

Technologie montáže a pájení elektrické zabezpečovací signalizace

Bc. Miloslav Otýpka

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav elektrotechniky a měření
akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miloslav OTÝPKA**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Technologie montáže a pájení elektrické
zabezpečovací signalizace**

Zásady pro vypracování:

Bakalářskou práci vypracovat formálně členěnou na část teoretickou a praktickou.
Teoretická část bude obsahovat mimo úvodu do dané problematiky následující kapitoly:

1. Význam pájení pro efektivnost EZS
2. Podstata měkkého pájení v elektrotechnice
3. Ruční pájení (pájedla, pájky,tavidla)
4. Strojní pájení
5. Požadavky na kvalitní pájený spoj v EZS
6. Pájení vysoké spolehlivosti
7. Chyby pájení
8. Bezolovnaté pájení

Praktická část bude obsahovat

9. Identifikace nekvalitních spojů V EZS
10. Diagnostika a deskripce cínových spojů
11. Možnosti diagnostiky z hlediska elektrického měření
12. Praktikum bezolovnatého pájení

Závěr

Součástí bakalářské práce budou fotografie kvalitních a nekvalitních spojů, fázový diagram cínové pájky a přehledné tabulkové zpracování důležitých údajů.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- Abel Martin: Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce, Platan Pardubice 2000
- Szendiuch Ivan: Mikroelektronická montážní technologie, VUTIUM Brno 1997
- Abel Martin: Bezolovnaté pájení v legislativě a praxi, ABE.TEC Pardubice 2005
- Musil Vladislav: Konstrukce a technologie elektronických zařízení, VUT Brno 1994
- Svačina Jiří: Základy elektromagnetické kompatibility, VUT Brno 2005
- Sobotka Bohumír: Dílenská příručka, Elektronika I, SOUE a U Plzeň 2004
- Uhlář Jan: Technická ochrana objektů II.díl, Elektrické zabezpečovací systémy, PA ČR, Praha 2001
- Podniková norma Jablotron PN 50 131-1 poplachové systémy - Elektrické zabezpečovací systémy
- Normy ESA pro pájení vysoké kvality zemích EU

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
Ústav elektrotechniky a měření


Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2006

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. června 2006

Ve Zlíně dne 14. února 2006


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
pověřený děkan




doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se teoreticky zabývá technologií pájení a montáže systémů elektrické zabezpečovací signalizace i elektronických komponentů na deskách plošných spojů. V praktické části se snaží identifikovat a diagnostikovat nevyhovující pájené spoje v elektrické zabezpečovací signalizaci. Závěr práce přibližuje změny, které nastanou přijetím nové legislativy v souvislosti se zavedením bezolovnatého pájení. Jsou zde poskytnuty základní poznatky nových technologií a metod práce, které u výrobních, montážních a servisních firem budou zpočátku zcela jistě problémové ale jednoznačně přispějí ke zlepšení životního prostředí na Zemi.

Klíčová slova:

Ruční pájení, pájedlo, pájka, tavidlo, strojní pájení, kvalitní pájený spoj, chyby pájení, bezolovnaté pájení, elektrická zabezpečovací signalizace.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals theoretically with soldering technology and assembly of electrical alarm systems and electronic components on printed circuit boards. In the practical part the thesis identifies and diagnoses unsatisfactory soldered connections in electrical alarm systems. At the conclusion there are outlined changes linked to a new legislative coming in force regarding leadless soldering. There are basic knowledge on new technologies and methods of work concerned, which will be a trouble at first for production, installation and service companies, but positively contribute to improvement of the environment.

Keywords:

Manual soldering, soldering iron, solder, flux, machine soldering, quality soldered connection, soldering errors, leadless soldering, electrical alarm systems.

Děkuji doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc. za vedení bakalářské práce, poskytování odborných rad a doporučení. Současně vyjadřuji poděkování vedení firmy Šimčák - elektro, s.r.o. Kroměříž, které mi zajistilo technickou podporu a inspirovalo v metodách praktického výzkumu.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně 31. května 2006

.....

Miloslav Otýpka

OBSAH

ÚVOD	7
I. TEORETICKÁ ČÁST	8
1 VÝZNAM PÁJENÍ PRO EFEKTIVNOST EZS.....	9
2 PODSTATA MĚKKÉHO PÁJENÍ V ELEKTROTECHNICE.....	14
3 RUČNÍ PÁJENÍ.....	17
3.1 PÁJEDLA.....	19
3.2 PÁJKY.....	21
3.3 TAVIDA	25
4 STROJNÍ PÁJENÍ	29
5 POŽADAVKY NA KVALITNÍ PÁJENÝ SPOJ V EZS	33
6 PÁJENÍ VYSOKÉ SPOLEHLIVOSTI.....	37
7 CHYBY PÁJENÍ.....	38
8 BEZOLOVNATÉ PÁJENÍ	40
II. PRAKTICKÁ ČÁST	47
9 IDENTIFIKACE NEKVALITNÍCH SPOJŮ V EZS	48
10 DIAGNOSTIKA A DESKRIPTIVNÍ PÁJENÝCH SPOJŮ	73
11 MOŽNOSTI DIAGNOSTIKY Z HLEDISKA ELEKTRICKÉHO MĚŘENÍ.....	75
12 PRAKTIKUM BEZOLOVNATÉHO PÁJENÍ	77
12.1 RUČNÍ PÁJENÍ.....	77
12.2 PÁJENÍ VLNOU.....	79
12.3 PÁJENÍ PŘETAVENÍM	80
ZÁVĚR	81
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	82
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	84
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	85
SEZNAM TABULEK.....	89

ÚVOD

Bakalářská práce o montáži a pájení elektrické zabezpečovací signalizace vychází z praxe získané při výuce žáků elektrotechnických oborů na Střední škole – Centrum odborné přípravy technické v Kroměříži. Zkušenosti jsem doplnil o poznatky z roční pracovní stáže u německé firmy EURO SPACE a italských firem LABEN a CARLO GAVAZZI. Teoretickou nadstavbou práce byly odborná literatura a vědomosti získané v bakalářském studiu na UTB ve Zlíně.

Po dobu několika let jsem shromáždil značné množství teoretických materiálů různých autorů, zabývajících se problematikou montáže a pájení. Technologii pájení aktuálně zkoumá řada vysokých škol technického zaměření. Vynikajícími zdroji pro mou práci byly výzkumy doc. Ing. Ivana Szendiucha, CSc. z Ústavu mikroelektroniky VUT Brno. Při experimentálním ověřování jsem vycházel z doporučení a rad doc. RNDr. Vojtěcha Křesálka, CSc. z Fakulty aplikované informatiky UTB ve Zlíně. Z praktického pohledu mne silně inspirovaly výrobní programy kroměřížských firem Šimčák - elektro, s.r.o., AEV s.r.o., a ELMA - THERM, spol. s r.o.

Před zahájením vlastního výzkumu jsem si položil kardinální otázku: „***K čemu je vlastně potřebná dobrá znalost pájení v EZS?***“ Praktické zkušenosti z výroby a montáže elektronických zařízení a tedy i EZS jednoznačně dokazují, že nejvyšší poruchovost těchto systémů způsobují nekvalitní spoje. Při výrobě prvků a osazování desek plošných spojů pro EZS a EPS dominantně převažují spoje pájené. Také u montáže těchto systémů mají pájené spoje své nezastupitelné místo. Bude tedy potřebné a užitelné se touto problematikou zabývat i v průmyslu komerční bezpečnosti.

Bakalářská práce se v limitovaném rozsahu snaží postihnout teorii pájení, deskripci jednotlivých metod, včetně možností praktické diagnostiky. Závěrečná část se zabývá změnami ve výrobních zařízeních, vznikajících přijetím nové legislativy, přinášející zásadní obrat v technologii bezolovnatého pájení, který je povinna každá země Evropské unie respektovat od 1. července 2006.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝZNAM PÁJENÍ PRO EFEKTIVNOST EZS

Ucelený bezpečnostní systém sestává z řady navzájem propojených technických prvků. Hovoří se o struktuře **integrovaného bezpečnostního systému**, kterou tvoří:

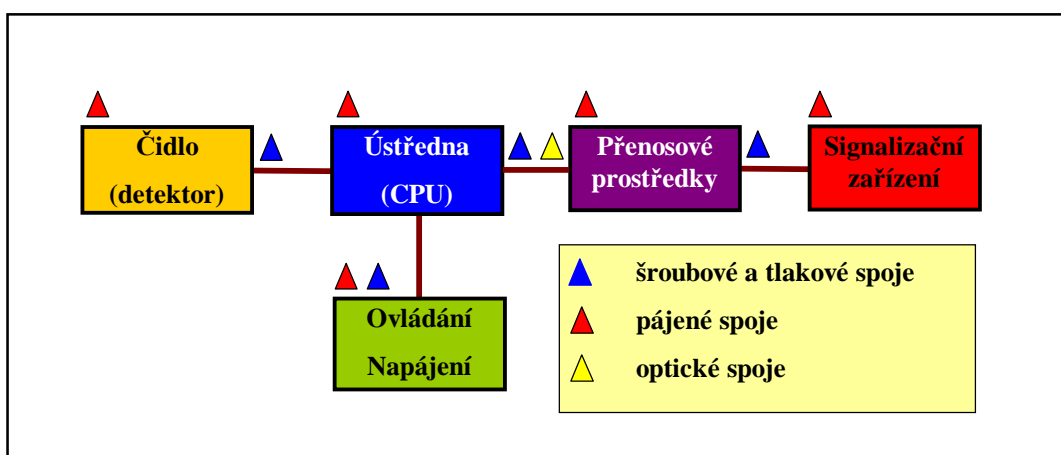
- § **mechanické zábranné systémy**
- § **elektrické zabezpečovací systémy**
- § **organizační opatření a ostraha**

V naší práci se zabýváme EZS a to především z hlediska montáže a pájení:

- *elektronických komponentů na DPS tvořící samostatný celek*
- *vzájemným propojením těchto celků v celý systém EZS*

EZS je definována jako monitorovací a signalizační zařízení a prostředky, které identifikují, registrují, zpracovávají, ukládají a přenášejí informace zda došlo k napadení chráněných objektů. Je to soubor prvků schopných dálkově, opticky či akusticky, signalizovat na určeném místě vstup (pokus o vstup) nebo přítomnost narušitele ve střeženém objektu.

EZS je složen z pěti základních prvků, které plní své specifické funkce a ve své integritě tvoří tzv. **zabezpečovací řetězec** (*Obr.1*).



Obr. 1. Blokové schéma zabezpečovacího řetězce a nejčastěji využívané spoje.

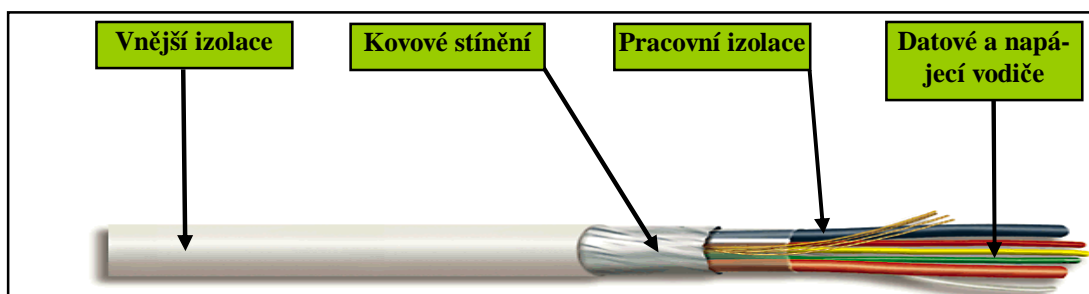
EZS má smysl ve své účinnosti jen tehdy, pokud jeho reaktivita je taková, že pokryje časový interval potřebný k překonání překážky pachatelem. Budování EZS (stejně jako celé bezpečnostní politiky) se řídí dvojjediným pravidlem nazvaným **princip úměrnosti**:¹

1. Náklady na zřízení EZS musí být menší, než předpokládaná ztráta v případě bezpečnostního incidentu.
2. EZS má cenu případného útoku zvýšit nad předpokládaný zisk útočníka v případě úspěšného překonání EZS.

Funkčnost a spolehlivost EZS je determinována operačními prvky jeho struktury. Pak také samozřejmě platí, že funkčnost operačních prvků je dána mimo jiné i fungováním jednotlivých komponentů, jejich technologií montáže a kvalitou spojů v příslušných provozních podmínkách. V EZS rozlišujeme obvykle dvě skupiny spojů. Je to soustava spojů napájecího rozvodu a signálové spoje. Spoj je realizován vždy tak, aby byl dlouhodobě spolehlivý a vznikal na něm minimální úbytek napětí. Jde nám o trvalé zajištění zanedbatelného přechodového odporu.

V praxi se používají následující druhy vodičů:

§ drátové a stíněné vodiče



Obr. 2. Drátové stíněné vodiče pro montáž EZS.

¹ Princip úměrnosti takto definoval Ing. Marek Čandík, Ph.D. na přednáškách na Fakultě aplikované informatiky UTB ve Zlíně.

Drátové vodiče jsou z mědi, tvrdé nebo lanka. Mohou být bez izolace (holé) nebo s izolací z měkčeného PVC, silikonu, teflonu aj. a mívají i stínění.

§ koaxiální kabel

Nejčastěji má polyetylenové nebo teflonové dielektrikum a stínění. Pro přenos videosignálu s plnou rozlišovací schopností (6,5 MHz) bez korekčních videozesilovačů je limitní vzdálenost stovky metrů. Nevýhodou tohoto druhu přenosu je galvanické propojení systémů, což může přinést problémy s vyrovnávacími zemními proudy (brumové pásy přes obraz u CCTV) a riziko přenosu přepětových pulsů.

§ kroucený dvojitý vodič (twisted)

Obvyklé otočení je v délce 10 až 20 mm a volí se podle požadované impedance. Jedná se o levnější náhradu koaxiálních vodičů, kdy je třeba zajistit odolnost proti rušení. Proti impulsnímu rušení naindukovanému do přenosové trasy je dokonce odolnější jak klasický koaxiální kabel. Twisted je využíván v telefonní technice i digitálních rozvodech. Na větší vzdálenost se používá jeho stíněné provedení. U systémů CCTV umožňuje přenos až na vzdálenost cca 5 km.

§ plošný spoj

Používá se v řadě elektronických aplikací, především pro montáž komponentů subsystémů EZS a EPS.

§ optické vlákno

Optický kabel se skládá z jemných skleněných vláken s vysokou optickou propustností pro světelné paprsky. Ztráty přenosu jsou velmi nízké a nedochází k žádným elektrickým interferencím. Kabely jsou schopné přenášet velké množství signálů najednou. U profesionálních aplikací bez průběžného zesílení je přenos možný až na cca 100 km. Má specifické vlastnosti:

§ absolutní odolnost proti vlivům elektromagnetických polí

§ galvanické oddělení umožňuje propojení míst s rozdílným potenciálem

§ nemá rušivé vyzařování a je odolné proti odposlechu

Nevýhodou je vyšší cena (to nemusí platit u velkých projektů) a vysoká kvalifikační náročnost projekce, montáže a servisu.

Problematikou montážních prací elementárních prvků a vzájemnému propojování systémů EZS se zabýváme v předkládané bakalářské práci. **Pro vnitřní rozvody sdělovacích vedení jsou vydány předpisy (ČSN 34 2300), kde se mimo jiné uvádí [6]:**

- § vedení se klade přímočaře a to svisle a vodorovně, aby bylo co nejkratší
- § technické požadavky zařízení a druh prostředí jsou rozhodující pro volbu vodičů a kabelů
- § vedení EPS a EZS musí mít pouze měděná jádra a výsledný izolační odpor vedení nesmí klesnout pod $500 \text{ M}\Omega^2$
- § vedení se ukládá nejčastěji pod omítku, do trubek, lišt, žlabů, kanálů či dutin stavebních konstrukcí
- § vedení musí být rozlišeno ve svorkovnicích, krabicích a skříních alfanumericky nebo barevně
- § jádra vodičů a kabelů se spojují a připojují **pájením, šroubovými nebo bezšroubovými tlakovými spojkami nebo jiným rovnocenným způsobem**. Spojení nesmí snížit hodnotu izolace a smí se provádět jen v krabicích, rozvodkách, rozvodných skříních, přístrojích a spotřebičích. Přechodový odpor musí být trvale co nejmenší. Vodiče a kabely se nesmí spojovat v elektroinstalačních trubkách, lištách a podobném úložném materiálu. Spojení vodičů a kabelů nesmí být namáháno tahem. V prostorách s vnějšími vlivy, kde je nebezpečí koroze, se musí volit kovy v takové kombinaci aby elektrotechnická koroze byla co nej-

² Minimální hodnota izolačního odporu $500 \text{ M}\Omega$ je uvedena v [6]. Tato hodnota se nám jeví jako příliš vysoká, avšak nepodařilo se nám ji zpochybnit porovnáním s požadavky norem. Především z hlediska delšího časového horizontu máme za to, že je trvale prakticky těžce dosažitelná.

menší. Pro zamezení přístupu korozivních činitelů se používá nátěr, uzavření a zalití.

V řadě odborných publikací [10] je uváděno, že více jak **50% závad elektrických obvodů je způsobeno právě nedokonalým spojením součástek a jednotlivých systémů**. To negativně ovlivňuje funkčnost a spolehlivost EZS, zvyšuje četnost falešných poplachů³ a efektivnost zabezpečovacího systému ve všech jeho složkách. Technologii montáže EZS lze považovat za kardinální fenomén a to především u vyšších kategorií rizikovitosti chráněného objektu. Musíme mít na paměti, že při kvantifikaci možných rizik mohou následky škod být značné až katastrofální (atomové elektrárny, státní pokladny, sklady výbušnin, peněžní ústavy, prodejny zbraní, letiště apod.).

³ Nežádoucí poplach bývá označován jako „planý“ nebo „falešný“. Tyto pojmy jsou většinou používány pro stejný jev jako synonyma. JUDr. Vladimír Laucký z Fakulty aplikované informatiky UTB ve Zlíně říká: „Plané jsou jen hrušky a višně, chybný poplach je vždy jen falešný.“ Pro posuzování funkce čidel EZS jsou však tyto termíny rozlišovány podle [17] takto:

- § **planý poplach** (NAR) je blíže neurčený poplach, způsobený nejčastěji chybou obsluhy nebo vnějšími vlivy. Jeho četnost je vyjádřena: $NAR \leq 1x \text{ týdně}$
- § **falešný poplach** (FAR) je způsobený chybnou funkcí systému (např. závada elektroniky) a není zaviněn obsluhou. Jeho četnost je vyjádřena: $FAR \leq 1x \text{ za 2roky}$

2 PODSTATA MĚKKÉHO PÁJENÍ V ELEKTROTECHNICE

Historie pájení v elektrotechnice nabízí několik členících hledisek. Základní dělení je na **měkké pájení** a **tvrdé pájení**. Hranice mezi oběma druhy je teplota tavení pájky, která je u měkkého pájení nižší jak 500°C [1].⁴ Měkké pájení je dominantní metodou pro elektrické spojování komponentů elektrické zabezpečovací signalizace. Pájené komponenty pro vytvoření kvalitního spoje musí mít i vyhovující pájitelnost tj. schopnost jejich povrchu být smáčitelný pájkou během procesu pájení. Je to vlastnost plochy, vyjadřující její schopnost vytvořit na povrchu při styku s roztavenou pájkou souvislou vrstvu pájecího materiálu. Smáčivost je ovlivňována mimo typu smáčeného materiálu řadou dalších faktorů, jako je např. složení pájky, obsah nečistot, drsnost pájených povrchů, stupeň oxidace pájených ploch apod.

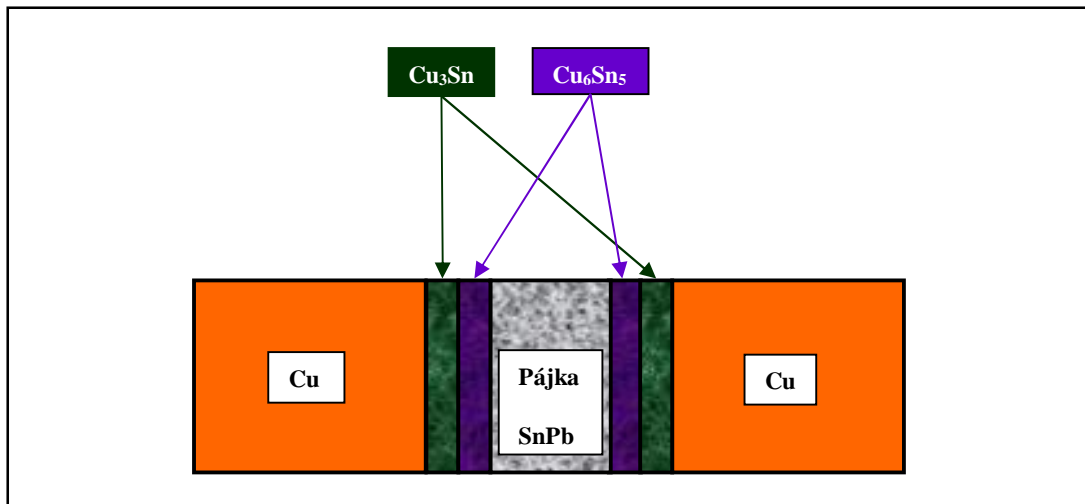
Rozmanité požadavky na pájený spoj vedly ke vzniku značného počtu pájecích technik, z nichž se generovaly tři nejpoužívanější **pájecí metody**:

- § **pájení pájedlem** (ruční pájení)
- § **pájení vlnou** (strojní pájení)
- § **pájení přetavením** (strojní pájení)

Definice uvádí, že **pájení je způsob metalurgického spojování dvou kovů pájkou** (třetím roztaveným kovem). Povrchové atomy spojovaného kovu se dostanou do styku s atomy roztavené pájky v takové vzdálenosti, že jsou vytvořeny podmínky pro síly adhezní a kohezní (*adheze* = přilnavost, *koheze* = soudržnost). Při pájení současně dochází k rozpouštění a difúzi některých prvků spojovaných materiálů. Tím vznikají přechodové oblasti mající různou tloušťku a různé mechanické, fyzikální i chemické vlastnosti. Pájený spoj z pohledu elektroniky splňuje požadavky elektrické i mechanické a navíc je odstranitelný a obnovitelný nedestruktivním způsobem. Jeho **měrný odpor je**

⁴ Některé prameny uvádí dělicí hranici 450°C (např. Ing. Pavel Kozelka, ELCHEM Co, spol. s r.o., www.abetec.cz, www.czechdesign.cz, atd.).

$\approx 0,17 \mu\Omega.m$ (pro 25°C) a teplotní činitel roztažnosti $24,5 \text{ ppm.K}^{-1}$ (pro teplotní rozsah 0 až 100°C) [15].

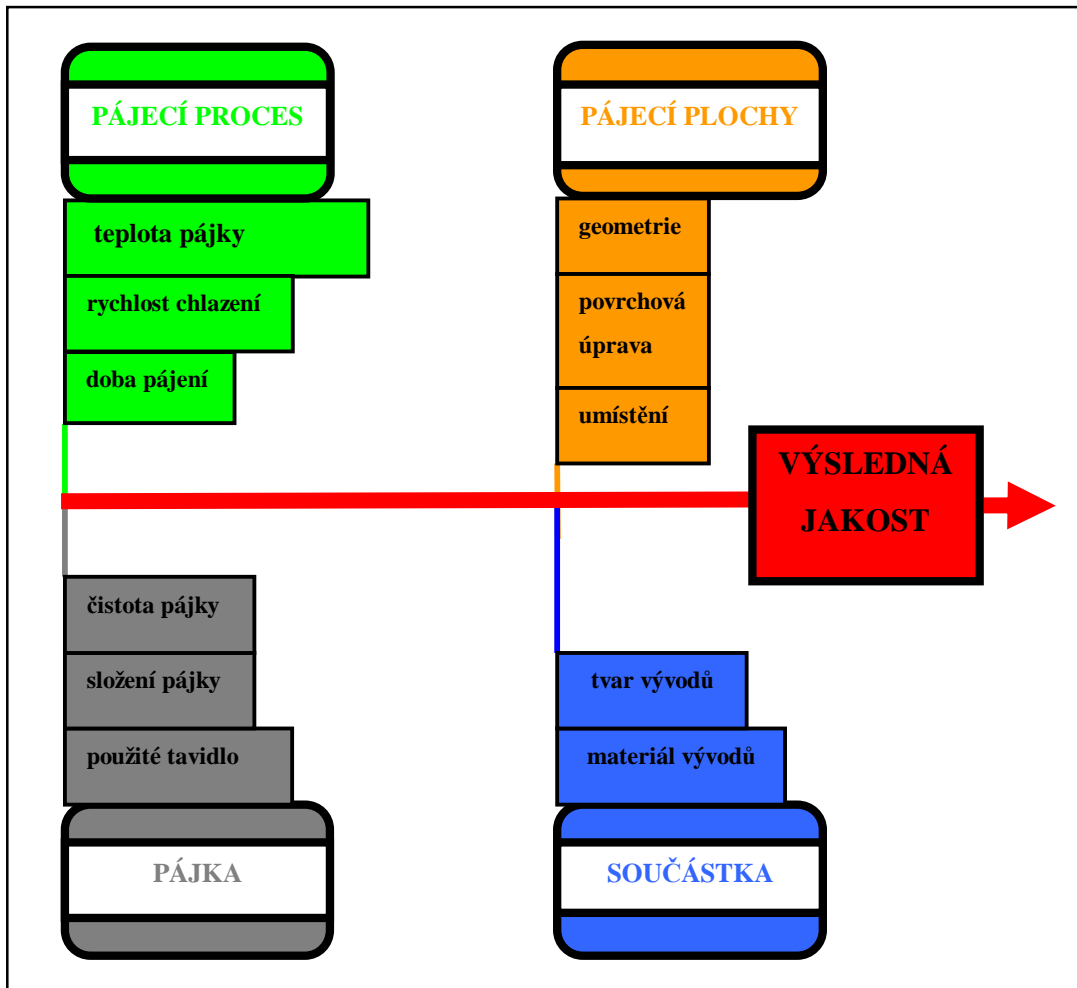


Obr. 3. Struktura pájeného spoje s vytvořenými intermetalickými slitinami.

Při pájení nastává difúze (prolínání) atomů Cu a Sn. Olovo má v tomto procesu bezvýznamný podíl. Na obrázku (Obr.3) je vidět složitá struktura pájeného spoje s kovovými slitinami $\text{Cu} - \text{Cu}_3\text{Sn} - \text{Cu}_6\text{Sn}_5 - \text{SnPb} - \text{Cu}_6\text{Sn}_5 - \text{Cu}_3\text{Sn} - \text{Cu}$.⁵ Vznik tzv. intermetalických slitin je nezbytný pro tvorbu optimálního spoje, ale se zvětšováním jejich tloušťky se snižuje pevnost spoje. V [15] je podle grafu udána pevnost $0,45 \text{ N.mm}^{-2}$ pro tloušťku vrstvy $1 \mu\text{m}$ a $0,3 \text{ N.mm}^{-2}$ pro tloušťku $7 \mu\text{m}$. Nadměrný růst intermetalické vrstvy způsobují překročení doby a teploty pájení i následné tepelné namáhání v provozu. Jejich nárůst je také funkcí času ($0,5$ až $1 \mu\text{m}$ za rok). Pokud při pájení naroste teplota nad 350°C , vzniká navíc ještě vrstva Cu_4Sn . Uvedené vlivy degradují elektrické a mechanické vlastnosti spojů a mohou vést až k jejich nefunkčnosti.

⁵ Cu_3Sn , Cu_4Sn a Cu_6Sn_5 nejsou chemické sloučeniny, ale kovové slitiny, tedy prakticky směsi dvou elementárních kovů. Mezi atomy nejsou kovalentní ani iontové vazby, které by se projevíly v názvosloví, nanejvýš je zde nějaká vazba kovová. Tedy čísla v indexech mají jiný význam, není to počet atomů v dané molekule látky, ale poměrné zastoupení jednotlivých kovů v elementární formě.

Technologické faktory, které probíhají v procesu pájení včetně jejich vazeb jsou velmi složité a jejich grafické znázornění popisuje **Ishikawův diagram** (*Obr.4*).



Obr. 4. Ishikawův diagram pro proces pájení.

Z diagramu je patrné, že v procesu pájení působí na výslednou jakost pájeného spoje čtyři základní faktory – **pájecí proces, pájka** (včetně tavidla), **pájecí plocha a pájená součástka**. Uvedený diagram je často využíván pro analýzu a nalezení optimální varianty pájecího procesu.

3 RUČNÍ PÁJENÍ

Ruční pájení je velmi rozšířené ale relativně nespolehlivé a špatně reprodukovatelné. Není přesně dodržena doba a tepelné zatížení spoje a elektronických komponentů. Nutné je použití **pájedla** (páječky) **s regulací a stabilizací teploty.** Navíc je nutné speciální vybavení, pokud jsou pájeny součástky elektrostatičticky citlivé. Ruční pájení je proto vhodné pouze pro vývojové vzorky, servisní práce při opravách a dodatečné připojování součástek, které nelze zapájet strojně. Ruční pájení je častou metodou spojování přenosových kabelů při montáži EZS i EPS. **Páječky pistolové, transformátorového typu jsou velmi oblíbené ale jednoznačně nepřijatelné.** Na profesionálních zahraničních pracovištích objevíme nápis: „*The use of soldering guns is forbidden!*“

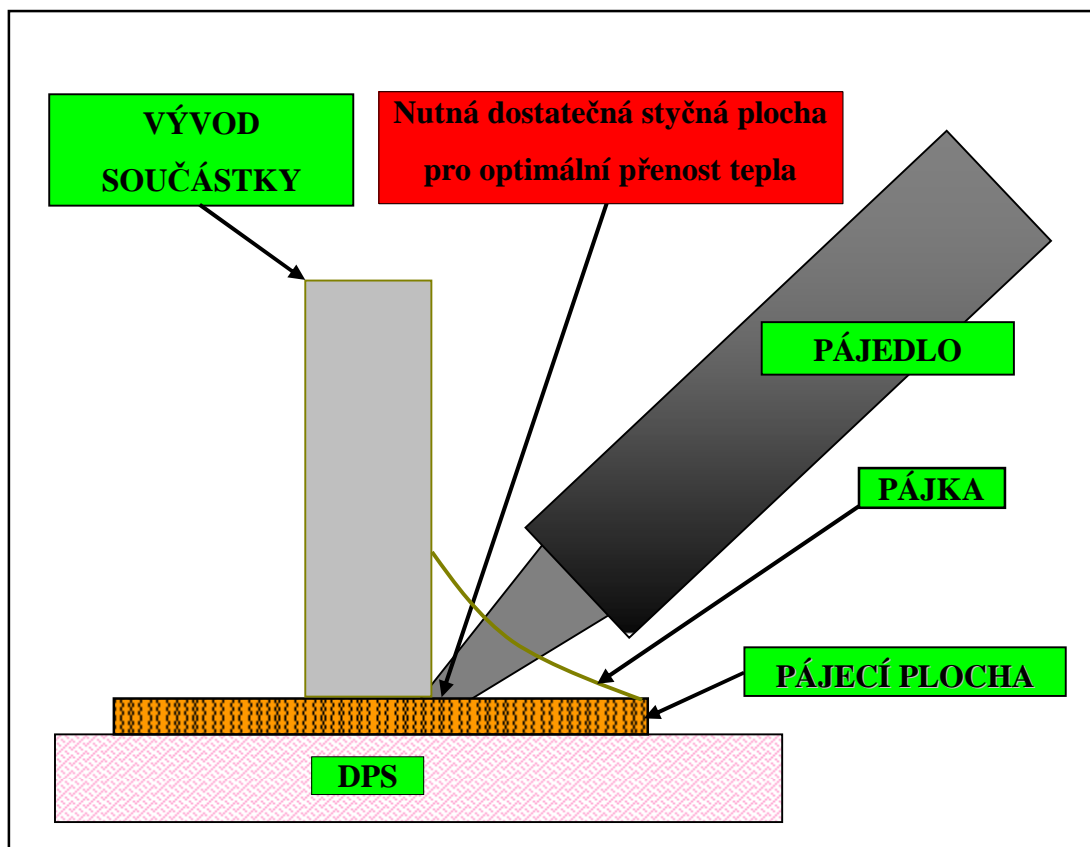
Ruční pájení má svá specifika s výrazným vlivem subjektivního faktoru. Spolehlivý spoj lze realizovat pouze s kvalitním nářadím a v odpovídajícím pracovním prostředí. U spojů s nejpřísnějšími požadavky (kosmický průmysl, bezpečnostní zařízení s vysokou mírou zabezpečení a pod.) je nezanedbatelné soustředění pracovníka a jeho aktuální psychika.

Nejdříve je zahřát hrot pájedla na potřebnou teplotu a provede se jeho očištění otřením o houbovitou podložku. Na hrot se nanese vrstva pájky, která zajistí tepelný přenos do pájeného místa. Po celou dobu pájení sledujeme tvorbu oxidů na hrotu a pájených komponentech a podle potřeby mezi operacemi provádíme čištění. Podle technologického postupu v procesu pájení nanášíme tavidlo a to vždy před zahříváním spoje.

Spojované součásti musí být dostatečně (ne však nadměrně) prohřáté. Limitující je zde tedy doba, teplota a mechanická fixace proti pohybu. **Doporučená doba pájení nepřesahuje 5 sekund, běžná pájecí doba je 2 sekundy.** Pájka se aplikuje po zahřátí spoje do prostoru mezi pájecí hrot a pájené plochy. Při dokonalém smáčení a malé ploše pájeného místa se spoj vytvoří „*sám*“ a není třeba hrot přesouvat. Nedodržení těchto požadavků vede k tvorbě nespolehlivých a tedy neakceptovatelných spojů.

Po vytvoření pájeného spoje (pájka vzlíná do konvexního tvaru), **se hrot pájky od-
dálí a přitom je nutné zabránit sebemenšímu pohybu pájených částí do doby**

ztuhnutí pájky. Aby nebyl narušen průběh krystalizace je nepřípustné spoj ochlazovat proudem vzduchu či kapaliny.



Obr. 5. Technologie ručního pájení.

Správný postup při ručním pájení součástek elektrostaticky citlivých.

Pro pájení je ideální místnost, kde je zabezpečena klimatizace (teplota, vlhkost vzduchu) a odsávání škodlivých zplodin. Pracovní stůl je opatřen vodivou podložkou spojenou vodivě (přes odpor 50 k Ω až 2M Ω) se zemí, s páječkou a pomocí náramku i s pracovníkem. **Náramek se nasazuje vždy před pájením jako první a sundává se po pájení, kdy už nemanipulujeme se součástkami a DPS.**

3.1 Pájedla

Pájedlo je zařízení, které vytváří a udržuje požadovanou teplotu pro vznik pájenného spoje. Mezi laickou veřejností se pájedlo nesprávně nazývá „pájka“. Pájka je však slitina kovů s nízkou teplotou tavení, která je zase neodborně nazývána jako „cín“. Různí výrobci dodávají na trh nepřeborné množství pájedel, ne všechny jsou však použitelné pro profesionální práci. Pro kvalitní práci je nutné vždy pájedlo, které má nastavitelnou teplotu hrotu, přičemž tato teplota je v procesu pájení udržovaná na konstantní výši. Druhý požadavek je aby pájedlo splňovalo požadavky EMC a nebylo zdrojem elektromagnetických napětových impulsů, které jsou nepřijatelné pro práci s EZS osazenou součástkami elektrostaticky citlivými. Z těchto důvodů je **použití pájedel transformátorového typu jednoznačně vyloučeno!**

§ Pájecí stanice s nastavením teploty

Pro profesionální pájení se dnes používají pájecí stanice s nastavením a elektronickou kontrolou teploty (*Obr.6*). Teplota hrotu pájedla se reguluje cca od 50°C do 450°C. Stanice bývají analogové nebo digitální. U analogových je regulační prvek potenciometr a dosažení teploty je indikováno LED. Digitální stanice umožňují nastavení pomocí dvou tlačítek. Teplota je zobrazena na displeji a následně se permanentně detekuje. Stanice jsou vyráběny v antistatickém provedení s možností připojení na zemnicí bod. Některá pájedla mají i podavač pájky ovládaný dávkovacím tlačítkem.



Obr. 6. Profesionální pájecí stanice pro ruční pájení s elektronickým nastavením teploty.

§ Horkovzdušná pájecí stanice

Uvedený typ stanice má vlastní vzduchovou turbínu a potřebuje připojit stlačený vzduch. Stanice umožňuje výběr a výměnu trysek a je opatřena suspenzorem a vakuovou pipetou.

§ Kombinované pájecí a odpájecí stanice

Umožňují připojení nejrůznějších pájecích a odpájecích koncovek včetně horkovzdušného pera. Množství vyfukovaného vzduchu je možno plynule regulovat. Vyrábějí se také vysokofrekvenční stanice, kde pájecí hrot je vyroben z feromagnetického materiálu a je ohříván elektromagneticky pomocí cívky napájené vysokofrekvenčním zdrojem. Při dosažení požadované teploty ztrácí hrot magnetické vlastnosti a již se dále neohřívá. Tak je zaručena velmi přesná regulace teploty s odchylkou do 1°C.

§ Plynová páječka

Umožní práci v terénu tam, kde není přívod elektrické energie. Jedna náplň vystačí na cca 3 hodiny práce na plný výkon. I tento druh páječek má výměnné hroty a horkovzdušné trysky. Plynovou náplň tvoří ISO-butan a zapalovač je piezo. Teplota pájecí špičky není vytvořena ohněm, nýbrž tepelným katalyzátorem, který je umístěn v pájecím hrotu.

§ Trafopáječka

I když její použití je pro profesionální práci nedovolené, mnozí pracovníci montážních a servisních firem EZS s ní „rádi“ pracují. Její výkon je 75 až 100VA. Trafopáječka je v podstatě síťový transformátor, jehož primární vinutí je přes tlačítkový spínač připojeno na napětí 230 V/50 Hz. Sekundární vinutí je provedeno několika závitů silného měděného vodiče, jehož ukončení je upraveno pro šroubové připojení pájecí smyčky. Další sekundární napětí napájí osvětlovací žárovku 6,3 V/0,3 A. **Mezi její hlavní nevýhody patří to, že nelze spolehlivě garantovat požadovanou teplotu hrotu a není s ní možno pájet součástky elektrostaticky citlivé.**

3.2 Pájky

Pájka je nejrozšířenějším materiálem pro spojování komponentů na DPS a kabeláži u EZS. Termínem pájka se označují slitiny kovů o nízkém bodu tání. Pro měkké pájení s teplotou tavení do 500°C je doposud nejpoužívanější pájka obsahující cín⁶, olovo a další kovy s nízkou teplotou tavení (*Tab. 1*).

Tab. 1. Kovy obsažené v měkkých pájkách podle teploty tavení.

Kov	Teplota tavení [°C]	Kov	Teplota tavení [°C]
Indium	156	Antimon	630
Cín	231	Hliník	660
Bismut	271	Stříbro	961
Kadmium	321	Měď	1083
Olovo	327	Nikl	1452
Zinek	419	Železo	1528

Přídavek třetího kovu nízkého procentního zastoupení v pájecí slitině mění (vylepšuje) její vlastnosti pro konkrétní použití následovně:

- § **Měď (Cu)** snižuje difúzi hrotu pájedla a měděných spojovaných vodičů do roz-tavené pájky.

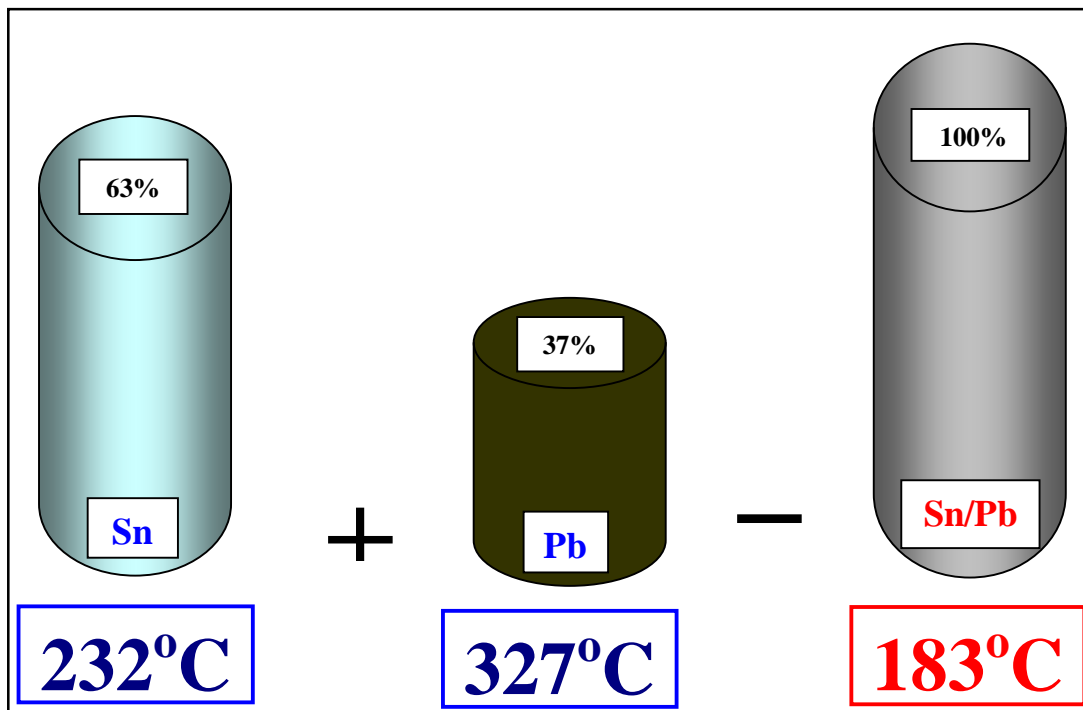
⁶ Při poklesu teploty u cínu pod 13,2°C dochází ke změně jeho alotropické modifikace přechodem ze šesterečné soustavy na kubickou („cínový mor“), což je provázáno jeho rozpadem. U Sn pájky dochází k rekrystalizaci (cín se drolí, šedne a ztrácí mechanickou pevnost), která však má jiné příčiny. U slitin cínu ani při hlubokých podchlazeních nebyl tento jev prokázán (sledování pájených spojů v kosmonautice) [10].

- § **Stříbro (Ag)** také snižuje difúzi ušlechtilého kovu do pájecí slitiny. Jedná se především o terminály hybridních integrovaných obvodů pokryté slitinou Ag.⁷ Zvyšuje pevnost a zlepšuje únavové a čistící vlastnosti spoje.
- § **Antimon (Sb)** zlepšuje smáčivost a mechanickou pevnost a odolnost pájeného spoje.
- § **Bismut (Bi)** snižuje bod tavení pájky a vylepšuje vzhledově povrch pájeného spoje pro snadnější vizuální kontrolu.
- § **Indium (In)** upravuje čistící vlastnosti pájky a snižuje její bod tavení.
- § **Křemík (Si)** zlepšuje smáčivost Au a Al a snižuje bod tavení pájky.
- § **Kadmium (Cd)** snižuje bod tavení a zlepšuje pevnost. Ze zdravotních a ekologických hledisek se od 80. let minulého století nepoužívá.

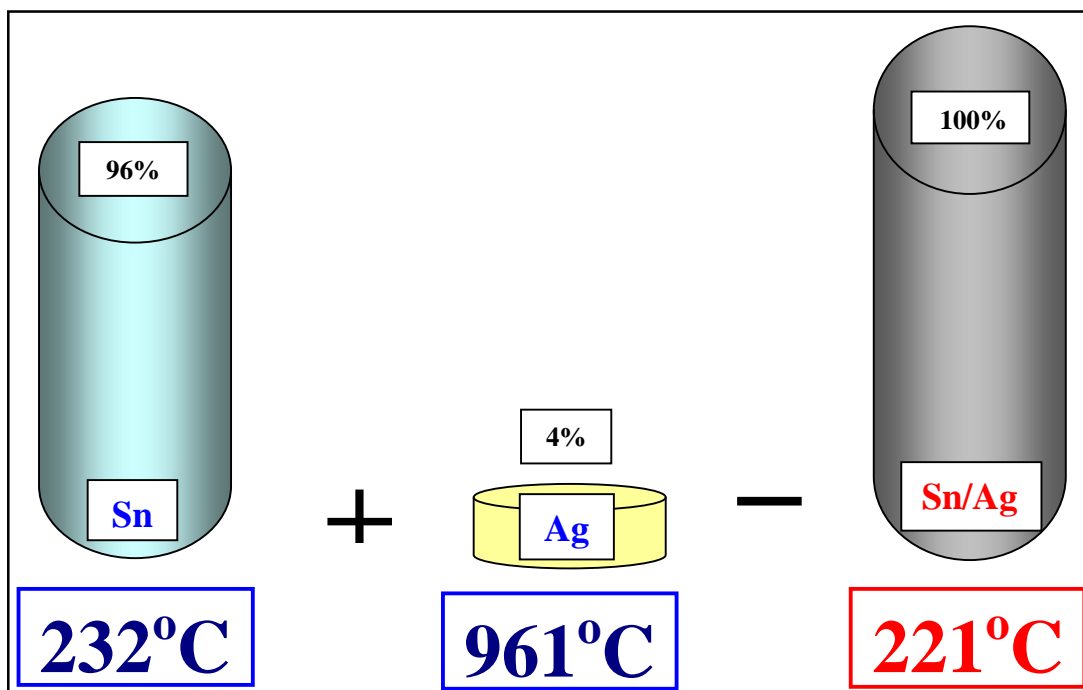
Většinou se však u elektrotechnické pájky jedná pouze o dvou a tříslóžkové slitiny. Nejpoužívanější cínové pájky mají rovnovážný diagram slitiny Sn/Pb v poměru 63Sn/37Pb s eutektickým bodem 183°C. Některé prameny definují eutektickou slitinu při 61,9%Sn [15].

Stejně jako sůl snižuje bod tuhnutí vody, tak přídavek dalšího kovu v pájce zpravidla snižuje její teplotu tavení. Následující dva obrázky (*Obr.7*, *Obr.8*) přehledně ukazují tavicí teplotu dílčích kovů i následné slitiny u dvou nejpoužívanějších eutektických pájek Sn/Pb a Sn/Ag. **Všimněme si, že bezolovnatá pájka má teplotu tavení o 38°C vyšší, což bude patrně v přechodu na bezolovnaté pájení způsobovat jisté problémy.**

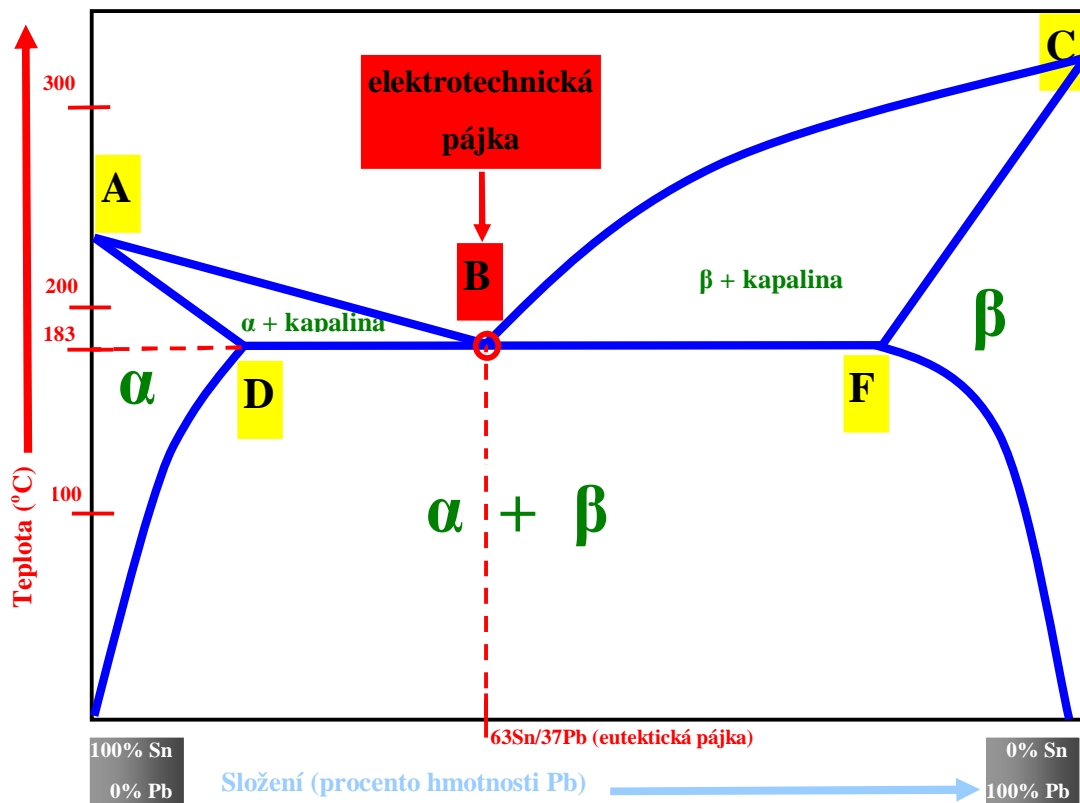
⁷ Nezáměrně, jako forma znečištění se do pájky dostává i zlato a to z pokovených DPS a vývodů součástek, hlavně terminálů integrovaných obvodů. Zlato zvyšuje křehkost spoje a proto nesmí překročit 1,4 % objemu a 3% hmotnosti pájeného spoje (norma IEC 61191-1).



Obr. 7. Eutektická pájka Sn/Pb s teplotou tavení 183°C .



Obr. 8. Eutektická pájka Sn/Ag pro bezolovnaté pájení má teplotu tavení 221°C .



Obr. 9. Fázový diagram slitiny Sn/Pb.

Slitiny se vyrábí v kapalné fázi a během tuhnutí vytváří strukturu. Způsob tuhnutí a konečnou krystalickou strukturu ovlivňuje poměr skladebných kovů. Dva kovy jsou v tekuté fázi jeden ve druhém zcela rozpustné, to však neznamená, že tato homogenita platí i v procesu tuhnutí. Přechod jednotlivých fází pájky složené z cínu a olova představuje fázový diagram na obrázku (Obr. 9).

Čára AB fázového diagramu ukazuje posunutí bodu tuhnutí cínu z 232°C v čistém stavu na 183°C, pokud obsahuje 37% olova. Obdobně čára CB vyjadřuje pokles bodu tuhnutí olova z 327°C v čistém stavu na 183°C v eutektické slitině s 63% cínu. Oblast grafu nad ABC vyjadřuje slitinu kapalnou, pod čarou ADBFC je slitina tuhá. Další dvě zóny ABD ($\alpha + \text{kapalina}$) a BCF ($\beta + \text{kapalina}$) představují tzv. pásmo plasticity, kdy je slitina „kašovitá“ a obsahuje jak tuhou tak kapalnou fázi. Pro pájení nedůležité oblasti α a β představují dílčí fáze krystalických struktur.

Pro pájení EZS a pro elektrotechnický průmysl vůbec je optimální eutektická pájka ve složení Sn63% Pb37% - bod B na diagramu. Eutektická pájka je jedinou slitinou cínu a olova, která přechází z kapalné fáze do fáze tuhé prakticky ihned při teplotě 183°C. Její krystalická struktura nemá náznaky dendritických jader a obsahuje stejně velká a drobná zrna alfa i beta. Taková jemnozrnná pájka eutektického složení nemá sníženou pevnost a současně udržuje vysoký stupeň elektrické vodivosti.

Tab. 2. Tekutost a okno plasticity klasických a eutektických pájek.

PÁJKA	OKNO PLASTICITY	ÚPLNÁ TEKUTOST
Sn63Pb37 (eutektická)	není	183°C
Sn6040Pb	183°C - 188°C	188°C
Sn62Ag2Pb36	175°C - 189°C	189°C
Sn96Ag4 (eutektická)	není	221°C

3.3 Tavidla

Kvalitní pájený spoj je proveditelný za předpokladu, že spojované povrchy jsou dokonale čisté, bez oxidů a tedy i smáčivé. Tavidla redukují oxidové vrstvy na povrchu pájeného místa a následně v procesu pájení chrání pájku před další oxidací. Musí mít vhodnou viskozitu, dobrou smáčivost a ovlivňovat povrchové napětí pájky tak, aby nevznikaly krápníky či můstky. Současně s kapilárním tlakem se vytvoří kapilární vzlídnání pájky do mezer. Tavidla určená pro elektroniku nesmí být elektricky vodivá a korozně aktivní. Je třeba si uvědomit, že **bez vhodného tavidla je nemožné provést dobrý spoj!**

Základem kvalitních tavidel je kalafuna získaná z borové pryskyřice při výrobě buničiny. Kalafuna má teplotu tání 60°C až 80°C a plně tekutá je při 120°C. Při pokojové teplotě je inertní. Do kalafunového tavidla se přidává aktivní přísada – kyselina abietová [12]. Tato kyselina je aktivní v rozmezí teplot 127°C až 300°C. Při vyšších teplotách

zuhelnaťuje a rozkládá se. Tavidlo se nanáší na substrát před pájením v tekutém stavu nebo jako pasta. **Ideální tavidlo je aktivní za pájecí teploty a nečinné za provozní teploty pracovního zařízení.** Reálné tavidlo je kompromisem mezi oběma krajnostmi. Pro správný proces pájení je nutné aby účinná teplota tavidla byla asi o 100°C nižší, než teplota solidu pájky. Tím je povrch pájeného místa včas a dostatečně očištěn a tavidlo není pájkou vytlačeno mimo spoj.

Funkce tavidla:

- § z pájeného místa odstraňuje povrchové oxidy kovů a nečistoty
- § brání vzniku oxidů při ohřevu do doby vytvoření spoje
- § brání přístupu reakčních prvků při tvorbě pájeného spoje
- § vytváří prostředí s nízkým povrchovým napětím na přechodu pájka - tavidlo
- § přispívá k rovnoměrnému rozložení teploty na pájené ploše

Negativní vlivy tavidla:

- § mohou měnit elektrické vlastnosti vodivých sítí (snižují izolační odpor)
- § mohou snížit spolehlivost a životnost spoje
- § mohou způsobovat korozi
- § znesnadňují elektrické testy (komplikují kontakt měřícím hrotům)

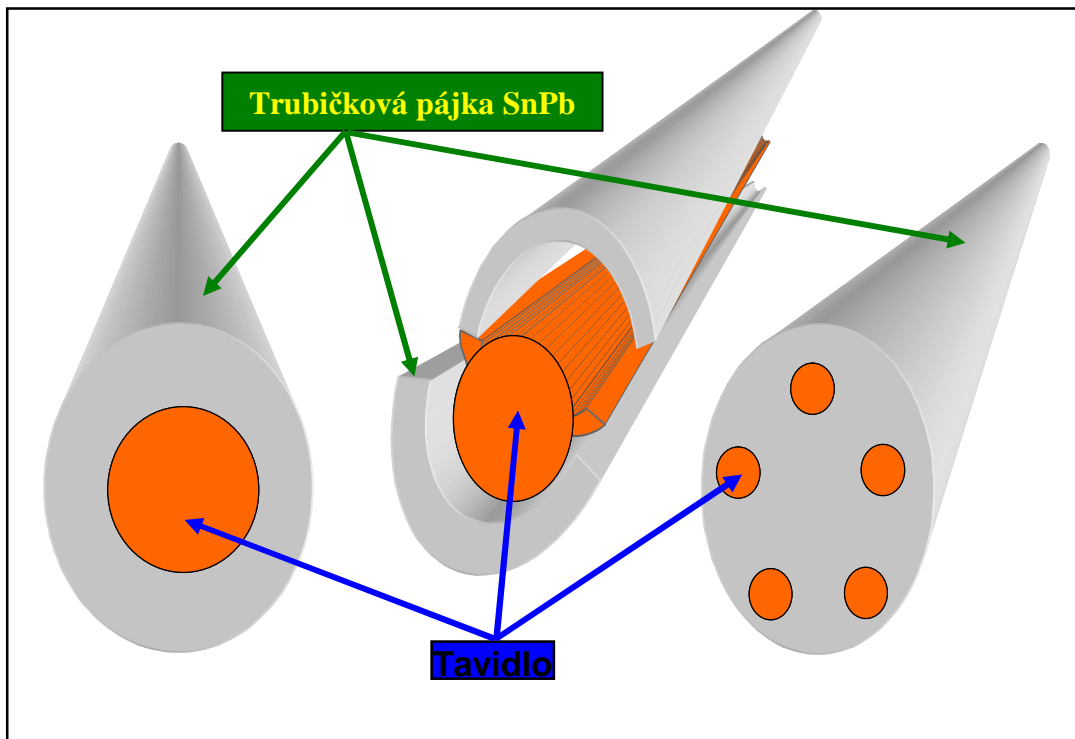
Budoucí vývoj v technologii pájení prosazuje snižování obsahu tavidla v pájce a vede k používání tzv. bezoplachových tavidel. Tím roste spolehlivost výrobků a klesají náklady na čištění. Aktivátory v bezoplachových tavidlech se postupně měnily z halogenidů (obsahují chlór) na kyselinu karbonovou nebo dikarbonovou. Některá tavidla obsahují mastné kyseliny či aminokyseliny, které vlivem pájecí teploty vysublímují.

Tab. 3. Klasifikace tavidel dle normy EN 9454-1.

KLASIFIKACE TAVIDLA			Kód
TYP	ZÁKLAD	AKTIVACE	
Prskyřičná	Kalafuna	Bez aktivátorů	1.1.1
	Nekalafunová prskyřice	Halogeny	1.2.1
		Nehalogenové aktivátory	1.1.2
			1.2.2
			1.1.3
			1.2.3
Organická	Vodou ředitelná	Bez aktivátorů	2.1.2
	Vodou neředitelná	Halogeny	2.1.3
		Nehalogenové aktivátory	2.2.2
			2.2.3
Anorganická	Soli	S chloridem amonným	3.1.1
		Bez chloridu amonného	3.1.2
	Kyseliny	Kyselina fosforečná	3.2.1
		Jiná kyselina	3.2.2
	Alkálie	Aminy nebo amoniak	3.3.1

Typy tavidel jsou definovány podle americké vojenské normy MIL-F-14256 (R, RMA, RA a RSA). Toto rozdělení nevystihuje aktuální praxi, protože i když udává stupeň aktivování tavidla, neříká nic o nutnosti čištění zbytků po pájení. Daleko zřetelnější je norma DIN 8511, která klasifikuje tavidla do tříd (F-SW 21, F-SW 26, F-SW 32, F-SW 33 a F-SW 34) a uvádí jejich charakteristiky. Současný stav v používaných tavidlech však nejlépe vystihuje nejnovější evropská norma EN 9454-1, jejíž klasifikace je podle tabulky (*Tab.3*).

Nová evropská norma přehledně popisuje současný stav používaných tavidel. Její klasifikace je komplexní a zahrnuje i nová tavidla na syntetické bázi se zdůrazněním podílu halogenidů, čímž patrně vytlačí předchozí systémy značení.



Obr. 10. Varianty umístění tavidla v trubičkové pájce.

Umístění tavidla v trubičkové pájce může být různé. Většina výrobců tavidel je do pájky umísťuje v jediné ose. Pro speciální aplikace bývá tavidlo v pájce decentralizováno do několika míst, tak jak je znázorněno na obrázku (Obr.10).

4 STROJNÍ PÁJENÍ

Pro strojní pájení byla doposud výhradně používána binární slitina SnPb v eutektickém či mírně podeutektickém složení. Uvedená technologie má řadu výhod a to především vyšší mechanickou pevnost a nižší teplotu tavení. U strojního pájení se používají specifické metody:

§ Pájení vlnou (Flow Soldering, Wave Soldering)

Je to historicky nejstarší metoda strojního pájení. Princip vlny si nechal patentovat v roce 1955 Angličan Strauss. Pájení vlnou výrazně zvyšuje kvalitu a spolehlivost pájených spojů a současně podstatně snižuje počet pracovních sil. Umožňuje pájet klasické vývodové součástky na jednovrstvých i vícevrstvých deskách a je aplikovatelné i u SMT. Rozdíl spočívá v tom, že zařízení má dvojitou vlnu (turbulentní pro SMD a laminární pro vývodové součástky).

Pájení vlnou využívá specifických metod:

- **pájení ponorem** – malosériové výroby, DPS se ponoří do roztavené pájky
- **pájení vlečením** – DPS je na dopravníku vlečena vodorovně po klidné hladině pájky

Oba první způsoby jsou málo využívané.

- **pájení vlnou** – pájka proniká k pájeným místům tlakem a kapilárním vztlínáním

Pájení vlnou obsahuje tři dílčí operace:

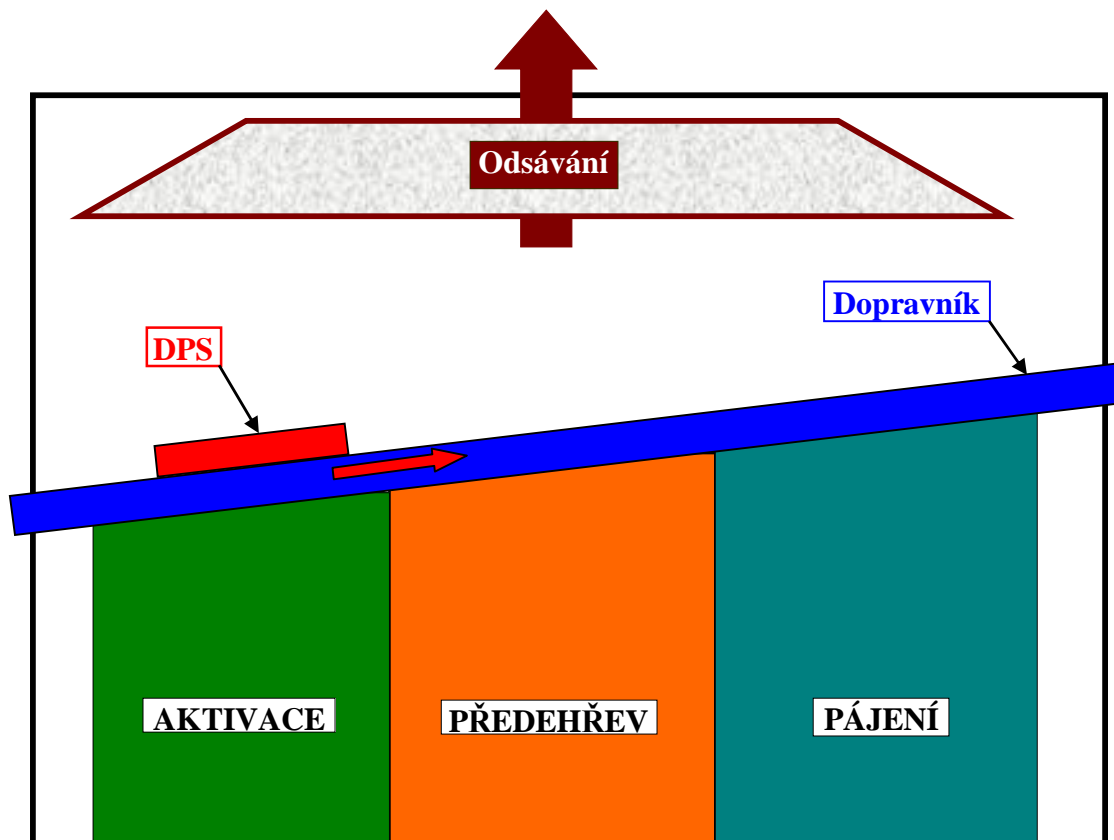
1. **aktivace** – takové připravení předmětů k pájení aby bylo zamezeno oxidaci
2. **předehřev** – na teplotu okolo 100°C zabrání tepelnému šoku DPS a součástek
3. **vlastní pájení** – spojení součástky a vodivého spoje DPS pájkou

Při pájení vlnou je teplota pájky ve vaně 240°C až 250°C a na DPS asi o 30°C nižší.

Při dopravníku uloženém klasicky vodorovně nestačí nadbytečná pájka stéct zpět do vlny a tvoří se tzv. „závoj“, který vede ke vzniku můstků a krápníků na DPS.

Firma Hollis závojevý efekt eliminovala náklonem dopravníku o 4° až 8° (*Obr.11*). V praxi se ke snížení závoje užívá i jiných systémů a to např.:

- „*horký nůž*“ ve formě horkého stlačeného vzduchu který ořízne nadbytečnou pájku
- „*reflexní vlna*“ – dutá vlna pohybující se proti směru DPS, umožňující i vyšší přenos tepla při nižším tepelném zatížení (používá se u bezolovnatých pájek)
- snížení povrchového napětí pájky připouštěním oleje



Obr. 11. Operace strojního pájení vlnou.

§ Pájení přetavením (Reflow Soldering)

U této metody se pájka ve formě pasty⁸ nanáší na DPS napřed a pak se osadí součástky. Nyní nastává přetavení teplotou vyšší, než je bod tání pájky. U metody přetavením je důležité zajistit jakost součástek a DPS bez znečištění a oxidace. Skladování komponentů se uskutečňuje v předepsaných obalech při stanovení maximální vlhkosti.

Nanášení pasty se provádí třemi různými způsoby:

- **suspenzorem** – dávkování ruční nebo strojní umožní nanesení pasty pouze do potřebných míst a tím se zvyšuje jakost a spolehlivost spojů
- **sítotiskem** – tisk přes vlákna (polyester, silon, kov). Oka síta mají velikost cca 200 μm a jsou opatřena fotocitlivým materiálem. Budoucí pájená místa jsou osvětlena UV světlem a zbylé plochy nejsou chemicky odstraněny, nýbrž jsou vytvrzeny.
- **tisk přes šablonu** – stěrka z tvrzené pryže protlačí pájecí pastu přes kovovou šablonu tloušťky 0,1 μm až 0,5 μm

Po uložení komponentů na DPS s nanesenou pastou se uskuteční přetavení:

- **v parách** – používají se fluórouhlíky s bodem varu 215°C až 265°C
- **infračerveným zářením** – pomocí wolframového vlákna umístěného v křemenné trubici s vymežovacími tantalovými disky. Elektromagnetické spektrum je 0,1 μm až 100 μm .⁹

⁸ Pájecí pasta je cca 10x dražší než stejné množství pájky v tyčích. Pasta obsahuje složky kovové (pájecí zrna) a složky anorganické (tavidla).

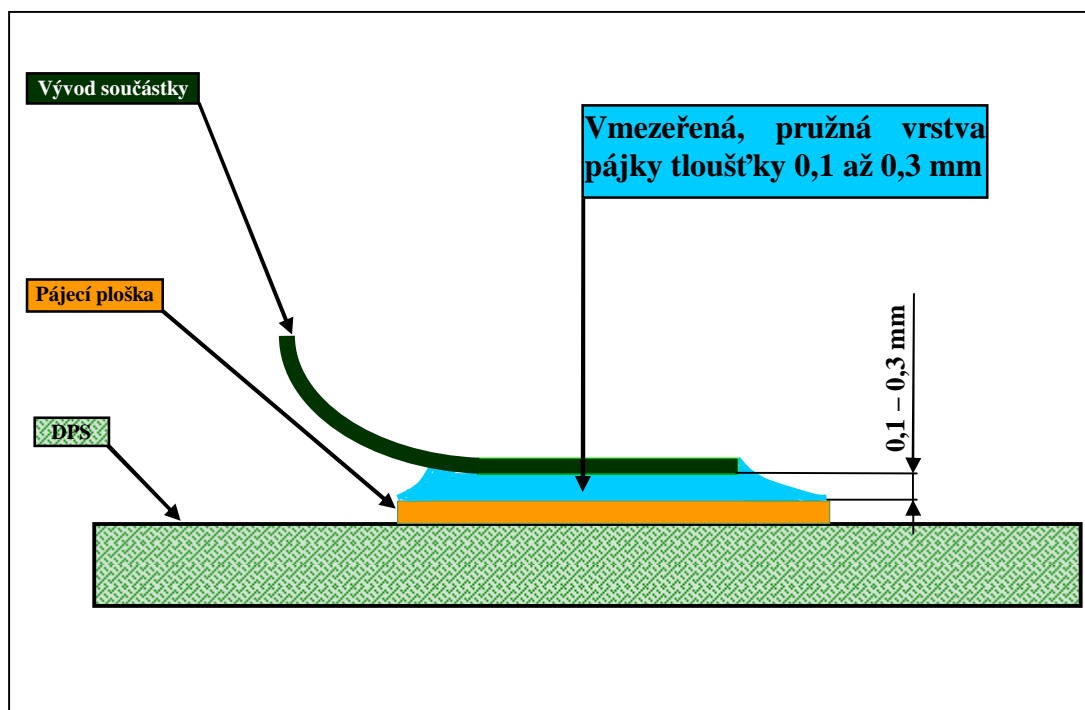
⁹ Tento rozsah zahrnuje UV i IR složky včetně viditelného světla a i když se hovoří o „IR přetavení“, správnější výraz by byl „přetavení zářičem“ [1].

- **nucené proudění** (konvekce) zahřátého plynu v peci s tepelným zaří-
čím. Tento způsob je velmi oblíbený pro svou jednoduchost a nízkou cenu i
když je potřebná poněkud delší pájecí doba.

5 POŽADAVKY NA KVALITNÍ PÁJENÝ SPOJ V EZS

Při pájení je třeba vytvořit teplotu spoje asi o 80°C až 100°C vyšší než je bod tání použité slitinové pájky. Teplota při pájení ovlivňuje hrubost a strukturu intermetalických slitin. Při dlouhodobé aplikaci tepla na pájený spoj narůstá velikost zrn, zhoršuje se elektrická vodivost a klesá mechanická pevnost spoje, především ve stříhu. Důležitost stříhového napětí před tahovým je zvláště významná u povrchové montáže (SMT). Doba při pájení by neměla přesáhnout 5 sekund. Běžně po získání potřebné praxe a zkušeností trvá pájecí doba cca 2 sekundy. Přitom výhodnější je pájení vyšší teplotou a kratší dobu než opačně. Tato technologie je vhodnější i z důvodů tepelného namáhání součástek, především polovodičových.

Abychom dosáhli požadovaných dlouhodobých mechanických a elektrických vlastností pájeného spoje v EZS musíme zabezpečit tzv. „plavání“ součástky ve spoji (*Obr.12*). Tento požadavek platí obecně pro pájení v elektronice i elektrotechnice. Jedná se o existenci „vmezeřené vrstvy pájky“ mezi komponenty, které mají být spojeny pájením. Tato vrstva je relativně pružná a má **tloušťku 0,1 až 0,3 mm**.



Obr. 12. Plavání vývodu součástky na pružné, vmezeřené vrstvě pájky.

Tloušťka pájky mezi pájenými místy je znázorněna na obrázku (*Obr.12*). Na tomto obrázku není pro větší přehlednost znázorněna relativně křehká vrstva intermetalických slitin, které jsou popsány v kapitole 2 na obrázku (*Obr.3*).

Kvalitní pájený spoj má následující vzhledové vlastnosti:

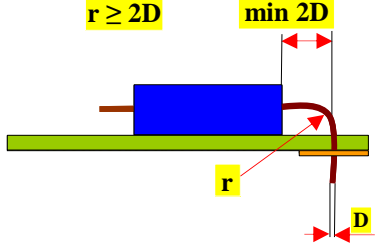
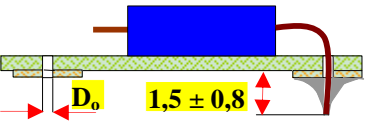
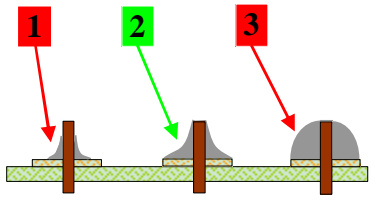

1. Má **optimální množství pájky se shodnou geometrií**. Dobrý pájený spoj se pozná také podle toho, že **jsou ještě viditelné obrysy vodiče**.
2. Má **konvexní tvar**, charakteristický **vzlínáním pájky**.
3. Je na celém povrchu **lesklý, hladký a bez viditelných mezivrstev jiných odstínů**.

Často diskutovanou otázkou při návrhu DPS je volba šířky měděné fólie pro požadované proudové zatížení. Protože měď na DPS má svou šířkou ideální podmínky pro ochlazování, vychází její rozměry pro tloušťku 35 μm podle tabulky (*Tab.4*).

Tab. 4. Proudové zatížení měděné fólie na desce plošného spoje.

Šířka Cu fólie [mm]	Dovolený proud [A]	Mezní proud [A]	Odpor [Ω/cm]
1,0	0,8	5	0,0048
1,5	1,2	10	0,0032
2,0	1,6	12	0,0024
3,0	2,4	15	0,0016
6,0	4,8	23	0,0008

Tab. 5. Rozměrové požadavky na kvalitní vývodový pájený spoj.

	<p>Ohýbání a tvarování vývodů součástek:</p> <p>§ vzdálenost ohybu od korpusu (sváru vývodu) komponentu má být minimálně dvojnásobek průměru vývodu</p> <p>§ poloměr ohybu je minimálně dvojnásobek průměru vývodu součástky</p>
	<p>Průměr otvoru v DPS :</p> <p>§ $D_0 = D + 0,2 \text{ mm max.}$ u jednostranné DPS</p> <p>§ $D_0 = D + (0,30 \div 0,65) \text{ mm}$ u oboustranné DPS</p> <p>Výška vývodu součástky nad Cu fólií DPS :</p> <p>§ je odvislá od průměru vývodu součástky a průměru pájecí plošky a je $1,5 \pm 0,8 \text{ mm}$</p>
	<p>Tvarová akceptovatelnost pájeného spoje:</p> <p>§ 1 nedostatek pájky, neakceptovatelný spoj</p> <p>§ 2 optimální množství a konvexní tvar pájky – akceptovatelný spoj</p> <p>§ 3 nadbytek pájky, neakceptovatelný spoj</p>
<p>Pájka s viditelnými obrysy lankového vodiče</p> 	<p>Optimální množství pájky:</p> <p>§ pod vrstvou pájky jsou ještě viditelné obrysy vodiče</p> <p>§ pájka kapilárně prostoupila lanka vodiče</p> <p>§ popájení je provedeno po celé délce odizolovaného vodiče – až k izolaci</p>

Tab. 6. Rozměrové požadavky na kvalitní spoj v SMT.

	<p>§ maximální horizontální náklon komponentu nad pájecí plochou je 10°</p> <p>§ výška komponentu nad DPS 0,1 ÷ 0,4 mm</p> <p>§ minimální výška zapájení (meniskus) komponentu je 1/3 jeho výšky</p> <p>§ maximální axiální posunutí v ose komponentu je 0,1x tloušťka komponentu</p>
<p>Tombstoning effect</p> <p>Manhattan effect</p>	<p>Drawbridging:</p> <p>Bývá průvodním jevem při pájení přetavením. Zvedání součástek vlivem teplotního rozdílu terminálů komponentů se vyskytuje především u malých rozměrů rezistorových a kondenzátorových čipů. Součástka se v některých případech zvedá až do kolmé polohy (Tombstoning effect, Manhattan effect).</p>
<p>Swiming effect</p>	<p>Akceptovatelné posuvy součástek:</p> <p>§ max. posuv v ose x $a \geq 1/3h$ (<i>h je výška součástky</i>)</p> <p>§ max. posuv v ose y $b \geq 1/2w$ (<i>w je šířka součástky</i>)</p> <p>§ max. posuv rotací $d \geq 1/2w$</p>
<p>Shadow effect Nevyhovující spoj</p> <p>Optimální spoj Akceptovatelný spoj</p>	<p>Akceptovatelné odchylky od ideálního tvaru spoje jsou takové, které neovlivní jeho spolehlivost.</p> <p>§ Shadow effect – zastíněné plochy při pájení vlnou</p>

6 PÁJENÍ VYSOKÉ SPOLEHLIVOSTI

Při ručním pájení vysoké kvality se požaduje:

- § kvalifikace pracovníka (osvědčení) a potřebný trénink a praxe
- § maximální čistota pracovního prostředí a pájených komponentů
- § kontrola pájení mezi jednotlivými operacemi
- § periodické kontroly a kalibrace používaného nářadí
- § mechanické zajištění pájených komponentů
- § pracovat s materiály s malým koeficientem tepelné roztažnosti
- § osvětlení pájecí plochy minimálně 1 080 luxů
- § používat elektrostatické „náramky“ při práci s komponenty elektrostaticky citlivými
- § nepoužívat oděv a obuv ze syntetických materiálů

Sleduje se prašnost, teplota ovzduší ($22 \pm 3^\circ\text{C}$) a relativní vlhkost ($55 \pm 10\%$). Takto vybavená místnost se nazývá „*clean room*“. Důležitou roli má vhodná židle s výškově polohovatelným sedadlem a nastavitelným úhlem sklonu zádové opěrky. Při pájení miniaturních komponentů a zvláště při kontrole pájení se používá velká stojanová lupa s osvětlením a mikroskop. Hrotová mikropájka umožňuje nastavit teplotu hrotu a její konstantní udržování. Páječky podléhají periodickým prohlídkám a kalibraci, hlavně pokud jde o teplotu hrotu a její stabilitu. Výkon mikropáječky bývá 10 až 75W.

7 CHYBY PÁJENÍ

Chyby pájení při osazování DPS a montáži elektrické zabezpečovací signalizace jsou způsobeny nevhodnou výrobní technologií. Svůj negativní vliv mohou mít i nesprávně volené či nekvalitní dílčí prvky vstupující do procesu pájení. Při ručním pájení je nutná kvalifikace a praxe operátora, které jednoznačně determinují kvalitu pájení a spolehlivost elektronického zařízení.

Vzhledovou kontrolou se pak porovnávají požadavky na kvalitní pájený spoj (viz kapitola 5) se spojem reálným. Sledují se především následující parametry:

§ optimální množství pájky se shodnou geometrií

Pájka musí být rozložena symetricky na celé ploše pájeného místa. Důležité z hlediska symetrie je také objemové množství pájky. Málo pájky nezajistí dostatečnou a trvalou elektrickou vodivost a požadovanou mechanickou pevnost. Naopak při nadbytečném množství pájky nelze spoj kvalitativně a spolehlivě vyhodnotit. Stará elektrotechnická zkušenost říká: „Dobrý pájený spoj se pozná i podle toho, že pod vrstvou pájky jsou ještě viditelné obrysy vodičů.“

§ konvexní tvar charakteristický vzlínáním pájky

Konvexní tvar povrchu pájeného spoje vždy charakterizuje dobrou smáčitelnost pájených materiálů. Plochy jsou zbaveny oxidů, je použita optimální pájecí teplota pájky, doba pájení a vhodné tavidlo. Při ručním pájení je rozhodující zkušenost a kvalifikace člověka. Je třeba si uvědomit, že pájený spoj se vytvoří „sám“, různé modelování a tvarování spoje hrotem pájedla dokládají pouze neprofesionalitu operátora.

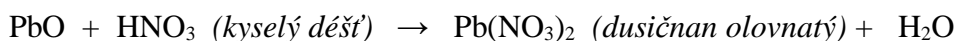
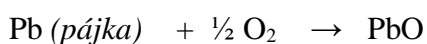
§ povrch lesklý, hladký a bez viditelných mezivrstev jiných odstínů

Pokud povrch pájeného spoje není lesklý a hladký, je to vždy způsobeno nízkou nebo vysokou teplotou pájení či nesprávnou dobou pájení. Povrch spoje ovlivňuje také použité tavidlo a čistota pájených ploch. Případná mezivrstva pájky s viditelnou ohraničenou strukturou je způsobena krátkou pájecí dobou nebo použitím pájedla nízkého výkonu (nízká teplota). Závada může být též způsobena nevhodným pájecím hrotem a polohou jeho přiložení k pájenému místu.

Pracovník provádějící kontrolu pájení má dlouhodobé zkušenosti a je vyškolen v používání prováděné pájecí techniky. Řada spojů totiž může být na hranici akceptovatelnosti podle norem a je třeba rozhodnout na základě konkrétní situace a praktických zkušeností.

8 BEZOLOVNATÉ PÁJENÍ

Zlepšení životního prostředí na Zemi vyžaduje stáhnout z vnitřního trhu nebezpečné látky. K nim patří těžké kovy, především olovo. Pokud olovo (tento kov je kvalifikován jako karcinogen) vnikne do lidského organismu, dochází k nevratným poškozením především mozku, jater a štítné žlázy. **V rámci Evropské unie se vyprodukuje ročně 6 až 7 milionů tun elektronického odpadu.** Olovo jako součást pájky na DPS nelze recyklovat a na skládkách dochází ke kontaminaci spodních i povrchových vod. Rozpouštění olova ve vodě se uskutečňuje podle následujícího mechanismu:



Podle [1] činí při 20°C rozpustnost ve vodě síranu olovnatého 0,041 g/l, dusičnanu olovnatého 565 g/l a chlornanu olovnatého 9,9 g/l.

Evropská unie vydala v únoru 2003 dvě důležité **směrnice** týkající se elektronických výrobků¹⁰:

- **Direktiva 2002/95/EC-WEEE** (*Waste Electrical and Electronic Equipment*)
Směrnice se týká používání nebezpečných látek v elektronických a elektrických přístrojích. Uvádí se v ní, že od 1.7.2006 musí výrobci z jednotného vnitřního trhu EU stáhnout zařízení obsahující větší než povolené množství některé nebezpečné látky za něž jsou považovány i těžké kovy (olovo, rtuť, kadmium a šestimocný chrom).
- **Direktiva 2002/96/EC-RoHS** (*Rescription of Certain Hazardous Substances*)

¹⁰ Obě směrnice byly do české legislativy zavedeny novelou zákona ministerstva životního prostředí č. 185/2001 Sb., schválenou v prosinci 2004.

Směrnice o prevenci v oblasti odpadu použitých elektrických a elektronických zařízení. Jedná se o opětovné použití, recyklaci a oddělený sběr elektroodpadu od běžného komunálního odpadu.

V zahraničí je náhrada olovnatých pájek účinně řešena v posledním desetiletí minulého století. V USA je od roku 1993 tvořen ekonomický tlak (poplatky za používání olověných pájek) na firmy používající škodlivé technologie. Hlavní japonské firmy (Toshiba, Sony, Hitachi, NEC a Matsushita) se zavázaly přejít na bezolovnaté technologie ve svých výrobcích do roku 2001 a tím dokonce předstihly legislativu své země. Velmi důležité v této oblasti bude postoj východoasijských elektronických gigantů, především Číny.

Problematikou bezolovnatého pájení se u nás zabývá řada odborníků např. doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc., který v současné době působí jako supervizor VEMER Group (Itálie) a prezident české a slovenské sekce Society for Hybrid Microelectronics a je též členem Microelectronics and Packaging Society se sídlem v USA. Ten také uvádí v odborné literatuře a časopisech [15] informace o postupném přechodu na bezolovnaté pájení ve světě a sílící zájem firem o náhradu olovnatých pájek. Jedná se totiž o velkou konkurenční výhodu podniků, které svými výrobky (*green product*) nebudou zatěžovat životní prostředí.

Jaká jsou technologická specifika a aktuální problémy bezolovnatého pájení?

Bezolovnatá pájka je tvořena binární či ternární slitinou kovů. Její chování popisují fázové diagramy, kde čára likvidu definuje teplotu přechodu slitiny do tekutého stavu. Při volbě bezolovnaté pájky jsou důležitá následující kritéria:

- dostupnost
- cena
- elektrické vlastnosti
- mechanické vlastnosti
- pájitelnost

Všeobecně lze konstatovat, že **pájení bezolovnatými pájkami je obtížnější!**¹¹ Kromě toho přináší použití těchto pájek zvýšení nákladů. Většina bezolovnatých pájek je dražší, v porovnání s klasickou pájkou SnPb. V bezolovnaté pájce je opět asi 60% Sn a zbytek tvoří drahé kovy.

¹¹ Evropská unie udělila výjimku pro pájení komponentů a sestav určených pro vojenské, vesmírné i letecké pájení a automobilový průmysl. Zde se podle sdělení Institutu pro pájení ESA v Janově mohou nadále používat olovené pájky (Luděk Graclík, pracující v italské firmě CARLO GAVAZZI v Miláně).

Bezolovnaté Reflow pájení

Vlivem stálé miniaturizace klasických elektronických výrobků se počátkem 80. let začaly objevovat součástky, které byly zbaveny drátových vývodů, tzv. SMD součástky. SMD komponenty se dnes masivně používají v povrchové montáži a elektroniku si už bez nich nelze vůbec představit.

Výhody SMD součástek spočívají především v miniaturním provedení pouzder. Lze dosáhnout až 50 % zhutnění osazení, což ovšem generuje možné vady pájených spojů (můstky, špatné smáčení, atd.) a následně i zvýšení nákladů na opravy poškozených nebo zničených součástek a DPS.

Při bezolovnatém Reflow pájení je jakost pájených spojů určena podmínkami přetavení bezolovnaté pájecí pasty. Ochranná dusíková atmosféra zabraňuje oxidaci povrchů, takže urychluje proces smáčení a podporuje lepší pájitelnost. Zbytkový obsah kyslíku v ochranné dusíkové atmosféře má přitom rozhodující vliv na kvalitu pájení a podporuje zlepšení kvality v SMT lince.

Selektivní pájení

Pro složité DPS (např. oboustranné SMD) a DPS s nízkou integrací vývodových součástek nelze nebo není ekonomicky výhodné použít pájení vlnou. Proto byla vyvinuta nová metoda lokálního pájení, tzv. **selektivní pájení**. Při selektivním pájení se jako při jiných způsobech pájení předehřívá DPS, tavidlo a vlastní pájka se už nanáší pouze na daný spoj. Vzniká tak velmi spolehlivý spoj, který lze využít s výhodou jako náhrada ručního pájení vývodových součástek (např. konektorů). Ochranná dusíková atmosféra i při této technologii pájení zvyšuje procesní možnosti pájení, a to právě při použití několika pájecích režimů v malosériové výrobě.

Základní problémy bezolovnatého pájení jsou následující:

1. Teplota tavení

Bod tavení pájkové slitiny je vyšší o 20°C až 45°C. Konvenční SnPb pájka dosahuje tekutého stavu již při 183°C, bezolovnatá pájka má čáru likvidu v rozmezí teplot cca 195°C - 227°C (*Tab.7*). Technologie pájení tedy vyžaduje vyšší teplotu, což negativně ovlivňuje pájené komponenty a přináší další komplikace.

Tab. 7. Některé bezolovnaté pájky podle oblastí tavení, jejich vlastností a použití.

Složení	Likvidus [°C]	Použití	Společnost	Poznámka
Sn/Cu	227	Spotřebitelské Telekomunikace	Panasonic Nortel	Náchylná na kontaminace
Sn/Ag	221			Málo používaná
Sn/Ag/Cu	217	Automobilový průmysl Telekomunikace	Panasonic, Nokia, Nortel, Toshiba	Nejstarší slitinová pájka
Sn/Ag/Bi/ Cu	217	Letectví Vojenský průmysl	Panasonic	
Sn/Ag/Bi	206 - 213	Letectví Vojenský průmysl	Panasonic Hitachi	Náchylná na kontaminace
Sn/Zn	199	Spotřebitelské	NEC, Panaso- nic, Toshiba	Levná, náchylná k oxidaci (Zn)
Sn/Bi	138		Panasonic	

Proces přetavení u bezolovnaté pájky probíhá v užším rozsahu teplot a proto je nutné, aby strojní pájení probíhalo s vyšší přesností regulace teploty. Dodavatelé bezolovnatých pájek doporučují navíc používat při pájení ochrannou atmosféru s dusíkem, která snižuje oxidaci kovových povrchů a eliminuje matnější vzhled spojů (lepší smáčivost).

2. Smáčivost a roztékateľnosť

Roztavená pájka je kapalina a má proto také její vlastnosti. Mezi molekulami tekuté pájky jsou malé vzdálenosti a tedy i relativně velké přitažlivé síly. Vlivem toho se pájka snaží prostřednictvím svého povrchového napětí zaujímat při daném objemu minimální povrch (kulový tvar).

Smáčivost je schopnost plochy vytvořit na jejím povrchu při styku s pájkou souvislou vrstvu. Hodnocení smáčivosti je posuzováno podle dvou faktorů:

- § stupeň smáčivosti (šíře rozprostřené pájky)
- § rychlost smáčení (rychlost rozprostření pájky)

Bezolovnatá pájka vykazuje horší smáčitelnost i roztékateľnosť. Velikost stykového úhlu definuje míru smáčitelnosti. Roztékavost je definována jako podíl reálného a ideálního smáčení. Obě uvedené vlastnosti způsobují nárůst nezapájených míst a můstků. To vyžaduje opravy a vyšší výrobní náklady. Častěji se také vyskytují kuličky pájky (*Obr.49*), které mohou být zdrojem zkratů. **Pro zlepšení smáčivosti je efektivní použít dusík** a to jak u strojního pájení tak i u běžné dílenské pájecí stanice. Kromě ochrany pájky před oxidací, působí dusíkový plyn jako předehříváč pájeného spoje.

3. Snížení životnosti pájecího hrotu

Vyšší teplota způsobuje oxidaci, pájecí hrot koroduje (černá jeho povrch), není schopen udržet pájku a snižuje se jeho schopnost účinného přenosu tepla.

Analýzou černého materiálu, který pokrývá hrot pájky byly definovány následující procesy [1].

- § karbidy z tavidla ulpívají na železném hrotu
- § železo podstupuje vysokoteplotní oxidaci
- § cín v pájce podstupuje vysokoteplotní oxidaci
- § intermetalická slitina Sn/Fe podstupuje vysokoteplotní oxidaci

Uvedené procesy probíhají v různých kombinacích. Operátor pak typicky zvyšuje teplotu špičky hrotu aby dosáhl požadovanou teplotu v místě pájení. Vlastnosti bezolovnaté pájky si tuto činnost přímo vynucují. Pokusy a měření v této oblasti provedla japonská společnost HAKKO Corporation [1]. Její výzkumy jasně dokazují, že **není nutné zvyšovat teplotu hrotu ale je potřeba dodat potřebné množství tepla** – pájedlo musí mít dostatečnou tepelnou kapacitu.

Pájecí stanice pro bezolovnaté pájení vyžaduje dostatečně přesné (digitální) nastavení teploty a současně deklaraci výrobce o přesnosti tohoto nastavení. Podle zkušeností japonského průmyslu (je vpředu v bezolovnatém pájení proti Evropě) aplikuje společnost HAKKO do všech pájecích stanic s vysokou obnovu tepla, účinnou zpětnou vazbu, číslicové zobrazení a dokonce kalibrované pájecí hroty. Její stanice FM-202 má čtečku čárového kódu umístěnou přímo na hrotu pájedla a při jeho výměně se stanice automaticky zkalibruje. Klíč (karta) v pájecí stanici s vysokou obnovou tepla brání tomu, aby operátor měnil její nastavení. Pájecí stanice HAKKO 937 a HAKKO 942 má kolem pájecího hrotu trysku pro použití dusíku, který ohřátý dodává pájenému místu teplo a současně působí antioxidačně.

4. Pájené komponenty mají větší tepelný šok

Vlivem vyšší teploty nesmí dojít k poškození součástek (polovodičové přechody, izolační hmoty apod.) ani vlastního substrátu DPS a jeho měděné fólie. Komponenty musí být odolné vůči teplotě přesně definovanou teplotní charakteristikou, zachovávající stabilitu jejich elektrických parametrů. Vyšší pájecí teplota nesmí způsobit jakékoliv destrukční či nevratné změny. Tepelný šok je zvláště nebezpečný u součástek SMD. Poškození takové součástky není zrakem postřehnutelné (*Obr.48*) a přitom může dojít k markantním změnám elektrických parametrů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 IDENTIFIKACE NEKVALITNÍCH SPOJŮ V EZS

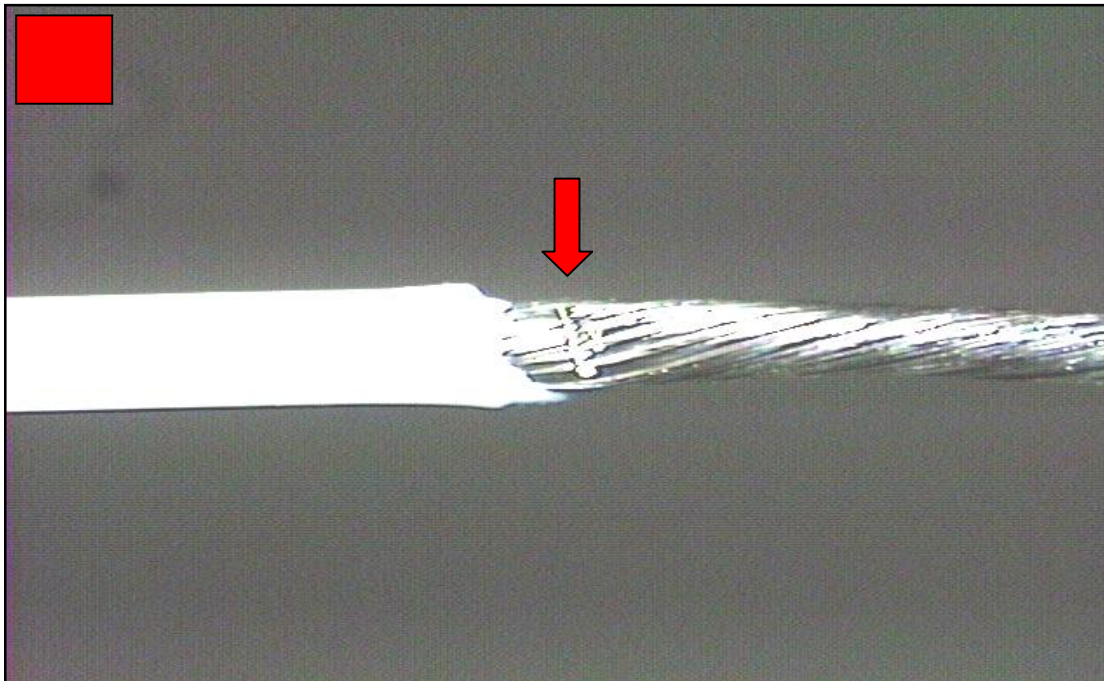
Nekvalitní spoj v EZS je identifikovatelný zrakem, případně za použití různých optických přístrojů (lupa, mikroskop). Pracovník kontroly vychází z výrobní dokumentace zařízení, pracovních postupů a požadavků norem. Nezanedbatelnou součástí jeho rozhodovacího procesu je požadovaná míra kvalifikace a zkušeností v oboru.

U praktické části naší bakalářské práce vycházíme z norem a předpisů pro pájené spoje a snažíme se pomocí typických příkladů, doložených fotografickou dokumentací postihnout nejčastější chyby vznikající při pájení. Omezený rozsah předkládané práce však zdaleka nezachycuje veškerou problematiku kvalitních a nekvalitních spojů. Jsou zde uvedeny nejčastější závady, které byly identifikovány při pájení u vybraných elektrotechnických firem v Kroměříži zabývajících se montáží EZS a EPS. Posuzování jakosti pájených spojů je čerpáno z normy IPC- A-610C.

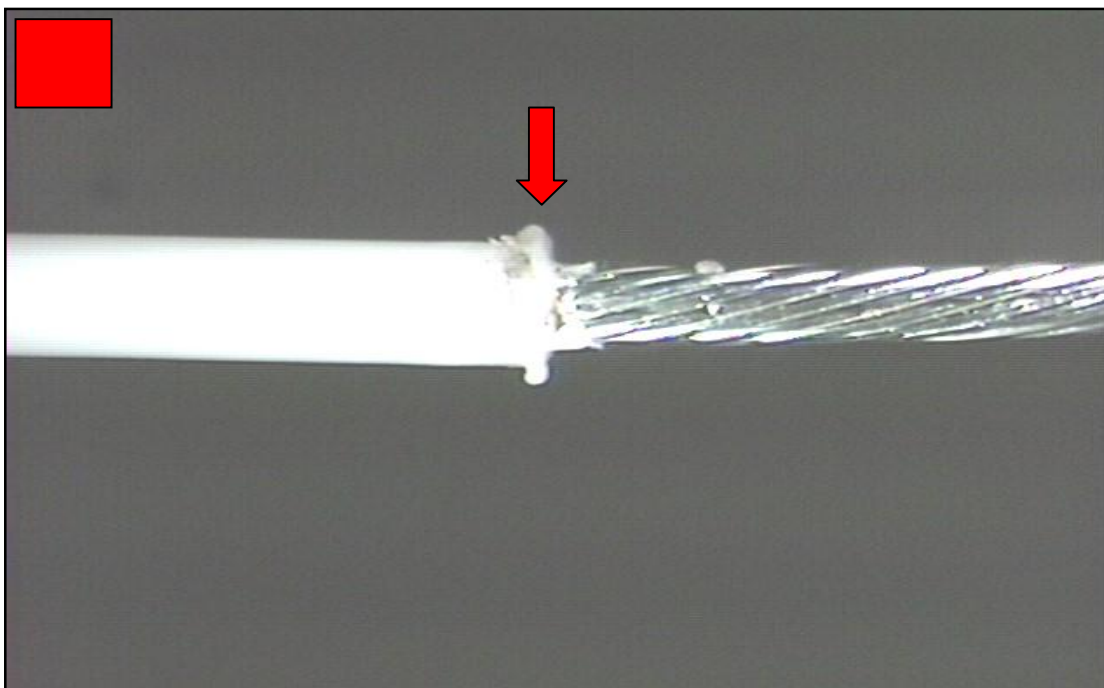
Obrazová dokumentace byla obohacena o předpisy pro pájení vysoké kvality elektronických přístrojů, které se využívají pro kosmický výzkum v zahraničí (Itálie, Německo, USA). Uvedené požadavky jsou plně transformovatelné i na kvalitu pájení v elektrické zabezpečovací a požární signalizaci, především pro oblasti vysokého stupně zabezpečení.

Na fotografiích jsou zobrazeny a definovány kvalitní a nekvalitní pájené spoje používané jak u klasického spojování vodičů, tak SMT a vývodové technologie pájení na desky plošných spojů. Snímky byly jednak pořízeny digitálním fotografickým přístrojem s funkcí makro a jednak převzaty z dokumentace tuzemských [18] i zahraničních montážních elektronických firem[19]. U obrázků je barevně rozlišena kvalita pájených spojů následovně:

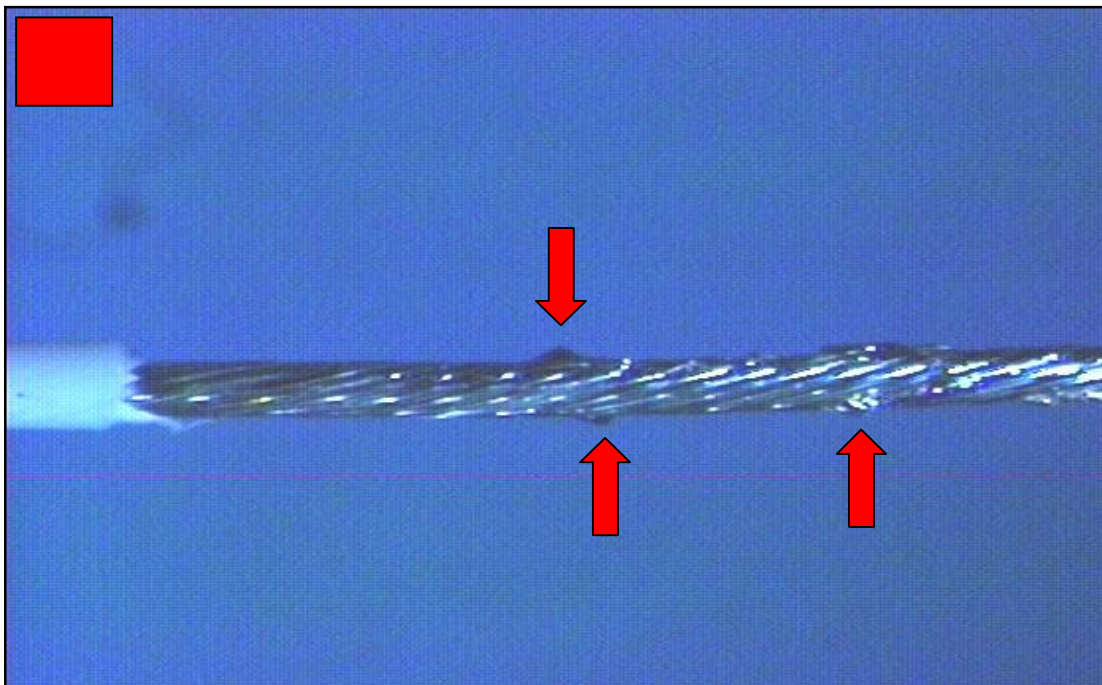
- § **zelená** - akceptovatelný spoj (kvalitní pájení)
- § **žlutá** - na hranici akceptovatelnosti (rozhodne pracovník kontroly)
- § **červená** - neakceptovatelný spoj (nekvalitní pájení)



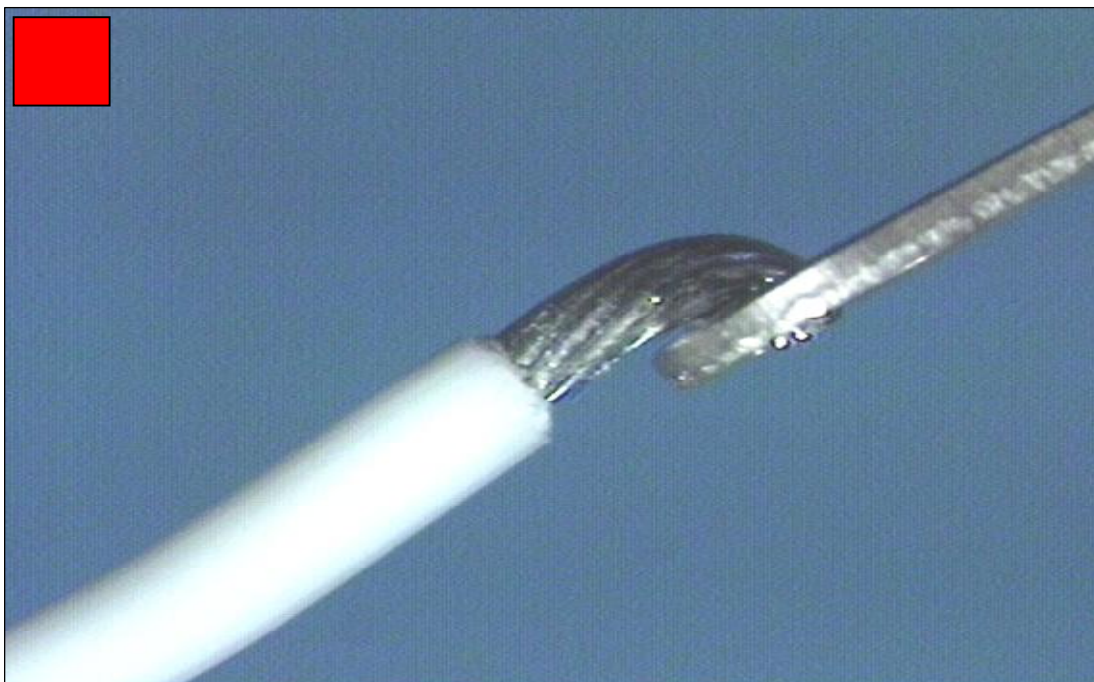
Obr. 13. Mechanické poškození vodiče při odizolování vede ke zmenšení průřezu jádra a je příčinou následných poruch EZS.



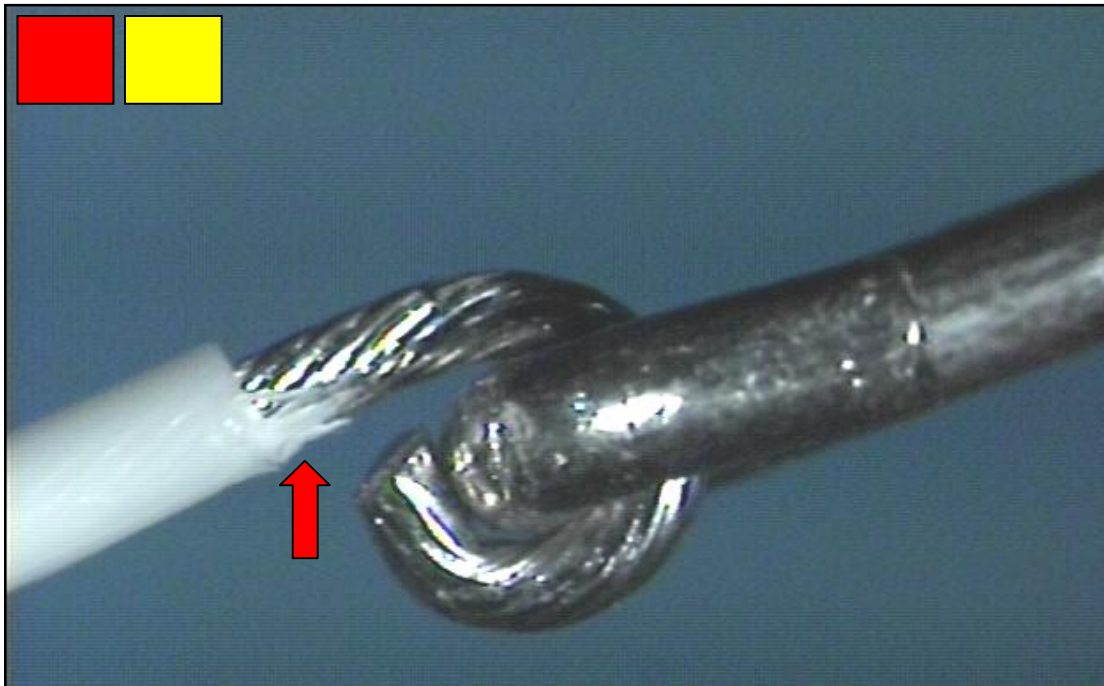
Obr. 14. Termické poškození izolace nadměrnou teplotou je neakceptovatelné.



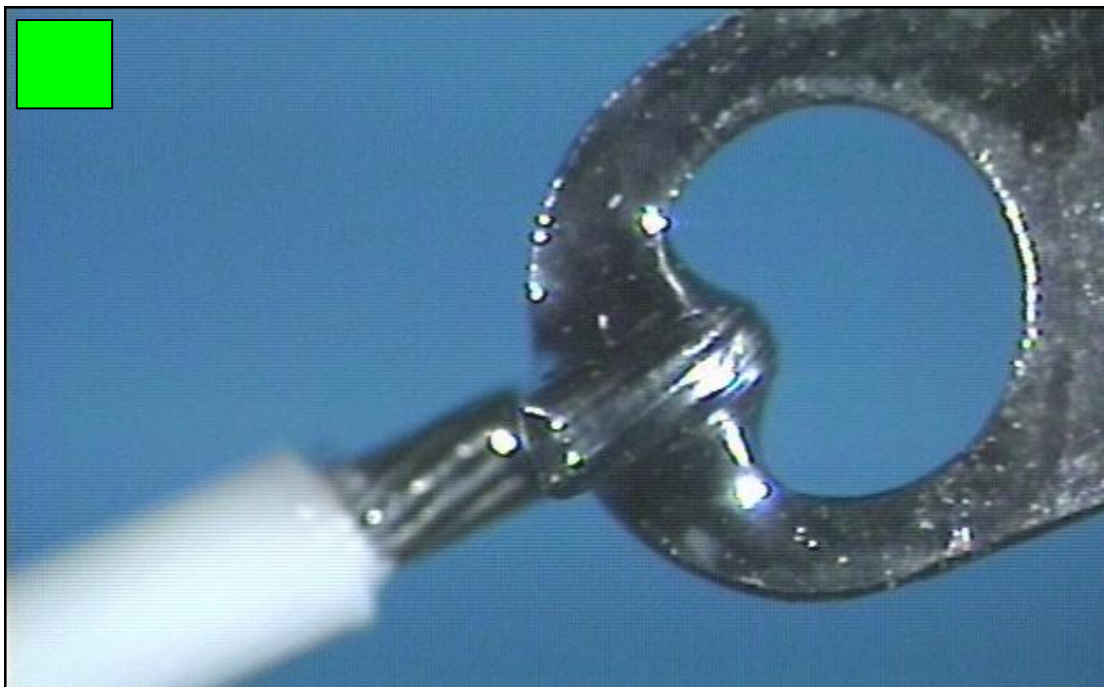
Obr. 15. Při pájení vlivem nesprávné technologie došlo k tvorbě nepříjemných bodlinatých krápníkových výstupků.



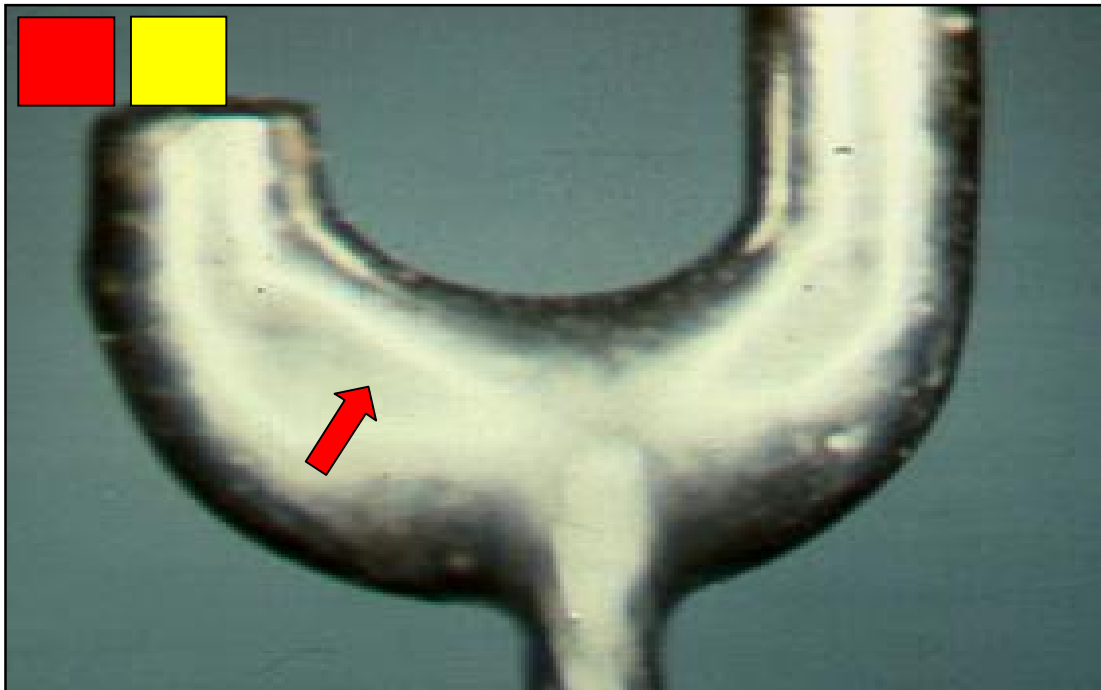
Obr. 16. Nedostatečný úhel otočení vodiče před pájením. Neakceptovatelné.



Obr. 17. Limitní úhel otočení vodiče. Špatné odizolování vodiče.



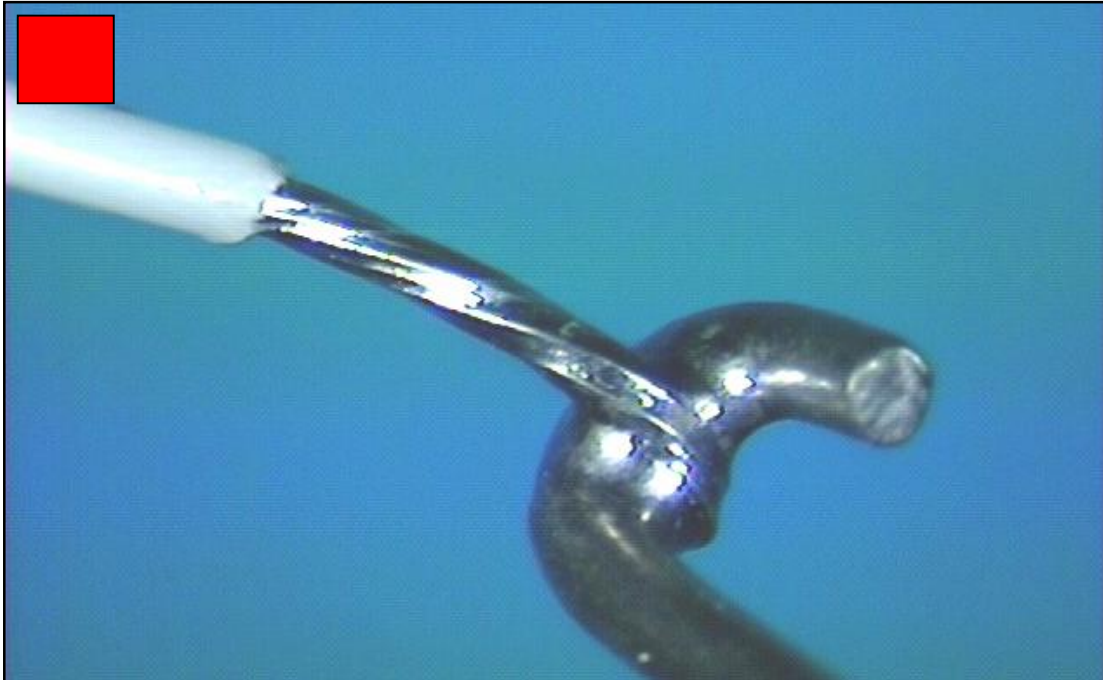
Obr. 18. Optimální množství pájky, délka odizolování a vzhledové vlastnosti spoje determinují jeho akceptovatelnost.



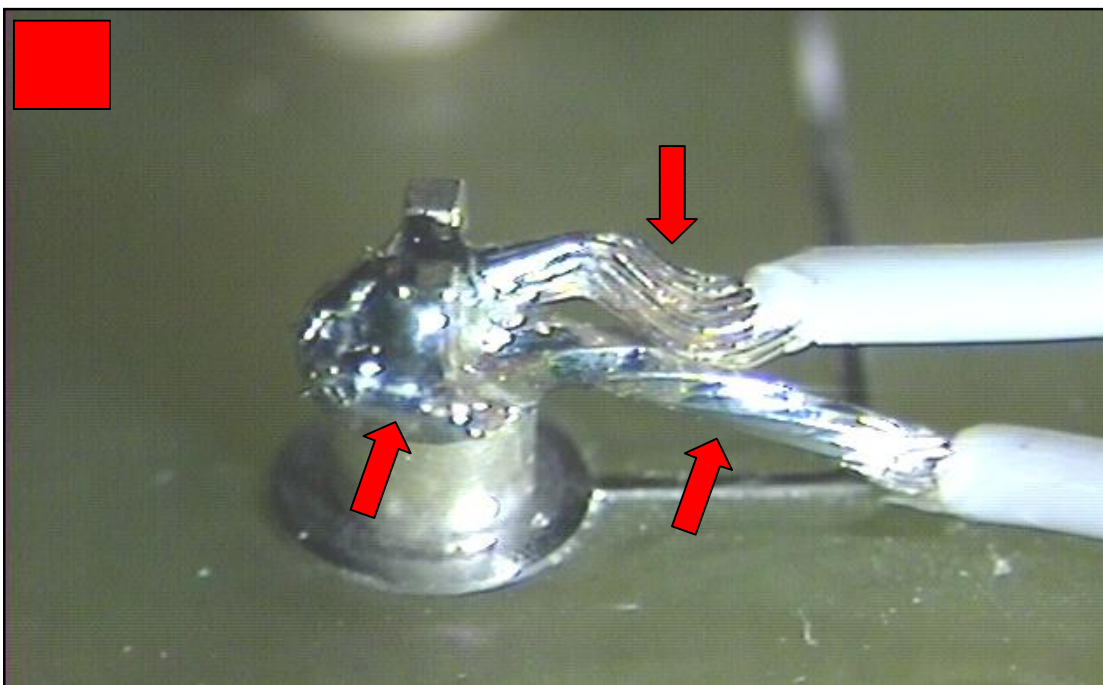
Obr. 19. Pájený spoj je na hranici přijatelnosti. Nadbytečné množství pájky.



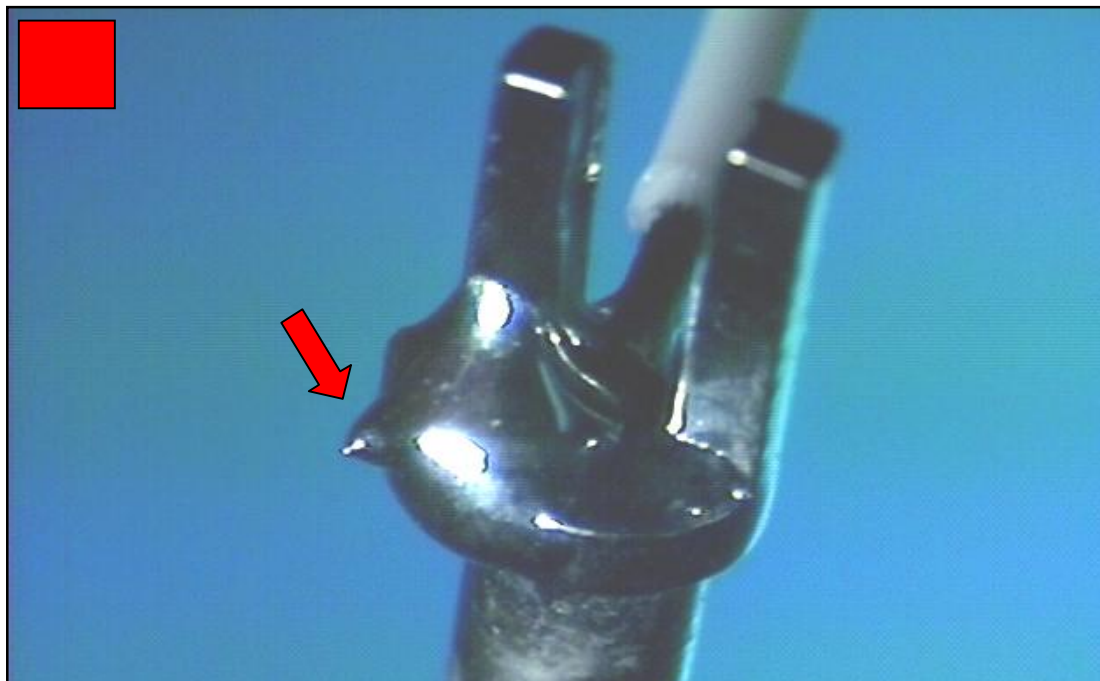
Obr. 20. Pájený spoj je kvalitní na hranici přijatelnosti. Minimum pájky.



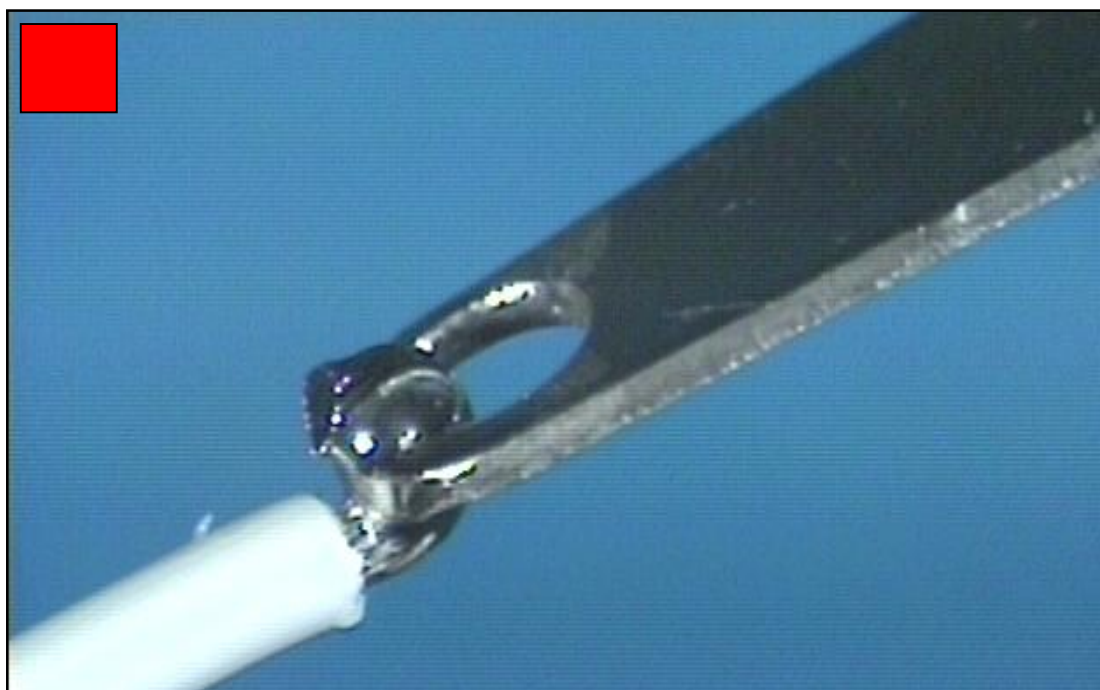
Obr. 21. Nadbytečná délka odizolování vodiče. Neakceptovatelný spoj.



Obr. 22. Nadměrná délka odizolování, deformace vodičů. Nedostatek pájky. Neakceptovatelný spoj.



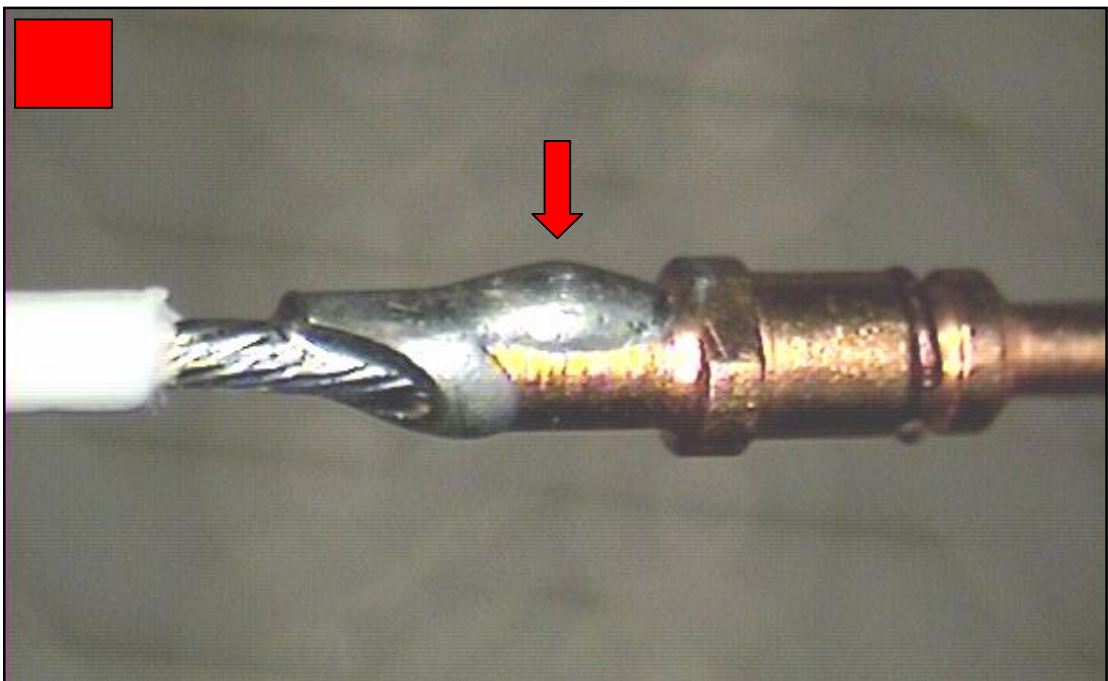
Obr. 23. Nadbytečné, nesouměrné množství pájky a bodlinatý výstupek (Solder Spikes). Neakceptovatelný spoj.



Obr. 24. Krátká vzdálenost odizolování vodiče a nedostatečné množství pájky. Neakceptovatelný spoj.



Obr. 25. Pájené komponenty nejsou v ose a v dostatečném překrytí. Málo pájky. Neakceptovatelný spoj.



Obr. 26. Lokální nadbytek pájky. Neakceptovatelný spoj.



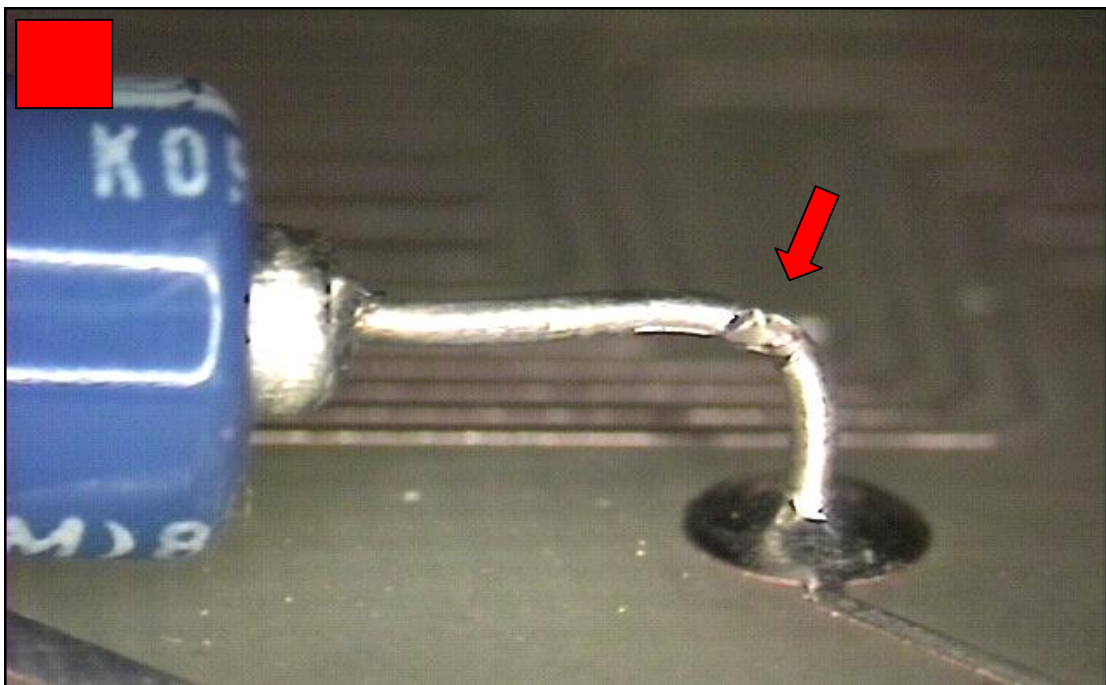
Obr. 27. Pájené komponenty nejsou v ose a pájka netvoří plynulý konvexní přechod. Neakceptovatelný spoj.



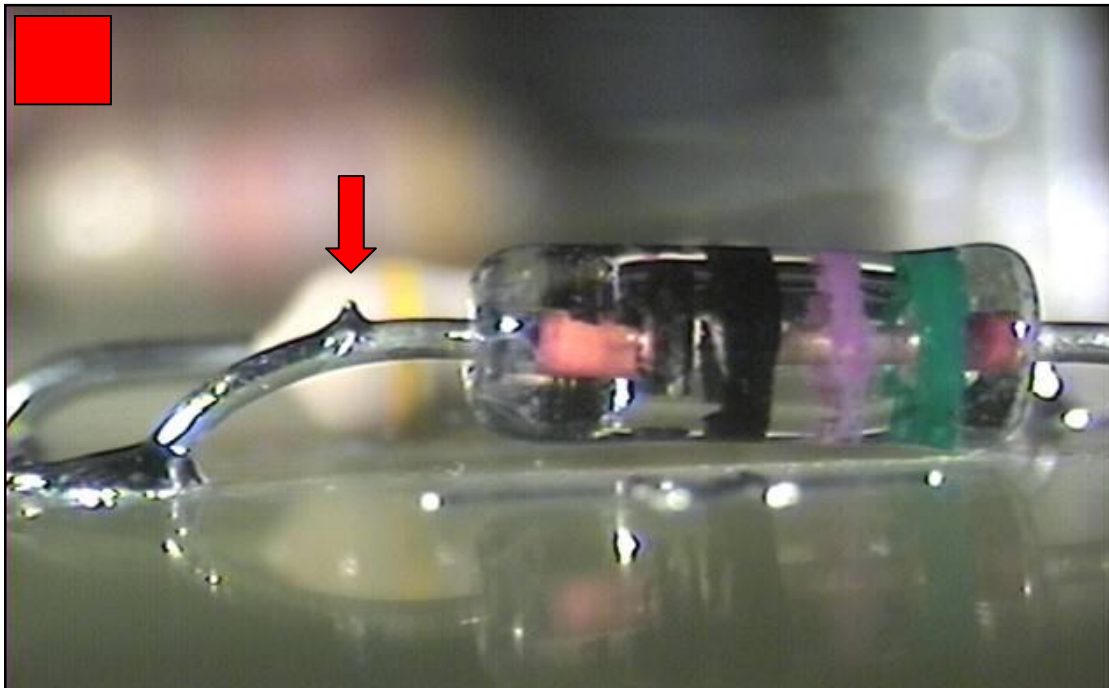
Obr. 28. Nedokonalé pokrytí plošky pájkou u vícevrstvé DPS.



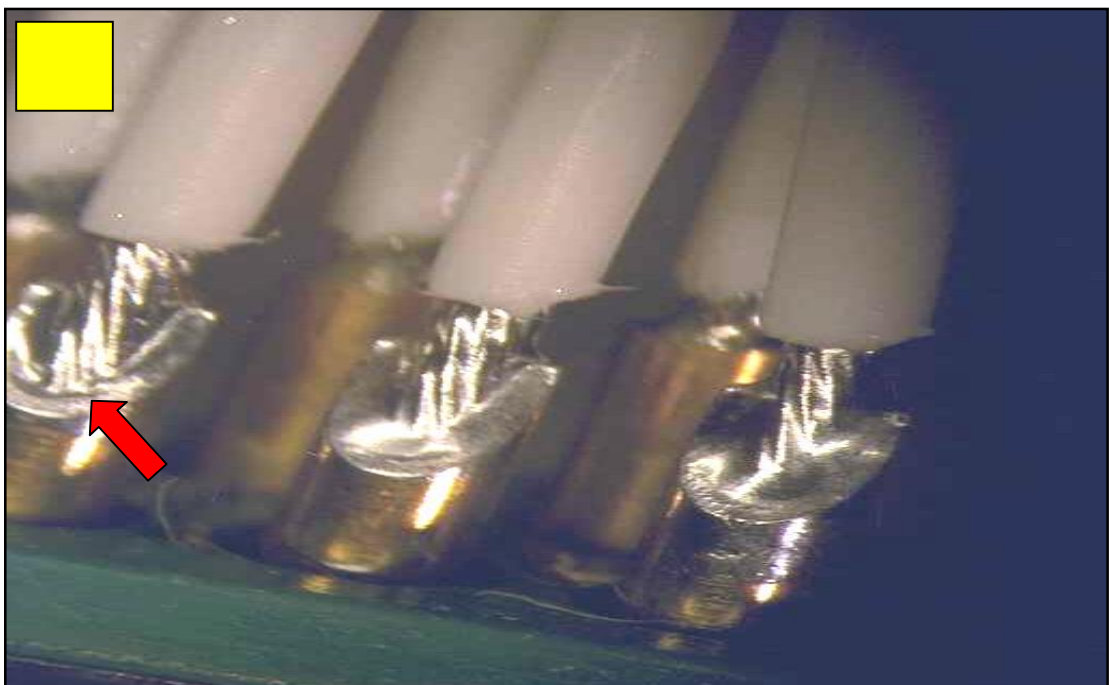
Obr. 29. Rozpletená a deformovaná lanka vodiče na DPS představují neakceptovatelný spoj s rizikem poruch a nespolehlivosti EZS.



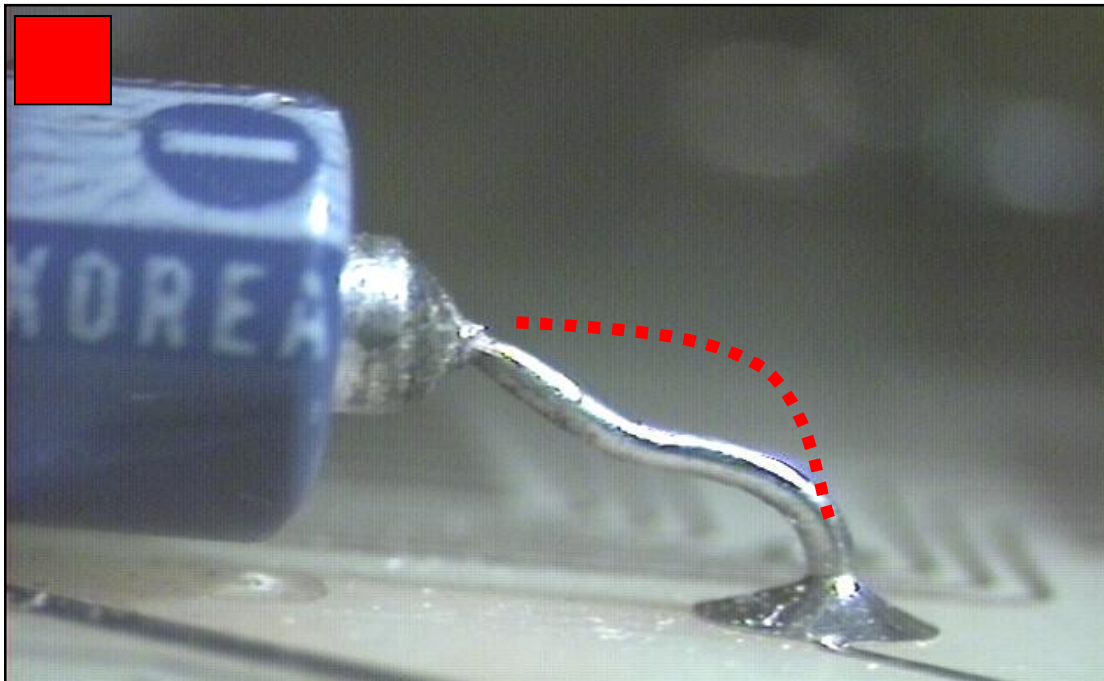
Obr. 30. Na vývodu kondenzátoru jsou zbytky pájky, které jsou po uvolnění zdrojem budoucích zkratů. Neakceptovatelné.



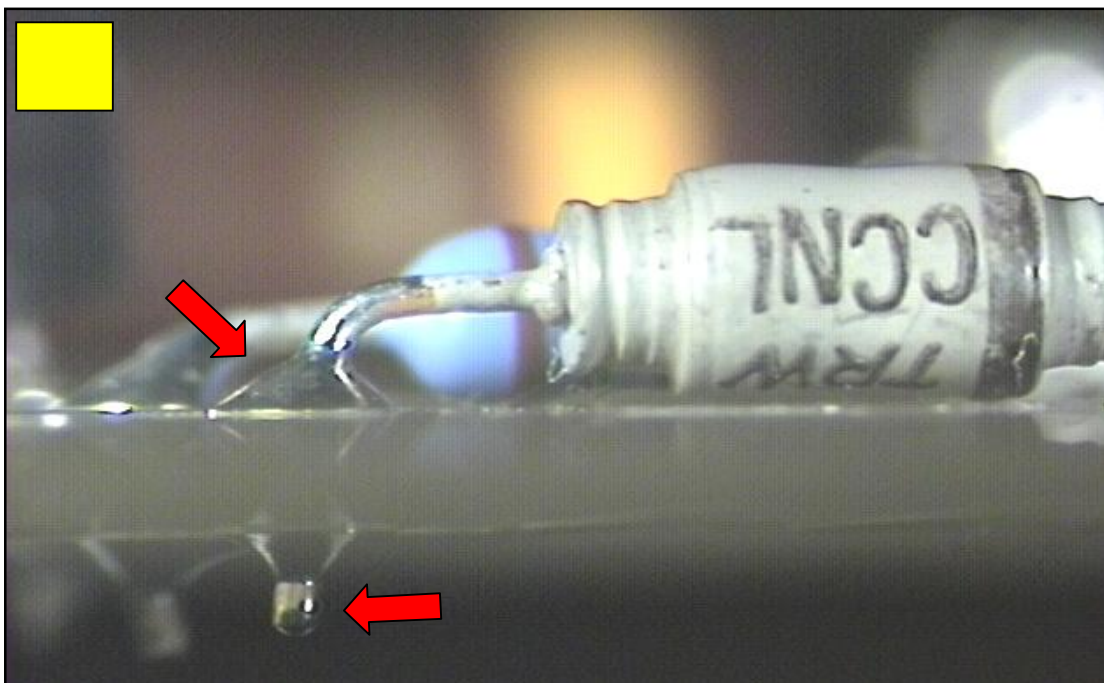
Obr. 31. Náhodný dotyk pájedla na vývodu polovodičové diody způsobuje krápníkové výstupky pájky. Neakceptovatelné.



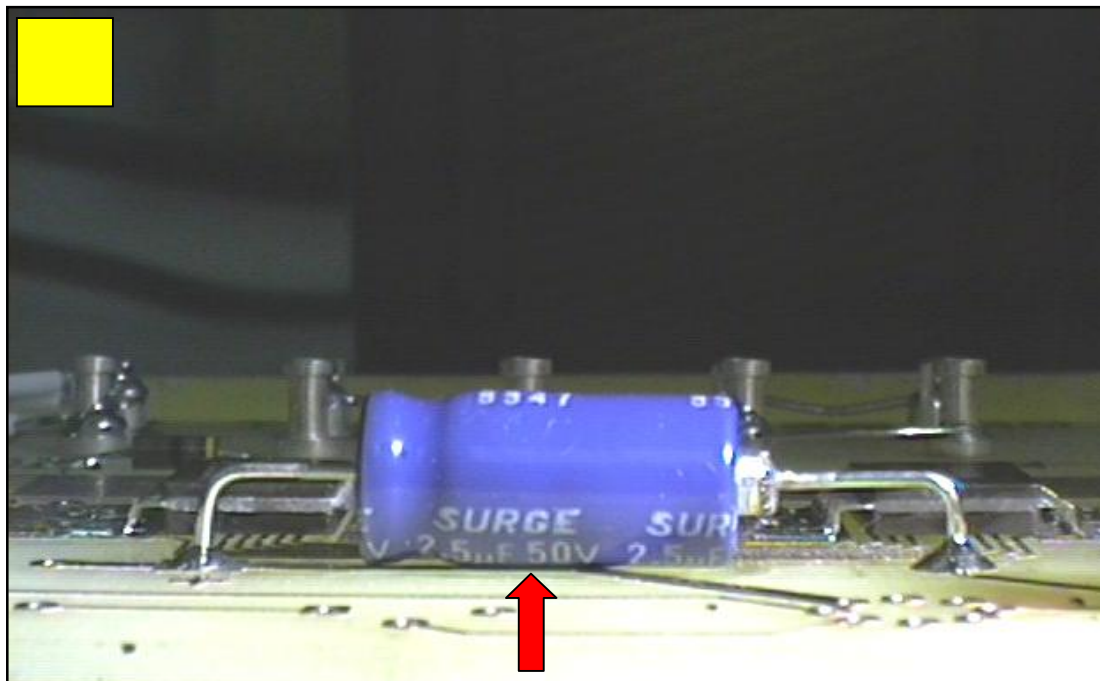
Obr. 32. Kvalitně pájený konektor. Optimální množství pájky, její tvar i vzhled u dvou spojů. U spoje vlevo je nedostatek pájky.



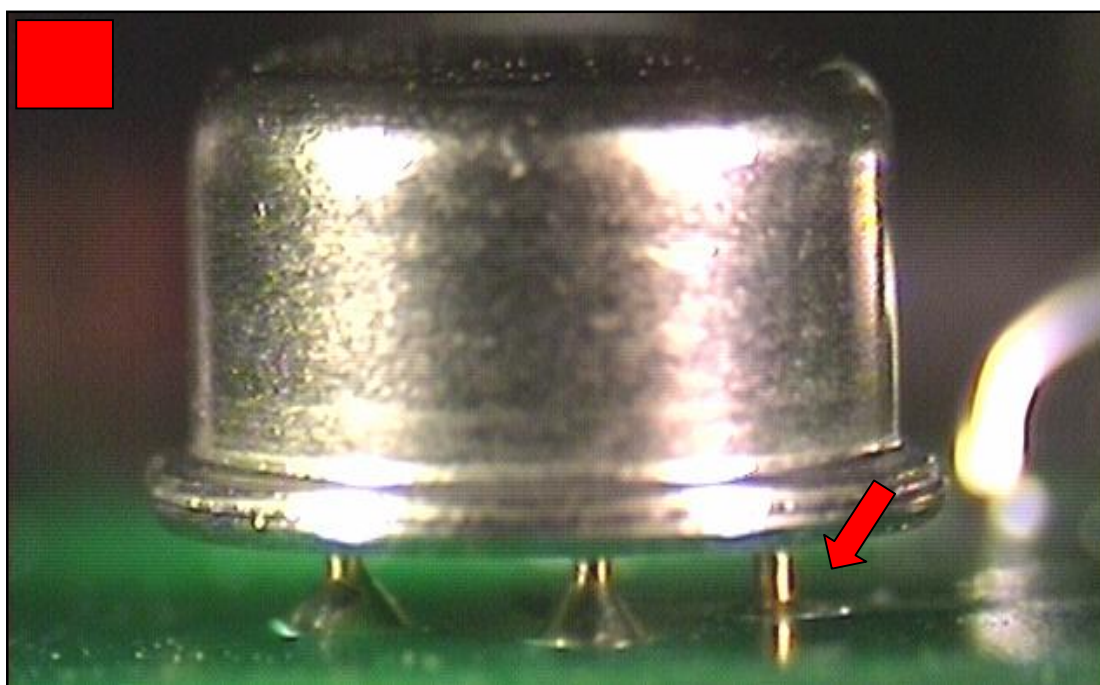
Obr. 33. Nedodržena vzdálenost ohybu vývodu od těla součástky (min $2xD$). Neakceptovatelné.



Obr. 34. Nadbytečné množství pájky a délka vývodu nad DPS. Neakceptovatelné.



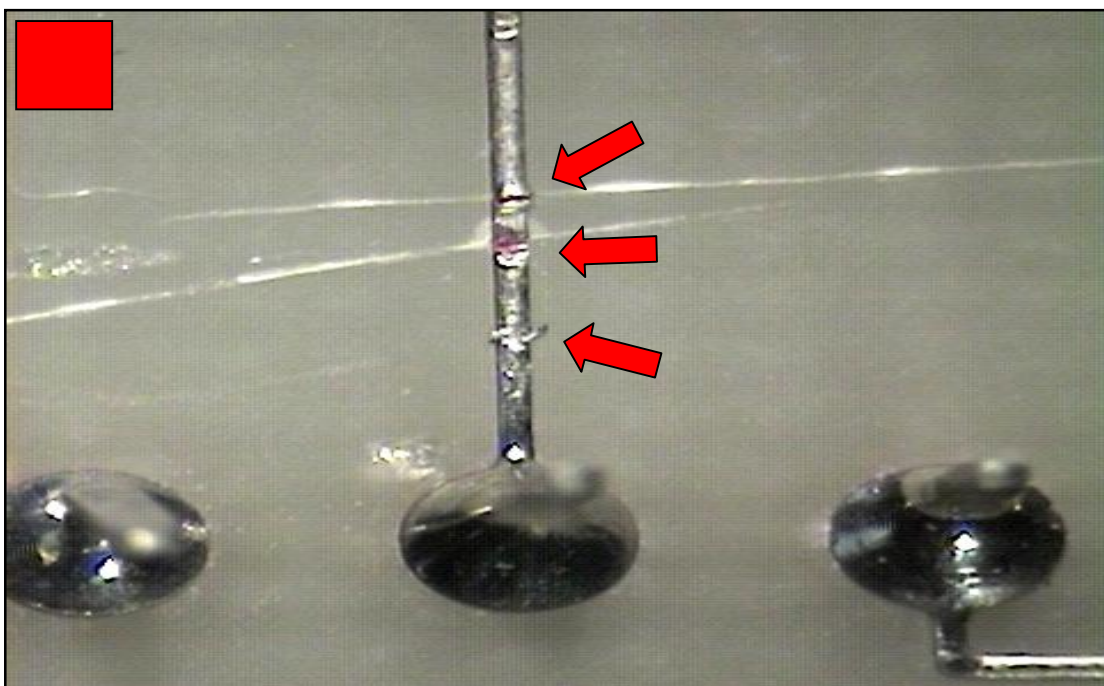
Obr. 35. Elektrolytický kondenzátor je na DPS nesprávně uložen. Jmenovité hodnoty (kapacita a napětí) nejsou viditelné při pohledu shora.



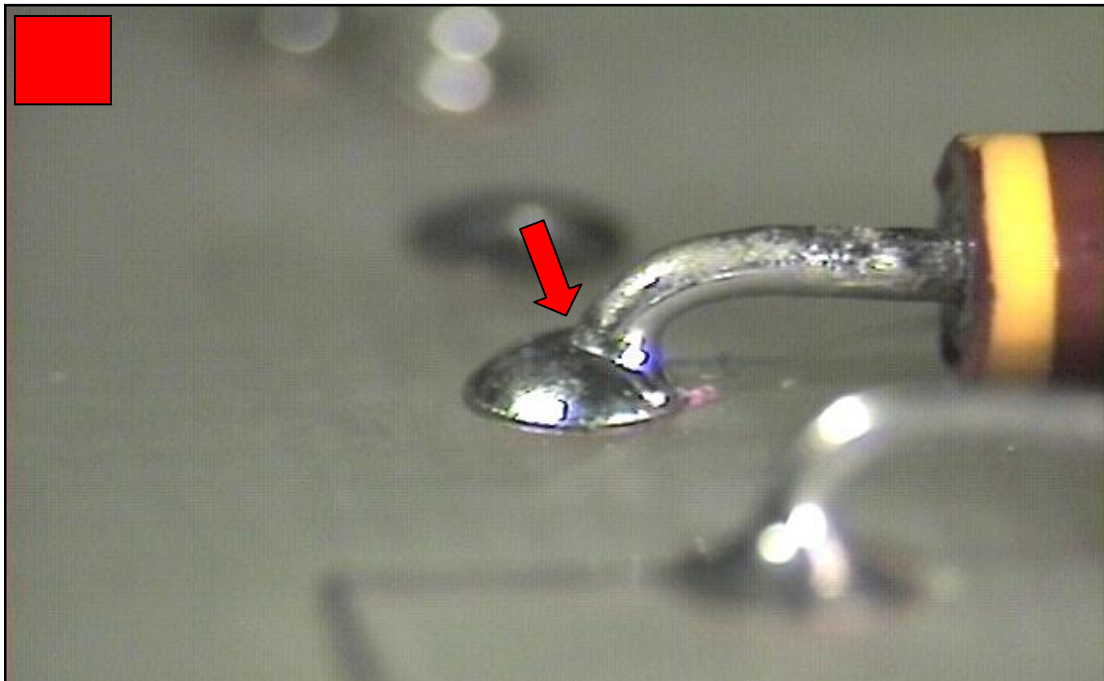
Obr. 36. Nezapájený vývod tranzistoru. Nefunkční (poruchový) systém.



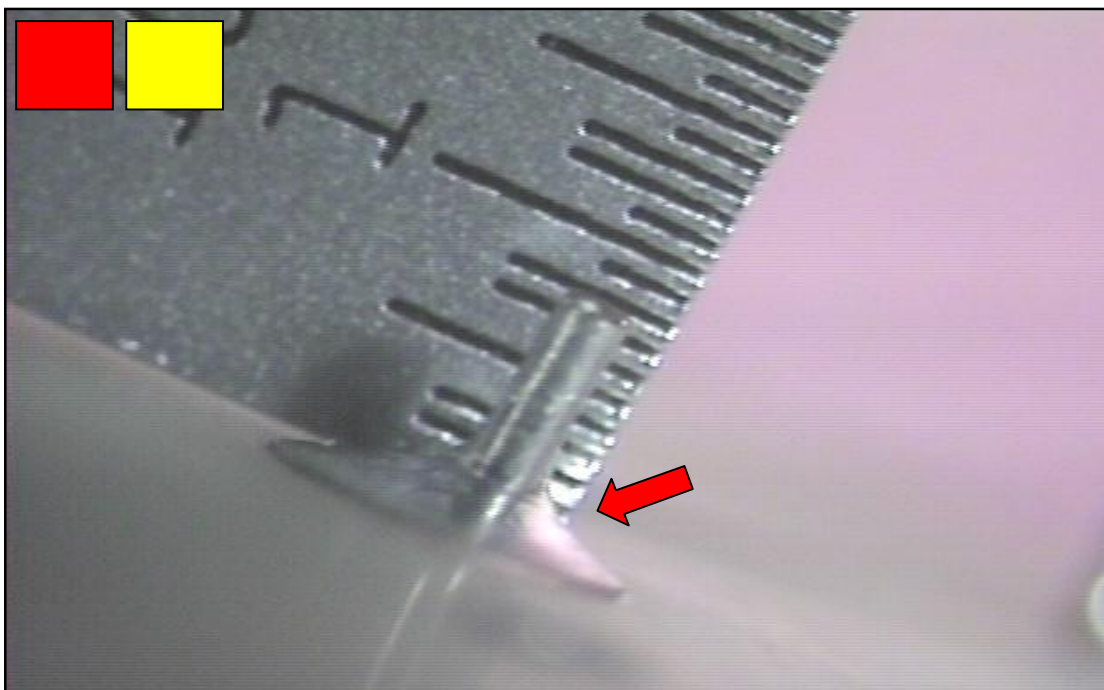
Obr. 37. Nedostatečné množství pájky a její roztroušenost determinuje neakceptovatelný spoj u komponentu SMD v provedení MELF.



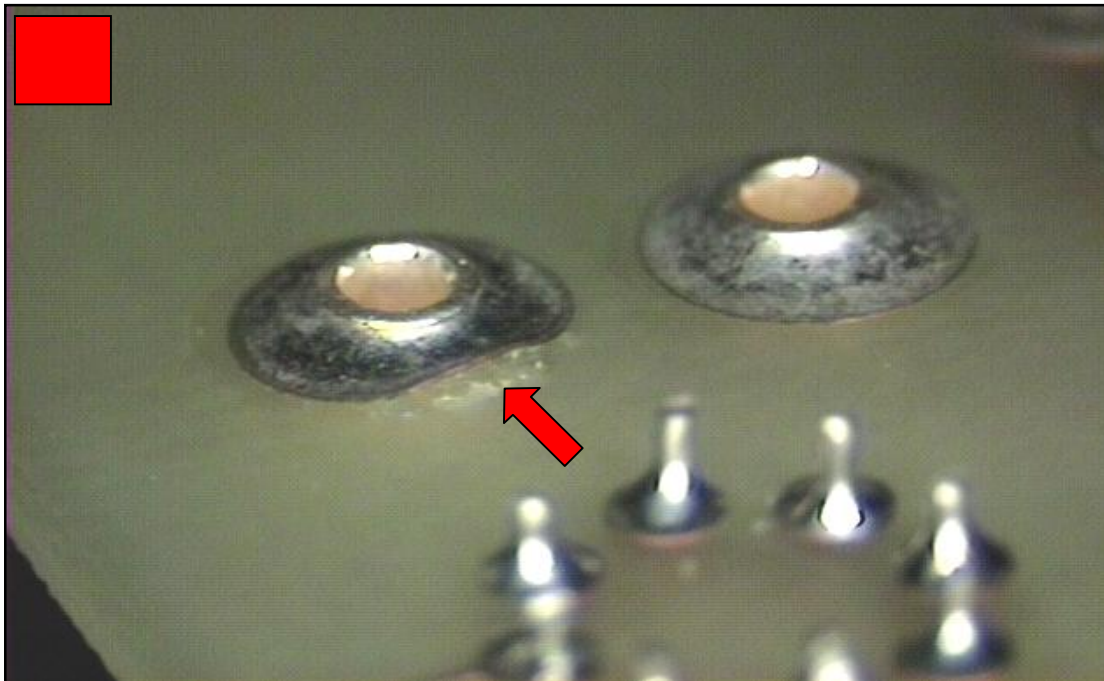
Obr. 38. Mechanické poškození měděné fólie DPS způsobuje nadměrné lokální proudové zatížení a následné přerušení obvodu.



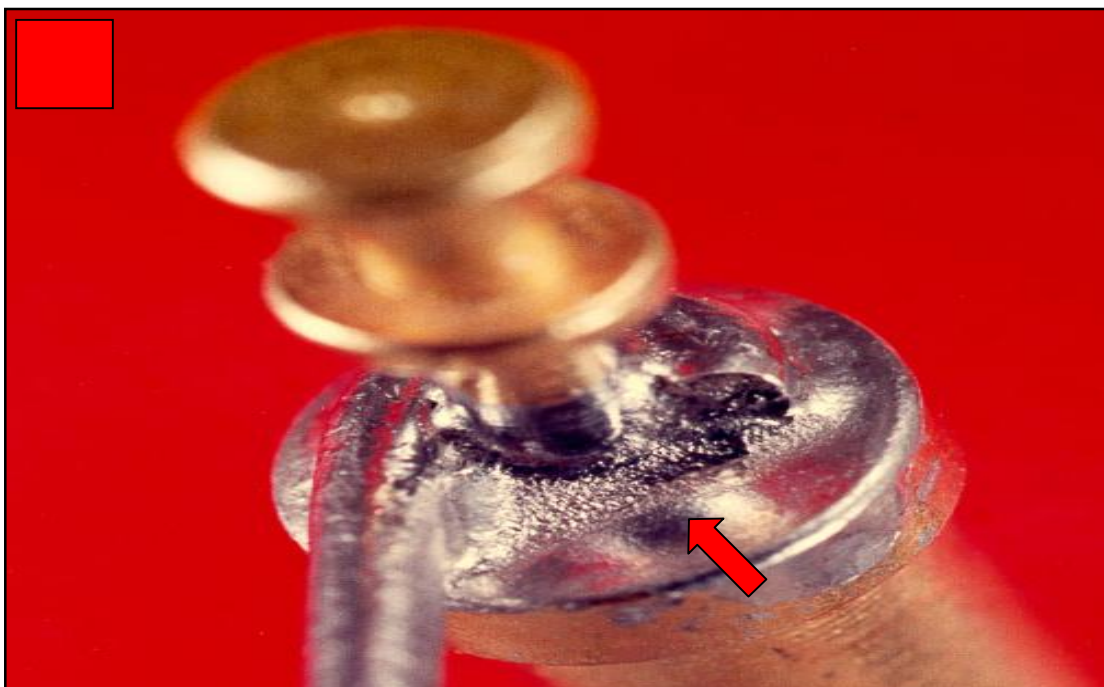
Obr. 39. Viditelné rozhraní přechodu pájky z pájecí plošky na vývod součástky vytváří neakceptovatelný spoj.



Obr. 40. Délka vývodu komponentu nad DPS je stanovena $1,5 \pm 0,8$ mm. Nedostatečně vzlínající pájka. Nedostatek pájky.



Obr. 41. Nadměrnou teplotou odlepená pájecí ploška na DPS. Neakceptovatelné.



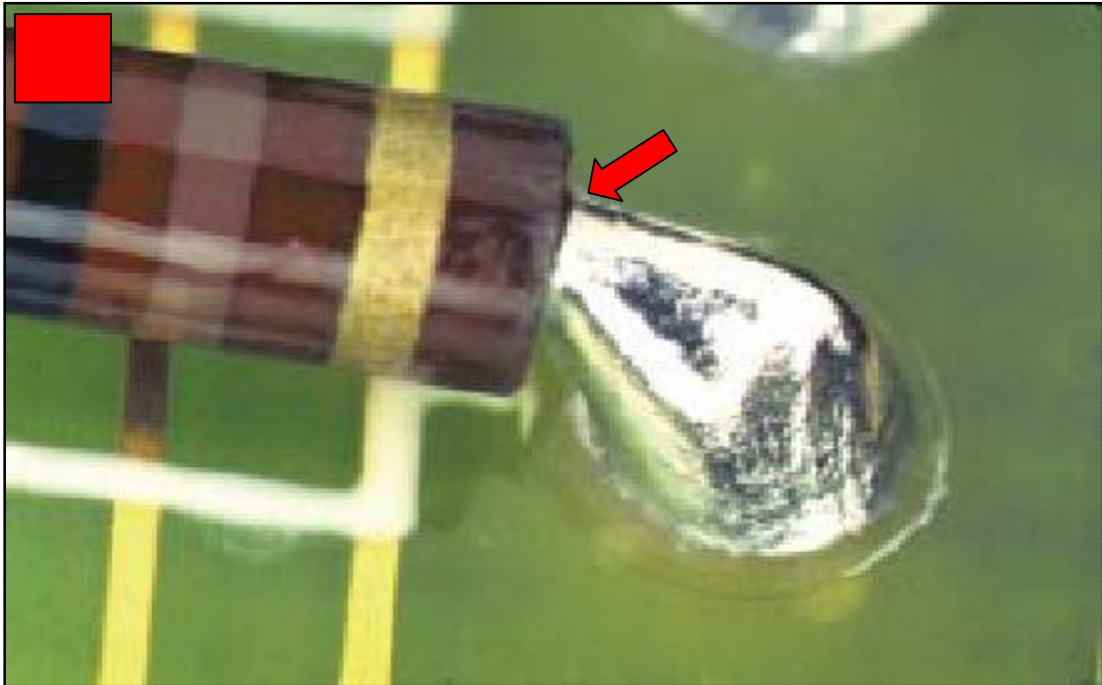
Obr. 42. Vysoká a dlouhodobá teplota pájení vytváří hrubozrnnou strukturu pájky. Vyschlý spoj (Dry Joints). Neakceptovatelné.



Obr. 43. Prasklý spoj mezi pájkou a vývodem součástky. Neakceptovatelné.



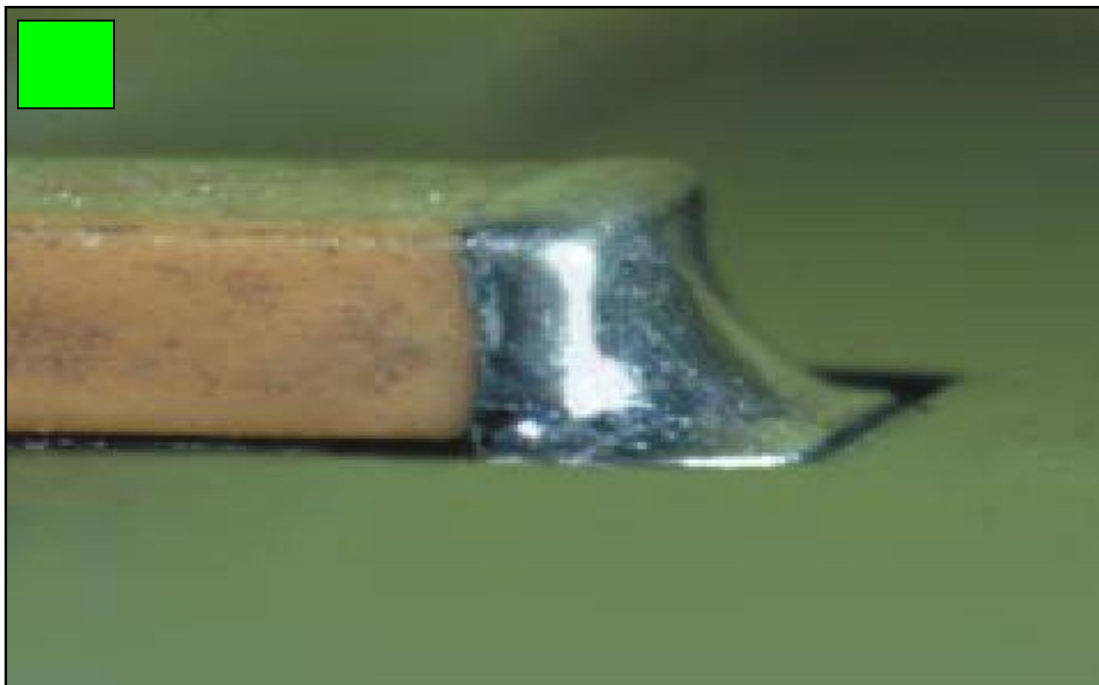
Obr. 44. Pájka vzlíná po vývodu součástky, ale nedotýká se pouzdra součástky. Ještě akceptovatelný spoj.



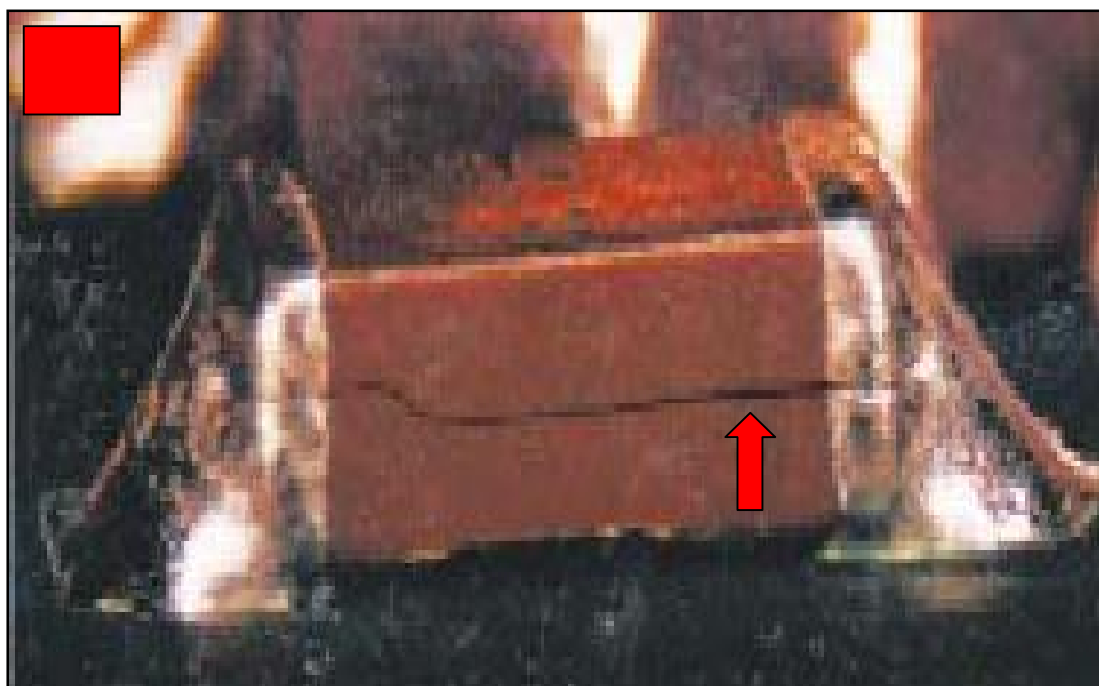
Obr. 45. Pájka se dotýká těla součástky. Neakceptovatelné.



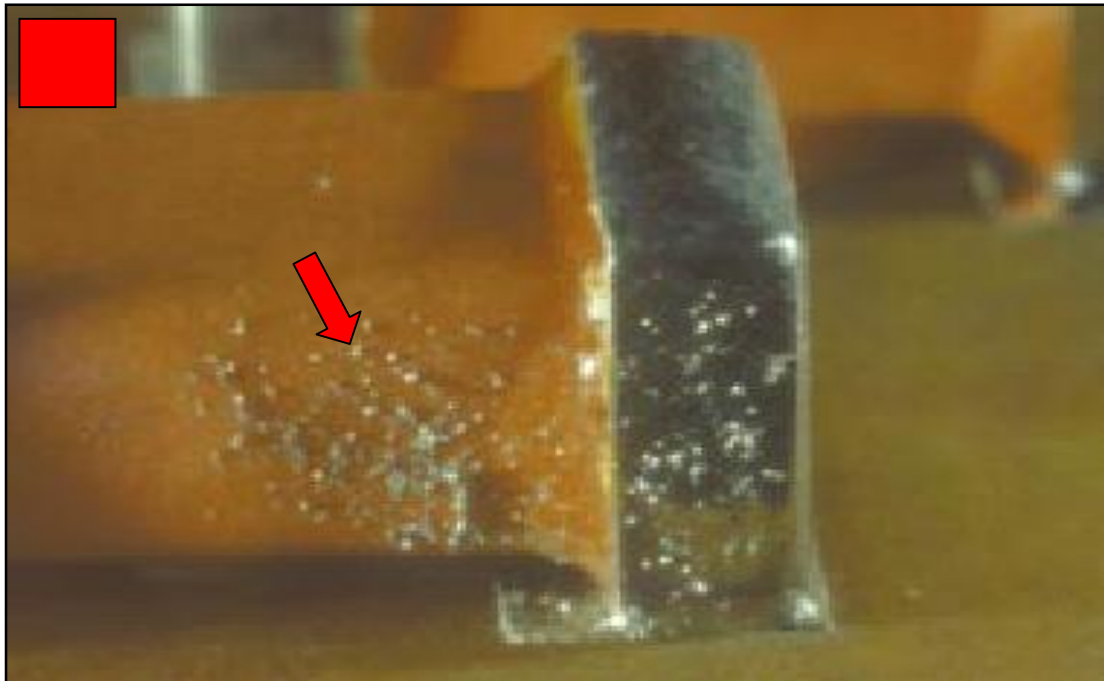
Obr. 46. Obrysy vývodu komponentu nejsou v pájeném spoji rozeznatelné. Kvalitu pájeného spoje nelze posoudit. Nadměrná délka vývodu nad DPS. Neakceptovatelné.



Obr. 47. Optimálně zapájená čipová součástka.



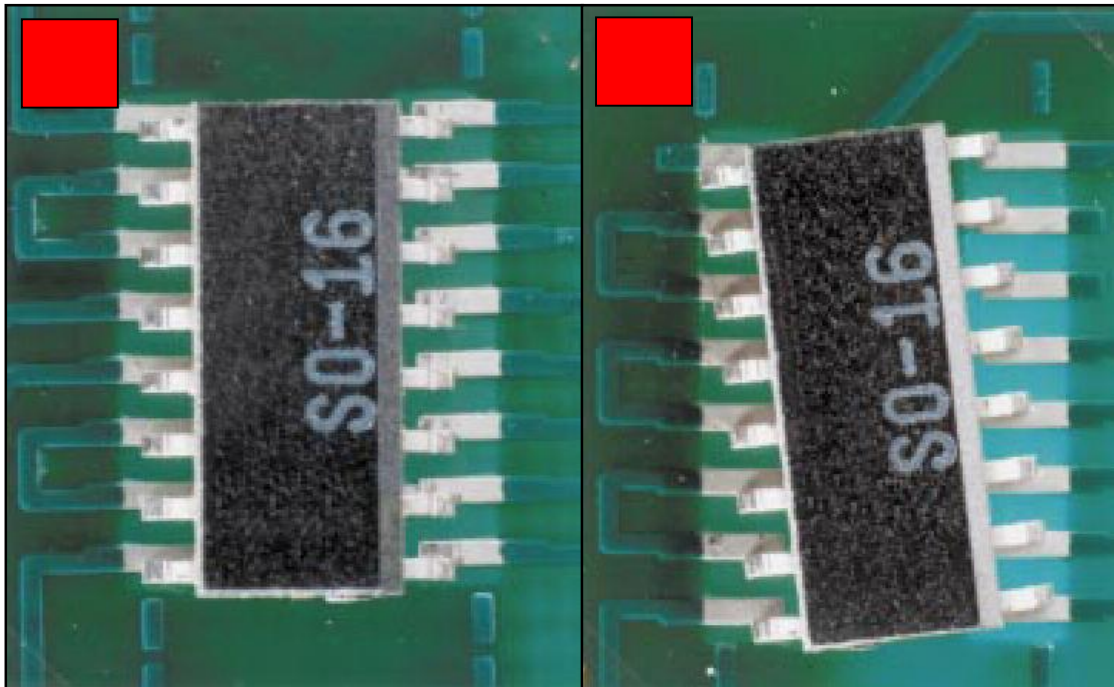
Obr. 48. Mechanické napětí vlivem vysoké teploty způsobilo prasknutí součástky.
Neakceptovatelné.



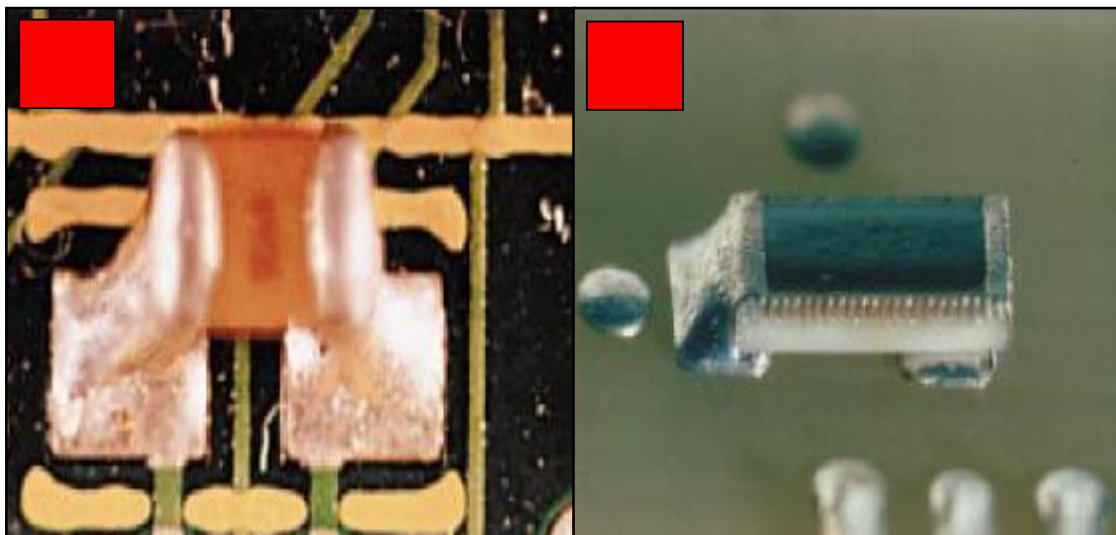
Obr. 49. Drobné kuličky pájky roztroušené na pouzdře součástky. Neakceptovatelné.



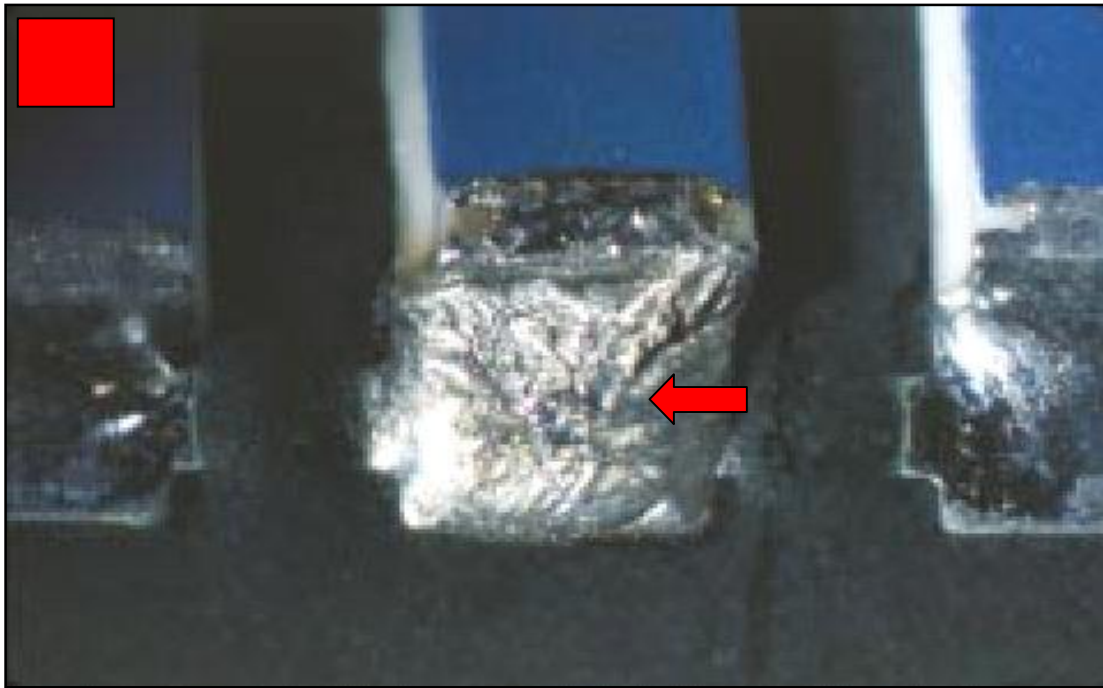
Obr. 50. Zvednutá součástka při operaci strojního pájení - efekt náhrobního kamene (Tombstoning effect). Neakceptovatelné.



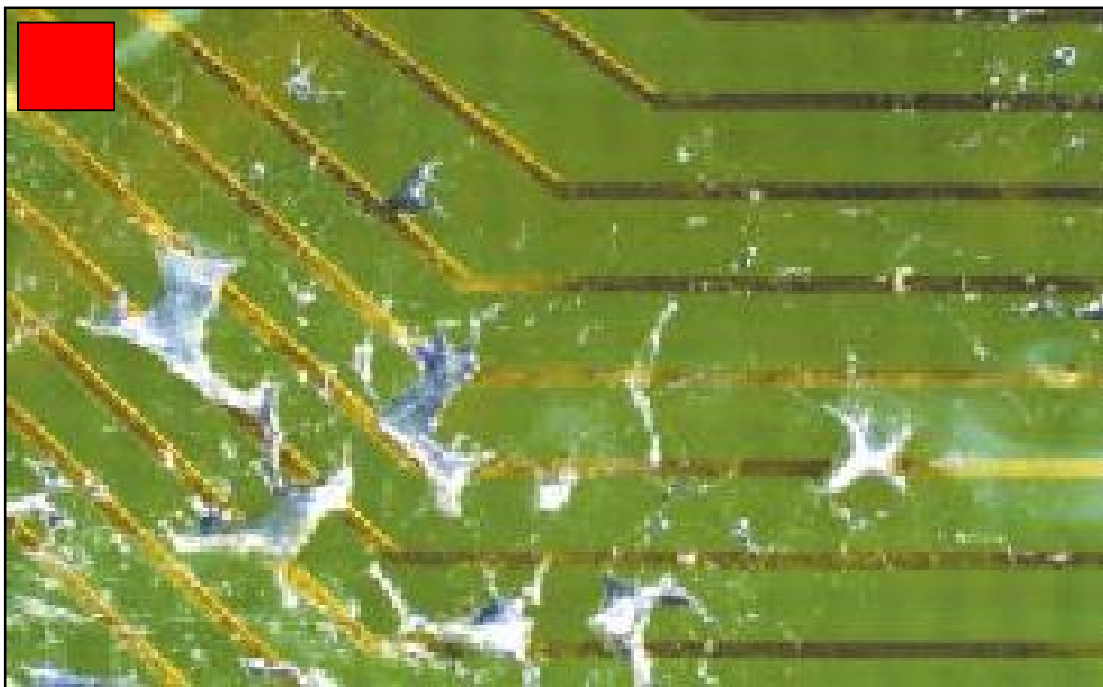
Obr. 51. Vývod součástky přesahuje (posunutí, rotace) z pájecích plošek o více jak polovinu šířky vývodů nebo o více jak 0,5 mm. Neakceptovatelné.



Obr. 52. Součástky jsou posunuté o více než polovinu šířky pájecí plošky. Neakceptovatelné.

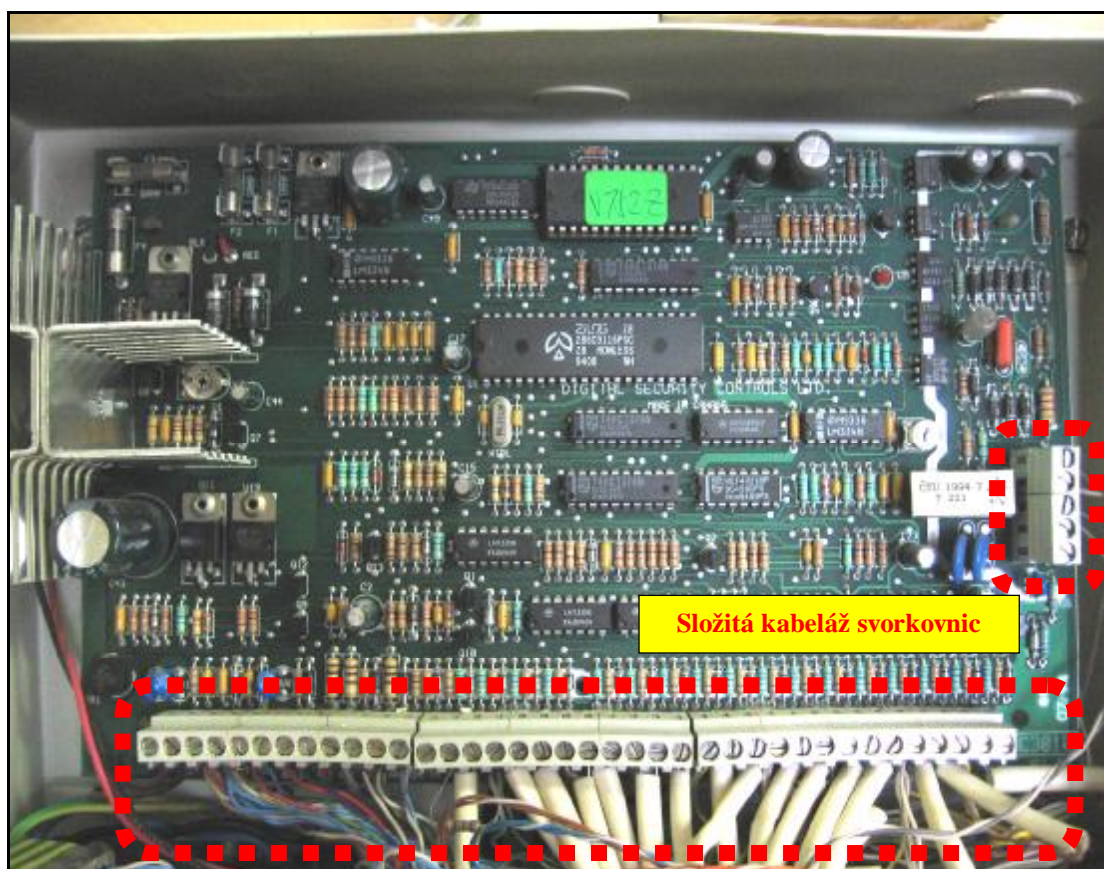


Obr. 53. Orange peel effect. Eefekt pomerančové kůry. Matně šedý, pórovitý vzhled s deformovanou strukturou pájky vlivem pohybu komponentu při tuhnutí. Neakceptovatelné.



Obr. 54. Rozstříkaná pájka na DPS je příčinou zkratů. Neakceptovatelné.

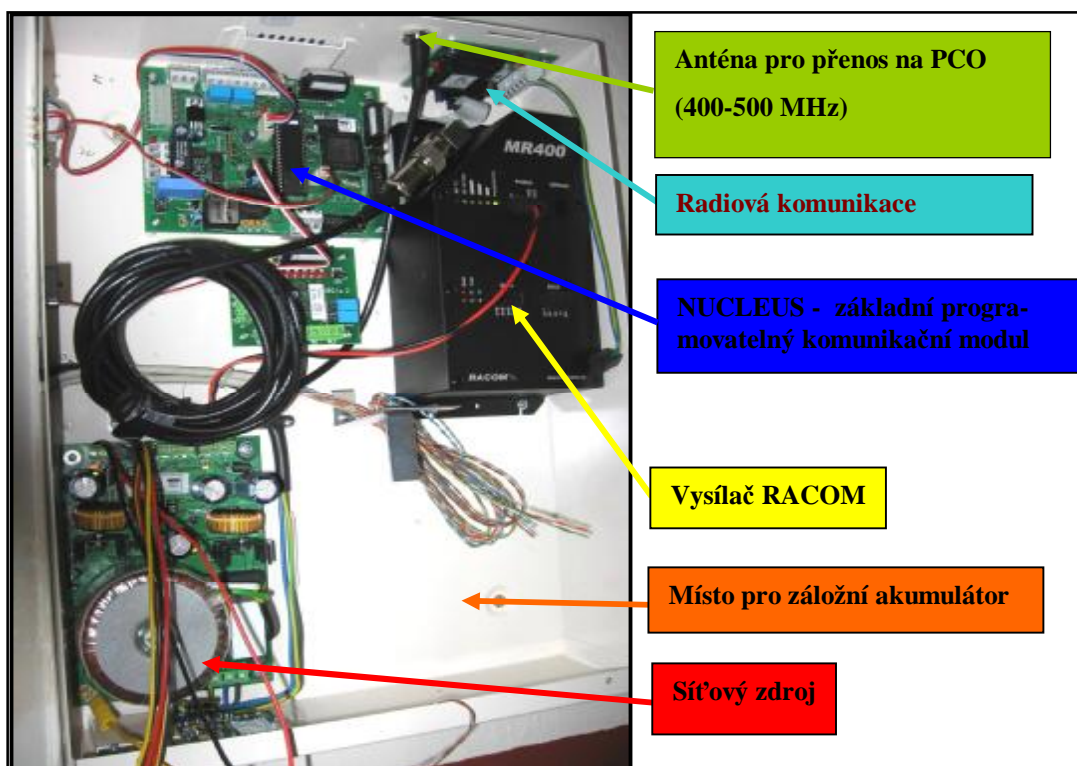
Na obrázku (*Obr.55*) je ústředna elektrické zabezpečovací signalizace, součást prostorové ochrany Střední školy - COPT Kroměříž a její praktické provedení. Vstupní čidla tvoří PIR detektory, připojené k ústředně kabelovým vedením. Ústředna má kryt opatřený sabotážním kontaktem. Praktická realizace ústředny je provedena na oboustranné desce plošných spojů a použité elektronické komponenty jsou klasické - vývodové. V dolní části je umístěna svorkovnice pro realizaci napojení vstupních čidel, napájení, ovládání a výstup na doplňující přenosový modul. Náročná kabeláž vstupů a výstupů staršího provedení s metalickým vedením a mechanickými spoji negarantuje vysokou spolehlivost EZS.



Obr. 55. Ústředna elektrické zabezpečovací signalizace.

Na obrázku (*Obr.56*) je doplňující přenosový modul k předcházející ústředně. Signalizační LED indikující spojení on-line při přenosu dat a paměť událostí. Napájecí zdroj je na samostatné desce osazené toroidním transformátorem, usměrňovačem a stabilizátorem. Pro případ výpadku síťového zdroje je zde záložní olověný plynotěsný dobíjecí akumulátor, který umožní autonomní provoz 24 hodin. NUCLEUS, jako základní komunikační modul (programovatelný při montáži) předává informace o vniknutí do střeženého objektu přes modul rádiové komunikace vysílači RACOM. Anténa pak vysílá poplachový signál na frekvenci cca 433 MHz na pult centralizované ostrahy (PCO) městské policie.

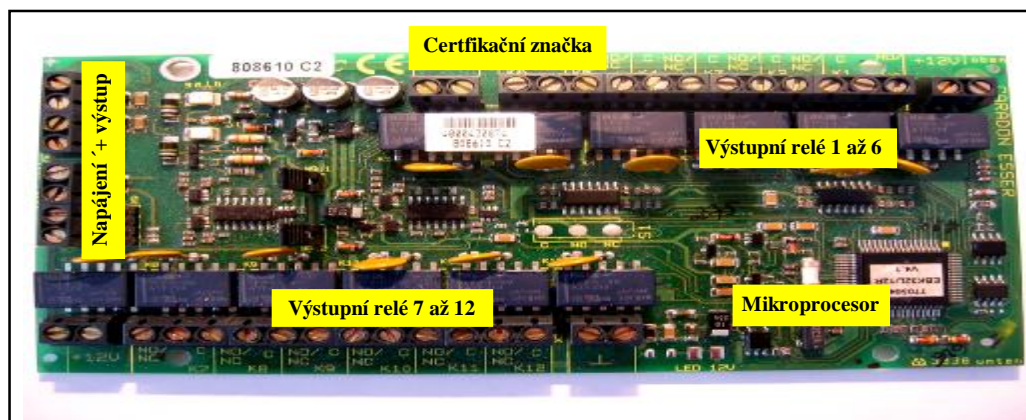
Na obrázku (*Obr.56*) je vidět relativně složitá kabeláž montážních prací ve kterých dominuje právě připojování vodičů do konektorů na deskách plošných spojů. Použité vodiče jsou vícedrátové, měděné v kabelovém provedení a koaxiální kabel. Mimo připojování do tlakových a šroubových svorkovnic bylo nutné provádět i spojování vodičů pájením.



Obr. 56. Přenosový doplňující komunikační modul ke stávající ústředně.

Pracovník montážní firmy mimo klasické vybavení elektrotechnickým nářadím a měřicími přístroji disponuje přenosným počítačem s firemním software pro programování komunikačního modulu. Kvalita a správnost provedení spojů u montáže EZS umožnila rychlé oživení celého systému a doposud bezporuchový provoz. Při případném výpadku funkce EZS je diagnostikován nefunkční modul, který montážní firma neopravuje, nýbrž ho zasílá přímo výrobci. Vlivem dokonalé montážní technologie, pájení a diagnostice je u renomovaných firem ze sféry zabezpečovací techniky zajištěna vysoká spolehlivost EZS.

Rakouská firma ESSER¹² vyrábí mikroprocesorově řízené ústředny EPS splňující požadavky DIN EN 54, VDE 0866 a VdS pro připojení automatických a neautomatických hlásičů požáru a esserbus – kopplerů v různých provedeních (*Obr.57*).



*Obr. 57. Pohled ze strany součástek na mikroprocesorový Transponder esserbus®
58 - Koppler obsahující 12 volně programovatelných relé.*

¹² Základní filozofií rakouské firmy ESSER je zavádění tzv. „*necentrální inteligence*“ i na oblast ovládaní a řízení. Koppler 12 může být umístěn až 2 000 m od ústředny a je schopen ovládat požární bezpečnostní zařízení (požární dveře, požární uzávěry, klimatizaci, vzduchotechniku atd.) bez nutnosti další kabeláže od ústředny.

10 DIAGNOSTIKA A DESKRIPTICE PÁJENÝCH SPOJŮ

Pro výrobce EZS je v dominantním zájmu dodávat výrobky v prvotřídní kvalitě. Na základě praktických poznatků bylo prokázáno, že až 90% závad při montáži DPS tvoří chyby technologického procesu. Z toho pak 74% tvoří chyby pájení.

Testování DPS se provádí **opticky** a **elektricky**.¹³

§ Optická kontrola kvality

a) **Zraková kontrola** je jednoduchá, levná a předpokládá odbornou erudovanost a praktickou zkušenost kontrolora.

b) **Kontrola pomocí lupy a mikroskopu** umožňuje diagnostikovat DPS s vysokou hustotou miniaturních součástek – především SMD.

c) **Testovací systém AOI** (*Automatic Optical Inspection*) exaktně detekuje:

- součástky chybějící, otočené a zaměněné
- chyby pájení
- nezapájená místa – vývody elektronických komponentů

Optický testovací systém (AOI) je ve dvojitým provedení:

§ **Laserový** – paprsek skenuje DPS a podle úhlu odrazu vyhodnocuje absenci SMD a pájecí chyby. Tento systém byl nahrazen dnes standardním prvkem optické kontroly – kamerou.

§ **Kamerový** – DPS je osvětlena a odraz či rozptyl světla snímá CCD kamera. Uvedený systém používá jeden či více zdrojů světla a zrcadel a jednu i více kamer. Kamery snímají obraz, který je zpracován a následně komparován s obrazem normálové desky v řídicím počítači. Vícekamerové systémy s prostorovým snímačem (3D) jsou

¹³ Mimo tyto testy jsou DPS podrobeny klimatickým a mechanickým kontrolám.

velmi drahé, málo rentabilní a používané jen u některých zahraničních firem s extrémně velkosériovou produkcí.

11 MOŽNOSTI DIAGNOSTIKY Z HLEDISKA ELEKTRICKÉHO MĚŘENÍ

Před zahájením praktické části práce jsme se zabývali možnostmi měření přechodového odporu pájeného spoje. Jestliže toto měření by bylo teoreticky možné na spojích napájecích a datových (za použití speciálních měřicích přístrojů), pak u desek plošných spojů s napájenými komponenty je měření neaplikovatelné neboť by mohlo dojít k poškození polovodičových součástí, především unipolárního provedení na osazené desce. Navíc by každé měření bylo zatíženo chybou vyplývající z paralelních odporů dalších vodivých cest DPS. Měření by vyžadovalo přesně stanovené podmínky tlaku a vzdálenosti dotykových jehel a speciální pracoviště proudových zdrojů s velmi přesnými digitálními milivoltmetry a pod. Takto vybavené pracoviště nebylo k dispozici a osnova bakalářské práce ji uváděla pouze jako alternativu. Při konzultaci uvedené problematiky s doc. RNDr. Vojtěchem Křesálkem, CSc. bylo pro složitost od této metody upuštěno. Rovněž stanovisko doc. Ing. Ivana Szendiucha, CSc. z Ústavu mikroelektroniky VUT Brno bylo rozpačité neboť fakulta se na teoretická pojednání v této oblasti teprve připravuje.

V praxi se elektrická kontrola kvality v profesionálním výrobním procesu provádí dvěma testovacími metodami:

a) Funkční test

DPS je elektricky připojena k testovacímu zařízení. Deska je připojena k napájecímu napětí, na vstup přicházejí určité signály a na výstupu se sleduje odezva. Tím je simulována skutečná funkce a dochází k dokonalé kontrole.

b) Vnitroobvodový test (In-circuit, MDA test)

Uzlové body DPS jsou elektricky kontaktovány měřicí sondou – jehlou. To umožňuje rychlou identifikaci triviálních závad avšak nelze přesně simulovat funkčnost desky. Jehly, lišící se tvarem hrotu se dotýkají DPS přesně definovanou silou (typicky 1,8 N). Představiteli této metody na evropském trhu jsou firmy Finemetal, Fixtest, Ingun atd.

Tab. 8. Srovnání testovacích metod.

Kontrola	Rychlost	Elektrické závady	Nezapájení a zkrat	Náklady	Statistika
ZRAKOVÁ Lupa, mikroskop	Pomalá Pracná	Nelze zjistit	Pracné a ne 100%	Kvalifikace + měřicí technika	Ručně
ELEKTRICKÁ Elektrický přístroj	Rozdílné posouzení	Lze zjistit	Pracně zji- stelné	Kvalifikace + měřicí tech- nika	Ručně
AOI	Jednoznač- nost	Nelze zjistit	Jen na místech viditelných	Zaučený + program	Software
MDA In-circuit	Jednoznač- nost	Lze zjistit	Snadno a rychle	Zaučený + jehlové pole + program	Software

Z elektrických vlastností je limitujícím faktorem odpor pájených spojů. Elektrická vodivost elektrotechnických pájek bývá o jeden až dva řády nižší než vodivost mědi. Z toho plyne, že průřez pájeného spoje musí být řádově větší než průřez pájených vodičů. Uvedený požadavek je v praxi téměř vždy dodržen. V takovém případě pak **odpor pájeného spoje nepřesáhne hodnotu 0,1 až 1 mΩ.**

12 PRAKTIKUM BEZOLOVNATÉHO PÁJENÍ

Při kontrole pájení se vychází z mezinárodně uznávané normy IPC 610, která je celosvětově uznávanou dohodou z pohledu kvality pájeného spoje s ohledem na dlouhodobou spolehlivost. Bezolovnaté spoje nemohou být tak lesklé jako spoje Sn/Pb protože tuhnutím slitiny vznikají mikroskopické hrubosti. Předpokládá se, že nová norma IPC 610-D upraví vzhledové požadavky na pájené spoje především z hlediska geometrie menisku a lesklosti [1].

Jak bylo uvedeno, pájení bezolovnatou pájkou je podstatně obtížnější než pájkou klasickou. Pokud operátoři pájecích stanic nebudou teoreticky proškoleni a nezískají požadované praktické dovednosti, nemůže být klasickými rutinními technologiemi dosažena potřebná jakost pájených spojů z hlediska kvality, životnosti a spolehlivosti. **Pokud budeme pájet bez olova stejnými metodami jako s klasickou eutektickou pájkou Sn/Pb, bude výsledkem nevyhovující pájení!**

12.1 Ruční pájení

Jednou z hlavních podmínek je bezvýhradně „přijmout“ nová pravidla práce! Je nutné především zajistit nové technické vybavení pracoviště a stanovit přesný technologický postup „nového“ pájení. Hlavní zásady práce jsou následující:

§ vhodný pájecí hrot

Není vždy bezpodmínečně nutné měnit pájecí stanici, neboť i u stávajících dílenských pájedel můžeme vhodnou volbou pájecího hrotu zvýšit jeho tepelnou kapacitu. Je tedy potřebné použít masivnější hrot s dobrým přenosem tepla. Neméně důležité je také zvýšit odolnost hrotu proti korozi jeho povrchovou úpravou (pokovením). Vrstva železa na hrotu zlepšuje jeho odolnost ale současně zhoršuje tepelný přenos. V této oblasti nyní probíhají intenzivní výzkumy jednotlivých výrobců hrotů.

§ vhodné pájedlo

Ideální je použít pájedlo s vysokou obnovou tepla – vyšším tepelným výkonem. Současně bude třeba nastavit vyšší teplotu, přibližně v rozsahu 350°C až 370°C. Výhodné bude použití kalibrovaných pájecích hrotů u kterých výrobci garantují nastavenou teplotu na hrotu pájedla i s případnou funkcí alarmu při nízké teplotě. V současnosti jsou v této oblasti na technologické špičce pájecí stanice FX - 951, FX – 952 a HAKKO 942. Zde je vhodné upozornit na nebezpečí tepelného šoku u SMD komponentů. Proto se doporučuje **dotýkat se pájecím hrotem pájecí plošky a ne pokoveného vývodu SMD!**

§ údržba hrotu

Dlouhodobá vysoká teplota hrotu způsobuje jeho oxidaci (černání). K čištění se nejčastěji používá navlhčená houbička. Některé pájecí stanice (např. HAKKO 599B) jsou vybaveny houbou z mosazných vlasů potažených tavidlem. Jedná se o teplotně příznivější čištění, neboť nedochází ke změně teploty na špičce hrotu. Dále je doporučováno :

- teplotu hrotu nastavit na nejnižší možnou
- pokud se nedaří obnovit smáčitelnost hrotu, použijte drátkový (mosazný) čistič
- po dokončení pájecí operace vždy aplikovat novou pájku
- vypínejte pájedlo při každé pájecí prodlevě delší jak 10 minut

§ smáčivost

Nedokonalé pájení způsobené zhoršenou smáčivostí se v současné době eliminuje nejčastěji použitím dusíkového plynu. Dusík brání oxidaci, umožňuje lepší přenos tepla, zlepšuje smáčivost. Otázka prodloužení životnosti pájecího hrotu však jednoznačně prokázána nebyla.

§ tavidlo

U tavidel dochází vlivem rychlého přechodu na vyšší teplotu k jeho karbonizaci a rozstříkávání do okolí spoje. Je nutné osvojit si správný technologický postup pro jednotlivé operace. Výrobci rozptylovacímu efektu předchází aplikací „V“ drážky do pájky. Jedná se o podélné naříznutí trubičky pájky až k tavidlu, což rozptýlení tavidla silně redukuje.

12.2 Pájení vlnou

Zde je opět třeba připomenout nutnost přesně stavitelné teploty lázně pájecí vlny. Vyšší teplota rovněž determinuje nové požadavky optimálního tepelného profilu (předehřev, vlastní pájení a následné chlazení DPS). Pro kvalitní pájení je třeba zvolit:

§ vhodnou pájku

Nejlépe se osvědčuje slitina SAC, která se tavícím rozsahem (217°C až 220°C) nejvíce blíží tradiční Sn/Pb pájce s bodem tavení 183°C. Někdy je využívána i levnější ale hůře smáčitelná pájka Sn93Cu0,7 s teplotou tavení 227°C.

§ vhodné tavidlo

Klasická tavidla určená pro olovené pájky nevyhovují. Používají se nová kapalná tavidla, jež jsou tepelně stabilnější, podporují lepší plnění otvorů a eliminují tvorbu mŕstvků. Prosazují se tavidla bez těkavých organických látek, která jsou na bázi vody a představují ideální postřikovací aplikátor z hlediska „zelené“ technologie.

§ vhodnou povrchovou úpravu DPS

Doručuje se DPS povrchově upravit matným cínem a zabezpečit aby pájené komponenty ve své povrchové úpravě neobsahovaly olovo a vizmut.

Pájka bez olova je agresivnější a častým problémem pájecích vln je louhování železa z materiálů v pájecí vaně. Aby se zabránilo degradaci a korozi pájecí vlny jsou přijatelné materiály jen titan, litina, nitrídaná ocel či keramické a kompozitní povlaky.

Bezolovnaté pájení vlnou bude předpokládat využití ochranné inertní dusíkové atmosféry. Dusík (N₂) jako plyn inertní (nereaguje s běžnými kovy), není toxický je zdravotně

nezávadný, levný, nehořlavý a nevybušný. Z ekonomického pohledu je prokázáno, že náklady spojené se zavedením dusíkové atmosféry se vrací ve snížení spotřeby pájky, tavidla, v nižší chybovosti a vyšší spolehlivosti.

12.3 Pájení přetavením

Rovněž bezolovnaté pájecí pasty mají vyšší teploty přetavení, než klasické slitiny Sn/Pb. Přetavení bezolovnaté pasty v porovnání s pastou olovnatou při stejné teplotě DPS se uskutečňuje v podstatně užším procesním okně (užší rozsah teplot) DT.

Tab. 9. Teplotní rozsah přetavení pájek.

Typ pasty	Bod tavení [°C]	Teplotní rozmezí (plně tekutý stav) [°C]	Teplota DPS [°C]	Teplotní rozsah (oblast shody) DT [°C]
Olovnatá (eutektická)	183	205-215	240-250	40-45
Bezolovnatá	215-220	225-235	240-250	10-15

Podle tabulky (*Tab. 9*) vyplývá, že v přetavovací peci je třeba nastavit vyšší teplotu přehřevu, přetavení a také vyšší gradienty náběžné teploty i ochlazování. Z toho je také zřejmé, že pro optimální přetavovací profil bezolovnaté slitiny jsou kladeny vyšší požadavky na součástky, DPS, tak i na vlastní přetavovací pec. Stejně jako u pájecí vlny, tak i u pájení přetavením se doporučuje ochranná dusíková atmosféra. Podle průběžných studií se uvádí, že zavedením ochranné dusíkové atmosféry klesl počet vadných spojů na polovinu [1].

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo podat teoretický rozbor měkkého pájení a naznačit trendy přechodu k novým bezolovnatým technologiím. Současně jsme chtěli analyzovat podíl nekvalitních elektrických spojů a to především pájených na spolehlivost elektrické zabezpečovací signalizace. Proto, aby tato práce splňovala požadavky validity a reliability, bylo by potřebné provést výzkum na daleko větším počtu vzorků a v delším časovém horizontu. Profesionální měření by vyžadovalo speciálně vybavené pracoviště s drahým optickým zařízením a špičkovou měřicí technikou, které nebyly k dispozici. Proto jsme se po teoretické deskripci soustředili na reálné možnosti, které umožňují stávající digitální fotografická technika a využili poznatky výzkumu renomovaných zahraničních firem zabývajících se touto problematikou.

V úvodu bakalářské práce jsme se zabývali otázkou „*K čemu je vlastně dobrá znalost pájení v EZS?*“ Na základě teoretické analýzy je jednoznačně prokázáno, že maximální spolehlivost a tím tedy minimum falešných poplachů EZS dominantně závisí na kvalitě provedených spojů. Teoretická znalost a praktické aplikace měkkého pájení umožňují jak u DPS, tak také při montáži EZS zajistit vysokou efektivitu práce a současně požadovanou spolehlivost zařízení. Není možné převzít rutinní práce zděděné od nekvalifikovaných operátorů, především u EZS a EPS s vysokým stupněm zabezpečení. Praktické zkušenosti z montáže a oprav EZS jednoznačně prokazují že **50% závad způsobují neodborně a nekvalitně provedené spoje!** Je velmi pravděpodobné, že se zaváděním bezolovnatého pájení bude hlavně z počátku toto procento ještě vyšší a to vlivem nesprávných a nezvládnutých technologií. Zvláště rizikové může být elektrické zabezpečení prováděné firmou, která nebude mít požadované technické vybavení a operátory s potřebnou kvalifikací a praktickými zkušenostmi.

Pájené spoje mají a i v budoucnu budou mít v elektrické zabezpečovací signalizaci své nezastupitelné místo. Pokud se vrátíme k otázce položené v úvodu práce o užitelnosti znalosti pájení, je možno na ní odpovědět. **Nelze zvyšovat spolehlivost EZS v průmyslu komerční bezpečnosti, aniž bychom nejdříve nezlepšili spolehlivost spojů!**

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ABEL, Martin., CIMBUREK, Vladimír. *Bezolovnaté pájení v teorii a praxi*. ABE.TEC, s.r.o., Pardubice 2005, Tisk Grafikon Pardubice, www.abetec.cz , ISBN 80-903597-0-1.
- [2] ABEL, Martin. *Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce*. Nakladatelství Platan, Pardubice 2000, ISBN 80-902733-2-7.
- [3] BRANDŠTETE, Jiří. *Chemie pro posluchače Fakulty strojního inženýrství*. VUTIUM, Brno 1999, ISBN 80-214-1504-5.
- [4] HAASZ, Vladimír., SEDLÁČEK, Miloš. *Elektrická měření – Přístroje a metody*. ČVUT Praha 1998, ISBN 80-01-02731-7.
- [5] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. VUT Brno 1992, ISBN 80-214-0399-3.
- [6] KINDL, Jiří. *Navrhování bezpečnostních systémů I. díl*. UTB ve Zlíně, UTB – Academia Centrum Zlín, 2004.
- [7] KŘEČEK, Stanislav a kol. *Příručka zabezpečovací techniky*. Blatenská tiskárna, s.r.o., Blatná 2003, ISBN 80-902938-2-4.
- [8] MAZANEC, Karel. *Zkušební metody fyzikální metalurgie*. VŠB Ostrava 1987.
- [9] MILÁČEK, Stanislav. *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT Praha 2001, ISBN 80-01-02417.
- [10] MUSIL, Vladislav a kolektiv. *Konstrukce a technologie elektronických zařízení*. VUT Brno 1994, ISBN 80-214-0590-2.
- [11] NOVÁK, Rudolf., NOVÁKOVÁ, Danuše. *Základy měření a zpracování dat*. ČVUT Praha 1999, ISBN 80-01-01825-3.
- [12] OTÝPKA, Miloslav. *Moderní elektronika prakticky a jednoduše*. COPT Kroměříž 2000.
- [13] SOBOTKA, Bohumír a kolektiv. *Dílenská příručka - Elektronika I*. SOUE a U Plzeň.

[14] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility*. VUT Brno 2005, ISBN 80-214-2864-3.

[15] SZENDIUCH, Ivan. *Mikroelektronické montážní technologie*. VUTIUM, Nakladatelství VUT v Brně 1997.

[16] ŠIMEK, Lubomír. *Fyzikální chemie I*. UTB – Academia Centrum Zlín 2001, ISBN 80-7318-000-6.

[17] UHLÁŘ, Jan. *Technická ochrana objektů II díl – Elektrické zabezpečovací systémy*. PA ČR, Praha 2001, ISBN 80-7251-076-2.

[18] P 3008. Podniková směrnice AEV spol. s r.o. - *Pravidla ručního pájení a analyzování závad*. Kroměříž 2006.

[19] SPACE PRODUCT ASSURANCE, esa - approved Course. EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION ECSS - Q -70 - 30 A, Genova, 14 October 1999.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AOI	Optický testovací systém
CCD	Elektronická součástka pro snímání obrazové informace
CCTV	Uzavřený televizní okruh
DPS	Deska plošného spoje
EPS	Elektrická požární signalizace
EZS	Elektrická zabezpečovací signalizace
IBS	Integrovaný bezpečnostní systém
IR	Infračervené záření
LED	Luminescenční dioda
MDA	Vnitroobvodový test
MELF	Válcový tvar komponentu pro SMT
PCO	Pult centralizované ostražky
PIR	Pasivní infradetektor
SMD	Bezvývodová součástka určená pro povrchovou montáž
SMT	Technologie povrchové montáže
UV	Ultrafialové záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Blokové schéma zabezpečovacího řetězce a nejčastěji využívané spoje.</i>	9
<i>Obr. 2. Drátové stíněné vodiče pro montáž EZS.</i>	10
<i>Obr. 3. Struktura pájeného spoje s vytvořenými intermetalickými slitinami.</i>	15
<i>Obr. 4. Ishikawův diagram pro proces pájení.</i>	16
<i>Obr. 5. Technologie ručního pájení.</i>	18
<i>Obr. 6. Profesionální pájecí stanice pro ruční pájení s elektronickým nastavením teploty.</i>	19
<i>Obr. 7. Eutektická pájka Sn/Pb s teplotou tavení 183°C.</i>	23
<i>Obr. 8. Eutektická pájka Sn/Ag pro bezolovnaté pájení má teplotu tavení 221°C.</i>	23
<i>Obr. 9. Fázový diagram slitiny Sn/Pb.</i>	24
<i>Obr. 10. Varianty umístění tavidla v trubičkové pájce.</i>	28
<i>Obr. 11. Operace strojního pájení vlnou.</i>	30
<i>Obr. 12. Plavání vývodu součástky na pružné, vmezeřené vrstvě pájky.</i>	33
<i>Obr. 13. Mechanické poškození vodiče při odizolování vede ke zmenšení průřezu jádra a je příčinou následných poruch EZS.</i>	49
<i>Obr. 14. Termické poškození izolace nadměrnou teplotou je neakceptovatelné.</i>	49
<i>Obr. 15. Při pájení vlivem nesprávné technologie došlo k tvorbě nepřijatelných bodlinatých krápníkových výstupků.</i>	50
<i>Obr. 16. Nedostatečný úhel otočení vodiče před pájením. Neakceptovatelné.</i>	50
<i>Obr. 17. Limitní úhel otočení vodiče. Špatné odizolování vodiče.</i>	51
<i>Obr. 18. Optimální množství pájky, délka odizolování a vzhledové vlastnosti spoje determinují jeho akceptovatelnost.</i>	51
<i>Obr. 19. Pájený spoj je na hranici přijatelnosti. Nadbytečné množství pájky.</i>	52
<i>Obr. 20. Pájený spoj je kvalitní na hranici přijatelnosti. Minimum pájky.</i>	52
<i>Obr. 21. Nadbytečná délka odizolování vodiče. Neakceptovatelný spoj.</i>	53
<i>Obr. 22. Nadměrná délka odizolování, deformace vodičů. Nedostatek pájky. Neakceptovatelný spoj.</i>	53

<i>Obr. 23. Nadbytečné, nesouměrné množství pájky a bodlinatý výstupek (Solder Spikes). Neakceptovatelný spoj.</i>	54
<i>Obr. 24. Krátká vzdálenost odizolování vodiče a nedostatečné množství pájky. Neakceptovatelný spoj.</i>	54
<i>Obr. 25. Pájené komponenty nejsou v ose a v dostatečném překrytí. Málo pájky. Neakceptovatelný spoj.</i>	55
<i>Obr. 26. Lokální nadbytek pájky. Neakceptovatelný spoj.</i>	55
<i>Obr. 27. Pájené komponenty nejsou v ose a pájka netvoří plynulý konvexní přechod. Neakceptovatelný spoj.</i>	56
<i>Obr. 28. Nedokonalé pokrytí plošky pájkou u vícevrstvé DPS.</i>	56
<i>Obr. 29. Rozpletená a deformovaná lanka vodiče na DPS představují neakceptovatelný spoj s rizikem poruch a nespolehlivosti EZS.</i>	57
<i>Obr. 30. Na vývodu kondenzátoru jsou zbytky pájky, které jsou po uvolnění zdrojem budoucích zkratů. Neakceptovatelné.</i>	57
<i>Obr. 31. Náhodný dotyk pájedla na vývodu polovodičové diody způsobuje krápníkové výstupky pájky. Neakceptovatelné.</i>	58
<i>Obr. 32. Kvalitně pájený konektor. Optimální množství pájky, její tvar i vzhled u dvou spojů. U spoje vlevo je nedostatek pájky.</i>	58
<i>Obr. 33. Nedodržena vzdálenost ohybu vývodu od těla součástky (min 2xD). Neakceptovatelné.</i>	59
<i>Obr. 34. Nadbytečné množství pájky a délka vývodu nad DPS. Neakceptovatelné.</i>	59
<i>Obr. 35. Elektrolytický kondenzátor je na DPS nesprávně uložen. Jmenovité hodnoty (kapacita a napětí) nejsou viditelné při pohledu shora.</i>	60
<i>Obr. 36. Nezapájený vývod tranzistoru. Nefunkční (poruchový) systém.</i>	60
<i>Obr. 37. Nedostatečné množství pájky a její roztroušenost determinuje neakceptovatelný spoj u komponentu SMD v provedení MELF.</i>	61
<i>Obr. 38. Mechanické poškození měděné fólie DPS způsobuje nadměrné lokální proudové zatížení a následné přerušování obvodu.</i>	61
<i>Obr. 39. Viditelné rozhraní přechodu pájky z pájecí plošky na vývod součástky vytváří neakceptovatelný spoj.</i>	62

<i>Obr. 40. Délka vývodu komponentu nad DPS je stanovena $1,5 \pm 0,8$ mm. Nedostatečně vzlínající pájka. Nedostatek pájky.</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 41. Nadměrnou teplotou odlepená pájecí ploška na DPS. Neakceptovatelné.</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 42. Vysoká a dlouhodobá teplota pájení vytváří hrubozrnnou strukturu pájky. Vyschlý spoj (Dry Joints). Neakceptovatelné.</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 43. Prasklý spoj mezi pájkou a vývodem součástky. Neakceptovatelné.</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 44. Pájka vzlíná po vývodu součástky, ale nedotýká se pouzdra součástky. Ještě akceptovatelný spoj.</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 45. Pájka se dotýká těla součástky. Neakceptovatelné.</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 46. Obrisy vývodu komponentu nejsou v pájeném spoji rozeznatelné. Kvalitu pájeného spoje nelze posoudit. Nadměrná délka vývodu nad DPS. Neakceptovatelné.</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 47. Optimálně zapájená čipová součástka.</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 48. Mechanické napětí vlivem vysoké teploty způsobilo prasknutí součástky. Neakceptovatelné.</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 49. Drobné kuličky pájky roztroušené na pouzdře součástky. Neakceptovatelné.</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 50. Zvednutá součástka při operaci strojního pájení - efekt náhrobního kamene (Tombstoning effect). Neakceptovatelné.</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 51. Vývod součástky přesahuje (posunutí, rotace) z pájecích plošek o více jak polovinu šířky vývodů nebo o více jak 0,5 mm. Neakceptovatelné.</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 52. Součástky jsou posunuté o více než polovinu šířky pájecí plošky. Neakceptovatelné.</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 53. Orange peel effect. Eefekt pomerančové kůry. Matně šedý, pórovitý vzhled s deformovanou strukturou pájky vlivem pohybu komponentu při tuhnutí. Neakceptovatelné.</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 54. Rozstříkaná pájka na DPS je příčinou zkratů. Neakceptovatelné.</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 55. Ústředna elektrické zabezpečovací signalizace.</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 56. Přenosový doplňující komunikační modul ke stávající ústředně.</i>	<i>71</i>

Obr. 57. Pohled ze strany součástek na mikroprocesorový Transponder

esserbus® 58 - Koppler obsahující 12 volně programovatelných relé.....72

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Kovy obsažené v měkkých pájkách podle teploty tavení.</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 2. Tekutost a okno plasticity klasických a eutektických pájek.</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3. Klasifikace tavidel dle normy EN 9454-1.</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 4. Proudové zatížení měděné fólie na desce plošného spoje.</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 5. Rozměrové požadavky na kvalitní vývodový pájený spoj.</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 6. Rozměrové požadavky na kvalitní spoj v SMT.</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 7. Některé bezolovnaté pájky podle oblastí tavení, jejich vlastnosti a použití.</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 8. Srovnání testovacích metod.</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 9. Teplotní rozsah přetavení pájek.</i>	<i>80</i>