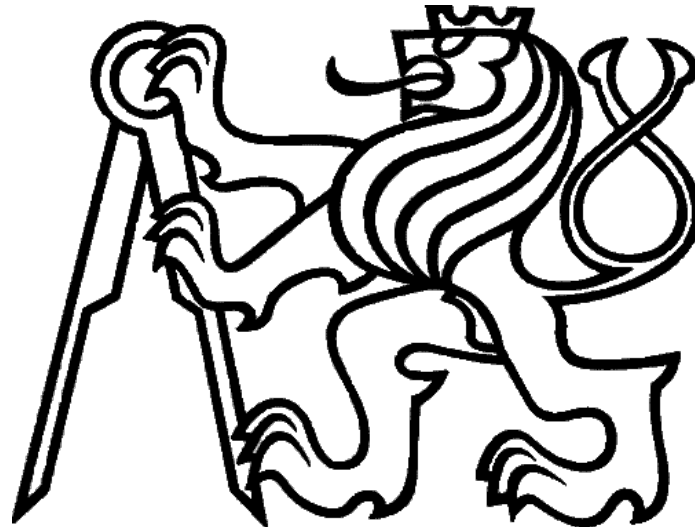


České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektrotechnologie



Pájení v elektrotechnice  
Soldering in electronic

Bakalářská práce  
Bachelor's thesis

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Ivana Beshajová Pelikánová, Ph.D.

Autor práce: Vít Machalický

Praha 2020

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Machalický** Jméno: **Vít** Osobní číslo: **469849**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Pájení v elektrotechnice**

Název bakalářské práce anglicky:

**Soldering in electronics**

Pokyny pro vypracování:

1. Popište technologie pájení používané v hromadné a kusové výrobě elektronických zařízeních.
2. Uveďte pájky používané v elektronice. Vybrané typy pájek popište a porovnejte.
3. Pro různé typy pájek otestujte jejich vlastnosti a vzájemně porovnejte.
4. Vyhodnoťte a porovnejte náklady na THT montáž při využití různých postupů pájení.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Szendiuch, I.: Technologie elektronických obvodů a systémů, VITIUM 2002  
[2] Harant, P., Steiner, F.: Testování pájitelnosti metodou smáčecích vah, ZČU v Plzni, [online 27. 1. 2020]  
<https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/392/1/r0c1c8.pdf>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Ivana Beshajová Pelikánová, Ph.D., katedra elektrotechnologie FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **28.01.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

Ing. Ivana Beshajová Pelikánová, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem uvedl veškeré použité zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne:

.....

Machalický Vít

## Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucí práce paní Ing. Ivaně Beshajové Pelikánové, Ph.D. za její pomoc při vypracovávání bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval paní Ing. Michaele Makešové za pomoc při vypracovávání ekonomické části této práce.

## Abstrakt

Práce se zabývá dělením pájení na kusovou a hromadnou výrobu. Popisuje různé druhy výroby a zařazuje je. Dále charakterizuje vybrané pájky a tavidla. Je zde zkoumán vliv vybraných tavidel a na smáčitelnost pájek. V ekonomické části jsou provedeny výpočty nákladů na vybrané způsoby pájení pro několik objemů produkce. Tyto způsoby pájení jsou porovnány z ekonomického hlediska.

## Klíčová slova

Kusové pájení, hromadné pájení, ruční pájecí stanice, cínová lázeň, pájecí vlna, meniskograf, náklady.

## Abstract

The bachelor thesis deals with the division of soldering into piece and mass production. Describes the various types of production and classifies them. It also characterizes selected solders and fluxes. The influence of selected fluxes and the wettability of solders is investigated here. In the economic part, cost calculations for selected soldering methods for several production volumes are performed. These soldering methods are compared from an economic point of view.

## Keywords

Piece soldering, mass soldering, manual soldering station, tin bath, soldering wave, meniskograph, costs.

## Obsah

<b>PROHLÁŠENÍ .....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>ABSTRAKT .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>KEYWORDS .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>- 7 -</b>
<b>1. KUSOVĚ PÁJENÉ SPOJE.....</b>	<b>- 8 -</b>
1.1 PÁJENÍ RUČNÍ PÁJKOU.....	- 8 -
1.2 PÁJENÍ PŘETAVERNÍM.....	- 10 -
1.3 CÍNOVÁ LÁZEŇ .....	- 11 -
<b>2. HROMADNĚ PÁJENÉ SPOJE.....</b>	<b>- 14 -</b>
2.1 PÁJENÍ VLNOU.....	- 14 -
2.2 SELEKTIVNÍ PÁJENÍ VLNOU.....	- 16 -
2.3 PÁJENÍ PŘETAVERNÍM.....	- 17 -
<b>3. VLASTNOSTI PÁJEK .....</b>	<b>- 18 -</b>
3.1 TVRDÉ PÁJKY .....	- 18 -
3.2 MĚKKÉ PÁJKY .....	- 19 -
3.2.1 Olovnaté pájky.....	- 19 -
3.2.2 Bezolovnaté pájky.....	- 19 -
<b>4. TAVIDLA .....</b>	<b>- 21 -</b>
4.1 F1.....	- 21 -
4.2 LP-1 .....	- 21 -
4.3 TS-81 .....	- 21 -
<b>4. PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>- 22 -</b>
4.1 MĚŘENÍ SMÁČIVOSTI.....	- 22 -
4.1.1 Úkol měření.....	- 22 -
4.1.2 Seznam použitých pomůcek .....	- 22 -
4.1.3 Postup měření .....	- 22 -
4.1.4 Teoretický rozbor .....	- 23 -
4.1.5 Grafy a naměřené hodnoty .....	- 25 -

4.1.6	Naměřené a vypočtené hodnoty .....	- 27 -
4.1.7	Obrázky vzorků.....	- 27 -
4.1.8	Vyhodnocení.....	- 28 -
4.2	MĚŘENÍ TVRDOSTI PODLE VICKERSE.....	- 29 -
4.2.1	Úkol měření.....	- 29 -
4.2.2	Seznam použitých pomůcek .....	- 29 -
4.2.3	Postup měření .....	- 30 -
4.2.4	Teoretický rozbor .....	- 30 -
4.2.5	Obrázky a naměřené hodnoty.....	- 31 -
4.2.6	Vyhodnocení.....	- 33 -
<b>5.</b>	<b>POROVNÁNÍ NÁKLADŮ NA RUČNÍ A HROMADNÉ PÁJENÍ.....</b>	<b>- 34 -</b>
5.1	TEORETICKÁ ČÁST .....	- 34 -
5.1.1	Úvod do problematiky .....	- 34 -
5.1.2	Amortizace .....	- 35 -
5.1.3	Fixní náklady (FN).....	- 35 -
5.1.4	Variabilní náklady (VN).....	- 35 -
5.1.3	Náklady na lidský faktor .....	- 36 -
5.2	PÁJENÍ RUČNÍ PÁJKOU .....	- 36 -
5.3	PÁJENÍ POMOCÍ CÍNOVÉ LÁZNĚ .....	- 40 -
5.4	PÁJENÍ POMOCÍ VLNY .....	- 44 -
5.5	VYHODNOCENÍ.....	- 47 -
<b>6.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>- 50 -</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>- 52 -</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>- 55 -</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>- 56 -</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>- 56 -</b>

# Úvod

---

Na pájení můžeme pohlížet, hodnotit je a dělit z mnoha hledisek. Ve své práci jsem se rozhodl pro dělení na dvě základní skupiny. První skupinou je kusová výroba pájených spojů a druhá skupina se bude týkat hromadně pájených spojů. Oba tyto celky se následně dělí na podkapitoly, kde se zaměřuji na způsob výroby. Některé způsoby výroby je však možné zařadit do hromadné i do kusové výroby, proto se skupiny budou v některých místech prolínat.

Následně popisuji rozdíl mezi měkkými a tvrdými pájkami a obě tyto skupiny si blíže specifikuji. U měkkých pájek se věnuji vlastnostem olovnatých a bezolvnatých pájek. V další části práce se zaměřuji na legislativu výroby. Také zde rozebírám vlastnosti tavidel.

V praktické části práce provádím dva experimenty. V prvním zkoumám smáčitelnost vybraných pájek v kombinaci s různými tavidly. A ve druhém měřím tvrdost těchto vybraných pájek podle Vickersova.

V poslední části této práce počítám ekonomické hledisko pro různé objemy produkce vybranými způsoby pájení a vzájemně je porovnávám. U této části vycházím i z vlastní zkušenosti, kterou jsem získal ve svém zaměstnání.



# 1. Kusově pájené spoje

Kusově pájené spoje jsou takové spoje, u kterých nepočítáme s výrobou velkého množství, ale nanejvýš s výrobou několika desítek kusů. Pro výrobu takových spojů můžeme použít několik způsobů. Jako první způsob přiblížím ten nejčastěji využívaný a tím je pájení ruční pájkou.

## 1.1 Pájení ruční pájkou

Dříve, než se pustím do objasnění principu pájení, seznámím vás se základními pojmy.

1. **Pájka** - materiál, který je tvořen slitinou kovů (většinou používáme v určitém poměru kovy Cín (Sn) a měď (Cu)). Tato slitina má malou teplotu tavení v poměru s teplotou tavení spojovaných materiálů.

Pájky se rozdělují podle teploty tavení na:

- a) měkkou pájku, u které je teplota tání nižší než 450°C
- b) tvrdou pájku s teplotou tání nad 450°C (těmto pájkám se budeme hlouběji věnovat ve druhé části s názvem „Rozdělení pájek a jejich vlastnosti podle složení“.)



Obrázek 1: Cínová pájka (Sn99,3Cu0,7) [6]

2. **Páječka**- přístroj, který se používá k roztavení pájky. Páječek je několik druhů například ruční páječka, transformátorová páječka nebo pájecí stanice.



Obrázek 2: pájecí stanice SOLOMON 50W [7]

3. **Tavidlo** - chemická látka, která má v pájení více funkcí. Tavidlo slouží k lepší smáčitelnosti pájky a také k odstraňování nečistot a různých oxidů ze spojovaných materiálů. Jako tavidlo se často využívá např. kalafuna. Více se o tavidlech dozvíme ve čtvrté kapitole.



Obrázek 3 Tavidlo – kalafuna [8]

Ručně pájené spoje fungují na principu dvou kovový vodivých materiálů často měděných, které jsou pevně spojeny pájkou. Jak z názvu vyplývá tento pájecí proces vzniká výhradně manuální prací. Chtěl bych vás seznámit s postupem, jak při ručním pájení tohoto spoje docílit.

Nejdříve je potřeba místo, které chceme pájet dostatečně očistit. K tomu použijeme již zmíněné tavidlo. Poté přiložíme pájku k místu, ve kterém chceme spojit pájené materiály a přiložením páječky roztavíme pájku. Jelikož má pájka daleko nižší bod tání než spojované

materiály, začne se tavit a její okolí zůstává pořád v pevném stavu. Po odejmutí páječky pájka opět ztuhne a vytvoří tak pevný spoj. [1][2]

## 1.2 Pájení přetavením

Pájení přetavením je jeden z těch způsobů pájení použitelných pro kusovou a hromadnou výrobu a proto ho naleznete v obou kapitolách.

Tento druh pájení se používá hlavně pro SMD (surface mount technology). Rozdíl mezi SMD součástkami a THT (Through-hole technology) součástkami je ten, že THT součástka má drátové vývody, které projdou skrz plošný spoj a na druhé straně se zapájí. Naproti tomu SMD součástky se používají výhradně k povrchové montáži plošného spoje.



Obrázek 4 A) Elektrolitický kondenzátor 0,47UF THT[12]

B) Elektrolitický kondenzátor 47UF SMD[13]

Důležitým prvkem pro tento způsob pájení je pájecí pasta. Pájecí pastou v tomto případě označujeme speciální druh měkké pájky, která obsahuje tavidlo s malými kousky pájky. Na vytištěnou DPS (deska plošného spoje) nanese se pájecí pasta. To je možné učinit několika způsoby: tisk přes šablonu, přímý potisk součástek pomocí dávkovače a další. Po nanesení pájecí pasty do ní přichytíme součástku. Lepivost pasty zajistí dobré uchycení pájené součástky.

Poslední krok je již zmíněné přetavení pájecí pasty. Tento krok opět můžeme provést několika způsoby.

První možnost je přetavením horkým vzduchem. Tento způsob se dá rozdělit ještě na dvě podkategorie. Tou první je použití horkého vzduchu po celé ploše výrobku, k tomu využíváme tzv. přetavovací pec. Nebo můžeme použít horkovzdušnou pájecí stanici, která přetaví pájecí pastu pouze na lokálních úsecích.

Výjimečně používaný způsob je přetavením laserem. Tehdy se laserový paprsek soustředí na bod, kde je nanesena pájecí pasta, zahřeje jí a přetaví. Velkou výhodou je, že se zahřívá s maximální přesností v minimálním čase (v řádech desetin sekund). Na druhou stranu tato metoda je tak nákladná, že se používá je opravdu ve výjimečných případech.

Dále možné provést přetavení pomocí kondenzačních par. K tomuto způsobu potřebujeme nějaké médium, které bude přecházet z kapalně podoby do plynné a následně bude ohřívat DPS, kde dojde k přetavení.

Během pájení se může stát, že vznikne takzvaný most, neboli nechtěné propojení dvou vývodů s následným zkratem mezi dvěma spoji. Tento most je potřeba odstranit pomocí kapilárního odsávacího pásku a ruční pájkou.

Jako poslední krok pájení omyjeme DPS isopropanolem, pomocí kterého se zbavíme přebytečného tavidla.[3][4][5]

### **1.3 Cínová lázeň**

Pájení pomocí cínové lázně je dost specifický způsob pájení. Je ideální pro výrobu velkého množství kusů plošných spojů, které by už bylo náročné vytvořit pomocí ruční pájky, ale zároveň by bylo zbytečně nákladné zaplatit pájení pájecí vlnou.

Nejprve je nutné pořídit si cínovou lázeň jejíž pořizovací náklady se liší podle velikosti zařízení. Cena menší lázně se pohybuje od 1000,- Kč drahší, větší lázně mohou stát až 30krát více. Velikost lázně se posuzuje podle objemu, výkonu.

Cínová lázeň je zařízení, které se skládá z kádinky, vyrobené ze slitiny titanu, ručního držáku pro snazší manipulaci při namáčení DPS, ovládacího pultu pro regulaci teploty a elektrického ohřevu kádinky.

Do lázně vložíme pájku ve formě cínových válečků a přidáme k nim čisticí. Po zapnutí lázně se vše rozpustí do kapalné formy.

Předtím, než začneme namáčet plošný spoj do lázně, je nutné ho ručně osadit a také na něj nanést tavidlo. Nejlepší je nanášet tavidlo pomocí spreje, aby bylo rozprostřeno rovnoměrně. Poté, co je osazený plošný spoj a nanášeno dostatečné množství tavidla, je možné přistoupit k samotnému pájení.

Vezmeme DPS, kterou uchytíme v ručním držáku. Výhodou tohoto držáku je, že u větších lázních jich můžeme uchytit více najednou a díky tomu jich jedním namáčením zapájet více. Nyní pod úhlem cca 30° a pohybem vpřed noříme DPS do cínové lázně. Ale pouze tak, aby byla ponořena spodní strana plošného spoje a cín se nemohl dostat na vrchní část DPS. Po ponoření přední části DPS úhel zmenšujeme dokud není ponořena celá spodní část plošného spoje a deska je rovnoběžná s hladinou. Poté opět pohybem vpřed a tentokrát zvětšováním úhlu celou desku vytáhneme. Tento proces nesmí být příliš rychlý, aby se na vývody THT součástek nanášelo dostatečné množství pájky. Pokud však bude celý proces trvat příliš dlouho, může dojít k teplotnímu poškození DPS.

Hlavní nevýhodou toho způsobu pájení je, že takto zapájený plošný spoj má určitou chybovost. Chybovost se dá snížit použitím kvalitního tavidla, ale i tak několik jednotek procent spojů je takzvaný studený spoj. Tento název používáme v případě, že vývod THT součástky není celý pokryt cínem a daleko hůře vede elektrický proud. Dokonce se může stát, že se tento vývod brzy uvolní a elektrické spojení se přeruší. V případě, že se nepoužije žádné tavidlo, je téměř každý třetí spoj je studený.

Proto je potřeba vždy na konci pájení zkontrolovat každý pájený spoj a zjistit, jestli není chybný. V případě, že tomu tak je, je nutné ho opravit ruční pájkou. V případě že na DPS je takto chybných spojů několik je možné celý tento způsob pájení opakovat. [9][10]

## 2. Hromadně pájené spoje

### 2.1 Pájení vlnou

Výhodou této metody je fakt, že je možné pájet větší množství DPS najednou. Nevýhodou pak je, že má daleko větší pořizovací náklady než obyčejné ruční pájení. Můžeme ale využít služeb firem, které se na pájení vlnou specializují.

Pájení vlnou probíhá ve stroji, do kterého vložíme již osazené plošné spoje a pomocí dopravního pásu se tyto součástky přepravují do jednotlivých sekcí.

Prvním krokem je umístění DPS pod trysku, ze které je na součástky nanášeno tavidlo pro lepší smáčitelnost.

Po nanesení tavidla součástky putují do předehřívací zóny. V této části stroje jsou plošné spoje předehřívány na teplotu blízkou teplotě rozpuštěné pájky. A to proto aby:

1. došlo k odpaření části tavidla
2. se součástka zahřívá postupně a nedocházelo tak velkému teplotnímu skoku, jako kdyby na ni byla rovnou nanášena pájka.

Následuje samotná cínová vlna. Hmota je hnána čerpadlem a na konci vzniká vlna z pájky.

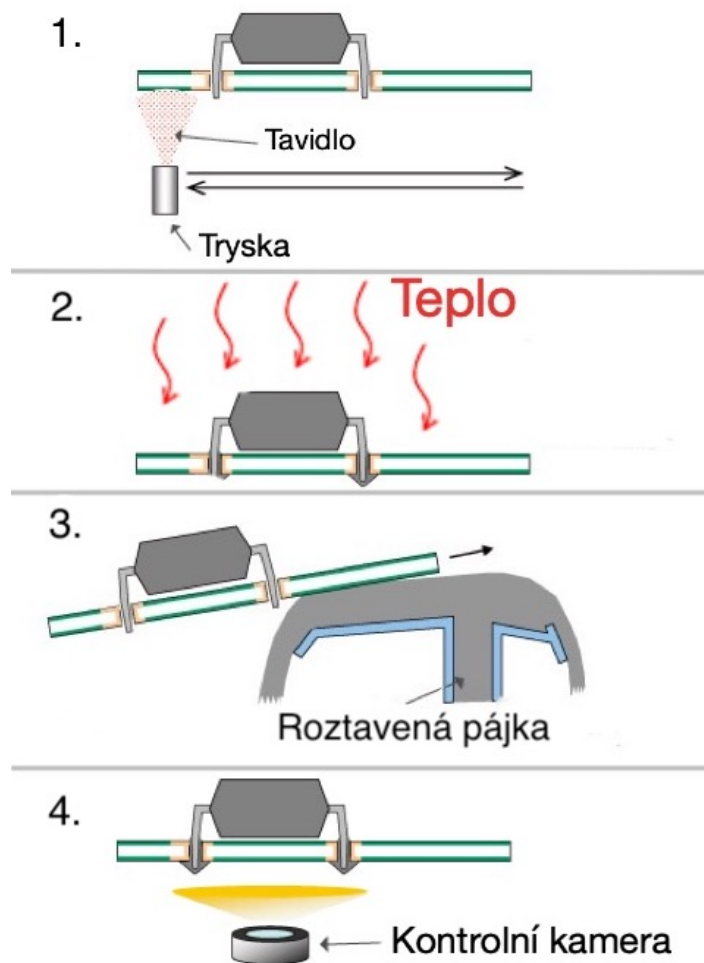
Tou projíždí dopravní pás se součástkami, které jsou tímto způsobem zapájeny.

Posledním stanovištěm je kontrolní místo. V tomto místě se pomocí kamery zkontrolují všechny zapájené spoje a v případě jakýchkoliv nedokonalostí se následně plošné spoje dopájí ručním způsobem.

V některých případech, obzvláště když se jedná o zařízení, u kterých je kladen veliký důraz na spolehlivost, očišťujeme plošné spoje ještě další cestou. Ve většině takových případech používáme dvě po sobě jdoucí metody.

1. Oplach chemií pro omytí agresivních nečistot, zbytků tavidel a otisků prstů.
2. Oplach deionizovanou vodou pro očištění chemie.

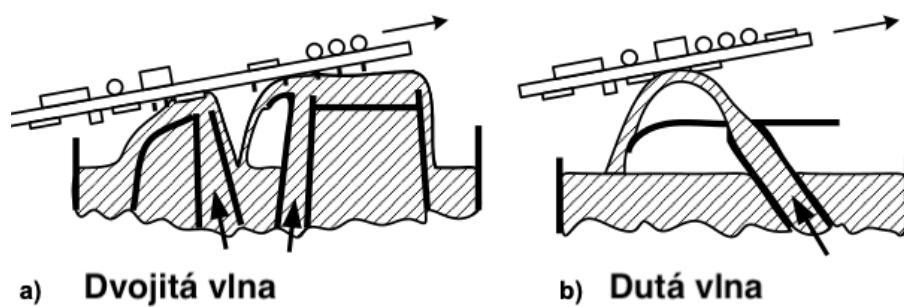
Na následujícím obrázku je zobrazen náčrt postupu pájení vlnou.



Obrázek 5 Náskres postupu vlnou[3]

Vlnu můžeme rozdělit na dva typy: A) dvojitá vlna

B) dutá vlna



Obrázek 6 Dvojitá a dutá vlna[3]



Dvojitá vlna vzniká, když používáme dvě trysky. Jedna tryska míří ve směru pohybu dopravníkového pásu a druhá míří v protisměru.

Dutá vlna je tryskána v protisměru pohybu dopravníkového pásu, tudíž tok pájky je přímo v protisměru plošného spoje. Tato vlna má výhodu, že se slitina snadno odpojuje od pájené součástky. [3][11][2]

## 2.2 Selektivní pájení vlnou

Selektivní pájení vlnou je v mnohém podobné pájení vlnou. Provádí se také pomocí přístroje. Tento přístroj je levnější než přístroj pro pájení klasickou pájecí vlnou, a tudíž si ho mohou dovolit i menší a střední firmy.

Proces pájení probíhá stejným způsobem, který byl popsán u klasického pájení vlnou.

1. Nanesení tavidla
2. Předehřátí
3. Nanesení pájky
4. Vizuální kontrola.

Selektivní pájení se liší pouze ve 3. kroku, protože na rozdíl od klasické vlny, pomocí které byla nanesena pájka na celý plošný spoj, se zde nanáší pájka pomocí trysky pouze na předem definovaná místa. Z tohoto vyplývá několik výhod, ale i nevýhod.

První hlavní výhodou je, že do kontaktu s pájkou, která má vysokou teplotu, přijdou jen definované kontakty a zbytek plošného spoje není zasažen vyšší teplotou. Proto se tento druh pájení využívá hlavně u součástek, u kterých hrozí, že kontakt s vysokou teplotou je trvale poškodí, například elektrolytické kondenzátory, skleněné displeje a podobně.

Z tohoto faktu vyplývá i hlavní nevýhoda a tou je, že se v počítači u každého spoje musí definovat místa, která budou pájena, to zvyšuje náročnost celé operace. Takto vytvořený postup se však může dále aplikovat na stovky dalších stejných plošných spojů.[3]



*Obrázek 7 Tryska selektivní vlny[14]*

### **2.3 Pájení přetavením**

Tento způsob pájení byl již zmíněn v kapitole 1.2. a týkal se kusového pájení. Všechny principy, které byly uvedeny v této kapitole jsou platné i nyní. Rozdílem mezi hromadným způsobem pájení a způsobem pájení kusovým zmíněným v předešlé kapitole je způsob osazování DSP, nanesení pájky a také roztavením pájky. Při ručním pájení během kusové výroby jsou plošné spoje osazovány ručně pracovníkem. Kdežto u hromadné výroby probíhá osazování pomocí osazovacích strojů a ve velkém množství. Pracovník pak může jen ručně opravovat drobné nedostatky, které vznikly při strojovém osazování. Proces nanesení pájecí pasty a její následné roztavení probíhá při hromadném pájení pomocí automatizované linky a pracovník může stejně jako u osazování pouze ručně opravovat případné chyby.[3]

## 3. Vlastnosti pájek

Jak jsem již zmiňoval v kapitole 1.1, pájky můžeme rozdělit na měkké a tvrdé. Ačkoliv se při pájení využívá výhradně měkkých pájek, chtěl bych zde věnovat jednou kapitolou těm tvrdým, jelikož mezi pájky také patří.

### 3.1 Tvrdé pájky

Tvrdými pájkami nazýváme ty, u kterých je teplota tání vyšší než 450°C. Fungují na stejném principu jako pájky měkké jen s vyšší teplotou. Spojování dvou materiálů se děje také pomocí pájky. Podmínkou je, že tyto materiály musí mít vyšší teplotu tání než je teplota tání pájky.

Na tvrdé pájení potřebujeme tavidlo, pájku a páječku. Pájení v tomto případě neprobíhá pomocí klasické páječky, jak jsem popisoval v první kapitole, ale provádí se pomocí plamene. K zvýšení teploty se používá většinou směsice plynů Viz. tabulka 1.

Plyn	Pájecí teplota
Kyslík – Acetylen	3200°C
Kyslík – Propan	2500°C
Kyslík – Vodík	2370°C
Vzduch – Acetylen	2460°C
Vzduch – Propan	1750°C

Tabulka 1 Teplota hoření vybraných kombinací plynů

Pájek pro tvrdé pájení máme mnoho druhů. Druh pájky volíme podle složení a vlastností spojovaných materiálů. Lze zmínit např. měděné pájky, které jsou vhodné pro pájení mědi. Měděná pájka je i přes svůj název slitinou mědi dalších kovů např. Cu-P- Ag (Měď-Fosfor-Stříbro), proto má nižší bod tání než čistá měď. Můžeme také použít mosazné pájky, ( slitina mědi a stříbra), které se hodí k pájení oceli a litiny. [3][15][16]

## 3.2 Měkké pájky

Měkké pájky (pájky s bodem tání nižším než 450 °C) můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin. Na pájky olovnaté a bezolovnaté podle toho, jestli obsahují olovo (více než 0,1%) nebo nikoliv.

### 3.2.1 Olovnaté pájky

Olovnaté pájky jsou slitiny, kombinace Olova (Pb) a dalších chemických prvků, nejčastěji Cínu (Sn). Olovo je měkký a dobře tvárný materiál, a to se pozitivně projevuje v kombinaci s cínem. Tato slitina je dobře smáčitelná a po zatuhnutí pružná, ale zároveň dostatečně pevná. Její provedení je v několika variantách například Sn63Pb37, která obsahuje 37% olova a 63% cínu, můžeme jí také znát pod pojmem eutektická slitina. Jako další můžeme zmínit pájku Sn60Pb40 s 40% olova a 60% cínu. Tuto pájku budu používat v praktické části této práce. Vlastnosti pájky se drobně liší podle poměru prvků v nich obsažených.

Teplota tání se u těchto slitin pohybuje okolo 183°C.

Jedním ze speciálních druhů olovnatých pájek je takzvaný WOODŮV KOV. Tato pájka je složená z cínu (12,5 %), olova (25 %), bismutu (50 %), a kadmia (12,5 %) Je velmi specifická pro svou nízkou teplotu tání, která se pohybuje okolo 70°C.[3][17][18]

### 3.2.2 Bezolovnaté pájky

V dnešní době je to už výhradně používaný typ pájek, protože olovnaté pájky byly v EU zakázané pro komerční využití v roce 2006. V roce 2018 byl k tomuto zákazu vypsán dodatek Evropským parlamentem, který zakazuje plošný prodej pájek, které obsahují více než 0,1% olova, proto těmto pájkám říkáme bezolovnaté.

Bezolovnaté pájky mají podobné vlastnosti jako ty olovnaté, ale protože se v některých parametrech přece jen liší, jsou případy, kdy jejich použití není vhodné. Z důvodu větší spolehlivosti a životnosti je stále dovoleno používat olovnaté pájky v zařízeních určených armádě, kosmickému programu nebo zdravotnictví. Bezolovnaté pájky opět můžeme rozdělit na několik druhů.

Jedním z příkladů bezolovnatých pájek je kombinace cínu (Sn) a mědi (Cu). Teplota tání této pájky se pohybuje 227°C. Z důvodu této vyšší teploty je pájka náchylnější k oxidaci. Další nevýhodou je tvrdost mědi oproti olovu. Z tohoto důvodu takto pájené spoje bývají křehčí. Ani smáčivost této pájky není tak dobrá jako u olovnaté pájky.

Nyní se podíváme blíže na několik pájek, které budeme používat v praktické části. První takovou pájku jsem zmiňoval v části, kde se zabývám olovnatými pájkami Sn60Pb40 a teď se podíváme na ostatní.

#### SnAg4

Tato slitina se skládá z cínu (Sn) a stříbra (Ag). Stříbro v tomto případě slouží k snížení teploty tání, která je 221°C. Stříbro také zajišťuje lepší smáčivost a v neposlední řadě zlepšuje pevnost spoje.

#### Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1

Tato pájka obsahuje kromě cínu také stříbro, jehož výhody jsme si popsali u předchozí pájky. Také obsahuje 0,25% mědi, která se přidává do pájek za účelem zvýšení pevnosti spoje. A jako poslední se zde nachází 1% bizmutu, který snižuje teplotu tání, díky tomu tato slitina změní své skupenství na kapalné při 216°C.

#### Sn96.5Ag2.5Sb1

Jako poslední pájku, kterou budu využívat ve svém experimentu jsem si vybral Sn96.5Ag2.5Sb1. Kromě cínu, který obsahuje většina bezolovnatých pájek, je zde ještě obsaženo stříbro a Sb neboli Antimon. Antimon zlepšuje pevnost spoje a snižuje povrchové napětí. Teplota tání této slitiny je mezi 225-235°C.

[16][17][16][2]

## 4. Tavidla

Jak jsem již zmiňoval v první kapitole této práce, tavidlo je neodmyslitelnou součástí pájených spojů. Bez tavidla by pájení téměř nebylo možné, protože by byly spoje opravdu nekvalitní. Experiment popsáný v následující kapitole nás o tom přesvědčí.

Tavidlo slouží hlavně k odstranění oxidů a navíc brání v jejich další tvorbě. Další jeho funkcí je snižování povrchového napětí pájky a zároveň zvyšování povrchového napětí plochy, kterou chceme pájet. Tímto se zlepšuje smáčitelnost a dochází tak ke kvalitnějším spojům. V neposlední řadě tavidla slouží i ke zkvalitnění přenosů tepla od zdroje do pájeného spoje. V následujících podkapitolách se zaměřím na tři tavidla a přiblížím jejich vlastnosti. Tato tavidla budou použita i v kapitole páté, kde s nimi provedu experiment. [2][16]

### 4.1 F1

F1 je kapalné tavidlo, které se používá na pájení měděných součástek. Toto tavidlo se doporučuje v kombinaci s olověnou pájkou SnPb. Toto tavidlo je na bázi kalafuny. Po pájení je potřeba odstranit zbytky tavidla ethanolem. Cena tohoto tavidla se pohybuje kolem 100 Kč s DPH za 30ml. [19]

### 4.2 LP-1

Tavidlo LP - 1 je opět kapalné. Zbytky po tomto tavidle nezpůsobují korozi a z tohoto důvodu jej není nutné po pájení odstraňovat, na rozdíl od předešlého tavidla F1. Cena tohoto tavidla v balení 100ml je 140 Kč s DPH. [20]

### 4.3 TS-81

Tavidlo TS – 81 je čirá kapalina, která je vysoce aktivní a má velmi ostrý a dráždivý zápach. Neobsahuje kalafunu. Obsahuje organické a anorganické sloučeniny. Toto tavidlo lze koupit v obchodech okolo 120 Kč s DPH. [21]

## 4. Praktická část

Praktickou část mé práce rozdělím do dvou částí. V první části se budu zabývat smáčitelností pájek v kombinaci s různými tavidly a ve druhé části budu měřit tvrdost jednotlivých pájek.

### 4.1 Měření smáčitelnosti

#### 4.1.1 Úkol měření

- Pro různé typy pájek s kombinací s tavidly porovnejte jejich smáčitelnost.

#### 4.1.2 Seznam použitých pomůcek

- Měděné drátky délky  $2\text{mm}$  a průměru  $1,5\text{mm}^2$
- Meniskograf
- Pájecí slitiny
  - SnAg4
  - Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1
  - Sn96.5Ag2.5Sb1
  - Sn60Pb40
  - Sn95.5Ag3.8Cu0.7
- Tavidla
  - F-1
  - LP-1
  - TS-81

#### 4.1.3 Postup měření

1. Do kalíšku v meniskografu jsem vložil jednu z pájek a nechal jí při teplotě cca **250°C** roztavit.
2. Na meniskografu jsem nastavil parametry: Rychlost ponoru- **5mm/s**

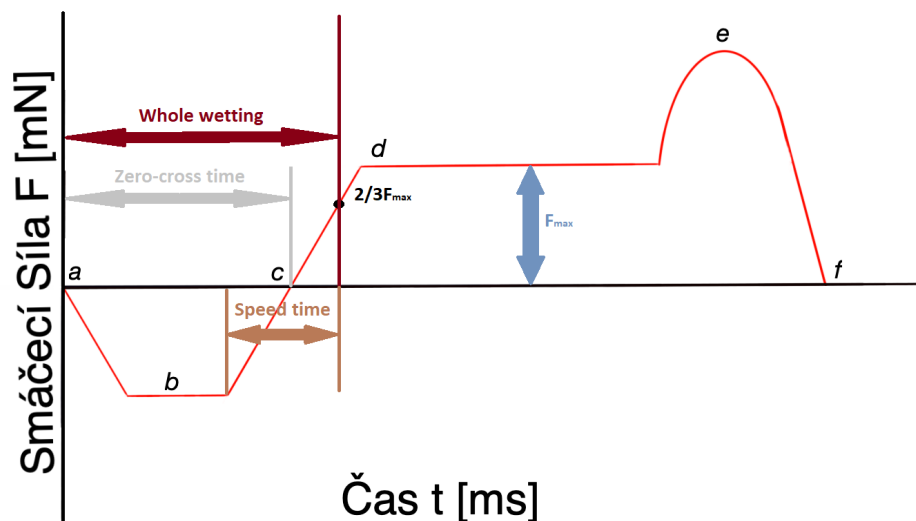
Hloubku ponoru- **5mm**

Čas měření - **20s**

3. Připravil jsem si 70 stejně dlouhých měděných drátů. Kombinoval jsem 3 tavidla a 5 pájek a pro každou kombinaci provedl 4-5 měření, abych mohl vypočítat vypovídající průměr.
4. Měděný drátek jsem vložil do závěsného držáku.
5. Na vzorek jsem nanesl dostatečné množství tavidla a nechal chvíli okapat.
6. Držák jsem zavěsil do meniskografu a počkal cca 30 s, aby se odpařila rozpouštědla, která byla v tavidle.
7. Odstranil jsem oxidy na povrchu pájky pomocí lžičky.
8. Spustil jsem meniskograf, který kalíšek s pájkou posouval vertikálně, dokud nedošlo ke smočení vzorku. Poté se přístroj zastavil a chvíli docházelo ke smáčení pájkou. Následně se meniskograf opět vrátil do původní polohy.
9. Měření jsem opakovl se všemi druhy pájek a tavidel.

#### 4.1.4 Teoretický rozbor

Očekávaný průběh funkce je tento:



Obrázek 8 Typický průběh funkce smáčecí síly [vlastní zpracování]

Můžeme si rozepsat, co se děje v jednotlivých bodech průběhu.

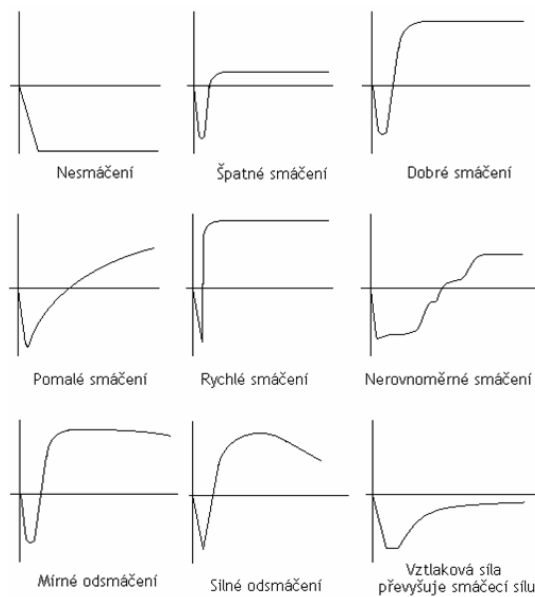
- $a$ - Dochází k prvnímu kontaktu mezi vzorkem a pájkou.
- $b$ - Dochází k smáčení.
- $c$ - Síla v tomto bodě je rovná vztlakové síle. Pájka je kolmá vůči povrchu vzorku.



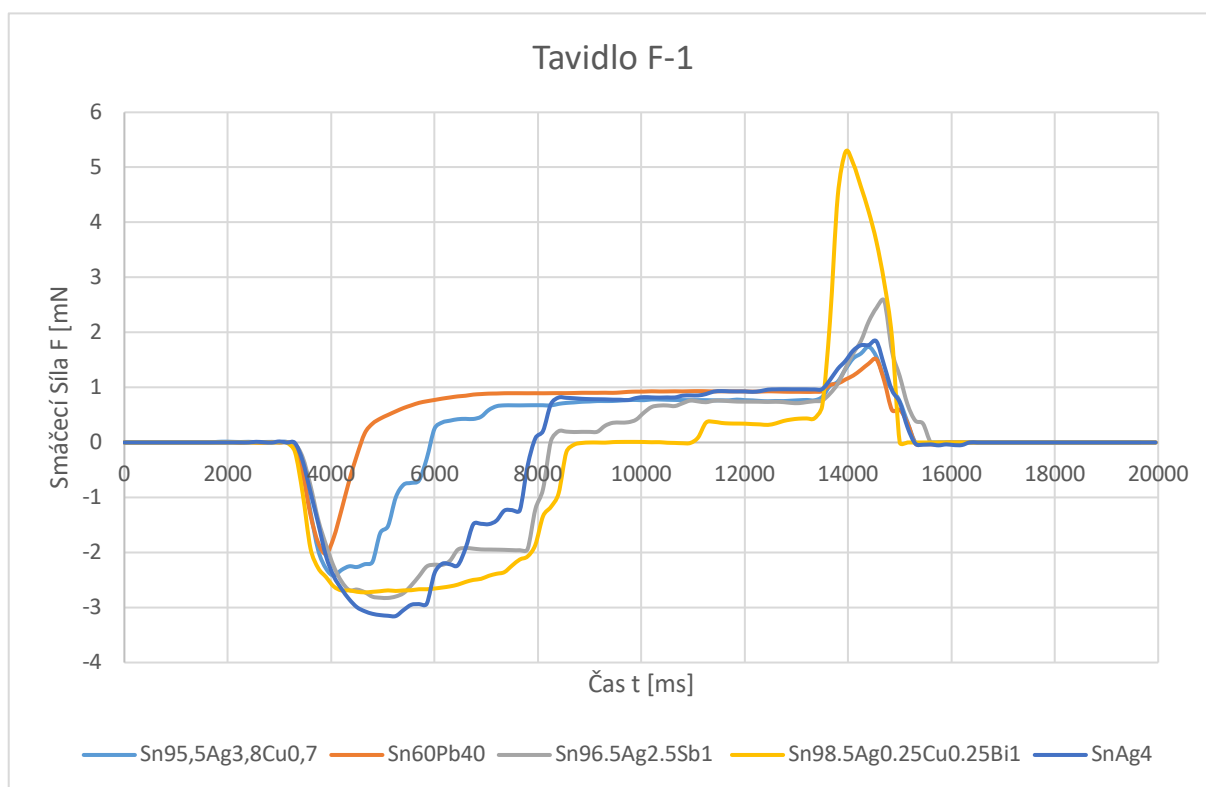
- d- Dojde k úplnému smáčení a síla je ve svém maximu  $F_{max}$ .
- e- V tomto bodě dochází k vytažení vzorku z lázně.
- f- Bod f je konečný rovnovážný stav.

Při svém posuzování budu vycházet z několika hodnot, které budu odečítat z mnou naměřených hodnot. První hodnota, kterou chci zjistit je maximální smáčecí síla  $F_{max}$ , další hodnota jsou  $\frac{2}{3}F_{max}$ . Budu pokračovat v zjišťování doby, za kterou dosáhne smáčecí síla hodnoty  $\frac{2}{3}F_{max}$  od doby, kdy dojde ke smáčení, tuto dobu značíme  $t_{speed}$ . Tento údaj odečtu na ose Y křivce od bodu  $b$  do  $\frac{2}{3}$  hodnoty bodu  $d$ . Dalším údajem je celková doba smáčení  $t_{whole}$ . To znamená dobu, za kterou dosáhne opět  $\frac{2}{3}F_{max}$ , ale tentokrát od prvního kontaktu s pájkou čili od bodu  $a$ . Jako poslední údaj budu zjišťovat čas  $t_{zero-cross}$ , který mi ukazuje dobu, za kterou dojde ke smáčení vzorku od jeho prvního kontaktu s pájkou. Tuto hodnotu odečtu na bodu  $a$  do bodu, kdy se síla rovná nule, tudíž protíná osu Y. [22]

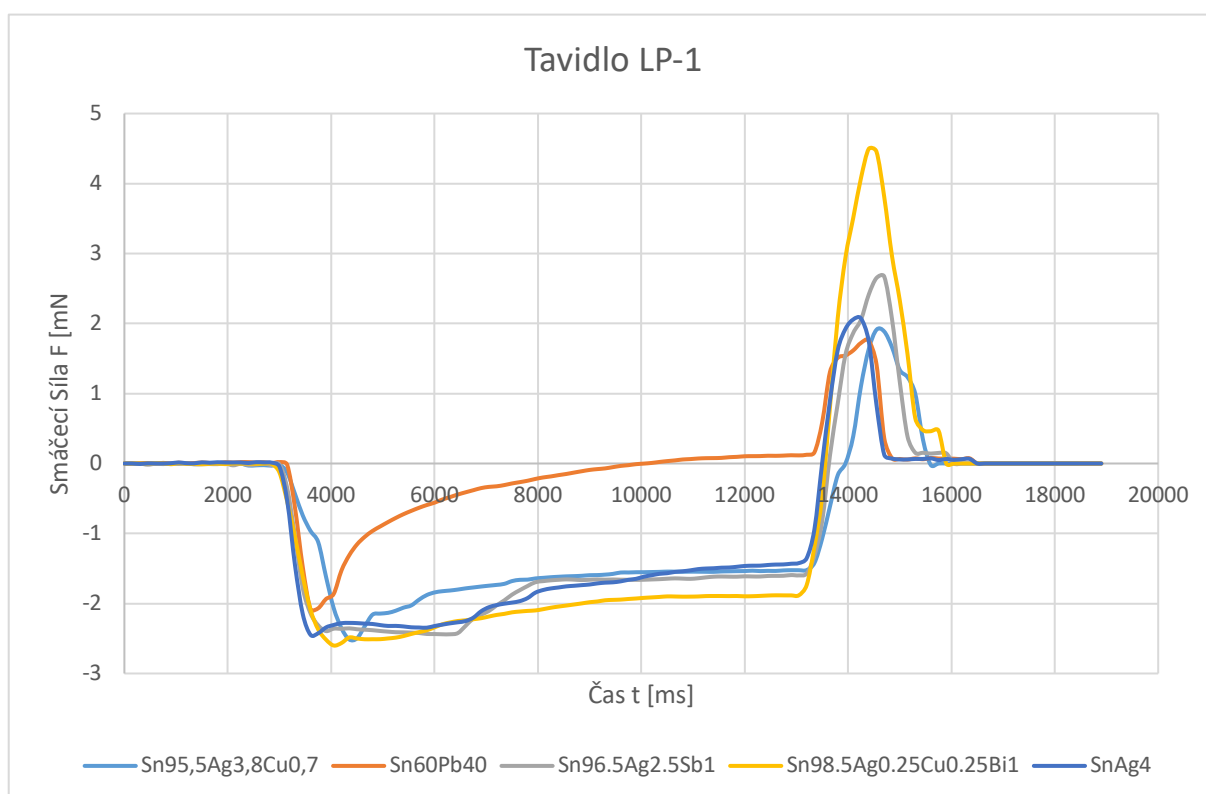
Na dalším obrázku jsou vyobrazeny obvyklé průběhy funkce smáčecí síly.



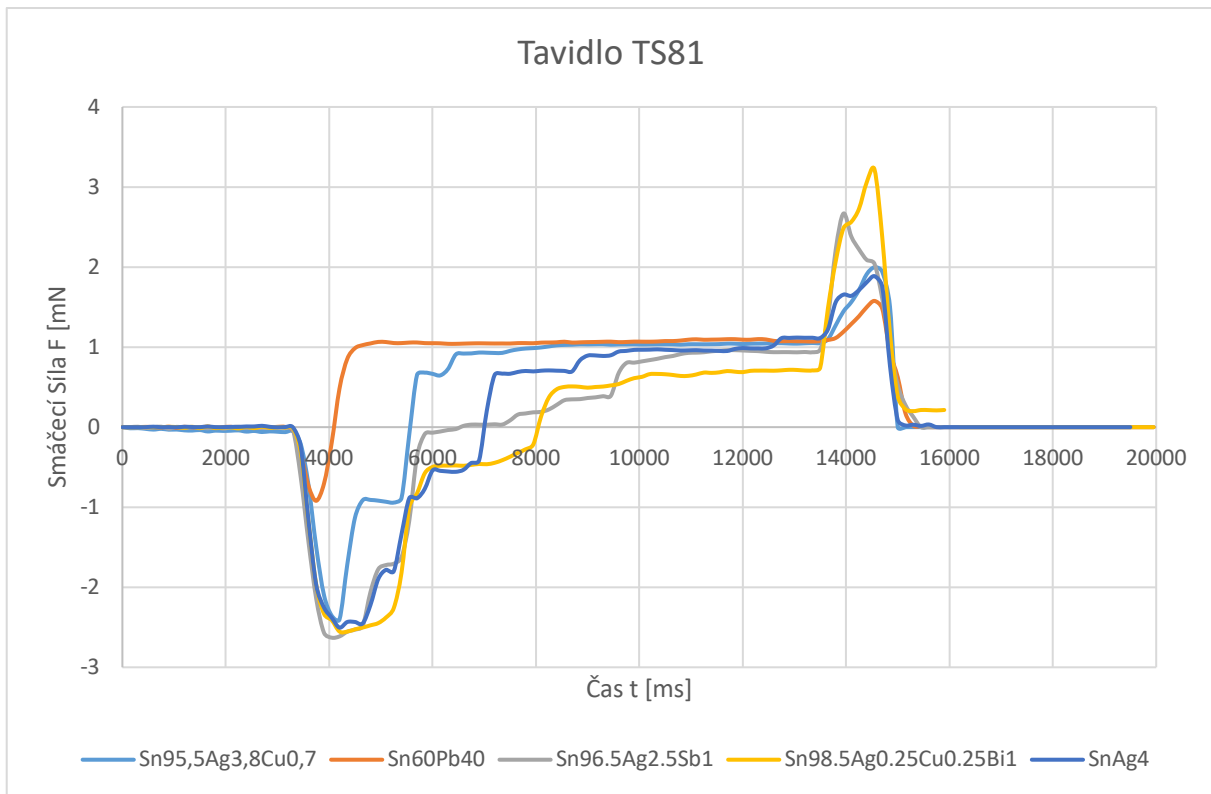
#### 4.1.5 Grafy a naměřené hodnoty



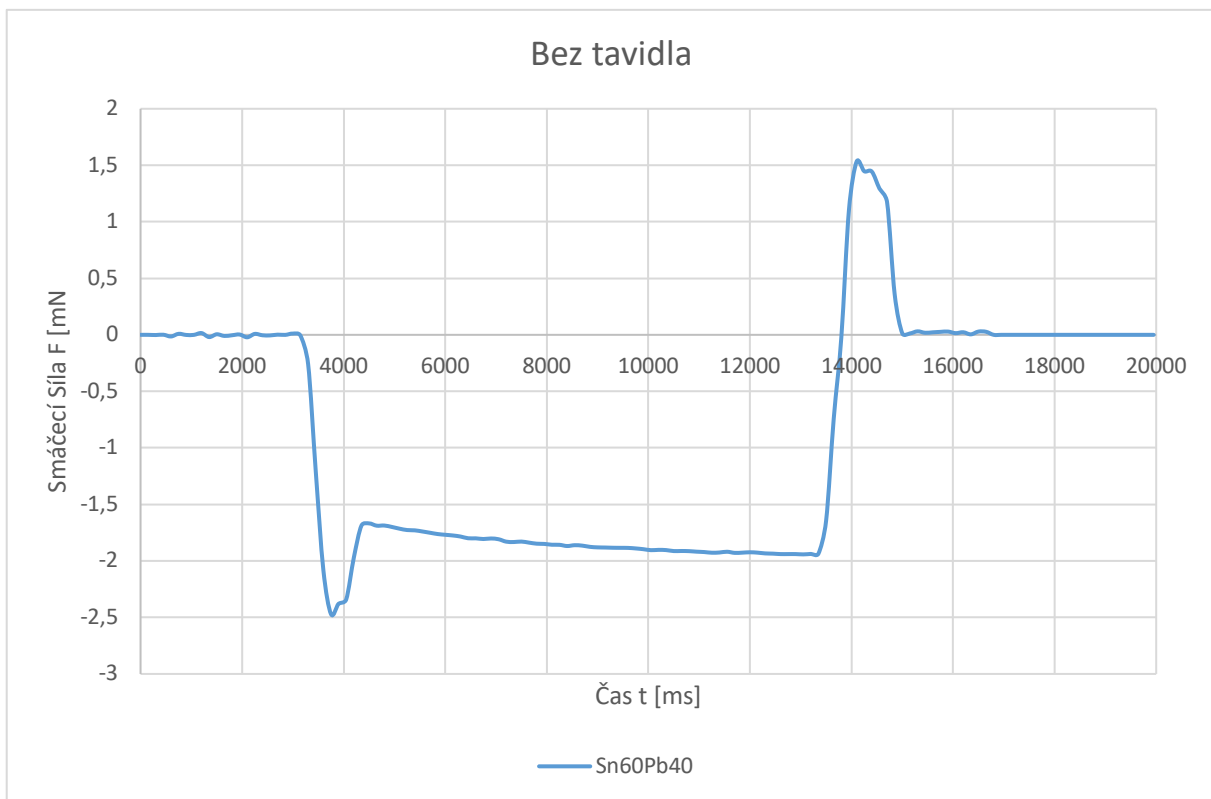
Graf 1 Průběh smáčecích funkcí pro tavidlo F-1



Graf 2 Průběh smáčecích funkcí pro tavidlo LP-1



*Graf 3 Průběh smáčecích funkcí pro tavidlo TS81*



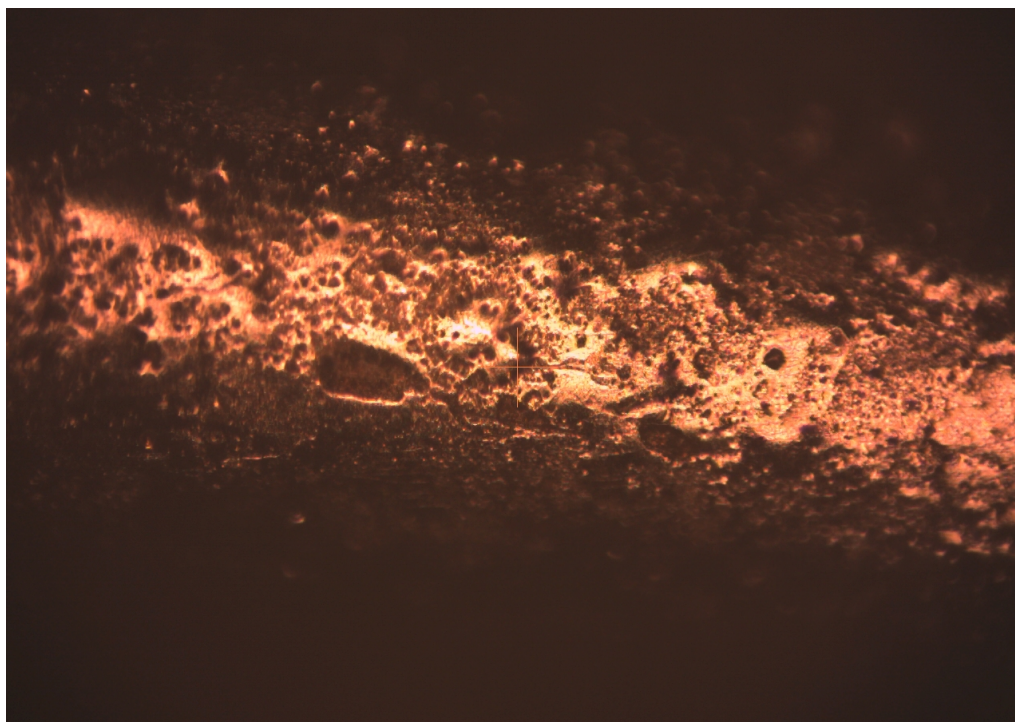
*Graf 4 Průběh smáčecích funkcí bez tavidla*

#### 4.1.6 Naměřené a vypočtené hodnoty

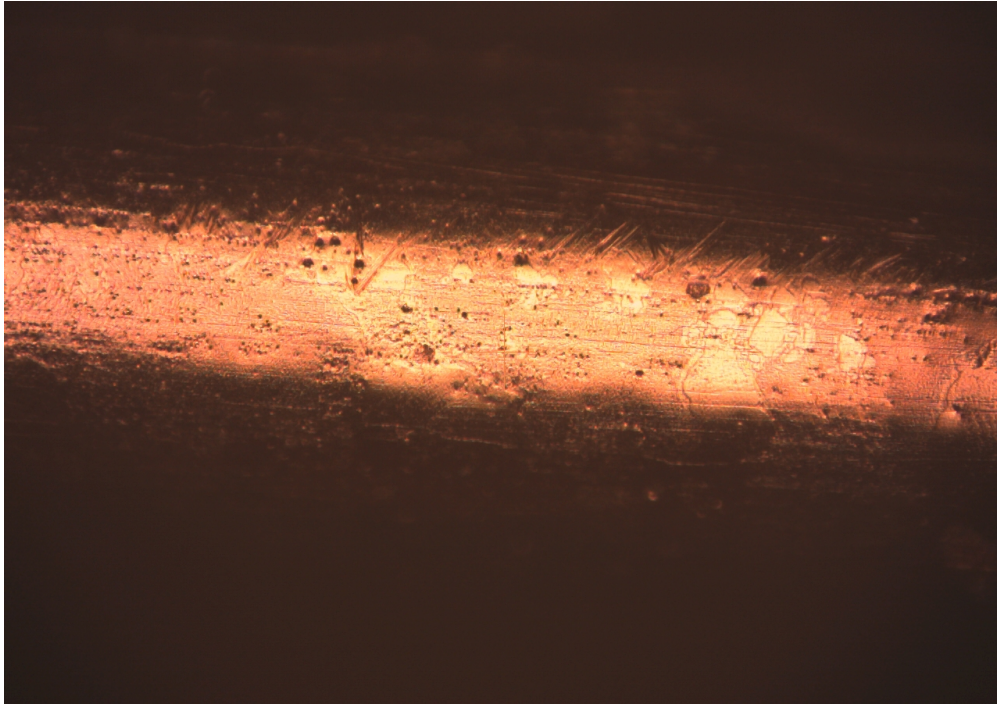
Tavidlo	Pájka	$F_{max}$ [mN]	$2/3F_{Max}$ [mN]	$t_{speed}$ [ms]	$t_{whole}$ [ms]	$t_{zero-cross}$ [ms]
F-1	Sn95,5Ag3,8Cu0,7	0,782	0,521	2850	3900	2850
	Sn60Pb40	0,933	0,622	1500	2100	1350
	Sn96.5Ag2.5Sb1	0,764	0,509	4650	6750	4950
	Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1	0,436	0,291	6900	7800	5450
	SnAg4	0,968	0,645	3000	4950	4650
LP-1	Sn95,5Ag3,8Cu0,7	-1,544	-1,029	7200	11550	-
	Sn60Pb40	0,118	0,079	8550	9150	-
	Sn96.5Ag2.5Sb1	-1,615	-1,077	6600	10500	-
	Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1	-1,883	-1,255	8250	10500	-
	SnAg4	-1,444	-0,963	6900	10335	-
TS81	Sn95,5Ag3,8Cu0,7	1,038	0,692	2550	3000	2100
	Sn60Pb40	1,1	0,733	1050	1200	600
	Sn96.5Ag2.5Sb1	0,962	0,641	450	6450	5550
	Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1	0,716	0,477	4500	6000	5250
	SnAg4	0,988	0,659	3750	3900	3000

Tabulka 2 Naměřené hodnoty pro různé kombinace tavidel a pájek

#### 4.1.7 Obrázky vzorků



Obrázek 10 Pájka Sn95,5Ag3,8Cu0,7 v kombinaci s tavidlem LP-1.



Obrázek 11 Pájka Sn95,5Ag3,8Cu0,7 v kombinaci s tavidlem TS81.

#### 4.1.8 Vyhodnocení

Provedl jsem měření síly smáčivosti pro různé kombinace pájek a tavidel. Kombinoval jsem tři různá tavidla s pěti pájkami a naměřené hodnoty jsem vložil do grafu. Dále jsem do tabulky vložil důležité hodnoty z grafu, pro určení ideální kombinace tavidla a pájky. Jako poslední bod jsem přidal dvě fotografie stejné pájky při použití různých tavidel na vzorek, aby bylo jasné, jestli je rozdíl mezi tavidly opravdu viditelný.

Při porovnání grafů je již na první pohled patrný velký rozdíl. Můžeme si všimnout, že v případě, kde jsem použil tavidlo LP-1 je výsledek srovnatelný s grafem, kde nebylo použito žádné tavidlo. Dostáváme se do situace, kdy vztlková síla převyšuje smáčecí sílu. Pouze u olovnaté pájky (Sn60Pb40) dochází k smáčení, ale k velmi pomalému a špatnému. Jeho síla přesahuje stěží 0,1mN. A to je také důvod proč pro všechny hodnoty tavidla LP-1 nejsou relevantní  $t_{zero-cross}$ .

Dále se podívejme na hodnoty pro tavidlo F-1. Zde už dochází k dobrému smáčení, až na pájku Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1, jejíž hodnota síly ve 2/3 maxima dosahuje necelých 0,3mN. Na druhou stranu s tímto tavidlem dochází k pomalému a nerovnoměrnému smáčení u téměř všech pájek. Jedinou výjimkou je opět pájka s příměsí olova (Sn60Pb40). Tato pájka má výrazně lepší vlastnosti než ostatní. Smáčení dosahuje rychleji a její smáčivá síla patří k těm největším z měření.

Dále budu hodnotit výsledky po nanesení tavidla TS81. Z grafů můžeme vidět, že toto tavidlo se zdá nejvhodnější, protože má sílu smáčení obdobně dobrou jako předešle tavidlo F-1 a ke smáčení dochází v kratším čase než u předešlého tavidla. Zde je patrné, že olovnatá pájka (Sn60Pb40) má nejlepší výsledky co se týče síly smáčení, ale i času za který ke smáčení dojde. Ale jak jsem již zmiňoval, její používání je zakázáno.

Jako adekvátní náhradu k této pájce bych doporučil pájku Sn95,5Ag3,8Cu0,7, jejíž smáčecí síla je srovnatelná s olovnatou a co se týče času patří tato pájka v kombinaci s tavidlem TS81 k nejrychleji smáčitelným z našeho měření.

Na obrázcích 9 a 10 je patrný vizuální rozdíl v kvalitě smáčivosti. Na obou obrázcích vidíme tu samou pájku (Sn95,5Ag3,8Cu0,7), ale při použití jiného tavidla. Na obrázku 9 je použito tavidlo LP-1. výsledky pájení při jeho použití v kombinaci s mnou použitými pájkami byly špatné. Došlo ke špatnému smáčení s malou smáčecí silou.

Na obrázku 10 je vidět dobře chycená pájka. Zde bylo použito tavidlo TS81.

## 4.2 Měření tvrdosti podle Vickerse

### 4.2.1 Úkol měření

- Proveďte měření tvrdosti různých pájek a porovnejte je.

### 4.2.2 Seznam použitých pomůcek

- Pájecí slitiny
  - SnAg4
  - Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1
  - Sn96.5Ag2.5Sb1
  - Sn60Pb40
  - Sn95.5Ag3.8Cu0.7
- Tavidlo TS81
- Deska plošného spoje
- Tvrdoměr

### 4.2.3 Postup měření

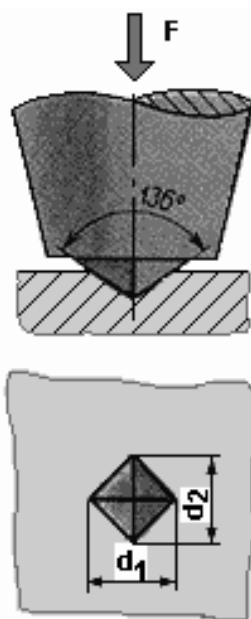
1. Na DPS jsem nanesl tavidlo a připájel pájku.
2. Nastavil jsem si tvrdoměr na sílu vpichu 20 kg.
3. Do tvrdoměru jsem vložil zkoumaný vzorek a spustil přístroj.
4. Uložil jsem naměřenou hodnotu a opakoval měření pro každou pájku, alespoň 3x pro relevantní výsledek.

### 4.2.4 Teoretický rozbor

Vickersova metoda měření tvrdosti kovů je založena na principu, že do vzorku vnikne definovanou silou pravidelný čtyřboký jehlan s úhlem  $136^\circ$  mezi protilehlými stěnami, který provede deformaci vzorku. Následně zjišťujeme střední délku uhlopříček, které jsou definovány velikostí vtisku. Nyní lze spočítat hodnotu tvrdosti podle Vickers, která je definovaná jako poměr vlačovací síly a povrchu vtisku.

$$HV = 0,189 * \frac{F}{d^2}$$

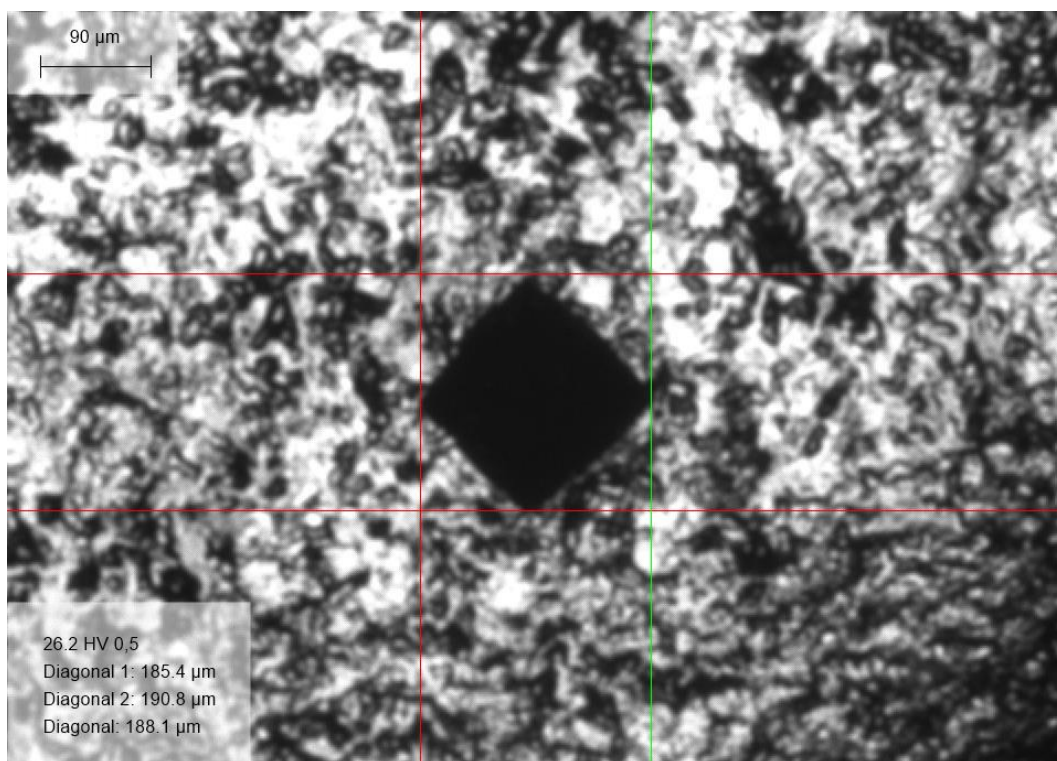
Kde  $F$  je vlačovací síla a  $d$  velikost uhlopříčky vtisku. Přesný postup provedení této zkoušky je popsán ČSN 42 0374. [23][24]



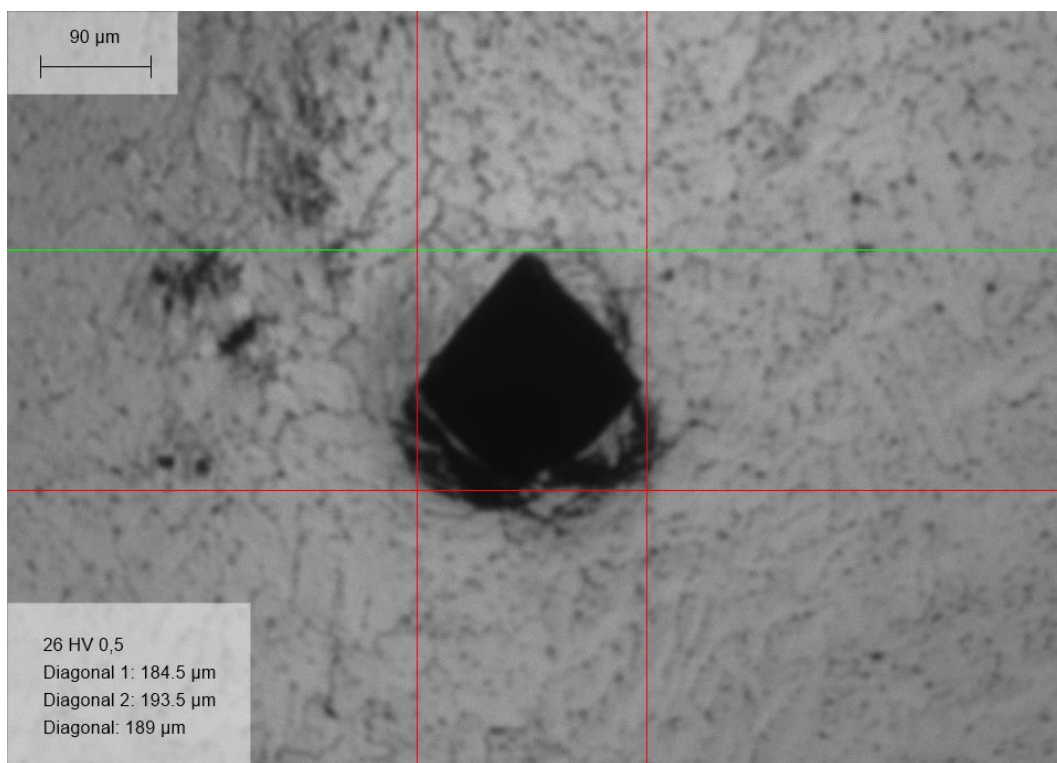
Obrázek 12 Princip měření tvrdosti podle Vickers[23]



#### 4.2.5 Obrázky a naměřené hodnoty

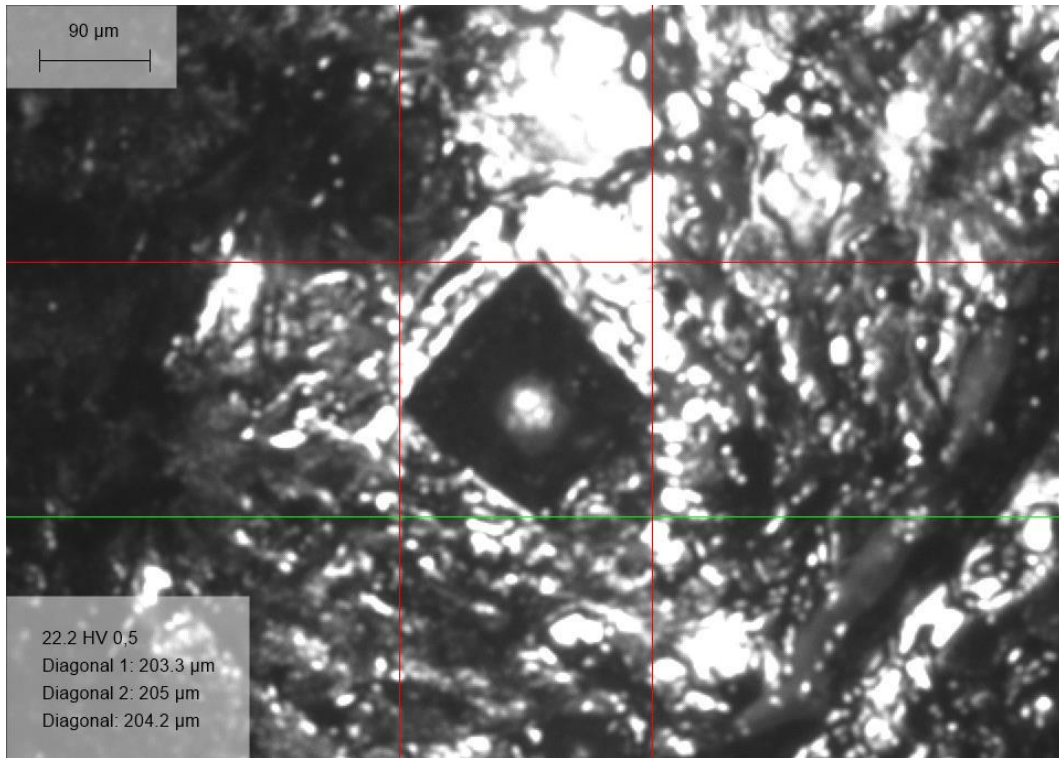


Obrázek 13 Měření tvrdosti Sn95,5Ag3,8Cu0,7

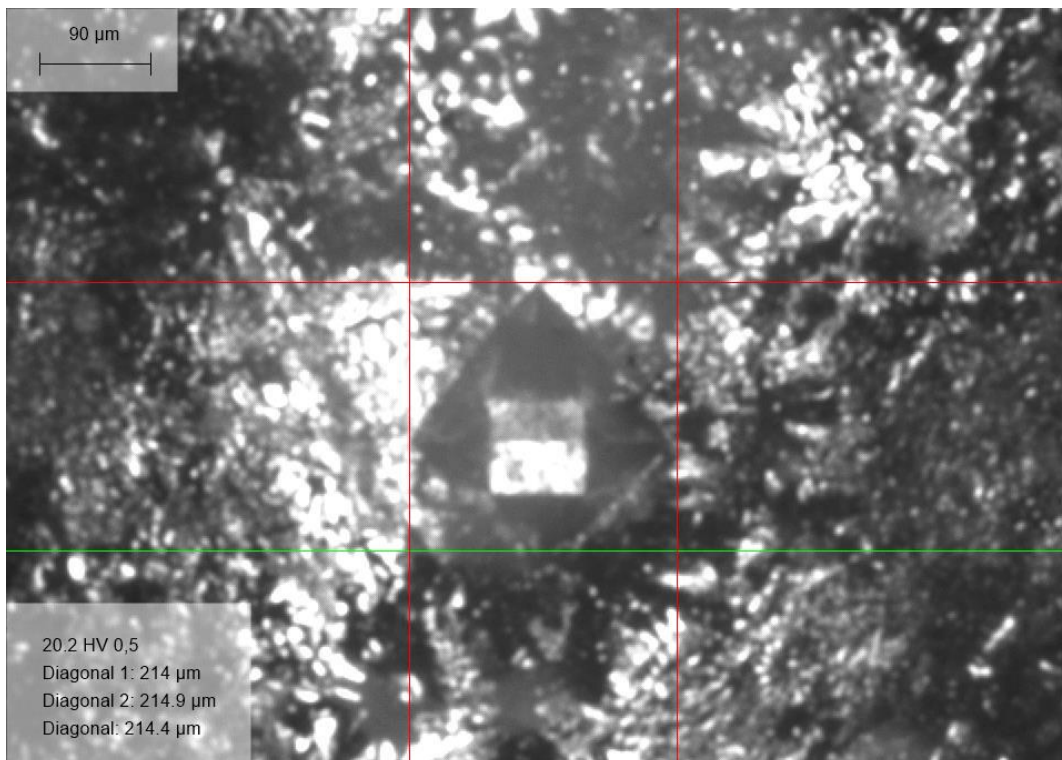


Obrázek 14 Měření tvrdosti Sn60Pb40

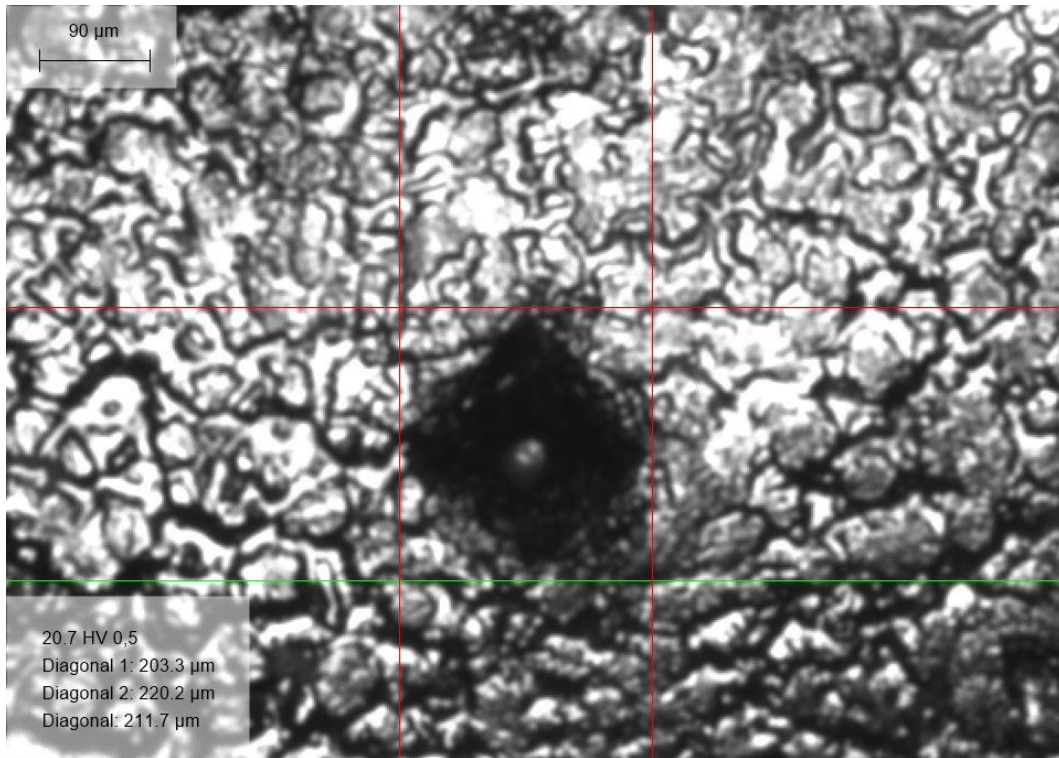




Obrázek 15 Měření tvrdosti Sn96.5Ag2.5Sb1



Obrázek 16 Měření tvrdosti Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1



Obrázek 17 Měření tvrdosti SnAg4

#### 4.2.6 Vyhodnocení

Úkolem tohoto měření bylo zjistit tvrdost různých druhů pájek a porovnat je. Provedl jsem tedy měření a získal jsem následující data.

Jako nejtvrdší měřená pájka se ukázala [Sn95,5Ag3,8Cu0,7](#) s tvrdostí 26,2. Tato pájka se jevila jako velmi kvalitní i v předešlém experimentu. Jako další jsem hodnotil olovnatou pájku ([Sn60Pb40](#)), jejíž tvrdost jsem změřil na 26. U dalších pájek byla změřena následující tvrdost: Sn96.5Ag2.5Sb1 - 22,2,

[Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1](#) - 20,2

[SnAg4](#) - 20,7.

Pájka [Sn95,5Ag3,8Cu0,7](#) vychází ve všech pokusech jako nej kvalitnější. Je však překvapivé, že mezi jednotlivými pájkami nebyly v jejich tvrdosti ještě výraznější rozdíly.

## 5. Porovnání nákladů na ruční a hromadné pájení

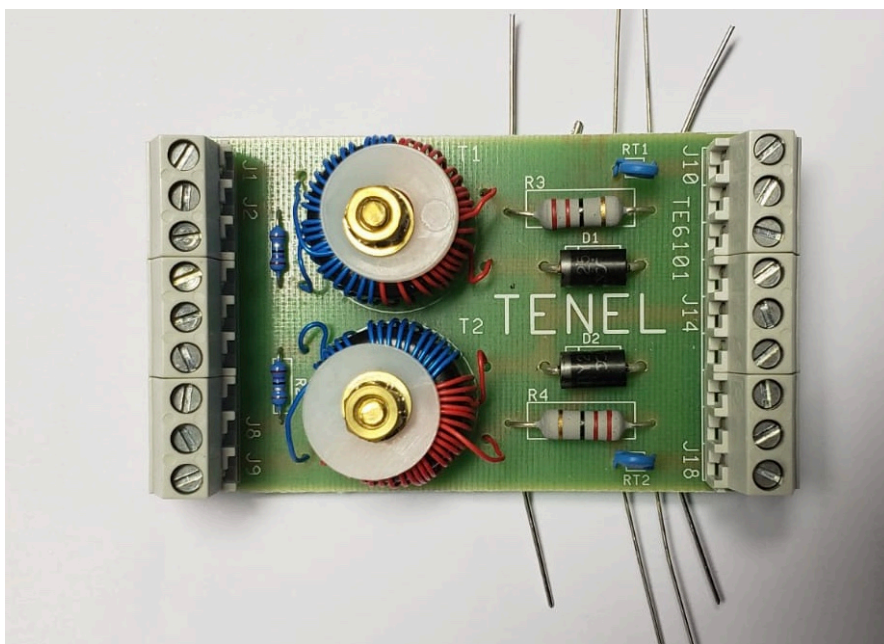
### 5.1 Teoretická část

#### 5.1.1 Úvod do problematiky

V této části své práce jsem se zaměřil na porovnání nákladů u kusové a hromadné výroby plošných spojů. Budu porovnávat tři druhy pájení THT součástek, které jsem uvedl v prvních dvou kapitolách. Rozhodl jsem se vybrat pájení ruční pájkou, pájení cínovou lázní a pájení vlnou. Tyto druhy pájení jsem zvolil ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že ke všem třem vybraným druhům pájení mám přístup v zaměstnání, a tudíž mohu vycházet z praxí ověřených zdrojů informací. Tím druhým důvodem je, že v mém zaměstnání na starosti ruční pájení určitých produktů, proto vycházím i z vlastní zkušenosti a všechna časová náročnost, kterou zde budu uvádět je změřená a zprůměrovaná z mé práce.

Pro pájení vlnou budu vycházet ze zkušenosti, že zařízení pro vytvoření vlny malá, nebo střední firma nevládní, a zadává tento způsob pájení firmě, která se na něj specializuje.

Pro porovnání jsem si vybral výrobek zapalovací pulsy pro tyristory, který se skládá z 16 ti součástek. Rozměry jsou 5x10cm. Podobu DPS můžeme vidět na obrázku 18.



Obrázek 18 Jednotka zapalovací pulsů pro tyristory

### 5.1.2 Amortizace

Tento pojem můžeme také znát pod možná častějším názvem odpisy. Fialová (2014) definuje odpis jako, „*Účetní kategorie sloužící k vyjádření procesu postupného snižování hodnoty fixního kapitálu.*“ [25].

Ve své práci budu amortizaci používat při určení nákladů na ruční pájecí stanici a cínovou lázeň. Obě tyto položky spadají do IV. odpisové skupiny konkrétně „*Elektrické stroje pro pájení naměkko, pájení natvrdo nebo svařování.*“ Tato položka se tudíž odepisuje na 20 let (1. rok 2,15 % a ty další 5,15 %). [27][28]

Odpisy můžeme taky rozdělit na lineární, u kterých se každý rok odepisuje stejně velká částka (výjimkou prvního) anebo nelineární, u kterých se tato částka většinou snižuje. Ve své práci budu používat odpisy pouze lineární. [25]

### 5.1.3 Fixní náklady (FN)

Fixní náklady jsou takové, které jsou nezávislé na množství produkce. Jako příklad si můžeme uvést náklady za pronájem budov. Když výroba stagnuje a nevyrobí se ani jediný kus produktu náklady na pronájem budovy budou stejně velké, jako by se vyrobilo 10 nebo 100 kusů. [25]

### 5.1.4 Variabilní náklady (VN)

Na rozdíl fixních nákladů jsou tyto náklady závislé na objemu produkce. Jako příklad si můžeme uvést náklady na elektřinu. V případě, že se nevyrábí, je spotřeba energie nízká. V případě že výroba je v chodu, tak se spotřeba elektrické energie zvedá se zvětšujícím se objemem produkce.

Pokud sečteme variabilní a fixní náklady, tak dostaneme celkové náklady. [25]

$$N = FN + VN$$

### 5.1.3 Náklady na lidský faktor

Lidský faktor bude reprezentován pracovníkem, který pracuje na plný úvazek tedy 160 hodin měsíčně a jeho hrubý příjem činí 35 000 Kč. Tento náklad se může lišit podle toho, jak zkušený člověk práci provádí, jaké má vzdělání nebo také v jaké části republiky práci vykonává.

Pro naše účely potřebuji z této částky zjistit superhrubou mzdu, která je navýšena ještě o sociální a zdravotní pojištění a představuje tak celkové náklady na mzdu zaměstnance. K výpočtu superhrubé mzdy jsem použil, kalkulačku pro rok 2020 dostupnou na internetu. [26]

Kalkulačka superhrubé mzdy 2020	
Hrubá mzda	35 000
Sociální pojištění placené zaměstnavatelem	8 680
Zdravotní pojištění placené zaměstnavatelem	3 150
<b>Superhubá mzda</b>	<b>46 830</b>

Obrázek 19 Výpočet superhrubé mzdy [26]

Pro své další výpočty budu zjišťovat, kolik činí časová mzda tohoto zaměstnance na 1 hodinu práce.

$$\text{Cena zaměstnance na 1 hodinu práce} = \frac{46\,830}{160} \cong 300 \text{ Kč}$$

### 5.2 Pájení ruční pájkou

Jako první si musíme definovat, kterou pájecí stanicí budeme používat a poté vypočítat její amortizaci. Zvolil jsem pájecí stanicí WEL.WT1010HSET od výrobce WELLER, která je na stránkách [www.TME.eu](http://www.TME.eu) dostupná za 12 197 Kč a její příkon činí 150 W. Nyní si spočítáme odpisy. [29]



Příklad výpočtů odpisů:

$$\text{Odpis 1. rok} = 12\,197 * 2,15 \% = 12\,197 * 0,0215 = 263 \text{ Kč}$$

$$\text{Odpis 2. rok} = 12\,197 * 5,15 \% = 12\,197 * 0,0515 = 629 \text{ Kč}$$

rok	odpis	zůstatková cena	oprávky celkem
1	263 Kč	11 934 Kč	263 Kč
2	629 Kč	11 305 Kč	892 Kč
3	629 Kč	10 676 Kč	1 521 Kč
4	629 Kč	10 047 Kč	2 150 Kč
5	629 Kč	9 418 Kč	2 779 Kč
6	629 Kč	8 789 Kč	3 408 Kč
7	629 Kč	8 160 Kč	4 037 Kč
8	629 Kč	7 531 Kč	4 666 Kč
9	629 Kč	6 902 Kč	5 295 Kč
10	629 Kč	6 273 Kč	5 924 Kč
11	629 Kč	5 644 Kč	6 553 Kč
12	629 Kč	5 015 Kč	7 182 Kč
13	629 Kč	4 386 Kč	7 811 Kč
14	629 Kč	3 757 Kč	8 440 Kč
15	629 Kč	3 128 Kč	9 069 Kč
16	629 Kč	2 499 Kč	9 698 Kč
17	629 Kč	1 870 Kč	10 327 Kč
18	629 Kč	1 241 Kč	10 956 Kč
19	629 Kč	612 Kč	11 585 Kč
20	612 Kč	0 Kč	12 197 Kč

Tabulka 3 Odpisy pájecí stanice

V naší firmě vyrobíme za pomoci této pájecí stanice 10 různých druhů DPS, proto budu počítat pouze s desetinou odpisu jako náklad.

Nyní už známe cenu zaměstnance za minutu práce a také máme rozpočítané pořizovací náklady pájecí stanice na jednu DPS.

Cena elektřiny je 5 Kč/kWh což je cena, kterou platí můj zaměstnavatel.

V tuto chvíli si musím ještě určit časovou náročnost vzniku DPS.

	Čas [min]
Doba osazování jedné součástky	10
Doba pájení jedné součástky	10
Celková potřebná doba na výrobu jedné součástky	20

Tabulka 4 Doba potřebná pro výrobu jedné jednotky DPS pomocí pájecí stanice.

Nejdříve si spočítáme jednotlivé náklady:

Náklad na elektřinu na vyrobenou jednotku ( $N_{el}$ ):

$$N_{el} = P_1 * t_{1paj} * P_{kWh} = 0,150 * \frac{10}{60} * 5 = 0,125 \text{ Kč}$$

$N_{el}$ - Náklad na elektřinu na vyrobenou jednotku [Kč]

$P_1$ - Příkon ruční pájecí stanice [kW]

$t_{1paj}$ - Doba po kterou se pájí jedna DPS pomocí pájecí stanice [h]

$P_{kWh}$ - cena jedné kWh [Kč/kWh]

Náklad na zaměstnance na vyrobenou jednotku ( $N_w$ ):

$$N_w = t_1 * \frac{P_w}{h} = \frac{20}{60} * 300 = 100 \text{ Kč}$$

$N_w$ - Náklad na zaměstnance na vyrobenou jednotku

$t_1$ - Doba výroby jedné jednotky

$P_w/h$ - Cena zaměstnance na hodinu práce

Celkové fixní a variabilní náklady jsou v tabulce 5

Fixní náklady		
Odpisy pájecí stanice	$N_{odpis-stanice}$	63 Kč
Celkem	FN	<u>63 Kč</u>
Variabilní náklady		
Cena elektřiny na vyrobenou jednotku	$N_{el}$	0,125 Kč
Cena zaměstnance na vyrobenou jednotku	$N_w$	100 Kč
Celkem	VN	<u>100,125 Kč</u>

Tabulka 5 Celkové fixní a variabilní náklady při použití pájecí stanice

Máme všechna potřebná data pro spočítání celkových nákladů.

Příklad výpočtu pro 10 vyrobených kusů

$$CN = FN + q * VN = 63 + 10 * 100,125 = 1\,064,25 \text{ Kč}$$

CN- Celkové náklady

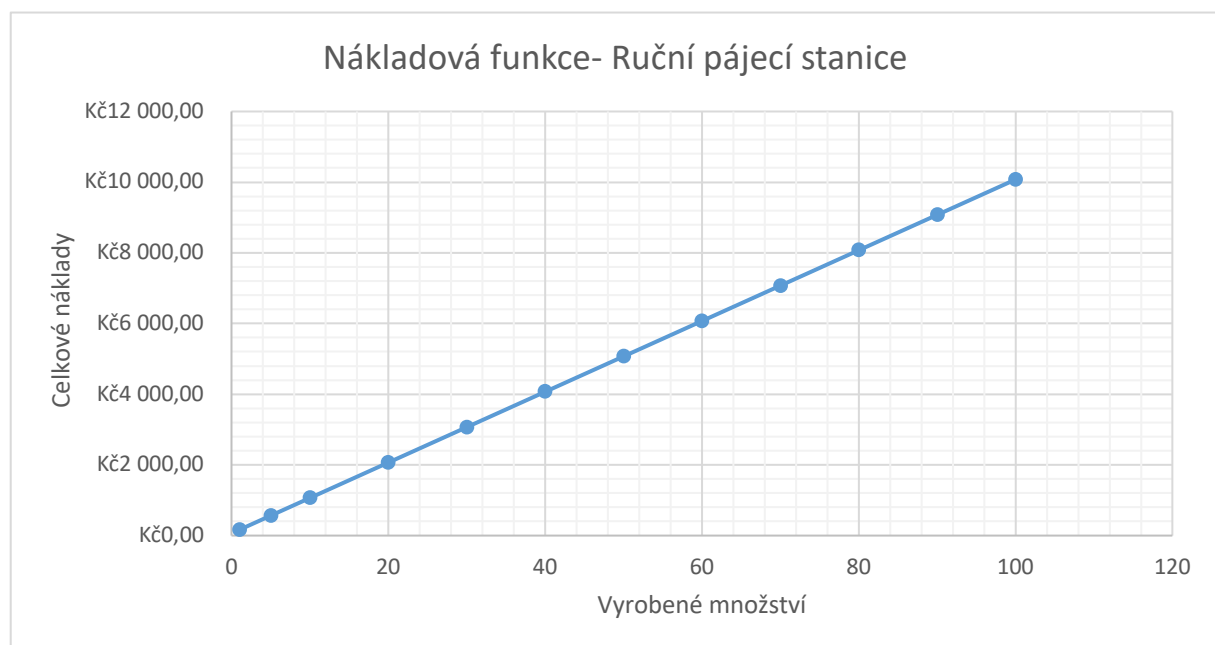
FN- Fixní náklady

q- množství

VN- Variabilní náklady

Množství (q)	Celkové náklady
1	163,13 Kč
5	563,63 Kč
10	1 064,25 Kč
20	2 065,50 Kč
30	3 066,75 Kč
40	4 068,00 Kč
50	5 069,25 Kč
60	6 070,50 Kč
70	7 071,75 Kč
80	8 073,00 Kč
90	9 074,25 Kč
100	10 075,50 Kč

Tabulka 6 Celkové náklady na výrobu jednotek při použití ruční pájky



Graf 5 Nákladová funkce při užití pájecí stanice



Z tabulky a grafů můžeme vidět, že náklady lineárně rostou s objemem produkce.

### 5.3 Pájení pomocí cínové lázně

Opět začneme tím, že si definujeme, jakou cínovou lázeň budeme pořizovat. Vybral jsem LA142201 od společnosti ISEL. Její pořizovací cena je 14 029 Kč. Její příkon je 1,5kW  
 Spočítám odpisy obdobným způsobem jako v minulé kapitole. [30]

$$\text{Odpis 1. rok} = 14209 * 2,15 \% = 14209 * 0,0215 = 306$$

$$\text{Odpis 2. rok} = 14209 * 5,15 \% = 14209 * 0,0515 = 732$$

rok	odpis	zůstatková cena	oprávky celkem
1	306 Kč	13 903 Kč	306 Kč
2	732 Kč	13 171 Kč	1 038 Kč
3	732 Kč	12 439 Kč	1 770 Kč
4	732 Kč	11 707 Kč	2 502 Kč
5	732 Kč	10 975 Kč	3 234 Kč
6	732 Kč	10 243 Kč	3 966 Kč
7	732 Kč	9 511 Kč	4 698 Kč
8	732 Kč	8 779 Kč	5 430 Kč
9	732 Kč	8 047 Kč	6 162 Kč
10	732 Kč	7 315 Kč	6 894 Kč
11	732 Kč	6 583 Kč	7 626 Kč
12	732 Kč	5 851 Kč	8 358 Kč
13	732 Kč	5 119 Kč	9 090 Kč
14	732 Kč	4 387 Kč	9 822 Kč
15	732 Kč	3 655 Kč	10 554 Kč
16	732 Kč	2 923 Kč	11 286 Kč
17	732 Kč	2 191 Kč	12 018 Kč
18	732 Kč	1 459 Kč	12 750 Kč
19	732 Kč	727 Kč	13 482 Kč
20	727 Kč	0 Kč	14 209 Kč

Tabulka 7 Odpisy cínové lázně

Jako u předchozího způsobu můžu říct, že naše firma vyrábí tímto způsobem přibližně 300 stejných nebo obdobných DPS ročně, a proto když rozpočítám cenu stanice na jednotku, tak mi vyjde 2,40 Kč.

Čas samotného pájení se v tomto případě výrazně zkrátí na jednu minutu. Avšak u tohoto způsobu pájení vznikají nedostatky, které se musí opravovat ještě ruční pájkou, a to zabere další čas. Také se zvětší pořizovací náklady, protože si musíme pořídit jak cínovou lázeň, tak pájecí stanici. Proto u počítání nákladů budu sčítat pořizovací náklady obou přístrojů.

	čas [min]
Doba osazování jedné součástky	10
Doba pájení jedné součástky	1
Průměrná doba potřebná na kontrolu a opravu chyb	4
Celková doba	15

Tabulka 8 Doba potřebná pro zapájení jednotek při použití cínové lázně

Ke každému množství jsem přičetl na výrobu ještě 60 min, které jsou potřebné k roztavení pájky v lázni, na rozdíl od ruční pájky, kterou je možné použít téměř okamžitě.

Opět začnu tím, že spočtu jednotlivé náklady.

### **Fixní náklady**

Náklad na zaměstnance při roztavování pájky ( $N_{w-wait}$ )

$$N_{w-wait} = t_{roz} * \frac{P_w}{h} = 1 * 300 = 300 \text{ Kč}$$

$N_{w-wait}$ - Náklad na zaměstnance při roztavování pájky [Kč]

$t_{roz}$ - Doba potřebná k roztavení pájky [h]

$P_w/h$ - Cena zaměstnance na hodinu práce [Kč]

### Náklad na elektřinu při roztavování pájky ( $N_{el-wait}$ )

$$N_{el-wait} = t_{roz} * P_2 * P_{kWh} = 1 * 1,5 * 5 = 7,5 \text{ Kč}$$

$N_{el-wait}$ - Náklad na elektřinu při roztavování pájky [Kč]

$t_{roz}$ - Doba potřebná k roztavení pájky [h]

$P_2$ - Příkon cínové lázně [kW]

$P_{kWh}$ - cena jedné kWh [Kč/kWh]

### Celkové fixní náklady

$$FN = N_{w-wait} + N_{el-wait} + N_{odpis} = 300 + 7,5 = 307,5 \text{ Kč}$$

FN - Fixní náklady [Kč]

$N_{w-wait}$  - Náklad na zaměstnance při roztavování pájky [Kč]

$N_{el-wait}$  - Náklad na elektřinu při roztavování pájky [Kč]

### Variabilní náklady

#### Náklad na elektřinu na vyrobenou jednotku ( $N_{el}$ ):

$$N_{el} = P_{kWh} * (P_1 * t_{1paj} + P_2 * t_{2paj}) = 5 * \left(0,15 * \frac{4}{60} + 1,5 * \frac{1}{60}\right) = 0,175 \text{ Kč}$$

$N_{el}$ - Náklad na elektřinu na vyrobenou jednotku [Kč]

$P_{kWh}$ - cena jedné kWh [Kč/kWh]

$P_1$ - Příkon ruční pájecí stanice [kW]

$t_{1paj}$ - Doba po kterou se pájí jedna DPS pomocí pájecí stanice [h]

$P_2$ - Příkon cínové lázně [kW]

$t_{2paj}$ - Doba po kterou se pájí jedna DPS pomocí cínové lázně [h]

Náklad na zaměstnance na vyrobenou jednotku ( $N_w$ )

$$N_w = t_2 * P_w = \frac{15}{60} * 300 = 75 \text{ Kč}$$

$N_w$ - Náklad na zaměstnance na vyrobenou jednotku

$t_2$ - Doba výroby jedné jednotky

$P_w/h$ - Cena zaměstnance na hodinu práce

Celkové fixní a variabilní náklady jsou v tabulce 9

Fixní náklady		
Náklad na zaměstnance při roztavování pájky	$N_{w-wait}$	300,00 Kč
Náklad na elektřinu při roztavování pájky	$N_{el-wait}$	7,50 Kč
Odpisy pájecí stanice	$N_{odpis-stanice}$	63 Kč
Odpisy cínové lázně	$N_{odpis-lazen}$	73 Kč
Celkem	FN	<u>443,50 Kč</u>
Variabilní náklady		
Náklad na elektřinu na vyrobenou jednotku	$N_{el}$	0,18 Kč
Náklad na zaměstnance na vyrobenou jednotku	$N_w$	75,00 Kč
Celkem	VN	<u>75,18 Kč</u>

Tabulka 9 Fixní a variabilní náklady při použití cínové lázně

Nyní lze spočítat celkové náklady pro různý objem produkce.

Příklad výpočtu pro 10 vyrobených kusů:

$$CN = FN + q * VN = 443,50 + 10 * 75,18 = 1\,195,3 \text{ Kč}$$

CN- Celkové náklady

FN- Fixní náklady

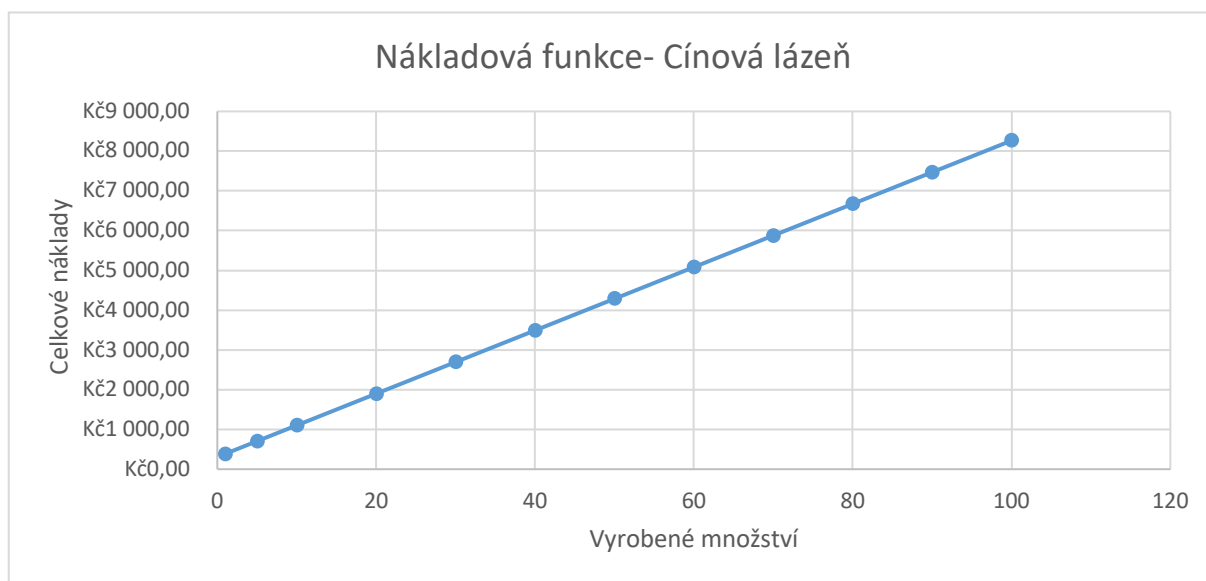
q- Množství

VN- Variabilní náklady

V následující tabulce jsou uvedeny celkové náklady pro různé množství výroby.

Množství (q)	Celkové náklady
1	518,68 Kč
5	819,38 Kč
10	1 195,25 Kč
20	1 947,00 Kč
30	2 698,75 Kč
40	3 450,50 Kč
50	4 202,25 Kč
60	4 954,00 Kč
70	5 705,75 Kč
80	6 457,50 Kč
90	7 209,25 Kč
100	7 961,00 Kč

Tabulka 10 Celkové náklady na výrobu jednotek při použití cínové lázně



Graf 6 Nákladová funkce při užití cínové lázně

## 5.4 Pájení pomocí vlny

Tento výpočet se bude lišit od ostatních výpočtů. Jak jsem již zmiňoval v úvodu této kapitoly, vycházím z předpokladu, že malé a střední podniky nevlastní přístroj, kterým je možné provádět pájení vlnou. Tudíž všechny uvedené ceny vychází z nabídky, kterou jsem dostal na

moji poptávku. Poptával jsem u společnosti MICRO CZECH REPUBLIC, s. r. o. IČO:04635060.

Jejich ceník je následující:

Jednorázový poplatek	1 200 Kč
Cena na hodiny pájení	600 Kč

Tabulka 11 Cena pájení pomocí vlny

Když jsem u již zmíněné firmy poptával výrobu DPS, zjistil jsem, že osazování THT součástek by museli její zaměstnanci provádět ručně. Po určení ceny za ruční osazování se ukázalo jako ekonomicky výhodnější, pokud osázení provedou zaměstnanci zadávající firmy. Takže budu připočítávat ještě čas osazování naším pracovníkem. Doba osazování se neliší od ostatních druhů pájení, kde čas činil 10 minut na osázení jedné destičky.

Těchto součástek dokáže firma zapájet, zkontrolovat a případně doopravit 50 ks za hodinu.

Z toho zjistíme že doba pro kompletní zapájení součástky je 1,2 min.

Přepočítáme-li cenu pájení za hodinu na cenu pájení za minutu vyjde nám cena 10,- Kč/min.

A nyní již máme všechny potřebné informace k tomu, abychom mohli provést výpočty.

### **Fixní náklady**

Fixní náklad tu je jen jeden a to jednorázový poplatek.

$$FN = 1200Kč$$

### **Variabilní náklady**

Náklad na zaměstnance na vyrobenou jednotku ( $N_w$ )

$$N_w = t_{osazo} * P_w = \frac{10}{60} * 300 = 50 Kč$$

$N_w$ - Náklad na zaměstnance na vyrobenou jednotku

$t_{osazo}$ - Doba osazování

$P_{w/h}$ - Cena zaměstnance na hodinu práce

Náklad na vlnu ( $N_{vln}$ )

$$N_{vln} = t_{3paj} * P_{vln} = 1,2 * 10 = 12 \text{ Kč}$$

Variabilní náklady na jednu vyrobenou DPS lze spočítat jako součet nákladů na zaměstnance a nákladů na pájecí vlnu.

$$VN = N_w + N_{vln} = 50 + 12 = 62 \text{ Kč}$$

Nyní lze spočítat celkové náklady pro různé množství výroby.

Příklad výpočtu pro 10 vyrobených kusů:

$$CN = FN + q * VN = 1200 + 10 * 62 = 1820 \text{ Kč}$$

CN- Celkové náklady

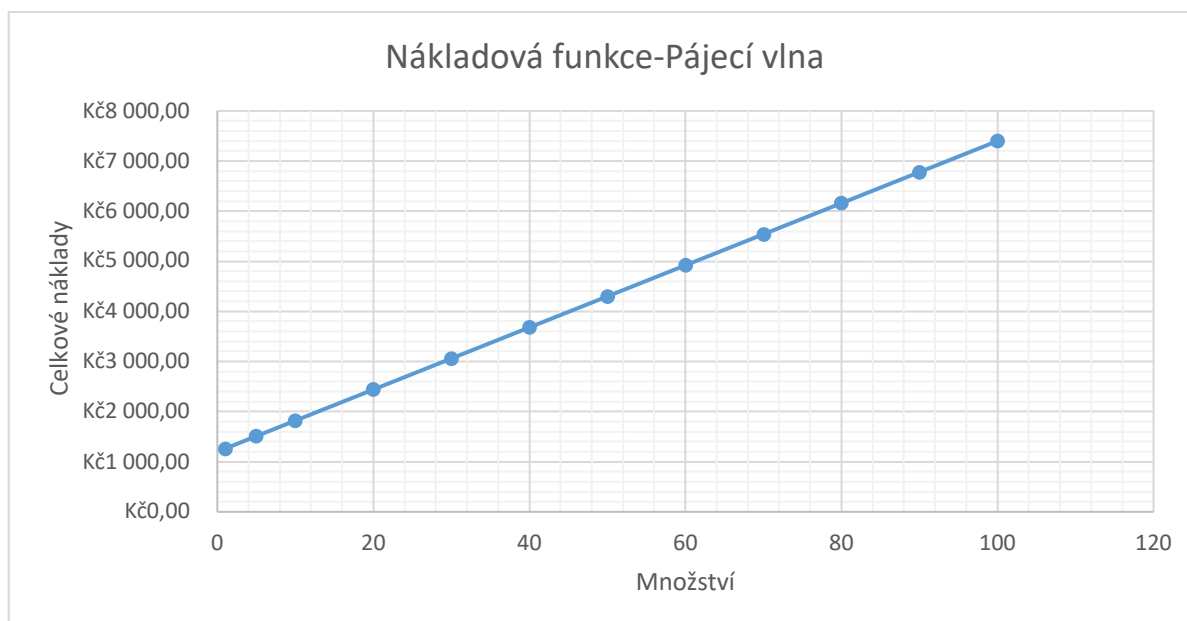
FN- Fixní náklady

q- Množství

VN- Variabilní náklady

Množství (q)	Celkové náklady
1	1 262,00 Kč
5	1 510,00 Kč
10	1 820,00 Kč
20	2 440,00 Kč
30	3 060,00 Kč
40	3 680,00 Kč
50	4 300,00 Kč
60	4 920,00 Kč
70	5 540,00 Kč
80	6 160,00 Kč
90	6 780,00 Kč
100	7 400,00 Kč

Tabulka 12 Celkové náklady při užití pájecí vlny



*Graf 7 Nákladová funkce při užití pájecí vlny*

U této funkce si můžeme všimnout, jak fixní náklady posunuly celou křivku po ose Y nahoru.

## 5.5 Vyhodnocení

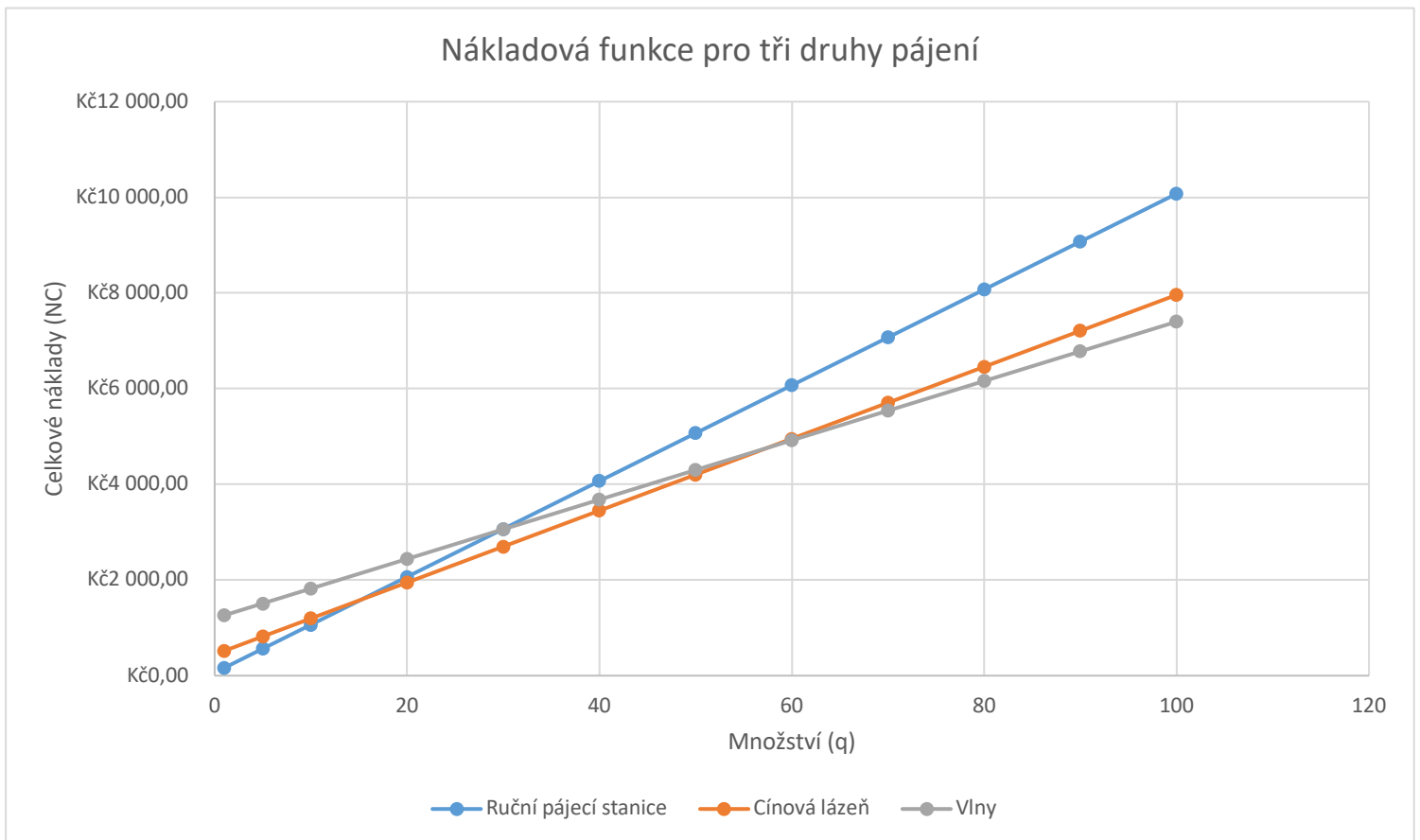
V této poslední kapitole jsem hodnotil náklady na THT výrobu při využití tří různých způsobů pájení. Vycházel jsem z konkrétních dat, která jsem získal ve společnosti, kde pracuji.

Výsledky jsem uvedl v tabulce 13 a v grafu 8.

Množství (q)	Ruční pájecí stanice	Cínová lázeň	Vlny
1	102,13 Kč	387,08 Kč	1 262,00 Kč
5	510,63 Kč	705,38 Kč	1 510,00 Kč
10	1 021,25 Kč	1 103,25 Kč	1 820,00 Kč
20	2 042,50 Kč	1 899,00 Kč	2 440,00 Kč
30	3 063,75 Kč	2 694,75 Kč	3 060,00 Kč
40	4 085,00 Kč	3 490,50 Kč	3 680,00 Kč
50	5 106,25 Kč	4 286,25 Kč	4 300,00 Kč
60	6 127,50 Kč	5 082,00 Kč	4 920,00 Kč
70	7 148,75 Kč	5 877,75 Kč	5 540,00 Kč
80	8 170,00 Kč	6 673,50 Kč	6 160,00 Kč
90	9 191,25 Kč	7 469,25 Kč	6 780,00 Kč
100	10 212,50 Kč	8 265,00 Kč	7 400,00 Kč

*Tabulka 13 Celkové náklady všech tří použitých metod pájení*





*Graf 8 Nákladová funkce pro všechny tři druhy pájení*

Z grafu 8 a tabulky 13 je patrné, že výsledek se shoduje s teoretickými předpoklady z prvních dvou kapitol této práce. Každý způsob pájení se vyplatí od jiného počtu vyrobených DPS. Ekonomicky nejvýhodnější je využít pájení, které nám reprezentuje nejnižší křivka grafu.

V první části grafu je nejnižší křivka, která reprezentuje ruční pájení. Z vypočtených hodnot je patrné, že ruční pájení má ekonomický smysl pouze do deseti kusů.

V další části grafu je nevhodnější užití cínové lázně. Tato metoda je nevhodná pro menší počet kusů, protože musíme čekat, než se nám rozpustí pájka v lázni, příprava lázně zabere téměř hodinu. Je patrné, že pro množství nad deset kusů už ekonomicky výhodné použití cínové lázně.

V poslední části grafu je nevhodnější užití pájecí vlny. Tento způsob se opět vyplatí od jiného množství a to od 60 ti kusů výše

Je důležité poznamenat, že tyto výpočty jsou relevantní pouze v případě, že je potřeba vyrobit definovaně velká série DPS. Nerepresentují roční náklady na výrobu. Také jsou tyto výpočty platné pouze v krátkém období, protože počítám s cenami ke dni 10.8.2020. Za několik let se můžou hodnoty lišit z důvodu inflace či zdražování.

Zkusil jsem si spočítat, jak se změní výsledky, pokud by elektřina zdražila dvojnásobně. Ukázalo se, že ruční pájka by bylo vhodné používat i v případě, že bychom vyrobili mezi 10 ti a 20 ti kusy.

## 6. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo blíže se seznámit s různými metodami pájení, s druhy pájek a v neposlední řadě vytvořit cenovou kalkulaci pro výrobu DPS pro tři druhy výroby.

V první části jsem rozdělil způsoby pájení na kusové a hromadné. Uvedl jsem, že u některých druhů pájení není úplně jednoznačné, kam je zařadit např. pájení přetavením. Zjistil jsem, že pro různé množství vyráběných DPS se vyplatí jiný způsob pájení. Popsal jsem pro každý způsob pájení jeho princip a využití a uvedl jsem, že momentálně nejrozšířenější metodou je pájením přetavením.

V další části své práce jsem rozdělil pájky na tvrdé, které mají teplotu tání vyšší než 450°C a na měkké, které tají pod touto hodnotou. K měkkým pájkám jsem uvedl více informací, protože se používají v elektrotechnice nejčastěji.

Popsal jsem rozdíl mezi olovnatými a bezolvnatými pájkami. U olovnatých jsem zmínil jejich dostupnost na trhu. Popsal jsem bezolvnaté pájky a více rozebral ty, které jsou použité v mé praktické části práce. Také jsem se zmínil o tavidlech a opět jsem se podrobněji věnoval tavidlům použitým v praktické části této práce.

V praktické části práce jsem měl za úkol porovnat smáčitelnost různých pájek v první části a v té druhé jsem měřil tvrdost pájek.

Zkoumal jsem tyto pájky:

SnAg4;

Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1;

Sn96.5Ag2.5Sb1;

Sn60Pb40;

Sn95.5Ag3.8Cu0.7

v kombinaci s těmito tavidly:

F-1;

LP-1;

## TS-81

Z prvního měření jasně vyplynuly tyto závěry. Zaprvé, že tavidlo má zásadní vliv na smáčivost pájky, jak můžeme zřetelně vidět na obrázcích 9 a 10. Na obrázku 9 není použito tavidlo a na pájce jsou zřetelné chyby, kdežto na obrázku 10 je vidět použití tavidla zřetelně. Za druhé jsem zjistil, že olovněná pájka Sn60Pb40 je nejlepší ze mnou zkoumaných pájek v kombinaci s jakýmkoliv tavidlem v porovnání s bezolovnatými pájkami, což dokazuje vyhodnocení mnou naměřených grafů. Dále jsem zjistil, že nejlepší vlastnosti bezolovnatých pájek má kombinace Sn95,5Ag3,8Cu0,7 a tavidlo TS81.

V druhé části mého měření jsem nejdříve přiblížil Vickersovou metodu měření tvrdosti kovů. Dále jsem měřil samotnou tvrdost pájek. Z výsledků lze soudit, že tvrdost zkoumaných pájek je podobná. Pohybuje se od 20,7 u nejměkčí zkoumané pájky SnAg4, až po 26,2 u pájky, která vyšla nejlépe z bezolovnatých pájek v první části měření a tou je Sn95,5Ag3,8Cu0,7. Celkově obě měření můžeme považovat za úspěšné.

Cenová kalkulace byla stanovena pro ruční pájení, pro pájení pomocí cínové lázně a pájení průmyslovou pájecí vlnou. Ve všech případech sem vycházel z osobních poznatků a zkušeností. Ekonomicky ziskovou v tomto konkrétním případě začíná být jako první ruční pájení do deseti kusů. Pro malé množství výroby je nejvýhodnější pájení ruční pájkou. V našem případě není vhodné použití cínové lázně v žádném objemu výroby.

## Seznam použité literatury

[1] Praktické rady pro kvalitní a efektivní ruční pájení, [Online] [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<https://www.soselectronic.cz/articles/weller/prakticke-rady-pro-kvalitni-a-efektivni-rucni-pajeni-2297>

[2] RŮŽA, V.: Pájení, SNTL, Praha, 1988

[3] K. Dušek, „PÁJENÍ ÚVOD I“, České vysoké učení technické v Praze, 2019, [Online]. Dostupné z:

[https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/204217/mod\\_resource/content/1/pajeni\\_uvod\\_2.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/204217/mod_resource/content/1/pajeni_uvod_2.pdf).

[4] O. Míra, Radioklub, [Online] Pájení přetavením [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<https://ok1kvk.cz/clanek/2013/pajeni-pretavenim/>

[5] M. Olejář, Elweb, [Online] Pájení SMD horkým vzduchem [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=112>

[6] GME [Online] Cínová pájka CÍN 1mm 20g Sn99,3Cu0,7 PBFREE [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<https://www.gme.cz/cinova-pajka-cin-1mm-20g-sn99-3cu0-7>

[7] GME [Online] Pájecí stanice SR-976 [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<https://www.gme.cz/pajeci-stanice-solomon-sl-976>

[8] GME [Online] Kalafuna Grand [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<https://www.gme.cz/kalafuna-grand-50g>

[9] PBT Rožnov [Online] Pájecí lázeň [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<https://www.pbt.cz/cz/produkty/pajeni/pajeci-stanice-a-prislusenstvi/pajeci-lazen-0t02-t56>

[10] HOTAIR [Online] Cínová lázeň [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<https://www.hotair.cz/detail/pajeni/cinove-lazne/cinova-lazen-50mm.html>

[11] K. Dušek, „PÁJENÍ ÚVOD 2“, České vysoké učení technické v Praze, 2019, [Online]. Dostupné z:

[https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/204217/mod\\_resource/content/1/pajeni\\_uvod\\_2.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/204217/mod_resource/content/1/pajeni_uvod_2.pdf).

[12] Kondik [Online] CE 0,47M/50V [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<https://www.kondik.cz/kondenzator-ce-0-47-50sp>

[13] Kondik [Online] CE 47M/50V [Viděno 3.5.2020], dostupné z:

<https://www.kondik.cz/kondenzator-emve160ada470mf55g>

[14] Phoenix CONTACT [Online] Úsporná automatizace pájecích zařízení s multifunkčními bezpečnostními relé [Viděno 10.5.2020], dostupné z:

[https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz?1dmy&urile=wcm%3Apath%3A/czcs/web/main/solutions/subcategory\\_pages/Machine\\_building\\_soldering\\_installation\\_Ersa/d340c511-3340-4cb2-a5e6-d4db5ba0c524](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz?1dmy&urile=wcm%3Apath%3A/czcs/web/main/solutions/subcategory_pages/Machine_building_soldering_installation_Ersa/d340c511-3340-4cb2-a5e6-d4db5ba0c524)

[15] Chem-Weld. [online] Tvrdé pájení. [Viděno 17.12.2019]. Dostupné z:

<https://eshop.chemweld.cz/http/eshop-chemweld-cz/tvrde-pajeni-b4050-htm>

[16] Bc. M. Lauko, „Pájecí slitiny a jejich vlastnosti“, Diplomová práce, České vysoké učení

technické v Praze. Fakulta elektrotechnická. Ing. David Bušek, Ph.D., Praha, 2017.

[17] Kondik.cz [Online] Olovnaté a bezolvnaté pájky, [Viděno 17.12.2019], dostupné z:

<https://www.kondik.cz/olovnata-a-bezolvnata-pajka>

[18] ABEL, Martin a Vladimír Cimburek 2005. Bezolvnaté pájení v legislativě a v praxi. Praha: technická literatura BEN. ISBN 80-903597-0-1

[19] Svět Součástek [Online] Pájecí kapalina (Tavidlo) F1 [Viděno 17.12.2019], dostupné z:

<https://www.svetsoucastek.cz/pajeci-kapalina-tavidlo-f1-30ml-p104788/>

[20] Pajtech [Online] Pájecí tavidlo LP-1 [Viděno 17.12.2019], dostupné z:

<https://pajtech.cz/pjec-tavidlo-lp-1-lp1-tekut-bezchloridov-mrn-aktivn-tavidlo100ml-p-2586.html>

[21] Pajtech [Online] Pájecí tavidlo TS81 [Viděno 17.12.2019], dostupné z:

<https://pajtech.cz/pjec-tavidlo-ts81-100ml-tekut-bez-kalafune-vysoce-aktivni-pro-ocel-a-chrom-niklov-slitiny-se-ttcem-p-2587.html>

[22] Harant, P., Steiner, F.: Testování pájitelnosti metodou smáčecích vah, ZČU v Plzni,

[Viděno 23.5.2020] Dostupné z:

<https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/392/1/r0c1c8.pdf>

[23] J. Bureš-Converter-Zkouška tvrdosti dle Vickerse, [Viděno 23.5.2020], Dostupné z:

<http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-vickers.htm>

[24] Zkoušení mechanických vlastností – zkoušky tvrdosti, [Viděno 28.5.2020], Dostupné z:

[https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/3448/mod\\_resource/content/1/MN1\\_Mechanické%20vlastnosti-tvrdost.pdf](https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/3448/mod_resource/content/1/MN1_Mechanické%20vlastnosti-tvrdost.pdf)

[25] FIALOVÁ, Helena, FIALA, Jan, 2014. EKONOMICKÝ SLOVNÍK s odborným výkladem česky a anglicky. 3. vydání. Praha, 2014. ISBN: 978-80-87681-02-2

[26] Kalkulačka s výpočtem superhrubé mzdy platným v roce 2020 [Online]. [Viděno

1.8.2020], dostupné z:

<https://www.kurzy.cz/kalkulacka/superhruba-mzda/>

[27] Odborné semináře pro obce [online] Část D- účetní odpisová skupina 4 [Viděno

3.8.2020]. Dostupné z:

<https://ucetniportal.cz/wiki/html?item=215645>

[28] účto [online] Zařazení majetku do odpisových skupin a doba odepisování [Viděno 3.8.2020]. Dostupné z:

<https://www.iucto.cz/priklady-zarazeni-majetku-do-odpisovych-skupin-a-doba-odepisovani/>

[29] TME, [Online], T0053438399N WELLER, Viděno 1.8.2020], dostupné z:

<https://www.tme.eu/cz/details/wel.wt1010hset/pajeci-stance/weller/t0053438399n/>

[30] TME, [Online], LA142201 ISEL, Viděno 1.8.2020], dostupné z:

<https://www.tme.eu/cz/details/wel.wt1010hset/pajeci-stance/weller/t0053438399n/>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Cínová pájka(Sn99,3Cu0,7) [6].....	- 8 -
Obrázek 2: pájecí stanice SOLOMON 50W [7] .....	- 9 -
Obrázek 3 Tavidlo – kalafuna [8].....	- 9 -
Obrázek 4 A) Elektrolitický kondenzátor 0,47UF THT[12]    B)Elektrolitický kondenzátor 47UF SMD[13]	- 10 -
Obrázek 5 Nákres postupu vlnou[3] .....	- 15 -
Obrázek 6 Dvojitá a dutá vlna[3].....	- 15 -
Obrázek 7 Tryska selektivní vlny[14].....	- 17 -
Obrázek 8 Typický průběh funkce smáčecí síly [vlastní zpracování] .....	- 23 -
Obrázek 9 obvyklé průběhy funkce smáčecí síly [22] .....	- 24 -
Obrázek 10 Pájka Sn95,5Ag3,8Cu0,7 v kombinaci s tavidlem LP-1.....	- 27 -
Obrázek 11 Pájka Sn95,5Ag3,8Cu0,7 v kombinaci s tavidlem TS81.....	- 28 -
Obrázek 12 Princip měření tvrdosti podle Vickerse[23] .....	- 30 -
Obrázek 13Měření tvrdosti Sn95,5Ag3,8Cu0,7 .....	- 31 -
Obrázek 14 Měření tvrdosti Sn60Pb40 .....	- 31 -
Obrázek 15 Měření tvrdosti Sn96.5Ag2.5Sb1 .....	- 32 -
Obrázek 16 Měření tvrdosti Sn98.5Ag0.25Cu0.25Bi1.....	- 32 -



Obrázek 17 Měření tvrdosti SnAg4 .....	- 33 -
Obrázek 18 Jednotka zapalovací pulsů pro tyristory.....	- 34 -
Obrázek 19 Výpočet superhrubé mzdy [26] .....	- 36 -

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Teplota hoření vybraných kombinací plynů .....	- 18 -
Tabulka 2 Naměřené hodnoty pro různé kombinace tavidel a pájek .....	- 27 -
Tabulka 3 Odpisy pájecí stanice .....	- 37 -
Tabulka 4 Doba potřebná pro výrobu jedné jednotky DPS pomocí pájecí stanice. ....	- 38 -
Tabulka 5 Celkové fixní a variabilní náklady při použití pájecí stanice .....	- 38 -
Tabulka 6 Celkové náklady na výrobu jednotek při použití ruční pájky .....	- 39 -
Tabulka 7 Odpisy cínové lázně .....	- 40 -
Tabulka 8 Doba potřebná pro zapájení jednotek při použití cínové lázně.....	- 41 -
Tabulka 9 Fixní a variabilní náklady při použití cínové lázně.....	- 43 -
Tabulka 10 Celkové náklady na výrobu jednotek při použití cínové lázně .....	- 44 -
Tabulka 11 Cena pájení pomocí vlny.....	- 45 -
Tabulka 12 Celkové náklady při užití pájecí vlny .....	- 46 -
Tabulka 13 Celkové náklady všech tří použitých metod pájení .....	- 47 -

## Seznam grafů

Graf 1 Průběh smáčecích funkcí pro tavidlo F-1 .....	- 25 -
Graf 2 Průběh smáčecích funkcí pro tavidlo LP-1 .....	- 25 -
Graf 3 Průběh smáčecích funkcí pro tavidlo TS81.....	- 26 -
Graf 4 Průběh smáčecích funkcí bez tavidla .....	- 26 -
Graf 5 Nákladová funkce při užití pájecí stanice .....	- 39 -
Graf 6 Nákladová funkce při užití cínové lázně .....	- 44 -
Graf 7 Nákladová funkce při užití pájecí vlny .....	- 47 -
Graf 8 Nákladová funkce pro všechny tři druhy pájení.....	- 48 -