TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Obor

Strojírenská technologie

Zaměření

Materiálové inženýrství

VYUŽITÍ RADIOSKOPICKÝCH SYSTÉMŮ PRO VYHODNOCOVÁNÍ OBRAZOVÝCH INFORMACÍ

UTILIZATION OF RADIOSCOPIC SYSTEMS FOR ANALYSIS OF VISUAL INFORMATION

KMT - 156

Michal OTMAR

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Petr Louda, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Václav Bízek - ATG s.r.o., Praha
Ing. Tomáš Netušil - ATG s.r.o., Praha

Rozsah práce a příloh:

Počet stran : 66
Počet obrázků : 28
Počet tabulek : 6
Počet příloh : 6

V Liberci, 21. května 2002

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra materiálu

Studijní rok: 2001/2002

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Michal OTMAR**

obor **Strojírenská technologie**

zaměření **Materiálové inženýrství**

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

Využití radioskopických systémů pro vyhodnocování obrazových informací

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

1. Seznamte se s problematikou vyhodnocování obrazové informace pomocí programového vybavení LUCIA G.
2. Proveďte rozbor možností vyhodnocování radioskopické kontroly nedestruktivního zkoušení pomocí obrazové analýzy.
3. Navrhněte metodiku vyrovnání nehomogenního pozadí.
4. Navrhněte vhodnou metodiku automatizovaného vyhodnocování obrazové informace podle kritérií používaných EN a ASME.
5. Navrženou metodiku ověřte na praktických aplikacích.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

KMI

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Využití radioskopických systémů pro vyhodnocování obrazových informací“ vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 21. května 2002

.....
vlastnoruční podpis

Poděkovaní

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce za vedení poskytující mi dostatek prostoru pro vlastní tvůrčí činnost. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům společnosti ATG s.r.o., Praha za poskytnuté informace a ochotu při spolupráci.

V Liberci, 21. května 2002 Michal OTMAR

Anotace

Cílem této diplomové práce je v rámci radioskopické kontroly nedestruktivního zkoušení navrhnout vhodnou metodiku automatického vyhodnocování obrazové informace podle kritérií používaných v EN a ASME.
Postup vyhodnocování indikací šedotónového obrazu (svaru) je následující:

1. Pořízení obrazu místa, které má být vyhodnocováno digitální černobílou kamerou.
2. Digitalizace obrazu - převod analogového 2D signálu na matici celých čísel, z nichž každé představuje hodnotu barvy podle barevné reprezentace RGB.
3. Zpracování obrazu v digitalizované formě pomocí softwaru LUCIA G vhodného pro analýzu obrazu.

Zpracování obrazové informace je klíčovou částí této diplomové práce. Nejprve je provedena filtrace indikací od pozadí, tzn. že indikace je maximálně zvýrazněna a ostatní části obrazu (z hlediska vyhodnocování nezajímavé) jsou naopak potlačeny.

Při filtraci je možné použít odečítání rozostřeného pozadí pomocí Golay Filter nebo uzavření jako základ Top Hat transformace. Pro automatické vyhodnocování indikací je vhodnější Golay Filter.

Takto upravený obraz se dále prahuje - transformace šedotónového obrazu do binárního, kde jedna ze dvou barev přestavuje obraz indikací a druhá pozadí.

Závěrečnou operací je vyhodnocení objektů reprezentujících indikace. Vyhodnocení postupu se provádí podle algoritmu, který obsahuje převážně geometrické požadavky dané normy. Výsledkem je grafické označení té oblasti výrobku, která nesplňuje alespoň jedno z kritérií normy a je proto nepřípustná.

Další částí této diplomové práce je porovnání norem ASME a EN z pohledu jejich případné algoritmovatelnosti a její obtížnosti. Hodnocení svarů dle předpisu ASME se provádí podle části UW - 51 a přílohy 4. Vzhledem ke složitému vyhodnocovacímu postupu jsou kritéria přípustnosti obtížně algoritmovatelná.

Automatické vyhodnocení indikací bylo provedeno podle nejsnáze algoritmovatelné normy EN 10246-10 určené pro podélně nebo spirálově svařované trubky. Výsledky hodnocení provedeného na vybraných radiogramech defektoskopickým pracovníkem a pomocí automatického vyhodnocení byly shodné.

Annotation

An objective of this thesis is to design an automatic evaluation method of image information within radioscopic checking of non-destructive testing. This testing is based on EN and ASME criteria.
The evaluation process of gray tone indications consist of:

1. Entry of place image which will be evaluated by digital monochromatic camera.
2. Digitalization of image - transfer of analogue two-dimensional signal to integer matrix where each integer stands for an image colour according to colour representation RGB.
3. Processing of digitalized image using software LUCIA G which is suitable for image analysis.

The image processing is the key part of this thesis. Firstly the indications are separated from the background. It means the indications are picked up and other insignificant parts are repressed.

Methods of filtration (creation of background "without imperfections" and separation from primary image) are Golay Filter method and Top Hat transformation based on Close the objects with low intensity.
Based on the testing described in this thesis the Golay filter provided us with more quality results.

Next process is a segmentation, transformation of grey-tone to binary image where one colour represents indication image and other one the background.

The last process is the evaluation of the objects which represent indications. The evaluation is in compliance with algorithm which contains especially geometrical requests of given standard. The result is the graphical specification of product parts that do not comply with at least one standard criterion and thus is inadmissible.

Next part of this thesis is aimed at comparison of ASME and EN standards based on their algorithmization and its difficulties. The evaluation of shades according to regulation ASME is conducted based on part UW-51 and Appendix 4. The acceptance criteria are algorithmizated slowly due to difficult evaluation procedure.

Shade evaluation was carried out according to standard EN 10246-10 for longitudinally or helicaly welded tubes which is easily algorithmizated. The results obtained from defectoscopic worker and from automatic evaluation of selected radiograms were identical.

Obsah

Úvod ... 1
1. Nedestruktivní metody zkoušení polotovarů a výrobků ... 2
2. Zkoušky prozařováním ... 3
2.1 *Interakce ionizujícího záření s hmotou* ... 4
2.2 Rentgenové záření ... 4
2.2.1 Rozdělení ... 4
2.2.2 Vznik ... 4
2.2.3 Zdroj ... 5
2.3 Prozařování radioizotopy ... 5
2.3.1 Přístroje pro ovládání izotopových zářičů ... 6
2.3.2 Srovnání radioizotopů s rentgenkou ... 6
2.4 Možnosti a rozsah zkoušek prozařováním ... 7
2.5 Vliv technologie zpracování na zjistitelnost vad při zkouškách prozařováním ... 7
2.6 Detekce ionizujícího záření - radiografický film ... 8
2.7 Vlastnosti radiografického filmu ... 8
2.8 Parametry při expozicích ... 8
2.8.1 Ohnisková vzdálenost ... 8
2.8.2 Expozice ... 9
2.9 Pomůcky používané při prozařování ... 10
2.9.1 Pevné kazety ... 10
2.9.2 Ohebné kazety ... 10
2.9.3 Zesilovací fólie ... 10
2.9.4 Clony, masky a tubusy ... 10
2.9.5 Filtry ... 10
2.9.6 Měrky pro hodnocení jakosti radiogramu ... 11
2.9.7 Defektometr ... 11
2.9.8 Čísla a značky ... 11
2.10 Pracovní postup při radiografických zkouškách ... 11
2.11 Požadavky na úpravu povrchu zkoušeného předmětu ... 12
3. Technika radioskopie ... 12
3.1 Výhody rentgenového televizního řetězce ... 13
3.2 Nevýhody rentgenového televizního řetězce ... 13
3.3 Srovnání systémů pro vytvoření rentgenového obrazu ... 13
4. Zpracování obrazových signálů a vztah k počítačovému vidění ... 14
4.1 Počítačové vidění ... 14
4.2 Zpracování 2D obrazů ... 14
5. Digitální obraz ... 17
5.1 Digitalizace ... 17
5.2 Vlastnosti digitálního obrazu ... 17
5.3 Metrické a topologické vlastnosti obrazu ... 18
5.4 Barevný obraz ... 19
6. Diskrétní lineární integrální transformace ... 20
6.1 Základní teorie ... 20
6.2 Fourierova transformace ... 21
6.3 *Použití lineárních diskrétních transformací pro zpracování obrazů* ... 22
7. Filtrace šumu, poruch a detekce hran ... 24
7.1 Statistický princip filtrace šumu ... 24
7.2 Lokální filtrace ... 24
7.3 Lokální vyhlazování obrazu ... 25
7.3.1 Lineární metody vyhlazování ... 25
7.3.2 Nelineární metody vyhlazování ... 26
7.4 Hledání hran ... 27
7.4.1 Pojem hrany a princip gradientních operátorů ... 27
7.4.2 Jednoduché konvoluční masky aproximující derivace obrazové funkce ... 29
7.4.3 Hrany jako průchody nulou druhé derivace obrazové funkce ... 29
8. Matematická morfologie ... 30
8.1 Základní morfologické pojmy ... 30
8.2 Binární matematická morfologie ... 31
8.2.1 Dilatace ... 31
8.2.2 Eroze ... 31
8.2.3 Otevření a uzavření ... 32
8.3 Šedotónová matematická morfologie ... 32
8.3.1 Transformace vrchní část klobouku ... 33

9. Automatizace zkušebního procesu NDT ... 34
9.1 Lidský faktor v radioskopii ... 34
9.2 Rentgentelevizní systémy pro průmyslovou radioskopii ... 34
10. Automatizované vyhodnocování obrazové informace ... 35
10.1 Pořízení obrazu ... 35
10.2 Obrazová analýza ... 36
10.3 Programový systém LUCIA ... 36
10.3.1 Popis použitého zařízení ... 36
10.3.2 Další verze systému LUCIA ... 37
10.3.3 Zdroje vzniku intenzitního 2D obrazu ... 37
10.4 Typy obrazů ... 38
10.4.1 Binární obrazy ... 38
10.4.2 Barevné obrazy ... 38
10.4.3 Šedé obrazy ... 38
10.5 Formáty obrazů ... 38
10.6 Tvorba makra ... 39
10.7 Měření ... 39
10.7.1 Kalibrace ... 39
10.7.2 Návrh měření ... 39
10.7.3 Měřící rámeček ... 39
10.7.4 Obrazy zahrnuté v měření ... 40
10.7.5 Příznaky měření ... 40
10.7.6 Statistiky a prezentace dat ... 40
11. Vyhodnocování obrazové informace pomocí systému LUCIA G ... 40
11.1 Filtrace indikací na radiogramech svarových spojů ... 41
11.1.1 Top Hat transformace ... 43
11.1.2 Odečítání pozadí ... 44
11.2 Problémy vzniklé při filtraci indikací ... 44
11.3 Navržená metodika filtrace indikací na radiogramech svarových spojů ... 45
11.3.1 Filtrace Golay ... 45
11.3.2 Uzavření ... 48
12. Předpis ASME pro kotle a tlakové nádoby ... 49
12.1 Vyhodnocení snímků dle ASME, Sekce VIII, Divize 1, UW-51 + Apendix 4 ... 50
12.1.1 Rozsah ... 50
12.1.2 Terminologie ... 50
12.1.3 Kritéria přípustnosti ... 50
12.1.4 Opravy ... 52
12.1.5 Návrh algoritmu pro automatizované vyhodnocování vad - 100% ... 53
13. Nedestruktivní zkoušení svarů podle evropských norem ... 54
13.1 Nedestruktivní zkoušení svarů podle ČSN EN 12 517 ... 54
13.2 Posouzení zjistitelnosti vad při radiografickém zkoušení ... 56
13.2.1 Objemové vady tupých svarů ... 56
13.2.2 Trhliny v tupých svarech ... 56
13.2.3 Plošné vady v tupých svarech ... 57
13.3 Nedestruktivní zkoušení ocelového potrubí podle EN 10246-10 ... 57
13.3.1 Kritéria přípustnosti ... 57
13.3.2 Návrh algoritmu pro automatizované vyhodnocování vad - 100% ... 59
13.4 Makro pro automatizované vyhodnocování vad podle kritérií EN 10246-10 ... 60
13.4.1 Příznaky pro měření geometrických parametrů objektů ... 60
13.4.2 Délka a šířka objektů ... 60
13.4.3 Geometrické restrikce pro rozlišení trhliny od protáhlé indikace ... 61
13.4.4 Základní rozdělení jednotlivých indikací podle geometrického tvaru ... 61
13.4.5 Hledání akumulovaných indikací ... 61
13.4.6 Základní rozdělení akumulovaných indikací podle geometrického tvaru ... 62
14. Diskuse výsledků ... 63
Závěr ... 65

Úvod

Téma této diplomové práce bylo zadáno společností ATG s.r.o. Praha (*Advanced Technology Group*) se sídlem v areálu Výzkumných ústavů Běchovice, Praha 9. ATG je dynamicky se rozvíjející česká společnost bez zahraniční finanční účasti. Hlavním a dlouhodobým cílem společnosti je zajišťovat komplexní služby v oblasti nedestruktivního zkoušení materiálu a v oborech příbuzných, jako je svařování, materiálové a korozní inženýrství. Mezi další aktivity patří projekty specializovaných pracovišť, výroba zkušebních zařízení, pomůcek, kvalifikace personálu, poradenská a inspekční činnost.

V současné etapě rozvoje průmyslu má velký význam zdokonalování a zavádění mechanizovaných a automatizovaných prostředků kontroly. V celosvětovém měřítku je patrný nárůst objemu nedestruktivních kontrolních operací ve všech odvětvích průmyslové výroby. Je to dáno vysokými požadavky na bezpečnost a spolehlivost zařízení např. v jaderném a chemickém průmyslu, snižováním tloušťky stěn v souvislosti s využíváním materiálů s vyššími hodnotami mechanických vlastností a zvyšováním parametrů zařízení při snižování jejich hmotnosti.

Automatizace zkušebního procesu nedestruktivního zkoušení je dnes již nedílnou součástí automatizace výrobního procesu v hromadné výrobě. Technologie zkoušení je stále častěji implementována do výrobních linek tak, aby byly ztrátové časy na zkoušení minimální. Automatizovaný systém zkoušení ve výrobní lince pomáhá průběžně monitorovat technologii výroby a rychle indikovat jakékoliv její zhoršení. Díky rychlé informaci o zhoršení jakosti se předchází ztrátám nejen materiálovým, ale hlavně ekonomickým ztrátám z prodlení.

Automatizace zkušebního procesu v současné době pokrývá všechny metody nedestruktivního zkoušení. Nejčastěji jsou automatizovány systémy pro zkoušení metodami radiografickými a ultrazvukovými. Rozbor možností a návrh vhodné metodiky automatizovaného vyhodnocování radioskopické kontroly nedestruktivního zkoušení pomocí obrazové analýzy je hlavním cílem této diplomové práce.

Podle sestavených kriterií, které jsou součástí norem a předpisů pro vyhodnocování indikací, je možné určit, zda výrobek splňuje či nesplňuje daná kritéria. Ve smyslu norem to znamená, že byla nalezena přípustná resp. nepřípustná indikace. Nalezení nepřípustné indikace má za následek opravu výrobku nebo jeho odstranění z výrobního procesu či provozu.

Kritéria norem a předpisů podle nichž dochází k vyhodnocování vad mají dvojí charakter. Jedná se o podmínky, které stanovují geometrický tvar, velikost, vzájemnou polohu a četnost indikací, na jejichž základě je rozhodnuto o závažnosti porušení výrobku. Druhá skupina norem využívá subjektivního porovnání indikace nebo skupin indikací s referenční předlohou. V obou případech je k vyhodnocování použit člověk s jeho výhodami a nevýhodami. V jeho prospěch hraje roli představivost, zkušenost a zraková paměť, která mu umožní přiřadit plošnému obrazu vady trojrozměrný obraz. Na druhé straně jeho velkou nevýhodou je mnohdy značná časová náročnost při vyhodnocování podle složitější normy, chyby vznikající únavou a vliv subjektivního vnímání geometrických parametrů při hodnocení. Jinými slovy, dva lidé mohou o závažnosti téže indikace rozhodnout rozdílně.

Vzhledem k této skutečnosti se nabízí možnost využití výpočetní techniky, zejména pro její rychlost a schopnost jednotného přístupu k řešení problému při vyhodnocování indikací podle jednotlivých norem, na jejichž kritéria je v této práci nahlíženo z pohledu jejich případné algoritmovatelnosti.

1. Nedestruktivní metody zkoušení polotovarů a výrobků

Nedestruktivní zkoušení materiálu (*Non Destructive Testing - NDT*) má významnou úlohu v systému řízení jakosti výrobního procesu, jelikož umožňuje včasné zjištění vnitřních vad ve výrobku nebo polotovaru, které by mohly znemožnit jeho efektivní využití nebo vyvolat havárii konstrukce po určité době provozu. Pro detekci a kvantitativní vyhodnocení zjištěných vad se v oboru nedestruktivního zkoušení používá celá řada metod využívající různé fyzikální principy.

Je všeobecně známo, že každý výrobek nebo polotovar může obsahovat vnitřní nehomogenity (vady) nebo nežádoucí odchylky struktury. Přítomnost vad v kritických oblastech pak může podstatně ovlivnit životnost konstrukce. Požadavek, aby výrobek neobsahoval vůbec žádné vady, by byl zcela nereálný a proto musí být v příslušných normách nebo předpisech stanoveny hranice pro přípustnost resp. nepřípustnost vad v závislosti na jejich velikosti, typu, četnosti atd. Výrobek je pak možno na základě výsledků nedestruktivní zkoušky zařadit do příslušné třídy jakosti a rozhodnout o jeho dalším využití, tzn. zda bude využíván bez ohledu na přítomnost vad nebo budou vady odstraněny a nebo bude výrobek vyřazen jako nepoužitelný.

Výhodou nedestruktivních metod proti metodám destruktivním je skutečnost, že umožňují identifikovat skryté vady bez porušení kontrolovaného objektu. Identifikovat lze skryté i vizuálně nepozorovatelné vady. Identifikací vady se vždy rozumí prokázání (popř. i dokumentování) její přítomnosti, často také informace o tvaru, velikosti a umístění vady ve zkoušeném dílci. Nedestruktivní metody mají charakter nepřímých zkoušek, vyhodnocuje se vhodná fyzikální veličina (nebo jev), jejíž hodnota (průběh) je jednoznačně a reprodukovatelně ovlivněna přítomností skryté vady. Každá nedestruktivní metoda má proto svá omezení vyplývající z její fyzikální podstaty; pro objektivní zjištění vad (a také pro rozhodování o nepravých indikacích vad) se proto používá účelná kombinace těchto metod, která závisí na druhu materiálu, na tvaru a rozměrech zkoušeného dílce a na přístupnosti kontrolovaného místa.

Metody nedestruktivního zkoušení jednotlivých typů polotovarů a výrobků jsou předepsány v příslušných normách a předpisech. Z tohoto hlediska je zpravidla rozhodující požadavek zákazníka, který si stanoví, podle které normy nebo předpisu má být výrobek z hlediska NDT hodnocen.

Nedestruktivní metody zkoušení lze rozdělit z hlediska praktické aplikace do dvou základních skupin:

1. Metody pro zjišťování vad nacházejících se na povrchu nebo v blízkosti povrchu součásti nebo polotovaru (trhliny, vruby, neprůvary aj.)

   - vizuální (VT)
   - magnetické (MT)
   - kapilární (PT)
   - vířivých proudů (ET).

2. Metody pro zjišťování vad v celém objemu (dutiny, vměstky, studené spoje aj.)

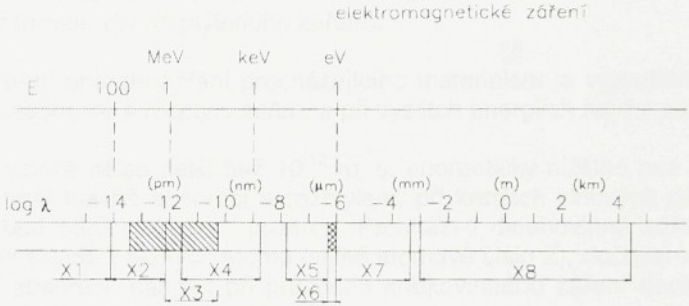
   - radiografické (RT)
   - ultrazvukové (UT).

Kromě těchto základních metod existují desítky dalších NDT metod a jejich kombinací. Z nich mají největší praktické uplatnění především metody:

- zkoušení netěsností (LT)
- metoda akustické emise (AT)
- metody termografické (IRT).

2. Zkoušky prozařováním

Jako zdroje ionizujícího záření se v praxi používá záření rentgenové nebo gama složky umělých radioaktivních izotopů (radionuklidů), které jsou stejné fyzikální podstaty (liší se jen způsobem vzniku). Jde o příčné elektromagnetické vlnění o velmi krátkých vlnových délkách (obr.) schopné na rozdíl od viditelného světla pronikat většinou technických materiálů. Při průchodu elektromagnetického záření zkoušeným materiálem dochází k různému stupni zeslabení intenzity tohoto záření v závislosti na tloušťce materiálu (resp. vad v něm se vyskytujících), chemickém složení a vlnové délce dopadajícího záření.



Elektromagnetické vlnové spektrum

X1 … kosmické záření	X2 … rtg. záření urychlovačů
X3 … gama záření	X4 … rtg. záření technického rentgenu
X5 … ultrafialové záření	X6 … oblast viditelného záření
X7 … infračervené záření	X8 … rádiové vlny
λ … vlnová délka	E … energie záření

… oblast záření používaného v defektoskopii (radiografie)

Intenzitu prošlého záření registrujeme několika metodami:

- fotochemicky - záření působí na citlivou fotografickou emulzi, což umožňuje zachytit a učinit viditelným původně neviditelný obraz prozářeného předmětu,
- vizuálně přímo - místo radiografického filmu se vkládá do směru záření fluorescenční štít, na kterém se viditelný obraz reliéfu záření pozoruje,
- vizuálně nepřímo (pomocí rentgenooptického převaděče) - fluorescenční obraz na štítu se pozoruje optickým zařízením, nebo se přenáší na televizní obrazovku,

- ionizačními metodami - intenzita prošlého záření se měří ionizačními detektory a odečítá se nebo registruje na měřicích přístrojích.

Z uvedených metod jsou nejrozšířenější *metody radiografické*.

2.1 Interakce ionizujícího záření s hmotou

Intenzita záření zeslabeného průchodem materiálu je obecně dána vztahem:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu t} \cdot B ,$$

kde I intenzita záření zeslabeného průchodem materiálu,
I_0 počáteční intenzita pronikavého záření dopadajícího na materiál,
t tloušťka prozařovaného materiálu,
μ lineární součinitel zeslabení (závisí na vlnové délce záření a atomovém čísle prozařovaného materiálu),
B vzrůstový faktor u širokého svazku (je složitou funkcí hodnot μ a t, a zahrnuje vliv rozptýleného záření).

Celkové zeslabení energie záření procházejícího materiálem je výsledkem několika dějů, zejména *absorpce* a *rozptylu záření* a při vyšších energiích *tvorby párů* elektron - pozitron.

U záření o vlnové délce delší než 10^{-12} m, tj. energeticky nižšího než 1,02 MeV, nastává zeslabení hlavně absorpcí a rozptylem, při kratších vlnových délkách pak převážně tvorbou párů elektron - pozitron. Prochází-li dlouhovlnné záření vrstvou hmoty, která se skládá z těžkých atomů (velké atomové číslo Z), dochází k zeslabení záření hlavně absorpcí, naopak při průchodu krátkovlnného záření dochází k jeho rozptylu ve hmotách s malým atomovým číslem.

2.2 Rentgenové záření

2.2.1 Rozdělení

Podle vlnové délky, popř. podle energie záření, se rozlišuje rentgenové záření na:

- dlouhovlnné (o nízké energii) 5 až 50 keV, zdrojem záření rentgenka
- krátkovlnné (o střední energii) 50 až 450 keV, zdrojem záření rentgenka
- velmi krátkovlnné (o vysoké energii), zdrojem záření jsou buď lineární urychlovače (do 10 MeV) nebo kruhové urychlovače - betatrony (do 31 MeV)

Tabulka 1 - Orientační dělení rentgenového záření

Napětí na rentgence	Vlnová délka	Propustnost	Označení záření
nízké	velká	malá	měkké
vysoké	malá	značná	tvrdé - pronikavé

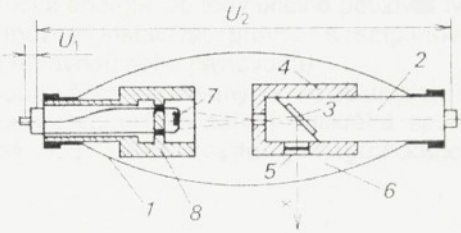
2.2.2 Vznik

Rentgenové záření vzniká prudkým zabrzděním rychle se pohybujících elektronů na terčíku anody rentgenky, kdy převážná část kinetické energie těchto elektronů se přemění na teplo a jen asi 1 % na energii rentgenového záření. Tato energie je tím vyšší, čím vyšší je rychlost dopadajících elektronů a čím rychleji jsou zbrzděny. Proto

záleží na napětí mezi katodou a anodou urychlující elektrony emitované žhavenou katodou a na materiálu terčíku anody. Množství této energie je závislé na velikosti žhavení katody rentgenky. Protože všechny elektrony uvolněné katodou nedopadnou na terčík anody stejnou rychlostí a také nejsou stejně zbrzděny, nemá energetické spektrum záření vycházející z rentgenky konstantní hodnotu, ale obsahuje celé spojité spektrum energií od 0 do maximálních energií brzděných elektronů. Podle druhu materiálu terčíku se v tomto spektru objevují špičky charakteristického záření, které je způsobeno přeskokem elektronu z vyšší energetické hladiny na hladinu nižší, ze které byl elektron vyslán mimo atom, přičemž rozdíl energií obou hladin je vyzářen ve formě fotonu charakteristického rentgenového záření.

2.2.3 Zdroj

Zdrojem rentgenového záření je elektronka, která se nazývá rentgenka. Každá rentgenka je v podstatě vakuová skleněná trubice s katodou se žhaveným vláknem a anodou z těžkého kovu tvořící terčík. Konstrukce rentgenky je závislá na účelu použití a je podmíněna energií a geometrií užitečného svazku záření. Z těchto hodnot jsou odvozeny další konstrukční prvky rentgenky, např. tvar anody, způsob žhavení, napájení, chlazení apod.



Obr. 2.2 Schéma rentgenky
1 - skleněná baňka, 2 - anoda, 3 - terčík anody, 4 - fokusační nástavec anody, 5 - výstupní okénko anody, 6 - vzduchoprázdný prostor, 7 - žhavicí spirála katody, 8 - katoda, U_1 - žhavicí napětí, U_2 - anodové napětí, X - směr záření

Rentgenový přístroj se skládá z rentgenky, napájecího zdroje a ovládacího systému. Každá rentgenka umístěná buď společně se zdrojem napájení, nebo zvlášť, je chráněna proti poškození vhodným krytem s přívodem chladicího media, žhavicího proudu a vysokého napětí.

2.3 Prozařování radioizotopy

Zdrojem radioaktivního záření gama je nestabilní rozpadající se jádro radioaktivního izotopu, při přeměně (transmutaci) jednoho prvku na druhý. Dochází k jejich samovolnému rozpadu za emise částice ionizujícího záření. Při emisi nabitých částic je nové vzniklé jádro v excitovaném stavu. Rozdíl energií mezi excitovaným a základním stavem jádra je vyzářen ve formě fotonů záření gama. Jelikož tento děj probíhá pouze při určité energii, má záření gama čárové spektrum.Pro účely radiografie se používají přirozené a zejména umělé radioaktivní zářiče, které leží v oblasti krátkovlnného až velmi krátkovlnného záření. Jsou to například: Kobalt ^{60}Co, Thulium ^{170}Tm, Iridium ^{192}Ir, Selen ^{75}Se, Yterbium ^{169}Yb.

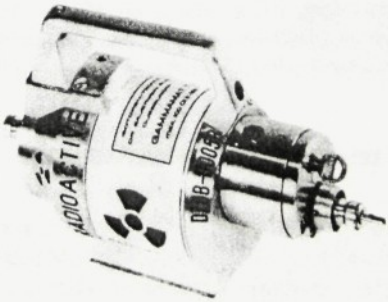
2.3.1 Přístroje pro ovládání izotopových zářičů

V podstatě jde o výrobky ochranného krytí doplněné různými manipulačními zařízeními. Na rozdíl od rentgenky, která vyzařuje rentgenové záření, je-li na ni přivedeno vysoké a žhavicí napětí, vyzařuje nestabilní izotopový zdroj záření gama trvale. Proto musí být přechováván v ochranném krytu, jehož konstrukce a stínění musí vyhovovat podmínkám použití druhu a aktivity zářiče. Jako základního stínícího materiálu se používá olova nebo též wolframu a uranu z důvodu podstatného snížení rozměrů a hmotnosti při zachování výborných stínících vlastností krytu. Pracovní kryty jsou ovládány většinou dálkově, z nichž je v současné době nejrozšířenější kryt Gammamat. Manipulačními prvky lze vysunout zářič do vzdálenosti několika metrů od krytu a po ukončení expozice jej opět bezpečně vrátit do krytu. Gamadefektoskopy tohoto typu se používají pro zářiče do aktivity až 3700 Gbq. Zářiče s vyšší aktivitou jsou většinou trvale umístěny v ochranném krytu a manipulace s nimi se provádí dálkovým natočením ovládacího pouzdra se zářičem proti výstupnímu okénku, které zároveň kolimuje užitečný svazek záření na požadovanou hodnotu.

2.3.2 Srovnání radioizotopů s rentgenkou

Výhodou gamadefektoskopů ve srovnání s rentgenkou je skutečnost, že radioizotopy nepotřebují zdroj elektrické energie. Je tedy účelné používat tyto přístroje při kontrole v terénu, kde není možné instalovat provoz s rentgenovou aparaturou (např. snímkování svarů trub ropovodů nebo plynovodů).

Podstatnou nevýhodou všech používaných radioaktivních izotopů je okolnost, že emitují pouze čistě monochromatické záření (diskrétní spektrum), což ze stránky radiografické znamená vždy nižší kvalitu gamagrafického obrazu zkoušeného předmětu.



Obr. 2.3 Gamadefektoskopický přístroj Gammamat TK 100 fy. Sauervein

Tabulka 2 - Srovnání radioizotopů s rentgenkou

Metoda	Měří nebo detekuje	Aplikace	Výhody	Omezení
Prozařování radioizotopy (^{60}Co, ^{192}Ir, ^{170}Tm) *Gamma Radiography* **RT**	Vnitřní vady - porezita, vměstky, trhliny, neprůvary, korozní zeslabení, atd.	Kde nelze použít rentgenku nebo není k dispozici. Panoramatické zobrazení.	Nízká pořizovací cena. Trvalý záznam na film. Přesnost.	Jedna energetická úroveň zdroje. Snižování aktivity s časem. Radiační ohrožení. Horší geometrická neostrost.
Rentgenografie *X - Radiography* **RT**	Vnitřní vady - porezita, vměstky, trhliny, neprůvary, korozní zeslabení. Změna hustoty.	Odlitky. Svary. Tenké tvářené polotovary. Nekovy. Kompozity.	Trvalý záznam na film. Měnitelná úroveň energie. Vysoká citlivost na změny hustoty.	Vysoká pořizovací cena. Vliv orientace vady. Radiační ohrožení. Není indikována hloubka vady.

2.4 Možnosti a rozsah zkoušek prozařováním

Možnosti a rozsah zkoušek prozařováním jsou dány použitím konkrétního zdroje záření (určité energie záření), které jsou k dispozici. Energii záření je nutno volit tak, aby bylo dosaženo nejlepší zjistitelnosti vad při zvoleném způsobu prozařování. Rentgenové záření se používá všude tam, kde je to technicky možné, tj. u oceli asi do 75 mm tloušťky prozařované stěny. Ostatní kovy (např. hliník, mosaz, měď apod.) do tlouštěk rovnocenných 75 mm oceli, přibližně v poměru měrných hmotností.

Záření gama se využívá všude tam, kde je to technicky odůvodněno (např. na montážích, požadavek různé projekce) nebo pro tloušťky stěn nad 75 mm oceli. Pro tloušťky nad 120 mm oceli je výhodné použít betatron nebo lineární urychlovač.

2.5 Vliv technologie zpracování na zjistitelnost vad při zkouškách prozařováním

Technologie zpracování má značný vliv na vznik vad, na jejich tvar a orientaci. Proto je zjistitelnost vad u materiálů technologicky různě zpracovaných značně rozdílná.

Odlitky obsahují většinou vady prostorové (bubliny, řediny, staženiny), které lze prozařováním dobře zjistit. Plošné vady (např. trhliny), lze zjistit pouze za určitých podmínek, např. jsou-li vhodně orientovány ve směru záření.

Svarové spoje - svarový kov má v podstatě litou strukturu. Při svařování vznikají prostorové vady (např. póry, bubliny, vměstky), které lze prozářením většinou dobře zjistit. U plošných vad (studených spojů, neprůvarů, popř. trhlin) je zjistitelnost podmíněná - záleží vždy na rozměru vady ve směru záření.

Tvářené materiály - výkovky, výlisky obsahují většinou vady typu dutin, vměstků apod., které se při tváření zpravidla zploští, takže jde v podstatě o plošné vady. Tyto vady však nelze prozařováním spolehlivě zjistit.

2.6 Detekce ionizujícího záření - radiografický film

Podle množství dopadlého záření na film během expozice a tím i absorbovaného záření v emulzi filmu vzniká po negativním zpracování filmu větší či menší zčernání. Je-li tloušťka materiálu zeslabena ve směru záření vadou o určité tloušťce a o vhodné orientaci, dopadne v průmětu vady na fotografický film záření o větší intenzitě než v ostatních místech. Proto se na filmu po vyvolání objeví obraz vady, který má větší zčernání než okolí.

Radiografickým filmem označujeme fotomateriál vyrobený se zvýšenou citlivostí k pronikavému záření. Pouze 1% intenzity pronikavého záření procházejícího filmem reaguje s jeho citlivou vrstvou a podílí se na vytváření latentního obrazu.

2.7 Vlastnosti radiografického filmu

- Průhlednost (opacita O) - poměr intenzity světla dopadajícího na radiogram k intenzitě světla prošlého již vyvolaným filmem.
- Zčernání (optická hustota D - *Density*) - dekadický logaritmus opacity (lze výhodně měřit fotometry nebo denzitometry).

Hodnota zčernání exponovaného a fotochemickou cestou zpracovaného filmu, je při určité tvrdosti pronikavého záření vždy funkcí intenzity tohoto záření I a doby expozice t podle vztahu

$$D \cong I \cdot t \,,$$

kde výraz na pravé straně představuje tzv. ozařovací hodnotu [mA•min] pro rentgenku, nebo [GB•hod] pro gama zářič. Grafické zobrazení závislosti optické hustoty na logaritmu ozařovací (expoziční) hodnoty určuje tzv. *charakteristiku filmu*.

- Dodržení zvolené gradace (tj. strmosti charakteristické křivky v oblasti správné expozice).
- Jemnozrnnost (údaj zrnitosti je důležitý též pro vyhodnocení vnitřní neostrosti radiogramu).

[2]

Vnitřní neostrost vzniká interakcí záření s radiografickým filmem, tedy absorpcí a rozptylem fotonů v citlivé vrstvě filmu. Prakticky si lze představit, že kdyby na rentgenový film dopadl úzký svazek záření určité šíře, zobrazí se vždy jako tmavá linie o větší šíři s určitým stupněm neostrosti. Ta závisí především na druhu radiografického filmu, energii záření a na druhu zesilovacích fólií.

2.8 Parametry při expozicích

2.8.1 Ohnisková vzdálenost

Ohnisková vzdálenost f je vzdálenost ohniska zdroje záření od použitého detektoru záření (radiografického filmu, zesilovače obrazu, fluorescenčního stínítka apod.). Obecně platí zásada, že film musí být umístěn co nejblíže prozařovanému předmětu na straně protilehlé zdroji záření. Pokud to zakřivení povrchu výrobku vyžaduje, je nutno použít ohebné kazety, aby byl film co nejvíce přizpůsoben tvaru stěny.

Vzdálenost ohniska *f* od filmu

$$f = a + b\,,$$

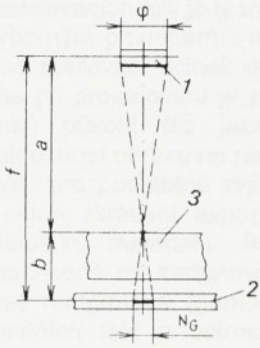
kde a je vzdálenost zdroje záření od zkoušeného předmětu,
b je vzdálenost roviny filmu od povrchu předmětu.

V praxi se hodnota a určuje přímo z monogramu podle ČSN 01 5010.

2.8.2 Expozice

V technické radiografii je expozice (expoziční dávka) chápána jako součin expoziční rychlosti použitého druhu záření a času potřebného k získání optimálního obrazu zkoušeného předmětu. Tento čas se nazývá expoziční doba. Ke stanovení expoziční doby při radiografických zkouškách se používá několik metod:

- stanovení expoziční doby odhadem spojeným s kontrolní zkouškou,
- podle expozičních diagramů (většinou dodávány výrobci filmů jako součást technické dokumentace),
- měřením (dávkové rychlosti, dávky apod.),
- výpočtem s využitím výpočetní techniky (zejména u zkoušek s radioaktivními zářiči).



Obr. 2.4 Základní údaje geometrie zkoušky prozařováním a vznik geometrické neostrosti N_G. 1 - zdroj záření, 2 - kazeta s filmem, 3 - zkoušený předmět, a - vzdálenost zdroje záření od zkoušeného předmětu, b - vzdálenost roviny filmu od povrchu předmětu, f - ohnisková vzdálenost, t - tloušťka zkoušeného předmětu, φ - efektivní velikost ohniska

Geometrická neostrost N_G vzniká proto, že ohnisko zdroje záření není bodové, nýbrž má určité, i když malé rozměry. To se projevuje tím, že okraje obrazu (detailu) vady nejsou ostře ohraničeny, ale mají určité přechodové pásmo (obr. 2.4). Geometrická neostrost

$$N_G = \varphi \frac{b}{a}\,,$$

Hodnota geometrické neostrosti závisí tudíž na rozměru ohniska zdroje záření a na vzdálenostech předmět (vada) - film a zdroj - předmět (vada).

Rozptýlené rentgenové (gama) záření vzniká jednak interakcí záření s materiálem, jímž prochází, jednak interakcí s materiálem okolních předmětů (např. podlahy, stěny apod.). Oba druhy rozptýleného záření působí velmi nepříznivě na kvalitu radiogramu. Snižuje se ostrost, ale hlavně se zhoršuje kontrast radiogramu. Proto je třeba snížit vliv rozptýleného záření při tvorbě radiogramu na minimum použitím filtrů, clon, masek a tubusů.

2.9 Pomůcky používané při prozařování

2.9.1 Pevné kazety

Pevné kazety se používají při snímkování rovinných součástí. Chrání film před poškozením a zajišťují jeho snadné vkládání a vyjímání. Kazeta bývá uvnitř opatřena pružící vložkou, aby při snímkování zajišťovala dobrý styk filmu se zesilovacími fóliemi.

2.9.2 Ohebné kazety

Ohebné kazety jsou nejčastěji určeny pro snímkování obvodových svarů. Zhotovují se např. z papíru, gumy nebo plastických hmot.

2.9.3 Zesilovací fólie

Zesilovacích fólií se používá ke zvýšení účinku záření na citlivou vrstvu radiografického filmu, čímž je umožněno zkrácení expoziční doby. Základním požadavkem správné účinnosti zesilovacích fólií je těsný kontakt s filmem v kazetě.

Kovové fólie jsou plechy s výborným povrchem z materiálu Pb, Cu, Fe, Sn, Ta, tlouštěk od 0.02 do 3 mm. Jejich zesilovací účinek daný působením fotoelektronů, vzniklých v povrchové vrstvě fólie při prozařování je přibližně dvojnásobný. Kovové fólie kromě zesilovacích účinků působí též jako filtry složky rozptýleného (odraženého) záření a zlepšují tak ostrost obrazu na radiogramu.

Fluorescenční fólie se používají pro podstatné zvýšení hodnoty zesílení obrazu radiogramu. Tím je zajištěno nejen zkrácení expozice, ale především možnost zvětšení oboru prozářitelné tloušťky materiálu. Podstatnou část tvoří vrstva luminoforu (většinou $CaWO_4$) nanesená na kartonovou nebo plastickou podložku, která má za úkol transformovat rentgenové (gama) záření na viditelné světlo. Zesilovací schopnost fluorescenčních fólií a ostrost jejich kresby jsou veličiny nepřímo úměrné. To znamená, že ostrost kresby je tím nižší, čím více luminoforu fólie obsahuje. Zesilovací schopnost sice roste s tvrdostí záření, ostrost kresby však klesá následkem většího rozptylu záření v prozařovaném materiálu. Proto se nedoporučuje používat fluorescenční fólie pro zjišťování malých vad.

2.9.4 Clony, masky a tubusy

Při snímkování je vždy snaha, aby na film dopadalo záření jen v míře nezbytně nutné pro vytvoření snímku. Pomocí těchto pomůcek se primární svazek omezuje na užitečnou část, aby tak bylo v co největší míře zabráněno vzniku škodlivého rozptýleného záření.

2.9.5 Filtry

Filtry jsou kovové desky (Pb, Sn, Cu, Al apod.), které se vkládají mezi zdroj záření a prozařovaný předmět ke snížení rozptylu v prozařovaném předmětu a homogenizaci svazku záření nebo se umisťují mezi prozařovaný předmět a kazetu s filmem pro potlačení vlivu rozptýleného dlouhovlnného záření.

2.9.6 Měrky pro hodnocení jakosti radiogramu

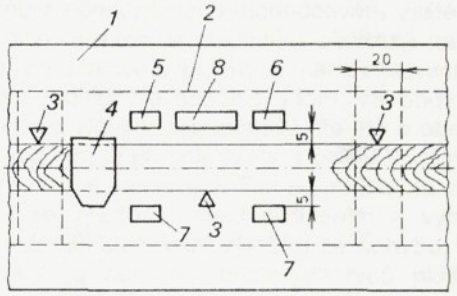
Radiogram musí mít vyhovující jakost, tj. ostrost, kontrast a schopnost rozlišení skrytých vad. V praxi se určuje jakost radiogramu měrkami (drátkovými, stupňovými, otvorovými aj.), které jsou současně zobrazovány na snímku s prozařovaným předmětem. Měrky tak představují umělé vady, zobrazené svým polohováním při nejméně výhodných podmínkách projekce z hlediska dosažení ostrosti a kontrastu jejich obrazu. V případě drátkových měrek je jakost radiogramu určena průměrem nejmenšího viditelného drátku měrky na radiogramu v mm.

2.9.7 Defektometr

Defektometr je měrka s drážkami stejné šířky, různé hloubky, které slouží k přibližnému určování hloubky vady podle zčernání jejího obrazu na radiogramu.

2.9.8 Čísla a značky

Každý radiogram musí být označen tak, aby bylo možno ho přiřadit jednoznačně ke kontrolovanému úseku a přesně určit místo zachycené vady. K tomu účelu se používá obvykle olověných značek a číslic.



Obr. 2.5 Označování radiogramů svarů
1 - deska se svarem, 2 - kazeta s filmem, 3 - trojúhelníky vymezující vlastní svar, 4 - radiografická měrka, 5, 6 - označení svaru, 7 - značka výrobce, 8 - defektometr

2.10 Pracovní postup při radiografických zkouškách

1. Příprava ke zkoušce prozařováním

   - volba druhu záření a jeho energie vzhledem k prozařovanému materiálu a jeho tloušťce
   - volba nejvýhodnějších geometrických podmínek vzhledem k přístupnosti a podmínkám prozařování
   - volba správného typu filmu a fólií
   - vhodné označení prozařovaných úseků
   - správné stanovení expoziční doby

2. Prozáření materiálu (výrobku)
3. Negativní zpracování exponovaného filmu (ručně nebo ve vyvolávacích automatech)
4. Vyhodnocení radiogramu
5. Vyhotovení záznamu (protokolu) o výsledcích zkoušky.

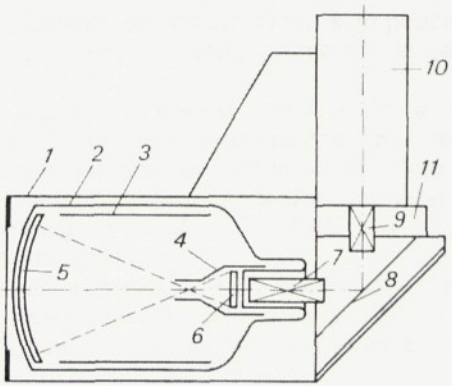
2.11 Požadavky na úpravu povrchu zkoušeného předmětu

Před zkouškou prozařováním se musí odstranit z povrchu materiálu všechno, co by mohlo vést k mylnému hodnocení radiogramu (např. rozstřik svarového kovu, zbytky strusky, mechanické nečistoty apod.). Tyto požadavky platí pro zkoušenou součást, pokud není stanovena jiná úprava povrchu, např. technickými podmínkami, přejímacími předpisy apod. Zkoušce prozařováním musí předcházet vizuální kontrola povrchových vad.

3. Technika radioskopie

Rentgenový televizní řetězec je zařízení, které umožňuje rentgenové zobrazení zkoušené součásti na obrazovce televizního monitoru. Celý řetězec tvoří vzájemné propojení zdroje záření, převáděče s televizní kamerou a napájecím zdrojem se zobrazovacím monitorem. Převáděč slouží k převedení neviditelného rentgenového záření do oblasti viditelného světla. Skládá se ze zesilovače obrazu spojeného se vstupním konverzním polem, televizní kamerou přizpůsobenou požadavkům zesilovače obrazu a optického vazebního členu umožňujícího optické spojení zesilovače obrazu s televizní kamerou. Na zařízení lze napojit doplňkovou elektroniku, která umožňuje objektivizaci vyhodnocování zjištěných vad (např. pro obrazový záznam). Zařízení umožňuje sledování obrazu i za pohybu, proto jsou zkoušené součásti uloženy v dálkově ovládaných manipulátorech.

Hlavní výhoda klasické radiografie spočívá v tom, že podává názorný obraz o druhu, rozměru a poloze vad. Nevýhodou zůstává, že jde o obraz statický. Proto při zkoušení výrobků prozařováním (zejména svary a odlitky) nahrazujeme snímkování na film vhodným radioskopickým zařízením. Tím se podstatně sníží náklady na filmy a chemikálie a odstraní se zpoždění mezi pořízením a vyhodnocením snímku. Podstatná je i výhoda možnosti sledování výrobku za pohybu, což kromě zrychlení kontroly, zlepšuje vyhlídky na odhalení některých typů plošných vad příznivou projekcí.



Obr. 3.1 Převaděč rentgenového televizního řetězce
1 - kryt převáděče, 2 - převáděč, 3 - ostřící elektrody, 4 - anoda, 5 - vstupní pole převáděče, 6 - výstupní stínítko, 7 - optický vazební člen, 8 - zrcadlo, 9 - objektiv kamery, 10 - televizní kamera, 11 - dálkové ovládání objektivu kamery

3.1 Výhody rentgenového televizního řetězce:

1. Rentgenový obraz je vidět na monitoru okamžitě, odpadá mnohdy zdlouhavé exponování filmu a jeho zpracování, což umožňuje i plynulý pohyb zkoušeného předmětu ve svazku záření.
2. Viditelný obraz umožňuje nastavení optimálních parametrů prozařování, a tím dosažení nejlepšího obrazu vzhledem ke zjišťované vadě.
3. Doplňková zařízení umožňující automatizované vyhodnocování zjištěných vad a jejich záznam (paměťová média).
4. Rychlost prováděných zkoušek, zvláště při sériové kontrole výrobků, přináší značné ekonomické výsledky.

3.2 Nevýhody rentgenového televizního řetězce:

1. Nižší rozeznatelnost vad, která nedosahuje parametrů dosažitelných na radiografických filmech. Dosažení drátkové rozeznatelnosti pod 2% je problematické, zatímco u filmů lze dosáhnout hodnot pod 1%.
2. Omezená energie záření vzhledem ke konverzní vrstvě převaděče. To znamená i tloušťkové omezení prozařovaných výrobků.
3. Nutnost stínění a vykrývání těch částí výrobků, jejichž prozáření vzhledem k požadovanému obrazu by způsobilo přezáření převaděče, omezuje rychlost zkoušek. V tomto případě se používá dálkově řízených clon, které se nastavují podle obrazu na monitoru.

Poznámka: Je snahou rentgenových televizních systémů zařízení stále zdokonalovat, zvláště co se týče rozeznatelnosti vad, prozařovaných tloušťek (citlivost převaděče na vyšší energie) a omezení jasu (odstranění stínění a vykrývání).

3.3 Srovnání systémů pro vytvoření rentgenového obrazu

Zásadní rozdíl mezi radiografií a radioskopií je závislý na rozdílných detektorech a podmínkách zobrazení. Zatímco při radiografii má šum pouze velmi malý význam, u radioskopických systémů je jeho vliv velký. Tento vliv je velmi patrný při kontrole v reálném čase.

Při radiografii jsou expozice i několik minut a tím je vliv kvantového šumu redukován. U rentgentelevizních systémů je závislost času snímání obrazu závislá na opakovací frekvenci televizního snímku, což je 40 ms. Toto vede k zrnitosti celého obrazu. S pomocí číslicového zpracování obrazu je možné tento šum výrazně potlačit sumací jednotlivých snímků do paměti. (Podobně jako prodloužením expozičního času u kontroly na rentgenový film.)

Dále je místní rozlišení v současné době používaných detektorů výrazně horší (nižší). (Film 0,1 mm, zesilovač obrazu - kamera 0,3 mm.) Toto je však možné kompenzovat geometrickým zvětšením. Při kontrole odlitků se jedná o zvětšení cca 1,5 - 2,5 krát.

Významné rozdíly jsou ale ve variabilnosti zkušební perspektivy. Zatímco při radiografii, kdy je film těsně pod zkoušeným dílem, jsou možnosti při radioskopii neomezené.

Přestože při radioskopii je horší místní rozlišení ve srovnání s kontrolou na rentgenový film, je možné dosáhnout přinejmenším stejné kvality, jako při kontrole na film. Základem k tomu je možnost využití nastavitelnosti zvětšení a pro redukci šumu využití číslicového zpracování obrazu.

4. Zpracování obrazových signálů a vztah k počítačovému vidění

4.1 Počítačové vidění

Počítačové vidění je vědní disciplína, která se snaží technickými prostředky alespoň částečně napodobit lidské vidění. Zrak je pro člověka zdrojem převážné většiny informací o okolním prostředí. Kromě vlastních obrazových vjemů hraje při vyhodnocování obrazové informace podstatnou roli inteligence člověka a jeho předchozí zkušenosti. Právě inteligence umožňuje reprezentovat dlouho nabývané znalosti či zkušenosti o okolním světě a využívat je i pro řešení nových úloh. Počítače jsou s ohledem na současný stupeň rozvoje technologie asi nejrozvinutějším nástrojem, který napomáhá snahám o technické napodobení biologického vidění. Je to pro jejich univerzálnost, programovatelnost, rychlost a značnou paměťovou kapacitu. Počítačové vidění je v širším slova smyslu považováno za součást umělé inteligence. Je to i proto, že se musí při snaze napodobit vidění živočichů vypořádat s řešením špatně podmíněných úloh, velkou algoritmickou složitostí a neurčitostí.

Postupy počítačového vidění jsou značně složité. Každý algoritmus zpracování a interpretace obrazu je možné dekomponovat na *nižší* a *vyšší úroveň*. Cílem nižší úrovně je analyzovat vstupní dvourozměrná obrazová data číselného charakteru a najít kvalitativní informace potřebné pro algoritmy vyšší úrovně. Postupy nižší úrovně se používají například pro potlačení šumu v obraze, rozpoznávání jednoduchých obrazců v obraze apod. Pro nižší úroveň se často používá název zpracování obrazu (*image processing*). Postupy vyšší úrovně jsou typické použitím náročných algoritmů expertních systémů a technik umělé inteligence. Vyšší úroveň je označována jako počítačové vidění (*computer vision*).

4.2 Zpracování 2D obrazů

Techniky zpracování 2D obrazů jsou využívány počítačovým viděním a současně mají mnoho samostatných aplikací. Postup zpracování a rozpoznávání obrazů reálného světa se daří obvykle rozložit do posloupnosti, kterou tvoří tyto základní kroky:

- snímání, digitalizace a uložení obrazu v počítači
- předzpracování obrazu
- segmentace obrazu na objekty
- popis objektů
- porozumění obsahu obrazu

Prvním krokem ve zpracování obrazu je *snímání, digitalizace* a *uložení obrazu* v číselné podobě do počítače. Při snímání se převádějí vstupní spojité fyzikální veličiny (v čase i úrovni) na spojitý elektrický signál. Vstupní optickou veličinou může být jas, intenzita rentgenového záření, intenzita odraženého ultrazvuku, intenzita úměrná teplotě v termovizi aj. Obraz může být modelován matematicky pomocí spojité skalární funkce f dvou nebo tří proměnných, kterou nazýváme *obrazová funkce*. V jednoduchém případě je statický obraz popsán obrazovou funkcí dvou souřadnic $f(x,y)$ v rovině. Obrazová funkce tří proměnných se použije, buď když se plošné obrazy mění v čase t, tj. $f(x,y,t)$ nebo v případě objemových obrazů $f(x,y,z)$, např. u tomografu. Hodnotou obrazové funkce je nejčastěji *jas* (intenzita), protože je veličinou měřenou čidly pro vstup obrazu. Jas je veličina, která souhrnně vyjadřuje vlastnosti obrazového signálu způsobem, který odpovídá jeho vnímání člověkem.

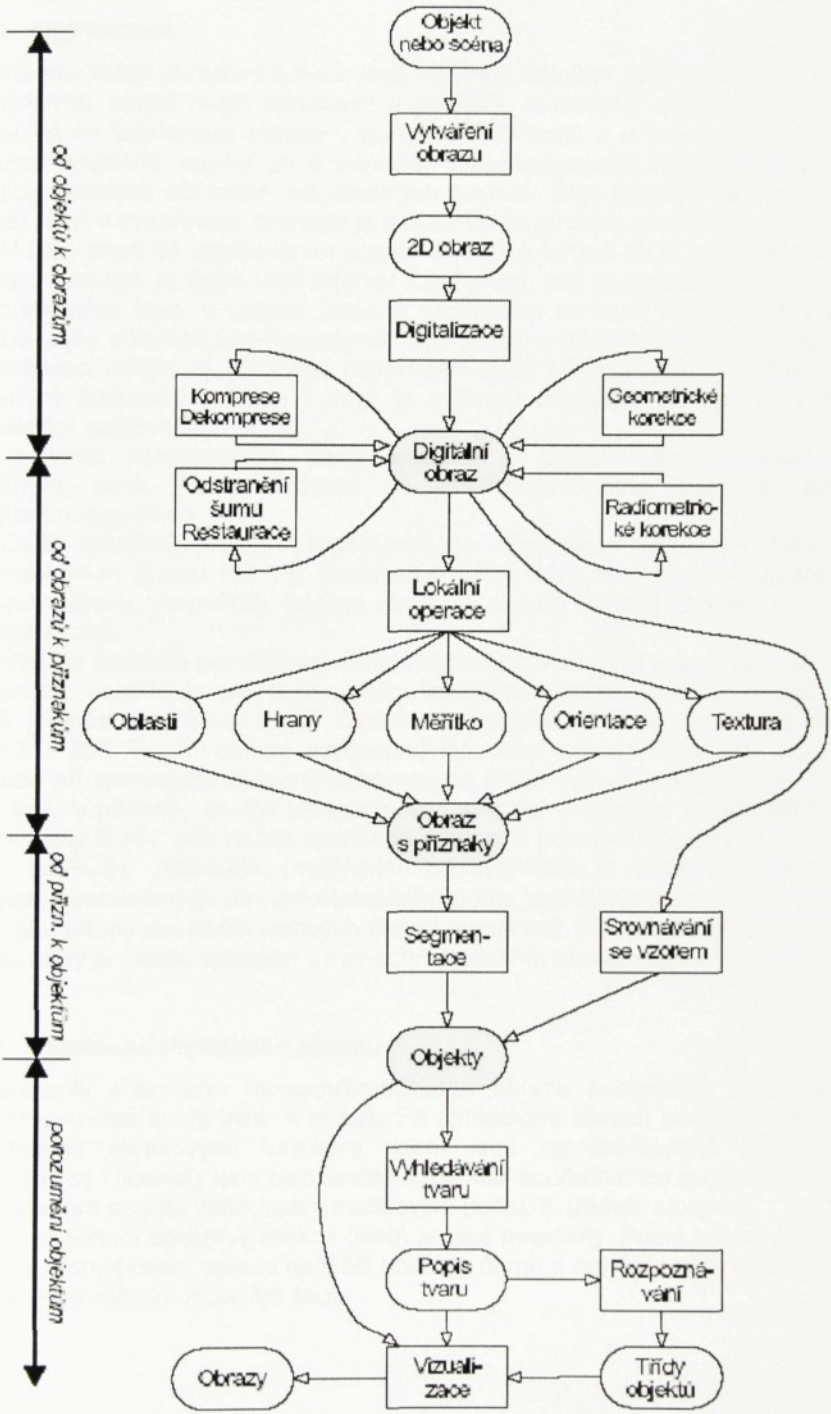
Snímat se může v jednom nebo více spektrálních pásmech. Digitalizací se převádí vstupní spojitý signál do diskrétního tvaru. Vstupní signál je vzorkován a kvantován. Výsledkem vzorkování a kvantování spojitého obrazu je matice přirozených čísel popisujících obraz. Prvky matice jsou obrazové elementy (též *pixely* z angl. picture element), jejichž hodnota je úměrná jasu. Z hlediska dalšího zpracování digitalizovaného obrazu je obrazový element dále nedělitelná nejmenší jednotka.

Druhým základním krokem je *předzpracování obrazu*. Vstupem i výstupem předzpracování je digitální obraz. Cílem předzpracování je potlačit šum a zkreslení vzniklé digitalizací a přenosem obrazu. Odstraňování šumu je založeno na nějaké formě průměrování, často v poměrně malém okolí zpracovávaného bodu. Vychází se z předpokladu, že sousední body obrazu mají pravděpodobně stejnou nebo podobnou hodnotu jasu. Nevýhodou průměrování je, že obraz rozmazává.

Třetím a nejtěžším krokem postupu je *segmentace*, která umožňuje v obraze najít objekty. Za objekty se považují ty části obrazu, které nás z hlediska dalšího zpracování zajímají. Cílem segmentace je rozdělit 2D obraz na nepřekrývající se oblasti odpovídající objektům. V jednoduchých případech se zcela povede přiřadit oblasti objektům. Velmi často nalezené oblasti neodpovídají třeba objektům, ale jsou dobrým krokem k jejich nalezení v dalším zpracování. Potom mluvíme o *částečné segmentaci*. Při segmentaci se využívá znalosti interpretovaného obrazu (sémantika).

Čtvrtým krokem postupu je *popis nalezených objektů v obrazu*. Lze je popsat buď kvantitativně pomocí souboru číselných charakteristik, a nebo pomocí relací mezi objekty. Způsob popisu objektů je ovlivněn tím, na co se popis bude používat. Za krajně jednoduchý popis lze považovat například stanovení velikosti (plochy) objektu, tj. počtu jemu odpovídajících obrazových bodů v obrazu.

Posledním krokem zpracování obrazu je *porozumění jeho obsahu*. V praktických případech jde o rozpoznávání, tedy klasifikaci segmentovaného obrazu do některé z několika předem známých tříd. V jednoduchém případě může jít o klasifikaci objektů v obrazu podle jejich velikosti. V obecném případě představuje porozumění interpretaci obrazových dat, o kterých se předem nic nepředpokládá. Porozumění obrazu je potom založeno na znalosti, cílech, tvorbě plánů k jejich dosažení a využití zpětných vazeb mezi různými úrovněmi zpracování. Je zde zřejmá snaha napodobit proces vnímání u člověka a jemu podobný způsob rozhodování na základě informace obsažené v obrazu. Pro proces porozumění se v počítačovém vidění používají postupy vyšší úrovně zpracování obrazu. Je však třeba říci, že technicky se dnes daří realizovat jen triviální úlohy porozumění obrazu ve srovnání se schopnostmi člověka.



Obr. 4.1 Hierarchie úloh zpracování obrazu. [1]

5. Digitální obraz

5.1 Digitalizace

Čidla pro vstup obrazové funkce jsou většinou zdrojem spojitého signálu. Abychom obrazovou funkci mohli zpracovat v počítači, musíme 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. Čím jemnější je vzorkování (čím větší M,N) a kvantování, tím lépe je aproximován původní spojitý obrazový signál.

V souvislosti se vzorkováním spojité obrazové funkce $f(x,y)$ je potřeba vyřešit dvě otázky. Jednak je třeba určit *interval vzorkování*, což je vzdálenost mezi nejbližšími vzorkovacími body v obraze. Interval vzorkování se musí volit tak, aby byl menší nebo rovný polovině rozměru nejmenších detailů v obraze. Druhou otázkou je *výběr vzorkovací mřížky*, tj. plošného uspořádání bodů při vzorkování. V praxi se nejvíce používá čtvercová mřížka, i když je příčinou problémů se spojitostí oblastí při zavádění vzdálenosti.

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

Další součástí procesu digitalizace je *kvantování obrazové funkce*. Počet kvantovacích úrovní má být dostatečně velký, aby byly přesně vyjádřeny jemné detaily obrazu, nevznikaly falešné obrysy a aby se citlivost zařízení blížila citlivosti lidského oka.

Většina systémů pro digitální zpracování obrazu používá kvantování do k stejných intervalů. Jestliže je pro reprezentaci informace o obrazovém elementu použito b bitů, je počet úrovní jasu $k = 2^b$. Obvykle se používá 8 bitů na obrazový element, tedy $k = 2^8 = 256$. Binární obrazy reprezentují informaci o obrazovém bodě jediným bitem. Pouze při zpracování barevného obrazu se jeden vzorek reprezentuje 16, 24 nebo 32 bity. V případě, že byl vstupní obraz snímán v několika spektrálních pásmech (nejčastěji RGB), pak každé spektrální pásmo je popsáno obrazovou funkcí $f_i(x,y)$, kde $i \in \{RGB\}$. Největším problémem při kvantizaci je vznik falešných obrysů u obrazů kvantovaných do nedostatečného počtu jasových úrovní. Tento jev se stane člověku patrný pro počet jasových úrovní menší než 50, což je přibližný počet úrovní jasu, který je člověk schopen v monochromatickém obraze odlišit.

5.2 Vlastnosti digitálního obrazu

Argumenty statického monochromatického obrazu popsaného obrazovou funkcí $f(x,y)$ jsou dvě souřadnice v rovině. Při zpracování obrazů počítačem se pracuje s digitálními obrazovými funkcemi, které jsou reprezentované maticemi. Jejich souřadnice i hodnoty jsou celočíselné. Orientaci souřadnic lze zvolit např. v obvyklém kartézském smyslu nebo jako v maticovém počtu, tj. (řádek, sloupec).

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

5.3 Metrické a topologické vlastnosti obrazu

V digitálním zpracování obrazů se používá několik definic vzdálenosti. Uvažujme digitální obraz složený z pixelů konečných rozměrů uspořádaných do čtvercové vzorkovací mřížky a dva obrazové body se souřadnicemi (x,y), (h,k). *Euklidovská vzdálenost* D_E je známa z elementární geometrie,

$$D_E((x,y),(h,k)) = \sqrt{(x-h)^2 + (y-k)^2}\,.$$

Její výhodou je názornost. Nevýhodou je složitější výpočet kvůli odmocnině a skutečnost, že výsledkem je neceločíselná hodnota, což neodpovídá kvantovaným hodnotám v digitálních obrazech.

Vzdálenost mezi dvěma body si lze také představit jako nejmenší počet kroků jednotkové vzdálenosti nutných pro přesun z výchozího do cílového bodu v pravoúhlé diskretizační mřížce. Jsou-li povoleny jen kroky o jedno pole v mřížce buď ve vodorovném nebo ve svislém směru, získáme vzdálenost D_4, které se říká *vzdálenost v městských blocích* díky analogii se vzdáleností ve městě s pravoúhlou sítí ulic,

$$D_4((x,y),(h,k)) = |x-h| + |y-k|\,.$$

Když navíc připustíme i jednotkové kroky v diagonálním směru, je odpovídající vzdáleností D_8, které se také říká *šachovnicová vzdálenost*,

$$D_8((x,y),(h,k)) = \max\{|x-h|,|y-k|\}.$$

Pro digitální obrazy je dalším potřebným pojmem *sousednost pixelů*. Dva pixely jsou *4-sousedy*, pokud je jejich vzdálenost $D_4 = 1$. Podobně jsou dva pixely *8-sousedy*, když $D_8 = 1$.

Množinu pixelů navzájem vázaných relací sousedství, nazýváme *oblastí*. Oblast je souvislá (kompaktní) množina pixelů, mezi jejímiž každými dvěma body existuje cesta, která patří celá do oblasti.

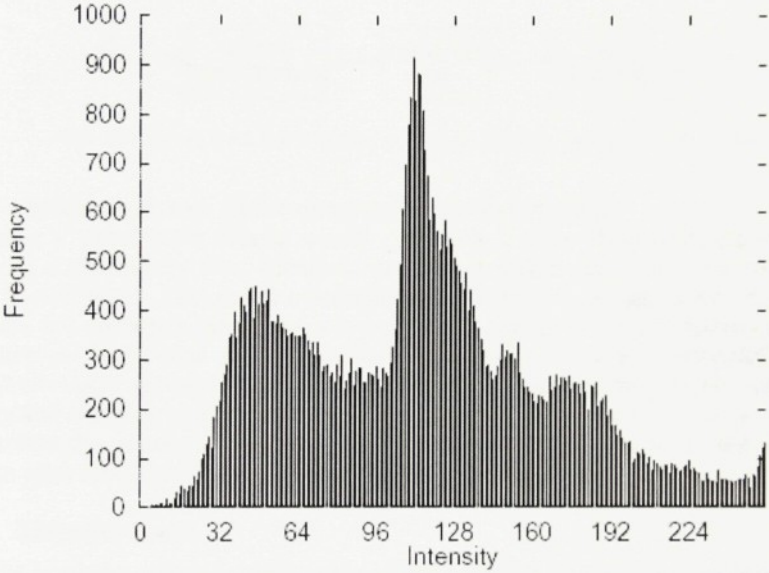
Dva pixely v obraze, mezi nimiž existuje cesta, se nazývají *souvislé pixely*. Oblast tedy tvoří takové pixely, jejichž každá dvojice je souvislá. Relace „být souvislým" definuje rozklad množiny (obrázku) na třídy ekvivalence (oblasti).

Důležitým pojmem v analýze obrazu je *hranice oblasti*. Hranice oblasti je množina všech obrazových elementů oblasti, z nichž každý má alespoň jednoho souseda, který nepatří do této oblasti. V digitálním obraze, pokud je hranice chápána jako složená z pixelů, je třeba rozlišit vnitřní a vnější hranici. *Vnitřní hranice* potom odpovídá předchozí definici hranice. *Vnější hranice* by byla hranicí pozadí, tj. množinového doplňku k oblastem.

K oblasti lze připojit vlastnosti, jejichž hodnoty mají původ v interpretaci obrazu. Obvyklé je nazývat některé oblasti obrazu *objekty*. Postup udávající, která oblast bude chápána jako objekt v příslušném světě, se nazývá *segmentace obrazu*.

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

Základní představu o rozdělení jasových úrovní (případně barev) v digitálním obraze získáme pomocí *histogramu*. Histogram jasu je vektor (v případě barevného obrazu matice) s počtem složek rovným počtu jasových úrovní. Hodnota každé složky odpovídá četnosti bodů příslušného jasu v obraze. Histogram lze chápat jako odhad hustoty pravděpodobnosti rozdělení jasu v obraze. Velmi často proto bývá jedinou globální informací o obraze. Můžeme ho použít při nastavování podmínek pro snímání a digitalizaci, při změnách jasové stupnice a při segmentaci obrazu na objekty a okolí.



Obr. 5.1 Histogram jasu pro L = 256 jasových úrovní.

5.4 Barevný obraz

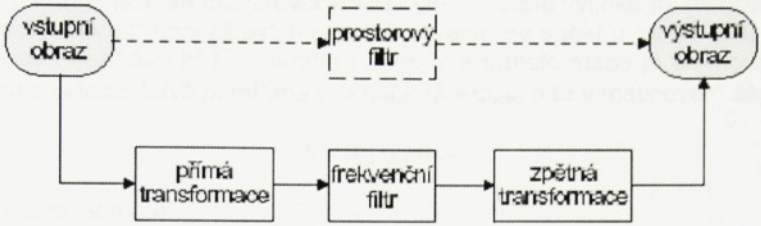
Obraz může být v jednodušším případě monochromatický. Je reprezentován jedinou obrazovou funkcí $f(x,y)$. Ve složitějším případě pracujeme s barevným (multispektrálním) obrazem. Každé dvojici plošných souřadnic (x,y) odpovídá vektor hodnot, např. jasů pro jednotlivé barevné složky obrazu. Barva je vlastnost 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, která pokrývají požadovaný rozsah vlnových délek. Obraz potom snímáme více senzory, z nichž každý je citlivý na poměrně úzkou část spektrálního pásma.

Barevný signál v normě barevné televize se skládá ze tří samostatných spektrálních složek RGB. Smícháním složek vzniká barevný obraz. 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. Postupy se aplikují na jednotlivé spektrální složky. Při vyhodnocení multispektrálních a barevných obrazů je třeba vzít v úvahu dva aspekty: velké množství dat a značnou podobnost mezi odpovídajícími daty ve složkách.

6. Diskrétní lineární integrální transformace

Diskrétní lineární integrální transformace vychází z představy filtru jako bloku zpracování (viz obr. 6.1), na jehož vstupu i výstupu je dvojrozměrný signál (obraz).



Obr. 6.1 Obraz lze lineárními filtry zpracovat buď v prostorové, nebo frekvenční oblasti.

V případě lineárních filtrů existují dvě ekvivalentní cesty:
Filtrace v prostorové oblasti obraz zpracovává jako lineární kombinaci vstupního obrazu s koeficienty filtru (často s mnohem menším definičním oborem než obraz, tzv. lokální filtry). Základním matematickým nástrojem je konvoluce. Tento přístup je na obr. 6.1 označen čárkovaně a je podrobněji rozebrán v následující kapitole.
Filtrace ve frekvenční oblasti nejdříve převede obraz lineární integrální transformací do „frekvenční reprezentace", kde se filtruje a výsledek filtrace se inverzní lineární integrální transformací převede opět na obraz. V mnoha případech je vyjádření filtru ve frekvenční reprezentaci názornější a možných transformací je více. Na obr. 6.1 je cesta přes frekvenční reprezentaci naznačen plnou čarou.

6.1 Základní teorie

Nechť je obraz reprezentován maticí celých čísel **f**. Obrazová transformace obvykle zpracuje celý obraz nebo jeho část (obvykle obdélníkovou). Má-li zpracovávaný obraz rozměry M × N, lze jej zapsat pomocí

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}.$$

Transformační matice **P** a **Q** rozměru M × M , resp. N × N se použijí k převedení matice **f** na matici **F**. Jak **f** tak i **F** jsou rozměru M × N . Převod je podle vztahu

$$\mathbf{F} = \mathbf{P}\,\mathbf{f}\,\mathbf{Q}\,,$$

Pokud jsou matice **P** a **Q** regulární (tj. mají nenulové determinanty), existují inverzní matice $\mathbf{P}^{-1}$ a $\mathbf{Q}^{-1}$. Inverzní transformaci lze zapsat

$$\mathbf{f} = \mathbf{P}^{-1}\mathbf{F}\mathbf{Q}^{-1}.$$

[1]

6.2 Fourierova transformace

Diskrétní Fourierova transformace (DFT) předpokládá, že obraz je jedna perioda 2D periodické funkce. Předpokládá tedy, že okraje obrazu budou stejné a budou na sebe navazovat. Jestliže tento předpoklad není splněn, jako v případě obrazu Pražského hradu, jsou ve fourierovském obrazu potřebné vysoké frekvence, aby bylo možné rekonstruovat nespojitosti na krajích obrazu. Ve spektru na obr. 6.2 odpovídá nespojitostem centrální kříž. Diskrétní Fourierova transformace je definována podle předchozího vztahu, když přiřadíme $\mathbf{P} = \Phi_{MM}$, $\mathbf{Q} = \Phi_{NN}$, a to v maticovém zápisu

$$\mathbf{F} = \Phi_{MM}\, \mathbf{f}\, \Phi_{NN},$$

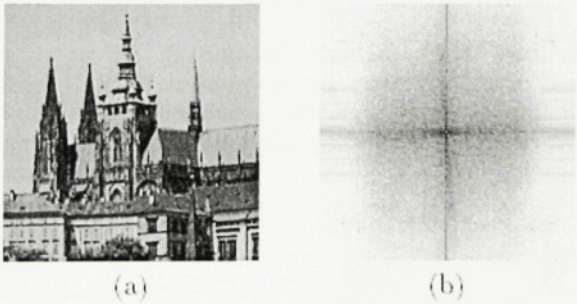
nebo zápisu se sumami

$$F(u,v) = \frac{1}{MN}\sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1} f(m,n)\exp\left[-2\pi j\left(\frac{mu}{M}+\frac{nv}{N}\right)\right],$$
$$u = 0,1,\ldots,M-1; \quad v = 0,1,\ldots,N-1.$$

a inverzní Fourierovu transformaci můžeme zapsat jako

$$f(m,n) = \sum_{u=0}^{M-1}\sum_{v=0}^{N-1} F(u,v)\exp\left[2\pi j\left(\frac{mu}{M}+\frac{nv}{N}\right)\right].$$

[1]



(a) (b)

Obr. 6.2 Fourierovo frekvenční spektrum: (a) Vstupní obraz, (b) spektrum jako intenzitní obraz - tmavé pixely odpovídají vysokým spektrálním hodnotám. [1]

Fourierova transformace může být chápána jako lineární kombinace ortogonálních harmonických průběhů. Koeficienty Fourierovy transformace slouží jako koeficienty v lineární kombinaci. Harmonické složky jsou uspořádány podle frekvence. Čím vyšší frekvence složkového signálu, tím detailnější příspěvek k popisu signálu tato složka poskytuje. [1]

6.3 Použití lineárních diskrétních transformací pro zpracování obrazů

Významné je použití Fourierovy transformace pro výpočet konvoluce dvou signálů (obrazů) jako součin jejich Fourierových obrazů. Konvoluce popisuje průchod obrazu lineárním filtrem, což je základ filtrace obrazu v prostorové oblasti, viz obr. 6.1. Vypočteme-li konvoluci dvou (periodických) obrazů f, h o stejných rozměrech M × N, získáme (periodický) obraz g

$$g(a,b) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n) h(a-m, b-n).$$

Obrazy f, g, h a jejich Fourierovy obrazy F, G, H jsou vázány rovnicí

$$g(a,b) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) H(u,v) \exp\left[2\pi j\left(\frac{au}{M} + \frac{bv}{N}\right)\right].$$

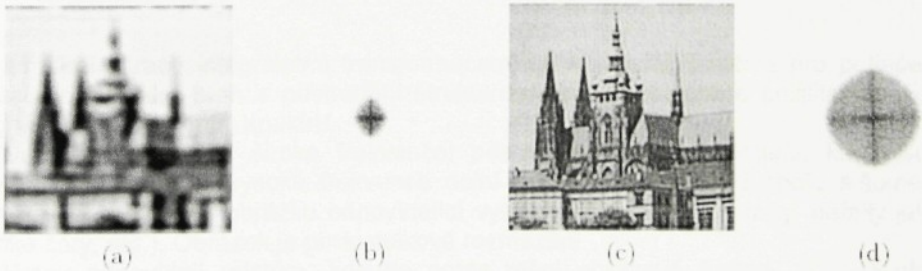
[1]

Využitím tohoto vztahu lze podstatně snížit výpočetní nároky, což se výrazněji projeví pro konvoluce s konvolučními jádry většími než 7 × 7.

Fourierova transformace dovoluje interpretovat metody předzpracování obrazu založené na konvoluci jako filtraci ve frekvenční oblasti.

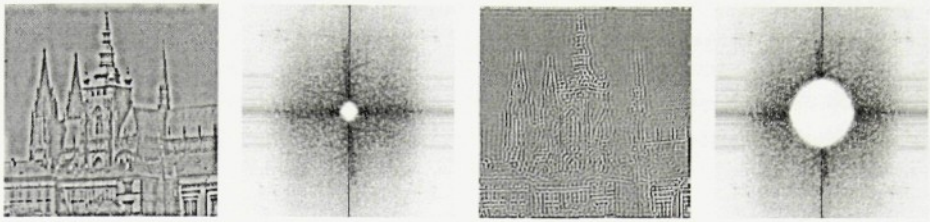
Konvoluční filtr h lze vyjádřit jako jeho Fourierův obraz H. Matice h se nazývá impulsní charakteristika filtru a matice H frekvenční charakteristika filtru. Zda je pro filtraci použit h nebo H je z teoretického hlediska lhostejné. V prvním případě pracujeme v prostorové oblasti a ve druhém případě ve frekvenční. Průchod vstupního obrazu lineárním filtrem h, resp. H je popsán předchozími vztahy.

Dolní propust odpovídá frekvenční charakteristice filtru $H(u,v)$ s malými hodnotami v místech hodně vzdálených od počátku (malé zesílení pro vysoké frekvence) a velkými hodnotami blízko počátku. Filtr přenese nízké frekvence a potlačí vysoké frekvence. Chová se stejně jako filtrace průměrováním v prostorové oblasti, tedy rozmazává ostré hrany.



Obr. 6.3 Filtrace dolní propustí, tj. odstraněny vysoké frekvence; výchozí obr. 6.2: (a) Spektrum obrázku s více potlačenými vysokými frekvencemi. (b) Výsledek inverzní Fourierovy transformace spektra a. (c) Spektrum obrázku s méně potlačenými vysokými frekvencemi. (d) Výsledek inverzní Fourierovy transformace spektra c. [1]

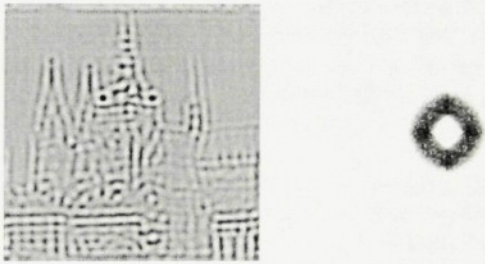
Horní propust odpovídá frekvenční charakteristice filtru $H(u,v)$ s malým zesílením blízko počátku a velkým zesílením v oblasti vysokých frekvencí, tj. dále od počátku.



(a) (b) (c) (d)

Obr. 6.4 Filtrací odstraněny nízké frekvence; výchozí obr. 6.2 : (a) Spektrum obrázku s méně potlačenými nízkými frekvencemi. (b) Výsledek inverzní Fourierovy transformace spektra a. (c) Spektrum obrázku s více potlačenými nízkými frekvencemi. (d) Výsledek inverzní Fourierovy transformace spektra c. [1]

Pásmová propust propustí jen frekvence v určitém pásmu.



(a) (b)

Obr. 6.5 Filtrace pásmovou propustí; výchozí obr. 6.2: (a) Ve spektru je zachován jen pás frekvencí. Všechny nižší a vyšší frekvence jsou vyfiltrovány. (b) Výsledek inverzní Fourierovy transformace. [1]

Lineární filtrace integrálními transformacemi se nejčastěji používá pro potlačení šumu, zvýraznění hran a odstranění strukturovaného šumu dobře odlišitelného od signálu ve frekvenčním spektru.

Šum obvykle mívá široké frekvenční pásmo, a proto ho potlačí, když jsou omezeny/odstraněny vysoké frekvence dolní propustí. Naneštěstí spolu s šumem zmizí všechny jevy v obrázku odpovídající vysokým frekvencím (hrany, detaily jako tenké čáry, atd.). Obrázek je proto celkově rozmazán.

Hrany odpovídají místům, kde se náhle mění obrazová funkce, což přispívá k vysokým frekvencím ve spektru. Pokud vyšší frekvence relativně zesílíme, a to udělá horní propust, zvýrazní se v obrazu hrany.

7. Filtrace šumu, poruch a detekce hran

7.1 Statistický princip filtrace šumu

Nechť je každý obrazový bod zatížen náhodným aditivním šumem ν, který je na obrazové funkci nezávislý, má nulovou střední hodnotu a směrodatnou odchylku σ. Více realizací takových obrazů můžeme získat n-násobným sejmutím statické scény za stejných podmínek. Z každého sejmutého obrazu vybereme bod o stejných souřadnicích, označíme ho $g_i, i = 1 \ldots n$, kde index i ukazuje, ke kterému obrazu bod patří. Odhad správné hodnoty můžeme získat jako aritmetický průměr bodů $g_1, \ldots, g_n$ se šumem $\nu_1, \ldots, \nu_n$,

$$\frac{g_1 + \ldots + g_n}{n} + \frac{\upsilon_1 + \ldots + \upsilon_n}{n}.$$

Pravý sčítanec předchozího výrazu popisující vliv šumu po průměrování ukazuje, že jde opět o náhodnou veličinu s nulovou střední hodnotou a menší směrodatnou odchylkou o velikosti $\sigma / \sqrt{n}$. Je vidět, že se směrodatná odchylka zmenšila $\sqrt{n}$-krát.

7.2 Lokální filtrace

Lokální filtrace jsou takové metody filtrace (předzpracování) obrazu, které k výpočtu nové hodnoty pixelu využívají malé okolí Ω reprezentativního pixelu (ve smyslu právě zpracovávaného). Přístup je založen na představě, že se celý obraz systematicky (např. po řádcích) prochází. Kolem reprezentativního bodu je zkoumáno malé okolí Ω, často malý obdélník. Výsledek analýzy je zapsán do výstupního obrazu jako hodnota reprezentativního pixelu.

Podle účelu se metody lokálního předzpracování rozdělují do dvou skupin. První skupina, *vyhlazování*, usiluje o potlačení šumu a osamocených fluktuací hodnot obrazové funkce. Myšlenkově jsou metody příbuzné dolnofrekvenčním propustem z minulé kapitoly. Druhá skupina, *detekce hran*, též gradientní operátory, se snaží z hodnot v okolí reprezentativního pixelu odhadnout derivaci obrazové funkce. Metody detekce hran jsou příbuzné s hornofrekvenčními propustmi z minulé kapitoly. Je vidět, že vyhlazování a detekce hran jsou (alespoň ve své lineární podobě) v protikladu. Proto jsou navrhovány nelineární metody, které např. vyhlazují a přitom jsou šetrné k hranám a detailům v obraze.

Jiným hlediskem pro třídění metod předzpracování jsou matematické vlastnosti příslušné transformace. Lze rozlišit *lineární* a *nelineární* metody. Lineární operace počítají 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 Ω je vážen koeficienty h podle

$$f(x,y) = \sum_{(m,n)\in\Omega}\sum h(x-m, y-n)\, g(m,n). \qquad [1]$$

Tato rovnice popisuje diskrétní *konvoluci* s jádrem *h*, kterému se také říká *konvoluční maska*. Často se používá obdélníkové okolí Ω s lichým počtem řádků a sloupců, a tak může reprezentativní bod ležet uprostřed konvoluční masky.

Je důležité si uvědomit, že v průběhu předzpracování nezískáme žádnou novou informaci. Můžeme jen některou informaci potlačit nebo zvýraznit. Potřebujeme-li zvýšit celkový informační obsah obrazu, potom musíme zlepšit postup jeho pořízení.

Konvoluční lokální operce (filtry) jsou použitelné pro vyhlazování, detekci hran nebo čar.

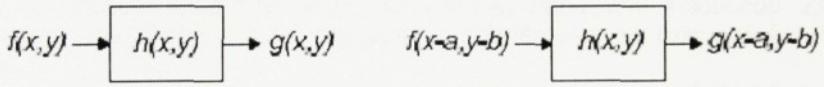
7.3 Lokální vyhlazování obrazu

Nejsnadnější je vyhlazování náhodného šumu, když máme k dispozici několik obrazů téže předlohy, které se liší právě šumem. Potom je účinné průměrovat hodnotu pixelu o stejných souřadnicích přes více obrázků (viz 7.1). Problémy s rozmazáváním zde přirozeně nevznikají.

Máme-li k dispozici jen jediný obraz téže předlohy, potom nezbývá než se spolehnout na obvykle značnou nadbytečnost údajů v obraze. Sousední pixely mají převážně tutéž nebo blízkou hodnotu jasu. Hodnotu obrazových elementů zkreslených šumem potom můžeme opravit na základě analýzy hodnot jasu v jeho vybraném okolí. Hodnota reprezentativního pixelu (tj. jeho jas) je nahrazena hodnotou typického reprezentanta mezi hodnotami v okolí nebo kombinací několika hodnot.

7.3.1 Lineární metody vyhlazování

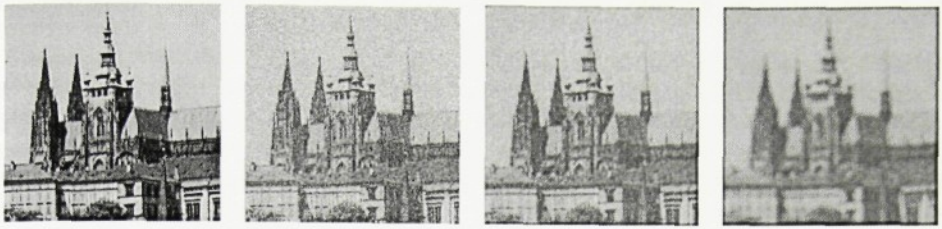
Lineární metody vyhlazování vypočítávají novou hodnotu reprezentativního pixelu jako lineární kombinaci hodnot ve zkoumaném okolí. Pro digitální snímky lze v prostorové oblasti lineární kombinaci vyjádřit jako diskrétní konvoluci (6.1). Jednotlivé lineární filtry se liší váhami v lineární kombinaci, které jsou dány příslušnou konvoluční maskou *h* (dvojrozměrnou impulsní odezvou).



Obr. 7.1 *lustrace lineárního filtru (vlevo) a lineárního prostorově invariantního filtru (vpravo).*

Ve zpracování obrazu se používá zvláštní třída lineárních filtrů. Říká se jim *prostorově invariantní filtry* (homogenní filtry), protože se chování filtru nemění při změně polohy v obrázku, obr. 7.1.

Při zpracování skutečných obrazů je předpoklad linearity narušen díky tomu, že hodnota obrazové funkce (jas, intenzita) je nezáporná a omezená. Podobně jsou obrazy ohraničeny v prostoru, a tak předpoklad prostorové invariantnosti platí jen pro omezené posuny konvolučních masek.



(a) (b) (c) (d)

Obr. 7.2 Vyhlazování šumu s Gausovým rozdělením: (a) výchozí obraz 256^2, (b) uměle přidán Gausovský šum v jasu, (c) výsledek obyčejného průměrování v okně 3 × 3, (d) výsledek obyčejného průměrování v okně 7 × 7. [1]

Základní metodou vyhlazování obrazu je *obyčejné průměrování*, kde každému bodu přiřadíme nový jas, který je aritmetickým průměrem původních jasů ve zvoleném okolí. Odpovídající konvoluční maska h pro okolí 3 × 3 je

$$h = \frac{1}{9}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Někdy se zvětšuje váha středového bodu masky nebo jeho 4-sousedů. Základní nevýhodou praktického použití obyčejného průměrování je rozmazávání hran v obraze.

Tato nepříjemnost byla patrná již při lineární filtraci ve frekvenční oblasti. Budeme-li uvažovat Fourierovu transformaci, potom je konvoluce ekvivalentně vyjádřena jako součin Fourierova obrazu signálu (zde obrázku) a Fourierova obrazu konvolučního filtru, viz rovnice (5.19). Lineárnímu vyhlazování v prostorové oblasti potom odpovídá frekvenční filtrace dolnopropustným filtrem.

S ohledem na nežádoucí rozmazávání se obyčejné průměrování většinou používá jako pomocná metoda pro výpočet střední hodnoty jasu. Tento mezivýsledek je potom použit v důmyslnějších nelineárních vyhlazovacích metodách.

Z hlediska úspory výpočtů existuje důležitý zvláštní případ konvolučních filtrů, tzv. *separabilní filtry*. Jde o případ, kdy lze konvoluční masku v p-rozměrném okolí, obvykle p = 2; 3 rozložit na součin jednorozměrných masek.

7.3.2 Nelineární metody vyhlazování

Potíže s rozmazáváním hran částečně eliminují nelineární filtrační metody. Jejich společným principem je to, že se v analyzovaném okolí Ω snaží najít jen tu jeho část (oblast o zhruba konstantním jasu), do které reprezentativní bod patří. Jen pixely této oblasti se využijí pro hledání jasové hodnoty (např. aritmetickým průměrem nebo výběrem hodnoty jasu jednoho pixelu), která bude reprezentovat celé okolí Ω ve výstupním obrázku.

Jako příklad třídy metod vyhlazování, které filtrují jen ve vybraném okolí, lze uvést *metodu rotující masky*. Kolem reprezentativního bodu rotuje malá maska. Je-li rotující maskou např. čtverec 3 × 3, pak existuje 8 možných poloh masky. V každé masce se spočte rozptyl jasů. Za homogenní okolí reprezetantivního bodu se vybere maska s nejmenším rozptylem. Nová hodnota reprezentativního bodu může být dána

aritmetickým průměrem hodnot ve vybrané masce. Metoda nerozmazává hrany obrazu, má dokonce mírně ostřící charakter.

Jako příklad další používané nelineární metody je *obyčejné průměrování s omezením změn jasu*, které využívá obyčejného průměrování, ale brání rozmazání hran povolením pouze určitého intervalu diference mezi jasem původního bodu a výsledkem průměrování. Když je diference menší než předem zvolený práh, použije se výsledek průměrování. V opačném případě se původní hodnota nezmění. Metoda se používá pro opravu velkoplošných chyb bez vlivu na zbytek obrazu nebo pro jednoduché vyhlazení bez poškození hran.

Metoda filtrace mediánem stanoví jas výsledného bodu jako medián určený z hodnot jasu bodů v lokálním okolí (např. 3 × 3) vstupního obrazu. Metoda redukuje stupeň rozmazání hran a dobře potlačuje impulsní šum. Původní obrázek (obr. 7.3a) byl uměle porušen impulzním šumem (obr. 7.3b). Výsledek filtrace mediánem s oknem rozměru 3 × 3 je na obr. 7.3c. Hlavní nevýhodou filtrace mediánem v obdélníkovém okolí je to, že porušuje tenké čáry a ostré rohy v obraze. Tento nedostatek se dá obejít, když se použije jiný tvar okolí.

(a) (b) (c)

Obr. 7.3 Filtrace mediánem: (a) Výchozí obraz. (b) Umělé porušení impulsním šumem. (c) Výsledek filtrace mediánem v okně 3 × 3. [1]

7.4 Hledání hran

7.4.1 Pojem hrany a princip gradientních operátorů

Pro vnímání člověka jsou velmi důležitá místa v obraze, kde se náhle mění hodnota jasu. Odpovídající pixely se nazývají hrany. K automatickému nalézání takových významných míst v obraze slouží právě lokální předzpracování -hledání hran.

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 (směr gradientu) a strmost tohoto růstu (velikost, modul gradientu). Pixely s velkým modulem gradientu se nazývají hranami.

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

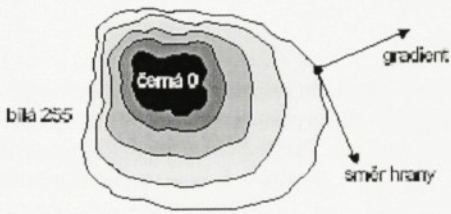
$$|\nabla f(x,y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}, \quad \left(= \arg\left(\frac{\partial g}{\partial x}, \frac{\partial g}{\partial y}\right)\right),$$

kde *arg(x,y)* je úhel mezi souřadnou osou *x* a radiusvektorem k bodu *(x,y)*.

Někdy nás zajímá pouze velikost gradientu (též velikost hrany) bez ohledu na její směr. Pro odhad velikosti se používá všesměrový lineární Laplaceův operátor - *Laplacián* ∇^2, který vychází z druhých parciálních derivací

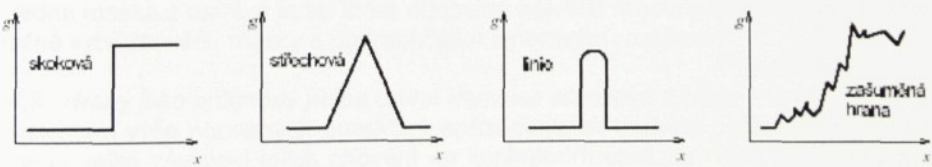
$$\nabla^2 g(x,y) = \frac{\partial^2 g(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g(x,y)}{\partial y^2}.$$

[1]



Obr. 7.4 Směr hrany Φ je kolmý na směr gradientu Ψ.[1]

Hrany nalezené v obraze lokálními operátory se někdy používají pro hledání hranic objektů. Za předpokladu, že objektu odpovídá oblast homogenního jasu, jsou body hranice právě pixely s vysokou hodnotou gradientu. Hranové pixely se spojují do hranic, a proto se směr hrany Φ někdy definuje jako kolmý na směr gradientu Ψ. Myšlenku ilustruje obr. 7.4. Hranové pixely se při takové volbě orientace hrany mohou přirozeně spojovat do hranic.



Obr. 7.5 Jasové profily nejběžnějších hran. [1]

Hrany lze dobře třídit podle jednorozměrného jasového profilu ve směru gradientu v daném pixelu. Typické příklady jsou na obr. 7.5. První tři profily, tj. skoková hrana, střechová hrana, tenká linie, jsou idealizované. Poslední profil odpovídá zašuměné hraně, kterou lze najít v reálném obrázku.

Gradientních operátorů lze využít i pro *ostření obrazu*. Cílem ostření obrazu je upravit obraz tak, aby v něm byly strmější hrany. Z hlediska plošných frekvencí odpovídá ostření zdůraznění vysokých frekvencí.

Gradientní operátory udávající strmost obrazové funkce lze rozdělit do tří kategorií:

1. Operátory aproximující parciální derivace pomocí diferencí. Některé operátory jsou invariantní vůči rotaci, např. Laplacián, a mohou být počítány konvolucí s jedinou maskou. Jiné, aproximující první derivaci, využívají několik masek odpovídajících příslušné orientaci. Z nich se vybere ta, která nejlépe lokálně aproximuje obrazovou funkci. Výběrem jedné z masek je určen i směr gradientu (orientace).
2. Operátory založené na hledání hran v místech, kde druhá derivace obrazové funkce prochází nulou (angl. zero-crossing). Příkladem je Marrův-Hildrethové operátor a Cannyho hranový detektor.
3. Operátory snažící se lokálně aproximovat obrazovou funkci poměrně jednoduchým parametrickým modelem, např. polynomem dvou proměnných.

7.4.2 Jednoduché konvoluční masky aproximující derivace obrazové funkce

Do této kategorie patří operátory, které lze vyjádřit jako masky pro konvoluci podle vztahu (7.2). Jednotlivé operátory jsou uváděny pomocí příslušného konvolučního jádra h. U směrových operátorů je tolik jader h, kolik směrů operátor rozlišuje.

Laplaceův operátor

Laplaceův gradientní operátor ∇^2 aproximující druhou derivaci je invariantní vůči otočení a udává jen velikost hrany a ne její směr. V digitálním obraze je také Laplacián (6.6) aproximován diskrétní konvolucí. Dvě používaná konvoluční jádra (pro 4-sousedství a 8-sousedství) v okolí 3 × 3 jsou

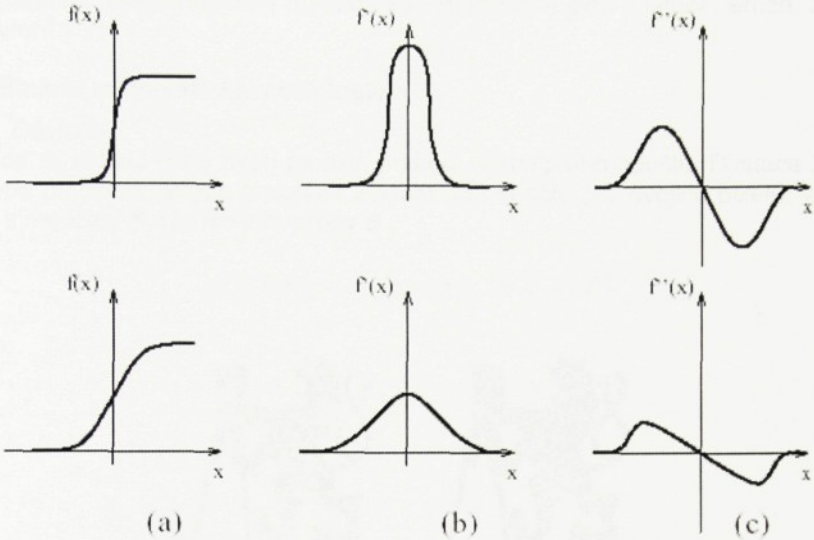
$$h = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \qquad h = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Někdy se používá Laplacián s větší vahou pixelů blíže reprezentativnímu bodu masky. V tomto případě se ztrácí invariantnost vůči otočení. Hlavní nevýhodou Laplaciánu je velká citlivost na šum.

Mezi další operátory aproximující první derivaci patří operátor *Prewittové*, *Sobelův*, *Kirschův* a *Robinsonův*. Gradient je odhadován v okolí 3 × 3 pro osm směrů. Vybrána je jedna maska z osmi, a to ta, které odpovídá největší modul gradientu. Je přirozeně možné vytvářet větší masky s podrobnějším směrovým rozlišením.

7.4.3 Hrany jako průchody nulou druhé derivace obrazové funkce

Problémem výše popsaných operátorů aproximujících derivaci diferencemi v malém okolí je velká závislost jejich chování na konkrétním obrázku. Velikost masky musí odpovídat velikosti detailů v obrázku. O nezávislosti na měřítku nemůže být řeč. Také citlivost na šum je značná.



Obr. 7.6 1D jasový profil ilustrující polohu skokové hrany v místě průchodu 2. derivace obrazové funkce nulovou osou. [1]

Základem přístupu k této teorii je hledání polohy hrany v obraze v místě průchodu druhé derivace obrazové funkce nulou. První derivace obrazové funkce nabývá svého maxima v místě hrany. Druhá derivace protíná v místě hrany nulovou hodnotu. Situaci ilustruje pro jednoduchost v 1D případě obr. 7.6, kde (a) ukazuje skokovou hranu, (b) její první derivaci a (c) průběh druhé derivace. Hledat polohu hrany v místě průchodu nulou je díky strmosti přechodu mnohem spolehlivější než na plochém maximu u první derivace.

8. Matematická morfologie

Nástroje matematické morfologie jsou implementovány ve většině pokročilých balíků pro zpracování obrazu. Operátory matematické morfologie se obvykle používají tam, kde je požadavek na krátký čas zpracování. Aplikačními oblastmi jsou biologie, materiálový výzkum, geologie, kriminalistika, obrazová inspekce v průmyslu, aj.

8.1 Základní morfologické pojmy

Matematická morfologie využívá vlastností bodových množin, výsledky z integrální geometrie a topologie. Výchozím předpokladem 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.

Morfologická transformace Ψ je dána relací mezi obrazem (bodová množina X) s jinou, typicky menší bodovou množinou B, které se říká *strukturní element*. Strukturní element B je vztažen k „lokálnímu" počátku Ω, kterému se říká reprezentativní bod.

Aplikaci morfologické transfomace $\Psi(X)$ na obraz X si lze představit, jako bychom strukturní element B systematicky posouvali po obraze. Výsledek relace mezi obrazem X a strukturním elementem B se zapíše do výstupního obrazu v reprezentativním pixelu. Pro binární obrazy je výsledek relace buď 0 nebo 1.

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

8.2 Binární matematická morfologie

8.2.1 Dilatace

Dilatace $\oplus$ skládá body dvou množin pomocí vektorového součtu. Dilatace $X \oplus B$ je bodovou množinou všech možných vektorových součtů pro dvojice pixelů, vždy pro jeden z množiny *X* a jeden z množiny *B*

$$X \oplus B = \left\{ p \in \varepsilon^2 : p = x + b,\ x \in X,\ b \in B \right\}.$$

[1]

Obr. 8.1 Dilatace jako isotropická expanze. [1]

Na obr. 8.1 je použit isotropický strukturní element, což znamená, že se morfologická transformace chová stejně ve všech směrech, tj. objekty expandují. Objekty se rozrostly o jednu „slupku" na úkor pozadí. Také díry, které měly tloušťku jeden bod, se zaplnily.

Dilatace se používá samostatně k zaplnění malých děr, úzkých zálivů a jako stavební kámen složitějších operací. Dilatace zvětšuje objekty. Má-li se zachovat jejich původní rozměr, kombinuje se dilatace s erozí.

8.2.2 Eroze

Eroze je duální oprací k dilataci. Ani dilatace ani eroze nejsou invertovatelné. Eroze $\ominus$ skládá dvě množiny podle předpisu

$$X \ominus B = \left\{ p \in \varepsilon^2 : p + b \in X \text{ pro každé } b \in B \right\}.$$

[1]

Předchozí vztah říká, že pro každý bod obrazu *p* se ověřuje, zda pro všechna možná *p+b* leží výsledek v *X*. Pokud ano, zapíše se v reprezentativním bodě do výsledného obrázku 1 a v opačném případě 0.

Obr. 8.2 Eroze jako isotropické smrštění objektů. [1]

Obr. 8.2 demonstruje erozi isotropickým strukturním elementem 3 × 3 na stejném vstupním obrázku jako obr. 8.1. Ve výsledku zmizely čáry tloušťky 1.
Odečtením erodovaného obrázku od původního obrázku lze snadno najít obrys objektů.

Eroze se používá pro zjednodušení struktury objektů - objekty tloušťky 1 se ztratí, a tak se složitější objekt rozdělí na několik jednodušších.

8.2.3 Otevření a uzavření

Dilatace a eroze nejsou navzájem inverzní zobrazení. Jejich kombinace jsou dalšími významnými morfologickými transformacemi - otevřením a uzavřením. Výsledkem obou je zjednodušený obraz, který obsahuje méně detailů.

Eroze následovaná dilatací vytváří novou transformaci zvanou *otevření*. Dilatace následovaná erozí je *uzavřením*.

Otevření a uzavření izotropickým strukturním elementem se používá pro odstranění detailů v obraze, které jsou menší než strukturní element. Celkový tvar objektu se tak neporuší. Otevření oddělí objekty spojené úzkou šíjí a tak zjednoduší strukturu objektů.

Uzavření spojí objekty, které jsou blízko u sebe, zaplní malé díry a vyhladí obrys tím, že zaplní úzké zálivy.

Otevření a uzavření, podobně jako eroze a dilatace, jsou duálními transformacemi. Další důležitou vlastností otevření a uzavření je idempotentnost, což znamená, že po určitém počtu kroků se přestanou měnit. Tedy opakované použití těchto operací nemění předchozí výsledek.

8.3 Šedotónová matematická morfologie

Operace matematické morfologie zavedené pro binární obrázky lze snadno zobecnit pro obrazy s více jasovými úrovněmi. Klíčovou roli zde hrají operace *min* a *max*. Eroze (resp. dilatace) obrazu přiřazuje každému pixelu minimální (resp. maximální) hodnotu v okolí okamžitého bodu vstupního obrazu. Také strukturní element je bohatší než u binárních obrazů, kde určoval pouze uvažované okolí. V případě šedotónových obrazů je strukturní element funkcí dvou proměnných a ovlivňuje, jakým způsobem se berou v úvahu hodnoty obrazu v okolí. Hodnota strukturního elementu je přičtena (nebo odečtena), když se v okolí počítá maximum (nebo minimum).

Toto rozšíření morfologie si lze představit pomocí *topografického pohledu* na šedotónové obrazy. Hodnota jasu může být interpretována jako výška v hypotetické krajině. Světlá a tmavá místa v obraze odpovídají kopcům a prohlubním. Morfologický přístup umožňuje najít globální vlastnosti obrazu, které v krajině odpovídají topograficky významným jevům, jako údolí, rozvodí, hřebeny hor, atd.

8.3.1 Transformace vrchní část klobouku

Množinový rozdíl mezi otevřeným a původním obrazem vytváří užitečnou operaci zvanou *vrchní část klobouku* (angl. top hat transformation).

Transformace vrchní část klobouku se používá jako jednoduchý nástroj pro segmentaci objektů, které se v šedotónovém obrazu liší od pozadí, i když se jas pozadí pomalu mění. Části v obraze, které se nevejdou do strukturního elementu použitého pro otevření, se odstraní. Po odečtení otevřeného obrazu od původního se ukáží právě jen odstraněné části obrazu. Ty lze v obrazu najít jednoduchým prahováním. Myšlenky jsou ilustrovány na 1D průběhu na obr. 8.3. Zde si je možné domyslet i původ názvu. Transformace by našla pouze vrchní část klobouku, pokud by strukturní element byl větší než otvor pro hlavu.

Obr. 8.3 Transformace vrchní část klobouku dovoluje najít objekty (zde jasnější než pozadí) na postupně se měnícím pozadí. [1]

9. Automatizace zkušebního procesu NDT

9.1 Lidský faktor v radioskopii

Je-li vyhodnocování obrazu vad předmětu prováděno subjektivně defektoskopickým pracovníkem, je výsledek zkoušky do značné míry závislý na jeho schopnosti vnímat zrakem rozdíly jasů, které na obrazovce monitoru představují vady. Výsledek kontroly je proto značně závislý na vlastnostech lidského oka.

Dalším důležitým faktorem podmiňujícím vyhodnocování vad na monitoru jsou specifické vlastnosti hodnotícího pracovníka, které jsou ve značné míře závislé na jeho fyzickém a psychickém stavu během hodnocení. Každé narušení některého z těchto stavů zhoršuje pozornost soustředění pracovníka a snižuje jeho schopnost vnímání a rozlišování jemných detailů. Kromě toho je nutno mít vždy na zřeteli skutečnost, že hodnocení obrazovky je významně ovlivněno citlivostí oka na úroveň jasu a rozdíly jasů, které jsou individuálně značně rozdílné a u téhož pracovníka se pak výrazně mění během pracovní doby v důsledku jeho fyziologické únavy.

Jde o faktor únavy, projevující se při každé práci, tedy i při defektoskopickém hodnocení, při kterém je sice pracovník vystaven minimální námaze fyzické, avšak jeho práce je poznamenána monotónností a sériovostí, které podstatně přispívají k jeho senzorické únavě provázené nejprve snížením rozlišovací schopnosti očí, později pak únavou, otupělostí, nejistotou hodnocení a výrazným poklesem pracovního výkonu.

Kromě těchto fyziologických vlivů je hodnocení podmíněno i řadou faktorů psychických, zahrnujících např. závažnost výsledků vyhodnocení v závislosti na provozních podmínkách daného výrobku a důsledcích vyplývajících z případné jeho havárie, časovou tíseň danou výrobními termíny podniku apod.

Z dosud uvedeného vyplývá složitost celého procesu vyhodnocování kvality kontrolovaného výrobku, z níž pak vyplývají značné nároky kladené na operátory jak po stránce vyhovujících zrakových schopností tak po stránce odborných znalostí a zkušeností. Týká se to především těch metod, kde se přítomnost vady hodnotí „nepřímo" podle indikace (signálu) na obrazovce v reálném čase. Rovněž správné vyhodnocení rentgenového snímku není jednoduché a vyžaduje značné zkušenosti.

Z tohoto důvodu musí pracovníci v oboru nedestruktivního zkoušení absolvovat předepsané odborné školení a být certifikováni pro jednu nebo více metod dle příslušného stupně (min.) pro posuzování a hodnocení výsledků zkoušek (L I, L II, L III). Vyškolení každého pracovníka je proto časově i finančně velmi náročné.

9.2 Rentgentelevizní systémy pro průmyslovou radioskopii

Rentgentelevizní systémy mění rentgenový obraz na viditelný. Obraz se vytváří ve výstupním okénku rentgenooptického měniče. Optický systém s CCD kamerou s vysokou rozlišovací schopností, který je umístěný za výstupním oknem vytváří standardní videosignál, který může být zobrazen černobílým monitorem s vysokým kontrastem. Obraz se vytváří bezprostředně v reálném čase, což urychluje a zjednodušuje kontrolní proces.

S reálným obrazem, získaným z měniče obrazu se vystačí jen pro vizuální kontrolu. Archivace přichází v úvahu prakticky jen na videokazetu VHS. S výhodou je možno videosignál digitalizovat, softwarově upravit a zobrazit na monitoru. Úprava umožňuje použít funkce, které u samotného videosignálu nejsou možné, jako např. měření délek, jasu v určitém bodu, použití filtrace omezující obrazový šum, zdůrazňující detaily, zvětšující ostrost a další. Digitalizace v tomto případě přináší mimořádný

ný komfort pro obsluhu a zejména možnost automatizovaného vyhodnocování zobrazených indikací v rámci radioskopické kontroly.

10. Automatizované vyhodnocování obrazové informace

Hlavním tématem této diplomové práce je vyhodnocování obrazové informace s využitím výpočetní techniky. Tento typ vyhodnocování vyžaduje použití takových metod nedestruktivního zkoušení, které poskytují obraz hodnocené části výrobku včetně vad v ní se vyskytujících, tedy přinejmenším dvou či vícerozměrný grafický signál. Jednou z vhodných metod je pro tento účel metoda radiografická (resp. radioskopická), jejímž hlavním rysem jsou zobrazené indikace na radiogramu, (resp. monitoru), které se svým charakterem (kontrastem - mírou zčernání, tvarem,velikostí a vzájemnou polohou) odlišují od okolí nebo od téhož místa na stejném výrobku, které není porušeno a proto žádné indikace neobsahuje. Jak již bylo naznačeno, lze tyto indikace pomocí výpočetní techniky zpracovat a vyhodnotit podle příslušných kritérií daných jednotlivými normami a celý proces využít při automatizovaném vyhodnocování.

10.1 Pořízení obrazu

Vyhodnocování obrazu indikací se skládá z několika dílčích kroků. Nejdříve je nutné pořídit obraz místa, které má být vyhodnocováno. Zpravidla je k tomu použita digitální nebo analogová kamera, fotoaparát či jiné vhodné snímací zařízení. Zde je kladen velký důraz na co možná největší hloubku barev a hloubku ostrosti a co nejnižší šum. Aby bylo možné obraz zpracovat pomocí výpočetní techniky, musí být provedena jeho digitalizace, která se uskuteční přímo v záznamovém zařízení a nebo pomocí vhodného A/D převodníku implementovaného do počítačové grafické karty. Digitalizací obrazu se převede analogový 2D signál na matici čísel, v které každá hodnota v daném sloupci a řádku představuje hodnotu barvy podle barevné reprezentace jakou jsou například RGB, HSI a další.

Tabulka 3 - Srovnání vlastností analogových a digitálních kamer

Analogové kamery	*Digitální kamery*
+ Levné, rychlé	- Dražší, ale cena rychle klesá
+ Lze dlouhý kabel (~10m)	- Krátký kabel (~1,5m)
- Vícenásobné převzorkování signálu	+ Jediné převzorkování
- Šumící, posuv řádků vůči sobě	+ Malý šum, bez posunu řádků
- Nenavazující řádky (angl. jitter)	+ Navazující řádky

Po přivedení obrazového signálu do počítače s potřebnou výbavou (hardware) následuje zpracování obrazu v digitální formě pomocí programového vybavení pro různé postupy obrazové analýzy (software).

10.2 Obrazová analýza

Náš zrakový orgán (oko) pozoruje prostředí kolem nás a přitom rozlišuje detaily podle kontrastu a velikosti, barvy (chromatičnosti a jasu), tvaru, vzdálenosti atd. Z toho pak vznikne celkový zrakový dojem - obraz. Velkou roli hraje přitom paměť a zkušenost, zrakem však neumíme hodnotit detaily kvantitativně. Hodnocení je jen subjektivní, může být i časově proměnné (psychofyziologický proces). Obrazová analýza byla vyvinuta pro kvantitativní (objektivní) hodnocení vlastností obrazu. Výsledkem je objektivní vyjádření vlastností obrazu (jako celku nebo jen jeho vybraných detailů).

10.3 Programový systém LUCIA

Použitý programový systém LUCIA (Laboratory Universal Computer Image Analysis) byl vyvinut pro pořizování a ukládání obrazů i pro interaktivní měření. Zpracování obrazu se provádí většinou interaktivně, některé postupy mohou probíhat automaticky. Programové vybavení systémů pro obrazovou analýzu, výrobky LABORATORY IMAGING s.r.o. PRAHA (dále LIM) s obchodním názvem LUCIA využívá podpory WINDOWS. Tyto systémy obsahují software a hardware pro zpracování obrazu i profesionální obrazově-analytická řešení problémů v biologii, lékařství, při zkoumání a kontrole materiálů a v kriminalistice.

Důležitou součástí programového vybavení LUCIA je systém pro počítačové zpracování a ukládání (archivaci) obrazů ve formě datových souborů. Jde rovněž o původní výrobek LIM s názvem IMAGE ARCHIVE plus (IA+). Systém je schopen zpracovat importované obrazy ve formátech *.bmp, *.tif, *.jpg apod. Obrazy se zpracovávají v programu obsaženým fotoeditorem, po kalibraci lze provádět jednoduchá měření délek, obvodů, úhlů, počtu bodů. Do obrazu se mohou vložit měřítka, plochu obrazu lze dělit mřížkou s volitelným modulem, lze vložit souřadnice nebo soustředné kruhy. Na monitoru lze pozorovat živý obraz v reálném čase (můžeme upravovat parametry CCTV kamery - vstupy), lze snímat sekvence s proměnnými intervaly, obrazy lze kombinovat skládáním, zvětšovat, vyjmout, vkládat, integrovat, elektronicky doostřovat, měnit chromatičnost, jas, kontrast a provádět mnoho dalších postupů, známých z funkce fotoeditoru. Obrazy můžeme doplnit názvem, popisem, kalibračními daty a ukládat jako datové soubory do adresářů na disku. Orientace v archivu je snadná, provádí se náhledem na mozaiku obrazů nebo vyhledáváním podle zvoleného parametru. Velké soubory archivovaných obrazů lze ukládat na CD ROM.

10.3.1 Popis použitého zařízení

Minimální přístrojové a programové vybavení (obecné):

- PC (Pentium, 32 MB RAM, 2GB HD)
- Windows 95/98, Windows NT 4.0 nebo Windows 2000

Použitý systém pro snímání, uložení a zpracování obrazového signálu se skládal z černobílé digitální kamery DVC-1310 se CCD snímačem (Charge Coupled Devices), která je schopna snímat a zaznamenávat 12 obrázků za sekundu s rozlišením 1300 × 1030 nebo 24 obrázků za sekundu s rozlišením 1300 × 515 obrazových bodů a s barevnou hloubkou 10 bitů, konvenčního počítače obsahujícího grafickou kartu MATROX připojenému k této kameře digitálním přenosovým kabelem a softwaru LUCIA 4.6 verze G, která pracuje s 24 bitovou informací jako celkem a je tedy pro

zpracování a vyhodnocování šedotónových obrazů (svarových spojů) plně postačující.

10.3.2 Další verze systému LUCIA

Kromě této verze existuje ještě několik dalších verzí systému LUCIA:
LUCIA G/F je rozšířením systému LUCIA. Tento software byl vyvinut pro pořizování a zpracování barevného obrazu po RGB obrazových rovinách. Umožňuje nezávislou práci s červenou, zelenou a modrou složkou barevného obrazu a dále kombinování všech tří složek do RGB obrazu. Je využíván zejména pro multispektrální fluorescenční obrazy.
LUCIA DI digitální systém s vysokým rozlišením barev (též v monochromatickém režimu), 1300 × 1000 obrazových bodů, 10 bit. Pracuje v reálném čase s rychlostí 12 obrázků za sekundu.
LUCIA M verze HiColor, ekonomické provedení s nižší úrovní barevného rozlišení, využívá 1-čipovou R-G-B kameru, Y/C nebo kompozitní kameru CCTV.
LUCIA D černobílá verze, např. pro černobílou kameru k denzitometrickým měřením.

10.3.3 Zdroje vzniku intenzitního 2D obrazu

Získání obrazu je možné několika způsoby:

1. Systémy s TV kamerou (nazývané rovněž „aktivní" systémy)

   - Digitalizační karta
   - TV kamera barevná (RGB, Y/C nebo kompozitní videosignál) nebo monochromatická
   - LUCIA DI pracuje s několika typy digitálních barevných nebo monochromatických kamer s vysokým rozlišením

2. Systémy se skenerem (systém na bázi VGA)

   - Stolní skener a/nebo příruční skener a/nebo Coolscan

3. Digitální fotografická kamera s nezávislým přenosem obrazu na pevný disk (systém na bázi VGA)

Rozlišení obrazu záleží jak na ovladači zobrazení Windows, tak na přístrojové sestavě. Většina digitalizačních karet vyžaduje rozlišení 800 × 600 pixelů pro práci s analogovou TV kamerou a zobrazení živých obrazů. Systémy s digitálními kamerami jsou schopné pracovat v rozlišení až 1280 × 1024 pixelů.

Aktivní verzí se rozumí verze obsahující sestavu s TV kamerou, resp. videem a digitalizační kartou, která zajišťuje a zprostředkovává přímý vstup obrazové informace do PC a zobrazení snímané scény v reálném čase na monitoru.

K součinnosti s kamerou je třeba zvolit odpovídající obrazovou kartu (frame grabber) - MATROX, MUTECH, případně pro síť kartu VGA.

10.4 Typy obrazů

Prostředí systému LUCIA G jsou vlastní následující typy obrazů:

10.4.1 Binární obrazy

Binární obrazy jsou tvořeny souborem pixelů o dvou možných hodnotách, a to buď 1, což reprezentuje objekty a struktury (bílé oblasti), nebo 0, což je pozadí (černé oblasti). Binární obrazy se tvoří příkazem prahování a často o nich mluvíme jako o segmentovaných obrazech. To zejména v případech, kdy se zdůrazňuje jejich vazba na původní barevný obraz, ze kterého vznikly segmentací. Používají se pro měření tvaru a velikosti. Systém LUCIA užívá čtvercovou mřížku. V tomto typu mřížky jsou dvě možnosti sousedství (konektivity): 8-sousedství a 4-sousedství. Rozdíl mezi těmito konektivitami spočívá v tom, že v 8-sousedství jsou dva diagonálně sousedící pixely implementovány jako jeden objekt, zatímco ve 4-sousedství jsou již vyhodnoceny jako dva objekty. Systém LUCIA pracuje s modelem 8-sousedství, takže všechny pixely sousedící spolu diagonálně jsou vyhodnoceny jako jeden objekt.

10.4.2 Barevné obrazy

V systému LUCIA se barevné obrazy skládají ze tří složek RGB, které představují intenzitu červené, zelené a modré. Hodnoty obrazových bodů pro každou složku jsou v intervalu od 0 do 255. Pro systém LUCIA G je to nejpřirozenější typ obrazu, sejmutý digitalizační kartou. Ke zpracování barevného obrazu se používá pouze intenzitní složka barevného obrazu. Odstín a sytost zůstávají stejné. Pro zpracování se tedy užívá prostor HSI (hue (odstín), saturation (sytost), intensity (intenzita)).

10.4.3 Šedé obrazy

Šedé obrazy jsou obrazy odvozené. Hodnoty obrazových bodů (pixelů) se mění od 0 (černá barva) do 255 (bílá barva). Mezilehlé hodnoty odpovídají různým stupňům šedi. V každém obrazovém bodu je hodnota identická pro všechny tři složky. Šedé obrazy nejsou systému LUCIA vlastní, ale mohou se vytvářet několika transformacemi, např. vytažením složek z RGB repzentace. Šedé obrazy jsou speciálním případem barevných obrazů.

10.5 Formáty obrazů

Jelikož LUCIA je specializovaný systém pro zpracování obrazu, podporuje pouze omezený počet standardních obrazových formátů. Navíc však systém LUCIA používá svůj vlastní obrazový formát (LIM), který přináší některé výhody v laboratorním využití obrazové analýzy. Formát obsahuje popis obrazu zahrnující položky jako autor, vzorek, předmět, kalibrace nebo typ objektivu. Tento formát může být buď nekomprimovaný nebo bezeztrátově komprimovaný.

Systém LUCIA dále podporuje přibližně dvacet obrazových formátů, jako např. Tagged Image File formát (TIFF), Windows Bitmapy (BMP), Graphics Interchange formát (GIF), Joint Photo Expert Group formát (JPEG), Photoshop formát (PSD) aj.

10.6 Tvorba makra

Makra lze s výhodou použít zejména v případech, kdy je potřeba stejným způsobem vyhodnotit větší množství různých obrazů nebo provést složitější analýzu obrazu. Nejrychlejší způsob vytvoření makra je nahrávání po sobě jdoucích příkazů. K tomu je třeba provést posloupnost akcí, které chceme nahrát. LUCIA zaznamenává všechny námi provedené akce, dokud nezměníme status položky Záznam v menu Makro (konec nahrávání).

Existuje ještě jeden způsob vytváření makra navržený zejména pro složitější aplikace a to přímé vytvoření makra. LUCIA obsahuje účinný prostředek k editaci maker. Mimo známých příkazů jako Kopírovat, Vložit, Vyjmout, Uložit, Vytisknout, Zpět/Znovu podporuje příkaz Vložit příkaz (ze seznamu všech dostupných funkcí), semi-automatickou proceduru pro tvorbu maker (Vložení příkazů z historie příkazů) a on-line nápovědu s detailním popisem funkcí.

10.7 Měření

Měření je pokročilou a komplexní technikou obrazové analýzy. Začíná kalibrací systému LUCIA, následuje kvantitativní vyhodnocení obrazu (volba vhodné statistiky - texturální nebo objektová statistika), výběr příznaků, definování měřícího rámečku, masky a obrazů, které mají být zahrnuty do meření a končí vyhodnocením a prezentací dat.

10.7.1 Kalibrace

Kalibrace má klíčový význam pro měření. Přiřazuje objektům jejich reálný rozměr. Před prováděným měřením je důležité zkontrolovat, zda aktuální kalibrace (objektiv) systému LUCIA odpovídá reálnému zvětšení sejmutého obrazu. Při prováděném měření obrazu uloženého na pevném disku se může stát, že tento obraz byl zachycen při odlišném zvětšení od aktuální kalibrace systému LUCIA. Vhodnou kalibraci odpovídající zvětšení uloženého obrazu je nutné načíst ještě před nahráním tohoto obrazu. Systém LUCIA potom uzamkne nahranou kalibraci a výsledky následujících měření budou v takových rozměrech, v jakých byly uloženy na pevném disku.

10.7.2 Návrh měření

Před měřením je nutné se rozhodnout, zda nás zajímá textura (pole) nebo objekt. Systém LUCIA rozlišuje dva druhy měření: měření vztažené k textuře (*texturální měření*) nebo k objektu (*objektové měření*). Výsledkem objektového měření jsou hodnoty veličin (příznaků) pro jednotlivé objekty. Výsledkem texturálního měření jsou hodnoty veličin (příznaků) v jednotlivých polích (texturách). Výběrem polí je možné definovat prostor, ve kterém budou provedeny výpočty základních statistických veličin pro objekty (nebo pro textury).

10.7.3 Měřící rámeček

Dalším důležitým parametrem je měřící rámeček. Má odlišný význam pro objektové a texturální měření. Částice, které se dotýkají levého nebo dolního okraje, jsou při objektovém měření vyloučeny ze statistiky. Naopak částice, které se dotýkají horního a pravého okraje, jsou do statistiky zahrnuty. V případě texturálního měření definuje měřící rámeček pravoúhlou oblast, na kterou se vztahují omezení pro měření příznaků. Rozměry měřícího rámečku lze definovat všemi známými způsoby.

10.7.4 Obrazy zahrnuté v měření.

Existuje několik obrazů zahrnutých v měření:

- barevný obraz
- binární obraz
- obraz masky

Barevný obraz se používá např. pro měření intenzity nebo typického odstínu barevného obrazu. Binární obraz se používá pro měření tvaru a velikosti (plocha, obvod). Obraz masky se používá, jestliže chceme měření zúžit na oblast, o které se někdy hovoří jako o oblasti měření (oblasti zájmu). Oblast měření je definovaná jako průsečík měřícího rámečku a obrazu masky.

10.7.5 Příznaky měření

Většina příznaků je definována jak pro objektová tak i pro texturální měření. Mezi nejdůležitější patří x-ová a y-ová souřadnice těžiště (CenterX, CenterY), kruhovost (Circularity), střední intenzita šedi (Mean Gray), délka (Length), šířka (Width), plocha (Area), obvod (Perimeter). Existují však některé výjimky, např. plošný podíl (AreaFraction) plochy může být přiřazen pouze textuře, tzn. že jde o příznak texturálního měření. Na druhé straně orientace (Orientation) nebo Feretovy průměry (MaxFeret, resp. MinFeret) mají rozumnou interpretaci pouze v případě objektového měření.

10.7.6 Statistiky a prezentace dat

Program LUCIA počítá základní statistické charakteristiky (střední hodnota, standardní odchylka a rozložení všech měřených příznaků) a podporuje selektivní *definici měření*, což znamená, že je možné upravit obecné měření výběrem příznaků, které nás zajímají. Dále umožňuje *interaktivní* pozorování dat v *reálném čase, což* znamená možnost definovat pole (fields), ve kterých bude statistika počítána. Systém LUCIA nabízí dva způsoby prezentace naměřených dat - přímou, bezprostřední grafickou prezentaci distribuce příznaků v prostředí LUCIA, nebo prostřednictvím clipboardu s využitím grafických funkcí jiných programů, jako např. EXCEL.

11. Vyhodnocování obrazové informace pomocí systému LUCIA G

Postup automatizovaného vyhodnocování indikací podle kritérií používaných v EN a ASME, je tvořen následujícími kroky:

1. Filtrace obrazu v šedotónovém režimu (svarový spoj)
2. Segmentace prahováním
3. Měření příznaků objektů v binárním režimu a jejich vyhodnocení

Nejprve je provedena filtrace indikací od pozadí, což je stěžejní část celého procesu. Zjednodušeně řečeno to znamená, že indikace je maximálně zvýrazněna a naopak ostatní části obrazu, které jsou z pohledu vyhodnocování nezajímavé, jsou potlačeny. Obecně může být filtrace použita ve frekvenční oblasti, kde se s výhodou využívá kombinace rychlé a diskrétní Fourierovy transformace, frekvenčních filtrů a posléze inverzní Fourierovy transformace. Z tohoto pohledu jde tedy o potlačení nízkých frekvencí tvořících pomalé změny intenzit (pozadí) a zvýraznění vysokých frekvencí

představujících strmé změny intenzit (vady). Druhou možností je filtrace v prostorové oblasti s využitím konvolučních metod s vhodně zvolenými maticemi (též nazývané kernely nebo strukturní elementy určujícími velikost právě zpracovávaného okolí), případně počty iterací. Význam těchto transformací spočívá v nahrazení různých statistických a matematických metod jako je změna parametrů Gaussova rozložení, první a druhá parciální derivace atd. Nedílnou součástí obrazové filtrace je obrazová aritmetika umožňující provádět s jedním či více obrazy základní matematické operace, jako např. Sčítání, Odečítání, Min, Max a Abs (absolutní hodnota).

Dále je potřeba takto upravený obraz segmentovat prahováním, neboli provést transformaci barevného či šedotónového obrazu do binárního, ve kterém jedna ze dvou barev představuje obraz indikací a druhá pozadí. Nastavením nejnižší a nejvyšší přípustné hodnoty intenzity je provedeno převedení do binárního režimu. Části obrazu, které se pohybují pod nebo nad prahovými hodnotami se zobrazí jako černé a tvoří tak pozadí (hodnota 0) k objektům s intenzitou v naprahovaných mezích, které jsou bílé (hodnota 1). Teprve až v binárním režimu je možné jednoznačně identifikovat objekty představující indikace.

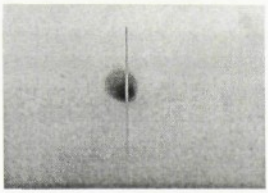
Posledním krokem je vyhodnocení objektů reprezentujících indikace. Vyhodnocení postupuje podle algoritmu, který odráží specifické požadavky (kritéria přípustnosti, která vyjadřují zkušební úroveň pro přejímku komponentů) dané normy, předpisu či jiného zadání. Jeho součástí je nalezení relevantních objektů reprezentující indikace, zjištění jejich rozměrových parametrů popř. jejich roztřídění podle tvaru, zjištění vzájemných poloh objektů a aplikování jednotlivých zásad pro skupiny indikací určených normou (např. řádková indikace, kritické množství relevantních indikací vyskytujících se na dané ploše nebo délce svaru apod.). Výsledkem pak může být například grafické označení té oblasti výrobku, která nesplňuje alespoň jedno z kritérií přípustnosti dané normy a je proto nepřípustná.

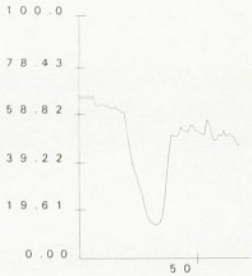
11.1 Filtrace indikací na radiogramech svarových spojů

K odfiltrování indikací zobrazených na radiogramech tupých svarů, které mohou nabývat rozdílných tvarů, rozměrů, vzájemného uspořádání a hodnot intenzit od intenzity bezprostředního okolí, je možné přistupovat dvěma základními způsoby:

1. Obrazová morfologie založená na Top Hat transformaci
2. Odečítání rozostřeného pozadí od původního obrazu

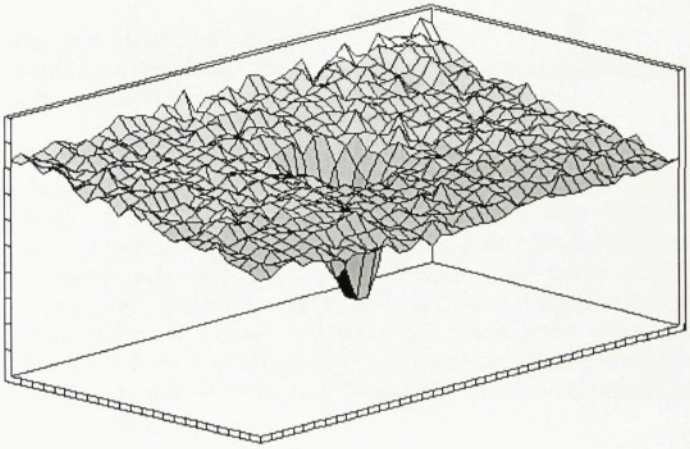
Ty se liší ve schopnosti nalézt indikace v závislosti na velikosti jejich rozměrů a rozdílu hodnot intenzit od intenzity pozadí, resp. v rychlosti změn intenzit (velikost gradientu) a v jejich citlivosti na tvorbu falešných indikací, popř. šumu.





(a) (b)

Obrázek 11.1 (a) Indikace reprezentující hrubě rozptýlený pór. (b) Jednorozměrný jasový profil



Obrázek 11.2 Trojrozměrný graf intenzit povrchu; výchozí obr. 11.1

11.1.1 Top Hat transformace

Detekce údolí (Detect Valleys)
Zvýrazňuje malé tmavé objekty představující indikace morfologickou transformací Top Hat. Velikost detekovaných objektů je dána velikostí použitého strukturního elementu, která závisí jak na počtu kroků použitých v algoritmu tak na typu strukturního elementu.

Detekce vrcholů (Detect Peaks)
Analogicky příkaz Detekce vrchlů zvýrazňuje malé světlé objekty morfologickou transformací Top Hat.

Oba příkazy umožňují speciální segmentaci malých objektů a vyloučení velkých objektů. Často se používají při prahování na barevně nehomogenním pozadí.

Regionální minima (Regional Minima)
Umožňuje detekovat regionální minima - indikace. Jedná se o jemnější detekci ve srovnání s Top Hat transformací. Odpovídající funkce je podmnožinou Top Hat transformace.

Regionální maxima (Regional Maxima)
Analogicky umožňuje detekovat regionální maxima. Z topografického hlediska odpovídají regionální extrémy vrcholům a prohlubním v krajině.

Uzavření (Close Color)
Provádí morfologické uzavření všech objektů s nízkou intenzitou jasu na aktuálním barevném obrazu. Funkce je tvořena dvěma parametry typu integer, z nichž první parametr udává počet postupně aplikovaných dilatací následovaných stejným počtem erozí. Druhý parametr definuje typ strukturního elementu se středem ve zvýrazněném pixelu, který používají elementární dilatace a eroze. Je-li dimenze strukturního elementu lichá, jsou v něm přítomny dva zvýrazněné pixely: jeden pro erozi, druhý pro dilataci. Touto morfologickou transformací jsou uzavřeny malé objekty s nízkou intenzitou. Jinými slovy dojde k odstranění malých tmavých oblastí představujících některé indikace.

Otevření (Open Color)
Provádí morfologické otevření aktuálního barevného obrazu. Morfologické otevření je eroze následovaná stejným množstvím dilatací. Transformace je aplikována na intenzitní složky obrazu a odstraňuje malé světlé objekty, které mají vysokou hodnotu intenzity.

Top Hat transformace je tedy vhodná pro filtraci malých kontrastnějších indikací s rychlejšími změnami intenzit od intenzity pozadí (vysoké frekvence). Základní nevýhodou je malá velikost strukturního elementu, díky čemuž není možné odfiltrovat indikace větších rozměrů, jako např. protáhlý struskový vměstek, trhlina apod. a není tedy pro automatické vyhodnocování radiogramů svarů vhodná. Nevýhodu malého strukturního elementu lze částečně kompenzovat větším počtem iterací, čímž se ovšem zvyšuje časová náročnost této operace.

11.1.2 Odečítání pozadí

Vyhlazení (Smooth)

Provádí vyhlazení na barevných nebo šedých obrazech. Funkci tvoří dva parametry celočíselné proměnné typu integer. První specifikuje počet postupně aplikovaných elementárních erozí se strukturním elementem definovaným druhým parametrem Matrix Type. Vyhlazování je aplikováno na intenzitní složku barevného obrazu. Intenzita každého pixelu v cílovém obrazu je rovna výsledné hodnotě intenzit sousedních pixelů z originálního obrazu. Odstín a sytost se nemění.

Obecně platí, že odečtení obrazu od pozadí po vyhlazení je vhodnější pro indikace s pomalejší změnou intenzit od intenzity pozadí (nižší frekvence). Tento vyhlazovací filtr není dostatečně účinný pro automatické vyhodnocování. V případě jeho zařazení do vyhodnocovacího makra je vhodný pro mezioperační úpravy, např. v kombinaci s uzavřením nebo jinými modifikacemi Top Hat transformace.

Filtrace Golay (Golay Filter)

Vyhlazuje aktuální barevný obraz pomocí polynomu druhého stupně (použitý Mód Vyhlazení). Funkci tvoří dva parametry, z nichž první udává velikost okolí, v němž je prováděno vyhlazování a druhý specifikuje typ použitého filtru. Jde o nejúčinnější nástroj pro vytvoření rozostřeného pozadí, pomocí nějž je možné detekovat nejširší spektrum indikací různého tvaru a změn intenzit vůči intenzitě pozadí. Ze všech dosud uvedených nástrojů pro předzpracování obrazu je nejvhodnější pro automatické vyhodnocování.

11.2 Problémy vzniklé při filtraci indikací

Při pokusech odfiltrovat některé typy indikací zobrazených na radiogramech tupých svarů jsem narazil na několik zásadních problémů.

Po odfiltrování je trhlina rozdělená na několik menších částí, které jsou zpravidla také nepřípustné, tedy nesplňují kritéria přípustnosti z hlediska příslušné normy. Tím je ovšem ztracena informace o její celkové délce. Totéž platí o studeném spoji.

V rámci možností programového vybavení LUCIA G určit geometrická kritéria, podle kterých by bylo možné rozlišit trhlinu od studeného spoje a trhlinu od protáhlé indikace reprezentující např. struskový vměstek (viz 13.4.3).

Výsledkem filtrace indikací zaujímajících velkou plochu, jako jsou např. protáhlé struskové vměstky nebo velké bubliny, není celá tato vada, ale pouze její část, která ve svém důsledku nemusí být nepřípustná ačkoliv nepochybně je.

Dalším problémem je odfiltrování malých indikací, např. bublin o rozdílných hodnotách intenzit vůči intenzitě okolí. Indikace zobrazené na radiogramech, jejichž rozdíl intenzit od intenzity okolí je menší než přibližně 10 jsou obtížně prahovatelné ve výsledném obraze, jelikož při nízko nastaveném prahu se navíc objevují falešné indikace a šum. Pokud je jejich velikost menší než velikost minimální relevantní indikace, jsou z pohledu vyhodnocování nepodstatné. V opačném případě by mělo být snahou odstranění těchto falešných indikací na základě restrikce střední hodnoty intenzity šedi (Mean Gray). Na druhou stranu je třeba poznamenat, že takto malý rozdíl intenzit je lidským okem již špatně rozeznatelný a zůstává otázkou, jak by byl defektoskopický pracovník schopen takovouto indikaci vyhodnotit.

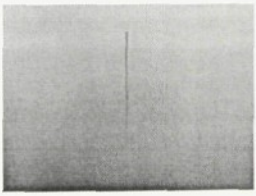
Všechny výše popsané problémy jsou řešeny v přiloženém podmakru tvořícího součást makra pro vyhodnocování radiogramů svarových spojů podle EN 10246-10 (viz příloha č.6) a jehož jednotlivé části dále podrobně rozebrány.

11.3 Navržená metodika filtrace indikací na radiogramech svarových spojů

1. Vytvoření pozadí „bez vad", od kterého je odečten původní obraz
   - Golay Filter - konvoluční počet
   - Uzavření, (Otevření) - tvoří základ Top Hat transformace
2. Normalizace intenzity obrazu
   kontrastní indikace nejsou násobeny tak vysokou hodnotou Multiple Factor jako méně kontrastní
3. Zvýšení střední hodnoty šedi relevantních indikací

11.3.1 Filtrace Golay

První způsob využívá filtraci Golay (Golay Filter), která ve srovnání s druhým způsobem tvořícím základ Top Hat transformace, je schopna pracovat na mnohem větším okolí (velký strukturní element) a odstranit veškeré vysoké frekvence (pozvolné přechody jsou ignorovány a jasový profil je vyhlazen. S tím ovšem souvisí i větší časová náročnost. Hlavní předností filtrace Golay je skutečnost, že po průběhu celého makra dojde k označení většího počtu indikací. Tedy i těch méně kontrastních, jejichž intenzita se liší o méně než 10% od intenzity pozadí. Určitou nevýhodou je skutečnost, že mezi těmito indikacemi se mohou nacházet i falešné indikace. Zůstává tedy i nadále otázkou, jakou restrikci použít k odstranění těchto nadbytečných indikací, které ve svém důsledku mohou vést k mylnému vyhodnocení na základě kritérií přípustnosti a následnému vyřazení součásti z výrobního cyklu.



(a)

(b)

Obrázek 11.3 Aplikace filtrace Golay; výchozí obr. 11.1. (a) Rozostřené pozadí. (b) Vyhlazený jednorozměrný jasový profil

Smyslem této operace je vytvořit obraz o co nejrovnoměrnější hodnotě intenzity, jinými slovy pozadí „bez indikací". Ten je následně použit v obrazové aritmetice (funkce Color Operations), která umožňuje provádět jednoduché aritmetické operace se dvěma barevnými obrazy na jejich intenzitních složkách. Od takto vytvořeného homogenního pozadí je odečten původní obraz. Parametr Colors From specifikuje, který barevný obraz (referenční nebo aktuální) definuje odstín a sytost výsledného obrazu. Výsledkem je skutečnost, že indikace mají vyšší intenzitu než okolí a jsou částečně odstraněny nízké frekvence (pozvolné změny intenzit u větších objektů).

(a) (b)

Obrázek 11.4 Odečtení původního obrazu od rozostřeného pozadí; výchozí obr. 11.1. (a) Indikace o vyšší intenzitě než je intenzita okolí. (b) Odečtený jednorozměrný jasový profil.

Zde je již možné provést prahování v intervalu od experimentálně zvoleného dolního prahu do 255. Tato operace je definována funkcí Definice Prahování (Define Threshold), která se používá pouze pro nastavení prahových hodnot. K vytvoření binárního segmentovaného obrazu je nutno zavolat funkci Prahování (Threshold). Tato funkce detekuje pixely s RGB intenzitami uvnitř rozmezí specifikovaného předchozím příkazem. Výsledkem transformace je tedy aktuální binární obraz.

Další krok tvoří tzv. normalizace intenzity obrazu, která spočívá ve změření střední hodnoty intenzity šedi objektů (Mean Gray) nalezených předešlým prahováním a její následné použití jako parametru Multiple Factor experimentálně stanoveného vztahu.

$$MultipleFactor = -0.3 * MeanGray + 10 .$$

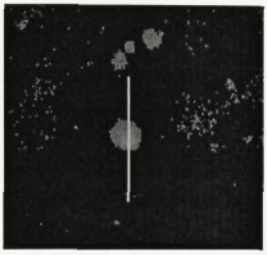
Výsledkem je hodnota násobení obrazu. Normalizační vztah vyjadřuje lineární závislost (přímka se zápornou směrnicí) parametru Multiple Factor na hodnotě Mean Gray a slovně jej lze charakterizovat tvrzením: čím kontrastnější indikace (tmavší vůči pozadí), tím menší hodnotou jsou násobeny. V přiloženém makru je zavedena důležitá podmínka, která snižuje intenzitu více kontrastních indikací a zamezuje tak vylézání falešných indikací na povrch. Jestliže je hodnota Multiple Factor záporná, je obraz násoben její absolutní reciprokou hodnotou. Hodnota Mean Gray se odvozuje z histogramu intenzit. Je to obvyklý statistický průměr z hodnot intenzity obrazových bodů.

Smyslem makra je kromě zvýšení intenzity objektů (vad), také zvýšení intenzity těch objektů, které mají malý rozdíl intenzit vůči pozadí a které by jinak byly přehlédnuty. Tyto objekty mohou být dále významné z hlediska hodnocení přípustnosti vad. K tomu je potřebné opětovné prahování objektů v odečteném obraze dle experimentálně stanoveného rozsahu intenzit, který se částečně překrývá s rozsahem intenzit předešlého prahování. To je důležité mimo jiné k zabránění rozsegmentování větších indikací. Jelikož jsou při tomto prahování označeny také nechtěné objekty (falešné indikace), je vzápětí provedena selekce na základě jejich tvaru - Kruhovost (Circularity). Kruhovost je 1 pouze pro kruh, všechny ostatní tvary jsou charakterizovány kruhovostí menší než 1. Je to odvozená míra tvaru počítaná z plochy a obvodu.

$$Circularity = \frac{4\pi \cdot plocha}{obvod \cdot obvod} .$$

Pomocí této restrikce, resp. její experimentálně stanovenou hodnotou 0,1 lze také poměrně dobře odstraňovat „spojitý šum" na okrajích svaru, který vzniká po předchozím prahování. Právě takto vzniklý šum má velmi nízkou hodnotu kruhovosti. Základní nevýhodou tohoto omezení je skutečnost, že trhlina i studený spoj může také nabývat stejné nebo ještě nižší hodnoty kruhovosti a tedy dojít k jejímu úplnému nebo částečnému vyloučení z měření.

V dalším kroku dojde k vynásobení obrazu pomocí funkce transformace na intenzitách (Intensity Transformation), která transformuje aritmetickými operacemi intenzitní složku. Zde dochází k vynásobení každého pixelu hodnotou intenzita (výsledek experimentálního vztahu Multiple Factor). Hodnoty větší než 255 jsou upraveny na 255, hodnoty nižší než 0 jsou upraveny na 0.



(a)

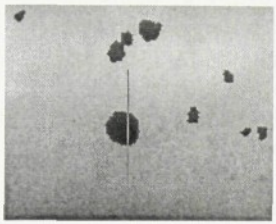
(b)

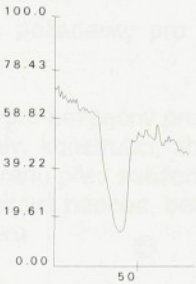
Obrázek 11.5 Vynásobení obrazu hodnotou Multiple Factor; výchozí obr. 11.1. (a) zvýšení rozdílu intenzit naprahované indikace a pozadí. (b) Jednorozměrný jasový profil

Před použitím funkce Kombinovat podle binárního (Color Bin Combine) je dobré nejprve odstranit/vyčistit malé objekty z binárního obrazu. Ty představují šum vzniklý předchozím vynásobením všech složek obrazu. Nyní již můžeme kombinovat dva barevné obrazy (aktuální a referenční, oba jsou vynásobeny a mají různou intenzitu) skrze binární obraz. Aktuální binární obraz určuje, která část výsledného obrazu je vzata z aktuálního barevného obrazu a která z referenčního barevného obrazu. Funkci tvoří jeden parametr, pomocí kterého je určen druh barevného obrazu odpovídající obrazovému bodu hodnoty 1 (= obrazový bod vyznačující objekty v binárním obraze). Zde se na místě objektů nachází referenční barevný obraz (více intenzivní). Význam této operace spočívá především ve srovnání hladin méně a více kontrastních indikací. Tím dojde ke zvýšení střední hodnoty intenzity relevantních indikací (významných z hlediska dalšího vyhodnocování). To je užitečné pro zavedení další restrikce Mean Gray. Hodnota Mean Gray skutečných indikací je vždy vyšší než u indikací falešných. Vynásobením a následnou kombinací dvou barevných obrazů skrze binární se tento rozdíl ještě zvětší. Tím je umožněno prahování při jedné spodní (co nejnižší) hodnotě, která ještě zaručí, že do výsledného binárního režimu jsou převedeny pouze relevantní indikace. Ostatní indikace s hodnotou Mean Gray menší než je hodnota spodního prahu budou tvořit po převedení do binárního režimu pozadí.

Ještě před zavedením této restrikce je použitím obrazové aritmetiky odečten takto upravený barevný obraz od úplně původního (originálního) obrazu a uložen jako referenční barevný obraz. Tím klesne intenzita indikací a dojde k jejich zvýraznění vůči pozadí, přičemž nejvíce jsou zvýrazněny původně méně kontrastní indikace.

Poslední operací před výsledným prahováním, aplikací restrikce Mean Gray a jemným vyčištěním se opakuje načtení původního obrazu, rozostření jeho pozadí funkcí Golay Filter a odečtení zvýrazněného obrazu od takto upraveného pozadí. Tím došlo k ještě většímu nárůstu intenzit relevantních indikací, resp. jejich maximálnímu zvýraznění od ostatních částí obrazu, které jsou z pohledu dalšího vyhodnocování nezajímavé. Tím je účel filtrace beze zbytku splněn.





(a) (b)

Obrázek 11.6 (a) Naprahovaná indikace představující hrubě rozptýlený pór v překrytém režimu (Aktuální binární obraz & Aktuální barevný obraz). (b) Zvýrazněný jednorozměrný jasový profil. Výchozí obr. 11.1.

11.3.2 Uzavření

Druhý způsob filtrace, využívající základy Top Hat transformace - Uzavření a Regionální minima, je vhodný pro detekci menších objektů s nízkou intenzitou. Smyslem je před samotným hledáním Regionálních minim představujících indikace, tyto indikace co nejvíce zvýraznit, tedy snížit jejich intenzitu, aniž by výrazně klesla intenzita okolí. Postup je následující:

K vytvoření pozadí „bez indikací" je nejprve obraz nepatrně vyhlazen, poté jsou uzavřeny všechny malé objekty s nízkou intenzitou a ještě jednou je aplikováno výraznější vyhlazení.

Další kroky jsou shodné s prvním způsobem filtrace až ke kombinaci obou barevných obrazů (odfiltrovaného - aktuální a původního - referenční) skrze obraz binární. Následným použitím obrazové aritmetiky odečteme takto upravený obraz od původního. Tím klesne intenzita indikací a dojde k jejich zvýraznění vůči pozadí. Jinými slovy změna intenzit indikací je mnohem větší než změna intenzit okolí.

Poslední operací před výsledným prahováním, aplikací restrikce Mean Gray a jemným vyčištěním binárního obrazu, jsou Regionální Minima, která využívají geodetickou rekonstrukci algoritmu pro detekci lokálního (= regionálního) minima (pixely s nejmenší intenzitou - vady).

Jelikož tento způsob filtrace není schopen bezpečně detekovat indikace větších rozměrů, není pro automatické vyhodnocování příliš vhodný.

12. Předpis ASME pro kotle a tlakové nádoby

ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Předpis ASME (The American Society of Mechanical Engineers) tvoří XI sekcí (sections). Některé sekce jsou složeny z divizí (divisions) a jednotlivé divize mohou být tvořeny podsekcemi (subsections) a dodatky (appendices). Sekce (nebo podsekce) pak mívají články (articles), podčlánky (subarticles), příp. i podpodčlánky (subsubarticles), paragrafy (paragraphs), podparagrafy (subparagraphs), příp. také podpodparagrafy (subsubparagraphs).

V přehledu jsou to tedy:

ASME I Kotle energetické (Power Boilers)
obsahuje předpisy a všeobecné požadavky pro všechny metody konstrukce energetických kotlů

ASME II Materiály (Materials)
týká se materiálových specifikací pro bezpečný provoz tlakových zařízení

ASME III poskytuje požadavky na materiály, konstrukci, zhotovení, zkoušení, inspekci, instalaci, certifikaci a ochranu před zatížením přetlakem součástí jaderných elektráren jako jsou tlaková nádoba, betonová nádoba reaktoru a betonový kontejnment reaktoru

ASME IV Ohřevné kotle (Heating Boilers)
obsahuje minimální bezpečnostní požadavky pro energetické kotle

ASME V Nedestruktivní zkoušení (Nondestructive Examination)
se týká požadavků na metody nedestruktivního zkoušení

ASME VI Doporučené předpisy pro údržbu a obsluhu ohřevných kotlů
(Recommended Guidelines for the Care of Heating Boilers)
obsahuje nejnovější specifikace, terminologii a základní principy používané na energetické kotle

ASME VII Doporučené předpisy pro údržbu energetických kotlů
(Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers)

ASME VIII Tlakové nádoby (Pressure Vessels)
obsahuje minimální požadavky na bezpečnou konstrukci, výrobu a certifikaci tlakových nádob

ASME IX Kvalifikace pro svařování a pájení (Welding and Brazing Qualifications)
obsahuje všeobecné požadavky pro svařování a pájení

ASME X Tlakové nádoby z laminátů (Fiber - Reinforced Plastic Pressure Vessels)
zahrnuje minimální bezpečnostní požadavky na konstrukci tlakových nádob ze skelných laminátů

ASME XI Předpisy pro provozní kontroly zařízení jaderných elektráren
(Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components)

Kromě této základní sestavy sekcí kodexu ASME existuje ještě tzv. „adendy" - (pl. Addenda, sg. Addendum), Interpretations (interpretace či výklad článků kodexu) a Code Cases (případy kodexu).

12.1 Vyhodnocení snímků dle ASME, Sekce VIII, Divize 1, UW-51 + Apendix 4

12.1.1 Rozsah

Tento postup popisuje kritéria hodnocení pro stoprocentně prozařované svarové spoje. Všechny svarové spoje, které se mají prozařovat, se musí kontrolovat v souladu s písemnou návodkou, potvrzenou pracovníkem LEVEL III závodu, která má být ve shodě s tímto postupem.

12.1.2 Terminologie

a) Okrouhlé indikace
Indikace s maximální délkou, rovnající se trojnásobku šířky nebo méně, zobrazené na radiogramu, jsou označovány jako okrouhlé indikace. Tyto indikace mohou být kruhové, eliptické, kónické nebo mohou mít nepravidelný tvar a mohou mít výběžky. Při hodnocení velikosti takové indikace musí být zahrnut i výběžek. Indikace mohou pocházet z jakékoliv nedokonalosti ve svaru jako je pór, struska nebo wolfram.

b) Řádka indikací
Sled čtyř nebo více okrouhlých indikací se považuje za řádku, pokud se dotýkají myšlené linie, vytvořené rovnoběžně s délkou svaru, a probíhající středem dvou vnějších okrouhlých indikací.

c) Tloušťka t
t je tloušťka svaru bez jakéhokoliv povoleného převýšení. U tupých svarových spojů, kde dvě sousední části mají různou tloušťku, je t tloušťka tenčí z nich. U koutových svarů je to hodnota a.

12.1.3 Kritéria přípustnosti

Zčernání obrazu
Zčernání uvnitř obrazu indikace se může měnit a není kritériem pro přijetí nebo odmítnutí.

Hranice geometrické neostrosti
Hranice geometrické neostrosti se musí používat pouze jako vodítko. Konečné schválení radiogramu musí vycházet ze schopnosti vidět předepsaný obraz měrky a specifikovaný otvor nebo určený drátek drátkové měrky.

Nepřípustné indikace
Indikace, které se ukáží na radiogramu svarů a jsou charakterizovány jako *nepřípustné* necelistvosti, (za následujících podmínek), musí být opraveny v souladu s požadavky na opravu svarových vad.

a) *Jakákoliv indikace charakterizovaná jako trhlina nebo zóna obsahující neprůvar nebo studený spoj.*

b) *Jakákoliv jiná protažená indikace na radiogramu, která má délku větší než:*

6,35 mm pro t až do 19,05 mm
1/3t pro t od 19,05 mm do 57,15 mm
19,05 mm pto t přes 57,15 mm,

c) *Jakákoliv skupina nebo řádka protáhlých indikací*, které mají celkovou délku větší než t v délce 12t, s výjimkou, pokud vzdálenost mezi následnými vadami přesahuje 6L, kde L je délka nejdelší vady ve skupině.

d) *Okrouhlé indikace* v počtu větším než je specifikováno kritérii přípustnosti, která následují.

ASME, jako okrouhlé indikace uznává pouze „*Relevantní indikace*", které přesahují následující rozměry:

1/10t pro t menší než 3,2 mm
0,4 mm pro t od 3,2 mm až do 6,35 mm, včetně
0,8 mm pro t větší než 6,35 mm až do 50,8 mm, včetně
1,6 mm pro t větší než 50,8 mm.

e) *Maximální velikost okrouhlé indikace.*
Maximálně povolená velikost jakékoliv okrouhlé indikace musí být 1/4t nebo 4 mm, cokoliv je menší, s výjimkou, že izolovaná indikace, oddělená od sousední indikace vzdáleností 25,4 mm nebo více, může být 1/3t nebo 6,35 mm, cokoliv je menší.
Pro t větší než 50,8 mm maximálně povolená velikost izolované může být zvýšena na 9,6 mm.

f) *Řádka okrouhlých indikací.*
Řádka okrouhlých indikací je přípustná, pokud celkový součet průměrů indikací je menší než t v délce 12t. (viz obr. 1, příloha č.2.)
Délka skupin řádkových okrouhlých indikací a mezery mezi těmito skupinami musí vyhovět následujícím požadavkům: (viz obr. 2, příloha č.2)

Maximální délka skupiny:
L = 6,35 mm pro t menší než 19,05 mm
L = 1/3t pro t od 19,05 mm do 57,15 mm
L = 19,05 mm pro t větší než 57,15 mm.

Minimální odstup skupiny:
3L, kde L je délka nejdelší hodnocené sousední skupiny.

g) *Odstup.*
Vzdálenost mezi sousedními okrouhlými indikacemi není faktorem pro určování přípustnosti nebo zamítnutí, s výjimkou požadavků na izolované indikace nebo skupiny řádkových indikací.

h) Vzorové předlohy pro okrouhlé indikace.
Okrouhlé indikace, charakterizované jako vady, nesmí přesahovat to, co je ukázáno na vzorových předlohách. Vzorové předlohy (viz obr. 3÷8, příloha č.2) naznačují různé typy seskupených, náhodně rozptýlených a soustředěných okrouhlých indikací pro různé tloušťky svaru větší než 3,2 mm. Tyto vzorové předlohy představují limity pro maximální přípustnou koncentraci okrouhlých indikací. Vzorové předlohy pro každý tloušťkový rozsah představují celé radiogramy o délce 152,4 mm a nesmí být zvětšeny nebo zmenšeny. Způsob distribuce vad, tak jak je předložen, nemusí být nutně vzorem, který se může objevit na radiogramu, ale je typický pro koncentraci a velikost povolených indikací.

i) Tloušťka svaru t menší než 3,2 mm.
Pro t menší než 3,2 mm maximální počet okrouhlých indikací nesmí přesáhnout 12 v délce svaru 152,4 mm. Úměrně menší počet indikací je dovolen ve svarech menších než 152,4 mm délky.

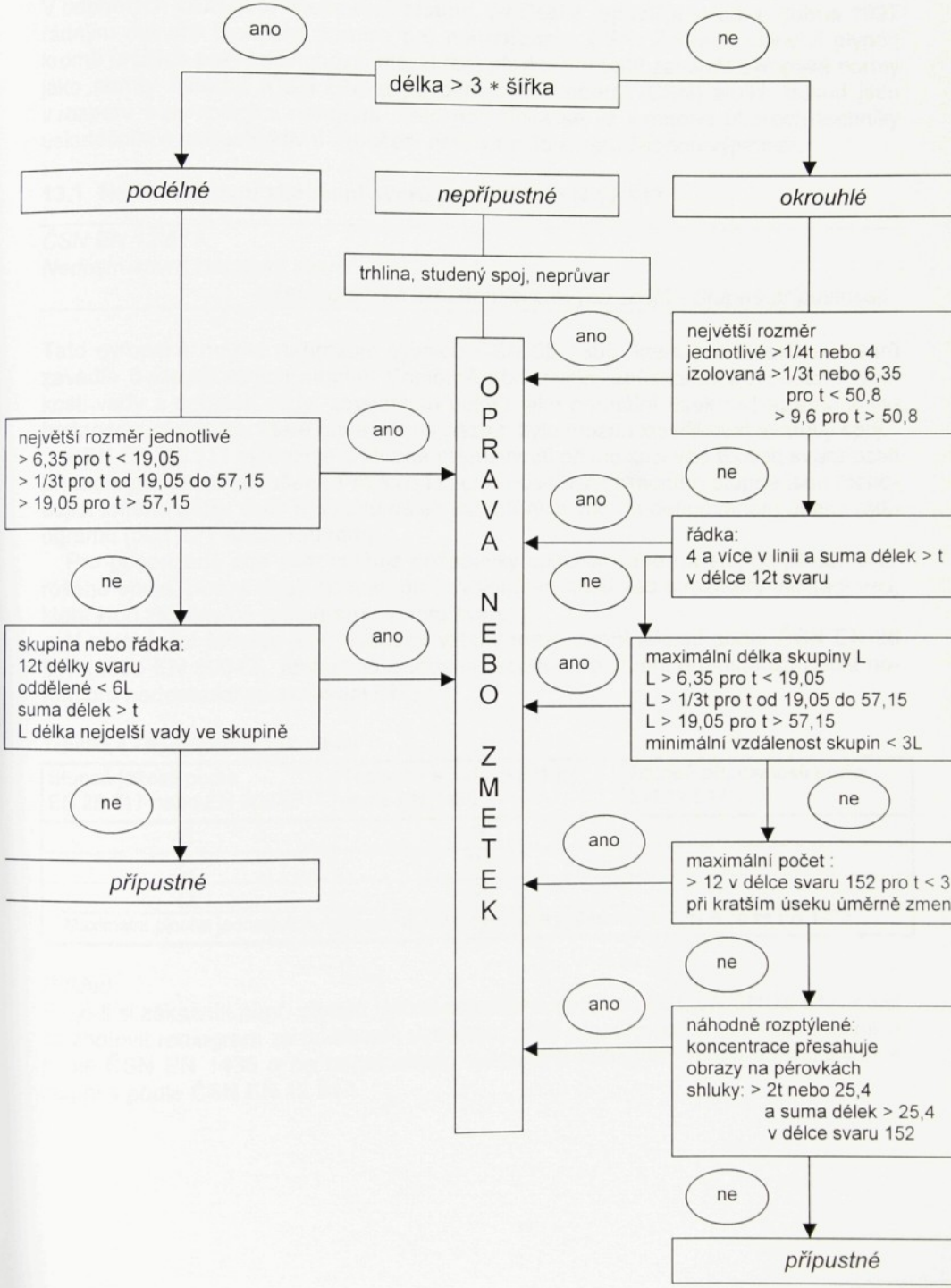
j) Shluky indikací.
Obrázky pro shluky indikací ukazují 4krát tolik indikací v lokální oblasti, než je ukázáno na ilustracích pro nahodilé indikace. Délka přípustného shluku nesmí přesáhnout menší z hodnot 25,4 mm nebo 2t. Pokud se vyskytne více než jeden shluk, součet shluků nesmí přesáhnout 25,4 mm v délce svaru 152,4 mm.

12.1.4 Opravy

Kontrola oblastí, z kterých byly odstraněny defekty.
Poté, co byl defekt odstraněn a před provedením opravy svaru, oblast musí být zkontrolována vhodnými metodami, aby se zabezpečilo, že vada byla odstraněna.

Nová zkouška po opravě.
Předpisy pro opravené oblasti jsou stejné jako ty, které se vyžadují pro původní oblasti, které byly prozařovány, pokud není specifikováno jinak jinými kontrolními dokumenty. Pro indikaci toho, že se jedná o opravené oblasti, které byly prozařované, je třeba přiložit olověné písmeno „R“ tak, aby bylo viditelné na filmu.

12.1.5 Návrh algoritmu pro automatizované vyhodnocování vad - 100%



13. Nedestruktivní zkoušení svarů podle evropských norem

V odborných kruzích je všeobecně známo, že Česká republika je od 1. dubna 1997 řádným členem Evropské komise pro normalizaci - CEN. Z tohoto členství plynou kromě určitých práv i povinnosti, mezi které především patří zavádět evropské normy jako normy národní (ČSN EN) a původní české normy (ČSN) zrušit, pokud jsou v rozporu s evropskými normami. Tato podmínka se již v mnoha oborech techniky uskutečnila a nedestruktivní zkoušení není v tomto směru žádnou výjimkou.

13.1 Nedestruktivní zkoušení svarů podle ČSN EN 12 517

ČSN EN 12 517
Nedestruktivní zkoušení svarů
- Radiografické zkoušení svarových spojů - Stupně přípustnosti.

Tato evropská norma nahrazuje bývalou ČSN 05 1305, která pro klasifikaci svarů zavedla 5 klasifikačních stupňů. Poměrně objektivním způsobem z vypočtené velikosti vady a četnosti vady, zavedením pojmů jako normální úsek radiogramu a vyhodnocovací pásmo, které nová norma nezná, bylo možno klasifikovat svarový spoj.

ČSN EN 12 517 vymezuje 3 stupně přípustnosti při indikaci vad tupých svarů ocelí při radiografickém zkoušení. Pro klasifikaci - určení klasifikačního stupně jsou rozhodující kritéria délky vady a součtu délek jednotlivých vad na definovaném úseku radiogramu (buď 12T nebo 150 mm).

Pro posouzení, zda svar splňuje požadavky specifikované na stupně jakosti svarového spoje, porovnávají se normou povolené velikosti vad s rozměry indikací vad, které jsou zjištěny na radiogramu tohoto svaru.

V následující tabulce jsou uvedeny vztahy mezi stupni jakosti podle ČSN EN 25 817 (nebo EN 30042), technikou a třídami zkoušení, a stupni přípustnosti podle norem pro nedestruktivní zkoušení (RT).

Tabulka 4 - Radiografické zkoušení

Stupeň jakosti podle EN 25 817 nebo EN 30042	Technika a třída zkoušení podle EN 1435	Stupeň přípustnosti podle EN 12 517
B	B	1
C	B[1]	2
D	A	3

[1] Maximální plocha jednotlivých radiogramů musí odpovídat požadavkům třídy A podle EN 1435.

Příklad:
Přeje-li si zákazník např. stupeň jakosti svarového spoje podle ČSN EN 25 817, musí se zhotovit radiogram za podmínek vyhovující třídě prozařování B (citlivější techniky) podle ČSN EN 1435 a na negatoskopu vyhodnotit radiogram svaru v klasifikačním stupni 1 podle ČSN EN 12 517.

Tabulka 5 - Stupně přípustnosti pro vady tupého svarového spoje

Čís.	Druhy vad podle EN 26520	Stupeň přípustnosti 3[1)]	Stupeň přípustnosti 2[1)]	Stupeň přípustnosti 1
1	trhliny	nepřípustné	nepřípustné	nepřípustné
2	kráterové trhliny	Přípustná jedna na každých 40 mm svaru	nepřípustné	nepřípustné
3	porezita a plynové póry	$l \leq$ min (0,5s; 5 mm) $\sum l \leq$ s pro L = min (12s; 150mm)	$l \leq$ min (0,4s; 4 mm) $\sum l \leq$ s pro L = min (12s; 150 mm)	$l \leq$ min (0,3s; 3 mm) $\sum l \leq$ s pro L = min (12s; 150mm)
4	červovité dutiny	$l \leq$ min (0,5s; 4 mm) $\sum l \leq$ s pro L = min (12s; 150mm)	$l \leq$ min (0,4s; 3 mm) $\sum l \leq$ s pro L = min (12s; 150 mm)	$l \leq$ min (0,3s; 2 mm) $\sum l \leq$ s pro L = min (12s; 150mm)
5	struskové a kovové vměstky a póry	$l \leq$ 2s a $\sum l \leq$ L/10 pro L = min (12s; 150 mm)	$l \leq$ s a $\sum l \leq$ L/10 pro L = min (12s; 150 mm)	$l \leq$ max (0,3s; 6 mm) a $l \leq$ 25 mm $\sum l \leq$ s pro L = min (12s; 150mm)
6	měděné vměstky	nepřípustné	nepřípustné	nepřípustné
7	studený spoj	přípustný jen přerušovaný, nevystupující na povrch $l \leq$ 25 mm a $\sum l \leq$ 25 mm pro L = min (12s; 150mm)	nepřípustné	nepřípustné
8	neprovařený kořen	$l \leq$ 25 mm a $\sum l \leq$ 25 mm pro L = min (12s; 150mm)	přípustný, pokud nevystupuje na povrch $l \leq$ 12 mm a $\sum l \leq$ 15 mm pro L = min (12s; 150 mm)	nepřípustné
9[2)]	zápal	požaduje se plynulý přechod $h \leq$ 1,5 mm	požaduje se plynulý přechod $h \leq$ 1 mm	požaduje se plynulý přechod $h \leq$ 0,5 mm
10[2)]	nadměrně propadlý kořen	nerovnoměrně vysoký $h \leq$ min (5 mm; (1 mm+ 1,2b))	nerovnoměrně vysoký $h \leq$ min (4 mm; (1 mm + 0,6b))	dobře formovaný plynulý přechod do základního materiálu $h \leq$ 1,5 mm (3 mm; (1 mm+ 0,3b))
11[2)]	krápníky	přípustné	náhodné místní krápníky jsou přípustné, pokud mají plynulý přechod do základního materiálu	
12[2)]	dotek elektrodou	přípustnost doteku závisí na druhu základního materiálu a jeho náchylnosti k trhlinám		
	rozstřik	přípustnost doteku závisí na druhu základního materiálu		

[1)] Stupně přípustnosti 3 a 2 mohou být specifikovány s označením X, to znamená, že všechny indikace vady větší než 25 mm jsou nepřípustné.
[2)] Povrchové vady: Stupně přípustnosti jsou shodné s klasifikací pro vizuální kontrolu. Tyto vady jsou buď běžně přípustné nebo nepřípustné při vizuální kontrole.

Symboly použité v tabulce jsou následující:

l ... délka vady v mm
s... nejmenší tloušťka tupého svaru v mm
L... zkoušená délka svarového spoje v mm
h... výška vady v mm
b... šířka převýšení svaru v mm

Před radiografickým zkoušením by měly být svarové spoje podrobeny vizuální kontrole a vyhodnoceny podle ČSN EN 970. Stupně přípustnosti v této normě v zásadě platí pro hodnocení vad, které není možno zjistit a vyhodnotit při vizuální kontrole.

13.2 Posouzení zjistitelnosti vad při radiografickém zkoušení

13.2.1 Objemové vady tupých svarů

Bubliny a plynové dutiny
Dutiny převážně kulovitého tvaru vytvořené uzavřeným plynem.

Červovité dutiny a póry
Trubičkovité dutiny ve svarovém kovu způsobené uvolňováním plynu. Tvar a umístění červovitých dutin závisí na způsobu tuhnutí a na zdroji plynu. Obecně jsou seskupeny ve shlucích a rozmístěny ve tvaru rybí kosti. Některé červovité dutiny mohou vystupovat na povrch svaru.

Struskové a kovové vměstky
Struska nebo částice cizího kovu (wolfram, měď nebo jiný kov) uzavřená ve svarovém kovu. Podle podmínek vzniku mohou být tyto vměstky řádkové, ojedinělé nebo ve shluku.

Výše uvedené vady jsou dobře zjistitelné radiografickými technikami A (základní techniky) nebo B (citlivější techniky) podle EN 1435, jak uvádí tabulka této normy.

13.2.2 Trhliny v tupých svarech

Kráterové trhliny
Trhliny vyskytující se na konci svarové housenky. Mohou nabývat podélného, příčného nebo hvězdicového tvaru.

Trhliny
Vady způsobené místním porušením v tuhém stavu, které mohou vzniknout vlivem ochlazování nebo napětí.

Zjistitelnost trhlin při radiografickém zkoušení závisí na výšce trhliny, rozvětvení (výskytu rozvětvených částí), šířce rozevření trhliny, orientaci trhliny k ose svazku záření X a parametrech radiografické techniky. Je-li trhlina orientována podélně se svazkem ionizujícího záření, je úbytek materiálu v tomto směru velký a proto je indikace dobře viditelná. Je-li naopak orientována kolmo k zářiči, absorpce záření tloušťky celého svaru zdaleka převyšuje tloušťku místa, kde k absorpci nedochází (trhlina) a proto dojde pouze k nepatrnému a často i neměřitelnému zčernání na negativu. Spolehlivost zjištění trhlin je proto omezená. Použití radiografické techniky B podle EN 1435 nebo lepší, poskytuje spolehlivější zjistitelnost trhlin, než radiografická technika A.

13.2.3 Plošné vady v tupých svarech

Studený spoj
Nedostatečné spojení (natavení) mezi svarovým kovem a základním materiálem nebo mezi jednotlivými vrstvami svarového kovu. Studený spoj se může vyskytovat na svarové ploše, mezi housenkami nebo v kořeni.

Neprovařený kořen
Jedna nebo obě svarové plochy kořene nejsou nataveny.

Zjistitelnost studených spojů a neprůvarů závisí na charakteristikách vad a parametrech radiografické techniky. Studený spoj nebude pravděpodobně zjištěn (pokud není spojen s jinou vadou, jako je např. struskový vměstek), pokud není příznivě orientován ke směru svazku záření X.

13.3 Nedestruktivní zkoušení ocelového potrubí podle EN 10246-10

EN 10246-10
Nedestruktivní zkoušení ocelového potrubí
Část 10: Radiografické zkoušení svarových spojů na obloukově svařovaném (automatem) ocelovém potrubí pro zjišťování vad

Tato norma obsahuje požadavky pro radiografickou kontrolu podélných i spirálových svarů zhotovených automatem (obloukovým svařováním). Současně jsou v této normě uvedeny stupně přípustnosti a kalibrační procedury. V kapitole 9 jsou vypsány přípustné velikosti vad, v další kapitole pak klasifikace vad a konečně v závěrečné kapitole postup co se s výrobkem dělá, když jsou vady detekovány a oklasifikovány. Podobně jako v ASME jsou v dodatku B (viz. příloha č.3) k této normě graficky znázorněny ve formě pérovek pro protáhlé struskové vměstky a okrouhlé vady (póry).

13.3.1 Kritéria přípustnosti

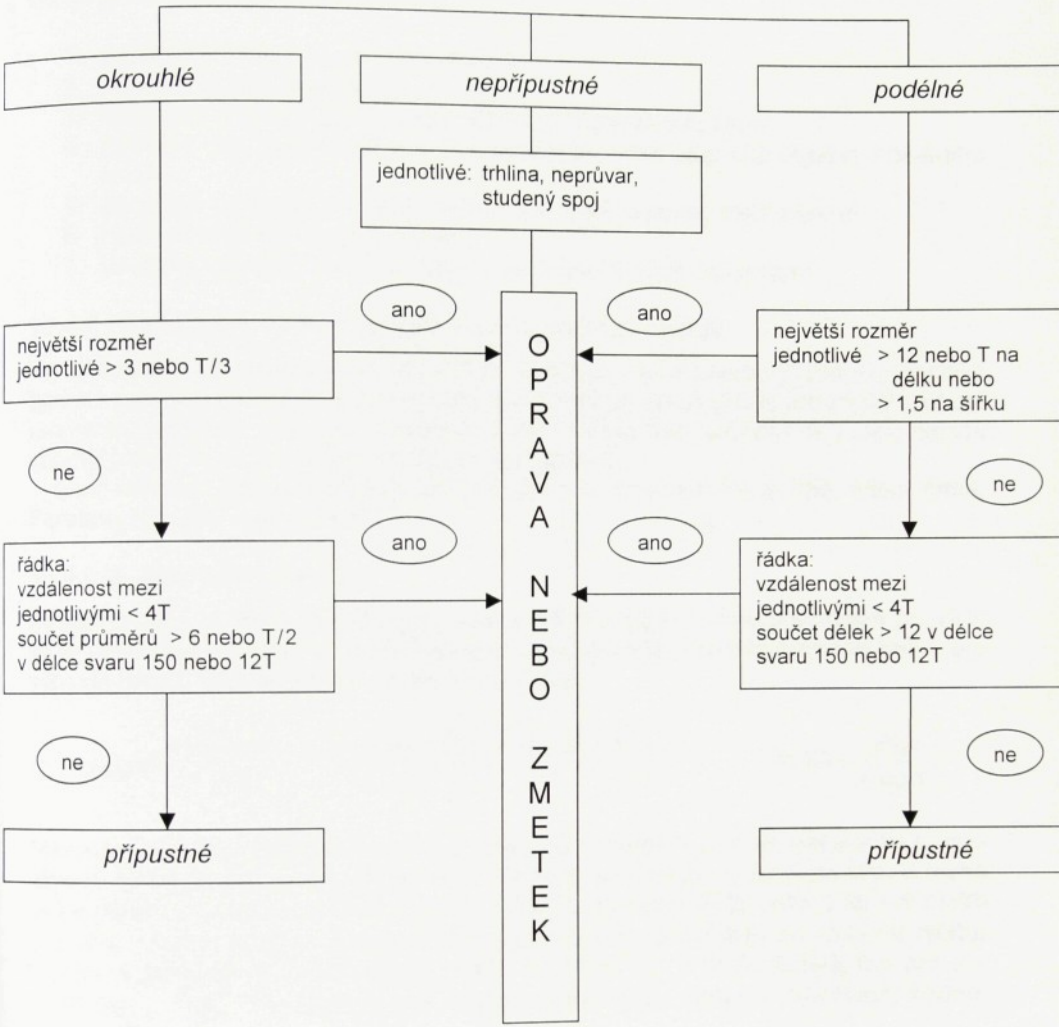
1. Trhlina, neprůvar a studený spoj jsou nepřípustné.
2. Jednotlivé okrouhlé struskové vměstky a plynové bubliny do 3 mm nebo T/3 v průměru, kde T je jmenovitá tloušťka materiálu ve zkoušené oblasti (tloušťka stěny), cokoliv je menší, jsou přípustné.
   Součet průměrů všech takto povolených jednotlivých vad na každých 150 mm nebo 12T délky svaru, cokoliv je menší, by neměl převýšit 6 mm nebo 0,5T, cokoliv je menší, kde vzdálenost mezi jednotlivými vměstky je menší než 4T.
3. Jednotlivé protáhlé struskové vměstky do 12 mm nebo T na délku svaru, cokoliv je menší, nebo do 1.5 mm na šířku svaru jsou přípustné.
   Součet délek všech takto povolených jednotlivých vad na každých 150 mm nebo 12T délky svaru, cokoliv je menší, by neměl překročit 12 mm, kde vzdálenost mezi jednotlivými vměstky je menší než 4T.

4. Jednotlivé zápaly jakékoliv délky o maximální hloubce 0,4 mm jsou přípustné. Jednotlivé zápaly o maximální délce T/2,které mají maximální hloubku 0,5 mm a nepřevyšují 10% nominální tloušťky stěny jsou přípustné za předpokladu, že se nevyskytují více jak dva takto definované zápaly na každých 300 mm délky svaru a všechny takovéto zápaly jsou odstraněny.
5. Jakékoliv zápaly převyšující výše uvedené limity, by měly být opraveny, odpovídající oblast odříznuta nebo součást (trubka) vyřazena.
6. Jakékoliv zápaly na vnitřní nebo vnější straně svaru libovolné délky nebo hloubky, které jsou shodné s podélným směrem svaru nejsou přijatelné.

Zápal je podle ČSN EN ISO 6520-1 definován jako nepravidelný vrub na přechodu housenky do základního materiálu nebo do dříve navařeného svarového kovu způsobený svařováním.

Především u zápalů nejsme schopni spolehlivě kontrolovat jeho hloubku (jedno z kritérií přípustnosti), a to hlavně v případě, že jde o projekci kolmou ke sváru. Hloubka zápalu by pak byla určena pouze mírou zčernání. Jelikož je hloubka zápalu podle míry zčernání obtížně prakticky vyhodnotitelná, bylo od automatizovaného vyhodnocování zápalů upuštěno. V tomto případě je vhodnější kontrola vizuální metodou.

13.3.2 Návrh algoritmu pro automatizované vyhodnocování vad - 100%



13.4 Makro pro automatizované vyhodnocování vad podle kritérií EN 10246-10

Makro je tvořeno následujícími kroky:

1. Deklarace proměnných a konstant
2. Načtení kalibrace obrázku
3. Filtrace obrazu v šedotónovém režimu a prahování indikací
4. Změření geometrických parametrů indikací, resp. příznaků objektů v binárním režimu
5. Základní rozdělení jednotlivých indikací podle geometrického tvaru
6. Hledání akumulovaných indikací
7. Grafické označení indikací podle závažnosti a jejich charakteru

13.4.1 Příznaky pro měření geometrických parametrů objektů

Po výsledném prahování jsou odstraněny indikace, které nemají význam z hlediska dalšího vyhodnocování pomocí geometrické restrikce, která určuje minimální velikost relevantní indikace. Indikace o velikosti menší než je tato hodnota (0,5 mm) nejsou zahrnuty do měření a v binárním režimu tvoří pozadí.

Mezi měřené příznaky objektů patří x-ová a y-ová souřadnice těžiště, délka, šířka, Feretovy rozměry a kruhovost.

13.4.2 Délka a šířka objektů

Délka (Length) a Šířka (Width) jsou odvozené příznaky vhodné především pro protáhlé nebo tenké struktury. Jsou založeny na tyčinkovém modelu a jsou užitečné pro výpočet délek, šířek středních os tenkých tyčinek.

$$Length = \frac{Perimeter + \sqrt{Perimeter * Perimeter - 16 * Area}}{4} . \qquad Width = \frac{Area}{Length} .$$

Maximální Feretův průměr (MaxFeret), Minimální Feretův průměr (MinFeret) je maximum, minimum z Feretových průměrů. Obecně se Feretův průměr při úhlu α rovná délce projekce objektu při úhlu α, $\alpha \in (0, 180)$. Feretův průměr je určen především pro okrouhlé objekty. LUCIA počítá Feretův průměr tím způsobem, že nalezne těžiště objektu a provede 19 rozměrových měření po 10 stupních okolo těžiště, tzn. pro α = 0, 10, 20, ..., 180. Nakonec vybere největší (MaxFeret), nejmenší (MinFeret) hodnotu z naměřených.

Následuje přiřazení délky a šířky objektu z příznaku Length, Width nebo MaxFeret, MinFeret. A to podle příslušné hodnoty kruhovosti, resp. její experimentálně stanovené meze a podmínky vycházející z porovnání velikosti příznaku Width a MinFeret. Je-li hodnota kruhovosti menší než 0,3 a zároveň hodnota Width menší než MinFeret, je velikost délky a šířky objektu rovna hodnotě příznaku Length a Width. V opačném případě je velikost délky a šířky objektu rovna hodnotě příznaku MaxFeret a MinFeret.

Tyto příznaky jsou následně využity k rozdělení indikací na okrouhlé a protáhlé. Je-li délka určitého objektu větší než trojnásobek jeho šířky, je tato indikace reprezentovaná daným objektem prohlášena za protáhlou. V opačném případě je vyhodnocena jako okrouhlá indikace.

13.4.3 Geometrické restrikce pro rozlišení trhliny od protáhlé indikace

Jelikož neexistuje jednoznačné geometrické kritérium platící ve všech případech a za všech okolností, které by dokázalo rozlišit trhlinu od studeného spoje a trhlina i studený spoj jsou vždy vyhodnocovány jako nepřípustné indikace, je v tomto programu nahlíženo na studený spoj jako na trhlinu. Vezmeme-li v úvahu, že studený spoj vzniká především na úkosu svaru, tedy v místech, kde nedošlo k natavení dvou housenek (zde je také velice pravděpodobný výskyt struskového vměstku), je možné usuzovat, že jedna strana studeného spoje (přilehlá k úkosu), bude rovná. Toto geometrické kritérium ovšem není jednoznačné a tudíž na něm nelze stavět. Programové vybavení systému LUCIA navíc neposkytuje žádný příznak, který by v sobě jednoznačně odrážel toto geometrické kritérium a dokázal tak alespoň částečně rozlišit studený spoj od trhliny.

Důležitějším problémem vzhledem k vyhodnocení přípustnosti či nepřípustnosti dané indikace je otázka, jak odlišit trhlinu od protáhlé indikace. Zde jsem vycházel z experimentálně ověřeného předpokladu, že trhlina nemá nikdy hodnotu kruhovosti vyšší než cca 0,15. Zároveň lze celkem dobře vystihnout skutečnost, že trhlina je často rozvětvená a má na rozdíl od protáhlé indikace velmi nepravidelný tvar. Tento fakt je zohledněn v dalším experimentálně ověřeném kritériu rate.

$$rate = \frac{MaxFeret}{Length}.$$

Hodnota tohoto poměru je pro trhlinu téměř vždy menší než 1. Při splnění obou těchto kritérií je objekt prohlášen za trhlinu, v opačném případě za protáhlou indikaci.

13.4.4 Základní rozdělení jednotlivých indikací podle geometrického tvaru

Na základě změření všech zde uvedených geometrických parametrů jednotlivých indikací je provedeno jejich rozdělení na:

- relevantní protáhlá
- relevantní okrouhlá
- nepřípustná protáhlá
- nepřípustná okrouhlá
- nepřípustná trhlina

13.4.5 Hledání akumulovaných indikací

Hledání akumulovaných indikací na 150 mm nebo 12T délky svaru. Nejdříve dojde k porovnání velikosti obou délek, přičemž se vždy bere v úvahu ta méně příznivá varianta, tj. větší úsek, kde součet rozměrů jednotlivých vad může nabýt větších hodnot a k nastavení délky měřícího pole (measlen), pomocí nějž je prováděno vlastní vyhodnocování. To spočívá v třídění a prohledávání pole pomocí 5 do sebe vnořených cyklů. Postup je tedy následující.

Nejdříve jsou setříděny jednotlivé indikace, resp. jejich příznaky zleva doprava a zapsány do nových polí podle jejich x-ové souřadnice. Následně jsou indikace podrobeny testování v několika do sebe vnořených cyklech.

1. cyklus - posunuje tzv. fiktivní měřící pole (prověřovanou oblast 150 mm nebo 12T) od první indikace k poslední, tedy zleva doprava.
2. cyklus - kontroluje, zda-li se ještě načítají indexy dalších indikací splňujících kritéria přípustnosti do tzv. pole indexů (dokud se pole zvětšuje); načteny jsou pouze relevantní, nikoliv nepřípustné indikace.
(pole indexů je pole celočíselných proměnných, do kterého jsou zapisovány indexy jednotlivých indikací, které splňují požadované podmínky).
3. cyklus - projíždí pole indexů od počátku do maximální délky pole a hledá indikaci, která byla nalezena v předchozím cyklu a v jejíž blízkosti by se mohla nacházet nová indikace.
4. cyklus - zkoumá, zda-li v okolí indikace s indexem určeným předchozím cyklem neexistuje nějaká indikace ve vzdálenosti menší než 4T.
5. cyklus - je-li splněna podmínka, že vzdálenost mezi určitými indikacemi je menší než 4T, zkontroluje pole indexů, zda-li se tam nalezený index nachází; v opačném případě jej tam zapíše.

Smyslem předchozích cyklů je nalezení všech indikací, které jsou od sebe navzájem ve vzdálenosti menší než 4T, tedy akumulovaných indikací.

13.4.6 Základní rozdělení akumulovaných indikací podle geometrického tvaru

V případě nalezení některých akumulovaných indikací jsou tyto rozděleny na:

- nepřípustná protáhlá akumulovaná
- nepřípustná okrouhlá akumulovaná

Minimální vzdálenost mezi jednotlivými indikacemi je určena dle zjednodušeného vztahu:

$$len = \sqrt{(cx_i - cx_j)^2 + (cy_i - cy_j)^2} - \frac{L_i + L_j + w_i + w_j}{4},$$

kde cx, cy je x-ová, y-ová souřadnice těžiště v mm
L je délka indikace v mm
w je šířka indikace v mm.

14. Diskuse výsledků

Na tomto místě bych rád shrnul výsledky vyplývající z řešené problematiky. Mezi základní systémy pro RTG kontrolu patří:

- rentgenový film
- fluorescenční stínítko, (také s televizní kamerou)
- zesilovač obrazu - televizní systém
- řádkové nebo plošné polovodičové detektory

Automatizace radioskopické kontroly NDT jako součást automatizace výrobního procesu je vhodná zejména pro kontrolu válcovaných polotovarů pravidelného profilu jako jsou plechy, trubky, tyče apod. v hromadné výrobě. Tato automatizovaná zkušební zařízení umožňují minimalizovat ztrátové časy na zkoušení, zvyšovat produktivitu kontroly a objektivitu výsledného hodnocení.

Vyhodnocování indikací bylo prováděno sejmutím radiogramu tupého svaru digitální monochromatickou kamerou a následným přenosem elektronického číslicového signálu do konvenčního počítače obsahujícího vhodný software pro analýzu obrazu (LUCIA G). Postup zpracování a automatického vyhodnocování obrazové informace je tvořen následujícími kroky.

Nejprve je provedena filtrace indikací od pozadí, což je stěžejní část celého procesu. Zjednodušeně řečeno to znamená, že indikace představující ve frekvenční oblasti vysoké frekvence je maximálně zvýrazněna a naopak ostatní části obrazu, které jsou z pohledu vyhodnocování nezajímavé (tvořeny nízkými frekvencemi), jsou potlačeny.

Úspěšnost filtrace příslušného typu vady závisí do značné míry na tvaru, rozměru a orientaci vady k ose svazku ionizujícího záření, resp. na výsledném rozdílu hodnot intenzit indikace a jejího bezprostředního okolí. Čím je tento rozdíl větší, tím snáze lze danou indikaci odfiltrovat a naopak. Z tohoto pohledu jsou nejlépe vyhodnotitelné prostorové (objemové) vady zaujímající určitý objem materiálu a výrazně zeslabující jeho tloušťku (např. póry, bubliny). Naopak plošné vady (trhliny, neprůvary, studené spoje) jsou zjistitelné jen při splnění určitých podmínek, tj. při určitém rozevření vady nebo při vhodné orientaci vady ke směru záření.

Z výše uvedeného vyplývá skutečnost, že filtrace indikací na radiogramech svarů, popř. zobrazené jinou formou záznamu, je poměrně obtížná záležitost. A to zvláště v případě, hledají-li se indikace, jejichž intenzita se liší o méně než 10% od intenzity pozadí nebo má-li hledaná indikace příliš velkou plochu o rozdílných hodnotách intenzit.

Nejlepších výsledků filtrace bylo dosaženo pomocí odečítání rozostřeného pozadí od původního obrazu. Nejcitlivějším vyhlazovacím filtrem byl určen a na praktických aplikacích ověřen Golay Filter, jelikož je na rozdíl od Top Hat transformací schopen pracovat s velkým strukturním elementem a odfiltrovat tak širší spektrum indikací tvořící jak malé bubliny a plynové dutiny tak větší trhliny či protáhlé struskové vměstky. Je tedy vhodnější pro automatické vyhodnocování než využití obrazové morfologie založené na Top Hat transformaci, která je vhodná pouze pro filtraci malých kontrastnějších objektů vytvářejících rychlé změny intenzit od intenzity pozadí.

Takto upravený šedotónový obraz se dále transformuje prahováním do obrazu binárního. Teprve až v tomto režimu je možné jednoznačně identifikovat objekty představující indikace. Ostatní části obrazu, které jsou z pohledu vyhodnocování nezajímavé, tvoří pozadí.

Posledním krokem je vyhodnocení objektů (resp. jejich příznaků) reprezentujících indikace. Vyhodnocení postupuje podle algoritmu, který odráží specifické požadavky vybrané normy EN 10246-10. Výsledkem je grafické označení (šipkou) konkrétní indikace (či indikací), která nesplňuje alespoň jedno z kritérií normy a je proto nepřípustná.

Následující odstavce jsou věnovány porovnání těch částí předpisu (kodexu) ASME a evropských norem, které se zabývají hodnocením přípustnosti vad na radiogramech svarových spojů. Porovnány jsou především z hlediska jejich zpracování výpočetní technikou, tedy jejich případnou algoritmovatelností.

Normy a předpisy obsahující kritéria, na jejichž základě se vyhodnocují indikace získané radiografickou metodou lze rozdělit z pohledu jejich případné algoritmovatelnosti na dvě skupiny. První skupina zahrnuje normy s přesně určenými kritérii přípustnosti, podle kterých jsou indikace vyhodnocovány. Takové normy jsou v principu zalgoritmovatelné a tedy vyhodnotitelné pomocí výpočetní techniky. Druhá skupina norem zahrnuje ty, které k vyhodnocení přípustnosti či nepřípustnosti indikací vyžadují použití referenčních obrazů nebo fotografií. Tento vyhodnocovací postup umožňuje určité subjektivní hodnocení ze strany člověka. Ve výpočetní technice existuje do určité míry možnost vytvořit algoritmus, který by nahrazoval porovnávání a posuzování člověka o závažnosti dané indikace podle referenční obrazové předlohy, ale vzhledem k odlišnému přístupu člověka a počítače k hodnocení problému, by výsledky nemusely být totožné.

Hodnocení závažnosti vad vyskytujících se ve svarech dle předpisu ASME, sekce VIII se provádí podle části UW-51 a přílohy 4. Vzhledem k složitému vyhodnocovacímu postupu jsou kritéria přípustnosti obtížně algoritmovatelná. Ocelové odlitky se vyhodnocují podle přílohy 7, která se odkazuje na referenční radiogramy SE-446 a SE-186. Není tedy algoritmovatelná.

V případě evropských norem jsou svary vyhodnocovány podle náročné normy EN 12517 a podélně nebo spirálově svařované trubky naopak podle jednodušší normy EN 10246-10, která je ze všech zde uvedených norem nejsnáze algoritmovatelná. Z tohoto důvodu byla kritéria přípustnosti v ní obsažená vybrána pro tvorbu makra vhodného pro automatické vyhodnocování závažnosti indikací na radiogramech svarů.

Tabulka 6 - Porovnání EN a ASME z pohledu případné algoritmovatelnosti a její obtížnosti

	Radiografická metoda	
	ASME	**EN**
svary	UW-51+Apendix 4 •••	EN 12517 ••• EN 10246-10 ••
ocelové odlitky	Apendix 7 *reference*	

Symboly •, ••, ••• označují obtížnost vytvoření algoritmu podle kritérií daných uvedenou normou.
Označení *reference* znamená, že se daná norma odkazuje na referenční předlohu.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo provést rozbor možností vyhodnocování radioskopické kontroly nedestruktivního zkoušení pomocí programového vybavení LUCIA G, vhodného pro analýzu obrazu. Dalším úkolem bylo navrhnout vhodnou metodiku automatického vyhodnocování obrazové informace podle kritérií přípustnosti používaných v EN a ASME a její následné ověření na praktických aplikacích. Vedle odborné literatury na dané téma jsem využil informací získaných od pracovníků společnosti ATG s.r.o. Praha, jejich interních materiálů a dalších informací dostupných na internetu.

Vyhodnocování indikací bylo prováděno sejmutím radiogramu svarového spoje digitální monochromatickou kamerou a následným přenosem elektronického číslicového signálu do konvenčního počítače obsahujícího vhodný software pro analýzu obrazu (LUCIA G).

Postup zpracování a automatizovaného vyhodnocování indikací podle kritérií používaných v EN 10246-10 je tvořen následujícími kroky:

1. Deklarace proměnných a konstant.
2. Načtení kalibrace obrázku.
3. Filtrace obrazu v šedotónovém režimu a prahování indikací.
4. Změření geometrických parametrů indikací, resp. příznaků objektů v binárním režimu.
5. Základní rozdělení jednotlivých indikací podle geometrického tvaru.
6. Hledání akumulovaných indikací.
7. Grafické označení indikací podle závažnosti a jejich charakteru.

Nejlepších výsledků filtrace bylo dosaženo pomocí odečítání rozostřeného pozadí od původního obrazu. Nejcitlivějším vyhlazovacím filtrem k vytvoření rozostřeného pozadí byl určen a na praktických aplikacích ověřen Golay Filter, který je pro automatizované vyhodnocování vhodnější než využití různých modifikací Top Hat transformace. Časová náročnost obou způsobů vyrovnávání nehomogenního pozadí je přibližně stejná a pohybuje se v intervalu od 10 do 15 vteřin.

Odečítáním pozadí jsou nejlépe vyhodnotitelné objemové vady typu plynových bublin a pórů. Naopak obtížněji se vyhodnocují plošné vady typu trhliny, studeného spoje, neprůvaru a dále indikace, které zaujímají příliš velkou plochu o rozdílných hodnotách intenzit (např. protáhlé struskové vměstky).

Vyhodnocení objektů (resp. jejich příznaků) reprezentujících indikace patří mezi časově nejnáročnější operace. To je způsobeno zařazením několika cyklů a podmínek, které zajišťují nalezení všech relevantních (především akumulovaných) indikací. Doba průběhu celého makra je tedy závislá především na počtu nelezených relevantních indikací a pohybuje se řádově v desítkách vteřin. Vyhodnocení postupuje podle algoritmu, který odráží specifické požadavky vybrané normy EN 10246-10. Výsledkem je grafické označení (šipkou) konkrétní indikace, která nesplňuje alespoň jedno z kritérií normy a je proto nepřípustná.

Hodnocení závažnosti vad vyskytujících se ve svarech dle předpisu ASME, sekce VIII, se provádí podle části UW-51 a přílohy 4 tohoto předpisu. Vzhledem k složitému vyhodnocovacímu postupu jsou kritéria přípustnosti obtížně algoritmovatelná. Ocelové odlitky se vyhodnocují podle přílohy 7, která se odkazuje na referenční radiogramy SE-446 a SE-186 a není tedy algoritmovatelná.

V případě evropských norem jsou svary vyhodnocovány podle náročné normy EN 12517. Podélně nebo spirálově svařované trubky se naopak vyhodnocují podle jednodušší normy EN 10246-10, která je ze všech zde uvedených norem nejsnáze algoritmovatelná. Z tohoto důvodu byla kritéria přípustnosti v ní obsažená vybrána pro tvorbu makra vhodného pro automatické vyhodnocování závažnosti indikací na radiogramech svarů.

Na závěr byly vybrány radiogramy s typickými indikacemi vyskytujícími se v normě EN 10246-10, jako jsou hrubě rozptýlená pórovitost, studený spoj, řádková pórovitost, struskový vměstek nebo trhlina. Výsledky automatizovaného vyhodnocení pomocí programového vybavení LUCIA G byly porovnány s výsledky hodnocení stejných radiogramů zkušeným defektoskopickým pracovníkem (ing. Václavem Bízkem). Výsledky obou způsobů hodnocení závažnosti indikací byly shodné.

Předkládaná diplomová práce mi pomohla prohloubit si teoretické znalosti v oblasti nedestruktivního zkoušení a umožnila mi nahlédnout do problematiky automatizovaného vyhodnocování obrazové informace v rámci radioskopické kontroly.

Seznam použitých zkratek a symbolů

abs	absolutní hodnota
A/D	analogově/digitální
Al	hliník
ASME	American Society of Mechanical Engineering
B	strukturní element
$CaWO_4$	wolframan vápenatý
CCD	charge coupled devices (obvody vázané nábojem)
CCTV	closed circuit television (uzavřený televizní okruh)
CEN	Comité Européen de Normalisation (Evropský výbor pro normalizaci)
Co	kobalt
Cu	měď
ČSN	Česká technická norma
DI	Digital input (digitální vstup)
EN	evropská norma
HD	hard disc
HSI	Hue Saturation Intensity (odstín, sytost, intenzita)
IA+	Image Archive +
Ir	Iridium
LUCIA	Laboratory Universal Computer Image Analysis
LIM	Laboratory Imaging
Max	maximální hodnota
Min	minimální hodnota
NDT	Nondestructive testing (nedestruktivní zkoušení)
Pb	olovo
PC	personal computer (osobní počítač)
pixel	picture element (obrazový bod)
RGB	Red Green Blue (barevná reprezentace)
RT	radiografic testing (radiografické zkoušení)
Se	selen
Sn	cín
Tm	Thulium
VGA	Video Grafic Array (videoadaptér pro zobrazovací jednotky osobních počítačů)
X	bodová množina
Yb	Yterbium
1D	jednorozměrný
2D	dvourozměrný
$\oplus$	dilatace
$\ominus$	eroze

Seznam použité literatury:

[1] Hlaváč, V. - Sedláček, M. Zpracování signálu a obrazu, skriptum ČVUT, FEL, Praha, 1999.

[2] Dubenský, R. - Minařík, V. - Čermák, F. Defektoskopie, skriptum ČVUT, FS, Praha, 1987.

[3] Věchet, M. - Kesl, J. - Špika, L. - Eder, V. Defektoskopie v otázkách a odpovědích, SNTL, Praha, 1989.

[4] Hlaváč, V. - Šonka, M. Počítačové vidění, Grada Praha, 1992.

[5] NDT Welding Bulletin, 4/2001.

[6] Nondestructive Testing: Radiographic Testing, Classroom Training Handbook, Second Edition CT-6-6, General Dynamics Convair Division, 1983.

[7] Jaroslavskij, L.P. - Bajla, I. Metódy a systémy číslicového spracovania obrazov, ALFA, Bratislava, 1989.

[8] Serra, J. Image Analysis and Mathematical Morphology, Academic Press, London, 1982.

[9] Pluhař, J. - Koritta, J. Strojírenské materially, SNTL, Praha, 1981.

[10] Kříž, R. - Vávra, P. Strojírenská příručka, 3. svazek, Scientia spol. s.r.o., Praha, 1993.

[11] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Rules For Construction of Pressure Vessels, Division 1, Section VIII, New York, 1998.

[12] Metal Handbook ASM - Vol.17 NDE and Quality Control, AVIS International, 1989.

[13] ČSN EN ISO 6520-1. Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů - Část 1: Tavné svařování. 2000.

[14] ČSN EN 12517. Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení svarových spojů - Stupně přípustnosti. 1999.

[15] EN 10246-10. Non-destructive Testing of Steel Tubes - Part 10: Radiographic Testing of the Weld Seam of Automatic Fusion Arc Welded Steel Tubes For the Detection of Imperfection. 2000.

[16] ČSN EN 13068-3. Nedestruktivní zkoušení - Radioskopické zkoušení - Část 3: Všeobecné zásady pro radioskopické zkoušení kovových materiálů rentgenovým zářením a zářením gama. 2002.

[17] www.lim.cz

[18] www.atg.cz

[19] www.ndt.cz

[20] www.ndt.net

[21] www.testima.cz

Seznam příloh

Příloha č. 1 Způsoby zkoušení svarů prozařováním.

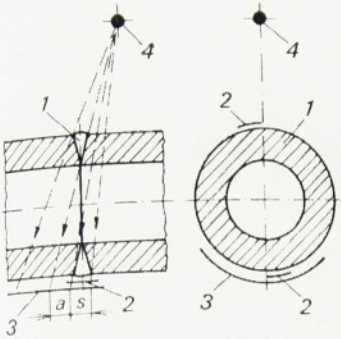
Příloha č. 2 Vyhodnocování snímků dle ASME, sekce VIII, divize 1 a 2, UW-51 a Apendix 4.

Příloha č. 3 Vyhodnocování snímků dle EN 10246-10.

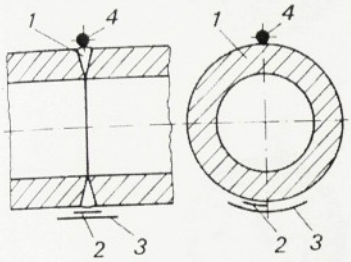
Příloha č. 4 Rozhodující vlastnosti obrazu.

Příloha č. 5 Automatizované vyhodnocování indikací podle kritérií používaných v EN 10246-10.

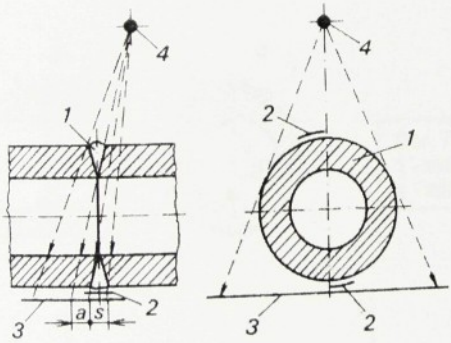
Příloha č. 6 Makro pro automatizované vyhodnocování indikací podle EN 10246-10.



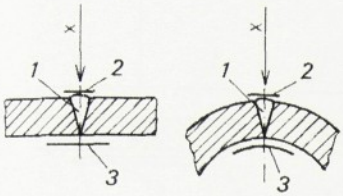
Obr. 1 Prozařování svaru přes dvě stěny - částečně eliptický způsob
1 - svarový spoj, 2 - radiografické měrky, 3 - kazeta s filmem, 4 - zdroj záření, s - šířka obrazu vyhodnocované části svaru, a - vzdálenost průmětů svarů na radiogramu



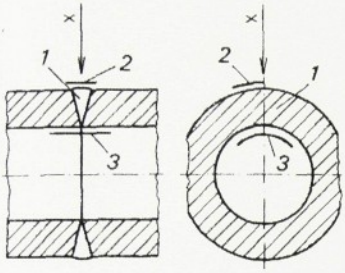
Obr. 2 Prozařování svaru přes dvě stěny bez přístupu z vnitřní strany
1 - svarový spoj, 2 - radiografické měrky,
3 – kazeta s filmem, 4 - zdroj záření



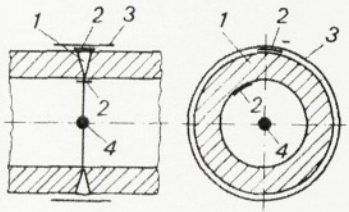
Obr. 3 Prozařování svaru přes dvě stěny - eliptický způsob
1 - svarový spoj, 2 - radiografické měrky, 3 - kazeta s filmem, 4 - zdroj záření,
s - šířka obrazu svaru, a - vzdálenost průmětů svarů na radiogramu



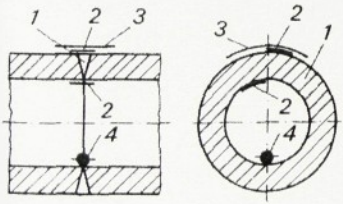
Obr. 4 Prozařování svaru přes jednu stěnu - základní způsob (přímý svar)
1 - svarový spoj, 2 - radiografická měrka, 3 - kazeta s filmem, x - směr záření



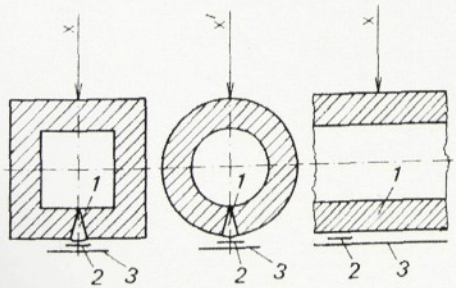
Obr. 5 Prozařování svaru přes jednu stěnu - základní způsob (zakřivený svar)
1 - svarový spoj, 2 - radiografická měrka, 3 - kazeta s filmem, x - směr záření



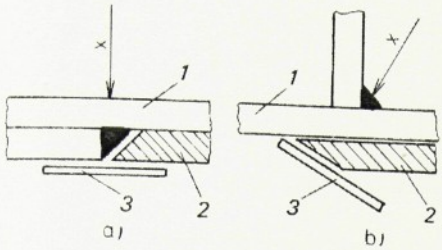
Obr. 6 Prozařování svaru centrickým způsobem
1 - svarový spoj, 2 - radiografické měrky, 3 - kazeta s filmem, 4 - zdroj záření



Obr. 7 Prozařování svaru excentrickým způsobem
1 - svarový spoj, 2 - radiografické měrky, 3 - kazeta s filmem, 4 - zdroj záření



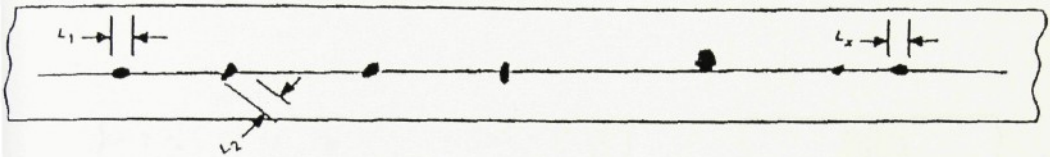
Obr. 8 Prozařování svaru přes dvě stěny - základní způsob (přímý svar)
1 - svarový spoj, 2 - radiografické měrky, 3 - kazeta s filmem, x - směr záření



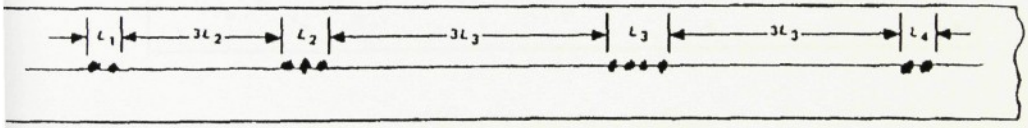
Obr. 9 Zvláštní způsoby prozařování koutových svarů
1 - kontrolovaný předmět,
2 - kompenzátor tloušťky,
3 - kazeta s filmem , x - směr záření

Příloha č. 2

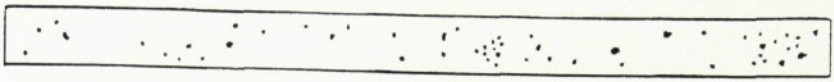
Vyhodnocení snímků dle ASME VIII, divize 1 a 2, UW-51 + Apendix 4



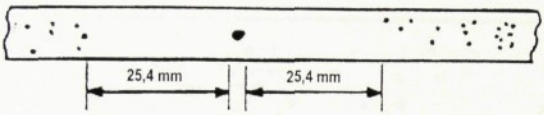
obr. 1 - Řádka okrouhlých indikací

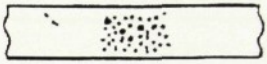


obr. 2 - Skupiny řádkových okrouhlých indikací



Náhodně rozptýlené indikace

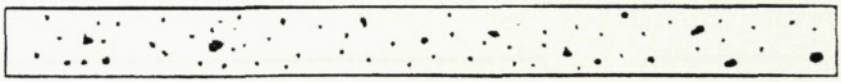




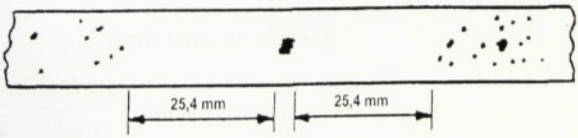
Izolovaná indikace

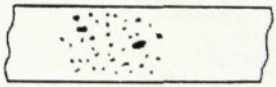
Shluk

obr. 3 - Předloha pro t = 1/8 až t = 1/4 palce, včetně



Náhodně rozptýlené indikace

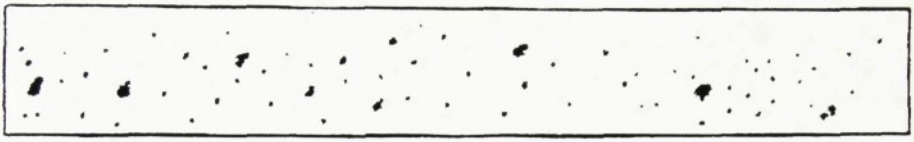




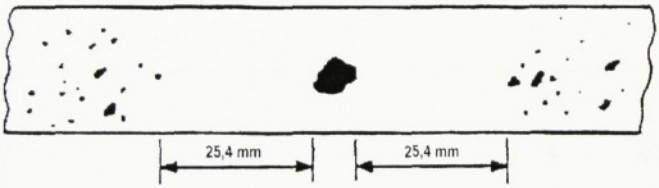
Izolovaná indikace

Shluk

obr. 4 - Předloha pro t > 1/4 až 3/8 palce, včetně

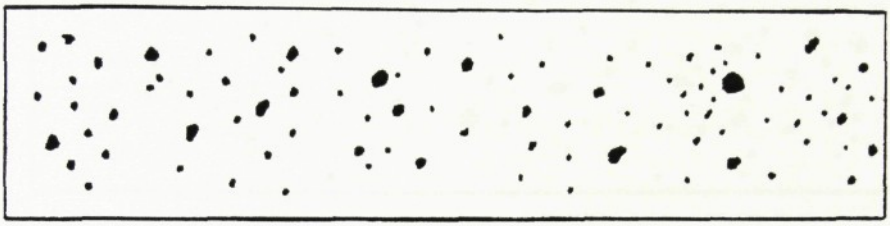


Náhodně rozptýlené indikace

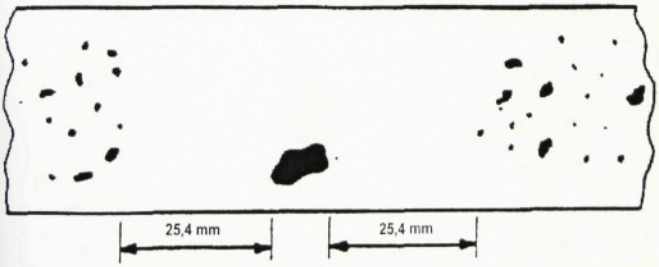


Izolovaná indikace

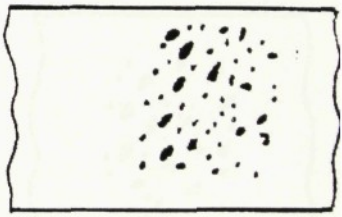
Shluk



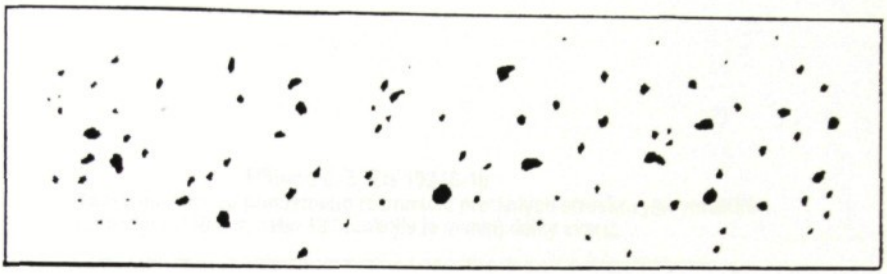
Náhodně rozptýlené indikace



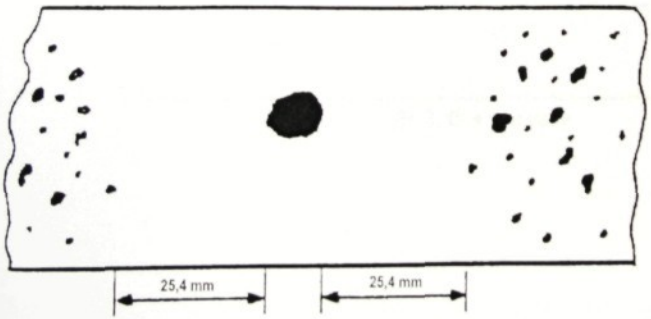
Izolovaná indikace



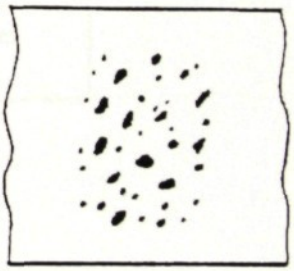
Shluk



Náhodně rozptýlené indikace



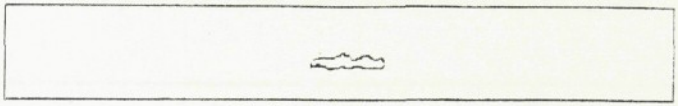
Izolovaná indikace



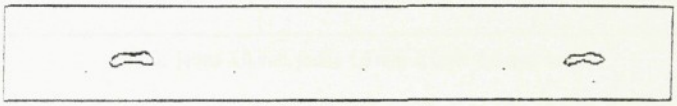
Shluk

Příloha č. 3, EN 10246-10

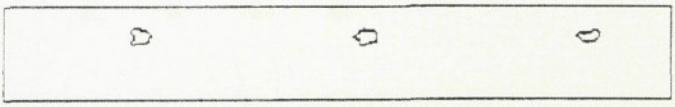
Ukázky maximálně přípustného rozmístění protáhlých struskových vměstků na každých 150 mm nebo 12T (cokoliv je menší) délky svaru.



Př. 1: jedna 12 mm vada



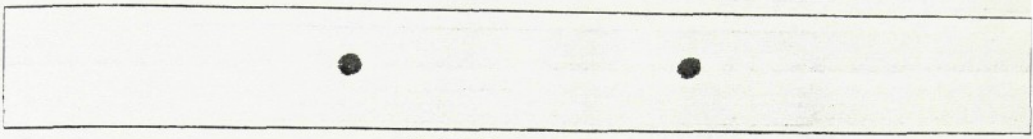
Př. 2: dvě 6 mm vady



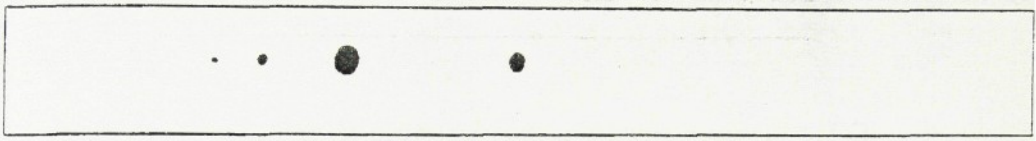
Př. 3: tři 4 mm vady

Ukázky maximálně přípustného rozmístění plynových bublin.

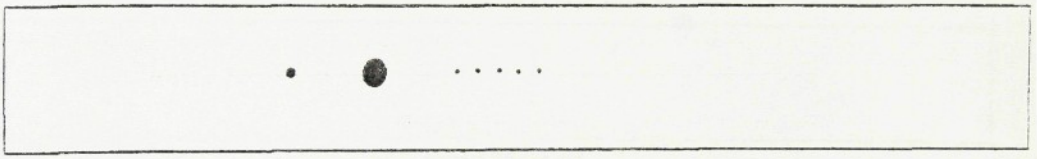
150 mm nebo 12T (cokoliv je menší) délky svaru



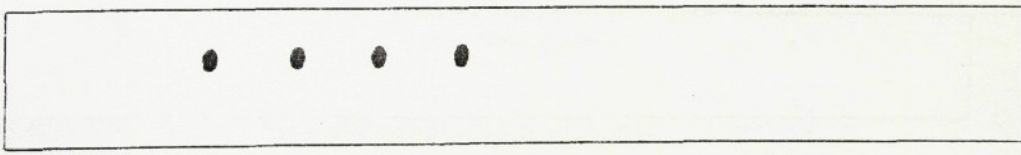
Př. 1: dvě 3,0 mm vady



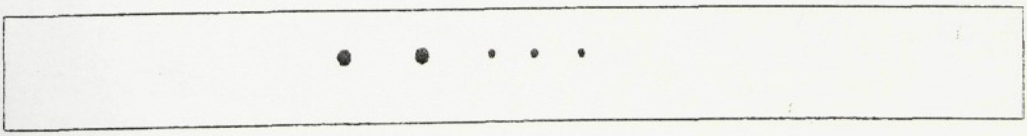
Př. 2: jedna 3,0 mm, jedna 1,5 mm, jedna 1,0 mm a jedna 0,5 mm vada



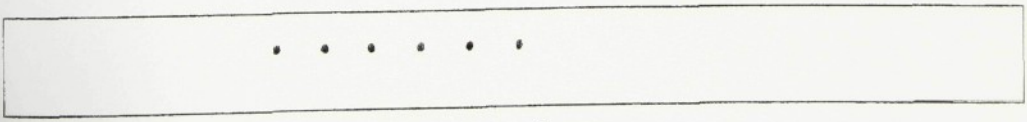
Př. 3: jedna 3,0 mm, jedna 1,0 mm a čtyři 0,5 mm vady.



Př. 4: čtyři 1,5 mm vady

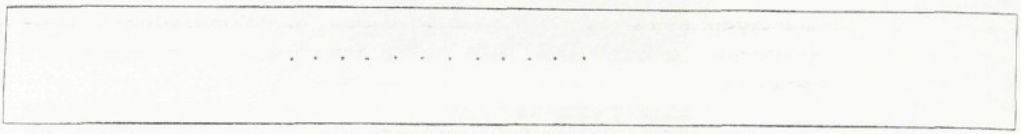


Př. 5: dvě 1,5 mm, tři 1,0 mm vady

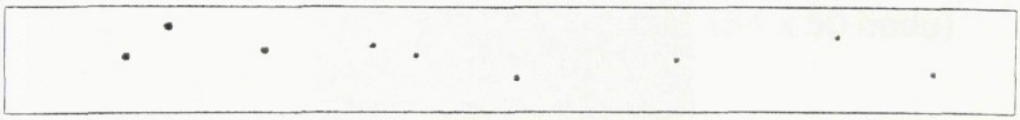


Př. 6: šest 1,0 mm vad

150 mm nebo 12T (cokoliv je menší) délky svaru



Př. 7: dvanáct 0,5 mm vad

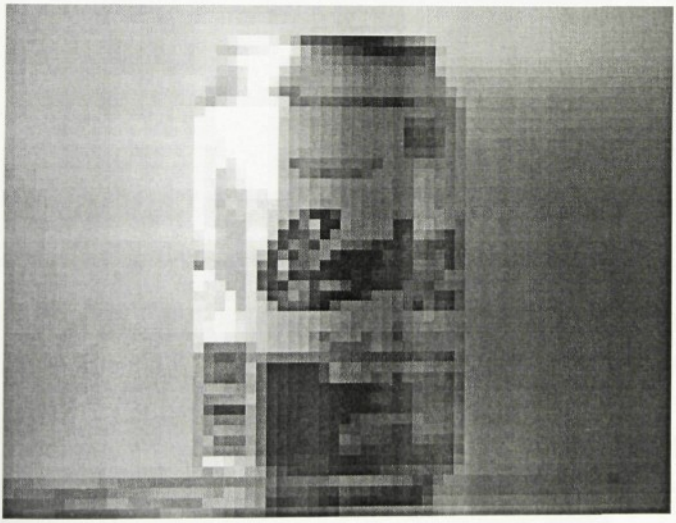


Př. 8: tři 1,0 mm, šest 0,5 mm rozptýlených vad

Rozhodující vlastnosti obrazu

- rozlišení
- hloubka barev

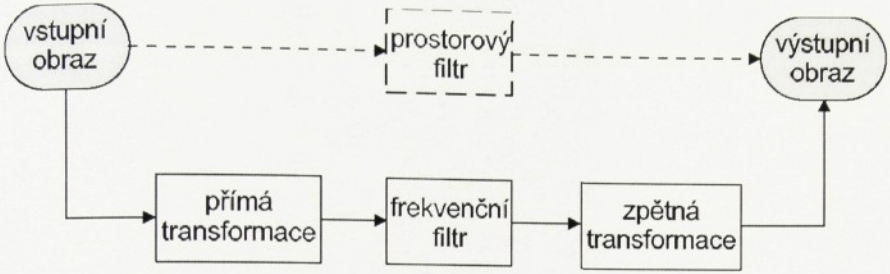
Vysoké rozlišení obrazu (1230 x 970 bodů)



Nízké rozlišení obrazu (64 x 50 bodů)

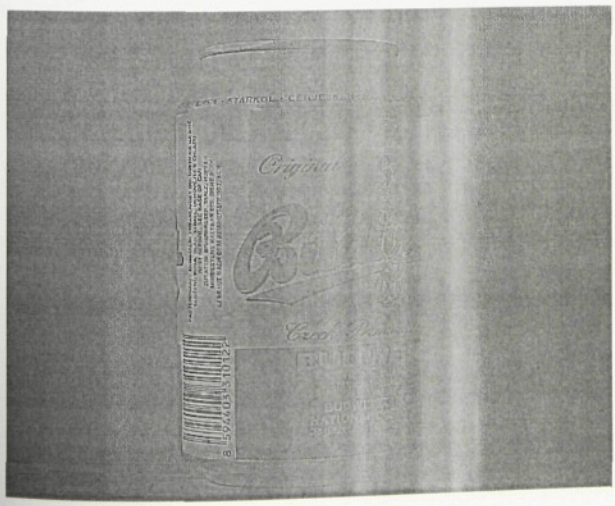
Filtrace obrazu

- Fourierova transformace
- konvoluční počet



Fourierova transformace

Filtrace dolní propustí - odstraněny vysoké frekvence



Fourierova transformace

Filtrace horní propustí - odstraněny nízké frekvence

Konvoluce

Eroze
kernel 4 x 4
10 iterací

Konvoluce

Dilatace
kernel 4 x 4
10 iterací

Konvoluce

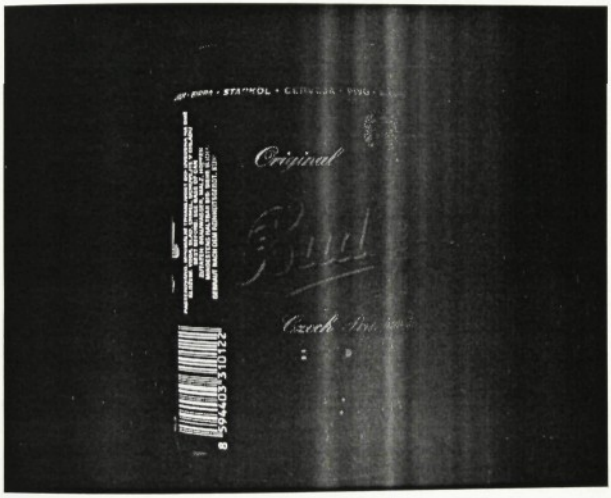
Detekce hran -
Sobelův operátor

příklad jedné
z rotujících masek

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

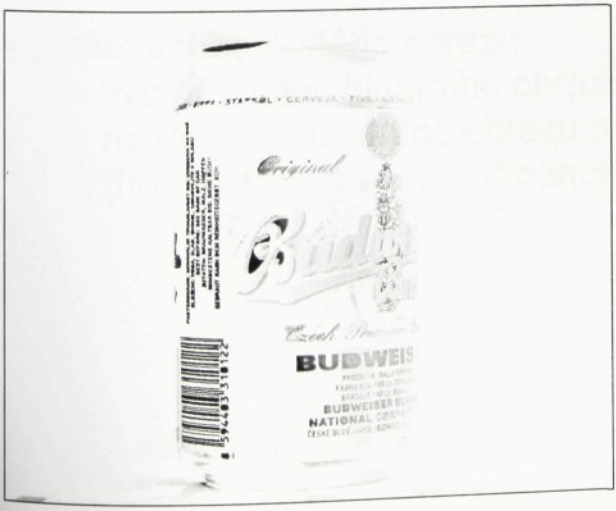
Obraz 1

Detekce regionálních maxim založená na Top Hat transformaci a následná inverze barev



Obraz 2

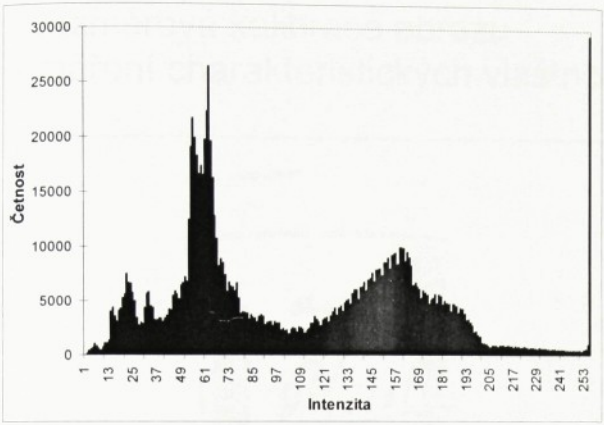
Detekce regionálních minim založená na Top Hat transformaci



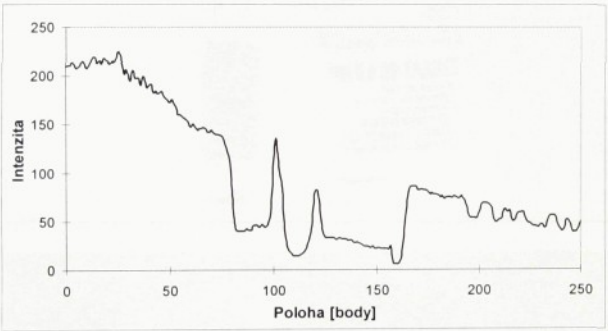
Odečtení obrazů:

Výsledný obraz = Obraz 1 - Obraz 2

Informace o obrazu



Histogram obrazu udává četnost bodů v závislosti na jejich intenzitě



Jednorozměrný **profil** části obrazu udává závislost intenzity bodů na jejich poloze

Segmentace

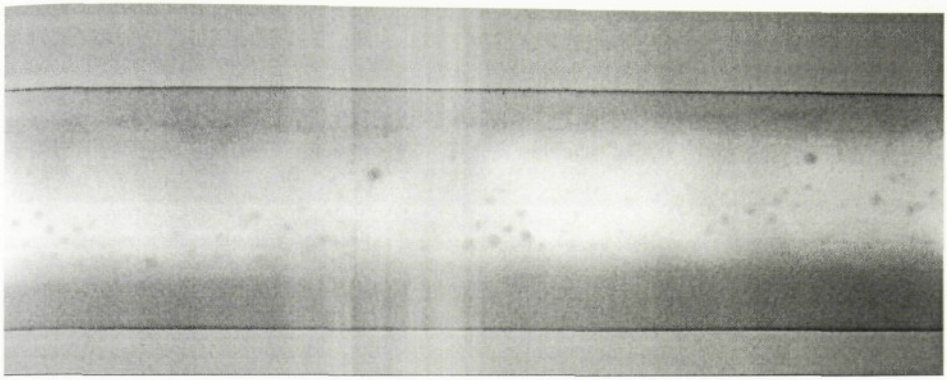
- prahování barevného obrazu
  - vytvoření tzv. binárního obrazu
  - rozdělení původního obrazu pouze na objekty (hodnota 1) a pozadí (hodnota 0)

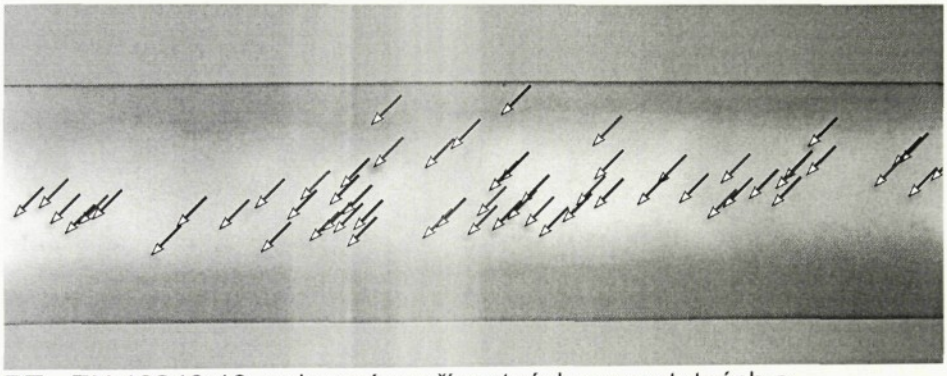
- dodatečná filtrace obrazu a aplikování různých typů restrikcí
- rozměrová kalibrace obrazu
- měření charakteristických vlastností objektů

Prahování odečteného obrazu v intervalu <200,255>

Výsledky **měření příznaků** na objektu reprezentující písmeno „**U**“

Příloha č.4

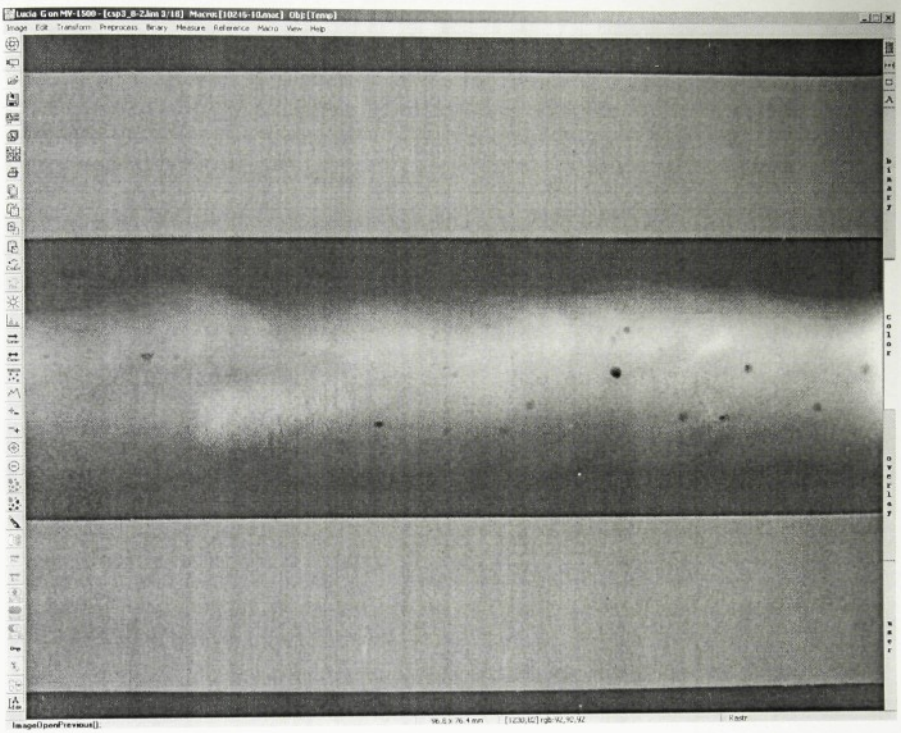




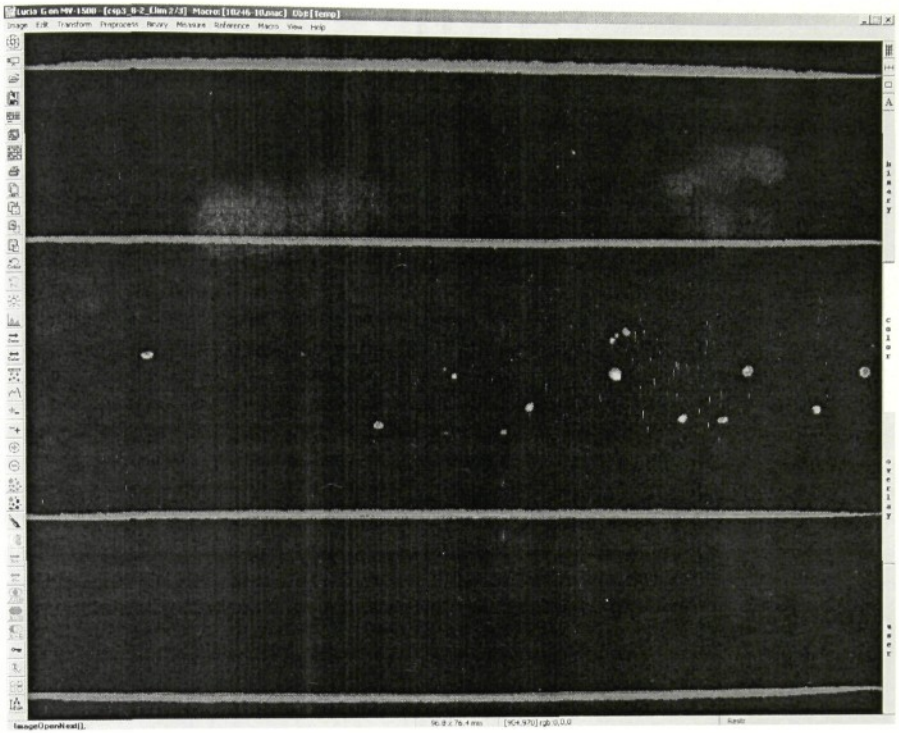
RT - EN 10246-10, nalezení nepřípustných samostatných a akumulovaných indikací ve svarovém spoji

Příloha č. 5

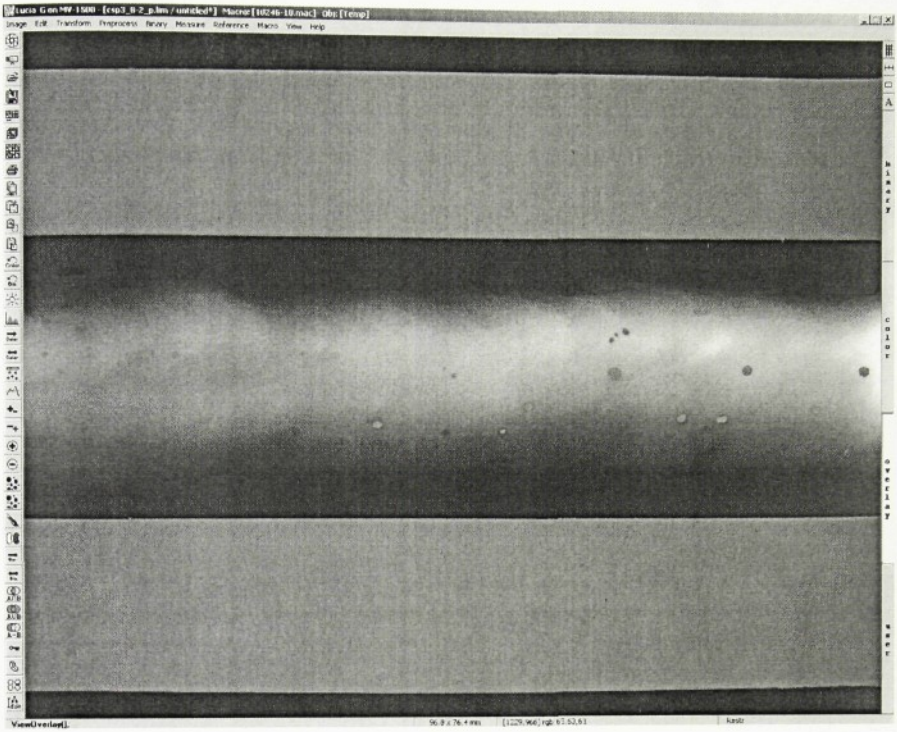
Automatizované vyhodnocování indikací podle kritérií používaných v EN 10246-10



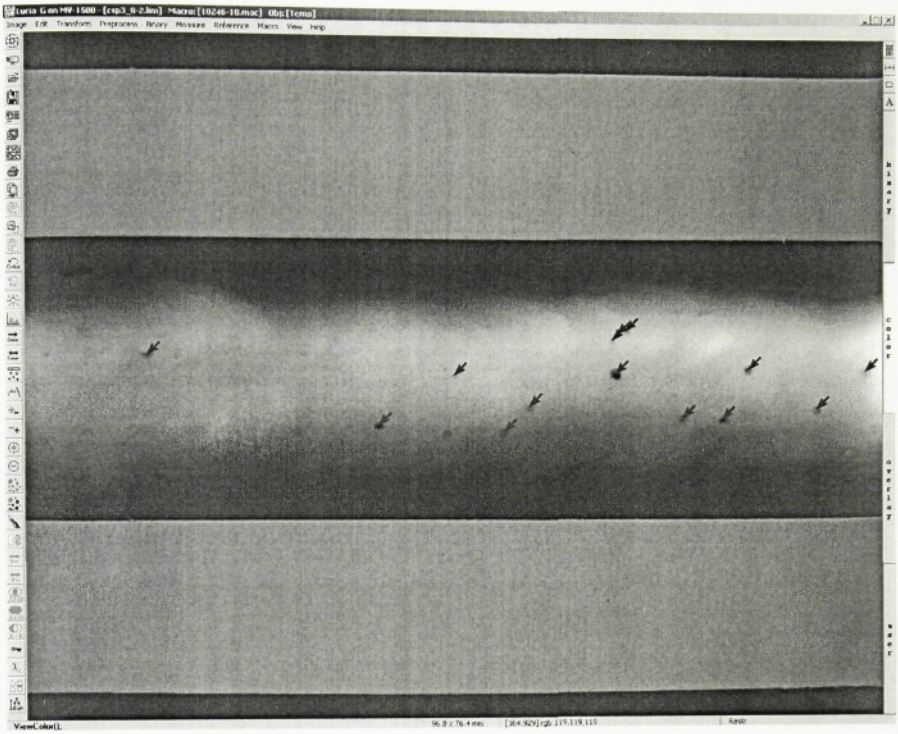
Obrázek 1 Hrubě rozptýlená pórovitost, csp 3_8-2 (coarse scattered porosity) původní šedotónový obrázek svarového spoje, tloušťka svaru 9,5 mm



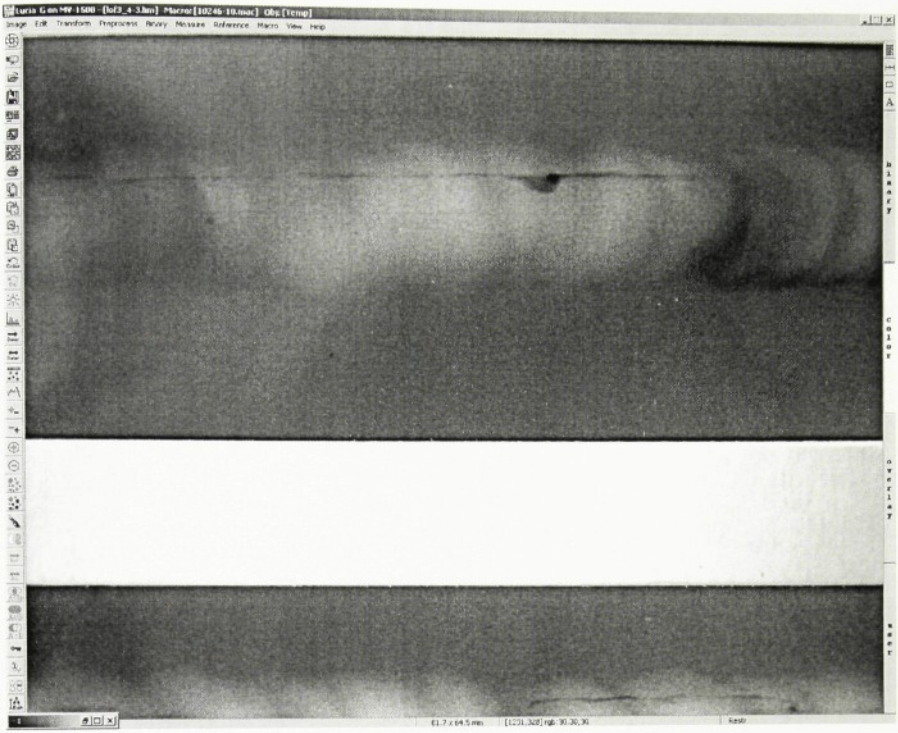
Obrázek 2 Hrubě rozptýlená pórovitost, csp 3_8-2 (coarse scattered porosity) odfiltrované indikace



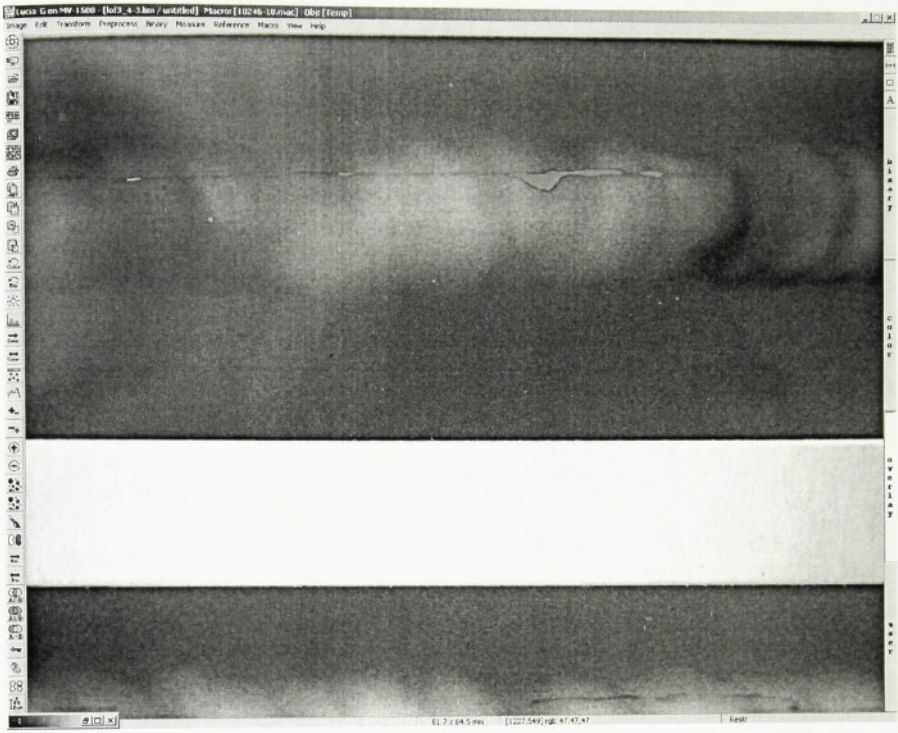
Obrázek 3 Hrubě rozptýlená pórovitost, csp 3_8-2 (coarse scattered porosity) naprahované nepřípustné indikace (překrytý režim - aktuální binární obraz & aktuální barevný obraz)



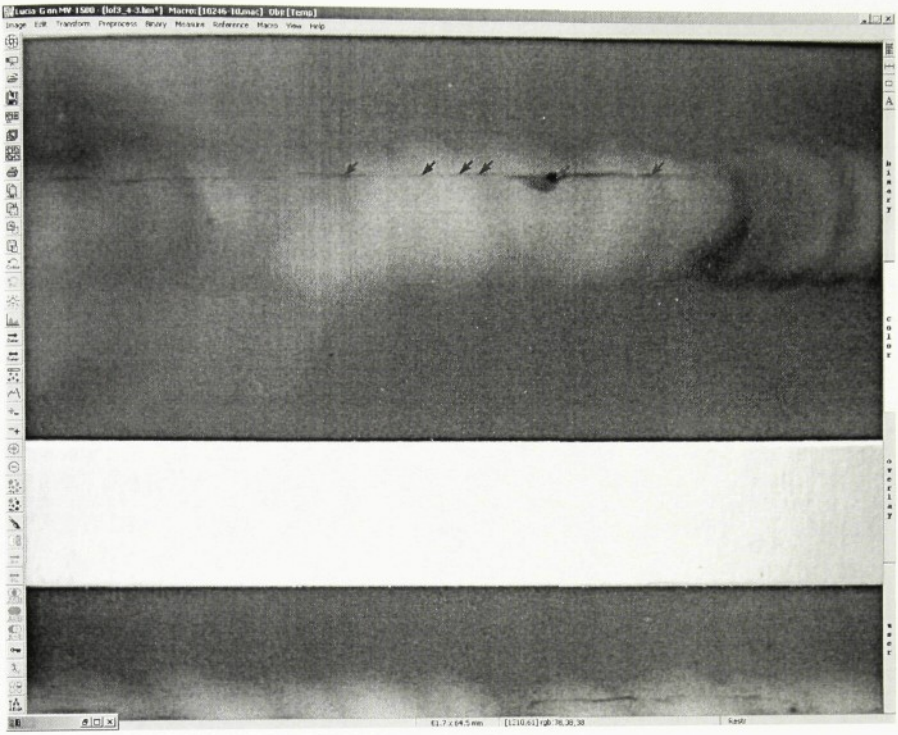
Obrázek 4 Hrubě rozptýlená pórovitost, csp 3_8-2 (coarse scattered porosity) šipkou označené nepřípustné indikace



Obrázek 5 Studený spoj, lof 3_4-3 (lack of fusion), původní šedotónový obrázek svarového spoje, tloušťka svaru 19 mm

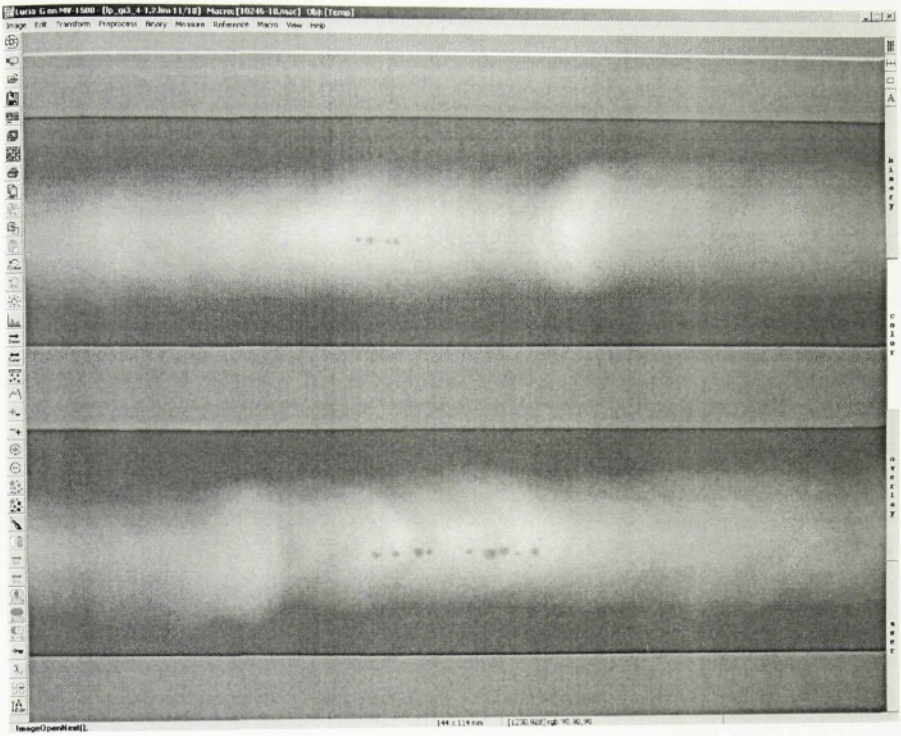


Obrázek 6 Studený spoj, lof 3_4-3 (lack of fusion), naprahovaný studený spoj (překrytý režim - aktuální binární obraz & aktuální barevný obraz)

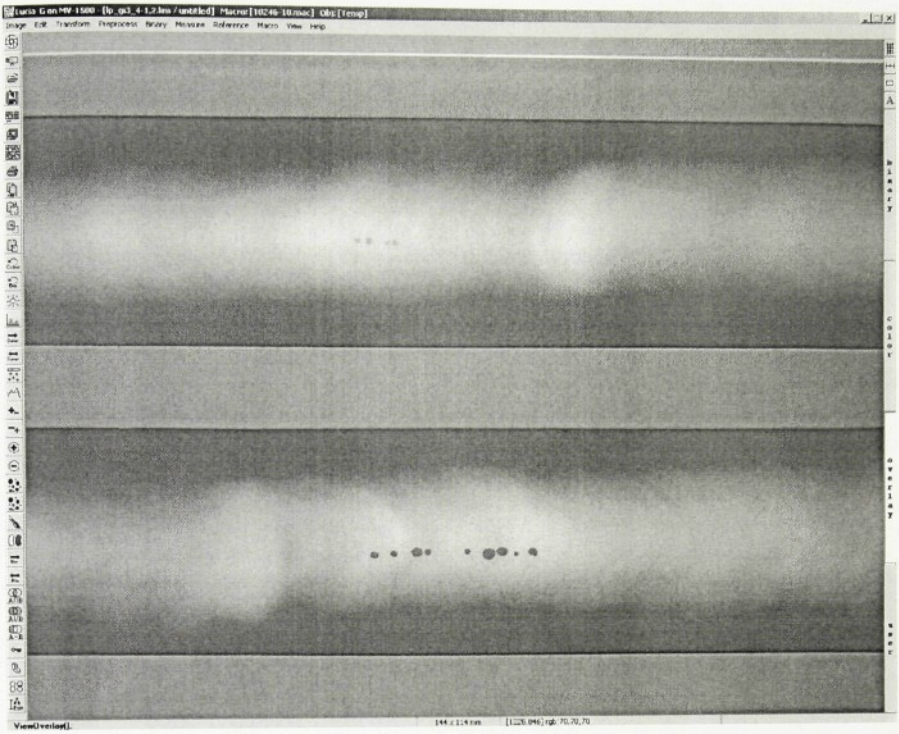


Obrázek 7 Studený spoj, lof 3_4-3 (lack of fusion),
studený spoj rozsegmentovaný na několik nepřípustných indikací (označené šipkou)

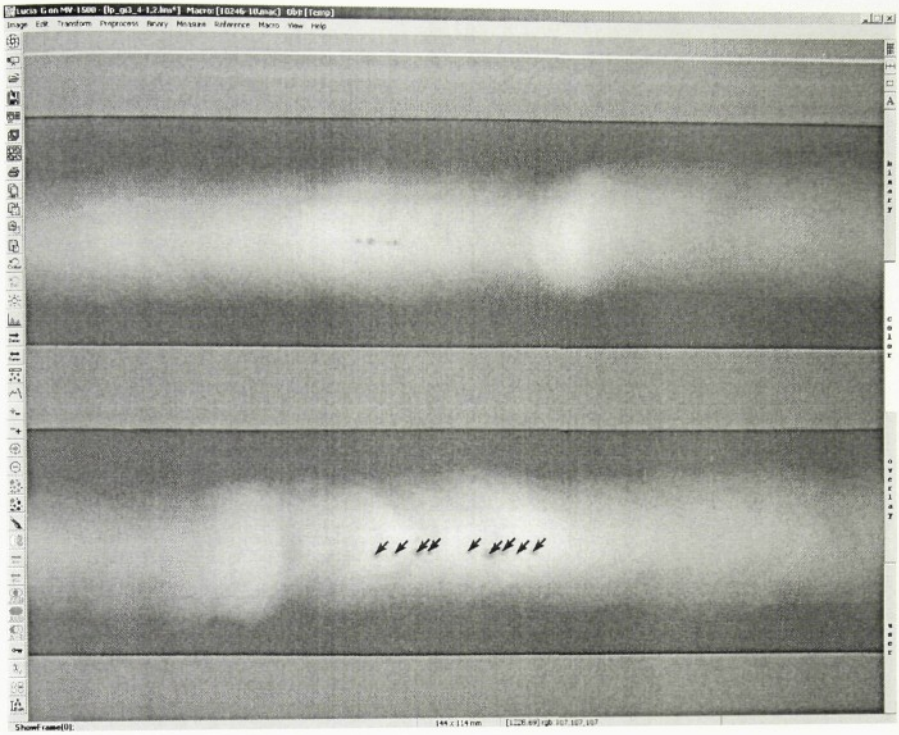
Obrázek 8 Studený spoj, lof 3_4-3 (lack of fusion), obrázek v binárním režimu (rozsegmentovaný studený spoj - bílá barva, pozadí - černá barva)



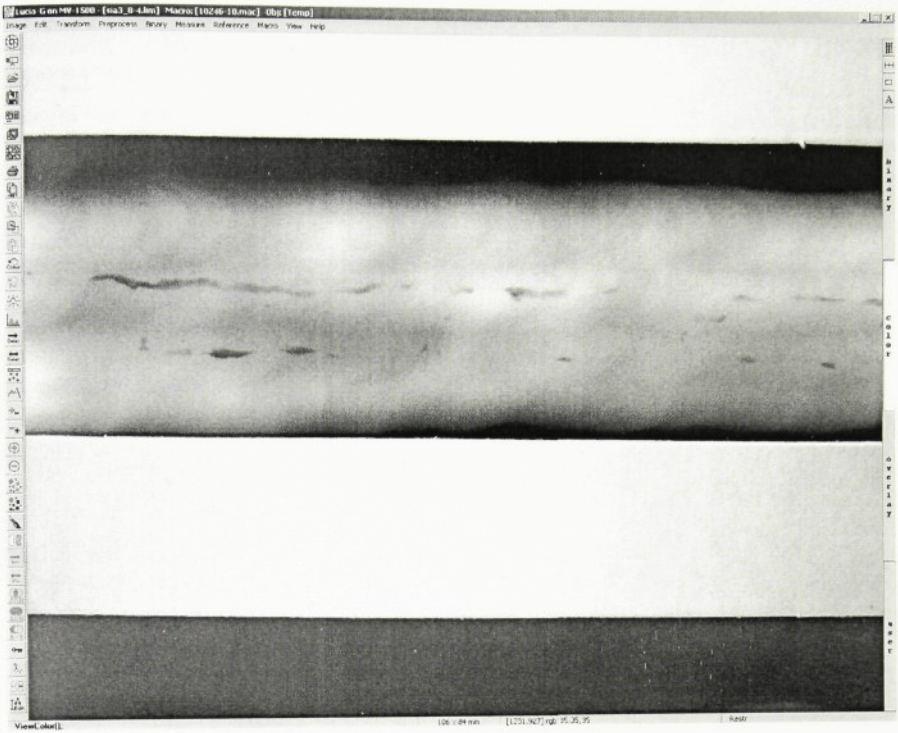
Obrázek 9 Okrouhlé póry v řádce, lp-gi 3_4-1,2 (linear porosity of globular indications), původní šedotónový obrázek svarového spoje, tloušťka svaru 19 mm



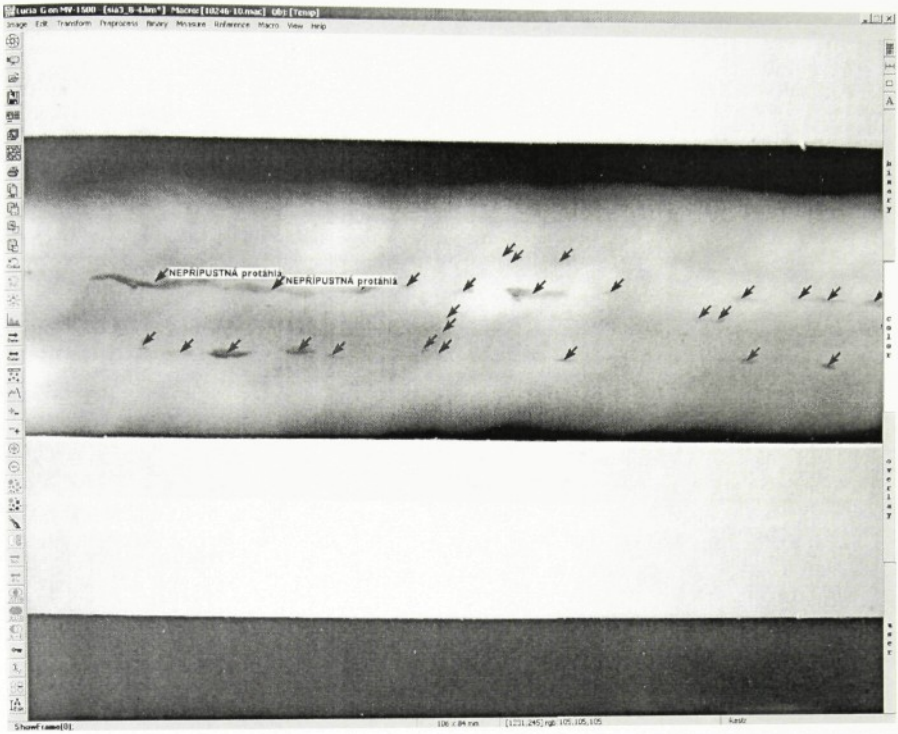
Obrázek 10 Okrouhlé póry v řádce, lp-gi 3_4-1,2 (linear porosity of globular indications), naprahované nepřípustné indikace (překrytý režim - aktuální binární obraz & aktuální barevný obraz)



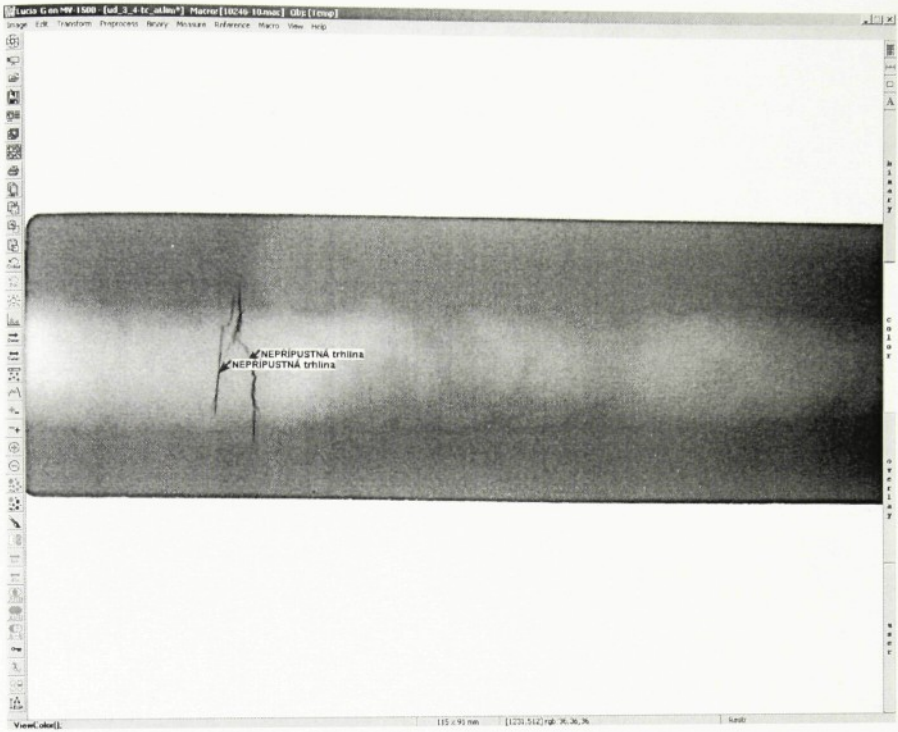
Obrázek 11 Okrouhlé póry v řádce, lp-gi 3_4-1,2 (linear porosity of globular indications), šipkou označeny nepřípustné indikace



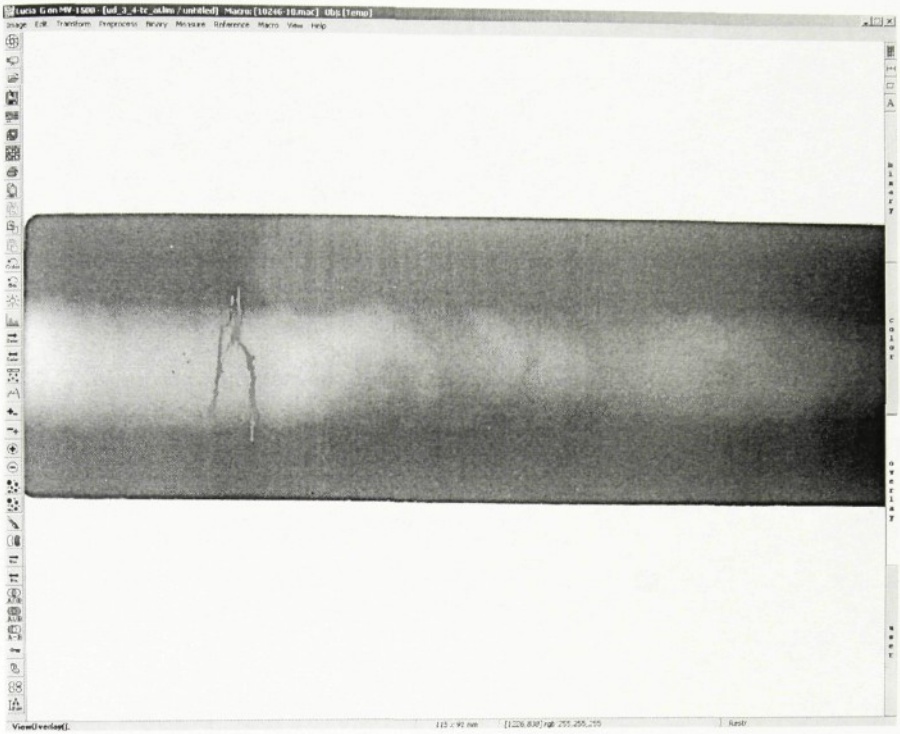
Obrázek 12 Struskové vměstky, sia 3_8-4 (slag inclusions), původní šedotónový obraz svarového spoje, tloušťka svaru 9,5 mm



Obrázek 13 Struskové vměstky, sia 3_8-4 (slag inclusions), šipkou označeny nepřípustné indikace



Obrázek 14 Trhlina, ud 3_4-tc_ai (ungraded discontinuities), šipkou označeny dvě nepřípustné indikace (trhliny), tloušťka svaru 19 mm



Obrázek 15 Trhlina, ud 3_4-tc_ai (ungraded discontinuities), naprahovaná nepřípustná indikace (překrytý režim - aktuální binární obraz & aktuální barevný obraz)

Obrázek 16 Trhlina, ud 3_4-tc_ai (ungraded discontinuities), obrázek v binárním režimu (trhlina - bílá barva, pozadí - černá barva)

Priloha c.6

```
// Filtrace radiogramu svaru a vyhodnoceni podle EN 10246-10 (svarovane trubky)

int main ()  //hlavni blok funkci
{
//Deklarace promenných
int          LowThr,LowerThr,FinishThr,qw,unit,fchar[10000],MeanGrayRest;
double          fcx[10000],     fcy[10000],          flen[10000],     fwid[10000],
fcir[10000],rate[10000];
double  mm,T,cal,aspect,minIndLen;
char       MacroDir[256],IniFile[256],buf[256],ImageName[256],ObjName[63];


//Veskere konstanty a casto se opakujíci hodnoty jsou zapsany a posleze cteny z
ini file: 10246-10.ini

//Uzavrení 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);

//Nastaveni konstant;
Get_RunningMacroDir(MacroDir);

//nacteni hodnot z ini file
Get_RunningMacroDir(IniFile);
strcat(IniFile,"10246-10.ini");
Int_GetKeyString(IniFile,"General","Thickness",buf,256);
T=atof(buf);
T=Int_GetValue("Tloustka svaru","Tloustka svaru v mm: ",T,1,5);
sprintf(buf,"%f","T");
Int_SetKeyString(IniFile,"General","Thickness",buf);
Int_GetKeyString(IniFile,"General","MinIndicationLength",buf,256);
minIndLen=atof(buf);
Int_GetKeyString(IniFile,"Filtration","LowThreshold",buf,256);
LowThr=atof(buf);
Int_GetKeyString(IniFile,"Filtration","LowerThreshold",buf,256);
LowerThr=atof(buf);
Int_GetKeyString(IniFile,"Filtration","MeanGrayRestriction",buf,256);
MeanGrayRest=atof(buf);
Int_GetKeyString(IniFile,"Filtration","FinishThreshold",buf,256);
FinishThr=atof(buf);

//RunMacro("c:\Lucia\Show_vars.maa");

//nacteni kalibrace obrazku
Get_Filename(FILE_IMAGE,ImageName);
Get_ImageCalibration(ImageName,ObjName,&cal,&aspect,&unit);


ShowFrame(TRUE);

if (Int_Question("","","&Filtrace","&Preskocit","","",1,0)==2) goto index1;

//Filtrace obrazu a prahovani indikaci
```

```
Filtrace(LowThr,LowerThr,FinishThr,MeanGrayRest);

//goto end;

index1:

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


//Zmerení priznaku objektu
Priznaky (&fcx,&fcy,&flen,&fwid,&fcir,&rate);

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


//Hledani akumulovanych indikaci
Akumulace(T,cal,fcx,fcy,flen,fwid,fchar);

//Graficke oznaceni indikaci podle zavaznosti a jejich charakteru
Oznaceni(cal,&fcx, &fcy, &fchar);

Int_SetFocus(WINDOW_MAIN);

end:
}

/*****************************************************************************
*****************************************************************************
*****************************************************/
/*****************************************************************************
******************Funkce*****************************************************
*************************************************/
/*****************************************************************************
*****************************************************************************
*****************************************************/

//Seznam funkci (Kvuli uspore mista a prehlednosti jsou funkce umisteny v
dalsich souborech. Nasleduje seznam techto souboru):
// RT_filter_welds.fce  -  filtrace indikaci
//Priznaky.fce  -  zmereni geometrickych parametru indikaci-objektu
//Charakter.fce  -  rozdeleni samostatnych indikaci podle geometrickeho tvaru na
okrouhle, protahle (relevantni a nepripustne)

int Filtrace(int fLowThr, int fLowerThr, int fFinishThr,int fMeanGrayRest)
{
   double   MultipleFactor;
   double   mgField[10000];
   char        fmess[255],fLastImage[255];

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

```
int Priznaky(double *pfcx[10000], double *pfcy[10000], double *pflen[10000],
double *pfwid[10000], double *pfcir[10000], double *prate[10000])
{
   double   pflength[10000];
   double   pfwidth[10000];
   double   pfmaxferet[10000];
   double   pfminferet[10000];
   char        pmess[255];
   int            pi;


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


int Charakter(double cT, double *crate[10000], double *cflen[10000], double
*cfwid[10000], double *cfcir[10000], int *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 indikaci na 150 mm nebo 12T delce svaru
int Akumulace(double aT, double acal, double *afcx[10000], double *afcy[10000],
double *aflen[10000], double *afwid[10000], int *afchar[10000])
{
double   flrcx[10000],flrcy[10000],flrlen[10000],flrwid[10000],afcxn[10000];
//double   *afcxn;
int            flrchar[10000];
double   weldlen,measlen,len;
double   lx1,lx2,ly1,ly2;
int            li,lj,lk,lm,ll,ln,lo,lp,indx1,fnum,flast,fact,findxlen;
int            findx[10000],fcykl[10000],findxsort[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], int
*ofchar[10000])
{
int            oi,oq;
char       omess[256];
```

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


//RunMacro("c:\Lucia\Show_vars.maa");
```

```
//Toto podmakro je součástí makra pro vyhodnocování radiogramů svarů podle
10246-10
//Funkce:  nalezeni akumulovanych indikaci


//porovnani 150mm vs. 12T a nastaveni delky mericiho pole
measlen=150;
if ((12*aT)>150) measlen=12*aT;
//velmi jednoduche trideni-nacteni hodnot do novych poli podle jejich charakteru
vzestupne od minima fcx do maxima fcx
//nacteny jsou pouze relevantni nikoliv nepripustne indikace

//Horni a dolni hranice ramecku
Get_Size(SIZE_MEASFRAME,&li,&lj,&lk,&lm);
ly1=lj;ly1=ly1*acal;
ly2=lm;ly2=(ly2*acal)+ly1;

//Delka svaru-vypocte se z horizontalniho rozmeru obrazu s ohledem na kalibraci
!!! nemusi odpovidat delce mericiho ramecku
Get_Size(SIZE_PICWND,&li,&lj,&lk,&lm);
weldlen=lk;weldlen=weldlen*acal;

SetCommandText("Trideni indikaci...");
//afcxn=afcx;
//memcpy(afcxn,afcx,10000); //kopie pole fcx do fcxn, ktere bude postupne mazano
pro zjednoduseni trideni
for (li=0;aflen[li]>0;li=li+1)
   {
   afcxn[li]=afcx[li];
   }

ll=0;   //index novych poli;
for (li=0;aflen[li]>0;li=li+1)
   {
   if ((afcy[li]>ly1) && (afcy[li]<ly2))  //Tato podminka je tu spis pro jistotu
(objekty jsou mereny pouze v mericim ramu), ale casem se muze hodit
      {
      lk=0;
      lx1=weldlen;    //minimalni posledni hodnota pouzita k trideni protahlych
indikaci
      for (lj=0;aflen[lj]>0;lj=lj+1)
         {
          if ((afcy[lj]>ly1) && (afcy[lj]<ly2))  //Viz vyse
            {
            //nalezeni protahle a okrouhle indikace s nejmensi cx v poli
            if (((afchar[lj]==11) || (afchar[lj]==12)) && (afcxn[lj]<lx1))
               {
               lk=lj;
               lx1=afcxn[lj];
               }
            }
         }
      //prirazeni nalezenych indikaci do poli
      if (lx1<weldlen)  //kontrola, zda byla nalezena dalsi relevantni indikace
         {
         flrcx[ll]=afcx[lk];
         flrcy[ll]=afcy[lk];
```

```
            flrlen[ll]=aflen[lk];
            flrwid[ll]=afwid[lk];
            flrchar[ll]=afchar[lk];
            findxsort[ll]=lk;
            }
        fnum=ll;      //delka setrideneho pole
        ll=ll+1;
        afcxn[lk]=weldlen;
        }
    }


lj=1;
for(li=0;li<fnum;li=li+1)  //posun po indikacich
    {
    if ((flrchar[li]==11) || (flrchar[li]==12))
        {
        flast=0;    //promenna, do ktere se nacita delka predchoziho pole findx,
jakmile je stejna jako lj =>nic noveho se nenaslo => konec cyklu
        fact=0;
        findxlen=1;  //aktualni delka indexoveho pole
        findx[0]=li;   //pole indexu, ktere splnuji danou podminku, tj. jsou od
max. 4T a jsou v ramu 150 mm nebo 12T
        fcykl[0]=-1;   //se stejnym indexem jako se do pole zapisuji indexy do
findx se  do tohoto pole zapisuji stupne cyklu - jakasi nahrazka iteraci

        //smyslem nasledujiciho cyklu je urychleni procesu, pomoci nej jsou
nalezeny vsechny indikace, ktere jsou ve vzdalenosti mensi ne 4T
        //od prvni indikace s indexem li
        len=0;
        for (lp=li+1;((len<4*aT) && (lp<fnum));lp=lp+1)
            {
            len=sqrt(pow((flrcx[lp]-flrcx[li]),2)+pow((flrcy[lp]-flrcy[li]),2))-
((flrlen[lp]+flrlen[li]+flrwid[lp]+flrwid[li])/4); //vzdalenost mezi indikacemi
            if ((len>0) && (len<4*aT) && (flrchar[lp]==flrchar[li]))  //kontrola,
zda vzdalenost mezi indikacemi je <= 4T a jsou-li stejneho typu
                {
                findx[findxlen]=lp;
                fcykl[findxlen]=-1;
                findxlen=findxlen+1;
                }
            }

        for (lo=0;fact<findxlen;lo=lo+1)  //opakovani cyklu dokud se do pole findx
stale nacitaji nove indexy relevantnich indikaci
            {
            flast=fact;
            fact=findxlen;
            for(lj=flast;lj<=fact;lj=lj+1)        //postupne prohlizeni te casti
indexoveho pole, ktera vznikla v minulem cyklu
                {
                lk=findx[lj];
                if (fcykl[lj]==(lo-1))    //vyber indexu tech indikaci, ktere byly
nalezeny v predchozim cyklu
                    {
```

```
                for(ll=li+1;((ll<=fnum)                                                    &&
(flrcx[ll]<=flrcx[li]+measlen));ll=ll+1)  //postupne vyhledavani indikaci, ktere
nepresahuji merici pole
                    {
//                                                  sprintf(amess,"%i\t%i\t%i\t%i\t%f
li,lj,ll,fnum,findxlen\n","li,lj,ll,fnum,findxlen");
//   Int_SetWindowText(WND_3,amess,1);
                    len=sqrt(pow((flrcx[lk]-flrcx[ll]),2)+pow((flrcy[lk]-
flrcy[ll]),2))-((flrlen[lk]+flrlen[ll]+flrwid[lk]+flrwid[ll])/4);   //vzdalenost
mezi indikacemi
                    if  ((len>0)  &&  (len<4*aT)  &&  (flrchar[ll]==flrchar[li]))
//kontrola, zda vzdalenost mezi indikacemi je <= 4T a jsou-li stejneho typu
                        {
                        ln=1;
                        for (lm=0;lm<findxlen;lm=lm+1)  //kontrola, zda jiz v poli
neni zapsana stejna hodnota indexu
                            {
                            if (findx[lm]==ll) {ln=0;break;}
                            }
                        if (ln==1)
                            {
                            findx[findxlen]=ll;
                            fcykl[findxlen]=lo;
                            findxlen=findxlen+1;
                           }
                        }
                    }
                }
            }
        }
    len=0;
    ll=findx[0];
    for (lj=0;lj<findxlen;lj=lj+1)
        {
        lk=findx[lj];
        len=len+flrlen[lk];
        }
    sprintf(amess,"%i\t%i\t%f\n","li,flrchar[ll],len");
    Int_SetWindowText(WND_3,amess,1);
    if (((flrchar[li]==12) && ((len>6) || (len>0.5*aT))) || ((flrchar[li]==11)
&& (len>12)))
        {
        ln=flrchar[li];
        for(lj=0;lj<findxlen;lj=lj+1)
            {
            lk=findx[lj];
            ll=findxsort[lk];
            if(ln==12)
                {
                afchar[ll]=26;
                flrchar[lk]=26;
                }
            if(ln==11)
                {
                afchar[ll]=25;
                flrchar[lk]=25;
                }
```

```
            findx[lj]=0;
            }
//RunMacro("c:\Lucia\Show_vars.maa");
        }
      else
        {
        for(lj=0;lj<findxlen;lj=lj+1)
            {
            findx[lj]=0;
            }
        }
      }
   }

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

```
//Toto podmakro je soucasti makra pro vyhodnocovani radiogramu svaru podle
10246-10
//Funkce: filtrace indikaci na radiografickych svarech

//fLowThr       spodni prahovani po aritm. operaci pozadi(close)-puvodni obraz
//fLowerThr  spodni prahovani pouzite k zvyseni intenzity spatne detekovatelnych
objektu
//fLowCir       nastaveni spodni hranice nepriputne kruhovosti objektu - pouziti
k ostraneni "spojeneho" sumu

SelectObjectFeature("MeanGray");

//_MeasFrame();
Get_Filename(FILE_IMAGE,fLastImage);
//vytvoreni homogenniho pozadi, od kterehо je odecten puvodni obraz
ColorToReference();
GolayFilter(100,0);
ColorOperations(1,0);
//goto end;

//zmereni stredni hodnoty sedi prahovanych objektu a jeji pouziti jako parametru
rovnice jejiz vysledkem
//je hodnota nasobeni obrazu
DefineThreshold(fLowThr,fLowThr,fLowThr,255,255,255,0);
Threshold();
   ResetRestrictions();
   ResetFieldFeatures();
   SelectFieldFeature("MeanGray");
   MeasureField();
   Get_FieldFeatureData("MeanGray",mgField,0);
MultipleFactor=mgField[0];
MultipleFactor=(-0.4*MultipleFactor)+12;  //1. krivka
if (MultipleFactor<0) MultipleFactor=fabs(1/MultipleFactor);
sprintf(fmess,"MeanGray: %f   MultipleFactor: %f","mgField[0],MultipleFactor");
WaitText(2,fmess);

//zvyseni intenzity objektu s malym rozdilem intenzit vuci pozadi
//pouziti restrikce, ktera zabranuje vzrust intenzity tzv. spojeneho sumu
DefineThreshold(fLowerThr,fLowerThr,fLowerThr,fLowThr+10,fLowThr+10,fLowThr+10,0
);
//DefineThreshold(fLowerThr,fLowerThr,fLowerThr,255,255,255,0);
Threshold();


//provedeni nasobeni obrazu
IntensityTransformation(5,3);
ColorToReference();
MultipleFactor=MultipleFactor/3;
IntensityTransformation(5,MultipleFactor);

ColorBinCombine(1);
Smooth(1,4);
ColorToReference();
ImageOpenEx(fLastImage,1);
CleanBinary(1,2);
```

```
//odecteni upraveneho obrazu od puvodniho a nalezeni regionalnich minim
ColorOperations(1,0);
ColorToReference();
ImageOpenEx(fLastImage,1);
ViewColor();
//RegionalMinima(-20,-4);
GolayFilter(100,0);
ColorOperations(1,0);


//Prahovani a jemne vycisteni obrazu
DefineThreshold(fFinishThr,fFinishThr,fFinishThr,255,255,255,0);
//_DefineThreshold();
Threshold();
ResetRestrictions();
Restrictions("MeanGray",1,1,fMeanGrayRest,255.00000);
GenerateBinary();
ColorSwapReference();

CleanBinary(1,2);
FillHoles();

ImageOpenEx(fLastImage,1);

end:

//RunMacro("c:\Lucia\Show_vars.maa");
```

```
//Toto podmakro je soucasti makra pro vyhodnocovani radiogramu svaru podle
10246-10
//Funkce: filtrace indikaci na radiografickych svarech

//fLowThr       spodni prahovani po aritm. operaci pozadi(close)-puvodni obraz
//fLowerThr  spodni prahovani pouzite k zvyseni intenzity spatne detekovatelnych
objektu
//fLowCir       nastaveni spodni hranice nepriputne kruhovosti objektu - pouziti
k ostraneni "spojeneho" sumu

//_MeasFrame();

//vytvoreni homogenniho pozadi, od ktereho je odecten puvodni obraz
ColorToReference();
//Smooth(1,4);CloseColor(10,4);Smooth(20,4);
GolayFilter(100,0);
ColorOperations(1,0);
//goto end;

//zmereni stredni hodnoty sedi prahovanych objektu a jeji pouziti jako parametru
rovnice jejiz vysledkem
//je hodnota nasobeni obrazu
DefineThreshold(fLowThr,fLowThr,fLowThr,255,255,255,0);
Threshold();
   ResetRestrictions();
   ResetFieldFeatures();
   SelectFieldFeature("MeanGray");
   MeasureField();
   Get_FieldFeatureData("MeanGray",mgField,0);
MultipleFactor=mgField[0];
MultipleFactor=(-0.3*MultipleFactor)+9.9;  //1. krivka
if (MultipleFactor<0) MultipleFactor=0;
sprintf(fmess,"MeanGray: %f   MultipleFactor: %f","mgField[0],MultipleFactor");
WaitText(1,fmess);

//zvyseni intenzity objektu s malym rozdilem intenzit vuci pozadi
//pouziti restrikce, ktera zabranuje vzrust intenzity tzv. spojeneho sumu
//DefineThreshold(fLowerThr,fLowerThr,fLowerThr,fLowThr-1,fLowThr-1,fLowThr-
1,0);
DefineThreshold(fLowerThr,fLowerThr,fLowerThr,255,255,255,0);
Threshold();
// Restrictions ("Circularity",1,1,fLowCir,1);
// GenerateBinary();
// FillHoles();


//provedeni nasobeni obrazu
IntensityTransformation(5,MultipleFactor);
CleanBinary(1,2);
//goto end;
ColorBinCombine(1);
Smooth(1,4);


//odecteni upraveneho obrazu od puvodniho a nalezeni regionalnich minim
ColorOperations(2,0);
RegionalMinima(-20,-4);
```

```
//Prahovani a jemne vycisteni obrazu
DefineThreshold(fFinishThr,fFinishThr,fFinishThr,255,255,255,0);
//_DefineThreshold();
Threshold();
ResetRestrictions();
Restrictions("MeanGray",1,1,60.00000,255.00000);
GenerateBinary();ColorSwapReference();

CleanBinary(1,2);
FillHoles();

end:
```

```
//Toto podmakro je soucasti makra pro vyhodnocovani radiogramu svaru podle
10246-10
//Funkce: filtrace indikaci na radiografickych svarech

//fLowThr       spodni prahovani po aritm. operaci pozadi(close)-puvodni obraz
//fLowerThr  spodni prahovani pouzite k zvyseni intenzity spatne detekovatelnych
objektu
//fLowCir       nastaveni spodni hranice nepriputne kruhovosti objektu - pouziti
k ostraneni "spojeneho" sumu

//_MeasFrame();

//vytvoreni homogenniho pozadi, od ktereho je odecten puvodni obraz
ColorToReference();
Smooth(1,4);
CloseColor(10,4);
Smooth(20,4);
ColorOperations(1,0);

//zmereni stredni hodnoty sedi prahovanych objektu a jeji pouziti jako parametru
rovnice jejiz vysledkem
//je hodnota nasobeni obrazu
DefineThreshold(fLowThr,fLowThr,fLowThr,255,255,255,0);
Threshold();
   ResetRestrictions();
   ResetFieldFeatures();
   SelectFieldFeature("MeanGray");
   MeasureField();
   Get_FieldFeatureData("MeanGray",mgField,0);
MultipleFactor=mgField[0];
//MultipleFactor=(-0.3*MultipleFactor)+9.9;  //1. krivka
MultipleFactor=(-0.25*MultipleFactor)+9.5;    //2. krivka
if (MultipleFactor<0) MultipleFactor=0;
sprintf(fmess,"MeanGray: %f   MultipleFactor: %f","mgField[0],MultipleFactor");
WaitText(1,fmess);

//zvyseni intenzity objektu s malym rozdilem intenzit vuci pozadi
//pouziti restrikce, ktera zabranuje vzrust intenzity tzv. spojeneho sumu
DefineThreshold(fLowerThr,fLowerThr,fLowerThr,fLowThr-1,fLowThr-1,fLowThr-1,0);
Threshold();
// Restrictions ("Circularity",1,1,fLowCir,1);
// GenerateBinary();
// FillHoles();


//provedeni nasobeni obrazu
IntensityTransformation(5,MultipleFactor);
CleanBinary(1,2);
ColorBinCombine(1);
//PauseMacro("Pause");
Smooth(1,4);


//odecteni upraveneho obrazu od puvodniho a nalezeni regionalnich minim
ColorOperations(2,0);
RegionalMinima(-20,-4);
```

```
//Prahovani a jemne vycisteni obrazu
DefineThreshold(fFinishThr,fFinishThr,fFinishThr,255,255,255,0);
//_DefineThreshold();
Threshold();
ColorSwapReference();
CleanBinary(1,2);
```

```
[General]
Thickness=4.7999999999999998
MinIndicationLength=0.5

[Filtration]
LowThreshold=20
LowerThreshold=15
MeanGrayRestriction=50
FinishThreshold=40
```

```
//Toto podmakro je soucasti makra pro vyhodnocovani radiogramu svaru podle
10246-10
//Funkce:   zmereni priznaku objektu, stanovni delky a sirky objektu ze 4
priznaku

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

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);


//Priradi objektu delku a sirku z priznaku Length, Width nebo MaxFeret, MinFeret
a to podle hodnoty
//jeho kruhovosti, tedy priblizne konvexnim objektum priradi Feretovy rozmery,
konkavnim Length, Width
pi=0;
SetCommandText("Mereni priznaku objektu...");
while (flength[pi]>0)
{
prate[pi]=fmaxferet[pi]/flength[pi];
pflen[pi]=fmaxferet[pi];
pfwid[pi]=fminferet[pi];
if ((pfcir[pi]<0.3) && (fwidth[pi]<fminferet[pi]))
   {
   pflen[pi]=flength[pi];
   pfwid[pi]=fwidth[pi];
   }
pi=pi+1;
}
```

```
//Toto podmakro je soucasti makra pro vyhodnocovani radiogramu svaru podle
10246-10
//Funkce:  rozdeleni objektu na protahle a okrouhle, relevantni a nepripustne

//Dodelat 9.3-1,5 mm


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]>12) || (cflen[ci]>cT)) cfchar[ci]=21;  //nepripustna
      else cfchar[ci]=11;  //relevantni
//       if (cfcir[ci]<0.15) cfchar[ci]=23;
      if (crate[ci]<1) cfchar[ci]=23;
      }
   else    //okrouhle indikace
      {
      if ((cflen[ci]>3) || (cflen[ci]>(cT/3))) cfchar[ci]=22;   //nepripustna
      else cfchar[ci]=12;  //relevantni
      }
   sprintf(cmess1,"%i\t%f\t%-3.2f\t                                          %-
3.2f\n","ci,cfchar[ci],cflen[ci],cfwid[ci]");
   Int_SetWindowText(WND_3,cmess1,1);
   }

//WaitText(0,cmess2);
```

```
//Toto podmakro je soucasti makra pro vyhodnocovani radiogramu svaru podle
10246-10
//Funkce: oznaceni indikaci podle zavaznosti a typu nepripustnosti


ViewColor();
oq=Int_Question("","Oznacit                                                    indikace:
","&Nepripustna","&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,"NEPRIPUSTNA protahla");
   if (ofchar[oi]==22) strcpy(omess,"NEPRIPUSTNA okrouhla");
   if (ofchar[oi]==23) strcpy(omess,"NEPRIPUSTNA trhlina");
   if (ofchar[oi]==25) strcpy(omess,"NEPRIPUSTNA protahla akumulovana");
   if (ofchar[oi]==26) strcpy(omess,"NEPRIPUSTNA okrouhla akumulovana");
   if (ofchar[oi]>0)
      {
      if ((ofchar[oi]>20) && ((oq==1) || (oq==3)))
         {
//          InsertArrow(2,5,1,ofcx[oi]/ocal,ofcy[oi]/ocal);
         InsertArrow(3,5,0,ofcx[oi]/ocal,ofcy[oi]/ocal);
         if          ((ofchar[oi]>=21)          &&          (ofchar[oi]<=23))
InsertText(omess,(ofcx[oi]/ocal)+20,(ofcy[oi]/ocal)-20,192,0,0,"Arial      CE",-
14,1,0,0,0,0);
//RunMacro("c:\Lucia\Show_vars.maa");
         }
      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",-10,1,0,0,0,0);
         }
      }
   }
```

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 jejích skutečné výše).

Datum: 21. 5. 2002

Podpis: