

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Využití pájení v parách pro testování pájitelnosti**

**vedoucí práce: Ing. Tomáš Novák**

**2012**

**autor: Filip Aul**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2011/2012

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Filip AUL**  
Osobní číslo: **E09B0399P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Název tématu: **Využití pájení v parách pro testování pájitelnosti**  
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou testování pájitelnosti a pájení v parách.
2. Popište používané metody pro vyhodnocování obrazu.
3. Navrhněte a proveďte testování pájitelnosti pomocí pájení v parách.
4. Zpracujte a vyhodnoťte naměřené výsledky.


Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. Mach, P.; Skočil, V.; Urbánek, J.: MONTÁŽ V ELEKTRONICE
2. Abel, A.; Cimburek, V.: BEZOLOVNATÉ PÁJENÍ V LEGISLATIVĚ I PRAXI
3. elektronické informační zdroje

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Novák**  
Katedra technologií a měření  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Tomáš Novák**  
Katedra technologií a měření  
Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Na začátku práce popisuje problematiku pájení, testování pájitelnosti a nejčastěji používané testy. Dále poskytuje bližší pohled na pájení přetavením, konkrétně pak na metodu pájení v parách. Práce též obsahuje přehled nejpoužívanějších softwarů na vyhodnocení obrazu, konkrétně pak softwarů ImageJ, NIS Elements a Eidos microscope. V závěru je popsán experiment, který porovnává účinek nejčastěji používaných druhů tavidel na různých povrchových úpravách, jeho realizace a porovnání a zhodnocení výsledků dosažených tímto experimentem.

## **Klíčová slova**

Pájitelnost, testování pájitelnosti, software na vyhodnocení obrazu, roztékavost

## **Abstract**

At the beginning the thesis describes the problems of soldering, solderability testing and the most frequently used tests. It also provides a closer look at the solder reflow, namely the method of soldering in the vapor. The thesis also provides an overview of the most widely used software for image evaluation, namely software ImageJ, NIS Elements and Eidos microscope. At the end is described the experiment, which compares the effect of commonly used types of fluxes in different surface treatments, its implementation and evaluation and comparison of results obtained in this experiment.

## **Key words**

Solderability, solderability testing, software for image evaluation, melts

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce je legální.

V Plzni dne 8.6.2012

Jméno příjmení

.....

## Obsah

Seznam symbolů .....	8
Seznam zkratk .....	8
Úvod .....	9
1 Teorie měkkého pájení.....	10
1.1 Techniky pájení .....	11
1.2 Pájitelnost .....	11
1.3 Smáčivost .....	12
1.3.1 Nesmáčivý povrch .....	12
1.3.2 Odsmásčivý povrch .....	12
1.3.3 Smáčivý povrch .....	12
1.3.4 Částečně smáčivý povrch .....	12
1.4 Faktory ovlivňující pájitelnost .....	13
1.4.1 Pájecí tavidla .....	13
1.4.2 Povrchová úprava.....	13
1.4.3 Oxidace.....	14
1.4.4 Znečištění .....	14
1.4.5 Porézní povrch materiálu.....	14
1.4.6 Nesprávné spojovací metalurgie.....	14
2 Testování pájitelnosti .....	15
2.1 Ponořovací test .....	15
2.2 Kuličkový test .....	15
2.3 Metoda smáčecích vah .....	16
2.4 Test roztékavosti .....	16

---

3 Pájení přetavením .....	17
3.1 Pájecí pasty.....	17
3.2 Tavidla v pájecích pastách.....	17
3.3 Nanášení pájecí pasty.....	18
3.3.1 Nanášení pasty dispenzerem .....	18
3.3.2 Tisk přes síto.....	18
3.3.3 Tisk přes šablonu.....	18
3.4 Pájení v parách .....	18
4 Metody na vyhodnocování obrazu .....	20
4.1 ImageJ .....	20
4.2 NIS Elements .....	21
4.2.1 Advanced Research (AR) .....	22
4.2.2 Basic Research (Br).....	22
4.2.3 Documentation (D).....	22
4.3 Eidos microscope .....	22
5 Návrh experimentu .....	23
5.1 Realizace experimentu:.....	24
5.2 Naměřená data .....	24
5.3 Vyhodnocení experimentu.....	25
6 Závěr.....	27
7 Použitá literatura.....	29
Seznam obrázků .....	30
Seznam tabulek.....	30
Seznam grafů.....	30



## Seznam symbolů

$\theta$  [°]                      Stykový úhel

## Seznam zkratek

Apod.                      a podobně

AR                          Advanced Research (Pokročilý výzkum)

BR                          Basic Research (Základní výzkum)

D                            Documentation (Dokumentace)

UV                          Ultra-fialové

NIS                          Nikon imaging software

Mac OS                    Macintosh Operating System

JPEG                        Joint Photographic Experts Group

TIFF                        Tag Image File Format

GIF                         Graphics Interchange Format

BMP                        Bitmap

DICOM                     Digital Imaging and Communications in Medicine

FITS                        Flexible Image Transport System

R                            Rosin

A2                          Actiec 2

A5                          Actiec 5

ENIG                        Electroless nickel immersion gold

OSP                        Organic solderability preservative

## Úvod

Proces pájení má významný podíl na proceduře výroby elektronických systémů a zařízení, a proto jsou na něj kladeny vysoké požadavky. Cílem pájení je dokonale vodivý a zároveň mechanicky, chemicky a teplotně odolný spoj. Daným požadavkům se lze v praxi přiblížit pouze částečně, a tak výrobci hledají nové materiály a pájecí postupy, které by tuto situaci co nejlépe vyřešily. Právě z tohoto důvodu hraje testování pájitelnosti v pájecích procesech tak významnou roli. Tvorba a vlastnosti spoje závisí na mnoha faktorech (jako například dostatečné očištění nečistot a oxidů z povrchu pájeného místa), cílem testování pájitelnosti je ověřit, zda podmínky pro vznik spoje byly vyhovující (bylo použito dostatečně agresivní tavidlo, podařilo se zabránit tvorbě oxidů na povrchu spoje apod.) a spoj splňuje žádané vlastnosti. Jelikož různé aplikace mají rozdílné nároky, vyvinulo se množství pájecích procesů a s tím souvisejících postupů testování pájitelnosti.

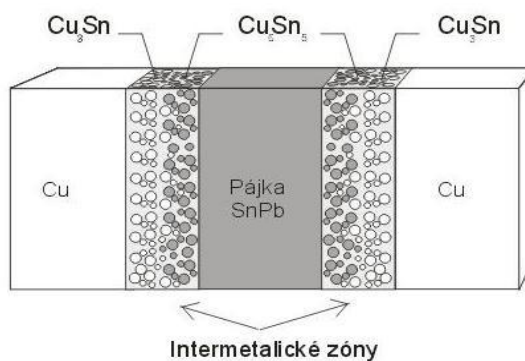
Obsahem této práce je uvedení do základní problematiky pájení, vysvětlení pojmů jako pájitelnost, dokonalé a nedokonalé smáčení, dále popis několika základních a nejpoužívanějších testů pájitelnosti, popis pájení přetavením, konkrétně pak popis metody pájení v parách, která do pájení přetavením patří a která bude podstatná pro tuto práci, neboť pomocí ní byl realizován navržený experiment.

Práce dále obsahuje přehled a popis používaných softwarů na vyhodnocení obrazu, konkrétně softwarů ImageJ, NIS Elements a Eidos microscope, které je možné použít na vyhodnocení testů pájitelnosti, založených na vizuálním posouzení výsledků testu.

V závěru práce popisuje navržený test pájitelnosti, průběh testu a zhodnocuje výsledky testu na základě plochy roztečené pájky na povrchu měřených vzorků, jejichž hodnotu jsme získali pomocí fotografií z mikroskopu v programu ImageJ.

## 1 Teorie měkkého pájení

„Pájení je metalurgický způsob spojování materiálů, u kterého se na rozdíl od svařování netaví spojované díly a nevzniká z nich nová slitina. Taví se a opět tuhne jen přídavný kovový materiál- pájecí slitina. Její tavicí teplota je vždy nižší než teploty tavení spojovaných částí.“ ([2], s 185) Při procesu pájení „se povrchové atomy základního materiálu dostanou do styku s atomy roztavené pájky v takové vzdálenosti, že se vytvoří podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil (adheze = přilnavost, koheze = soudržnost). Současně dochází k rozpouštění a difúzi některých prvků spojovaných materiálů. Vzniká tak mezifázové rozhraní mezi pevnými tekutým kovem. Ve většině případů vznikají přechodové oblasti o určité tloušťce, které mají jiné mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti.“ ([1], s 22,23) Příkladem těchto sloučenin je  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  a  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . Pro tyto sloučeniny je typická vysoká křehkost a mnohdy i vyšší teplota tání, než je teplota tání samotné pájky. Další významnou vlastností může být například nesmáčivost, která se vyskytuje zejména v případě sloučeniny  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ . Intermetalické vrstvy mohou též zvyšovat elektrický odpor spoje a narůstat s časem (zvyšovat svoji tloušťku), a to zejména za působení vyšších teplot. Vytvoření pájeného spoje znázorňuje obrázek 1. [1],[2],[9]

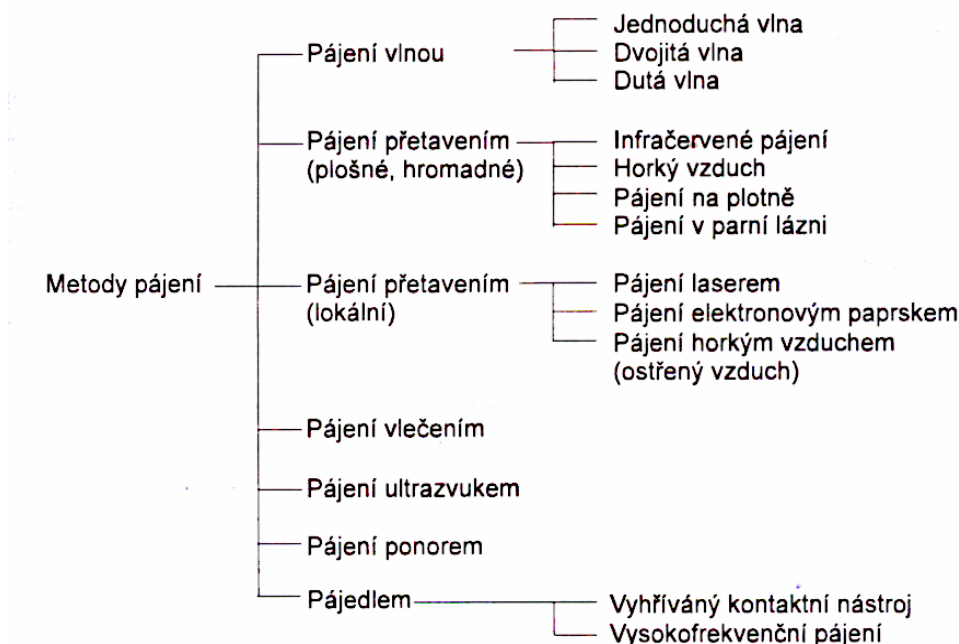


Obr. 1 Pájený spoj [6]

Zpravidla rozlišujeme dva základní druhy pájení, a to měkké pájení a pájení tvrdé. Měkké pájení je charakterizováno teplotami tavení pájecí slitiny do  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  (někdy se uvádí i teploty až do  $500^{\circ}\text{C}$ ), tvrdé pak teplotami vyššími. Pro montáž v elektronice je využíváno měkkého pájení. Vzhledem k tomu není tvrdé pájení pro tuto práci podstatné a nebudeme se jím dále zabírat. [1],[2]

## 1.1 Techniky pájení

V průběhu let se díky rozmanitým požadavkům na pájecí procesy a také díky stále novějším technologiím vyvinul značný počet pájecích technik. Přehled těchto technik ilustruje obrázek 2. [1]



Obr. 2 Přehled pájecích metod [11]

Při bližším zkoumání zjistíme, že jednotlivé metody se odlišují způsobem přivádění pájky do místa spoje a způsobem dodání tepla. Pájení vlnou, vlečením a namáčením využívá přímého přívodu tekuté pájky z pájecí lázně na spoj. Při dalších metodách zas dodáváme pájku na spoj před pájením, ta se následně za dodání tepla roztaví a vznikne pájený spoj.[1]

V praxi se dnes převážně používají tři z těchto metod, jelikož pokrývají většinu požadavků elektrotechnického průmyslu. Jedná se o pájení pájedlem, pájení vlnou a pájení přetavením. [1]

## 1.2 Pájitelnost

V praxi je ve většině případů nedostačující pouze zahřát pájené komponenty a dodat pájku, ale je potřeba tyto komponenty připravit, aby měly dostatečnou pájitelnost. „*Termín pájitelnost povrchu je použit jako popis schopnosti povrchu být smáčitelný pájkou během*

*procesu pájení.*“ ([1], s 23) Materiál ovšem může vykazovat při různých procesech různé stupně pájitelnosti a rovněž se jeho pájitelnost mění podle typu skladování daného materiálu. [1]

### **1.3 Smáčivost**

Z výše uvedeného textu je zřejmé, že smáčivost úzce souvisí s pájitelností a je tedy významná pro tuto práci. Smáčivost povrchu lze rozdělit do několika kategorií: [1]

#### **1.3.1 Nesmáčivý povrch**

Nedochází k vytvoření metalurgické vazby, neboť tavidlo nedokázalo odstranit povrchové znečištění. Příčinou je příliš silná vrstva oxidů na povrchu nebo nedostatečně aktivní tavidlo. [1]

#### **1.3.2 Odsmáčivý povrch**

*„Mezikovové vrstvy, které rostou na rozhraní, jsou bohaté na cínové směsi, které vytahují cín z cíno-olověné pájky. Jak je cín odtavován z pájky, opouští oblasti bohaté na olovo s relativně malou pájitelností. Když teplota klesá dost dlouho, pak velikost těchto oblastí bude dostatečná k tomu, že pájka ustoupí z již dříve smáčených oblastí.“* ([1], s 23)

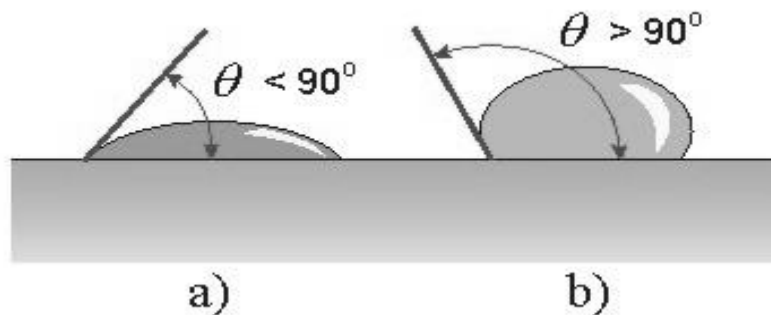
#### **1.3.3 Smáčivý povrch**

Povrchová energie čistého kovového povrchu je vyšší než povrchová energie roztavené pájky. Pájka smáčí povrch a dochází ke vzniku metalurgické vazby na rozhraní. Postupem smáčení roste tenká mezikovová vrstva na rozhraní a vytváří základ pro spolehlivý spoj. [1]

#### **1.3.4 Částečně smáčivý povrch**

Pájka nepokrývá povrch dokonale, vyskytují se místa se smáčivým i nesmáčivým povrchem.

Stupeň smáčení lze vyzorovat též vizuálně, a to podle stykového úhlu  $\theta$ , který svírá povrch materiálu se stěnou kapky pájky, přičemž platí, že čím je stykový úhel menší, tím je smáčivost dokonalejší. Stykový úhel ilustruje obrázek 3, kdy v případě a) je povrch smáčivý a v případě b) je povrch nesmáčivý. Pomocí stykového úhlu pak můžeme i vyhodnocovat kvalitu smáčení. [2],[13]



Obr. 3 Znárodnění stykového úhlu [3]

- $0^\circ < \theta < 20^\circ$  - výborné až dokonalé smáčení
- $20^\circ < \theta < 40^\circ$  - dobré až velmi dobré smáčení
- $40^\circ < \theta < 55^\circ$  - postačující smáčení
- $55^\circ < \theta < 90^\circ$  - špatné smáčení
- $90^\circ < \theta$  - nesmáčivost

## 1.4 Faktory ovlivňující pájitelnost

### 1.4.1 Pájecí tavidla

Tavidlo se při pájení používá k odstranění oxidů a jiných nečistot z povrchu materiálu, čímž podporuje smáčení povrchu. Požadavky na tavidla jsou takové, aby byla co nejvíce aktivní za pájecích teplot a v ideálním případě neaktivní za běžných teplot, aby tak odpadla nutnost jejich odstranění po procesu pájení. V praxi ovšem nenalezneme ideální tavidlo, a tak musíme zvolit kompromis mezi mírou aktivity tavidla za pájecích teplot a neaktivity při teplotách provozních. [1]

### 1.4.2 Povrchová úprava

Cílem povrchové úpravy je udržet odpovídající pájitelnost při skladování součástí a plošných spojů. Dříve se k těmto účelům používala cíno-olověná úprava, aplikovaná elektrolytickým pokovováním nebo máčením vývodů v lázni roztavené pájky. Dnes je k dispozici široká škála druhů úprav, jako například galvanicky nanesený nikl imerzně pokrytý zlatem, měď ošetřená organickou vrstvou apod. [1]

### **1.4.3 Oxidace**

Jak už bylo zmíněno, hlavní příčinou problémů pájitelnosti je tvorba oxidů na povrchu pájeného materiálu. Při silné vrstvě oxidů na povrchu nemusí být tavítko dostatečně aktivní na jejich odstranění. Další problém může nastat, pokud základní kov před pokovením nebyl řádně připraven. Samotný povrch nebude sice pájitelný, ale mohou se na něm vyskytovat pájitelné vrcholky, které budou elektrochemicky pokoveny. Tato součástka se pak bude vizuálně jevit jako přijatelná, avšak při následném pájení dojde k odsmaččení úpravy a výsledkem bude nesmaččený spoj. [1]

### **1.4.4 Znečištění**

Během elektrochemického pokovení se mohou na materiálu usadit různé nečistoty ve formě kovových či organických zbytků. Rovněž při skladování nebo manipulaci s materiálem může dojít k usazení dalších nečistot. Tato znečištění značně snižují pájitelnost materiálu. [1]

### **1.4.5 Porézní povrch materiálu**

Pórovitost materiálu umožňuje tvorbu oxidů na spodní vrstvě povrchu a může tak dojít k nesmaččení na rozhraní mezi vrstvami. [1]

### **1.4.6 Nesprávné spojovací metalurgie**

Při spojování kontaktů s nechráněnými povrchy drahých kovů (zlata a stříbra) může docházet k rozpouštění kovu kontaktů do pájky, což rapidně snižuje pevnost spoje, i když se vizuálně může jevit v pořádku. [1]

## 2 Testování pájitelnosti

Při montáži elektronických zařízení je pájitelnost jedna z hlavních vlastností materiálu. Testem určujeme, do jaké míry je povrch pájitelný, jak bude smáčen pájkou, a u strojního pájení i čas, za který se pájka dostatečně rozteče. [1]

Testování pájitelnosti můžeme rozdělit do dvou základních skupin. V první skupině jsou to takzvané kvalitativní testy, které jsou založeny na vizuálních kritériích. Hlavní nevýhoda těchto testů je subjektivní posouzení a interpretace výsledků. V druhé skupině jsou pak testy kvantitativní, které jsou založeny na měření skutečných smáčecích charakteristik. Pro testování pájitelnosti existuje mnoho testů. Všechny jsou definovány v příslušných normách. V této práci se seznámíme s několika nejpoužívanějšími. [1]

Jelikož se testování pájitelnosti zabývá relativně detailními problémy pájitelnosti, doporučuje se používat nízce aktivních tavidel (jmenovitě například neaktivované pryskyřičné tavidlo typu R). Vysoce aktivní tavidla by mohla znatelně ovlivnit citlivost testu a maskovat problémy s nízkou úrovní pájitelnosti. [1],[13]

### 2.1 Ponořovací test

Jeden z nejsnazších způsobů, jak testovat pájitelnost kontaktů součástek, je jejich ponoření do lázně s roztavenou pájkou, následné vytažení a vizuální posouzení stupně pájitelnosti. K tomuto testu je potřeba zkušený pracovník, který dokáže posoudit procentuální plochu smáčení, stupeň odsmáčení a rozsah znečištění. Nevýhodou takového testu je subjektivnost posouzených výsledků, naopak výhodou je jednoduchost a rychlost testu. Tento test se řadí do skupiny kvalitativních testů. [1]

### 2.2 Kuličkový test

Při tomto testu zahřejeme kapičku pájky, umístěnou na nesmáčivém povrchu, na bod tavení. Testovaný vzorek (vývod nebo kontakt součástky) ponoříme do této kapičky. Vývod se ponořuje do kapičky, a ta se rozděluje na dvě poloviny. Vlivem smáčení se však opět spojí. Kritérium pro vyhodnocení testu je čas, za který kulička smočí testovaný vzorek a opět nabude původního tvaru. Ten se měří buď vizuálně, nebo automaticky. Test je vhodný pro součástky s rozšířenými vývody. Celý proces ilustruje obrázek 4. [1]





Obr. 4 Ilustrace kuličkového testu [4]

### 2.3 Metoda smáčecích vah

Tato metoda patří do skupiny kvantitativních testů. Jedná se o velmi přesnou metodu, vhodnou pro měření a analýzu základních vlastností kontaktů součástek a desek plošných spojů. Tento test probíhá tak, že vzorek umístíme do citlivého siloměru, jenž se nachází nad středem nádoby s roztavenou pájkou. Nádoba je poté zvedána vzhůru směrem k měřenému vzorku a vzorek je ponořován do lázně s roztavenou pájkou. Rychlost ponoru přitom nesmí být příliš vysoká ani příliš nízká, neboť by mohlo docházet ke vzniku rázových vln, které by negativně ovlivnily výsledky měření. Zvedání nádoby je proto realizováno krokovým motorem, u něhož můžeme nastavit přesnou rychlost zdvihu. Poté nádoba opět klesá dolů a vzorek opouští lázeň s roztavenou pájkou. Během celého měření se pak zaznamenává čas a síly působící na vzorek. Musí se ovšem zajistit, aby měla lázeň dostatečnou tepelnou kapacitu, aby ponor vzorku nezapříčinil kolísání teplot v lázni. Celý proces probíhá automaticky a zařízení, pomocí kterého se tento test realizuje, se označuje jako meniskograf. Pořízení tohoto přístroje je poměrně cenově náročné, mnozí výrobci si jej nemohou dovolit, a proto se s touto metodou setkáváme spíše ve vývojových centrech větších podniků. [1],[13]

### 2.4 Test roztékavosti

Při tomto testu zjišťujeme aktivitu tavidla, popřípadě roztékavost pájecí slitiny. Test probíhá tak, že na povrch materiálu ošetřeného patřičným tavidlem umístíme přesně definované množství pájky. Pájka je posléze natavena. Při vyhodnocení pak posuzujeme plochu, do které se pájka roztekla, případně výšku pájky po roztečení. Z výšky pájky pak můžeme určit takzvaný faktor roztékavosti, který je definován jako podíl výšky po roztečení pájky a výšky při ideálním nesmáčení. V případě nedostatečně aktivního tavidla a neodstranění oxidů z daného povrchu materiálu pájka vytvoří kulovou plochu. S aktivitou tavidla pak roste i míra odstranění oxidů a výška pájky klesá. [1]

### 3 Pájení přetavením

Pájení přetavením se významně podílí na výrobních procesech v elektronice. Na rozdíl od pájení vlnou či ručním pájením, kde se nanáší na místo spoje již roztavený pájecí materiál, je princip pájení přetavením následující - na místo spoje nanášíme pájecí materiál a teprve až po jeho umístění dojde za působení tepelné energie k jeho přetavení. Výhodou tohoto pájení je možnost pracovat s velmi malými roztečemi (až 0,3 mm), navíc není nutné nijak speciálně chránit součástky před vniknutím tavidla. Nevýhodou je však několikanásobně vyšší cena pájecí pasty oproti cenám pájky v tyčích. [1]

Pro kvalitu pájení přetavením je důležité vhodně zvolit metodu, teplotní profil a hlavně pájecí pastu. Právě její vlastnosti totiž velmi znatelně ovlivňují kvalitu a bezproblémovost pájení. [1]

#### 3.1 Pájecí pasty

Pájecí pasty jsou obvykle směsi tvořené kovovými pájecími zrny a organickými tavidly v přibližném zastoupení 90% kovová zrna a 10% tavidla. Vzhledem ke stálému zmenšování součástek a zjemňování rastrů musí být i zrna velice jemná, s malým rozptylem velikosti, a proto se při výrobě zrna rozprašují a odstředují v ochranném plynu. Odstředěním docílíme nejjemnější velikosti zrn, kontroly stupně oxidace na povrchu pasty a nízké oxidace na povrchu zrn. [1]

#### 3.2 Tavidla v pájecích pastách

Funkcí tavidla je stejně jako u jiných typů pájení odstranění oxidů při procesu pájení. Tavidlo chemicky odstraňuje oxidy ze substrátu a z přívodů součástek, aby mohlo dojít k vytvoření intermetalické vazby. Tavidlo tedy do značné míry ovlivňuje pájitelnost. Také skladovací doba, spolehlivost a další vlastnosti závisí na typu použitého tavidla. [1]

Tavidlo bývá složeno z těchto čtyř složek - aktivátor, pryskyřice, tixotropní materiály a rozpouštědlo. Aktivátor určuje typ pájecí pasty, pryskyřice určuje konzistenci pasty a brání vysrážení pájecích kuliček, tixotropní materiály ovlivňují tlakově závislou viskozitu pasty a rozpouštědlo ovlivňuje proces tisku, stabilitu nanášení pasty a určuje viskozitu pasty. Tavidlo také ulehčuje smáčení tím, že přechodně snižuje povrchové napětí tekuté pájky. [1]

### 3.3 Nanášení pájecí pasty

Nanášení pájecí pasty se z pravidla provádí třemi způsoby, a to: disperzerem, sítotiskem a tiskem přes šablonu. [1]

#### 3.3.1 Nanášení pasty disperzerem

Výhodou je možnost nanesení pasty pouze do míst, kde je pasta zapotřebí. Aplikace pasty je rychlá a levná, průměrem jehly volíme množství nanášené pasty. Nanášení pasty disperzerem je vhodné pro menší aplikace a opravy. Strojní dávkování nalézá většinou uplatnění tam, kde se vyrábí velké množství typů desek a není ekonomické vyrábět relativně drahé šablony. [1]

#### 3.3.2 Tisk přes síto

Síta jsou vyráběna povětšinou z polyesterových, nylonových, popřípadě z kovových vláken, opatřených fotocitlivým materiálem. Oka síta by měla být 2,5 až 4 krát větší než největší částice pájky, což obvykle bývá kolem 200  $\mu\text{m}$ . Místa na sítu, přes která má být pasta nanesena, jsou ozářena UV světlem. Neozářená vrstva je vytvrzena, zatímco ozářená místa jsou chemicky odstraněna. Síto je dále napnuto na pohyblivý rám a umístěno ve vzdálenosti 0,8 až 1,0 mm nad desku plošného spoje. Pohybem těrky přes síto se pak protlačuje pájecí pasta skrz síto na určená místa. [1]

#### 3.3.3 Tisk přes šablonu

Šablona se obvykle vyrábí z nerezové oceli, měděného bronzu, mosazi nebo niklové mosazi. Princip je velmi podobný tisku přes síto. Šablona s vyhotoveným motivem je připevněna k rámu, pohybem těrky přes šablonu nanášíme pastu. Výhodou tisku přes šablonu oproti tisku přes síto je vyšší životnost šablony. [1]

### 3.4 Pájení v parách

Jedná se o metodu vytvořenou firmou Bell Laboratories na počátku 70. let 20. století. Princip je následující - kapalinu zahřejeme na bod varu, ta se následně odpaří. Desku plošných spojů se součástkami ponoříme do zóny odpařování. Poté dochází ke kondenzaci páry na chladných plochách desky a vývodech součástek při teplotách vyšších, než je teplota tavení pájky. Dochází k přenosu latentního tepla, ohřevu desky a součástek na teplotu pájení a tvorbě pájeného spoje. Jako kapaliny pro proces pájení v parách se využívají fluorouhlíky s bodem varu 215 nebo 250  $^{\circ}\text{C}$ . Bod varu je zároveň i pájecí teplotou. Ta je během celého procesu

konstantní a rovnoměrně rozložena. Nepřítomnost kyslíku v páře zabraňuje tvorbě oxidů na pájených místech.[1]

## 4 Metody na vyhodnocování obrazu

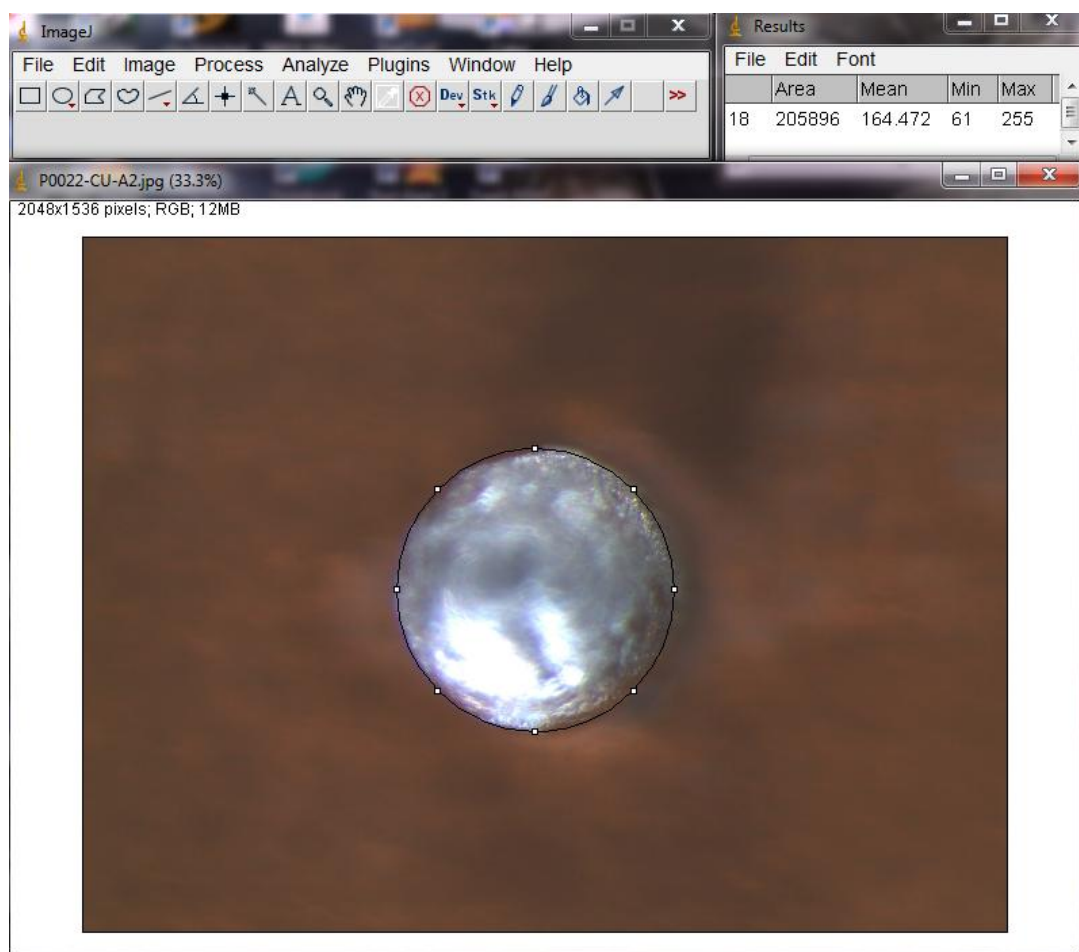
Při testech pájitelnosti založených na vizuálním posouzení je potřeba výsledky testu objektivně interpretovat tak, aby mohly být porovnávány a jednotně posuzovány. K tomu slouží veličiny jako například smáčecí úhel, výška roztavené pájky, plocha roztečené pájky a podobně. Bylo by velice nepraktické (a při dnešních rozměrech elektronických obvodů i prakticky nemožné) pokoušet se tyto veličiny měřit manuálním způsobem. Proto se dnes jejich měření uskutečňuje pomocí vhodných softwarů, v rámci nichž je možné obraz výsledku testu pájitelnosti nahrát a efektivně a přesně zpracovat. Níže jsou popsány nejčastěji používané softwary na vyhodnocení obrazu.

### 4.1 ImageJ

Jedná se o volně dostupný software, vytvořený společností National Institutes of Health, určený pro analýzu a zpracování obrazu. Tento program založený na programovacím jazyce Java je dostupný pro operační systémy Windows, Mac OS X a Linux. Program umožňuje pracovat s 8, 16 a 32-bitovými obrazy a s obrazovými formáty TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS a RAW. [12]

Program poskytuje funkce jako výpočet plošných a pixelových statistik definovaného výběru, měření vzdáleností, úhlů a obsahů, tvorbu histogramů a čárových profilů, logické a aritmetické operace mezi obrazy. Program též umožňuje úpravy a manipulace s obrazem, například manipulaci s kontrastem, konvoluci, vyhlazování, ostření, detekci hran, Fourierovy analýzy a mediánové filtrování. [12]

Mezi další možnosti programu pak patří také geometrické transformace obrazu jako překlopení, rotace, změna měřítka nebo zvětšování a zmenšování obrazu. Program lze taktéž doplnit o mnoho zásuvných modulů, vytvářených lidmi po celém světě, které pak umožňují řešení téměř libovolného problému se zpracováním a vyhodnocením obrazu. Tento program našel široké uplatnění v mnoha oborech, kde je třeba pracovat se snímky z mikroskopů. Používá se například ke zpracování bio-medicínských obrazů, chemických obrazů apod. [12]



Obr. 5 Ukázka použití programu ImageJ.

## 4.2 NIS Elements

Softwarový balík NIS Elements byl vytvořen firmou Laboratory Imaging, spol. s r. o. Je určený pro široké použití v laboratořích, školách a vědeckých ústavech, využívá moderní metody počítačové analýzy obrazu. [7]

Tento softwarový balík se dělí podle náročnosti požadavků uživatele na tyto tři větve:

- Advanced Research (Ar),
- Basic Research (Br),
- Documentation (D).

Každou větev je pak možné rozšířit o další zásuvné moduly. [7]

#### **4.2.1 Advanced Research (AR)**

Firma prezentuje tento produkt jako „nejchytřejší“ z řady tří produktů NIS Element. AR umožňuje plně automatizované ovládání připojených zařízení, šesti dimenzionální snímání obrazu (X, Y, Z, vlnová délka, čas, multipoint), následné vyhodnocení, archivaci a automatizaci měření při opakovaných měřeních. Dále pak obsahuje přídavné nástroje pro úpravu nasnímaných obrazů, například dekonvoluci, rozšíření hloubky ostroty a obrazovou databázi. AR též poskytuje širokou škálu funkcí matematické morfologie jako je vyčištění, eroze, dilatace, vyhlazení, výplňové funkce, konvexní obálka, binární inverze, obrysy atd. Program dále umožňuje spojování jednobarevných obrazů a sešívání velkých obrazů. [8]

#### **4.2.2 Basic Research (Br)**

Br nabízí snímání 4 dimensionálních obrazů, ovládání periferních zařízení, správu dat a jejich následnou analýzu. Dále podporuje databáze, tvorbu reportů a rozšířenou hloubku ostroty. Aplikace BR sice není tak komplexní jako AR, přesto by však měla stačit na uspokojení běžných vyhodnocovacích požadavků. [9]

#### **4.2.3 Documentation (D)**

Documentation je zaměřen na barevnou dokumentaci a základní měření. D umožňuje měření objektů, jejich počítání a řazení do databáze a generování reportů. Uplatnění tato aplikace nalézá povětšinou v průmyslových oborech zabývajících se analýzou částic a defektů. [10]

### **4.3 Eidos microscope**

Eidos microscope je software dodávaný k mikroskopům, který umožňuje snímání dat kamerou a zpracování obrazu z kamery či obrazu importovaného ze souboru. Program poskytuje funkce jako měření vzdáleností, detekci hran, histogramy, úpravu barev a rotaci a zvětšování obrazu.

## 5 Návrh experimentu

Jedním z úkolů této práce byla realizace testování pájitelnosti metodou pájení v parách. Za cíl testu jsme si určili porovnání vlivu různých druhů povrchových úprav a tavidel na roztečení kuličky pájky a zejména pak posouzení, které tavidlo je pro danou povrchovou úpravu nejvhodnější. Velikost použité kuličky pájky byla cíleně zvolena 500  $\mu\text{m}$ , neboť při vyšší velikosti kuličky by se na roztékání nezanedbatelně podílela i gravitační síla, čemuž jsme chtěli předejít. Testování bylo realizováno v laboratoři katedry technologií a měření fakulty elektrotechnické. Metodou testování byl zvolen test roztékavosti, a to pro jeho snadnou realizaci. Testovací vzorky obsahovaly devět políček, která byla upravena různými povrchovými úpravami a na která byly následně aplikovány různé druhy tavidel. Testování probíhalo v přístroji QUICKY 300, který slouží pro pájení v parách.

Pro testování byly použity následující povrchové úpravy:

- Galvanicky nanesená měď ošetřená organickou vrstvou (OSP),
- Galvanicky nanesená měď (Cu),
- Galvanicky nanesený nikl imerzně pokrytý zlatem (ENIG).

Tyto úpravy byly vybrány pro jejich rozšířenost v současných elektronických aplikacích.

Zároveň byly pro testování použity následující druhy tavidel:

- Actiec 2 (A2),
- Actiec 5 (A5),
- tavidlo na bázi kalafuny SMNA.

K vyhodnocení testu byl použit program ImageJ, a to zejména kvůli jeho volné dostupnosti a relativně malé časové náročnosti při vyhodnocování oproti programu NIS Elements, kde bylo třeba definovat přechody mezi roztečenou pájkou a políčkem testovaného vzorku, což se ukázalo jako zdlouhavé zvláště proto, že se přechody musely definovat pro každý snímek zvlášť. Použití programu NIS Elements by našlo své uplatnění v případě velmi vysokých nároků na přesnost měření.



### 5.1 Realizace experimentu:

Na každý ze tří testovaných vzorků byla aplikována tři různá tavidla, a to na každá tři políčka jedno tavidlo. Na každé políčko ošetřené tavidlem se dále umístila cínová kulička o průměru 500  $\mu\text{m}$ . Testovací vzorek byl umístěn do přístroje QUICKY 300, kde proběhlo pájení v parách a došlo k roztavení cínové kuličky. Poté byly vzorky z přístroje vyjmuty a políčka vzorků vyfocena pod mikroskopem.

Po nahrání fotografie rozteklé kuličky do programu ImageJ bylo pro operaci s ní nejprve nutné provést kalibraci programu, aby při měření program pracoval se skutečnými rozměry vzorku a nikoli s rozměry obrazu po zvětšení mikroskopem.

Poté bylo zapotřebí zvětšit fotografii pro vyšší přesnost následného označení plochy roztečené kuličky. Po označení program již sám provedl měření obsahu plochy.

### 5.2 Naměřená data

Tabulka 1 Hodnoty obsahu plochy roztečené pájky za použití tavidla SMNA

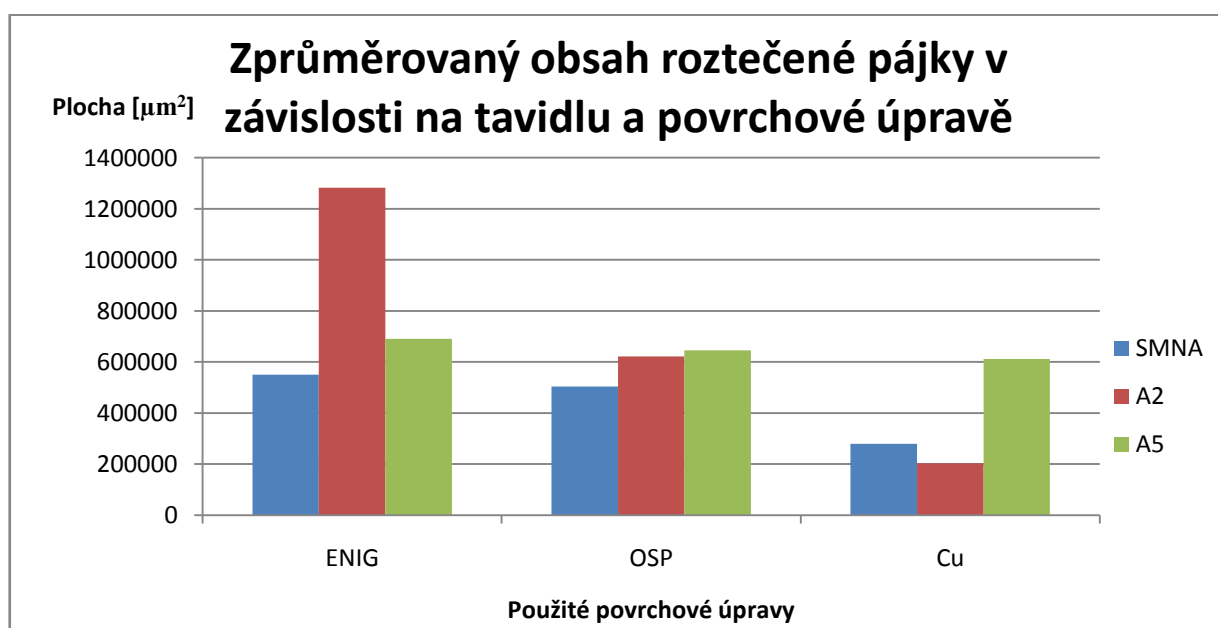
Obsah roztečené pájky při použití tavidla SMNA v závislosti na povrchové úpravě [ $\mu\text{m}^2$ ]					Zprůměrovaný obsah
Použité povrchové úpravy	ENIG	990361,87	151208,89	508121,93	549897,60
	OSP	254890,32	614981,69	639809,12	503227,00
	Cu	205972,27	207101,46	423745,74	278939,80

Tabulka 2 Hodnoty obsahu plochy roztečené pájky za použití tavidla A2

Obsah roztečené pájky při použití tavidla A2 v závislosti na povrchové úpravě [ $\mu\text{m}^2$ ]					Zprůměrovaný obsah
Použité povrchové úpravy	ENIG	373094,89	3000285,79	473219,40	1282200,00
	OSP	632430,74	606258,13	625444,73	621377,90
	Cu	201575,66	206132,03	200754,49	202820,70

Tabulka 3 Hodnoty obsahu plochy roztečené pájky za použití tavidla A5

Obsah roztečené pájky při použití tavidla A5 v závislosti na povrchové úpravě [ $\mu\text{m}^2$ ]					Zprůměrovaný obsah
Použité povrchové úpravy	ENIG	1222952,77	594989,03	253243,05	690395,00
	OSP	635907,13	637279,16	663283,06	645489,80
	Cu	627748,48	607633,35	597862,39	611081,40



Graf 1 Porovnání výsledků experimentu

### 5.3 Vyhodnocení experimentu

Při pohledu na výsledky je zřejmé, že jak volba tavidla, tak i volba povrchové úpravy má na roztékavost nemalý vliv. Z výsledků vyplývá, že při volbě tavidla je třeba brát v úvahu použitou povrchovou úpravu, neboť na různých povrchových úpravách reaguje také tavidlo různě. Kupříkladu zatím co na povrchové úpravě ENIG se nejlépe osvědčilo tavidlo A2 (roztékavost kuličky byla nejvyšší), na povrchové úpravě OSP se lépe osvědčilo tavidlo A5 a na galvanicky nanesené mědi se ukázalo i neaktivované tavidlo SMNA jako vhodnější než tavidlo A2. Tavidlo A5 se na úpravě OSP a Cu ukázalo jako nejvhodnější.

Při bližším pohledu na jednotlivé výsledky vyhodnoceného obsahu plochy roztečené kuličky za použití stejného tavidla a stejné povrchové úpravy je patrné, že při měření docházelo k chybám, neboť rozptýl hodnoty obsahu byl v některých případech relativně

velký. Nejvíce patrný vysoký rozptyl hodnot byl u tavidla A2 při povrchové úpravě ENIG. Zde se liší hodnoty až o  $2627191 \mu\text{m}^2$ , což je v našem případě rozdíl velmi vysoký. K chybě mohlo nejspíše dojít díky nerovnoměrnému rozetření tavidla po měřených vzorcích, případně díky rozdílnému znečištění vzorků vlivem skladování a manipulace s nimi. Proto by bylo vhodné (za předpokladu, že s vyšším počtem měření nám poroste i přesnost výsledků) pro ověření pravdivosti výsledku test ještě několikrát opakovat.

## 6 Závěr

Cílem práce byl návrh a realizace testu pájitelnosti za použití metody pájení v parách a dále pak vyhodnocení testu za použití vhodného softwaru pro vyhodnocení obrazu. Při vypracování zadaného tématu bylo nejprve nezbytné stručné seznámení s problematikou pájení, s užívanými testy pájitelnosti, s technikou pájení přetavením, konkrétně pak s metodou pájení v parách, pomocí níž se test realizoval, což nám umožnilo vybrat vhodný test pájitelnosti a navrhnout experiment. Dále bylo pro práci důležité seznámit se s dostupnými softwary na vyhodnocení obrazu, aby bylo možné vybrat ten nejvhodnější pro vyhodnocení výsledku navrženého testu.

Jako vhodný test pájitelnosti byl vybrán test roztékavosti, především pro jeho jednoduchost a snadnou realizaci danou metodou, v daném přístroji pro pájení. Za cíl jsem si zvolil porovnání účinnosti tří druhů tavidel na třech často používaných povrchových úpravách. Účinnost byla porovnáвана na základě obsahu roztečené pájky, neboť díky mnohdy neúplnému roztečení pájky by bylo vyhodnocení pomocí stykového úhlu značně komplikované.

Z popsaných softwarů jsem zvolil jako nejvhodnější ImageJ. Roli ve výběru hrála dostupnost softwaru, efektivita a časová náročnost vyhodnocení. Díky němu jsem pak provedl vyhodnocení pomocí funkce měření obsahu vybraného objektu (v tomto případě to byla plocha roztečené kuličky pájky). Výsledky jsem umístil do tabulek a přidal do nich i průměrnou hodnotu obsahu vzorků se stejnou povrchovou úpravou, ošetřených stejným tavidlem a tyto zprůměrované hodnoty jsem umístil do grafu 1 pro snazší porovnání.

Při posuzování výsledku jsem se zaměřil zvláště na to, jestli tavidlo vhodné pro jednu povrchovou úpravu je vhodné i pro povrchovou úpravu jinou. Ukázalo se, že ne, neboť z dosažených výsledků je patrná rozdílná míra aktivity tavidel na různých povrchových úpravách. Konkrétně třeba pro povrchovou úpravu ENIG se nejlépe osvědčilo tavidlo Actiec 2 a pro úpravy OSP a Cu se zase nejlépe osvědčilo tavidlo Actiec 5. Neaktivované tavidlo SMNA napomohlo na povrchových úpravách ENIG a OSP smáčení nejméně, na měděném povrchu se však osvědčilo lépe než aktivované tavidlo Actiec 2. Při volbě tavidla je tedy vhodné brát v potaz i použitou povrchovou úpravu.

Z výsledků však také vyplynulo, že se v měření pravděpodobně vyskytla nezanedbatelná chyba a že pro ověření závěrů této práce by bylo vhodné provést další měření s více vzorky pro vyšší pravděpodobnost přesného výsledku.

## 7 Použitá literatura

- [1] Abel M., Cimbourek V.: *Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi*, ABE.TEC, Pardubice 2005, ISBN 80-903597-0-1
- [2] Mach P., Skočil V., Urbánek J.: *Montáž v elektronice*, Vydavatelství ČVUT, Praha 2001, ISBN 80-01-02392-3
- [3] <<http://www.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.12.1.html>> [cit. 2012-05-05]
- [4] <<http://www.smtcentrum.cz/pajeny-spoj-pajitelnost/kulickovy-test/>> [cit. 2012-05-05]
- [5] <<http://www.printed.cz/assets/photos/pb-free.pdf>> [cit. 2012-05-12]
- [6] <[http://www.smtcentrum.cz/data/Images/galleries/big/internet\\_128559007602.919.JPG](http://www.smtcentrum.cz/data/Images/galleries/big/internet_128559007602.919.JPG)> [cit. 2012-05-08]
- [7] <<http://www.nis-elements.cz/cs/front-page>> [cit. 2012-05-14]
- [8] <<http://www.nis-elements.cz/cs/products/nise-ar>> [cit. 2012-05-14]
- [9] <<http://www.nis-elements.cz/cs/products/nise-br/>> [cit. 2012-05-14]
- [10] <<http://www.nis-elements.cz/cs/products/nise-d/>> [cit. 2012-05-14]
- [11] <[http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/4703/kou%C5%99il\\_2007\\_bp.1.pdf?sequence=1](http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/4703/kou%C5%99il_2007_bp.1.pdf?sequence=1)> [cit. 2012-05-03]
- [12] <<http://www.med.muni.cz/biofyz/Image/ImageJ.pdf>> [cit. 2012-05-03]
- [13] Novák T., Využití inertních atmosfér při testování pájitelnosti, Diplomová práce, Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, Plzeň 2008

## Seznam obrázků

Obrázek 1	Pájený spoj
Obrázek 2	Přehled pájecích metod
Obrázek 3	Znázornění stykového úhlu
Obrázek 4	Ilustrace kuličkového testu
Obrázek 5	Ukázka použití programu ImageJ

## Seznam tabulek

Tabulka 1	Hodnoty obsahu plochy roztečené pájky za použití tavidla SMNA
Tabulka 2	Hodnoty obsahu plochy roztečené pájky za použití tavidla A2
Tabulka 3	Hodnoty obsahu plochy roztečené pájky za použití tavidla A5

## Seznam grafů

Graf 1	Porovnání výsledků experimentu
--------	--------------------------------