

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2002

MIROSLAV STUHLÝ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Strojírenská technologie

Zaměření

Materiálové inženýrství

**OBRAZOVÁ ANALÝZA NEDESTRUKTIVNÍHO ZKOUŠENÍ
MATERIÁLU MAGNETICKOU METODOU**

**IMAGE ANALYSIS OF NONDESTRUCTIVE TESTING WITH
MAGNETIC PARTICLE METHOD**

KMT – 158

MIROSLAV STUHLÝ

Vedoucí diplomové práce:

doc.Ing.Petr Louda, Csc.

Konzultant diplomové práce:

Ing.Z.Zavadil

Ing.J.Krejča

Rozsah práce a příloh:

Počet stran : 62

Počet obrázků : 24

Počet tabulek : 3

Počet grafů : 4

Počet příloh : 7

V Liberci, 23. května 2002



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Miroslav STUHLÝ

obor

Strojírenská technologie

zaměření

Materiálové inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Obrazová analýza nedestruktivního zkoušení materiálu magnetickou metodou

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s problematikou obrazové analýzy aplikované v oblasti nedestruktivního zkoušení především v oblasti magnetické práškové metody pomocí programového vybavení LUCIA G a signálové analýzy.
2. Proveďte rozbor možnosti vyhodnocování nedestruktivní magnetické kontroly pomocí obrazové analýzy.
3. Navrhněte vhodnou metodiku automatického vyhodnocování obrazové informace podle kritérií používaných EN a ASME.
4. Navrženou metodiku ověřte na praktických aplikacích.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní
Katedra materiálu
KMT – 158

Obor:	Strojírenská technologie
Zaměření:	Materiálové inženýrství
Jméno autora:	Miroslav Stuchlý
Vedoucí diplomové práce:	doc.Ing. Petr Louda Csc, TU Liberec
Konzultant diplomové práce:	Ing. Z.Zavadil, Ing. J.Krejča

ANOTACE:

Téma: **OBRAZOVÁ ANALÝZA NEDESTRUKTIVNÍHO ZKOUŠENÍ MATERIÁLU
MAGNETICKOU METODOU**

Tato diplomová práce se zabývá obrazovou analýzou snímků z nedestructivního zkoušení magnetickou práškovou metodou s použitím programu LUCIA G.

Cílem práce je vytvořit v prostředí LUCIA G makra pro automatické vyhodnocení uvedených snímků podle zvolených předpisů ASME a evropských norem.

ANNOTATION:

Theme: **IMAGE ANALYSIS OF NONDESTRUCTIVE TESTING WITH MAGNETIC
PARTICLE METHOD**

The diploma thesis deals with image analysis of pictures from nondestructive magnetic particle testing by using software LUCIA G.

The aim of thesis is to make the macros in LUCIA G software for automatic evaluation of images according to ASME code and European Standards.

OBSAH

1. Úvod	8
2. Teoretická část	9
2. 1. Nedestruktivní zkoušení – magnetická prášková metoda	9
2. 1. 1. Defektoskopické metody	10
2. 1. 2. Zkoušení magnetickou práškovou metodou	10
2.1.2.1. Princip magnetické práškové metody	10
2.1.2.2. Magnetické prášky	11
2.1.2.3. Způsoby zmagnetování výrobků	12
2.1.2.4. Druhy magnetovacích přístrojů	13
2.1.2.5. Zjistitelnost necelistvostí magnetickou práškovou metodou	14
2.1.2.6. Zjišťování vad u svarových spojů pomocí MT	14
2.1.2.7. Způsob kontroly	15
2.1.3. Automatizované vyhodnocování	15
2.1.3.1. Filozofie automatického vyhodnocování	16
2.1.3.2. Důvody zavedení výpočetní techniky při vyhodnocování součástí zkoušených magnetickou práškovou metodou	17
2. 2. Obrazová analýza	18
2. 2. 1. Digitální obraz	18
2.2.1.1. Obrazový signál	18
2.2.1.2. Typy obrazů	19
2.2.1.3. Digitalizace	20
2.2.1.4. Vlastnosti digitálního obrazu	20
2.2.1.5. Porozumění obrazu	21
2. 2. 2. Předzpracování barevného obrazu	23
2.2.2.1. Způsoby předzpracování barevného obrazu filtrací	23
2.2.2.2. Lokální předzpracování	24
2.2.2.3. Lineární metody vyhlazování	24
2.2.2.4. Princip gradientních operátorů	25
2.2.2.5. Šedotónová matematická morfologie	26
2. 2. 3. Binární režim	28
2.2.3.1. Prahování	28
2.2.3.2. Matematická morfologie v binárním režimu	28
2. 2. 4. Vyhodnocení obrazu	31

3. Experimentální část	33
3. 1. Zpracování obrazu z MT pomocí softwarového vybavení LUCIA G	33
3. 1. 1. Použité zařízení – systém LUCIA G	33
3. 1. 2. Zpracovávané snímky	34
3. 1. 3. Předzpracování šedotónových obrazů	35
3. 1. 4. Předzpracování barevných obrazů	38
3. 1. 5. Měření objektů v binárním režimu pomocí softwaru LUCIA G	39
3. 1. 6. Makra	42
3. 1. 7. Základní myšlenky algoritmů použité při vyhodnocování	42
3. 2. Automatické vyhodnocování obrazové informace podle ASME a EN	44
3. 2. 1. Popis norem a předpisů	44
3. 2. 2. Možnosti vyhodnocování norem a předpisů pomocí výpočetní techniky	49
3. 2. 2. 1. Zalgoritmovatelné normy a předpisy	50
3. 2. 2. 2. Nezalgoritmovatelné normy a předpisy	56
4. Diskuse výsledků	57
5. Závěr	61

Seznam zkratk

Seznam použité literatury

Seznam příloh

1. ÚVOD

Obrazová analýza je moderní a progresivní metodou umožňující poskytnout velmi přesné informace o zkoumaném obraze. Uplatňuje se zejména při zkoumání struktury materiálů a jejich vyhodnocování.

Tato diplomová práce se zabývá aplikací obrazové analýzy v oblasti magnetické práškové metody, která patří k relativně rychlým a levným metodám nedestruktivního zkoušení. Cílem je navrhnout pomocí programového vybavení LUCIA G vhodný algoritmus pro automatické vyhodnocování snímků získaných při zkoušení touto metodou a jeho ověření na praktických aplikacích.

Zadavatelem tématu je firma ATG s.r.o. (Advanced Technology Group) se sídlem v Praze Běchovicích. Hlavním produktem ATG s.r.o. jsou systémy zajišťování jakosti při výrobě a provozu technických zařízení.

Zákazníky ATG s.r.o. jsou podniky ze všech odvětví průmyslu, zejména leteckého a automobilového, energetického a jaderného strojírenství, sléváren, válcoven a kováren, chemie a plynárenství.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ – MAGNETICKÁ PRÁŠKOVÁ METODA

2.1.1. Defektoskopické metody

Defektoskopické metody zkoušení materiálů umožňují identifikovat skryté vady bez porušení kontrolovaného polotovaru nebo výrobku. Identifikovat lze skryté i vizuálně nepozorovatelné vady. Identifikací se rozumí prokázání (případně i zdokumentování) její přítomnosti, často také informace o tvaru, velikosti a umístění vady ve zkoušeném dílci. Defektoskopické metody mají charakter nepřímých zkoušek, vyhodnocuje se vhodná fyzikální veličina (nebo jev), jejíž hodnota (průběh) je jednoznačně ovlivněna přítomností vady. Každá defektoskopická metoda má proto svá omezení vyplývající z její fyzikální podstaty. Pro objektivní hodnocení se proto využívá kombinace defektoskopických metod, která závisí na druhu materiálu, na tvaru a rozměrech zkoušeného dílce a na přístupnosti kontrolovaného místa. [13]

Hlavní význam defektoskopických zkoušek je v tom, že zajišťují odhalení skrytých vad již během výrobního procesu před dalšími výrobními operacemi. Umožňují včasné vyřazení rozpracované vadné součásti z výroby a ušetřit další výrobní operace, jejichž náklady často mnohonásobně převyšují cenu polotovaru.

Skryté vady většinou ohrožují provozní bezpečnost součásti, zeslabují nosný průřez, mívají nebezpečný vrubový účinek, snižují odolnost proti korozi, nebo korozi přímo vyvolávají a zaviňují netěsnosti výrobku. [11]

Mezi nejdůležitější defektoskopické metody patří :

- Zkoušení prozařováním
- Zkoušení ultrazvukem
- Zkoušení magnetickými metodami
- Zkoušení kapilárními metodami
- Zkoušení elektroinduktivními metodami

Porovnání jednotlivých metod z hlediska použitelnosti a finanční náročnosti je uvedeno v následující tabulce.

Tab.1 Porovnání jednotlivých metod nedestruktivního zkoušení

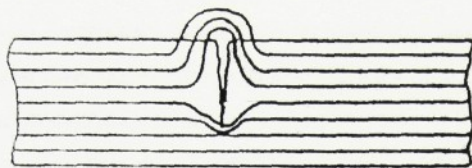
Defektoskop. metoda	Povrchové vady	Vnitřní vady	Plošné vady	Objemové vady	Finanční náročnost
Prozařovací	Ano	Ano	Ne	Ano	Velká
Ultrazvuková	Ano	Ano	Ano	Ano	Velká
Magnetická	Ano	Ne	Ano	Ano	Střední
Kapilární	Ano	Ne	Ano	Ano	Malá
Elektro- induktivní	Ano	Ano	Ano	Ano	Velká

2.1.2. Zkoušení magnetickou práškovou metodou

Jedním z nejběžnějších způsobů nedestruktivního testování je magnetická prášková metoda, která se používá pro detekci povrchových vad. V následujícím textu je podrobněji vysvětlen její princip a způsob, jakým je prováděna v praxi.

2.1.2.1. Princip magnetické práškové zkoušky

Při vložení předmětu z feromagnetického materiálu do magnetického pole, probíhají silokřivky tohoto pole v závislosti na směru magnetického toku. V případě, že je materiál porušen trhlinou orientovanou kolmo na směr magnetických silokřivek, tvoří pro ně překážku, kterou se snaží překonat. Vystupují proto na povrch předmětu a v místě trhliny vytvářejí rozptylové magnetické pole.



Obr.1 Průběh magnetických siločar v případě vady

Pokryje-li se zkoušený povrch slabou vrstvou magnetického prášku, zachytí pole jemné prachové částice a tím znázorní tvar detekované necelistvosti materiálu. Na ostatním povrchu, kde je materiál neporušen, není magnetický prášek přitahován. Necelistvost je indikována i tehdy, kdy je vada natolik těsně sevřená, že ji nelze pozorovat pouhým okem, případně nevystupuje na povrch, ale končí těsně pod ním. [8] Feromagnetický prášek může být suchý nebo rozptýlený v kapalině nižší viskozity, kterou je zpravidla minerální olej, petrolej nebo upravená voda. Pro usnadnění indikace může být suspenze, ve které je feromagnetický prášek rozptýlen, zbarvena nebo může obsahovat fluorescenční přísadu. [13]

2.1.2.2. Magnetické prášky

Magnetický prášek by měl být schopen tvořit dobře viditelné a ohraničené indikace necelistvostí materiálu, což je podmíněno vlastnostmi magnetickými a optickými. Co se týče magnetických vlastností, měl by být prášek magneticky stejnorodý a z feromagnetického materiálu o vysoké permeabilitě. Optické vlastnosti ovlivňuje buď barva (v případě barevných prášků), která může být černá, šedá či červená nebo jeho fluorescence (v případě fluorescenčních prášků), jejíž intenzita je vyjádřena fluorescenčním koeficientem β . Většina prášků fluoreskuje žlutozeleně nebo modrozeleně. Optické vlastnosti jsou dále podmíněny velikostí práškových částic a chemickým složením. Základními materiály magnetických prášků jsou čisté železo nebo jeho oxidy.

V magnetické práškové metodě existují dva zkušební postupy, tzv. suchý a mokrá způsob, podle druhu nanášeného detekčního prostředku.

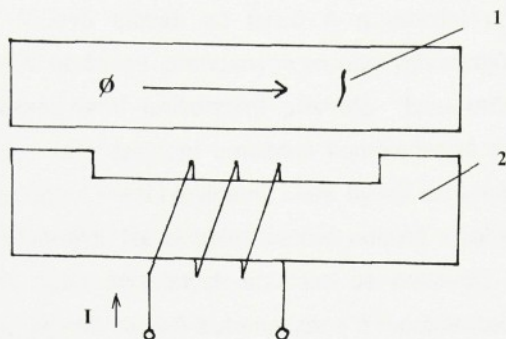
Magnetický prášek pro suchý způsob je hrubozrnější (40-400 μ m), na povrch se naprašuje ručně, elektrostatickou pistolí nebo sprejem. Citlivost této metody je díky velikosti zrn prášku nízká a pro zjišťování jemných necelistvostí se nehodí. Naopak u velkých necelistvostí je rozeznatelnost vad lepší než při mokrému způsobu pro výraznější kresbu indikace. Suchý postup se používá poměrně zřídka. Uplatňuje se zejména u výrobků, jejichž povrch nesmí být smáčen, u velkých výkovků nebo odlitků, kde se zjišťují rozměrnější vady a pro kontrolu za tepla.

Při mokrému polévacím způsobu se nanáší na zkoušený povrch magnetický prášek ve formě suspenze, a to poléváním, nástřikem ze spreje, pistolí, případně se zkoušený výrobek do suspenze ponořuje. Pro polévací způsob se používá jemného prášku o zrnitosti 1-40 μ m, což umožňuje zjistit i velmi malé necelistvosti. Detekčními prostředky pro tuto metodu jsou olejové nebo vodné suspenze barevného nebo fluorescenčního magnetického prášku. Tyto suspenze se připravují smíšením magnetického prášku buď v suchém stavu, nebo ve formě pasty či koncentrátu s nosnou kapalinou (olej, petrolej nebo voda s přísadami smáčedla, protikoroziního přípravku a látky snižující pěnovitost suspenze) v určité koncentraci, která by neměla být ani snižována, ani zvyšována. Nízké koncentrace zaviňují nedostatečnou kresbu jemných necelistvostí. Vysoké koncentrace prášku v nosné kapalině způsobují zvýšené zabarvení nebo fluorescenci pozadí, což obojí vede ke zhoršení rozeznatelnosti vad. [14]

2.1.2.3. Způsoby zmagnetování výrobků

Zjistitelnost jednotlivých vad, které mohou být různě orientovány, je závislá na způsobu zmagnetování. Používají se tyto tři způsoby:

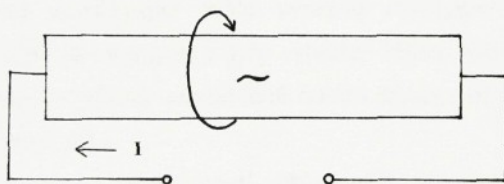
- a) Podélná magnetizace – silokřivky probíhají zkoušeným výrobkem podélně od jednoho pólu magnetu k druhému. Toho lze dosáhnout použitím elektromagnetu napájeného střídavým (stejnoseměrným) proudem nebo použitím magnetizační cívky. Podélnou magnetizaci lze zjistit necelistvosti výrobku orientované kolmo na směr magnetických silokřivek.



Obr.2 Podélná magnetizace

1 – vada ve zkoumaném materiálu 2 – elektromagnet

- b) Příčná magnetizace – dosahuje se jí přímým průchodem stejnosměrného (střídavého) proudu zkoušeným výrobkem nebo se použije pomocný vodič umístěný v otvoru výrobku. Umožňuje zjišťovat podélné necelistvosti.



Obr. 3 Příčná magnetizace

- c) Kombinovaná magnetizace – výrobek se zmagnetuje podélně i příčně a lze takto indikovat jakkoliv orientované necelistvosti.

2.1.2.4. Druhy magnetovacích přístrojů

Magnetovací přístroje používané při magnetické práškové metodě lze rozdělit do dvou základních skupin, na přenosné a stacionární přístroje.

Do první skupiny patří ruční magnety pracující způsobem pólového magnetování, které jsou ve tvaru malého jha, dále pak přenosné proudové zdroje, což jsou robustní transformátory umožňující odebírat magnetizační

proudy řádově stovek až tisíců A a mobilní proudové zdroje, které jsou výkonnější obdobou přenosných proudových zdrojů.

Stacionární univerzální přístroje jsou určeny pro sériovou provozní kontrolu. Tato zařízení umožňují kombinované magnetování, předmět je při zkoušce upnut mezi hlavicemi, které bývají zároveň póly magnetického jha. Na těchto přístrojích lze zkoušet tvarově odlišné výrobky. Pro hromadnou kontrolu stejných nebo podobných součástí se používají stacionární automatizovaná zařízení, jejichž stupeň automatizace a mechanizace je natolik vysoký, že úkol pracovníka se omezuje pouze na konečné vizuální hodnocení vad. [14]

2.1.2.5. Zjistitelnost necelistvostí magnetickou práškovou metodou

Magnetickou práškovou metodou jsou nejlépe zjistitelné trhliny a vady rovinného charakteru, které se ostře zobrazí na povrchu výrobku. Dobře identifikovatelné jsou také řádkové vměstky u tvářených materiálů. Přeložky a pleny vyústující na povrch výrobku jsou jen obtížně zjistitelné díky nevhodné orientaci vyvolávající málo výrazné rozptylové pole. Póry jsou zřetelně indikovány jen v případě, kdy vytvářejí řádky nebo shluky. Vady prostorového charakteru nemívají dostatečně ostrou kresbu, aby bylo možné jejich objektivní hodnocení. [8]

Indikace necelistvostí zjišťovaných magnetickou práškovou metodou se hodnotí vizuálně. Pro předepisování magnetických práškových zkoušek se využívá evropských norem, které mají status českých technických norem a zahraničních předpisů.

2.1.2.6. Zjišťování vad u svarových spojů pomocí magnetické práškové metody

Magnetická prášková metoda se používá zejména pro identifikaci povrchových a těsně podpovrchových vad ve svarech, které jsou příliš malé, aby je bylo možno zjistit pouhým okem.

Touto metodou se zjišťují trhliny všech velikostí vyskytující se jak ve svaru, tak v přilehlém základním kovu, těsně podpovrchové trhliny, studené

spoje, nežádoucí vměstky. Přestože tento způsob zkoušení nemůže nahradit radioskopické a ultrazvukové metody, kterými lze lépe zjišťovat podpovrchové vady, je magnetická prášková metoda v porovnání s těmito metodami výhodnější pro zjišťování tenkých trhlin a povrchových vad.

Magnetická prášková metoda je ve svém použití omezena pouze na feromagnetické materiály a nelze ji použít na austenitické oceli. V případě, že základní a svarový kov mají různé magnetické charakteristiky, dochází ke vzniku falešných indikací a nezřetelnému zobrazování indikací skutečných. [16]

2.1.2.7. Způsob kontroly

Hodnocení vad se při magnetické práškové metodě provádí vizuálně a to ihned po nanesení detekčního prostředku a magnetování.

Při použití barevného prášku se hodnotí v rozptýleném bílém světle při intenzitě osvětlení nejméně 500 luxů. Nepoužívá se bodových zdrojů, které vytvářejí zejména na lesklém povrchu ostré světelné přechody a odlesky.

Hodnotí-li se vady zviditelněné pomocí fluorescenčních prášků, musí být intenzita ozáření zkoušeného povrchu nejméně $8 \text{ až } 10 \text{ W.m}^{-2}$. Hodnocení se provádí v černém světle ultrafialového zdroje.

Tento způsob kontroly je náročný na zrak pracovníka, proto je doporučeno, aby vizuální prohlídku prováděl pouze po dobu čtyř hodin za směnu s přestávkou po dvou hodinách. [14]

Zjištěné indikace se vyhodnocují podle předepsané normy a určuje se, zda zkoušená součást normě vyhovuje či nikoliv. Norma obvykle udává nepřipustné rozměry indikace (ty zpravidla závisí na jejím tvaru), nepřipustné vzdálenosti mezi jednotlivými vadami, nepřipustné uspořádání či hustotu vad, případně obsahuje referenční fotografie, se kterými je nutné indikace na povrchu zkoumané součásti porovnat.

2.1.3. Automatizované vyhodnocování

V současné době se objevují snahy o automatizaci procesu nedestruktivního zkoušení. Cílem je zajistit větší kvalitu kontroly eliminací nepřesností a chyb způsobených lidským faktorem.

2.1.3.1. Filozofie automatického vyhodnocování

Princip automatizace procesu NDT spočívá ve snímání zkoušeného předmětu kamerovým systémem, prostřednictvím kterého je obraz přenášen do počítače, ve kterém se provádí automatické zpracování a vyhodnocení takto získaného obrazu.

Vzhledem k náročnosti realizace automatizovaného vyhodnocování, kontrolují tímto způsobem firmy, ve kterých se tento způsob testování provádí, pouze vybrané součásti. Např. automobilka Scania zavedla u kritických komponentů následující způsob kontroly:

Součást je prostřednictvím robotu upnuta do rotačního přípravku, kde je smočena ve fluorescenční kapalině, zmagnetizována a postříkána magnetickým práškem. Poté je rotující součást po celém povrchu zkoumána laserovým paprskem. Požadovaného zviditelnění vady je dosaženo prostřednictvím rotujících zrcadel. Získané informace jsou převáděny do počítače, kde se porovnávají s referenční součásti. [10]

Značnou nevýhodou způsobů vyhodnocování založených na podobných principech je jejich neuniverzálnost, protože uvedenou metodou lze testovat pouze jeden typ součásti.

Automatizované vyhodnocování, kterým se zabývá tato diplomová práce, by mělo fungovat na jednodušším a finančně méně náročném principu. Fotografie nasnímané během zkoušení součásti magnetickou práškovou metodou se přenesou do počítače, kde by mělo dojít k jejich automatickému zpracování pomocí softwarového vybavení LUCIA. Makro vytvořené v tomto softwaru by mělo obraz zbavit nežádoucích šumů a zvýraznit veškeré relevantní indikace. Mělo by být schopno určit jejich geometrické rozměry, vzájemné vzdálenosti a na základě normy, pro kterou je vytvořeno, vyhodnotit, zda jsou tyto indikace přípustné či nepřípustné a zda daná součást vyhovuje kritériím dané normy.

2.1.3.2. Důvody zavedení výpočetní techniky při vyhodnocování součástí zkoušených magnetickou práškovou metodou

Při běžném způsobu kontroly pomocí fluorescenční magnetické práškové metody zviditelňuje pracovník sedící v zatemněné místnosti vady na zkoušených dílech pomocí ultrafialové lampy. Přestože vady jsou poměrně výrazně zobrazeny, obvykle se stane, že při tomto způsobu kontroly projdou i vadné díly. Práce testujícího pracovníka je jednotvárná a namáhavá na zrak, takže často dochází ke ztrátě jeho koncentrace. Tento problém lze odstranit automatickým vyhodnocováním pomocí počítače.

Značnou výhodou automatizovaného zpracování oproti klasickému způsobu, pomineme-li skutečnost, že je šetrnější ke zraku pracovníka zajišťujícího kontrolu, je zejména větší rychlost a přesnost, se kterou je možno určit množství, rozměry a vzdálenosti jednotlivých vad, což vede ke kvalitnějšímu zhodnocení, zda testovaná součást vyhovuje požadované normě.

Tento způsob ovšem přináší i několik nevýhod, mezi nejzásadnější se řadí obtížné zavedení podmínek zaručujících rozeznání falešných indikací, jakými jsou např. místa hran a přehybů, u kterých se nahromadí zatečená suspenze. Zkušený pracovník by na rozdíl od programu takovéto zdánlivé vady s největší pravděpodobností neomylně identifikoval.

2.2. OBRAZOVÁ ANALÝZA

Vyhodnocování výsledků nedestruktivního zkoušení lze automatizovat prostřednictvím obrazové analýzy prováděné na počítači. Počítač je schopen zpracovávat obraz pouze v digitalizované podobě. Takovýto obraz lze získat použitím vhodného snímacího zařízení jakým je například digitální kamera nebo digitální fotoaparát. Digitalizovaný záznam je potom počítačem vnímán jako matice čísel, která představují jas jednotlivých bodů obrazu. Jeho vlastnosti a způsoby jeho zpracování jsou uvedeny v následujících kapitolách.

2.2.1. Digitální obraz

Digitální obraz je možno analyzovat na základě znalostí o tom, jak je tvořen, jakého je typu a jaké má vlastnosti. Poznatky týkající se této problematiky jsou obsahem této kapitoly.

2.2.1.1. Obrazový signál

Obraz je vícerozměrný signál, ze kterého lze zjišťovat např. velikost, polohu nebo průměrný jas vybraného objektu. Může být modelován matematicky pomocí tzv. obrazové funkce, což je spojitá skalární funkce f . V rovině je statický obraz popsán obrazovou funkcí dvou proměnných $f(x, y)$. Objemový obraz tj. $f(x, y, z)$ nebo plošný obraz měnící se v čase $f(x, y, t)$, jsou popsány prostřednictvím funkce tří proměnných.

Hodnoty obrazové funkce odpovídají některé měřené fyzikální veličině, např. jasu u obrazu z monochromatické TV kamery, teplotě u termovizní kamery nebo schopnosti pohlcovat záření v daném místě objemu u rentgenového tomografu.

V počítači se pracuje s digitalizovanými obrazy, kde je obrazová funkce $f(x, y)$ představována maticí. Prvky matice jsou obrazové elementy (pixely), jejichž hodnota je úměrná množství světelné energie. Z hlediska dalšího zpracování digitalizovaného obrazu je obrazový element dále nedělitelná nejmenší jednotka. [7]

2.2.1.2. Typy obrazů

Rozeznáváme tři základní typy obrazů. Jsou to binární, barevné a šedé obrazy.

Binární obrazy mají dvě možné hodnoty, 0 pro pozadí a 1 pro objekty a struktury. Binární obraz je reprezentován jedinou obrazovou funkcí $f(x,y)$. Vznikají z barevných obrazů pomocí segmentace, což je postup určující, které oblasti obrazu budou chápány jako objekty. K segmentaci se používá tzv. prahování. Pomocí prahování vymezíme maximální a minimální hodnotu jasu a vše co leží mimo takto určenou oblast bude z obrazu eliminováno. Práh lze určit pomocí matematických metod (např. z histogramu) nebo experimentálně.

Dalším typem jsou barevné (multispektrální) obrazy. Barva je vlastnost objektů spojená s jejich schopností odrážet elektromagnetické vlnění různých vlnových délek. Při snímání a počítačovém zpracování nelze pracovat se všemi vlnovými délkami obrazu. Oblast vlnění zajímavou z hlediska zpracování se snažíme rozdělit do několika spektrálních pásem, které pokrývají požadovaný rozsah vlnových délek. Obraz potom snímáme více senzory, z nichž každý je citlivý na poměrně úzkou část spektrálního pásma. Výběr vlnových délek často závisí na aplikaci. Multispektrální snímky se často používají v dálkovém průzkumu Země z leteckých a kosmických nosičů. [7]

Barevný signál se skládá ze tří samostatných spektrálních složek RGB, které představují intenzitu červené, zelené a modré. Hodnoty obrazových bodů pro každou složku jsou v intervalu od 0 do 255. Barevný obraz vznikne smícháním těchto složek. Každá složka se digitalizuje, přenáší a případně zpracovává počítačem samostatně.

Digitální zpracování multispektrálních a barevných obrazů většinou používá obdobné metody jako při práci s monochromatickými obrazy.

Posledním typem jsou šedé obrazy. Jsou speciálním typem barevných obrazů. Hodnoty obrazových bodů jsou od 0 do 255. V každém obrazovém bodě je hodnota identická pro všechny tři složky. [12]

2.2.1.3. Digitalizace

Pro počítačové zpracování obrazové funkce je třeba ji digitalizovat. Digitalizace spočívá ve vzorkování obrazu v matici $M \times N$ bodů a v kvantování spojité jasové úrovně každého vzorku do K intervalů. Díky kvantování nabývá jasová funkce v digitalizovaných obrazech celočíselných hodnot. Je třeba vhodně určit interval vzorkování, což je vzdálenost mezi dvěma nejbližšími vzorkovacími body v obraze. Dalším úkolem je výběr vzorkovací mřížky, tj. plošného uspořádání bodů při vzorkování. Lze použít trojúhelníky, čtverce a pravidelné šestiúhelníky. Nejčastěji bývá zvolena čtvercová mřížka.

Jednomu vzorkovacímu bodu odpovídá v digitalizovaném obraze obrazový element, pixel. Po uspořádání do vzorkovací mřížky pokrývají pixely celý digitalizovaný obraz.

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 $k=2^b$. Binární obrazy reprezentují informaci o obrazovém bodě jediným bitem. Počet kvantovacích úrovní by měl být dostatečně velký, aby byly přesně vyjádřeny jemné detaily obrazu, nevznikaly falešné obrysy a aby se citlivost zařízení blížila citlivosti lidského oka. [7]

2.2.1.4. Vlastnosti digitálního obrazu

Souřadnice i hodnoty matic reprezentujících digitální obrazové funkce jsou celočíselné. Definičním oborem obrazu je rovinná oblast R

$$R = \{ (x,y), 1 \leq x \leq x_m, 1 \leq y \leq y_m \} \quad (1)$$

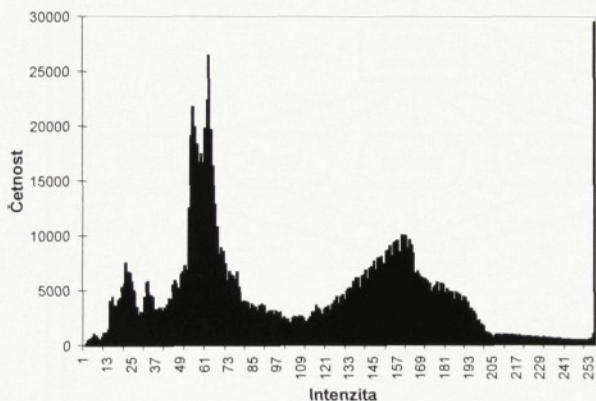
kde x_m, y_m jsou maximálními souřadnicemi v obraze. Obrazová funkce má omezený obor hodnot. Toho lze využít při sumaci nebo integraci (např. při Fourierově transformaci).

Obor hodnot obrazové funkce (jasu) je omezený. Podle konvence odpovídá v monochromatickém obraze nejnižší hodnota černé a nejvyšší bílé. Ostatní hodnoty odpovídají různým stupňům šedi.

Jas pixelu je jednoduchou vlastností, podle které lze určit objekty v některých obrazech, kde se objekty liší od pozadí právě jasně. Například za body objektu jsou prohlášeny všechny pixely, jejichž jas je větší (případně menší) než předdefinovaný práh.

Představu o rozdělení jasových úrovní v digitálním obraze lze získat pomocí histogramu. Histogram jasu je vektor h s počtem složek rovným počtu jasových úrovní. Hodnota každé složky odpovídá četnosti bodů příslušného jasu v obraze. [7]

Lokální informace o hodnotách jasu jsou zjistitelné prostřednictvím profilu. V závislosti na poloze jednotlivých pixelů zobrazuje jednorozměrný profil jejich intenzitu v oblasti zadané úsečkou.

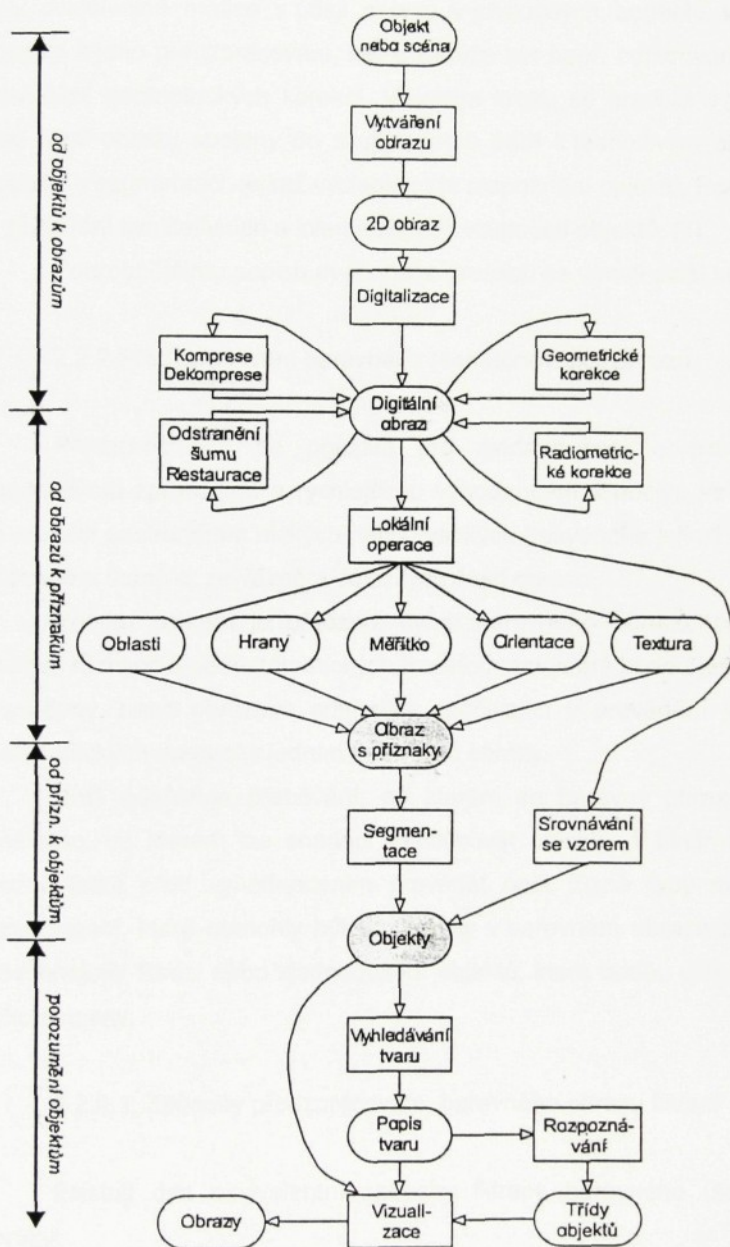


Obr.4 Histogram jasu pro 256 úrovní

Další významnou informaci o obraze lze získat pomocí hran, které jsou vlastností obrazového elementu a jeho bezprostředního okolí. Hrany jsou určeny velikostí a směrem a popisují, jak se lokálně mění obrazová funkce.

2.2.1.5. Porozumění obrazu

Aby mohl počítač digitálnímu obraze správně porozumět, je potřeba obraz zjednodušit a zhustit obrazovou informaci. Cestu od vstupního obrazu k jeho správné interpretaci a popisu lze rozdělit do několika etap.



Obr. 5 Hierarchie úloh zpracování obrazu

Vstupní obraz reálného objektu má podobu sejmutých obrazových dat, tedy celočíselné matice s údaji o jasu v příslušných bodech. V první etapě dochází k jeho předzpracování, kterým může být např. odfiltrování šumů nebo provádění geometrických korekcí. V dalším kroku se pracuje s příznaky, kdy jsou části obrazu spojeny do skupin, které patří k jednotlivým objektům. Pak dochází k segmentaci, jejímž výsledkem je rozpoznání objektů. Poslední etapou je zjišťování kvalitativních a kvantitativních vlastností objektů. [7]

Podrobnějšímu popisu uvedeného procesu se věnují další kapitoly.

2.2.2. Předzpracování barevného (šedotónového) obrazu

Předzpracování se používá pro zjednodušení obrazu vedoucí k snadnějšímu zpracování a rychlejšímu vyhodnocení. Spočívá ve filtraci, která se provádí odstraněním nízkých nebo vysokých frekvencí a jejímž výsledkem je odstranění šumů a zvýraznění důležitých částí obrazu.

Prvním krokem je předzpracování barevného obrazu, při kterém se využívá různých typů matematických transformací, které budou ještě podrobněji vysvětleny, nebo obrazové aritmetiky spočívající v provádění jednoduchých matematických operací s jedním nebo více obrazy.

Poté následuje prahování, při kterém se barevný obraz převede do binárního, ve kterém lze snadno identifikovat objekty. V binárním režimu je možné ještě před vyhodnocením provádět opět různé typy morfologických transformací, které nemohly být provedeny v barevném obraze a které slouží k dokonalejší filtraci nebo zjednodušení objektů, které budou díky tomu rychleji vyhodnoceny.

2.2.2.1. Způsoby předzpracování barevného obrazu filtrací

Existují dva ekvivalentní způsoby filtrace barevného (šedotónového) obrazu:

Filtrace v prostorové oblasti – obraz je zpracováván jako lineární kombinace vstupního obrazu s koeficienty filtru (často použitím tzv. lokálních filtrů, kterým se věnuje kapitola 2.2.2.2.). Základním matematickým nástrojem je konvoluce.

Filtrace ve frekvenční oblasti – obraz je převeden lineární integrální transformací do frekvenčního spektra, kde se filtruje a odfiltrovaný je pomocí inverzní lineární transformace převeden zpět na obraz. [6]

Nejčastěji se při tomto způsobu filtrace pracuje s Fourierovou transformací.

2.2.2.2. Lokální předzpracování

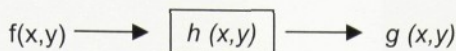
Metody lokálního předzpracování se rozdělují do dvou skupin. První skupina, kterou je vyhlazování, usiluje o potlačení šumu a osamocené kolísání hodnot obrazové funkce. Nejsnadnější je vyhlazování náhodného šumu, když máme k dispozici několik obrazů téže předlohy, které se liší právě šumem. Snadno lze pak průměrovat hodnotu pixelu o stejných souřadnicích přes více obrazů. Je-li k dispozici jen jediný obraz, je možné opravit hodnotu obrazových elementů zkraslených šumem na základě analýzy hodnot jasu v jeho vybraném okolí. Hodnota jasu reprezentativního pixelu je nahrazena hodnotou typického reprezentanta mezi hodnotami v okolí nebo kombinací několika hodnot. Druhá skupina, detekce hran (fungující na principu gradientních operátorů) se snaží z hodnot v okolí reprezentativního pixelu odhadnout derivaci obrazové funkce. [7]

2.2.2.3. Lineární metody vyhlazování

Lineární metody vyhlazování vypočítávají hodnotu ve výstupním obraze $g(x,y)$ jako lineární kombinaci hodnot vstupního obrazu f v malém okolí reprezentativního pixelu (x,y) . Příspěvek jednotlivých pixelů v okolí O je vážen koeficienty h podle rovnice

$$f(x,y) = \sum_{(m,n)} \sum_{\in O} h(x-m, y-n) g(m,n) \quad (2)$$

popisující diskrétní konvoluci s jádrem h , kterému se říká konvoluční maska. Často se používá obdélníkové okolí O s lichým počtem řádků a sloupců, a tak může reprezentativní bod ležet uvnitř konvoluční masky.



Obr. 6 Ilustrace lineárního filtru

Základní metodou vyhlazování obrazu je obyčejné průměrování, kde každému bodu přiřadíme nový jas, který je aritmetickým průměrem původních jasů ve zvoleném okolí. [7]

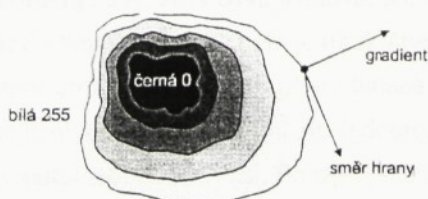
2.2.2.4.Princip gradientních operátorů

Hrana v obraze je dána vlastnostmi obrazového elementu a jeho okolí. Je určena tím, jak náhle se mění hodnota obrazové funkce $f(x,y)$. Matematickým nástrojem pro studium změn funkce dvou proměnných jsou parciální derivace. Změnu funkce udává její gradient, vektorová veličina ∇ , určující směr největšího růstu funkce a strmost tohoto růstu. Pixely s velkou strmostí růstu se nazývají hranami.

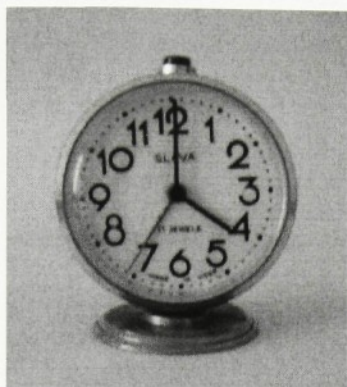
Pro spojitou obrazovou funkci $f(x,y)$ jsou velikost gradientu $|\nabla f(x,y)|$ a směr gradientu dány vztahem

$$|\nabla f(x,y)| = \arg \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) \quad (3)$$

kde $\arg(x,y)$ je úhel mezi souřadnou osou x a radiusvektorem k bodu (x,y) . [7]



Obr. 7 Určení směru hrany



Obr.8 Šedotónový obraz



Obr.9 Nalezení hran

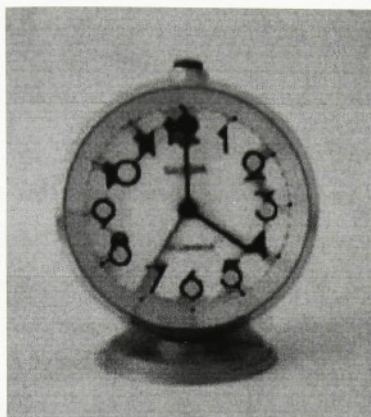
2.2.2.5. Šedotónová matematická morfologie

Matematická morfologie se využívá zejména při filtraci šumu, zjednodušování tvaru, zvýraznění struktury objektu, kterým může být ztenčování, zvětšování tloušťky nebo vytváření skeletu a při kvantitativním popisu objektů, tedy zjišťování rozměrů nebo plochy. [9]

Matematická morfologie pracuje s vlastnostmi bodových množin, s výsledky z integrální geometrie a topologie.

a) Otevření a uzavření v šedotónovém obraze

Binární matematická morfologie je vysvětlena v kapitole 2.2.3.2, operace, se kterými pracuje, se používají i při zpracování obrazů s více jasovými úrovněmi. Při provádění otevření či uzavření v šedotónových obrazech (účelem těchto operací je zvýraznit části s daným tvarem a šedotónovou strukturou) se využívá tzv. stínu funkce. Stínem je nazývána oblast nacházející se pod danou funkcí, která umožňuje při vynásobení funkce strukturním elementem překonat její nespojitost během převedení do jednorozměrného režimu, ve kterém se provádějí matematické operace. Po jejich skončení se stín odstraní.



Obr. 10 Otevření obrazu

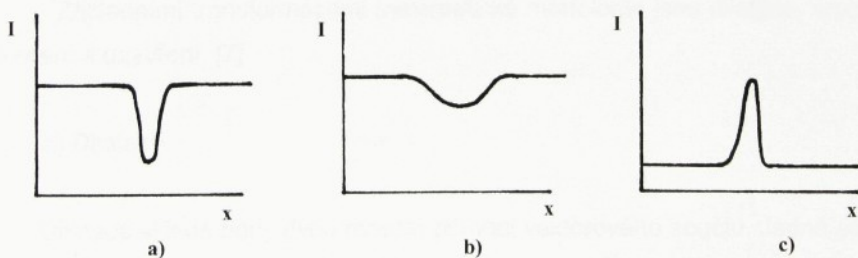


Obr. 11 Uzavření obrazu

b) Transformace Top Hat

Transformace Top Hat se používá pro segmentaci objektů v šedotónovém obraze, které se liší od pozadí.

Provede se otevření, při kterém se odstraní části obrazu, které se nevejdou do použitého strukturního elementu a tento otevřený obraz se odečte od původního obrazu. Odstraněné části se tím zvýrazní. [7]



Obr. 12 Transformace Top Hat a) původní obraz b) obraz po provedení otevření
c) otevřený obraz odečtený od původního

2.2.3. Binární režim

2.2.3.1. Prahování

Po odfiltrování barevného obrazu se prahováním, nastavením nejnižší a nejvyšší přípustné hodnoty jasu, provede převedení obrazu do binárního režimu. Části obrazu, které se pohybují pod nebo nad prahovými hodnotami se zobrazí jako černé a tvoří tak pozadí k objektům s jasnem v naprahovaných mezích, které jsou bílé.

Prahovat lze buď celou plochu obrazu, nebo jen vybranou část. Druhého způsobu se využívá v případě, že ostatní části obrazu nejsou z hlediska vyhodnocení zajímavé, anebo obsahují šum, který by běžnými filtračními metodami nebylo možné odstranit.

Využitím matematické morfologie lze binární obrazy dále upravovat za účelem snadnějšího a přesnějšího vyhodnocení.

2.2.3.2. Matematická morfologie v binárním režimu

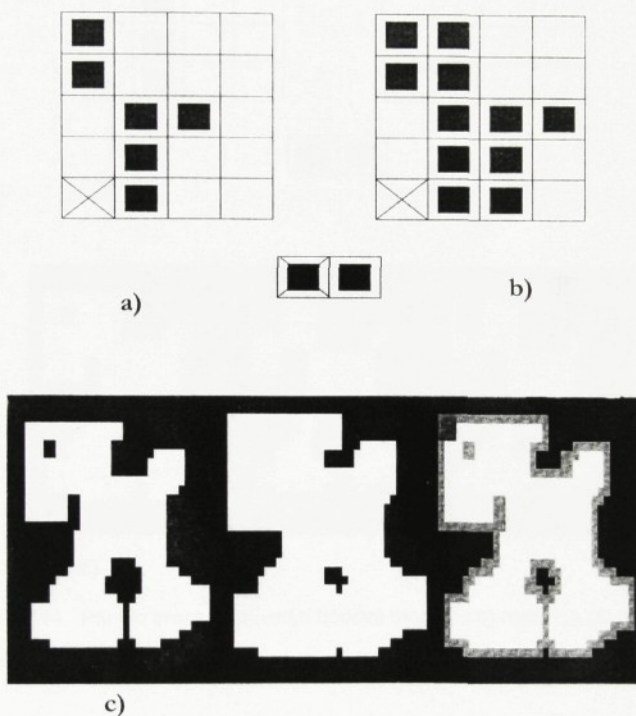
Východím předpokladem matematické morfologie je představa, že reálné obrazy lze modelovat pomocí bodových množin libovolné dimenze. Binární obraz lze vyjádřit jako 2D bodovou množinu. Body objektů v obraze reprezentují množinu X , což odpovídá pixelům s hodnotou jedna. Body doplňku X^c popisují pozadí a reprezentují se pixely s hodnotou nula.

Základními transformacemi matematické morfologie jsou dilatace, eroze, otevření a uzavření. [7]

a) Dilatace

Dilatace skládá body dvou množin pomocí vektorového součtu. Jedná se o rostoucí transformaci. Používá se k zaplnění malých děr a jako stavební kámen složitějších operací. Dilatace zvětšuje objekty. Má-li se zachovat jejich původní rozměr, je třeba kombinovat dilataci s erozí. [7]

Obr.13 ukazuje, jak vypadá dilatace v praxi. Na obr a) je znázorněna bodová množina. Body objektu jsou zapsány jako černé čtverce. Na obr b) je tato množina po provedení dilatace, kdy došlo k expanzi objektů o isotropický strukturní element, tzn. že objekty se rozrostly o jednu slupku na úkor pozadí. Obr c) znázorňuje dilataci jednoduchého obrázku.

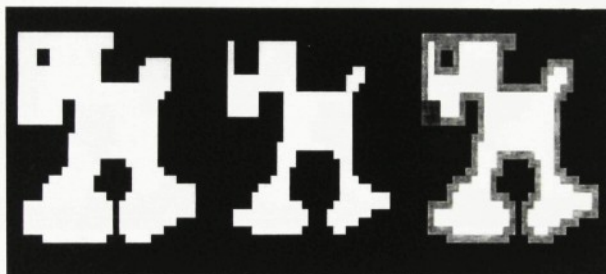
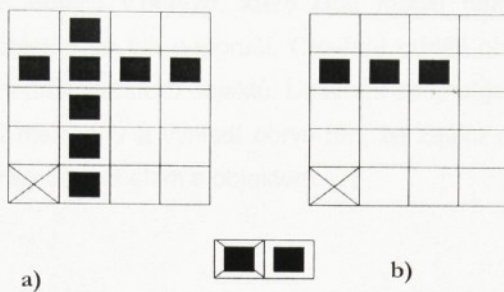


Obr. 13 Princip dilatace a) původní bodová množina b) po provedení dilatace c) dilatace jednoduchého obrázku

b) Eroze

Eroze je duální operací k dilataci. Používá se pro zjednodušení struktury objektů. Objekty menších tlouštěk se ztratí, a tak se složitější objekt rozdělí na několik jednodušších.

Obr.14 demonstruje erozi isotropickým strukturním elementem na bodové množině použité v předchozím obrázku. Ve výsledku zmizely čáry tloušťky 1. [7]



c)

Obr.14 Princip eroze a) původní bodová množina b) množina po provedení eroze
c) eroze jednoduchého obrázku

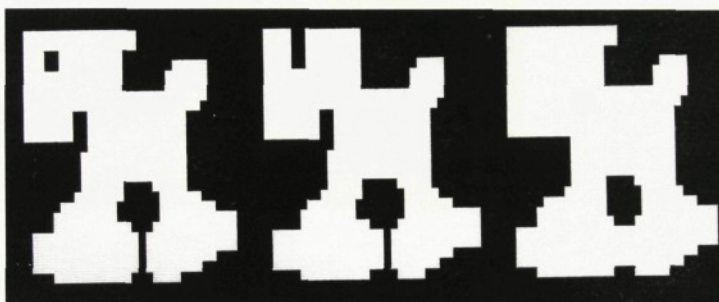
Využitím eroze lze snadno nalézt obrys objektů, když odečteme erodovaný obrázek od původního. [9]



Obr.15 Obrys vzniklý jako rozdíl původního a erodovaného obrázku

c) Otevření a uzavření

Otevřením je nazývána transformace, kdy je eroze následována dilatací. Dilatace následovaná erozí je nazývána uzavřením. Tyto operace se používají pro odstranění detailů v obraze, které jsou menší než strukturní element. Celkový tvar objektu se tak neporuší. Otevření oddělí objekty spojené úzkou šíjí, čímž zjednoduší strukturu objektů. Uzavření spojí objekty, které jsou blízko u sebe, zaplní malé díry a vyhladí obrys tím, že zaplní úzké zálivy, což jsou místa mezi konvexním obalem a objektem. [7]



Obr.16 Provedení otevření a uzavření na jednoduchém obrázku

2.2.4. Vyhodnocování obrazu

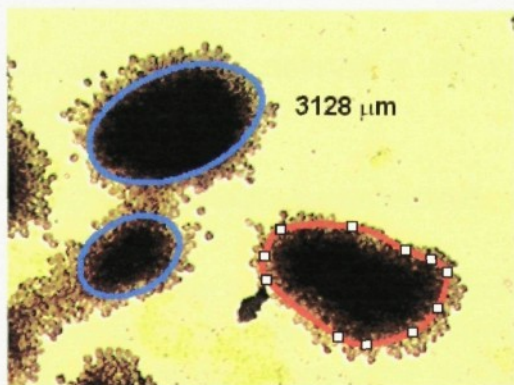
Vyhodnocování je finálním procesem obrazového zpracování, které následuje po úspěšné filtraci.

Vzhledem k tomu, že v případě zpracování barevného obrazu se pracuje s velkým množstvím dat, která jsou navíc často v jednotlivých složkách podobná, využívá se při vyhodnocování spíše binárních obrazů.

Pro vyhodnocování lze použít programové vybavení přímo určené k obrazové analýze, jako je např. software LUCIA, vyvinutý pro účely laboratorní, který má v sobě implementovány funkce usnadňující předzpracování i vlastní práci s obrazem, nebo naprogramovat požadovaný algoritmus v některém z programovacích jazyků. Druhý způsob vyžaduje značnou programátorskou zručnost, ovšem k jeho výhodám patří skutečnost, že dovoluje v podstatě neomezené naprogramování libovolného algoritmu. V případě použití softwaru

pro práci s obrazem jsme často limitováni možnostmi daného softwaru, což lze sice řešit využíváním dalších programů, ovšem toto se děje na úkor rychlosti celého procesu a pracnosti.

Systémy sloužící k obrazové analýze pracují se snímky v digitalizované podobě, anebo jsou propojeny s digitálními kamerami snímajícími statický nebo s časem proměnný obraz.



Obr. 17 Interaktivní měření barevného obrazu pomocí softwaru LUCIA

Součástí vlastního zpracování bývá nejčastěji zjišťování příznaků objektů (rozměrů, orientací, ploch, obvodů atp.), což lze v programech k tomu určených provádět buď interaktivně, přímým označováním objektů, nebo automaticky, zadáním příkazu z menu programu. Pro složitější způsoby analýzy obrazu je výhodné, pokud to daný program umožňuje, vytvořit makra. V nich se nadefinují posloupnosti jednotlivých příkazů, které budou po spuštění makra automaticky vykonány.

3.EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části bylo zhodnotit, které z norem a předpisů zabývající se magnetickou práškovou metodou jsou algoritmovatelné a pro vybrané z nich vytvořit makra v programu LUCIA G. Dalším úkolem bylo provést obrazovou analýzu sady výkovek, určit délku případných trhlin v kritické části a v programu LUCIA G vytvořit makro, které by tuto činnost automatizovalo.

3.1. ZPRACOVÁNÍ OBRAZU Z MT POMOCÍ SOFTWARE VYBAVENÍ LUCIA G

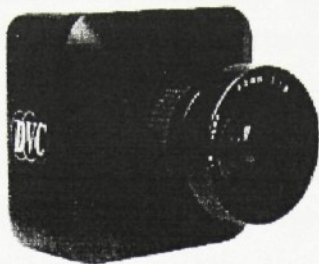
3.1.1. Použité zařízení - systém LUCIA G

Obrazová analýza byla prováděna prostřednictvím systému LUCIA G.

Systém LUCIA je produktem firmy Laboratory Imaging s.r.o. Je tvořen softwarovým a hardwarovým vybavením pro zpracování obrazu. Existuje několik verzí systému LUCIA, které se od sebe vzájemně liší obrazovým rozlišením a barevnou hloubkou. Mezi nejpoužívanější patří G a G/F. [15] Verze G/F umí v porovnání s verzí G pracovat i s jednotlivými intenzitními složkami (Red, Green, Blue), ale vzhledem k tomu, že nebylo třeba provádět rozklad obrazů a využívat nadstandardní funkce, byla verze G pro dané účely plně postačující.

Použitý systém se skládal z počítače obsahujícího grafickou kartu MATROX připojenému k digitální kameře DVC - 1310 s rozlišením 1300 X 1030 obrazových bodů a s barevnou hloubkou 10 bitů. Tato kamera je schopna snímat a zaznamenávat videosekvence rychlostí 12 snímků za vteřinu v rozlišení 1300 X 1030 obrazových bodů a 24 snímků za vteřinu v rozlišení 1300 x 515 obrazových bodů. Kamera obsahuje snímací CCD prvek se zvýšenou citlivostí na modrou a zelenou část spektra.

Část zpracovávaných snímků byla pořízena prostřednictvím digitálního fotoaparátu Olympus C-4040 ZOOM se snímacím CCD prvkem se 4,14 miliony pixelů a trojnásobným optickým transfokátorem. Tento fotoaparát umožňuje získat snímky o rozlišení 3200x2400 pixelů.



Obr.18 Digitální kamera DVC-1310



Obr.19 Digitální fotoaparát C-4040 ZOOM

Obrazy pořízené kamerou byly šedotónové, obrazy pořízené fotoaparátem barevné. Systém LUCIA G dokáže zpracovávat a analyzovat oba tyto typy obrazů, včetně obrazů binárních, které se z nich vytvoří prahováním.

Všechny verze systému LUCIA podporují především vlastní obrazový formát typu LIM, který může být buď nekomprimovaný nebo bezztrátově komprimovaný. Jeho největší výhodou oproti ostatním obvyklým formátům jako je např. BMP, TIF, GIF nebo JPG, se kterými LUCIA také dovede pracovat, je skutečnost, že formát LIM obsahuje popis obrazu (např. jméno autora, vzorek, kalibraci nebo typ objektivu). [12]

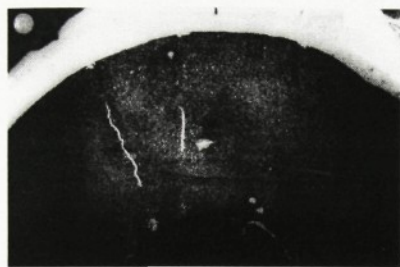
3.1.2. Zpracovávané snímky

Snímky sady výkovků byly pořízeny digitálním fotoaparátem Olympus C-4040 ZOOM a digitální kamerou DVC –1310 po provedení magnetické práškové zkoušky. Testování bylo prováděno podélnou magnetizací na stacionárním magnetizéru UNIMAG 400. Pro zviditelnění vad byl použit fluorescenční prášek ARDROX 8530. Při osvětlení UV lampou byly sejmuty snímky kritického místa, hrany vnitřního otvoru výkovku, která byla kalená a hrozilo tedy nebezpečí výskytu tenkých trhlin.

Většina ostatních snímků byla pořízena prostřednictvím digitální kamery DVC– 1310 během fluorescenční a barevné magnetické práškové zkoušky a přes datový kabel přenesena přímo do počítače. Magnetizace byla prováděna pomocí ručního elektromagnetického jha REM 42. Pro zviditelnění indikací byl použit fluorescenční prášek ARDROX 8530 a barevný prášek ARDROX 8390.

Vzhledem k nedostatku vhodných snímků byly pro testování maker určených k analýze obrazů z barevné magnetické práškové zkoušky použity snímky svarů pořízené při penetrační zkoušce, která podává velmi podobnou obrazovou informaci jako barevná magnetická prášková zkouška.

Dále byly pro testování maker použity referenční fotografie výkovků ASTM E 125 v digitalizované podobě.



Obr.20 Referenční fotografie ASTM E 125



Obr.21 Referenční fotografie ASTM E 125

3.1.3. Předzpracování šedotónových obrazů

Předzpracování obrazu, jehož účelem je odstranění nežádoucích nehomogenit a zvýraznění objektů, jejichž příznaky chceme později zpracovávat, je možno provádět dvěma způsoby. První z nich využívá obrazové morfologie, druhý obrazové aritmetiky.

V obou případech se jedná o komplikovanější operace, které je nutné automatizovat pomocí maker.

a) Předzpracování pomocí obrazové morfologie

Při filtraci prostřednictvím obrazové morfologie se snažíme zvýraznit zajímavé části obrazu pomocí morfologických transformací. Zpravidla se pracuje s následujícími příkazy:

Otevření - odstraňuje malé světlé objekty provedením eroze následované stejným počtem dilatací

Uzavření – odstraňuje malé tmavé oblasti provedením dilatace následované stejným počtem erozí

Detekce údolí – zvýrazňuje malé tmavé objekty morfologickou transformací Top Hat, což je jednoduchý nástroj pro segmentaci objektů, které se od pozadí odlišují jasně. Části obrazu, které neodpovídají danému strukturnímu elementu, jsou odstraněny pomocí otevření a zvýrazněny po odečtení otevřeného obrazu od původního. Velikost detekovaných objektů je dána velikostí použitého strukturního elementu [9].

Detekce vrcholů – zvýrazňuje malé světlé objekty morfologickou transformací Top Hat.

Regionální minima – detekuje lokální minima. Jedná se o jemnější detekci ve srovnání s transformací Top Hat.

Regionální maxima – detekuje lokální maxima.

Detekce hran – zvýrazňuje hrany v barevném obraze. Pro jejich hledání je použit Sobelův operátor, pracující se třemi typy konvoluční masky a zvýrazňující vodorovné, svislé a šikmé hrany. [12]

Vyhazení – slouží k vyhlazení šumů. Provádí se pomocí konvoluce, jasová funkce v jednotlivých bodech generuje hodnoty odpovídající lokálnímu průměru jasu v daném místě. [6].

Rychlost morfologických operací závisí na velikosti zpracovávaného obrazu a počtu prováděných iterací. K dokonalému odfiltrování je nutno použít některou z uvedených transformací v kombinaci s obrazovou aritmetikou.

b) Předzpracování pomocí obrazové aritmetiky

Druhý, poměrně jednoduchý způsob, využívá obrazové aritmetiky. Ta spočívá v matematických operacích mezi dvěma obrazy. Lze tedy provést např. součet, rozdíl, sjednocení nebo průnik intenzitních hodnot obrazových bodů.

Jednou z cest, jak zvýraznit části obrazu, které nás zajímají, je použití postupu, při kterém se odečítá pozadí. Pozadí vytvoříme rozostřením obrazu, který chceme později zpracovávat. K rozostření lze použít některou z metod uvedených v předchozí kapitole. Takto vytvořené pozadí pak odečteme od původního obrazu. Jas částí obrazu, které neobsahují objekty, výrazně poklesne a objekty i jejich obrysy, od nichž byla díky rozostření odečítána nižší hodnota jasu, se lépe zviditelní.

Tento způsob je v porovnání s předchozím poměrně rychlý, ovšem k dosažení uspokojivých výsledků jej nelze používat bez provedení následných nebo předchozích morfologických transformací.

c) Rozdíl filtrací při použití barevného a fluorescenčního prášku

Použije-li se při kontrole magnetickou práškovou metodou fluorescenčního prášku, zobrazují se indikace jako světlé objekty. Pro jejich lepší vizualizaci je výhodné použít funkci Regionální maxima, Detekci vrcholů, případně odečíst obraz, na kterém bylo provedeno otevření nebo vyhlazení, od původního obrazu. Tím dojde k odfiltrování pozadí.

V případě běžných způsobů testování pomocí barevného prášku se naopak indikace jeví jako tmavé objekty. Pak je při filtraci pro zvýraznění objektů nutno použít funkci Regionální minima, Detekci údolí, nebo odečíst od obrazu, na kterém bylo provedeno uzavření nebo vyhlazení, obraz původní.

d) Výhody a nevýhody použitých metod předzpracování

Úspěšně provedená filtrace závisí na vhodně zvolené metodě, která se použije pro vytvoření pozadí, které se odečítá od původního obrazu.

Lze si zvolit jeden ze dvou přístupů, prvním z nich je použití některého vyhlazovacího filtru, druhým použitím morfologického otevření nebo uzavření pracujícího s transformací Top Hat. Oba přístupy ovšem mají svá úskalí.

Existuje několik druhů vyhlazovacích filtrů. Při jejich použití se zjišťují hodnoty jasu bodů v okolí reprezentativního pixelu a jejich kombinací se vypočte nová hodnota jasu daného pixelu. Jednotlivé druhy filtrů se liší způsobem kombinace hodnot jasu bodů z okolí reprezentativního bodu.

Nevýhodou většiny těchto filtrů je, že odstraňují vysoké frekvence, což v praxi znamená, že dochází k rozmazávání hran vedoucím ke snížení citlivosti dané metody.

Při použití morfologických operací využívajících transformaci Top Hat je značnou nevýhodou závislost výsledku operace na použitém strukturním elementu. Pokud se zvolí příliš malý strukturní element, jsou sice s poměrně velkou citlivostí zvýrazněny všechny objekty menších rozměrů, ovšem větší

objekty v důsledku dané metody nalezeny nejsou. Problém nelze řešit použitím větších strukturních elementů, protože by došlo ke zvýraznění falešných indikací.

Daný způsob může tedy nalézt uplatnění v případech, kdy se hledají pouze indikace malých rozměrů. To bylo cílem při analýze sady výkovků, a proto byla tato metoda při jejich filtraci použita.

Při filtraci ostatních snímků byl pro vytvoření pozadí použit vyhlazovací filtr Golay.

3.1. 4. Předzpracování barevných obrazů

Během předzpracování sady výkovků bylo zjištěno, že při filtraci snímků z fluorescenční metody lze lepších výsledků dosáhnout, použije-li se místo šedotónového obrazu barevný a vhodně se zpracuje.

Při fluorescenční zkoušce se vady po osvětlení zobrazují jako výrazně fluoreskující místa. Barva této fluorescence se pohybuje v oblasti žlutozelené části spektra. Barevný digitální obraz je tvořen třemi spektrálními složkami – červenou, zelenou a modrou. Vlnová délka červené je 720-627 nm, zelené 566-495 nm a modré 495-436 nm. Žlutá spektrální složka s vlnovou délkou 589-566 nm leží mezi zelenou a červenou.

Zelená a červená složka barevného obrazu, jejichž spektrum leží v blízkosti fluorescenční barvy, tedy nesla informaci o vadách, modrá o falešných indikacích, kterými byla v tomto případě zejména mastnota a drobné částice ulpělé na součástech vlivem špatného očištění.

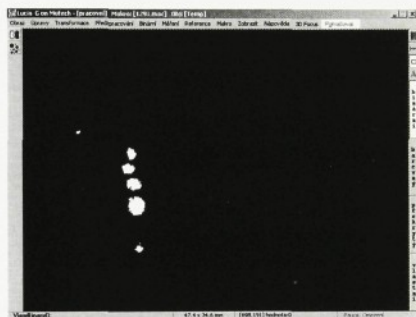
Filtrace tedy byla provedena zvýšením hodnot jasu zelené a červené složky, což vedlo ke zvýraznění vad a snížením hodnoty jasu modré složky, čímž došlo k potlačení falešných indikací.

3.1.5. Měření objektů v binárním režimu pomocí softwaru LUCIA G

Předzpracovaný barevný (šedotónový) obraz je výhodné převést do binární podoby, kde jsou objekty jasně odděleny od pozadí, což umožňuje jejich rychlejší vyhodnocení. Binarizace se provádí prahováním. K zjištění prahových hodnot lze použít dva způsoby. Buď je lze určit matematickou metodou, kdy necháme vytvořit histogram udávající četnost jasu a podle něj zvolit, které hodnoty budou prahové, nebo stanovíme práh experimentálně a předchozí filtraci přizpůsobíme zjištěné hodnotě.



Obr.22 Naprahovaný obraz



Obr.23 Obraz v binárním režimu

Měření objektů v obraze lze provádět interaktivně nebo automaticky. Při interaktivním měření se zkoumané objekty a vzdálenosti musejí přímo označovat, měření v automatickém režimu využívá příkazů z menu, které zjistí požadované vlastnosti a rozměry všech objektů v obraze.

Před měřením je potřeba obraz zkalibrovat, tedy přiřadit rozměrům v pixelech jejich reálný rozměr v metrické míře a zadat velikost měřicího rámečku, kterým definujeme měřenou oblast obrazu. Objekty, které se dotýkají levého nebo dolního okraje měřicího rámečku jsou z objektového měření vyloučeny, objekty, které se dotýkají horního a pravého okraje jsou do měření naopak zahrnuty. [12]

Při interaktivním a automatickém měření je možno zjistit asi třicet příznaků objektů. Mezi nejvýznamnější patří:

Plocha (Area) - je hlavním kritériem velikosti, v nekalibrovaném případě udává počet obrazových bodů, v kalibrovaném reálnou plochu.

Těžiště X (CenterX) – udává x-ovou souřadnici těžiště.

Těžiště Y (CenterY) – udává y-ovou souřadnici těžiště.

Kruhovitost (Circularity) – pro kruh má hodnotu 1, všechny ostatní tvary jsou charakterizovány kruhovitostí menší než 1. Je to odvozená míra tvaru počítaná z plochy a obvodu.

$$\text{Kruhovitost} = \frac{4\pi * \text{Plocha}}{\text{Obvod} * \text{Obvod}} \quad (4)$$

Délka (Length) – je odvozený příznak vhodný pro prodloužené nebo tenké struktury. Je užitečný pro výpočet délek středních os.

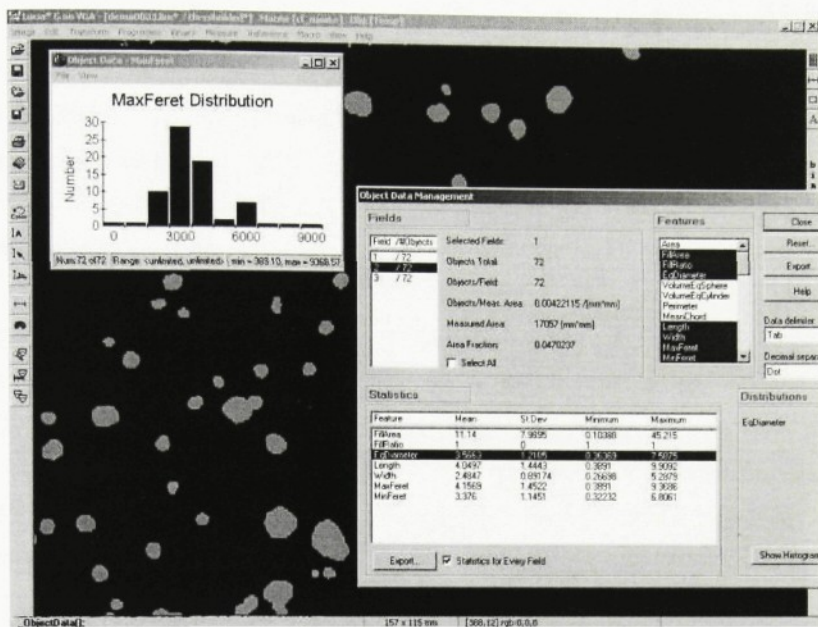
$$\text{Délka} = \frac{\text{Obvod} + \sqrt{\text{Obvod} * \text{Obvod} - 16 * \text{Plocha}}}{4} \quad (5)$$

Maximální Feretův průměr (MaxFeret) – je maximum z Feretových průměrů. Obecně se Feretův průměr při úhlu α rovná délce projekce objektu při úhlu α , $\alpha \in (0, 180)$. LUCIA počítá Feretův průměr pro $\alpha = 0, 10, 20, 30 \dots 180$.

Minimální Feretův průměr – minimum z Feretových průměrů.

Střední intenzita (MeanGray) – hodnota střední intenzity, je odvozená z histogramu intenzit obrazových bodů té části šedotónového obrazu, která je vymezena objektem v binárním režimu.

Počet objektů (NumberObjects) – udává počet objektů v měřicím rámečku.



Obr.24 Zjišťování příznaků pomocí programu LUCIA

Orientace (Orientation) – úhel, při kterém má Feretův průměr své maximum. Průměry jsou počítány s přírůstkem úhlu o velikosti 5°.

Obvod (Perimeter) – je mírou celkové hranice, zahrnuje jak vnější, tak i vnitřní hranici (jestliže jsou uvnitř objektu díry). Obvod se počítá ze čtyř projekcí ve směrech 0, 45, 90 a 135 ° pomocí Croftonovy rovnice:

$$\text{Obvod} = \frac{\pi * (\text{Pr}0 + \text{Pr}45 + \text{Pr}90 + \text{Pr}135)}{4} \quad (6)$$

Šířka (Width) – odvozený příznak vhodný pro prodloužené nebo tenké struktury. Počítá se podle následujícího vztahu:

$$\text{Šířka} = \frac{\text{Plocha}}{\text{Délka}} \quad (7)$$

3.1.6. Makra

Software LUCIA obsahuje vlastní makrojazyk vycházející z programovacího jazyka C s více než 800 funkcemi.

Makra lze s výhodou použít pokud chceme celý proces vyhodnocení automatizovat.

Nejjednodušší makro lze získat ze zaznamenané posloupnosti dříve provedených příkazů. Jejich seznam vyvoláme pomocí položky z menu nazvané Historie příkazů. Požadované makro vytvoříme eliminací nadbytečných příkazů a uložením takto upraveného seznamu.

Makra pro složitější aplikace se vytvářejí přímou editací. Za tímto účelem obsahuje software LUCIA interpretační modul LUCIA Api, který je rozšířením makro jazyka a který povoluje téměř neomezené systémové programování. Tento modul podporuje základní datové typy, volání funkcí a import knihoven. Umožňuje také snadné vytvoření menu, oken a dialogových panelů.

Ke každému příkazu lze vyvolat nápovědu názorně vysvětlující veškeré parametry funkcí a hodnot prostřednictvím komentářů a jednoduchých příkladů.

Prostřednictvím LUCIA Api lze vytvářet také upravené obrazy, zprávy podávající informace o naměřených hodnotách a grafy.

3.1.7. Základní myšlenky algoritmů použité při vyhodnocování

Normy a předpisy obvykle rozlišují mezi dvěma základními druhy indikací, pro která platí různá rozměrová kritéria přípustnosti. Jedná se o protáhlé (lineární) a okrouhlé (nelineární) indikace.

Rozdíl mezi nimi je definován prostřednictvím poměru délky ku šířce objektu. Příznaky Délka (Length) a Šířka (Width) lze sice zjistit přímo, ovšem u kruhovitějších tvarů dochází ve výpočtu podle rovnice (5), která je odvozená pro protáhlé objekty o malé tloušťce, ke zkreslení a naměřená hodnota nemusí odpovídat skutečnosti. Problém lze řešit zjišťováním dalších příznaků, kterým jsou Feretovy průměry (MaxFeret, MinFeret) a kruhovitost (Circularity). Hodnoty pro minimální Feretův průměr se pak porovnají s naměřenou šířkou. V případě, že zjištěná šířka je menší než minimální Feretův průměr a zároveň má objekt

nižší kruhovitost než je experimentálně stanovená hranice, jedná se s největší pravděpodobností o protáhlou indikaci, pro kterou rovnice (5) platí a jako skutečná šířka a délka objektu jsou dále uvažovány hodnoty zjištěné pomocí příznaku Width a Length. V opačném případě jsou jako šířka a délka brány rozměry pro minimální a maximální Feretův průměr.

Délka indikace je pak porovnávána s rozměry stanovenými normou. Odpovídá-li podmínce stanovené pro okrouhlé indikace, je její největší rozměr srovnán s maximální přípustným rozměrem pro okrouhlé indikace předepsaným v normě. V případě, že jej přesahuje, je indikace označena jako nepřipustná. Obdobným způsobem jsou vyhodnocovány lineární indikace.

V případě, že jsou indikace od sebe jen nepatrně vzdáleny, předepisuje norma, aby byly brány jako indikace jediná. Z hlediska algoritmizace se jedná o problematiku, související s řešením úkolu nalezení tzv. řádky, kterou norma definuje jako určitý počet objektů, jejichž vzájemná vzdálenost odpovídá předepsané hodnotě.

Aby bylo vyhodnocení v souladu s normou, je třeba nalézt vždy nejmenší vzdálenost mezi dvěma objekty, které mohou být různě členité a orientované. Vzhledem k tomu, že nalezení skutečné nejmenší vzdálenosti pro objekty komplikovaných tvarů by bylo časově velmi náročné, je pro urychlení procesu výhodné aproximovat indikace kružnicemi a jako nejkratší vzdálenost uvažovat přímkou, která je tvořena průsečíkem těchto kružnic se spojnici jejich středů.

U okrouhlých indikací se tímto zjednodušením nedopouštíme téměř žádné chyby, u protáhlých indikací k chybnému výpočtu dojít může.

Algoritmus pro nalezení řádky indikací probíhá v několika krocích. V první fázi, kdy jsou zjišťovány vzájemné vzdálenosti všech indikací, je opět využito popsaného zjednodušení měřicího vzdálenost na spojnici středů objektů. V případě, že jsou nalezeny indikace se vzdáleností menší než je stanoveno, zapíší se informace o jejich poloze. V dalším kroku probíhá kontrola těchto detekovaných indikací a zjišťuje se, zda mezi nimi nejsou takové, které by opět byly vzájemně situovány ve stanovené vzdálenosti, případně zda je jich stanovený počet. Pokud ano, proběhne cyklus, který ověří, zda nejsou některé z objektů v nalezené skupině identické. Není-li tomu tak, jsou indikace označeny jako řádka.

3.2.AUTOMATICKÉ VYHODNOCOVÁNÍ OBRAZOVÉ INFORMACE PODLE PŘEDPISŮ ASME A EVROPSKÝCH NOREM

3.2.1. Popis norem a předpisů

Magnetickou práškovou metodou se zabývají předpisy ASME pro svary (ASME Section VIII Division 1 Appendix 6) a odlitky (ASME Section VIII Division 1 Appendix 7) a EN pro svary (ČSN EN 1291), výkovky (ČSN EN 10228-1) a odlitky (ČSN EN 1369).

a) ASME

ASME je soubor amerických předpisů pro kotle a tlakové nádoby. Tento kodex je rozdělen do XI sekcí. III. a VIII. sekce jsou navíc rozděleny do dvou divizí, které obsahují další podsekce a dodatky.

Sekce I obsahuje předpisy pro konstrukci energetických kotlů, sekce II specifikuje požadavky na materiály, které by měly zaručit bezpečný provoz tlakových zařízení, sekce III se týká součástí jaderných elektráren namáhaných na tlak, sekce IV obsahuje bezpečnostní požadavky pro ohřevné kotle, sekce V předepisuje požadavky a metody nedestruktivního zkoušení, na které se odvolávají ostatní sekce kodexu, sekce VI doporučuje předpisy pro údržbu a obsluhu ohřevných kotlů, sekce VII doporučuje předpisy pro údržbu energetických kotlů, sekce VIII obsahuje požadavky na bezpečnou konstrukci tlakových nádob a zahrnuje dodatky pro nedestruktivní zkoušení a kritéria přípustnosti pro jejich výrobu, sekce IX se týká svařování a pájení, sekce X definuje požadavky na tlakové nádoby z laminátů, sekce XI obsahuje předpisy pro provozní kontroly zařízení jaderných elektráren.

1) ASME Sekce VIII Divize 1 Dodatek 6 – Zkoušení magnetickou práškovou metodou (ASME Section VIII Division 1 Appendix 6, Methods for Magnetic Particle Examination)

Tento dodatek je součástí 1. divize VIII. sekce a týká se svarových spojů. Obsahuje 6 článků.

Článek 6-1 tohoto dodatku se týká obecných ustanovení.

Článek 6-2 je věnován požadavkům na pracovníky oprávněné provádět nedestruktivní testování touto metodou.

Článek 6-3 se týká hodnocení indikací. Za relevantní jsou považovány jen indikace, které mají některý z rozměrů větší než 1/16 palce (1,6 mm). Jako protáhlé indikace jsou definovány takové indikace, které mají délku větší než trojnásobek šířky. Okrouhlé indikace mají kruhový nebo elipsovitý tvar a jejich délka je menší nebo rovna trojnásobku šířky. Diskutabilní a pochybné indikace musí být přezkoumány znovu, aby bylo možno rozhodnout, zda jsou či nejsou relevantní.

Článek 6-4 definuje kritéria pro přijetí. Žádný z kontrolovaných povrchů nesmí obsahovat relevantní protáhlé indikace, relevantní okrouhlé indikace větší než 3/16 palce (4,8 mm), čtyři nebo více indikací v řádce vzdálených od okraje k okraji 1/16 palce (1,6 mm) nebo méně. Indikace může být větší než vada, která ji vyvolala, ale pro zhodnocení je směrodatná indikace.

Článek 6-5 se týká oprav. [1]

2) ASME Sekce VIII Divize 1 Dodatek 7 – Zkoušení ocelových odlitků (ASME Section VIII Division 1 Appendix 7 – Examination of Steel Castings)

Dodatek 7 je součástí 1. divize VIII. sekce a předepisuje způsoby testování ocelových odlitků a kritéria pro hodnocení. Obsahuje 5 článků.

Zahrnuje předpisy pro testování magnetickou práškovou metodou, kapilární metodou, ultrazvukovou a prozařovací metodou.

Obsah jednotlivých článků je obdobný jako u dodatku 6. V části (2) článku 7-3 se hovoří o tom, že všechny povrchy odlitků musí být testovány magnetickou práškovou nebo kapilární metodou. Část (3) stejného článku pak předepisuje, že povrchové indikace zjištěné magnetickou práškovou metodou musí být porovnány s indikacemi v ASTM E 125 obsahujícím Standardní referenční fotografie pro magnetické práškové testování železných odlitků.

ASTM E 125 rozlišuje VIII typů vad, které jsou dále rozděleny do 5 stupňů. Typem I jsou protáhlé indikace, které jsou popsány jako nerovnoměrné vady různé šířky a objevují se jako osamělé rozštěpené linie nebo existují ve

skupinách. Typem II jsou staženiny, jeví se jako nepravidelné skvrny. Staženiny jsou podpovrchové vady, které vystupují na povrch díky různým druhům obrábění. III. typem jsou vměstky. Mohou být uspořádány v řádcích nebo rozmístěny nerovnoměrně. Tyto vady jsou důsledkem přítomnosti písku, strusky, anebo oxidů v povrchovém kovu. Typem IV jsou studené spoje. Jeví se jako rovnoměrná linie nebo pás ohraničující objekt a poukazují na nedokonalý spoj mezi kovovým objektem a odlitkem. Typem V jsou póry. Jsou popsány jako nerovnoměrně rozmístěné okrouhlé nebo protáhlé shluky magnetického prášku. VI. Typem jsou vady objevující se u svarů. Jedná se o pórovitost svaru, neprůvar, zápal, vměstky ve svaru a kráterové trhliny. Neprůvar se jeví jako rovná nepřerušovaná protáhlá indikace. Typem VII jsou falešné indikace, jako je např. prášek usazený v záhybech a drážkách, částice odpadené z kabelů, stopy po obrábění. VIII. typem vad jsou magnetické anomálie, zapříčiněné např. spojováním materiálů o různé permeabilitě.

Nepřípustné jsou všechny vady typu I, typu II stupně 2, typu III stupně 3, typu IV stupně 1, typu V stupně 1. [2]

b) Evropské normy

1) ČSN EN 1291 Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou – Stupně přípustnosti

ČSN EN 1291 je českou verzí evropské normy definující stupně přípustnosti pro indikace vad zjištěných magnetickou práškovou metodou u svarů feromagnetických ocelí.

Norma rozlišuje dva druhy indikací, lineární a nelineární. Jako lineární jsou definovány indikace s délkou větší než trojnásobek šířky, nelineární tedy pak jako indikace s délkou menší než trojnásobek šířky.

Jakékoliv vedle sebe ležící indikace vzájemně oddělené vzdáleností menší než je hlavní rozměr menší indikace jsou považovány za jednu spojitou indikaci.

Norma rozlišuje tři stupně přípustnosti, z nichž druhý a třetí mohou být specifikovány dodatkem, který předepisuje tvrdší kritéria pro lineární indikace.

Rozměrová kritéria jsou uvedena v tabulce, hodnoty v závorkách platí pro dodatek. [3]

Tab. 2 Stupně přípustnosti pro indikace podle ČSN EN 1291

Typ Indikace	Stupeň přípustnosti		
	1	2 (X)	3 (X)
Lineární indikace l = délka indikace	$l \leq 1,5 \text{ mm}$	$l \leq 3 \text{ (1,5) mm}$	$l \leq 6 \text{ (1,5) mm}$
Nelineární indikace d = hlavní osový rozměr	$d \leq 2 \text{ mm}$	$d \leq 3 \text{ mm}$	$d \leq 4 \text{ mm}$

2) ČSN EN 10228-1 Nedestruktivní zkoušení ocelových výkovků – Část 1: Zkoušení magnetickou práškovou metodou

Tato norma je českou verzí evropské normy stanovující postup a kritéria přípustnosti při zkoušení výkovků z feromagnetických ocelí magnetickou práškovou metodou. Používá se ke zjišťování povrchových a mírně podpovrchových necelistvostí.

Norma definuje magnetizační zařízení, která mohou být použita, stav povrchu, rozsah zkoušky, způsob magnetizace, detekční prostředky a způsob prohlížení.

U výkovků jsou indikace obvykle lineární, proto je v rámci této normy brán v úvahu pouze tento typ indikací.

Referenční plocha, na kterou se vztahuje klasifikace indikací má rozměry 148 mm x 105 mm (formát A6).

Indikace se podle této normy považuje za jednotlivou, pokud neleží v jedné linii s jinými indikacemi, nebo pokud s nimi v linii leží, ale je od nich vzdálena více než pětinasobek délky delší z obou pozorovaných indikací. Souvislé indikace jsou minimálně dvě indikace v jedné linii, které se považují za jednu indikaci, je-li mezi nimi vzdálenost menší než pětinasobek délky delší

indikace. Délka takovýchto souvislých indikací se pak měří jako vzdálenost mezi vnějšími okraji dvou nejvzdálenějších indikací. Za celkovou délku všech indikací se považuje součet všech délek indikací na referenční ploše. [5]

Jsou uvažovány čtyři třídy jakosti, 4. třída klade nejpřísnější požadavky. Kritéria přípustnosti a velikost relevantních indikací jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab.3 Stupně přípustnosti pro ČSN EN 10228-1

Parametr	Třída jakosti			
	1	2	3	4
Délka relevantních indikací v mm	≥ 5	≥ 2	≥ 2	≥ 1
Největší přípustná délka L jednotlivých indikací (příp. největší přípustná délka L_g souvislých indikací) v mm	20	8	4	2
Největší celková délka indikací na referenční ploše v mm	75	36	24	5
Největší přípustný počet relevantních indikací na referenční ploše	15	10	7	5

3) ČSN EN 1369 Slévárenství – Zkoušení odlitků magnetickou práškovou metodou

Tato norma je českou verzí evropské normy EN 1369 a má status české technické normy. Doplňuje zásady zkoušení magnetickou práškovou metodou o požadavky týkající se slévárenského průmyslu.

Předepisuje podmínky pro zkoušení, způsob zkoušení, kvalifikaci pracovníků a přípravu povrchu.

Norma rozeznává osm druhů vad vytvářejících různé typy indikací. Póry, vměstky a staženiny tvoří nelineární indikace. Praskliny, trhliny, neroztavené podložky, chladítka, zavaleniny a studené spoje tvoří lineární indikace. Grafitová hnízda netvoří obrazce. Staženiny a grafitová hnízda se vyskytují pouze u litiny.

Nelineární indikace jsou definovány jako indikace, jejichž délka je menší než trojnásobek šířky. Lineární indikace jsou pak takové, jejichž délka je větší nebo rovna trojnásobku jejich šířky. Nelineární indikace jsou považovány za seřazené, pokud jsou minimálně tři vedle sebe a vzdálenost mezi nimi je menší než 2 mm. Lineární indikace jsou považovány za seřazené, je-li vzdálenost mezi dvěma indikacemi menší než délka nejdelší necelistvosti v seřazení. Seřazené indikace jsou považovány za jedinou indikaci.

Stupně jakosti pro nelineární indikace jsou definovány nejdelším rozměrem relevantních indikací, největší povrchovou plochou indikací v rámečku o rozměrech 105 mm x 148 mm a největší povolenou délkou indikací.

Stupně jakosti pro lineární a seřazené indikace jsou definovány délkou relevantních indikací, největší povolenou délkou lineárních a seřazených indikací v závislosti na tloušťce sekce v mm a součtem délek lineárních a seřazených indikací v rámečku o rozměrech 105 mm x 148 mm.

Stupeň jakosti se volí podle tabulek, ve kterých jsou uvedena výše uvedená kritéria, případně podle tabulek ve spojení s referenčními obrázky. Získaný výsledek je totožný s referenčními obrázky v případě, že byla zjištěna tatáž celková povrchová plocha indikací, anebo tatáž délka lineárních nebo seřazených indikací podobného vzhledu.

Odlitek je považován za vyhovující normě v případě, že zjištěný stupeň jakosti je týž nebo lepší než byl předepsán v objednávce. [4]

3.2.2. Možnosti vyhodnocování norem a předpisů pomocí výpočetní techniky

Automatizovat vyhodnocování lze pouze u těch norem a předpisů, které mají přesně stanovená kritéria přípustnosti, tedy kdy je kritériem rozměr, počet či vzdálenost indikací. Složitost algoritmu pak závisí na počtu zadanych kritérií, podle kterých se indikace posuzují.

Nelze algoritmovat normy a předpisy, kde se přípustnost indikací určuje porovnáním s referenčními fotografiemi, tedy v případech, kdy kritériem nejsou přesné číselné hodnoty a rozhodnutí o přípustnosti závisí na duševní činnosti člověka, která není rutinní a nelze ji tedy nahradit počítačem.

3.2.2.1. Zalgoritmovatelné normy a předpisy

a) ASME Sekce VIII Divize 1 (dále pouze ASME) Dodatek 6

Jako nejlépe zalgoritmovatelný se jeví tento předpis ASME týkající se svarů. Porovnáním velikosti indikace s předepsaným rozměrem je třeba rozlišit, zda se jedná o relevantní indikaci. Pokud ano, podle normou stanoveného kritéria se rozhodne, zda se jedná o protáhlou nebo okrouhlou indikaci. Je-li indikace protáhlá, je nepřipustná. Je-li okrouhlá, porovná se s maximálním povoleným rozměrem. V případě, že jej přesahuje, je nepřipustná. Pokud povolený rozměr nepřesahuje, ale leží v řádce s jinými relevantními okrouhlými indikacemi, jejichž počet a vzdálenost jsou stanoveny normou, je také nepřipustná. Ve všech ostatních případech je indikace přípustná.

Algoritmus je názorně popsán ve vývojovém diagramu 1.

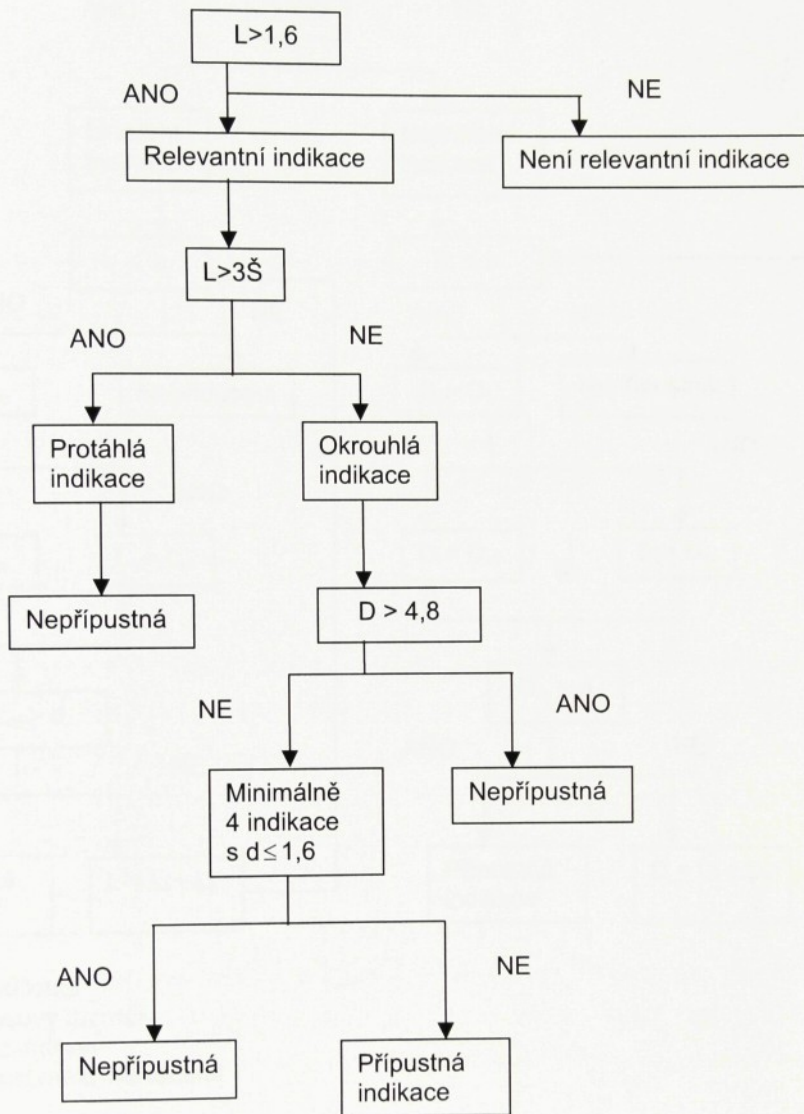
b) ČSN EN 1291

Poměrně dobře algoritmovatelnou normou je i tato evropská norma stanovující přípustnost svarů.

Obdobně jako v předchozím případě je třeba porovnáním s kritériem rozlišit mezi lineárními a nelineárními indikacemi, zjišťovat zda jejich rozměry nepřesahují povolenou hodnotu a měřit jejich vzájemnou vzdálenost, aby bylo možno určit, zda neleží příliš blízko u sebe a je tedy pak nutno považovat je za indikaci jedinou.

Větší složitost tohoto algoritmu oproti algoritmu Dodatku 6, kde se není třeba zabývat vzdálenostmi mezi lineárními indikacemi, protože jejich přípustnost či nepřipustnost je stanovena už jejich délkou, je dána tím, že se porovnání se vzdálenostními kritérii, která navíc nejsou pevně definována a určují se z rozměrů indikací, musí provádět i pro lineární indikace.

Zjednodušený algoritmus je zachycen ve vývojovém diagramu 2.



Uvedené rozměry jsou v mm.

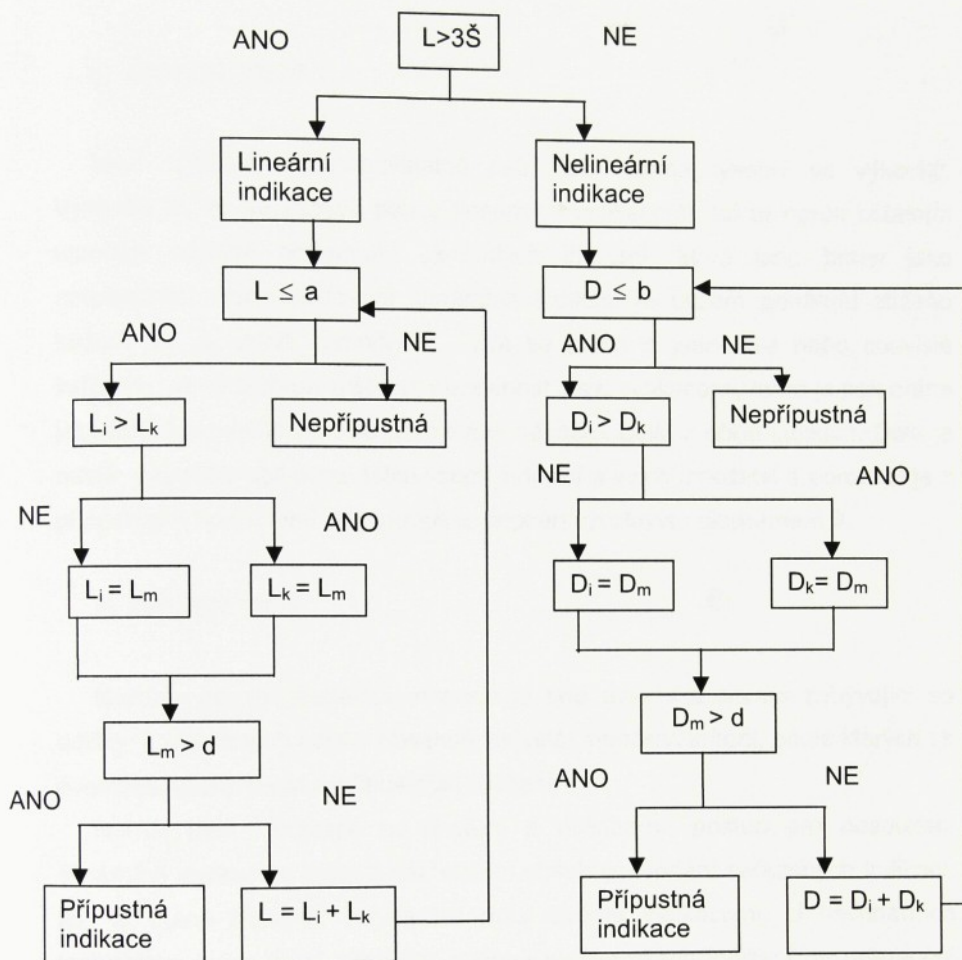
L - délka indikace

Š - šířka indikace

D - hlavní osový rozměr

d - vzdálenost mezi indikacemi

Vývojový diagram 1 ASME Appendix 6



L – délka indikace

D - hlavní osový rozměr

L_m – menší z indikací

d – vzdálenost mezi indikacemi

Stupeň přijatelnosti	1	2	3	2X	3X
a (mm)	1,5	3	6	1,5	1,5
b (mm)	2	3	4	3	4

Vývojový diagram 2 ČSN EN 1291

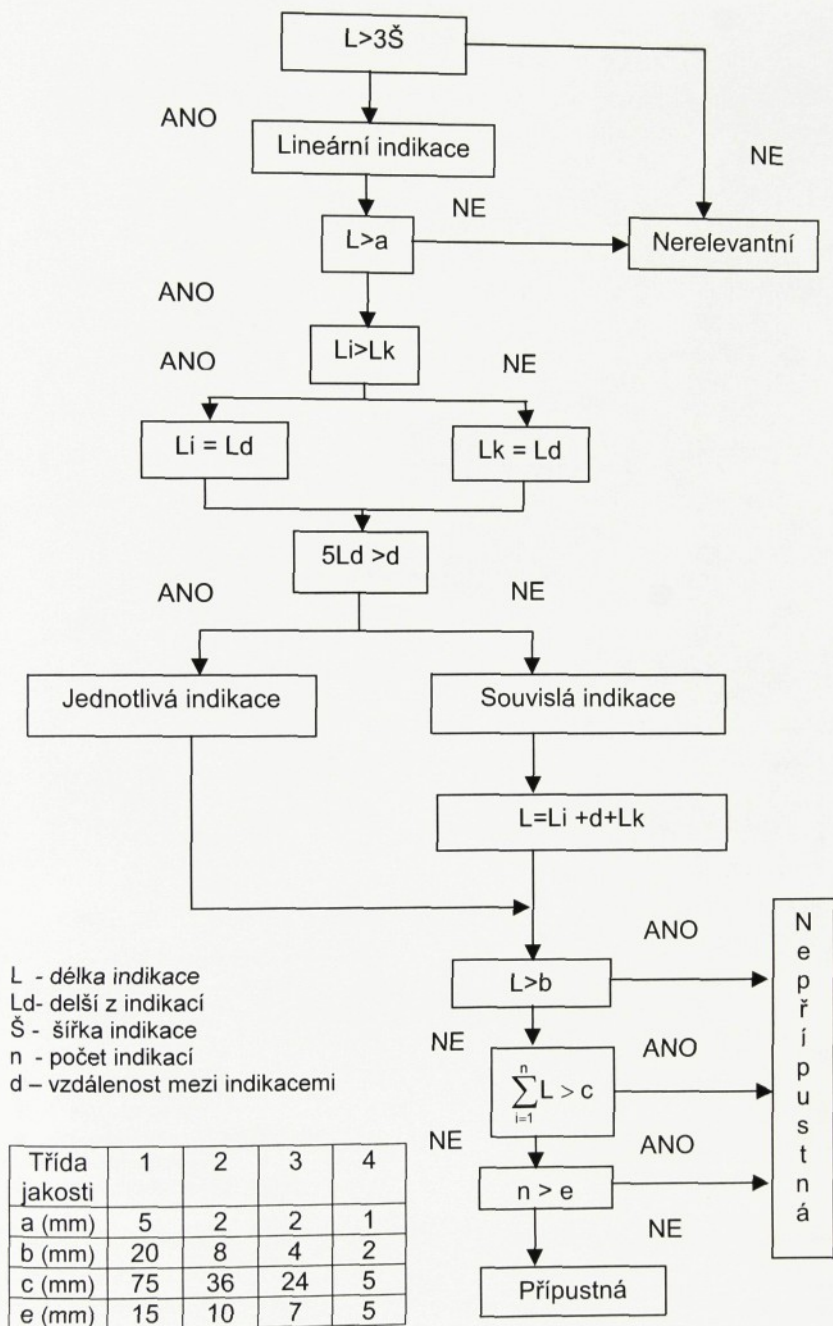
c) ČSN EN 10228.1

Mezi obtížněji algoritmovatelné patří tato norma týkající se výkovků. Výhodou je, že se zabývá pouze lineárními indikacemi, takže oproti ostatním normám odpadá hodnocení okrouhlých indikací, které jsou brány jako nerelevantní. Vyhodnocování lineárních indikací je ovšem poněkud ztíženo faktem, že je nutné rozhodnout, zda se jedná o jednotlivé nebo souvislé indikace. Je tedy třeba zjišťovat vzdálenost mezi indikacemi, která je pak brána jako kritérium, se kterým se porovnává násobek delší z obou indikací. Dále je nutné vypočítat celkovou délku všech indikací a jejich množství a porovnat je s přípustnými hodnotami. Algoritmus je popsán vývojovým diagramem 3.

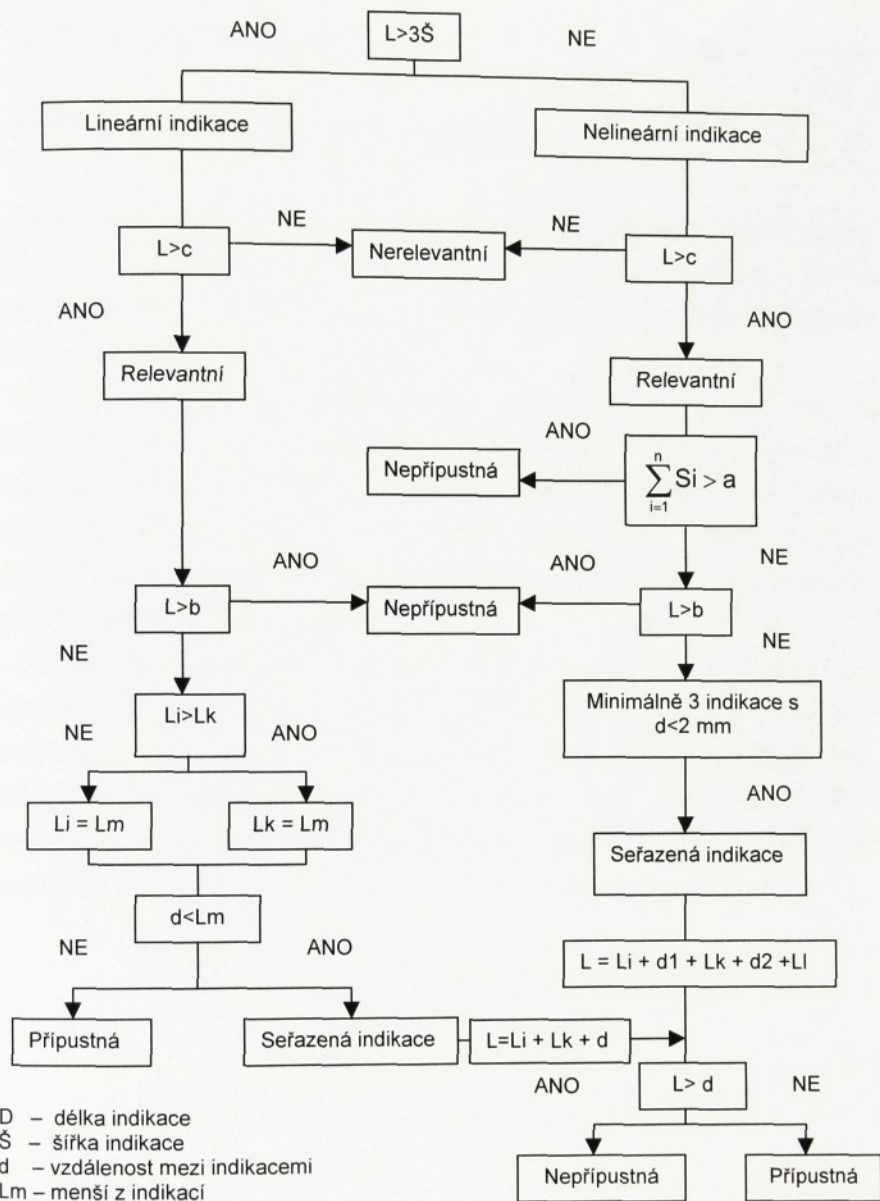
d) ČSN EN 1369

Nejhůře algoritmovatelnou normou je tato evropská norma zabývající se odlitky. Z uvedených norem obsahuje největší množství kritérií, podle kterých se posuzuje relevantnost a přípustnost indikací.

Norma dělí indikace na lineární a nelineární, postup pro posouzení lineárních indikací je jednodušší, ovšem obsahuje hledání seřazených indikací, kdy je nutné zjišťovat vzdálenost mezi dvěma indikacemi. U nelineárních indikací se navíc musí vypočítat celková plocha všech indikací na referenční ploše, kterou je nutno porovnat s přípustnou hodnotou. Postup pro hledání seřazených indikací je komplikovanější v tom, že se musejí nalézt nejméně tři indikace vyhovující předepsanému kritériu. Návrh algoritmu je popsán ve vývojovém diagramu 4.



Vývojový diagram 3 ČSN EN 10228-1



D – délka indikace

Š – šířka indikace

d – vzdálenost mezi indikacemi

Lm – menší z indikací

S - povrchová plocha indikací

Stupeň jakosti	SM01	LM01 AM01	SM1	LM1 AM1	SM2	LM2 AM2	SM3	LM3 AM3	SM4	LM4 AM4	SM5	LM5 AM5
a (mm)	-	-	10	-	35	-	70	-	200	-	500	-
b (mm)	1	-	2	-	4	-	6	-	10	-	16	-
c (mm)	0,3		1,5		2		3		5		5	

Stupeň jakości	SM01 LM01, AM01			SM1 LM1, AM1			SM2 LM2, AM2			SM3 LM3, AM3			SM4 LM4, AM4			SM5 LM5, AM5		
TI. sekce	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
d (mm)	1	1	2	2	3	5	4	6	10	6	9	15	10	18	30	18	27	45

Vývojový diagram 4 ČSN EN 1369

3.2.2.2. Nezalgoritmovatelné normy

ASME Sekce VIII Divize 1 (dále pouze ASME) Dodatek 7

Tato norma není algoritmovatelná, protože nepřípustné indikace jsou definovány referenčními fotografiemi, se kterými se provádí srovnání. Norma postrádá jakákoliv přesně stanovená kritéria, která by umožňovala zavedení podmínek pro automatické hodnocení.

Při klasickém způsobu vyhodnocování podle této normy pracovník na základě porovnání typu, velikosti a seskupení indikací na testované součásti a fotografiích určí jejich přípustnost. Problém automatizace jeho činnosti by bylo možné řešit jen přibližně, pokud by se změřily jednotlivé typy vad z fotografií a s určitou tolerancí by se zavedly jako kritérium, se kterým by se srovnávaly indikace zjištěné na testovaném dílci.

Zmíněný postup by ovšem s největší pravděpodobností byl velice obtížné realizovatelný a navíc neefektivní, protože tato norma na rozdíl od předchozích nerozlišuje jen mezi dvěma, ale osmi typy vad, z nichž každý typ ještě zahrnuje další podskupinu vad tvarově zcela odlišných. Jejich rozeznání by bylo pro automatický program nepochybně časově daleko náročnější než pro zkušeného pracovníka.

4. DISKUSE VÝSLEDKŮ

V programu LUCIA G byla vytvořena tři makra. Dvě určená pro vyhodnocení svarů (předpis ASME Appendix 6 a ČSN EN 1291) a jedno pro kontrolu sady výkovků. Makra pro vyhodnocení svarů jsou určena pro šedotónové snímky z barevné a fluorescenční zkoušky, makro na vyhodnocení výkovků je vytvořeno pro barevné a šedotónové snímky z fluorescenční zkoušky.

a) Porovnání výsledků při použití barevného a flourescenčního prášku

Při porovnání jasového profilu šedotónového snímku pořízeného pro stejný vzorek fluorescenční a barevnou metodou nebylo možné jednoznačně určit, která z metod je výhodnější, protože jak dokládají obr.1 a obr.2 v příloze 4, při použití obou metod jsou snímky pro dané účely dostatečně kontrastní.

Zmíněné snímky byly zpracovány vytvořenými makry podle stejných kritérií při použití stejného způsobu filtrace. Snímky obsahovaly dvě nepřipustné indikace. V případě snímku z fluorescenční metody byly nalezeny obě indikace (obr.1 v příloze 5), v případě snímku z barevné metody pouze jedna (obr. 2 v příloze 5).

b) Porovnání výsledků při použití barevných a šedotónových snímků

Při zpracování šedotónových snímků z kontroly sady výkovků prostřednictvím vytvořeného makra došlo k chybnému vyhodnocení falešných indikací, které byly označeny jako nepřipustné (obr.2 a obr.4 v příloze 6).

Při vyhodnocení barevných snímků totožných vzorků, u kterých byla zvýrazněna červená a zelená spektrální složka, které odpovídají fluoreskující barvě a odečtena modrá složka, čímž bylo docíleno snížení jasu falešných indikací, žádné falešné indikace jako nepřipustné označeny nebyly (obr.6 a obr.8 v příloze 6). V některých případech ovšem nedošlo k nalezení všech skutečných indikací, což bylo pravděpodobně způsobeno nevhodným osvětlením vzorku při vizualizaci vad.

Jako vhodnější pro automatické zpracování se tedy jeví barevné snímky pořízené při fluorescenční metodě.

c) Důsledky špatného osvětlení

U snímků sady výkovků se vlivem špatného osvětlení tvořily na vzorku odlesky, které byly chybně vyhodnocovány jako vady. Odlesky tvořily souvislé plochy, jejichž rozměr byl několikanásobně větší, než předpokládané rozměry skutečných indikací.

Po zavedení omezení vylučujícího z měření indikace větší než experimentálně stanovená hranice byly odlesky z obrazu eliminovány.

V případě výskytu větších vad je problém obtížně řešitelný, proto je důležité správné nasvícení vzorku při snímání obrazu.

Při zviditelňování vad by nemělo být použito bodové osvětlení, které zmiňované odlesky vytváří, ale světlo rozptýlené

d) Porovnání výsledků při použití různých druhů filtrů

I přes výrazný kontrast mezi vadami a pozadím je nutné obrazy správně předzpracovat, protože bez potlačení falešných indikací a přesného zvýraznění hran relevantních objektů by snímky nebyly správně vyhodnoceny.

V případě použití filtrů pracujících s morfologickou transformací Top Hat, vhodnou pro nalezení objektů se strmými přechody na hranách, které jsou typické pro snímky z MT, byly u všech obrazů vždy s velkou citlivostí detekovány všechny indikace menších rozměrů, výrazně větší vady ovšem detekovány nebyly (obr.3 v příloze 7). Důvodem je princip dané metody, kdy jsou nalezeny jen ty objekty, jejichž velikost je menší než velikost použitého strukturního elementu. Při zvětšení strukturního elementu dochází ke zvýraznění falešných indikací (obr.4 v příloze 7), proto je tato filtrace použitelná jen v případech, kdy se hledají indikace menších rozměrů.

Při použití filtrace s využitím vyhlazovacího filtru, který je v porovnání s transformací Top Hat méně jemný, byly spolehlivě identifikovány vady malých i velkých rozměrů (obr.2 v příloze 7).

e) Postup při vyhodnocení

Měření se nejlépe provádí v binárním režimu, kde jsou objekty od pozadí výrazně odlišeny.

Při zjišťování příznaků objektů je důležité správně zjistit jejich šířku a délku, na kterých závisí rozhodnutí o typu indikace, podle kterého se určuje zda vyhovuje kritériím přípustnosti z norem a předpisů. Vzhledem k tomu, že LUCIA G měří spolehlivě šířku a délku jen u protáhlých objektů, je nutné prostřednictvím zjištění dalších příznaků zjistit, zda se nejedná o kruhový objekt.

Po určení typu indikace je nutno provést porovnání s kritérii definovanými normami nebo předpisy. Pro vizualizaci nalezených nepřípustných indikací je vhodné provést jejich označení pomocí šipky.

V případech, kdy bylo v obrazech identifikováno větší množství indikací (řádově desítky), trvalo vyhodnocování výrazně déle než při nalezení jejich menšího počtu. Důvodem je malá rychlost průběhu procedur a cyklů, které v programu LUCIA G na rozdíl od funkcí nejsou optimalizovány. Je proto výhodné používat při měření tvarového zjednodušení objektů, aby se zkrátila celková doba zpracování.

f) Algoritmovatelnost norem, předpisů a jiných požadavků

ASME Dodatek 6 - jedná se o předpis týkající se svarů. Neobsahuje příliš mnoho kritérií pro posouzení přípustnosti, posuzuje se pouze relevantnost indikace, její typ, v případě, že se jedná o okrouhlou indikaci pak dále její velikost a zda není uspořádána v nepovoleném seskupení. Předpis je velmi dobře algoritmovatelný.

ASME Dodatek 7 – předpis zabývající se odlitky. Neobsahuje jediné exaktně definované kritérium, které by se dalo zavést jako podmínka pro vyhodnocení prostřednictvím počítače. Veškeré nalezené indikace je nutno srovnat s referenčními fotografiemi. Předpis je nealgoritmovatelný.

ČSN EN 1291 – norma týkající se svarů. Neobsahuje příliš velké množství posuzovacích kritérií. V porovnání s předpisem ASME Appendix 6 je v rámci této normy nutné zabývat se podrobněji i lineárními indikacemi, ovšem algoritmizace je zjednodušena skutečností, že pro oba typy indikací, které norma rozlišuje, lze použít identický postup pro vyhodnocení. Norma je poměrně dobře algoritmovatelná.

ČSN EN 10228-1 – jedná se o normu, která se zabývá výkovky. Krom kritérií, která se objevují v normě a předpisu pro svary, obsahuje tato norma navíc kritéria týkající se počtu indikací a součtu jejich délek na referenční ploše. Větší komplikovanost posuzování lineárních indikací, kdy je nutno určit, zda se jedná o jednotlivé či souvislé indikace, je mírně kompenzována faktem, že norma uvažuje pouze lineární indikace. Norma patří k obtížněji algoritmovatelným.

ČSN EN 1369 – norma pro odlitky. Obsahuje značné množství kritérií, mezi které např. patří posouzení, zda se nejedná o seřazenou indikaci, což se pro lineární a nelineární indikace zjišťuje podle zcela odlišných kritérií. Jedná se o velmi obtížně algoritmovatelnou normu.

Požadavek na zjištění délky trhlin u výkovků – k dispozici byla sada výkovků, pro které bylo nutné zjistit délku trhlin v kritickém místě. Daný požadavek byl velmi snadno algoritmovatelný a vzhledem k podobnosti hledaných vad také velmi vhodný pro automatické zpracování.

5. ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout způsob automatického vyhodnocování obrazové informace z magnetické práškové kontroly (MT) pomocí softwaru LUCIA G.

Teoretická část shrnuje poznatky o MT a obrazové analýze.

Experimentální část se zabývá možnostmi automatického vyhodnocení snímků z MT prostřednictvím systému LUCIA G a rozbořem algoritmovatelnosti předpisů a norem týkajících se MT.

Přílohy obsahují makra vytvořená v programu LUCIA G pro automatické vyhodnocení obrazové informace podle zvoleného předpisu ASME, zvolené evropské normy a požadavku na zjištění délky vad u skupiny výkovků.

1) Z vyhodnocování snímků prostřednictvím vytvořených makr lze vyvodit následující závěry:

a) Pro automatické vyhodnocování prostřednictvím počítače se jako vhodnější jeví fluorescenční magnetická prášková zkouška. Oproti barevné metodě je citlivější.

b) Při fluorescenční MT je nejvýhodnější nasnímat obraz jako barevný, protože barevný snímek umožňuje provést potlačení spektrální složky nesoucí informaci o falešných indikacích, čímž lze docílit téměř dokonale odfiltrovaného obrazu.

c) Při pořizování snímku během vizualizace vad je důležité vzorek správně osvětlit, aby nedošlo ke vzniku odlesků, které vytvářejí obtížně odfiltrovatelné falešné indikace způsobující chybné vyhodnocení.

d) Jako nejuniverzálnější se jeví filtrace s použitím vyhlazovacího filtru.

e) Při použití složitějších procedur v makrech pro automatické vyhodnocování je z důvodů snížení časové náročnosti procesu výhodné pracovat se zjednodušeným tvarem detekovaných objektů.

f) Systém LUCIA G vykazuje nejlepší výsledky v případech, kdy známe typ a velikost předpokládaných vad a je tedy možné volbou vhodných omezení minimalizovat čas zpracování a spolehlivě eliminovat falešné indikace

2) Při zjišťování vhodnosti norem, předpisů a jiných požadavků pro automatické vyhodnocování obrazů z MT byly učiněny tyto závěry:

a) ASME Dodatek 6 je snadno algoritmovatelným předpisem, protože obsahuje malé množství kritérií přípustnosti, která jsou jednoznačně definovaná. Pro tento předpis bylo vytvořeno makro v programu LUCIA G.

b) ASME Dodatek 7 je předpis v principu nealgoritmovatelný. Neobsahuje přesná kritéria, vyhodnocení se provádí porovnáním s referenčními fotografiemi.

c) ČSN EN 1291 je pro přesně definovaná kritéria přípustnosti, kterých není mnoho, dobře algoritmovatelnou normou. Pro tuto normu bylo vytvořeno makro v programu LUCIA G.

d) ČSN EN 10228-1 je obtížněji algoritmovatelnou normou z důvodu většího počtu kritérií přípustnosti.

e) ČSN EN 1369 je pro veliké množství kritérií přípustnosti velmi obtížně algoritmovatelnou normou.

f) Požadavek pro zjištění velikosti vad u skupiny výkovků byl snadno algoritmovatelný. Pro tento požadavek bylo vytvořeno makro v programu LUCIA G.

Seznam použitých zkratk

2D	Two Dimensional (dvourozměrný)
ASME	The American Society of Mechanical Engineers
ASTME	The American Society for Testing and Materials
ATG	Advanced Technology Group
BMP	Bit Map (bitová mapa)
CCD	Charged Coupled Devices (nábojově vázaný prvek)
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
Inc.	Incorporated
JPG	Joint Photo Expert Group
LIM	Laboratory Imaging
m	metr
μ m	mikrometr
lx	Lux
max.	Maximální
min.	Minimální
mm	milimetr
MT	Magnetic Particle Testing (magnetická prášková metoda)
NDT	Nondestructive Testing (nedestruktivní zkoušení)
Obr.	Obrázek
pixel	picture element (obrazový bod)
RGB	Red Green Blue (červená, zelená, modrá)
REM	Ruční elektromagnet
Tab.	Tabulka
TIF	Tagged Image File
TV	Televizní
tzv.	takzvaný
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
UV	Ultra Violet (ultrafialový)
W	Watt

Seznam použité literatury

- [1] ASME boiler and pressure vessel code. Section VIII, Division 1, Appendix 6, Methods for Magnetic Particle Examination, New York, 1998
- [2] ASME boiler and pressure vessel code. Section VIII, Division 1, Appendix 7, Methods for Magnetic Particle Examination, New York, 1998
- [3] ČSN EN 1291 Nedeštruktivní zkoušení svarů – Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou – Stupně přípustnosti, Český normalizační institut, 2000
- [4] ČSN EN 1369 Slévárenství – Zkoušení odlitků magnetickou práškovou metodou, Český normalizační institut, 1998
- [5] ČSN EN 10228-1 Nedeštruktivní zkoušení ocelových výkovků – Část 1: Zkoušení magnetickou práškovou metodou, Český normalizační institut, 2001
- [6] CASTLEMAN, K.: Digital Image Processing, Prentice-Hall, Inc., 1979
- [7] HLAVÁČ, V. - SEDLÁČEK, M.: Zpracování signálu a obrazu, FEL ČVUT, Praha 1999
- [8] JANDURA, V.: Základy NDT zkoušení, ATG s.r.o., 1997
- [9] MAŘÍK, R.: Computer Vision – Morphology, ProTyS, 2000
- [10] NORELL, K.: Automatic Magnetic Particle Testing of Truck Spindles, European Conference on Non-destructive Testing, Copenhagen, 1998
- [11] PLUHAR, J. – KORITTA, J.: Strojírenské materiály, SNTL Praha 1977
- [12] Uživatelská příručka systému LUCIA, Laboratory Imaging, 2000
- [13] VÁVRA, P. – KRÍŽ, P.: Strojírenská příručka, SCIENTIA Praha 1993
- [14] VĚCHET, M.: Defektoskopie v otázkách a odpovědích, SNTL Praha, 1989
- [15] www.lim.cz
- [16] www.ndt.net

Seznam příloh

- Příloha 1 - Makro vytvořené v programu LUCIA G pro vyhodnocení snímků podle ASME Section VIII Division 1 Appendix 6
- Příloha 2 - Makro vytvořené v programu LUCIA G pro vyhodnocení snímků podle ČSN EN 1291
- Příloha 3 - Makro vytvořené v programu LUCIA G pro zjištění délky indikací u skupiny výkovků
- Příloha 4 - Jasový profil – fluorescenční a barevná metoda
- Příloha 5 - Nalezení nepřipustných indikací – fluorescenční a barevná metoda
- Příloha 6 - Nalezení a zjištění délky indikací u skupiny výkovků při použití šedotónových a barevných snímků
- Příloha 7 - Filtrace při použití vyhlazení a transformace Top Hat

MAKRO PRO VYHODNOCENÍ SNÍMKŮ PODLE ASME SECTION VIII DIVISION 1 APPENDIX 6

```
//Appendix6.mac
```

//Makro vytvořené v programu LUCIA G pro vyhodnocení snímků z barevné a fluorescenční magnetické práškové zkoušky podle ASME Section VIII Division 1 Appendix 6

```
//Appendix6 - MT svary
```

```
int main ()
```

```
{
```

```
//Deklarace promenných
```

```
int LowThr,FinishThr,qw,unit,width,height;
```

```
double fcx[10000], fcy[10000], fchar[10000], flen[10000], fwid[10000], fcir[10000];
```

```
double cal,aspect,minIndLen,LowCir,mgRestr,height1,height2;
```

```
char MacroDir[256],IniFile[256],buf[256],ImageName[256],ObjName[63],ftrbuf[256];
```

```
//Uzavření oken
```

```
Int_ListClose();
```

```
Int_SetWindowState(WND_1,WS_DESTROY);
```

```
Int_SetWindowState(WND_2,WS_DESTROY);
```

```
Int_SetWindowState(WND_3,WS_DESTROY);
```

```
Int_SetWindowState(WND_4,WS_DESTROY);
```

```
Get_RunningMacroDir(MacroDir);
```

```
//Nactení hodnot z ini file
```

```
Get_RunningMacroDir(IniFile);
```

```
strcat(IniFile,"Appendix6.ini");
```

```
Int_GetKeyString(IniFile,"General","MinIndicationLength",buf,256);
```

```
minIndLen=atof(buf);
```

```
//Nactení kalibrace obrázku
```

```
Get_Filename(FILE_IMAGE,ImageName);
```

```
ImageOpenEx(ImageName,1);
```

```
Get_ImageCalibration(ImageName,ObjName,&cal,&aspect,&unit);
```

```
ShowFrame(TRUE);
```

```
//Filtrování obrazu a prahování indikací
```

```
if (Int_Question("", "", "&Filtrování", "&Přeskočit", "", "", 1,0)==1)
```

```
{
```

```
qw=Int_Question("", "Druh metody:", "&MT_UV", "&MT_C", "", "", 1,0);
```

```
if (qw==1) strcpy(ftrbuf,"filtr_MT_UV");
```

```
if (qw==2) strcpy(ftrbuf,"filtr_MT_C");
```

```
Int_GetKeyString(IniFile,ftrbuf,"LowThreshold",buf,256);
```

```
LowThr=atof(buf);
```

```
Int_GetKeyString(IniFile,ftrbuf,"MeanGrayRestriction",buf,256);
```

```
mgRestr=atof(buf);
```

```
Int_GetKeyString(IniFile,ftrbuf,"FinishThreshold",buf,256);
```

```
FinishThr=atof(buf);
```

```
Filtrování(LowThr,FinishThr,mgRestr,ftrbuf);
```

```
}
```

```
//Odstraneni indikaci mensich nez minIndLen (1.6 mm)
ResetRestrictions();
Restrictions("MaxFeret", 1, 1, minIndLen, 1.00000e30);
GenerateBinary();
```

```
//Zmereni priznaku objektu
Priznaky (&fcx, &fcy, &flen, &fwid, &fcir);
```

```
//Zakladni rozdeleni indikaci podle geometrickeho tvaru
Charakter(flen, fwid, fcir, &fchar);
```

```
//Hledani radkovych indikaci
Akumulate(cal, fcx, fcy, flen, fwid, fchar);
```

```
//Graficke oznaceni indikaci podle zavaznosti a jejich charakteru
Get_ImageInfo(ImageName, &width, &height);
height1=height;
Get_Size(SIZE_PICWND, &qw, &unit, &width, &height);
height2=height;
cal=cal*height1/height2;
Oznaceni(cal, &fcx, &fcy, &fchar);
```

```
end:
Int_SetFocus(WINDOW_MAIN);
}
```

```
//Funkce
```

```
//Filtrace indikaci od pozadi
```

```
int Filtrace(int fLowThr, int fFinishThr, double fmgRestr, char *ffile[256])
{
```

```
double mgField[10000];
char fmess[255], LastImage[256];
```

```
Get_RunningMacroDir(fmess);
strcat(fmess, ffile);
strcat(fmess, ".fce");
RunMacro(fmess);
```

```
}
```

```
//Zmereni geometrickych priznaku indikaci
```

```
int Priznaky(double *pfcx[10000], double *pfcy[10000], double *pfen[10000], double *pfwid[10000],
double *pfcir[10000])
```

```
{
double flength[10000];
double fwidth[10000];
double fmaxferet[10000];
double fminferet[10000];
char pmess[255];
int pi;
```

```

Get_RunningMacroDir(pmess);
strcat(pmess,"Priznaky.fce");
RunMacro(pmess);
}

```

//Rozdeleni indikaci podle tvaru a pripustnosti

```

int Charakter(double *cfen[10000], double *cfwid[10000], double *cfcir[10000], double
*cfchar[10000])
{
char cmess1[255],cmess2[255];
int ci;

Get_RunningMacroDir(cmess1);
Get_RunningMacroDir(cmess2);
strcat(cmess1,"Charakter.fce");
strcat(cmess2,"Char1.dat");
RunMacro(cmess1);
}

```

//Hledani akumulovanych indikaci

```

int Akumulace(double acal, double *afcx[10000], double *afcy[10000], double *aflen[10000], double
*afwid[10000], double *afchar[10000])
{
//double flrcx[10000],flrcy[10000],flrlen[10000],flrwid[10000],flrchar[10000];
double *afcxn;
double weldlen,len,lowerlen;
double lx1,lx2,ly1,ly2;
int li,lj,lk,lm,ll,ln,lo,lp,indx1,fnum,flast,fact,findxlen,nai;
int findx[10000],fcykl[10000];
char amess[256];

Get_RunningMacroDir(amess);
strcat(amess,"Akumulace.fce");
RunMacro(amess);
}

```

//Oznaceni indikaci podle zavaznosti a typu nepripustnosti

```

int Oznaceni(double ocal, double *ofcx[10000], double *ofcy[10000], double *ofchar[10000])
{
int oi,oq,ox,oy,ow,oh;
char omess[256];
double screenratex,screenratey;

Get_RunningMacroDir(omess);
strcat(omess,"Oznaceni.fce");
RunMacro(omess);
}

```



```
//Appendix6.ini
```

```
[General]
```

```
MinIndicationLength=1.6
```

```
[Filtr_MT_UV]
```

```
LowThreshold=120
```

```
FinishThreshold=40
```

```
MeanGrayRestriction=80
```

```
[Filtr_MT_C]
```

```
LowThreshold=80
```

```
FinishThreshold=45
```

```
MeanGrayRestriction=80
```

```
//Filtr_MT_C.fce   Filtrace snimku porizenych při testovani barevnou metodou
```

```
Get_Filename(FILE_IMAGE,LastImage);
ColorToReference();
GolayFilter(150,0);
ColorOperations(1,0);
DefineThreshold(fLowThr,fLowThr,fLowThr,255,255,255,0);
Threshold();
ViewColor();
ViewOverlay();
ColorToReference();
IntensityTransformation(5,3.00000);
ColorBinCombine(0);
ViewColor();
DefineThreshold(fFinishThr,fFinishThr,fFinishThr,255,255,255,0);
Threshold();
Restrictions("MeanGray",1,1,fmgRestr,255);
GenerateBinary();
ImageOpenEx(LastImage,1);
ViewOverlay();
```

```
//Filtr_MT_UV.fce   Filtrace snimku porizenych při testovani UV metodou
```

```
Get_Filename(FILE_IMAGE,LastImage);
ColorToReference();
GolayFilter(150,0);
ColorOperations(2,0);
DefineThreshold(fLowThr,fLowThr,fLowThr,255,255,255,0);
Threshold();
ViewColor();
ViewOverlay();
ColorToReference();
IntensityTransformation(5,3.00000);
ColorBinCombine(0);
ViewColor();
DefineThreshold(fFinishThr,fFinishThr,fFinishThr,255,255,255,0);
Threshold();
Restrictions("MeanGray",1,1,fmgRestr,255);
GenerateBinary();
ImageOpenEx(LastImage,1);
ViewOverlay();
```

//Priznaky.fce Zmereni priznaku objektu

```
ResetRestrictions();
ResetObjectFeatures();
SelectObjectFeature("Length");
SelectObjectFeature("Width");
SelectObjectFeature("MaxFeret");
SelectObjectFeature("MinFeret");
SelectObjectFeature("Circularity");
SelectObjectFeature("CentreX");
SelectObjectFeature("CentreY");
SelectObjectFeature("MeanGray");

ScanObjects();
Get_ObjectFeatureData("Length", flength, FIELD_LAST, 0);
Get_ObjectFeatureData("Width", fwidth, FIELD_LAST, 0);
Get_ObjectFeatureData("MaxFeret", fmaxferet, FIELD_LAST, 0);
Get_ObjectFeatureData("MinFeret", fminferet, FIELD_LAST, 0);
Get_ObjectFeatureData("Circularity", pfcir, FIELD_LAST, 0);
Get_ObjectFeatureData("CentreX", pfcx, FIELD_LAST, 0);
Get_ObjectFeatureData("CentreY", pfcy, FIELD_LAST, 0);
```

```
pi=0;
SetCommandText("Měření příznaků objektů...");
while (flength[pi]>0)
{
    pflen[pi]=fmaxferet[pi];
    pfwid[pi]=fminferet[pi];
    if ((pfcir[pi]<0.1) && (fwidth[pi]<fminferet[pi]))
    {
        pflen[pi]=flength[pi];
        pfwid[pi]=fwidth[pi];
    }
    pi=pi+1;
}
```

//Charakter.fce Rozdeleni indikaci na okrouhle, protahle, relevantni, nepripustne

```
Int_CreateWindow(WND_3, "", WP_TOPRIGHT, 0, 0, 300, 800, "", 0, 0, 0, 0, 1, 1, "Arial CE, N, 8");
for (ci=0; cflen[ci]>0; ci=ci+1)
{
    if (cflen[ci]>=3*cfwid[ci])      //protahle indikace
    {
        if (cflen[ci]>1.6) cfchar[ci]=21; //nepripustna
    }
    else      //okrouhle indikace
    {
        if (cflen[ci]>1.6) cfchar[ci]=12; //relevantni
        if (cflen[ci]>4.8) cfchar[ci]=22; //nepripustna
    }
    sprintf(cmess1, "%i\t%f\t%-3.2ft    %-3.2fn", ci, cfchar[ci], cflen[ci], cfwid[ci]);
    Int_SetWindowText(WND_3, cmess1, 1);
}
```

//Akumulace.fce Hledani akumulovanych indikaci

```
SetCommandText("Hledani radkových indikaci...");
lj=1;
for(li=0;aflen[li]>0;li=li+1)
{
    fact=0;
    findxlen=1;
    findx[0]=li;
    fcykl[0]=-1;
    if (afchar[li]==12)
    {
        for (lo=0;fact<findxlen;lo=lo+1)
        {
            fact=findxlen;
            for(lj=flast;ljj<=fact;ljj=lj+1)
            {
                lk=findx[ljj];
                if (fcykl[ljj]==(lo-1))
                {
                    for(ll=0;aflen[ll]>0,ll=ll+1)
                    {
                        len=sqrt(pow((afcxl[lk]-afcxl[ll]),2)+pow((afcy[lk]-afcy[ll]),2))-
((aflen[lk]+aflen[ll]+afwid[lk]+afwid[ll])/4);
                        sprintf(amess,"%i\t%i\t%i\t%i\t%i\t%f   li,lk,ll,findxlen,len\n","li,lk,ll,findxlen,len");
                        Int_SetWindowText(WND_3,amess,1);
                        if ((len>0) && (len<=1.6) && (afchar[ll]==afchar[li]))
                        {
                            ln=1;
                            for (lm=0;lm<findxlen;lm=lm+1)
                            {
                                if (findx[lm]==ll) {ln=0;break;}
                            }
                            if (ln==1)
                            {
                                findx[findxlen]=ll;
                                fcykl[findxlen]=lo;
                                findxlen=findxlen+1;
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}
ll=findx[0];
for (ljj=0;ljj<findxlen;ljj=ljj+1)
{
    lk=findx[ljj];
    findx[ljj]=0;
    if (findxlen>=4) afchar[lk]=(findxlen)*10;
//sprintf(amess,"%i\t%i\t%i\t%f   li,lk,afchar[lk]\n","li,lk,afchar[lk]");
//Int_SetWindowText(WND_3,amess,1);
}
}
for (li=0;aflen[li]>0;li=li+1)
{
    sprintf(amess,"%i\t%i\t%i\t%f   li,afchar[li],afcxl[li]\n","li,afchar[li],afcxl[li]");
    Int_SetWindowText(WND_3,amess,1);
}
```



```

ViewColor();
oq=Int_Question("", "Oznacit indikace: ", "&Nepripuste", "&Relevantni", "&Vsechny", "&Pokracovat", 1, 0);
for (oi=0; ofcx[oi]>0; oi=oi+1)
{
    if (ofchar[oi]==12) strcpy(omess, "RELEVANTNI okrouhla");
    if (ofchar[oi]==21) strcpy(omess, "NEPRIPUSTNE protahla");
    if (ofchar[oi]==22) strcpy(omess, "NEPRIPUSTNE okrouhla");
    if (ofchar[oi]>=40) strcpy(omess, "NEPRIPUSTNE radkova");
    if (ofchar[oi]>0)
    {
        if ((ofchar[oi]>20) && ((oq==1) || (oq==3)))
        {
            InsertArrow(3, 5, 1, ofcx[oi]/ocal, ofcy[oi]/ocal);
            InsertText(omess, (ofcx[oi]/ocal)+50, (ofcy[oi]/ocal)-60, 192, 0, 0, "Arial CE", -36, 1, 0, 0, 0, 0);
        }
        if ((ofchar[oi]<20) && ((oq==2) || (oq==3)))
        {
            InsertArrow(11, 5, 1, ofcx[oi]/ocal, ofcy[oi]/ocal);
            InsertText(omess, (ofcx[oi]/ocal)+50, (ofcy[oi]/ocal)-60, 128, 64, 255, "Arial CE", -24, 1, 0, 0, 0, 0);
        }
    }
}

```

MAKRO PRO VYHODNOCENÍ SNÍMKŮ PODLE ČSN EN 1291

//1291.mac

//Makro vytvořené v programu LUCIA G pro vyhodnocení snímků z barevné a fluorescenční magnetické práškové zkoušky podle ČSN EN 1291

```
int main ()
{
```

//Deklarace promenných

```
int      LowThr,FinishThr,qw,unit,sp,width,height;
double   fcx[10000], fcy[10000], fchar[10000], flen[10000], fwid[10000], fcir[10000];
double   cal,aspect,minIndLen,LowCir,mgRestr,height1,height2;
char      MacroDir[256],IniFile[256],buf[256],ImageName[256],ObjName[63],filtrbuf[256];
```

//Uzavření oken

```
Int_ListClose();
Int_SetWindowState(WND_1,WS_DESTROY);
Int_SetWindowState(WND_2,WS_DESTROY);
Int_SetWindowState(WND_3,WS_DESTROY);
Int_SetWindowState(WND_4,WS_DESTROY);
```

Get_RunningMacroDir(MacroDir);

//Náčtení hodnot z ini file

```
Get_RunningMacroDir(IniFile);
strcat(IniFile,"1291.ini");
Int_GetKeyString(IniFile,"General","MinIndicationLength",buf,256);
minIndLen=atof(buf);
Int_GetKeyString(IniFile,"General","StupenPripustnosti",buf,256);
sp=atof(buf);
```

//Náčtení kalibrace obrázku

```
Get_Filename(FILE_IMAGE,ImageName);
ImageOpenEx(ImageName,1);
Get_ImageCalibration(ImageName,ObjName,&cal,&aspect,&unit);
```

//Vyber stupne pripustnosti

```
sp=Int_Question("", "Stupeň přípustnosti", "&1", "&2", "&3", "&X", 1, 0);
if (sp==4)
{
    sp=Int_Question("", "Stupeň přípustnosti s dodatkem", "&2X", "&3X", "", "", 1, 0);
    sp=sp+3;
}
```

//Filtrace obrazu a prahování indikací

```
if (Int_Question("", "", "&Filtrace", "&Přeskočit", "", "", 1, 0)==1)
{
    qw=Int_Question("", "Druh metody:", "&MT_UV", "&MT_C", "", "", 1, 0);
    if (qw==1) strcpy(filtrbuf,"filtr_MT_UV");
    if (qw==2) strcpy(filtrbuf,"filtr_MT_C");
    Int_GetKeyString(IniFile,filtrbuf,"LowThreshold",buf,256);
    LowThr=atof(buf);
    Int_GetKeyString(IniFile,filtrbuf,"MeanGrayRestriction",buf,256);
```

```
mgRestr=atof(buf);
Int_GetKeyString(IniFile,filtrbuf,"FinishThreshold",buf,256);
FinishThr=atof(buf);
Filtrace(LowThr,FinishThr,mgRestr,filtrbuf);
}
```

```
//Odstraneni indikaci mensich nez minIndLen (0.5 mm)
ResetRestrictions();
Restrictions("MaxFerret",1,1,minIndLen,1.00000e30);
GenerateBinary();
```

```
//Zmereni priznaku objektu
Priznaky (&fcx,&fcy,&flen,&fwid,&fcir);
```

```
//Zakladni rozdeleni indikaci podle geometrickeho tvaru
Charakter(sp,flen,fwid,fcir,&fchar);
```

```
//Hledani radkovych indikaci
Akumulace(sp,cal,fcx,fcy,flen,fwid,fchar);
```

```
//Graficke oznaceni indikaci podle zavaznosti a jejich charakteru
Get_ImageInfo(ImageName,&width,&height);
height1=height;
Get_Size(SIZE_PICWND,&qw,&unit,&width,&height);
height2=height;
cal=cal*height1/height2;
Oznaceni(cal,&fcx, &fcy, &fchar);
```

```
end:
Int_SetFocus(WINDOW_MAIN);
}
```

```
//Funkce
```

```
// Filtrace indikaci
```

```
int Filtrace(int fLowThr, int fFinishThr, double fmgRestr, char *ffile[256])
{
    double mgField[10000];
    char fmess[255], LastImage[256];

    Get_RunningMacroDir(fmess);
    strcat(fmess,ffile);
    strcat(fmess,".fce");
    RunMacro(fmess);
}
```

```
//Zmereni geometrickych parametru indikaci
```

```
int Priznaky(double *pfcx[10000], double *pfcy[10000], double *pflen[10000], double
*pfwid[10000], double *pfcir[10000])
{
    double flength[10000];
    double fwidth[10000];
```



```
double fmaxferet[10000];
double fminferet[10000];
char pmess[255];
int pi;
```

```
Get_RunningMacroDir(pmess);
strcat(pmess,"Priznaky.fce");
RunMacro(pmess);
}
```

//Rozdeleni indikaci podle tvaru a pripustnosti

```
int Charakter(int csp, double *cflen[10000], double *cfwid[10000], double *cfcir[10000], double
*cfchar[10000])
{
char cmess1[255],cmess2[255];
int ci;

Get_RunningMacroDir(cmess1);
Get_RunningMacroDir(cmess2);
strcat(cmess1,"Charakter.fce");
strcat(cmess2,"Char1.dat");
RunMacro(cmess1);
}
```

//Hledani akumulovanych indikaci

```
int Akumulace(int asp, double acal, double *afc[10000], double *afcy[10000], double
*aflen[10000], double *afwid[10000], double *afchar[10000])
{
double *afc[10000];
double weldlen,len,lowerlen;
double lx1,lx2,ly1,ly2;
int li,lj,lk,lm,ll,ln,lo,lp,indx1,fnum,flast,fact,findxlen,nai;
int findx[10000],fcykl[10000];
char amess[256];

Get_RunningMacroDir(amess);
strcat(amess,"Akumulace.fce");
RunMacro(amess);
}
```

//Oznaceni indikaci podle zavaznosti a typu nepripustnosti

```
int Oznaceni(double ocal, double *ofc[10000], double *ofcy[10000], double *ofchar[10000])
{
int oi,oq,ox,oy,ow,oh;
char omess[256];
double screenratex,screenratey;

Get_RunningMacroDir(omess);
strcat(omess,"Oznaceni.fce");
RunMacro(omess);
}
```

//1291.ini

[General]

MinIndicationLength=0.5

[Filtr_MT_UV]

LowThreshold=120

FinishThreshold=40

MeanGrayRestriction=80

[Filtr_MT_C]

LowThreshold=80

FinishThreshold=45

MeanGrayRestriction=80

//Filtr_MT_C.fce Filtrace snímků pořízených při testování barevnou metodou

```
Get_Filename(FILE_IMAGE,LastImage);
ColorToReference();
GolayFilter(150,0);
ColorOperations(1,0);
DefineThreshold(fLowThr,fLowThr,fLowThr,255,255,255,0);
Threshold();
ViewColor();
ViewOverlay();
ColorToReference();
IntensityTransformation(5,3.00000);
ColorBinCombine(0);
ViewColor();
DefineThreshold(fFinishThr,fFinishThr,fFinishThr,255,255,255,0);
Threshold();
Restrictions("MeanGray",1,1,fmgRestr,255);
GenerateBinary();
ImageOpenEx(LastImage,1);
ViewOverlay();
```

//Filtr_MT_UV.fce Filtrace snímků pořízených při testování UV metodou

```
Get_Filename(FILE_IMAGE,LastImage);
ColorToReference();
GolayFilter(150,0);
ColorOperations(2,0);
DefineThreshold(fLowThr,fLowThr,fLowThr,255,255,255,0);
Threshold();
ViewColor();
//ColorCombine(3,3,2,1);
ViewOverlay();
ColorToReference();
IntensityTransformation(5,3.00000);
ColorBinCombine(0);
ViewColor();
DefineThreshold(fFinishThr,fFinishThr,fFinishThr,255,255,255,0);
Threshold();
Restrictions("MeanGray",1,1,fmgRestr,255);
GenerateBinary();
ImageOpenEx(LastImage,1);
ViewOverlay();
```

```
//Priznaky.fce   Zmereni priznaku objektu
```

```
ResetRestrictions();
ResetObjectFeatures();
SelectObjectFeature("Length");
SelectObjectFeature("Width");
SelectObjectFeature("MaxFeret");
SelectObjectFeature("MinFeret");
SelectObjectFeature("Circularity");
SelectObjectFeature("CentreX");
SelectObjectFeature("CentreY");
SelectObjectFeature("MeanGray");

ScanObjects();
Get_ObjectFeatureData("Length",flength,FIELD_LAST,0);
Get_ObjectFeatureData("Width",fwidth,FIELD_LAST,0);
Get_ObjectFeatureData("MaxFeret",fmaxferet,FIELD_LAST,0);
Get_ObjectFeatureData("MinFeret",fminferet,FIELD_LAST,0);
Get_ObjectFeatureData("Circularity",pfcir,FIELD_LAST,0);
Get_ObjectFeatureData("CentreX",pfcx,FIELD_LAST,0);
Get_ObjectFeatureData("CentreY",pfcy,FIELD_LAST,0);
```

```
pi=0;
SetCommandText("Měření příznaků objektů...");
while (flength[pi]>0)
{
    pflen[pi]=fmaxferet[pi];
    pfwid[pi]=fminferet[pi];
    if ((pfcir[pi]<0.1) && (fwidth[pi]<fminferet[pi]))
    {
        pflen[pi]=flength[pi];
        pfwid[pi]=fwidth[pi];
    }
    pi=pi+1;
}
```

```
//Charakter.fce   Rozdelení indikací na okrouhle, protahle, relevantní, nepřipustné
```

```
Int_CreateWindow(WND_3,"",WP_TOPRIGHT,0,0,300,800,"",0,0,0,0,1,1,"Arial CE,N,8");
```

```
for (ci=0;cflen[ci]>0;ci=ci+1)
{
    if (cflen[ci]>=3*cfwid[ci])    //protahle indikace
    {
        cfchar[ci]=11;
        if (((csp==1) || (csp==4) || (csp==5)) && (cflen[ci]>1.5)) cfchar[ci]=21; //nepřipustná (1, 2X
        nebo 3X)
        if ((csp==2) && (cflen[ci]>3)) cfchar[ci]=21; //nepřipustná (2)
        if ((csp==3) && (cflen[ci]>6)) cfchar[ci]=21; //nepřipustná (3)
    }
    else    //okrouhle indikace
    {
        cfchar[ci]=12;
        if ((csp==1) && (cflen[ci]>2)) cfchar[ci]=22; //nepřipustná (1)
        if (((csp==2) || (csp==4)) && (cflen[ci]>3)) cfchar[ci]=22; //nepřipustná (2 nebo 2X)
        if (((csp==3) || (csp==5)) && (cflen[ci]>4)) cfchar[ci]=22; //nepřipustná (3 nebo 3X)
    }
    sprintf(cmess1,"%i\t%f\t%-3.2f\t\t %-3.2f\n","ci,cfchar[ci],cflen[ci],cfwid[ci]");
    Int_SetWindowText(WND_3,cmess1,1);
}
```



```
SetCommandText("Hledani akumulovanych indikaci...");
```

```

lj=1;
for(li=0;aflen[li]>0;li=li+1)
{
    fact=0; findxlen=1;
    findx[0]=li;
    fcykl[0]=-1;
    if ((afchar[li]==12) || (afchar[li]==11))
    {
        for (lo=0;fact<findxlen;lo=lo+1)
        {
            fact=findxlen;
            for(lj=flast;lj<=fact;lj=lj+1)
            {
                lk=findx[lj];
                if (fcykl[lj]==(lo-1))
                {
                    for(ll=0;aflen[ll]>0;ll=ll+1)
                    {
                        len=sqrt(pow((afcx[lk]-afcx[ll]),2)+pow((afcy[lk]-afcy[ll]),2))-
                        ((aflen[lk]+aflen[ll]+afwid[lk]+afwid[ll])/4);
                        if (aflen[lk]<aflen[ll]) lowerlen=aflen[lk];
                        else lowerlen=aflen[ll];
                        if ((len>0) && (len<lowerlen) && (afchar[ll]==afchar[li]))
                        {
                            ln=1;
                            for (lm=0;lm<findxlen;lm=lm+1)
                            {
                                if (findx[lm]==ll) {ln=0;break;}
                            }
                            if (ln==1)
                            {
                                findx[findxlen]=ll;
                                fcykl[findxlen]=lo;
                                findxlen=findxlen+1;
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        }
        ll=findx[0];
        len=0;
        for (lj=0;lj<findxlen;lj=lj+1)
        {
            lk=findx[lj];
            len=len+aflen[lk];
            sprintf(amess,"%i\\t%i\\t%i\\t%i\\t%f    li,lk,afchar[lk],len\\n", "li,lk,afchar[lk],len");
            Int_SetWindowText(WND_3,amess,1);
        }
        nai=0;
        if (afchar[li]==11)
        {
            if (((asp==1) || (asp==4) || (asp==5)) && (len>1.5)) nai=1; //nepripustna (1, 2X nebo 3X)
            if ((asp==2) && (len>3)) nai=1; //nepripustna (2)
            if ((asp==3) && (len>6)) nai=1; //nepripustna (3)
        }
    }
}

```

```

    if (afchar[li]==12)
    {
        if ((asp==1) && (len>2)) nai=2; //nepripustna (1)
        if (((asp==2) || (asp==4)) && (len>3)) nai=2; //nepripustna (2 nebo 2X)
        if (((asp==3) || (asp==5)) && (len>4)) nai=2; //nepripustna (3 nebo 3X)
    }
    for (lj=0;lj<findxlen;lj=lj+1)
    {
        lk=findx[lj];
        if (nai==1) afchar[lk]=23;
        if (nai==2) afchar[lk]=24;
        findx[lj]=0;
    }
    sprintf(amess,"%i\\t%i\\t%i\\t%i\\t%f    li,lk,afchar[lk],len\\n",li,lk,afchar[lk],len);
    Int_SetWindowText(WND_3,amess,1);
}
}

```

```

for (li=0;aflen[li]>0;li=li+1)
{
    sprintf(amess,"%i\\t%i\\t%i\\t%f    li,afchar[li],afcx[li]\\n",li,afchar[li],afcx[li]);
    Int_SetWindowText(WND_3,amess,1);
}

```

Oznaceni.fce Oznaceni indikaci

```

ViewColor();
oq=Int_Question("", "Oznacit indikace:
", "&Nepripustne", "&Relevantni", "&Vsechny", "&Pokracovat", 1, 0);
for (oi=0;ofcx[oi]>0;oi=oi+1)
{
    if (ofchar[oi]==11) strcpy(omess,"RELEVANTNI protahla");
    if (ofchar[oi]==12) strcpy(omess,"RELEVANTNI okrouhla");
    if (ofchar[oi]==21) strcpy(omess,"NEPRIPUSTNI protahla");
    if (ofchar[oi]==22) strcpy(omess,"NEPRIPUSTNA okrouhla");
    if (ofchar[oi]==23) strcpy(omess,"NEPRIPUSTNA protahla spojita");
    if (ofchar[oi]==24) strcpy(omess,"NEPRIPUSTNA okrouhla spojita");
    if (ofchar[oi]>0)
    {
        if ((ofchar[oi]>20) && ((oq==1) || (oq==3)))
        {
            InsertArrow(3,5,1,ofcx[oi]/ocal,ofcy[oi]/ocal);
            InsertText(omess,(ofcx[oi]/ocal)+40,(ofcy[oi]/ocal)-40,192,0,0,"Arial CE",-24,1,0,0,0,0);
        }
        if ((ofchar[oi]<20) && ((oq==2) || (oq==3)))
        {
            InsertArrow(11,5,1,ofcx[oi]/ocal,ofcy[oi]/ocal);
            InsertText(omess,(ofcx[oi]/ocal)+50,(ofcy[oi]/ocal)-60,128,64,255,"Arial CE",-24,1,0,0,0,0);
        }
    }
}
}

```

MAKRO PRO ZJIŠTĚNÍ DÉLKY INDIKACÍ U SKUPINY VÝKOVKŮ

//MT.mac

//Makro vytvořené v programu LUCIA G pro vyhodnocení barevných a šedotónových snímků z fluorescenční magnetické práškové zkoušky

```
int main () //hlavní blok funkce
{
```

//Deklarace promenných

```
int      LowThr,FinishThr,qw,unit,width,height;
double  fcx[10000], fcy[10000], fchar[10000], flen[10000], fwid[10000], fcir[10000];
double  cal,aspect,minIndLen,maxIndLen,LowCir,mgRestr,height1,height2;
char     MacroDir[256],IniFile[256],buf[256],ImageName[256],ObjName[63],filtbuf[256];
```

//Uzavření oken

```
Int_ListClose();
Int_SetWindowState(WND_1,WS_DESTROY);
Int_SetWindowState(WND_2,WS_DESTROY);
Int_SetWindowState(WND_3,WS_DESTROY);
Int_SetWindowState(WND_4,WS_DESTROY);
```

Get_RunningMacroDir(MacroDir);

//Nactení hodnot z ini file

```
Get_RunningMacroDir(IniFile);
strcat(IniFile,"MT.ini");
Int_GetKeyString(IniFile,"General","MinIndicationLength",buf,256);
minIndLen=atof(buf);
Int_GetKeyString(IniFile,"General","MaxIndicationLength",buf,256);
maxIndLen=atof(buf);
```

//Nactení kalibrace obrázku

```
Get_Filename(FILE_IMAGE,ImageName);
ImageOpenEx(ImageName,1);
Get_ImageCalibration(ImageName,ObjName,&cal,&aspect,&unit);
```

ShowFrame(TRUE);

//Filtrace obrazu a prahování indikací

```
if (Int_Question("", "", "&Filtrace", "&Přeskočit", "", "", 1, 0) == 1)
{
    qw=Int_Question("", "Druh metody:", "&MT_MONO", "&MT_COLOR", "", "", 1, 0);
    if (qw==1) strcpy(filtbuf,"Filtr_mono");
    if (qw==2) strcpy(filtbuf,"Filtr_color");
    Int_GetKeyString(IniFile,filtbuf,"LowThreshold",buf,256);
    LowThr=atof(buf);
    Int_GetKeyString(IniFile,filtbuf,"MeanGrayRestriction",buf,256);
    mgRestr=atof(buf);
    Int_GetKeyString(IniFile,filtbuf,"FinishThreshold",buf,256);
    FinishThr=atof(buf);
    Filtrace(LowThr,FinishThr,mgRestr,filtbuf);
}
```



```
//Odstraneni indikaci mensich nez minIndLen (0.2 mm) a maxIndLen (5 mm)
ResetRestrictions();
Restrictions("MaxFeret", 1, 1, minIndLen, 1.00000e30);
Restrictions("Length", 1, 1, 0.00000, maxIndLen);
GenerateBinary();
```

```
//Zmereni priznaku objektu
Priznaky (&fcx,&fcy,&flen,&fwid,&fcir);
```

```
//Zakladni rozdeleni indikaci podle geometrickeho tvaru
Charakter(flen,&fwid,&fcir,&fchar);
```

```
//Graficke oznaceni indikaci podle zavaznosti a jejich charakteru
Get_ImageInfo(ImageName,&width,&height);
height1=height;
Get_Size(SIZE_PICWND,&qw,&unit,&width,&height);
height2=height;
cal=cal*height1/height2;
Oznaceni(cal,&fcx, &fcy, &fchar,&flen);
```

```
end:
Int_SetFocus(WINDOW_MAIN);
}
```

```
//Funkce
```

```
int Filtrace(int fLowThr, int fFinishThr, double fmgRestr, char *ffile[256])
{
    double mgField[10000];
    char fmess[255], LastImage[256];

    Get_RunningMacroDir(fmess);
    strcat(fmess,ffile);
    strcat(fmess,".fce");
    RunMacro(fmess);
}
```

```
int Priznaky(double *pfcx[10000], double *pfcy[10000], double *pflen[10000], double *pfwid[10000],
double *pfcir[10000])
{
    double flength[10000];
    double fwidth[10000];
    double fmaxferet[10000];
    double fminferet[10000];
    char pmess[255];
    int pi;

    Get_RunningMacroDir(pmess);
    strcat(pmess,"Priznaky.fce");
    RunMacro(pmess);
}
```

```

// Rozdeleni indikaci podle tvaru
int Charakter(double *cfen[10000], double *cfwid[10000], double *cfcir[10000], double
*cfchar[10000])
{
char cmess1[255],cmess2[255];
int ci;

    Get_RunningMacroDir(cmess1);
    Get_RunningMacroDir(cmess2);
    strcat(cmess1,"Charakter.fce");
    strcat(cmess2,"Char1.dat");
    RunMacro(cmess1);
}

//Oznaceni indikaci podle zavaznosti a typu nepripustnosti
int Oznaceni(double ocal, double *ofcx[10000], double *ofcy[10000], double *ofchar[10000], double
*oflen[10000])

{
int oi,oq,ox,oy,ow,oh;
char omess[256];
double screenratex,screenratey;

    Get_RunningMacroDir(omess);
    strcat(omess,"Oznaceni.fce");
    RunMacro(omess);
}

```

MT.ini

```

[General]
MinIndicationLength=0.20
MaxIndicationLength=5

[Filtr_mono]
LowThreshold=140
FinishThreshold=80
MeanGrayRestriction=140

[Filtr_color]
LowThreshold=140
FinishThreshold=80
MeanGrayRestriction=140

```

//Filtr_mono.fce Filtrace šedotónových snímků

```
Get_Filename(FILE_IMAGE, LastImage);
ColorToReference();
OpenColor(1,4);
Smooth(1,4);
ColorOperations(2,0);
DefineThreshold(fLowThr, fLowThr, fLowThr, 255, 255, 255, 0);
Threshold();
ColorToReference();
IntensityTransformation(5, 3.00000);
ColorBinCombine(0);
ViewColor();
DefineThreshold(fFinishThr, fFinishThr, fFinishThr, 255, 255, 255, 0);
Threshold();
Restrictions("MeanGray", 1, 1, fmgRestr, 255);
GenerateBinary();
ImageOpenEx(LastImage, 1);
ViewOverlay();
```

//Filtr_color.fce Filtrace barevných snímků

```
Get_Filename(FILE_IMAGE, LastImage);
MixComponents(1, 0, 20, 80, 0, 0, 200, -100, 50, 50, 0);
ColorToGray();
ColorToReference();
OpenColor(3,4);
Smooth(10,4);
ColorOperations(2,0);
DefineThreshold(fLowThr, fLowThr, fLowThr, 255, 255, 255, 0);
Threshold();
ColorToReference();
IntensityTransformation(5, 3.00000);
ColorBinCombine(0);
ViewColor();
DefineThreshold(fFinishThr, fFinishThr, fFinishThr, 255, 255, 255, 0);
Threshold();
Restrictions("MeanGray", 1, 1, fmgRestr, 255);
GenerateBinary();
ImageOpenEx(LastImage, 1);
ViewOverlay();
```

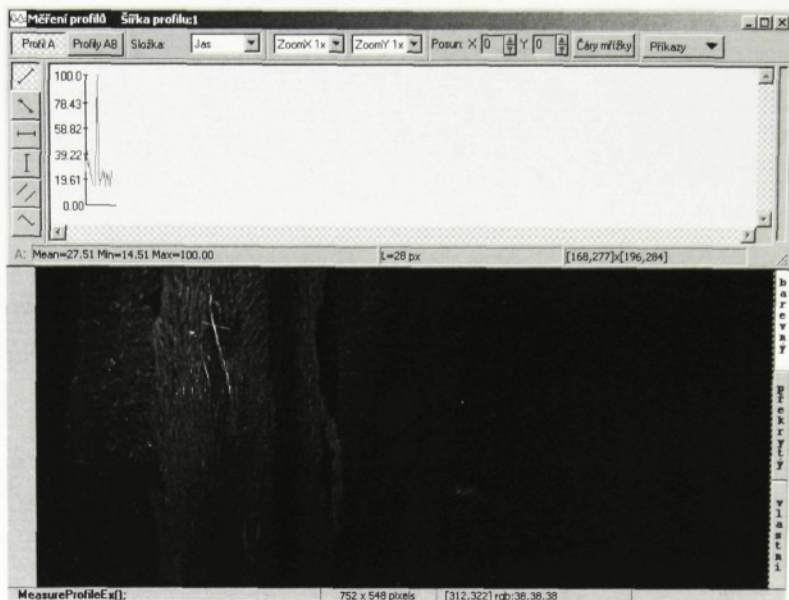


```

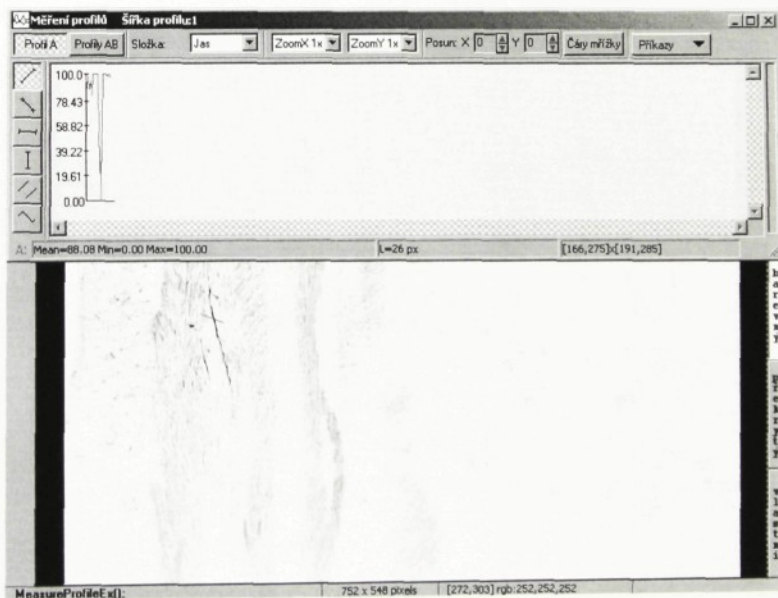
//WaitText(0,cmess2);

```

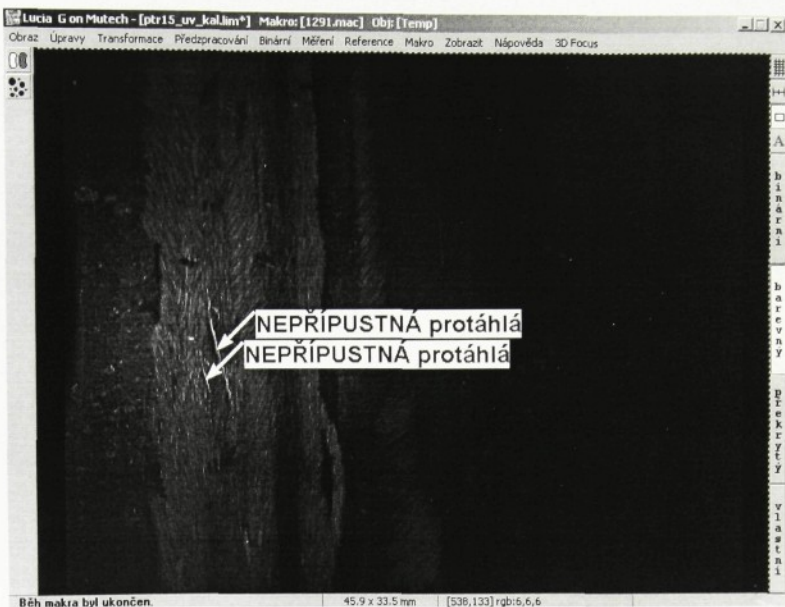
```
ViewColor();
oq=Int_Question("", "Označit indikace:
", "&Nepřipustné", "&Relevantní", "&Všechny", "&Pokračovat", 1, 0);
for (oi=0; ofcx[oi]>0; oi=oi+1)
{
    if (ofchar[oi]==21) sprintf(omess, "%3.1f mm", "oflen[oi]");
    if (ofchar[oi]>0)
    {
        if ((ofchar[oi]>20) && ((oq==1) || (oq==3)))
        {
            InsertArrow(2, 5, 1, ofcx[oi]/ocal, ofcy[oi]/ocal);
            InsertText(omess, (ofcx[oi]/ocal)+40, (ofcy[oi]/ocal)-40, 192, 0, 0, "Arial CE", -28, 1, 0, 0, 0, 0);
        }
        if ((ofchar[oi]<20) && ((oq==2) || (oq==3)))
        {
            InsertArrow(11, 5, 0, ofcx[oi]/ocal, ofcy[oi]/ocal);
            InsertText(omess, (ofcx[oi]/ocal)+20, (ofcy[oi]/ocal)-20, 128, 64, 255, "Arial CE", -12, 1, 0, 0, 0, 0);
        }
    }
}
```



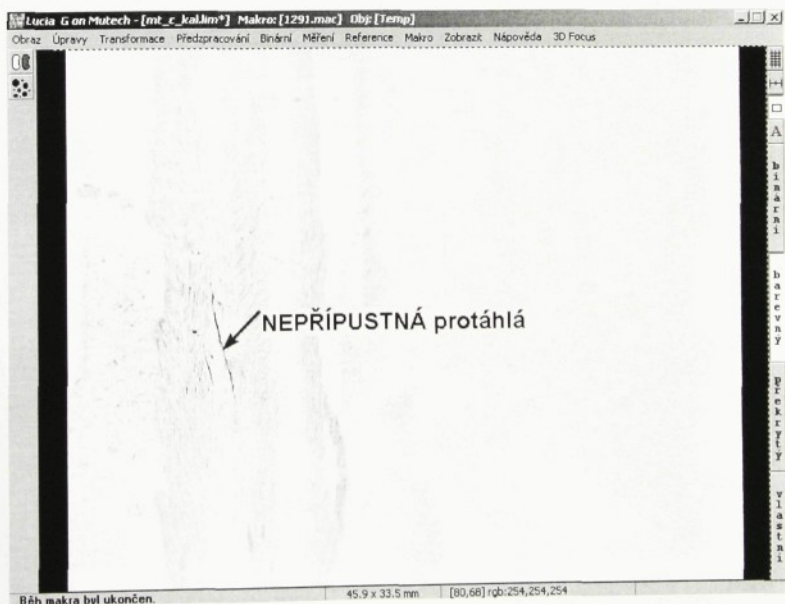
Obr.1 Jasový profil – fluorescenční metoda



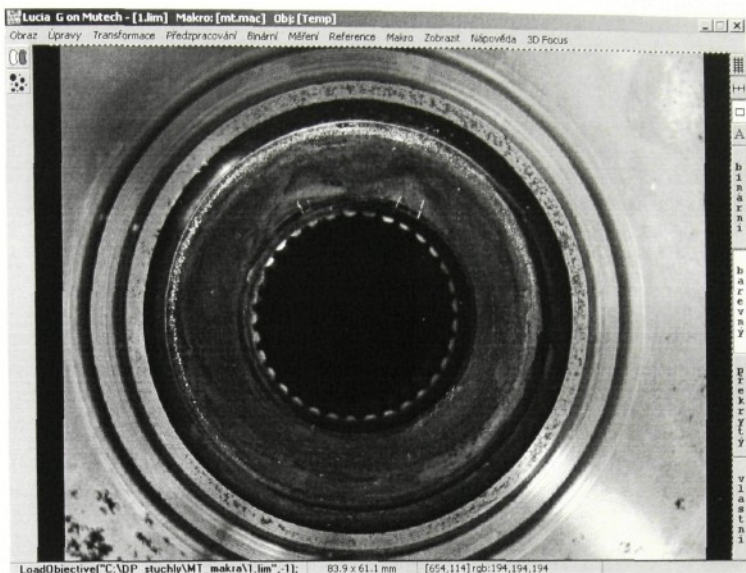
Obr.2 Jasový profil - barevná metoda



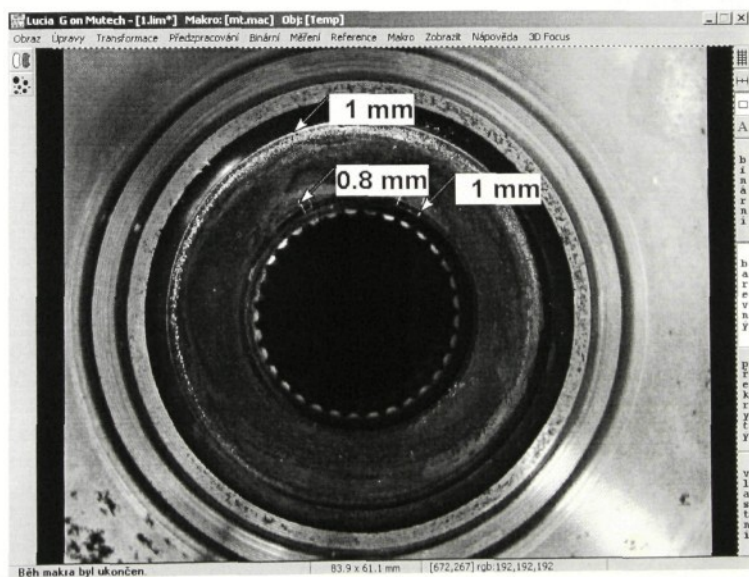
Obr.1 Nalezení nepřipustných indikací – fluorescenční metoda



Obr.2 Nalezení nepřipustných indikací – barevná metoda



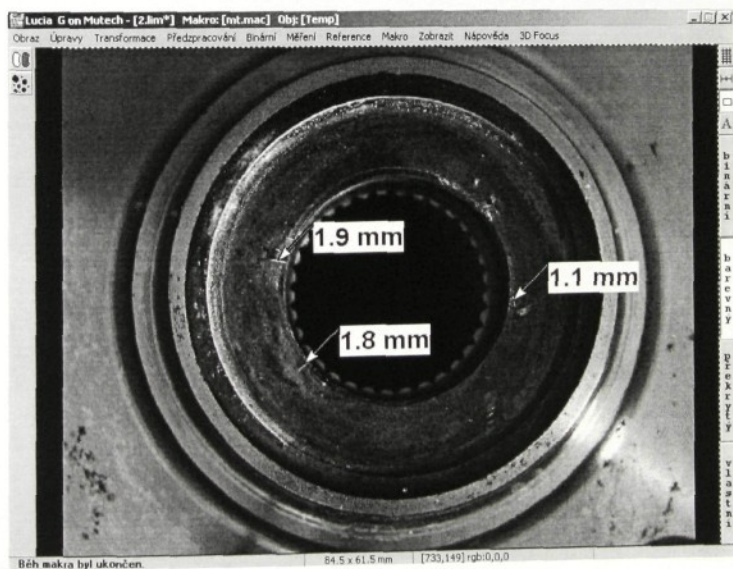
Obr.1 Šedotónový snímek výkovku



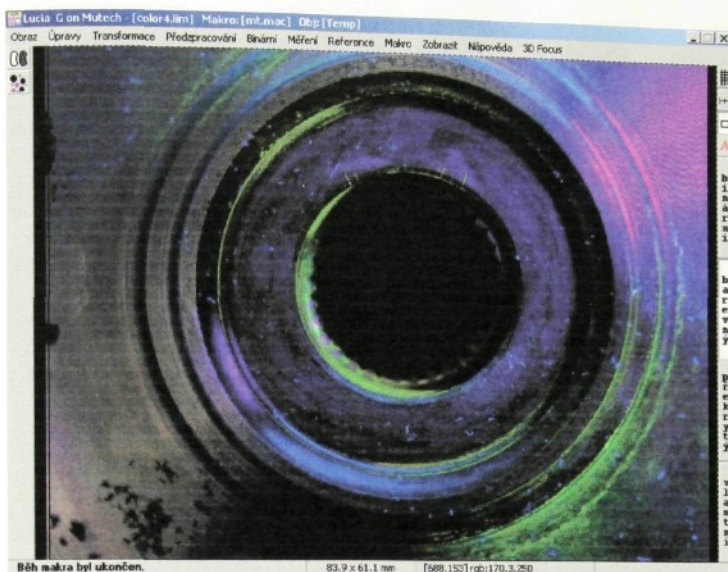
Obr.2 Nalezení indikací na zpracovaném šedotónovém snímku výkovku



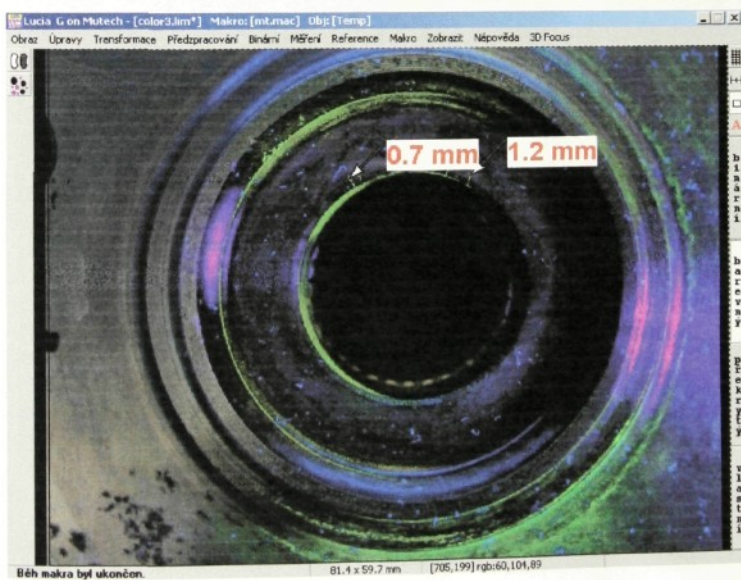
Obr.3 Šedotónový snímek výkovku



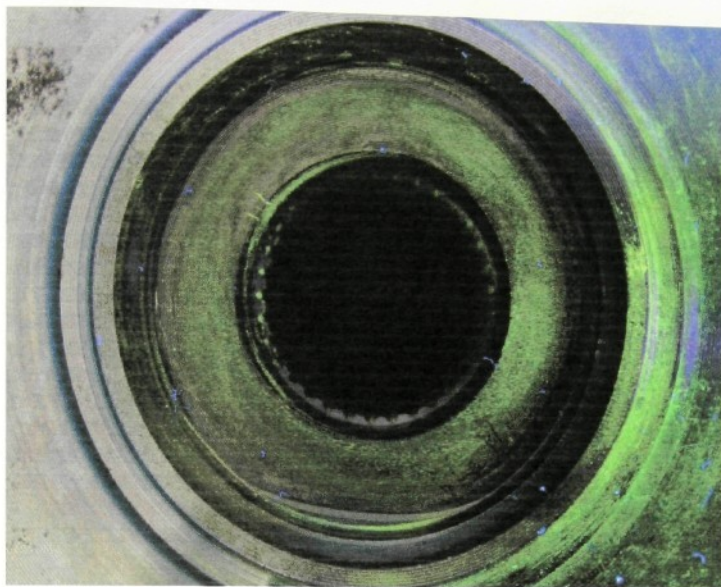
Obr.4 Nalezení indikací na zpracovaném šedotónovém snímku výkovku



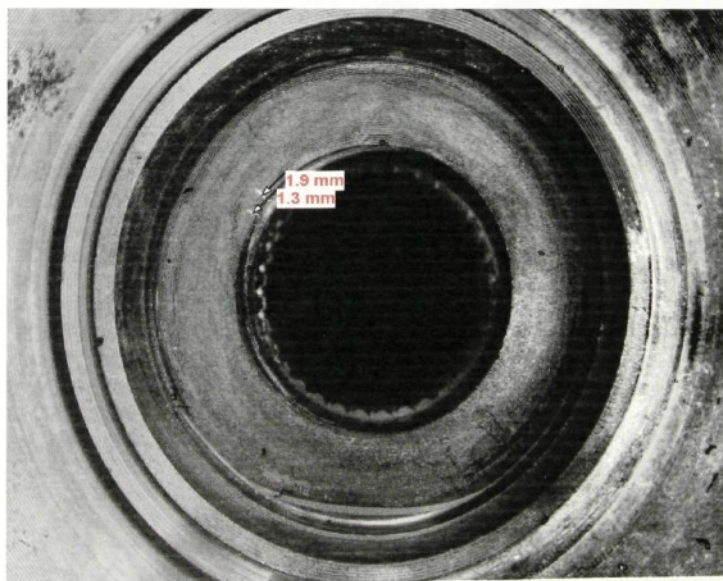
Obr.5 Barevný snímek výkovku



Obr.6 Nalezení indikací na zpracovaném barevném snímku výkovku



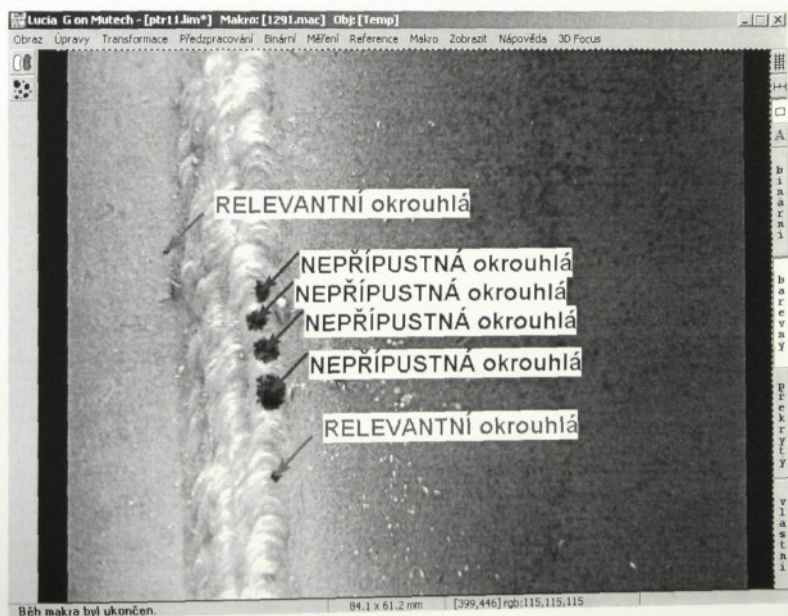
Obr.7 Barevný snímek výkovku



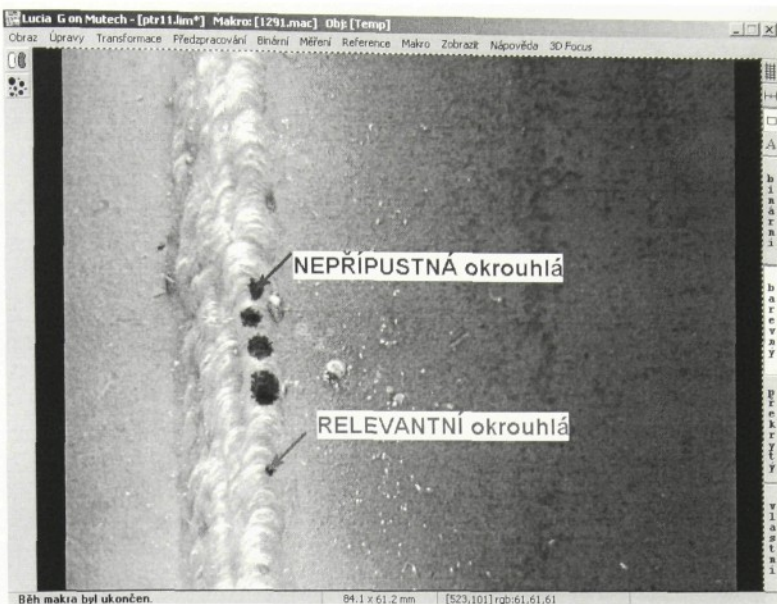
Obr.8 Nalezení indikací na zpracovaném barevném snímku výkovku



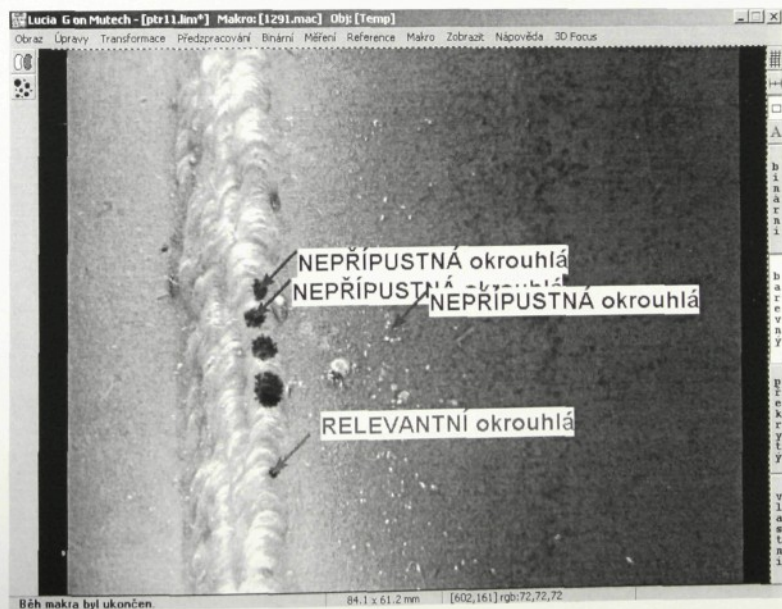
Obr.1 Šedotónový snímek svaru



Obr.2 Filtrace snímku svaru – použití vyhlazení



Obr.3 Filtrace – použití transformace Top Hat s malým strukturálním elementem



Obr.4 Filtrace – použití transformace Top Hat s velkým strukturálním elementem

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon číslo 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným použitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.)

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Datum: 23.5.2002

Podpis: Miroslav Štuhlíř