

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Testování aktivity tavidel pomocí testu roztékavosti**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2013/2014

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

Jméno a příjmení: **Dominik HARMAN**  
Osobní číslo: **E11B0117P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Testování aktivity tavidel pomocí testu roztékavosti**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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 měkkého pájení
2. Vypracujte přehled používaných tavidel
3. Proveďte a vyhodnoňte zkoušku aktivity tavidel pomocí testu roztékavosti

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

- 1. R.J. Klein Wassink SOLDERING IN ELECTRONIC**
- 2. P. Mach, V. Skočil, J. Urbánek MONTÁŽ V ELEKTRONICE**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Karel Rendl**  
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**

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



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce popisuje proces pájení a pájecí tavidla. Teoretická část se zaměřuje na vznik pájeného spoje, pájky, metody testování pájitelnosti a tavidla užívaná v pájecím procesu. V praktické části je popsán experiment, který je zaměřený na testování pájitelnosti.

## **Klíčová slova**

Pájení, pájka, tavidlo, smáčitelnost, pájitelnost, test roztékavosti

## **Abstract**

This bachelor thesis describes the soldering process and soldering flux. The theoretical part focuses on the creation of solder joint, solder, solderability testing methods and flux used in the soldering process. The practical part describes the experiment that aims solderability testing.

## **Key words**

Soldering, solder, flux, wettability, solderability, wetting test

## **Prohlášení**

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

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

.....  
podpis

V Plzni dne 6.6.2014

Dominik Harman

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Rendlovi za cenné profesionální rady, připomínky, metodické vedení práce a za pomoc při provedení experimentu.

# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 MĚKKÉ PÁJENÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 TVORBA PÁJENÉHO SPOJE .....	12
1.2 PÁJITELNOST A SMÁČITELNOST .....	13
1.2.1 Smáčení.....	14
1.2.2 Nesmáčení.....	14
1.2.3 Odsmačení .....	14
1.2.4 Problémy pájitelnosti .....	15
1.3 PÁJKY PRO MĚKKÉ PÁJENÍ.....	15
1.3.1 Olovnaté Pájky.....	17
1.3.2 Bezolovnaté pájky .....	17
1.4 TESTOVÁNÍ PÁJITELNOSTI.....	21
1.4.1 Ponořovací test .....	21
1.4.2 Metoda smáčecích vah.....	21
1.4.3 Kuličkový test.....	22
1.4.4 Test roztékavosti.....	23
<b>2 PÁJECÍ TAVIDLA</b> .....	<b>24</b>
2.1 ROZDĚLENÍ TAVIDEL .....	25
2.1.1 Pryskyřičná tavidla na bázi kalafuny.....	28
2.1.2 Syntetická tavidla (SA).....	29
2.1.3 Organická tavidla .....	30
2.1.4 Anorganická tavidla.....	30
2.1.5 Plynná tavidla .....	30
2.1.6 Tavidla bez čištění.....	31
2.2 ÚČINNOST TAVIDLA.....	32
<b>3 TESTOVÁNÍ AKTIVITY TAVIDEL</b> .....	<b>33</b>
3.1 TESTOVANÉ MATERIÁLY A VZORKY: .....	33
3.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	35
3.3 TEST ROZTÉKAVOSTI .....	36
3.4 NAMĚŘENÉ HODNOTY.....	39
3.5 VYPOČTENÉ HODNOTY .....	40
3.6 VÝSLEDKY TESTU ROZTÉKAVOSTI.....	42
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>47</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA:</b> .....	<b>49</b>



## Seznam symbolů a zkratk

*VF* ..... Vysoké frekvence

*SMD* ..... Surface mount device - součástka pro povrchovou montáž plošných spojů

*DPS* ..... Deska plošných spojů

## Úvod

Pájení je nejrozšířenější a nejspolehlivější metoda užívaná pro spojování součástek v elektrotechnice. Provedení a kvalita pájených spojů má velmi významný vliv na spolehlivost a životnost finálního produktu. I přes neustálou modernizaci výroby elektronických zařízení je dnes většina poruch v těchto zařízeních způsobena vadnými spoji. Proto je třeba věnovat pájení neustálou pozornost. S přechodem na bezolovnaté pájení vstupují do pájecího procesu nové aspekty.

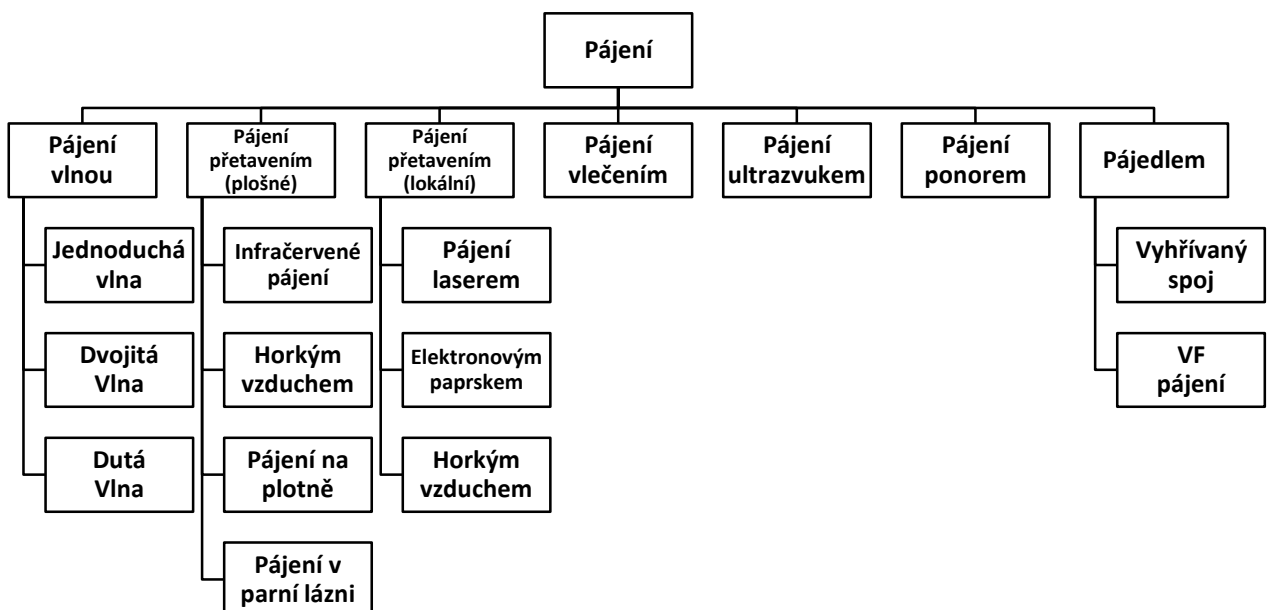
Dokonalý pájený spoj může být proveden v odpovídající kvalitě pouze v případě, že spojované povrchy jsou smáčivé. Aby byly kovové povrchy smáčivé, musí být čistě a bez oxidů. Jelikož kovy v běžném prostředí oxidují, je nutné pájené plochy těsně před pájením očistit. K takovému čištění se používají tavidla. Moderní tavidla mají celou řadu funkcí. Zlepšují smáčitelnost pájených povrchů, odstraňují oxidy, zabraňují korozi a přispívají k rovnoměrnému rozložení a dosažení teploty tavení na pájené ploše.

Dnes je na trhu k dispozici velké množství tavidel. Tavidla se od sebe liší nejen složením, ale především obsahem aktivátorů. Rozdělení tavidel dle obsahu aktivátorů udávají normy např. ČSN EN 29454 a EN 61190-1. K porovnání tavidel a testování jejich vlivu na pájený spoj slouží různé metody pro testování pájitelnosti. K nejčastěji užívaným patří metoda smáčecích vah, kuličkový test a test roztékavosti.

# 1 Měkké pájení

Proces metalurgického spojení dvou kovů třetím roztaveným kovem – pájkou se nazývá pájení. Na rozdíl od svařování se u pájení netaví spojované díly, ale taví se a zpětně tuhne pouze přídatný kovový materiál - pájka. Tavící teplota pájky je vždy nižší než teplota tavení spojovaných částí. Pro montáž v elektrotechnice se využívá měkké pájení, pro které je charakteristická teplota tavení do 500 °C. Pokud je teplota tavení vyšší, než 500 °C jedná se o pájení tvrdé. [1]

Technologie pájení elektronických zařízení prošla v historii několika vývojovými kroky. Zpočátku se elektronické součástky a desky plošných spojů pájely ručně pomocí pájedla. Důležitým krokem byla hromadná výroba desek s plošnými spoji, jež vedla k vývoji a zavedení hromadného pájení vlnou a ponorem. Zvyšující se požadavky na spolehlivost zařízení, zvyšování složitosti, aplikace polovodičů a SMD součástek vedlo ke vzniku a zdokonalení mnoha pájecích metod (Obr. 1.1). [2]



Obr. 1.1 Metody pájení [1]

Jednotlivé metody pájení se liší tím, jak je pájka přiváděna ke spoji a jakým způsobem dochází k přenosu tepla. Při pájení vlnou, namáčením a vlečením se pájka nejprve roztaví v lázni a poté se z lázně přivádí ke spoji v tekuté podobě. Při pájení přetavením se nejdříve

nanese pájka ve formě pájecí pasty na DPS, na kterou jsou poté osazeny součástky a celá deska je zahřátá na teplotu mírně vyšší než je teplota tání pájky, čímž dojde k pájení. V praxi jsou nejvíce využívány metoda pájení vlnou, přetavením a pájedlem. [2]

### 1.1 Tvorba pájeného spoje

Při pájení probíhají složité fyzikálně-chemické pochody na rozhraní tuhé a tekuté fáze. Při smáčení jsou dva volné povrchy nahrazovány jediným rozhraním s nízkou volnou energií. Roztavená pájka v oblasti slévání je charakterizována těsným uspořádáním. Atomy taveniny ve sféře působení atomů krystalové mříže tuhého kovu jsou na jeho povrchu krystalograficky uspořádány. Na rozhraní se tak vytváří vrstva uskutečňující vazbu mezi fázemi. Teplem se zvětšuje pohyb atomů obou fází a jejich vzájemná difúze zesiluje vytvořené vazby. Krystalizace při chladnutí pozastavuje a upevňuje probíhající jevy. [2]

Kvalitní a dobře udělaný pájený spoj musí zaručovat dobrou mechanickou a především elektrickou spojení. Množství pájky musí umožňovat snadnou optickou kontrolu spoje při zachování kvalitního mechanického a elektrického spojení. Ideální množství je takové, že obrysy vodiče jsou pod vrstvou pájky zřetelné přitom, musí povrch pájky být hladký lesklý a spojitý a na krajích musí být zřetelný ostrý úhel smáčení  $\Theta$  15°- 20°. Žádný kov spojovaných částí nesmí zůstat obnažen. Na povrchu by neměly být znát žádné ostré výstupky. Povrch pájeného spoje nesmí vykazovat žádné známky znečištění. [2]

Tvorba pájeného spoje probíhá zhruba v následujících operacích:

1. Uvedení pájených částí do vhodné vzájemné polohy a jejich fixace
2. Nanesení tavidla a uvedení do aktivního stavu
3. Ohřev spoje na pracovní teplotu
4. Přivedení pájky do spoje
5. Ochlazení zapájeného spoje
6. Očištění spoje

## 1.2 Pájitelnost a smáčitelnost

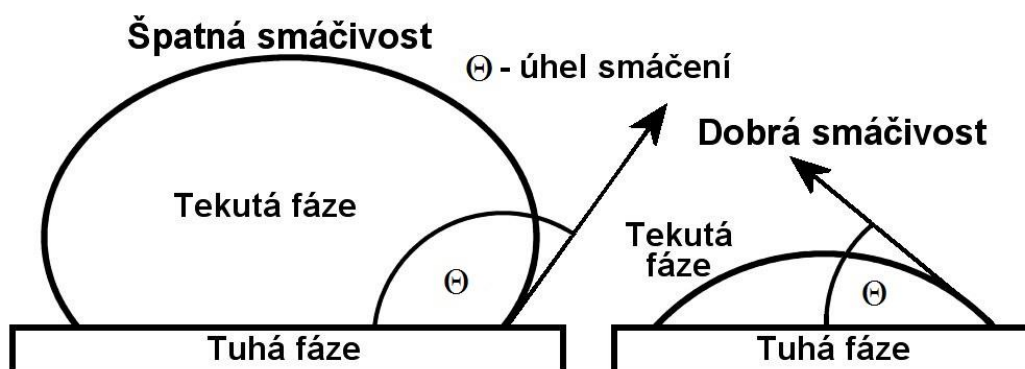
Pájitelnost můžeme chápat jako vlastnost povrchů, které mají být spojeny pájením. Je souhrn vlastností pájek určující její vhodnost pro průmyslové pájení. Pájitelnost velmi úzce souvisí se schopností materiálu být smáčen a zahrnuje 3 hlediska:

- **smáčivost:** povrch musí umožnit smáčení materiálu roztavenou pájkou během doby vhodné pro vytvoření pájeného spoje a to bez odsmáčení.

- **teplotní požadavek:** během pájení musí součástky odolat požadované pájecí teplotě po dobu pájecí doby.

- **odolnost vůči teple při pájení:** teplo vzniklé během pájení nesmí teplotním namáháním nijak ovlivnit funkci součástek před daným časem. [3]

Proces smáčení je zejména ovlivněn povrchovou úpravou DPS, pájkou, tavidlem a prostředím. Hodnocení pájitelnosti povrchu podle úhlu smáčení zobrazuje *Tab. 1.1* a graficky je zobrazuje *Obr. 1.2*.



Obr. 1.2 Smáčecí úhel [1]

Tab. 1.1 Smáčecí úhel [1]

Velikost smáčecího úhlu	Hodnocení hájitelnosti
$0^\circ < \theta \leq 20^\circ$	Výborné až dokonalé smáčení
$20^\circ < \theta \leq 40^\circ$	Dobré až velmi dobré smáčení
$40^\circ < \theta \leq 55^\circ$	Postačující smáčení
$55^\circ < \theta \leq 90^\circ$	Špatné smáčení
$90^\circ < \theta$	Nesmáčivost

Smáčivost je schopnost plochy vytvořit na svém povrchu souvislou vrstvu pájecího materiálu při styku s roztavenou pájkou. Při smáčení mění tekutý a pevný kov jedno mezifázové rozhraní. Dotkne-li se roztavená pájka základního materiálu, dojde k přesunu atomů pájky do oblasti krystalické mřížky základního materiálů. K hodnocení smáčivosti slouží tzv. stupeň smáčivosti, který udává jak daleko se pájka rozteče a rychlost smáčení. [2]

Pájka v roztaveném stavu má tendenci zmenšovat svůj povrch. Každá molekula v povrchové vrstvě působí na sousední molekulu silou, výsledkem je přitažlivá síla orientovaná do středu kapaliny, která je kolmá na volný povrch. Rozeznáváme 3 stupně smáčení: smáčení, nesmáčení, odsmáčení. [2]

### 1.2.1 Smáčení

Smáčení nastává, je-li povrchová energie čistého kovového povrchu vyšší než roztavené pájky. Pak pájka smáčí povrch a vytvoří tak na rozhraní metalurgickou vazbu. Jak smáčení postupuje, tak roste na rozhraní tenká mezi kovová vrstva a vytváří základ pro spolehlivý spoj. Velikost této plochy styku je potom mírou pájitelnosti tohoto kovu. Smáčení je ovlivněno viskozitou, hustotou, povrchovým napětím, typem povrchové úpravy a okolní atmosférou. [3],[4]

### 1.2.2 Nesmáčení

V tomto případě je povrchová energie čistého kovu nižší než roztavené pájky a nemůže tedy dojít k vytvoření metalurgické vazby. Rozhraní mezi povrchem a pájkou zůstává zřetelné. K lepšímu smáčení dojde po použití vhodného tavidla, které odstraní oxidační vrstvu kovového povrchu. [1]

### 1.2.3 Odsmačení

Nastává v důsledku nedostatečné smáčivosti pájených povrchů. Pájka se po pájení stáhne zpět z již dříve smáčených oblastí. Odsmačení se také může vyskytovat ze spodu od pájeného místa, v místě vystavenému nesmáčenému povrchu, kdy je tenká pájená vrstva totálně rozpuštěna do pájky. Odsmačení můžeme snížit přidáním příměsí do pájky např. niklu. [1]

### 1.2.4 Problémy pájitelnosti

Během pájecího procesu se mohou vyskytnout problémy s pájitelností. Pájitelnost materiálů ovlivňují nejrůznější vlivy, mezi nejčastější patří oxidace, znečištění, porézní povrch pájky a nesprávné spojovací metalurgie.

#### Oxidace

Nejvíce problémů s pájitelností způsobuje oxidace pájeného materiálu. Tavidlo užitě během pájení zpravidla tyto oxidy odstraní, ale pokud je vrstva oxidů příliš silná, tavidlo jí nevládne odstranit. Při pokovení kontaktů je nutné dbát na řádné očištění před pokovením. Pokud není povrch řádně očištěn, může na povrchu zůstat vrstva oxidů. Tato vrstva není pájitelná, ale mohou přes ni přesahovat pájitelné vrcholky, které jsou následně elektricky pokoveny. Pokovení pak působí vizuálně správně, ale při pájení se objeví problém s odsmačením a vznikne tak nedokonalý nesmačený spoj. [1]

#### Znečištění

V průběhu elektrochemického pokovení, manipulace a transportu se mohou na základní materiál dostat organické nečistoty či kovové zbytky. Tyto nečistoty ve větším množství snižují schopnost pájení. [1]

#### Porézní povrch pájky

Pórovitý povrch dovoluje nárůst oxidů, tento nárůst způsobí nesmačení mezi vrstvami. Pórovitost se nejčastěji vyskytuje při elektrickém pokovování. [1]

#### Nesprávné spojovací metalurgie

Drahé kovy jako např. zlato a stříbro jsou vysoce rozpustné v pájce, což vede k rozpouštění kovu kontaktů do pájky. Pokud se rozpustí podstatná část kovu kontaktů do pájky, může vzniknout velmi křehký spoj, který vizuálně vypadá v pořádku. [1]

### 1.3 Pájky pro měkké pájení

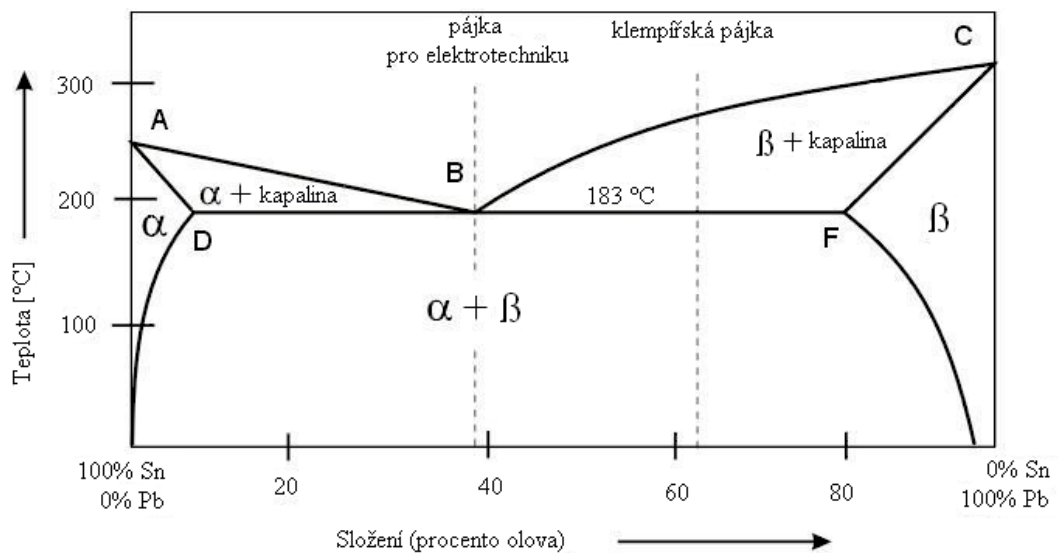
Měkké pájky jsou slitiny tvořeny měkkými kovy, které mají nízkou teplotu tavení, nejčastěji cínem, olovem a zinkem. Některé pájky mohou obsahovat i měď, zlato, stříbro, nikl antimon aj. Jedná se především o dvou a tří prvkové sloučeniny, složité slitiny a čisté kovy se

používají jen výjimečně, převážně pro speciální účely. Nejpoužívanější jsou cínové slitiny, které se snadno spojují s jinými kovy. Obsahují různý poměr složek, pomocí kterých se dosahují požadované vlastnosti, především teplota tavení. [2]

Na pájku jsou kladeny následující požadavky:

- Musí mít nižší bod tání než základní materiál.
- Co nejužší interval tavení
- Nízký obsah nečistot
- Dobrá pájecí vlastnosti (smáčivost, roztékavost)

Naprostá většina pájecích slitin se vyrábí v kapalném stavu a vytváří strukturu během tuhnutí. Nejčastěji se jedná o slitinu dvou nebo tří kovů. Struktura konečné slitiny je ovlivněna poměrem kovů a způsobu jejího tuhnutí. Mísení kovů nemusí vždy probíhat v kapalně fázi, některé kovy nemusí být v kapalně fázi mísitelné podobně jako voda a olej. Jsou-li dva kovy v kapalně formě rozpustné jeden v druhém, neznamená to, že při tuhnutí vytvoří homogenní pevnou fázi. Struktura slitiny a její výsledné vlastnosti závisí na povaze pevné fáze. Tyto výsledné vlastnosti znázorňuje tzv. fázový diagram Obr. 1.3. [1]



Obr. 1.3 Fázový diagram pro slitiny Sn/Pb [1]



### 1.3.1 Olovnaté Pájky

Pájecí slitiny cín/olovo spadají do úzkého pásma 60Sn/40Pb až po 65Sn/35Pb. Olovo bylo po dlouhá léta součástí pájky, především proto, že olovo ve správném poměru s cínem tvoří eutektickou slitinu s výbornými elektrickými i mechanickými vlastnostmi při zachování nízké ceny. Eutektická pájka obsahuje 62% cínu a 38% olova a je nejvhodnější pro elektrotechnické užití. Je to jediná slitina cínu a olova, která přechází z kapalné fáze do pevné fáze téměř okamžitě. Taktéž má nejnižší teplotu tavení, konkrétně 183°C. [1]



Obr. 1.4 cívka Sn/Pb pájky

V roce 2003 vstoupila v platnost evropská směrnice 2002/95/EC, která užívání olova a dalších nebezpečných látek v elektrotechnice zakazuje, tato směrnice však byla v roce 2011 nahrazena směrnicí 2011/65/EU, která užívání nebezpečných látek ještě více zpřísňuje. Proto je nutné nahradit olovo jinou avšak vhodnou látkou. Důležité je zachování vlastností olovnaté pájky, nebo se alespoň jejím vlastnostem co nejvíce přiblížit. Bylo tedy nutné zavést bezolovnaté pájky.

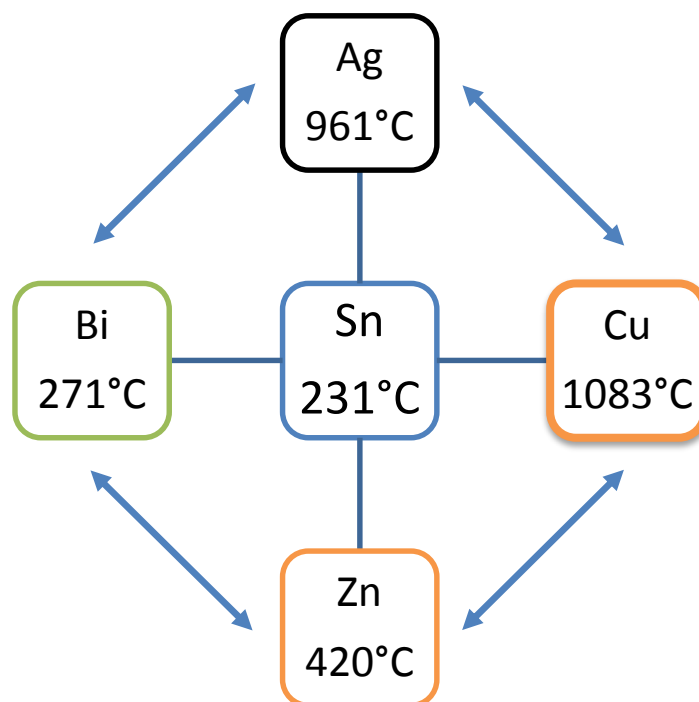
### 1.3.2 Bezolovnaté pájky

Bezolovnaté pájky jsou zpravidla dražší než klasická pájecí slitina Sn/Pb. Naprostá většina bezolovnatých pájek obsahuje minimálně 60 % cínu a zbytek je doplněn drahými kovy. Existuje celá řada bezolovnatých pájek, ale jejich užití nemusí být zcela shodné s pájkami Sn/Pb. Největší, i když ne jediný, rozdíl je bod tavení pájky. Zatímco eutektické olovnaté pájky dosahují bodu tavení při 183°C, převážná většina bezolovnatých pájek přechází do kapalného stavu v rozmezí teplot 195 - 230 °C. [5]

Základním kovem tvořícím bezolovnaté pájky je cín, vzhledem k jeho ceně má výborné mechanické vlastnosti, je odolný vůči korozi, má nízký bod tání a také je relativně levný a nezávadný pro životní prostředí. Podle konkrétních požadavků a podle užití pájky se do slitiny přidávají další prvky. Hlavním cílem je se co nejvíce vlastnostmi pájky a to především bodem tavení přiblížit k vlastnostem Sn/Pb pájky. [5]

Přehled prvků ovlivňujících vlastnosti bezolovnaté pájky: [6]

- **Stříbro (Ag):** Snižuje bod tavení pájky, zlepšuje mechanickou pevnost spoje a smáčivost pájky
- **Bismut (Bi):** Snižuje bod tavení a zlepšuje smáčivost pájky
- **Měď (Cu):** Zvyšuje mechanickou pevnost spoje
- **Zinek (Zn):** Snižuje teplotu tavení, je velmi levný, avšak nevýhodou je vysoká oxidace a snižování smáčivosti
- **Nikl (Ni):** Zabraňuje odsmáčení
- **Indium (In):** Snižuje bod tavení, vyšší cena
- **Antimon (Sb):** Používá se ke zvýšení pevnosti, snižuje povrchové napětí, zlepšuje roztékavost a snižuje pravděpodobnost tombstoningu
- **Germanium (Ge):** Chrání před oxidací



Obr. 1.5 alternativní slitiny bezolovnatého pájení

Každý prvek má své specifické vlastnosti a jejich různou kombinací jsme schopni dosáhnout vlastností blízkým olovnaté pájce. Nejvíce používané jsou dvouprvkové a tříprvkové slitiny obsahující v různých poměrech především cín, měď a stříbro.

### **Dvouprvkové pájky**

#### ***Sn/Cu***

Slitina Sn 99,3/Cu0,7 se taví při teplotě 227°C. Nemá dobré mechanické vlastnosti a velmi snadno podléhá oxidaci, a proto se špatně smáčí. Vzhledem k své nízké ceně se nejvíce využívá při pájení vlnou. Je využívána především v telekomunikačním průmyslu. [1]

#### ***Sn/Bi***

Sn/Bi je eutektická pájecí slitina s velmi nízkým bodem tavení 139 °C. Je velmi pevná v tahu, ale také velmi křehká. Časem se tato pájecí slitina může „unavit“. Vzhledem k nízké teplotě tavení je vhodnou pájkou pro nízkoteplotní aplikace. Jelikož je bismut vedlejší produkt při těžbě olova, bude stále hůře dostupný a dražší. [7]

#### ***Sn/Ag***

Sn96,5/Ag3,5 je slitina, jejíž bod tavení je 221 °C. Slitina je netoxická a má vysokou snášenlivost proti vstupu nežádoucích příměsí. Nevyznačuje se příliš dobrými mechanickými vlastnostmi, cena slitiny je vyšší. Mechanická pevnost je poněkud nižší a za nevýhodu lze považovat absenci mědi ve slitině, čímž může docházet k rozpouštění mědi z pájených ploch a součástek. [8]

#### ***Sn/Sb***

Slitina Sn99/Sb1 má velmi vysoký bod tavení 240 °C její smáčitelnost je velmi špatná. Největší předností této slitiny je pevnost v tahu. [1]

#### ***Sn/In***

Slitina In52/Sn48 je další slitina s velmi nízkým bodem tavení - 118°C. Vyznačuje se dobrým smáčením. Její nevýhody jsou vysoká pořizovací cena a nižší mechanická pevnost. [8]

## **Tříprvkové pájky**

### ***Sn/Ag/Cu***

Tyto slitiny jsou souhrnně označovány jako slitiny SAC. Měď se přidává do slitiny Sn/Ag kvůli pomalejšímu rozpouštění mědi z desek s plošnými spoji a součástek, nižší teplotě tavení, lepší smáčitelnosti a lepším charakteristikám tečení. Slitiny SAC vykazují velmi podobné vlastnosti jako Sn/Pb pájky a jsou tedy velmi vhodnou bezolovnatou náhradou. Mezi nejperspektivnější bezolovnaté slitiny se řadí Sn95,5/Ag4/Cu0,5. Tato slitina s bodem tavení 217°C - 219°C má vynikající schopnost smáčení, vytváří velmi pevné a spolehlivé spoje a umožňuje účinné přetavení, aniž by došlo k poškození citlivých součástek teplem. Slitina je efektivní a cenově dostupná. Je využívána při pájení vlnou, přetavením, ale i při ručním pájení. [1]

### ***Sn/Cu0,7/Sb***

Slitina s vysokou teplotou tavení 227°C. Vyznačuje se nízkou cenou a vyšší pevností v tahu. Má velmi dobrou odolnost proti tepelné únavě. Její smáčení schopnosti jsou horší a vzhledem k vysoké teplotě tavení není vhodná pro pájení přetavením. [8]

### ***Sn/Ag/Bi***

Bismut ve slitině Sn/Ag snižuje teplotu tavení a zlepšuje smáčitelnost. Pájitelnost je nejlepší mezi bezolovnatými slitinami. Slitina je vhodná pro pájení při nízkých teplotách. Při pájení s touto slitinou je třeba se vyhnout zbytkům po olovnatých pájkách, pokud se smísí s olovem, klesne její teplota tavení a slitina se stane velmi křehkou. [8]

## 1.4 Testování pájitelnosti

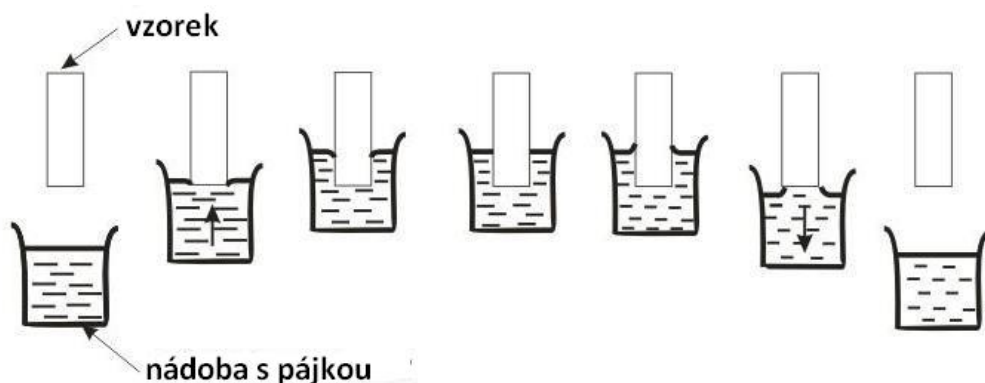
V uplynulých letech se zcela změnilы postupy při tvorbě pájeného spoje. Nejdříve byly součástky pájeny ručně a ihned po pájení byl spoj kontrolován, bylo tak možné ihned odhalit vadný či nedokonalý spoj. To však bylo časově a především finančně náročné. Došlo tedy k zavedení strojnímu pájení, kde byla omezena jak pájecí teplota, tak doba na vytvoření pájeného spoje. Během miniaturizace plošných spojů se zvyšovala hustota pájených plošek na desce a odhalení a následné opravení chyb bylo stále náročnější. Po zakázání olovnatých pájek nastupují do výroby pájky bezolovnaté, které mají menší povrchové napětí a díky tomu dochází k menšímu smáčení. Testování a měření pájitelnosti tak získává stále větší význam. [3]

Hlavním cílem zkoušek pájitelnosti je, za předem daných podmínek spojit pájku a zkušební vzorek tak, aby bylo možné posoudit kvalitu smáčení. K měření pájitelnosti a smáčitelnosti se využívají různé testovací metody. [3]

### 1.4.1 Ponořovací test

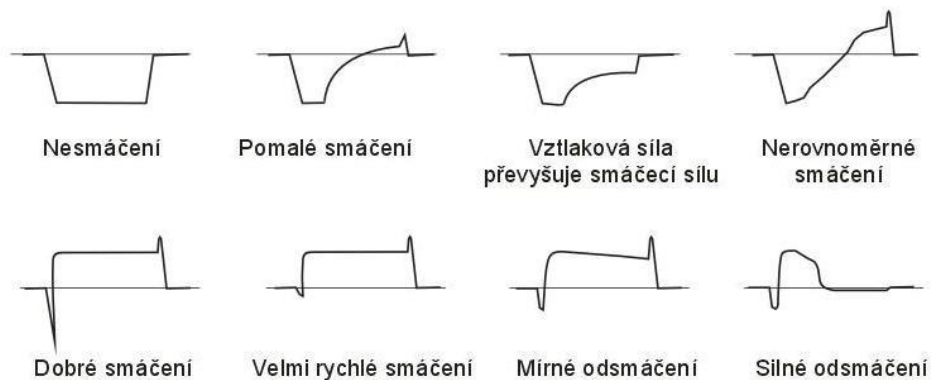
Nejjednodušší způsob jak otestovat pájitelnost kontaktů je ponořovací test. Kontakty se ponoří do nádoby s roztavenou pájkou a po vytažení se vizuálně určí procentní stupeň smáčení. Stupeň smáčení udává norma ČSN EN 61760-1. Ponořovací test lze využít i pro DPS. Jelikož tento test závisí jen na vizuálním a subjektivním posouzení pracovníka, který kontakty testuje, není příliš přesný, a to i s použitím citlivých přístrojů. [1],[9]

### 1.4.2 Metoda smáčecích vah



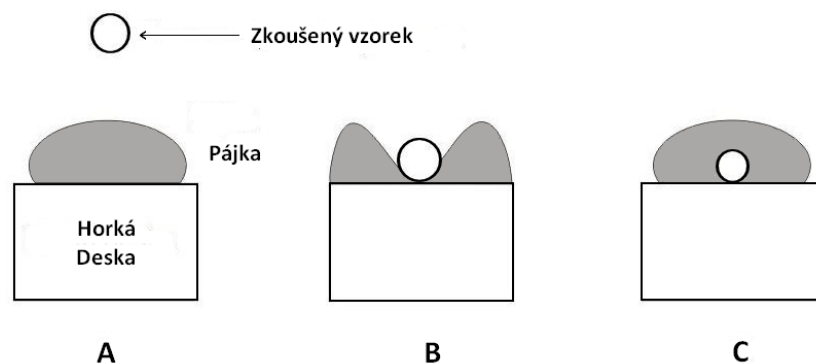
Obr. 1.6 Metoda smáčecích vah [1]

Metoda smáčecích vah slouží k analýze a určení pájitelnosti kontaktů součástek. Stejně jako ponořovací test je tato metoda použitelná pro měření pájitelnosti substrátů. Zařízení pro měření smáčecích sil se nazývá meniskograf a se skládá ze dvou základních částí: siloměru a pohyblivé nádoby na pájku, která je napojena na krokový motor. Princip činnosti zobrazuje *Obr. 1.6*. Testovaná součástka, její kontakt nebo substrát se pevně zavěsí na siloměr nad nádobu s roztavenou pájkou. Nádoba s roztavenou pájkou začne stoupat a kontakt se ponoří do pájky. Během průniku součástky do pájky siloměr zaznamenává síly působící na kontakt. Poté začne nádoba s pájkou klesat a siloměr opět zaznamenává sílu působící na kontakt. Po celou dobu procesu jsou teploty, čas a síly zaznamenávány a následně se z nich sestaví graf působící síly v čase. Podle výsledných charakteristik lze snadno určit pájitelnost daného povrchu či kontaktu. Příklady různých charakteristik jsou na *Obr. 1.7*. [3], [10] Celý test je definován v normách ČSN EN60068-2-69, ČSN 5791-2-54, ČSN EN ISO 12224-3 A ČSN EN ISO 9455-16 [1].



*Obr. 1.7 různé průběhy smáčecí síly [1]*

### 1.4.3 Kuličkový test



*Obr. 1.8 kuličkový test [1]*

Při kuličkovém testu (*Obr. 1.8*) se nejprve pájka zahřeje na teplotu mírně vyšší než je její teplota tavení. Nad tuto roztavenou pájku se umístí testovaný vývod či kontakt. Část vývodu

(drát) se ponoří do roztavené pájky, ta zůstane rozpůlená, dokud se vlivem smáčení nespojí zpět do původní kuličky. Měří se doba, za kterou se pájka vlivem smáčení vrátí do původního stavu. Pomocí této doby lze určit pájitelnost kontaktů součástek. Tento test se nejvíce uplatňuje na součástky se širšími vývody, není však vhodná pro měření malých a blízko sebe umístěných vývodů. [1], [11]

#### 1.4.4 Test roztékavosti

Test roztékavosti (*Obr 1.9*) slouží k určení aktivity tavidla. Předem známe množství pájky, o průměru  $D$ , se nanese na měděnou destičku opatřenou tavidlem. Poté se destička s tavidlem a pájkou přetaví. Plocha, kterou pokryje roztavená pájka je funkcí aktivity tavidla nebo pájitelnosti dané pájky. Po změření výšky  $H$  po přetavení se poměrná smáčivost pájky vypočítá podle vztahu (1.1). [1],[12]

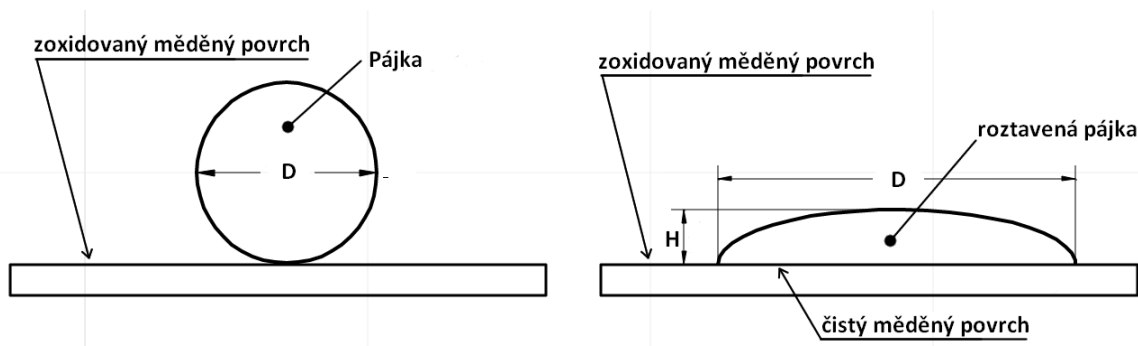
$$\text{Poměrná smáčivost (\%)} = \frac{D - H}{D} \times 100 \quad (1.1)$$

Kde

$D$ .....je průměr, v mm, když se pájka považuje za kouli,  $D = 1,24 \times V^{1/3}$

$H$ .....je výška roztečené pájky, v mm

Pokud není tavidlo dostatečně aktivní a neodstraní oxidy nedojde pak ke smáčení a kulička pájky si zachová původní tvar tzn. výška po přetavení bude stejná jako průměr kuličky před přetavením. Čím více bude tavidlo aktivní, tím menší bude výška pájky po přetavení. [1],[12] Test roztékavosti upravují normy ČSN EN 29455-5 a ČSN EN ISO 9455-10. [1]



*Obr. 1.9 Test roztékavosti [1]*

## 2 Pájecí Tavidla

Tavidlo je velmi důležitou součástí pájecího procesu. Jeho smysl spočívá v redukci oxidové vrstvy na povrchu pájených předmětů. Musí povrch dobře smáčet, chránit již očištěný kov a pájku proti další oxidaci a musí být tak viskózní, aby napomáhalo roztékání pájky. Povrchové napětí pájky je ovlivněno tavidlem a tím je ovlivněno i zatékání pájky a vznik můstků a krápníků. S ohledem na požadovanou spolehlivost a stálost vlastností zapájených dílů elektronických zařízení, hodnotíme tavidla nejen z pohledu pájeného spoje, ale i z možného ohrožení budoucí funkce elektronického zařízení. Korozně aktivní a vodivé zbytky tavidel a jejich reakčních produktů jsou nežádoucí. Umytí těchto zbytků může být tedy nezbytné a s ohledem na hygienické a ekologické požadavky může být nákladné a nesnadné. Ideální tavidlo je vysoce aktivní za pájecích teplot a nečinné za normálních teplot, aby nebylo nutné jeho odstranění po dokončení procesu pájení. Takové ideální tavidlo však neexistuje. Reálné tavidlo je kompromisem mezi aktivním za pájecích teplot a nečinným za provozních teplot. [1], [2], [13]

Tavidlo volíme zejména s ohledem na [14]:

- pájitelnost součástek a DPS
- způsob nanášení
- vlastnosti pájecího zařízení i technologii pájení
- snadnou odstranitelnost zbytků po pájení (pokud budeme čistit)
- nekorozivní zbytky se stabilním a vysokým SIR i ve vlhkosti po klimatických zkouškách (nebudeme-li čistit)
- minimální zbytky po pájení pro splnění náročných vzhledových kritérií
- testování



## 2.1 Rozdělení tavidel

Tavidla se rozdělují na 3 základní typy. Toto základní rozdělení dle normy ČSN EN 29454 zobrazuje tabulka *Tab. 2.I*. Rozdělení dle normy EN 61190-1 pak zobrazuje tabulka *Tab. 2.II*.

- Pyskyřičná
- Organická
- Anorganická

Dále můžeme tavidla rozdělit podle použitého rozpouštědla na dvě základní kategorie

- Rozpustná ve vodě
- Rozpustná v rozpouštědle



*Obr. 2.1 Kalafuna*

*(Převzato z [http://et-pocitacovesystemy.wz.cz/elektronicke\\_pristroje/kalafuna.jpg](http://et-pocitacovesystemy.wz.cz/elektronicke_pristroje/kalafuna.jpg))*

Tab. 2.1 Rozdělení tavidel dle normy ČSN EN 29454 [15]

Klasifikace tavidla			Kód
Typ tavidla	Základ tavidla	Aktivace tavidla	
1. Pryskyřičná	1. Kalafuna	1. Bez aktivátoru	1.1.1
	2. Nekalafunová pryskyřice	2. Halogeny	1.2.1
		3. Nehalogenové aktivátory	1.1.2
			1.2.2
			1.1.3
			1.2.3
2. Organická	1. Vodou ředitelná	1. Bez aktivátoru	2.1.2
	2. Vodou neředitelná	2. Halogeny	2.1.3
		3. Nehalogenové aktivátory	2.2.2
			2.2.3
			3. Anorganická
2. Bez chloridu amonného	3.1.2		
2. Kyseliny	1. Kyselina fosforečná	3.2.1	
	2. Jiná kyselina	3.2.2	
3. Alkálie	1. Aminy nebo amoniak	3.3.1	

Tab. 2.II Rozdělení a značení tavidel dle normy ČSN EN 61190-1-1 [16]

Materiál pro stavbu tavidel	Aktivní látka (váha % halogenidu) <sup>1</sup>		IEC označení tavidel	ISO označení tavidel
Kalafuna (RO)	Málo <0,01	L0	ROL0	1.1.1
	Málo <0,15	L1	ROL1	1.1.2.W, 1.1.2.X
	Mírně 0	M0	ROM0	1.1.3.W
	Mírně 0,5 - 2,0	M1	ROM1	1.1.2.Y, 1.1.1.Z
	Velmi 0	H0	ROH0	1.1.3.X
	Velmi >2,0	H1	ROH1	1.1.2.Z
Pryskyřice (RE)	Málo <0,01	L0	REL0	1.2.1
	Málo <0,15	L1	REL1	1.2.2.W, 1.2.2.X
	Mírně 0	M0	REM0	1.2.3.W
	Mírně 0,5 - 2,0	M1	REM1	1.2.2.Y, 1.2.2.Z
	Velmi 0	H0	REH0	1.2.3.X
	Velmi >2,0	H1	REH1	1.2.2.Z
Organické látky (OR)	Málo <0,01	L0	ORL0	2.1., 2.2.3.E
	Málo <0,15	L1	ORL1	-
	Mírně 0	M0	ORM0	-
	Mírně 0,5 - 2,0	M1	ORM1	2.1.2, 2.2.2
	Velmi 0	H0	ORH0	2.2.3.0
	Velmi >2,0	H1	ORH1	2.2.2
Anorganické látky (IN)	Málo <0,01	L0	INL0	Anorganická tavidla jsou dle ISO normy různá
	Málo <0,15	L1	INL1	
	Mírně 0	M0	INM0	
	Mírně 0,5 - 2,0	M1	INM1	
	Velmi 0	H0	INH0	
	Velmi >2,0	H1	INH1	

<sup>1</sup> 0 a 1 označují zda je v tavidle přítomen halogenid

L - Low - nízký obsah

M - Moderate - mírná aktivita tavidla

H - High - vysoká aktivita tavidla

### 2.1.1 Pryskyřičná tavidla na bázi kalafuny

Pryskyřičná tavidla známé jako kalafunová tavidla patří k nejrozšířenějším. Jsou to tavidla na bázi borovicové pryskyřice (*Obr 2.1*). Tato pryskyřice používaná na výrobu kalafun se získává z kmene borovice. Destilací se z této balzámové pryskyřice oddělí terpentýnový olej a ostatní složky: pryskyřice, kyseliny a voda jsou zahřívány, dokud se voda zcela nevypáří. Nečistoty ve směsi se usadí na dně nádoby a čistá pryskyřice může být velmi snadno odsáta. Kalafuna sama o sobě je velmi slabé činidlo, proto se do ní přidávají různé přísady pro zvýšení aktivity tavidla. Podle množství přidaného aktivátoru se kalafunová tavidla označují:

- R - (Rosin) Neaktivovaná tavidla
- RMA - (Rosin midly activated) středně aktivovaná
- RA - (Rosin activated) silně aktivovaná
- RSA - (Rosin strongly activated) – velmi silně aktivovaná

Jedna z nejpoužívanějších aktivních přísad je kyselina abietová, která je aktivní pouze pokud je kalafuna v roztaveném stavu tj. v rozmezí teplot 120°C – 300°C. Při tavení kalafuny důležité nepřekračovat teplotu 300°C kdy kalafuna začíná uhelnatět a tavidlo se začíná rozkládat. Kalafuna je vzhledem netečnosti při chladnutí nejčastěji používána v elektrotechnickém průmyslu a je také nekorozivní a nevodivá. [1],[13]

#### **Pryskyřičná tavidla – typ R**

Tavidlo typu R je neaktivované tavidlo složeno z čisté z bílé pryskyřice (kalafuny) rozpuštěné v lihovém ředidle. Toto tavidlo má nejnižší aktivitu. Vzhledem ke své relativně slabé čisticí schopnosti je vhodné pouze pro použití na vysoce pájitelné povrchy. Je použitelné jako čistič zlatých povrchů, ale není vhodné pro čištění měděných, cínových a cín-olovnatých povrchů, protože na ně nepůsobí dosti agresivně. Jelikož je tavidlo typu R při pokojové teplotě dokonale netečné, není třeba jej po ukončení pájení odstraňovat. Dříve se kalafunou potahovaly desky plošných spojů pro zachování pájitelnosti během skladování. [1],[13]

#### **Pryskyřičná tavidla – typ RMA**

Středně aktivovaná tavidla RMA jsou kalafunová tavidla, která dosahují zvýšení aktivity přidáním malého množství vhodných organických směsí. Jako aktivátory v těchto směsích se užívají aminohydrochloridy, polybazické uhlíkové kyseliny a organické halogenidy. To jak,

mají být směsi užívány normy převážně neudávají, udávají spíše chemické a elektrické testy jaké musí tavidlo splňovat. Pro malé množství aktivátorů vykazují RMA tavidla nízkou aktivitu a jsou vhodná pro použití se snadno pájitelnými materiály, jako jsou např.: měď, cín a zlato. Zbytek tavidla po pájení je považován za netečný – nevodivý a nekorozivní, jeho odstranění je tedy volitelné. Zbytky lze snadno odstranit vhodným rozpouštědlem, avšak ne vždy je odstranění zbytku ku prospěchu. Aktivátor vázaný v pryskyřici zpomaluje proces koroze, pokud rozptýlen procesem čištění na povrch desky může korozi urychlit. [1],[13]

### **Pryskyřičná tavidla – typ RA**

Silně aktivovaná tavidla RA obsahují agresivnější příměsi, než ty, které obsahují tavidla RMA. Tyto tavidla jsou neaktivnější a nejsilnější z kalafunových tavidel. Jejich chemické složení, stejně jako u RMA, není dáno normou, ale norma udává jaké elektrické a chemické vlastnosti musí tavidlo splňovat. Tyto tavidla jsou vhodná pro pájení kovů, které nelze ihned pájet s tavidly typu R a RMA. Urychleně smáčí snadno pájitelné kovy a tím snižuje počet defektů v pájecím procesu. Vzhledem ke své zvýšené aktivitě je nutné zbytky tavidla typu RA po dokončení pájení zcela odstranit. Zbytky na povrchu desky podporují dlouhodobou korozi, především při použití desky ve vlhkém prostředí. Zbytky tavidla lze odstranit pomocí vhodného rozpouštěla např. alkoholem. [1],[13]

### **Pryskyřičná tavidla - typ RSA**

Velmi silně aktivované tavidlo RSA je pro svoji zvýšenou úroveň aktivity využíváno více než tavidlo typu RA. Jelikož je tavidlo vysoce aktivní je po dokončení pájecího procesu nutné odstranit veškeré jeho zbytky. [1],[13]

### **2.1.2 Syntetická tavidla (SA)**

Tavidla na pryskyřičné bázi jsou přírodní produkt, jenž nesplňuje všechny požadavky. Správné složení pryskyřice se mění podle místa, ze kterého pryskyřice pochází, odkud byly získány a na předešlých klimatických podmínkách, proto není snadné získávat pryskyřici s neměnicími se vlastnostmi. Pryskyřice také během pájecího procesu polymerizuje a zanechává zbytky, které se obtížně odstraňují. Snahou eliminovat tyto problémy byla vyvinuta syntetická tavidla. [1],[13]

Jejich vývoj začal ke konci sedmdesátých let se snahou eliminovat problémy s pryskyřičnými tavidly. Synteticky aktivovaná tavidla (SA) se skládají z mono- a di-isooktylu fosfátových směsí prokombinovaných s různými příměsemi, které slouží ke zlepšení aktivity tavidla a k usnadnění odstraňování zbytků. SA tavidla mají velmi podobné stupně aktivity jako tavidla z organických kyselin, méně však způsobují iontové znečištění. Syntetická tavidla jsou vhodná pro aplikaci při pájení vlnou a v pájecích pastách. Jejich složení může podléhat přísné kontrole. [1],[13]

### 2.1.3 Organická tavidla

Organické (meziproduktové) tavidla jsou různé organické sloučeniny především kyseliny, např.: kyselina citronová. Tyto tavidla se prokazují velmi vysokou aktivitou, vyšší než většina pryskyřičných tavidel. Při použití organických tavidel je nutné dbát na dodržení teplotních omezení během pájecího procesu, jinak by mohlo dojít k rozkladu tavidla. Nejčastější využití nacházejí v pájení vlnou, kde se pájí součástky s různou pájitelností. Zbytky těchto tavidel je nutné odstranit co nejdříve po dokončení pájecího procesu. Jelikož jsou ve vodě rozpustná je jejich odstranění velmi jednoduché bez použití rozpouštědel jen za pomoci vody. [1],[13]

### 2.1.4 Anorganická tavidla

Anorganická tavidla jsou tvořena z anorganických kyselin nebo solí, jakou jsou dusičnany nebo kyselina dusičná. Užívají se především na těžce pájitelné kovové slitiny a nerezové oceli. Pro užití v elektronice nejsou vhodné. Při nesprávném užití mohou poškodit části zařízení. Musí být používány šetrně, aby se předešlo poškození a korozi. Veškeré zbytky musí být ihned po dokončení pájení odstraněny. [17]

### 2.1.5 Plynná tavidla

Základem plynného tavidla jsou směsi dusíku a vodíku. Podíl vodíku v těchto směsích je minoritní pouze 3 % až 8%. Oxidy se při zvýšení teploty částečně rozpouštějí v dusíku a zcela se redukuje ve vodíku. Pro užívání plynných tavidel je nutné do pájecího procesu zavést kompletní plynové hospodářství včetně utěsnění pájecího zařízení. Plynná tavidla jsou obzvláště vhodná pro bezolovnaté pájky. Uplatňují se při pájení přetavením nebo vlnou a především při propojování součástek technologií flip-chip. [2]

### 2.1.6 Tavidla bez čištění

Snaha k odstranění čistícího procesu po pájení vedla k zavedení tavidel bez čištění tzv. bezoplachových, také označovaných jako „no-clean”. Hlavním důvodem k zavedení je úspora financí. Čištění rozpouštědly nebo čistícími přípravky na bázi vody vyžaduje náročný samostatně řízený proces a především soustavu čistících trysek a komor. Cena rozpouštědel se stále zvyšuje a v některých případech jsou zakázána, kvůli svým špatným vlivům na životní prostředí. [1]

Křehké vývody pouzder, především s malou roztečí, lze snadno poškodit vysokotlakými tryskami. Uvádí se, že je výhodnější ponechat zbytky inertního tavidla na desce. Spolehlivost výrobků se totiž těmito zbytky nijak nezhorší, ba naopak se může zlepšit vlivem povlaku neaktivních pevných látek kolem pájených spojů. Tento povlak zapouzdří aktivátor a zabrání absorpci vlhkosti, která jinak může podporovat korozi spojů desky nebo proudový svod. [1]

Mezi bezoplachovými tavidly a tavidly, která se z desek odstraňují, není velký rozdíl. Tavidlo lze nazvat bezoplachovým, splňuje-li následující podmínky:

- nesmí zanechávat korozivní zbytky
- musí zajišťovat vynikající pájitelnost
- Musí umožnit přístup měřících jehel na testované plošky
- nesmí zanechávat korozivní zbytky
- nesmí zhoršovat stav pájecího zařízení
- musí vyhovět předpisům

Reaktivní prvky z desky je nutné izolovat, aby zbytky tavidla nemohly reagovat nebo korodovat. Pevná část tavidla obsahuje netěkavé látky, jež mohou obsahovat organické kyseliny, které jsou reaktivními prvky způsobující korozi. Běžné tavidlo obsahuje až 40% těchto pevných látek, u bezoplachových tavidel je obsah pevných látek snížen na 1-5%. Aktivátory v těchto tavidlech nejsou halogenidy, ale kyselina karbonová nebo dikarbonová. Některé mohou obsahovat pouze mastné kyseliny a aminokyseliny, které se vypaří během pájecího procesu. Nevýhodou při použití těchto tavidel je, že při přehřívání desky se odpařuje větší množství páry a tu je nutné odsávat a následně zlikvidovat. Chování zbytků tavidla na desce plošných spojů je třeba po dokončení pájení kontrolovat. Především desky určené

do náročných podmínek, kde nemusí být izolační vlastnosti zbytků dostačující. Také vzhled zbytků po pájení nemusí vyhovovat, a tak se i některé desky při použití těchto tavidel čistí. [1]

## **2.2 Účinnost tavidla**

Účinnost tavidla vyjadřuje míru je schopnosti podpořit smáčivost povrchů určených k pájení. Je kombinací aktivity tavidla tj. vlastnost čistit povrch a jeho stability tj. čas, během kterého udržuje aktivitu za pájecích teplot. Účinnost jednotlivých tavidel závisí na specifické pájecí metodě např. vysoce aktivní tavidlo se rychle rozpadne a je tedy vhodné pro pájení vlnou, které trvá jen několik sekund, ale není vhodné pro pomalé pájení přetavením. [1]

Míra aktivity tavidla je nazývána číslo kyselosti, které vyjadřuje počet miligramů hydroxidu draselného potřebného pro neutralizaci volných kyselin v 1 gramu tavidla za daných podmínek. Tento test je limitovaný, protože tavidla s různou aktivitou mohou mít podobná čísla kyselosti. [1]



### 3 Testování aktivity tavidel

Zakázání užívání olovnatých pájek vedlo k vývoji nových bezolovnatých pájek. Dnes je na trhu k dispozici celá řada bezolovnatých pájek. Jednotlivé pájecí slitiny jsou popsány v kapitole 1.3. Nejvyužívanější pájecí slitiny jsou SAC pájky. Tyto pájky mají řadu výhod, avšak i některé nevýhody, jako je špatná smáčivost. Špatná smáčivost pájky se dá velmi snadno zlepšit aplikací vhodného tavidla. SAC pájky jsou tedy bez tavidel velmi špatně pájitelné. Hlavním úkolem tavidla je zlepšit smáčení, odstranit oxidy a jiné nečistoty z povrchu a prevence opětovné oxidace během procesu pájení. Tavidlo také může zlepšit přenos tepla.

Cílem tohoto experimentu je prozkoumat aktivitu čtyř různých tavidel na měděném substrátu. Aktivita těchto tavidel bude vyhodnocena dle velikosti smáčecích úhlů.

#### 3.1 Testované materiály a vzorky:

##### Pájka

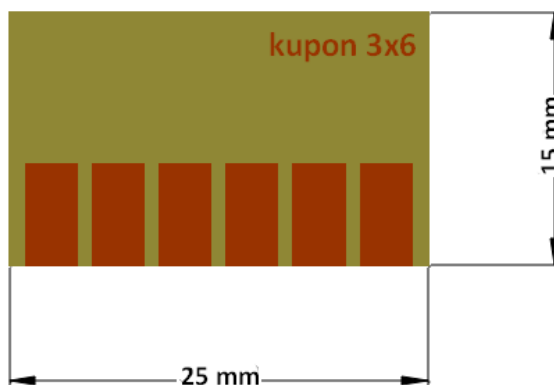
V testu byly použity kuličky pájky, od výrobce ECS TOOLS s.r.o, o průměru 500  $\mu\text{m}$  z bezolovnaté SAC pájky složené z Sn96,5/Ag3/Cu0,5.



*Obr. 3.1 Kuličky SAC pájky*

## Cu destičky

Jako testovací destičky byly zvoleny Cu kupony, kde na každém kuponu je 6 měděných pájecích plošek o rozměrech 3x6 mm (Obr 3.2).



Obr. 3.2 měděný kupon 3x6

### Tavidlo: 8F5E-P – vzorek č. 1

8F5E-P je pájecí tavidlo ve formě pasty od tchajwanského výrobce SHENMAO. Má nízký obsah aktivátorů, je mírně aktivované, označované jako ROL1. Tavidlo se skládá z 60% kalafuny, z 10% vosku, z 20% rozpouštědel a obsahuje 10% přísad. Obsah aktivátorů a přesné složení výrobce neudává. Doporučená pájecí teplota je  $>200$  °C. Tavidlo je po dokončení pájení nutné odstranit vhodnými prostředky např. acetonovým roztokem nebo izopropylalkoholem.

### Tavidlo: SM-816 – vzorek č. 2

SM-816 je tekuté bezoplachové tavidlo od tchajwanského výrobce SHENMAO. Je mírně aktivované s nízkým obsahem aktivátorů, označované jako ROL1. Tavidlo obsahuje 3,5 % pevných látek, přesné složení tavidla je výrobním tajemstvím výrobce. Doporučená pájecí teplota je 260 °C.

### Tavidlo: 2H828-P3 – vzorek č. 3

2H828-P3 je tavidlo od tchajwanského výrobce SHENMAO dodávané ve formě pasty. Jedná se o mírně aktivované tavidlo s velmi nízkým obsahem aktivátorů, označované ROL0. Tavidlo obsahuje 60% kalafuny, 10% vosku, 20% rozpouštědel a 10% přísad. Přesné složení však výrobce neudává. Doporučená pájecí teplota je  $>200$  °C. Tavidlo není bezoplachové tudíž je nutné jej po dokončení pájecího procesu odstranit vhodnými prostředky.

**Tavidlo: SMF-2 – vzorek č. 4**

SMF-2 je bezoplachové tavidlo od tchajwanského výrobce SHENMAO. Je dodávané ve formě pasty. Je velmi mírně aktivované s obsahem aktivátorů <0,01% označení ROL0. Doporučená pájecí teplota je 220°C.



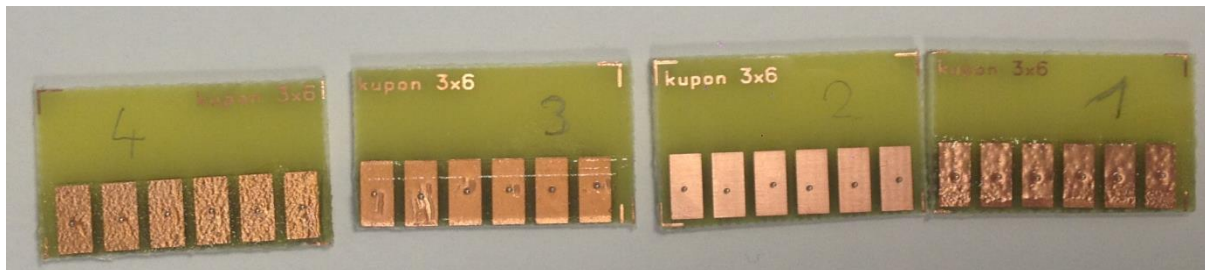
Obr. 3.3 Testované tavidlo č. 4

**3.2 Použité přístroje**

- Pájecí pec Asconn QUICKY 300
- Mikroskop Olympus SZX10
- Mikrometr

### 3.3 Test roztékavosti

Celý test roztékavosti byl proveden podle normy ČSN ISO 9455-10 [18]. Zkušební měděné kupony byly nejdříve důkladně očištěny a odmaštěny izopropylalkoholem. Na očištěné kupony byly pomocí šablonového tisku nanesené vzorky tavidel č. 1, č. 3 a č. 4 tekuté tavidlo č. 2 bylo vzhledem ke své konzistenci aplikované pomocí mikropipety. Po nanesení tavidel byly do středu pájecích plošek umístěny kuličky SAC pájky o průměru 500  $\mu\text{m}$ . Na každou pájecí plošku jedna kulička. Kupony s nanesenými tavidly a kuličkami pájky zobrazuje *Obr 3.4*.



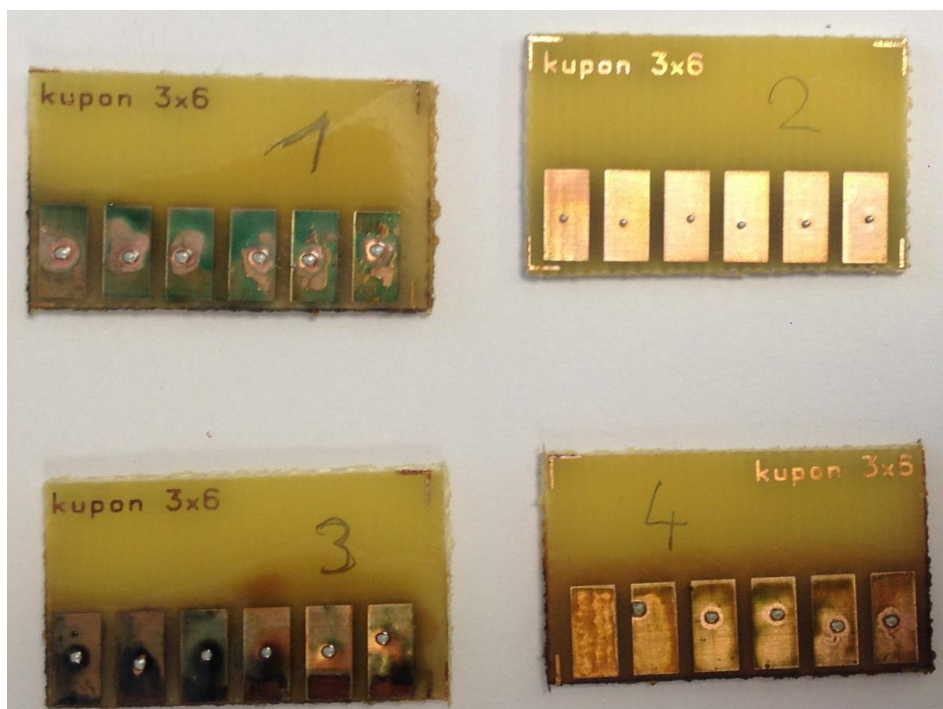
*Obr. 3.4 Měděné kupony s nanesenými tavidly a kuličkami pájky*

Po aplikaci tavidel a kuliček pájky se kupony umístily do pájecí pece Asconn QUICKY 300, kde byly pájeny přetavením – pomocí horkých par. Proces pájení probíhal 20 minut a pájecí teplota dosáhla 230  $^{\circ}\text{C}$ .



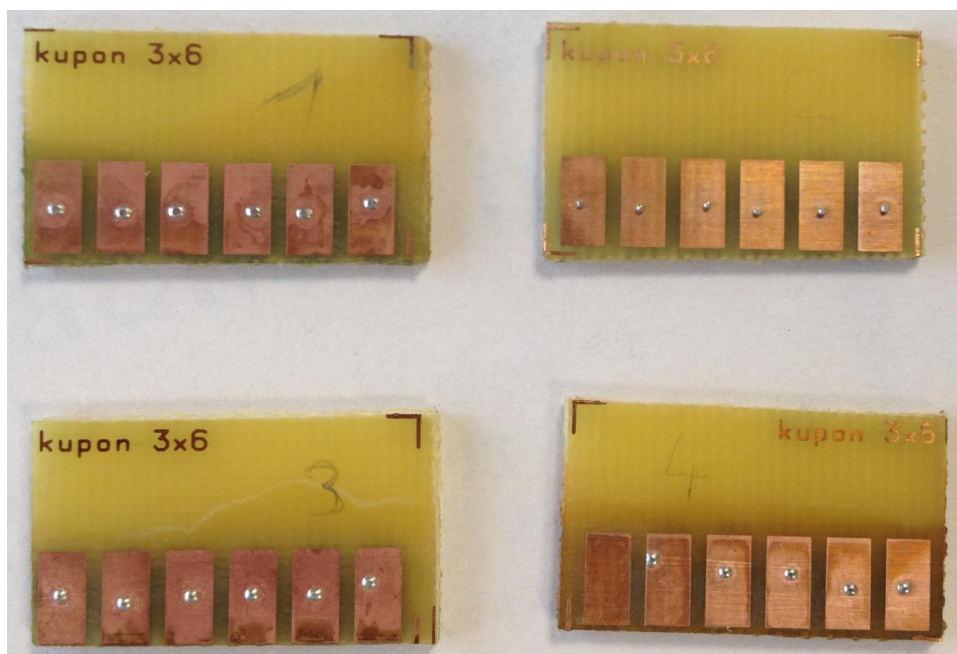
*Obr. 3.5 Pájecí pec pro pájení pomocí horkých par*

Po dokončení procesu pájení se destičky nechaly vychladnout na pokojovou teplotu. Neočištěné přetavené kupony zobrazuje Obr. 3.6.



Obr. 3.6 Neočištěné kupony po vyjmutí z pájecí pece

Po zchladnutí byli důkladně očištěny izopropylalkoholem. Kupony připravené pro analýzu zobrazuje Obr. 3.7.



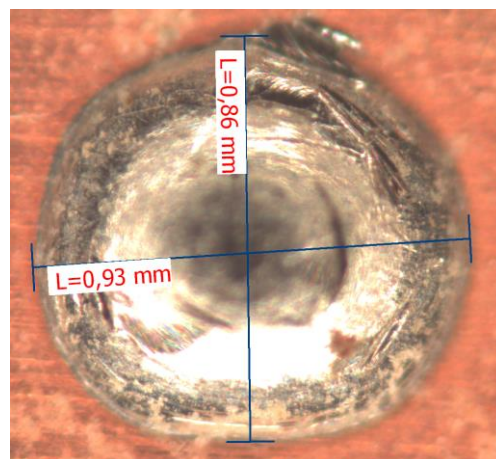
Obr. 3.7 Očištěné kupony připravené k analýze

Přetavené a očištěné kupony byly analyzovány na mikroskopickém pracovišti pomocí mikroskopu Olympus SZX10. Mikroskopické pracoviště zobrazuje *Obr. 3.8*.



*Obr. 3.8 Mikroskopické pracoviště s mikroskopem Olympus SZX10*

Výška rozteklé pájky  $H$  byla měřena mikrometrem a průměr  $D$  rozteklé pájky byl měřen pod mikroskopem ve dvou osách  $D_x$  a  $D_y$  výsledný průměr  $D$  je jejich průměrem, přičemž  $\Delta D$  je pak aritmetickým průměrem ze všech šesti průměrů  $D$  na jednotlivých kuponech a  $\Delta H$  je pak aritmetickým průměrem všech šesti výšek naměřených na jednotlivých kuponech.



*Obr. 3.9 Princip měření průměru  $D$*

### 3.4 Naměřené hodnoty

Tab. 3.I Naměřené hodnoty

Vzorek č. 1						
Tavidlo: 8F5E-P			typ: ROL1			
	1	2	3	4	5	6
Dx [mm]	1,09	1,09	1,09	1,08	1,05	1,06
Dy [mm]	0,8	0,87	0,88	0,8	0,84	0,85
D [mm]	0,945	0,980	0,985	0,940	0,945	0,955
H [mm]	0,153	0,154	0,153	0,157	0,156	0,155
Vzorek č. 2						
Tavidlo: SM-816			typ: ROL1			
	1	2	3	4	5	6
Dx [mm]	0,5	0,55	0,5	0,5	0,51	0,5
Dy [mm]	0,49	0,49	0,5	0,56	0,51	0,57
D [mm]	0,495	0,520	0,500	0,530	0,510	0,535
H [mm]	0,339	0,41	0,357	0,4141	0,369	0,396
Vzorek č. 3						
Tavidlo: 2H828-P3			typ: ROL0			
	1	2	3	4	5	6
Dx [mm]	0,93	0,92	0,89	0,89	1	0,98
Dy [mm]	0,86	0,86	0,85	0,88	0,8	0,83
D [mm]	0,895	0,890	0,870	0,885	0,900	0,905
H [mm]	0,202	0,187	0,188	0,193	0,18	0,178
Vzorek č. 4						
Tavidlo: 2H828-P3			typ: ROL0			
	1	2	3	4	5	6
Dx [mm]	0,89	0,87	0,91	0,89	0,97	0,98
Dy [mm]	1,04	0,81	0,78	0,79	0,81	0,8
D [mm]	0,965	0,840	0,845	0,840	0,890	0,890
H [mm]	0,256	0,18	0,166	0,176	0,169	0,174

### 3.5 Vypočtené hodnoty

Poměr roztékavosti (%) vychází ze vztahu:

$$\text{Poměr roztékavosti (\%)} = \frac{D - H}{D} \times 100 \quad (3.1)$$

Kde:

D.....je průměr, v mm,

H.....je výška roztečené pájky, v mm

Smáčecí úhel  $\theta$  se vypočte podle vztahu:

$$\sin\theta = \frac{2 \times H \times R}{H^2 + R^2} [^\circ] \quad (3.2)$$

Kde:

H.....je výška roztečené pájky, v mm

R.....je poloměr roztečené pájky, v mm



Tab. 3.II vypočtené hodnoty

Vzorek č. 1	
Tavidlo: 8F5E-P	typ: ROL1
$\Delta D$ [mm]	0,958
$\Delta R$ [mm]	0,479
$\Delta H$ [mm]	0,155
Poměr roztékavosti [%]	69,07
$\theta$ [°]	35,86

Vzorek č. 2	
Tavidlo: SM-816	typ: ROL1
$\Delta D$ [mm]	0,515
$\Delta R$ [mm]	0,2575
$\Delta H$ [mm]	0,381
Poměr roztékavosti [%]	23,83
$\theta$ [°]	68

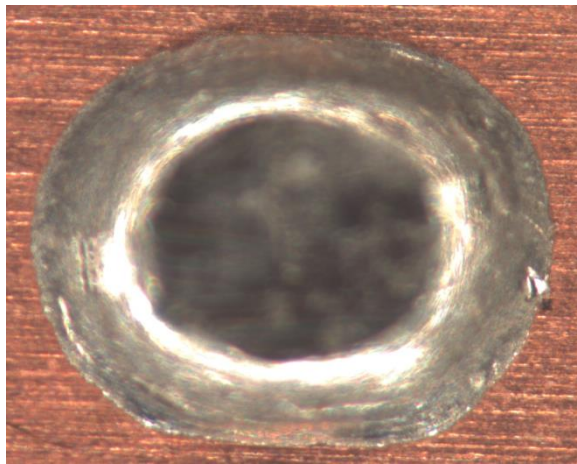
Vzorek č. 3	
Tavidlo: 2H828-P3	typ: ROL0
$\Delta D$ [mm]	0,891
$\Delta R$ [mm]	0,445
$\Delta H$ [mm]	0,188
Poměr roztékavosti [%]	62,4
$\theta$ [°]	45,8

Vzorek č. 4	
Tavidlo: 8F5E-P	typ: ROL0
$\Delta D$ [mm]	0,878
$\Delta R$ [mm]	0,439
$\Delta H$ [mm]	0,187
Poměr roztékavosti [%]	62,633
$\theta$ [°]	46,14

### 3.6 Výsledky testu roztékavosti

#### Vzorek č. 1

Při použití tavidla 8F5E-P dosáhl průměr  $D$  roztavené pájky téměř dvojnásobku původního průměru pájky a to  $958 \mu\text{m}$ , její výška po přetavení byla nejnižší ze všech vzorků  $155 \mu\text{m}$ . Poměr roztékavosti pájky dosahuje téměř 70% a její smáčecí úhel je  $35,86^\circ$ . Toto tavidlo tedy bylo nejaktivnější ze všech vzorků a při užití toho tavidla pájka dostahuje dle *Tab. 1.1* dobré až velmi dobré smáčení. Na *Obr. 3.6* je patrné, že tavidlo způsobilo během procesu mírnou oxidaci, při užití tohoto tavidla je tedy nezbytné pájené spoje po dokončení pájení důkladně opláchnout vhodnými prostředky. Kupon po přetavení zobrazuje *Obr. 3.11* a kuličku pájky pak *Obr. 3.10*.



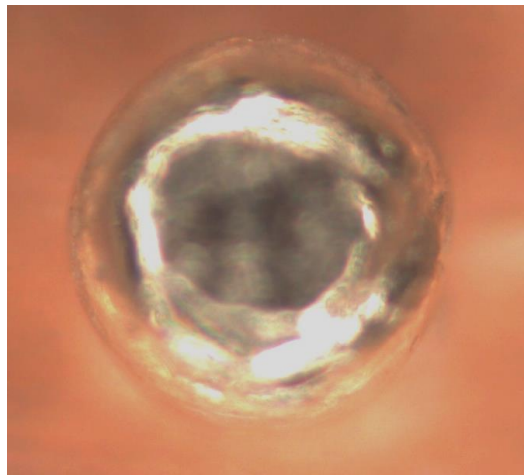
*Obr. 3.10 Detail pájky po přetavení při užití tavidla č. 1 64x zvětšený*



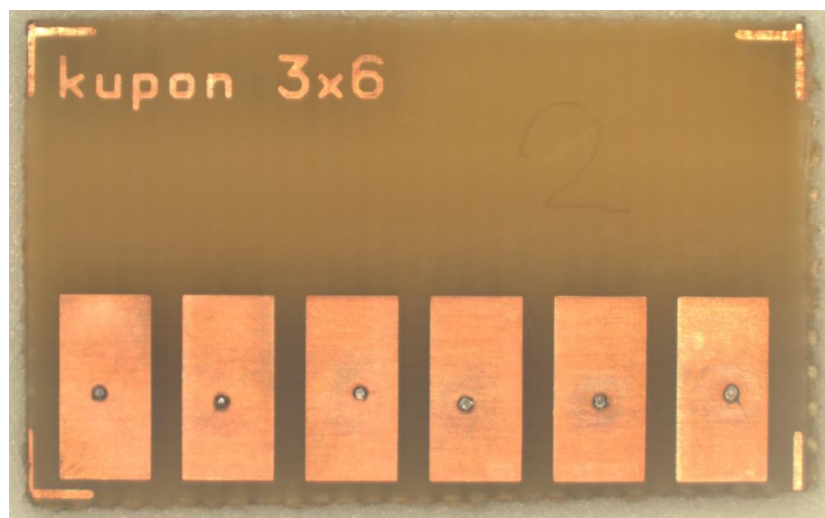
*Obr. 3.11 Kupon po přetavení s užitým tavidlem č. 1 zvětšený 47x*

**Vzorek č. 2**

Při užití tavidla SM-816 dosáhl průměr kuličky pájky D po přetavení pouze 515  $\mu\text{m}$  tj. pouze o 15  $\mu\text{m}$  více, než je původní průměr kuličky. Výška H po přetavení zůstala poměrně vysoká 318  $\mu\text{m}$ . Poměr roztékavosti pájky je vzhledem k malému průměru a vysoké výšce pouze 23,83 %. Jelikož nedošlo k téměř žádnému roztečení pájky, zůstal tak vysoký smáčecí úhel 63° a při užití tohoto tavidla dosáhla pájka dle *Tab. 1.1* velmi špatného smáčení. Špatné smáčení pájky je důsledkem toho, že se během pájecího nepodařilo dosáhnout výrobcem doporučenou pájecí teplotu 280 °C ale pouze 230°C a tudíž nedošlo k aktivaci tavidla, které tak nebylo dostatečně aktivní aby mohlo podpořit smáčení pájky. Na *Obr. 3.12* je patrné, že pájka po přetavení zachovala tvar kuličky. Při pájecím procesu je tedy, pro zachování kvality, nutné dodržovat správné postupy.



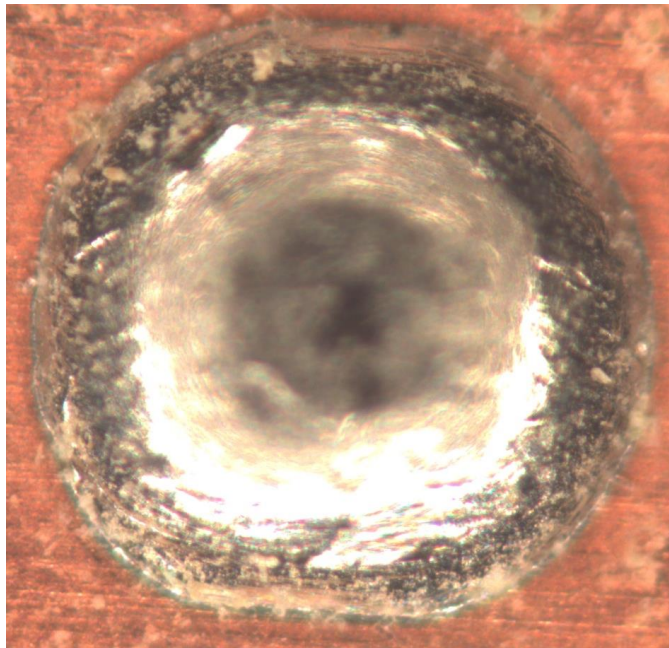
*Obr. 3.12 Detail pájky po přetavení při užití tavidla č. 2 64x zvětšený*



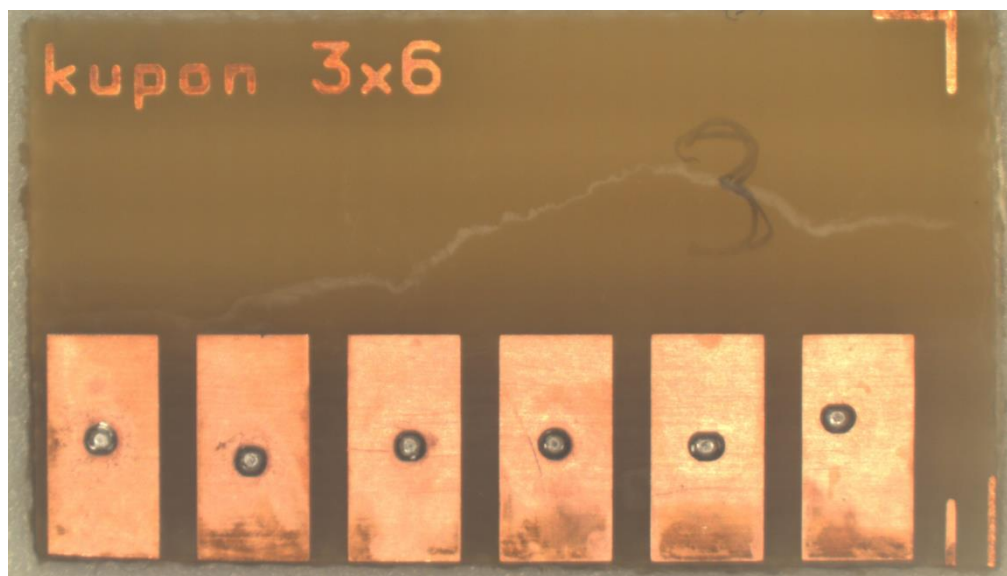
*Obr. 3.13 Kupon po přetavení s užitým tavidlem č. 2 zvětšený 47x*

**Vzorek č. 3**

Průměr kuličky pájky D při užití tavidla 2H828-P3 po přetavení je 891  $\mu\text{m}$  a její výška je 188  $\mu\text{m}$ . Poměr roztékavosti pájky při užití tohoto tavidla je 62,4 % a její smáčecí úhel je 45,8°. Pájka při použití toho tavidla dle tabulky *Tab. 1.1* o dosahuje postačujícího smáčení. Tavidlo tedy bylo dostatečně aktivní aby podpořilo smáčení, ale nižší poměr roztékavosti a větší smáčecí úhel pájky je dán malým obsahem přídatných aktivátorů v tavidlu. Detail kuličky pájky po přetavení je na *Obr. 3.14* a celý přetavený kupon na *Obr. 3.15*.



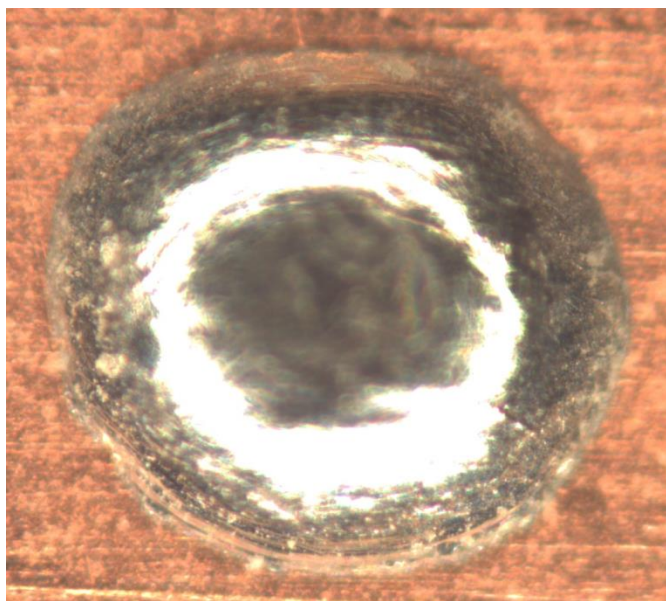
*Obr. 3.14 Detail pájky po přetavení při užití tavidla č. 3 64x zvětšený*



*Obr. 3.15 Kupon po přetavení s užitým tavidlem č. 3 zvětšený 47x*

**Vzorek č. 4.**

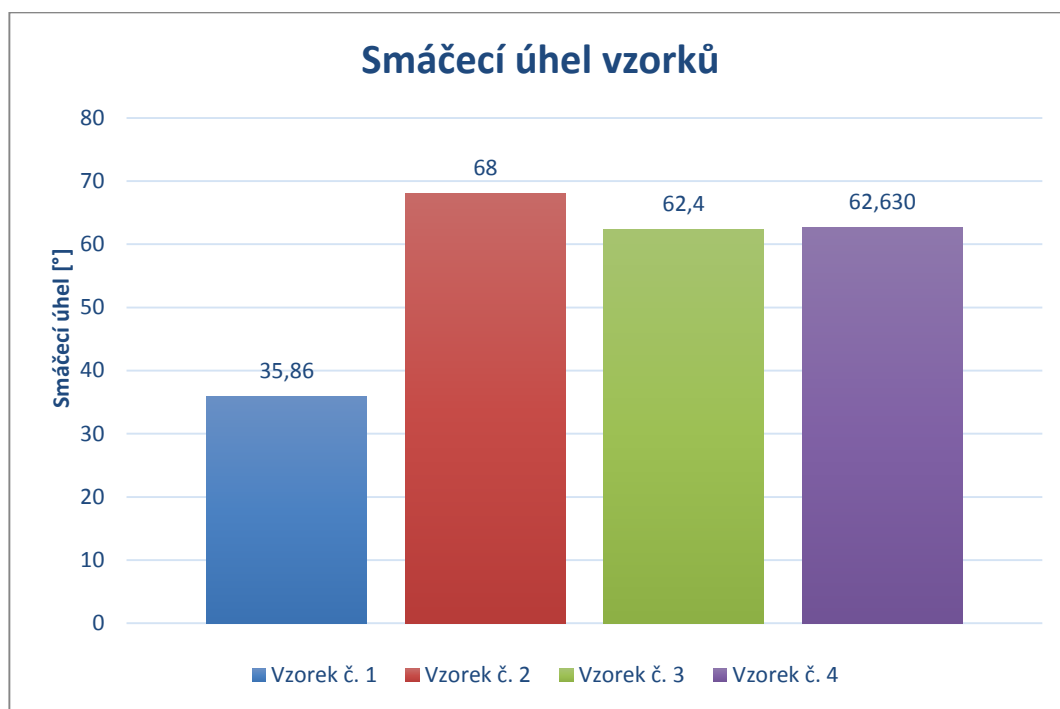
Velikost průměru  $D$  kuličky pájky po přetavení při užití tavidla SMF-2 je  $878 \mu\text{m}$  a výška této kuličky je  $187 \mu\text{m}$ . Přičemž poměr roztékavosti pájky dosáhl  $62,63 \%$  a její smáčecí úhel je  $46,16^\circ$ . Pájka tedy dle tabulky *Tab. 1.1* při užití tohoto tavidla dosahuje postačujícího smáčení. Vzorky č. 3 a č. 4 mají velmi podobné výsledky. Stejně jako tavidlo č. 3 obsahuje toto tavidlo velmi málo aktivátorů a pájka při užití tohoto tavidla dosahuje pouze postačující smáčivosti. Detail kuličky pájky po přetavení je na *Obr. 3.16* a celý přetavený kupon je na *Obr. 3.17*.



*Obr. 3.16* Detail pájky po přetavení při užití tavidla č. 4 64x zvětšený



*Obr. 3.17* Kupon po přetavení s užitým tavidlem č. 4 zvětšený 47x



Obr. 3.18 Graf zobrazující smáčecí úhel vzorků

Z tab. 1.1 vyplívá, že čím menší je smáčecí úhel tím lepší je smáčivost pájky a tím tavidlo vykazuje vyšší aktivitu. Na Obr. 3.18 je patrné, že nejvyšší smáčivost pájka dosahuje při užití tavidla č. 1, kdy smáčecí úhel pájky je 23,86°. Toto tavidlo bylo neaktivnější ze všech vzorků a pájka dosahuje velmi dobrou smáčivost díky nejvyššímu obsahu aktivátorů v tavidle. Naopak při užití tavidla č. 2 má pájka smáčecí úhel nejvyšší, i když tavidlo obsahuje stejně aktivátorů jako tavidlo č. 1, je smáčivost pájky nejhorší ze všech vzorků. To je však důsledek nízké teploty během pájecího procesu, teplota dosála 230 °C, při použití tohoto tavidla je, ale nutné pájet při teplotě 280 °C. Vzhledem k nízké pájecí teplotě nebylo tavidlo č. 2 dostatečně aktivní a nemohlo tak podpořit proces pájení. Smáčecí úhel pájky při užití tavidla č. 3 a č. 4 je téměř totožný, liší se pouze o desetiny. Obě dvě tavidla obsahují stejné množství přidaných aktivátorů a smáčivost pájky u obou dvou vzorků je téměř totožná. Vzhledem k nízkému obsahu aktivátorů a tedy nízké aktivitě tavidla dosahují tavidla č. 3 a č. 4 pouze postačující smáčivosti.

## Závěr

Pájecí proces prodělal v historii mnoho důležitých vývojových kroků. Jedním z nejdůležitějších kroků byl přechod z ručního pájení na pájení strojní. Tento krok výrazně urychlil výrobu a produkci elektronických zařízení a umožnil výrazné zrychlení vývoje těchto zařízení. Druhým důležitým krokem byl přechod z olovnatých pájek na pájky bezolovnaté. Tento přechod však nebyl jednoduchý. Bylo nutné vyvinout náhradu za olovnatou pájku, tento vývoj však byl časově i finančně velmi náročný a ani dnes nemůžeme stoprocentně říci, zda již byla náhrada za olovnatou pájku nalezena. Pro každou aplikaci a různé podmínky jsou vhodné jiné slitiny. V současné době jsou nejvyužívanější různé slitiny SAC pájek, které se hodí pro většinu aplikací a které se jeví jako vhodná náhrada olovnatých pájek. Důležitou roli v pájecím procesu mají i tavidla. Nejen, že podporují a zlepšují pájecí proces, ale mají i výrazný vliv na kvalitu a spolehlivost celého zařízení. Jelikož mnoho poruch v elektronických zařízeních vzniká právě v pájených spojkách, je volba a aplikace správného tavidla velmi důležitá. Bezoplachová tavidla dokáží pájený spoj ochránit proti následné oxidaci a korozi, což má velmi významný vliv na stálost a spolehlivost pájeného spoje. Naopak oplachové tavidlo sice podpoří proces pájení, ale pokud není po dokončení pájecího procesu odstraněno vhodnými prostředky, způsobí pak na spoji korozi a oxidaci, které velmi výrazně sníží životnost a spolehlivost spoje.

Na trhu je k dispozici velké množství tavidel, volba tavidla však není vůbec jednoduchá. Ne každé tavidlo je vhodné pro danou aplikaci. To se potvrdilo i v testu roztékavosti kdy při užití tavidla SM-816 (vzorek č. 2) skoro vůbec nedošlo k přetavení, pájka sice dosáhla tekutého stavu, ale pájecí teplota nebyla vhodná pro pájení s tímto tavidlem, to díky nevhodné pájecí teplotě. Tavidlo téměř vůbec nebylo aktivní a nedošlo tedy ke smáčení pájky. Naopak tavidla 8F5E-P (vzorek č. 1), 2H282-P30 (vzorek č. 3) a SMF-2 (vzorek č. 4), která jsou vhodná pro pájení při teplotě vyšší než 200 °C, velmi výrazně podpořila smáčení pájky. U tavidla 8F5E-P byl patrný vyšší obsah aktivátorů a pájka při užití tohoto tavidla dosáhla velmi dobré smáčivosti. Tavidla 2H282-P30 a SMF-2 mají nižší obsah aktivátorů, než má tavidlo 8F5E-P a smáčivost pájky při užití těchto tavidel je pouze dostačující. Na *Obr 3.5* je pak patrný rozdíl mezi oplachovými a bezoplachovými tavidly. Na kuponech č.1. a č.3. je patrná zelená barva což je mírná koroze, která vznikla během pájecího procesu, proto je nutné tyto kupony po přetavení důkladně očistit, jinak by výsledný pájený spoj byl nespolehlivý. Naopak kupony č. 2 a č. 3 mají jasnou měděnou barvu a není třeba je po dokončení pájení nijak očistit.

Zanechání tavidla na spoji je dokonce prospěšné. Tavidlo izoluje spoj od okolní atmosféry a chrání tak spoj od oxidace a vzniku koroze. To vede k větší spolehlivosti spoje a ve výsledku k vyšší spolehlivosti celého zařízení. Řada výrobců se tak snaží ve výrobě používat bezoplachová tavidla nejen proto, že vylepšují vlastnosti spoje, ale výrobce nemusí do výrobní linky aplikovat oplachové zařízení.

Tavidla a pájecí procesy jsou stále vyvíjeny a modernizovány a výrobci tak dosahují stále vyšší spolehlivosti zařízení. Na výslednou spolehlivost má vliv mnoho faktorů, ale zvolením vhodného pájecího procesu a jeho optimalizace pro vhodné pájky a tavidla lze spolehlivost výrazně zvýšit.



## Použitá literatura:

- [1] ABEL, Martin a Vladimír CIMBUREK. *Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi*. 1. vyd. Pardubice: ABE.TEC, 2005. ISBN 80-903597-0-1.
- [2] MACH, PAVEL, VLASTIMIL SKOČIL A JAN URBÁNEK. *MONTÁŽ V ELEKTROTECHNICE*. 1. VYD. PRAHA: ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02-02392-3.
- [3] HARANT, Petr a František STEINER. Testování pájitelnosti metodou smáčecích vah. *Electroscope*. 2007, č. 1, s. 5. ISSN: 1821-4564.
- [4] ABETEC S.R.O. SMTcentrum [online]. 2010 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/>
- [5] Ivan Szendiuch: *Pájení a bezolovnaté pájky*
- [6] MALINA, J.: *Problematika bezolovnatého pájení*. Diplomová práce. ZČU FEL 2006
- [7] WANG, Jianhui, Long WEN, Jianwei ZHOU a Myungkee CHUNG. *Mechanical properties and joint reliability improvement of Sn-Bi alloy*. Electronics Packaging Technology Conference. 2011, roč. 2011, č. 13. ISBN: 978-1-4577-1981-3.
- [8] KOKI COMPANY. *Guidance for lead-free soldering* [online]. [cit. 2014-02-26]. Dostupné z: <http://www.koki.org/Files/pdf/Tech/Guidance%20for%20lead%20free%20soldering.pdf>
- [9] HETSCHHEL, Thomas, Klaus-Jürgen WOLTER a Fritz PHILLIPP. Wettability Effects of Immersion Tin Final Finishes with Lead Free Solder. *Electronics System-Integration Technology Conferenc*. 2008, roč. 2008, č. 2. ISBN: 978-1-4244-2814-4.
- [10] M. J. RIZVI, C. BAILEY, Y. C. CHAN a H. LU. Comparative Wetting Behavior of Sn-0.7Cu and Sn-0.7Cu-0.3Ni Solders on Cu and Ni Substrates. *Electronics Systemintegration Technology Conference*. 2006, roč. 2006, č. 1. ISBN: 1-4244-0552-1.
- [11] DETERT, Markus, Thomas HERZOG, Klaus-Jürgen WOLTER a Thomas S ZERNA. Investigations on an Optimization of Lead-Free Solder Pastes using Wetting Tests, Solder Balling Tests, and Screen Printing Tests with Simulated Process Breaks. *Electronics Technology: Meeting the Challenges of Electronics Technology Progress*. 2005, roč. 2005, č. 28. ISBN: 0-7803-9325-2.
- [12] STEINER, František a Tomáš NOVÁK. The Area of Spread Solderability Test Use for Roughness Influence Assessment. *Electronics Technology (ISSE)*. 2010, roč. 2010, č. 33. ISBN: 978-1-4244-7849-1.
- [13] SZENDIUCH, Ivan. *Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2006, 379 s. ISBN 80-214-3292-6.
- [14] STARÝ, Jiří a Petr KAHLE. *Plošné spoje a povrchová montáž*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011.
- [15] ČSN EN 29454-1. *Tavidla pro měkké pájení*. Praha: Český normalizační institut, 1997.

[16] ČSN EN 61190-1-1. *Připojovací materiály pro elektronickou montáž: Část 1-1: Požadavky na pájecí tavidla pro vysoce kvalitní propojování v elektronické montáži*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

[17] ERESCOM SMT. *Základní typy tavidel* [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.erescom.cz/index4.html>

[18] ČSN EN ISO 9455-10. *Tavidla pro měkké pájení: Zkušební metody*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2001.