

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta elektrotechnická



Bakalářská práce

2021

Oldřich Moravec

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Pájené a lepené elektricky vodivé spoje

Srpen 2021

Bakalant: Oldřich Moravec

Vedoucí práce: Ing. Josef Černošous

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucích bakalářské práce. Dále prohlašuji, že jsem uvedl veškeré informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při psaní vysokoškolských prací.

13.8.2021

.....

Podpis Bakalanta

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Moravec** Jméno: **Oldřich** Osobní číslo: **474370**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Pájené a lepené elektricky vodivé spoje

Název bakalářské práce anglicky:

Soldered and adhesive electrically conductive joins

Pokyny pro vypracování:

Popište vlastnosti spojů realizovaných pomocí pájek a elektricky vodivých lepidel.
Popište technologie používané při výrobě elektricky vodivých spojů.
Připravte vzorky vodivých spojů pomocí různých materiálů s různým množstvím a změřte jejich parametry.
Vyhodnoťte výsledky, zaměřte se také na závislost parametrů spojů na množství materiálu dodaného do spoje.
Vyhodnoťte ekonomické dopady zavedení pájecí technologie vzhledem k různým parametrům zvolené technologie

Seznam doporučené literatury:

MACH, Pavel, Jan URBÁNEK a Vlastimil SKOČIL. Montáž v elektronice: pouzření aktivních součástek, plošné spoje. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02392-3.
EBNESAJJAD, Sina. Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing. Amsterdam: William Andrew/Elsevier, 2011. PDL handbook series. ISBN 978- 1-4377-4461-3.
KRÁL, Bohumil a kol. Manažerské účetnictví. 4. rozšířené a aktualizované vydání. Praha: Management Press, 2018. 791 stran. ISBN 978-80-7261-568-1.
SYNEK, Miloslav. Manažerská ekonomika. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. 471 s. Expert. ISBN 978-80-247-3494-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Josef Černošous, CVUT v Praze FEL K13116

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

Datum zadání bakalářské práce: **22.02.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2023**

Ing. Josef Černošous
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Josefu Černohousovi a také paní Ing. Ivaně Beshajové, Ph.D. za odborné pedagogické vedení během této bakalářské práce. Dále patří poděkování mé rodině a blízkým, kteří mi vytvářeli dobré podmínky během psaní této práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá porovnáním dvou metod propojování vodivých cest mezi deskou plošného spoje a elektronickou součástkou. První metoda je tvorba elektricky vodivých spojů s pomocí pájecí pasty a druhá metoda je s použitím elektricky vodivého lepidla. Práce je rozdělena celkem na tři hlavní části. Ta první se zabývá teoretickým rozbohem zkoumaných pájecích metod. Druhá část je věnována praktické části, kde je popsáno měření a testování pájených komponent v závislosti na množství nanesení pájecího materiálu. Poslední část této práce se zabývá vyhodnocením ekonomických dopadů při zavedení pájecí technologie vzhledem k různým parametrům.

Klíčová slova

Elektricky vodivé lepidlo, pájecí pasta, pájka, pájecí technologie

Abstract

The bachelor thesis deals with the comparison of two methods of connecting conductive paths between a printed circuit board and an electronic component. The first method is the formation of electrically conductive joints with the help of solder paste and the second method is with the use of electrically conductive glue. The work is divided into three main parts. The first part is about the theoretical analysis of the investigated soldering methods. The second part is devoted to the practical part, which describes the measurement and testing of soldered components depending on the amount of application of solder material. The last part of this work is devoted with the evaluation of economic impacts in the introduction of soldering technology with respect to various parameters.

Index terms

Electrically conductive glue, solder paste, solder, solder technology

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Teoretická část.....	11
2.1	Pájené spoje	11
2.2	Pájecí pasta	11
2.2.1	Technologie pájení s pájecí pastou	11
2.3	Lepené spoje	12
2.3.1	Složení elektricky vodivého lepidla	12
2.3.2	Technologie pájení elektricky vodivého lepidla	13
2.4	Způsob nanášení pájecího materiálu	13
2.5	Technologie osazení součástek	14
2.6	Porovnání lepených a pájených spojů	15
3	Praktická část.....	16
3.1	Příprava vzorků.....	16
3.1.1	Použitý pájecí materiál	16
3.2	Osazení vzorků součástkami	17
3.2.1	Osazovaná součástka	17
3.3	Přetavení pájecí pasty a lepidla.....	17
3.4	Měření elektrického odporu	17
3.5	Měření mechanické pevnosti.....	18
3.6	Vizuální kontrola a zmetkovitost.....	21
3.7	Vyhodnocení praktické části	22
4	Ekonomická část	23
4.1	Finanční kritéria efektivnosti projektů	23
4.2	Modelový výpočet zavedení nové technologie	24
4.3	Základní pojmy a údaje k DPS	24
4.3.1	Pojem náklady	24
4.3.2	Cena technologie.....	24
4.3.3	Spotřeba a cena materiálu	25
4.3.4	Zmetkovitost	25
4.3.5	Mzdy zaměstnanců.....	25

4.3.6	Cena za energie	26
4.3.7	Údržba	26
4.3.8	Odpisy zařízení	27
4.3.9	Spotřeba materiálu a cena jedné DPS.....	27
4.4	Celkové roční náklady	27
5	Závěr	30
6	Literatura	31
7	Seznam obrázků.....	32
8	Seznam tabulek	32
9	Seznam grafů	32
10	Přílohy	33
10.1	Tabulka naměřených hodnot	33
10.2	Parametry elektricky vodivého lepidla	34
10.3	Parametry pájecí pasty	36

1 Úvod

Tématem bakalářské práce je porovnání technologií pájení a elektricky vodivého lepení. Technologie budu porovnávat z hlediska mechanického a hlediska ekonomického.

Teoretická část bude zaměřena na vlastnosti spojů realizovaných pomocí pájky a elektricky vodivého lepidla. Budou zde rozebrány důležité vlastnosti obou komponent, které poukazují na kvalitu elektrického spoje v závislosti na naneseném množství spojovacího materiálu. Dále se bude teoretická část zabývat technologiemi používanými při výrobě elektricky vodivých spojů.

Praktická část v této práci bude popisovat přípravu vzorků vodivých spojů pomocí pájky a elektricky vodivého lepidla s různým množstvím. Dále bude popisovat naměřené parametry jako přechodový odpor nebo pevnost spoje. Veškeré pájení i měření bude prováděno za běžných laboratorních podmínek. Na závěr praktické části bude provedeno porovnání naměřených hodnot s teoretickými předpoklady.

Poslední ekonomická část bude věnována ekonomickým dopadům zavedení pájecí technologie vzhledem k různým parametrům. Zde budou zohledněny například pořizovací náklady, zmetkovitost a další úkony, které ovlivňují ekonomické rozhodování při zavádění nové pájecí technologie do provozu.

2 Teoretická část

2.1 Pájené spoje

Jedním z druhů elektrotechnické montáže pro spojování vodivých cest jednotlivých součástek je měkké pájení. Hlavní princip propojování elektrických spojů je takový, že po zahřátí se přetaví a následně ztuhne pouze nanesená pájka. Je to dáno tím, že má mnohem nižší bod tání, a proto se okolní komponenty mechanicky nepoškodí. Protože pájky jsou tvořeny z různých slitin, liší se svými vlastnostmi a také použitou technologií pájení. [1]

Pájecí slitiny se nejčastěji skládají ze dvou nebo tří složek. Protože se v dnešní době začalo více hledět na ekologii, zákony rozdělily tyto pájky na olovnaté a bezolovnaté. Nejčastěji používaná slitina u olovnatých pájek byla Sn63Pb37. Z toho vyplývá, že 63% slitiny tvořil cín a 37% slitiny olovo. U bezolovnatých pájek je v dnešní době často používaná slitina SAC305, která obsahuje 96,5% cínu, 3% stříbra a 0,5% mědi. U těchto pájek je však nevýhodou vyšší bod tání. Pro pájení SMD součástek se pájecí slitiny dodávají ve formě pájecích past nebo elektricky vodivých lepidel.[1]

2.2 Pájecí pasta

Pájecí pasty by se daly rozčlenit podle druhu vytvrzení do dvou základních skupin. V první skupině se nachází pryskyřice, která začne tvrdnout při ozáření UV paprskem. Ve druhé skupině pasta obsahuje epoxidovou novolakovou pryskyřici nebo polyesterovou pryskyřici. Každá z pájecích past má trochu odlišné vlastnosti, a proto je nutné si nejprve rozmyslet, co se od daného spoje očekává. [1] [2]

2.2.1 Technologie pájení s pájecí pastou

Druh použité technologie ovlivňuje kvalitu vytvářeného spoje, a proto je nutné zvolit správný pracovní postup. Povrch přetaveného povrchu spoje by měl být lesklý, hladký a neměl by mít žádné ostré hrany. [1]

V případě pájení s pájecí pastou byla v této práci použita horkovzdušná průběžná pec Mistral 260. Tato pec je rozdělena na tři segmenty, přičemž v každém z nich je možné nadefinovat různou teplotu ohřívání desky plošného spoje. Maximální teplota každého segmentu může být až 300 °C. To znamená, že tato pec umožňuje přetavit jak olovnaté, tak i bezolovnaté pájky. Technologii pájení lze také ovlivnit rychlostí dopravníkového pásu. [1] [3]



Obrázek 1 - Horkovzdušná průběžná pec

2.3 Lepené spoje

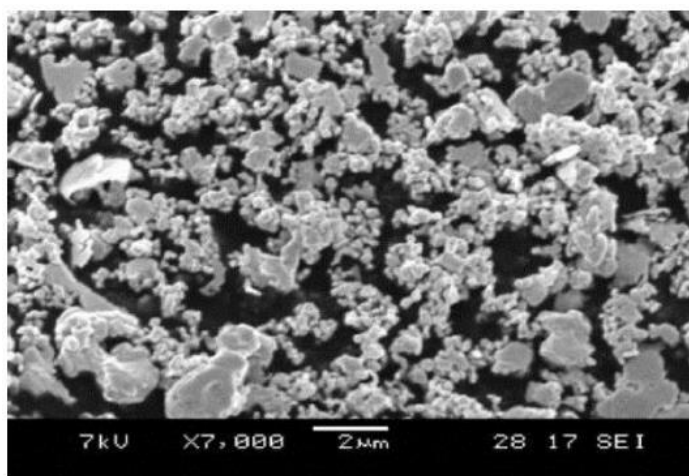
Metoda lepených spojů je z historického hlediska mladší technologický postup. Největší rozmach této technologie nastal v době, kdy došlo k zákazu používání pájek obsahujících prvek olovo. Další výhodou je mnohem nižší teplota tání než u pájky. U některých druhů lepidel je dokonce možné, že směs zatuhne při pokojové teplotě. [1]

2.3.1 Složení elektricky vodivého lepidla

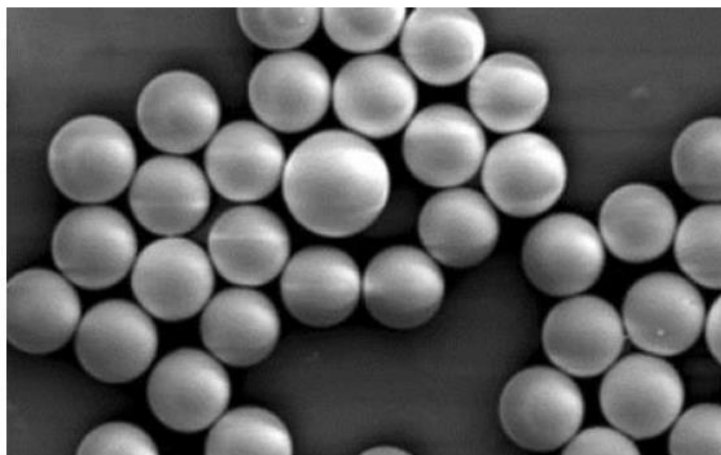
Elektricky vodivé lepidlo se skládá ze dvou základních složek. Tou první je vazební složka (binder) a tou druhou vodivá složka (filler). [1]

Vazební složka zajišťuje funkci pevnosti spoje a klimatickou odolnost. Pojivem v této složce je epoxidová nebo v některých případech silikonová pryskyřice, která zajišťuje proces tuhnutí lepidla. Lepidla se dále dělí na jednosložková a dvousložková. Jednosložková lepidla tuhnou již při pokojové teplotě, což má za následek jejich vysokou cenu a obtížné skladování. Dvousložková lepidla se pak musí zahřát na vyšší teplotu, aby došlo k jejich vytvrzení. [1]

Vodivá složka se dá také rozdělit do dvou skupin podle tvaru vodivých částic. Nejčastěji se vyskytují lepidla s vodivými kuličkami (balls) nebo šupinami (flakes). [1]



Obrázek 2 - Elektricky vodivé lepidlo s šupinami [7]



Obrázek 3 - Elektricky vodivé lepidlo s kuličkami [7]

Lepidla se dále dělí na izotropní a anizotropní. U izotropních lepidel je zajištěna vodivost spoje ve všech směrech. To je dáno stejným průměrem vodivých kuliček v lepidle. Opakem je anizotropní lepidlo, které má tendenci vést elektrický proud pouze v kolmém směru na rovinu základní desky. Koncentrace vodivých částí v anizotropním lepidle je asi 30%, zatímco u izotropních až 80%. [1]

2.3.2 Technologie pájení elektricky vodivého lepidla

Pro pájení elektricky vodivého lepidla byla v této práci použita metoda přetavením v peci.

Během pájení projde lepidlo třemi fázemi. Nejprve se začínají tavit kovové částičky, poté se začne roztavený kov smáčet a spojí pájené kontakty dohromady. Nakonec se spoj vychladí a ztvrdne. Celý proces trvá 10 minut při teplotě 180 °C. [4]

2.4 Způsob nanášení pájecího materiálu

V dnešní době existuje celá řada způsobů nanášení pájecího materiálu v podobě pasty. V této práci bylo použito zařízení, které se skládá z pohyblivého stolku a kovové šablony, ve kterém jsou obdélníkové otvory pro nanášení pájecího materiálu.

Nanášení probíhá tak, že se na pohyblivý stolek přichytí kupředitová destička a ta se pak přiklopí kovovou šablonou s obdélníkovými otvory. V další fázi se musí pohyblivý stolek za pomoci šroubů nastavit tak, aby skrz otvory v kovové šabloně byla viditelná místa, kam přesně se má pájecí materiál nanést. Poté se na horní stranu kovové šablony nanese pájecí materiál a pomocí stěrky se přetáhne na jednu i na druhou stranu. Je to proto, aby se vyplnily veškeré mezery v otvorech. V praxi se ale používají plně automatizovaná zařízení.



Obrázek 4 - Nástroj pro šablonový tisk [5]



Obrázek 5 – Stěrka [6]

2.5 Technologie osazení součástek

Po nanesení pájecího materiálu šablonovým tiskem se destička osadí příslušnými součástkami. V této práci se pro osazení plošných spojů použil pouze jeden druh rezistoru s označením SMD 125 mW, 0 Ohm, 0.1 %, 0805.

Pro menší série nebo školní účely se používá ruční osazovací automat, který se skládá z vakuové jehly, se kterou se dá manuálně pohybovat ve směrech x a y. Dále byl použit podavač součástek, ze kterého se součástky mnohem lépe nabírají na vakuovou jehlu. V praxi se využívají plně automatizovaná osazovací zařízení.



Obrázek 6 - Školní osazovací automat s podavačem

2.6 Porovnání lepených a pájených spojů

Pájení a lepení elektricky vodivých spojů se liší v mnoha fyzikálních vlastnostech. Obě technologie mají určité výhody i nevýhody. V následující tabulce jsou uvedeny hlavní rozdíly. [1]

Vlastnost	Elektricky vodivé lepidlo	Pájecí pasta
Cena	vyšší	nižší
Přechodový odpor	vyšší	nižší
Stabilita	nižší	vyšší
Spolehlivost	nižší	vyšší
životnost	nižší	vyšší
Mechanická pevnost	nižší	vyšší
Teplota tvrdnutí	nižší	vyšší
Vzhled	matný	lesklý

Tabulka 1 - Rozdíly mezi pájením a lepením elektricky vodivých spojů

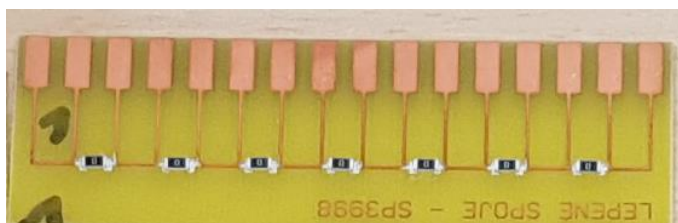
Z tabulky je patrné, že většinu výhod má pájecí pasta. Nicméně v některých aplikacích, kdy se pro vytvoření spoje nemůže použít vysoká teplota, je použití elektricky vodivého lepidla nevyhnutelné.

3 Praktická část

V praktické části bakalářské práce bude porovnán jeden druh elektricky vodivého lepidla s jedním druhem jednosložkové pájecí pasty. Zkoumané vlastnosti budou zejména přechodový odpor, mechanická pevnost a vizuální kontrola v závislosti na množství naneseného pájecího materiálu.

3.1 Příprava vzorků

Jednotlivé vzorky se skládají z desek FR4 o tloušťce 1,5 mm a každou lze osadit celkem 7 rezistory. Pro každou sérii bylo osazeno deset těchto desek, aby byly naměřené výsledky prokazatelné.



Obrázek 7 – Deska FR4

Byly vytvořeny celkem čtyři série:

- Pájecí pasta (množství $0,117 \text{ mm}^3$)
- Pájecí pasta (množství $0,18 \text{ mm}^3$)
- Elektricky vodivé lepidlo (množství $0,117 \text{ mm}^3$)
- Elektricky vodivé lepidlo (množství $0,18 \text{ mm}^3$)

Rozměry kovové šablony, přes kterou se nanášel pájecí materiál přímo na kontakty FR4 desky, byly změřeny elektronickým mikroskopem. Princip šablonového tisku je již popsán v teoretické části. Rozměry v šabloně jsou u menších otvorů $1,3 \text{ mm} \times 0,6 \text{ mm} \times 0,15 \text{ mm}$ a u větších otvorů $1,5 \text{ mm} \times 0,8 \text{ mm} \times 0,15 \text{ mm}$. Z těchto hodnot byl následně vypočítán objem naneseného pájecího materiálu.

3.1.1 Použitý pájecí materiál

Z praktického hlediska se může zdát, že při nanášení malých objemů pájecího materiálu příliš neovlivňuje cenu výroby. Pokud je ale nějaká deska vyráběna v deseti tisícových či dokonce sto tisícových sériích, dá se ušetřit i na takových drobnostech, jako je třeba množství naneseného materiálu. Oba použité pájecí materiály vyhovují současné legislativě.

Použité elektricky vodivé lepidlo je jednosložkové a ekologicky nezávadné. To je velká výhoda jak pro pracovníky, kteří s tímto materiálem přicházejí do kontaktu, tak i zákazníkům a životní prostředí.

Pájecí pasta je složena z mědi, cínu a stříbra. Neobsahuje olovo a je zdravotně nezávadná. Oproti elektricky vodivému lepidlu má o $37 - 39 \text{ }^\circ\text{C}$ vyšší teplotu tání.

- Lepidlo ECO SOLDER AX70MN (teplota pro přetavení 180 °C při 10 min.)
- Pájecí pasta SAC DSP 350 (teplota pro přetavení 217 °C - 219 °C při 3 min.)

3.2 Osazení vzorků součástkami

Pro osazení rezistorů bylo použito zařízení, které se skládá z duté jehly. Skrz jehlu je vysáván vzduch a díky tomu je schopna uchytit danou součástku. S jehlou se dá mechanicky pohybovat v ose x a y a také lze součástkou rotovat o 360°. Díky čidlu umístěnému v jehle se po dotyku součástky s nanesenou vrstvou pájecího materiálu přeruší odsávání, a součástka tak zůstane na svém místě.

3.2.1 Osazovaná součástka

Všechny série byly osazeny rezistorem SMD 125 mW, 0 Ohm, 0.1 %, 0805. I přesto, že je na součástce uvedena hodnota 0Ω, lze na ni malý odpor v řádech jednotek až desítek mΩ naměřit. V tomto případě bylo přeměřeno pět rezistorů a vždy se naměřilo 17 mΩ. Tato hodnota se dále uvažovala i v ostatních případech.

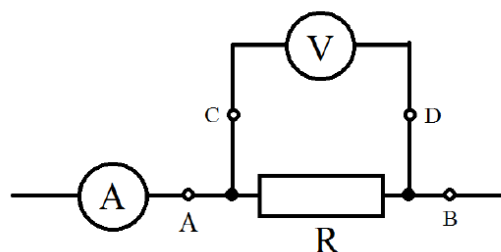
3.3 Přetavení pájecí pasty a lepidla

Přetavení elektricky vodivého lepidla se provedlo v peci při konstantní teplotě 180 °C po dobu 10 minut. Pec byla ohřívána elektrickými odporovými topnými tělesy. Během procesu tavení lepidla v něm dochází k působení sil, které mají tendenci srovnat lepenou součástku do správného směru. Díky této vlastnosti se pak drobné nepřesnosti vyrovnají a výsledné spoje vypadají lépe i z estetického hlediska.

3.4 Měření elektrického odporu

Měření elektrického odporu bylo provedeno čtyřbodovou metodou. Touto metodou bylo změřeno 70 vzorků s pájecí pastou a 70 vzorků s elektricky vodivým lepidlem. Čtyřbodová metoda se využívá pro přesné měření malých odporů. Tato metoda využívá čtyři sondy, z toho dvě jsou proudové a dvě napěťové.

Měření probíhá tak, že se nejprve všechny sondy zkratují a vynuluje se měřicí přístroj. Poté se vezme jeden vzorek a vloží se do přípravku s jehlami, které se přitisknou na kontakty měřeného rezistoru.



Obrázek 8 - Schéma zapojení čtyřbodové metody [5]



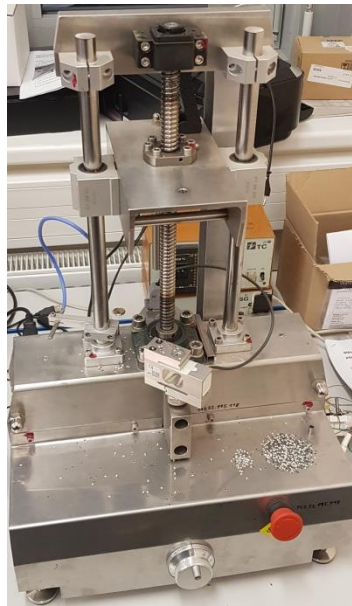
Obrázek 9 - Měřicí přístroj pro čtyřbodovou metodu

Výsledné naměřené průměrné hodnoty jsou vždy z celé série. V případě pájecí pasty u většího množství vyšlo 23,1 m Ω a u menšího množství 24,4 m Ω . U lepených spojů vyšlo u většího množství 333,1 m Ω a u menšího množství 607,9 m Ω . Je tedy patrné, že při snížení množství naneseného pájecího materiálu se zvýší odpor na jednotlivých spojkách (viz 10.1 tabulka naměřených hodnot).

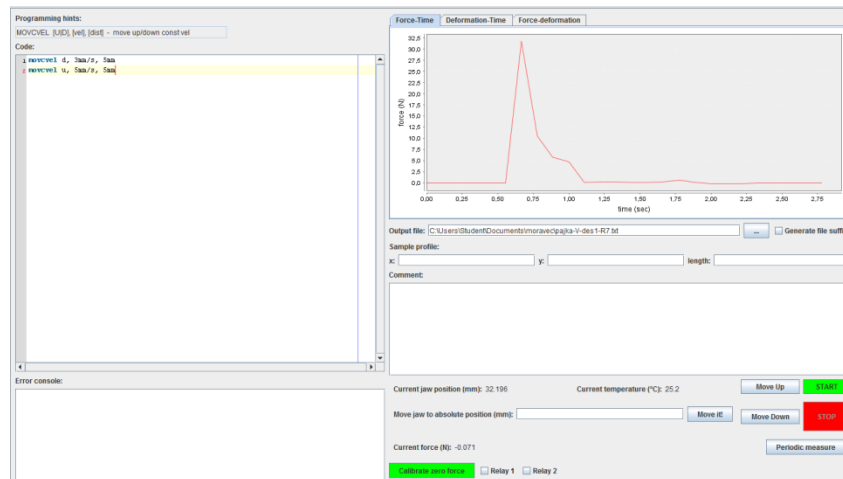
3.5 Měření mechanické pevnosti

V některých aplikacích je potřebné, aby součástky splňovaly určité nároky na mechanické poškození. V tomto případě bylo měření mechanické pevnosti provedeno na stejných vzorcích, na kterých byla měřena velikost odporu.

Měření se provádělo na trhačce značky Pemar. Postup byl takový, že se nejprve v programovacím prostředí vytvořil program pro trhačku. V něm byla obsažena rychlost trhání součástky a vzdálenost, do které se má trhací nůž posunout. Poté se do přípravku na trhačce přichytil vzorek a přes počítač se spustil proces měření. Výsledkem tohoto měření byl obrázkový graf a soubor se zaznamenanými hodnotami.



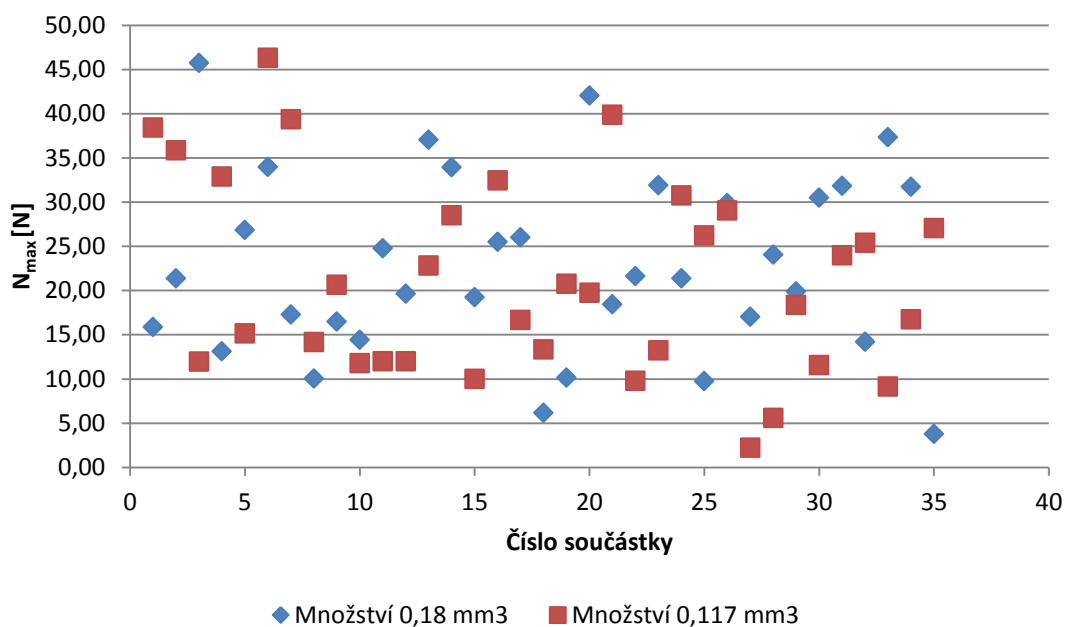
Obrázek 10 - Trhací zařízení Pemar



Obrázek 11 - Software pro ovládání trhacího zařízení

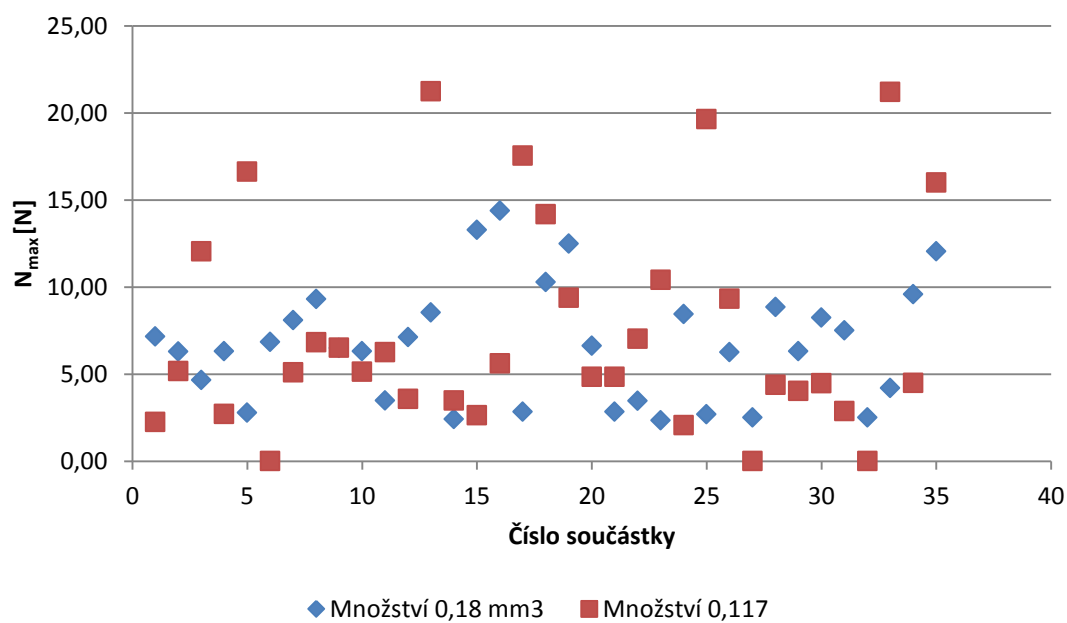
Výsledné naměřené průměrné hodnoty jsou vždy z celé série. V případě pájecí pasty se trhací síla pohybovala okolo 22 N a u elektricky vodivého lepidla 7 N (viz 10.1 tabulka naměřených hodnot). Rozdíly trhací síly mezi velkým a malým množstvím naneseného pájecího materiálu jsou z hlediska rozptylu naměřených hodnot zanedbatelné.

Graf rozptylu hodnot trhací síly - pájecí pasta



Graf 1 - Rozptyl hodnot trhací síly (elektricky vodivé lepidlo)

Graf rozptylu hodnot trhací síly - pájecí pasta

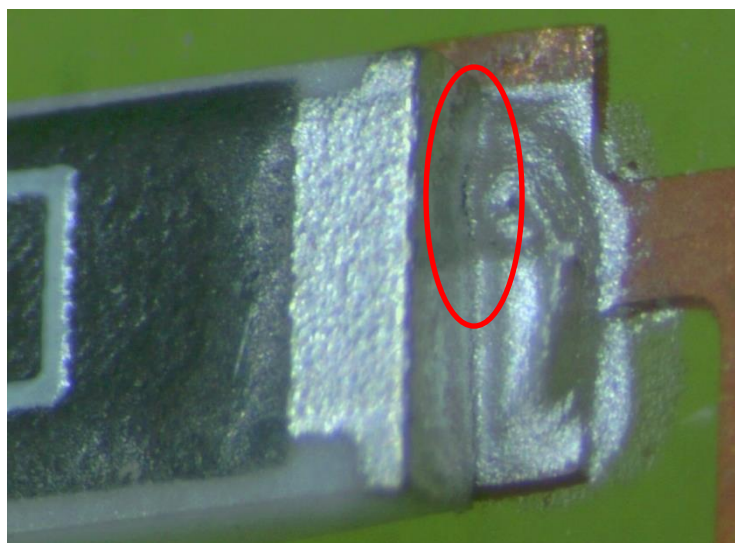


Graf 2 - Rozptyl hodnot trhací síly (pájecí pasta)

3.6 Vizuální kontrola a zmetkovitost

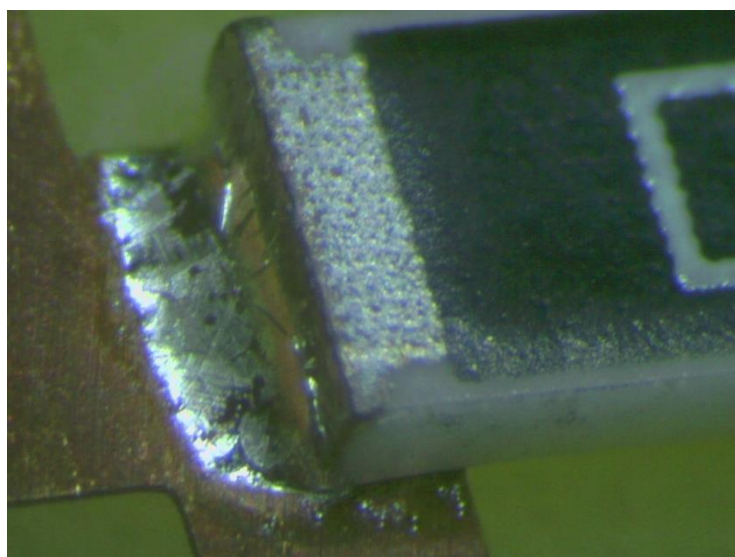
Pro vizuální kontrolu byla použita elektronická lupa, která dokáže ukládat obrázky přímo na flash disk. Díky ní byly nafoceny zajímavé jevy, které se na spojích vyskytly. Cílem bylo zaměřit se na vzorky, kde byl naměřen mnohem větší odpor než u ostatních součástek v dané sérii. V takových případech lze totiž předpokládat, že došlo k nesprávnému propojení mezi kontakty a pájecím materiálem.

Na obrázku č. 12 je spoj s větším množstvím naneseného elektricky vodivého lepidla ($0,18 \text{ mm}^3$). Na první pohled se zdá, že je součástka kvalitně propojena. V jedné části spoje však vznikla prasklina, která značně zvýšila přechodový elektrický odpor.



Obrázek 12 - Prasklina na spoji s elektricky vodivým lepidlem

Na druhém obrázku je ukázka dobrého propojení pájecí pastou s větším množstvím ($0,18 \text{ mm}^3$) naneseného materiálu mezi rezistorem a tištěným spojem.



Obrázek 13 - Spoj provedený pájecí pastou

3.7 Vyhodnocení praktické části

Naměřené výsledné hodnoty, uvedené v tabulce 10.1 odpovídají předpokladům pájecích materiálů v tabulce č. 1. Přechodový odpor byl naměřen u pájecí pasty přibližně 15x menší, než u elektricky vodivého lepidla. Přídržná síla SMD součástek vyšla 3,5x vyšší u pájecí pasty.

Z naměřených hodnot v tabulce 10.1 vyplývá, že pro získání nižší zmetkovitosti je nutné používat pájecí pastu, která zajišťuje nižší přechodový odpor a vyšší přídržnou sílu SMD součástky, a tím i delší životnost pájeného spoje.

V aplikacích, kde lze použít pouze elektricky vodivé lepidlo, by mělo být aplikováno nanášení většího objemu materiálu.

4 Ekonomická část

Nedílnou součástí této práce je i ekonomické zpracování naměřených výsledků. Cílem této části bude ekonomicky zhodnotit a zvolit nejvhodnější technologii pro výrobu.

Pokud se nějaká firma nebo podnikatel rozhodují pro koupi nové technologie, je potřeba vybrat takovou, která pro ně bude nejvhodnější. To znamená, že je potřeba zjistit veškeré informace od velikosti poptávky až po údržbu nově nakoupené technologie.

Na základě získaných informací se pak dá nakoupit nejvhodnější technologie, která by měla nést co nejmenší rizika a zároveň by měla být spolehlivá a ekonomicky výhodná.

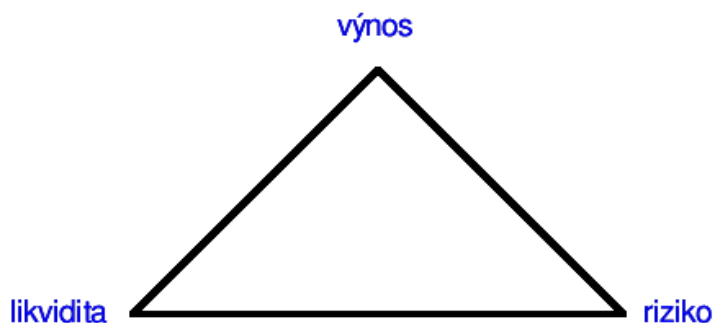
4.1 Finanční kritéria efektivnosti projektů

Investiční činnost je zaměřena především na obnovu a rozšíření investičního majetku. Rozhodování o investici je specifické v tom, že jde o dlouhodobé rozhodnutí. Proto se musí brát v úvahu rizika změn po dobu přípravy investice i realizace projektu.

Finanční oblastí investičního rozhodování se zabývá dlouhodobé financování a investiční rozhodování. Zahrnuje:

- plánování peněžních toků z investic;
- finanční kritéria efektivnosti;
- zohlednění rizik;
- dlouhodobé financování projektů.

Základní faktory pro porovnání investic jsou **riziko**, **likvidita** a **výnosnost**. Pokud racionálně uvažující investor realizuje investici, snaží se dosáhnout co nejnižšího rizika a zároveň co nejvyšší likvidity a výnosu. V praxi je pak většinou vyšší výnosnost úzce spjata s rizikem.



Obrázek 14 - Investorský trojúhelník

V případě rozhodování mezi elektricky vodivým lepidlem a pájecí pastou se může zdát, že veškeré hlavní výhody (cena, pevnost a spolehlivost) jsou právě na straně pájecí pasty. Pokud se ale naskytne zakázka, kde je potřeba pájet součástky náchylnější na vysokou teplotu, nižší riziko bude představovat elektricky vodivé lepidlo. Díky nižší teplotě pájení spojů je nižší pravděpodobnost na tepelné poškození součástky a díky tomu je i nižší riziko zmetkovitosti.

4.2 Modelový výpočet zavedení nové technologie

Modelový výpočet bude obsahovat reálné ceny všech zařízení, komponent a dalších nákladů (pro rok 2021) potřebných pro realizaci nové technologie. V některých případech bude použit kvalifikovaný odhad, který bude nahrazovat údaje využívané v praxi. Cílem modelového výpočtu bude vytvořit projekt, který se přiblíží reálné situaci.

4.3 Základní pojmy a údaje k DPS

4.3.1 Pojem náklady

Náklad je hodnota, která představuje jeden ze vstupů pro výrobu produktu. Náklady se dělí na fixní (FC) a variabilní (VC). Variabilní náklady jsou zastoupeny například jako cena za materiál nebo jiné položky spojené s výrobkem (cena za energii stroje). Fixní náklad je naopak neměnná hodnota, která představuje například pronájem budovy nebo odpisy zařízení.

4.3.2 Cena technologie

Celá technologie bude nakoupena u společnosti Amtech a bude vyhovovat jak pro nanášení pájecí pasty, tak i pro elektricky vodivé lepidlo. [11]

Komponenty výrobní linky	Cena [Kč]
Dávkovač s osazovacím automatem	4 537 500
Nanášeč pájecího materiálu	1 092 300
Pájecí pec	1 576 520
Čisticí zařízení	954 800
Skříň pro skladování a sušení	290 400
Filtrační stanice	105 490
Chladicí zařízení	80 900
Optická kontrola kvality	2 010 800
Instalace	20 000
Nutné proškolení obsluhy	60 000
CELKEM	10 728 710

Tabulka 2 - Náklady pro pořízení nové automatizované linky

Účetní odpisy se vypočítají z celkové hodnoty, která se podělí počtem roků životnosti výrobní linky (10 728 710 Kč / 10 let = 1 072 871 Kč).

4.3.3 Spotřeba a cena materiálu

Z naměřených hodnot je patrné, že zatím co u pájecí pasty lze použít pro spoje menší množství naneseného materiálu ($0,117 \text{ mm}^3$), u lepidel je nutné použít šablonu pro nanášení většího množství materiálu ($0,18 \text{ mm}^3$). Toto vyhodnocení vychází z naměřených výsledků, kde je u lepidel s menším množstvím naneseného materiálu téměř dvakrát větší přechodový odpor, než u většího množství. U pájecí pasty se naměřený odpor v obou sériích téměř neliší.

Jak již bylo uvedeno v teoretické části, elektricky vodivé lepidlo je v současné době asi deseti násobně dražší komponenta než pájecí pasta.

Elektricky vodivé lepidlo ECO SOLDER AX70MN o hmotnosti 100 g stojí v dnešní době 4 950 Kč.

Pájecí pasta SAC DSP 350 o hmotnosti 100 g stojí v dnešní době 500 Kč.

4.3.4 Zmetkovitost

Pojem zmetkovitost se řeší během výroby téměř u každého produktu. Znamená to množství špatně vyrobených nebo nepovedených výrobků. Každý výrobce se snaží počet zmetků co nejvíce eliminovat.

Z praktického hlediska však není možné dosáhnout nulové zmetkovitosti. Během procesu výroby se vyskytuje mnoho negativních vlivů. V případě pájení může například vzniknout studený spoj vlivem špatné přilnavosti pájky k desce.

Řešení těchto problémů má ve větších firmách na starosti vedoucí kvality, který musí v případě výskytu zmetků přesně zjistit jejich příčinu. Dále pak musí podniknout kroky, aby se už taková situace znovu neopakovala.

Aby se snížila šance dodání zmetkového výrobku zákazníkovi, začínají se v dnešní době využívat různé druhy kamerových měřidel pro výstupní kontrolu. I přes mnohdy vysoké pořizovací náklady těchto zařízení se jejich pořízení v mnoha případech brzy vyplatí.

Rizika a náklady spojené s dodáním zmetkových produktů
Náklady spojené s výměnou zmetkového dílu za nový (cena za další materiál, dopravu, balné apod.).
Návštěva zákazníka a sestavení plánu pro eliminování dalších zmetků (cesta, ubytování apod.).
Při časté dodávce chybných dílů může dojít ke ztrátě zadané zakázky.
Pokles šance na získání nových zakázek.

Tabulka 3 - Rizika a náklady spojené s dodáním zmetků zákazníkovi

4.3.5 Mzdy zaměstnanců

Výrobní linka bude vždy obsluhována jedním odborně proškoleným zaměstnancem a jedním nekvalifikovaným pomocníkem, který bude plnit zadané úkoly

svého nadřízeného. Hodinové mzdy jsou stanoveny dle aktuálních nabídek prací na internetových stránkách Annonce.cz. Cena hodinové mzdy technické podpory je stanovena výrobcem technologie.

Druh zaměstnance	Mzda [Kč/hod]
proškolený zaměstnanec	650
pomocný pracovník	400
technická podpora výrobce linky	2 500

Tabulka 4 - Tabulka mezd zaměstnanců

V modelovém příkladu bude počítáno s plným nasazením všech pracovníků po celý rok. V případě využití technické podpory bude stanoven kvalifikovaný odhad jedné hodiny za měsíc.

4.3.6 Cena za energii

Pro provoz automatické pájecí linky je za potřebí především elektrická energie. Pro místo podnikání byla zvolena oblast středočeského kraje. Ceny jsou určeny podle tarifu dodavatele Innogy pro menší firmy v této oblasti (celková spotřeba se pohybuje přibližně 25,5 MWh za rok). Je uvažován provoz 220 dní (bez víkendů, svátků a prázdnin) v roce a osmihodinová pracovní směna. Cena elektrické energie za jednu kWh je v tomto případě uvažována 5,28 Kč/kWh.

Zařízení	Příkon [W]	kWh/rok	Kč/rok	Využití [%]
Výpočetní technika	200	317	1 673	90
stroje	15 000	15 840	83 635	60
topení a klimatizace	6 000	8 448	44 605	80
osvětlení	500	880	4 646	100
Chladicí skříň	60	63	335	60
Celkem	21 760	25 548	134 894	

Tabulka 5 - Celkové roční náklady elektrické energie

Uvažovaný provoz je celkem na 1760 hodin za rok. Kvalifikovaným odhadem jsem stanovil procentuální využití jednotlivých položek během celého roku. Tímto procentem se následně vynásobí příkon uvedený na výrobním štítku každého používaného zařízení.

Celková cena za elektrickou energii za jeden rok činí 134 894 Kč.

4.3.7 Údržba

Ve výpočetním modelu je zahrnuta údržba i revize veškerých zařízení. Větší opravy se provádí mimo běžný provoz, například odpolední směny nebo víkendy. V praxi se tato hodnota může lišit v závislosti na různých okolnostech (např. při častých závadách).

4.3.8 Odpisy zařízení

Pojem odpis se definuje jako cena opotřebení daného stroje nebo zařízení za rok (stálého fixního majetku). Je to náklad, který se odečítá od příjmů spolu s dalšími náklady a snižuje daňový základ. V této práci bude použita odpisová skupina dvě (Většina pracovních strojů, nákladní i osobní automobily, traktory, autobusy). Stroje se tedy budou odepisovat po dobu pěti let. V případě výpočtu pouze nákladové ceny se může počítat s odpisy účetními. To znamená, že se odepisování rozloží do tolika let, jakou má dané zařízení životnost (např. 10 let).

4.3.9 Spotřeba materiálu a cena jedné DPS

Spotřeba materiálu i cena jedné osazené desky plošných spojů se bude lišit podle její velikosti a množství vodivých spojů.

Hlavním spotřebním materiálem během výroby budou desky plošných spojů s předleptanými vodivými cestami. Dále pak bude značná spotřeba pájecí pasty nebo elektricky vodivého lepidla. V této modelové situaci bude uvažováno použití 1 g pájecí hmoty na jednu desku plošných spojů (vypočteno z hustoty materiálu a množství kontaktů).

Další spotřební materiál je maska, přes kterou se nanáší pájecí materiál. Podle nabídky na internetu se cena jedné masky o velikosti 300x300 mm pohybuje okolo 1500 Kč/ks.

Pro dosažení nižší zmetkovitosti a zajištění vyšší spolehlivosti chodu linky je zapotřebí provádět pravidelná čištění.

Vyčíslení ceny jedné desky plošných spojů je v praxi často velmi obtížné. Do hodnoty jednoho kusu výrobku se totiž musí započítat veškeré fixní i variabilní náklady, které jsou s danou výrobou spojeny. K této ceně se pak ještě musí připočíst částka, která bude představovat zisk, z kterého se pak firma může dále rozvíjet.

4.4 Celkové roční náklady

Přehled celkových ročních nákladů odpovídá řádově dnešním hodnotám. Porovnání celkových nákladů pro pájecí pastu a elektricky vodivé lepidlo se bude lišit především v ceně pájecího materiálu.

Aby nedocházelo k vysoké zmetkovitosti, bude počítáno v případě lepení elektricky vodivým lepidlem o 53,85 % větším množstvím materiálu (u pájecí pasty bude na jeden kontakt nanášeno $0,117 \text{ mm}^3$ a u elektricky vodivého lepidla $0,18 \text{ mm}^3$).

Aby se pořízení nové technologie co nejvíce vyplatilo, je potřeba získat co nejvíce zakázek. Pokud budou výrobní linky více vytížené, budou klesat náklady na vyrobení jednoho kusu výrobku.

Množství vyrobených DPS je v tomto případě závislé na kapacitě pájecí pece. Podle kapacity pece se bude uvažovat u pájení pájecí pastou 850 ks/hod a u elektricky vodivého lepidla to bude 283 ks/hod (z důvodu delšího času pro přetavení materiálu). Po přepočítání na roční spotřebu pájecího materiálu vychází, že v případě pájecí pasty bude potřeba 298,8 kg materiálu a v případě elektricky vodivého lepidla 897,6 kg.

Hmotnost pájecí pasty nebo elektricky vodivého lepidla je uvažováno pro takové množství desek, které se stihne vyrobit za jeden rok. Podle rizik a složitosti výroby by se měl také měnit zisk, ze kterého se bude podnik dále rozvíjet.

Elektricky vodivé lepidlo	
Název nákladů	náklady za rok [Kč]
Celá výrobní linka	1 072 871
Elektricky vodivé lepidlo (897,6 kg)	4 443 120
Elektrická energie	134 894
Šablony (50 ks/rok)	75 000
Mzda zaměstnanců	1878000
Osobní mzda	559 000
Ostatní	150 000
CELKEM	8 312 885

Tabulka 6 - Roční náklady při použití elektricky vodivého lepidla

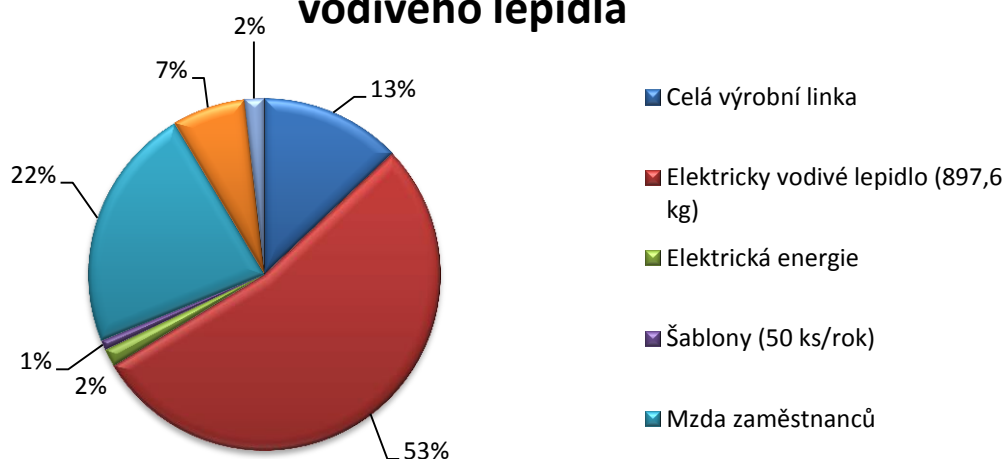
Pájecí pasta	
Název nákladů	náklady za rok [Kč]
Celá výrobní linka	1 072 871
Pájecí pasta (298,8 kg)	149 400
Elektrická energie	134 894
Šablony (50 ks/rok)	75 000
Mzda zaměstnanců	1878000
Osobní mzda	559 000
Ostatní	150 000
CELKEM	4 019 165

Tabulka 7 - Roční náklady při použití pájecí pasty

Výrobní linka zvládne po zanedbání nepředpokládaných vlivů ročně vyrobit v případě elektricky vodivého lepidla 298 848 kusů DPS. Po přepočítání celkových nákladů na jeden kus DPS vyjde cena 27,82 Kč.

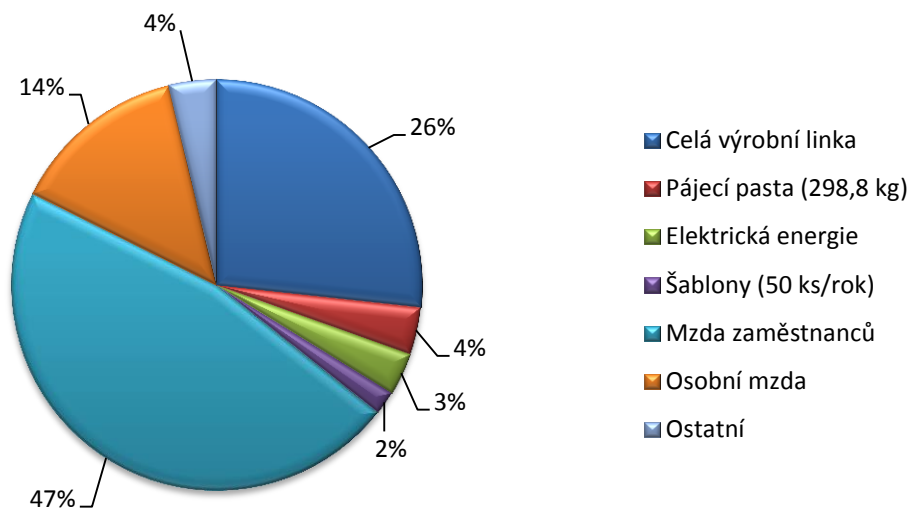
V případě použití pájecí pasty linka vyprodukuje ročně 897 600 kusů. Po přepočítání celkových nákladů na jeden kus DPS vyjde cena 4,48 Kč.

Přehled nákladů při použití elektricky vodivého lepidla



Graf 3 - Přehled nákladů při použití elektricky vodivého lepidla

Přehled nákladů při použití pájecí pasty



Graf 4 - Přehled nákladů při použití pájecí pasty

5 Závěr

První část Bakalářské práce je věnována vlastnostem a metodám vodivých spojů realizovaných pomocí pájky a elektricky vodivého lepidla. Dále jsou zde teoreticky rozebrány zařízení a technologie, které se použily v praktické části této práce.

V praktické části je popsána výroba jednotlivých spojů od nanesení pájecího materiálu na plošný spoj až po měření jeho vlastností. Z naměřených hodnot vyplývá, že spoje pájené pájecí pastou mají přibližně 15 krát menší odpor, než spoje lepené elektricky vodivým lepidlem. Pozitivní výsledek pro pájecí pastu vyšel i při testování mechanické pevnosti, kde tyto spoje prokázaly přibližně 3 krát větší pevnost, než u lepených spojů. Z naměřených hodnot lze dále zjistit, že v případě elektricky vodivého lepidla je v sérii s menším množstvím naneseného materiálu hodnota odporu 2 krát vyšší, než u většího množství. U těchto dvou sérií ale měření ukázalo, že bod průměrné síly přichycení součástek je téměř stejný. Rozdíly trhací síly mezi velkým a malým množstvím naneseného pájecího materiálu jsou celkově z hlediska rozptylu naměřených hodnot zanedbatelné.

Poslední ekonomická část je věnována výpočtu nákladové ceny pro dva různé druhy pájecích materiálů. Zde je ale nutné podotknout, že ekonomická složka je velmi úzce spjata s technickými možnostmi a ostatními okolními jevy. To znamená, že různá rozhodnutí mohou mít veliký vliv na výsledné ceny, které jsou zde uvažovány. Na začátku ekonomické části jsou vysvětleny některé pojmy, jako například finanční kritéria efektivnosti projektů.

Dále je zde proveden modelový příklad, kde majitel menší firmy uvažuje o nové investici právě do pájecí automatické linky. Je zde počítáno s cenou veškerých komponentů potřebných k automatické lince, cenou materiálů, zmetkovitostí, cenou energií i s výší mezd pro zaměstnance. Výsledkem zjišťování veškerých cen a informací o jednotlivých položkách je tabulka celkových ročních nákladů, ze které se stanovila výsledná výrobní cena na jeden kus DPS. Pro stroje uvažované v tomto modelu byla stanovena životnost 10 let. Účetní odpisy jsou tedy rozloženy do celkové životnosti zařízení. Veškeré další údaje byly uvažovány na jeden rok.

Z výsledného průzkumu obou technologií bylo zjištěno, že použití technologie pájecí pasty se vyplatí jak z hlediska finančního, tak i z hlediska kvality. Celkové náklady na jeden kus DPS jsou 27,82 Kč při použití elektricky vodivého lepidla a 4,48 Kč při použití pájecí pasty. V případě pájecí pasty lze navíc vyrobit tři krát více kusů DPS, než s použitím elektricky vodivého lepidla. Pouze ve speciálních případech, kdy nemůže být pájená součástka vystavena vysoké teplotě, by měla být použita technologie s elektricky vodivým lepidlem.

6 Literatura

- [1] MACH, Pavel, Jan URBÁNEK a Vlastimil SKOČIL. *Montáž v elektronice: pouzdrění aktivních součástek, plošné spoje*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02392-3.
- [2] NOVÁK, Ondřej. *Pájené spoje, růst dendritů* [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-12-31]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/64829/F3-DP-2016-Novak-Ondrej-NovakOndrejDendrityDP_2016.pdf. Diplomová práce. ČVUT FEL. Vedoucí práce Ing. Karel Dušek, Ph.D.
- [3] EBNESAJJAD, Sina. *Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing*. Amsterdam: William Andrew/Elsevier, 2011. PDL handbook series. ISBN 978- 1-4377-4461-3.
- [4] FRANKO, Jaroslav. *Technologie pájení a vodivého lepení v elektrotechnice* [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/23130/1/Konecna_Prace_Se_Zadanim.pdf. Bakalářská práce.
- [5] ŽALSKÁ, Pavlína. *Stárnutí spojů vytvořených elektricky vodivými lepidly* [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/68445>. Diplomová práce. FEL ČVUT. Vedoucí práce Pavel Mach.
- [6] *Polyprint store* [online]. 2018 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://shop.polyprint.cz/sitotiskova-terka-hlinikova-25cm-70sh>
- [7] MACH, Pavel. *Elektricky vodivé lepení v elektrotechnice* [online]. Praha, 2016 [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/34502/mod_resource/content/1/Elektricky_vodive_lepeni_v_elektrotechnice.pdf. Přednáška. ČVUT FEL.
- [8] EBNESAJJAD, Sina. *Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing*. Amsterdam: William Andrew/Elsevier, 2011. PDL handbook series. ISBN 978- 1-4377-4461-3.
- [9] KRÁL, Bohumil a kol. *Manažerské účetnictví*. 4. rozšířené a aktualizované vydání. Praha: Management Press, 2018. 791 stran. ISBN 978-80-7261-568-1.
- [10] SYNEK, Miloslav. *Manažerská ekonomika*. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. 471 s. Expert. ISBN 978-80-247-3494-1.
- [11] Amtech. *Amtech* [online]. Škrobárenská 506/2 617 00 Brno, CZ: AMTECH, spol. s r.o. [cit. 2021-8-17]. Dostupné z: <https://www.amtech.cz/>

7 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Horkovzdušná průběžná pec	12
Obrázek 2 - Elektricky vodivé lepidlo s šupinami [7]	12
Obrázek 3 - Elektricky vodivé lepidlo s kuličkami [7]	13
Obrázek 4 - Nástroj pro šablonový tisk [5].....	14
Obrázek 5 – Stěrka [6].....	14
Obrázek 6 - Školní osazovací automat s podavačem	14
Obrázek 7 – Deska FR4.....	16
Obrázek 8 - Schéma zapojení čtyřbodové metody [5].....	17
Obrázek 9 - Měřicí přístroj pro čtyřbodovou metodu	18
Obrázek 10 - Trhací zařízení Pemar	19
Obrázek 11 - Software pro ovládání trhacího zařízení.....	19
Obrázek 12 - Prasklina na spoji s elektricky vodivým lepidlem	21
Obrázek 13 - Spoj provedený pájecí pastou	21
Obrázek 14 - Investorský trojúhelník	23

8 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdíly mezi pájením a lepením elektricky vodivých spojů	15
Tabulka 2 - Náklady pro pořízení nové automatizované linky.....	24
Tabulka 3 - Rizika a náklady spojené s dodáním zmetků zákazníkovi	25
Tabulka 4 - Tabulka mezd zaměstnanců	26
Tabulka 5 - Celkové roční náklady elektrické energie.....	26
Tabulka 6 - Roční náklady při použití elektricky vodivého lepidla	28
Tabulka 7 - Roční náklady při použití pájecí pasty	28
Tabulka 8 - Tabulka naměřených hodnot	33

9 Seznam grafů

Graf 1 - Rozptyl hodnot trhací síly (elektricky vodivé lepidlo).....	20
Graf 2 - Rozptyl hodnot trhací síly (pájecí pasta).....	20
Graf 3 - Přehled nákladů při použití elektricky vodivého lepidla.....	29
Graf 4 - Přehled nákladů při použití pájecí pasty	29

10 Přílohy

10.1 Tabulka naměřených hodnot

Pájecí pasta - množství 0,18 mm ³														
č. desky	R ₁		R ₂		R ₃		R ₄		R ₅		R ₆		R ₇	
	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]
1	21,5	15,88	21,5	33,97	21,6	24,79	22,8	25,51	22,4	18,44	22,4	29,88	22,4	31,82
2	22,5	21,37	22,7	17,29	22,9	19,63	21,6	26,01	22,5	21,62	22,5	17,03	23,9	14,20
3	22,2	45,74	22,3	10,04	22,4	37,06	24,0	6,18	22,2	31,89	22,2	24,04	23,2	37,33
4	23,3	13,13	24,0	16,50	23,2	33,95	24,5	10,13	24,0	21,36	24,0	19,89	26,3	31,73
5	23,2	26,82	22,7	14,43	24,1	19,23	25,0	42,03	24,6	9,74	24,6	30,50	23,5	3,78
Prům. R [mΩ]														
Směr. Odch. [mΩ]														
Prům. F [N]														
Směr. Odch. F [N]														
10,04														
23,11														
1,09														
24,44														
23,99														
Směr. Odch. [mΩ]														
1,57														
25,40														
9,14														
16,72														
27,04														
21,25														
10,80														
Elektricky vodivé lepidlo - množství 0,18 mm ³														
č. desky	R ₁		R ₂		R ₃		R ₄		R ₅		R ₆		R ₇	
	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]
1	256	7,16	175	6,84	260	3,48	239	14,39	143	2,83	316	6,25	621	7,50
2	213	6,30	84	8,10	146	7,13	139	2,84	148	3,47	318	2,51	94	2,51
3	290	4,65	681	9,30	128	8,54	368	10,28	184	2,34	375	8,84	172	4,20
4	198	6,32	600	6,50	162	2,42	509	12,49	205	8,44	296	6,32	260	9,58
5	150	2,79	195	6,31	1026	13,27	142	6,62	1415	2,69	560	8,25	590	12,04
Průměr R [mΩ]														
333,09														
Směr. Odch. [mΩ]														
275,24														
3,27														
Elektricky vodivé lepidlo - množství 0,117 mm ³														
č. desky	R ₁		R ₂		R ₃		R ₄		R ₅		R ₆		R ₇	
	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]	R [mΩ]	N _{max} [N]
1	335	2,25	257	0,00	402	6,25	743	5,62	615	4,85	174	9,33	207	2,88
2	1576	5,18	442	5,09	550	3,58	707	17,55	627	7,02	243	0,00	493	0,00
3	128	12,04	395	6,82	226	21,23	158	14,17	137	10,41	300	4,39	368	21,20
4	424	2,71	382	6,52	6314	3,48	433	9,38	228	2,07	801	4,04	334	4,49
5	542	16,63	1125	5,14	451	2,63	344	4,84	413	19,64	198	4,48	204	15,99
Průměr R [mΩ]														
607,89														
Směr. Odch. [mΩ]														
1019,76														
6,01														
7,48														
Směr. Odch. F [N]														

Tabulka 8 - Tabulka naměřených hodnot

10.2 Parametry elektricky vodivého lepidla



ECO SOLDER AX 70_{MIN}

POLYMER BASE, SOLDER REPLACEMENT PASTE

- * ELECTRICALLY CONDUCTIVE
- * HIGH TEMPERATURE RESISTIVE FORMULATION
- * EPOXY-PHENOLIC HYBRIDE TYPE BINDER
- * HARMLESS & SAFE TO USE (NO LEAD; NO CFC; NO VOC)
- * USES REGULAR ON LINE EQUIPMENT
- * STABLE TECHNOLOGICAL PROPERTIES.

GENERAL DESCRIPTIONS:

AMEPOX MC product, trade name ECO-SOLDER™ represents new generation of single component, electrically conductive formulation designed for replacement of traditionally tin-lead solder pastes. Technology with our new ECO-SOLDER™ materials eliminates all type of solvents used for pre- or post-cleaning, like it is in conventional tin-lead solder technology.

One of the biggest advantages of ECO-SOLDER™ is, that it contains no lead or any other dangerous ingredients. It may be used with standard dispensing, SMD stenciling (10/20 mil pitches with excellent resolution) or screen printing application. ECO-SOLDER™ doesn't dry out on open screens or stencils for up to 2 weeks and refrigeration during storage of this material is not necessary.

ECO-SOLDER™ has extremely short curing time (especially with IR heating tunnel) and quite pleasant odor. This is 100% solids formulation without any volatile thinners so, is no fear about safety conditions for work. CFC solvent's attack ozone layer in the stratosphere is widely known. Aqueous cleaning solvents usually contain alcohol such a methanol, ethanol or isopropyl which are VOC (volatile organic compounds). VOC's are photochemically active and cause smog and ozone in the lower atmosphere. The use of ECO-SOLDER™ requires no fluxes and therefore no solvent cleaning of the PCB is needed.

E-S AX 70MN has high and stable electrical conductivity. This type is mostly for high-speed technological process. It doesn't change viscosity even on open area with thin layer.

SPECIFICATIONS:

Number of components	One
Consistency	Floable paste
Color	Bright silver
Percentage of silver (inside ready paste)	70 ± 1%
Specific gravity	2.1 – 2.4 g/cm ³
Viscosity	530 000 – 560 000 cps (*)
Drying time before curing process	Not necessary
Recommended curing schedule with air-circulated oven	180°C – (6 - 10) min. 200°C – (3 - 4) min.
Recommended curing schedule with heating tunnel	200°C in peak – 3 min. total time inside tunnel
Shelf life	6 months (when storage at 10°C – unopened)

(*) - Brookfield DVII; SSA#14; 1 rpm; 25°C.

TECHNICAL PROPERTIES (*):

Electrical resistivity	(1.0 – 2.5) x E(-6) Ωm
Pencil hardness	9H pencil hardness (one day after curing)
Range of service for continuous temperature	(-55)°C - (+200)°C
Max. operating temperature	300°C for ab 1.5 h.

(*) - Typical value for number of tests.

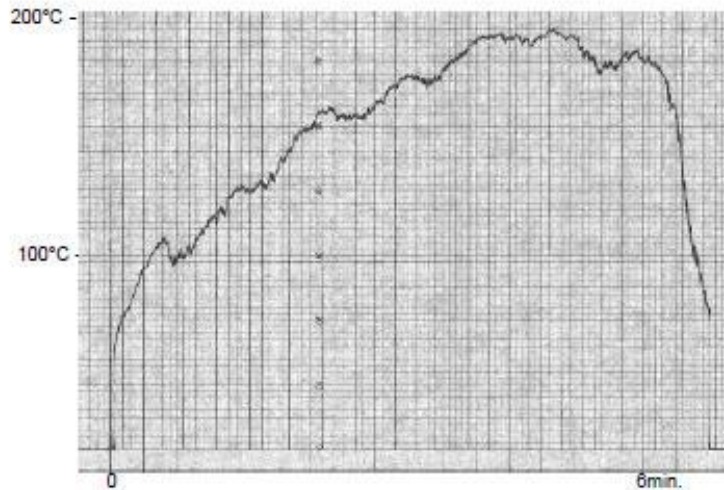


Fig.1. Example of heating tunnel profile for curing E-S AX 70MN

ATTENTION:

1. Product is ready for use, but should be mixed very thoroughly before use using wood or plastic spatula. Mix smoothly from the bottom of the container. Mix carefully - not to whip air into the product. **INSURE E-S AX 70MN IS AT ROOM TEMPERATURE WHEN YOU WILL START WORKING WITH. Refrigeration during shelf time is not necessary.**
2. Prepare consistency before use according your SPECIFICATION.
3. If you need, use AXMC 70EM thinner. **Thinner will change paste resistivity.** Pls, do not exceed 1% of weight. After first tests pls let us know about your viscosity requirements – we will be able to change it for you.
4. Low conductivity and poor adhesion performance are symptomatic that paste is under curing conditions.
5. Refrigeration during shelf time not necessary, but useful. Keep container with lacquer in temp. no less 10 C. Before use, increase paste temperature very slowly.
6. Use paste with adequate ventilation.
7. Avoid skin and eye contact. If ingested, consult a physician immediately.
8. Clean by MEK or other suitable solvents. Allow screen to completely dry before using again.
9. Temperature during printing process must be kept between 20°C and 25°C, with relative humidity (RH) between 40% and 65%. This condition reduces static charges on the substrate.
10. When stored – keep container closed.

This information is based on data and tests believed to be accurate. AMEPOX MC makes no warranties (expressed or implied) as to its accuracy and assumes no liability in connection with the use or inability to use this product. (es-ax70mn)

10.3 Parametry pájecí pasty

TECHNICAL DATA SHEET
Sn/Ag/Cu. 350, Rev. B, 10/15



DSP 350 (Sn/Ag/Cu)
LEAD FREE
R.A. SOLDER PASTE

CORPORATE HEADQUARTERS USA: 315 Fairbank St. Addison, IL 60101¹ 630-628-8083¹ FAX 630-628-6543
EUROPE UK: Unit 9 Apex Ct. Bassendale Rd. Bromborough, Wirral CH62 3RE¹ 44 151 334 0888¹ FAX 44 151 346 1408
ASIA-PACIFIC HEADQUARTERS SINGAPORE: 6 Tuas South St. 5 Singapore 637 790¹ 65 6795 7757¹ FAX 65 6795 7767
PHILIPPINES: Phase 1 Qualitek Ave. Mariveles, Bataan Philippines C-2106 ! 6347 935 4119 ! FAX 6347 935 5608
CHINA: 3B/F, YiPa Print Bldg. 351 # JiHua Rd., Buji Shenzhen, China 518112¹ 86 755 28522814¹ FAX 86 755 28522787

This data is based on information that the manufacturer believed to be reliable and offered in good faith. Qualitek International, Inc. makes no warranties expressed or implied as to its accuracy and assumes no responsibilities and liabilities arising out of its use by others as conditions and methods of use of the products is beyond the control of Qualitek International, Inc. The user must determine the suitability of the product before using it on a commercial basis. The warranties extend only to the conformity of the product to the physical descriptions. In no event will Qualitek International, Inc. be responsible for special, incidental and consequential damages whether the claim is in contract, negligence or otherwise. Qualitek specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits.

Description

Qualitek has developed a unique rosin activated (R.A.) flux system that may be used for leaded alloys as well as for high temperature lead free alloys.

DSP 350 Lead Free solder paste exhibits superior joint strength, with excellent wettability, print definition and tack life. The post soldering residues of DSP 350 are non-conductive, non-corrosive and highly insulated.

Main Features

- Excellent wettability
- Hard non corrosive residues

Technical Data

Flux Classification	Specification	Test Method
	ROM1	J-STD-004
Copper Mirror	No removal of copper film	IPC-TM-650 2.3.32
Corrosion	Pass	IPC-TM-650 2.6.15
SIR (cleaned) J-STD-004	2.61 x 10 ¹⁰ ohms	IPC-TM-650 2.6.3.3
Electromigration	Pass	Bellcore GR-78-CORE 13.1.4
Post Reflow Flux Residue	65%	TGA Analysis
Water Extract Resistivity (WER)	115,000 ohm/cm	
Metal Loading	88-89%	IPC-TM-650 2.2.20
Viscosity		
Brookfield ⁽¹⁾ , kcps	1000+/-10% kcps	IPC-TM-650 2.4.34 modified
Malcom ⁽²⁾ , poise	1650-1950	IPC-TM-650 2.4.34.3 modified
Thixotropic Index	0.50-0.60	
Slump Test		
25 C, 0.63 vertical/horizontal	No bridges all spacings	IPC-TM-650 2.4.35
150 C, 0.63 vertical/horizontal	No bridges all spacings	IPC-TM-650 2.4.35
25 C, 0.33 vertical/horizontal	0.15/0.15	IPC-TM-650 2.4.35
150 C, 0.33 vertical/horizontal	0.20/0.20	IPC-TM-650 2.4.35
Solder Ball Test	Pass	IPC-TM-650 2.4.43
Stencil Life	>4 hrs	QIT 3.44.5
Abandon Time	30 min	QIT 3.44.6

Physical Properties

Solder Composition

Qualitek Sn/Ag/Cu (Tin/Silver/Copper) alloys are designed as a lead-free alternative for Sn/Pb alloys for electronics assembly operations. Qualitek Sn/Ag/Cu alloys conform and exceed the impurity requirements of J-STD-006 and all other relevant international standards.

Typical Analysis														
	Sn	Ag	Cu	Pb	Sb	Bi	In	As	Fe	Ni	Cd	Al	Zn	Au
LF955-38	Bal	3.6-4.0	0.5-0.9	0.070 Max	0.200 Max	0.100 Max	0.100 Max	0.030 Max	0.020 Max	0.010 Max	0.002 Max	0.005 Max	0.003 Max	0.050 Max
LF958-35	Bal	3.3-3.7	0.5-0.9	0.070 Max	0.200 Max	0.100 Max	0.100 Max	0.030 Max	0.020 Max	0.010 Max	0.002 Max	0.005 Max	0.003 Max	0.050 Max
LF965-30	Bal	2.8-3.2	0.3-0.7	0.070 Max	0.200 Max	0.100 Max	0.100 Max	0.030 Max	0.020 Max	0.010 Max	0.002 Max	0.005 Max	0.003 Max	0.050 Max
LF217	Bal	3.8-4.2	0.3-0.7	0.070 Max	0.200 Max	0.100 Max	0.100 Max	0.030 Max	0.020 Max	0.010 Max	0.002 Max	0.005 Max	0.003 Max	0.050 Max

	Sn/Ag/Cu	Sn63/Pb37		Sn/Ag/Cu	Sn63/Pb37
Melting Point, °C	217-221	183 E	Yield Strength, psi	3724	3950
Hardness, Brinell	15HB	14HB	Total Elongation,%	27	48
Coefficient of Thermal Expansion	Pure Sn= 23.5	24.7	Joint Shear Strength, at 0.1mm/min 20 °C	27	23
Tensile Strength, psi	4312	4442	Joint Shear Strength, at 0.1mm/min 100 °C	17	14
Density, g/cc	7.39	8.42	Creep Strength, N/mm ² at 0.1mm/min 20 °C	13.0	3.3
Electrical Resistivity (μohm-cm)	13.0	14.5	Creep Strength, N/mm ² at 0.1mm/min 100 °C	5	1
Electrical Conductivity, %IACS	16.6	11.9	Thermal Conductivity, W/m.K	58.7	50.9

Particle Size

SAC alloys are available in 3(45-25μm), 4(38-20μm) and 5(25-15μm) J-STD-005 powder distribution. Solder powder distribution is measured utilizing laser diffraction, optical analysis and sieve analysis. Careful control of solder powder manufacturing processes ensures the particles' shape are 95% spherical minimum (aspect ratio < 1.5) and that the alloy contains a typical maximum oxide level of 80 ppm.

Metal Loading

Typical metal loading for R.A. 350 lead free stencil printing application is **88-89%**. Compared to typical Sn63/Sn62 solder pastes manufactured with 90% by weight metal loading, DSP 350 Lead Free provides as much as 10-12% higher metal volume than Sn63/Sn62. This increased in volume of DSP 350 promotes better wetting and spreading of Sn/Ag/Cu lead free alloy.