

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

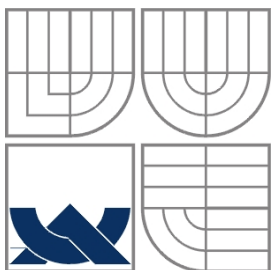
AUTOMATICKÁ OPTICKÁ INSPEKCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

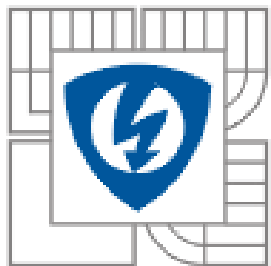
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADOVAN VÁPENÍK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

AUTOMATICKÁ OPTICKÁ INSPEKCE

TITLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. RADOVAN VÁPENÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ STARÝ, Ph.D.

BRNO 2008



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Mikroelektronika

Student: Vápeník Radovan, Bc.
Ročník: 2

ID: 89220
Akademický rok: 2008/09

NÁZEV TÉMATU:

Automatická optická inspekce

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zpracujte přehled technických možností automatické optické inspekce (AOI) v povrchové montáži součástek. Navrhněte a realizujte jednoduchou optickou komparační alternativu se znázorněním chybné pozice pro kontrolu osazených DPS. Řešte otázku odpovídající rozlišovací schopnosti a rychlosti metody při minimalizaci chybových hlášení. Spolupráce s firmou HC Electronics Hradec Králové.

Navrhněte a realizujte

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 29.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Radovan Vápeník
Bytem: Labská kotlina 991, 500 02 Hradec Králové
Narozen/a (datum a místo): 25.1.1984, Hradec Králové

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
Prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☒ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Automatická Optická Inspekce
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Starý, Ph.D.
Ústav: Ústav mikroelektroniky
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 2
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 29. 5. 2009

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt:

Tato práce se zabývá technickými možnostmi automatické optické inspekce a realizací způsobů kontroly usazených součástek. Jsou zde uvedeny používané metody detekce součástek včetně pokročilých algoritmických zpracování. Pro výsledné testování popsaných metod byl vytvořen program a každá popsaná metoda byla otestována. Důraz byl kladen na srozumitelné popsání dané problematiky, optimální návrh a zpracování programu s objektivními výstupy s co nejnižším počtem falešných detekcí.

Abstract:

This work deals with the technical possibilities for automated optical inspection and the arrangements for monitoring the implementation of established elements. There are used methods of detection elements, including advanced algorithm processing. With the described methods was created program and each method was tested. The aim was on the clear description of the problem, the optimal design and processing program with objective results with the lowest number of false detection.

Klíčová slova:

Automatická optická inspekce, canny detekce hran, detekce součástek, algoritmické a obrazové systémy

Keywords:

Automated optical inspection, canny edge detection, elements detection, algorithm and image based systems

Bibliografická citace díla:

VÁPENÍK, R. *Automatická optická inspekce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 52s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 29. 5. 2009

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na diplomovou práci. Dále děkuji spolupracující firmě HC Electronics Hradec Králové s.r.o, za poskytnutí prostoru k realizaci experimentálních prací a vývojovému pracovníkovi této firmy Ing. Petru Zamouřilovi za poskytnutou metodickou pomoc a odborné rady.

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav mikroelektroniky

POPISNÝ SOUBOR ZÁVEREČNÉ PRÁCE

Autor: bc. Radovan Vápeník

Název závěrečné práce: Automatická optická inspekce

Název závěrečné práce ENG: Automated optical inspection

Anotace závěrečné práce:

Předkládaná se zabývá technickými možnostmi automatické optické inspekce a realizací alternativy k detekci chybně osazených součástek.

Anotace závěrečné práce ENG:

This work deals with the technical possibilities of automatic optical inspection and implementation of alternatives to detect incorrectly installed components.

Klíčová slova:

Automatická optická inspekce, canny detekce hran, algoritmické a obrazové systémy.

Klíčová slova ENG:

Automated optical inspection, canny edge detection, algorithm and image based systems.

Typ závěrečné práce: diplomová

Datový formát elektronické verze: formát pdf

Jazyk závěrečné práce: český

Přidělovaný titul: Ing.

Vedoucí závěrečné práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Škola: Vysoké učení technické v Brně

Fakulta: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav: Ústav mikroelektroniky

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika

Studijní obor: Mikroelektronika

OBSAH

1. Úvod do problematiky.....	6
2. Specifikace AOI	7
3. Metody provádění AOI	9
3.1 Image based systems	9
3.2 Algorithm based systems	10
3.3 Společné požadavky na snímací metody	12
3.4 Nasvícení součástky a zdroj světla	12
4. Detekční algoritmy	14
4.1 Volba obrazového formátu	14
4.2 Úvod do zpracování obrazu	15
4.3 Detekce chyb - porovnávání jednotlivých obrazových bodů	16
4.4 Porovnání pomocí kontrolního součtu - hash	17
4.5 Natočení / posunutí součástky – porovnání obrazů	18
4.5.1 Detekce hran součástky bez použití masky	20
4.6 Detekce hran s využitím masky – Canny detection	22
4.6.1 Canny detection – redukce šumu	23
4.6.2 Canny detection – vytažení hran	23
4.6.3 Canny detection – zvýraznění maxim	28
4.6.4 Canny detection – nastavení prahové úrovně	30
4.6.5 Vykreslení součástky	31
4.7 Detekce součástky	32
4.8 Kvalita zapájení součástky	33
4.9 Vystředění DPS.....	33
5. Analýza součástek na DPS.....	35
5.1 Porovnávání celé DPS	35
5.2 Porovnávání jednotlivých součástek	37
5.3 Porovnávání jednotlivých součástek – Canny algorithm	41
6. Závěr.....	47
7. Použitá literatura	49
8. Přílohy	51

1. Úvod do problematiky

Při výrobě, osazování a následném pájení plošných spojů může vzniknout řada chyb a defektů, způsobených špatnou optimalizací procesu, chybou člověka nebo nedokonalostí stroje. Postupem času byly vyvinuty různé metody výstupní kontroly desek plošných spojů. Po osazení součástek automatem dochází ve velkovýrobě k optické kontrole (AOI), zda jsou osazeny všechny součástky na správných místech, dokonalejší automaty umějí vyhodnotit i případné natočení součástky o několik stupňů, se kterým je spojen problém nesprávného zapájení, tak i otočení součástky o 180 stupňů, které v případě osazování polovodičů může znamenat přepólování a tím způsobit nefunkčnost nebo destrukci osazované DPS.

Po osazení součástek a následnému zapájení dochází k dalším kontrolám, jako jsou výše jmenovaná AOI nebo kontrola pomocí rentgenu (X-ray), který prověřuje správnost spojení mezi DPS a pouzdrem (např. BGA), které není možné vyhodnotit klasickou optickou inspekcí.

Tato diplomová práce je zaměřena na možnosti využití a realizaci 2D AOI (automatická optická inspekce, automatic optical inspection). Budou zde zobrazeny možnosti různých způsobů detekce defektů zaměřené především na komparaci obrazů a detekci součástky pomocí různých algoritmů.

2. Specifikace AOI

Pod zkratkou AOI (*Automated optical inspection, automatická optická inspekce*) je obsaženo velmi široké spektrum různých oblastí a průmyslových odvětví, v nichž je AOI denně uplatňováno a využíváno. V zásadě se jedná o optickou kontrolu v různých procesech, zda dané výrobky v různých fázích výrobního procesu splňují předem daná kritéria. Díky počítačovému zpracování obrazu, vylepšení a zefektivnění detekčních algoritmů byly z velké části při velkovýrobě vytlačeni pracovníci, kteří prováděli vizuální kontroly správnosti. Při správně nastavených parametrech kontrolního automatu dochází k mnohem lepší detekci poruch při mnohem vyšší rychlosti zpracování a vypuštění chyb způsobených lidským faktorem.

AOI nabízí velmi široké uplatnění, například na výrobních linkách v potravinářství s pomocí tohoto typu kontroly dochází ke skenování etiket, kontrole čistoty lahví nebo kontrole správnosti hladiny ve stáčírnách nápojů. V zemědělství lze detekovat nezralost nebo nějaký způsob nákazy na základě barevné odchylky od vzorového kusu.

Z jistého pohledu je na AOI je postavena kontrola DPS, o čemž bude pojednávat i tato diplomová práce. Jsou na ni kladeny různé požadavky, jako je eliminace okolního šumu, správná detekce daného tvaru součástky, označení chybné pozice součástky nebo absence součástky. V poslední době jsou AOI vypracovány do takového stupně, že jsou schopny detekovat i osu z u součástek a tím určit i jejich výšku. Pro tuto funkci je však potřeba 3D kamera a následné programové vybavení automatu.



Obr. 1 – AOI automat MIRTEC MV-2HTL

Základem AOI u kontroly DPS je detekce hraničních bodů, ze kterých se aplikováním příslušné masky vytvoří obrazec. Pro jednoduché pasivní prvky se používají obrazce typu čtverec / obdélník, pro složitější je potřeby vytvořit masku pro konkrétní prvek. Princip masek je velmi podobný, ať se jedná o zapájené plochy, dílčí součástky nebo detekci nápisu na součástce. V závislosti na přechodu barevné intenzity je možné detekovat kvalitu zapájených spojů, jako je nedostatek nebo naopak přebytek pájky.

AOI se ve výrobním procesu se používají v několika mezistupních – nejčastěji při kontrole osazených součástek a následně dochází k jejich překontrolování po přetavení, zda vlivem přetavení nedošlo k výraznému posuvu součástky a tím i k možnému negativnímu vlivu na funkci výsledného zařízení.

3. Metody provádění AOI

V základním členění se metody, na kterých je založeno AIO, rozdělují do dvou hlavních skupin. A to *Image based systems* a *Algorithm based systems*. Výběr použité metody závisí hlavně na předpokládaném využití, možnostech programování a objemu výroby.

Image based systems se řadí mezi tzv. lowend, v přesnosti porovnávání a detekci chyb nedosahují přesnosti detekce do takové míry, aby mohly být nasazeny v průmyslových automatech při velkosériové výrobě. Jejich předností je však nenáročnost programování, jednodušší a rychlejší metoda kontroly.

Algorithm based systems jsou založeny na kompletním zmapování jednotlivých součástek na DPS, což zpočátku klade velké nároky na programování, ovšem po nasazení ve velkoobjemové výrobě dochází k větší úspěšnosti detekce případných defektů v průběhu osazování a tím k menšímu procentu falešných detekcí.

3.1 Image based systems

Jedná se o první a nejstarší metodu AOI, která je založena na prosté komparaci obrazů. Bývá označována také jako *correlation based system*. Tato metoda vyžaduje pro svou funkci referenční obraz DPS, který slouží jako předloha a se kterou se porovnávají ostatní vyrobené DPS. Při této metodě se v naprosté většině případů porovnávají celé DPS, nikoli pouze jejich části. Přesnost detekce defektů zde závisí na porovnávacích algoritmech, do jaké míry jsou schopny potlačit šum při sejmutí obrazu.

Důležitou podmínkou je dodržení homogenity dopadajícího světelného toku na DPS. Záleží tedy i na správném a pokud možno homogenním nasvícení prvotní (etalonové) DPS z důvodu možného přexponování nebo podexponování obrazu a vhodné volbě možných barevných tolerancí. Požadavky na osvětlení bude podrobněji popsáno v kapitole 3.4.

Jistou překážku zde tvoří také výšková zástavba jednotlivých součástek, jelikož při snímání celé PCB z velké vzdálenosti úměrně klesá efektivní počet analyzovatelných obrazových bodů, při malé vzdálenosti je sice výborná rozlišovací schopnost, ale velice klesá hloubka ostroty, která při srovnání ostroty krajů a středu snímané oblasti může při větších DPS znamenat vážný problém.

Využití této metody je vhodné v malosériové výrobě na relativně jednoduchých DPS s malou hustotou součástek a nízkou výškou jednotlivých součástek. Velkým plusem této metody je

rychlost kontroly DPS, neboť najednou kontroluje několik (desítek) umístěných součástek a nekladou se zde vysoké nároky na prvotní naprogramování automatu. V případě požadavku na „chytřejší“ detekci defektů je potřeba nasadit dále uvedenou metodu – *algorithm based systems*.

3.2 Algorithm based systems

Tato metoda je známa také pod názvem *Threshold systems* nebo *Vector systems*. Hlavní přednost této metody je v rozdělení DPS na jednotlivé oddíly, kde jednotlivý oddíl odpovídá jedné součástce nebo skupině součástek.

Takový proces kontroly s sebou nese nutnost naprogramování, resp. definování souřadnic, kde se nacházejí jednotlivé součástky a jejich vektorový popis. V případě jednoduché čtvercové nebo obdélníkové součástky a použití 2D snímacího prvku stačí popis délky (w) a šířky (h) součástky, pokud je využita 3D kamera, přidává se k definici ještě výška (z) prvku.

Zadávání obrazových a programových dat určujících souřadnice jednotlivých součástek je možno dvojím způsobem:

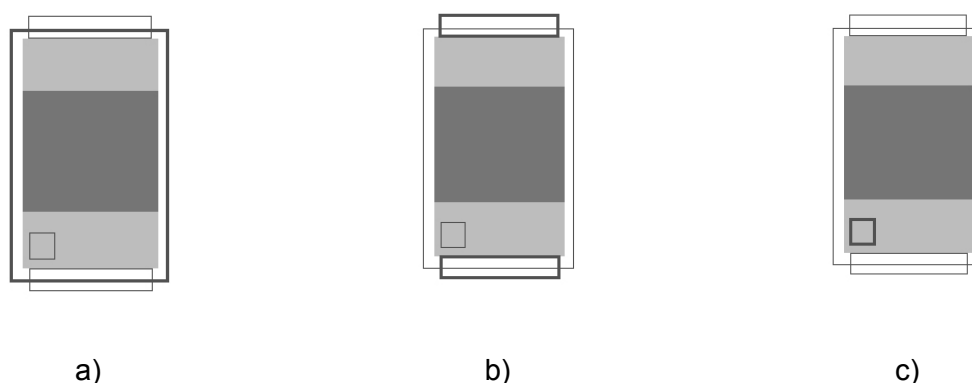
- Ručním zadáním dat do PC a nadefinováním dovolených prahových úrovní
- Automatickým měřením reálných DPS a následným vypočtením možných dovolených odchylek
- Importem hodnot z návrhového systému, ve kterém byla projektována DPS

Z výše uvedených možností je jednoznačně nejvýhodnější možnost importu dat o umístění součástek z programu, ve kterém byla DPS projektována. Přináší značnou úsporu práce, protože jsou tímto způsobem získány přesné souřadnice pájecích plošek a osazených součástek. Jedinou podmínkou je nutnost podpory importu daného souboru dat se souřadnicemi ze strany výrobce automatu. Největší výhody přináší tato metoda ve velkovýrobě, neboť jsou ušetřeny značné náklady na programování kontrolního automatu. Výrobci uvádějí, že v případě importu dat z návrhového software a přítomnosti všech potřebných knihoven součástek by neměla překročit doba konfigurace automatu 30 minut.

Pokud nejsou k dispozici zdrojová data dané DPS, tak je programově velice příjemná druhá varianta, kde automat zkontroluje celou DPS a detekuje jednotlivé součástky. Tyto automaty většinou nesou v popisu nebo ve výrobní specifikaci označení „self-learning“.

Proskenováním několika DPS jsou schopny „přečíst“ pozice a rozměry jednotlivých součástek na DPS, v případě složitějšího procesu automaty umí detekovat i případná natočení nebo posunutí, na základě kterých je vypočtena pravděpodobná pozice s možnými tolerančními odchylkami. Nevýhodou tohoto způsobu nastavení automatu je skutečnost, že stroj může vyhodnotit případnou nechtěnou nebo skrytou chybu jako správně umístěnou součástku a může tak dojít k ohrožení celého výrobního procesu. Dalším negativem je skutečnost, že pro „self-learning“ je potřeba 3D snímání obrazu a složitější vnitřní softwarové vybavení, což zvyšuje cenu celého automatu.

Pro eliminaci možných skrytých chyb se provádí ruční definice pozice umístění součástek, ve které je definována pozice a rozměry každé dílčí součástky včetně tolerance možného posunutí nebo částečné rotace součástky způsobenou nedokonalostí výrobního procesu.



Obr. 2 – Detekce jednotlivých oblastí součástky

V závislosti na stupni zpracování knihovny součástek lze detekovat i polaritu, případně i označení součástky, jak je zobrazeno na obrázku **Obr. 2**. Nejprve je zjištěna přítomnost a správnost polohy součástky, následně kvalita jejího zapájení a správnost polarity. Uvedené kroky jsou prováděny separátně.

Díky hlubšímu definování jednotlivých oblastí, které se mají kontrolovat, je tato detekční metoda spolehlivější, neboť k vyhodnocení pass/fail jsou přidány další hlediska – např. možnost zohlednění odchylky při posunutí součástky či její částečná rotace oproti zadaným souřadnicím, kde se má součástka v ideálním případě nacházet. Toto v *Image based systems* není možné, jelikož program obdrží pouze surová obrazová data bez informací o umístění jednotlivých komponent.

3.3 Společné požadavky na snímací metody

Základem obou metod je snímací prvek, ve většině případů je realizován pomocí CCD snímače. Rozdíl nastává až v následném zpracování jeho výstupních dat. Pro správnou funkci snímacího prvku a zachování věrohodnosti výstupních dat je potřeba dodržovat jistá kritéria.

Prvním z nich je homogenní barevné spektrum dopadajícího na analyzovaný prvek a následně odražejícího na plochu čipu snímače. Z tohoto důvodu je vhodné oddělit komoru, v níž dochází ke snímání, od okolního záření a osvětlení realizovat uvnitř komory, nejčastěji pomocí LED diod.

Z principu funkce CCD je patrné, že od začátku po konec expozice je potřeba jistý čas, než se na jednotlivých buňkách CCD vytvoří potřebný potenciál. Pokud bude snímací prvek realizován fyzicky příliš malý, bude potřeba delší expoziční čas a výsledný obraz může být vlivem vibrací stroje rozmazaný. Dalším problémem u malých buněk je parazitní šum. Tento problém by řešil větší čip, který je však finančně nákladnější na výrobu a z důvodu své velikosti potřebuje i mohutnější optiku. Na mohutnější optiku navazuje další problém, kterým je ohnisková vzdálenost a s tím schopnost zaostřit na malou vzdálenost, což je pro AOI automat klíčové. Pro metodu *image based systems* je toto přijatelné řešení, jelikož zde bývá umístěn snímací prvek staticky a na velkou vzdálenost. Naopak pro *algorithm based systems* je nadměrná hmotnost optiky problém, jelikož se snímací člen pohybuje se značným kladným i záporným zrychlením. Celý tento problém řeší dodatečné nasvícení, které zajišťuje homogenitu barevného spektra. Nasvícení musí být přiměřené, aby nedocházelo k nepřirozeným kontrastům vlivem odrazů a velkým dynamickým rozdílům (velmi tmavým a světlým plochám). Lepší CCD čipy mají dynamický rozsah kolem 10EV, lidské oko zvládá až 30EV.

3.4 Nasvícení součástky a zdroj světla

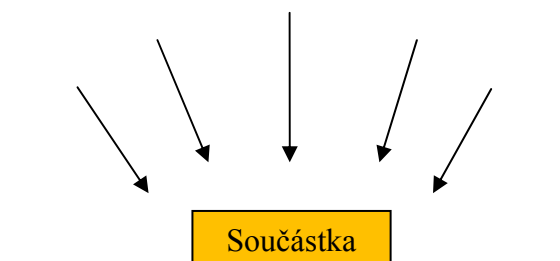
Mezi klíčové záležitosti, díky kterým je usnadněn následný proces výpočtu a identifikace součástky, je vhodné nasvícení kontrolovaného objektu. Jak z hlediska intenzity, tak i z hlediska barevného spektra. Základními požadavky na osvětlení jsou zvýraznění nehomogenit a potlačení šumu. Při splnění těchto základních předpokladů je velmi usnadněno

následné programové zpracování, neboť není potřebné používat brute-force algoritmy pro potlačení šumu, při kterých může dojít k potlačení případného defektu nebo naopak vlivem nevhodného odrazu může být správná část vyhodnocena jako defekt.

Před procesem přetavení bývá prováděna první inspekce (pre-reflow), která zjišťuje přítomnost součástky na DPS, případně její správnou polaritu. Pro tento typ inspekce je nejvýhodnější použít fluorescenční zdroj světla. Po dopadu odraženého světla na snímací prvek jsou díky barevnému spektru lépe vykresleny hrany a barevné přechody a tím i jednodušší kontrola správné pozice pro danou součástku.

Po přetavení pájky (post-reflow) je prováděna druhá kontrola. Předmětem této kontroly je detekce možného posunutí součástky vlivem přetavení a kontrola tvaru zapájeného spoje. Pro tyto účely je z důvodu lepšího vykreslení tvaru pájeného spoje použito zdroje světla složeného z LED.

V průmyslových automatech jsou u post-reflow i pre-reflow inspekci realizovány zdroje světla pomocí LED. Luminiscenční zdroje světla bohužel trpí stárnutím, které způsobuje pokles světelného toku. LED sice také postupem času stárnou a dochází ke zmenšování intenzity světelného toku, ale toto lze velmi dobře kompenzovat zvýšením napájecího napětí. Další výhoda LED spočívá v lepších možnostech korekce směru paprsků, což je i přes menší schopnost vykreslení hran velká výhoda proti luminiscenčním zdrojům světla.



Obr. 3 – Správné nasvícení součástky

Na obrázku **Obr. 3** je zobrazeno správné nasvícení součástky. Pro používané způsoby detekce je důležité, aby nasvícená součástka nevytvářela stíny. Toho je možné docílit pouze vícebodovým zdrojem světla, kde jsou jednotlivé světelné zdroje od součástky stejně vzdáleny a mají stejný světelný tok. Jak je uvedeno výše, tyto požadavky jsou velmi dobře realizovatelné pomocí LED. Pro vhodné nasvícení by úhel mezi středem a dvěma LED neměl být vyšší než 30° .

4. Detekční algoritmy

4.1 Volba obrazového formátu

Průmyslové automaty v naprosté většině pracují přímo s daty, která jsou získána z kamery a neprošla tedy žádnými kompenzačními algoritmy. Tento druh formátu je označován jako RAW. V tomto případě je problematické jeho zpracování, neboť jej mnou používané prostředí neumí otevřít a zpracovat, bude tedy použit jiný obrazový formát.

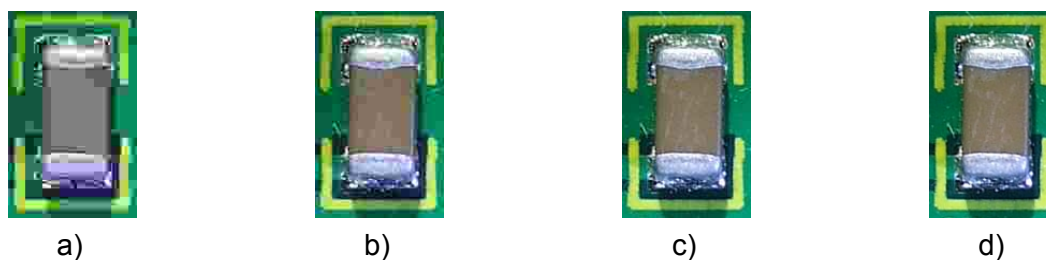
Velmi dobré obrazové výstupy nabízí formát JPEG, neboť nabízí dobrý poměr rozlišení / objem přenášených dat. Je to díky tzv. ztrátové kompresi, při které se dopočítávají jisté části obrazu a nahrazují původní za účelem eliminace výsledné velikosti souboru. Pro interpretaci obrazové informace je uživateli plně dostačující, i když vlivem komprese získají obrazové body nebo skupina sousedících obrazových bodů jinou hodnotu barevné informace.

Kompresi typu JPEG je založena na seskupování barevných oblastí do čtverců, kde každý čtverec nabývá barvy, která je vypočtena průměrem pro danou barevnou oblast. Velikost čtverce závisí na stupni komprese. Pro obrázek **Obr. 4** byl proveden test podobnosti obrazů při různých stupních JPEG komprese – od kvality 0 po kvalitu 100. Rozlišení obrazu bylo 120 x 196px. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce **Tabulka 1**.

Kvalita obrazu [-]	Barevný rozdíl [%]	Velikost souboru [b]
0	91.9	1357
10	95.9	2127
20	97.0	2941
30	97.6	3564
40	97.9	4056
50	98.1	4529
60	98.3	5046
70	98.5	5803
80	98.8	6964
90	99.1	9653
100	100.0	23943

Tabulka 1 - Vliv komprese typu JPEG na výslednou kvalitu obrazu

Z výsledků je patrné, že pro účely AOI bude dostačovat stupeň kvality mezi 80 a 90, protože vlivem šumu a světelných odrazů dochází k mnohem vyšším barevným odchylkám než při zmíněné kompresi. Menší velikost souboru také přispívá k menší výpočetní náročnosti a rychlejšímu provedení procesu, což je ale při výkonu dnešních osobních počítačů zanedbatelné. Seskupováním obrazové informace do čtverců přináší také výhodu v tom, že je částečně potlačen šum.



Obr. 4 – Ztrátová komprese typu JPEG – kvalita 0, 10, 40 a 100

Další možností je použití bezztrátové komprese, ve kterém nedochází k žádné ztrátě obrazové informace, narůstá však velikost výsledného souboru.

Vhodným je v tomto případě formát typu TIFF, neboť jej umí vytvořit téměř každý digitální fotoaparát. Tento obrazový formát nabízí i širokou škálu jiných možností, mimo jiné i různé druhy bezztrátové komprese (ale i ztrátové, což je u TIFFu využíváno velmi zřídka). Nejpoužívanějšími typy komprese jsou LZW nebo ZIP, které zjednodušeně řečeno - nahrazují opakující se obrazové body/řádky nesoucí stejnou barevnou informaci jejich počtem.

U celého následujícího textu je zaveden předpoklad, že vzorový o porovnáváný obraz budou vystředěny a nebudou natočeny.

4.2 Úvod do zpracování obrazu

Všechny obrazové formáty i zařízení snímající barevnou intenzitu pracují s jednotlivými nositeli barevné informace – s obrazovými body nebo také pixely. V případě barevného obrazu je každý obrazový bod složen ze tří kanálů – červeného (R), zeleného (G) a modrého (B). Každý kanál jednotlivého obrazového bodu může nabývat hodnot 0 – 255, kde 0 označuje černou barvu a hodnota 255 označuje nejsytější barvu pro daný kanál. Kombinací těchto tří složek vzniká výsledná barva. Jelikož každý barevný kanál může nabývat hodnot 0-255 a kanály jsou tři, jsme schopni tímto způsobem dosáhnout kombinace asi 16,7 milionu barev.

Pokud budou hodnoty všech tří složek stejné, dojde k vytvoření bílé, černé nebo některého z odstínů šedé. V případě průmyslových automatů je barevná informace (R,G,B) velmi často vypuštěna a pracuje se pouze s jedním barevným kanálem. Dochází tak ke zjednodušení analytického procesu. Pro převod barevného obrazu na obraz obsahující odstíny šedi platí následující rovnice (1):

$$H = R \cdot 0,3 + G \cdot 0,59 + B \cdot 0,11 \quad (1)$$

kde H označuje hodnotu výsledného barevného bodu a R,G,B jsou jednotlivé kanály barevného obrazu.

4.3 Detekce chyb - porovnávání jednotlivých obrazových bodů

Nejjednodušší komparační metodou je přímé porovnávání jednotlivých obrazových bodů, kde je vypočten procentuální rozdíl jednotlivých barevných složek - R, G a B složky na daných x a y souřadnicích vzorové a porovnávané DPS. Pro správnou detekci daného obrazového bodu s referenčním musí být splněny podmínky uvedené ve vzorcích (2), (3) a (4):

$$R_1 - x_1 \cdot 255 < R_2 < x_2 \cdot 255 + R_1 \quad (2)$$

$$R_1 - x_1 \cdot 255 < R_2 < x_2 \cdot 255 + R_1 \quad (3)$$

$$R_1 - x_1 \cdot 255 < R_2 < x_2 \cdot 255 + R_1 \quad (4)$$

kde x_1 a x_2 jsou dovolené odchylky, R_1 , G_1 a B_1 jsou barevné složky jednotlivých bodů vzorového obrazu, R_2 , G_2 a B_2 jsou jednotlivé barevné složky analyzovaného obrazu. Předpokladem je barevná hloubka 24 bitů.

V aplikaci výše uvedené rovnice musejí být ještě ošetřeny podmínky přetečení. Pokud bude daný bod originálního obrazu odpovídat 0x000000 (černá barva), tak při uplatnění tolerancí 10% vypočte dovolené limitní hodnoty 0xe6e6e6 (mírně šedá) a 0x181818 (téměř černá).



Obr. 5 - Zobrazení barevných kódů 0x181818 a 0xe6e6e6

Z fyzikálního hlediska je problematické zaručit naprosto stejné podmínky při snímání obrazů, které jdou postupně za sebou. Pokud bude snímacím prvkem digitální fotoaparát, dochází vlivem šumu a jiných parazitních vlivů k nakumulování rozdílné barevné intenzity a tím k rozdílnému napětí na CCD buňkách, ze kterých následně bude vyhodnocována barevná informace. U kamery je tento problém podobný, je tedy potřeba pro každý bod vytvořit dovolenou barevnou toleranci. Pokud bude skupina sousedících bodů mimo dovolenou toleranci, tak s největší pravděpodobností je v dané oblasti něco nesprávně a okraje oblasti, kde se nacházejí body s překročenou tolerancí je potřeba označit jako nesprávné. Pokud bude v dané oblasti větší koncentrace obrazových bodů, které mají přílišnou odchylku, tak se s největší pravděpodobností jedná o nějaký typ defektu.

Výpočetně jednodušší je používána metoda s inverzí obrazu. Vypočte se relativní odchylka jednotlivých barevných složek mezi vzorovým a porovnávaným obrazem podle následujících vzorců:

$$r_{rel} = 1 - \frac{abs(R_1 - R_2)}{255} \quad (5)$$

$$g_{rel} = 1 - \frac{abs(G_1 - G_2)}{255} \quad (6)$$

$$b_{rel} = 1 - \frac{abs(B_1 - B_2)}{255} \quad (7)$$

kde r_{rel} , g_{rel} , b_{rel} jsou relativní odchylky jednotlivých obrazových bodů na daných x a y souřadnicích. R_1, G_1, B_1 představují barevné složky vzorového obrazu; R_2, G_2, B_2 představují barevné složky porovnávaného obrazu.

Eliminace parazitního šumu se provádí různými způsoby, nejrozšířenější je úprava celého obrazu s přepočítáním jednotlivých obrazových bodů pomocí matice (8). Tato korekce přepočítává hodnotu barevné informace na základě hodnot z okolních obrazových bodů. Způsob potlačení šumu je podrobněji popsán v kapitole 4.6.1.

4.4 Porovnání pomocí kontrolního součtu - hash

Dynamika předchozí metody velice klesá s rostoucím rozlišením. Např. pro porovnání obrázku o rozlišení 4MPx tento proces trvá necelých 17 sekund, což je pro AOI velmi dlouhá doba.

Pro urychlení porovnání je vypočten tzv. *hash* , kontrolní součet nebo také otisk, který pomocí speciálního algoritmu vygeneruje kratší řetězec. Mezi nejrozšířenější algoritmy patří MD5, SHA nebo Tiger. Jejich primární určení bylo vytvořit kontrolní součet pro ucelený balík dat přenášený v rámci sítě typu LAN/MAN/WAN, u kterých může docházet vlivem přeslechů na trase k ovlivnění přenášené informace.

Porovnáním pomocí *hash* je výbornou alternativou co se týče rychlosti, ale při vytvoření otisku se kompletně ztratí obrazová informace a v konečném důsledku je možno pouze konstatovat, zda si obrazy byly 100% totožné nebo rozdílné. Míru odlišnosti tímto způsobem není možné zjistit.

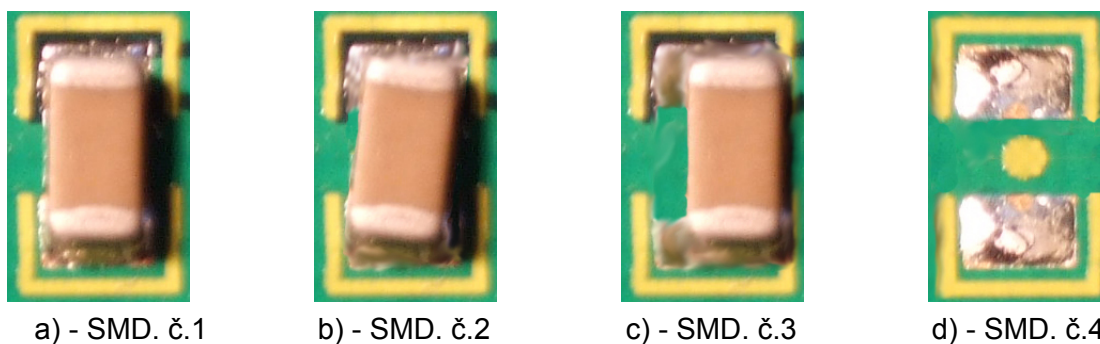
4.5 Natočení / posunutí součástky – porovnání obrazů

V průběhu osazování nebo po zapájení součástky může dojít k mírnému natočení nebo posunutí součástky. Zde se už metoda středících křížů nedá použít. Řešením je analyzovat pozici pouze samotné součástky s malými postranními okraji. Případné natočení / posunutí osazované součástky sníží v následné barevné analýze barevnou shodnost porovnávaných obrazů, ale přesto bude v toleranci.

V programovacím jazyku *PHP* a použitím grafické knihovny *GD2* byl zrealizován program pro zjišťování shodnosti obrazů. Demonstrovány jsou různé možnosti posunutí a natočení a zobrazeny výsledky analýzy shodnosti s původním obrazem. Obrazy byly zarovnány tak, aby si barevné podklady (zejména žlutý) co nejvíce souřadnicově odpovídaly.

Otestovány byly tři nejčastěji se vyskytující druhy defekty. Na obrázku **Obr. 6 a) – d)** jsou zobrazena vstupní data, která simulují nejčastější typy defektů. Vzdálenost okrajů od součástky jsou 4 mm. Obrazy **b) – d)** byly srovnány s obrazem **a)** a v tabulce **Tabulka 2** jsou zobrazeny výsledky, na kolik si jsou jednotlivé obrazy shodné. Z těchto hodnot bude nastavován výsledný testovací algoritmus.

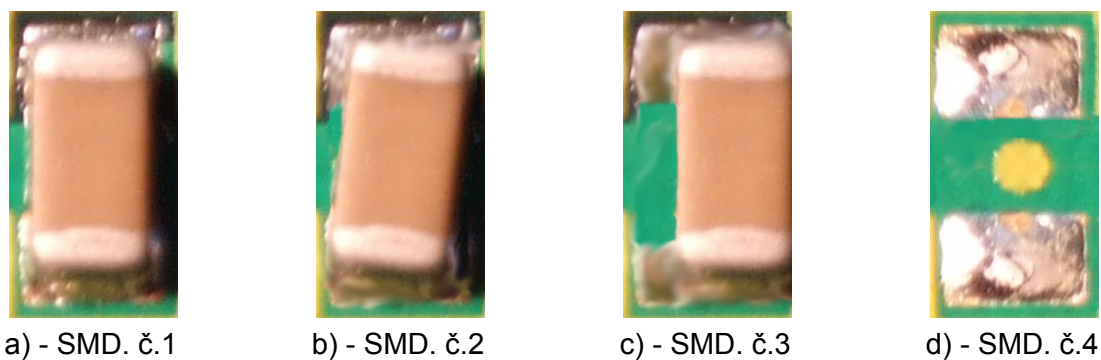
Druhý test opět simuloval defekty, ale zdrojové obrazy byly posunuty oříznuty tak, aby vzdálenost od hrany obrázku k součástce nebyl větší než 2 mm. Vstupní obrazy jsou zobrazeny na obrázku **Obr. 7 a) – d)**. Výsledky srovnání jsou uvedeny v tabulce **Tabulka 3**.



Obr. 6 - porovnání shodnosti obrazů s okolním rámečkem

Porovnávané obrazy	Relativní podobnost
SMD. č.1 - SMD. č.2	87,7 %
SMD. č.1 - SMD. č.3	62,9 %
SMD. č.1 - SMD. č.4	27,7 %

Tabulka 2 - Výsledky grafického porovnání obrazů s okolním rámečkem



Obr. 7 - Porovnání shodnosti obrazů bez okolního rámečku

Porovnávané obrazy	Relativní podobnost
SMD. č.1 - SMD. č.2	80,1 %
SMD. č.1 - SMD. č.3	48,6 %
SMD. č.1 - SMD. č.4	14,5 %

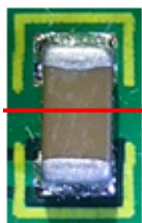
Tabulka 3 - Výsledky grafického porovnání obrazů bez okolním rámečkem

4.5.1 Detekce hran součástky bez použití masky

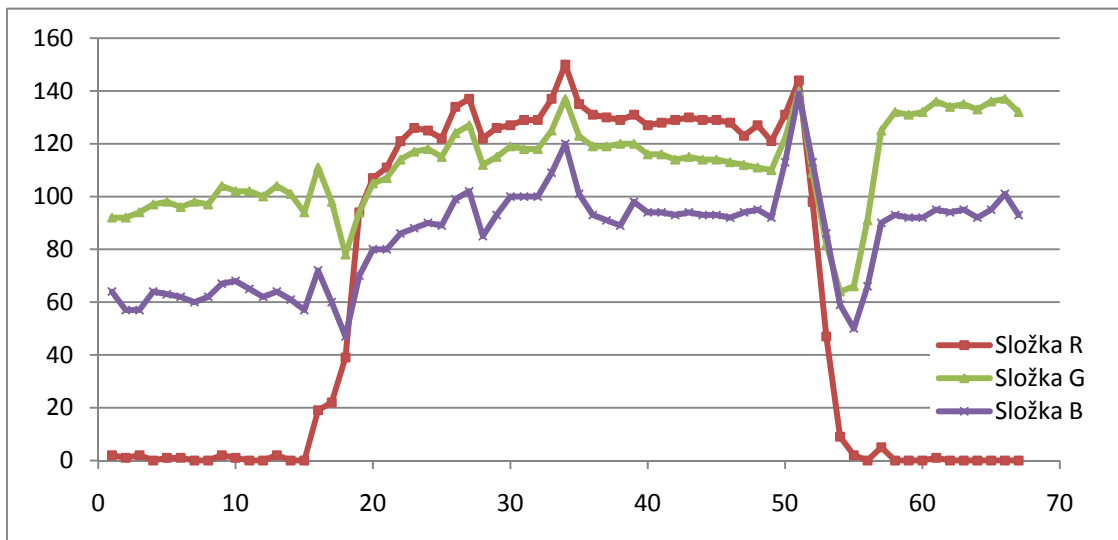
Pro nejjednodušší aplikace, případně pro obrazy vyhlazené některým z filtrů proti šumu, je možno aplikovat detekci hran pomocí porovnávání jednotlivých obrazových bodů bez použití masky pro výpočet rozdílového gradientu a z výsledku následně vyvodit existenci hrany.

Pomocí grafické nadstavby *GD2* v *PHP* byl vytvořen program na detekci hran. Jeho funkce je založená na skutečnosti, že konstantní barevná plocha vykazuje minimální barevné odchylky mezi jednotlivými obrazovými body. Vyšší numerický rozdíl jednotlivých barevných složek nastává v přechodu z jedné barvy do druhé.

Algoritmus je vytvořen následujícím způsobem: program porovnává po řádcích obrazové body se souřadnicemi x,y ; $x+1,y$ a vypočte jejich barevný rozdíl, ze kterého je následně vytvořen nový obraz s vyobrazením rozdílových bodů. Pro potlačení šumu a jiných možných odchylek jsou potlačeny obrazové body, jejichž vzájemný rozdíl je menší než 10%, 20%, 30% a 50%. Výstupní hodnoty programu po detekci při nastavených různých úrovních citlivost jsou zobrazeny na obrázku **Obr. 10**. Pro lepší ilustraci byly body, které odpovídaly nastavené toleranci, zabarveny bíle a body mimo toleranci zabarveny černě.



Obr. 8 - Označení analyzované části sledování gradientu barev



Obr. 9 - Grafické zobrazení barevných změn při přechodu DPS – součástka – DPS

Z analýzy rozložení barev (**Obr. 9**) se zdá, že je nejvýhodnější vypustit ostatní barevné G a B a použít pouze R barevnou složku. Při změně barvy DPS a součástky se však kompletně změní rozložení barev a tím i dominantní barva (barvy), pomocí kterých mohou být analyzovány hrany.

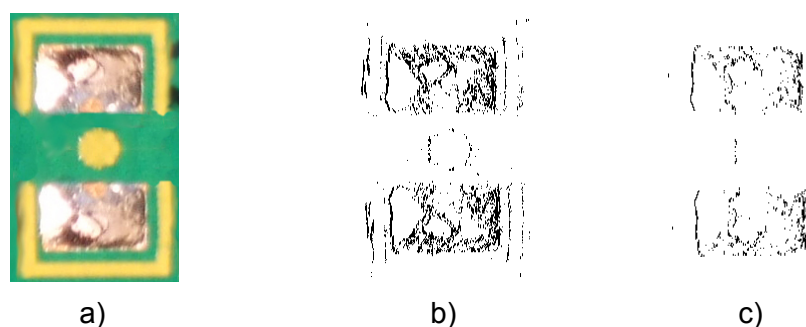


Obr. 10 - rozdíl kontrastu barev mezi originálem a porovnávaným obrazem

Z obrázků a) – d) zobrazených v **Obr. 10** vycházejí nejlépe první dva obrazy, u nichž jsou velmi dobře patrné hranice součástky, ze kterých by se dala pomocí vhodného algoritmu vytvořit hranice, kam součástka zasahuje, tedy její případná identifikace na DPS. U posledních dvou obrazů je z důvodu velmi velké šumové tolerance ztraceno velké množství

obrazové informace a nedá se s jistotou určit, zda je na místě součástka nebo pouze přetavená pájecí pasta.

Podobný test byl proveden i s kontakty, na kterých byla pouze přetavená pasta. Na velkých plochách pájky dochází k světelným odrazům a odražené světlo se potom na výsledném obrazu jeví jako přeexponovaná oblast, která je po analýze rozdílu barev podobná součástce. Naopak na místě, kde má být umístěna součástka a místo ní je pouze podkladní DPS, tak zde nejsou vidět žádné hrany součástky a je tak snáze detekovatelná absence položené součástky. Zdrojový obraz je zobrazen na obrázku **Obr. 11 a)**, grafické výstupy po provedení rozdílu barev je zobrazen na **Obr. 11 b)** a **c)**.



Obr. 11 - analýza rozdílu barev u přetavených kontaktů bez součástky

První obraz odpovídá analyzované části DPS, u druhého je nastavena tolerance rozdílu 10 a u třetího obrazu je barevná tolerance 20.

4.6 Detekce hran s využitím masky – Canny detection

Pro průmyslové automaty je v drtivé většině použit některý z algoritmů na detekci hran, který v sobě zahrnuje algoritmy na potlačení šumu, detekci hran a současně dodatečné potlačení šumu. Mezi nejrozšířenější patří *Canny Edge Detection*, který byl představen v roce 1986. S mírnými modifikacemi je používán dnes.

Pro počáteční zpracování obrazové informace jsou nejvhodnější obrazová data ve formátu RAW – což jsou surová data bez použití jakýchkoli kompenzačních algoritmů v procesoru ve snímacím systému. Po testech barevných tolerancí mezi RAW formátem a JPEG formátem

byly shledány barevné rozdíly v řádu desetin procenta, proto pro jednodušší následné zpracování byl zvolen jako obrazový nosič formát typu JPEG.

4.6.1 Canny detection – redukce šumu

Prvním krokem pro rozpoznání hran je šumový filtr. Každý obrazový bod je znovu přepočítán aplikováním matice, která je vytvořena pomocí první derivace Gaussova rozložení a získané hodnoty jsou zobrazeny v matici, která je zobrazena ve vzorci (8). Okolní obrazové body jsou násobeny hodnotami v matici, kterým je na základě Gaussova rozložení přidělena různá váha. Na základě přepočítaných hodnot je sestaven nový obraz.

$$B = \frac{1}{159} \begin{vmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{vmatrix} \quad (8)$$

Výsledkem je mírně rozmazaný původní obraz, ale s potlačeným šumem. Z důvodu velikosti matice a algoritmickým operacím je výsledný obraz o dva obrazové body na každé straně zmenšen.

4.6.2 Canny detection – vytažení hran

Po odstranění parazitního šumu následuje proces vytažení hran, který vychází z nárustu nebo poklesu gradientu hodnot sousedících obrazových bodů. Matematicky je možno funkci popsat následujícím způsobem:

$$G_x(x, y) = -\frac{1}{2} \cdot L(x-1, y) + 0 \cdot L(x, y) + \frac{1}{2} \cdot L(x+1, y) \quad (9)$$

$$G_y(x, y) = -\frac{1}{2} L(x, y-1) + 0 \cdot L(x, y) + \frac{1}{2} L(x, y+1) \quad (10)$$

Z uvedených vzorců vyplývá, že budou-li body nalevo i napravo od analyzovaného bodu shodné, výsledný barevný gradient je roven nule a tedy v dané oblasti nedochází k barevnému přechodu. Pokud se numerické hodnoty analyzovaných bodů od sebe nepatrně liší, jedná se s největší pravděpodobností o šum, který bude eliminován dalším algoritmem. Opět je nutno vynásobit sousední body od analyzovaného bodu hodnotami v matici, v tomto případě však odděleně pro osu x a osu y . Funkce výsledného algoritmu je založena vynásobením barevných hodnot maticemi **(11)** a **(12)**. Tyto matice jsou v tomto případě označovány jako *Sobel operator*.

$$G_X = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot A \quad (11)$$

$$G_Y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \cdot A \quad (12)$$

Aplikováním matic na celý obraz dochází k detekci míst s barevným gradientem a vykreslení hran. Při srovnání výsledků detekovaných hran s *Laplace operátor* **(13)** a *Sobel operátor* jsou podávány lepší výsledky s využitím *Sobel operator*.

$$G = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 24 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Pro *Sobel Operator* je výpočet barevné hodnoty výsledného obrazového bodu řešen podle následující rovnice **(14)**:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (14)$$

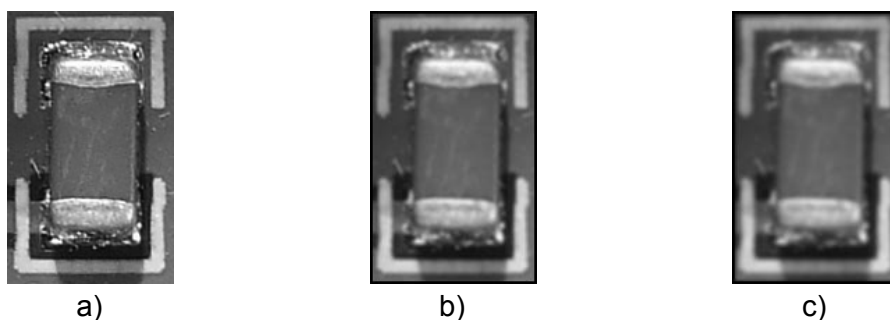
kde G_X jsou vodorovné obrazové body a G_Y jsou svislé obrazové body. V případě požadované detekce pouze na ose x stačí do cílového obrazu vynést pouze vypočtené obrazové body pomocí matice G_X a analogicky pro detekci hrany na ose y .

Vzájemné natočení směru předpokládaných čar je vypočteno podle arctg poměru mezi hodnotami na osách x a y :

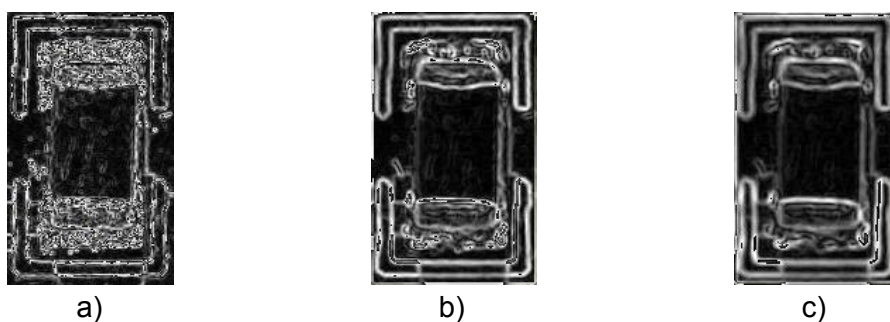
$$\theta = \arctan\left(\frac{G_Y}{G_X}\right) \quad (15)$$

Pro AOI jsou v naprosté většině používány pouze stupně šedi, dochází tak sice k potlačení barevné informace, ale i ke značné úspoře výpočetního výkonu. Navíc uvedené algoritmy jsou optimalizovány do takové míry, že si můžeme dovolit vypustit barevnou informaci a pracovat pouze s 8 bitovou barevnou hloubkou.

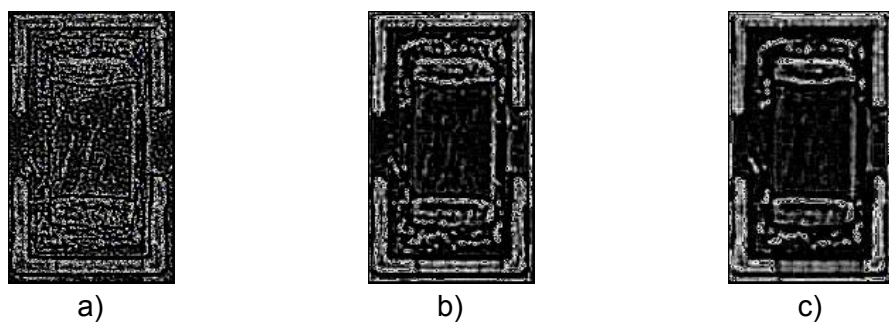
Výše uvedené algoritmy byly opět naprogramovány a výsledky převedeny do grafické podoby. Vytažení hran v tomto případě vychází mnohem lépe než s dříve uvedeným porovnáváním jednotlivých obrazových bodů bez potlačení šumu.



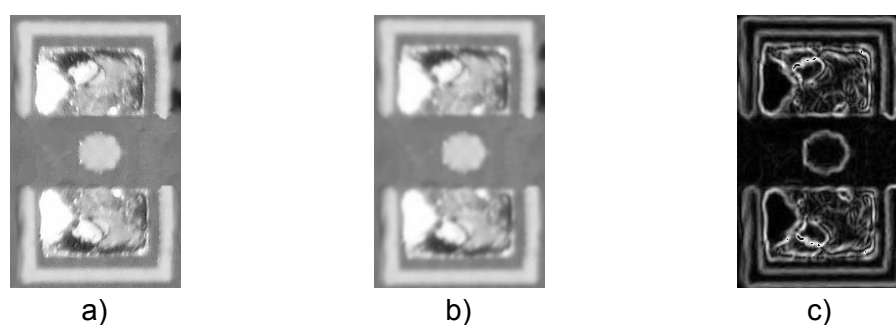
Obr. 12 - Zdrojový obraz před a po redukci šumu



Obr. 13 – Detekce hran součástky u obrazů – Sobel operator



Obr. 14 - Detekce hran součástky u obrazů – Laplace operator



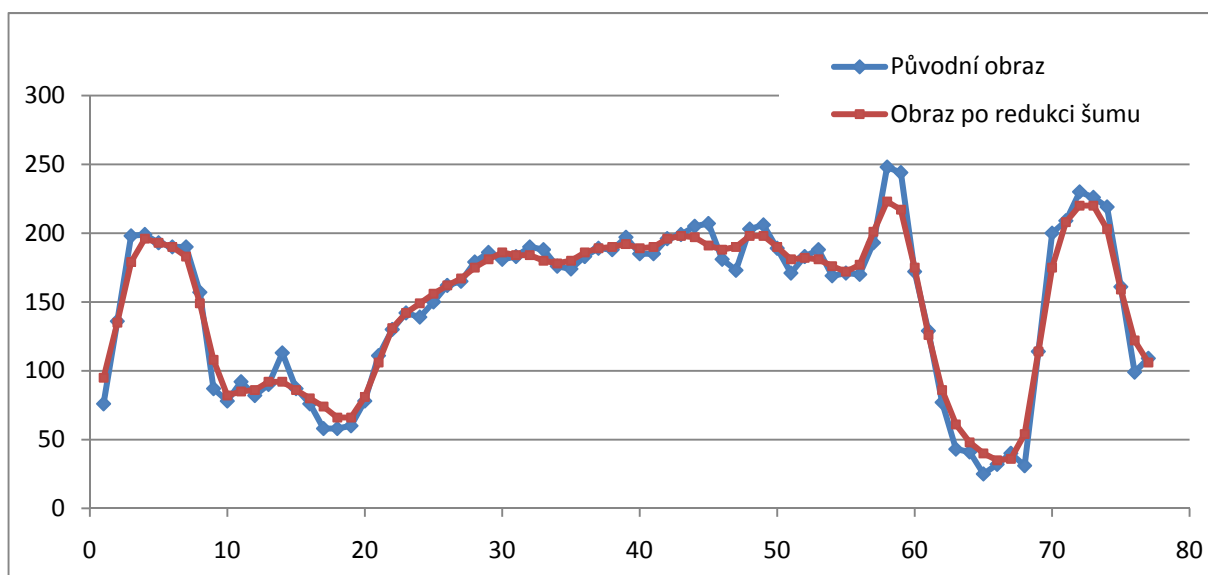
Obr. 15 - Detekce hran při absenci součástky

První test, který je zobrazen na obrázku **Obr. 12**, byl proveden na obrazu pořízeném přímo z testovací DPS - **a)**, s uplatněním šumového filtru založeného na *Sobel operátor* - **b)** a s opětovným uplatněním šumového filtru a následném uplatnění *Sobel operátor* - **c)**. Z hlediska další analýzy nejlépe vychází obraz s jednoduchým šumovým filtrem, neboť jednotlivé hranice přechodu jsou dobře patrné a nejsou příliš roztaženy do šíře, mají dobrý barevný gradient.

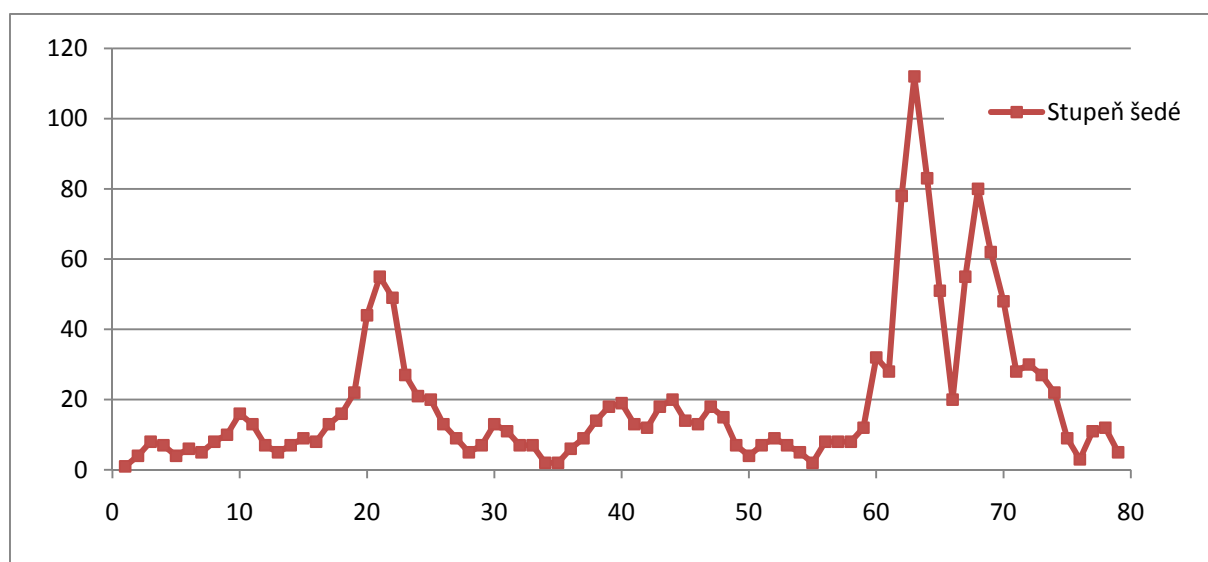
Pro porovnání kvality algoritmů byl proveden stejný test s *Laplace operátor*. Nejprve byly zvýrazněny hrany bez využití algoritmu pro potlačení šumu, následně byl obraz upraven šumovým filtrem a aplikována detekce hran s využitím *Laplace operátor*. Třetí obraz označuje výstup detekce hran opět s využitím *Laplace operator*, ale po opětovné aplikaci šumového filtru. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku **Obr. 14**.

Obrázek **Obr. 15** znázorňuje případ, kdy nebyla automaticky usazena součástka. V případě nejistoty prahových úrovní v tomto případě zřejmé, že je vhodné kontrolovat pomocí AOI i případy, kdy není požadovaná součástka osazena. Především se tím tak možným nerozhodným stavům, které by se v rámci prevence hlásily jako neosazená / špatně osazená součástka. Detekce hran je provedena pomocí *Sobel Operator*.

Pro další analýzu bude obrazový výstup z filtru založen na *Sobel operator*, neboť jeho výstupy jsou pro následné zpracování nejvhodnější. Mezi jeho hlavní přednosti patří menší náročnost na zpracování (používá pouze matice 3x3), možnost detekce směru hrany a za daných podmínek nejkontrastnější barevné přechody.



Obr. 16 – Rozložení obrazových bodů před a po redukcí šumu



Obr. 17 – Rozložení stupně šedé po aplikaci algoritmu na detekci hran (Sobel operator)

V grafu zobrazeném na obrázku **Obr. 16** je znázorněné barevné zastoupení jednotlivých obrazových bodů před a po uplatnění šumového filtru. Vstupními obrázky jsou **Obr. 12 a) a b)**. Obrázek **Obr. 17** zobrazuje barevné zastoupení stupně šedi po detekci hran. Vstupním obrázkem byl **Obr. 13 b)**. U obou grafů jsou vykresleny pouze hodnoty na ose x , osa $y = \text{konst} = 100\text{px}$.

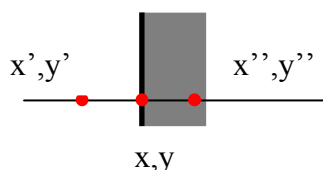
4.6.3 Canny detection – zvýraznění maxim

Pomocí výpočtů s využitím maticových filtrů je výsledný obraz dobře čitelný a jsou vizuálně velmi dobře patrné jednotlivé přechody. Pro počítačové zpracování je však vhodnější potlačit body, které v rámci lokálních barevných přechodů postupně nabývají na intenzitě a naopak zvýraznit body, jejichž intenzita je v lokálním maximu na dané ose x nebo y v porovnání se sousedními body nejvyšší. Tento proces je nazýván non-maximum supression. K zvýraznění maximálních hodnot dochází po splnění následujícího předpokladu (vzorec (16)):

$$S(x, y) > S(x', y') \text{ and } S(x, y) > S(x'', y'') \quad (16)$$

kde $S(x, y)$ jsou souřadnice analyzovaného bodu, $S(x', y')$ a $S(x'', y'')$ jsou souřadnice sousedních obrazových bodů.

Pokud předpoklad uvedený ve vzorci (16) nebude splněn, daný bod bude označen jako 0 (resp. 255, záleží, zda je zvýrazňována bílá na černé nebo naopak).

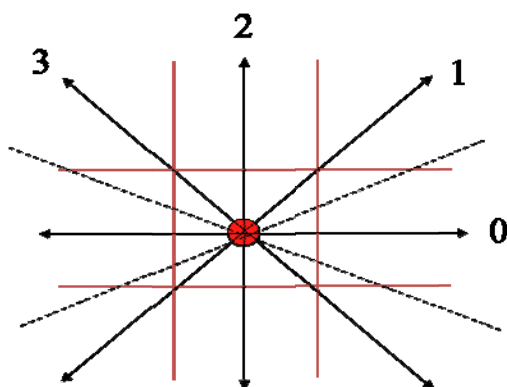


Obr. 18 - rozvržení porovnávaných oblastí

Pro splnění předpokladů uvedených ve vzorci (16) je potřeba sledování směru orientace posuvu bodů. Na základě dosazení hodnot do vzorců (11) a (12) je vypočten $\arctan$ poměrů ve směru osy x a osy y a tím i známý úhel směru hran. Podle vypočteného $\arctan$ (resp. úhlu) budou jednotlivým obrazovým bodům přiřazeny čísla 0 – 3 podle tabulky **Tabulka 4**.

	Minimální arctan	Maximální arctan	Minimální úhel [°]	Maximální úhel [°]
0	-0,4142	0,4142	-22,5	22,5
1	0,4142	2.4142	22,5	67,5
2	2.4142	-2.4142	67,5	-67,5
3	-2.4142	-0.4142	-67,5	22,5

Tabulka 4 - Tabulka rozložení směrů os detekovaných hran



Obr. 19 - Grafické znázornění značení směru hran



Obr. 20 – Výstupní obraz po provedení non-maximum suppression

Podle vypočtené hodnoty úhlu bude každému obrazovému bodu přidělena hodnota 0-3. Rozdělení sousedních bodů, se kterými bud srovnáván analyzovaný bod je zobrazeno na obrázku **Obr. 19**. Například pro úhly v rozmezí 22,5 – (-22,5) budou porovnávány hodnoty $(x-1)$, x , $(x+1)$. Na základě výsledku ze vzorce (15) bude novému obrazu přidělena nová hodnota lokálního maxima a body s nižší vahou barevné informace budou potlačeny. Na

obrázku **Obr. 20** je zobrazen výstupní obrázek po provedení daného algoritmu. Vstupním obrazem funkce byl **Obr. 13 b)**.

4.6.4 Canny detection – nastavení prahové úrovně

Na výstupním obrazu jsou již dobře patrné hrany a plošky s pájkou po přetavení, je zde však ještě patrný pozůstatek šumu, který je potřeba odstranit. Funkce následujícího algoritmu se zakládá na skutečnosti, že okolo jasného bodu, který nebyl způsoben šumem, budou i okolní body nositelem barevné informace o intenzitě v řádu desítek nebo stovek. Naopak body způsobené šumem mají nízkou hodnotu barevné informace a okolo nich budou obrazové body, jejichž hodnota barevné informace se bude blížit nule.

Na základě těchto předpokladů byl vytvořen algoritmus, který kontroluje hodnotu barevné informace v okolních obrazových bodech. Kontrola probíhá na všech osmi bodech v okolí analyzovaného bodu.

x-1,y-1	x,y-1	x+1,y-1
x-1,y	x,y	x+1,y
x-1,y+1	x,y+1	x+1,y+1

Tabulka 5 – zobrazení analyzovaných bodů

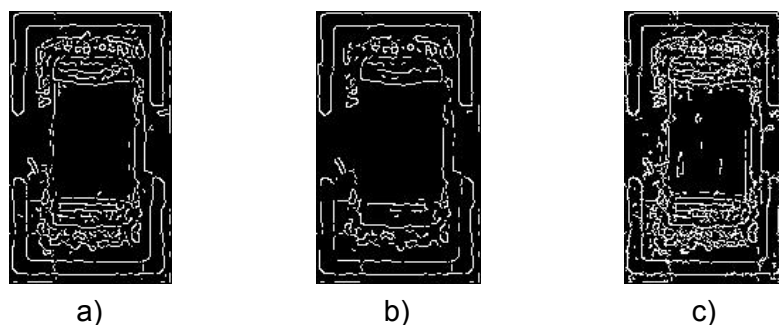
V tabulce **Tabulka 5** jsou body x,y analyzovanými body, ostatní body jsou používány pro srovnání. Při výpočtu algoritmu je nutno opět začínat na souřadnicích $x = 1$ a $y = 1$, neboť při provádění výpočtu je nutno analyzovat body „před i nad“ analyzovaným bodem. Stejně předpoklady platí i pro levý a spodní kraj obrazu, kde posledním analyzovaným bodem je bod na souřadnicích $x = x_{\max} - 1$ a $y = y_{\max} - 1$.

Samotný algoritmus vyžaduje na vstupu nastavení prahových úrovní, označenými T_H a T_L . T_H označuje vyšší prahovou úroveň, T_L je označována nižší prahová úroveň. Výstupní podmínka pro zachování daného bodu závisí na následujících podmínkách (vzorce **(17)** a **(18)**):

$$(G(x, y) > T_H) \& (G(x_i, y_i) > T_L) \quad (17)$$

$$(G(x, y) > T_L) \& (G(x_i, y_i) > T_H) \quad (18)$$

kde $G(x,y)$ symbolizuje obrazový bod na souřadnicích x_I a y_I , $G(x_i,y_i)$ symbolizuje okolní obrazové body, kde i nabývá hodnot (0, 1, 2). Pokud je alespoň jedna z podmínek v jednom cyklu splněna, obrazový bod zůstává zachován, v opačném případě je vypuštěn a místo něj zůstane černá plocha. Pro celkový vzhled a jednoznačnější identifikaci jsou obrazové body, které splnily podmínky uvedené ve vzorcích (17) a (18), zvýrazněny na plný jas (hodnota 255).



Obr. 21 – Obrazové výstupy s různými hodnotami T_H a T_L

Na obrázku **Obr. 21** jsou zobrazeny grafické výstupy s rozdílnými hodnotami T_H a T_L v následujícím pořadí: $T_H = 50$, $T_L = 30$; $T_H = 100$, $T_L = 50$; $T_H = 20$, $T_L = 10$. Vzhledem ke kvalitě grafických výstupů je v tomto případě optimální využít první variantu, dochází k nejlepšímu grafickému vykreslení a dobrému potlačení parazitního šumu, způsobeného odlesky od pájky.

4.6.5 Vykreslení součástky

Výše uvedenými postupy bylo dosaženo detekce gradientů, které v konečném důsledku označují hrany součástky. Vlivem zapájení, nerovností součástky, servisních potisků apod. zůstaly na součástce parazitní označení gradientu, které musí být odstraněny.

Při programování automatu jsou zadávány jednotlivé pozice součástek, kde se která součástka nachází a jaké má rozměry. To stejné i při zadávání pájecích plošek. Pro eliminaci parazitních bodů a detekci součástky je vytvořen rámeček, který bude odpovídat rozměrům součástky s tolerancí T_T , která slouží k pokrytí možných posuvů nebo rotace součástky. Stejný rámeček je nutno vytvořit i pro pájecí plošky. Proces detekce součástky probíhá podle následující rovnice:

$$G(x, y) = G_{IMG} \cdot H(x, y) \quad (19)$$

kde $G(x, y)$ označuje barevnou hodnotu nově vytvořeného obrazového bodu, $G_{IMG}(x, y)$ označuje původní obraz a $H(x, y)$ označuje předpokládané místo s tolerancí T_T obrazových bodů, ve které hodnoty „1“ symbolizují rámeček a hodnoty „0“ symbolizují prázdné místo.



Obr. 22 – Aplikování filtru s předpokládanou pozicí součástky

Na obrázku **Obr. 22** je zobrazení výstupu detekce součástky. Vstupem filtru byl **Obr. 21** (vlevo) s nastavenou tolerancí 3 obrazové body.

4.7 Detekce součástky

Na obrázku **Obr. 22** je vyobrazen grafický výstup programu, na kterém jsou velmi dobře patrné obrysy součástky. Tyto obrysy je nutno převést do numerické podoby, aby bylo možné některým ze způsobů vyhodnotit, zda výsledný tvar představuje součástku nebo pouze nějaké náhodné seskupení obrazových bodů.

Díky známým souřadnicím, na kterých se má součástka nacházet, se provede součet obrazových bodů pro osu x podle vzorce (20):

$$F_X = \sum_{X-X_{DIF}}^{X_{DIF}} R_B(x, y) \quad (20)$$

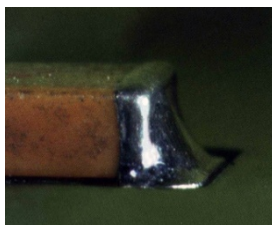
kde X_{DIF} je rozdíl mezi horní hranou obrazu a předpokládaným místem, kde se nachází součástka. $R_B(x, y)$ označuje, zda se na souřadnicích $x, (y-T_T)$ - $x, (y+T_T)$ nachází alespoň jeden obrazový bod, který identifikuje výsledný obraz součástky. Parametry T_T jsou zde zavedeny z důvodu tolerance při výpočtu, neboť vlivem přetavení může dojít k posuvu nebo částečné rotaci součástky. Parametry X_{DIF} a Y_{DIF} je vytvořena toleranční oblast, protože uplatňovanými algoritmy dojde ke zmenšení obrazu o 4 obrazové body a o T_T obrazových

bodů vlivem výpočtu, který zohledňuje možný posuv součástky. Analyzovaný obraz tedy musí být zvětšen při výše uvažovaných podmínkách o nejméně 7 obrazových bodů.

Tímto je proces použití *Canny algorithm* ukončen. Vzhledem ke kvalitě analyzovaného obrazu, ve kterém byly minimální barevné rozdíly mezi jednotlivými přechody, je výsledné vykreslení součástky velmi uspokojující. Výsledně budou porovnány výše uvedené algoritmy a shrnuty výsledky jejich možností a vhodností použití.

4.8 Kvalita zapájení součástky

Pomocí AOI 2D kamery lze snímat i kvalitu zapájené součástky. Po získání obrazu zapájeného obvodu lze zhodnotit kvalitu zapájeného spoje na základě odrazů od přetavené pájky.



Obr. 23 - Správně zapájený kontakt součástky

Zapájená součástka na **Obr. 23** zpočátku nevytváří téměř žádné odrazy, pájka postupně přechází z černé po bílou. Tento plynulý přechod je způsoben klesajícím úhlem pájky s osou x a tím dochází k odrazu větší části záření do objektivu kamery. Podle kvality odrazu a délky plochy, od které se obraz odráží je velmi dobře detekovatelná kvalita zapájených součástek. Kvalita zapájení součástek a jejich následné odrazy jsou zobrazeny na **Obr. 33** - **Obr. 35**.

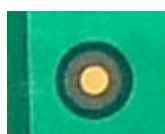
4.9 Vystředění DPS

Vlivem tolerancí v úchytych mechanismech na pásu dochází k mírnému natočení nebo posunutí kontrolovaných DPS. I když tyto tolerance v případě posunutí nepředstavují rozdíl větší než několik desetin mm nebo v případě natočení několik stupňů, dochází zde k posunu, resp. rotaci pevně zadaných souřadnic, což je v případě porovnávání jednotlivých obrazových bodů problém.

Možnosti řešení jsou dvě. Mechanické, kde se daná DPS vycentruje do potřebné polohy pomocí externího pomocného nástroje, který dorovná DPS do požadované pozice, aby nebyl umožněn její následný pohyb a tím její odchýlení.

Druhá možnost je programová, která vyžaduje umístění středících bodů. Nutnou podmínkou je jejich dobrá viditelnost a dostatečný kontrast s okolím. Před kontrolou nové desky je kamera automatu zaměřena právě na tyto kontrolní body, které se mohou nacházet v určitém rozmezí od zadaných souřadnic. Jelikož je znám tvar středících bodů, automat hledá na obrazu v okolí zadaných souřadnic požadovaný tvar. Po nalezení obou středících bodů je vypočteno skutečné posunutí, jejich částečná rotace nebo kombinace obou. V případě *image based systems* je posunut a natočen celý obraz a dochází k porovnání. V případě *algorithm based systems* jsou dvě varianty. První je přepočtení souřadnic, na kterých se jednotlivé prvky nacházejí. Druhá možnost je použití této korekce až při kontrole prvku, kde bude nasnímaný obraz každého jednoho prvku posunut / natočen o vypočtenou odchylku.

Praktická realizace vystředění nepřesně umístěné DPS je realizována porovnáním obrazů. Z důvodu vyšší přesnosti je zdrojový obraz převeden pomocí jednotlivých filtrů Canny algorithm na černobílý obraz, kde bílá značí barevné přechody a černá označuje barevně neměnné plochy. Na obrázku **Obr. 24 a)** je zobrazen středící bod po vyfocení, **b)** po aplikaci jednotlivých filtrů *Canny Algorithm* a **c)** po oříznutí, kde obrázek slouží jako předloha pro hledání středících bodů na kontrolovaných DPS.



a)



b)



c)

Obr. 24 - Středící body na DPS

Samotný proces hledání středícího bodu probíhá postupným porovnáváním obrazu **Obr. 24 c)** s nadefinovanou oblastí analyzované DPS, kde by se měl středící bod nacházet. Prohledávání probíhá z levého horního rohu nadefinované oblasti postupnou inkrementací offsetu na ose y , následně na ose x . Za shodu středících bodů je považována maximální hodnota shodnosti z celé skenované oblasti, nejméně však 90ti % podobnost obou obrazů.

5. Analýza součástí na DPS

Pomocí dříve popsaných detekčních technik bude provedena detekce, zda je součástka přítomna i po osazení automatem a zda je správně umístěna, případně zda není nějakým způsobem pootočená či posunuta.

V rámci této práce bohužel nemám k dispozici kameru s *xy* posuvným systémem, DPS tak bude analyzována způsobem vyfotografování celé DPS a do programu budou zadány souřadnice jednotlivých součástí, které se mají analyzovat. Program bude následně zaměřovat pouze oblasti se zadanými souřadnicemi a diagnostikovat v nich případné rozdíly. Počáteční nastavení je realizováno pomocí tzv. „golden board“, což je vzorová DPS se všemi správně zapájenými součástkami, pomocí které se software učí a považuje DPS za referenční.

5.1 Porovnávání celé DPS

Veškerá testování probíhala na PC Intel Pentium III 533MHz, 512MB RAM. Operační systém byl použit Linux, distribuce Slackware 12.0, kernel 2.6.16.62. Algoritmy byly programovány v programovacím jazyce PHP 5.2.3, GD knihovna verze 2.0.34.

Prvním způsobem detekce chybné pozice součástky je využití metody založené na *image based systems*, kde jsou vzájemně porovnávány jednotlivé DPS jako obrázky bez možnosti definice souřadnic, na kterých se nacházejí analyzované součástky. Na **Obr. 25 a)** je obrázek vzorové DPS, na **Obr. 25 b)** je obrázek analyzované DPS. Ilustrativně jsou v červeném rámci zobrazeny součástky, které byly posunuty z původního umístění, popř. úplně odebrány.

Analýzou obou obrazů je zjištěna jejich podobnost na 91%. Hodnota barevné tolerance je nastavena na 20%. Porovnávány a vzorový obraz jsou proti ideálním souřadnicím posunuty o 1 obrazový bod dolů a vlevo. Z prvotní analýzy obrazu je patrné, že použitelných výsledků za použití této metody lze dosáhnout pouze za předpokladu 100% vycentrování analyzovaných obrazů a aplikováním vhodného filtru.

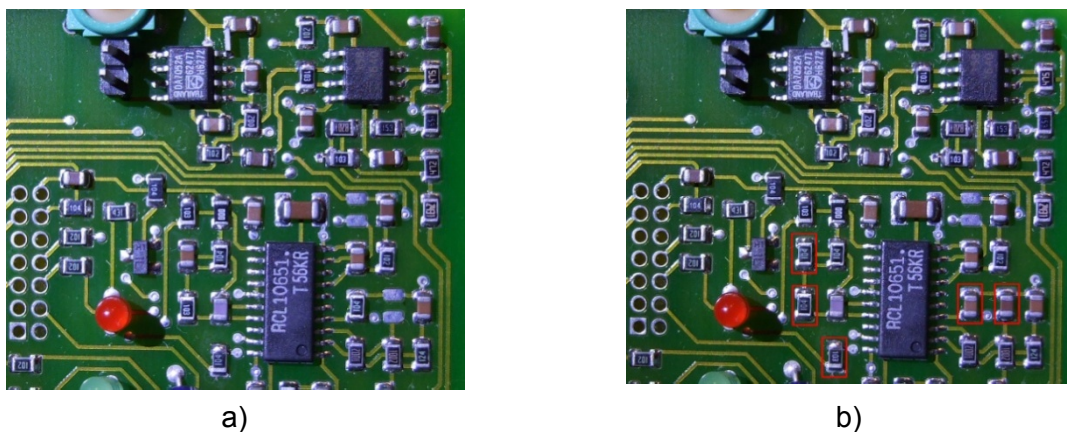
Podrobnějším zkoumáním vyobrazených rozdílů lze vyvodit, že skupiny obrazových bodů zobrazující černou barvu o maximální velikosti 3x3 lze přisuzovat šumu při snímání obrazu a případnému posuvu, skupinky většího počtu už identifikují pravděpodobnou chybu. V případě vytvoření filtru, který bude kontrolovat body v okolí $(x \pm 2)$ px a $(y \pm 2)$ px a zjišťovat koncentraci majoritních obrazových bodů, bude tato metoda podávat objektivní výsledky.

Přes svou zdánlivou jednoduchost může tato metoda detekovat defekty, ale její reálné použití komplikuje fakt, že testuje i nepotřebné oblasti a může tak mnohem snadněji dojít k nesprávné identifikaci chybné pozice osazené součástky. Její vhodné využití se nabízí k hrubé identifikaci možného defektu, který bude následně zkontrolován některým z níže uvedeným způsobem nebo lidskými zdroji.

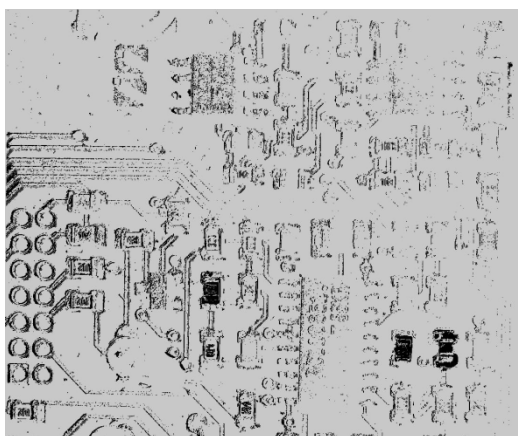
Celková doba zpracování obrázku o rozměrech 600 x 600 obrazových bodů trvá 6,95 sekund. Výpočetní algoritmy nejsou nijak složité, je však potřeba porovnávat všechny obrazové body mezi sebou.

Dnešní trend je analýza součástek pomocí *algorithm based systems*, který dovoluje důslednější kontrolu každé součástky.

Tato metoda analýzy je navíc silně závislá na použitých barvách součástek, v případě výměny jedné součástky je potřeba celý systém znovu nakalibrovat s novou vzorovou DPS, na které je nová verze dané součástky.



Obr. 25 – Vzorová a analyzovaná DPS

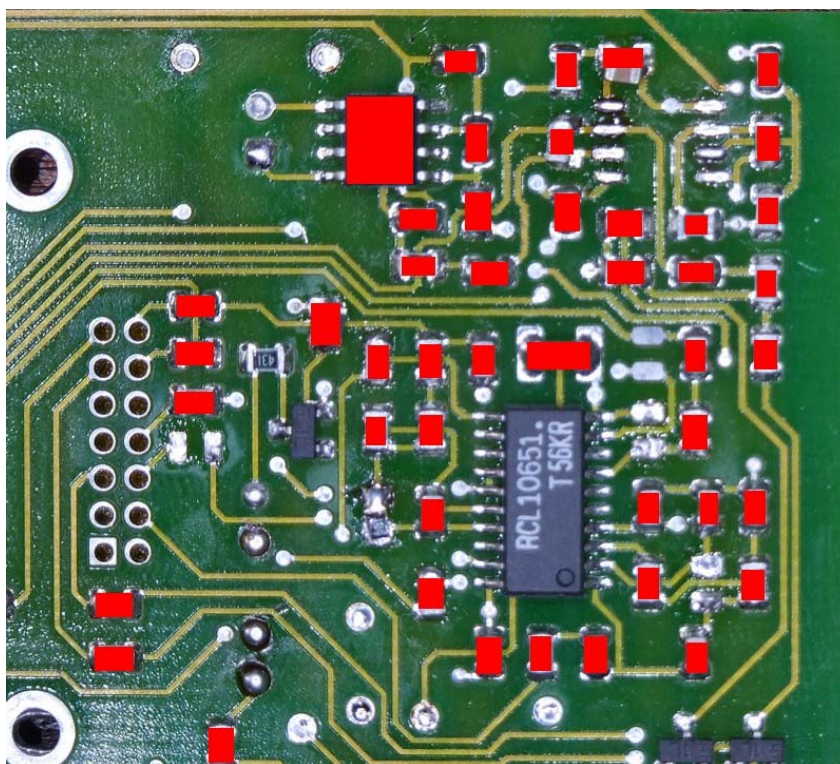


Obr. 26 – Grafický výstup porovnání dvou DPS

5.2 Porovnávání jednotlivých součástek

Na základě analýzy obrazu uvedené v kapitole 4.5 byla sestrojena jednoduchá kontrola špatně umístěné, resp. neumístěné součástky. Na základě poznatků vyvozených z této kapitoly byly nastaveny porovnávací algoritmy do úrovně, ve kterých jsou schopny detekovat mírně natočenou součástku. Při větším odchýlení součástky dojde k překročení dovolené odchylky podobnosti obrazů a tím i vyhodnocení, že součástka na uvedeném místě není umístěna.

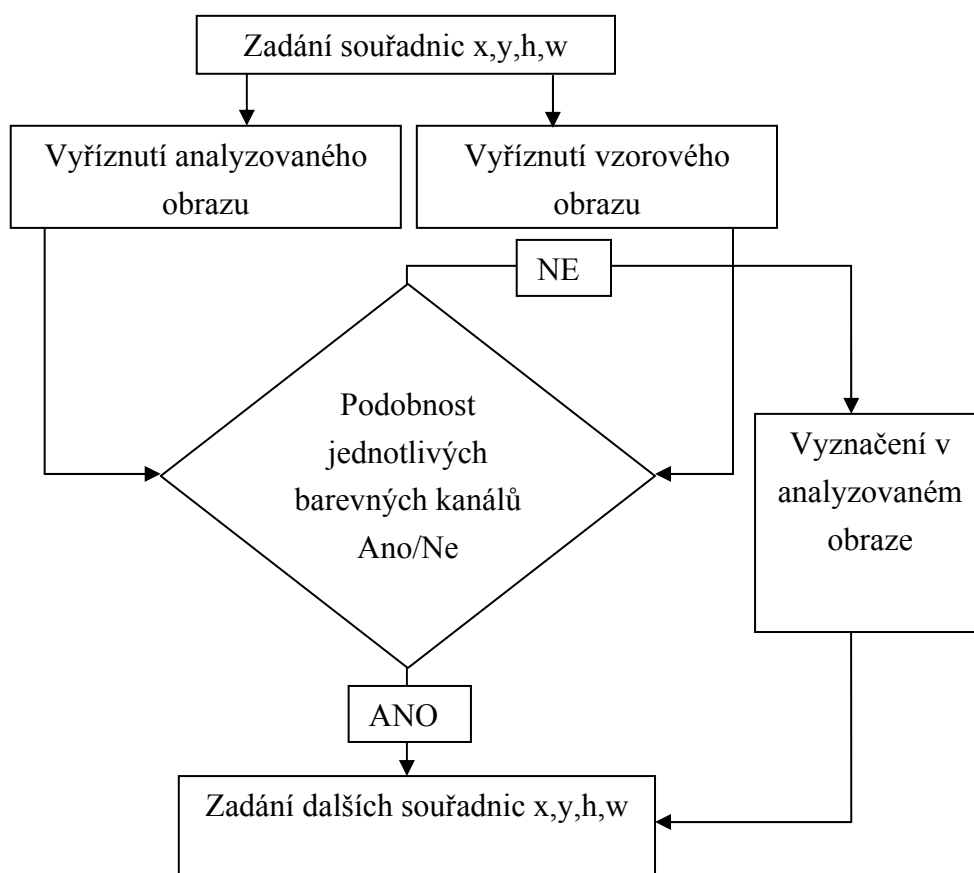
Před samotnou kontrolou je nutno naprogramovat, na kterých souřadnicích se jednotlivé součástky nacházejí, aby docházelo pouze ke kontrole potřebných prvků a neuvažoval se vliv okolního šumu. Samotné programování je založeno na tzv. „klikací mapě“, kde vzorová DPS slouží jako barevný podklad a dvojicí kliknutí se nastavují souřadnice x_1 , y_1 a x_2 , y_2 . Tyto souřadnice se ukládají do externího textového souboru. Na daných souřadnicích je po té vykreslen červený obdélník, případně čtverec, kde se nachází kontrolované součástka. V případě potřeby korekce stačí kliknout do prostoru červeně zvýrazněného místa a označená pozice se smaže a zadávání souřadnic je možno opakovat. Výsledné naprogramování pozic je zobrazeno na obrázku **Obr. 27**. Programovat je možno pouze prvky s obdélníkovým nebo čtvercovým půdorysem, kruhové tvary nebo polygony nejsou implementovány.



Obr. 27 – naprogramované pozice kontrolovaných součástek

Pro následnou kontrolu je potřeba vycentrovat kontrolovanou DPS, aby si jednotlivé prvky pozičně odpovídaly s přesností ± 4 obrazových bodů. Při snímání obrazu pomocí digitálního fotoaparátu umístěného na stativu při výsledném fotografování bylo dosaženo odchýlení max. 2 obrazové body, není tedy problém dosáhnout potřebného překrytí. Pro sériové nasazení je vhodné doplnit kontrolní mechanismus automatickou kalibrací DPS založené na hledání umístění středících značek.

Na základě vzorové a analyzované DPS byly provedeny testy a program nastaven tak, aby tato metoda po analýze podávala co nejobjektivnější výsledky. V případě programování je nutno označovat pouze samotnou součástku, programově jsou okraje součástky zvětšeny o 10 obrazových bodů na každé straně a obraz je následně analyzován. Postup identifikace chybně umístěné součástky je na obrázku **Obr. 28**. Proměnné x,y označují levý horní roh analyzované součástky a w,h označují šířku a výšku součástky.



Obr. 28 – postup identifikace chybné pozice součástky na DPS

Při samotném testování pomocí tohoto algoritmu bylo možno nastavovat pouze parametry, kterými jsou relativní shodnost porovnávaných obrazů, celková velikost obrazu a rámeček, o který bude zvětšena analyzovaná oblast obrázku. Po výsledcích testů, ve kterých byly červeně zobrazeny oblasti, které algoritmus vyhodnotil jako neodpovídající zadaným parametrům, byly jako optimální shledány následující parametry:

- $T_R = 70\%$ (relativní barevná podobnost jednotlivých obrazů)
- $X_{MAX}, Y_{MAX} = 100px$ (maximální velikost součástky)
- $X_{DIF}, Y_{DIF} = 10px$ (velikost rámečku okolo vyznačené oblasti)

V případě modifikace parametru T_R je nastavena prahová úroveň, při které jsou porovnávané obrazy označeny jako shodné nebo rozdílné. Velmi zde záleží na barvě podkladu a na barvě součástky. V případě jejich změny je potřeba vytvořit vzorový obraz, se kterým budou další analyzované DPS srovnávány.

Parametry X_{MAX} , Y_{MAX} jsou pouze doporučené, na výslednou analýzu nemají tak velký vliv jako T_R , X_{DIF} a Y_{DIF} . Jedná se o vhodné velikosti součástek, které budou v obrazu analyzovány. V případě překročení této velikosti je ztížena analýza možného posuvu, neboť při velkém optickém rozlišení fyzicky malé součástky je i relativně malý posuv součástky symbolizován jako velký rozdíl podobnosti obrazů. Naopak v případě opticky malého rozlišení součástky nebude daný prvek dobře zpracovatelný a následná analýza může vykazovat chybné výsledky. Minimální velikost kratší hrany součástky by neměla být menší než 20 obrazových bodů. Optické rozměry součástky lze modifikovat změnou celkového rozlišení obrazu.

Pro případné tolerance vlivem posuvu součástky jsou nastaveny parametry X_{DIF} a Y_{DIF} . Tyto parametry symbolizují, o kolik obrazových bodů má být na ose x a y zvětšena vybraná oblast a následně analyzována. Optimální hodnota je 10 obrazových bodů, protože je schopna pokrývat případné natočení a posuv. V případě vyšších hodnot by zůstávala statická velká část analyzované plochy a zkreslovaly by se následné podobnosti analyzovaných obrazů.

Nastavením výše jmenovaných parametrů programu byla provedena detekce všech vybraných součástek na DPS. Vzorovým obrazem byl obrázek **Obr. 27**. Z analyzovaného obrazu bylo odebráno a posunuto několik součástek a následně spuštěn algoritmus. Červeně jsou zobrazeny oblasti, ve kterých došlo ke změně součástky. Za daných podmínek došlo k odhalení všech defektů. Výsledky testu jsou zobrazeny na obrázku **Obr. 29**.

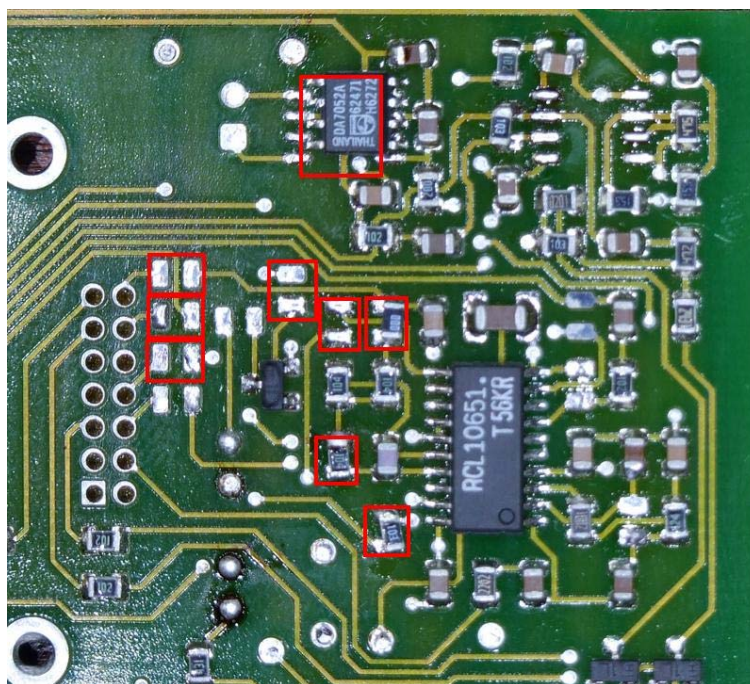
Tato DPS byla testována i při jiných intenzitách osvětlení, podané výsledky však byly shodné. Z hlediska teoretických předpokladů je vhodnější méně intenzivní osvětlení, neboť nedochází v takové míře k odrazům a rušivým vlivům, které mohou ovlivnit výsledné vyhodnocení shodnosti nebo naopak odlišnosti obrazů. Při zvětšení výsledného obrazu **Obr. 29** jsou velmi dobře viditelné parazitní odrazy od laku a od zapájených plošek, které nejsou žádoucí.

Při srovnání této kontroly s kontrolou celé DPS bez vyznačených součástek je doba zpracování kratší, neboť jsou srovnávány pouze části obrazu a navíc zde také dochází pouze ke komparaci jednotlivých obrazových bodů a nejsou prováděny složité maticové výpočty. Při kontrole obrazu o rozměrech 600 x 600 obrazových bodů s 50 označenými pozicemi, na kterých se má provádět kontrola, byl výpočetní čas 2,84 sekund.

Přes dobrou rychlost zpracování a podané výsledky je i u této metody velkým nedostatkem skutečnost, že v případě potřeby nahrazení i dílčí součástky jinou, která bude mít jinou barvu pouzdra než ta dosud používaná, bude program na dané pozici vždy vykazovat chybně

osazenou součástku. Vyplývá to z principu detekce, program zde řeší pouze podobnost jednotlivých barevných kanálů a ne existenci samotné součástky.

Pokud dojde k nutnosti nahrazení jedné nebo i více součástek, je potřeba opět DPS, která bude sloužit jako referenční, znovu vytvořit a nahradit tak stávající referenční DPS.



Obr. 29 – Výsledek detekce chybné pozice součástky

5.3 Porovnávání jednotlivých součástek – Canny algorithm

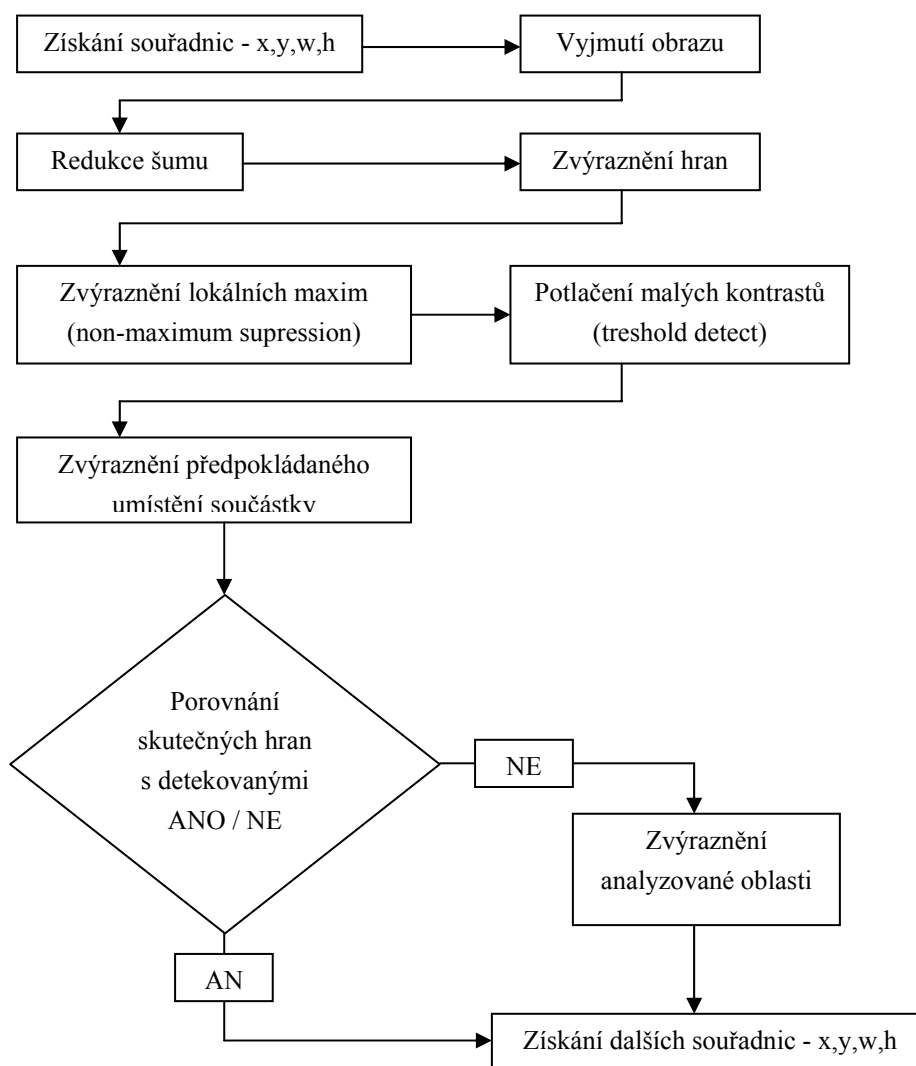
S využitím Canny algoritmu, jehož způsob provádění byl popsán v kapitolách 4.6, byl naprogramován třetí způsob kontroly špatně umístěné součástky. Opět je z počátku potřeba naprogramovat, které oblasti se budou kontrolovat. Tento způsob kontroly součástek se řadí do skupiny *algorithm based systems*.

V porovnání s předchozí metodou, která byla založena na vyhodnocení podobnosti dvou specifikovaných oblastí vzorové a analyzované DPS, zde vzorová DPS slouží pouze k zadání oblastí, které se mají kontrolovat a není více využívána. Je to z důvodu, že tento typ detekce je postaven na hledání přechodových hran – součástka – DPS – součástka. Po jejich nalezení

je analyzována hrubost hrany, na základě které se rozhoduje, zda je identifikovaný tvar součástka, šum nebo nějaký jiný prvek.

Na obrázku **Obr. 30** je vyobrazen diagram, podle kterého je detekována součástka na DPS a vyhodnocení následné shody nebo neshody se součástkou, které zde měla být osazena.

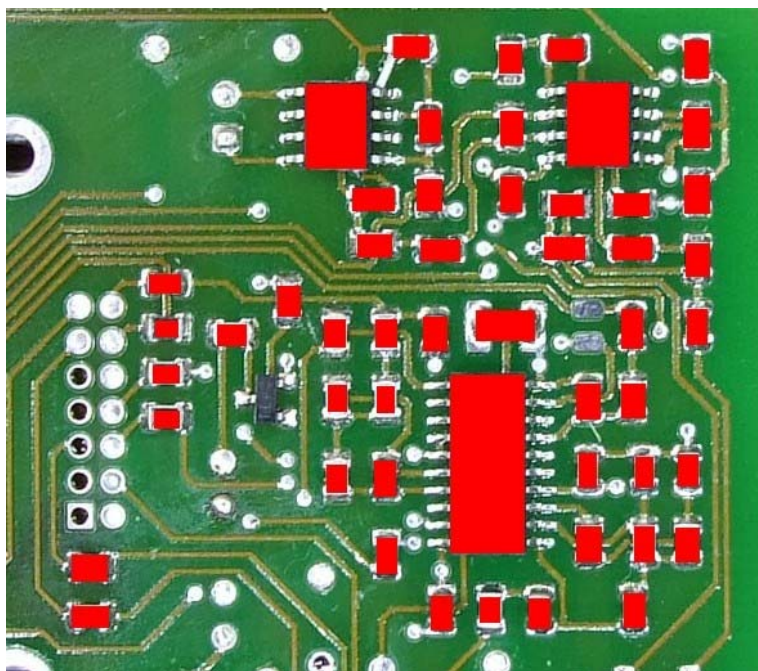
V průběhu programování je nutno dbát na precizní nastavení rohových bodů, kterými je pozice součástky na DPS identifikována, neboť je nastavena tolerance o velikosti 3 obrazové body, která slouží pro zachování identifikace součástky v případě jejího posuvu vlivem přetavení. Při vyšších hodnotách nastavené tolerance docházelo k chybné identifikaci součástek a nesprávnému chování celého algoritmu.



Obr. 30 – Postup identifikace chybné pozice s využitím Canny algoritmu

Nastavením a následné detekci chybně umístěných součástek, při které byly využity souřadnice zobrazené na obrázku **Obr. 27**, vykazoval tento algoritmus velmi špatné výsledky. Po hlubším rozboru bylo zjištěno, že je to z důvodu špatnému nasvícení. Zapájené plochy a místy i lak způsobovaly silné odrazy a lesklé plochy, které v porovnání s okolím tvořily dostatečný gradient barev, aby mohl být vyhodnocen jako hrana.

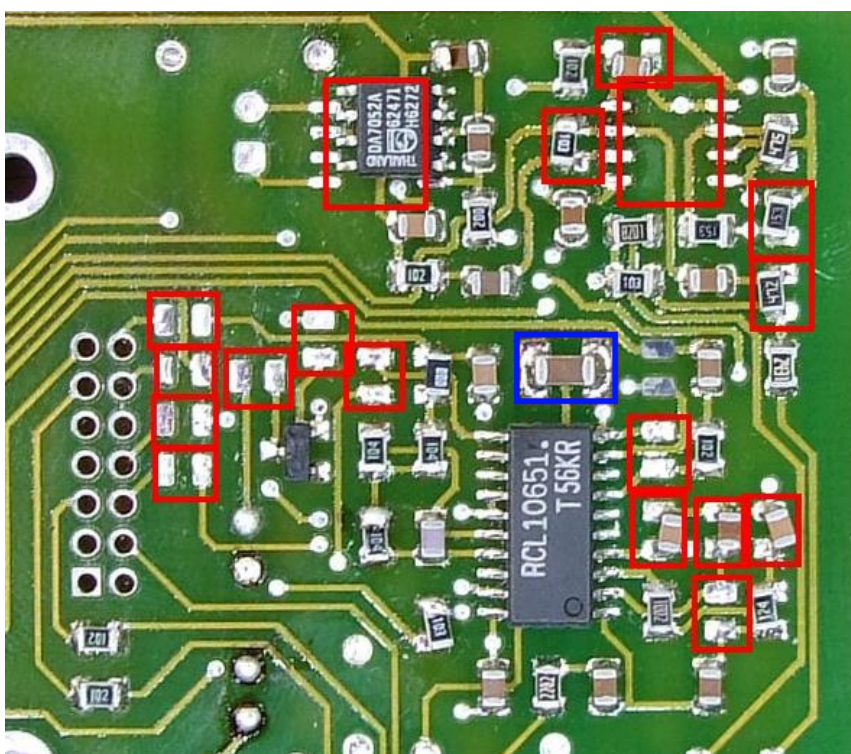
Z výše uvedeného důvodu byly vytvořeny jiné fotografie DPS s nasimulovanými defekty. Obraz byl pořízen z větší blízkosti a s menším světelným tokem od LED, aby byl alespoň částečně eliminován odraz do objektivu a tím potlačeny odlesky.



Obr. 31 – Naprogramované pozice součástek na vzorové DPS

Na obrázku **Obr. 31** jsou červeně opět zvýrazněny pozice, na kterých mají být umístěny součástky. Na kontrolované DPS byly opět posunuty, pootočený nebo odebrány součástky a byla spuštěna detekce špatně osazených nebo chybějících součástek.

Na obrázku **Obr. 30** je zobrazen jeden cyklus, při kterém je prováděna detekce součástky. Zdrojovými daty cyklu jsou souřadnice x a y , které identifikují pozici součástky od levého horního rohu. Proměnné označené w a h označují šířku a výšku dané součástky. Z důvodu potřebných tolerancí a pomocných okolních obrazových bodů potřebných při výpočtu jsou zvětšeny rozměry zpracovávaného obrazu na každé straně o 10 obrazových bodů. Celkově je tedy analyzován obraz o rozměrech $x-10$, $y-10$, $w+10$, $h+10$. Přesnější popis použitých tolerancí je popsán dále. Získáním daných souřadnic je vyjmuta část obrazu a analyzována postupem zobrazeným na obrázku **Obr. 30**. Algoritmus, který zajišťuje detekci hran je vytvořen pomocí *Sobel Operátoru*, neboť podával optimální výsledky pro další zpracování. Po analýze všech zadaných souřadnic jsou v grafickém výstupu programu červeně označeny pozice, na kterých nebyla správně identifikována součástka. Může se tak jednat o chybně osazenou nebo neosazenou součástku. Na obrázku **Obr. 32** jsou zobrazeny programem detekované chybně umístěné součástky. Součástka v modrém rámečku označuje chybnou detekci programu, kde ji program vyhodnotil jako nesprávně umístěnou. Modré označení bylo provedeno v grafickém editoru.



Obr. 32 – Výsledek detekce chybné pozice součástky použitím Canny algoritmu

Naprogramováním a sestavením jednotlivých funkcí do celku byl následně program testován a hledány optimální parametry. Jednotlivé proměnné, které ovlivňují průběh detekce, jsou popsány a vysvětleny níže společně s optimálními parametry pro úspěšný průběh detekce.

- $T_H = 50$, $T_L = 30$ (prahové úrovně pro zvýraznění nebo potlačení přechodu)
- $T_T = 3\text{px}$ (tolerance posuvu bodu při detekci hrany)
- $X_{\text{DIF}} = Y_{\text{DIF}} = 10\text{px}$ (rámeček okolo analyzovaných souřadnic)

Parametry T_H a T_L slouží k nastavení algoritmu potlačujícího šum. Tímto algoritmem dochází k eliminaci šumu a drobných barevných přechodů, které byly detekovány jako pravděpodobné hrany. Hodnota T_L symbolizuje nižší prahovou úroveň, T_H vyšší. Pokud bude mít analyzovaný bod hodnotu barevné informace vyšší než T_H a v jeho okolí definovaném maticí 3×3 obrazových bodů bude nejméně jeden obrazový bod mít hodnotu vyšší než T_L , zůstává analyzovaný bod zachován a zvýrazněn. V opačném případě je potlačen a nahrazen barevnou hodnotou 0, které odpovídá černé barvě. Úplné informace o funkci tohoto algoritmu a hodnotách T_H, T_L jsou popsány v kapitole **4.6.4**.

V případě nastavení T_H a T_L na nízké hodnoty budou v obrazu zachována a zvýrazněna i šumová data, která by byla následně zvýrazněna a při detekci součástky by program vyhodnotil existenci součástky i v případě, že by na DPS nebyla součástka fyzicky umístěna. V opačném případě, pokud jsou hodnoty T_H a T_L nastaveny na příliš vysokou hodnotu, nedochází k zvýraznění hran, u kterých je malý gradient barevné informace a následně není součástka programem detekována.

Vlivem možných fyzických posuvů součástky při přetavení je parametrem T_T určena odchylka, která označuje dovozené posunutí součástky o T_T obrazových bodů. Tato hodnota je společná pro posuv součástky na ose x i na ose y , případně jejich kombinací způsobených částečnou rotací. Parametrem T_T je i částečně kompenzováno chybné naprogramování, kde daná tolerance zohledňuje možnost výskytu hran součástky na posunutých souřadnicích proti programově zadaným.

Parametry X_{DIF} a Y_{DIF} specifikují, o kolik obrazových bodů se bude zvětšovat analyzovaný obraz v porovnání s programově zadanými souřadnicemi. Vlivem aplikace šumového algoritmu dochází ke ztrátě 2 obrazových bodů, zvýrazněním hran je obraz zmenšen o 1 obrazový bod a prahovou detekcí také o 1 obrazový bod na každé straně. Nastavením tolerance pro detekci součástky je potřeba rozšířit obraz o hodnotu T_T na každé straně obrazu,

což je v případě uvažování parametru $T_T = 3$ celkově 7 obrazových bodů. Celková velikost rámečku byla zvýšena na 10 obrazových bodů z důvodu snadnějšího volání druhé funkce založené na komparaci obrazů. Vstupní hodnoty volaných funkcí jsou stejné a výstupy funkcí jsou pouze *true* / *false*. Při testování výsledků tedy stačí pouze přepsat název volané funkce a jednoduše tak volat k detekci první nebo druhý detekční algoritmus.

Doba zpracování je v porovnání s ostatními nejdelší, zpracování obrazu o rozlišení 600 x 600 obrazových bodů při 50 kontrolovaných součástkách potřebuje 29,8 sekund. Při srovnání náročnosti výpočtů u předchozích metod a u této je to celkem odpovídající hodnota. Při testování na výkonnějším počítači a vhodnou optimalizací programu bude reálná hodnota provádění programu mnohem nižší než zde naměřená.

Reálným rozšířením této metody je detekce kvality přetavené pájky a tím kvality zapájení součástky. Princip této detekce vychází z odrazu od pájeného spoje. Podle typu odrazu a délky přechodu lze zjistit kvalitu pájení a provést optimalizaci procesu – zmenšit nebo zvětšit dávkování pájecí pasty. Obrazy znázorňující kvalitu přetavení jsou v příloze - **Obr. 33**, **Obr. 34** a **Obr. 35**.

6. Závěr

Tato práce se zabývá přehledem technických možností a následnou realizací detekční metody, jejímž výstupem je označení součástky, která byla špatně osazena nebo nebyla osazena vůbec.

Problematika AOI je velmi rozsáhlá, v této práci jsou zachyceny stěžejní principy, se kterými pracuje nebo pracovala velká část průmyslových automatů kontrolujících kvalitu zapájených plošných spojů. Principy detekce součástek, pro které jsou automaty projektovány, nejsou zaměřeny pouze na softwarovou část, ale závisí na řadě jiných vlivů a pomocných mechanismů detekce, bez kterých by byla následná detekce součástek mnohem obtížnější. Mezi nejdůležitější patří správné nasvícení, které by mělo být vícebodové s vhodným barevným spektrem a světelnou intenzitou.

V návrhu detekční metody jsou použity celkem tři různé metody, které jsou využívány při kontrolování DPS a identifikaci špatně osazených nebo neosazených součástek. První z nich využívá prostého srovnání obrazů, která využívá jednoduchý odečet jednotlivých barevných bodů a vytvoří se nový obraz z dílčích rozdílů.

Druhá detekční metoda principiálně vychází z první uvedené s tím rozdílem, že program kontroluje pouze nadefinované souřadnice, na kterých se nacházejí součástky. Nedochází tak k analýze nepotřebných oblastí, ale porovnávají se pouze oblasti, kde jsou fyzicky umístěny kontrolované prvky. Na základě analýzy jednotlivých barevných kanálů a vypočtení jejich odchylky od referenční DPS dojde k vyhodnocení, zda je součástka umístěna správně nebo chybně.

Třetí zpracovanou metodou je metoda založená na digitálním zpracování a rozkladu obrazu na základě Canny algoritmu, kterým je provedena eliminace šumu, hranová detekce a vykreslení výsledné součástky. Od předchozích metod je odlišná tím, že hledá samotnou součástku a neporovnává pouze jednotlivé barevné kanály.

Porovnáním všech tří detekčních metod lze vyvodit, že pro méně náročnou detekci součástek lze velmi dobře aplikovat komparační metodu s nadefinovanými souřadnicemi součástek, neboť díky jednoduchému algoritmu má velmi malé hardwarové nároky a jednoduchost programování v případě, že nejsou k dispozici přesné souřadnice o umístění jednotlivých součástek. Závažný problém nastává, pokud dojde v průběhu osazování k výměně jakékoli součástky za jinou, která bude mít jinou barvu pouzdra. V tom případě je nutno vytvořit

referenční DPS, se kterou budou porovnávány DPS, na nichž je osazena jinak barevná součástka.

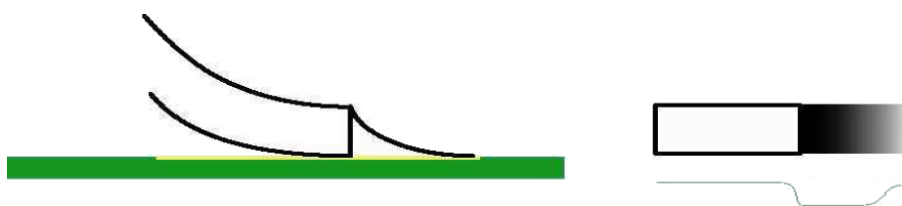
Nejvýhodnější pro kontrolu osazených součástek je algoritmická metoda, jejíž funkce je založena na detekčních algoritmech. Jedinou podmínkou pro správnou funkci a detekci součástky je dobře viditelný přechod mezi součástkou a DPS. Velikou předností této metody je barevná nezávislost na použitých součástkách a skutečnost, že je zkoumána fyzická existence součástky. Navíc z principu je patrné, že není potřeba se omezovat pouze na součástky, ale je možné detekovat i přítomnost pájecí pasty nebo lepidla, na pomoci kterého bude fixována daná součástka. Nevýhodou je počet prováděných kroků, a je tak požadován mnohem vyšší výpočetní výkon. Vhodnou optimalizací, volbou programového zpracování a výkonnějšího hardware je však možno i s touto metodou detekovat jednotlivé součástky s rychlostmi, které odpovídají komparačním metodám.

7. Použitá literatura

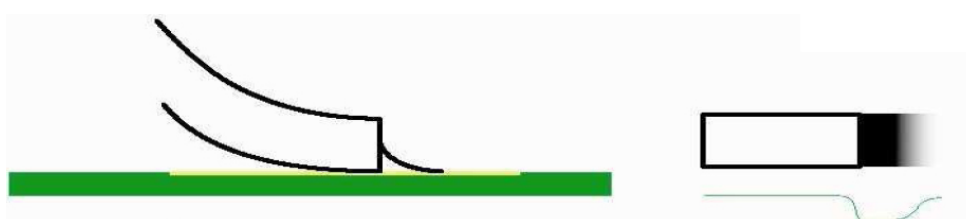
- [1] Zpracování obrazu a algoritmy v C#, *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*, BEN, 144 stran
- [2] Yingjie Zhang, Liling Ge, *Efficient Image Fusion Algorithm for Multi-Focus Images Using Energy Estimation*, School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, dostupný z WWW: <http://www.dcc.ufla.br/infocomp/artigos/v6.1/art01.pdf>
- [3] *Canny edge detektor*, dostupný z www: http://en.wikipedia.org/wiki/Canny_edge_detector
- [4] *Automated optical inspection*, dostupný z www: http://en.wikipedia.org/wiki/Sobel_operator
- [5] Kolektiv Autorů, *PHP Programujeme profesionálně*, Computer Press, 676 stran
- [6] Mark J. Norris, *Advances in Automatic optical inspection: Grayscale colleration vs. Vector imaging*, dostupné z www: http://www.emsnow.com/cnt/files/White%20Papers/The_Zero_Defect_SMD_Assembly_Line.pdf
- [7] Tarnawski, W, *Colour image segmentation algorithm in vectoral approach for automated optical inspection in electronics*, Technical University of Wroclaw, dostupné z www: [http://www.wat.edu.pl/review/optor/11\(3\)197.pdf](http://www.wat.edu.pl/review/optor/11(3)197.pdf)
- [8] Altera Corp., *Edge detection reference design*, dostupný z www: <http://www.altera.com/literature/an/an364.pdf>
- [9] Bob Fisher, Simon Perkins, Ashley Walker, Wolfart, *Sobel Edge Detector*, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, dostupné z www: <http://www.cse.secs.oakland.edu/hanna/cse571W2005/ImageProcessing/sobel.pdf>
- [10] Bob Fisher, Simon Perkins, Ashley Walker, Wolfart, *Canny Edge Detector*, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, dostupné z www: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/canny.htm>
- [11] Brian S. Morse, *Edge Detection*, Brigham Young University, dostupné z www: http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MORSE/edges2.pdf
- [12] Mark J. Norris, *Advances in automatic optical inspection*, Vision Inspection Technology, dostupné z www: http://www.emsnow.com/cnt/files/White%20Papers/The_Zero_Defect_SMD_Assembly_Line.pdf

- [13] Bill Green, *Canny Edge Detection Tutorial*, dostupné z www:
http://www.pages.drexel.edu/~weg22/can_tut.html
- [14] *Image processing and GD*, dostupné z www:
<http://cz.php.net/manual/en/book.image.php>
- [15] *Image types: Jpeg & TIFF files*, dostupné z www:
<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/imagetypes.htm>

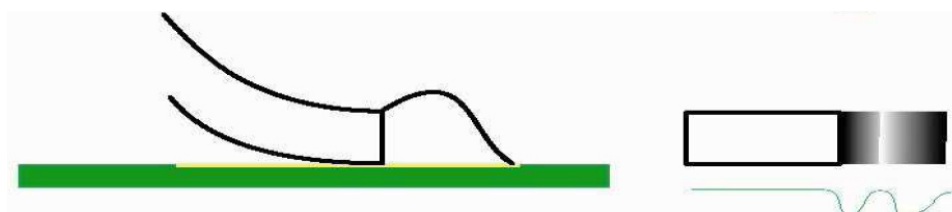
8. Přílohy



Obr. 33 – přechod černá-bílá při ideálně zapájené součástce



Obr. 34 – přechod černá – bílá při malém množství pájky



Obr. 35 - přechod černá – bílá při velkém množství pájky



Obr. 36 – Digitální fotoaparát s nasvěcovací hlavicí