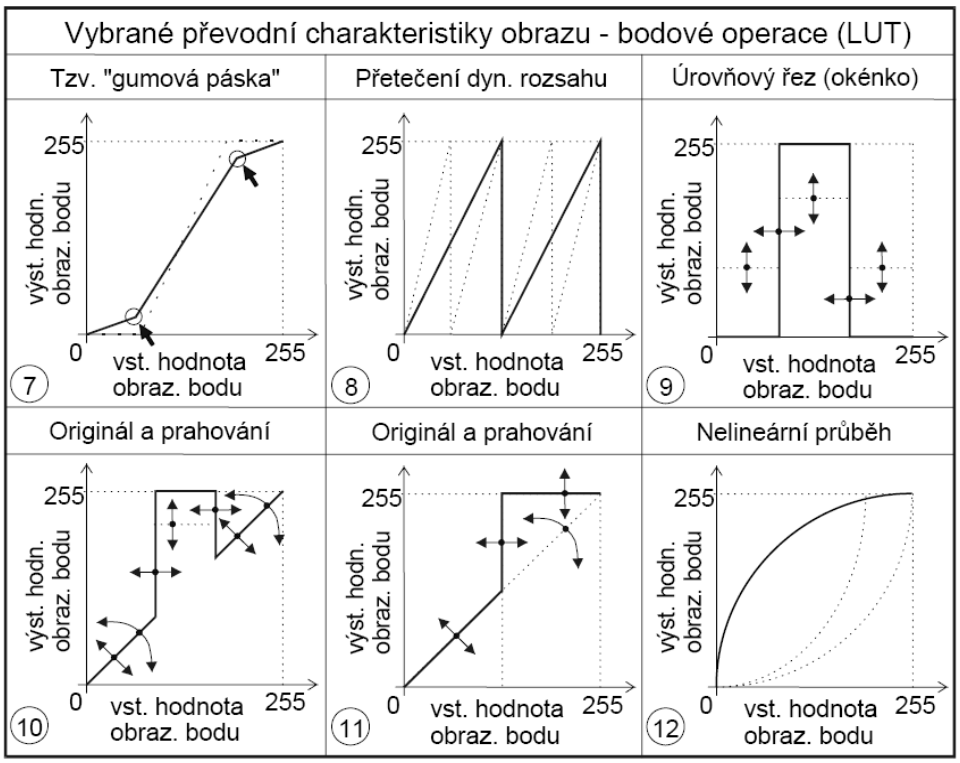


Obr. 4.10: Snížení kontrastu – dělení konstantou [9]

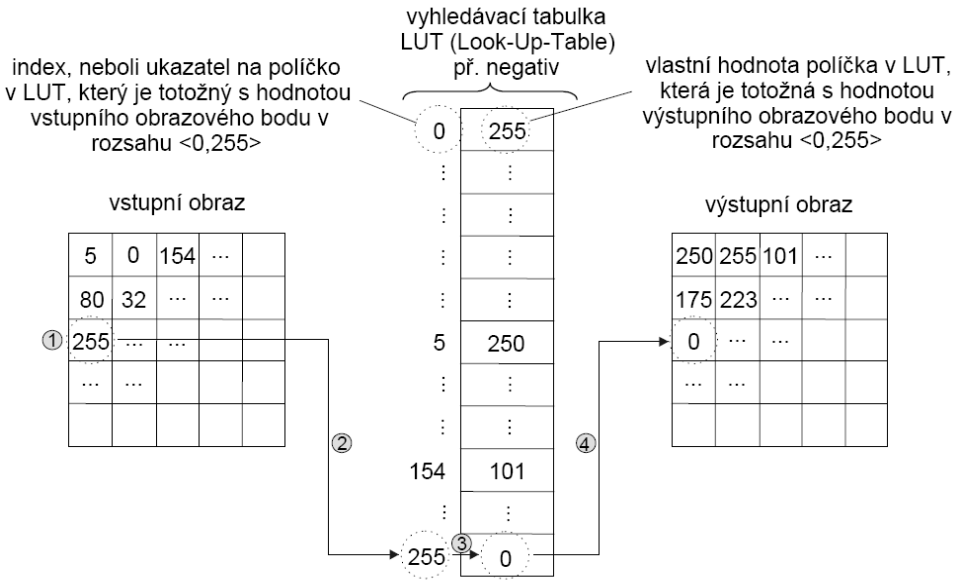
V praxi se často využívá praktická tabulka LUT (Look-up table), pomocí které se přiřazuje každé naměřené hodnotě (v obraze je tato hodnota reprezentována pixelem) číselná hodnota v rozsahu palety barev podle bitové hloubky. Pomocí LUT můžeme nastavit například změnu (zvýraznění) některých naměřených hodnot jako je změna jasu, kontrastu atd. Přehled základních bodových operací je na obrázku 4.11 a 4.12. Způsob jakým se LUT používá je zobrazen na obrázku 4.13.



Obr. 4.11: Vybrané převodní charakteristiky obrazu č. 1 [16]



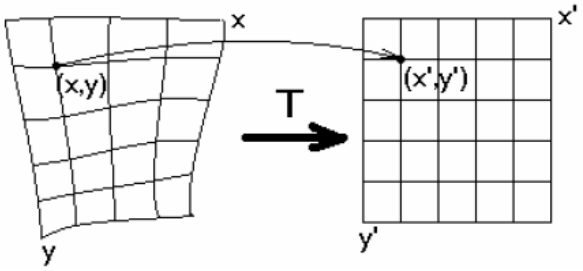
Obr. 4.12: Vybrané převodní charakteristiky obrazu č. 2 [16]



Obr. 4.13: Způsob aplikace LUT [16]

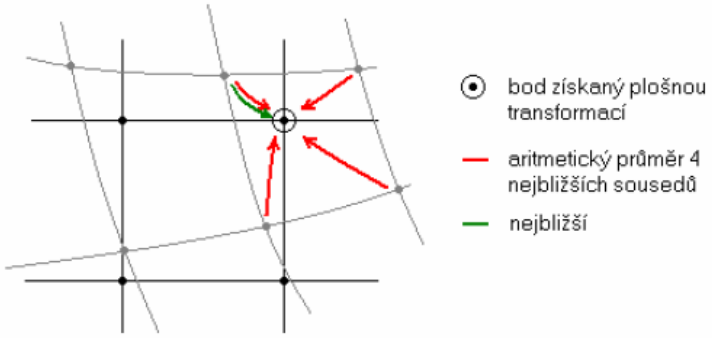
- *Geometrické transformace* - slouží k odstranění geometrických zkreslení, které vznikají zakřivením snímaného povrchu. Mezi tyto metody můžeme zařadit výřez, posun, rotaci, translaci, zkosení, zvětšení atd. Metody geometrické transformace mohou být:

a) plošná transformace - najde k bodu *(x, y)* ve vstupním obraze odpovídající bod ve výstupním obraze *(x', y')* (obr. 4.14),



Obr. 4.14: Geometrická transformace [15]

b) jasová transformace - nalezení jasu, který bude ve výstupním obrazu po geometrické transformaci odpovídat jednotlivým pixelům (obr. 4.15).

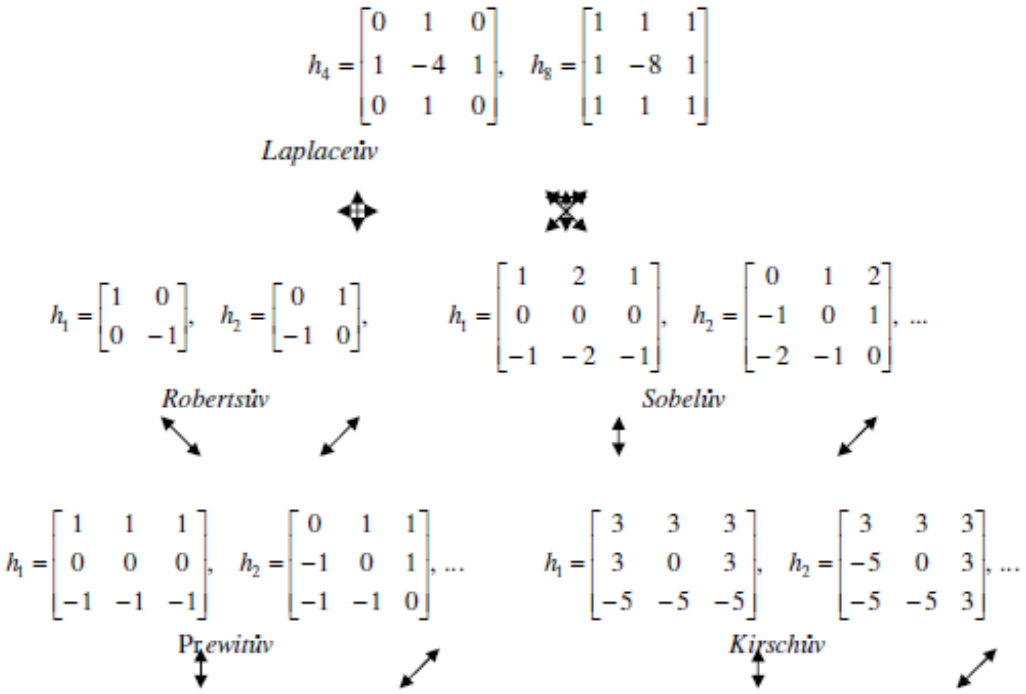


Obr. 4.15: Jasová transformace [15]

- *Lokální předzpracování* - využívá pro výpočet jasu bodu ve výstupním obraze jen lokální okolí odpovídajícího bodu ve vstupním obraze. Podle funkčního vztahu lze lokální předzpracování rozdělit na lineární a nelineární. Tato metoda se používá především na:

a) vyhlazování obrazu (filtraci) - jde o metodu, kde se potlačují vyšší frekvence respektive potlačení náhodného šumu a jiných náhlých změn (ostré čáry a hrany). Zde se používá několik metod: průměrování přes *n* obrazů (nerozmazává hrany), nebo přes jeden obraz (rozmazává hrany), průměrování s omezením změn, filtr s Gaussovým rozložením, vyhlazování rotující maskou (mírně ostří) a mediánem (redukuje rozmazání hran, ořezává rohy, poškozuje tenké čáry).

b) detekce hran, ostření (gradientní metody) - jde o metodu, která naopak zdůrazní vyšší frekvence a tedy zvýrazňuje obrazové elementy, zároveň však také zvýrazní šum. Nejčastěji používané operátory jsou uvedeny na obr. 4.16.



Obr. 4.16: Přehled používaných operátorů [9, 16]

- *Restaurace obrazu* - snaha o potlačení porušení obrazu pomocí filtrů (inverzní, Wienerův, Kalmanův) na základě znalosti charakteru poruchy nebo jejího odhadu. Čím lepší je znalost degradace, tím lepší jsou výsledky, proto se degradace modelují. Modely poruch se dělí na:

  a) apriorní – parametry poruchy jsou známy nebo je lze získat před obnovením,

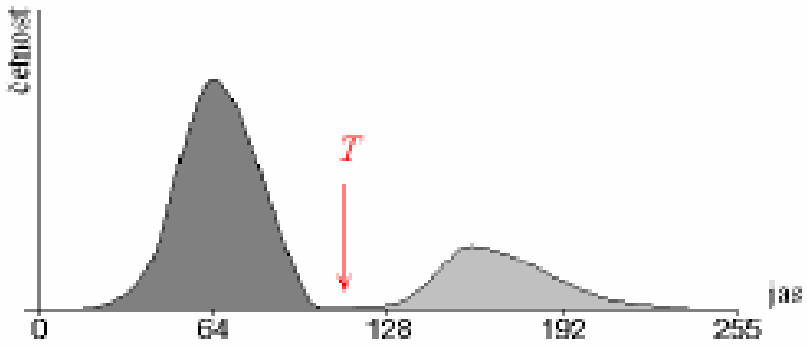
  b) aposteriorní – znalosti o poruše získáváme analýzou degradovaného obrazu.

- *Matematická morfologie* - používá se pro předzpracování (odstranění šumu, zjednodušení tvaru objektů), zdůraznění struktury objektu (ztenčování, zesilování, výpočet konvexního obalu, označování objektů), popis objektů číselnými charakteristikami (plocha, obvod, projekce).

4.3 SEGMENTACE OBRAZU

Při segmentaci jde o jasové oddělení (separaci) obrazového pozadí od hledaných objektů, popis objektu a redukci dat. Nejjednodušším způsobem segmentace je prahování s jedním pevným prahem, tím vznikne dvojbarevný obraz. Lepších výsledků lze dosáhnout zvyšováním počtu prahů, případně dynamickým stanovováním hodnot prahů podle charakteristik obrazu. Takto vzniklý práh se označuje - jasově adaptivní, je charakterizován jako průměr indexů dvou největších maxim histogramu (obr. 4.17) [15].

Problémem při segmentaci je především nejednoznačnost obrazových dat, informační šum a skutečnost, že různé použité metody s různými parametry nám dávají rozdílné výsledky.



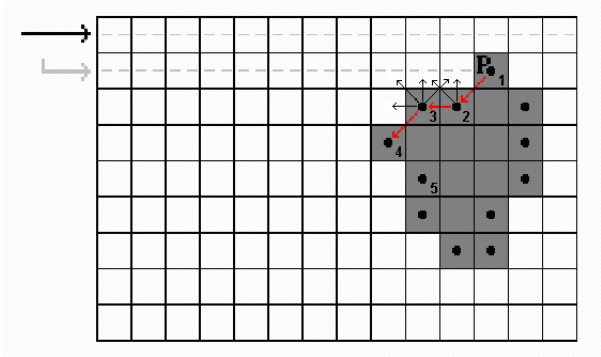
Obr. 4.17: Určení prahu z histogramu [15]

Při zpracování obrazu se můžeme setkat s celou řadou metod segmentace[15]:

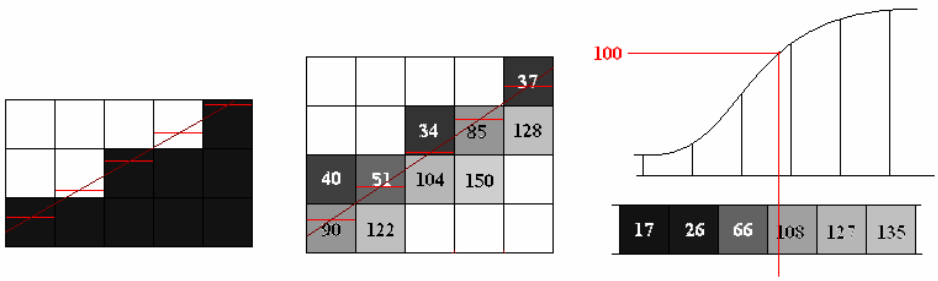
- Segmentace prahováním,
- Segmentace na základě detekce hran:
  - sledování hranice (obr. 4.18),
  - heuristické sledování hranice,

- určování hranice s využitím znalosti o poloze.

- Segmentace narůstáním oblastí:
  - spojování oblastí,
  - štěpení oblastí,
  - štěpení a spojování.
- Segmentace srovnáním se vzorem
- Sub-pixelové určení hranice (obr. 4.19)



Obr. 4.18: Sledování hranic v osmi-okolí [15]



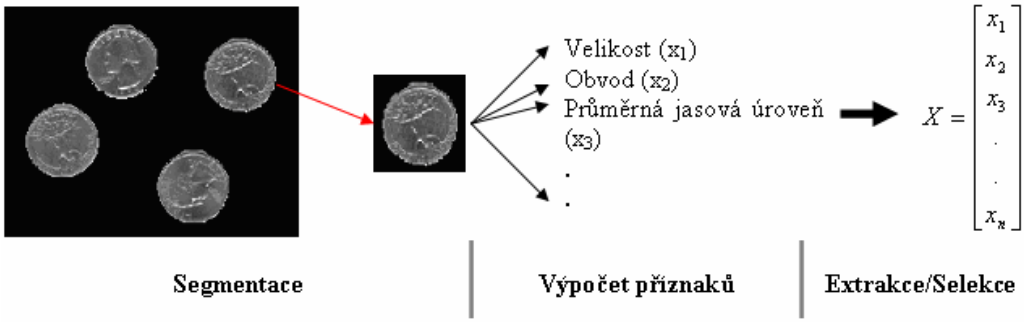
Obr. 4.19: Sub-pixelové určení hrany [15]

4.4 POPIS OBJEKTŮ

Ze segmentovaných dat objektů se v této fázi předzpracování obrazu snažíme získat příznaky. Pomocí nich jsme dále schopni přesně určit charakteristické rysy hledaných objektů. Problém nastává při volbě těchto příznaků, protože jsou současně kladeny velmi často protichůdné požadavky na vlastnosti [15]:

- invariantnost – na změnu jasu, kontrastu, na translaci, rotaci a změně měřítka,
- spolehlivost – podobné hodnoty příznaku pro týž objekt,
- diskriminabilita – různé hodnoty příznaku pro různé objekty,
- efektivita výpočtu – dobrá detekovatelnost,
- časová invariance – v případě zpracování dynamických obrazů.

Cílem popisu je reprezentovat obrazové objekty matematicky a to souborem číselných charakteristik, respektive symbolem zvolené abecedy. Z obrazu segmentovaných objektů jsou vypočítány příznaky *xi*, ze kterých je sestaven příznakový vektor *X* (obr. 4.20). Příznakový vektor obsahuje v obecném případě vysoký počet zcela odlišných charakteristických rysů objektu (příznaků) bez ohledu na jejich konkrétní rozlišovací schopnost [15].

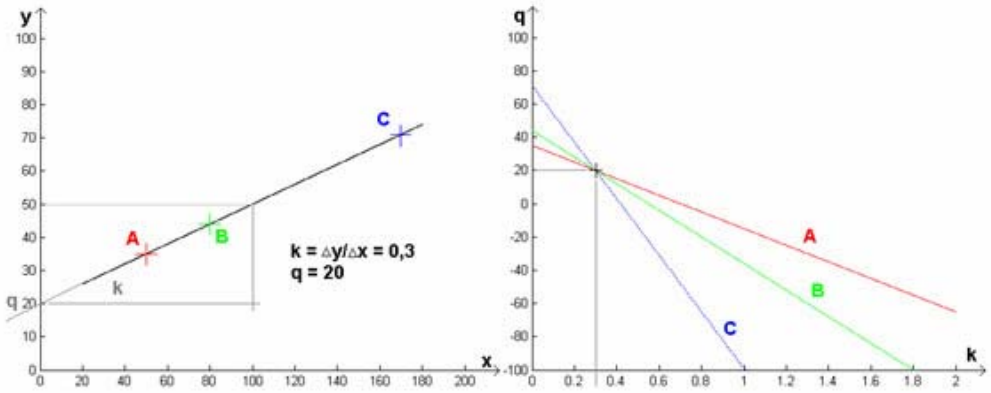


Obr. 4.20: Výpočet příznakového vektoru X [15]

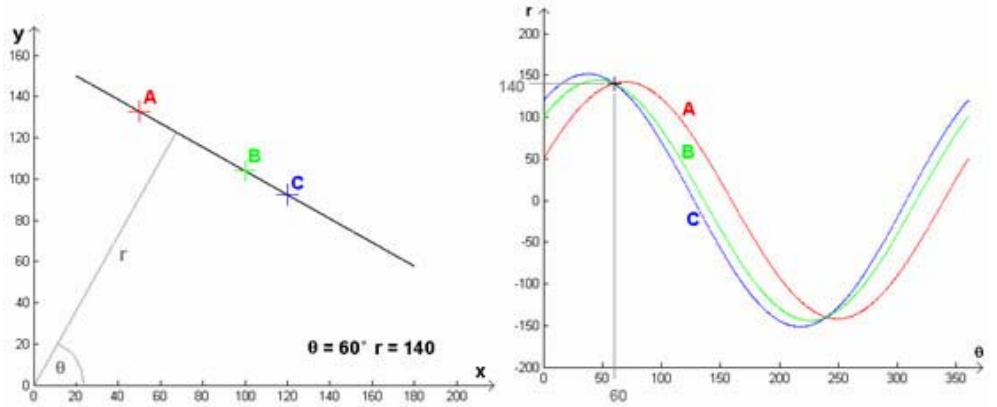
4.5 DETEKCE GEOMETRICKÝCH TVARŮ

Při detekci nalezení určitého objektu v obraze je nutné znát analytický popis tvaru tohoto objektu. Při detekci se využívá především zobecněná Houghova transformace, která vyhledává hranice, určuje orientaci objektu, mapuje body na křivku apod. Její výhodou je malá citlivost na šumy, necitlivost k porušení hranic, lze využít i při částečném zakrytí objektu. Nevýhodou je malá přesnost, zkreslení, rychlost a pracnost. Problém vzniká také tím, že nám daná transformace nic neříká o počátku a konci křivky (získáme přímku místo úsečky).

Příkladem může být detekce přímky zapsané ve směrnicovém tvaru $y = kx + q$ (obr. 4.21). Rovnice přímky zapsaná v normálovém tvaru $r = x\cos\theta + y\sin\theta$, kde r je délka normály přímky od počátku, θ je úhel mezi normálou a osou x (obr. 4.22) [15].

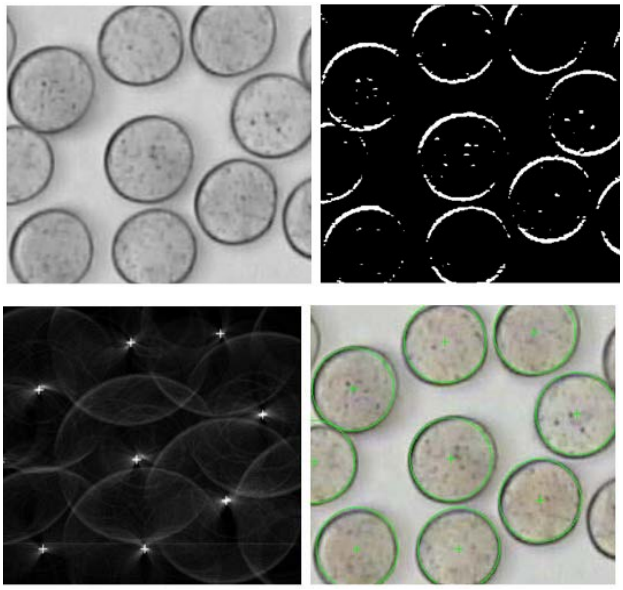


Obr. 4.21: Reprezentace přímky v prostoru (x,y) a prostoru (k,q) [15]



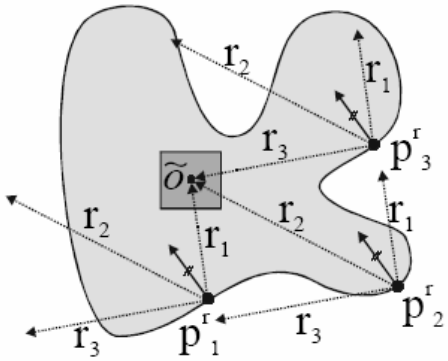
Obr. 4.22: Reprezentace přímky v prostoru (x,y) a prostoru (θ,r) [15]

Kružnici můžeme vyjádřit rovnicí $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$ nebo parametrickým vyjádřením kružnice $x = a + r\cos\alpha$, $y = b + r\sin\alpha$. V obraze pak hledáme tři parametry a,b a r (obr. 4.23). Protože se tak jedná o tří dimenzionální Houghův prostor jsou kladeny daleko větší nároky na výpočet [15].



Obr. 4.23: Detekce kruhových objekt (r = 50 pxl) pomocí HT [15]

Pokud detekujeme objekty, které nelze jednoduše analyticky popsat, použijeme zobecněnou Houghovu transformaci. Hranice hledaného objektu se realizuje pomocí explicitního seznamu všech bodů tvaru, pozice všech pixelů je vztažena k předem definovanému referenčnímu bodu (např. těžiště) (obr. 4.24).



Obr. 4.24: Sestavování Houghova prostoru [15]

5. PRINCIPY MĚŘENÍ MATERIÁLU PPI

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.4 materiály ppi - pores per inch - jsou retikulované PU pěny na polyesterové bázi. Síťová struktura je plně otevřená a neobsahuje žádné uzavřené buňky. Základní strukturální buňkou PPI je 12-boký pětihran, který je charakterizován: průměrem buňky, tloušťkou vlákna a velikostí „okna“. Vyrábí se v blocích o výšce přibližně 450 mm a půdorysných rozměrech 1500 x 2000 mm, 1000 x 2000 mm a 1260 x 1830 mm. Tyto bloky se dále řežou na požadované tvary a formáty. Velikost buňky se liší podle typu materiálu a pohybuje se přibližně od 0,48 do 4,5 mm (na žádost zákazníka lze vyrobit i větší) [11, 21].

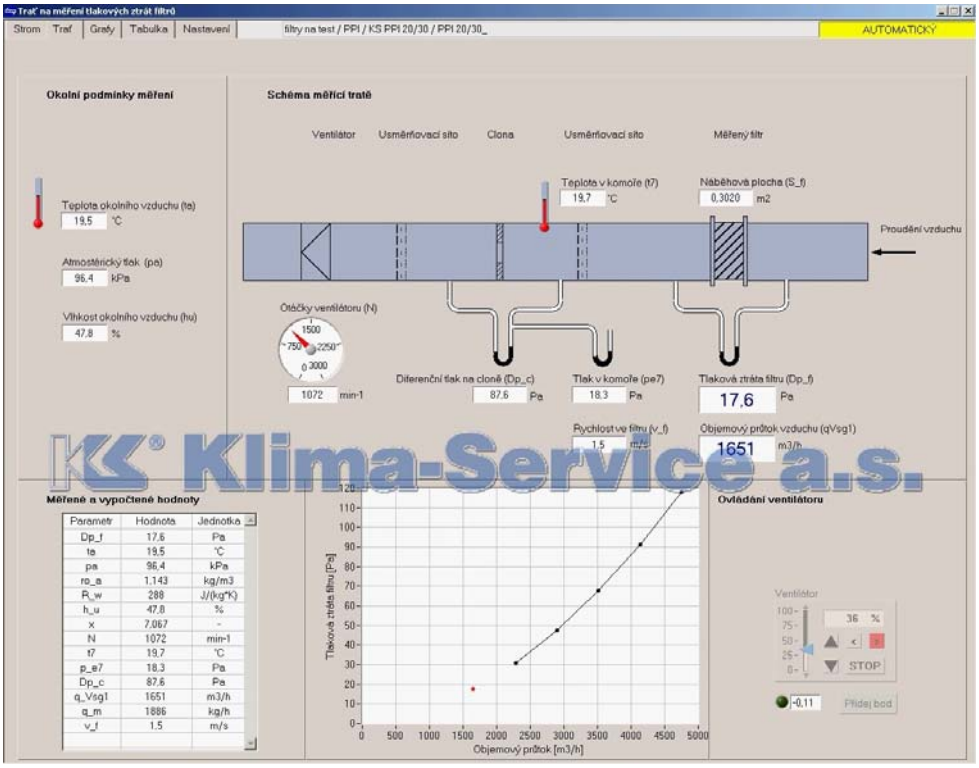
Při výrobě tohoto materiálu se zkouška na kvalitu a strukturální rozložení jednotlivých buněk provádí metodou Visiocell (zkouška ve výrobním závodě). Tato metoda využívá přesné měření průměru retikulovaných buněk za pomocí mikroskopu a vytvořeného programu. Metoda spočívá v tom, že se odebere vzorek z pěnového bloku a umístí se pod mikroskop. Na monitoru, který zobrazuje zvětšené buňky pod mikroskopem se vybere ideální buňka, kterou představuje 12-ti pentagonální buňka a ta se vyfotí. Na stacionárním snímku se poté měří její průměr. U bloků se odebírá vzorek z horní, střední a dolní části bloku. Naměřený průměr buněk by se měl pohybovat v toleranci která je dána pro danou porezitu pěny. Např. pěna BULPREN S28089 má definovanou toleranci průměru buněk 0,74 - 1,04mm [11, 21].

Další zkoušky prováděné v praxi jsou založeny na metodě rozdílu tlaků - snímání diferenčního tlaku. Tyto zkoušky se provádějí přímo ve výrobním závodě, případně u jednotlivých prodejců, kteří mají akreditovanou laboratoř pro tato měření.

Jde o metodu, kdy se současně snímá tlak před a za filtračním materiálem při kontinuální změně množství proudícího vzduchu v daném trativodu. Tyto hodnoty jsou pak zaznamenávány a vyhodnoceny. I když je tato metoda jednoduchá, jde o použití diferenčních snímačů tlaku, je nutné dbát na správné sestavení trativodu, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků, např. v důsledku nesprávného proudění vzduchu, umístění tlakoměrů v hluchých místech potrubí nebo nedostatečné „uklidnění“

proudícího vzduchu. Většina trativodů má proto definovaný průřez, dostatečnou délka, je osazena ventilátorem s frekvenčním měničem (to umožňuje plynulou regulaci otáček ventilátoru - množství proudícího vzduchu). Snímače tlaku (většinou 8 tlakoměrů) jsou umístěny na středu trativodu, vždy dva ve vertikální a dva v horizontální poloze, a to před filtrem a za filtrem.

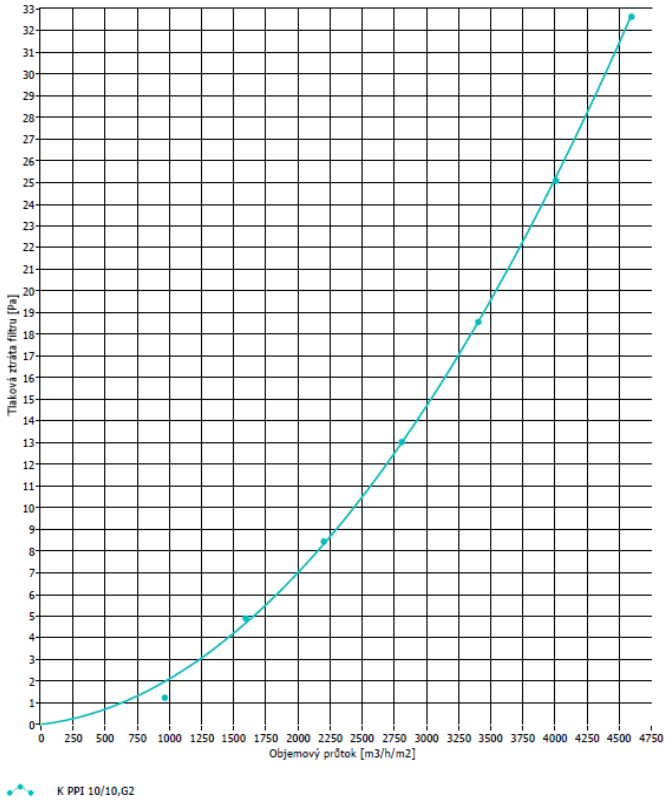
Výsledek daného měření je vyhodnocen určitým algoritmem a následně vizualizován. Ukázka vizualizace je na obrázku 5.1 [21].



KS Klima-Service a.s.

Obr. 5.1: Ukázka vizualizace softwarového programu [21]

Výsledkem daného měření je protokol o měření podle normy EN 779:2002. Tento protokol obsahuje graf naměřených hodnot (obr. 5.2) a laboratorní protokol o měření (obr. 5.3). V praxi se můžeme také setkat s testovací metodou Recticel SS/T.012.0. Podle této metody můžeme rozdělit tento materiál na pěny 1. třídy do 60 PPI a pěny 2. třídy od 60 PPI [11, 21].



Obr. 5.2: Graf tlakové ztráty materiálu PPI 10/10 [21]

Klima-Service a.s.

Laboratorní protokol o měření

Testovaný vzorek: K PPI 10/10,G2
Rozměr vzorku: 592x592x25 mm
Popis vzorku:
Datum měření: 06.11.2009; Atmosférický tlak: 96,6 kPa; Teplota vzduchu: 17,7 °C
Vlhkost vzduchu: 44,7 %; Přepočteno na referenční hodnotu hustoty vzduchu: 1,200 kg*m-3

Měřící bod	Tlaková ztráta filtru [Pa]	Objemový průtok vzduchu [m3/h/m2]	Diferenční tlak na cloně [Pa]	Tlak v komoře [Pa]	Rychlost proudění ve filtru [m/s]
1	1,3	960	32,2	0,0	0,9
2	4,9	1590	88,7	14,4	1,5
3	8,5	2199	170,0	29,1	2,1
4	13,0	2804	277,1	48,0	2,7
5	18,6	3401	408,3	70,9	3,3
6	25,1	4005	566,6	97,7	3,8
7	32,7	4594	746,5	129,2	4,4

Obr. 5.3: Laboratorní protokol měření materiálu PPI 10/10 [21]

6. VLASTNÍ MĚŘENÍ

Metody uvedené v kapitole 5 jsou jednoduché a pro použití PPI hmoty jako filtračního materiálu dostatečně přesné. Hlavní nevýhodou je, že daný materiál se testuje pouze jako vzorek dané série výroby. Při výrobě však může dojít například vlivem nečistot, nestejnoměrným promísením či rozdílnými reakčními teplotami ve směsi ke vzniku neprůchozích shluků případně trhlin, které snižují absorpční parametry daného materiálu. Tyto vady pak nemusí být danými metodami odhaleny. Proto jsem se v práci pokusil pro zjišťování těchto vad využít optické metody, především pak vyhodnocování nasnímaného obrazu materiálu PPI ve výpočetním systému MATLAB, verze 7.0.1.

K dispozici jsem měl vzorky s typovým označením PPI 10/6, 10/10, 20/10, 20/20, 30/25 a 45/25. Hodnoty udávané za PPI značí počet otvorů na inch (palec = 2,54 cm) / tloušťka materiálu v [mm]. Tyto vzorky jsem nasnímal v laboratoři počítačového vidění na FEKT Ústav automatizace a měřicí techniky (obr. 6.1).

Obr. 6.1: Měřící pracoviště

K pořízení snímků jsem použil kameru Imagingsource DFK 41BU02, osazenou objektivem Computar 12mm a zářivkový zdroj světla tlumený mléčným sklem (obr. 6.2). Získané snímky jsem ukládal ve formátu .bmp a dále zpracovával

v programu MATLAB verze 7.0.1. Na daných vzorcích jsem detekoval celistvost materiálu.

V prvním případě jsem využil k vyhodnocení snímku histogram daného obrazu, ve druhém případě jsem vyhodnocoval celistvost na základě vykreslení obrysů. Jednotlivé algoritmy jsou uvedeny v příloze 3 až 7. Nastavení parametrů kamery a parametrů ukládaných snímků je uvedeno v příloze 1 a 2.

Obr. 6.2: Kamera a objektiv k pořizování snímků

6.1 ZPRACOVÁNÍ SNÍMKŮ POMOCÍ HISTOGRAMU

V první fázi zpracování se detekovaný snímek načte a rozdělí na podobrázky. Rozdělení snímku se nastavit ručně při volání funkce příkazem zkontroluj (‘obrazky/číslo_obrázku.bmp’,počet podobrázků). Algoritmus je na obrázku 6.3.

```
% načtu obrázek
img = imread(obrazek);

% zjistím velikost celého obrázku
[sy sx] = size(img);

% velikost podobrázků
sx = floor(sx / 100);
sy = floor(sy / 100);

% rozdělím obrázek na podobrázky
casti = elementy(img, sx, sy);
```

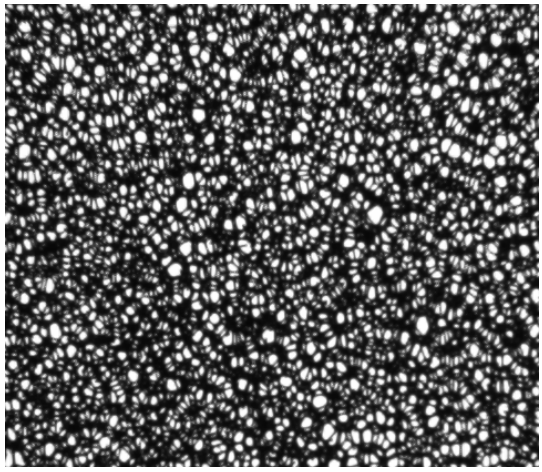
Obr. 6.3: Načtení a rozdělení snímku

V každém takto vzniklém podobrázku (okně) se vykreslí histogram pro danou oblast snímku. Následně se z takto vzniklých histogramů vypočítá prahovaný histogram (počet prahů se nastavuje při volání daného obrazu) (obr. 6.4).

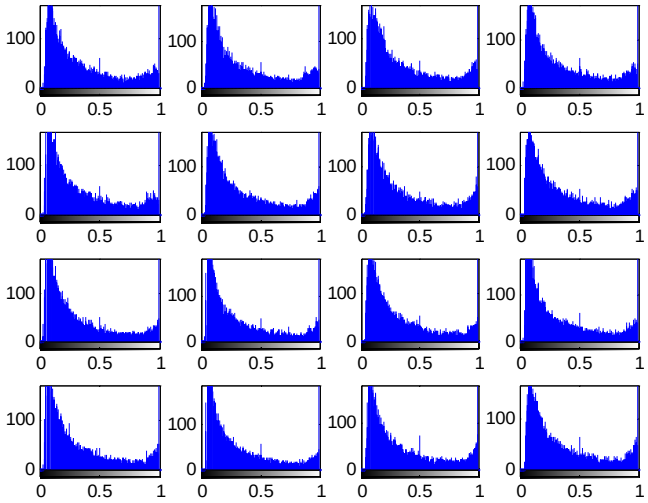
```
% spočítá prahovaný histogram a vytvoří pomocné pole
% (hodnoty2), které může sloužit pro pomocné vykreslení
% parametr n říká, na kolik prahu vytvořit histogram.
function [histogram histogram2] = prah_hist(obr, n)
[sx sy] = size(obr);
histogram = zeros(1, n);
prah = 1/n;
for y = 1 : sy
      for x = 1 : sx
            klic = floor(obr(x,y) / prah);
            histogram(klic + 1) = histogram(klic + 1) + 1;
      end;
end;

histogram2 = zeros(1, n * 100);
for i = 0 : n - 1
       for j = 0 : 99
            histogram2(i*100+j+1) = histogram(i + 1);
      end;
end;
```

Obr. 6.4: Funkce histogram histogram2

Na obrázku 6.5 je ukázán načtený snímek materiálu PPI 10/6 a na obrázku 6.6 jsou zobrazeny histogramy načteného snímku po jeho rozdělení do podobrázků.

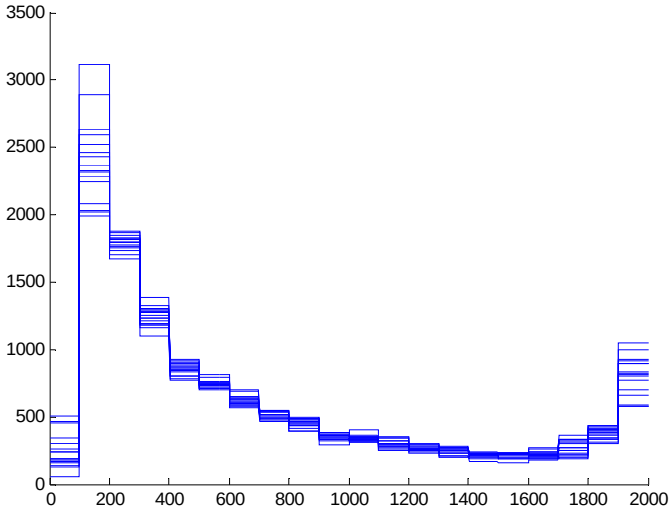


Obr. 6.5: Načtený snímek materiálu PPI 10/6



Obr. 6.6: Histogramy jednotlivých podobrázků materiálu PPI 10/6 (souřadnice *x* zobrazuje jasové úrovně, souřadnice *y* zobrazuje četnost)

V dalším kroku se histogramy naprahují (počet prahů lze nastavit) (obr. 6.7).



Obr. 6.7: Naprahované histogramy z podoken (souřadnice *x* zobrazuje jasové úrovně, souřadnice *y* zobrazuje četnost)

Tento histogram obsahuje jednotlivé četnosti daných intenzit ze všech podobrázků. V dalším kroku se pak získá rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou zjištěné četnosti výskytu v jednotlivých prazích (obr. 6.8).

```
function [rozdily max_rozdil] = rozdil_elementu(elementy, nx,
ny, poc_prahu)
i = 1;
figure
hold on
hodnoty = zeros(nx*ny, poc_prahu);
for y = 1 : ny
      for x = 1 : nx
            [hodnoty(i,:) hodnoty2] =
            prah_hist(elementy(:,:,i), poc_prahu);
            plot(hodnoty2);
            i = i + 1;
      end;
end;

rozdily = max(hodnoty) - min(hodnoty);
max_rozdil = max(rozdily);
```

Obr. 6.8: Funkce rozdíly max_rozdíly

Pro každý podobrázek se vypíše největší zjištěný rozdíl, ten se porovná s nastavenou hodnotou maximálního dovoleného rozdílu, v mém případě 1500. Pokud je tato hodnota překročena, vypíše se chybové hlášení (obr. 6.9).

```
% vypočítám maximální rozdíl mezi prahovanými
% částmi histogramů jednotlivých elementů
[rozdily max_rozdil] = rozdil_elementu(casti, sx, sy,
poc_prahu);

for i = 1:length(rozdily)
      disp(sprintf('Podobrázek %d => %d', i, rozdily(i)));
end;

disp(sprintf('Maximální rozdil prahu je %d', max_rozdil));

if max_rozdil > 1500
      disp('==> V materialu je chyba. <==');
end;
```

Obr. 6.9: Výpočet maximálního rozdílu a výpis chybového hlášení

6.1.1 PPI 10/6 bez poruch materiálu

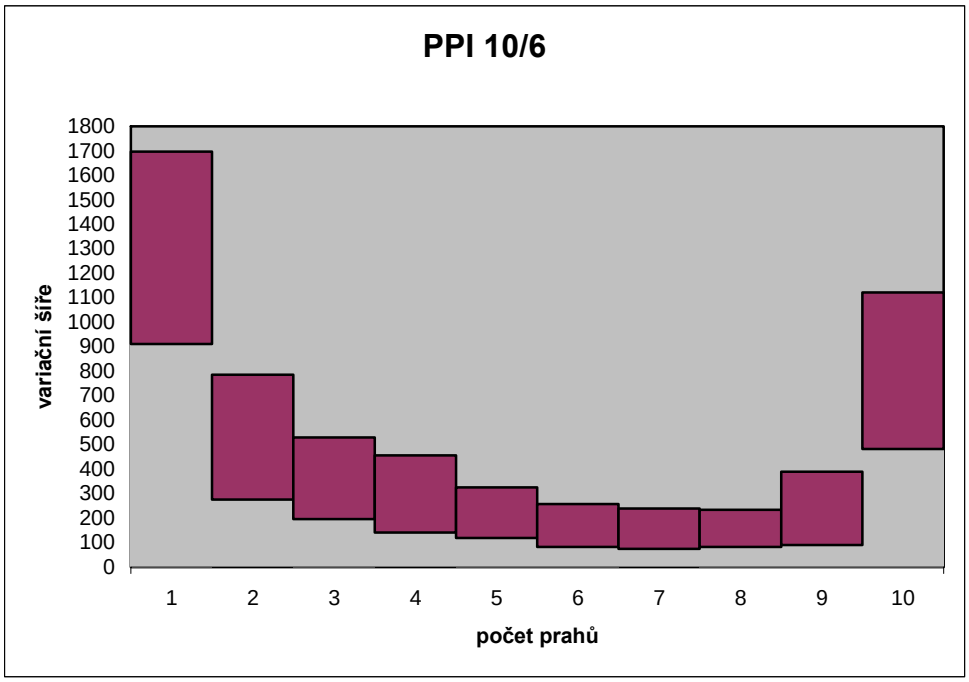
snímek	počet prahů										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	max. rozdíl
1	1134	350	196	163	149	83	127	83	178	855	1134
2	1534	376	206	189	136	168	114	135	224	534	1534
3	1260	310	278	242	204	206	188	194	314	568	1260
4	1220	497	229	256	177	141	112	135	215	780	1220
5	1044	376	275	213	142	195	151	141	260	1029	1044
6	1370	348	329	141	184	128	75	112	185	666	1370
7	1083	492	353	158	200	159	196	164	299	839	1083
8	1007	590	373	344	287	173	152	96	196	1035	1035
9	1376	409	236	179	127	130	107	120	236	620	1376
10	1235	490	254	208	206	165	133	171	238	869	1235
11	1526	276	286	229	195	220	200	154	273	740	1562
12	1620	516	292	262	201	132	125	133	200	980	1620
13	1381	497	331	253	234	229	203	222	330	793	1381
14	1657	785	354	383	260	196	152	137	90	483	1657
15	1005	624	530	456	325	257	210	230	399	1121	1121
16	911	625	349	263	294	227	239	178	388	1102	1102
17	1671	288	357	199	119	131	174	155	221	972	1671
18	1691	366	330	280	305	246	225	234	389	612	1691
19	1509	370	286	232	191	218	117	139	257	821	1509
20	1685	370	311	293	218	195	154	159	230	690	1685

Tab. 6.1: Zjištěné hodnoty variační šíře při prahování 10 pro materiál 10/6

Číslo prahu	Aritmetický průměr x_p	Rozptyl σ^2	Směrodatná odchylka σ
1	1345,9	63185,95	251,96
2	447,75	16688,79	129,18
3	307,75	5184,78	72,00
4	247,15	5757,228	75,87
5	207,7	3492,21	59,09
6	179,95	2050,95	45,29
7	157,7	1908,81	43,69
8	154,6	1627,74	40,35
9	256,1	5865,19	76,58
10	805,5	34998,35	187,08

Tab. 6.2: Vypočítané charakteristiky polohy a rozptýlení zjištěných dat pro jednotlivé prahy

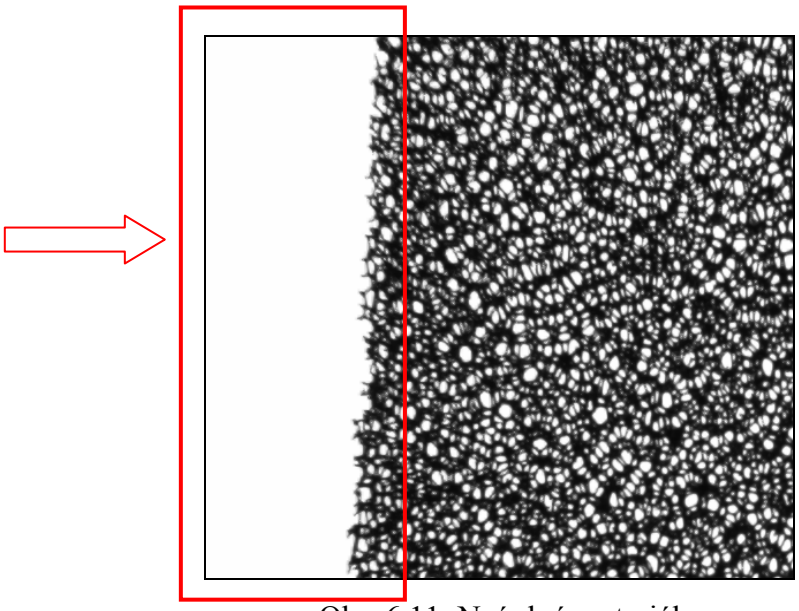
Ze zjištěných hodnot zapsaných v tabulce 6.1 a znalostí o zpracování obrazu je patrné, že zásadní informaci o vlastnostech materiálu nesou data ve sloupci č. 1 (černá barva - shluky, neprůchozí díry) a ve sloupci č.10 (bílá barva - otvor v materiálu). Z principu funkce prahování je zřejmé, že rozptyl jednotlivých prahů se s zvětšujícím se počtem prahů, bude klesat. Na obrázku 6.10 jsou zobrazeny hodnoty minimální a maximální jasové intenzity zjištěné na materiálu PPI 10/6 při použití 10 prahů.



Obr. 6.10: Graf variační šíře v jednotlivých prazích u materiálu PPI 10/6

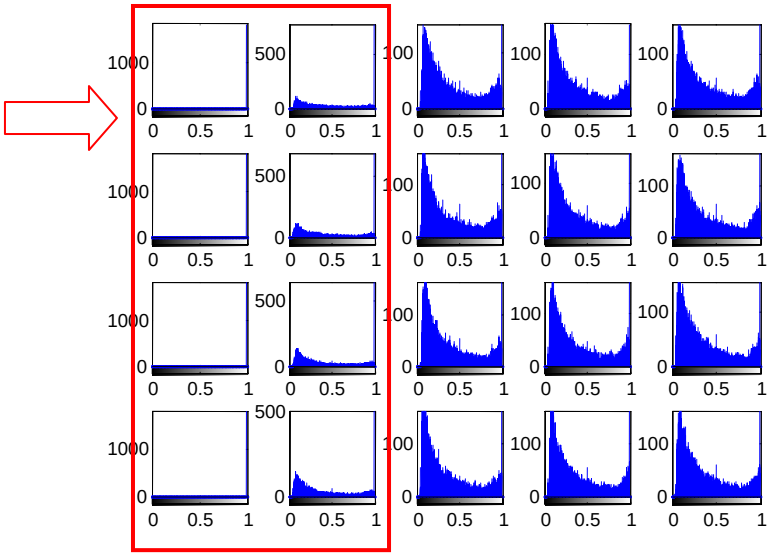
6.1.2 PPI 10/6 vada materiálu - neúplný

Na obrázku 6.11 je provedeno měření na snímku, kde chybí část materiálu. Tato porucha je orámována.



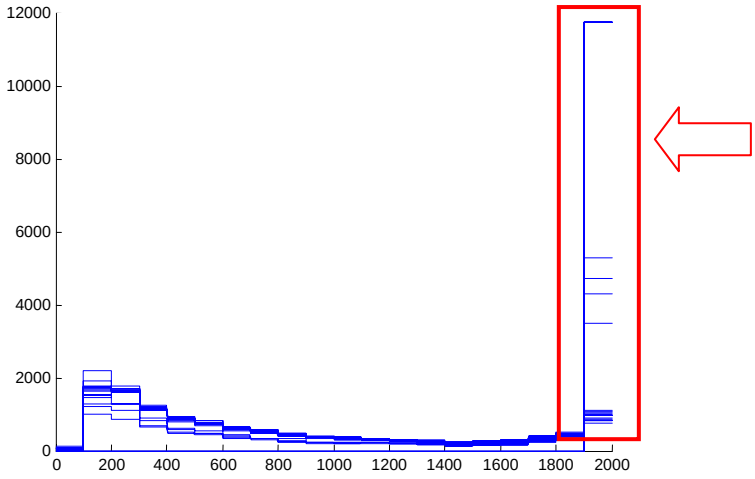
Obr. 6.11: Neúplný materiál

Z obrázku histogramů jednotlivých podoken je patrný vliv chybějícího materiálu na četnost jednotlivých jasových úrovní (obr. 6.12)



Obr. 6.12: Vliv chybějícího materiálu na četnost jasových úrovní

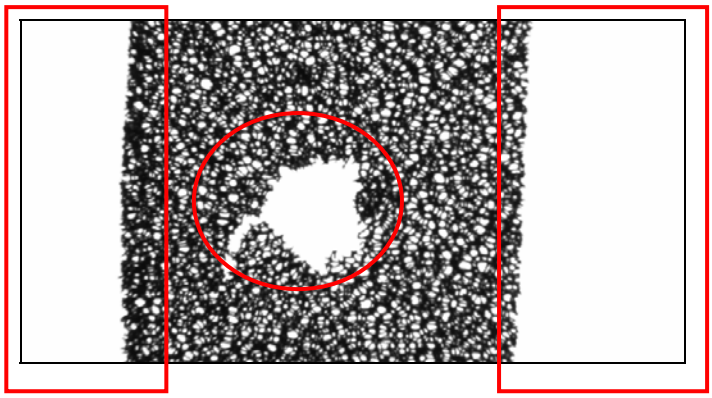
Na obrázku 6.13 je vidět, jak neúplnost materiálu silně ovlivní četnost výskytu bílé barvy v prahu 10.



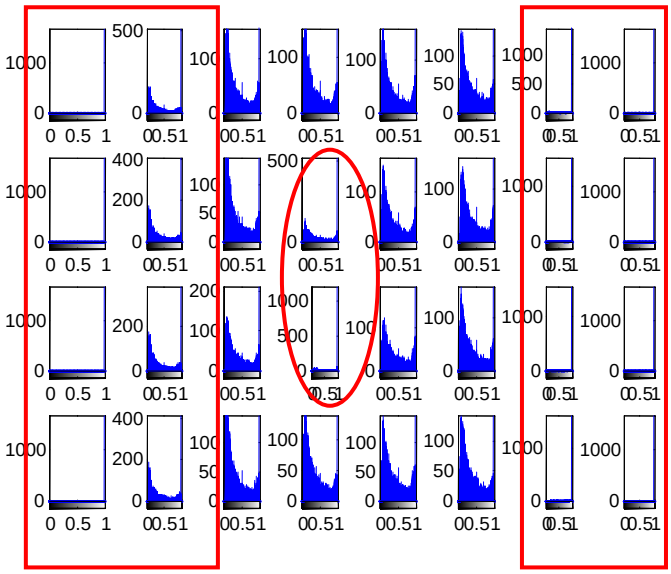
Obr. 6.13: Nárůst četnosti bílé barvy vlivem poruchy materiálu

6.1.3 PPI 10/6 vada materiálu - neúplný s výsekem

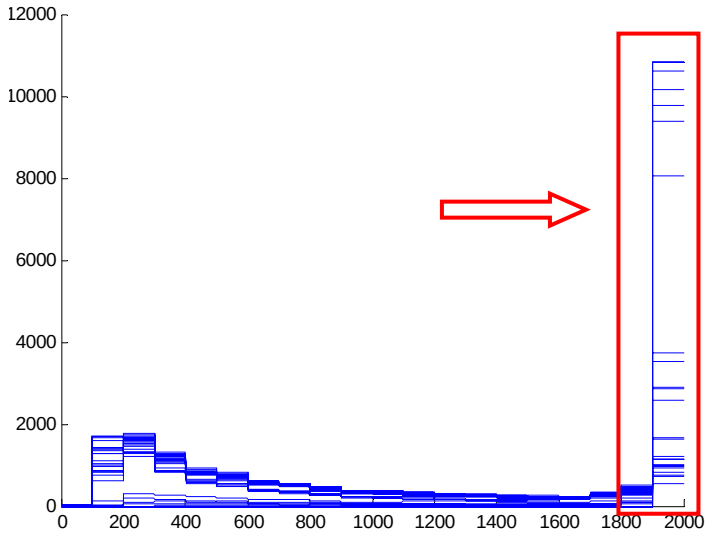
Na obrázcích 6.14 až 6.16 je opět zobrazeno vyhodnocení materiálu za použití algoritmu popsaného v kapitole 6.1.



Obr. 6.14: Vady v materiál



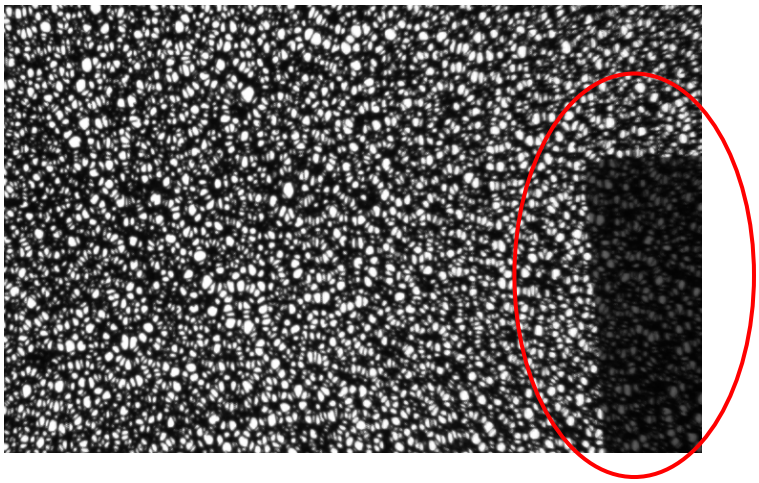
Obr. 6.15: Histogramy jednotlivých podoken - materiál neúplný s výsekem



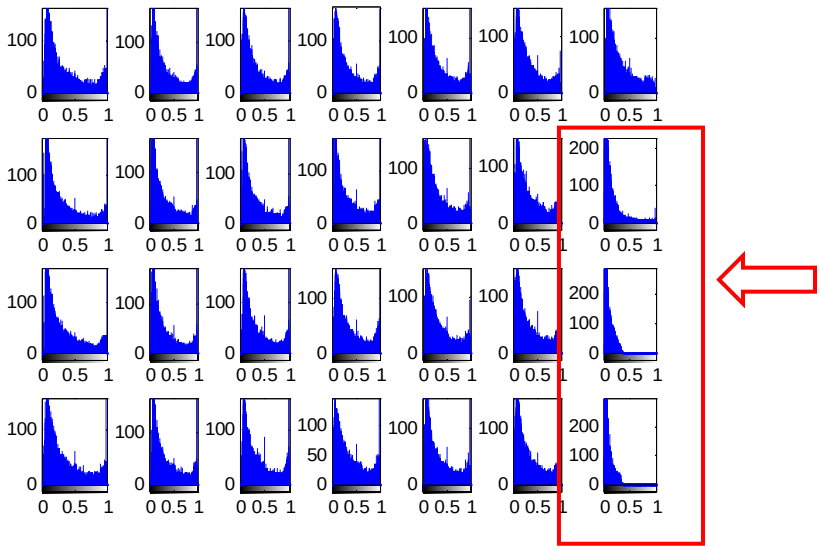
Obr. 6.16: Patrná převažující četnost bílé barvy

6.1.4 PPI 10/6 vada materiálu - zastíněný

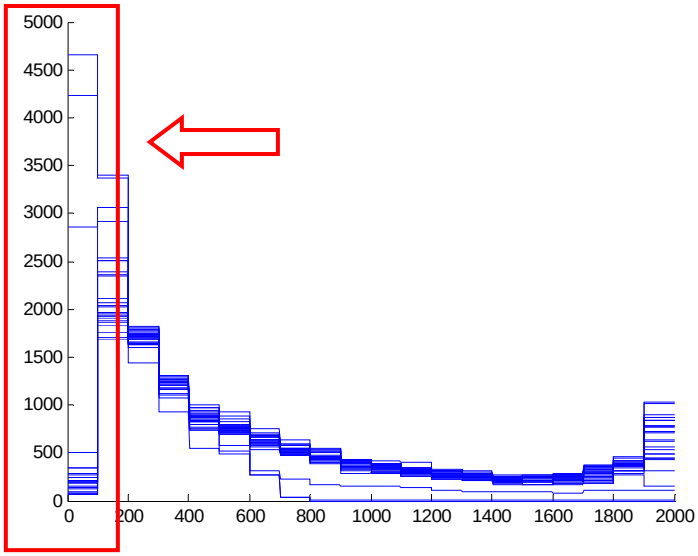
Při analýze tohoto obrazu jsem simuloval vady vzniklé neprůchodností materiálu (obr. 6.17). Na následujícím obrázku 6.18 jsou opět patrny změny v histogramu jednotlivých podoken. Na obrázku 6.19 je vidět velká četnost jednotlivých pixelů, tentokrát ale v prahu 1, tedy v černé barvě.



Obr. 6.17: Zastíněný materiál



Obr. 6.18: Histogramy podoken - zastíněný materiál



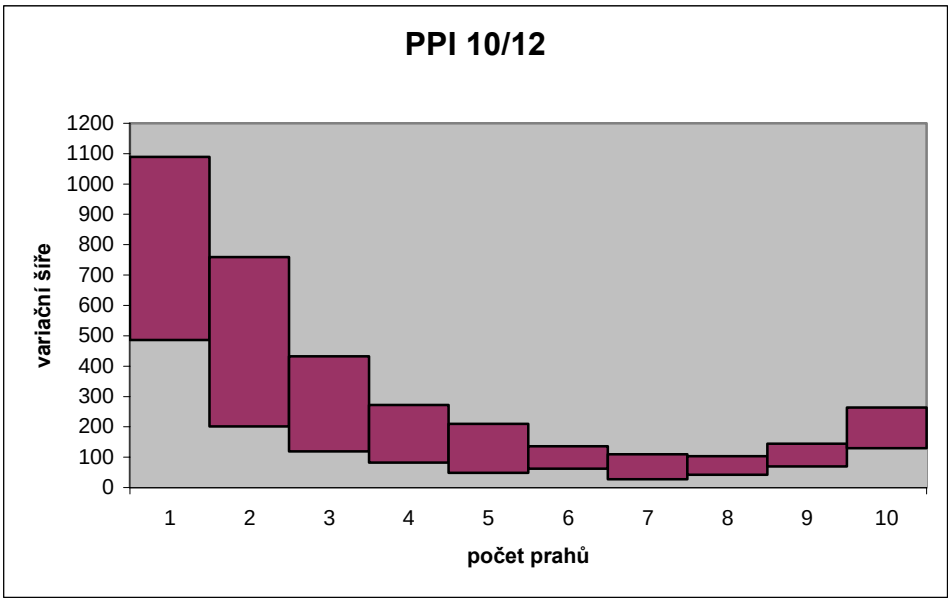
Obr. 6.19: Převažující četnost v prahu 1 - černá barva

6.1.5 PPI 10/12 vzor

Další měření jsem prováděl na materiálu PPI 10/12. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 6.3. Na obrázku 6.20 je graf variační šíře při prahování 10 pro tento materiál.

snímek	počet prahů										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	max. rozdíl
1	1089	299	270	164	144	119	81	69	113	230	1089
2	888	344	186	147	81	86	60	88	73	175	888
3	991	385	218	135	113	76	52	44	66	211	991
4	1488	543	360	251	97	133	83	61	102	167	1488
5	1479	611	432	223	112	122	82	60	119	130	1479
6	1787	672	368	235	187	136	103	72	78	264	1787
7	876	389	171	82	59	73	45	42	77	139	876
8	753	290	160	100	97	128	48	47	147	169	753
9	486	232	129	152	49	62	27	66	101	180	486
10	926	217	205	191	101	93	78	60	93	152	926
11	1032	262	193	151	114	67	75	69	100	191	1032
12	813	201	214	155	91	87	55	62	85	176	813
13	1040	402	151	87	100	81	55	80	86	169	1040
14	890	223	119	94	61	80	36	96	111	217	890
15	897	256	173	125	91	88	42	80	93	191	897
16	892	296	182	154	101	93	82	80	98	189	892
17	1323	475	238	165	97	88	52	61	75	188	1323
18	1349	547	234	166	138	72	93	64	70	172	1349
19	2002	759	358	238	190	136	110	103	144	197	2002
20	2280	737	409	272	210	132	97	93	120	258	2280

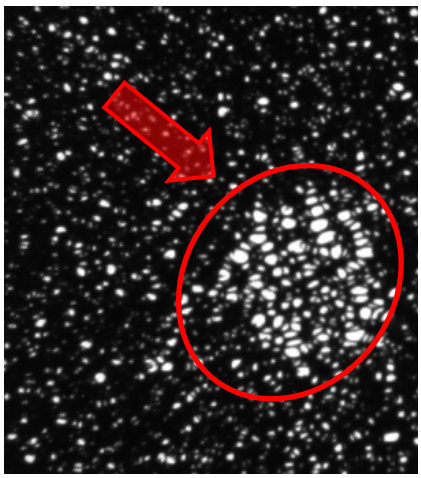
Tab. 6.3: Zjištěné hodnoty variační šíře při prahování 10 pro materiál PPI 10/12



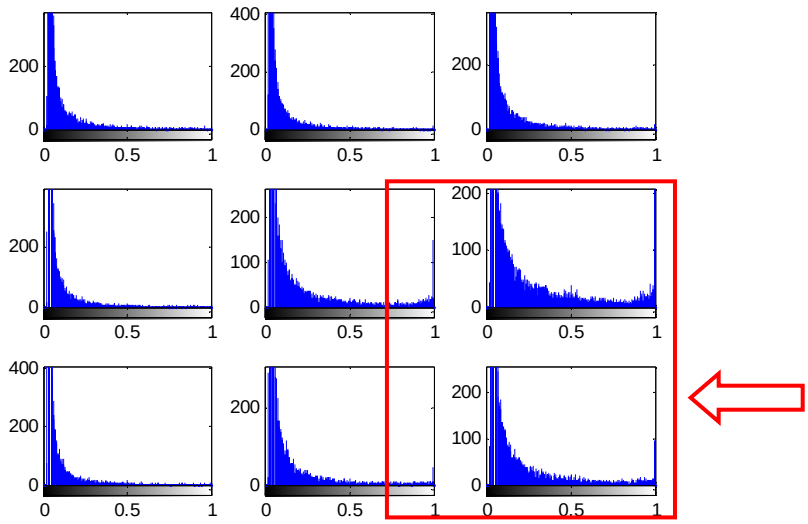
Obr. 6.20: Graf variační šíře v jednotlivých prazích u materiálu PPI 10/12

6.1.6 PPI 10/12 vada materiálu - zeslabená tloušťka

Na následujících obrázcích (obr 6.21 a 6.22) je ukázáno jak navržený algoritmus vyhodnotí zeslabený materiál PPI 10/12.

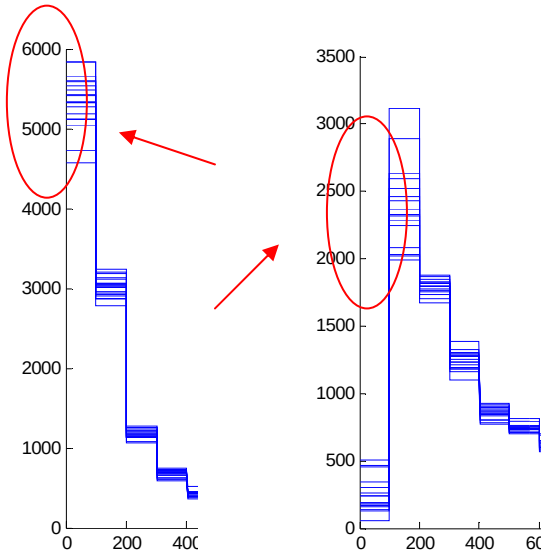


Obr. 6.21: Zjevné zeslabení materiálu



Obr. 6.22: Změna rozložení v histogramu vlivem zastínění

Na obrázku 6.23 je porovnání četnosti materiálu PPI 10/6 a materiálu PPI 10/12. Četnost tmavých barev je v PPI 10/12 téměř dvojnásobná proti materiálu PPI 10/6.



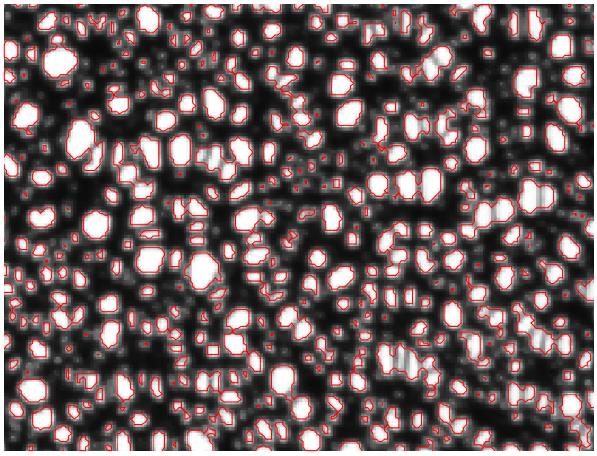
Obr. 6.23: Četnost tmavých odstínů: vlevo materiál PPI 10/12, vpravo 10/6

6.2 ZPRACOVÁNÍ SNÍMKŮ POMOCÍ OBRYSŮ

Načtený obraz se převede na černobílý, zjistí jeho velikost a startovací bod pro vytváření hranic (obr. 6.24). Vykreslené hranice jsou na obrázku 6.25):

```
% načtu obrázek
img = imread(obrazek);
% vytvořím černobílou verzi
img_bw = im2bw(img);
% velikost obrázku
dim = size(img_bw);
% najdu start bod
col = round(dim(2)/2);
row = min(find(img_bw(:,col)));
```

Obr. 6.24: Načtení, vykreslení a určení startovacího bodu

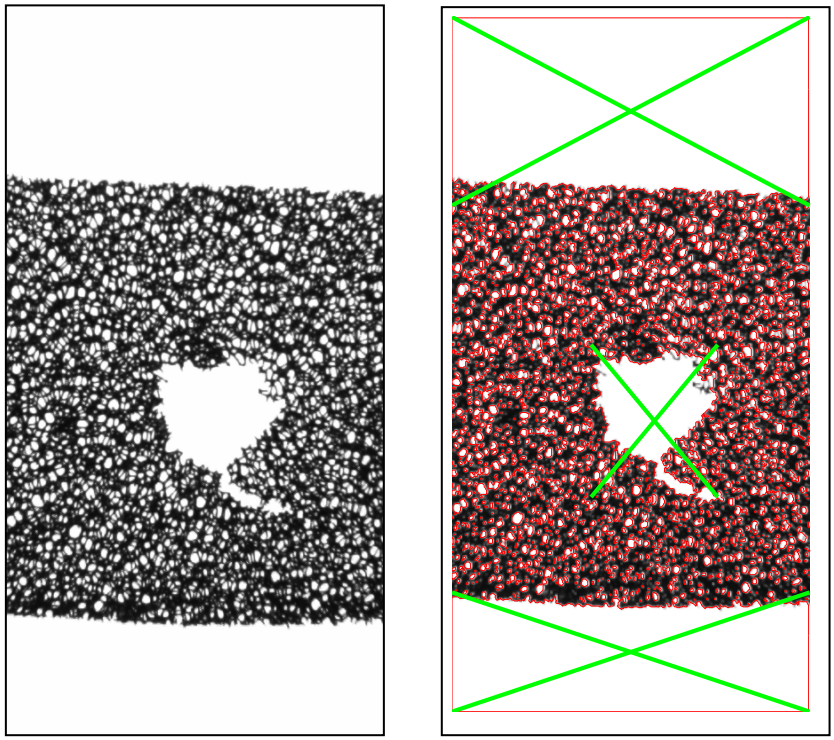


Obr. 6.25: Vykreslené hranice

Provedou se úpravy obrazu a vykreslí se případná vada v materiálu (obr. 6.27). Velikost plochy, která je považována za vadu, lze nastavit v cyklu vykreslení vady. V mém případě jsem velikost nastavil na hodnotu 700 (obr. 6.26).

```
for n=1:length(stat)
 if (stat(n).Area > 700)
      x1 = stat(n).BoundingBox(1);
      y1 = stat(n).BoundingBox(2);
      x2 = x1 + stat(n).BoundingBox(3);
      y2 = y1 + stat(n).BoundingBox(4);
      line([x1 x2], [y1 y2],'Color','g','LineWidth',4);
      line([x1 x2], [y2 y1],'Color','g','LineWidth',4);
end;
end;
```

Obr. 6.26: Cyklus pro vykreslení vad v obraze



Obr. 6.27: Ukázka detekce neúplného materiálu

Nevýhodou tohoto algoritmu je dlouhá doba vykreslování jednotlivých obrysů, zvláště u obrazů s velkým rozlišením. Také je nutné dobře zvolit parametry (velikost) plochy, která bude definována jako chyba (průraz).

7. ZÁVĚR

V teoretické části práce bylo popsáno rozdělení filtračních materiálů do tříd filtrace a zkušební postupy kontroly filtrů podle evropských norem EN 779 a EN 1882. Dále byla popsána charakteristika materiálu PPI a jeho vlastnosti. Byl proveden úvod do problematiky strojového vidění, kde byly nastíněny jednotlivé kroky, které je nutné provést při zpracování obrazu. Především metody předzpracování, segmentace, popis a reprezentace dat.

Hlavním smyslem mé práce byla možnost aplikovat strojové vidění k detekci filtračního materiálu PPI. Při stanovení parametrů jsem se zaměřil na zjišťování celistvosti daného materiálu. Z výsledků provedených měření vyplynulo, že použitá metoda (detekce obrazu pomocí prahování histogramu) je využitelná nejen pro detekci vad v materiálu, ale je aplikovatelná i pro kontrolu typu PPI materiálu (tloušťku a typ PPI).

Hlavní předností navrhované metody je její jednoduchost, snadná aplikovatelnost a nízká pořizovací cena jednotlivých komponentů (kamera, software, zdroj záření).

Vyrobený blok filtračního materiálu se nařeže na požadované rozměry. Vzniklé desky se nasnímají a provede se detekce vzniklého obrazu pomocí navrženého algoritmu. Vlastní měření pro daný typ materiálu jsem prováděl na snímcích, které měly různé velikosti, rozměry, různé rozlišení. Vzniklá data se pak porovnají se vzorem. Na základě porovnání můžeme říct, o jaký typ materiálu se jedná a zda je materiál bez vady.

Při pořizování obrazů je nutné mít konstantní zdroj záření jak u vzoru, tak u zkoušeného vzorku. Pokud by bylo použito záření o jiné intenzitě, vzniklo by velké variační rozpětí a tím by došlo k chybnému vyhodnocení.

Nevýhodou této metody pro využití k detekci typu materiálu je možnost využití jen pro některé typy PPI materiálu a to pouze do určité tloušťky. Z výsledků měření, které jsem provedl na různých typech a různých tloušťkách vyplývá, že daná metoda lze využít pouze na materiály do PPI 20/20 a pro materiály vytvrzené do PPI

10/30 a do PPI 20/20. Pro detekci poruchy materiálu není typ materiálu omezen, důležitá je však velikost vady (díra respektive shluk).

Metoda využívající metody obrysů má ještě jednodušší algoritmus. Na druhou stranu je náročnější na výkon počítače, protože zde dochází k početně náročnému vykreslování. Tato metoda lze navíc použít jen pro detekci děr.

Rovněž metody běžně používané v praxi mají určité výhody a nevýhody. Nevýhodou je fakt, že zkoušky se provádí z náhodně vybraných vzorků. Tyto metody nemají žádnou vypovídací hodnotu o kvalitě vyrobeného materiálu ve smyslu celistvosti. Vypovídají pouze o tom, zda daný vzorek má danou tlakovou ztrátu, případně zda 12 - ti boký pětihran má dané rozměry. Oproti tomu, metodou na základě vyhodnocování jasových úrovní, kterou jsem využil ve své práci, lze kontrolovat celistvost a kvalitu materiálu každé vyrobené „desky“, čímž odpadává možnost vzniku vad, které jsou přehlédnutelné při náhodné kontrole. Stejně je tomu i u kontroly na typ a tloušťku vyrobeného materiálu.

Domnívám se, že použitím mnou navrhovaných metod v praxi lze docílit kontroly každého vyrobeného kusu filtračního materiálu PPI. V jedné operaci tak lze provádět kontrolu více parametrů. Aby však danou metodu bylo možno zavést, je nutné provést měření pro každý vyráběný typ materiálu. Na základě těchto měření se pak vytvoří vzorový průběh prahového histogramu. U druhé metody tento problém odpadá. Porucha je identifikovatelná pro jakýkoliv materiál.

8. LITERATURA

[1] AUTOMA *Časopis pro automatizační techniku* Ročník 14, číslo 1/2008, ISSN 1210-9592

[2] AUTOMA *Časopis pro automatizační techniku* Ročník 14, číslo 2/2008, ISSN 1210-9592

[3] AUTOMA *Časopis pro automatizační techniku* Ročník 14, číslo 3/2008, ISSN 1210-9592

[4] AUTOMA *Časopis pro automatizační techniku* Ročník 16, číslo 4/2010, ISSN 1210-9592

[5] AUTOMATIZACE *Průmyslové kamery Datasensor* <http://www.automatizace.cz/article.php?a=2188>

[6] CVonline: *On-Line Compendium of Computer Vision* <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/>

[7] DOBEŠ M.: *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. BEN,2008

[8] DOLEČEK J.: *Moderní učebnice elektroniky, 3.díl - Optoelektronika a optoelektronické prvky*. BEN, 2005

[9] DUŠEK. J, KUBAČÁK.M: *ppt prezentace - Základy pořízení a zpracování obrazu*, Ústav biofyziky a informatiky, Univerzita Karlova, Praha 2009/2010

[10] ELPA KUPEČEK <http://www.elpakupecek.cz/index_produkt_cz.html>

[11] EUROFOAM TP. Technické pěny <http://www.eurofoam-tp.cz/bulpren-s.php >

[12] FCC PS *Systémy strojového vidění* <http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/jak-vypada-system-strojoveho-videni.htm&id=13>

[13] GEA. *Systém filtrace atmosférického vzduchu* <http://web.telecom.cz/gealvz/downloads/lvz/pp/fil/System_filtrace_atmosferickeho_vzduchu_11_2005_CZ.pdf>

[14] GEBAUER.G, RUBINOVÁ O., HORKÁ H.: *Vzduchotechnika*. ERA, 2007

[15] HORÁK K., KALOVÁ I., PETYOVSKÝ P., RICHTER M.: *Skripta - Počítačové vidění*, FEKT VUT, BRNO. 2008

[16] HOZMAN J.,: *Základní metody předzpracování obrazu*, Katedra radioelektroniky FEL ČVUT

[17] IBFILTR. *Filtrace vzduchu* <http://www.ibfiltr.cz/tabulka-filtracnich-trid.php>

[18] *Image processing learning resources* <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/>

[19] *Insrumentation & Control*. U.S.A: Dwyer Instruments, 09/08

[20] KREIDL.M, ŠMÍD R.: *Technická diagnostika*. BEN, Praha 2006

[21] KS KLIMA-SERVIS. *Vzduchové filtry a adsorpční filtrační systémy* <http://www.ksklimaservice.cz/cz/ke-stazeni>(99)

[22] MARTINEK R.: *Senzory v průmyslové* praxi. BEN, Praha 2004

[23] SZÉKYOVÁ M., FERSTL K., NOVÝ R.: *Větrání a klimatizace*. JAGA GROUP, Bratislava 2006

[24] SOLID VISION *3D systémy a zobrazení* <http://www.solidvision.cz/digitalizace-a-mereni/nextengine/>

[25] ŠONKA M., HLAVÁČ V.: *Počítačové vidění*. GRADA 1992, ISBN 80-85424-67-3

[26] VUT BRNO *Computer Vision Group* <http://www.uamt.feec.vutbr.cz/vision/PROJECTS/industrial.html.cs>.obrazek

9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Algoritmus pro převod a ukládání snímků

Příloha 2. Nastavení kamery a PC

Příloha 3. Funkce kreslihistogramy

Příloha 4. Funkce histogram_histogram2

Příloha 5. Funkce rozdily max_rozdily

Příloha 6. Volaná funkce zkontroluj

Příloha 7. Volaná funkce počet_der

Příloha 1. Algoritmus pro převod a ukládání snímků

C:\LPOV\SaveImg.m

File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help

```
%% uklid
clear all;
close all;
clc;

imaqreset;
kam = videoinput('winvideo',1);
kam.ReturnedColorSpace = 'grayscale';
params = getselectedsource(kam);
params.ExposureMode = 'manual';
params.Exposure = -5;

preview(kam);
pause();
closepreview(kam);

img = getsnapshot(kam);
imwrite(img,'Img_000050.bmp');
```

Příloha 2. Nastavení kamery a PC

Inspector: videosource

Brightness	0
Exposure	-5
ExposureMode	manual
FrameRate	7.5000
Gain	260
Gamma	100
Hue	180
Parent	[1x1 unknown array]
Saturation	128
Selected	on
SourceName	input1
Tag	null
Type	videosource

Inspector: videoinput
BayerSensorAlignment grbg
DeviceID 1
DiskLogger [0x0 double array]
DiskLoggerFrameCount 0
EventLog [1x0 struct array]
FrameGrabInterval 1
FramesAcquired 0
FramesAcquiredFcnCount 0
FramesAvailable 0
FramesPerTrigger 10.0
InitialTriggerTime [0x0 double array]
Logging off
LoggingMode memory
Name YUY2_1280x960-winvideo-1
NumberOfBands 3
Previewing off
ROIPosition [1x4 double array]
ReturnedColorSpace grayscale
Running off
SelectedSourceName input1
Source [1x1 unknown array]
Tag null
Timeout 10.0
TimerPeriod 1.0
TriggerCondition none
TriggerFrameDelay 0
TriggerRepeat 0.0
TriggerSource none
TriggerType immediate
TriggersExecuted 0
Type videoinput
UserData [0x0 double array]
VideoFormat YUY2_1280x960
VideoResolution [1x2 double array]

Příloha 3. Funkce kreslihistogramy

```
function [RESULT] = kreslicasti(elementy, nx, ny)
i = 1;
for y = 1 : ny
    for x = 1 : nx
        subplot(ny, nx, i);
        imhist(elementy(:,:,i));
        i = i+1;
    end;
end;
```

Příloha 4. Funkce histogram_histogram2

```
% spočítá prahovaný histogram a vytvoří pomocné pole
% (hodnoty2), které může sloužit pro pomocné vykreslení
% parametr n říká, na kolik prahu vytvořit histogram.
function [histogram histogram2] = prah_hist(obr, n)
[sx sy] = size(obr);
histogram = zeros(1, n);
prah = 1/n;
for y = 1 : sy
    for x = 1 : sx
        klic = floor(obr(x,y) / prah);
        histogram(klic + 1) = histogram(klic + 1) + 1;
    end;
end;

histogram2 = zeros(1, n * 100);
for i = 0 : n - 1
    for j = 0 : 99
        histogram2(i*100+j+1) = histogram(i + 1);
    end;
end;
```

Příloha 5. Funkce rozdily max_rozdily

```
function [rozdily max_rozdil] = rozdil_elementu(elementy, nx, ny,
poc_prahu)
i = 1;
figure
hold on
hodnoty = zeros(nx*ny, poc_prahu);
for y = 1 : ny
    for x = 1 : nx
        [hodnoty(i,:) hodnoty2] = prah_hist(elementy(:,:,i),
poc_prahu);
        plot(hodnoty2);
        i = i + 1;
    end;
end;

rozdily = max(hodnoty) - min(hodnoty);
max_rozdil = max(rozdily);
```

Příloha 6. Volaná funkce zkontroluj

```
% funkce nic nevrací
function [] = zkontroluj(obrazek, poc_prahu)

% načtu obrázek
img = imread(obrazek);

% zjistím velikost celého obrázku
[sy sx] = size(img);

% velikost podobrázků
sx = floor(sx / 100);
sy = floor(sy / 100);

% rozdělím obrázek na podobrázky
casti = elementy(img, sx, sy);

figure, kreslihistogramy(casti, sx, sy);

% vypocitam maximální rozdíl mezi prahovanými
% částmi histogramů jednotlivých elementů
[rozdily max_rozdil] = rozdil_elementu(casti, sx, sy, poc_prahu);

for i = 1:length(rozdily)
    disp(sprintf('Podobrázek %d => %d', i, rozdily(i)));
end;

disp(sprintf('Maximální rozdil prahu je %d', max_rozdil));

if max_rozdil > 1500
    disp('==> V materialu je chyba. <==');
end;
```

Příloha 7. Volaná funkce počet_der

```
% funkce nic nevrací
function [] = pocet_der(obrazek)

% načtu obrázek
img = imread(obrazek);
% vytvořím černobílou verzi
img_bw = im2bw(img);
% velikost obrázku
dim = size(img_bw);
% najdu start bod
col = round(dim(2)/2);
row = min(find(img_bw(:,col)));

% vykreslím obrysy
imshow(img);
hold on
imb_bw_filled = imfill(img_bw,'holes');
boundaries = bwboundaries(imb_bw_filled);
for k = 1:length(boundaries)
   b = boundaries{k};
   plot(b(:,2),b(:,1),'r','LineWidth',1);
end

%% prahovani - segmentace
img = im2bw(img, graythresh(img));
%% morfologicke zaplneni der
img = imfill(img, 'holes');
%% indexace oblasti
img = bwlabel(img);
%% popis objektu v obrazu
stat = regionprops(img,'Area','BoundingBox');
%% vykresleni vady
for n=1:length(stat)
    if (stat(n).Area > 700)
        x1 = stat(n).BoundingBox(1);
        y1 = stat(n).BoundingBox(2);
        x2 = x1 + stat(n).BoundingBox(3);
        y2 = y1 + stat(n).BoundingBox(4);
        line([x1 x2], [y1 y2],'Color','g','LineWidth',4);
        line([x1 x2], [y2 y1],'Color','g','LineWidth',4);
    end;
end;
```