

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
TECHNICKÁ FAKULTA

**Hodnocení mechanických vlastností spojů  
pájených olovnatými a bezolvnatými  
měkkými pájkami**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:  
prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor práce:  
Bc. Jan Kuchař

PRAHA 2011

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Jan Kuchař**

obor Obchod a podnikání s technikou

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Hodnocení mechanických vlastností spojů pájených olovnatými a bezolvnatými měkkými pájkami**

## Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Podstata pájení, výhody a nevýhody, použitelnost v praxi
4. Přehled měkkých olovnatých a bezolvnatých pájek na tuzemském trhu
5. Experimentální stanovení pevnosti spojů vybraných kovových materiálů pájených měkkými olovnatými a bezolvnatými pájkami
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy



Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:

BLAŠČÍK, F. aj.: Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvárania. Bratislava, ALFA 1987. 832 s.

BÖHLER UDDEHOLM CZ spol. s r.o.: Pájení. Praha, Böhler Uddeholm CZ spol. s r.o. 2003. 12 s.

MANKO, H. H.: Solders and Soldering. New York, MacGraw-Hill 1964. XV, 323 s.

ROBERTS, P.: Industrial brazing practice. Boca Raton, CRC Press 2004. 383 s.

RUŽA, V.: Pájení. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha, NTL 1988. 452 s.

STEDFELD, R. L.: Metals Handbook. Vol. 6., Welding, brazing, and soldering. 9. ed. Metals Park, Oh., American Society for Metals, 1983. XVII, 1152 s.

WEMAN, K.: Welding Processes Handbook. Cambridge, Woodhead 2003. 193 p.

časopisy: MM Průmyslové spektrum, SDSM (Svařování, dělení, spojování materiálů), Strojárstvo / Strojírenství, Svět svaru, Technický týdeník, Technik, Zváranie / Svařování.

firční literatura: katalogy, prospekty  
firční literatura.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Milan Brožek, CSc.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011

Vedoucí katedry



Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Hodnocení mechanických vlastností spojů pájených olovnatými a bezolvnatými měkkými pájkami** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne 2.1 2011



.....  
Podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu této diplomové práce, kterým byl prof. Ing. Milan Brožek, CSc. Děkuji hlavně za jeho drahocenný čas, pomoc a rady, kterými mi pomáhal při tvorbě této práce. Dále pak mé poděkování patří pí. Alexandře Novákové, která mi poskytovala k nastudování různé publikace katedrové knihovny a seznámila mne s technickým provozem univerzitních laboratoří. Mé poděkování také patří p. Milanu Klímovi za přípravu materiálu pro tvorbu zkušebních vzorků experimentu.

**Abstrakt:**

Téma diplomové práce se týká problematiky spojů pájených měkkými olovnatými a bezolvnatými pájkami. Práce popisuje problematiku pájení a použití pájení v praxi, uvádí přehled sortimentu pájek na tuzemském trhu a obsahuje experimentálně zjištěné pevnosti spojů pro různé druhy pájek.

Klíčová slova: měkká pájka, pájení na měkko, spoj, olovnatá pájka, bezolvnatá pájka, experiment

**Abstract:**

This thesis deals with soldered joints made when using lead and lead free soft solders. The introduction shows to the reader the basics problems of soldering. Thesis points out at problems of this technology and its practical usage. It gives an overview of the products available on the Czech market and also presents the results of joints strength tests concluded with different kinds of solders.

Key words: soft solder, soldering, joint, lead solder, lead free solder, experiment

# OBSAH:

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE A METODIKA .....</b>	<b>2</b>
2.1	Cíl práce.....	2
2.2	Metodika práce .....	2
<b>3</b>	<b>PODSTATA PÁJENÍ, VÝHODY A NEVÝHODY, POUŽITELNOST V PRAXI.....</b>	<b>2</b>
3.1	Historie pájení .....	2
3.2	Základní informace o pájení.....	3
3.3	Značení měkkých pájek.....	4
3.4	Slitiny kovů pro pájení .....	5
3.4.1	Pájka cín-olovo .....	5
3.4.2	Pájka cín-antimon a cín-olovo-antimon.....	8
3.4.3	Pájka cín-stříbro a cín-olovo-stříbro .....	8
3.4.4	Pájka cín-zinek.....	9
3.4.5	Pájka kadmium-stříbro.....	10
3.4.6	Pájka kadmium-zinek .....	11
3.4.7	Pájka zinek-hliník .....	11
3.4.8	Pájka s vizmutem .....	12
3.4.9	Speciální pájky.....	12
3.5	Fyzická podoba pájek .....	13
3.6	Pájitelnost .....	14
3.7	Pájecí tavidla.....	14
3.7.1	Pryskyřičná tavidla na bázi kalafuny .....	15
3.7.2	Syntetická tavidla.....	16
3.7.3	Organická tavidla .....	17
3.7.4	Anorganická tavidla .....	17
3.8	Zkoušky pájitelnosti .....	17
3.8.1	Ponořovací zkouška .....	18
3.8.2	Metoda smáčecích vah.....	18
3.8.3	Kuličkový test .....	20
3.8.4	Test roztékavosti .....	20
3.8.5	Kritéria pro pájený spoj .....	21
3.9	Metody pájení .....	21
3.9.1	Pájení páječkou .....	22
3.9.2	Pájení plamenem.....	23
3.9.3	Pájení ponorem .....	23
3.9.4	Odporové pájení.....	24
3.9.5	Indukční pájení.....	25
3.9.6	Pájení vlnou .....	26
3.9.7	Pájení přetavením .....	27
3.9.8	Pájení v peci .....	27
3.9.9	Infračervené pájení.....	28
3.9.10	Laserové pájení .....	28
3.9.11	Pájení horkým plynem .....	29

3.9.12	Kondenzační pájení.....	30
3.10	Pájené spoje .....	31
3.10.1	Druhy pájených spojů .....	31
3.10.2	Kontrola pájených spojů .....	32
3.11	Výhody a nevýhody pájení.....	34
3.12	Použití pájek v praxi .....	35
<b>4</b>	<b>PŘEHLED MĚKKÝCH PÁJEK NA TUZEMSKÉM TRHU.....</b>	<b>36</b>
4.1	Firmy zabývající se prodejem a výrobou měkkých pájek.....	37
4.1.1	Kovohutě Příbram nástupnická, a.s. ....	37
4.1.2	Böhler Uddeholm CZ s.r.o.....	38
4.1.3	INSYS, s. r. o. ....	39
4.1.4	Ferona, a.s. ....	40
4.1.5	CHEM-WELD ROUDNICE s.r.o. ....	41
4.1.6	WELCO spol. s r.o.....	41
4.1.7	AZ - Svářecí Technika s.r.o. ....	42
4.1.8	Formicaweld spol. s r.o.....	42
4.1.9	FINOZ spol. s r.o. ....	43
4.1.10	GES-ELECTRONICS, a.s. ....	43
4.1.11	AMTECH spol. s r.o. ....	44
4.1.12	Amtest Czech Republic, s.r.o.....	44
4.1.13	Erescom SMT v.o.s.....	45
4.1.14	Další distributoři .....	46
4.1.15	Shrnutí sortimentu na tuzemském trhu – přehled.....	46
<b>5</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ PEVNOSTI SPOJŮ VYBRANÝCH KOVOVÝCH MATERIÁLŮ PÁJENÝCH MĚKKÝMI OLOVNATÝMI A BEZOLOVNATÝMI PÁJKAMI ...</b>	<b>48</b>
5.1	Základní informace o prováděných zkouškách.....	48
5.2	Postup výroby zkušebních vzorků.....	50
5.3	Zkoušení zkušebních vzorků .....	52
5.4	Zpracování dat .....	53
5.5	Vyhodnocení experimentu.....	54
5.5.1	Pozinkovaný ocelový plech .....	54
5.5.2	Ocelový plech .....	57
5.6	Shrnutí .....	60
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>63</b>
7.1	Seznam použitých obrázků a tabulek .....	66
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>68</b>



# 1 Úvod

Každé technické dílo se skládá z určitého počtu základních stavebních prvků – dílů, součástí, které jsou vhodným způsobem uspořádány a vzájemně pospojovány.

K vytváření kvalitních spolehlivých spojů je nutné brát v úvahu řadu ovlivňujících aspektů, ať už se jedná o spoje vytvářené v průmyslových oblastech, domácích dílnách, nebo kdekoliv jinde. Především se jedná o fyzikální a mechanické vlastnosti materiálů použitých pro daná spojení, odolnost spojení vůči okolním klimatickým vlivům, vhodnost použití vytvořeného spoje z hlediska technologického, atd.

Za tímto účelem byly už od dávnověku vynalézány různé způsoby spojování materiálů a součástí, mezi které zajisté patří i pájení. Tyto metody byly poté postupem času vylepšovány, nebo se přešlo k metodám novým. A to z důvodu potřeby rozšířit oblast použitelnosti daných metod, anebo pro daleko větší produktivnost metod nových. Avšak metoda vytváření spojů pájením se dochovala a rozvíjí dodnes.

Tato práce shromažďuje informace o jedné konkrétní spojovací metodě, kterou je pájení na měkko. Tyto informace pocházejí většinou z průmyslových oblastí, ve kterých se můžeme s touto problematikou setkávat. Informace zde uvedené by měly čtenáři poskytnout základní představu o tom, s jakou problematikou se může u tohoto druhu spojovací metody setkávat při vytváření spojů v praxi. Dále by tato práce měla ulehčit či zjednodušit výběr daného druhu použité pájky pro spoj v případě, že se sám čtenář rozhodne pro vytvoření spoje, ať už materiálů nebo součástí. K tomuto rozhodnutí by čtenáři měly dopomoci například informace o mechanických vlastnostech (pevnosti) spoje vytvořeného za pomoci konkrétního druhu měkké pájky.

Práce mapuje základní problematiku pájení, používané metody, včetně základního rozdělení, popis jednotlivých metod a v neposlední řadě oblast jejich použití. Dále také obsahuje informace o mechanických vlastnostech (pevnostech) vytvářených spojů.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem této práce je shromáždit informace týkající se technologie pájení na měkko, a tyto znalosti užít při experimentálním stanovení pevnosti vytvářených spojů. A to za použití, jak olovnatých, tak bezolovnatých měkkých pájek.

Dalším cílem je vytvoření přehledu informujícího o nabídce sortimentu pájek pro pájení na měkko na tuzemském trhu. Zde budou zahrnuti jak přímo výrobci, tak i distributoři měkkých pájek pro Českou republiku.

Posledním a nejdůležitějším cílem je praktická část práce. Ta bude informovat o tom, jaké pevnosti lze očekávat u vytvářených spojů, při použití různých druhů pájek, jež budou stanoveny experimentálně. Pro experimentální stanovení pevnosti spoje budou zkoumány dva druhy základního materiálu a dvanáct druhů měkkých pájek.

### **2.2 Metodika práce**

Práce bude vytvářena na základě studia dostupných literárních dokumentů a na základě prováděné experimentální činnosti.

## **3 Podstata pájení, výhody a nevýhody, použitelnost v praxi**

### **3.1 Historie pájení**

Pájení je jednou ze starobylých spojovacích metod. Tato spojovací metoda byla používána již před 5000 lety v Mezopotámii a před obdobím Kleopatry. Později také např. v Egyptě, Řecku a Římě. Používání pájení je i zmíněno v knize *Historia Naturalis*, kterou napsal Plinius Starší před 2000 lety. Tato kniha uvádí, že pájené spoje trubek římských akvaduktů byly vyrobeny z takzvané „tertium“ směsi, což byla slitina dvou kusů olova a jednoho kusu cínu. Úplně prvními používanými pájkami byly slitiny nalezené v přírodě, ale jen některé z těchto pájek mohly být poté skutečně použity pro proces spojování materiálů. Hlavním důvodem byly velmi omezené vlastnosti těchto pájek, protože pájky měly různé prvkové složení. Tyto první pájky byly obecně používány pro spojování a výrobu šperků,

nebo např. pro připojování držadel dekorativních nádob. Zde ovšem vznikaly obavy ze vzhledu spoje, stupně pevnosti a teploty tavení. Jelikož byly používané materiály vzácné a drahé, tak tyto práce prováděli pouze vysoce kvalifikovaní řemeslníci. To bylo také důvodem, proč takto vyrobené předměty mohli vlastnit pouze bohatí lidé [5].

V posledních dvou stoletích však došlo k poklesu cen některých kovů. Nízké ceny v roce 1800 zapříčinily, že se cínové zboží vyrobené pro domácnosti stalo pro většinu rodin dostupné a klempíř se tudíž stal všeobecně žádaným odborníkem. Dále rozvojem používání elektrického proudu vznikl požadavek na způsob připevnění elektrického vedení, což se stalo právě oblastí, kde byly pájky nejvíce používány. To zapříčinilo, že se o elektrických vlastnostech pájek začalo uvažovat. Elektrická vodivost spoje byla nesrovnatelně důležitější, než síla, nebo vzhled spoje, jak tomu bylo např. u šperků nebo cínového zboží pro domácnosti. Pájky byly používány pro výrobu elektrického příslušenství a také jednoduchých mechanických spojů. A právě tato kritéria požadovala nový typ řemeslníka, jehož dovednosti byly více zaměřeny do oblasti inženýrství a produkce než k oblasti estetiky [5].

Do 20. století se hutní věda vyvinula do té míry, že nově vyráběné pájky mohly být speciálně přizpůsobeny např. pro elektrikářské a instalatérské použití. Následně rozvíjející se elektronický průmysl vyžadoval pájky s následujícími vlastnostmi:

- kompatibilita s mědí,
- dobrá elektrická vodivost,
- rychlé a cenově nenáročné vytváření spojů,
- spolehlivost pájeného spoje.

Nyní mají inženýři formální pravidla, která upravují provedení spojů používaných v různých oblastech, aby bylo dosaženo požadované úrovně pevnosti. Materiály a procesy pro pájení se nyní stanovují v inženýrské praxi [5].

### **3.2 Základní informace o pájení**

Pájení je chemicko-fyzikální způsob spojování kovových dílů, přičemž pájené plochy základních materiálů nejsou nataveny, ale jen smáčeny použitou pájkou [13]. Podstatou pájení je zaplnění mezery mezi oběma spojovanými povrchy kovem nebo slitinou s nižší teplotou tavení než spojované kovy [7].

Při procesu pájení se povrchové atomy základního materiálu dostanou do styku s atomy roztavené pájky v takové vzdálenosti, že se vytvoří vhodné podmínky pro tvorbu spoje.

Současně dochází k rozpouštění a difúzi některých prvků spojovaných materiálů. Vzniká také mezifázové rozhraní mezi pevným a tekutým kovem. Ve většině případů vznikají přechodové oblasti o určité tloušťce, které mají jiné mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti [1].

Přídavný materiál se nazývá pájka. V praxi se pro měkké pájení používají tzv. olovnaté a bezolovnaté pájky. Toto označení je odvozeno podle prvkového složení pájky (zda je ve slitině obsaženo olovo či nikoliv). Je třeba také podotknout, že současným trendem je upouštění od použití slitin olova z ekologických důvodů [7]. Důležitou vlastností pájky je její pracovní teplota (teplota pájené plochy, potřebná k roztavení pájky, aby bylo dosaženo její smáčivosti, roztékavosti a vzlínivosti).

Podle horní teploty tavení se tedy pájky rozdělují na měkké pájky (do 450 °C) a tvrdé pájky (nad 450 °C). Rozdělující hranicí je tedy teplota 450 °C (840 °F) a z tohoto důvodu rozdělujeme pájení následovně:

- pájky pro pájení na měkko (s teplotou tavení do 450 °C),
- pájky pro pájení na tvrdo (s teplotou tavení nad 450 °C).

S ohledem na zaměření této práce budou všechny informace v tomto dokumentu směřovat pouze k pájení na měkko, tudíž všechny pracovní operace a činnosti s tím spojené budou probíhat při teplotách pod 450 °C. Od tohoto se také bude odvíjet oblast použitelnosti měkkých pájek, které našly své významné uplatnění např. v elektrotechnickém průmyslu.

### **3.3 Značení měkkých pájek**

Způsob značení pájek je vyjádřen v normě ČSN EN ISO 3677. Značení je odvozováno dle teploty tavení (druhu) dané pájky, podle procentuálního zastoupení jednotlivých prvků v pájce a podle použití pájky [14].

Celé označení měkké pájky se skládá ze dvou částí. A to následovně:

1. část:

Vyjadřuje, že se jedná o měkkou pájku. Je vyjádřeno následujícím písmenem.

- **S** – jedná se o slitinu pro pájení na měkko,

2. část:

Vyjadřuje prvkové složení pájky a procentuální zastoupení jednotlivých prvků ve slitině. Na prvním místě je značka základního prvku přídavného kovu, která je následována

hmotnostními procenty příslušného prvku. Prvky, jejichž procentuální zastoupení ve slitině je menší než 1 % se v označení neuvádějí. U některých pájek speciálně určených pro elektrotechniku se ještě bezprostředně za druhou část přidává písmeno „E“. Označení, že se jedná o tzv. eutektickou pájku [14]. Značení druhé části může být např.:

- **Zn30** (hmotností obsah zinku do 30 %),
- **Pb37** (hmotností obsah olova do 37 %).

Níže jsou uvedeny pro ukázkou dva druhy značení pájek.

#### **S-Sn60Pb40Sb**

Jedná se o měkkou pájku, slitinu třech prvků s hmotnostním zastoupením prvků: cín 60 %, olovo 39 %, antimon 0,4 % (teplota solidu 183 °C, teplota likvidu 191 °C).

#### **S-Sn63Pb37E**

Jedná se o měkkou pájku, slitinu dvou prvků s hmotnostním zastoupením prvků: cín 63%, olovo 37 % (písmeno “E“ vyjadřuje, že se jedná o eutektickou pájku vhodnou pro elektrotechniku s teplotou tavení 183 °C – tato pájka se taví při nejnižší teplotě ze všech slitin cínu a olova).

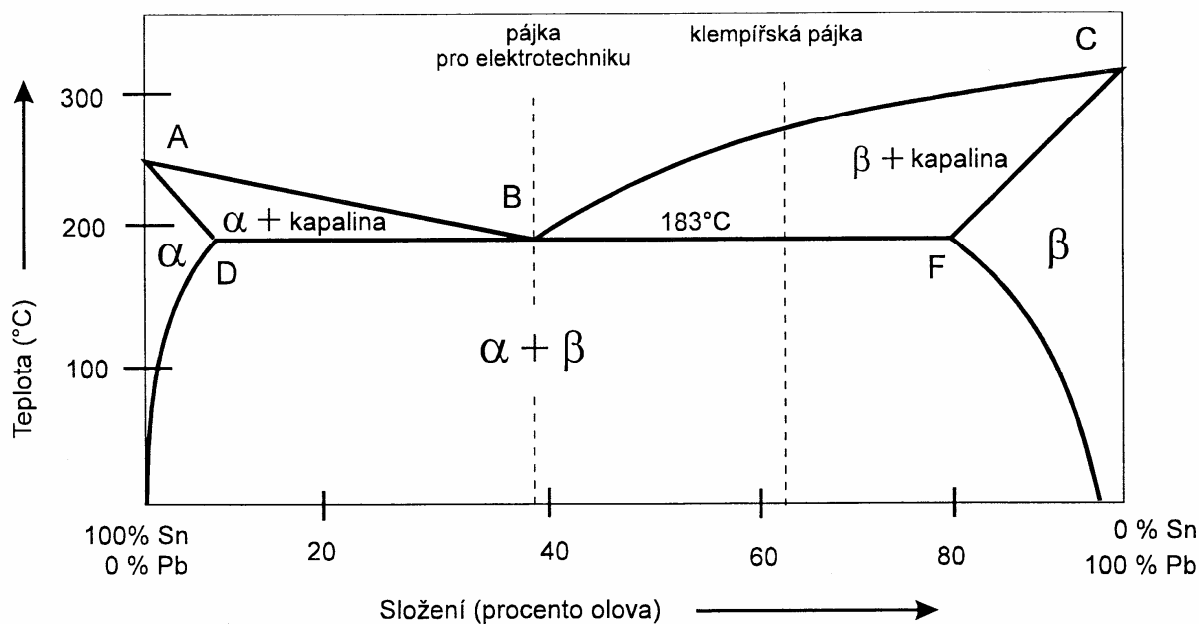
### **3.4 Slitiny kovů pro pájení**

#### **3.4.1 Pájka cín-olovo**

Slitina je směs dvou nebo více kovů. Většina slitin se vyrábí v kapalně fázi a vytváří strukturu během tuhnutí. Poměr skladebných kovů a konečnou krystalickou strukturu slitiny ovlivňuje způsob jejího tuhnutí [1].

Téměř všechny komerčně dostupné slitiny jsou založeny na systémech, kde jsou kovy v kapalném stavu zcela mísitelné. Je ale třeba si uvědomovat, že vždy tomu tak není a že existují kovy, jež se vůči sobě chovají jako olej a voda – jsou tedy nemísitelné. I když jsou dva kovy v kapalně fázi jeden ve druhém zcela rozpuštěny, neznamená to jistě, že musejí tuhnut tak, aby vytvořily homogenní pevnou fázi [1].

Struktura slitiny, a tudíž i získané vlastnosti, budou záviset na povaze pevné fáze (nebo fází). Způsob prezentace této informace představuje binární fázový diagram na obr. 1. Zde se předpokládá, že se pájka skládá z cínu a olova [1].



Obr. 1 Fázový diagram cín-olovo [1]

(Nebere se v úvahu případ alternativních pájek např. pro elektroniku, které obsahují ještě třetí kov – např. stříbro. Informace o těchto slitinách by pak prezentoval ternární fázový diagram. Dále je nutné poznamenat, že přítomnost nečistot v pájeném místě např. mědi má významný vliv na tvorbu konečného spoje a to někdy nepříznivý) [1].

Na fázovém diagramu představuje základní horizontální přímka koncentraci daného prvku v hmotnostních procentech. Na levé straně se jedná o čistý cín (100 % Sn) a na pravé straně se jedná o čisté olovo (100 % Pb). Vertikální přímka vyjadřuje teplotu ve stupních Celsia.

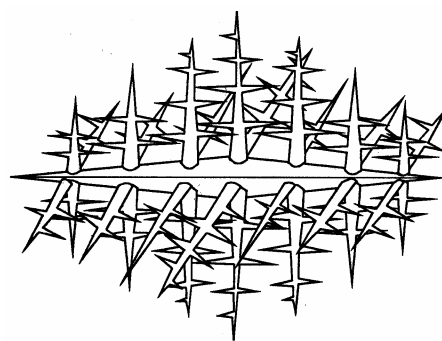
Stejně jako např. sůl snižuje teplotu tuhnutí vody, tak teplota tuhnutí kovu se zpravidla snižuje, jestliže tekutý kov obsahuje v roztoku nějaké jiné kovy. Na fázovém diagramu křivka AB ukazuje, jak se teplota tuhnutí cínu sníží z 232 °C v čistém stavu na 183 °C, jestliže obsahuje 37 % olova. Podobně křivka CB ukazuje, jak poklesne teplota tuhnutí olova z 327 °C v čistém stavu na 183 °C ve slitině 63 % cínu [1]. Nad křivkou ABC (likvidus – dochází ke zkapalnění) je slitina kapalná, pod křivkou ADBFC (solidus – nad touto křivkou se začíná slitina tavit) je slitina tuhá.

### Podvojně slitiny

Cín a olovo představují nejobvyklejší skupinu podvojných slitin, tj. těch, které vykazují částečnou vzájemnou rozpustnost. Z tohoto důvodu existují dvě oblasti fázového diagramu

(alfa a beta), které představují jednotlivé fáze krystalické struktury v důsledku horních mezí rozpustnosti pro cín a olovo a při překročení olova a cínu. V případě komerčních pájek nejsou tyto slitiny důležité [1].

Dvě další zóny ABC a BCF představují oblasti, kdy je slitina „kašovitá“ jinak řečeno obsahuje jak kapalnou, tak tuhou fázi. V oblasti BCF se budou tvořit krystaly kompozice beta, zatímco zbytek slitiny je ještě kapalný. Tyto krystaly budou narůstat do dendrických struktur (viz. obr. 2) do té doby, než slitina úplně ztuhne. Pak se bude zrnitá struktura skládat z beta dendrických jader v alfa krystalové matici. Protože alfa krystaly vznikají prakticky okamžitě, jakmile teplota slitiny klesne pod 183 °C, mají tendenci být malé. Výsledná slitina je známá jako hrubozrnná struktura (velké beta, malé alfa) a má sklon být mechanicky slabší a se špatnou elektrickou vodivostí. Přesto má své využití. Dobrým příkladem je klempířská pájka S-Pb66Sn34. V tomto případě není elektrická vodivost kritériem. Dlouhodobější kašovitá fáze je výhodou při výrobě letovaných spár [1].



Obr. 2 Dendrický krystal [1]

Z tohoto vyplývá, proč je právě např. eutektické pájka S-Sn63Pb37 nejvhodnější pro elektrotechnický průmysl. Jelikož eutektická pájka je jedinou slitinou cínu a olova, která přechází z kapalně fáze do fáze pevné prakticky okamžitě (bod B na obr. 1). Rovněž má nejnižší teplotu tavení a to 183 °C. Výsledná krystalická struktura sestává z drobných zrn stejné velikosti alfa a beta (protože měla omezenou dobu růstu) bez náznaku dendrických jader, která potencionálně snižují pevnost. Tato jemnozrnná struktura současně udržuje vysoký stupeň elektrické vodivosti [1].

Následující tabulka (tab. 1) ukazuje některé používané pájky cín-olovo s vyjádřením teplot solidu a likvidu pro jednotlivé slitiny o různých koncentracích daných prvků.

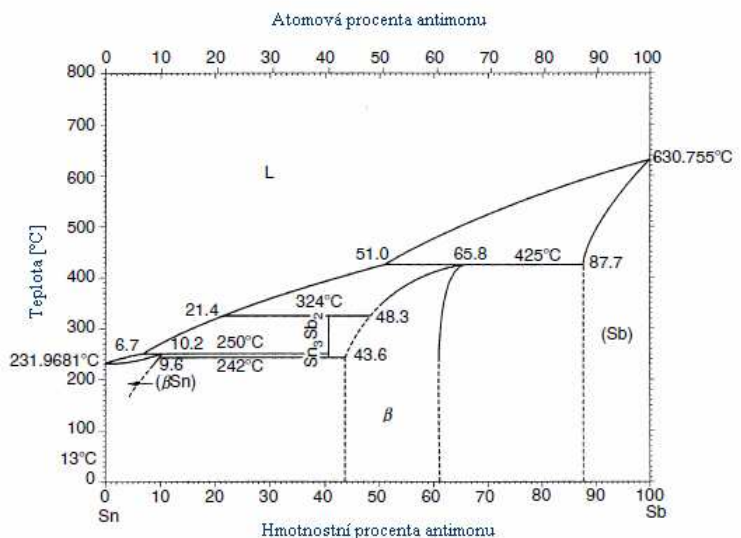
Tab. 1 Přehled pájek cín-olovo [3]

Hmotnostní procenta daného prvku		Teplota [°C]	
Sn	Pb	Solidus	Likvidus
70	30	183	192
63	37	183	183
60	40	183	190
50	50	183	216
45	55	183	227
40	60	183	238
35	65	183	247
30	70	183	255
25	75	183	266

### 3.4.2 Pájka cín-antimon a cín-olovo-antimon

Cín-antimon (Sn-Sb) pájky jsou obvykle pevnější, než cíno-olověné pájky, protože antimon je účinný posilovač tuhého roztoku. To vede k dobré creepové pevnosti, což je požadovaná vlastnost slitiny. Sn-Sb fázový diagram je znázorněn na obr. 3, a ukazuje, že v případě slitiny s 95 % Sn a 5 % Sb má pájka úzký rozsah tání a tuhnutí na teplotách vyšších, než eutektická slitina Sn-Pb. Z tohoto důvodu je tato slitina dobrou volbou pro mechanické aplikace, jako je instalace chlazení a klimatizace. Ale vážným problémem je, že Sb je stejně jako Pb jedovaté, tudíž by se mělo se slitinou zacházet opatrně (zejména nebezpečné jsou jeho páry). Proto je nutné se vyhnout jeho použití v určitých oblastech, jako jsou instalace pro pitnou vodu, potraviny, nápoje či manipulační zařízení.

Antimon může být přidán do Sn-Pb pájky jako náhrada za část obsahu Sn. Přídavkem až 6 % se zvýší mechanické vlastnosti a to jen s mírným snížením pájecích vlastností (např. smáčivosti a zabíhavosti) [3].



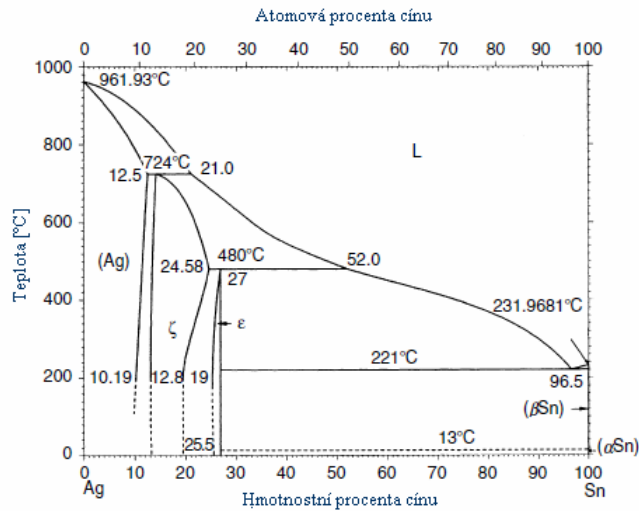
Obr. 3 Fázový diagram cín-antimon [3]

### 3.4.3 Pájka cín-stříbro a cín-olovo-stříbro

Pájky Sn-Ag jsou bezolovnaté slitiny nejčastěji používané pro pájení nerezové oceli pro potravinářský průmysl, kde je nutné se vyhnout použití Pb z důvodu jeho toxicity. Zájem o Sn-Ag slitiny bez přídavku olova roste i ve výrobě elektronického a mikro-elektronického zboží. Sn-Ag binární fázový diagram je znázorněn na obr. 4. Sn-Pb pájky s přídavkem Ag mají vyšší pájecí teplotu, vykazují dobrou pevnost v tahu, smyku, pevnost při tečení, a jsou vynikající pro kryogenní aplikace vzhledem k jejich tuhosti.



Pájka s 62 % Sn 36 % Pb 2 % Ag tzv. ternární slitina se používá při pájení postříbřených povrchů v elektrických systémech. Přidáním Ag se snižuje rozpouštění povlaku, stejně jako se zvyšuje pevnost při tečení. Na druhou stranu stopy kontaminace Pb v eutektické slitině Sn-Ag snižují dramaticky její teplotu tavení. Proto se olovu také často říká „jed“ Sn-Ag pájky [3].

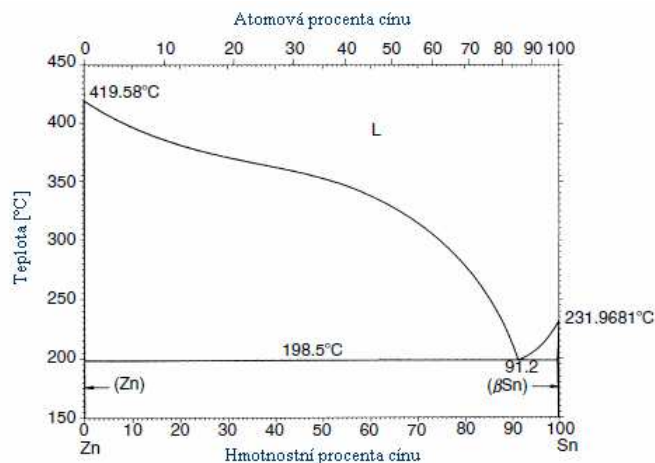


Obr. 4 Fázový diagram cín-stříbro [3]

### 3.4.4 Pájka cín-zinek

Velké množství Sn-Zn pájek se používá pro spojování hliníku a jeho slitin. Jejich používáním se minimalizuje vznik galvanické koroze. Fázový diagram pro tento druhu binární pájky je znázorněn na obr. 5 [3].

Dále tab. 2 uvádí různé cínové slitiny – binární a ternární pájky s Sb, Sb+Pb, Ag, Ag+Pb, a Zn, spolu s uvedením teplot solidu a likvidu [3].



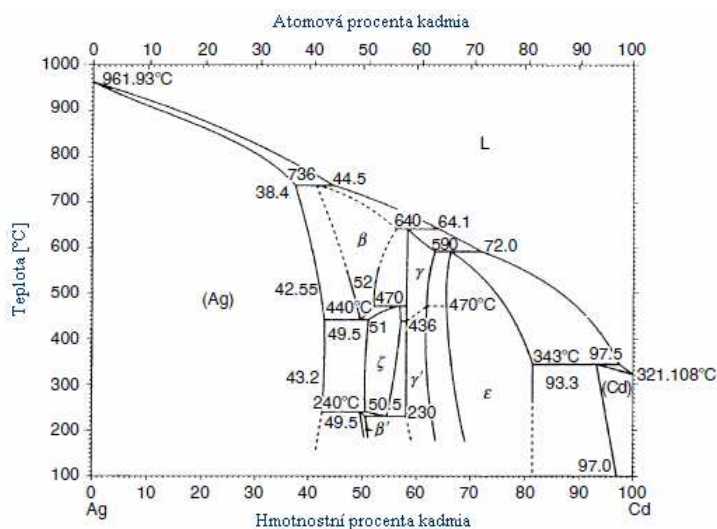
Obr. 5 Fázový diagram cín-zinek [3]

Tab. 2 Přehled pájek I. [3]

Hmotností procenta daného prvku					Teplota [°C]	
Sn	Pb	Sb	Ag	Zn	Solidus	Likvidus
5	95				300	314
10	90				268	301
15	85				225	290
20	80				183	280
25	75				183	267
30	70				183	255
35	65				183	247
40	60				183	235
45	55				183	228
50	50				183	217
60	40				183	190
70	30				183	192
95		5			232	240
96			4		221	221
62	36		2		180	190
5	94,5		0,5		294	301
2,5	97		0,5		303	310
1	97,5		1,5		309	309
91				9	199	199
80				20	199	269
70				30	199	311
60				40	199	340
30				70	199	375
96,5			3,5		221	221

### 3.4.5 Pájka kadmium-stříbro

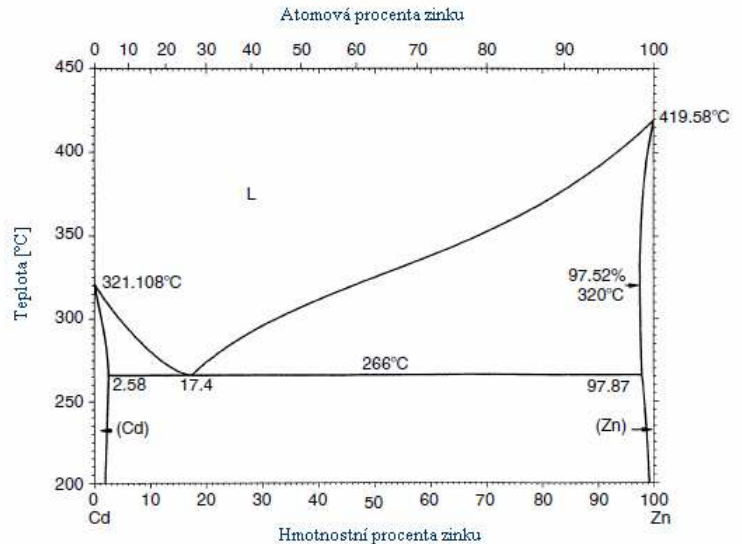
Pájka kadmium-stříbro (Cd-Ag), jejíž fázový diagram je znázorněn na obr. 6, je používána tam, kde provozní teploty budou vyšší než u nízko-tavitelných pájek. Pevnost vzniklých spojů může být velmi vysoká (až 172 MPa). To platí v případě, že se jedná o spojování mědi. Kadmium je stejně jako Pb a Sb jedovaté, tudíž všechny operace musí být vykonávány s opatrností, jak během pájení, tak při následném užívání a poté i při likvidaci [3].



Obr. 6 Fázový diagram kadmium-stříbro [3]

### 3.4.6 Pájka kadmium-zinek

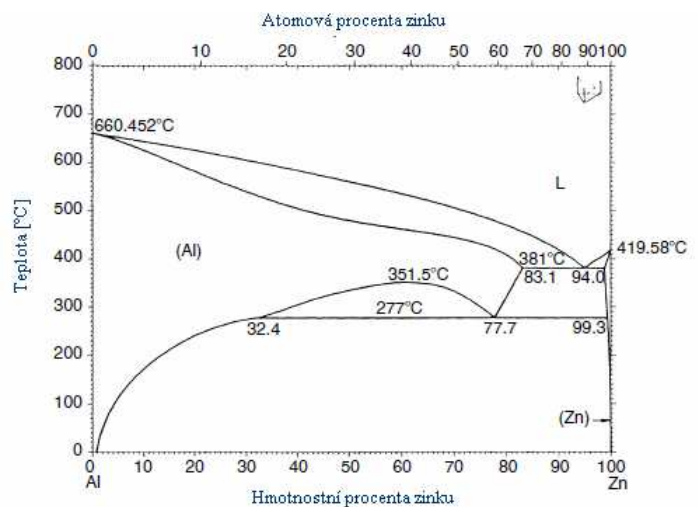
Pájka kadmium-zinek (Cd-Zn) se používá pro pájení hliníku a jeho slitin. Pevnost a odolnost proti korozi je průměrná, ale cena je nižší, než u pájky Cd-Ag. Páry kadmia jsou opět toxické, proto je třeba zvážit jeho používání vzhledem k bezpečnosti. Fázový diagram pro tuto slitinu vyjadřuje obr. 7 [3].



Obr. 7 Fázový diagram kadmium-zinek [3]

### 3.4.7 Pájka zinek-hliník

Fázový diagram pro pájku zinek-hliník (Zn-Al) znázorňuje obr. 8. Tato slitina je speciálně navržena právě pro pájení hliníkových slitin. Výsledné spoje mají vysokou pevnost a dobrou odolnost proti korozi, podobně jako slitiny Zn-Al. Některé důležité pájecí slitiny této pájky jsou uvedeny v tab. 3 [3].



Obr. 8 Fázový diagram zinek-hliník [3]

**Tab. 3 Přehled pájek II. [3]**

Hmotnostní procenta daného prvku				Teplota [°C]	
Cd	Ag	Zn	Al	Solidus	Likvidus
95	5			338	343
82,5		17,5		265	265
40		60		265	335
10		90		265	399
		95	5	382	382

### 3.4.8 Pájka s vizmutem

Jedná se o pájky s obsahem Bi (vizmut). Jsou to takzvané „tavitelné slitiny“ používané pro pájení tam, kde musí být pájecí teplota udržována pod 183 °C (361 °F). To je totiž nejnižší teplota tavení nebo eutektická teplota pro pájky Sn-Pb. Takovéto pájky jsou vyžadovány při: (1) pájení tepelně upravených povrchů, kde by vyšší pájecí teploty způsobily měknutí materiálu, (2) pájení spojů, kde musí být zamezeno, aby došlo k přehřívání sousedního materiálu (např. v důsledku špatné odolnosti vůči teplu nebo hořlavosti), (3) aby se zabránilo přetavování blízkého (sousedního) spoje, který byl vytvořen při vyšší teplotě [3].

### 3.4.9 Speciální pájky

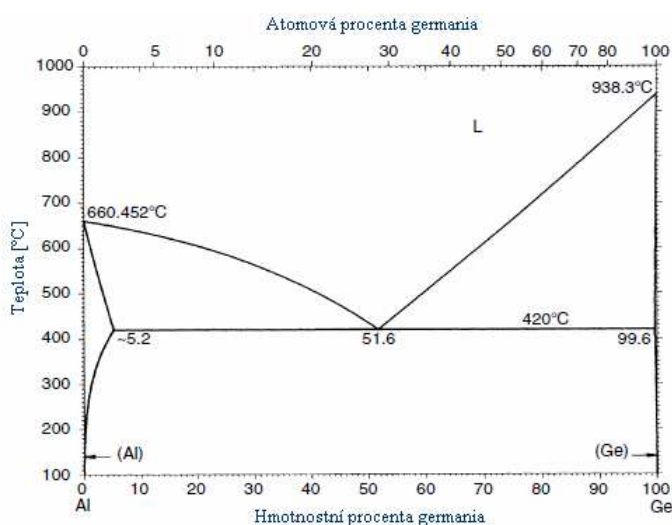
Kromě běžných pájek, existuje mnoho speciálních pájek se zvláštními vlastnostmi a různými oblastmi použitelnosti. Složení některých těchto speciálních pájek uvádí tab. 4.

Zde je např. několik pájek s obsahem Au (zlata), jež tvoří binární slitinu s Sn, Ge, a In. Tyto slitiny jsou sice drahé, ale nabízí mimořádnou odolnost vůči korozi, dobrou smáčivost, a kompatibilitu s Si (křemíkem). Tudíž se hodí např. při montáži polovodičových zařízení (ve většině případů se jedná o eutektické pájky).

Dalšími speciálními pájkami jsou např. slitiny s 65 % Sn 25 % Ag 10 % Sb a 55 % Ge 45 % Al (fázový diagram pro tuto slitinu znázorňuje obr. 9). Tyto slitiny byly vyvinuty pro elektronický průmysl. První z nich byla vyvinuta pro oblasti, kde je požadována velmi vysoká pevnost, druhá pro oblast vyžadující vysokou provozní teplotu. Pro příklad, Sn-Ag-Sb slitina má pevnost v tahu 125 MPa, zatímco eutektická slitina Ge-Al má teplotu tavení 429 °C (795 °F) [3].

**Tab. 4 Přehled speciálních pájek [3]**

Hmotnostní procenta daného prvku					Teplota [°C]	
Au	Sn	Ge	Si	In	Solidus	Likvidus
80	20				280	280
88		12			356	356
96,4			3,6		370	370
82				18	451	485
Hmotnostní procenta daného prvku					Solidus	Likvidus
Sn	Ag	Sb	Ge	Al		
65	25	10			233	nezjištěno
			55	45	242	429



**Obr. 9 Fázový diagram hliník-germanium [3]**

### 3.5 Fyzická podoba pájek

Pájky jsou vyráběny v mnoha fyzických podobách (provedeních), aby uspokojily různé oblasti použití. Mohou mít podobu jako např. ingoty, tyče, dráty, trubičkové dráty s tavidlem, fólie, pásy, polotovary všech tvarů a velikostí, pasty a krémy, pelety (segmenty vytvořené nařezáním drátů nebo trojúhelníkových tyčí na kusy o požadovaných délkách), zrna, nebo prášek [3]. Některé možné podoby pájek zobrazuje obr. 10.



**Obr. 10 Fyzické podoby pájek [16]**

Konkrétní podoby pájek jsou samozřejmě individuální a záleží jen na výrobcu, který ovšem může sortiment přizpůsobit požadavkům zákazníka.

### 3.6 Pájitelnost

Pájené komponenty nestačí pouze zahřát na požadovanou teplotu a dodat pájku, ale pájené komponenty je třeba připravit – musí mít vhodnou pájitelnost. Termín pájitelnost povrchu je použit jako popis schopnosti povrchu být smáčitelný pájkou během procesu pájení. Je to funkce přesného procesu a práce materiálu. Materiál může vykazovat přijatelnou pájitelnost v některých procesech, ale v jiných ne. Stupně smáčení mohou být rozděleny následovně [1]:

- **Nesmáčení** – V tomto případě se nevytvoří metalurgická vazba, rozhraní mezi pájkou a povrchem zůstane zřetelné. Tavidlo použité k podpoře pájení nemohlo adekvátně odstranit povrchové znečištění, protože oxidační vrstva je příliš tlustá nebo tavidlo není dostatečně aktivní,
- **Smáčení** – Povrchová energie čistého kovu povrchu je vyšší, než roztavené pájky. Za této podmínky pájka smočí povrch a vytvoří tak na rozhraní metalurgickou vazbu. Jak smáčení postupuje, tak roste na rozhraní tenká mezikovová vrstva a vytváří základ pro spolehlivý spoj,
- **Odsmásčení** – Mezikovové vrstvy, které rostou na rozhraní, jsou bohaté na cínové směsi, které vytahují cín z cíno-olověné pájky. Jak je cín odtavován z pájky, opouští oblasti bohaté na olovo s relativně slabou pájitelností. Když teplota klesá dost dlouho, pak velikost těchto oblastí bude dostatečná k tomu, že pájka ustoupí z již dříve smáčených oblastí. Tento jev se nazývá odsmásčení. Odsmásčení se může také vyskytnout zesponu od pájeného místa, v místě vystavenému nesmásčenému povrchu, kdy je tenká pájená vrstva kovu úplně rozpuštěna do pájky. Toto může vzniknout, když se pájí kontakty z drahých kovů, které se rychle rozpustí v pájce Sn-Pb.

Z výše uvedených důvodů existuje několik zkoušek pájitelnosti, kterými se bude zabývat kapitola 3.8.

### 3.7 Pájecí tavidla

Pájecí tavidlo může být kapalná, pevná (prášek), nebo plynná látka, která je po zahřátí schopna podporovat nebo urychlovat smáčení materiálů roztavenou pájkou [3]. Smysl tavidla tedy spočívá v podpoře smáčení, v odstranění oxidů a ostatních nečistot z povrchů, které mají

být spojeny. Ideální tavidlo by mělo být vysoce aktivní za pájecích teplot a nečinné za normálních teplot např. pracovního zařízení, aby nebylo nutné odstraňovat jej po pájení [1].

Takovéto ideální tavidlo však neexistuje. Skutečné tavidlo je kompromisem mezi aktivním za pájecích teplot a nečinným za provozních teplot. Pro ilustraci obr. 11 zobrazuje některé formy prodávaných tavidel.

Tavidla mohou být rozdělena následovně [4]:

- pryskyřičná tavidla na bázi kalafuny,
- synteticky aktivovaná tavidla,
- organická tavidla,
- anorganická tavidla.



Obr. 11 Některé formy tavidel: RMA, HCl + Zn („pájecí voda“), kalafuna

### 3.7.1 Pryskyřičná tavidla na bázi kalafuny

Tavidla na bázi kalafuny mají důležité fyzikální a chemické vlastnosti. Z tohoto důvodu jsou používány v elektrotechnickém průmyslu. Jsou chemicky neaktivní při pokojové teplotě, ale při pájení jsou schopny se stát dostatečně aktivními a odstranit slabou vrstvu oxidů z ušlechtilých kovů jako je např. zlato a stříbro, stejně jako z mědi [3].

Typy tavidel na pryskyřičné bázi jsou definovány v normě MIL-F-14256. Rovněž v ČSN EN 29454-1. Rozlišují se podle aktivity na [1]:

- **Typ R** – Jedná se o tavidlo s nejnižší aktivitou a skládá se z čisté bílé pryskyřice (kalafuna) rozpuštěné v lihovém ředidle. Protože má relativně slabou čisticí schopnost, je toto tavidlo vhodné pro užití na snadno pájitelné povrchy. Může být použito jako čistič zlatých povrchů, ale nejeví se dost agresivní pro měděné, cínové nebo cíno-olověné povrchy. Zbytek tavidla po pájení je při pokojové teplotě netečný, čili tavidlo typu R nemusí být po pájení odstraněno,
- **Typ RMA** (pryskyřičné tavidlo s aktivátory) – Zvýšená aktivita může být dosažena přidáním malého množství vhodných organických směsí. Normy většinou neudávají, jaké směsi by měly být použity, ale spíše udávají chemické a elektrické testy, kterými

musí tavidlo RMA projít. Tavidlo RMA je vhodné pro použití s mnoha snadno pájitelnými materiály, jako je měď, zlato a cíno-olověné pájky. Jeho zbytek je všeobecně považován za netečný a tak je odstraňování volitelné. Někdy však může neúplné odstranění způsobit více škody než užitku,

- **Typ RA** (pryskyřičné tavidlo s větší účinností aktivátorů) – Příměsi v tavidlech typu RA jsou agresivnější, než ty užívané v tavidlech RMA. Normy opět definují testy, kterými musí tavidlo projít, spíše než specifické chemické složení aktivátoru. Tento typ tavidla je vhodný pro pájení kovů, které nejsou ihned pájitelné s tavidly typu R a RMA. Způsobují urychlené smáčení snadno pájitelných kovů a tím redukuje úroveň defektů v pájecím procesu. Z důvodů jejich zvýšené úrovně aktivity by měla být tavidla typu RA po pájení kompletně odstraněna. Zůstanou-li na povrchu materiálu, mohou podpořit dlouhodobou korozi, zvláště ve vlhkém prostředí,
- **Typ RSA** (pryskyřičné tavidlo velmi silně aktivované) – Toto tavidlo formálně není součástí vojenské normy MIL, ale běžně je užíváno dokonce více než tavidla RA. Stejně jako u typu RA, musí být i zbytky tohoto tavidla kompletně odstraněny, aby se snížila pravděpodobnost koroze.

Označení RA, RMA a R představují rozčlenění podle americké vojenské normy (MIL) a označují stupeň aktivování tavidla, neříkají však nic o nutnosti čištění zbytků po pájení. V tomto jsou zřetelnější normy DIN, kde jednotlivé kategorie podávají bližší určení a charakteristiku jednotlivých tavidel a rovněž poskytují doporučení, kdy je třeba odstranit jejich zbytky [1].

### 3.7.2 Syntetická tavidla

Tavidla na pryskyřičné bázi jsou komplexem kombinací v přírodě se vyskytujících produktů. Správné složení různých pryskyřic se mění v závislosti na geografickém místě, odkud byly získány, na předešlých klimatických podmínkách, atd. Pryskyřice má tendenci polymerizovat za působení pájecích teplot a zanechávat zbytky, které se obtížně odstraňují. Snaha eliminovat výše uvedené nevýhody vedla k vývoji syntetických tavidel.

Syntetická tavidla byla poprvé objevena ke konci sedmdesátých let jako důsledek eliminování problémů s pryskyřičnými tavidly. Tavidla jsou založena na mono- a disoortylu fosfátových směsí kombinovaných s různými příměsmi ke zlepšení aktivity tavidla a usnadnění odstraňování zbytků.



Tavidla vykazují podobné úrovně aktivity jako tavidla z organických kyselin, ale s nižšími úrovněmi iontového znečištění. Jsou vhodné např. pro aplikování při pájení vlnou nebo v pastě. Jejich složení může být přesně kontrolováno [1].

### **3.7.3 Organická tavidla**

Tato tavidla jsou typické organické kyseliny s podstatně vyšší aktivitou, než pryskyřičná tavidla. Jsou účinná při pájecí teplotě 90 – 320 °C (200 – 600 °F) [3]. Tavidla z organické kyseliny byla populární zejména tam, kde se pájely materiály s různou pájitelností. Dříve bylo snazší zvýšit aktivitu tavidla, než řešit problémy s pájitelností materiálů.

Tato tavidla jsou vodou rozpustná, což znamená, že se snadno odstraní ve vodním čisticím procesu. Zbytky tavidla je důležité odstranit brzy po pájení. S těmito tavidly se dosahuje naprosto bezproblémového pájení, rovněž i proces čištění je velmi levný, protože čisticí médium je zde voda, případně demineralizovaná voda [1].

### **3.7.4 Anorganická tavidla**

Jedná se o anorganické kyseliny a soli, které jsou vysoce agresivní a velmi aktivní. V mnoha případech nejsou přijatelné pro použití v elektronice, ale jsou vhodné pro sanitární a průmyslové použití. Anorganická tavidla umožňují pájení slitin železa a niklu.

Tavidla se používají tam, kde podmínky pájení vyžadují rychlé a vysoce aktivní tavidlo (např. u silně znečištěných povrchů). Fungují stejně dobře při pájení pomocí plamene, odporem, nebo indukčně, protože nedochází ke spálení ani hoření tavidla. Tato tavidla mohou být stabilní v celém rozsahu pájecích teplot.

Jednou zřejmou nevýhodou anorganických tavidel je, že zbytek tavidla zůstane po pájení i nadále chemicky aktivní. A tudíž pokud tento zbytek není odstraněn, tak dochází k postupné korozi celého spoje [3].

## **3.8 Zkoušky pájitelnosti**

Zkoušky pájitelnosti byly vyvinuty, aby bylo možné kvalitativně a kvantitativně posoudit pájitelnost materiálů. Kvalitativní zkoušky jsou založeny na vizuálních kritériích, zatímco kvantitativní zkoušky měří skutečné charakteristiky smáčení, a tím určují pájitelnost.

Všechny zkoušky pájitelnosti, bez ohledu na jejich specifickou povahu, se pokouší změřit dvě základní vlastnosti [1]:

- počáteční smáčivost,
- rozsah odsmáčení během pájení.

Pokud by ovšem mohly existující zkoušky pájitelnosti přesně odpovědět, jak dobře budou materiály pájeny během výrobního procesu, uživatelé by nepotřebovali jejich fyzikální kontrolu. Při komplikovanosti celého procesu a množství ovlivňujících činitelů však neexistuje žádná univerzální kontrola, a proto je nutné provádět kontroly pájitelnosti [1].

Existuje mnoho zkoušek pájitelnosti. Všechny jsou definovány v příslušných normách. V následujících kapitolách jsou uvedeny testy, které dávají velmi přesné výsledky a rovněž testy, které je možné vykonat velmi jednoduše.

Pro zajištění objektivních výsledků z testu je vhodné používat tavidlo s nízkou aktivitou. A to z důvodu, aby nedocházelo ke snižování citlivosti testu, jelikož aktivnější tavidla zakrývají problémy s nízkou úrovní pájitelnosti. Testy přímo ve výrobě mohou být provedeny s tavidlem běžně užívaným, často složení typu RMA nebo typu RA [1].

### **3.8.1 Ponořovací zkouška**

Ponořovací zkouška se používá většinou v elektronickém průmyslu, kde se jedná o nejjednodušší způsob, jak testovat pájitelnost elektronických součástek. Zkouška spočívá v ponoření kontaktů součástek do nádoby s roztavenou pájkou, vytažení a vizuální určení stupně smáčení (definuje norma ČSN). Zkušený pracovník je schopen určit procentuální plochu smáčení, stupeň odsmáčení nebo rozpouštění a rozsah znečištění.

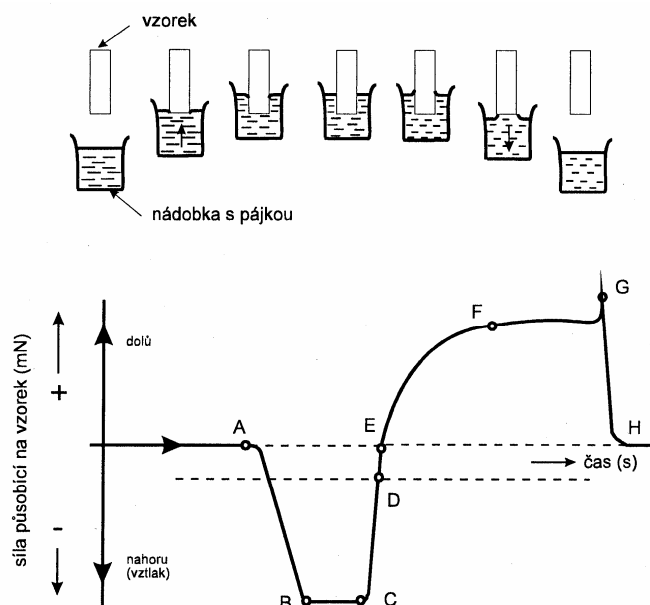
Ačkoliv je možné provádět zkoušku ručně, dává se přednost mechanizovanému přístupu. Tato zkouška je ale závislá na vizuální subjektivní interpretaci výsledků [1].

### **3.8.2 Metoda smáčecích vah**

Metoda smáčecích vah zajišťuje kvantitativní výsledky, které jsou vhodné pro analýzu základních vlastností materiálů. Lze ji použít stejně jako v ponořovací zkoušce pro charakteristiku pájitelnosti substrátů. Tato metoda je však velmi drahá. Smáčecí váhy jsou zařízení velmi drahé a pro většinu firem nedostupné. Tato zkouška je příznačná pro

specializované laboratoře nebo velké firmy. Tuto zkoušku definují i normy ČSN, IPC a MIL [1].

Princip činnosti smáčecí váhy je nakreslen na obr. 12. Zkoušený materiál s naneseným tavidlem je zavěšen na siloměru nad nádobou s roztavenou pájkou. Zařízení je označováno jako meniskograf. Se stoupáním nádoby s pájkou se materiál ponoří do pájky. Zařízení registruje síly působené na měřený prvek. Nádoba s roztavenou pájkou je umístěna na zdvihacím mechanismu ovládaným krokovým motorem. Elektronické řízení dovoluje měnit rychlost zdvíhu a tím rychlost ponoru. Jelikož všechny pohyby, teploty a čas jsou přesně řízeny a sledovány, je možné všechna měření přesně redukovat [1].



Obr. 12 Princip smáčecích vah [1]

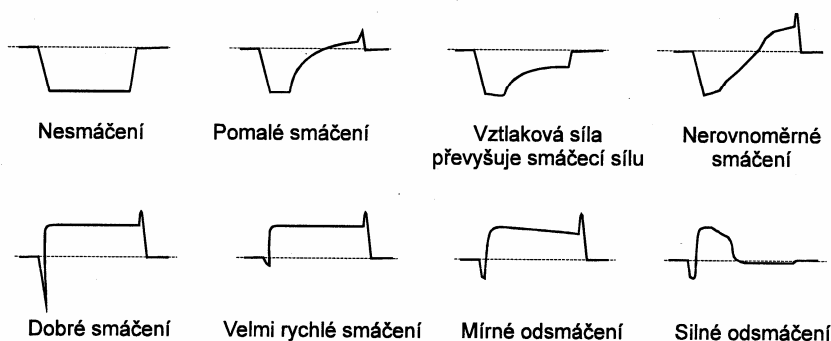
Uvedený příklad platí pro válcový vzorek. Počátek styku vzorku s pájkou je označen bodem A. Teplota vzorku je příliš nízká k podpoře smáčení, tudíž musí být vzorek vtlačován velkou silou. Sklon křivky mezi A a B je dán rychlostí, jakou je vzorek ponořován. V bodě C pájka začíná smáčet vzorek. Nastává změna působící síly do bodu F. Pájka nejprve vytlačuje vzorek směrem vzhůru, s postupujícím smáčením ho však začne povrchové napětí táhnout dolů do nádoby. Je nutné vyvinout určitou sílu na jeho vytažení – křivka D až F. Bod D je okamžik, kdy je povrch pájky kolmý k povrchu vzorku. Síla v bodě D je rovna vztlakové síle a je možné ji vypočítat z rozměrů vzorku, hloubky ponoru a měrné hmotnosti pájky. V bodě E jsou síly působící na vzorek v rovnováze a výsledná síla je nulová. Časový interval B a C je dán tepelnou kapacitou vzorku a rychlostí přestupu tepla mezi pájkou a vzorkem. Tvar křivky C a F je dán rychlostí smáčení a má rozhodující význam pro určení kvality smáčitelnosti. Bod G je vrchol křivky a určuje, kdy došlo k úplnému vytažení vzorku z lázně, H je konečný stav. Tímto měřením lze velmi přesně stanovit smáčitelnost a rovněž i vliv dalších činitelů [1].

Praktické případy průběhu časové závislosti smáčecí síly ukazuje obr. 13. Empiricky bylo zjištěno, že pájitelnost lze charakterizovat veličinou  $S$ . A to následovně:

$$S = \frac{F_{\text{smáč.}}(2s)}{(F_{\text{max.vytahovací}}) * (T_{\text{smáč.}})} \quad [1]$$

(Jedná se o smáčecí sílu v čase 2 s a podělenou součinem maximální vytahovací síly a doby smáčení)

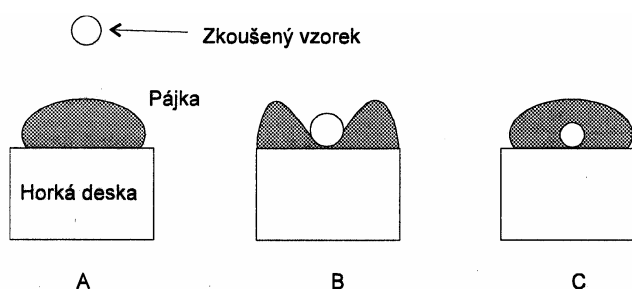
Laboratorní výsledky ukázaly, že dobrá pájitelnost je, když veličina  $S$  vychází 5 – 6. Nižší hodnoty již vykazují odsmáčení [1].



Obr. 13 Průběhy časové závislosti smáčecí síly [1]

### 3.8.3 Kuličkový test

Metoda, jejíž princip spočívá v tom, že se malá kapka pájky zahřeje na teplotu tavení. Testovaný materiál (např. drát) je zahřán a umístěn na střed kuličky. Když je drát ponořen do kuličky, pájka zůstane rozpůlená, dokud se vyskytuje smáčení. Délka požadovaného času pro smáčení se určí buď vizuálně, nebo automaticky pro relativní změření pájitelnosti [1]. Princip této metody ukazuje obr. 14

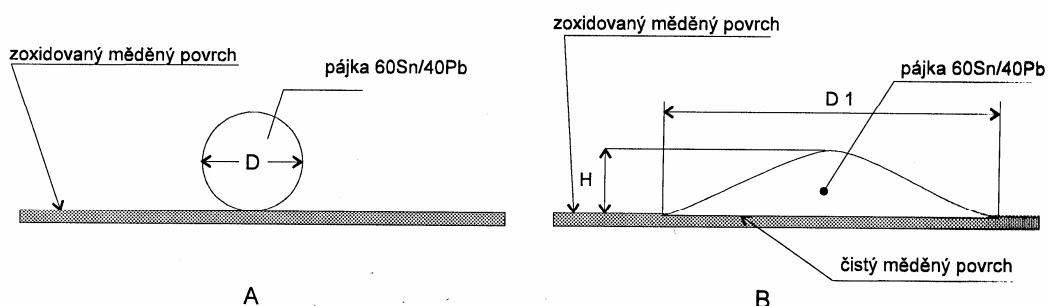


Obr. 14 Kuličkový test: A – počáteční stav, B – před smáčením, C – po smáčení [1]

### 3.8.4 Test roztékavosti

Tento test je používán k měření aktivity tavidla. Průběh testu je nejlépe srozumitelný z obr. 15. Známé množství pájky je umístěno na měděný povrch s regulovanou tloušťkou oxidace. Po změření množství aplikovaného tavidla je pájka natavena. Rozsah, do kterého se pájka rozprostře, je funkcí aktivity tavidla. Když se neodstraní žádný oxid, smáčení se

nevyskytne a pájka vytvoří perfektní kulovou plochu o průměru  $D$ . Se zvýšením aktivity tavidla se odstraní více oxidů a sníží se výška pájky  $H$  [1].

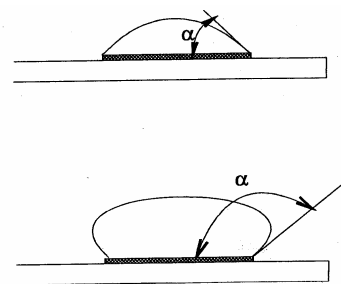


Obr. 15 Test roztékavosti: A – nesmáčivý povrch, B – smáčivý povrch [1]

### 3.8.5 Kritéria pro pájený spoj

Pro určení dobrého pájeného spoje se vychází z výše uvedených skutečností. Jednoznačně je možné dobrý spoj stanovit podle velikosti stykového úhlu. Následující obr. 16 představuje kritéria pro všechny typy pájených spojů [1].

- $0^\circ < \alpha \leq 20^\circ$  – výborné až dokonalé smáčení,
- $20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$  – dobré až velmi dobré smáčení,
- $40^\circ < \alpha \leq 55^\circ$  – postačující smáčení,
- $55^\circ < \alpha \leq 90^\circ$  – špatné smáčení,
- $90^\circ < \alpha$  – nesmáčivost.



Obr. 16 Stykový úhel [1]

## 3.9 Metody pájení

V procesu pájení má prvořadý význam teplo, které je přiváděno do vytvářeného spoje. Teplo umožňuje, že se přiložená pájka roztaví, jakmile jsou patřičně zahřány spojované materiály. Poté dochází ke smáčení a roztečení pájky po povrchu spojovaných materiálů. Teplo může být do spoje dodáváno ručně, strojově, poloautomaticky, nebo automaticky. Při ohřevu se může jednat jen o lokální ohřev spoje, nebo o rovnoměrný ohřev celé sestavy, za využití některého z mnoha zdrojů tepla. Následující podkapitoly budou stručně popisovat některé z používaných pájecích metod [3]. Přehled pájecích metod lze také najít v ČSN 05 0040.

Mezi některé používané pájecí metody patří [3, 5, 15]:

- pájení páječkou,
- pájení plamenem,
- pájení ponorem,
- odporové pájení,
- indukční pájení,
- pájení vlnou,
- pájení přetavením,
- pájení v peci,
- infračervené pájení,
- laserové pájení,
- pájení horkým plynem,
- kondenzační pájení,

### 3.9.1 Pájení páječkou

Pájení páječkou je tradiční ruční proces, kde se k pájení používá měděný hrot. Tento hrot je zahříván elektrickým odporem, nebo plamenem. Při použití této metody pájení dochází pouze k lokálnímu ohřevu v místě pájení. Některé typy páječek a jejich provedení zobrazuje obr. 17.

Páječky můžeme jednoduše rozdělit do 4 následujících skupin [3]:

- páječky pro servis nebo opravu,
- transformátorové, nízkonapěťové, nebo v tzv. tužkovém provedení,
- speciální s rychlo-ohřevem nebo typu pájecí kleště,
- průmyslové páječky pro těžké provozy.



*Obr. 17 Páječky: transformátorová, pájecí kleště, nízkonapěťová [20, 21, 22]*

U páječek plní pájecí hrot několik důležitých funkcí a to bez ohledu na způsob jeho ohřevu. Ukládá a vede teplo z tepelného zdroje do částí, které mají být pájeny. Udržuje zásobu roztavené pájky (vzhledem ke smáčivosti a přilnavosti hrotu), dodává roztavenou pájku do spoje a stahuje přebytek roztavené pájky z oblasti spoje. Výhodou je, že tato metoda je levná a zařízení je přenosné. Nevýhodou je, že tato metoda je značně pomalá (vzhledem k ruční práci) a také náročná na dovednost obsluhy [3].

### **3.9.2 Pájení plamenem**

Tato metoda, jak už sám název napovídá, využívá jako zdroj tepla plamen. Plamen působí v pájené soustavě sice lokálně (v místě spoje), ale s rostoucí teplotou spoje dochází k ohřevu celé soustavy, nebo její části. U této metody se často jedná o ruční proces pájení, ale proces může být i automatizován. Výběr použitého hořáku je zde dán velikostí, hmotností a sestavením pájené soustavy. Teplota plamene a tepelná intenzita procesu závisí na používaném plynu nebo plynech. Nižších teplot lze docílit spalováním propan-butanu, nebo zemního plynu spolu s atmosférickým nebo stlačeným vzduchem. Vyšších teplot lze docílit spalováním acetylénu se stlačeným kyslíkem [3].

### **3.9.3 Pájení ponorem**

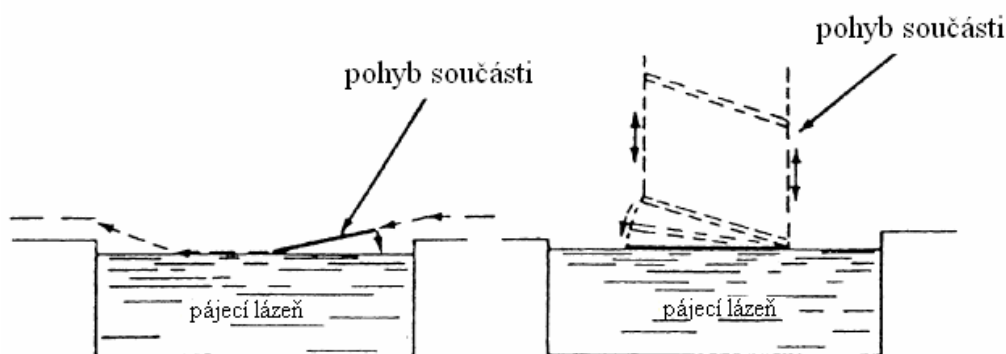
Při pájení ponorem dochází k ponoření celé pájené soustavy do lázně tvořené roztavenou pájkou. Lázeň musí tvořit vhodně vybraná pájka. Výběr druhu pájky totiž určuje rozsah použitých teplot a to může ovlivnit některé méně odolné pájené komponenty soustavy. Nejčastěji používané slitiny pro pájení jsou zinek-hliník a cín-olovo [5].

Pájecí lázeň může být vytápěna elektřinou nebo plynem. Vana, ve které se nachází lázeň je vyrobena z kovových nebo keramických materiálů, které nesmí reagovat s použitou pájkou. Vany mohou být různých rozměrů a velikostí od malých až po velké a jsou používány v mnoha odvětvích. Velikost vany také značně ovlivňuje proces pájení, protože při ponoření pájených komponentů do lázně dochází k odběru tepla z roztavené pájky. Z tohoto důvodu je nutné mít lázeň dostatečně velkou, aby se zabránilo teplotním výkyvům pájecí lázně [5].

Pájení ponorem je velmi jednoduché. Oblasti spojů jsou čištěny a následně je na ně nanášeno vhodné tavidlo. Pájené komponenty jsou poté spouštěny do roztavené lázně pájky, kde roztavená pájka navzlíná do vytvářeného spoje. Zde se využívá zejména toho, že pájka nesmáčí povrchy, jež nebyly předtím vhodně ošetřeny tavidlem. U tohoto procesu je také

nezbytné použití různých fixačních přípravků, které zajišťují požadovanou rozměrovou přesnost vytvářených spojů [5]. Princip pájení ponorem ukazuje obr. 18.

Výhodou této metody je, že lze pájet součásti o různé velikosti, tvaru a tloušťky, a mohou být pájeny všechny najednou. U pájení větších součástí se musí materiály předehtřívát, aby nedocházelo k teplotním šokům. Dále také aby se dosáhlo rychleji teplotní rovnováhy mezi pájenými materiály a roztavenou pájkou [5].



Obr. 18 Pájení ponorem [3]

### 3.9.4 Odporové pájení

Jedná se o pájecí proces, při kterém je teplo potřebné k roztavení pájky vytvářeno průchodem elektrického proudu materiálem. Odporové pájení lze použít jen pro spojování elektricky vodivých materiálů, které umožňují průchod elektrického proudu. Tuto metodu lze použít pro selektivní pájení malých komponentů, nebo součástí umístěných v sestavách blízko sebe, nebo tam kde je nutné, aby nebyly zahřívány ostatní komponenty sestavy [5].

Během procesu pájení dojde k rychlému lokálnímu ohřevu a k tavení pájky. Roztavená pájka následně smáčí pájené materiály. To má za následek, že odpor v materiálu klesá a proud se zvyšuje, čímž dojde k vypnutí zařízení. Vzniklé teplo se rychle rozptýlí do okolí a pájka tuhne [5].

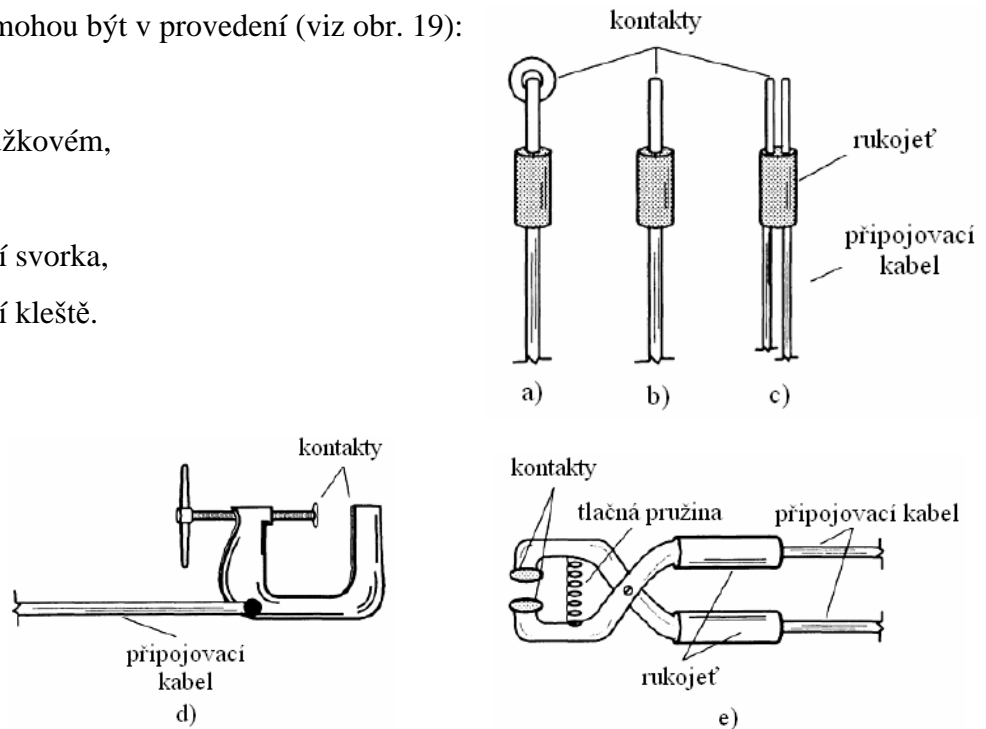
Odporové pájení je možné použít pro pájení všech pájitelných kovů. Omezujícím faktorem je zde akorát tloušťka a konstrukce pájených dílů.

Zařízení pro odporové pájení se obvykle skládá ze dvou elektrod, které bývají upraveny pro určité pájecí podmínky. Elektrody jsou vyrobeny z vysokoodporového elektrického vodiče jako je např. grafit, uhlík, nebo wolfram. Tyto elektrody jsou připojeny k transformátoru, který je schopen vytvořit výstup 2 – 25 V při proudu 5 – 500 A [5].



Elektrody mohou být v provedení (viz obr. 19):

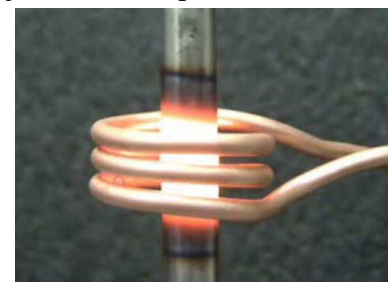
- tužkovém,
- dvojitým tužkovém,
- válcovém,
- v provedení svorka,
- v provedení kleště.



Obr. 19 Provedení elektrod [5]: a) válcové, b) tužkové, c) dvojitě tužkové, d) provedení svorka, e) provedení kleště

### 3.9.5 Indukční pájení

Indukční pájení je univerzální prostředek, který zajišťuje dodávání tepla do oblastí vytvářeného spoje. K ohřevu dochází vlivem elektrického odporu, který indukuje vířivé proudy v obrobku. Tyto proudy jsou vytvořeny rychle se měnícím magnetickým polem generovaným cívkou napájenou střídavým proudem. Vířivé proudy se vytvářejí na povrchu obrobku a jejich velikost se směrem k vnitřku obrobku snižuje. Hloubka přímého ohřevu vířivými proudy závisí na elektromagnetických vlastnostech obrobku, frekvenci střídavého proudu (čím vyšší frekvence tím nižší hloubka ohřevu), a úrovni výkonu magnetického pole (tj. proudu v cívce). V indukčním procesu není tepelná energie dodávána k obrobku, ale nýbrž se vytváří v materiálu elektromagnetickým polem [5]. Indukční pájení zobrazuje obr. 20.



Obr. 20 Indukční pájení [9]

Výhodou indukčního pájení je schopnost zahřívat rovnoměrně danou oblast spoje. Při tomto procesu nedochází k neřízenému nárůstu pájecí teploty, takže materiály a zařízení citlivé na teplo v okolí pájeného spoje nejsou nijak poškozovány. Indukční ohřev je kompromisem mezi všeobecnými procesy pájení. Tím je myšleno např. pájení v peci, které

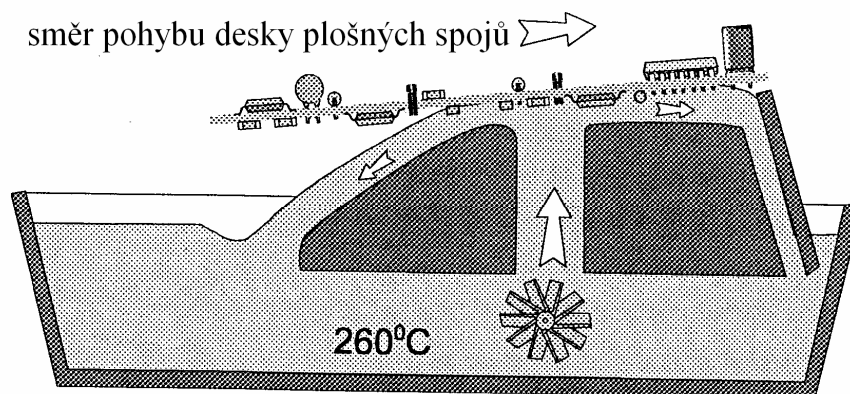
ohřívá celou součást, a metody jako je pájení plamenem nebo páječkou, které ohřívají jen velmi malou oblast, kde dochází ke koncentraci tepla. Další výhodou indukčního pájení je, že růst teploty může být velmi rychlý, což snižuje tepelné ztráty obrobku, oxidaci a tepelnou degradaci tavidla. U této metody mohou být omezujícím faktorem náklady na technické vybavení a nutnost mít speciálně vyškolený personál [5].

### 3.9.6 Pájení vlnou

Pájení vlnou je hlavní metodou používanou v oblasti elektrotechniky. Jedná se o metodu pro hromadnou montáž součástek na desky plošných spojů. Proces pájení spočívá ve vytvoření tzv. vlny, která je vytvořena čerpadlem umístěným ve spodní části pájecí lázně. Nad místem, kde je vytvářena již zmiňovaná vlna se pohybuje dopravník. Tento dopravník přivádí do kontaktu desky plošných spojů s připravenými součástkami k pájení a vlnou, jež je tvořena roztavenou pájkou. V tomto procesu dochází k pájení jen jedné strany (spodní) pájené desky. Horní strana desky, jež nemá být pájena je chráněna tzv. nepájivou maskou. Takto lze vyprodukovat několik tisíc pájených spojů během několika minut [5, 1]. Princip pájení vlnou zobrazuje obr. 21.

Použití vlny pro povrchovou montáž (SMT) vyžaduje, že se jednotlivé pájené součástky musejí lepit před vlastním procesem pájení z důvodu fixace součástek. Vlastní proces pájení pak ovšem není pouze smáčením objektů určených k zapájení v pájecí slitině. Je nutné objekty zahřát, pájka musí být roztavená, nakonec je třeba odstranit nežádoucí oxidy. Pájení vlnou se tedy skládá ze sledu na sebe navazujících operací, které obvykle zajišťuje jediný stroj [5, 1]. Jedná se o tři následující operace [1]:

- **aktivace** pájených prvků – nejprve je zapotřebí vhodně připravit všechny předměty k pájení tak, aby proběhlo co nejlépe. Základním problémem je omezení vlivu oxidů, které vznikají jak na povrchu lázně, tak jsou přítomny na pájecích prvcích (pro tento proces jsou většinou používána tavidla),
- **přehřev** desky plošných spojů se součástkami na teplotu okolo 100 °C, aby nedošlo k nežádoucímu tepelnému šoku při kontaktu desky s roztavenou pájkou,
- vlastní **pájení** vlnou, tj. spojení dvou kovů (součástka a vodivý spoj desky plošných spojů) roztaveným kovem – pájecí slitinou.



*Obr. 21 Pájení vlnou [1]*

### 3.9.7 Pájení přetavením

Pájení přetavením spočívá nejprve v procesu nanesení pájecího materiálu (pájky) na pájené místo a poté za působení tepelné energie dochází k přetavení tohoto materiálu. Důležitým faktorem pro kvalitu pájení je nejen volba správné metody a stroje, ale i pájecího materiálu (např. pájecí pasty) [1].

Vlastní proces přetavení lze docílit několika způsoby např. odporem, horkým plynem, infračerveným zářením, ponorem do kapaliny, horkými párami – kondenzačně, laserem [5].

Obecně můžeme říci, že pájení přetavením našlo svoje uplatnění např. v elektrotechnickém průmyslu, kde se stalo nejperspektivnější osazovací technologií [1].

### 3.9.8 Pájení v peci

U této metody se vkládají pájené součásti do pájecí pece spolu s přídavným materiálem (pájkou), kde dochází k ohřevu celé pájené soustavy na teplotu pájení. Jedná se vlastně o pájení přetavením. Pájení v peci se používá především pro vysokoproduktivní pájení. Zde se vytváří konzistentní a uspokojivé pájené spoje. K roztavení pájky dochází např. infračerveným zářením nebo odporově. A pájecí proces může probíhat i v ochranné atmosféře. Tato metoda nebývá běžně používána, avšak při jejím užití by měly být zváženy následující ovlivňující aspekty:

- zda celá pájená sestava může být ovlivněna pájecí teplotou, aniž by došlo k poškození jakékoliv součásti,

- zda je rozsah výroby dostatečně veliký, z důvodů výdajů na použité přípravky, které fixují součásti při pájecím procesu,
- zda není praktičtější použít některou jinou pájecí metodu,

U této metody je velmi důležité používat upínací přípravky, jelikož nechtěný pohyb součásti během pájecího procesu může mít za následek vytvoření nekvalitního spoje.

Zde se klade důraz i na správný výběr tavidla. Jelikož je důležité, aby se použité tavidlo nerozložilo, je-li vystaveno působení zvýšené teploty po delší dobu [3, 5].

### 3.9.9 Infračervené pájení

Zde se jedná o optické infračervené pájecí systémy, které zaměřují infračervené světlo (vyzařují energii) na vytvářený spoj. Pro usměrnění energie je možné použít optické čočky. Pro tento proces se používají lampy s výkonem v rozsahu 45 W – 1500 W, které mohou být použity v oblastech s odlišnými požadavky. Toto zařízení lze také naprogramovat.

Nejčastějším zdrojem pro ohřev při procesu pájení jsou žhavicí vlákna. Např. křemen-jodová lampa s wolframovými žhavicími vlákny je velmi používaná z důvodu stability a spolehlivosti v širokém rozsahu teplot.

Obecně platí, že infračervené pájecí systémy jsou jednoduché a levné na provoz. Jedním z nejkritičtějších provozních parametrů je ale stav pájeného povrchu. Toto lze ale do jisté míry ovlivnit úpravou použitého topného výkonu. Výhodou této metody je opakovatelnost pájecího procesu – lze naprogramovat, schopnost zaměřit nebo soustředit energii pomocí reflektorů a čoček, ekonomika provozu, a absence jakéhokoliv kontaktu s pájenými materiály [5].

### 3.9.10 Laserové pájení

Pájení laserem je metoda, která získala uznání v řadě oblastí, včetně oblasti elektroniky. Touto metodou lze dosahovat velmi přesného lokálního přetavení. To jasně ukazuje jednu z předností pájení laserem: je vhodné k pájení materiálů citlivých k teplu. Ohřev bývá velmi krátký, asi 5 ms. Úzce směřovaný paprsek předurčuje laser k lokálnímu pájení, tzn., že paprsek pájí jedno pájené místo po druhém [1].

Pro účely pájení se používají dva typy laserů: pulzní laser Nd:YAG (izotropní krystal Yttrium Aluminium Granátu dopovaný ionty neodymu) a kontinuální CO<sub>2</sub>. Pomocí prvního

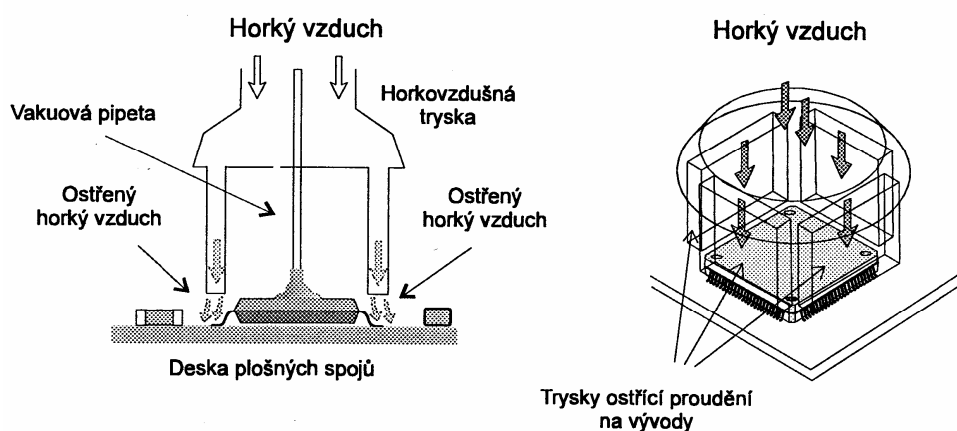
typu laseru je generován impulsní laserový paprsek o vlnové délce 1,06  $\mu\text{m}$ . Záření proniká sklem a většinou plastických hmot a je přijatelně absorbováno kovy. Při pájení není nezbytné vypínat paprsek při přemísťování. Zcela odlišný je typ laseru  $\text{CO}_2$ , který generuje vlnovou délku 10,6  $\mu\text{m}$ . Vlnová délka 10,6  $\mu\text{m}$  je ochotně pohlcována plasty, méně ochotně kovy. V důsledku toho mohou být plastové části komponentů v pájené oblasti zničeny paprskem laseru  $\text{CO}_2$ , pokud nejsou učiněna zvláštní opatření. Na druhé straně, jestliže se požaduje roztavení pájky, požadovaný účinek laseru  $\text{CO}_2$  je podstatně větší, než laseru Nd:YAG. Laser  $\text{CO}_2$  má podstatně vyšší účinnost (až 15 %) než Nd:YAG (1 %). Kontinuální  $\text{CO}_2$  laser ale není vhodný používat na pájení bez tavidla a je třeba dávat pozor na silnou odrazivost paprsku [1].

### 3.9.11 Pájení horkým plynem

Pájení horkým plynem je proces, který je běžně používán tam, kde jsou teploty tavení pájky relativně nízké, a jedná se o pájení menších součástí. Účinnost pájení velkých součástí horkým plynem je v porovnání s ostatními způsoby pájení nízká. Běžně se tento způsob pájení používá v elektronickém průmyslu pro opravy a odstranění elektronických součástí, nebo u pájení pouzder integrovaných obvodů s jemnou roztečí. [5, 1]

Princip této metody je velmi jednoduchý a lze ho vidět na obr. 22. Horký vzduch proudí na pájené místo opatřené např. pájecí pastou tak dlouho, až dojde k zahřátí a přetavení [1].

Typickými používanými plyny pro tuto metodu pájení je vzduch, dusík, a směs vodíku s dusíkem ( $75\text{N}_2 - 25\text{H}_2$ ). Vzduch je samozřejmě nejvíce používaným plynem vzhledem k jeho snadné dostupnosti a pořizovacím nákladům [5].

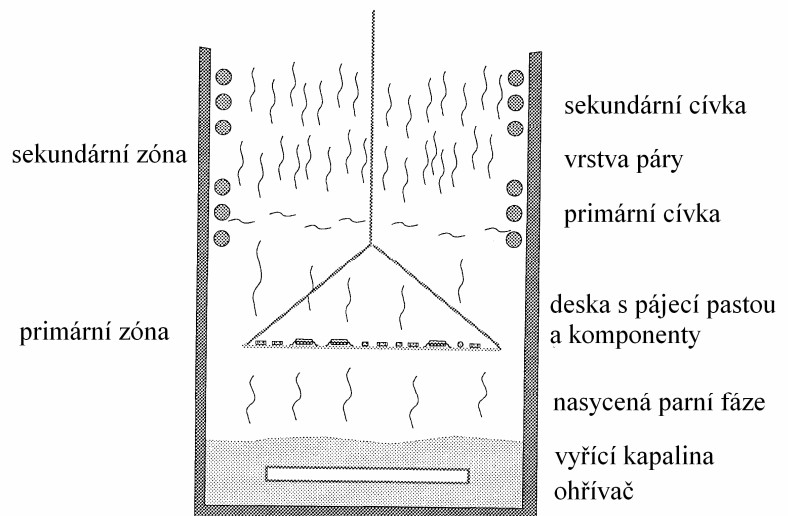


Obr. 22 Pájení horkým plynem pouzdra integrovaného obvodu [1]

### 3.9.12 Kondenzační pájení

Kondenzační pájení je metoda, kde vznikají spoje přetavením za pomoci horkých par. Princip této metody je velmi jednoduchý. Kapalina se zahřeje na teplotu varu a odpařuje se. Pájené komponenty jsou vkládány do prostoru nasycených par a pára kondenzuje na chladných součástech (je samozřejmé, že pájené komponenty musí být osazeny např. v pájecí pastě). Kondenzace při teplotě značně vyšší, než je teplota tavení pájky, způsobuje, že latentní teplo páry se přenáší na součásti a zahřívá je na pájecí teplotu. Poté dochází k vytvoření pájeného spoje. Aby se zabránilo úniku páry ze stroje, je primární parní zóna překryta sekundární parní vrstvou. Jako média je použito perfluoropolyeteru (PFPE), který je inertní, neškodí lidskému zdraví a nemá škodlivý vliv na životní prostředí. Může mít teplotu varu v rozsahu 220 – 235 °C nebo 250 – 265 °C. Pájecí teplota je dána bodem varu kapaliny, což zaručuje konstantní teplotu. Rozložení teploty je v celém prostoru rovnoměrné. Nasycená pára neobsahuje kyslík, takže nedochází k oxidaci pájených míst [1, 5]. Princip pájení v parách zobrazuje obr. 23.

Tato metoda má řadu výhod, mezi které patří např. poměrně rychlý ohřev, rovnoměrné zahřívání, rovnoměrné rozložení teplot v pájecí zóně, ohřev nezávislý na geometrii pájených prvků, komponenty se mohou značně lišit hmotností, nemůže dojít k překročení max. teploty, v zóně nedochází k oxidaci a je možné používat méně agresivní tavidla, atd. [1].



Obr. 23 Kondenzační pájení v elektronice [1]

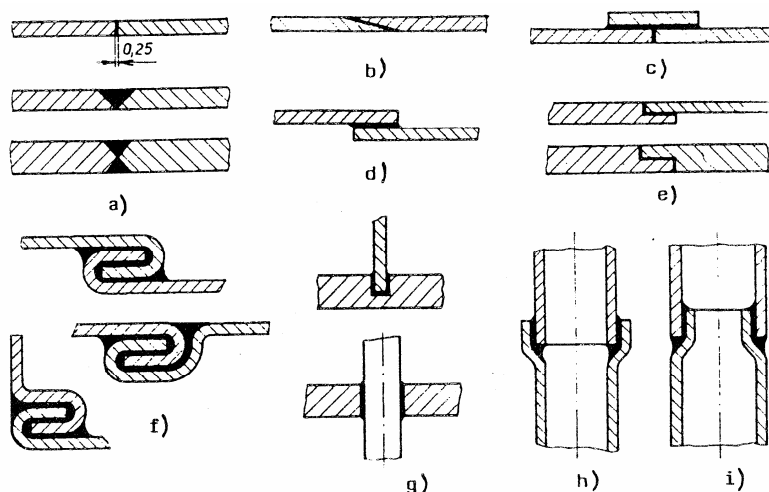
### 3.10 Pájené spoje

Obecně můžeme říci, že v procesu pájení mají vliv na následnou životnost spoje čtyři základní faktory [11]:

- **teplotní profil** – náběh teploty, teplota nad liquidem, doba liquidu, rychlost chlazení,
- **geometrie pájených ploch** – tvar, velikost, umístění na základním materiálu,
- **materiál pájených ploch** – čistota, složení, povrchová úprava,
- **pájka** – složení, čistota, tavidlo.

#### 3.10.1 Druhy pájených spojů

Při navrhování pájeného spoje se vychází z požadavků, které na něj budou v provozu kladeny. Na jejich základě lze určit optimální druh pájeného spoje i nevhodnější způsob pájení. Podle ČSN 05 0040 rozeznáváme celkem 14 druhů pájených spojů (některé typy spojů zobrazuje obr. 24). Pro zvolení správného druhu spoje je třeba zohlednit mnoho faktorů, např. rozměry pájených dílů, počet vyráběných kusů, chemické složení základních materiálů a pájky, možnost rychlosti ohřevu pájených ploch, možnost vzniku napětí v pájených spojích, atd. [13].



Obr. 24 Typy pájených spojů [13]:

a) tupý spoj, b) šikmý spoj, c) tupý spoj s příložkou, d) přeplátovaný spoj, e) přeplátovaný osazený spoj, f) přehýbaný spoj, g) vsazený spoj, h) hrdlový trubkový spoj vnější, i) hrdlový trubkový spoj vnitřní

### 3.10.2 Kontrola pájených spojů

Při procesu testování pájeného spoje se snažíme zjistit potencionální výskyt vady, druh a počet vad spoje. Jelikož je třeba zajistit, aby vytvářené spoje plnohodnotně plnily požadovanou funkci a nijak neohrozily činnost součásti, sestavy, atd. Všechny procesy testování a z nich zjištěné vady spojů by měly být dokumentovány. Samozřejmě je nutné se zabývat jen opravdu závažnými vadami. Jelikož hledání a poté přepracování pouze kosmeticky vadných spojů je většinou [5]:

- finančně náročné,
- zvyšuje se tím množství spojů, jež byly vyhodnoceny jako vadné,
- opětovným ohřevem může dojít k teplené degradaci spojovaných materiálů.

Důležitost a závažnost zjištěných vad definuje konstruktér. Určuje, které vady jsou ještě přípustné a které už nikoliv. S konstruktérem musí ruku v ruce spolupracovat i výroba, která zase určuje jakou maximální kvalitu spoje je možné danou technologií pájení vytvořit [5].

V praxi vytvořený spoj může mít některou z následujících vad [5]:

- **neúplně vyplněná mezera spoje pájkou**, způsobená špatnou pájitelností (nesmáčením nebo odsmáčením), nedostatečným množstvím dodávané pájky, nízkou pájecí teplotou, špatným ošetřením spoje pomocí tavidla, nebo špatně zvolenou konstrukcí spoje,
- **špatný tvar spoje**, způsobený špatnou pájitelností spojovaných materiálů, použitím nevhodné pájky pro daný tvar spoje z důvodu nedostatečné nabídky, nedostatečné ošetření spoje pomocí tavidla,
- **trhliny v pájeném spoji**, způsobené pohybem jedné z pájených součástí během procesu tuhnutí pájky, smršťováním tuhnoucí pájky, nebo v horším případě vlivem silového napětí, kterým spojované materiály působí na spoj,
- **zrnitý, nebo velmi hrubý povrch spoje**, jež byl způsoben kontaminací pájky např. částečným rozpuštěním základních materiálů, nedostatečným prohřátím základních materiálů, nebo pohybem pájených součástí během procesu tuhnutí pájky,
- **zbytky tavidla**, které naznačují, že byly použity nevhodné čisticí procesy, nebo došlo k přehřátí tavidla, z něhož vznikly velmi tuhé a lepivé zbytky (tyto zbytky tavidla mohou být i ve vnitřní struktuře spoje),
- **zabarvení základních materiálů**, které informuje o tom, že byly základní materiály vystaveny nadměrnému působení tepla (došlo k jejich přehřátí).



Z důvodů potřeby kontroly pájených spojů se používají nedestruktivní a destruktivní zkoušky pájených spojů. Mezi tyto zkoušky patří následující.

### **Nedestruktivní zkoušky**

**Vizuální kontrola** – provádí jí zvláště proškolený pracovník, který využívá pro hodnocení kvality spoje ilustrovanou příručku a mikroskop se zvětšením do 70× [5].

**Rentgenová a ultrazvuková kontrola** – používá se pro zjištění vnitřních vad spoje. Rentgenové snímky jsou použity k detekci různých anomálií ve spoji. Zobrazují oblasti, které nejsou zapájené, kde se nacházejí vzduchové bubliny a kapsy, nebo kde ve struktuře došlo k uvěznění tavidla. Ultrazvukové zkoušky odhalí vady pomocí vln vysílaných mezi vysílačem a přijímačem přístroje – jedná se tzv. průchodový režim. Nebo se vlny odrážejí zpět od dutin a mezer – jedná se tzv. odrazový režim. Kromě detekce nezapájených míst lze také touto metodou zjistit přítomnost nespojitosti materiálu, jako je přítomnost trhlin a špatně vytvořené spojení [5].

**Infračervené zobrazení** – tato metoda je založena na principu, že všechny předměty s tepelnou energií vysílají elektromagnetické záření v infračerveném spektru. Dochází zde k přenosu tepla přes mezery uvnitř vytvořeného spoje. Dutiny a v menší míře také praskliny mají nízkou tepelnou vodivost v porovnání se základním materiálem nebo použitou pájkou. Snížená tepelná vodivost těchto vad je zobrazována na monitoru a pro tuto operaci se používá speciální citlivá infračervená kamera [5, 1].

**Tlakové a vakuové zkoušky** – princip u tlakové zkoušky spočívá v natlakování spojených součástí (např. trubek) vzduchem a jejich následné potření vrstvou mýdlového roztoku nebo ponořením součástí do vodní lázně. Neúplně zapájená místa jsou ihned lokalizována, jelikož v těchto místech dochází ke vzniku malých bublin vlivem unikajícího vzduchu. Vzduch v tomto procesu může být nahrazen heliem nebo halogenovými plyny. U této zkoušky se také používá pro nalezení netěsností ve spojích speciálně k tomu určené vybavení. Vakuová zkouška také vyžaduje použití speciálního vybavení. Používá se např. u kontrol těsnosti potrubí. Pro detekci úniků plynu (např. helium) se používá spektrometr. Princip spočívá v tom, že je kontrolována těsnost uvnitř potrubí, zatímco plyny proudí okolo vnějších stěn potrubí [5].

**Fluorescenční barviva** – u této zkoušky se používají fluorescenční barviva, která se nanášejí na jednu stranu vytvořeného spoje. Pokud jsou ve spoji kontinuálně propojené trhliny, nebo dutiny, tak se barvivo objeví na druhé straně spoje [5].

## Destruktivní zkoušky

**Mechanické zkoušky** – mezi tyto zkoušky patří mnoho technik, které jsou normalizovány. Patří sem zkoušky tahem, smykem, loupáním, krutem, lámavosti ale i např. zkoušky únavové [5]. Výsledky těchto zkoušek se používají zejména pro [25]:

- stanovení základních údajů týkajících se působení pájek,
- nalezení optimálních parametrů pájení (včetně mezer) a postupu pájení,
- porovnání výrobních výsledků s výsledky dosaženými při vývoji technologie pájení.

### **3.11 Výhody a nevýhody pájení**

Výhody a nevýhody technologie pájení lze shrnout do následujících několika bodů.

#### **Výhody [10]:**

- pájením lze spojovat různé kovové materiály (i obtížně tavitelné), součásti jednoduché i složité, tenkostěnné i tlustostěnné,
- pájené materiály se netaví, zachovávají si své mechanické a elektrické vlastnosti, strukturu, atd.,
- při pájení je nižší spotřeba tepelné energie a vyšší pracovní rychlost (např. oproti svařování)
- je vysoce produktivní (umožňuje mechanizaci), lze jej využít v hromadné a sériové výrobě, ale i ve výrobě kusové,
- správně provedené pájené spoje mají pěkný vzhled (odpadá následné opracování),
- pro svoji jednoduchost je pájení vhodné i pro montážní a údržbářské práce,
- zavedení technologie pájení do výroby nevyžaduje nákladné investice.

#### **Nevýhody [10]:**

- pájené spoje mají (v porovnání se svařováním) menší pevnost,
- při pájení dlouhých spojů dochází k jejich deformacím,
- nesprávně navržené spoje mají sníženou odolnost proti prostředí,
- nezbytným předpokladem dobré kvality spojů je pečlivá příprava povrchu před pájením.

### 3.12 Použití pájek v praxi

Pájení se efektivně používá právě tam, kde nelze z důvodů operativních, případně materiálových použít svařování. Pájení se používá např. v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu (pájení součástek na desky plošných spojů) a dalších oblastech. S touto technologií se konkrétně můžeme setkávat při výrobě přístrojové techniky, chladírenských zařízení, topenářských činnostech, atd. Následující tabulky (tab. 5, 6) zobrazují možné použití některých konkrétních druhů pájek a pájecích slitin.

**Tab. 5 Použití některých olovnatých a bezolvnatých pájek [10, 29, 30]**

Druh pájky	Použití
S-Sn63Pb37	Nejnáročnější pájení v elektronice.
S-Sn60Pb40	Náročné pájení v elektronice a elektrotechnice.
S-Sn50Pb50	Jemné pájení v elektrotechnice, pájení mědi a měděných slitin, pro trubkové instalace, obaly z tenkých plechů a pocínování.
S-Pb60Sn40	Všeobecné použití v elektrotechnice.
S-Pb75Sn25	Klempířské práce.
S-Pb78,1Sn19Ag1,9	Pájení hliníkových vývodů, tenkých hliníkových plechů, folií a hliníkem pokovených povrchů.
S-Pb95Sn2,5Ag2,5	Pájení pro vysokoteplotní aplikace, např. vysokoteplotní lampy, elektrické motory, atd.
S-Sn62Pb37Cu1	Pájení tenkých měděných drátů, poměděných povrchů desek plošných spojů a folií.
S-Sn50Pb32Cd	Ocel, měď a slitiny mědi. Zejména pro choulostivé práce s nutností co nejmenšího ohřevu. Elektronika, stavba aparátů, cínové zboží, tavné jištění, kondenzátory, kabely, nanášení na keramiku, postupné pájení.
S-Pb70Sn30	Pájení oceli a mědi pro klempířské a karosářské práce.
S-Pb48Sn32Bi20	Pájení teplotně citlivých součástí, spojů v blízkosti předem zapájených spojů.
S-Sn97Cu3	Měděné instalace, fitinky, klempířské práce, potravinářský průmysl.
S-Sn95Sb5	Antimonem legovaná pájka pro chladicí techniku do -200 °C, trubkové instalace, topení do 110 °C, olejová vedení, elektromotory, elektrotechniku.
S-Sn97Ag3	Náročnější spoje, potravinářský průmysl, elektrotechnika, vakuová technika, instalace vody, chlazení, topení až 100 °C.
S-Sn96Ag4	Ocel, nerez ocel, měď a slitiny mědi, hliník. Potravinářský průmysl, stavba aparátů, chladicí, technika do -200 °C, tepelná technika do 100 °C, měděné, trubkové instalace, rozvody vody, olejová vedení.

**Tab. 6 Použití některých bezolovnatých slitin [11]**

Slitina	Využití v průmyslu	Společnost, která slitinu používá
<b>Slitiny s vysokou teplotou tavení (&gt; 210 °C)</b>		
Cu/Sn	Spotřebitelský	Panasonic
	Telekomunikační	Nortel
Sn/Ag/Cu	Automobilový	Panasonic
	Telekomunikační	Nokia, Nortel, Panasonic, Toshiba
Sn/Ag/Bi/Cu	Vojenský, letecký	Panasonic
Sn/Ag/Bi/Cu/Ge	Spotřebitelský	Sony
<b>Slitiny s teplotou tavení (180 – 210 °C)</b>		
Sn/Ag/Bi/X	Spotřebitelský	Panasonic
Sn/Ag/Bi	Vojenský, letecký	Panasonic, Hitachi
Sn/Zn	Spotřebitelský	NEC, Panasonic, Toshiba
<b>Slitiny s nízkou teplotou tavení (&lt; 180 °C)</b>		
Sn/Bi	Spotřebitelský	Panasonic

Při volbě konkrétní pájky je také nutné vzít na vědomí, že od 1.6 2006 ve státech Evropské unie vstoupilo ve všeobecnou platnost nařízení týkající se omezení používání pájek s obsahem olova. Jelikož olovo má škodlivý vliv na životní prostředí a lidské zdraví. Důležitým odvětvím jako je lékařský, vojenský, a letecký průmysl byla udělena výjimka, a to z důvodu, že v době při zavedení platnosti tohoto nařízení ještě nebyla plnohodnotná náhrada za olovnatou pájku. Olovnatá pájka má ale i své výhody, mezi které patří dobré mechanické vlastnosti a nízká teplota tavení oproti pájkám bezolovnatým [26, 11].

Při volbě pájky je posuzována řada požadavků, z nichž rozhodující jsou ve většině případů následující kritéria [11]:

- **cena a dostupnost,**
- **elektrické a mechanické vlastnosti,**
- **pájitelnost v daném procesu.**

#### **4 Přehled měkkých pájek na tuzemském trhu**

Následující kapitoly podávají informace o některých tuzemských výrobcích, nebo distributorech olovnatých a bezolovnatých měkkých pájek. Informují o nabízeném sortimentu, fyzické podobě (provedení) pájek, atd.

Tato kapitola bude na závěr informovat o konkrétních druzích měkkých pájek, které se nejčastěji vyskytují na tuzemském trhu. Tyto informace budou statisticky vyhodnoceny a poté prezentovány ve formě grafu. Pro vytvoření přehledu o trhu bylo použito informací 20 různých firem, jež se některé prezentovaly na Strojírenském veletrhu v Brně 2010, prezentují se na internetu a mají jistou souvislost s pájecími technologiemi a procesy.

## **4.1 Firmy zabývající se prodejem a výrobou měkkých pájek**

### **4.1.1 Kovohutě Příbram nástupnická, a.s.**

**Adresa:** Příbram VI č.p. 530, 261 81 Příbram

**Webové stránky:** <http://www.kovopb.cz>

Společnost Kovohutě Příbram nástupnická, a.s. je hutnický závod, který recykluje odpady s obsahem olova (zejména olověné baterie), vyrábí olovo a jeho slitiny, výrobky z olova a cínu a dále je zpracovatelem odpadů s obsahem drahých kovů a odpadů elektrických a elektronických zařízení vyřazených z provozu [16]. Jedná se o největšího výrobce měkkých pájek na našem trhu.

Sortiment společnosti tvoří 4 oblasti výroby a prodeje:

- měkké pájky,
- ložiskové kovy a speciální slitiny,
- válcované olověné a cínové polotovary,
- vzduchovkové střelivo.

Nabízený sortiment měkkých pájek a jejich provedení vyjadřuje následující tabulka (tab. 7). Vzhledem k tomu, že Kovohutě Příbram nástupnická, a.s. jsou hlavním tuzemským výrobcem pájek, tak tabulka zobrazuje ke každému konkrétnímu druhu pájky i její konkrétní provedení. V případě přání zákazníka je ovšem společnost schopna dodat i speciální slitiny v mnoha podobách.

Tab. 7 Sortiment firmy Kovohutě Příbram [16]

Bezolovnaté pájky	Provedení				
	trubička	drát	tyč	pás	fólie
S-Sn99,75		x	x	x	x
S-Sn96Ag4	x	x	x	x	x
S-Sn97Ag3		x	x		
S-Sn95,5Ag3,8Cu0,7	x	x	x		x
S-Sn96,5Ag3Cu0,5	x	x	x		x
S-Sn97Cu3	x	x	x		
S-Sn99Ag0,3Cu0,7	x		x		
S-Sn99,3Cu0,7	x	x	x		
S-Sn70Zn30				x	
<b>Olovnaté pájky</b>					
S-Sn63Pb37E	x	x	x	x	x
S-Sn60Pb40E	x	x	x	x	x
S-Pb50Sn50	x	x		x	x
S-Pb60Sn40	x	x			x
S-Pb70Sn30	x	x			
S-Pb75Sn25		x			
S-Pb80Sn20		x			
S-Sn62Pb37Cu1	x	x			
S-Sn60Pb38Cu2	x				
S-Sn62,5Pb36Ag1,5	x				
S-Sn62Pb36Ag2	x		x		
S-Sn57Pb39Ag4		x			
S-PbSn5,5Ag2,5		x			
S-PbSn2,5Ag2,5		x			
S-PbSn15Ag1		x			
S-PbSn20Zn4,5		x			
S-PbSn25Zn1,5		x			
S-Pb48Sn32Bi		x			
S-Sn50Pb32Cd		x			

#### 4.1.2 Böhler Uddeholm CZ s.r.o.

*Adresa:* U Silnice 949, 161 00 Praha 6

*Webové stránky:* <http://www.bohler-uddeholm.cz/>

Společnost Böhler Uddeholm CZ s.r.o. je dceřinou společností světového koncernu Böhler-Uddeholm AG (BUAG) se sídlem ve Vídni. Tento koncern podnikající v oboru ušlechtilé oceli hraje důležitou roli na trzích ve více než 100 zemích všech kontinentů. Hlavním předmětem jeho celosvětové nabídky je nástrojová a rychlořezná ocel, pásová a nožová ocel, výkivky a přídatné materiály pro svařování, navařování a pájení [28].

Jedná se o distributora, který nabízí měkké pájky dvou typů. A to typu FONTARGEN a UTP. Nabídku těchto měkkých pájek vyjadřuje tab. 8.

**Tab. 8 Sortiment firmy Böhler Uddeholm [29, 30]**

Typ	
FONTARGEN	UTP
S-SnZn40	S-SnZn20
S-Sn50Pb32Cd	S-Sn60Pb40
S-Sn96Ag4	S-Sn60Pb38Cu2
S-Sn60Pb40	S-Sn97Ag3
S-Sn60Pb38Cu2	S-Sn97Cu3
S-Sn95Sb5	
S-Pb50Sn50	
S-Pb70Sn30	
S-Pb60Sn40	
S-Sn97Cu3	
<p><b>Provedení:</b> např. dráty obvykle Ø 1,5 – 2,0 – 3,0 mm, délka 500 mm, nebo cívky 0,25 – 0,5 – 1 kg, některé typy Ø 4,0 – 8,0 mm, nebo Ø 8,0 mm, délka 500 mm (nebo dráty plněné tavidlem)</p>	

#### 4.1.3 INSYS, s. r. o.

*Adresa:* Na Morákově 365, 266 01 Beroun

*Webové stránky:* <http://www.insys.cz>

Firma INSYS, s.r.o. se zabývá pájecí technikou od roku 1990, na českém trhu distribuuje pájky, pájecí pasty a tavidla jak pro univerzální tak i pro specifické použití. Zastupuje v České republice a na Slovensku firmy UMICORE – BrazeTec, CHEMET a LORCH. S dlouholetou zkušeností a obsáhlými znalostmi pájecích procesů, specifické pro potřebný obor a použití, je schopná vypracovat příslušné řešení specifických požadavků zákazníků v oblasti spojování kovových materiálů, tvrdokovů a keramiky. Doporučí a dodá nejen vhodné pájky, pájecí pasty a tavidla pro speciální aplikaci, ale poskytuje i poradenství při výběru konstrukčních řešení budoucího výrobku z hlediska pájení, při optimalizaci pájecího procesu jako i při výběru vhodných pájecích strojů a tavných pecí [31]. Následující tab. 9 informuje o sortimentu měkkých pájek firmy INSYS.

**Tab. 9 Sortiment firmy INSYS [31]**

Olovnaté		Bezolovnaté
S-Pb98Ag2	S-Pb74Sn25Sb1	S-Sn97Cu3
S-Pb95Sn3Ag2	S-Pb60Sn40	S-Cd80Zn20
S-Pb43Bi28Sn29	S-Pb78Sn20Sb2	S-Cd82Zn16Ag2
S-Bi50Pb27Sn13Cd10	S-Pb74Sn25Sb1	S-Cd68Zn22Ag10
S-Bi50Pb25Sn13Cd12	S-Pb70Sn30	S-Cd95Ag5
S-Bi50Pb27Sn23	S-Pb67Sn33	S-Sn70Cd25Zn5
S-Bi52Pb32Sn16	S-Pb65Sn35	S-Sn97Ag3
S-Sn70Pb32Sn16	S-Sn50Pb50E	S-Sn95Cu4Ag1
S-Pb62Sn25Bi10Ag3	S-Bi49Pb28Sn13Cd10	S-Sn80Cd20
S-Pb93Sn5Ag2	S-Bi52Pb40Cd8	S-Sn90Zn10
S-Pb92Sn8	S-Bi50Pb25Sn25	S-Sn95Sb5
S-Pb90Sn10	S-Bi56Pb44	S-Bi57Sn43
S-Pb98Sn2	S-Sn50Pb32Cd18	S-Sn99Cu1
S-Sn63Pb37E	S-Sn50Pb49Cu1	S-Sn96Ag4
S-Sn70Pb30	S-Sn60Pb38Cu2	
S-Sn80Pb20		
Provedení: ve většině případů ve formě drátů, trubiček navinutých na cívkách, dále ve formě trojhranných tyčí.		

#### 4.1.4 Feron, a.s.

*Adresa: Havlíčkova čp. 1043/11, 111 82 Praha 1*

*Webové stránky: <http://www.ferona.cz>*

Feron, a.s. je obchodní organizace, zabývající se nákupem, skladováním, úpravou a prodejem hutních výrobků, hutních druhovýrobků, železářského sortimentu a neželezných kovů na bázi velkoobchodu [32]. Má pobočky po celé České republice, na Slovensku i v Polsku. Sortiment dodávaných měkkých pájek zobrazuje tab. 10.

**Tab. 10 Sortiment firmy Feron [32]**

Olovnaté	Bezolovnaté
S-Sn60Pb40E	S-Sn96Ag4
S-Sn60Pb40Sb	S-Sn97Cu3
S-Pb60Sn40	S-Sn99Cu1
Provedení: trubičky plněné tavidlem Ø 1 – 3 mm navinuté na cívkách, trojhranné tyče.	



#### 4.1.5 CHEM-WELD ROUDNICE s.r.o.

*Adresa:* Žižkova 710, 413 01 Roudnice nad Labem

*Webové stránky:* <http://www.chemweld.cz>

Podnik byl založen v Rakousku roku 1967. Název CHEM-WELD pochází z angličtiny a znamená, že se jedná o chemickou a svařovací techniku. Centrum se nachází v Rakouském Linzu. Exkluzivní zastoupení je v České republice, Rakousku, Dánsku, Španělsku. Společnost se zabývá prodejem svařovacích materiálů a příslušenství. Poskytuje také servis a poradenství v oblasti spojování materiálů [33]. Následující tab. 11 zobrazuje sortiment měkkých pájek.

**Tab. 11** Sortiment firmy CHEM-WELD [33]

Pájka	Provedení
S-Cd80Zn20	drát na cívce Ø 1 – 3 mm, cívky 250/500/1000 g, tyče 1kg, pájecí pasty
S-Sn96Ag4	
S-Pb60Sn40	
S-Sn97Cu3	
S-Sn60Pb40	

#### 4.1.6 WELCO spol. s r.o.

*Adresa:* 26. dubna 245, 688 01 Uherský Brod

*Webové stránky:* <http://www.welco.cz>

WELCO spol. s r.o. je obchodní firma, zabývající se výrobou, poradenstvím a prodejem speciálních přídavných materiálů a příslušenství pro svařování a pájení, zejména pro údržbu, opravy a renovace. Na českém trhu působí od roku 1995. Její výrobky jsou vyráběny pod registrovanou obchodní značkou WELCO předními výrobci svařovacích materiálů v Evropě a USA [34]. Následující tab. 12 zobrazuje sortiment nabízených měkkých pájek společnosti.

**Tab. 12** Sortiment firmy WELCO [34]

Pájka	Provedení
S-Sn96Ag4	trubičkové Ø 2 – 3 mm, cívky 250 g, pájecí pasty
S-Sn97Cu3	
S-Cd80Zn20	

#### 4.1.7 AZ - Svářecí Technika s.r.o.

*Adresa:* Miličova 518, 676 02 Moravské Budějovice

*Webové stránky:* <http://www.az-svarecitechnika.cz/>

Tato firma se zabývá prodejem a servisem svařovací techniky jako jsou svářecí inventory, svářecí transformátory, svařovací poloautomaty, plasmu českých i světoznámých výrobců jako například Kühtreiber s.r.o., ALFA-in, EWM, Telwin, atd. Dále se zabývá prodejem přídatných materiálů a veškerého příslušenství [35]. V oblasti měkkého pájení nabízí pájky značky Castolin viz tab. 13.

**Tab. 13** Sortiment firmy AZ - Svářecí Technika [35]

Pájka	Provedení
S-Sn97Cu3	trubičkové na cívce Ø 2 mm, cívky 250 g, pájecí pasty
S-Sn96,7Ag3,3	
S-Sn97Ag3	
S-Sn	

#### 4.1.8 Formicaweld spol. s r.o.

*Adresa:* Zámecká 47/25, 643 00 Brno-Chrlice

*Webové stránky:* <http://www.formicaweld.cz>

Formicaweld je zastoupením firmy Formica Nitra na českém trhu. Je prodejcem veškeré svařovací techniky, materiálů a příslušenství. Nabízí svým zákazníkům široký sortiment svařovacích a plazmových strojů, přídatných materiálů, brusiva, ochranných pracovních pomůcek a mnoho dalšího zboží [36]. Sortiment nabízených měkkých pájek uvádí tab. 14.

**Tab. 14** Sortiment firmy Formicaweld [36]

Pájka	Provedení
S-Sn97Cu3	trubičkové na cívce Ø 2 mm, cívky 250 g, tyče, pájecí pasty
S-Sn60Pb40	
S-Sn97Ag3	

#### 4.1.9 FINOZ spol. s r.o.

*Adresa:* Korandova ulice, 4. brána-Škoda, 301 00 Plzeň

*Webové stránky:* <http://www.finoz.cz>

Tato firma se zabývá kompletní výstavbou fotovoltaických elektráren, prodává pájecí techniku, spotřební materiál a příslušenství. Sortiment nabízených měkkých pájek pro oblast elektroniky, klempířské a topenářské práce uvádí tab. 15 [43].

**Tab. 15 Sortiment firmy FINOZ [43]**

Pájka	Provedení
S-Sn97Ag3	drát na cívce Ø 2 – 3 mm, cívky 100/250 g, pájecí pasty
S-Sn97Cu3	
S-Sn50Pb50	
S-Pb60Sn40	drát na cívce Ø 2 – 3 mm, cívky 250/1000 g, pájecí tyče,
S-Pb70Sn30	
S-Sn60Pb38Cu2	
S-Sn62Pb36Ag2	

#### 4.1.10 GES-ELECTRONICS, a.s.

*Adresa:* Studentská 55a, 323 00 Plzeň

*Webové stránky:* <http://www.ges.cz>

Firma GES-ELECTRONICS byla založena a zahájila svoji činnost roku 1991 jako obchodní společnost v oboru elektronických součástek. Působí v České republice nejen v oblasti dovozu a prodeje komponentů, ale rovněž v oblasti prodeje a montáží radiokomunikační, telekomunikační a speciální techniky a výstavby infrastruktur s tím spojených. O nabízeném sortimentu měkkých pájek (např. firmy Stannol) informuje tab. 16 [44].

**Tab. 16 Sortiment firmy GES [44]**

Olovnaté	Bezolvnaté	Provedení
S-Sn60Pb39Cu1	S-Sn97Cu3	trubičkové na cívce Ø 0,5 – 2 mm, cívky 100/250/500/1000 g,
S-Sn60Pb38Cu2	S-Sn70Zn30	
S-Sn60Pb40	S-Sn95,5Ag3,8Cu0,7	
	S-Sn99Cu1	
	S-Sn95Ag4Cu1	
	S-Sn97,1Bi2Cu0,9	
	S-Sn96Ag4	

#### 4.1.11 AMTECH spol. s r.o.

*Adresa: Palackého třída 153b, 621 00 Brno*

*Webové stránky: <http://www.amtech.cz>*

Tato firma se zabývá výhradně dodávkami technologických zařízení, materiálů a součástek pro výrobu elektroniky a elektrotechniky. Současně zajišťuje odbornou a technickou podporu ke všem dodávaným zařízením a technologiím, vč. servisu a všech náhradních dílů [46]. Přehled nabízených měkkých pájek lze nalézt v tab. 17.

**Tab. 17 Sortiment firmy AMTECH [46]**

Olovnaté	Bezolvnaté	Provedení
S-Sn60Pb40	S-Sn96Ag3,5	trubičkové na cívce Ø 0,4 – 1,2 mm, pájecí pasty, tyče
S-Sn63Pb37Ag0,2	S-Sn95,5Ag3,8Cu0,7	
S-Sn63Pb37	S-Sn96,5Ag3Cu0,5	
	S-Sn99,3Cu,0,7	
	S-Sn95Ag4Cu1	

#### 4.1.12 Amtest Czech Republic, s.r.o.

*Adresa: Ječná 29a, 621 00 Brno*

*Webové stránky: <http://www.amtest.cz>*

Amtest Czech Republic, s.r.o. je součástí skupiny Amtest Group. Společnost se od svého založení věnuje prodeji a servisu zařízení v oblasti výroby elektroniky a polovodičů v celém regionu střední Evropy. Firma se zabývá prodejem, servisem a školením v oblasti technologií povrchové montáže (SMT) – sítotisky, osazovací automaty, přetavovací pece, selektivní lakovací automaty, automatické dispenzery, automatické optické inspekce, automatizace, SMT opravárenské stanice desek plošných spojů, spotřební materiály, atd [47]. O sortimentu některých dodávaných měkkých pájek (firmy Qualitek) informuje tab. 18.

**Tab. 18 Sortiment firmy Amtest [27]**

Olovnaté	Bezolvnaté	Provedení
S-Sn63Pb37	S-In52Sn48	převážně tyče, dráty, pájecí pasty
S-Sn60Pb40	S-Bi58Sn42	
S-Sn50Pb50	S-Sn96,5Ag3,5	
S-Pb55Sn45	S-Sn95Ag5	
S-Pb60Sn40	S-Sn95,5Ag3,8Cu0,7	
S-Pb65Sn35	S-Sn95,8Ag3,5Cu0,7	
S-Pb70Sn30	S-Sn95,5Ag4Cu0,5	
S-Pb75Sn25	S-Sn96,5Ag3Cu0,5	
S-Pb80Sn20	S-Sn99,3Cu0,7	
S-Pb90Sn10	S-Sn95Sb5	
S-Sn62Pb36Ag2	Sn100C-SnCu0,7Ni	
S-Sn43Pb43Bi14		
S-Pb88Pb10Ag2		

#### 4.1.13 Erescom SMT v.o.s

*Adresa: Liberecká 258, 463 31 Mníšek u Liberce*

*Webové stránky: <http://www.erescom.cz>*

Firma Erescom SMT v.o.s. zajišťuje pro Český a Slovenský trh dodávky a servis zařízení pro investiční elektroniku, především zařízení na výrobu a opravy desek plošných spojů v klasické i SMT montáži. Je dodavatelem široké škály ručních pájecích i odpájecích zařízení včetně cínových pájek a tavidel. Provádí projekty výrobních linek technologie SMT a poradenství v oblasti pájení [24]. Sortiment měkkých pájek zobrazuje tab. 19.

**Tab. 19 Sortiment firmy Erescom [24]**

Olovnaté	Bezolvnaté	Provedení
S-Pb48Sn32Bi	S-Sn96Ag4	trubičkové (dráty) na cívce Ø 0,5 – 3 mm, cívky 0,1 – 1 kg, pájecí tyče, pasty
S-Pb60Sn40	S-Sn95,5Ag3,8Cu0,7	
S-Sn63Pb37E	S-Sn96,5Ag3Cu0,5	
S-Sn62Pb37Cu1	S-Sn97Bi2Cu	
S-Sn60Pb38Cu2	S-Sn99Cu1	
S-Sn62,5Pb36Ag1,5	S-Sn97Ag3	
	S-Sn97Cu3	
	S-Sn70Zn30	pás

#### 4.1.14 Další distributoři

Jelikož není reálné poskytnout konkrétní informace o všech výrobcích/distributorech měkkých pájek, tak následující tab. 20 vyjadřuje přehled sortimentu malých nebo menších firem. Informace o nabízeném sortimentu těchto firem byly také zahrnuty mezi data potřebná pro vyhotovení konečného přehledu tuzemského trhu.

Tab. 20 Sortiment ostatních firem [37, 38, 39, 40, 41, 42, 45]

Firma	Pájka	Provedení
HETCU	S-Sn97Cu3	drát na cívce Ø 2 – 3 mm, cívka 250 g, pájecí pasty
	S-Sn97Ag3	
ROTHENBERGER	S-Sn97Cu3	drát na cívce Ø 2 – 3 mm, cívka 250 g, pájecí pasty
	S-Sn96Ag4	
	S-Sn97Ag3	
REMS	S-Sn97Cu3	drát na cívce
HADEX	S-Sn60Pb38Cu2	drát Ø 0,5 – 1 mm na cívce, 500/1000 g
	S-Sn63Pb37	trubička na cívce Ø 0,8 mm, 40 g
	S-Sn60Pb40	trubička na cívce Ø 1 – 2mm, 100/200 g
	S-Pb60Sn40	
ARMACK	S-Sn97Ag3	drát na cívce Ø 2 – 3 mm, 100/250 g, pájecí pasta
SAK RADOTÍN	S-Sn97Ag3	drát na cívce Ø 2 – 3 mm, 100/250 g, pájecí pasta
	S-Sn97Cu3	drát na cívce Ø 2 – 3 mm, 250 g
FÖRCH	S-Sn99Cu1	trubička na cívce
	S-Sn60Pb40	
	S-Pb60Sn40	

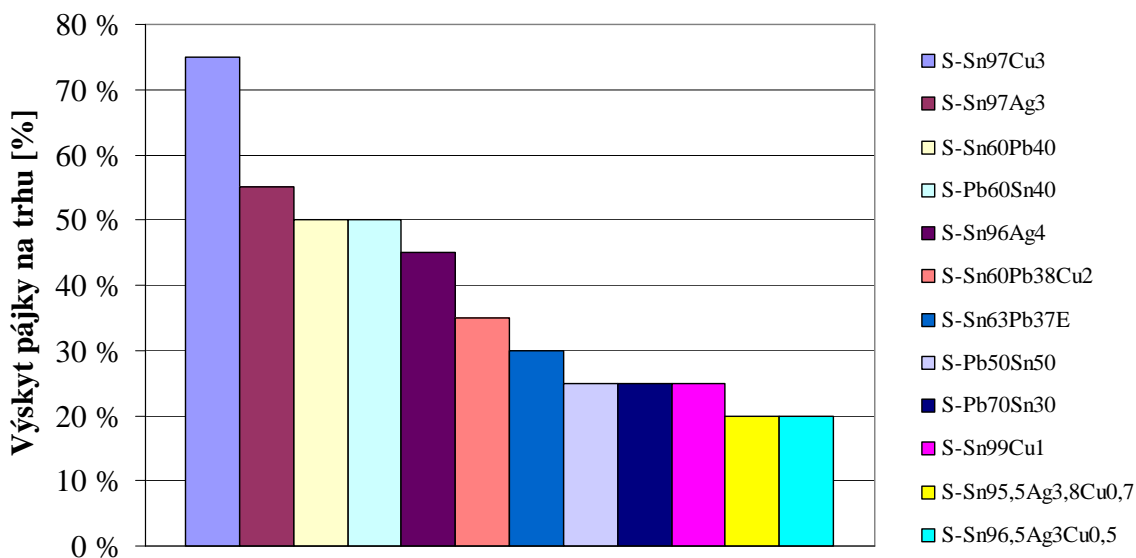
#### 4.1.15 Shrnutí sortimentu na tuzemském trhu – přehled

Na tuzemském trhu se nachází mnoho distributorů měkkých pájek. Jedná se většinou o firmy nabízející produkty zahraničních výrobců, avšak některé nabízejí i produkty našeho tuzemského výrobce, čímž jsou Kovohutě Příbram nástupnická, a.s.

Nabízený sortiment lze zakoupit v mnoha podobách a provedeních. Záleží na konkrétním dodavateli a jeho ochotě plnit požadavky zákazníka. Dodací termíny nabízeného zboží nejsou zrovna nejkratší, jelikož žádná firma nehodlá investovat svůj kapitál do velkého

množství zásob. Z toho vyplývají delší dodací lhůty. Pokud se jedná o velikost odebíraného množství, tak firmy nejčastěji nabízejí měkké pájky řádově v kilogramech, pokud ovšem nemají uvedeno jinak. Jelikož větší prodávané množství je pro firmy ekonomicky výhodnější. Mnohdy se stává, že nabízené množství, druhy konkrétních pájek, a jejich dodací lhůty, uvedené mezi sortimentem např. v katalogu se liší od toho, co se později dozvíme od samotného prodejce. Proto je vždy lepší kontaktovat konkrétního prodejce, než-li se řídit nabídkou na internetu nebo v katalogu.

Prozkoumáním tuzemského trhu s měkkými pájkami a vyhodnocením všech nashromážděných dat vznikl následující níže uvedený sloupcový graf (obr. 25). Tento graf zobrazuje konkrétní druhy měkkých pájek, které se nejčastěji vyskytují na tuzemském trhu. Respektive jsou to pájky nejčastěji se vyskytující mezi sortimentem dvaceti prozkoumaných firem. Pravděpodobnost výskytu konkrétního druhu pájky je v grafu vyjádřena v procentech. Ta vyjadřují, kolik procent firem (z dvaceti prozkoumaných) nabízí konkrétní danou měkkou pájku. Z toho se dá usuzovat, že pořízení konkrétních druhů pájek na tuzemském trhu, které jsou v grafu zobrazeny, by nemělo činit žádné větší potíže.



Obr. 25 Výskyt měkkých pájek na tuzemském trhu

Z výše uvedeného grafu lze usuzovat, že mezi širokou nabídkou tuzemského trhu s měkkými pájkami se nejčastěji vyskytují v nabídce firem tyto druhy měkkých pájek:

- **S-Sn97Cu3,**
- **S-Sn97Ag3,**
- **S-Sn60Pb40,**

- S-Pb60Sn40,
- S-Sn96Ag4,
- S-Sn60Pb38Cu2,
- S-Sn63Pb37E,
- S-Pb50Sn50,
- S-Pb70Sn30,
- S-Sn99Cu1,
- S-Sn95,5Ag3,8Cu0,7,
- S-Sn96,5Ag3Cu0,5.

## **5 Experimentální stanovení pevnosti spojů vybraných kovových materiálů pájených měkkými olovnatými a bezolovnatými pájkami**

### **5.1 Základní informace o prováděných zkouškách**

V České republice byly v oblasti pájení kovů normovány dvě zkoušky pájených spojů. První byla **zkouška tahem spojů pájených do úkosu** (ČSN 05 0043 zrušena k 1. 12. 2007). Druhá byla **zkouška tahem a smykem kapilárně pájených spojů** (ČSN 05 0044 zrušena k 1. 1. 2009) [13].

Zkoušky pájených spojů v experimentu, který bude popisovat tato práce, vycházely z dnes již neplatné normy ČSN 05 0044. Neplatnost normy však neměla žádný negativní vliv na průběh zkoušek, jelikož z normy byly čerpány informace o rozměrech vzorků, postupů, a způsobech vyhodnocení. Experiment se týkal zkoušky smykem kapilárně pájených spojů.

Níže jsou uvedeny základní informace ohledně uskutečněného experimentu.

#### **Místo konání**

Experiment probíhal na adrese:

*Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Kamýcká 129, 165 21 Praha*

V prostorách univerzitních laboratoří č. 26 a 78, při okolní teplotě 21 °C.

#### **Termín konání**

Experiment probíhal v termínu od 15. 9. 2010 do 22. 9. 2010.

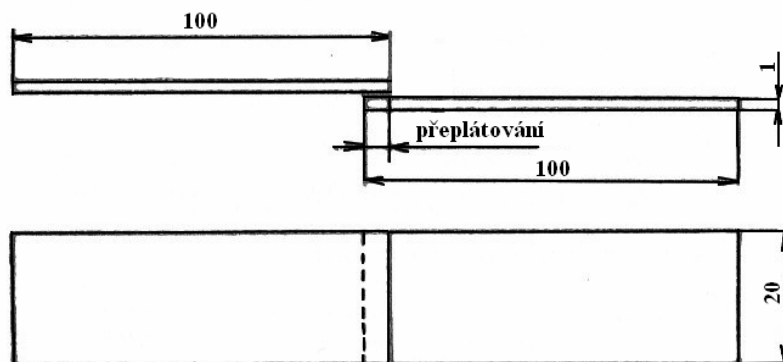


### Základní materiály

Pro experiment byly použity dva druhy základních materiálů. A to následující:

- pozinkovaný ocelový plech tloušťky 1 mm,
- ocelový plech tloušťky 1 mm.

Tyto základní materiály byly spojovány pájením dle metodiky vedoucího diplomové práce a za použití konkrétních druhů měkkých pájek. Rozměry základních materiálů byly  $100 \times 20 \times 1$  mm. Z materiálů se vytvářely zkušební vzorky (překlátované spoje) s překlátováním 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15 mm, jelikož metodika vedoucího diplomové práce umožňuje sledovat vliv překlátování na pevnost spoje. Rozměry a tvar zkušebních vzorků zobrazuje obr. 26.



*Obr. 26 Rozměry a tvar zkušebních vzorků [13]*

### Tavidlo

Jako tavidlo byla použita tzv. „pájecí voda“ (HCl + Zn). Vzhledem k agresivitě a účinnosti tohoto tavidla, nebyl v těchto zkouškách brán zřetel na tavidla, která již obsahovaly některé druhy měkkých pájek v podobě trubičkových drátů. Ve vyhodnoceních tudíž nebude zahrnut vliv tavidla na pevnost pájeného spoje, ale jen čistě vliv použitého konkrétního druhu měkké pájky na pevnost spoje.

### Měkké pájky

Pro vytváření zkušebních vzorků (spojů) bylo použito 12 různých druhů měkkých pájek. Seznam těchto pájek vyjadřuje tab. 21.

**Tab. 21 Seznam měkkých pájek použitých v experimentu**

Pořadové číslo vzorku	Pájka
1	SnBi2Cu0,9
2	Sn96,5Ag3Cu0,5
3	Sn100C-SnCu0,7Ni
4	Pb48Sn32Bi
5	Sn63Pb37
6	Sn60Pb40
7	Sn95,5Ag3,8Cu0,7
8	Sn96Ag4
9	Sn60Pb40
10	Sn99Cu1
11	Sn70Zn30
12	Sn96Ag3Cu1

### Nástroje a zařízení

Pro provedení experimentu se používaly různé nástroje a zařízení. Jako zdroje tepla potřebného pro pájení bylo použito pájecí soupravy na propan – butan a vzduch, typ 2192. Pájecí soupravu je možné vidět na obr. 27. Pro vlastní zkoušku vzorku, který byl namáhán na tah smykem, bylo pak použito univerzálního zkušebního stroje ZDM 5 (viz obr. 28). Dále byly používány nástroje a pomůcky jako posuvné měřidlo, pravítko, „pájecí voda“, ocelová válečková závaží, zapalovač, šamotová cihla a ochranný obličejový štít.



*Obr. 27 Pájecí souprava typ 2192*



*Obr. 28 Univerzální zkušební stroj ZDM 5*

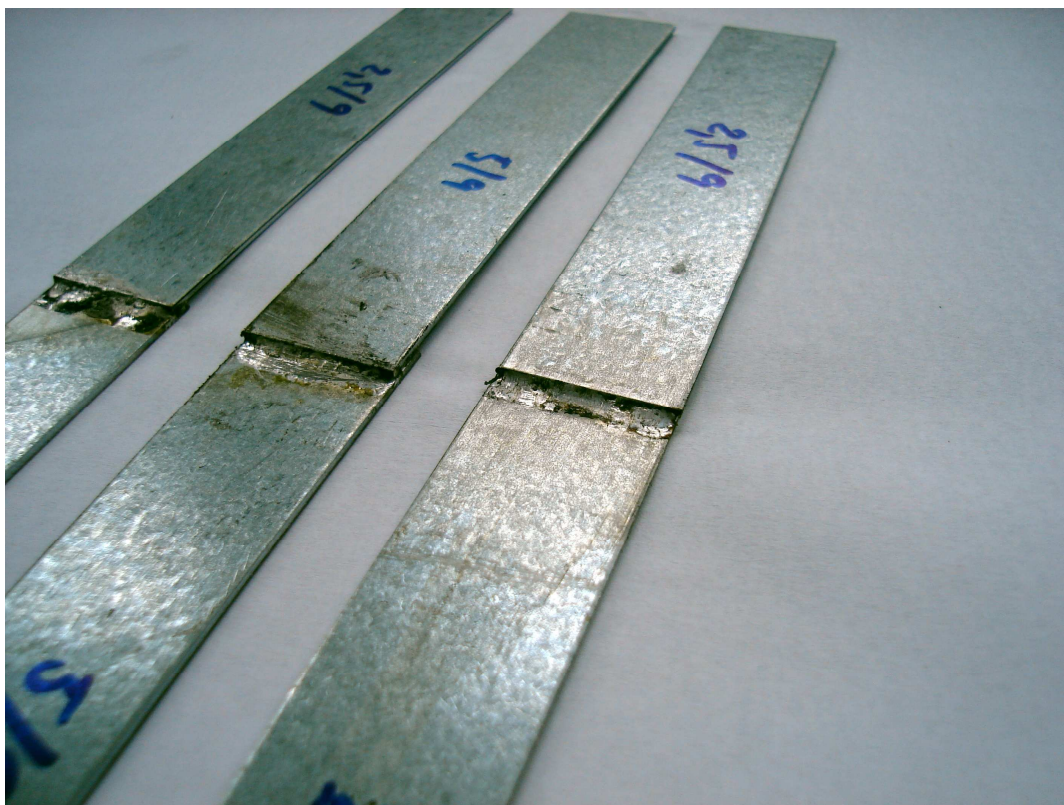
## **5.2 Postup výroby zkušebních vzorků**

Pro výrobu zkušebních vzorků bylo použito metodiky vedoucího diplomové práce. Materiály pro výrobu vzorků se nejprve musely pečlivě připravit. Tato příprava spočívala v měření a naznačení velikosti přeplátování na každém vzorku. Jak již bylo zmíněno,

vytvářely se spoje s přeplátováním 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15 mm. Materiály se dále označovaly i číslicí, která vyjadřovala, jaká konkrétní měkká pájka bude na vytvoření spoje použita. Je nutné se také zmínit, že od každé velikosti daného přeplátování bylo nutné vyrobit dva vzorky. To z důvodu pozdějšího grafického vyhodnocení experimentu, kde se konkrétní naměřené hodnoty vynášely v podobě bodů, které se následně prokládaly vhodnou křivkou.

Označené materiály se položily na připravenou šamotovou cihlu. Pomocí „pájecí vody“ se očistil povrch materiálů v naznačené délce konkrétního přeplátování. Materiály se položily takto očištěnými plochami na sebe, opět dle velikosti konkrétního přeplátování a zafixovaly se proti posunu ocelovými válečkovými závažími. Dále se zapálil hořák pájecí soupravy a plamen se zreguloval na minimum. Plamenem se ohříval materiál v místě budoucího pájeného spoje. Po dostatečném prohřátí základních materiálů se odtavilo určité množství konkrétní měkké pájky a tekutá pájka byla plamenem usměrňována do spoje. Pokud byly povrchy dobře očištěny a prohřátí materiálů bylo optimální, tak roztavená pájka vlivem kapilárních sil zabíhala do mezery mezi základními materiály a vytvářela spoj. Takto vytvořený spoj se poté musel nechat vychladnout. Vytvořené zkušební vzorky zobrazuje obr. 29. Po procesu výroby zkušebních vzorků následoval proces, kde se již měřilo maximální zatížení těchto vzorků.

*(pro tento experiment bylo celkem vyrobeno 288 zkušebních vzorků)*



*Obr. 29 Zkušební vzorky – pozinkovaný ocelový plech*

### 5.3 Zkoušení zkušebních vzorků

Vzorky byly upínány do sklíčidel univerzálního zkušebního stroje ZDM 5. Kde rozsah zatěžovací síly stroje byl 0 – 10 000 N a rychlost zatěžování 6 mm/min. Po zapnutí stroje se dolní sklíčidlo začalo posouvat po šroubovici směrem dolů od druhého statického sklíčidla. Vzdálenost mezi sklíčidly se tedy zvětšovala a docházelo k postupnému zvětšování síly působící na zkoušený vzorek. Vzorek se vlivem působící síly natahoval. O momentální a konečné velikosti působící síly informovala ručička pohybující se na ciferníku zkušebního stroje. Tento proces pokračoval až do přetržení zkušebního vzorku. Po přetržení se z ciferníku odečetla konečná hodnota maximálního zatížení a zapsala se do záznamového archu. Takto se postupně přetrhlo všech 288 vzorků. Přetržené pájené vzorky (spoje) a rozptýlení pájky po ploše spoje lze vidět na obr. 30.



*Obr. 30 Přetržené vzorky – ocelový plech*

## 5.4 Zpracování dat

Bloky naměřených hodnot pro každou konkrétní použitou pájku a dané přelátování byly zpracovány v programu MS Excel. Jednalo se o zpracování dvou údajů. A to naměřeného maximálního zatížení spoje a vypočítanou mez pevnosti použité měkké pájky. Zjištění meze pevnosti pájky vycházelo ze vztahu:

$$\tau = \frac{F}{S} \quad [13]$$

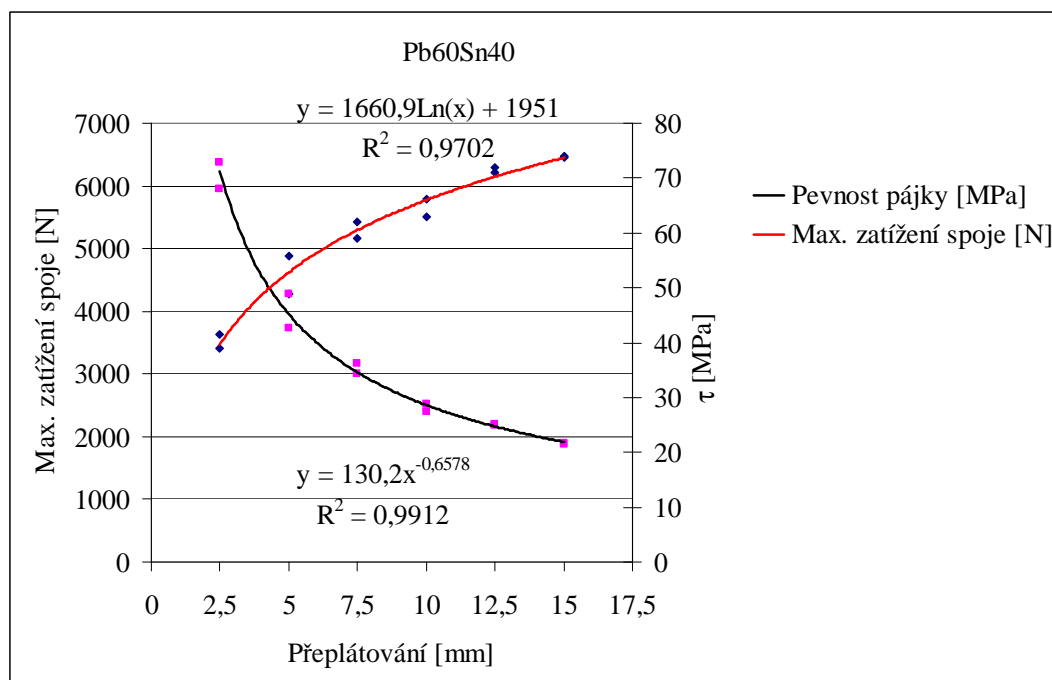
Kde je:

$\tau$  ...mez pevnosti pájky [MPa]

F...maximální osové zatížení spoje [N]

S...plocha pájeného spoje [mm<sup>2</sup>]

Naměřené hodnoty maximálního zatížení spoje a vypočítané hodnoty meze pevnosti pájky byly poté vyneseny do grafu pomocí bodů. Tyto body se následně proložily vhodnou křivkou (s logaritmickým nebo mocninným trendem). Podle vytvořené křivky se zjistila rovnice regrese a koeficient spolehlivosti. To vše zobrazuje pro ukázkou obr. 31. O všech ostatních vzniklých křivkách informují grafy, které se nacházejí v příloze tohoto dokumentu spolu s originálními naměřenými hodnotami experimentu.



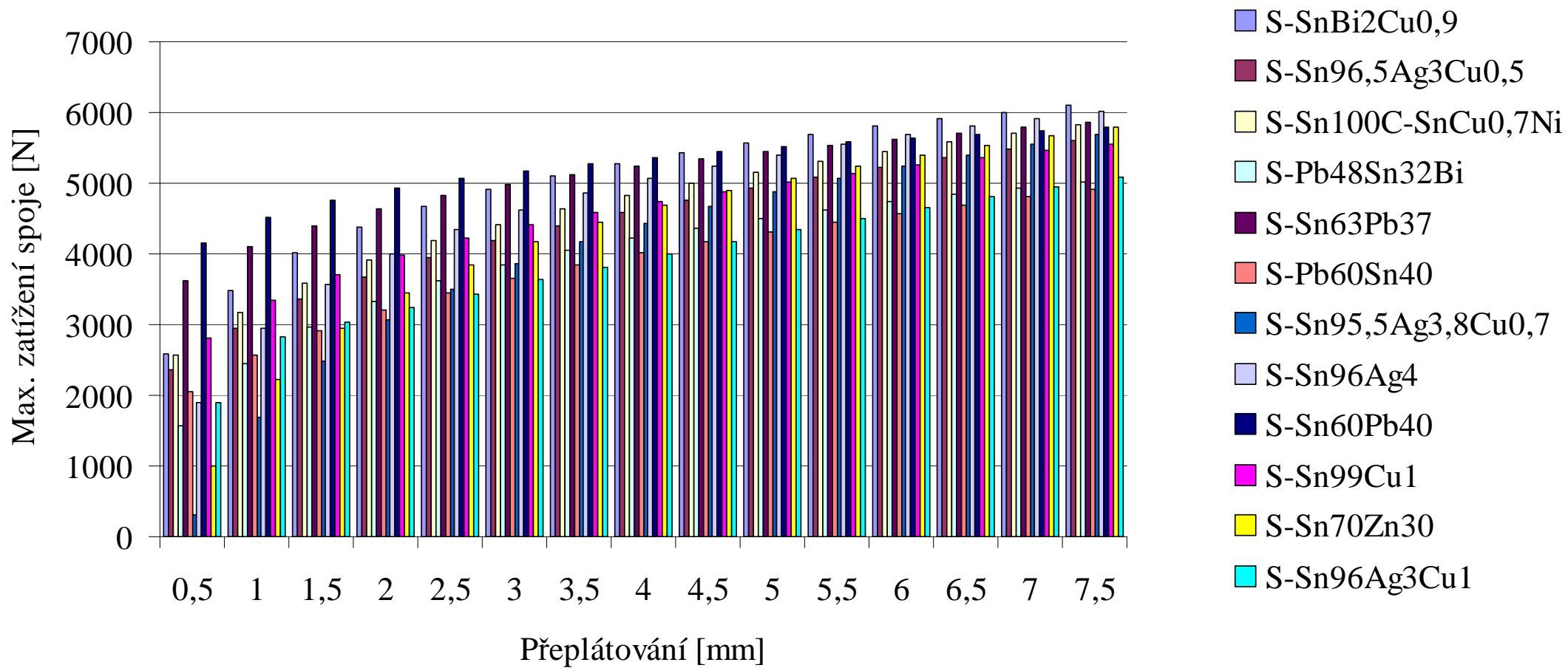
Obr. 31 Výsledné křivky pro S-Pb60Sn40 a ocelový plech

## 5.5 Vyhodnocení experimentu

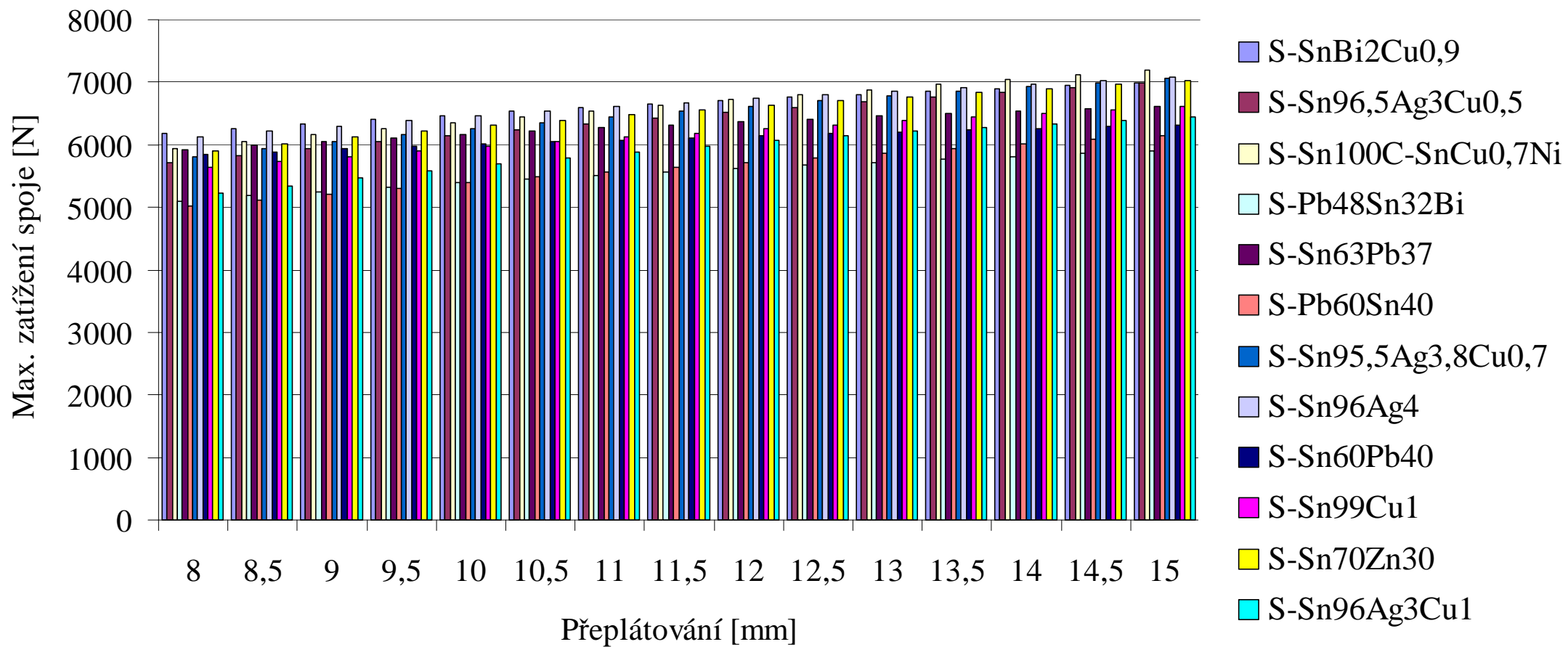
Ze zjištěných rovnic regrese byly vypočítány nové hodnoty (uvedené v příloze) pro maximální zatížení spojů při použití konkrétní pájky a daného přeplátování (0,5 – 15 mm). Takto nově zjištěná data pro všech 12 druhů pájek a 2 druhy základních materiálů byla dále zpracovávána opět v MS Excel, pomocí kterého vznikl sloupcový (srovnávací) graf. Z tohoto grafu je patrné, jakých hodnot maximálního možného zatížení jsou pájené spoje schopny dosahovat při konkrétní velikosti přeplátování a za použití konkrétní pájky. Výstupem z tohoto je vytvořený závěrečný graf, který informuje o pájce s nejvyšší možnou hodnotou zatížení pro danou oblast přeplátování. Jedná se tedy o jakési doporučení, jakou měkkou pájku je vhodné použít pro tvorbu spoje při dané velikosti přeplátování, pokud chceme dosáhnout maximální pevnosti vytvářeného spoje. Nově vypočítané hodnoty byly také mezi sebou porovnány. A na základě průměrných dosahovaných výsledků maximálního zatížení spoje byly vybrány 3 pájky, které zajišťují nejvyšší pevnost spoje. Tyto pájky byly vyhodnoceny jako nejlepší volba pro tvorbu pájených spojů a konkrétního druhu základního materiálu.

### 5.5.1 Pozinkovaný ocelový plech

Následující dva grafy srovnávají jednotlivá vypočítaná maximální zatížení spojů vzhledem k velikosti přeplátování při použití konkrétní pájky. První graf (obr. 32) zobrazuje hodnoty pro přeplátování 0,5 – 7,5 mm a druhý graf (obr. 33) zobrazuje hodnoty pro přeplátování 8 – 15 mm.



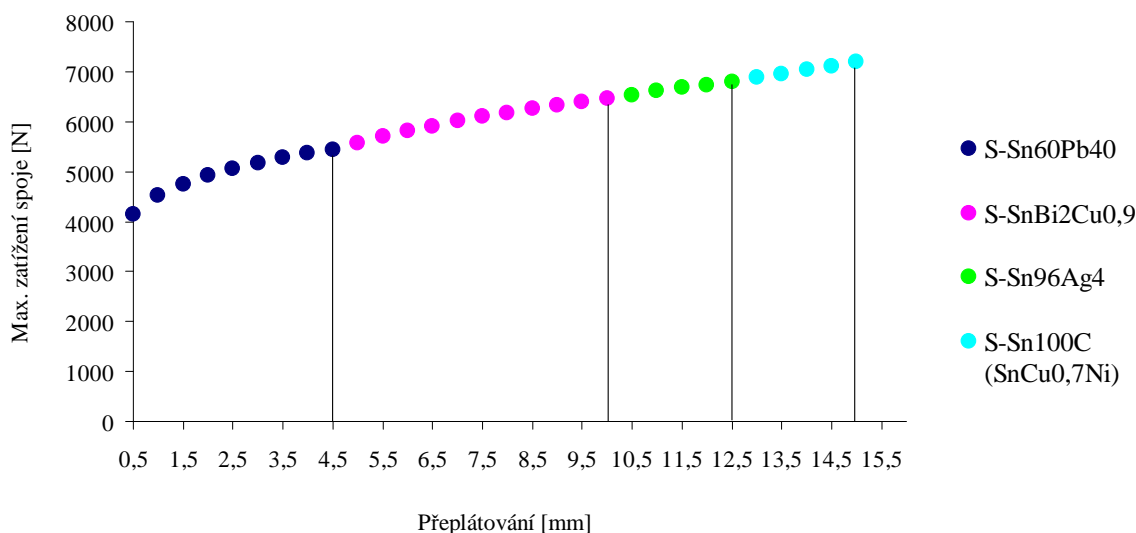
Obr. 32 Srovnání všech pájek – pozinkovaný ocelový plech s přeplátováním 0,5 – 7,5 mm



Obr. 33 Srovnání všech pájek – pozinkovaný ocelový plech s přeplátováním 8 – 15 mm



Z předchozích dvou grafů je patrné, které pájky při konkrétním přeplátování vydrží nejvyšší zatížení. Z takto získaných hodnot byly vybrány 4 druhy pájek, které v daném rozsahu přeplátování vykazují nejvyšší hodnotu maximálního zatížení. Tyto pájky zobrazuje obr. 34. Vyjadřuje, které z těchto výsledných pájek dosáhly v daném rozsahu přeplátování nejvyšší hodnoty maximálního zatížení spoje.



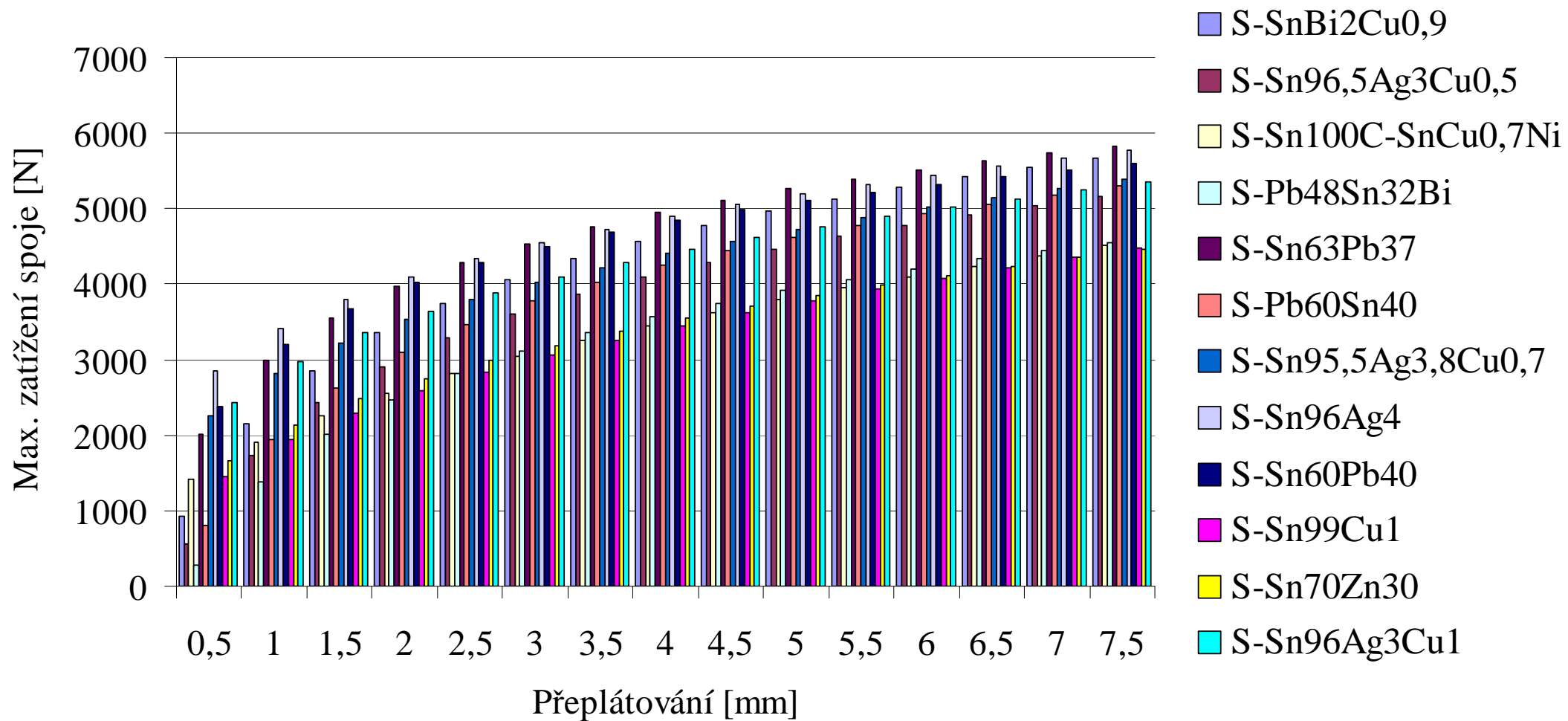
**Obr. 34** Výsledný graf – oblasti použitelnosti pájek pro pozinkovaný ocelový plech

V první oblasti s rozsahem přeplátování **0,5 – 4,5 mm** vykazovala nejvyšší hodnotu zatížení pájka **S-Sn60Pb40**. Ve druhé oblasti s rozsahem přeplátování **5 – 10 mm** vykazovala nejvyšší hodnoty zatížení pájka **S-SnBi2Cu0,9**. Ve třetí oblasti s rozsahem přeplátování **10,5 – 12,5 mm** vykazovala nejvyšší hodnoty zatížení pájka **S-Sn96Ag4**. Ve čtvrté oblasti s rozsahem přeplátování **13 – 15 mm** vykazovala nejvyšší hodnoty pájka **S-Sn100C (SnCu0,7Ni)**.

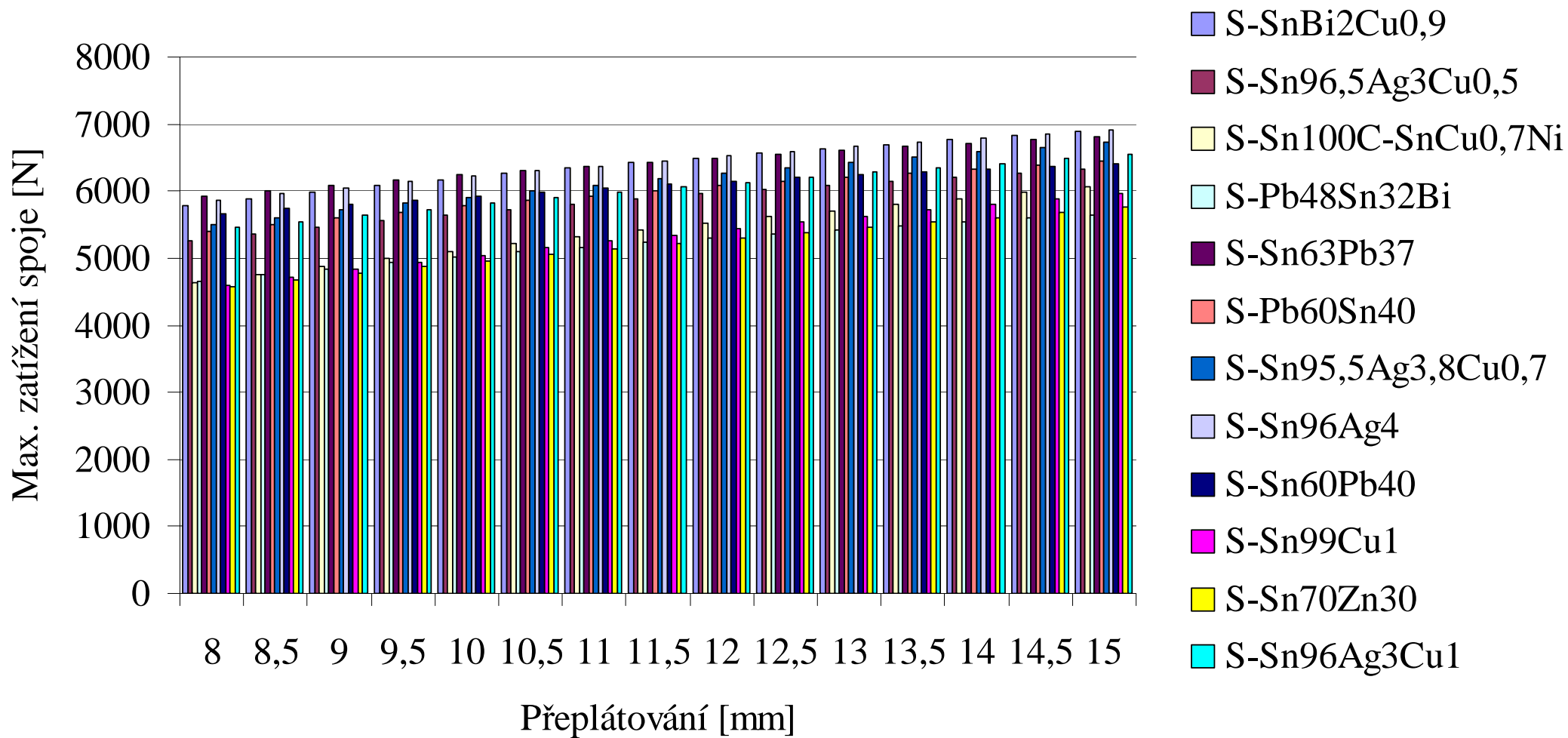
Dále byly také všechny dosahované průměrné hodnoty maximálního zatížení spojů všech pájek porovnány. Byly vybrány 3 pájky, jež průměrně vykazovaly nejvyšší hodnoty maximálního zatížení spoje v celém rozsahu přeplátování. Tyto pájky jsou podle jejich umístění (získaného pořadí) v experimentu řazeny sestupně. Jsou to tyto: **S-SnBi2Cu0,9**, **S-Sn63Pb37**, **S-Sn96Ag4**.

### 5.5.2 Ocelový plech

Následující dva grafy srovnávají jednotlivá vypočítaná maximální zatížení spojů vzhledem k velikosti přeplátování při použití konkrétní pájky. První graf (obr. 35) zobrazuje hodnoty pro přeplátování 0,5 – 7,5 mm a druhý graf (obr. 36) zobrazuje hodnoty pro přeplátování 8 – 15 mm.

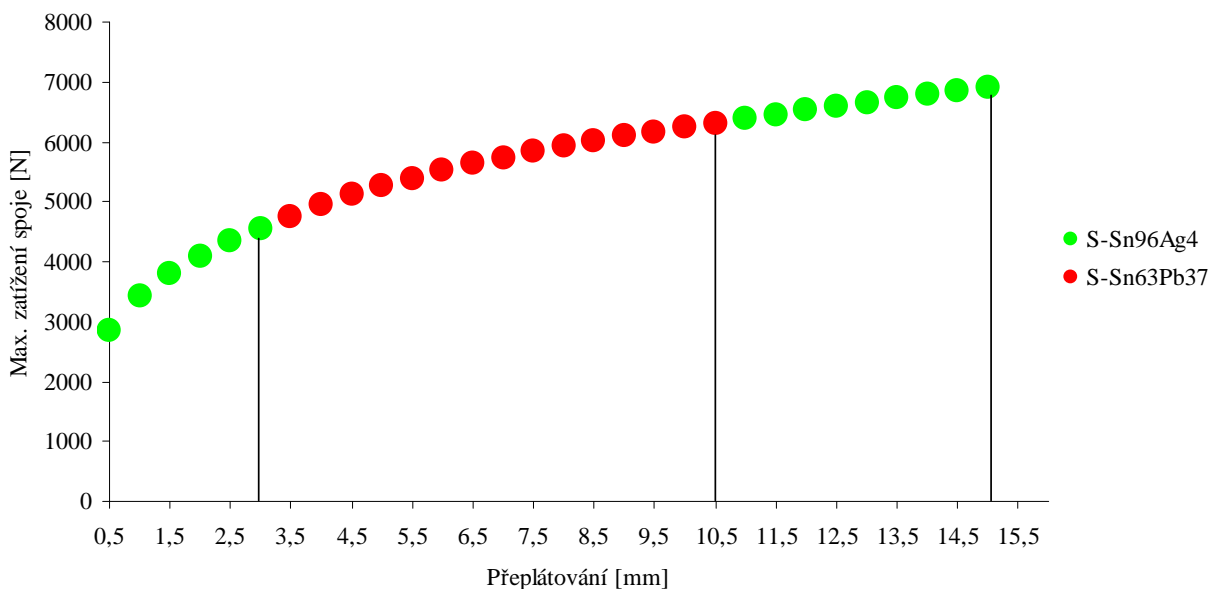


Obr. 35 Srovnání všech pájek – ocelový plech s přeplátováním 0,5 – 7,5 mm



Obr. 36 Srovnání všech pájek – ocelový plech s přeplátováním 8 – 15 mm

Z předchozích dvou grafů je patrné, které pájky při konkrétním přeplátování vydrží nejvyšší zatížení. Z takto získaných hodnot byly vybrány 2 druhy pájek, které v daném rozsahu přeplátování vykazují nejvyšší hodnotu maximálního zatížení. Tyto pájky zobrazuje obr. 37. Vyjadřuje, které z těchto výsledných pájek dosáhly v daném rozsahu přeplátování nejvyšší hodnoty maximálního zatížení spoje.



*Obr. 37 Výsledný graf – oblasti použitelnosti pájek pro ocelový plech*

V první oblasti s rozsahem přeplátování **0,5 – 3 mm** vykazovala nejvyšší hodnotu zatížení pájka **S-Sn96Ag4**. Ve druhé oblasti s rozsahem přeplátování **3,5 – 10,5 mm** vykazovala nejvyšší hodnoty zatížení pájka **S-Sn63Pb37**. Ve třetí oblasti s rozsahem přeplátování **11 – 15 mm** vykazovala opět nejvyšší hodnoty zatížení pájka **S-Sn96Ag4**.

Dále byly také všechny dosahované průměrné hodnoty maximálního zatížení spoju všech pájek porovnány. Byly vybrány 3 pájky, jež průměrně vykazovaly nejvyšší hodnoty maximálního zatížení spoje v celém rozsahu přeplátování. Tyto pájky jsou podle jejich umístění (získaného pořadí) v experimentu řazeny sestupně. Jsou to tyto: **S-Sn96Ag4**, **S-Sn63Pb37**, **S-Sn60Pb40**.

## 5.6 Shrnutí

Experimentem získané informace a poznatky týkající se zkoušených pájených spoju a z nich vzešlé výsledky samozřejmě značně ovlivňuje mnoho faktorů, které mají vliv na maximální zatížení vytvářených spoju. V první řadě je to samozřejmě druh použité pájky a druh spojovaného materiálu, ale dále např. zkušenost a zručnost pracovníka, který spoj

vytvořil, použitá metoda pájení, teplota pájení, dostatečné prohřátí spojovaného materiálu, použitá tavidla, okolní prostředí a vlivy. Závěrem hodnocení si také musíme uvědomit, že i některé ostatní druhy zkoušených pájek v experimentu obstály podobně jako již výše uvedené pájky pro každý základní materiál. Proto volba konkrétní pájky pro pájecí proces bude jistě závislá na pořizovací ceně pájky, její dostupnosti na trhu, konstrukčním řešení a technických požadavcích na vytvářený spoj.

## **6 Závěr**

V této práci jsou shromážděny poznatky týkající se spojovací technologie materiálů, která nese název pájení na měkko. V první řadě se jedná o základní seznámení s problematikou pájení, označováním pájek, jednotlivými metodami pájení, výhodami či nevýhodami a použitím pájek v praxi. Práce dále poskytuje informace o výskytu konkrétních měkkých pájek na tuzemském trhu včetně firem, které se zabývají jejich prodejem a výrobou. V praktické části jsou porovnávány hodnoty maximálního zatížení spojů pájených různými měkkými pájkami a toto porovnání je znázorněno pomocí grafů.

Práce by měla čtenáři poskytnout základní informace o metodách, problematice pájení na měkko a použití měkkých pájek. Ukázat, že je možné spojovat různé druhy základních materiálů, aniž by docházelo k jejich natavení, jak tomu bývá např. u svařování. To vše jak v zaběhnutém podniku, tak např. v dílně či domácnosti.

Všechny poznatky a podklady pro vytvoření této práce byly získány z odborné literatury, internetových zdrojů, zkušenostmi získanými od kolegů v zaměstnání a zkušenostmi s řešením této problematiky v praxi.

Výstupem této práce jsou následující výsledky. Mezi nejčastěji se vyskytující měkké pájky na tuzemském trhu patří S-Sn97Cu3, S-Sn97Ag3, S-Sn60Pb40 a S-Pb60Sn40.

Vyhodnocením naměřených hodnot týkajících se pájení pozinkovaného ocelového plechu byly zjištěny měkké pájky, které umožňovaly dosahovat nejvyšší hodnoty zatížení spoje v daném rozsahu přeplátování. Byly to měkké pájky: S-Sn60Pb40 pro přeplátování 0,5 – 4,5 mm, S-SnBi2Cu0,9 pro přeplátování 5 – 10 mm, S-Sn96Ag4 pro přeplátování 10,5 – 12,5 mm a S-Sn100C (SnCu0,7Ni) pro přeplátování 13 – 15 mm. Nejvyšší průměrné hodnoty maximálního zatížení spojů v celém rozsahu přeplátování pak umožňovaly dosahovat pájky S-SnBi2Cu0,9, S-Sn63Pb37 a S-Sn96Ag4.

Vyhodnocením naměřených hodnot týkajících se pájení ocelového plechu byly zjištěny měkké pájky, které umožňovaly dosahovat nejvyšší hodnoty zatížení spoje v daném rozsahu

přeplátování. Byly to měkké pájky: S-Sn96Ag4 pro přeplátování 0,5 – 3 mm a 11 – 15 mm, S-Sn63Pb37 pro přeplátování 3,5 – 10,5 mm. Nejvyšší průměrné hodnoty maximálního zatížení spojů v celém rozsahu přeplátování pak umožňovaly dosahovat pájky S-Sn96Ag4, S-Sn63Pb37 a S-Sn60Pb40.

Po řádném prozkoumání problematiky pájení bylo zjištěno, že použití jednotlivých konkrétních měkkých pájek v pájecím procesu je značně subjektivní. Zaleží totiž na mnoha ovlivňujících aspektech. Mezi tyto aspekty hlavně patří, jaké materiály se budou spojovat, jakým způsobem a co všechno se od daného výsledného spoje očekává. To co od výsledného spoje očekáváme, resp. jaké na něj máme požadavky, také ovlivňuje např. průmyslová oblast, kde se bude spoj nacházet a pracovat. Jiné pájky budeme volit např. pro oblast elektrotechniky, kde budeme chtít pájky s dobrou elektrickou vodivostí. Na druhou stranu zase jiné pájky budeme volit např. pro karosářské a klempířské práce, kde budeme požadovat vysokou pevnost výsledného spoje. Z tohoto důvodu existuje na našem trhu mnoho druhů měkkých pájek, které jistě uspokojí každého, kdo se rozhodne použít pájecí technologie pro spojování materiálů. V případě jakýchkoliv nejasností, nebo problému s výběrem měkkých pájek pro pájecí proces, je možné vyhledat odbornou pomoc u některé z tuzemských firem. Mnoho firem totiž poskytuje kompletní poradenství v oblasti pájecích technologií včetně jejich realizace.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] Abel, M.: SMT - Technologie povrchové montáže. Platan, Pardubice 2000
- [2] Abel, M.: Bezolovnaté pájení v legislativě a praxi. Platan, Pardubice 2005
- [3] Messler, Robert W., Jr.: Joining of materials and structures. Elsevier, Oxford 2004
- [4] Pritchard, D.: Soldering, Brazing & Welding-A Manual of Techniques [online].  
[cit. 2010-10-27]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/35982984/Soldering-Brazing-Welding-A-Manual-of-Techniques-D-Pritchard>
- [5] Ferjutz, K., R. Davis, J. Davis, ASM Handbook, Volume 06 - Welding, Brazing, and Soldering. ASM international, Materials Park, OH, 1993
- [6] Hamáček A., Kidora J., Řeboun J., Škočil V.: Diagnostika mechanických vlastností pájeného spoje [online]. [cit. 2010-10-27]. Dostupné z:  
<http://ketsrv.fel.zcu.cz/diagnostika/konference/Sbornik/Sekce1/36.pdf>
- [7] Hájek, J.: Pájení: SMT, Praha 1993
- [8] Szendiuch, I.: Moderní elektronika, bezolovnaté pájení a směrnice EU [online].  
[cit. 2010-11-27]. Dostupné z:  
<http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/novinky/modelektronika.pdf>
- [9] Hlavatý, I.: Pájení (9xx) [online].  
[cit. 2010-11-27]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/Vyuka/2009Pajeni.pdf>
- [10] Brožek, M.: Základy strojírenské technologie. ČZU, Praha 2001
- [11] Szendiuch, I.: Pájení a bezolovnaté pájky [online].  
[cit. 2010-11-27]. Dostupné z: <http://www.printed.cz/assets/photos/pb-free.pdf>
- [12] Kříž, V.: Přehled svařování. SNTL, Praha 1986
- [13] Brožek, M.: Skripta a literatura [online]. [cit. 2009-02-25]. Dostupné z:  
[https://student.czu.cz/popup.php?id\\_menu=2&id\\_subject=3343](https://student.czu.cz/popup.php?id_menu=2&id_subject=3343)
- [14] ČSN EN ISO 3677 – Přídavné kovy pro měkké pájení, tvrdé pájení a pájení do úkosu. Označování. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1996
- [15] ČSN 05 0040 – Spájkovanie. Spájkovanie kovov. Základné pojmy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1988
- [16] Kovohutě Příbram nástupnická, a.s. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z:  
<http://www.kovopb.cz/>

- [17] TME Czech Republic s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: [http://www.tme.eu/cz/katalog/pajeci-pasty-a-tavi-dla\\_100484/#id\\_category%3D100484%26](http://www.tme.eu/cz/katalog/pajeci-pasty-a-tavi-dla_100484/#id_category%3D100484%26)
- [18] GM electronic, spol. s r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/cz/-p745-048.html>
- [19] Coleman S.I., a. s. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.coleman.cz/odbinfo.php?id=461>
- [20] Didaktik družstvo. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.didaktik-gm.sk/produkty/19627/naradie--pomocky/naradie-pre-pajkovanie-tavne-/rucne-pajkovacky-trafopajkova/f-trp98-100-cz?p=2>
- [21] Top centrum. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.topcentrum.cz/naradi-a-nastroje/elektricke-naradi/pro-topenare,-instalatory-el.-naradi/pajeni-cu-trubek-rems>
- [22] Rapid Electronics Ltd. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.rapidonline.com/1/1/2813-low-voltage-18w-soldering-iron-stand-power-supply-set.html>
- [23] PEDDY group s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.peddy.cz/svareci-technika/svarovaci-technika/pajeci-pristroje/pajeci-pristroj-super-fire-3-jubilejni-sada-hot-box>
- [24] Erescom SMT v.o.s. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.erescom.cz>
- [25] Tesydo, s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.tdsbrnosms.cz/dokumenty/technicke.../dt-zkousky-pajenych-spoju.doc>
- [26] Lidové noviny. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: [http://neviditelnypes.lidovky.cz/ekonomika-zajmy-korporaci-bezolovnate-pajeni-fox-/p\\_ekonomika.asp?c=A080710\\_113411\\_p\\_ekonomika\\_wag](http://neviditelnypes.lidovky.cz/ekonomika-zajmy-korporaci-bezolovnate-pajeni-fox-/p_ekonomika.asp?c=A080710_113411_p_ekonomika_wag)
- [27] Qualitek – Europe Ltd. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.qualitek.com>
- [28] Böhler Uddeholm CZ s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.bohler-uddeholm.cz>
- [29] Böhler Uddeholm CZ s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: [http://www.bohler-uddeholm.cz/czech/files/Pajeni\\_UTP.pdf](http://www.bohler-uddeholm.cz/czech/files/Pajeni_UTP.pdf)
- [30] Böhler Uddeholm CZ s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: [http://www.bohler-uddeholm.cz/czech/files/Pajeni\\_Fontargen.pdf](http://www.bohler-uddeholm.cz/czech/files/Pajeni_Fontargen.pdf)
- [31] INSYS, s. r. o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.insys.cz>



- [32] Feron, a.s. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz>
- [33] CHEM-WELD ROUDNICE s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.chemweld.cz>
- [34] WELCO spol. s r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.welco.cz>
- [35] AZ - Svářecí Technika s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.az-svarecitechnika.cz/>
- [36] Formicaweld spol. s r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.formicaweld.cz/>
- [37] HETCU s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.hetcu.cz>
- [38] ROTHENBERGER, Nářadí a stroje spol. s r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.rothenberger.cz>
- [39] REMS-WERK Christian Föll und Söhne GmbH. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.rems.de>
- [40] Hadex, spol. s r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.hadex.cz>
- [41] Armack GmbH. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.armack.de>
- [42] Sak Radotín s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.sakradotin.cz>
- [43] FINOZ spol. s r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.finoz.cz/>
- [44] GES-ELECTRONICS, a.s. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.ges.cz>
- [45] Förch, s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.foerch.cz>
- [46] AMTECH spol. s r. o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.amtech.cz>
- [47] Amtest Czech Republic, s.r.o. [online]. [cit. 2010-11-28]. Dostupné z: <http://www.amtest.cz/>

## 7.1 Seznam použitých obrázků a tabulek

### Seznam použitých obrázků:

- Obr. 1 Fázový diagram cín-olovo
- Obr. 2 Dendrický krystal
- Obr. 3 Fázový diagram cín-antimon
- Obr. 4 Fázový diagram cín-stříbro
- Obr. 5 Fázový diagram cín-zinek
- Obr. 6 Fázový diagram kadmium-stříbro
- Obr. 7 Fázový diagram kadmium-zinek
- Obr. 8 Fázový diagram zinek-hliník
- Obr. 9 Fázový diagram hliník-germanium
- Obr. 10 Fyzické podoby pájek
- Obr. 11 Některé formy tavidel
- Obr. 12 Princip smáčecích vah
- Obr. 13 Průběhy časové závislosti smáčecí síly
- Obr. 14 Kuličkový test
- Obr. 15 Test roztékavosti
- Obr. 16 Stykový úhel
- Obr. 17 Páječky
- Obr. 18 Pájení ponorem
- Obr. 19 Provedení elektrod
- Obr. 20 Indukční pájení
- Obr. 21 Pájení vlnou
- Obr. 22 Pájení horkým plynem pouzdra integrovaného obvodu
- Obr. 23 Kondenzační pájení v elektronice
- Obr. 24 Typy pájených spojů
- Obr. 25 Výskyt měkkých pájek na tuzemském trhu
- Obr. 26 Rozměry a tvar zkušebních vzorků
- Obr. 27 Pájecí souprava typ 2192
- Obr. 28 Univerzální zkušební stroj ZDM 5
- Obr. 29 Zkušební vzorky – pozinkovaný ocelový plech
- Obr. 30 Přetržené vzorky – ocelový plech

- Obr. 31 Výsledné křivky pro S-Sn60Pb40 a ocelový plech  
Obr. 32 Srovnání všech pájek – pozinkovaný ocelový plech s přeplátováním 0,5 – 7,5 mm  
Obr. 33 Srovnání všech pájek – pozinkovaný ocelový plech s přeplátováním 8 – 15 mm  
Obr. 34 Výsledný graf – oblasti použitelnosti pájek pro pozinkovaný ocelový plech  
Obr. 35 Srovnání všech pájek – ocelový plech s přeplátováním 0,5 – 7,5 mm  
Obr. 36 Srovnání všech pájek – ocelový plech s přeplátováním 8 – 15 mm  
Obr. 37 Výsledný graf – oblasti použitelnosti pájek pro ocelový plech

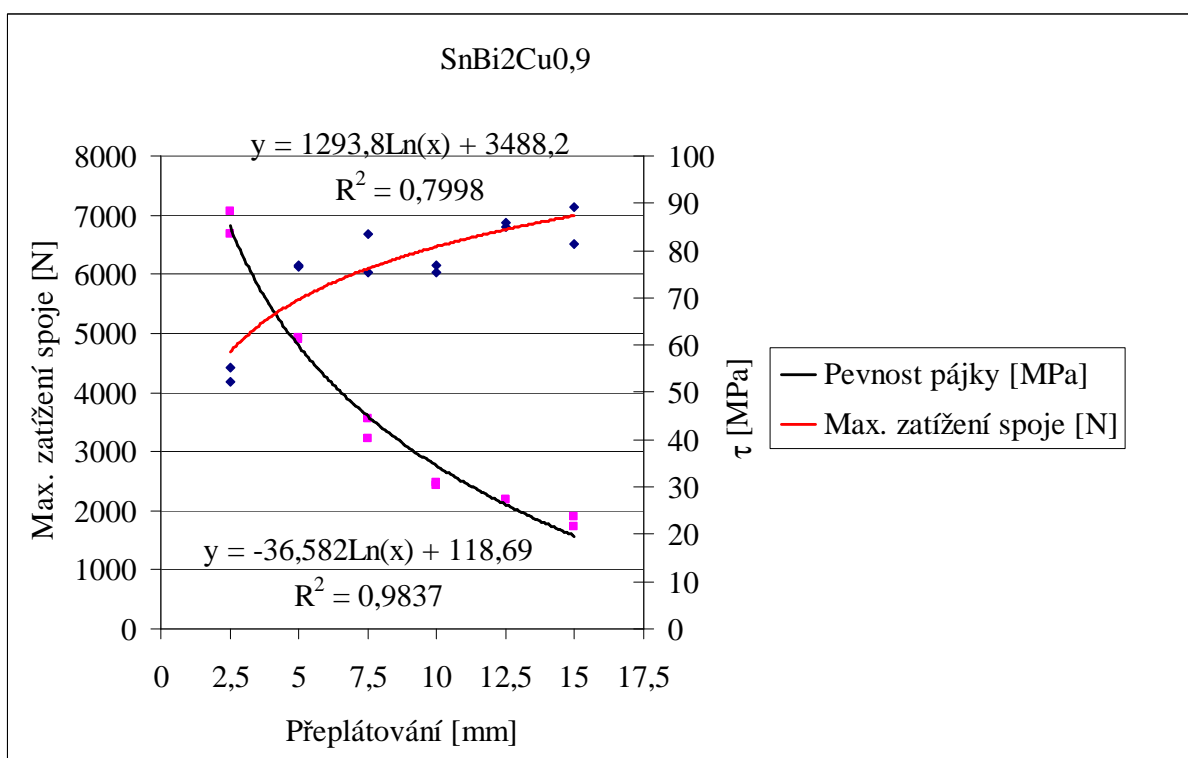
### **Seznam použitých tabulek:**

- Tab. 1 Přehled pájek cín-olovo  
Tab. 2 Přehled pájek I.  
Tab. 3 Přehled pájek II.  
Tab. 4 Přehled speciálních pájek  
Tab. 5 Použití některých olovnatých a bezolovnatých pájek  
Tab. 6 Použití některých bezolovnatých slitin  
Tab. 7 Sortiment firmy Kovohutě Příbram  
Tab. 8 Sortiment firmy Böhler Uddeholm  
Tab. 9 Sortiment firmy INSYS  
Tab. 10 Sortiment firmy Feron  
Tab. 11 Sortiment firmy CHEM-WELD  
Tab. 12 Sortiment firmy WELCO  
Tab. 13 Sortiment firmy AZ - Svářecí Technika  
Tab. 14 Sortiment firmy Formicaweld  
Tab. 15 Sortiment firmy FINOZ  
Tab. 16 Sortiment firmy GES  
Tab. 17 Sortiment firmy AMTECH  
Tab. 18 Sortiment firmy Amtest  
Tab. 19 Sortiment firmy Erescom  
Tab. 20 Sortiment ostatních firem  
Tab. 21 Seznam měkkým pájek použitých v experimentu

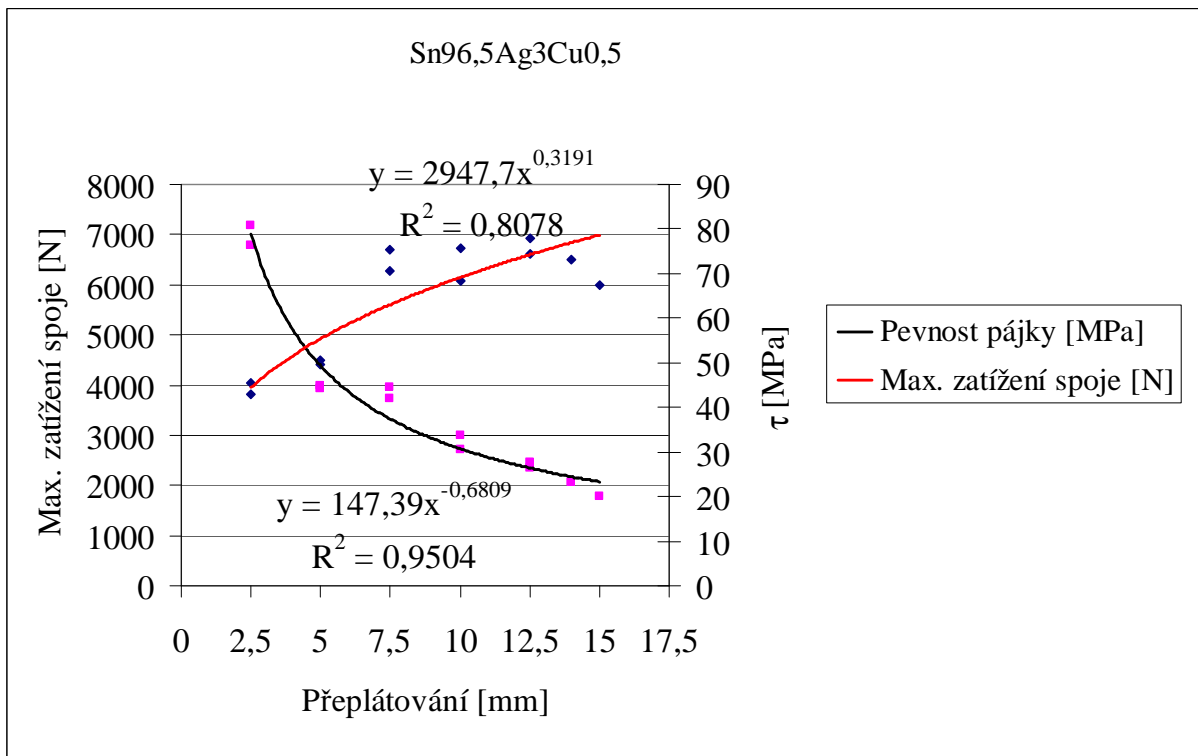
## 8 Přílohy

Tabulky naměřených hodnot a z nich vytvořené grafy pro konkrétní pájky a **pozinkovaný ocelový plech**:

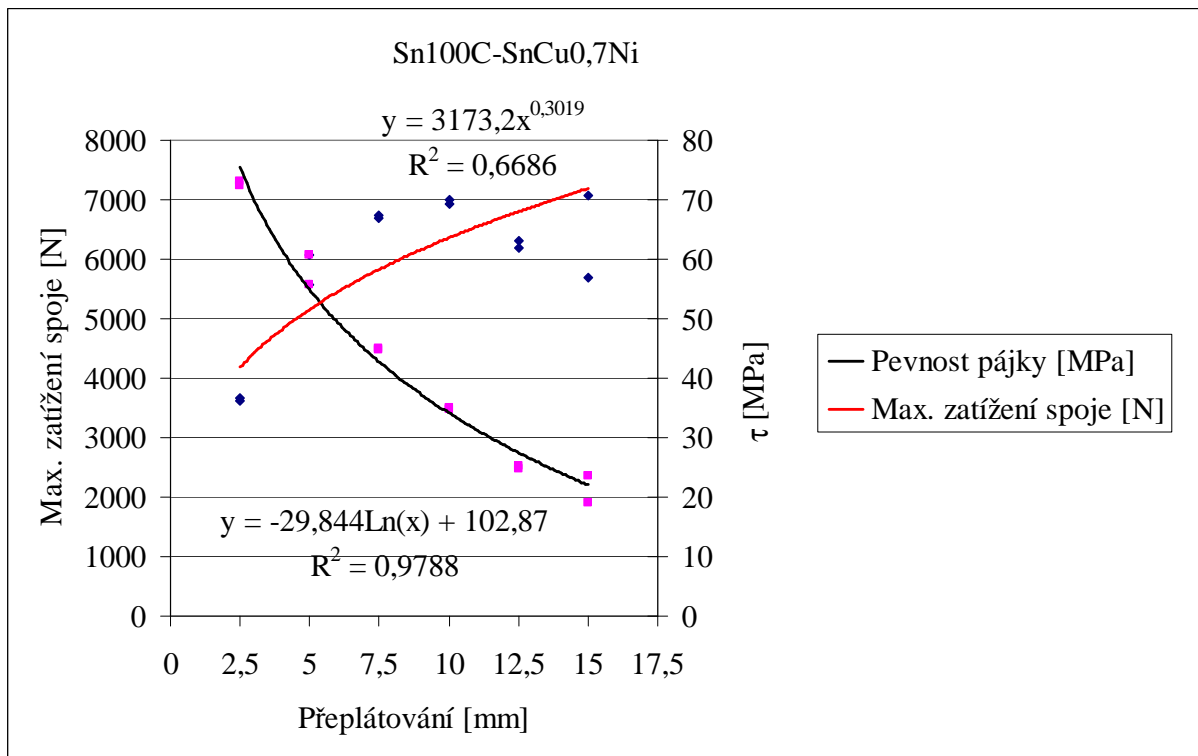
SnBi2Cu0,9				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	4420	s	88,4
2,5	20	4180	s	83,6
5	20	6160	s	61,6
5	20	6130	s	61,3
7,5	20	6020	s	40,1
7,5	20	6670	s	44,5
10	20	6040	s	30,2
10	20	6160	s	30,8
12,5	20	6860	s	27,4
12,5	20	6810	s	27,2
15	20	7140	s	23,8
15	20	6520	s	21,7



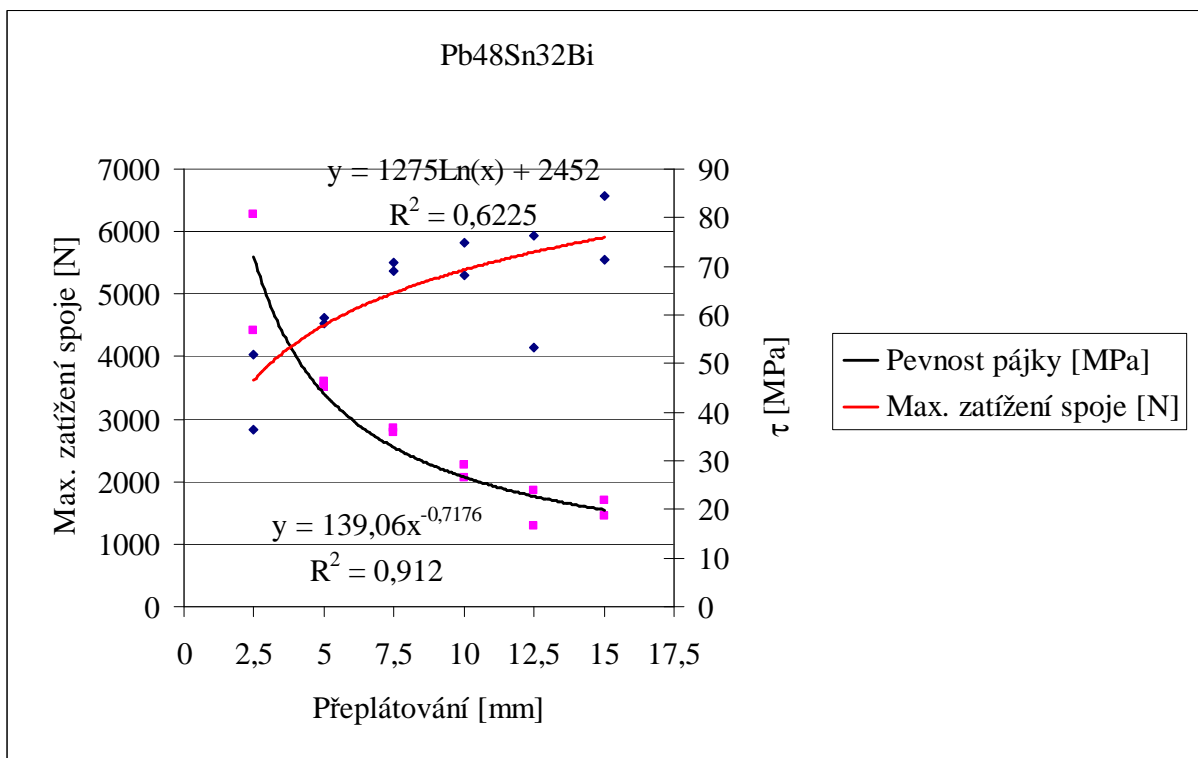
Sn96,5Ag3Cu0,5				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3820	s	76,4
2,5	20	4040	s	80,8
5	20	4490	s	44,9
5	20	4420	s	44,2
7,5	20	6700	s	44,7
7,5	20	6280	s	41,9
10	20	6080	s	30,4
10	20	6720	s	33,6
12,5	20	6610	s	26,4
12,5	20	6920	s	27,7
15	20	5980	s	19,9
14	20	6500	s	23,2



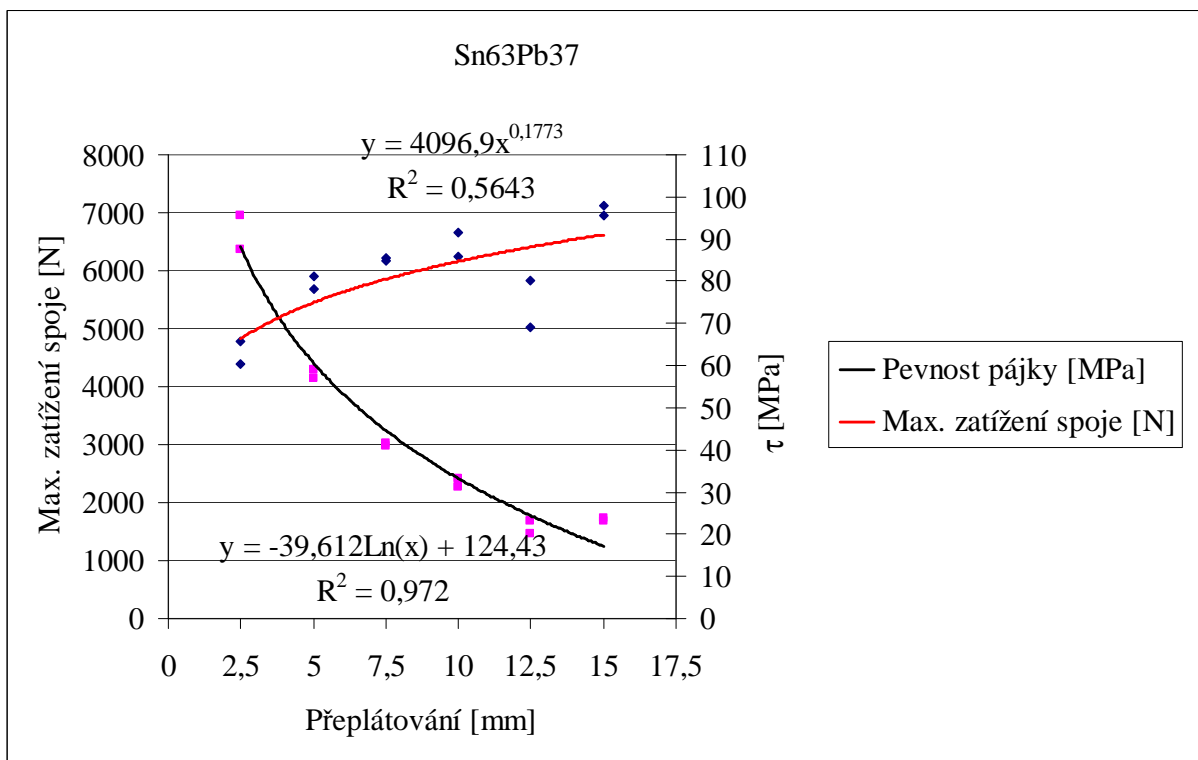
Sn100C-SnCu0,7Ni				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3660	s	73,2
2,5	20	3620	s	72,4
5	20	5560	s	55,6
5	20	6070	s	60,7
7,5	20	6740	s	44,9
7,5	20	6700	s	44,7
10	20	6930	s	34,7
10	20	6990	s	35,0
12,5	20	6300	s	25,2
12,5	20	6180	s	24,7
15	20	5680	s	18,9
15	20	7080	s	23,6



Pb48Sn32Bi				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	4040	s	80,8
2,5	20	2840	s	56,8
5	20	4520	s	45,2
5	20	4630	s	46,3
7,5	20	5380	s	35,9
7,5	20	5500	s	36,7
10	20	5300	s	26,5
10	20	5820	s	29,1
12,5	20	4140	s	16,6
12,5	20	5940	s	23,8
15	20	5550	s	18,5
15	20	6560	s	21,9

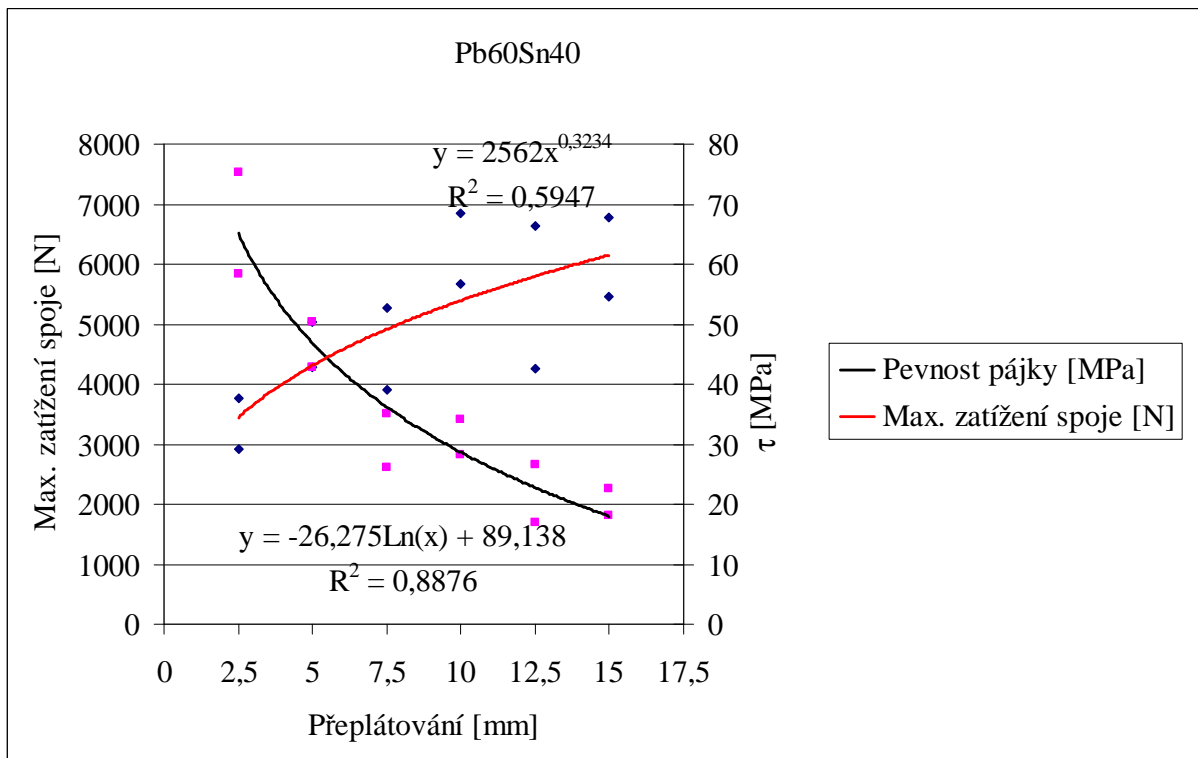


Sn63Pb37				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	4780	s	95,6
2,5	20	4380	s	87,6
5	20	5690	s	56,9
5	20	5900	s	59,0
7,5	20	6220	s	41,5
7,5	20	6160	s	41,1
10	20	6240	s	31,2
10	20	6660	s	33,3
12,5	20	5820	s	23,3
12,5	20	5020	s	20,1
15	20	7120	s	23,7
15	20	6950	s	23,2

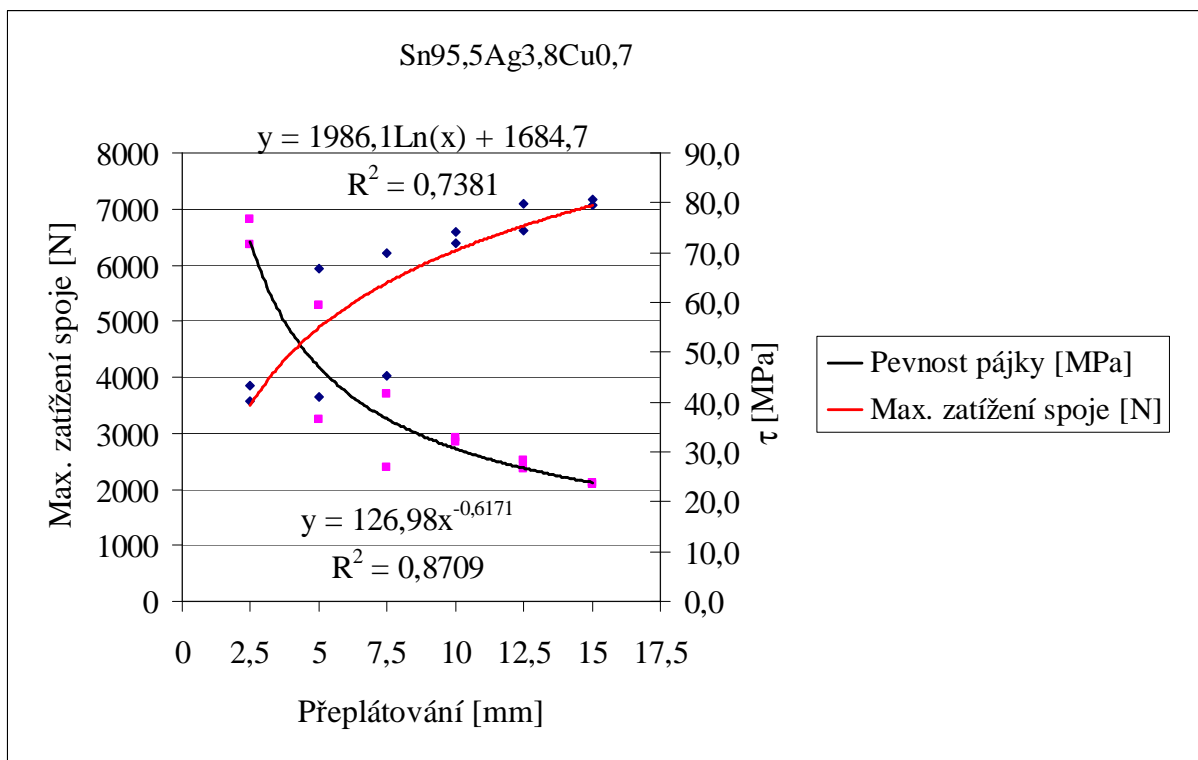




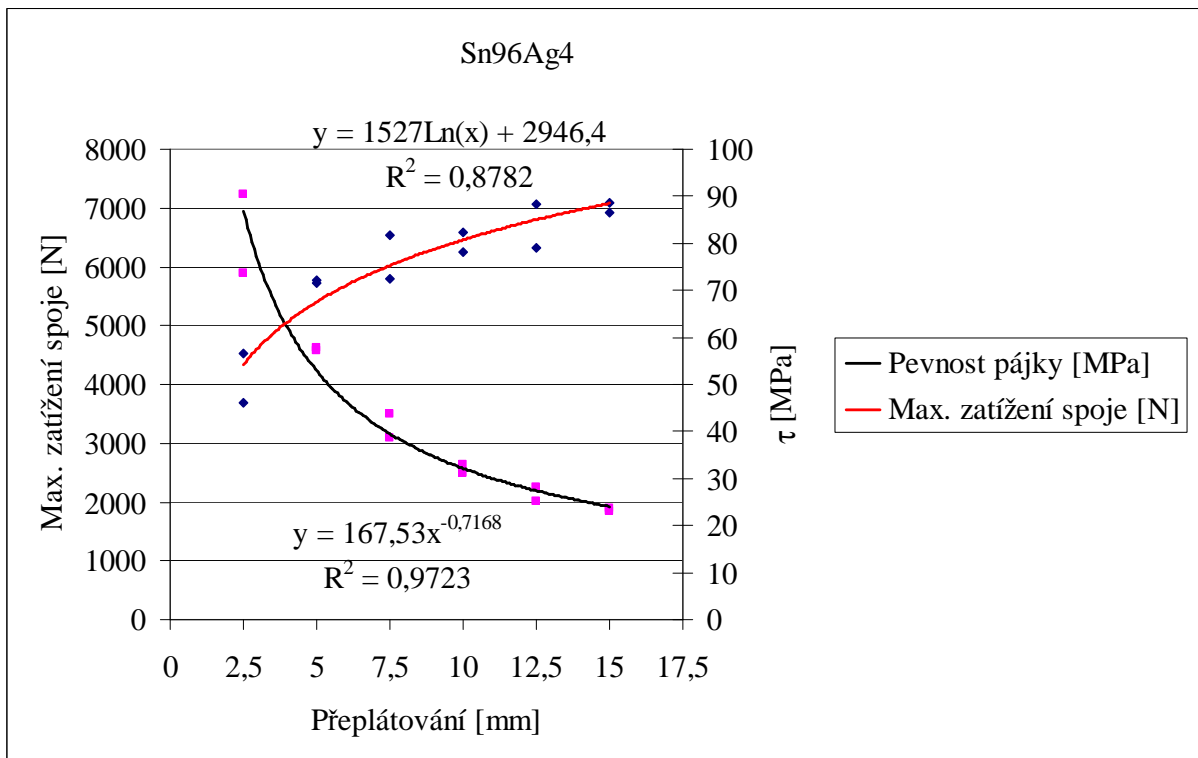
Pb60Sn40				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3770	s	75,4
2,5	20	2920	s	58,4
5	20	4280	s	42,8
5	20	5040	s	50,4
7,5	20	3910	s	26,1
7,5	20	5260	s	35,1
10	20	6840	s	34,2
10	20	5660	s	28,3
12,5	20	4260	s	17,0
12,5	20	6640	s	26,6
15	20	5450	s	18,2
15	20	6780	s	22,6



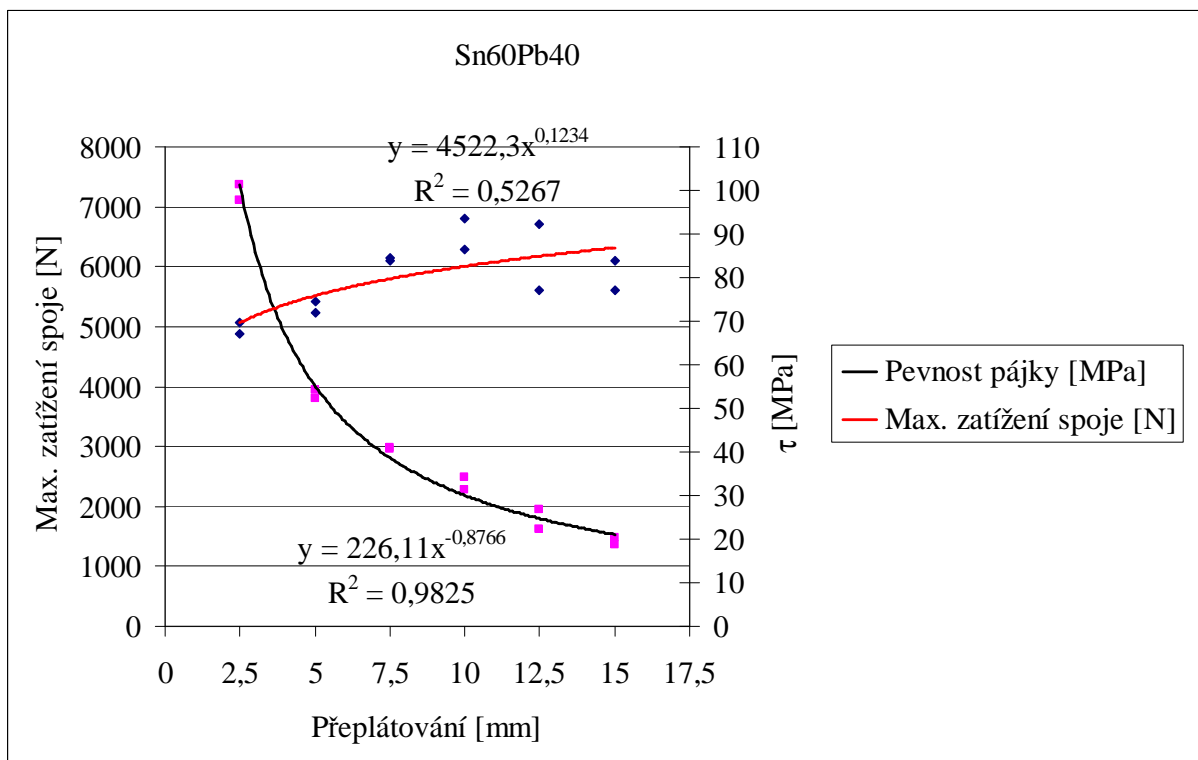
Sn95,5Ag3,8Cu0,7				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3580	s	71,6
2,5	20	3840	s	76,8
5	20	5940	s	59,4
5	20	3640	s	36,4
7,5	20	6220	s	41,5
7,5	20	4020	s	26,8
10	20	6590	s	33,0
10	20	6400	s	32,0
12,5	20	6620	s	26,5
12,5	20	7100	s	28,4
15	20	7160	s	23,9
15	20	7080	s	23,6



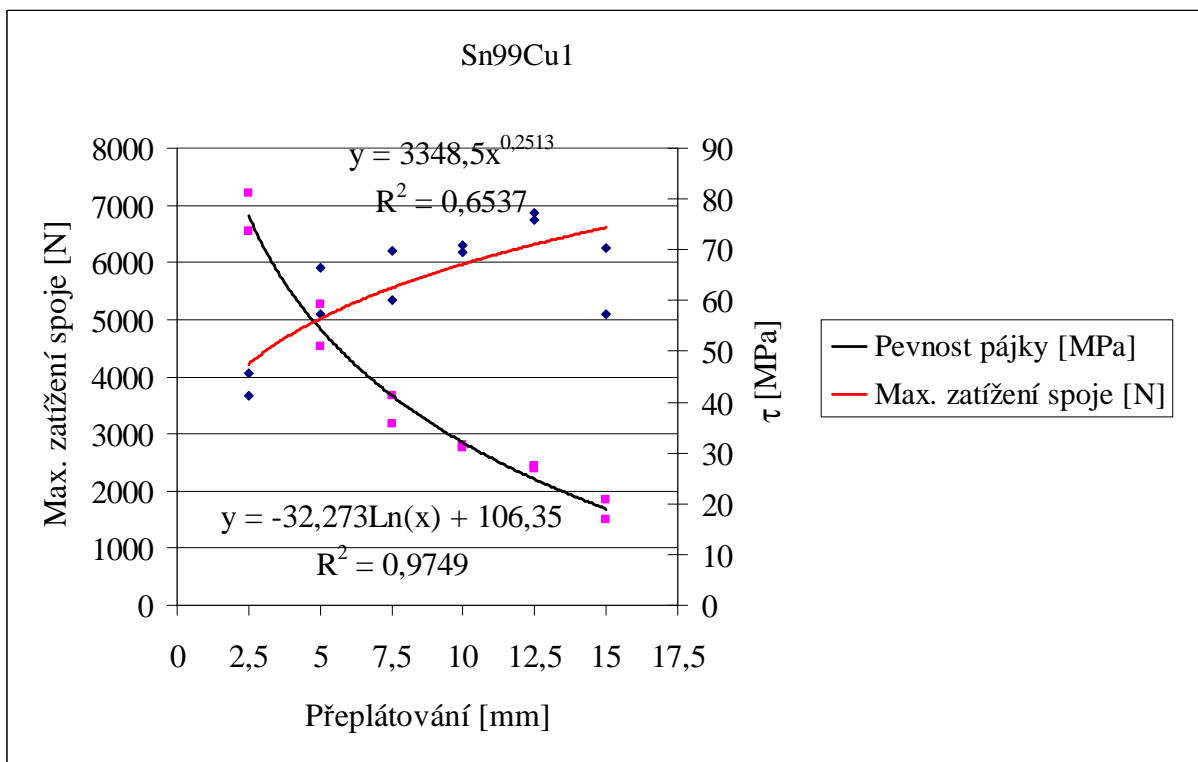
Sn96Ag4				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3680	s	73,6
2,5	20	4520	s	90,4
5	20	5720	s	57,2
5	20	5780	s	57,8
7,5	20	5800	s	38,7
7,5	20	6540	s	43,6
10	20	6580	s	32,9
10	20	6240	s	31,2
12,5	20	7060	s	28,2
12,5	20	6320	s	25,3
15	20	6920	s	23,1
15	20	7080	s	23,6



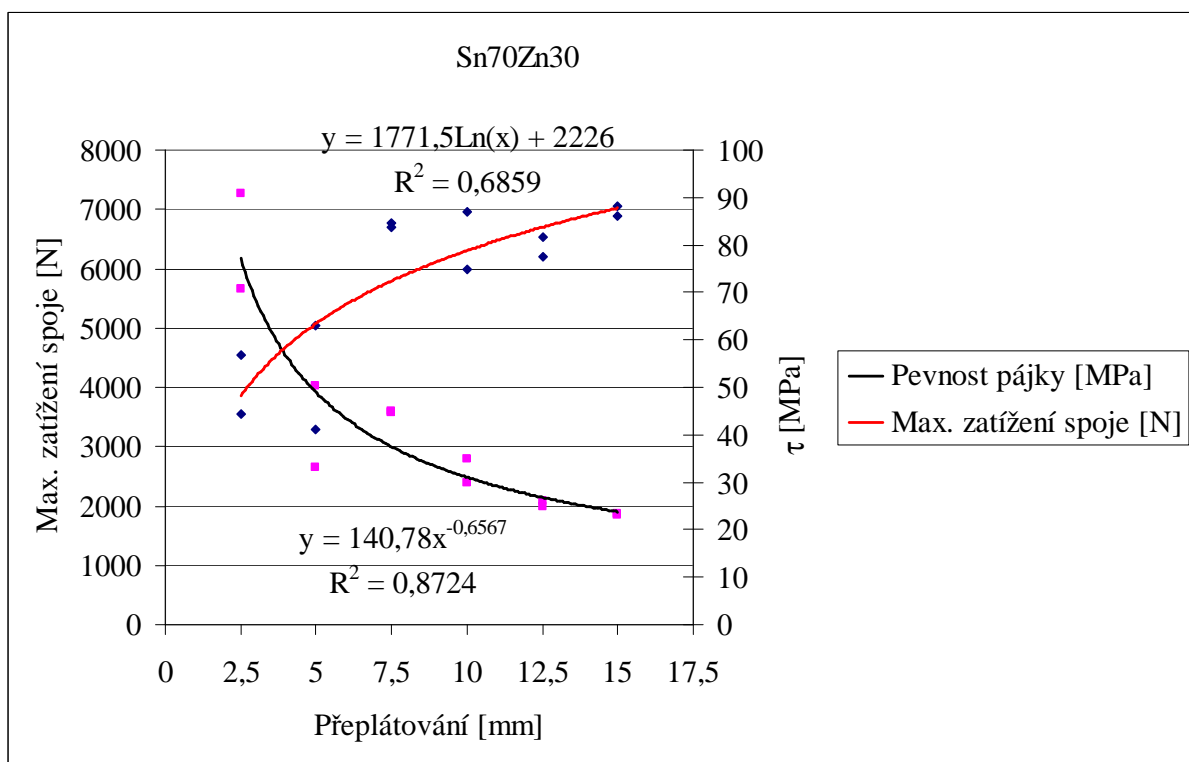
Sn60Pb40				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	5070	s	101,4
2,5	20	4880	s	97,6
5	20	5410	s	54,1
5	20	5240	s	52,4
7,5	20	6140	s	40,9
7,5	20	6100	s	40,7
10	20	6290	s	31,5
10	20	6810	s	34,1
12,5	20	5600	s	22,4
12,5	20	6700	s	26,8
15	20	6090	s	20,3
15	20	5600	s	18,7



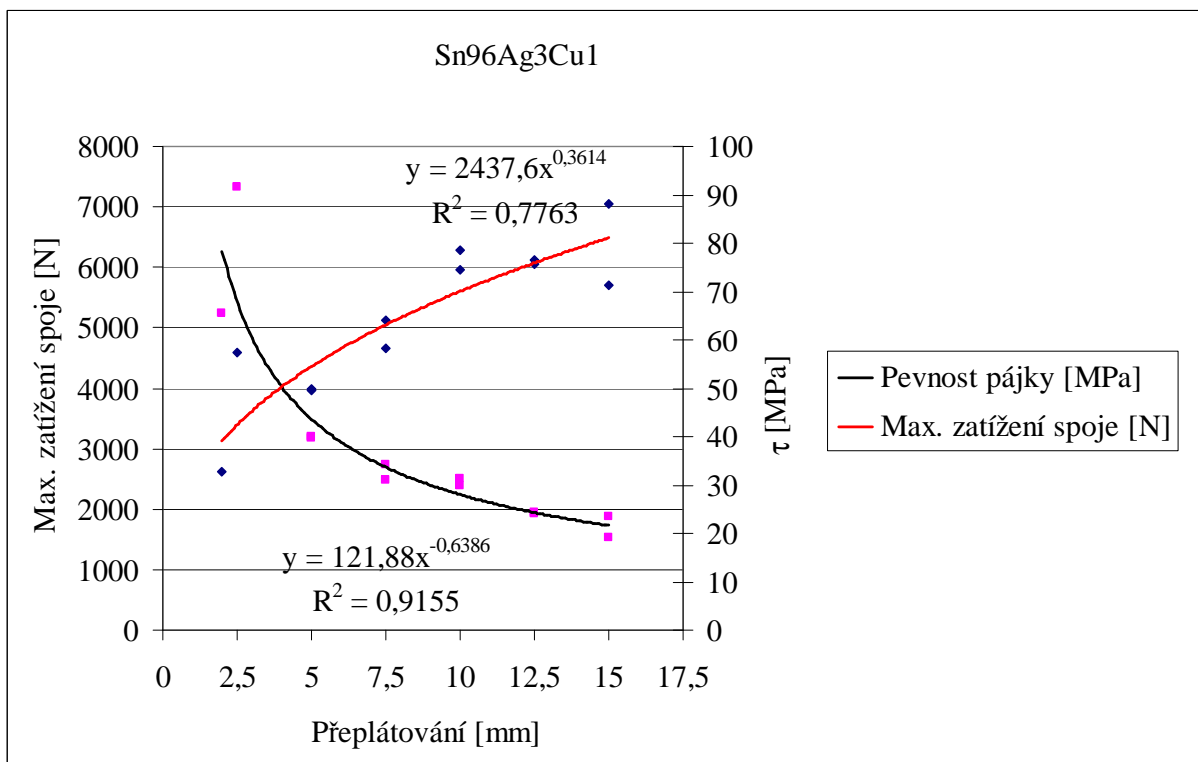
Sn99Cu1				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3680	s	73,6
2,5	20	4060	s	81,2
5	20	5920	s	59,2
5	20	5100	s	51,0
7,5	20	6200	s	41,3
7,5	20	5340	s	35,6
10	20	6180	s	30,9
10	20	6300	s	31,5
12,5	20	6870	s	27,5
12,5	20	6740	s	27,0
15	20	5100	s	17,0
15	20	6260	s	20,9



Sn70Zn30				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	4540	s	90,8
2,5	20	3540	s	70,8
5	20	3300	s	33,0
5	20	5040	s	50,4
7,5	20	6760	s	45,1
7,5	20	6700	s	44,7
10	20	5980	s	29,9
10	20	6960	s	34,8
12,5	20	6540	s	26,2
12,5	20	6200	s	24,8
15	20	6890	s	23,0
15	20	7050	s	23,5

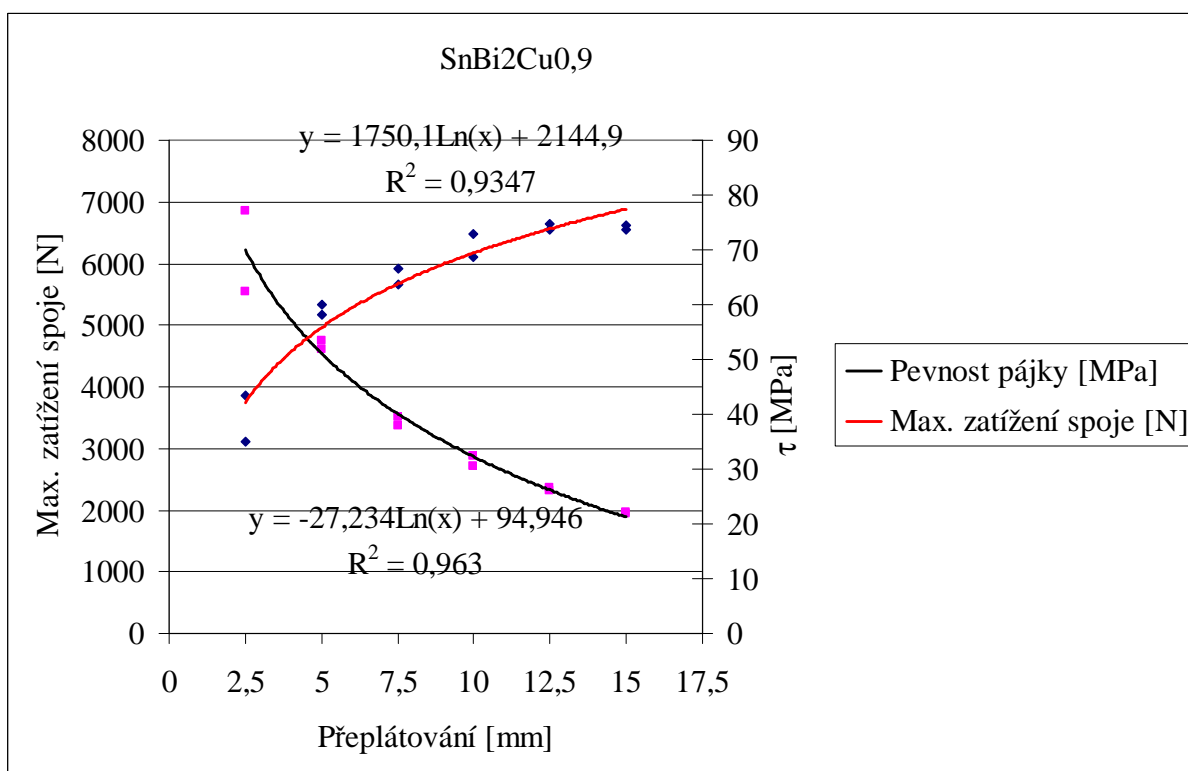


Sn96Ag3Cu1				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	4580	s	91,6
2	20	2620	s	65,5
5	20	4000	s	40,0
5	20	3960	s	39,6
7,5	20	5120	s	34,1
7,5	20	4650	s	31,0
10	20	6280	s	31,4
10	20	5950	s	29,8
12,5	20	6050	s	24,2
12,5	20	6120	s	24,5
15	20	5700	s	19,0
15	20	7040	s	23,5



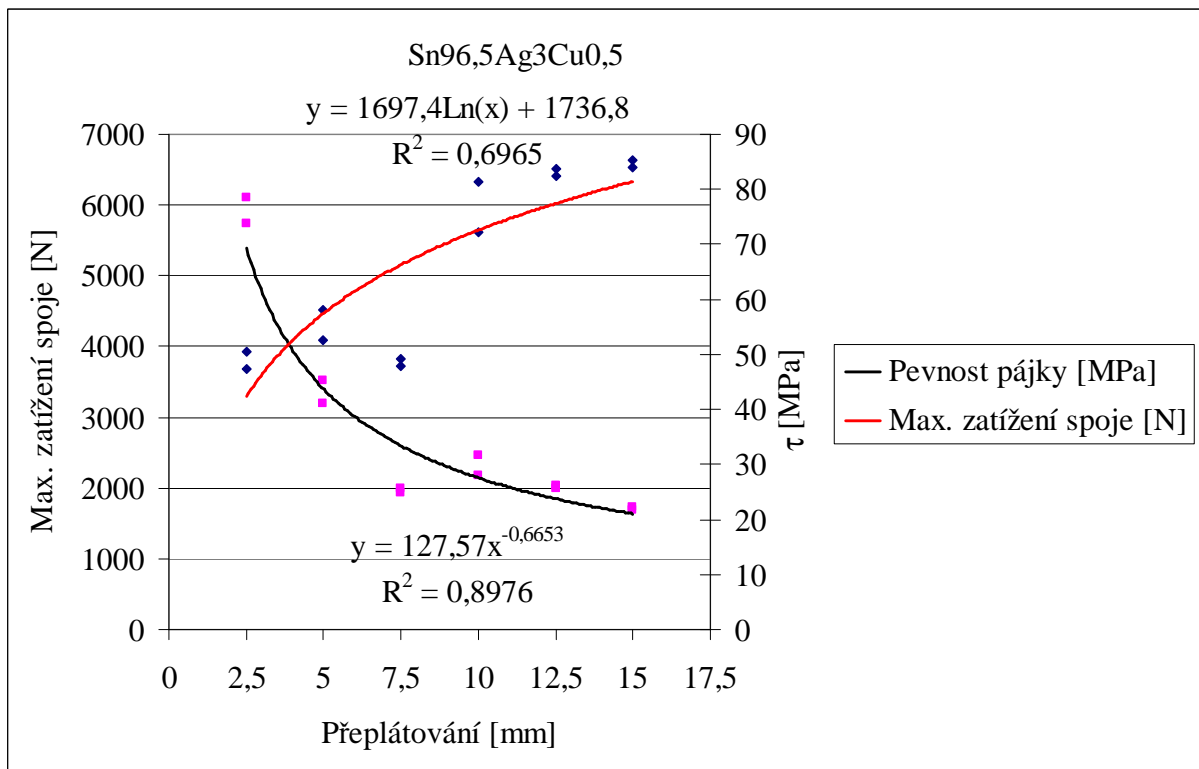
Tabulky naměřených hodnot a z nich vytvořené grafy pro konkrétní pájky a ocelový plech:

SnBi2Cu0,9				
přeplátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3860	s	77,2
2,5	20	3120	s	62,4
5	20	5180	s	51,8
5	20	5340	s	53,4
7,5	20	5920	s	39,5
7,5	20	5670	s	37,8
10	20	6470	s	32,4
10	20	6100	s	30,5
12,5	20	6640	s	26,6
12,5	20	6540	s	26,2
15	20	6560	s	21,9
15	20	6610	s	22,0

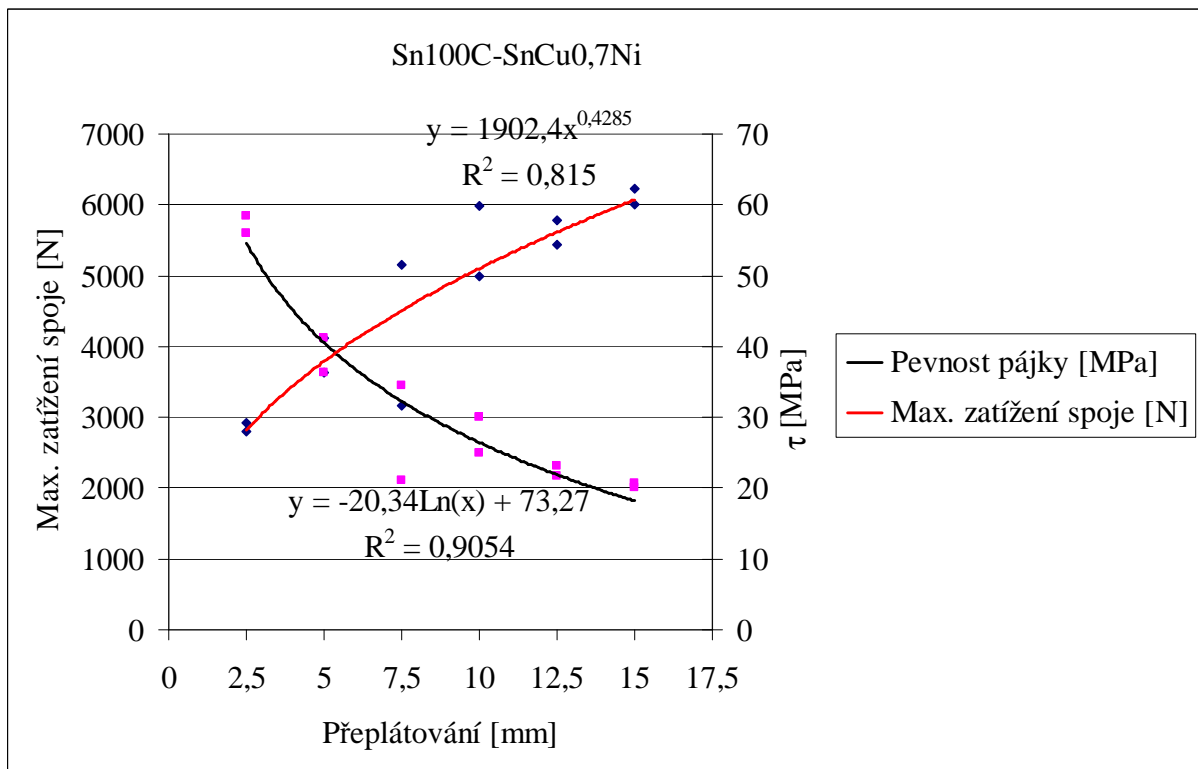




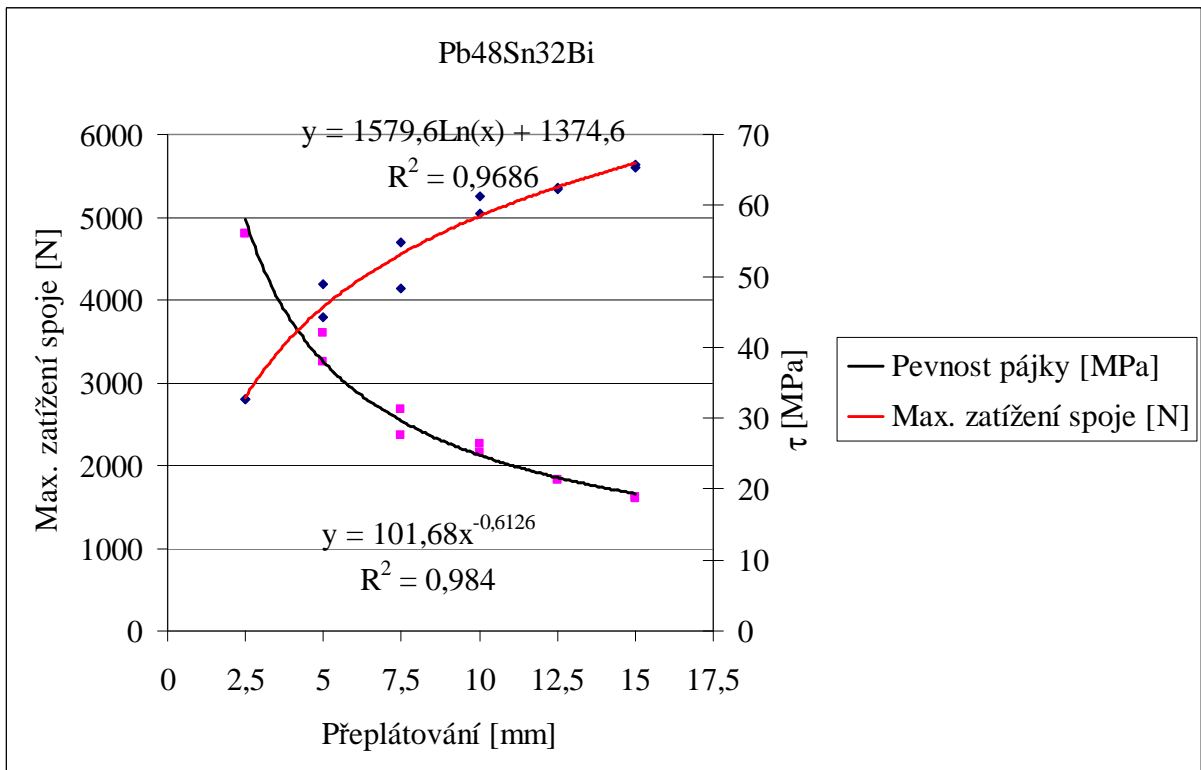
Sn96,5Ag3Cu0,5				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3920	s	78,4
2,5	20	3690	s	73,8
5	20	4100	s	41,0
5	20	4520	s	45,2
7,5	20	3830	s	25,5
7,5	20	3720	s	24,8
10	20	6320	s	31,6
10	20	5620	s	28,1
12,5	20	6520	s	26,1
12,5	20	6420	s	25,7
15	20	6540	s	21,8
15	20	6640	s	22,1



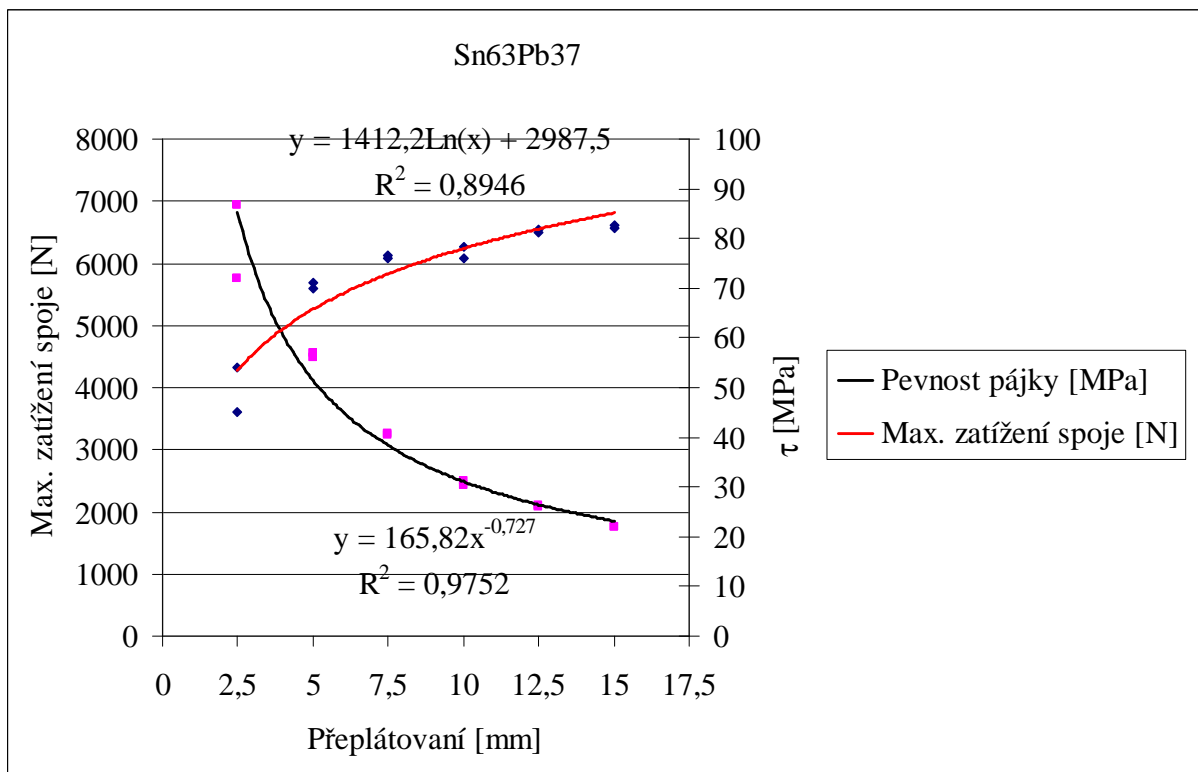
Sn100C-SnCu0,7Ni				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	2800	s	56,0
2,5	20	2920	s	58,4
5	20	3640	s	36,4
5	20	4110	s	41,1
7,5	20	5160	s	34,4
7,5	20	3160	s	21,1
10	20	5990	s	30,0
10	20	5000	s	25,0
12,5	20	5440	s	21,8
12,5	20	5780	s	23,1
15	20	6230	s	20,8
15	20	6000	s	20,0



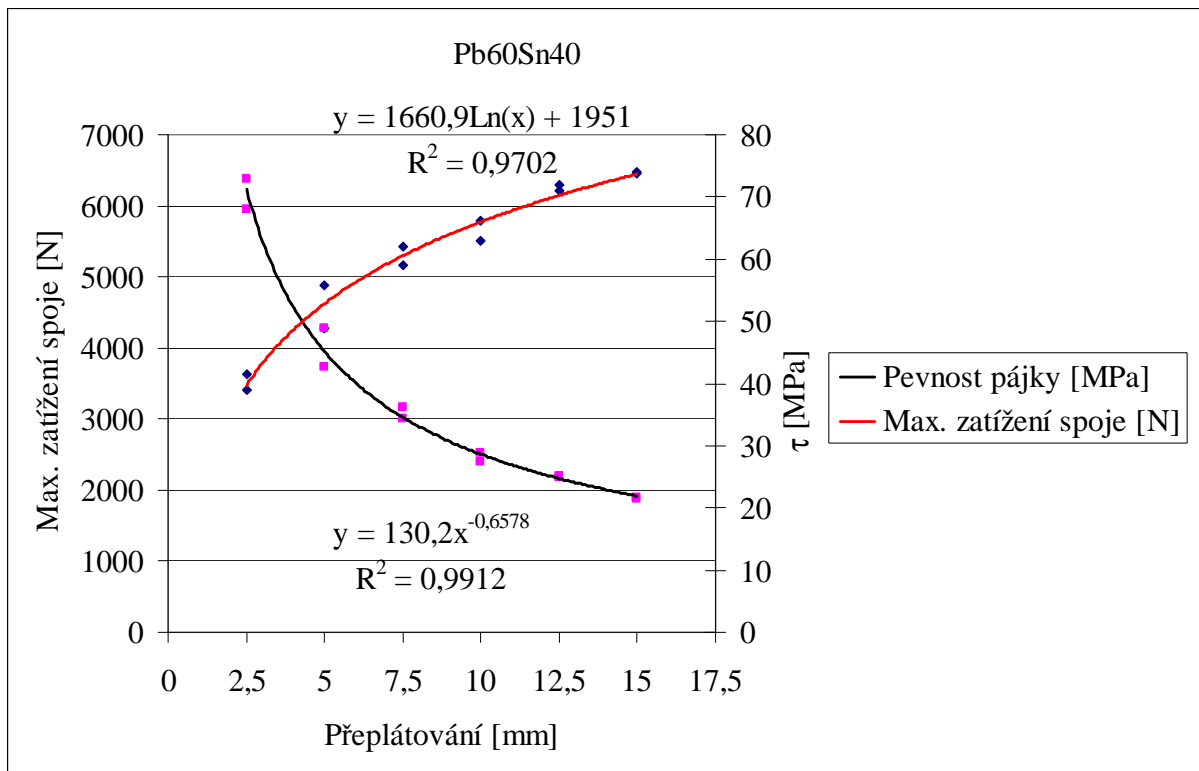
Pb48Sn32Bi				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	2800	s	56,0
2,5	20	2800	s	56,0
5	20	4200	s	42,0
5	20	3790	s	37,9
7,5	20	4690	s	31,3
7,5	20	4140	s	27,6
10	20	5260	s	26,3
10	20	5040	s	25,2
12,5	20	5340	s	21,4
12,5	20	5350	s	21,4
15	20	5600	s	18,7
15	20	5640	s	18,8



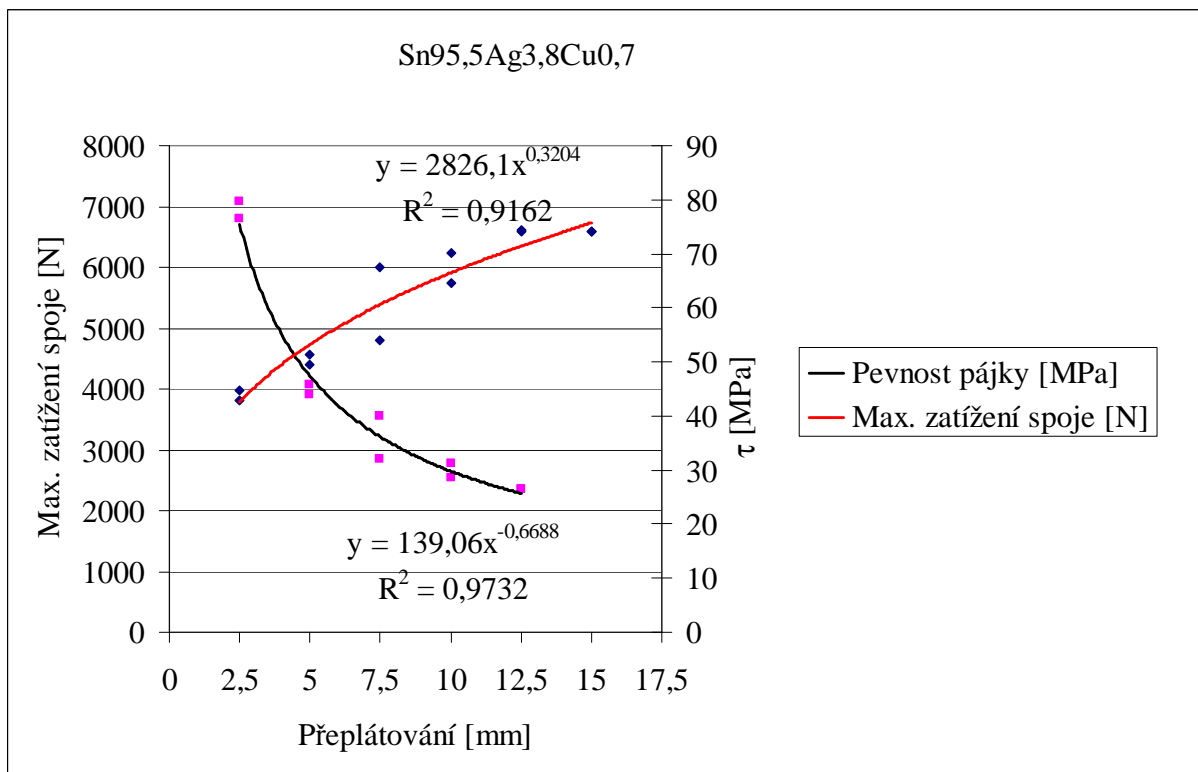
Sn63Pb37				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	4330	s	86,6
2,5	20	3600	s	72,0
5	20	5600	s	56,0
5	20	5680	s	56,8
7,5	20	6120	s	40,8
7,5	20	6080	s	40,5
10	20	6260	s	31,3
10	20	6080	s	30,4
12,5	20	6540	s	26,2
12,5	20	6490	s	26,0
15	20	6560	s	21,9
15	20	6620	s	22,1



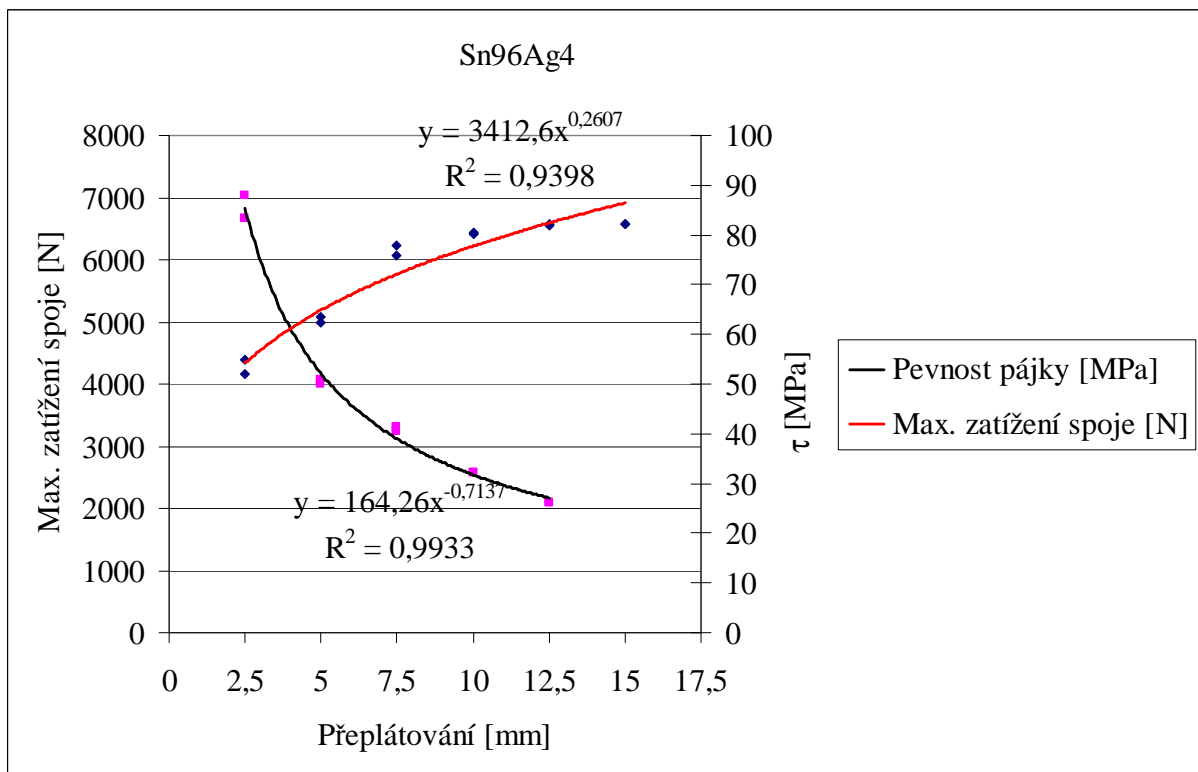
Pb60Sn40				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3400	s	68,0
2,5	20	3640	s	72,8
5	20	4890	s	48,9
5	20	4270	s	42,7
7,5	20	5430	s	36,2
7,5	20	5160	s	34,4
10	20	5780	s	28,9
10	20	5500	s	27,5
12,5	20	6220	s	24,9
12,5	20	6300	s	25,2
15	20	6480	s	21,6
15	20	6460	s	21,5



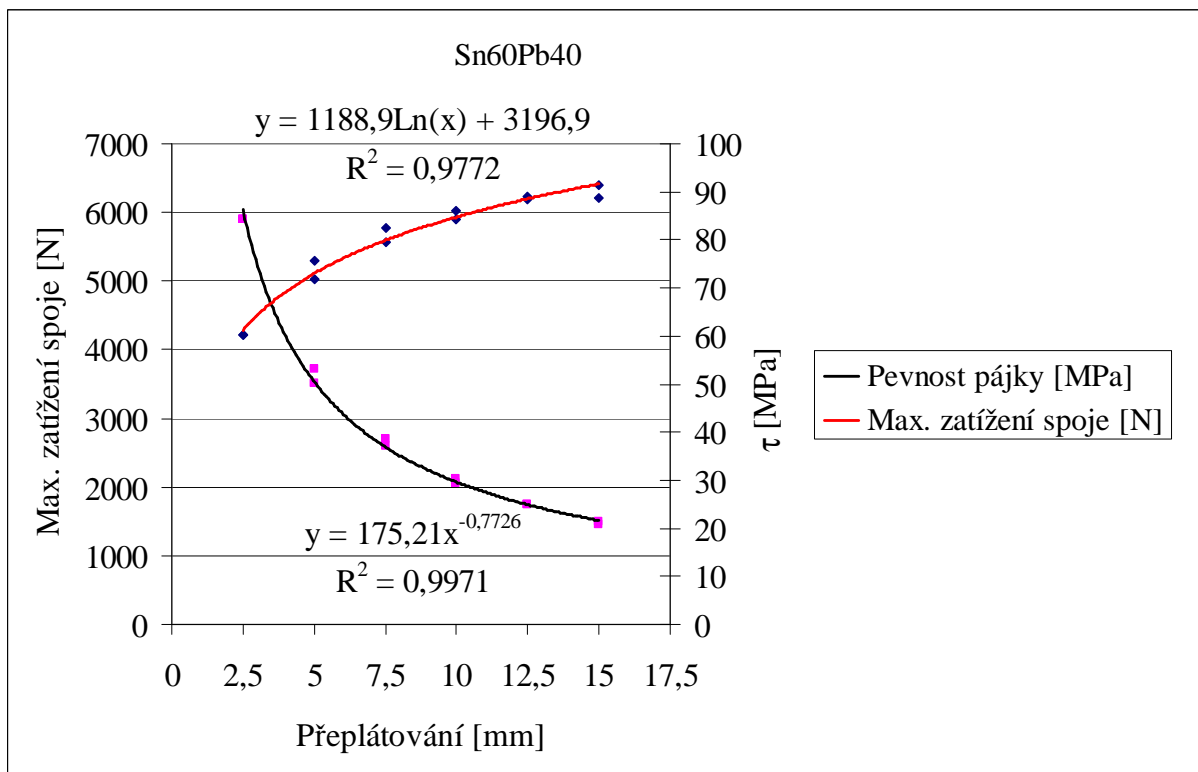
Sn95,5Ag3,8Cu0,7				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3820	s	76,4
2,5	20	3980	s	79,6
5	20	4400	s	44,0
5	20	4570	s	45,7
7,5	20	5990	s	39,9
7,5	20	4800	s	32,0
10	20	6230	s	31,2
10	20	5740	s	28,7
12,5	20	6600	s	26,4
12,5	20	6610	s	26,4
15	20	6600	P	22,0
15	20	6580	s	21,9



Sn96Ag4				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	4160	s	83,2
2,5	20	4390	s	87,8
5	20	5000	s	50,0
5	20	5090	s	50,9
7,5	20	6080	s	40,5
7,5	20	6220	s	41,5
10	20	6420	s	32,1
10	20	6440	s	32,2
12,5	20	6570	s	26,3
12,5	20	6560	s	26,2
15	20	6580	s	21,9
15	20	6580	P	21,9

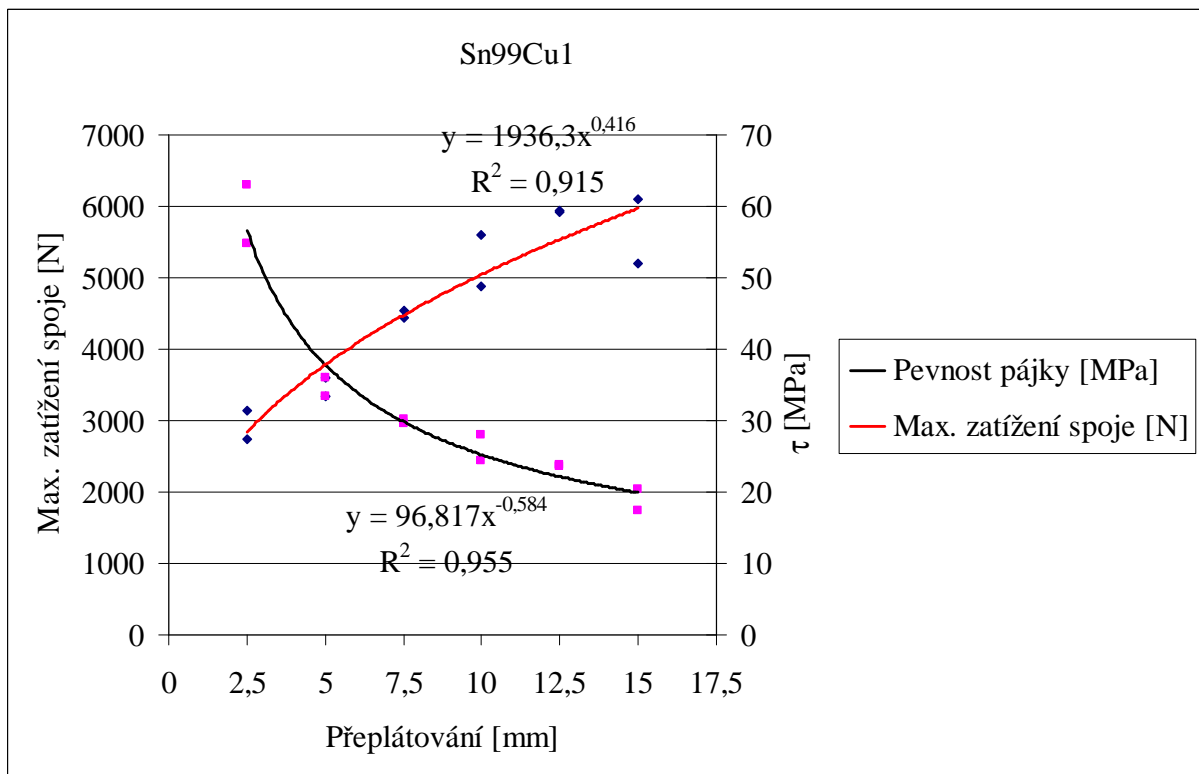


Sn60Pb40				
přeplátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	4210	s	84,2
2,5	20	4220	s	84,4
5	20	5300	s	53,0
5	20	5020	s	50,2
7,5	20	5570	s	37,1
7,5	20	5780	s	38,5
10	20	6030	s	30,2
10	20	5900	s	29,5
12,5	20	6200	s	24,8
12,5	20	6240	s	25,0
15	20	6210	s	20,7
15	20	6400	s	21,3

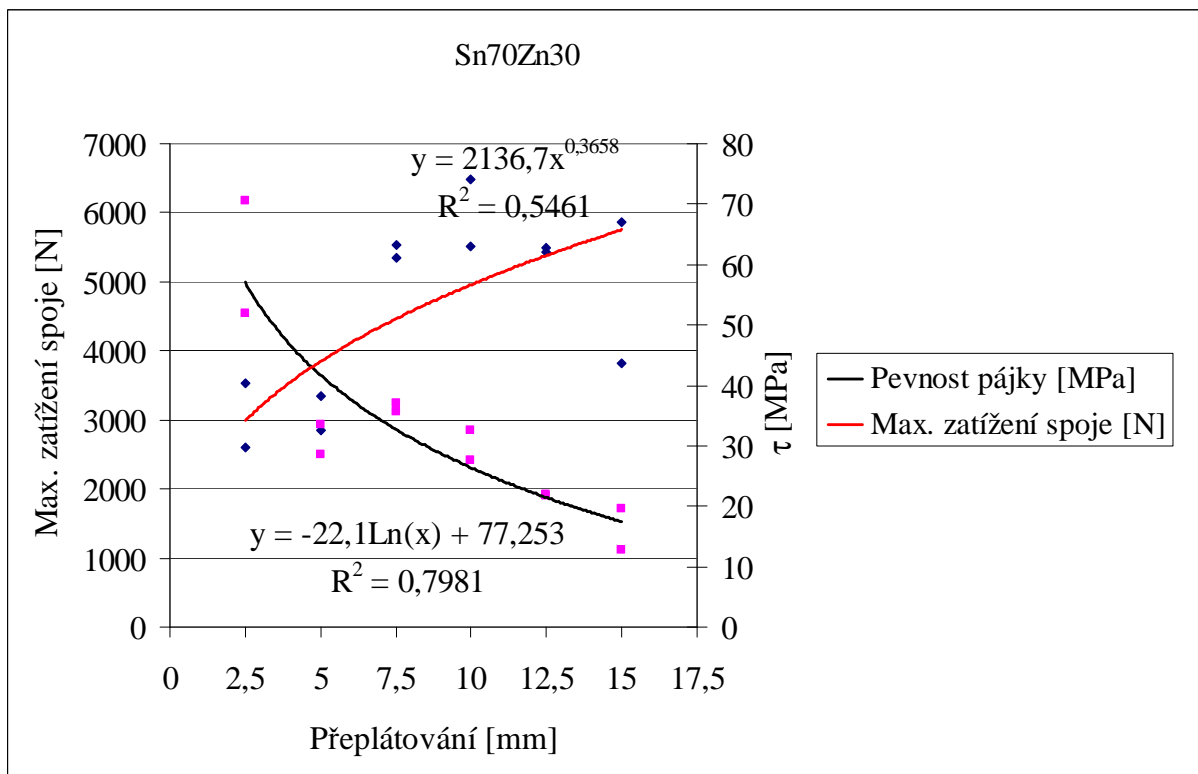




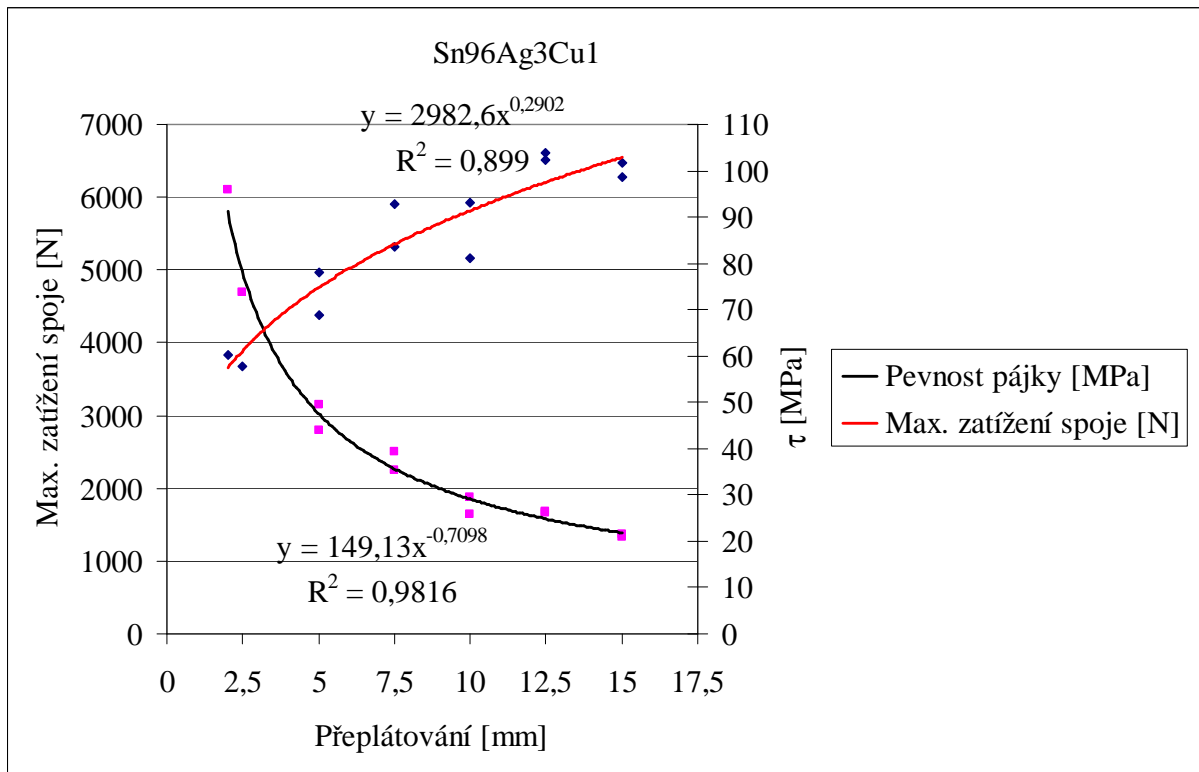
Sn99Cu1				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	2740	s	54,8
2,5	20	3150	s	63,0
5	20	3600	s	36,0
5	20	3350	s	33,5
7,5	20	4540	s	30,3
7,5	20	4450	s	29,7
10	20	5600	s	28,0
10	20	4890	s	24,5
12,5	20	5920	s	23,7
12,5	20	5940	s	23,8
15	20	6100	s	20,3
15	20	5200	s	17,3



Sn70Zn30				
překlátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3530	s	70,6
2,5	20	2600	s	52,0
5	20	3350	s	33,5
5	20	2850	s	28,5
7,5	20	5540	s	36,9
7,5	20	5350	s	35,7
10	20	6490	s	32,5
10	20	5520	s	27,6
12,5	20	5500	s	22,0
12,5	20	5430	s	21,7
15	20	3820	s	12,7
15	20	5860	s	19,5



Sn96Ag3Cu1				
přeplátování (mm)	šířka spoje (mm)	F (N)	porucha (spoj/plech)	$\tau$ (MPa)
2,5	20	3680	s	73,6
2	20	3840	s	96,0
5	20	4380	s	43,8
5	20	4960	s	49,6
7,5	20	5900	s	39,3
7,5	20	5320	s	35,5
10	20	5920	s	29,6
10	20	5160	s	25,8
12,5	20	6600	s	26,4
12,5	20	6520	s	26,1
15	20	6280	s	20,9
15	20	6470	s	21,6



**Nově vypočtené hodnoty maximálního zatížení spojů dle konkrétních trendů pro pozinkovaný ocelový plech:**

Trend	LOG	MOC	MOC	LOG	MOC	MOC	LOG	LOG	MOC	MOC	LOG	MOC	
	1293,8Ln(x) + 3488,2	2947,7x <sup>0,3191</sup>	3173,2x <sup>0,3019</sup>	1275Ln(x) + 2452	4096,9x <sup>0,1773</sup>	2562,3 <sup>0,3234</sup>	1986,1Ln(x) + 1684,7	1527Ln(x) + 2946,4	4522,3x <sup>0,1234</sup>	3348,5x <sup>0,2813</sup>	1771,5Ln(x) + 2226	2437,6x <sup>0,3614</sup>	
Pájka	S-SnBi2Cu0,9	S-Sn96,5Ag3Cu0,5	S-Sn100C-SnCu0,7Ni	S-Pb48Sn32Bi	S-Sn63Pb37	S-Pb60Sn40	S-Sn95,5Ag3,8Cu0,7	S-Sn96Ag4	S-Sn60Pb40	S-Sn99Cu1	S-Sn70Zn30	S-Sn96Ag3Cu1	
Přeplátování (mm)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	zatížení spoje (N)	MAX hodnota z řádku (N)
0,5	2591,21	2362,79	2574,05	1568,24	3623,12	2047,51	308,04	1887,96	4151,57	2813,21	998,09	1897,45	4151,57
1	3488,00	2947,70	3173,20	2452,00	4096,90	2562,00	1684,70	2946,40	4522,30	3348,50	2226,00	2824,68	4522,30
1,5	4012,59	3354,86	3586,41	2968,97	4402,27	2920,97	2489,99	3565,55	4754,33	3707,68	2944,28	3034,87	4754,33
2	4384,79	3677,41	3911,82	3335,76	4632,63	3205,77	3061,36	4004,84	4926,14	3985,65	3453,91	3239,05	4926,14
2,5	4673,50	3948,81	4184,42	3620,27	4819,59	3445,66	3504,55	4345,58	5063,67	4215,53	3849,21	3437,23	5063,67
3	4909,38	4185,36	4421,20	3852,73	4977,93	3654,94	3866,65	4623,98	5178,88	4413,17	4172,19	3629,41	5178,88
3,5	5108,82	4396,38	4631,82	4049,27	5115,86	3841,76	4172,81	4859,37	5278,34	4587,48	4445,27	3815,58	5278,34
4	5281,59	4587,76	4822,36	4219,53	5238,42	4011,30	4438,02	5063,27	5366,04	4744,04	4681,82	3995,75	5366,04
4,5	5433,98	4763,47	4996,92	4369,70	5348,97	4167,04	4671,95	5243,13	5444,60	4886,55	4890,47	4169,91	5444,60
5	5570,29	4926,34	5158,42	4504,03	5449,83	4311,48	4881,20	5404,01	5515,85	5017,66	5077,12	4338,08	5570,29
5,5	5693,60	5078,47	5309,00	4625,55	5542,70	4446,44	5070,50	5549,55	5581,10	5139,29	5245,96	4500,23	5693,60
6	5806,18	5221,45	5450,31	4736,49	5628,87	4573,34	5243,31	5682,42	5641,35	5252,91	5400,10	4656,39	5806,18
6,5	5909,74	5356,53	5583,62	4838,55	5709,33	4693,27	5402,29	5804,64	5697,35	5359,64	5541,90	4806,54	5909,74
7	6005,62	5484,72	5709,95	4933,04	5784,84	4807,11	5549,47	5917,80	5673,18	5460,39	5673,18	4950,69	6005,62
7,5	6094,88	5606,80	5830,13	5021,00	5856,04	4915,57	5686,50	6023,16	5798,85	5555,88	5795,40	5088,83	6094,88
8	6178,38	5723,47	5944,84	5103,29	5923,43	5019,25	5814,68	6121,71	5845,22	5646,73	5909,73	5220,97	6178,38
8,5	6256,82	5835,27	6054,65	5180,58	5987,44	5118,62	5935,09	6214,28	5889,11	5733,41	6017,13	5347,11	6256,82
9	6330,77	5942,68	6160,04	5253,46	6048,43	5214,12	6048,61	6301,56	5930,79	5816,36	6118,38	5467,24	6330,77
9,5	6400,72	6046,09	6261,41	5322,40	6106,69	5306,09	6155,99	6384,12	5970,50	5895,93	6214,16	5581,37	6400,72
10	6467,08	6145,87	6359,13	5387,80	6162,48	5394,85	6257,86	6462,45	6008,41	5972,42	6305,03	5689,50	6467,08
10,5	6530,21	6242,30	6453,49	5450,00	6216,02	5480,65	6354,77	6536,95	6044,69	6046,10	6391,46	5791,62	6536,95
11	6590,40	6335,66	6544,76	5509,32	6267,50	5563,72	6447,16	6607,99	6079,49	6117,19	6473,87	5887,74	6607,99
11,5	6647,91	6426,17	6633,19	5565,99	6317,09	5644,28	6535,45	6675,86	6112,93	6185,91	6552,62	5977,86	6675,86
12	6702,97	6514,03	6718,96	5620,26	6364,94	5722,51	6619,97	6740,85	6145,12	6252,43	6628,01	6061,97	6740,85
12,5	6755,79	6599,44	6802,28	5672,30	6411,17	5798,56	6701,05	6803,19	6176,15	6316,90	6700,33	6140,08	6803,19
13	6806,53	6682,56	6883,30	5722,31	6455,91	5872,57	6778,95	6863,08	6206,12	6379,47	6769,81	6212,19	6883,30
13,5	6855,36	6763,52	6962,18	5770,43	6499,25	5944,69	6853,90	6920,71	6235,09	6440,26	6836,66	6278,29	6962,18
14	6902,41	6842,47	7039,04	5816,80	6541,30	6015,02	6926,13	6976,74	6263,13	6499,39	6901,09	6338,39	7039,04
14,5	6947,81	6919,52	7114,01	5861,54	6582,12	6083,67	6995,83	7029,82	6290,31	6556,95	6963,25	6392,48	7114,01
15	6991,68	6994,78	7187,19	5904,76	6621,80	6150,74	7063,16	7081,59	6316,68	6613,05	7023,31	6440,58	7187,19
Aritmetický průměr (N)													
	5810,97	5397,09	5615,40	4741,21	5691,10	4731,12	5250,66	5688,07	5672,79	5365,34	5406,66	4907,07	5810,97
Umístění													
	1	7	5	11	2	12	9	3	4	8	6	10	

Nově vypočtené hodnoty maximálního zatížení spojů dle konkrétních trendů pro ocelový plech:

Trend	LOG	LOG	MOC	LOG	LOG	LOG	MOC	MOC	LOG	MOC	MOC	MOC	
	1750,1Ln(x) + 2144,9	1697,4Ln(x) + 1736,8	1902,4x <sup>0,4285</sup>	1579,6Ln(x) + 1374,6	1412,2Ln(x) + 2987,5	1660,9Ln(x) + 1951	2826,1x <sup>0,3204</sup>	3412,6x <sup>0,2607</sup>	1188,9Ln(x) + 3196,9	1936,3x <sup>0,416</sup>	2136,7x <sup>0,3658</sup>	2982,6x <sup>0,2902</sup>	
Pájka	S-SnBi2Cu0,9	S-Sn96,5Ag3Cu0,5	S-Sn100C-SnCu0,7Ni	S-Pb48Sn32Bi	S-Sn63Pb37	S-Pb60Sn40	S-Sn95,5Ag3,8Cu0,7	S-Sn96Ag4	S-Sn60Pb40	S-Sn99Cu1	S-Sn70Zn30	S-Sn96Ag3Cu1	MAX hodnota z řádku (N)
Přepletování (mm)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	zatižení spoje (N)	
0,5	931,82	560,25	1413,55	279,70	2008,64	799,75	2263,28	2848,44	2372,82	1451,26	1658,16	2439,14	2848,44
1	2144,90	1736,80	1902,40	1374,60	2987,50	1951,00	2826,10	3412,60	3196,90	1936,30	2136,70	2982,60	3412,60
1,5	2854,50	2425,04	2263,38	2015,07	3560,10	2624,44	3218,16	3793,08	3678,96	2292,06	2478,32	3355,03	3793,08
2	3357,98	2913,35	2560,31	2469,50	3966,36	3102,25	3528,89	4088,50	4020,98	2583,46	2753,34	3647,15	4088,50
2,5	3748,50	3292,11	2817,21	2821,97	4281,49	3472,87	3790,42	4333,40	4286,28	2834,76	2987,51	3891,14	4333,40
3	4067,58	3601,58	3046,13	3109,97	4538,96	3775,69	4018,44	4544,34	4503,04	3058,12	3193,56	4102,57	4544,34
3,5	4337,36	3863,24	3254,13	3353,46	4756,65	4031,71	4221,89	4730,68	4686,31	3260,66	3378,81	4290,26	4756,65
4	4571,05	4089,90	3445,76	3564,39	4945,22	4253,50	4406,44	4898,27	4845,07	3446,91	3547,95	4459,77	4945,22
4,5	4777,19	4289,82	3624,13	3750,44	5111,56	4449,12	4575,90	5051,01	4985,10	3620,00	3704,15	4614,85	5111,56
5	4961,58	4468,66	3791,49	3916,87	5260,35	4624,12	4733,01	5191,67	5110,36	3782,20	3849,70	4758,13	5260,35
5,5	5128,38	4630,44	3949,55	4067,42	5394,95	4782,42	4879,77	5322,28	5223,68	3935,17	3986,28	4891,57	5394,95
6	5280,66	4778,13	4099,58	4204,86	5517,82	4926,93	5017,73	5444,39	5327,12	4080,22	4115,20	5016,66	5517,82
6,5	5420,74	4914,00	4242,63	4331,30	5630,86	5059,88	5148,08	5559,19	5422,29	4218,37	4237,48	5134,55	5630,86
7	5550,44	5039,79	4379,52	4448,36	5735,51	5182,96	5271,78	5667,64	5510,39	4350,44	4353,92	5246,17	5735,51
7,5	5671,18	5156,90	4510,92	4557,34	5832,95	5297,55	5389,61	5770,51	5592,42	4477,11	4465,20	5352,27	5832,95
8	5784,13	5266,44	4637,41	4659,29	5924,09	5404,74	5502,22	5868,42	5669,13	4598,94	4571,87	5453,43	5924,09
8,5	5890,23	5369,35	4759,46	4755,05	6009,70	5505,44	5610,14	5961,90	5741,22	4716,40	4674,39	5550,25	6009,70
9	5990,26	5466,37	4877,47	4845,34	6090,42	5600,37	5713,82	6051,41	5809,18	4829,89	4773,15	5643,08	6090,42
9,5	6084,89	5558,14	4991,79	4930,74	6166,77	5690,17	5813,67	6137,31	5873,46	4939,76	4868,50	5732,32	6166,77
10	6174,65	5645,21	5102,72	5011,76	6239,21	5775,36	5910,00	6219,93	5934,44	5046,30	4960,71	5818,29	6239,21
10,5	6260,04	5728,02	5210,52	5088,83	6308,11	5856,40	6003,11	6299,55	5992,45	5149,76	5050,04	5901,25	6308,11
11	6341,46	5806,99	5315,43	5162,32	6373,81	5933,66	6093,26	6376,41	6047,76	5250,40	5136,71	5981,46	6376,41
11,5	6419,25	5882,44	5417,65	5232,53	6436,58	6007,49	6180,66	6450,74	6100,61	5348,39	5220,92	6059,12	6450,74
12	6493,74	5954,68	5517,36	5299,76	6496,69	6078,18	6265,52	6522,71	6151,21	5443,92	5302,83	6134,42	6522,71
12,5	6565,18	6023,97	5614,72	5364,24	6554,33	6145,98	6348,01	6592,50	6199,74	5537,16	5382,61	6207,52	6592,50
13	6633,82	6090,55	5709,87	5426,19	6609,72	6211,12	6428,28	6660,25	6246,37	5628,25	5460,39	6278,58	6660,25
13,5	6699,87	6154,61	5802,96	5485,81	6663,02	6273,81	6506,49	6726,10	6291,24	5717,31	5536,30	6347,72	6726,10
14	6763,51	6216,34	5894,10	5543,25	6714,38	6334,21	6582,74	6790,17	6334,48	5804,46	5610,44	6415,07	6790,17
14,5	6824,93	6275,90	5983,40	5598,69	6763,93	6392,49	6657,17	6852,58	6376,20	5889,82	5682,93	6480,73	6852,58
15	6884,26	6333,44	6070,95	5652,24	6811,81	6448,80	6729,88	6913,41	6416,50	5973,47	5753,84	6544,80	6913,41
<b>Aritmetický průměr (N)</b>	5287,14	4784,41	4340,22	4210,71	5523,05	4933,08	5187,82	5569,31	5331,52	4306,71	4294,40	5157,66	5569,31
<b>Umístění</b>	4	8	9	12	2	7	5	1	3	10	11	6	

