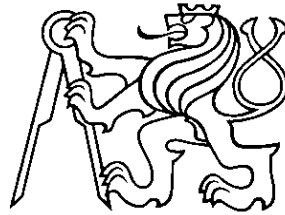


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektrotechnologie



---

Bakalářská práce

**Měření pájitelnosti metodou smáčecích vah při**  
**tenzi par**

Jiří Husák

Vedoucí práce: Ing. Karel Dušek, PhD.

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra elektrotechnologie

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Jiří Husák

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Měření pájitelnosti metodou smáčecích vah při tenzi par**

### Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s metodou pájení v parách a porovnejte ji s jinými technologiemi pájení.
2. U metody smáčecích vah realizujte možnost měření pájitelnosti vzorku při tenzi par.
3. Metodou smáčecích vah porovnejte rozdíly při měření vzorků za přítomnosti tenze par a bez ní.
4. Výsledky experimentů vyhodnoťte.

### Seznam odborné literatury:

- [1] WASSINK R. J. K.: Soldering in Electronics, second edition, Electrochemical Publication 1989, ISBN: 0 901150 24 X
- [2] ABEL M., CIMBUREK V.: Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi, ABE.TEC, Pardubice 2005, ISBN 80-903597-0-1
- [3] MACH P., SKOČIL V., URBÁNEK J.: Montáž v elektrotechnice, ČVUT Praha, 2001
- [4] URBÁNEK J., KLABAČKA E.: Technologie elektronických zařízení, ČVUT Praha, 1997

Vedoucí: Ing. Karel Dušek, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2015/2016

Ing. Karel Dušek, Ph.D.  
vedoucí katedry



V Praze dne 8. 12. 2014

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá ovlivňování pájitelnosti při pájení v parách. Hlavní myšlenkou je odstranění nebo omezení Tombstoning efektu, který zde často vzniká. K měření se používá meniskograf s metodou smáčecích vah. Podstatné jsou pro nás maximální smáčecí síla a čas, než dojde ke smáčení vzorku.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the influence of solderability when soldering in vapors. The main idea is to eliminate or reduce tombstoning effect that often arises here. For the measurement is used by meniscograf with wetting balance method. Essential for us are the maximum wetting force and time before the sample starts wetting.

## **Klíčová slova**

Pájitelnost, smáčivost, Tombstoning efekt, Meniskograf

## **Key words**

Solderability, wettability, Tombstoning effect, Meniscograph

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mojí bakalářské práce panu Ing. Karlu Duškovi, PhD., za užitečné rady pro zpracování práce a pomoc při měření.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 6.1.2015

.....

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Metody pájení</b> .....	<b>9</b>
2.1 Proces pájení .....	9
2.2 Ruční pájení .....	10
2.3 Strojní pájení.....	11
<b>3. Pájení přetavením</b> .....	<b>11</b>
3.1 Druhy přenosu tepla.....	11
3.1.1 Vedením (kondukce).....	11
3.1.2 Prouděním (konvekce).....	12
3.1.3 Zářením (radiace).....	13
3.2 Druhy pájení přetavením.....	13
3.2.1 Pájení infračerveným zářením .....	13
3.2.2 Konvekční pájení.....	15
3.2.3 Kondenzační pájení (pájení v parách).....	17
3.3 Teplotní profil .....	18
3.3.1 Základní parametry.....	19
<b>4. Pájky</b> .....	<b>20</b>
4.1 Olovnaté pájky.....	20
4.2 Bezolovnaté pájky.....	21
<b>5. Tavidla</b> .....	<b>22</b>
5.1 Stupně aktivace a čištění .....	23
<b>6. Pájitelnost</b> .....	<b>24</b>
6.1 Smáčení povrchu .....	24
6.2 Metody pro testování pájitelnosti .....	24
6.2.1 Ponořovací test.....	24
6.2.2 Kuličkový test.....	25
6.2.6 Test roztékavosti.....	25
6.2.4 Metoda smáčecích vah .....	26
6.2.5 Meniskograf.....	27

6.3 Kritéria pájeného spoje .....	29
6.3.1 Jakost pájeného spoje .....	29
6.3.2 Životnost pájených spojů .....	30
6.3.3 Testování pájených spojů .....	31
6.3.4 Druhy defektů a poruch.....	31
<b>7. Měření pájitelnosti.....</b>	<b>34</b>
7.1 Použité materiály.....	34
7.1.1 Pájky.....	34
7.1.2 Tavidla.....	34
7.1.3 Testované vzorky .....	35
7.1.4 Kondenzační kapalina .....	35
7.2 Postup měření .....	35
7.3 Naměřené hodnoty .....	36
<b>8. Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>9. Použitá literatura .....</b>	<b>38</b>
9.1 Knižní zdroje .....	38
9.2 Elektronické zdroje .....	38
<b>10. Přílohy .....</b>	<b>40</b>
Obr. 1: Zapojení vysokofrekvenční páječky.....	10
Obr. 2: Zobrazení hrotu při ručním pájení .....	10
Obr. 3: Průběžná infračervená pec.....	14
Obr. 4: Vsázková pájecí pec.....	16
Obr. 5: Průběžná pec.....	16
Obr. 6: Princip kondenzačního pájení .....	17
Obr. 7: Kondenzační pec .....	18
Obr. 8: Příklad teplotního profilu pájení IR pecí.....	18
Obr. 9: Příklad teplotního profilu bezolovnatých pájek.....	19
Obr. 10: Kuličkový test pájitelnosti .....	25
Obr. 11: Test roztékavosti .....	25

Obr. 12: Křivka smáčecí síly .....	26
Obr. 13: Příklady charakteristik smáčecí síly .....	27
Obr. 14: Meniskograf .....	28
Obr. 15: Řídící jednotka meniskografu .....	28
Obr. 16: Stykový úhel .....	29
Obr. 17: Faktory ovlivňující životnost pájených spojů .....	30
Obr. 18: Tombstoning .....	31
Obr. 19: Cracked solder .....	31
Obr. 20: Vznik dutiny .....	32
Obr. 21: Špatné přetavení .....	32
Obr. 22: Nesmáčení .....	32
Obr. 23: Odsmačení .....	32
Obr. 24: Kulička pájky .....	32
Obr. 25: Můstek .....	32
Obr. 26: Pavučiny pájky .....	33
Obr. 27: Trhlina .....	33
Obr. 28: Whiskery .....	33
Obr. 29: Hot tear .....	33
Obr. 30: Rozbor křivky smáčecí síly .....	36
Tabulka 1: Srovnání nejpoužívanějších metod pájení přetavením .....	13
Tabulka 2: Parametry reflow pájení pro olovnaté a bezolovnaté pájky .....	20
Tabulka 3: Některé používané bezolovnaté pájky .....	21
Tabulka 4: Rozdělení tavidel .....	22
Tabulka 5: Naměřené hodnoty .....	36





# 1. Úvod

V mojí bakalářské práci s tématem „Měření pájitelnosti metodou smáčecích vah při tenzi par“, se budu zabírat problematikou při pájení v parách. V teoretické části jsou vysvětleny různé pájecí procesy, používané pájky nebo co jsou a k čemu slouží tavidla.

V praktické části budou provedeny měření pájitelnosti na Meniskografu za různých podmínek, se kterými se zle setkat při pájení v praxi.

V dnešní době proces pájení jde rychle kupředu. Důvodem jsou vysoké nároky na spojované části a zákaz (zredukování) některých látek zdraví škodlivých, jakou je třeba olovo, které bylo obsaženo ve všech dříve používaných pájkách. Nahrazování onoho olova vede k řadě problémům, jako jsou např. změna vlastností pájek, změna vlastností pájeného spoje, jiná chemická a mechanická odolnost.

Chování pájky a finální spoj mohou být ovlivněni nečistotami a oxidací na kontaktech součástky. Pro zlepšení určitých vlastností, se používá mnoho druhů tavidel. Použití druhu pájky, tavidla a procesu pájení závisí na náročnosti, využití vytvořené DPS a použitých součástek SMD.

Cílem této práce je dokázat a prezentovat, jak přítomnost pájecích par ovlivňuje vlastnosti, jakou je pájitelnost a smáčivost.

## 2. Metody pájení

### 2.1 Proces pájení

Při pájení dochází ke spojení dvou a více elektricky vodivých částí. Pro spoj se používají pájky tvořené kovem, který se vlivem vysoké teploty roztaví a po zchladnutí vznikne požadovaný vodivý spoj. Aby byl spoj kvalitní, je potřeba dodržet pravidla ohledně manipulace součástek, protože jakákoliv nečistota způsobí zhoršení výsledného spoje a tím i funkčnosti celé aplikace. Metody pájení můžeme rozdělit do dvou dále dělitelných skupin. Jedná se o ruční a strojní pájení. Pro moderní aplikace se ruční pájení vyskytuje velmi zřídka, převážně pro vykonávání oprav, proto je většina pájecích procesů zhotovena plně automaticky. Strojní pájení se častěji používá díky několika aspektům, jako jsou rychlost, spolehlivost a nízká cena.

Nejpoužívanější a nejrozšířenější způsoby jsou – pájení přetavením

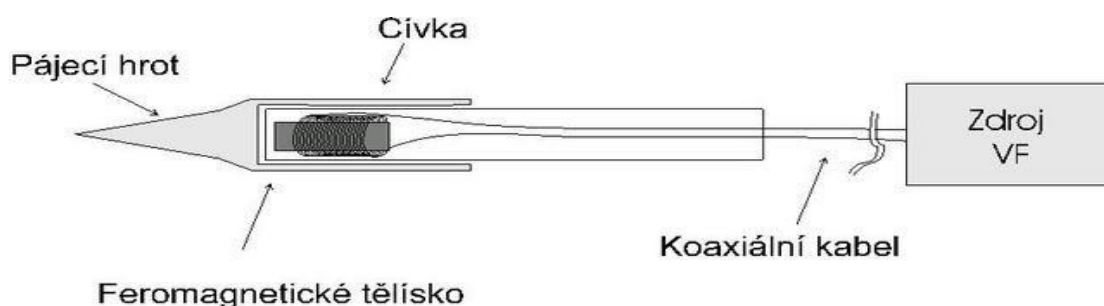
vlnové pájení

selektivní pájení

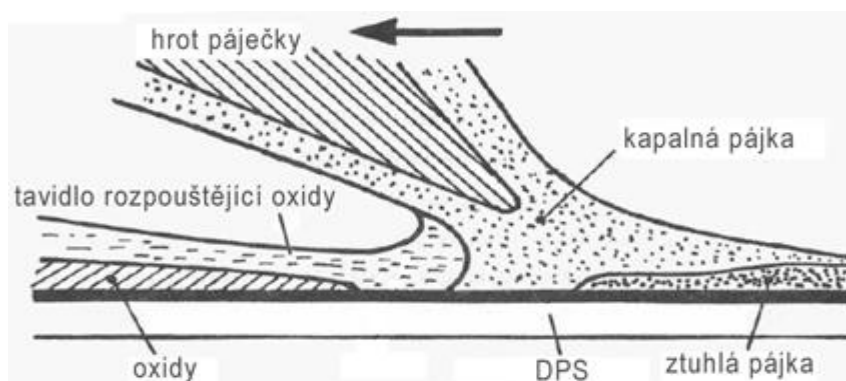
## 2.2 Ruční pájení

Tento způsob pájení můžeme považovat za nejstarší a zároveň nejjednodušší. Pro vytvoření spoje se používá ruční páječka nebo mikropáječka, kde dochází k zahřátí kovového hrotu. Tímto hrotem dále dojde k prohřátí vývodu příslušné součástky a za použití tavidla dojde k roztavení pájky, čímž se vytvoří vodivý spoj.

Použití této metody pro velkovýrobu je nevhodná, protože pracovník nedokáže vytvořit všechny spoje stejné. Další nevýhodou je časová náročnost a prodražení celého výrobního procesu. Proto jak už bylo zmíněno, ruční pájení se využívá jen na opravy chybných spojů, které vznikly strojně, nebo k dodatečné montáži součástek, které nemohly být připájeny hromadně. [3]



Obr. 1: Zapojení vysokofrekvenční páječky [11]



Obr. 2: Zobrazení hrotu při ručním pájení [12]

## 2.3 Strojní pájení

Při tomto druhu pájení, nazývaného také jako plošné, dochází ke zhotovení spoje automaticky, bez závislosti na lidském faktoru. Tímto způsobem dokážeme zvyšovat produkci a snižovat spotřebu materiálů. V praxi se nejčastěji používají dva typy pájení. Jedním je pájení přetavením a druhým je pájení vlnou. Ve speciálních případech jsou využívány ostatní metody a to pájení ultrazvukem, laserem, vlečením a ponorem. [3]

## 3 Pájení přetavením

Pro pájení přetavením je potřebné splnit dva hlavní postupy. V prvním kroku se nanese pájecí pasta na pájecí plošky DPS. Poté se osadí požadované součástky do pájecí pasty a takto připravená DPS se vloží do přetavovací pece s předem nastaveným teplotním profilem. Přetavovací pece se používají vsázkové nebo v in-line provedení pro výrobní linky.

Vsázkové pece jsou využívány v laboratořích nebo v malovýrobních podnicích. Výhodami jsou menší rozměry a menší cena. Nevýhodami těchto pecí jsou horší nastavení provozních parametrů, jednodušší způsob ohřevu a chlazení, zvýšenou pozornost obsluhy. Díky těmto nedostatkům se jedná o pomalou výrobu.

In-line pece jsou konstruovány pro výrobní linky. Jejich rozměry a cena jsou ve srovnání se vsázkovými větší. Tyto pece pracují rychleji, kvalitněji a jsou více automatizované, proto se používají pro velkovýrobu. [3]

### 3.1 Druhy přenosu tepla

U způsobu pájení přetavením, můžeme použít všechny druhy přenosu tepla:

- vedení (kondukce)
- proudění (konvekce)
- záření (radiace)

#### 3.1.1 Vedením (kondukce)

Všechna tělesa kolem nás mají určitou teplotu, která vyjadřuje tepelný pohyb částic. Při spojení dvou látek rozdílných teplot, předá teplejší část své kinetické energie chladnějším

částicím druhého tělesa. Přenos tepla dochází u všech těles, bez ohledu na skupenství. U vedení tepla se pájené plochy ohřívají od pouzder osazených součástek.

Tepelný tok  $q$ , můžeme určit jako množství tepla, které projde plochou  $S$  za určitý čas. Reprodukovat lze podle zjednodušeného vztahu jednodimenzionální formy Fourierova zákona.

$$q = \lambda * S * \Delta T / L \text{ [W]}$$

$q$  – tepelný tok, W

$\lambda$  – tepelná vodivost materiálu,  $[\text{W} * \text{m}^{-1} * \text{K}^{-1}]$

$S$  – plocha, kterou prochází teplo,  $[\text{m}^2]$

$\Delta T / L$  – teplotní gradient,  $[\text{K} * \text{m}^{-1}]$

Tento vztah je analogicky spojen s Ohmovým zákonem ( $q$  – proud,  $\Delta T$  – rozdíl napětí,  $L / \Delta S$  – odpor). [6]

### 3.1.2 Proudění (konvekce)

Přenos tepla prouděním dochází pomocí celých molekul plynu nebo kapaliny. Proto je přenos tepla efektivnější, rychlejší a intenzivnější, protože dochází k pohybu celé skupiny částic. Konvekci rozdělujeme na přirozenou a nucenou.

Přirozená vzniká v plynech a kapalinách vlivem gravitačních sil, které způsobují pohyb řidších částí směrem nahoru a naopak hustší části klesají směrem dolů.

Nucenou konvekci vytvoříme za pomoci ventilátorů a čerpadel, tím můžeme získat větší přenos tepla.

Vyjádřit ji můžeme jako:

$$q^c = h^c * S (T_s - T_a) \text{ [W]}$$

$q^c$  – přenos tepla prouděním z povrchu do okolí, [W]

$h^c$  – koeficient konvekčního přenosu tepla,  $[\text{W} * \text{m}^{-2} * \text{K}^{-1}]$

$S$  – plocha,  $[\text{m}^2]$

$(T_s - T_a)$  – rozdíl teploty povrchu a teploty okolí, [K]

I zde najdeme jistou analogii s Ohmovým zákonem ( $q$  – proud,  $\Delta T$  – rozdíl napětí,  $1 / h^c * S$  – odpor). [6]

### 3.1.2 Zářením (radiace)

V případě přenosu tepla zářením se přenáší teplo elektromagnetickým vlněním.

Velikost tepelné energie lze vyjádřit jako:

$$q = \varepsilon k(T_1^4 - T_2^4) \text{ [W]}$$

$q$  – množství tepelné energie [W]

$\varepsilon$  – koeficient vyzařování

$k$  – Stefan-Boltzmanova konstanta [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$T_1, T_2$  – teploty [6]

## 3.2 Druhy pájení přetavením

Pece dělíme podle použitého systému ohřevu. Mezi nejpoužívanější patří Infračervené a s využitím horkovzdušné konvekce. Nyní se začíná prosazovat pájení v kondenzovaných parách. Pro tyto způsoby jsou DPS osazeny SMD součástkami v pájecí pastě.

Porovnání jednotlivých metod dle parametrů znázorňuje tabulka 1.

Faktor	IR	Kondenzace	Konvekce
Řízení procesu	dobré	výborné	velmi dobré
Pracovní teplota	regulovatelná	pevná	regulovatelná
Homogenita pracovní teploty	špatná	velmi dobrá	dobrá
Max.teplota	špatně def.	pevná	špatně def.
Univerzálnost	ucházející	velmi dobrá	dobrá
Citlivost na barvu materiálu	velká	žádná	malá

Tabulka 1: Srovnání nejpoužívanějších metod pájení přetavením [6]

### 3.2.1 Pájení infračerveným zářením

K přetavení pájecí pasty zde dochází pomocí IR zářičů, které jsou mnoha způsoby rozmístěny v pecích, využívající tuto technologii. Pro tento typ pecí je důležité barva povrchu a vlnové délky zařízení, ze kterých se dá určit koeficient. Pomocí něj lze určit množství tepla, které se absorbuje. Obecně platí, že se zvyšující se vlnovou délkou absorpce klesá,

proto součástky tmavších barev absorbují více tepla, než místa s nanesenou pájecí pastou. Tento jev vede k nerovnoměrnému rozložení tepla.

To má za následek kvalitu celého procesu pájení a tepelné namáhání součástek, které může vést až k deformaci součástky. Jednou z možností jak tento jev zmírnit, je použití pece s IR zářiči, které mají širší spektrum vlnových délek. Pro zlepšení konvekce a rozvodu tepla se používají ventilátory.

Nejčastěji se setkáváme s pecemi průběžnými, kde jsou zářiče umístěny nad i pod dopravníkovým pásem. Teplotní profil můžeme upravovat jednotlivými výkony IR zářičů a rychlostí dopravníku. Toto nastavení nějakou dobu trvá a je poměrně složité, protože dochází k několika ovlivňujícím faktorům – barva, hustota a rozmístění součástek, velikost DPS a druh pájecí pasty. Jsou převážně používány v laboratořích a v malovýrobě. [2]

- Výhody: Vysoká účinnost pájecího procesu (60 až 70%)
- Nevýhody: Nehomogenní ohřev DPS a součástek  
Nevhodné pro pájení součástek typu BGA



**Obr 3:** Průběžná infračervená pec [13]

### 3.2.2 Konvekční pájení

Při konvekčním pájení využívají pece přirozené a nucené konvekce, kterou docílíme pomocí ventilátorů a čerpadel. Jako tepelné médium se používá vzduch nebo dusík. K ohřívání dochází centrálně nebo pomocí trysek, které proud horkého média usměrní a regulují. Využití dusíku má svoji funkci. Dochází ke snížení oxidace během procesu pájení, což zamezí používání vysoce aktivních tavidel. To vede ke zlepšení pájitelnosti. Na rozdíl od IR pecí, tato metoda nepodléhá závislosti na barvě a hustotě osazených součástek. I zastínění malých součástek velkými je zde zcela minimalizováno.

S tímto způsobem se můžeme setkat i v opravářské technice. Díky přesnému usměrnění horkého média pomocí trysek, lze ohřívát několik vývodů najednou. Tuto vlastnost využijeme převážně u plochých a čtvercových pouzder (FP a QFP), protože dochází k ohřívání všech vývodů integrovaného obvodu najednou. K vyjmutí obvodu poslouží přichycení vakuovou pipetou, která po roztavení pájky obvod zvedne a tím skončí proces ohřevu.

Pece rozdělujeme na dvě skupiny. První jsou vsázkové pece, které mají menší rozměry, kde proudění tepla regulujeme ventilátory. Hlavní použití mají v malovýrobě.

Druhou skupinu tvoří průběžné pece, nazývané také in-line. Vzhledem větším rozměrům a pořizovací ceny, se primárně využívají pro velkovýrobu. Pro kvalitnější zhotovení výrobku jsou tyto pece vybaveny přetavovacími zónami, které zajistí minimální rozdíly teplot mezi jednotlivými fázemi výrobního procesu. V prvním kroku dochází k předeřtání DPS, v druhém kroku dochází k samotnému zapájení součástek a v posledním kroku se DPS ochladí pomocí ventilátorů. Díky těmto krokům se proces pájení dá výrazně urychlit. Teplotní profil zde můžeme změnit a regulovat teplotou přiváděného média a rychlosti dopravního pásu. Teplotní profil a použitá pájecí pasta patří mezi nejdůležitější aspekty celého pájecího procesu, pro vznik co nejlepších zapájených spojů. [2]

- Výhody: Možnost pájení DPS s velkou hustotou osazených součástek  
Homogenní pracovní teplota
  
- Nevýhody: Energeticky náročnější  
Nižší účinnost (mezi 30 až 40%)  
Při pájení horkým vzduchem možný výskyt oxidace pájených spojů





**Obr 4:** Vsázková pájecí pec [14]



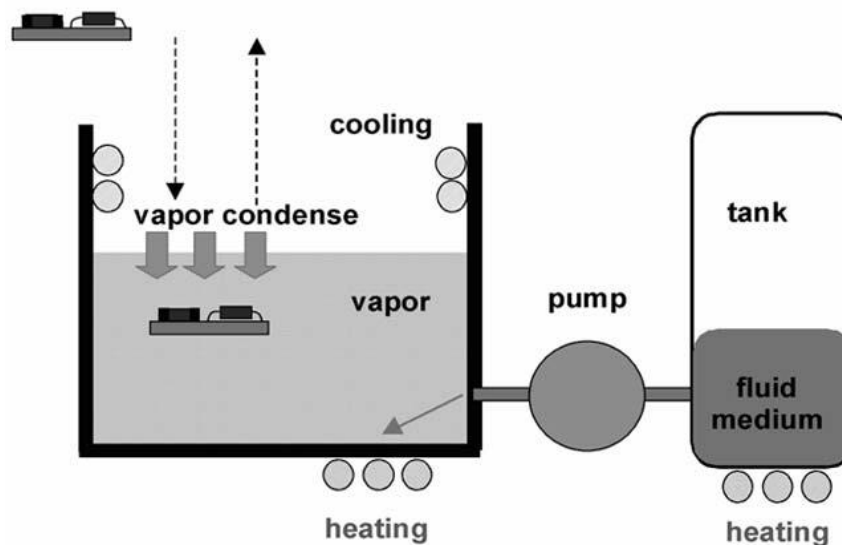
**Obr 5:** Průběžná pájecí pec [15]

### 3.2.3 Kondenzační pájení (pájení v parách)

Technologie pájení v parách probíhá v parní komoře. Předání tepla dochází zahřátím kapaliny na dně nádrže. Po dosažení bodu varu kapaliny (155 – 280°C) dle použitého média, se začnou uvolňovat páry. Použitou kapalinu určujeme podle teploty přetavení pájky. Takto se částečně odstraní tepelné namáhání součástek. Samotnou energii pro přetavení získáme z uvolnění skupenského tepla při změně skupenství z plynného na kapalné. Chlazení média zajistí jeho cirkulaci a zamezí nežádoucí únik. Regulovat páru lze pomocí pumpy s ventilem. Protože jsou páry velmi těžké, vytlačí ostatní lehčí plyny a tím nám vznikne ochranná atmosféra a nemusíme používat dusík. Pro úplné zamezení oxidace je možné vytvořit vakuum a omezit používání vysoce aktivovaných tavidel. [2]

I zde rozdělujeme pece do dvou skupin na vsázkové a průběžné.

- Výhody: Velká účinnost
  - Vysoká kvalita zapájených spojů
  - Homogenní pracovní teplota
  - Žádná oxidace
  
- Nevýhody: Vysoké náklady
  - Při zahřívání vznikají fluorovodíky
  - Častý vznik Tombstoning efektu



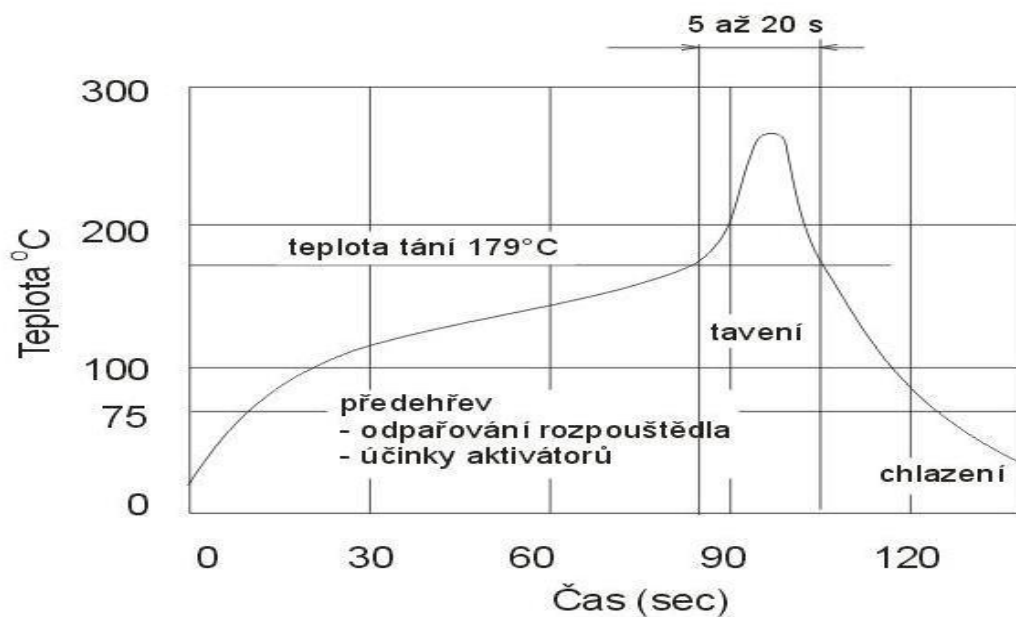
Obr 6: Princip kondenzační pece [16]



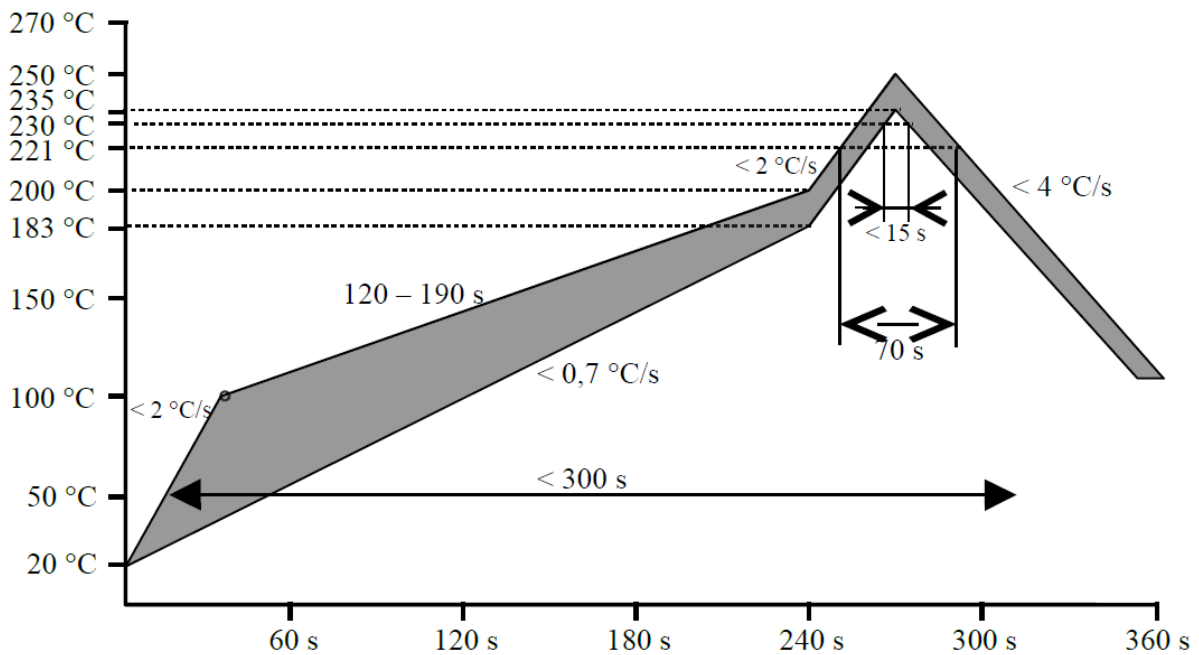
Obr 7: Kondenzační pec [17]

### 3.3 Teplotní profil

Důležitým parametrem pro pájení přetavením je teplotní profil, který znázorňuje změny teploty po celý proces pájení. Během pájení není důležitá jen nejvyšší hodnota, ale také postupné oteplení z pokojové teploty a konečné ochlazení DPS po přetavení. Všechny tyto kroky ovlivňují kvalitu a životnost výsledného pájeného spoje. [6]



Obr 8: Příklad teplotního profilu pájení IR pecí [11]



Obr 9: Příklad teplotního profilu bezolovnatých pájek [9]

### 3.3.1 Základní parametry

#### 1. Předehřev

V této části dochází k odstranění vlhkosti z DPS a součástek. S rostoucí teplotou se odpařují rozpouštědla obsažená v tavidlech pájecí pasty a odstraňují se nečistoty z pájeného povrchu, což zlepšuje smáčivost. Nárůst teploty nesmí být příliš velký, protože může docházet k řadě defektů. Pevné látky se změkčí a zároveň zůstane velké množství tavidla, které způsobí zvodnatění pájecí pasty. Tím dochází k sesunutí součástek, vzniku můstku a kuliček. [6]

#### 2. Teplota přetavení

Oblast minimální teploty přetavení se pohybuje okolo 195 – 205°C. Jestliže bude teplota nižší, nedojde k dostatečnému prohřátí DPS a pájecí pasta se správně nepřetaví. Maximální hodnota je v rozmezí 220 – 230°C. Při překročení této teploty může dojít k deformaci DPS i osazených součástek. Následně by teplotní rozdíl mezi teplotou liqida a maximální teplotou měl být co nejmenší. U pájecích pecí využívající nucenou konvekci, trvá doba přetavení 30 – 90 sekund. Při překročení tohoto intervalu může dojít ke vzniku prasklin na spojích a součástkách. [6]

### 3. Chlazení

Proces chlazení je nejčastěji řešen nucenou konvekcí vzduchu. K realizaci se používají ventilátory nebo odsávací trysky. Ochlazování by mělo být minimálně  $4^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ , ale zároveň by neměla překročit  $6^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ . Při špatném chlazení se zvětšují krystaly pájky a to negativně ovlivňuje kvalitu spoje. Naopak při správném chlazení bude mít pájka jemnozrnnou strukturu a tím se prodlužuje životnost spoje. [6]

Parametr	s použitím olova	bezolovnaté
Rychlost nárůstu teploty	max. $3^{\circ}\text{C}/\text{sec}$	max. $3^{\circ}\text{C}/\text{sec}$
Minimální teplota přehřevu ( $T_{\text{Smin}}$ )	$100^{\circ}\text{C}$	$150^{\circ}\text{C}$
Maximální teplota přehřevu ( $T_{\text{Smax}}$ )	$150^{\circ}\text{C}$	$200^{\circ}\text{C}$
Čas přehřevu ( $t_s$ )	60s – 120s	60s – 180s
Teplota liquidu ( $T_L$ )	$183^{\circ}\text{C}$	$217^{\circ}\text{C}$
Doba na teplotě liquidu ( $t_L$ )	60s – 150s	60s – 150s
Doba, kdy se teplota pohybuje do $5^{\circ}\text{C}$ od teplotního vrcholu ( $t_p$ )	10s – 30s	20s – 40s
Rychlost poklesu teploty	max. $6^{\circ}\text{C}/\text{sec}$	max. $6^{\circ}\text{C}/\text{sec}$
Doba, kdy se teplota liší o víc než $25^{\circ}\text{C}$ od teplotního vrcholu	max. 6min	max. 8min

Tabulka 2: Parametry reflow pájení pro olovnaté a bezolovnaté pájky [9]

## 4 Pájky

V elektronice používáme výhradně pájky měkké, které mají teplotu tání do  $450^{\circ}\text{C}$ . V základě rozlišujeme pájky na olovnaté a bezolovnaté, které řadíme do dvou skupin podle jejich podoby. První jsou v podobě drátů a mají převážně využití v ručním pájení. Pro zlepšení kvality pájení mohou být pájky duté a obsahovat tavidlo.

Druhým typem jsou pájky ve formě pasty, které obsahují částičky kovů o koncentraci 65% – 96% a tavidlo. Pájecí pasta zároveň slouží k uchycení součástek a nanáší se šablonovým tiskem, sítotiskem nebo dávkovačem. [3]

### 4.1 Olovnaté pájky

Tyto pájky se používají řadu desetiletí, protože mají velmi dobré elektrické a mechanické vlastnosti. Nejpoužívanější pájkou byla Sn63 Pb37 s teplotou tání  $183^{\circ}\text{C}$ . Od 1.7.2006 se v EU nesmí prodávat výrobky, které obsahují jedovaté látky. Mezi ně patří i olovo, protože nesplňuje ekologické standardy. Tento krok vyžadoval velké investice do pájecích procesů, aby bezolovnaté pájky disponovaly podobnými vlastnostmi jako pájky olovnaté. [3]

## 4.2 Bezolovnaté pájky

Nahrazování olova jinými kovy vedlo i ke zvýšení výrobních nákladů, protože větší část bezolovnatých pájek je 1,5x – 3x dražší, než pájka Sn/Pb. Obsah Sn musí být minimálně 60% zbylá část je tvořena drahými kovy (Cu,Ag,Bi,Ge...). Cena pájecí slitiny se tak odvíjí od obsahu jednotlivých drahých kovů a jejich dostupnosti. Mezi nejznámější patří Sn95,5 Ag3,8 Cu0,7 nebo Sn99,3 Cu0,7. Přestože dnes existuje spousta bezolovnatých pájek, nepodařilo se vyvinout takovou, aby měla shodné vlastnosti jako olovnaté. Jedním z rozdílných prvků je bod tavení. Ten se u bezolovnatých pohybuje od 195°C-227°C, podle jejich složení. Pro tyto pájky je vhodnější použít i jiné tavídko a to na bázi vody, které má vyšší aktivační teplotu. Dále ve většině případů odpadá proces čištění, protože zanechávají minimum zbytků. Další úpravou musely projít i pece, aby fungovaly s lepší přesností, protože proces přetavení probíhá v užším rozsahu teplot. Dále výrobci doporučují pájení v ochranné atmosféře s použitím dusíku. Tímto krokem se dá redukovat oxidace pájeného spoje. [2][9]

Oblast tavení (°C)	Pájka	Využití v průmyslu	Společnost
<b>Slitiny s vysokým bodem tavení (&gt;210°C)</b>			
227	Sn/Cu	Spotřebitelský Telekomunikace	Panasonic 3) Nortel
221	Sn/Ag *		
217	Sn/Ag/Cu	Automobilový Telekomunikace	Panasonic 2) Nokia,Nortel,Panasonic Toshiba
217	Sn/Ag/Cu/Sb *		
	Sn/In/Ag *		
	Sn/Ag/Cu/Zn *		
	Sn/Ag/Bi/Cu	Vojenský/Letecký	Panasonic
	Sn/Ag/Bi/Cu/Ge	Spotřebitelský	Sony
<b>Slitiny s bodem tavení v rozsahu 180-210°C</b>			
206-213	Sn/Ag/Bi/X	Spotřebitelský	Panasonic
206-213	Sn/Ag/Bi	Vojenský/Letecký Spotřebitelský	Panasonic 1) Hitachi
199	Sn/Zn	Spotřebitelský	NEC, Pan., Toshiba 4)
<b>Slitiny s nízkým bodem tavení (&lt;180°C)</b>			
	Sn/Bi/Zn *		
138	Sn/Bi		Panasonic

Tabulka 3: Některé používané bezolovnaté pájky (\*zkoumání využití slitiny) [9]

## 5 Tavidla

Tavidla nám usnadňují proces pájení a z pájecích ploch odstraňují nečistoty, oxidy a brání v další oxidaci. Každé tavidlo má svoje vlastnosti, jako jsou např. zlepšení smáčivosti a teplotní stability. Různý proces pájení vyžaduje různé tavidlo. Pro pájení vlnou se doporučují pro lepší výsledek vysoce aktivní tavidla, protože pájení trvá pár sekund. Naopak při pájení přetavením, kde proces trvá několik minut, je vhodnější použít méně aktivní tavidlo, které bude aktivní po celý proces pájení. Nejpoužívanější a nejnámější tavidlo na bázi pryskyřice je kalafuna, což je přírodní pryskyřice, která se rozpouští v organickém rozpouštědle (např. alkohol, voda). Pro zlepšení vlastností kalafuny, jsou přidávány různé aktivátory (např. kyseliny, které odstraňují oxidy). Tavidla jsou rozdělena do různých skupin a to podle jejich aktivity (Viz tabulka 4).

Tavidla rozpustná ve vodě se po pájení dají odstranit vodou. Neobsahují pryskyřici a jejich aktivita je vytvářena různými přísadami. Avšak po pájení zůstávají kapalná a mohou způsobit korozi a zvětšit svodový proud.

V dnešní době lze pájet i bez pomoci tavidla, ale je zapotřebí pájený povrch očistit jinou metodou (např. čištění ultrazvukem). [2][3]

Typ tavidla	Základní složka	Stupeň aktivace	Další označení
Pryskyřicové	Kalafuna	R RMA	NC WS
	Syntetická pryskyřice	RMA/RA RA RSA	
Organické	Rozpustné ve vodě	R RMA	NC WS
	NERozpustné ve vodě	RMA/RA RA RSA	
Anorganické	Soli	Chlorid amonný (NH <sub>4</sub> Cl)	WS
	Kyseliny	Kyselina fosforečná (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) Jiné kyseliny	
	Zásady	Aminy	

**Tabulka 4:** Rozdělení tavidel [3]

## 5.1 Stupně aktivace a čištění

- **R** – Takto označené tavidlo neobsahuje žádný aktivátor a vyrábí se z kalafuny, která se rozpouští v lihovém ředidle. Jeho čistící schopnost není velká, a proto se používá u lehce pájitelných povrchů. Tavidlo se po pájení nemusí čistit, protože je nevodivé a neagresivní k pájeným plochám. [11]
- **RMA** – Tavidlo složené z kalafuny a rozpouštědla, s malým obsahem aktivátorů. Vyznačuje se malou aktivitou a má stejné využití jako tavidlo typu R. Zbytek tavidla je nekorozní, nevodiví a odstranit ho lze pomocí vhodného rozpouštědla.[11]
- **NC (no-clean)** – Strukturou a použitím stejná jako RMA. Zbylé části tavidla jsou nevodivé, nekorozní a mohou po procesu pájení zůstat na DPS. [18]
- **RMA/RA** - Tavidlo tvořené kalafunou a rozpouštědlem s obsahem agresivních aktivátorů. Vykazují vyšší aktivitu než RMA. Používají se u středně oxidovaných povrchů. Pozůstatky tavidla jsou korozní, které se po přetavení musí odstranit vhodným rozpouštědlem. [11]
- **RA** – Agresivnější tavidlo než RMA/RA, označováno jako plně aktivní. Po pájení se zbytky tavidla musí odstranit, aby nedošlo k oxidaci a poškození pájecích ploch. K odstranění zbytků poslouží vhodné rozpouštědlo. [11]
- **RSA** – Obsahuje silně aktivované aktivátory. Tento typ není formálně součástí vojenské normy, ale běžně se používá. Odstranění zbytků musí být provedeno velmi důkladně, aby vlivem agresivních látek nedocházelo ke korozi a poškození pájených ploch. [11]
- **WS (water-soluble)** – Tavidlo složeno z organických kyselin, tixotropní složky a rozpouštědla. K dostání je několik úrovní aktivity a hodí se pro pájení nejobtížnějších povrchů. Zbytky tavidla jsou korozní a odstraňují se vodou co nejdříve po přetavení, aby nedošlo k poškození DPS. [18]



# 6 Pájitelnost

## 6.1 Smáčení povrchu

Pro zhotovení pájeného spoje nelze komponenty jen zahřát a přidat pájku, ale musíme zajistit správnou pájitelnost. „*Termín pájitelnost povrchu je použit jako popis schopnosti povrchu být smáčitelný pájkou během procesu pájení.*“ [2]. Smáčení rozdělujeme na tři druhy.

**Smáčení** – abychom zaručili dobré smáčení, musí být čistá pájka a povrch pájených součástí. Pájka se roztaví a rozlije se po pájené ploše. Atomy přecházejí do krystalové mřížky pájeného kovu, kde vzniká kovová vazba.

**Nesmáčení** – Opačný jev smáčení, ve kterém nedochází k metalurgické vazbě. K nesmáčení dochází při nevhodném použití tavidla, které je málo aktivní a nedokáže odstranit nečistoty nebo je příliš velká oxidační vrstva.

**Odsmačení** – Pájka ustupuje z již dříve pájených částí a vytváří shluk nerovnoměrných kapiček. Tento jev může probíhat i zespoda, kde tenká pájená vrstva kovu je rozpuštěna v pájce. Nejčastěji odsmačení vzniká při pájení kontaktů z drahých kovů, které se rychle rozpouštějí v pájce SnPb. [2]

## 6.2 Metody pro testování pájitelnosti

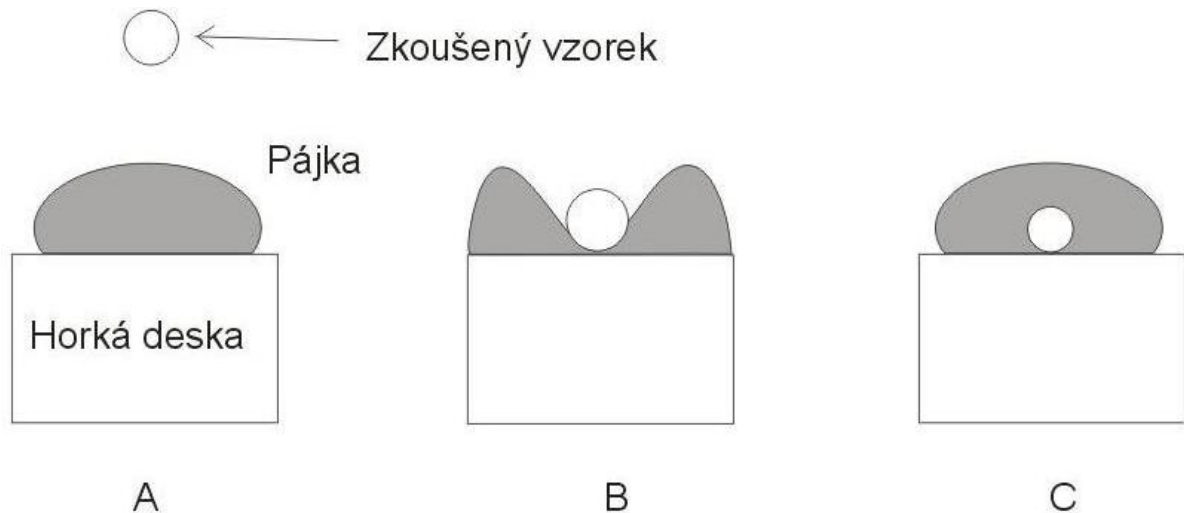
Testováním pájitelnosti určujeme chování pájky a tavidla. Tím jsme schopni odstranit některé vlivy, které by mohli mít negativní dopad na výsledný pájený spoj. Nejpodstatnější jsou pro nás dvě základní vlastnosti, počáteční smáčivost a míra odsmáčení během pájení. [2]

### 6.2.1 Ponořovací test

Testované kontakty se ponořují do roztavené pájky a po vytažení vzorku dochází k vizuálnímu určení stupně smáčení. Jedná se o nejjednodušší druh měření pájitelnosti, který je rychlý a cenově přijatelný, ale není moc přesný. Tímto způsobem se dají testovat i DPS. [2]

### 6.2.2 Kuličkový test

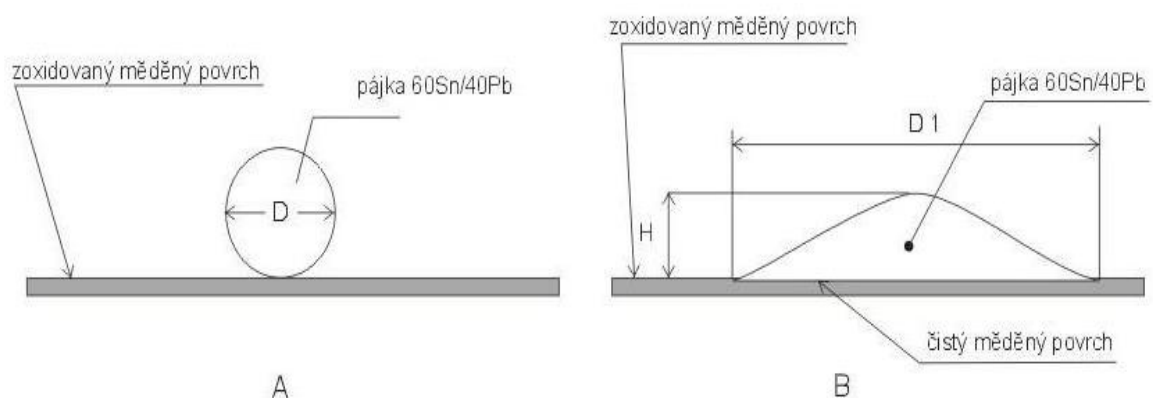
Přesné množství pájky se zahřeje na bod tavení a testovací kontakt nebo drát se zahřeje, nanese se tavidlo a umístí se do středu roztavené pájky. Důležité je, aby ohřívající deska byla s nesmáčivého materiálu. Měříme čas, než dojde k přelití pájky přes vzorek. [2]



Obr 10: Kuličkový test pájitelnosti: a) počáteční stav, b) před smáčením, c) po smáčení [11]

### 6.2.3 Test roztékavosti

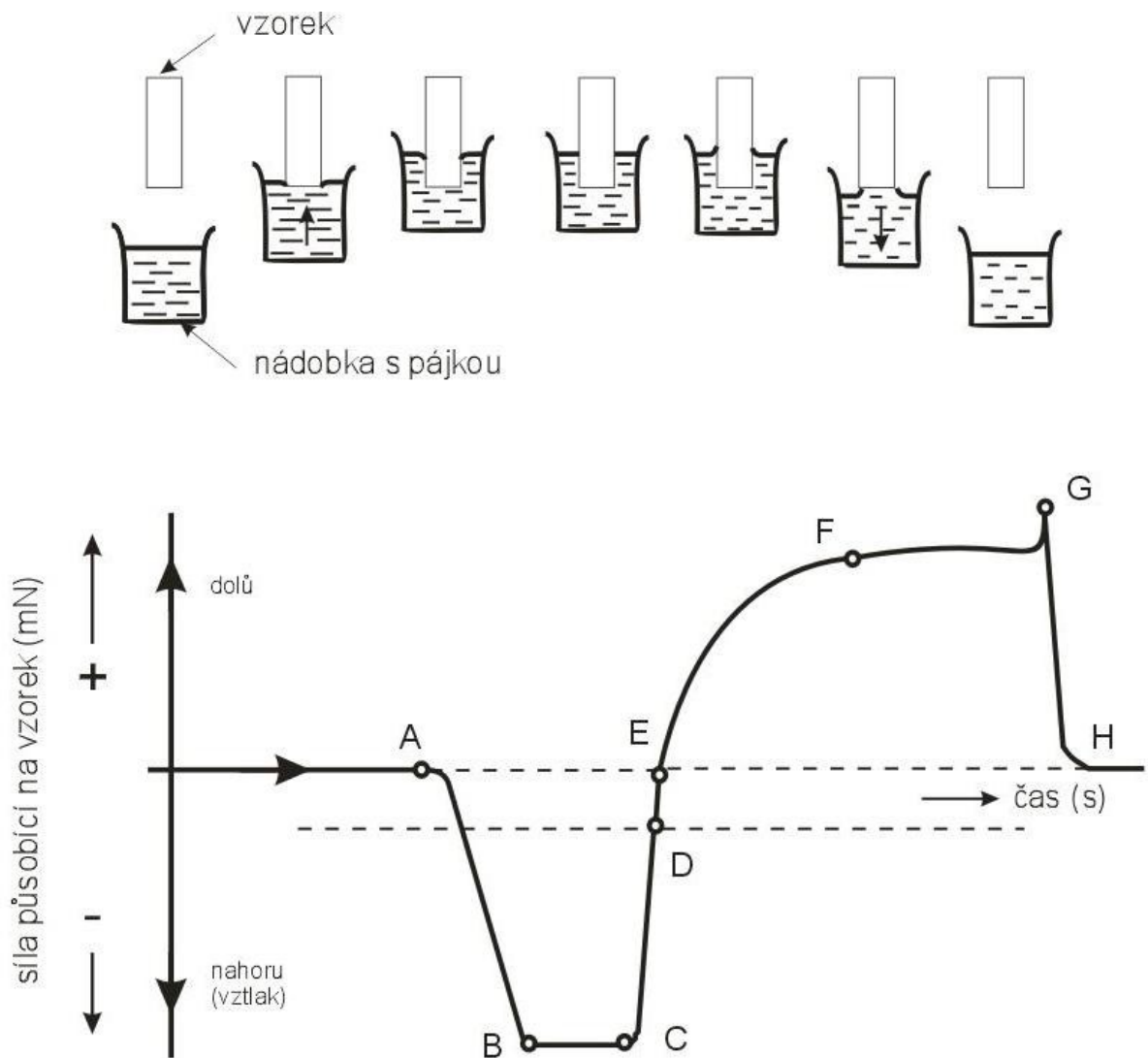
Tento test je zaměřen na aktivitu tavidla. Přesné množství pájky se umístí na měděný povrch s regulovatelnou tloušťkou oxidace. Pozorujeme, jak je tavidlo aktivní, do jaké míry dokáže odstranit oxidaci a jakým způsobem se pájka rozprostře. Při nedostatečném odstranění oxidu tavidlem, se pájka nerozlije. [2]



Obr 11: Test roztékavosti [11]

## 6.2.4 Metoda smáčecích vah

Jde o velice přesnou metodu, kde měříme pomocí mikrovah sílu, která působí na vývod součástky. Součástka se zavěsí na siloměr nad lázní s roztavenou pájkou. Výsledky jsou vyhodnoceny pomocí metalografie. Měřicí zařízení nazýváme „meniskograf“, protože tento název neslo jedno z prvních typů tohoto přístroje. [2]

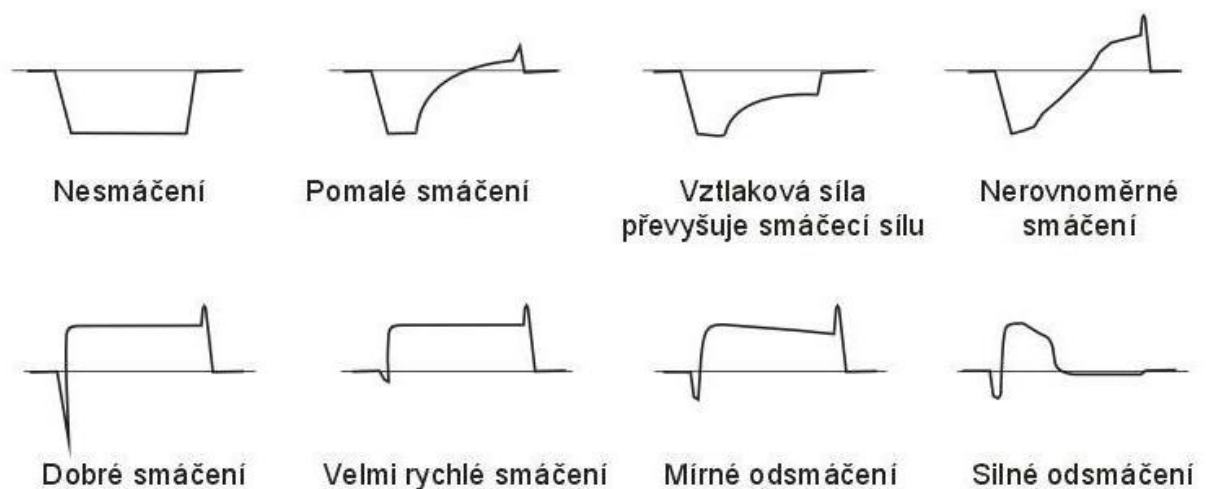


Obr 12: Křivka smáčecí síly [11]

Před měřením na vzorek působí nulová smáčecí síla, která je znázorněná k bodu A, kde dochází ke kontaktu s roztavenou pájkou. Vzorek se ponořuje stále níž, zde dochází k působení vztlakové síly a povrchového napětí, což způsobuje vytlačování vzorku nahoru. Se zvyšujícím se ponorem, roste velikost výsledné síly. Ponor končí v bodě B a sklon mezi body A

a B závisí na rychlosti ponoru vzorku. Proces smáčení začíná bodem C, kde nastává změna směru působení síly. Nejprve je pájkou vzorek vytlačován vzhůru, ale v procesu smáčení začíná být tažen směrem dolů vlivem povrchového napětí. Doba úseku mezi B a C ovlivňuje tepelná kapacita měřeného vzorku a rychlost přestupu tepla mezi pájkou a vzorkem.

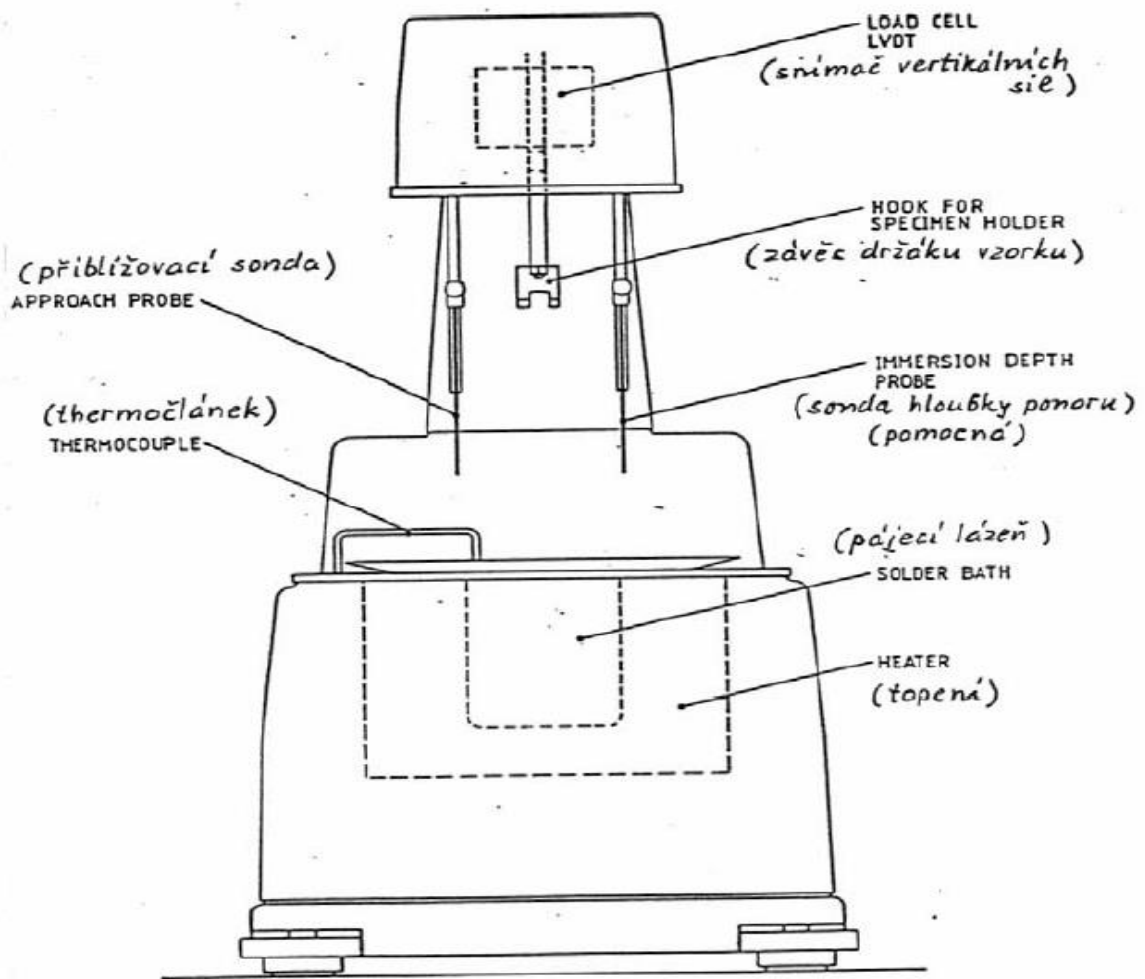
K rozhodnutí kvality smáčitelnosti slouží křivka z bodu C do bodu F. V bodě D je povrch pájky kolmý na vzorek a síla v tomto bodě je rovna vztlakové. Tu můžeme spočítat z rozměru vzorku, hloubky ponoru a hustoty pájky. Výslednou nulovou sílu vidíme v bodě E, protože působení sil na vzorek je rovnovážné. Smáčecí sílu získáme součinem povrchového napětí pájky a obvodu vzorku. V bodu G dochází k úplnému vytažení vzorku z roztavené pájky. [2]



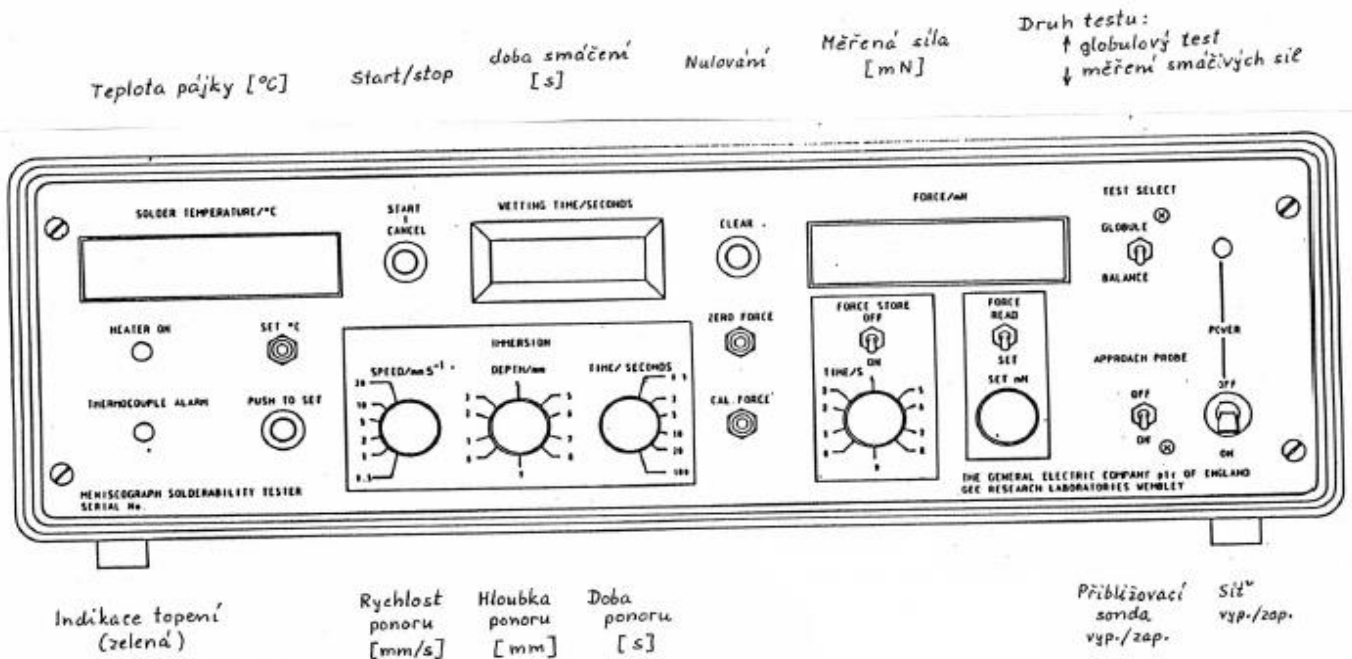
Obr 13: Příklady charakteristik smáčecí síly [11]

## 6.2.5 Meniskograf

Přístroj se skládá ze dvou částí a slouží pro určení pájitelnosti materiálů. První částí je snímač s mikrováhami, do kterého se připevňuje vzorek určen k měření a miska s roztavenou pájkou. Tento snímač automaticky kompenzuje hmotnost zkušební vzorku. Druhou částí je řídicí jednotka, pomocí které se dají nastavovat vstupní parametry, jako jsou doba, hloubka ponoru a teplota roztavené pájky, která se udržuje pomocí čidla. Výstupní hodnoty můžeme zobrazit na LCD panelech řídicí jednotky nebo uložit pomocí PC a sestavit příslušné křivky pro určení námi hledaných údajů. Po nastavení měřicích parametrů a zavěšení vzorku, se měření spustí tlačítkem start/stop. Měření pak probíhá automaticky dle nastavených parametrů.[7]



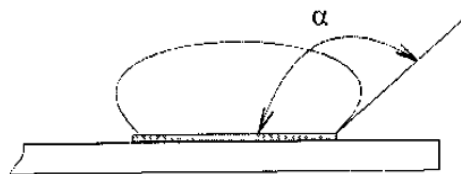
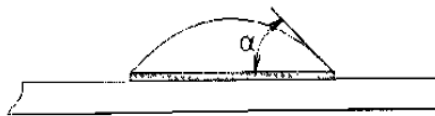
Obr 14: Meniskograf [8]



Obr 15: Řídicí jednotka meniskografu [8]

## 6.3 Kritéria pájeného spoje

Významným parametrem jak určit kvalitu spoje, je velikost stykového úhlu, který závisí na kvalitě smáčení.



$0^\circ < \alpha < 20^\circ$	Výborné až dokonalé smáčení
$20^\circ < \alpha < 40^\circ$	Dobré až velmi dobré smáčení
$40^\circ < \alpha < 55^\circ$	Postačující smáčení
$55^\circ < \alpha < 90^\circ$	Špatné smáčení
$90^\circ < \alpha$	Nesmáčivost

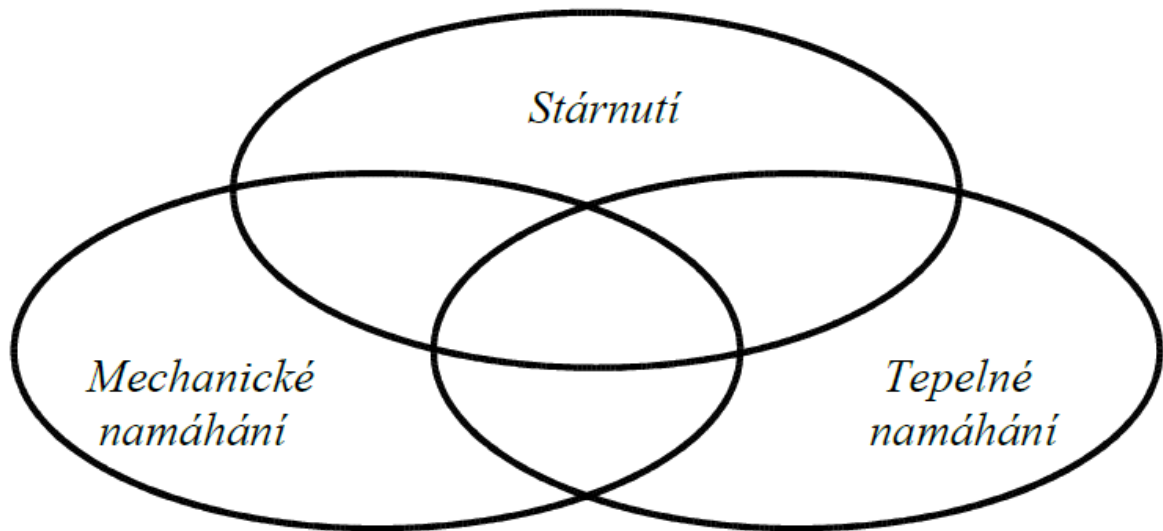
Obr 16: Stykový úhel [2]

### 6.3.1 Jakost pájeného spoje

Pro jakost pájeného spoje existuje několik kritérií. Pro funkčnost zařízení se jedná o životnost pájeného spoje, kterou ovlivňuje několik faktorů např. (stárnutí materiálů, mechanické a teplotní namáhání).

- **Stárnutí materiálů** způsobuje tvorba difuzní vrstvy, vzniká na rozhraní mezi cínem a mědí. Zároveň nám tato vrstva potvrzuje vytvoření pájeného spoje. Tvoří ji intermetalické slitiny mědi a cínu. Postupem času a vlivem zvýšené teploty tato vrstva narůstá. Po vzniku pájeného spoje má difuzní vrstva tloušťku několik mikrometrů, ale s délkou používání může tato vrstva narůst až na desítky mikrometrů. To způsobuje oslabení mechanických a elektrických vlastností, což může vést až k deformaci pájeného spoje. [2]
- **Mechanické namáhání** rozdělujeme do dvou typů, na externí a interní. Externí namáhání způsobují vnější síly (vibrace, tlak). Interní namáhání vzniká rozdílnou teplotní roztažností spojovaných materiálů. Tento druh namáhání snižuje mechanickou odolnost spoje, což může vést až k poškození. [2]

- **Tepelné namáhání** vzniká působením zvýšeného tepla na pájený spoj. Namáháno může být vnějším zdrojem tepla, které se nachází v blízkosti obvodu nebo vnitřním zdrojem, který vzniká působením ztrátového výkonu. Poškození mohou být vratné (průhyb materiálu, mechanické změny rozměrů atd.) nebo nevratná (změna struktury a difuze). [2]



Obr 17: Faktory ovlivňující životnost pájeného spoje [9]

### 6.3.2 Životnost pájených spojů

Definice životnosti je určována časem, za který dojde k opotřebení výrobku natolik, že není schopen plnit svoji funkci. Jelikož životnost výrobků trvá několik let, tak se zjišťovala za pomoci zrychlených zkoušek. Dochází k simulaci pracovního režimu za zvýšených a snížených pracovních podmínek, jako jsou – teplota, vlhkost, vibrace atd. Vlivem těchto změn dochází ke stárnutí a k poškození pájených spojů, vlivem koroze a difuze. Tímto můžeme simulovat používání výrobků během několika let.

Elektrochemickou korozi dochází ke změně homogenity spoje, což způsobuje selhání funkčnosti. Narůstání intermetalických slitin vlivem difuze, mají za následek zhoršení elektrických vlastností. Tím dochází k deformování a následnému poškození pájeného spoje.

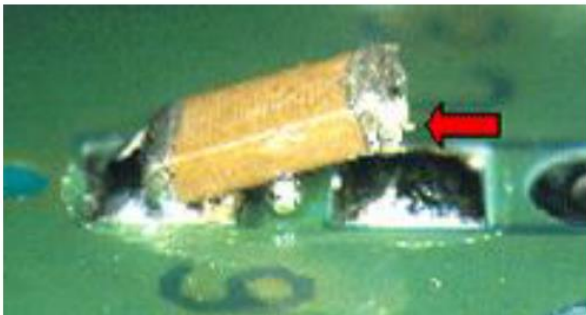
I přes tyto zrychlené zkoušky nemůžeme s úplnou přesností určit životnost. Nejsou to jen vnější vlivy, které působí na zařízení během jeho provozu, ale taky vlivy způsobené během výrobního procesu. [2]

### 6.3.3 Testování pájených spojů

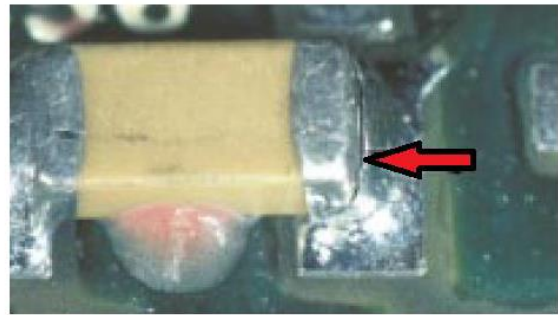
Po vytvoření výrobku se pájené spoje testují elektricky, opticky a mechanicky, protože při procesu pájení mohou vznikat defekty. Při elektrickém testování zjišťujeme správnou funkčnost zařízení. V mechanickém provádíme pevnost v tahu, tlaku atd. Optické rozdělujeme na destruktivní a nedestruktivní. Destruktivní slouží ke zlepšení a k optimalizaci výrobního procesu, zatím co nedestruktivní slouží ke kontrole kvality. Většinou se provádí automatické optické testování pomocí kamer, jejichž výsledky zpracovává počítač. [2]

### 6.3.4 Druhy defektů a poruch

- **Tombstoning (náhrobní kámen)** je vada, při které dochází ke zvednutí jedné strany SMD součástky. Vzniká nerovnoměrností silových momentů během procesu přetavení. To způsobuje horší pájitelnost jedné plošky kvůli zvýšené oxidaci, nedokonalé umístění součástky nebo rozdílným množství pájecí pasty. Náchylnější jsou menší součástky SMD. [5]
- **Cracked solder (prasklina)** vzniká mechanickým namáháním SMD součástky



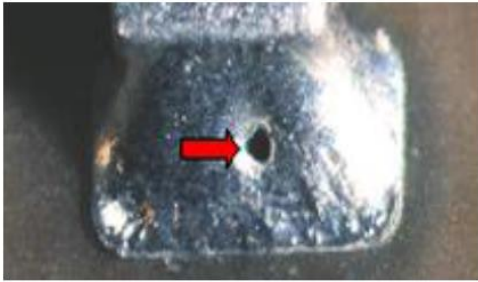
Obr 18: Tombstoning effect [5]



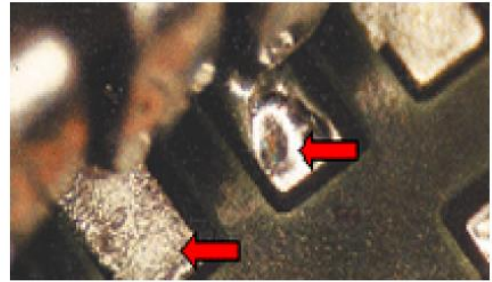
Obr 19: Cracked solder [5]

- **Voidy (dutiny)** při přetavování vznikne bublina, která prasknutím vytvoří ve spoji dutinu.
- **Nepřetavení pájecí pasty** vlivem špatného rozložení tepla dochází ke špatnému přetavení.





Obr 20: Vznik dutiny [5]

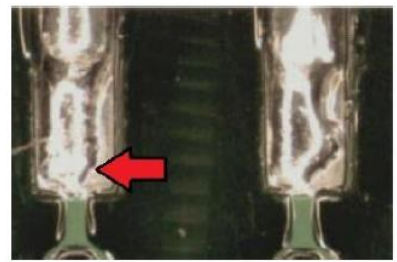


Obr 21: Špatné přetavení [5]

- **Nonwetting (nesmáčení)** nedokonalé smáčení plošek.
- **Dewetting (odsmáčení)** celý povrch pokryje pájka, která později ustoupí.



Obr 22: Nesmáčení [5]

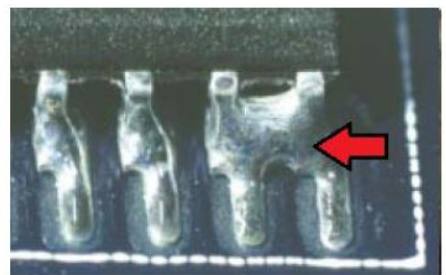


Obr 23: Odsmáčení [5]

- **Beading (kuličky pájky)** kuličky vznikají při použití velkého množství pájky nebo nerovnováhou sil při přetavení.
- **Bridging (můstky)** vznikají nerovnováhou sil při přetavení. Vznik můstku vede ke zkratu.

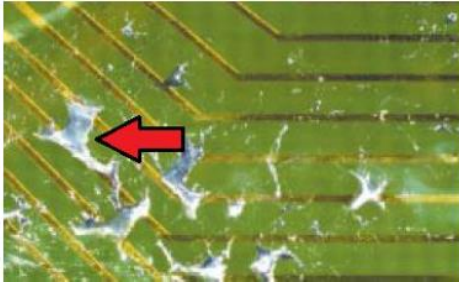


Obr 24: Kuličky pájky [5]

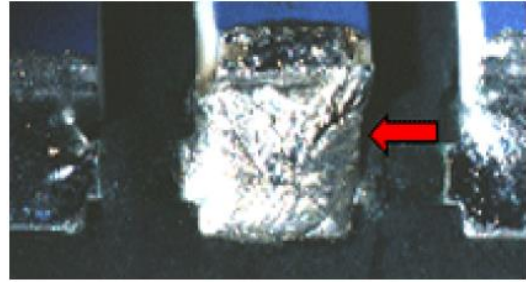


Obr 25: Můstek[5]

- **Solder webbing (pavučiny)** způsobeno velkým množstvím pájky nebo špatným teplotním profilem.
- **Disturbed solder (narušení pájky)** trhliny způsobené špatným procesem pájení a chlazení.

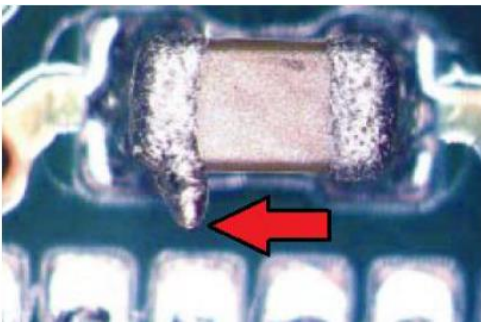


Obr 26: Pavučiny pájky [5]

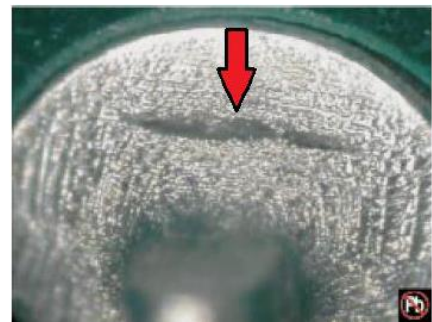


Obr 27: Trhlina [5]

- Whiskery (krápníky)
- Hot tear (termotrhlina) vznikají při procesu tuhnutí pájky bez olova.



Obr 28: Whiskery [5]



Obr 29: Hot tear [5]

# 7 Měření pájitelnosti

V praktickém měření se budu zabývat ovlivňování pájitelnosti, při přítomnosti pájecích par. Budou použity dvě pájecí slitiny, dvě tavidla a jeden druh kondenzační kapaliny.

Výsledky budou zpracovány a porovnány.

## 7.1 Použité materiály

### 7.1.1 Pájky

**Sn63Pb37** jedná se o nejběžnější pájku s teplotou tavení 183°C. Tato teplota je nejnižší mezi olovnatými pájkami a můžeme ji označit za eutektickou slitinu. Její struktura je jemnozrnná. Její mechanické a elektrické vlastnosti jsou velmi dobré a vyznačují se dobrou smáčitelností a termomechanickou odolností. [11]

**SAC 305** je bezolovnatá pájka s obsahem 96,5% cínu, 3% stříbra a 0,5% mědi. Její bod tavení je 217°C – 218°C. Disponuje dobrou smáčivostí, velkou pevností spoje a svými vlastnostmi se velice podobá pájce Sn63Pb37 a může se používat se všemi druhy tavidel. Mezi bezolovnatými pájkami SAC se jedná o nejlevnější variantu, a proto se velmi často používá při výrobě. [11]

### 7.1.2 Tavidla

**94-RXZ-M** toto tavidlo se používá při strojním pájení vlnou a je doporučováno k olovnatému pájení. Skládá se z 60 % alkoholu, 40% vody a neobsahuje halogenidové aktivátory. Díky obsahu alkoholu dochází k lepšímu odpařování rozpouštědla, a proto se může použít méně výkonný přehřev, než u tavidel na vodní bázi. Zbytky tohoto tavidla se nemusí odstraňovat. [19]

**TS-81** je vysoce aktivní, tekuté a neobsahuje kalafunu. Obsahuje organické a anorganické sloučeniny. Po procesu pájení je nutné zbytky tavidla odstranit vodou, protože jsou korozní. Je vhodné pro pájení různých typů oceli a komponentů vyrobených z chromniklových slitin. [20]

### **7.1.3 Testované vzorky**

Pro měření pájitelnosti jsem použil měděný drátek o průměru 1,5mm o délce 35mm. Před samostatným měřením byl vzorek očištěn a odmaštěn.

### **7.1.4 Kondenzační kapalina**

Pro vytvoření par byl použit Galden 230, s bodem varu 230 °C. Tato kapalina je plně fluorovaná a speciálně přizpůsobena pro pájení v parách. Má dobrou chemickou i teplotní stabilitu a má dobrou kompatibilitu s používanými materiály. [21]

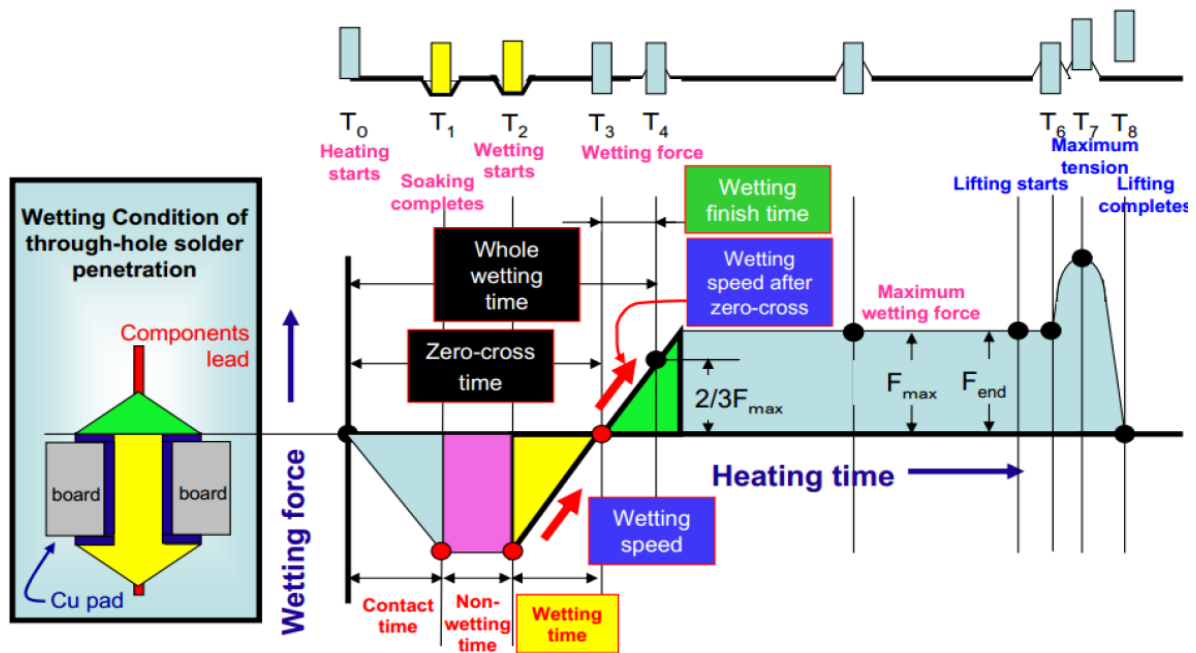
## **7.2 Postup měření**

Pro měření byla nastavena teplota pájky 240°C. Po ustálení této hodnoty se začalo měřit. Vzorek se uchytil do držáčku a podle druhu měření bylo nebo nebylo použito tavidlo a galden. Při používání tavidla je nutné nanést jen dostatečné množství. Přebytek tavidla byl odstraněn pomocí filtračního papíru, na který se vzorek umístil svisle na pár sekund. Před měřením byly odstraněny oxidy z povrchu roztavené pájky pomocí teflonové trubičky. Hloubku ponoru jsme nastavili na hodnotu 10mm.

Pro každé měření bylo použito více vzorků, aby bylo možné určit požadované parametry. Vyhodnocoval jsem dvě hodnoty. První byla maximální smáčecí síla působící na vzorek a v druhém případě dobu, za kterou dojde ke smáčení vzorků – „Zero-cross time“.

Při měření s obsahem par galdenu byl zakryt kalíšek s pájecí slitinou. K zakrytí posloužila destička s otvorem na měřený vzorek. Tímto se částečně zamezilo úniku par. Během měření bylo množství galdenu doplňováno.

K uložení a následnému zpracování výstupních dat jsme použili PC.



Obr 30: Rozbor křivky smáčecí síly

### 7.3 Naměřené hodnoty

Průměr vzorku	Tavidlo	Galden	Použitá pájka					
			SAC		Sn63Pb37 nestírání oxidu		Sn63Pb37 stírání oxidu	
			F [mN]	t [ms]	F [mN]	t [ms]	F [mN]	t [ms]
1,5 mm	Žádné	Ne	N	0	N	0	N	0
	94-RXZ-M	Ne	N	0	-	-	0,65	993
	TS-81	Ne	0,63	-	0,75	590	0,75	635
	Žádné	Ano	N	0	N	0	-	-
	94-RXZ-M	Ano	-	-	0,82	490	-	-
	TS-81	Ano	0,6	1260	0,82	507	-	-

Tabulka 5: Naměřené hodnoty - hodnoty označené N ( nesmáčivé) a označené - ( Široké spektrum hodnot)

## 8 Závěr

Cílem této práce bylo pomocí měření na meniskografu dokázat výskyt Tombstoning efektu, který často vzniká při pájení v parách. Hlavní myšlenkou je, že tento defekt způsobuje kondenzační kapalina (galden), která způsobuje odsmáčení vývodu na jedné straně součástky. Pro měření byly použity dvě pájecí slitiny a dvě tavidla. Byly pozorovány dva parametry charakteristik, kterou je maximální smáčecí síla a doba, za kterou se vzorek začne smáčet (Zero-cross time).

Bez použití tavidel u obou pájecích slitin kondenzační kapalina výsledné charakteristiky neovlivnila. Vzorky zůstávaly stále nesmáčivé.

Při použití tavidla 94-RXZ-M u bezolovnaté pájky SAC také nedocházelo ke smáčení. Podle výrobce se hodí ke strojnímu a olovnatému pájení. Ani při výskytu kondenzačních par nebyl výsledek uspokojivý, protože spektrum křivek bylo příliš velké pro vyhodnocení. U olovnaté pájky s tímto tavidlem ke smáčení už docházelo, ale spektrum křivek nevyhovovalo k určení námi hledaných parametrů. Při přidání galdenu je na charakteristikách patrné mírné odsmáčení vzorku, které při větším množství může způsobovat zmiňovaný Tombstoning efekt.

U tavidla TS-81 byly výsledky lépe porovnatelné. U pájky SAC v případě bez galdenu byla hodnota smáčecí síly větší, než za použití galdenu. Naopak doba, než vzorek začne smáčet, byla určena jen za použití galdenu, protože v případě bez něj bylo větší spektrum hodnot. Tento důsledek může způsobit příliš velké množství tavidla, protože se nanáší ručně. Toto tavidlo má velkou viskozitu a je velice pravděpodobné, že důvodem rozdílných časů, bylo velké množství tavidla, které se nevstřebalo do filtračního papíru. U olovnaté pájky naopak lepší hodnoty byly naměřeny při výskytu par galdenu, protože při měření bez něj docházelo k mírnému odsmáčení vzorku. Hodnoty zero-cross time se až na malý rozdíl moc nelišily, opět za ovlivňující faktor můžeme považovat množství tavidla.

Pro zlepšení výsledků se doporučuje stírání oxidu z povrchu roztavené pájky. U měření s výskytem galdenu tento krok nebyl možný, protože kalíšek s pájecí slitinou byl přikryt destičkou, která měla otvor pouze na měřený vzorek, aby nedocházelo k rychlému úniku par galdenu.

# 9 Použitá literatura

## 9.1 Knižní zdroje

- [1] WASSINK R. J. K.: Soldering in Electronics, Electrochemical Publication 1989, ISBN: 0 901150 24 X
- [2] ABEL M., CIMBUREK V.: Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi, ABE.TEC, Pardubice 2005, ISBN 80-903597-0-1
- [3] MACH P., SKOČIL V., URBÁNEK J.: Montáž v elektrotechnice, ČVUT Praha, 2001
- [4] URBÁNEK J., KLABAČKA E.: Technologie elektronických zařízení, ČVUT Praha, 1997
- [5] HILL, M. *IPC-A-610, Revision D*. Northbrook, Illinois, 2000. 420s. ISBN 1-580982-32-8
- [6] Starý, J., Kahle, P. *Plošné spoje a povrchová montáž*. Vydavatelství VUT v Brně, 2004 [cit. 2013-03-06].

## 9.2 Elektrické zdroje

- [7] Katedra elektrotechnologie ČVUT v Praze. Přístrojové vybavení laboratoře [online]. [cit. 10. 12. 2012]. Dostupné z: <http://technology.feld.cvut.cz:8080/xwiki/bin/viewrev/K13113/labwork?xpage=print&language=cs&rev=156.1>
- [8] KLABAČKA, Edvard, Zjišťování pájitelnosti povrchů meniskografem, FEL v Praze, [online]. [cit. 15. 5. 2013]. Dostupné z: <http://martin.feld.cvut.cz/~pelikano/vyuka/VEZ/meniskograf.pdf>
- [9] SZENDIUCH, Ivan, Pájení a bezolovnaté pájky, <http://www.printed.cz/assets/photos/pb-free.pdf>
- [10] [http://www.sspbrno.cz/~ales.lorenc/soubory/pajeni\\_pretavenim.pdf](http://www.sspbrno.cz/~ales.lorenc/soubory/pajeni_pretavenim.pdf)
- [11] <http://www.smtcentrum.cz/>
- [12] [www.umel.feec.vutbr.cz](http://www.umel.feec.vutbr.cz)
- [13] <http://www.smt-technologie.cz>
- [14] <http://www.mp-elektronik.cz>
- [15] <http://www.norte.cz>
- [16] <http://www.ok2imh.com>
- [17] <http://www.lvr.fel.cvut.cz>
- [18] <http://www.nordson.com/>

[19] [www.pbt.cz](http://www.pbt.cz)

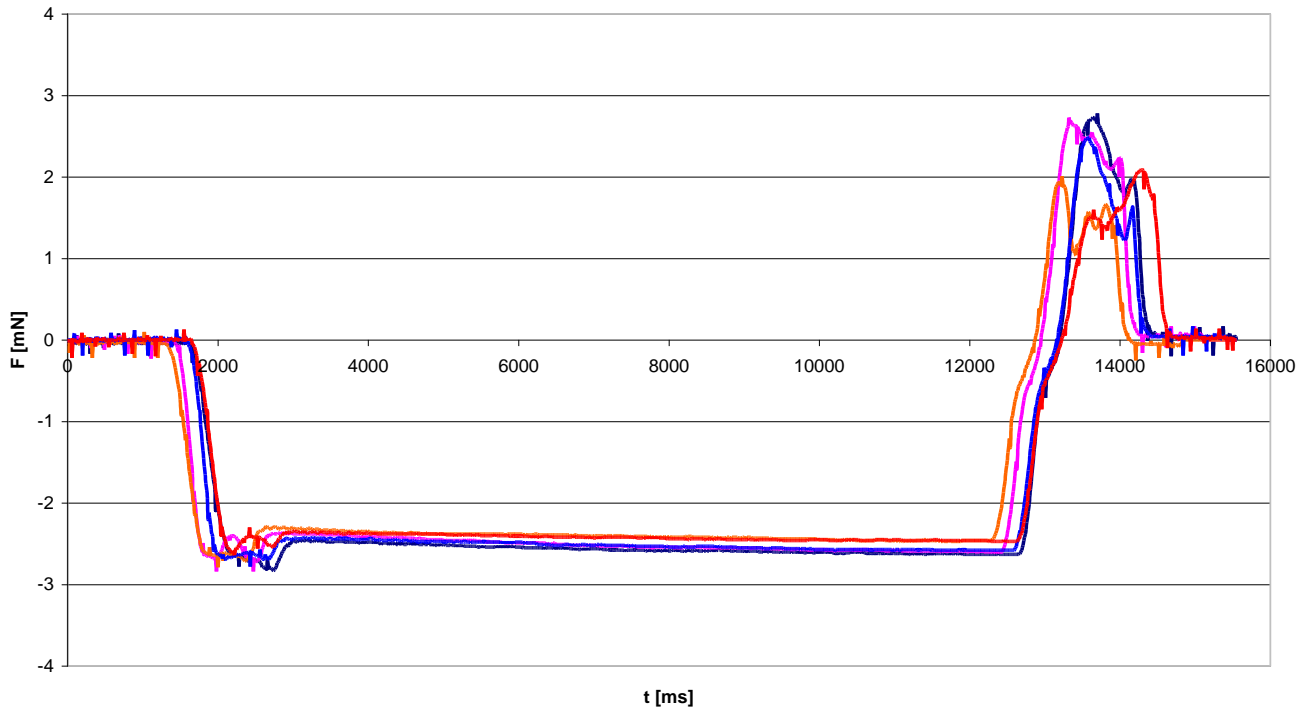
[20] <http://www.elektroniksc.com.pl>

[21] <http://www.exmore.com>

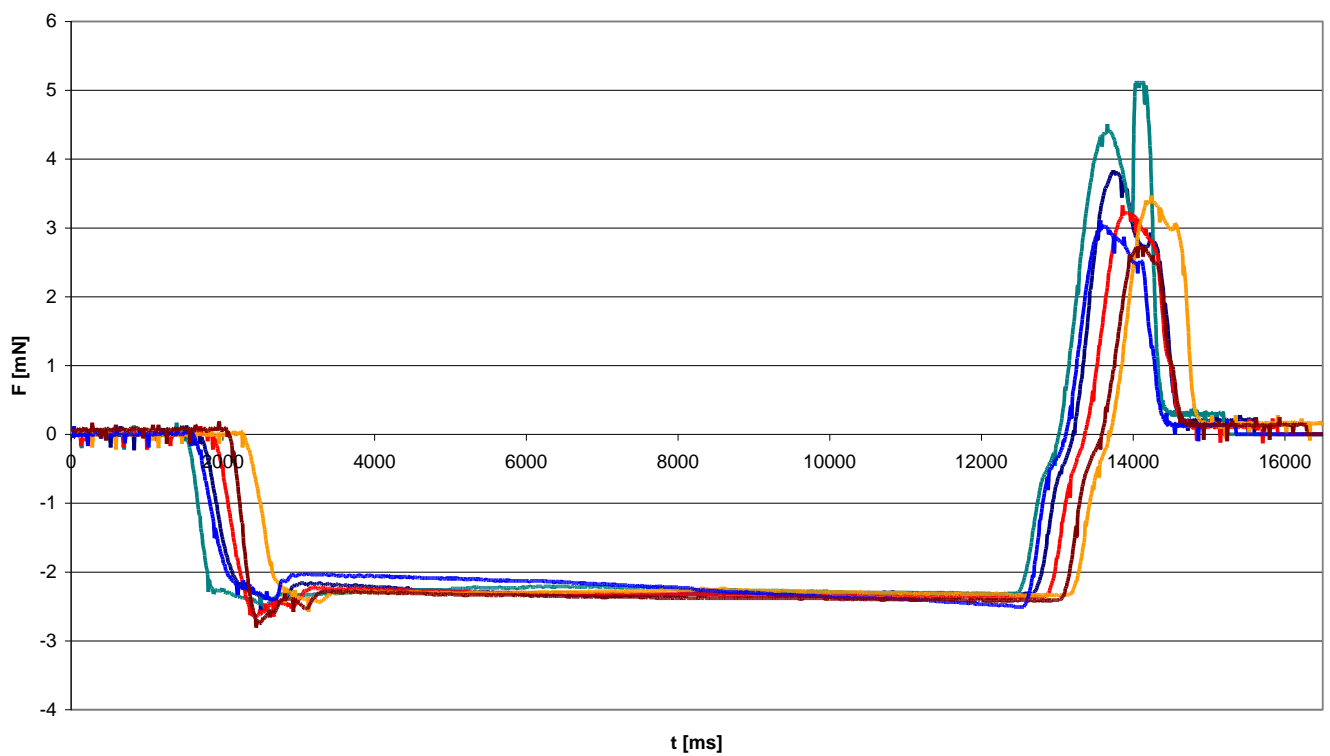


# 10 Přílohy

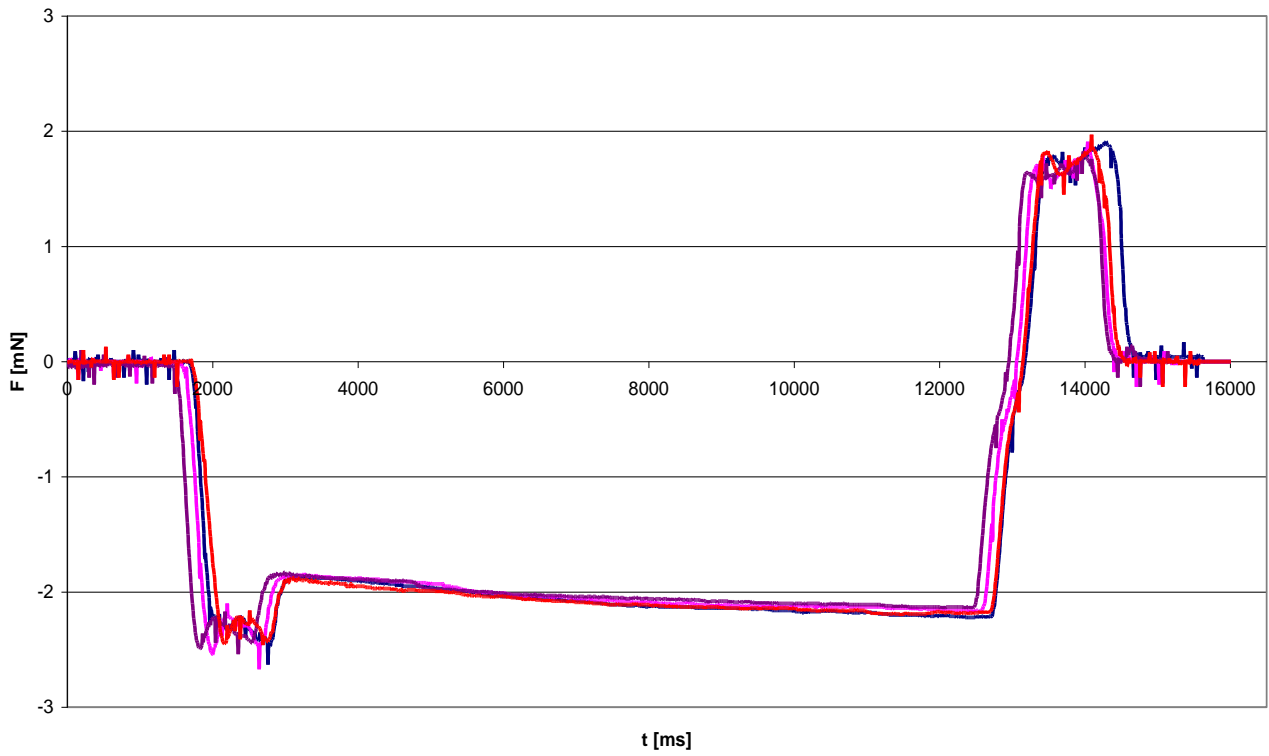
SAC\_bez\_tavidla



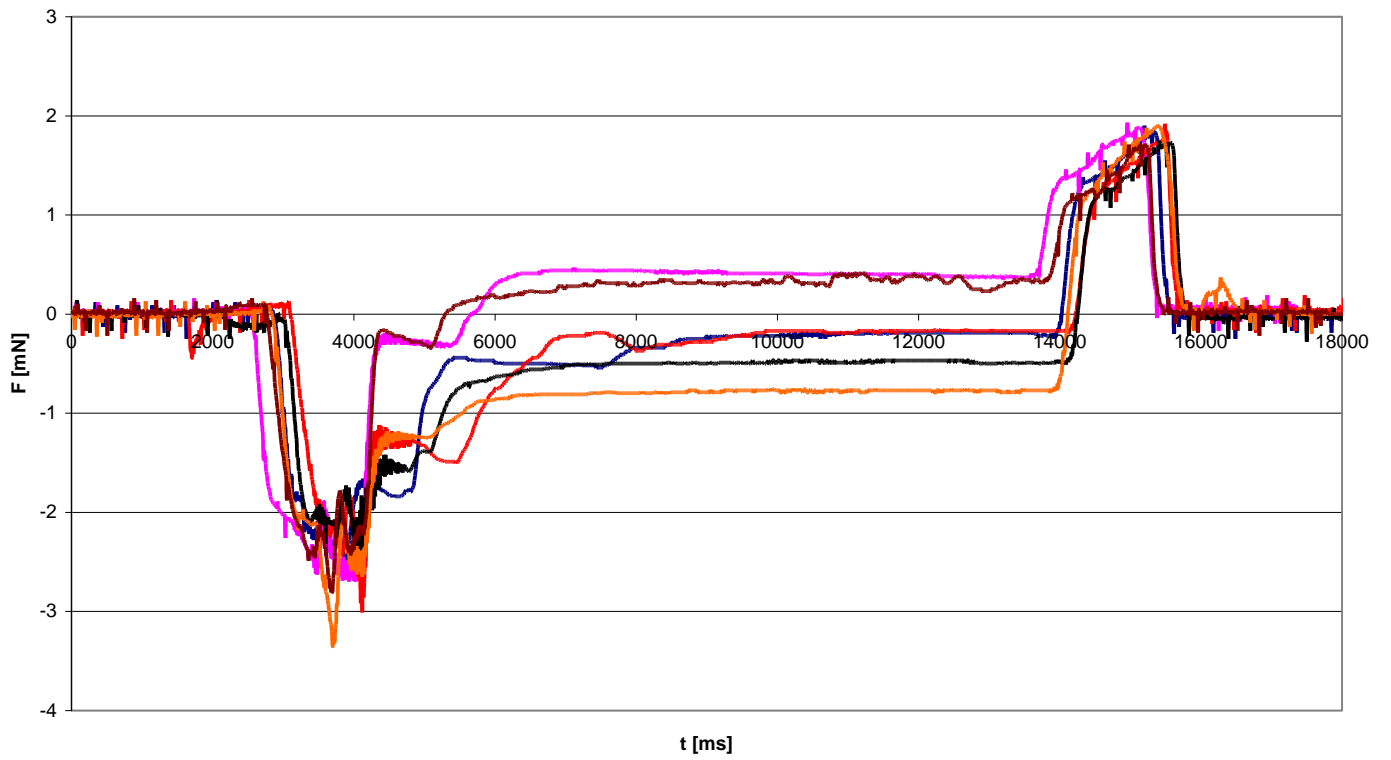
SAC\_bez\_tavidla\_s galdenem230



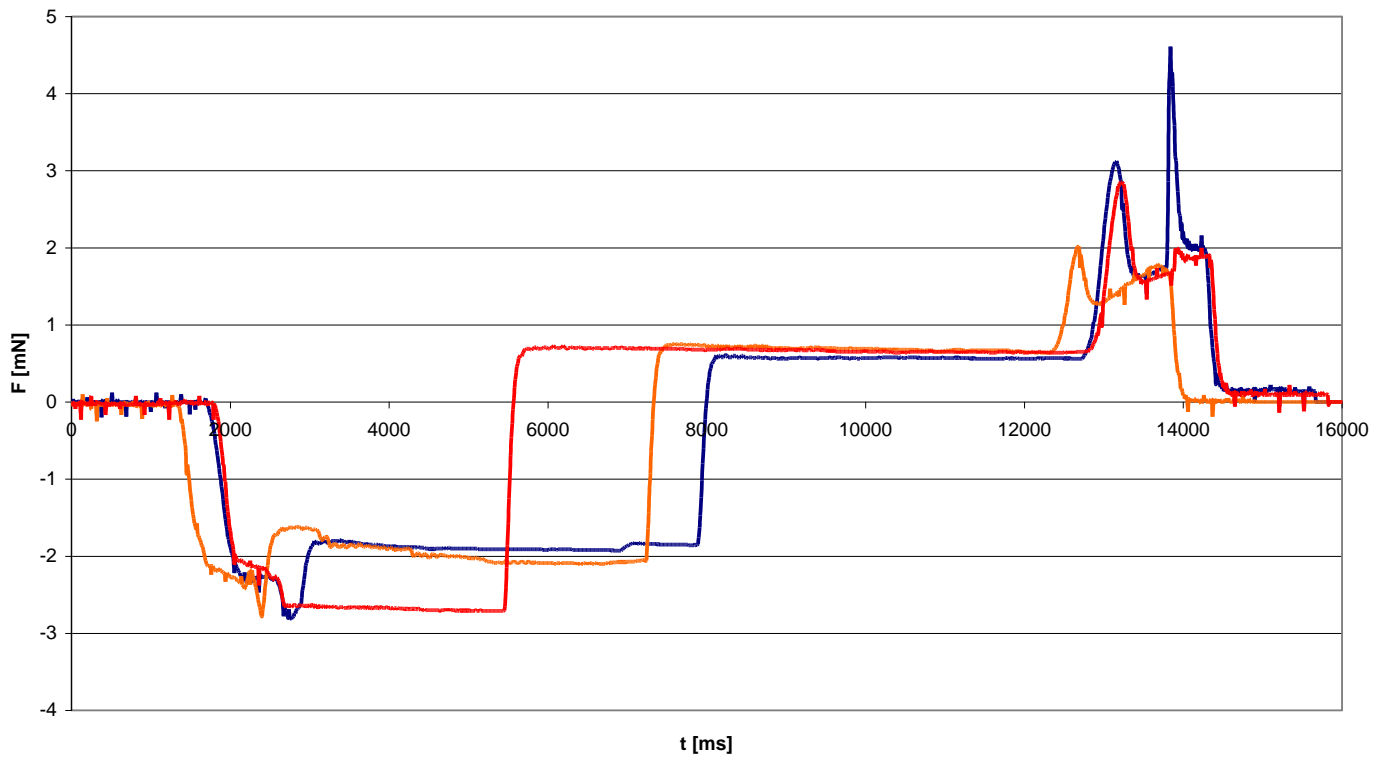
SAC\_Tavidlo 94-RXZ-M



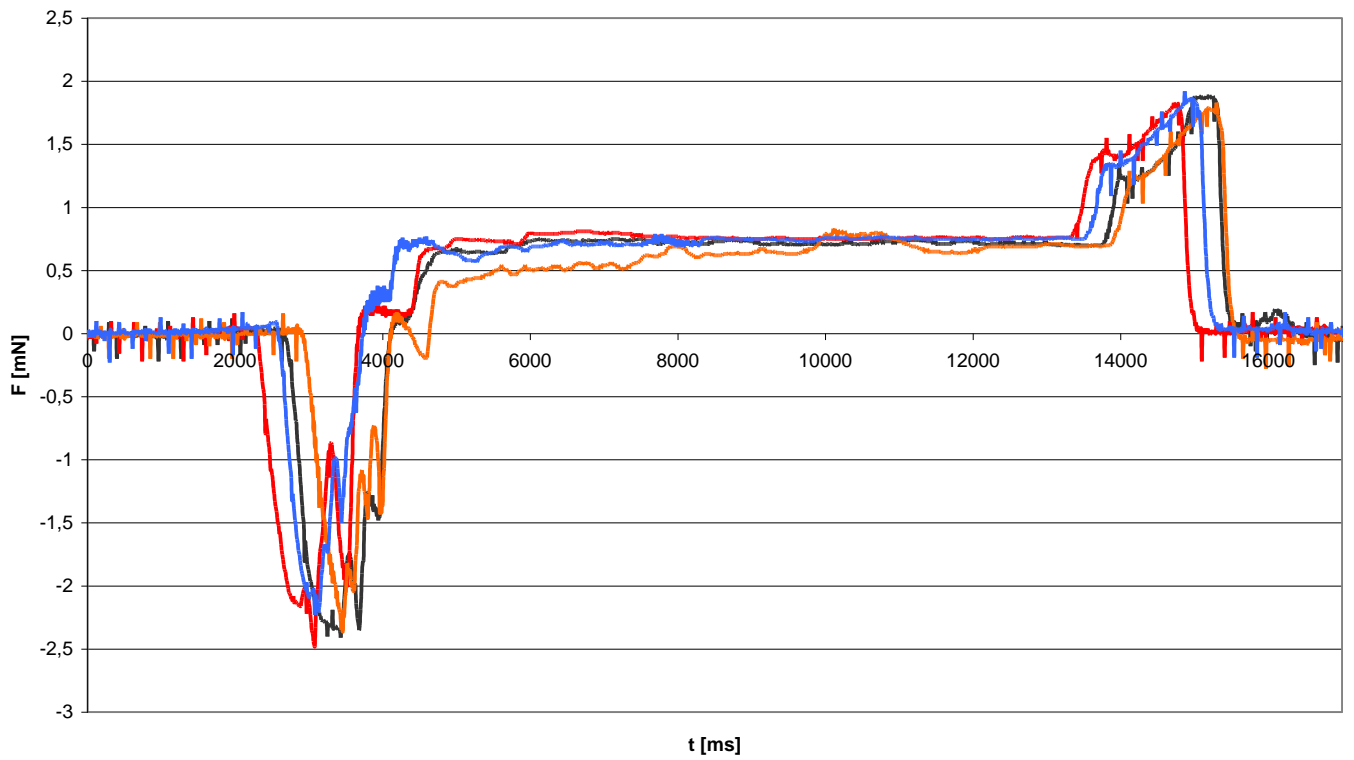
SAC\_Tavidlo 94-RXZ-M+galden230



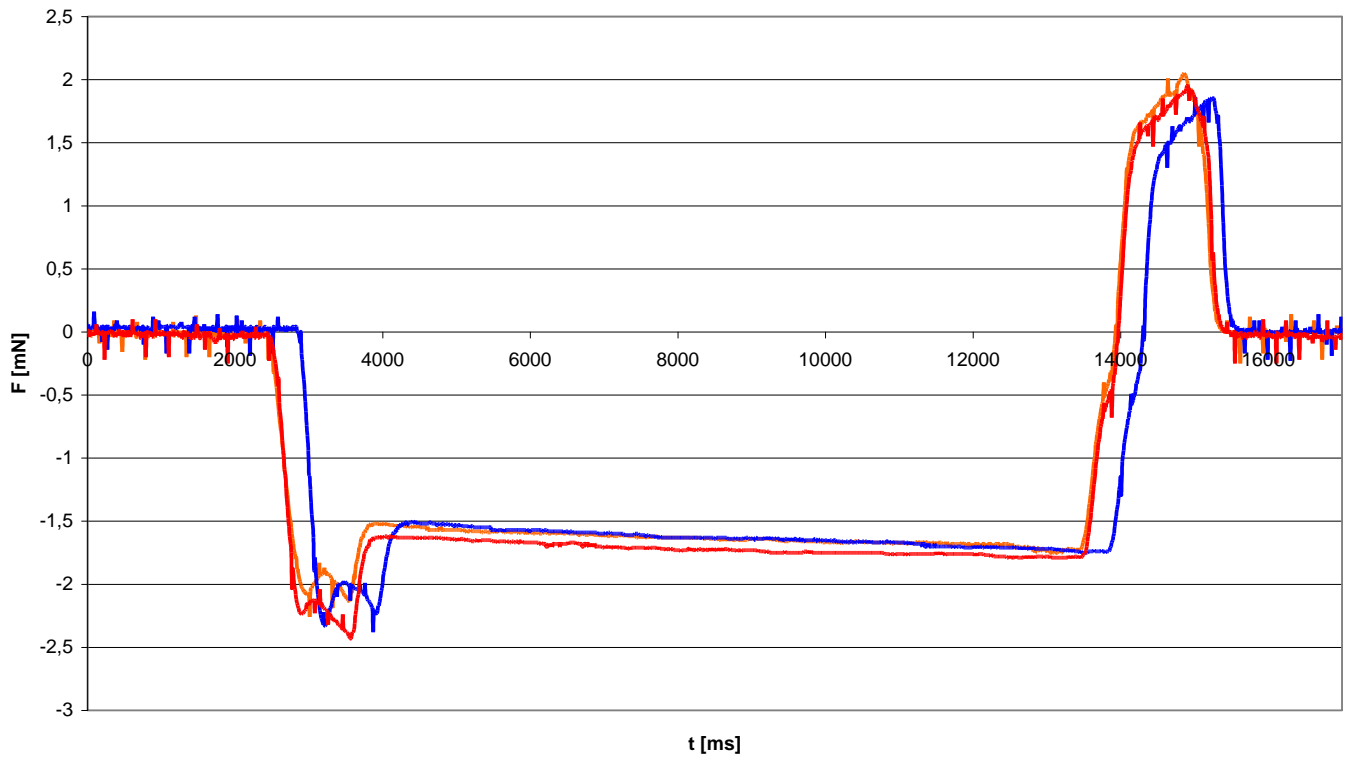
SAC\_Tavidlo TS-81



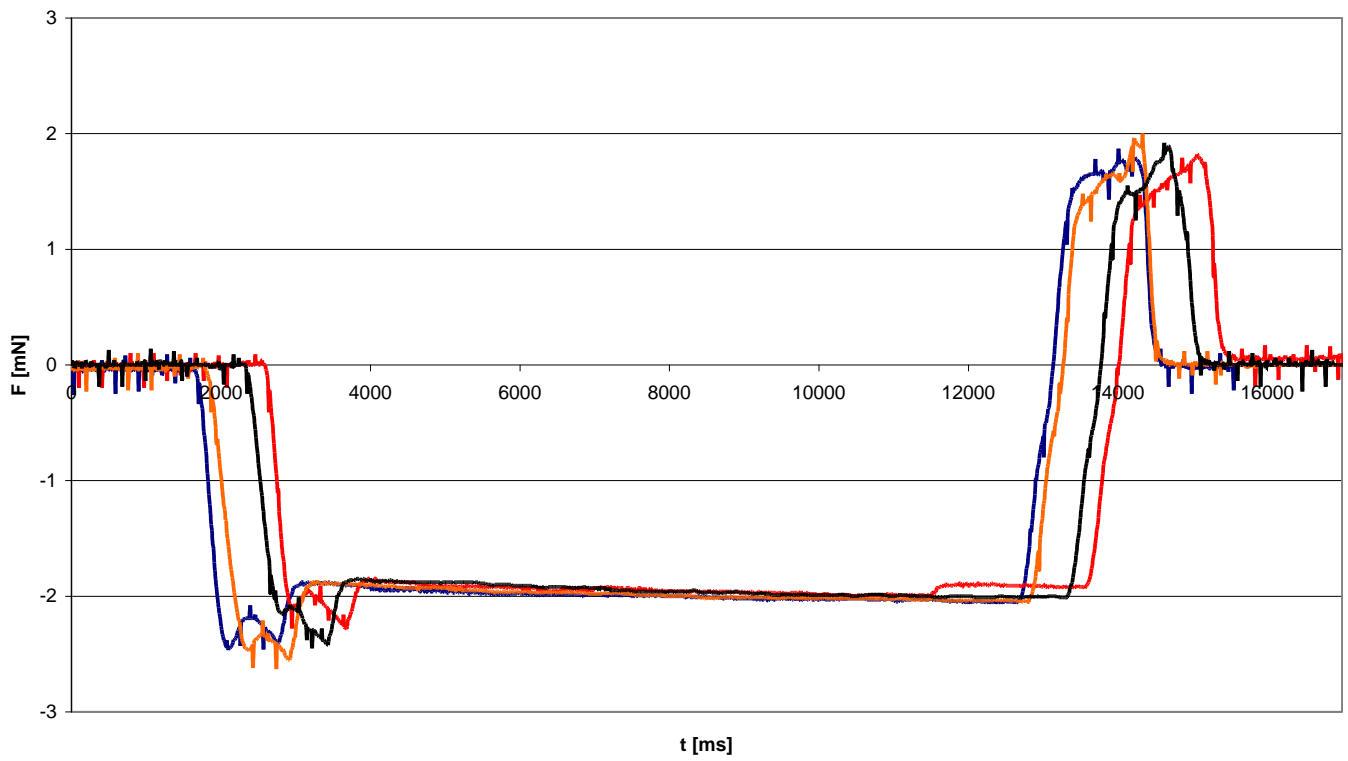
SAC\_Tavidlo TS-81+galden



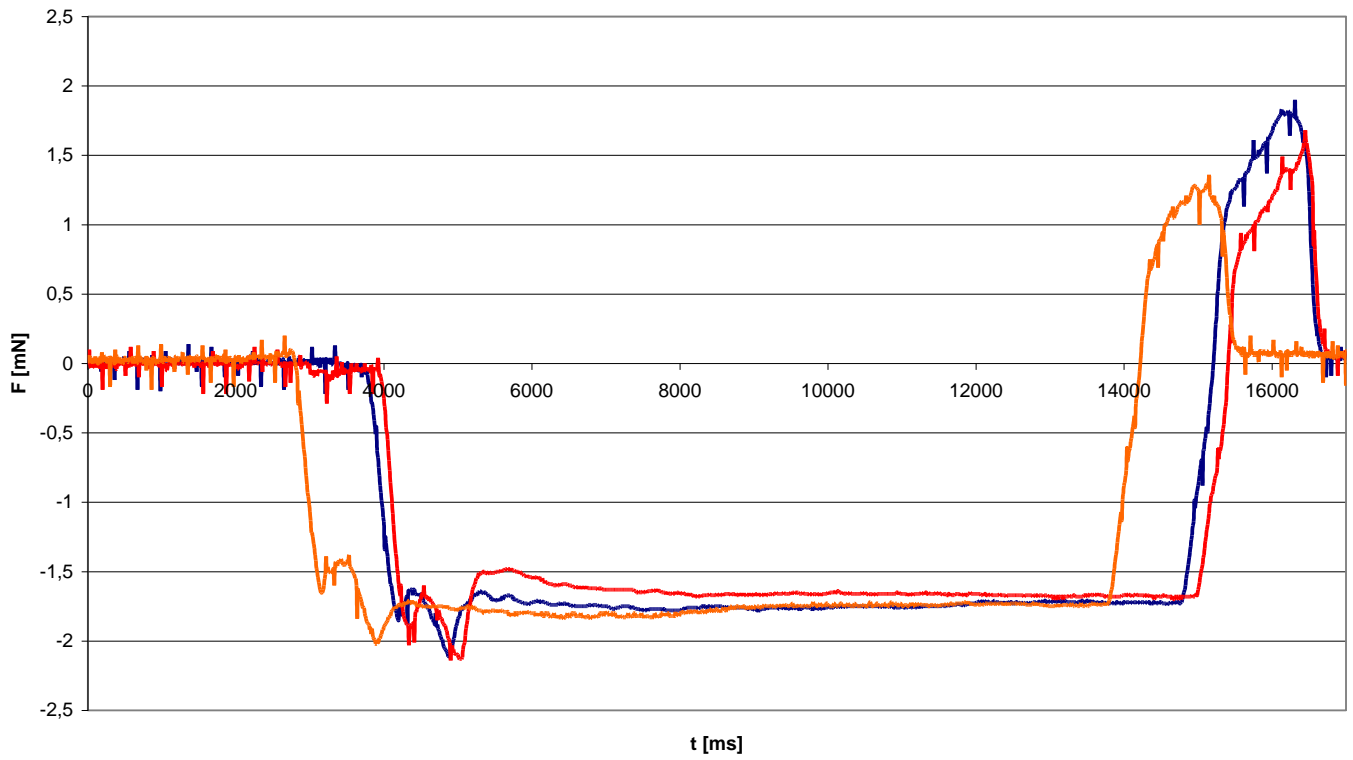
Sn63\_Pb37\_bez\_tavidla\_bez\_stirani\_oxidu



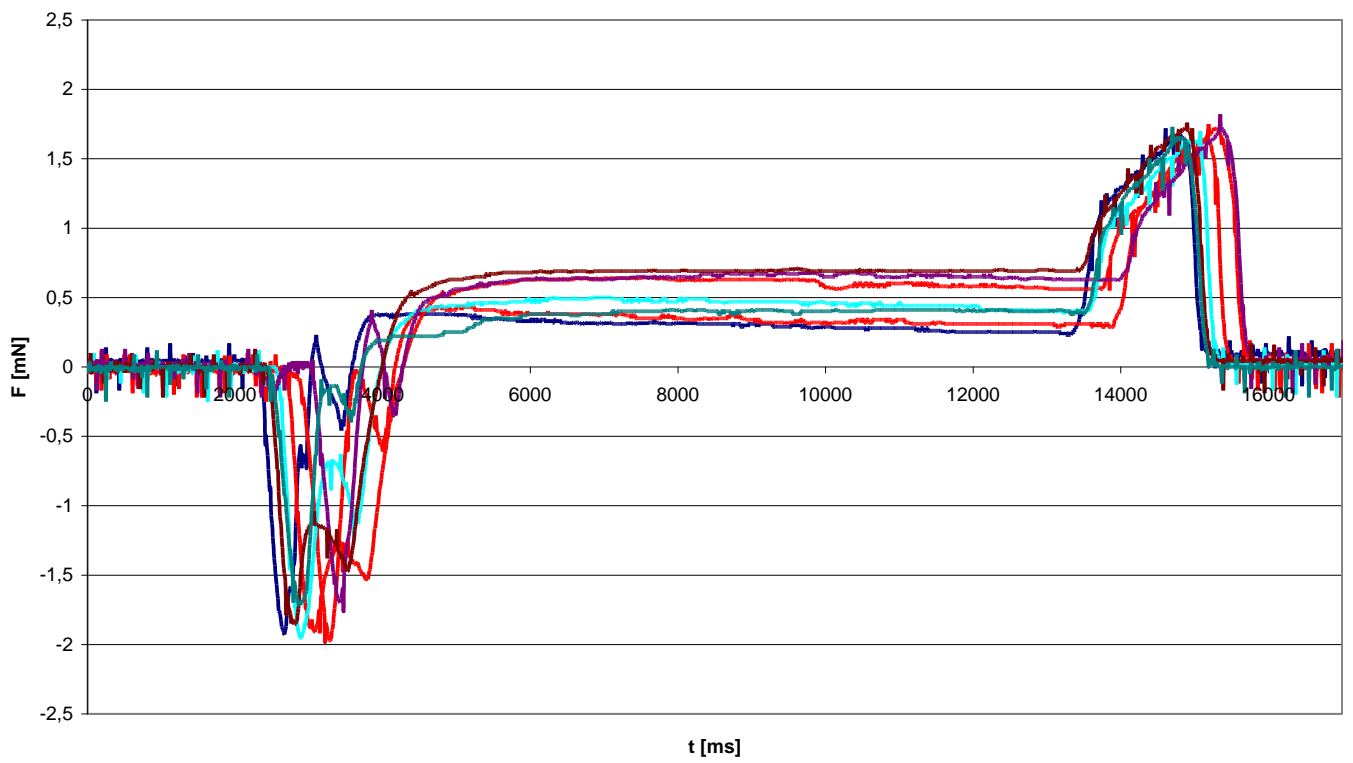
Sn63\_Pb37\_bez\_tavidla\_stirani\_oxidu



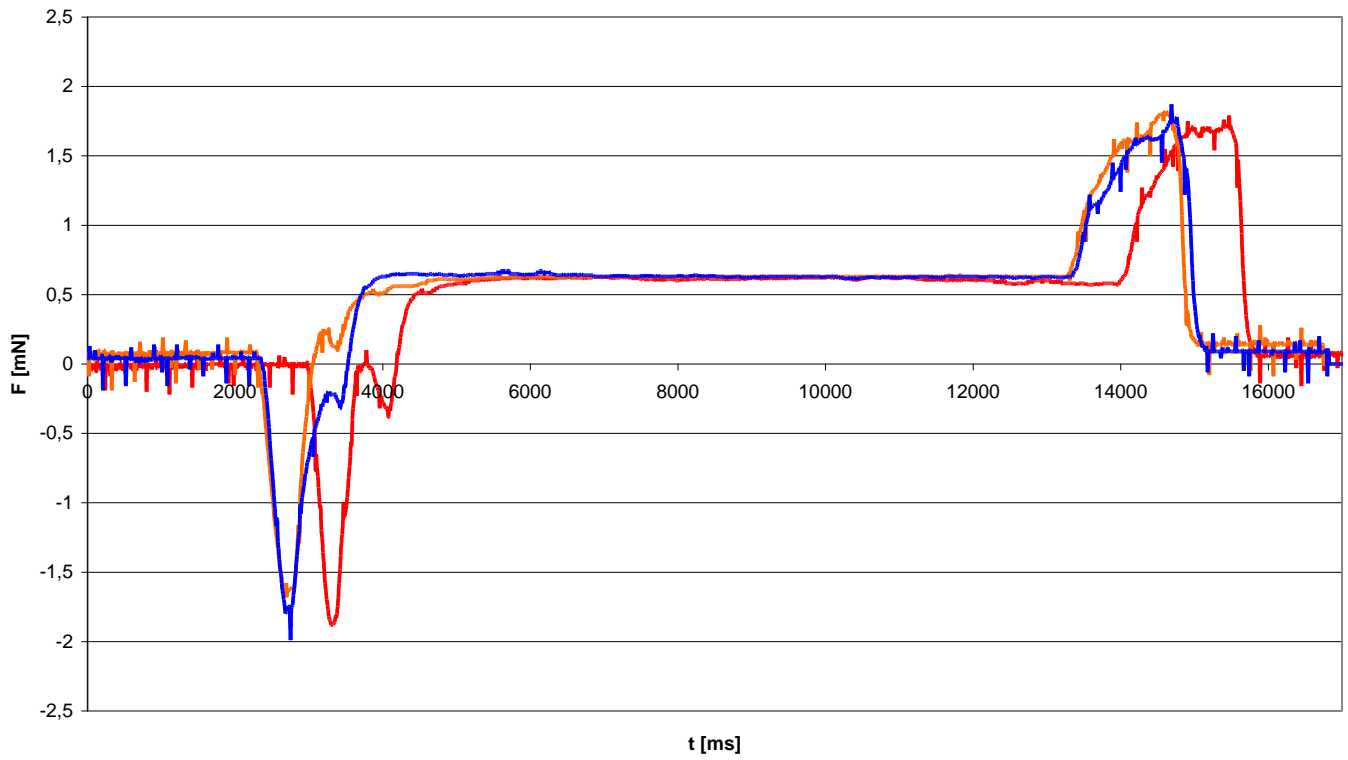
Sn63\_Pb37\_bez\_tavidla\_bez\_stirani\_oxidu+galden



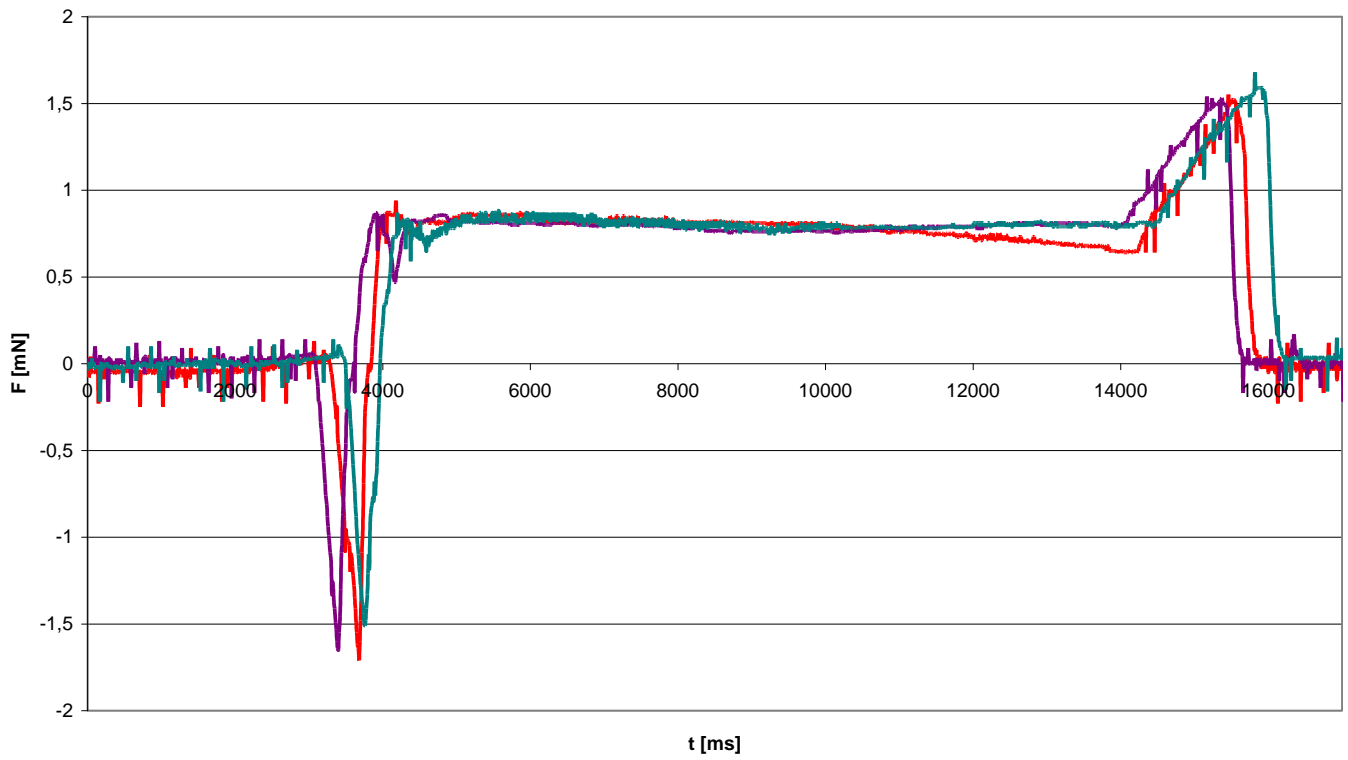
Sn63\_Pb37\_94-RXZ-M\_bez\_stirani\_oxidu



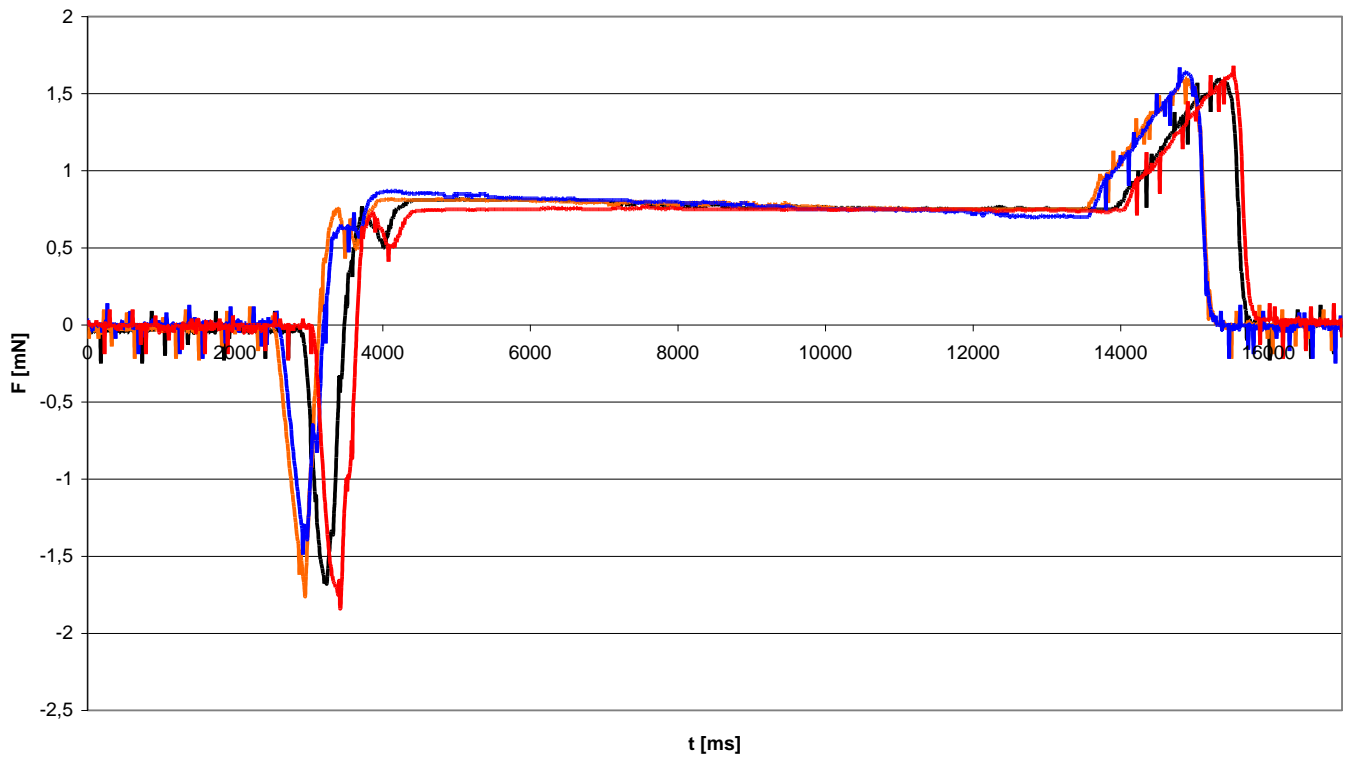
Sn63\_Pb37\_tavidlo\_94-RXZ-M\_stírání\_oxidu



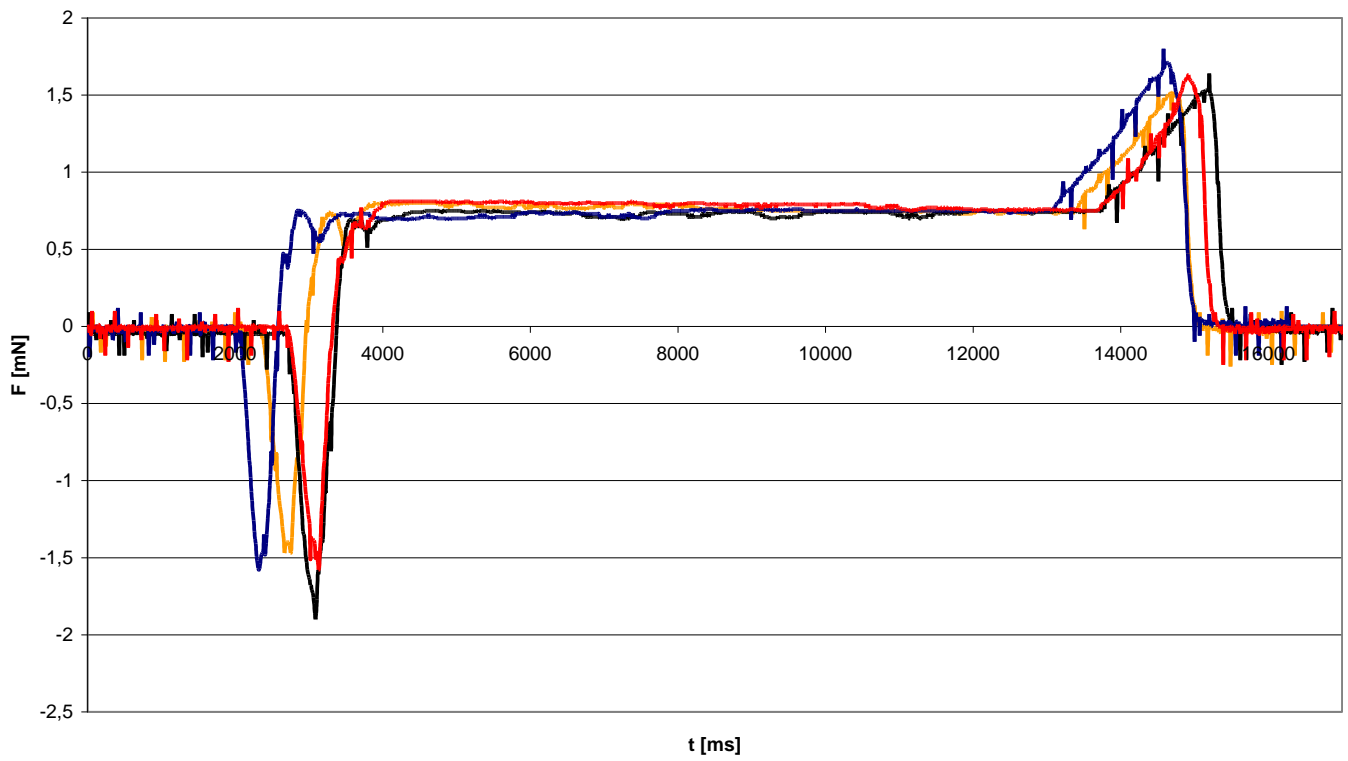
Sn63\_Pb37\_tavidlo\_94-RXZ-M\_bez\_stírání\_oxidu+galden



Sn63\_Pb37\_tavidlo\_TS-81\_bez\_stirani\_oxidu



Sn63\_Pb37\_tavidlo\_TS-81\_stirani\_oxidu



Sn63\_Pb37\_tavidlo\_TS-81\_bez\_stirani\_oxidu+galden

