



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## NASTAVENÍ VÝROBNÍHO PROCESU ZA ÚČELEM MINIMALIZACE TVORBY VOIDŮ V PÁJCE PŘI POUŽITÍ SLITINY SAC305

PRECISE SETUP OF PRODUCTION PROCESS TO MINIMIZE PRESENCE OF VOIDS IN SOLDER  
JOINTS WHERE WERE USED ALLOY SAC305

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Slavík, DiS.

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Soběslav Valach

BRNO 2018

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**  
Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Bc. Pavel Slavík, DiS.

**ID:** 174923

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2017/18

## NÁZEV TÉMATU:

### **Nastavení výrobního procesu za účelem minimalizace tvorby voidů v pájce při použití slitiny SAC305**

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastavení výrobního procesu za účelem minimalizace tvorby voidů v pájce při použití slitiny SAC305. Cílem práce je zvýšení kvality výrobního procesu a dlouhodobé životnosti LED světlotmetů.

- 1) Provedte testy a proveďte správnost navržené metody analýzy. Zkontrolujte množství nanesené pasty. Provedte testy s použitím výbrusů, x-ray za účelem ověření správnosti návrhu postupů s použitím slitin SAC305.
- 2) Z výsledků testů navrhnete nejvhodnější pájecí profil a slitinu, navrhnete nejvhodnější aplikovatelné řešení pro výrobní proces.
- 3) Při výskytu voidů sesumarizujte pravidla pro prověření výrobního procesu a postupy vedoucí k nápravě, aby došlo k co nejlepšímu rozliti pasty a minimalizaci tvorby voidů při současném splnění požadavků na kvalitu spoje.
- 4) Výsledky diskutujte a statisticky zpracujte.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[http://www.umel.feec.vutbr.cz/METMEL/studijni-pomucky/METMEL\\_11\\_SP\\_BPSM\\_Plosne\\_spoje\\_a\\_povrchova\\_montaz.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/METMEL/studijni-pomucky/METMEL_11_SP_BPSM_Plosne_spoje_a_povrchova_montaz.pdf)

**Termín zadání:** 5.2.2018

**Termín odevzdání:** 14.5.2018

**Vedoucí práce:** Ing. Soběslav Valach

**Konzultant:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
předseda oborové rady

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

# Abstrakt

V teoretické části diplomové práce se věnuji seznámení se s procesem osazování a pájení desek plošných spojů. Jsou zde popsány vybrané typy bezolovnatých pájecích slitin. Různé postupy nanášení pájecích slitin, kde větší část je věnována šablonovému tisku. Jsou zde popsány různé postupy osazování a pájení. Zaměřil jsem se především na strojní osazování SMD součástek, následně pájení pomocí konvekční reflow a pájení v parách.

V praktické části je popsán postup návrhu testovací DPS, metodika osazení DPS a pájení různými technologiemi s definovaným nastavením. Analýza dosažených výsledků se provádí pomocí nedestruktivní metody x-ray a destruktivní metodou mikro výbrusů. Metodou x-ray jsou detekovány pozice a velikosti voidů v pájce. Tyto informace jsou použity pro rychlejší zpracování mikro výbrusů. Metoda mikro výbrusů je zařazena do analýzy pro detailnější zkoumání pájeného spoje. V závěru práce je souhrnné doporučení, které nastavení výrobního procesu zvyšuje jakost pájeného spoje.

## Klíčová slova

Voidy, bezolovnaté pájení, pájecí pasta, reflow, pájení v parách, LED, FR4, IMS, x-ray, mikro výbrus

## Abstract

The theoretical part of dissertation is devoted to familiarization with the process of assembly and soldering of PCBs. There are described the selected types of lead-free solder paste, the various procedures of flux deposition, where the greater part is focuses to the printing through template. Also, I analyze the different procedures shouldering and soldering. I focused mainly on the mechanical mounting of SMD components soldering with help convection reflow and soldering in the vapor.

In the practical part is described the design of the test PCB, methodology of assembly PCB and soldering various technologies with predefined settings. The analysis of the results is done by a non-destructive x-ray method and destructive micro-cut method. The x-ray method detects the position and size of the voids in the solder. This information is used for faster processing of micro-cut. The micro-cut method is included in the analysis for a more detailed examination of the solder joint. At the end of the thesis, there is a summary of the recommendation that the setting of the manufacturing process increases the quality of the brazed joint.

## Keywords

Voidy, lead-free soldering, soldering paste, reflow, soldering vapor, LED, FR4, IMS, x-ray, micro-cut

SLAVÍK, Pavel. Nastavení výrobního procesu za účelem minimalizace tvorby voidů v pájce při použití slitiny SAC305. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2018. 79 s., 19 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Soběslav Valach

## Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma Nastavení výrobního procesu za účelem minimalizace tvorby voidů v pájce při použití slitiny SAC305 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

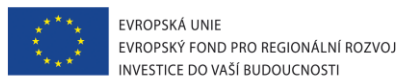
V Brně dne .....

(podpis autora)

## Poděkování

Rád bych poděkoval mému konzultantovi ing. Ondřeji Lounovi, vedoucímu diplomové práce ing. Soběslavovi Valachovi a ostatním z firmy Hella Nova za podporu, pomoc a věcné připomínky při praktickém zpracování diplomové práce.

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře  
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072  
**Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)**  
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.



Finanční podpora byla poskytnuta Evropským fondem pro regionální rozvoj  
a státním rozpočtem České republiky.

# Obsah

Seznam obrázků .....	8
Seznam grafů.....	9
Seznam tabulek .....	9
Seznam zkratek .....	9
Úvod .....	10
1. Seznámení se se strojním vybavením pro osazování DPS .....	11
1.1. Pájecí pasta.....	11
1.2. Nanášení pájecí pasty.....	13
1.2.1. Sítotisk.....	13
1.2.2. Šablonový tisk.....	14
1.2.3. Nanášení pájecí pasty dispenzorem .....	16
1.2.4. Jet Print .....	17
1.3. Osazování .....	19
1.3.1. Ruční osazení.....	19
1.3.2. Strojní sekvenční osazování .....	20
1.3.3. Strojní simultánní osazování .....	22
1.4. Pájení.....	22
1.4.1. Pájení horkým vzduchem .....	23
1.4.2. Pájení v parách .....	25
1.5. Vady pájení.....	26
1.5.1. Tvorba voidů.....	26
Praktická část .....	28
2.1 Návrh testovací DPS .....	28
2.2 Metodika pájení .....	32
2.2.1 Optimalizace procesu nanášení pájecí pasty .....	33
2.2.2 Optimalizace pájecího procesu .....	35
2.4 X-ray.....	39
2.5 Mikro výbrus .....	43
Shrnutí.....	48
Závěr.....	57
Literatura.....	58
Seznam příloh.....	60
Příloha 1. ....	61
Příloha 2. ....	62
Příloha 3. ....	63
Příloha 4. ....	64
Příloha 5. ....	65
Příloha 6. ....	67
Příloha 7. ....	70
Příloha 8. ....	75
Příloha 9. ....	78
Příloha 10. ....	79

# 1. Seznam obrázků

Obrázek 1. Princip sítotisku [1] .....	14
Obrázek 2. Šablona [8] .....	15
Obrázek 3. Šablonový tisk [1] .....	15
Obrázek 4. Stroj pro šablonový tisk od firmy FRITSCH GmbH [7] .....	16
Obrázek 5. Dispenzer [1] .....	17
Obrázek 6. Cartidge JetPrint [20] .....	18
Obrázek 7. Ruční osazovací zařízení [9] .....	19
Obrázek 8. Sekvenční osazovací automat od firmy FRITSCH GmbH [7].....	21
Obrázek 9. Funkční uspořádání simultánního osazovacího stroje [4] .....	22
Obrázek 10. Dělení pájen používané v elektrotechnice [1] .....	23
Obrázek 11. Přetavovací pec od firmy ERSA GmbH [10].....	23
Obrázek 12. Pájecí profil [11] .....	24
Obrázek 13. Princip pájení v parách [4] .....	25
Obrázek 14. Různé typy voidů [14] .....	27
Obrázek 15. Rozdělení pájecí plochy [15] .....	28
Obrázek 16. Čtyřčipová LED dioda Lumileds LUXEON Altilon[16].....	29
Obrázek 17. DPS s vytvořeným pedestalem [17] .....	30
Obrázek 18. Testovací DPS - vlevo FR4 a vpravo IMS .....	31
Obrázek 19. 3D model DPS IMS .....	31
Obrázek 20. Značení testovacích DPS .....	33
Obrázek 21. Nanesená pájecí pasta s vadou nerovnoměrné výšky a tzv. „Psí uši“ .....	34
Obrázek 22. Nanesená pájecí pasta s vadou "Psí uši" .....	35
Obrázek 23. Obrazovka nastavení reflow .....	37
Obrázek 24. Měření teplotního profilu .....	37
Obrázek 25. Ovládací panel pájecí stanice ASSCON.....	38
Obrázek 26. GE Measurement [21].....	39
Obrázek 27. Snímky X-ray vlevo Cu IMS a vpravo FR4 .....	40
Obrázek 28. Detekce voidů za použití počítačového vidění.....	41
Obrázek 29. Detekce voidů s využitím kružnic.....	41
Obrázek 30. Snímky defektů testovacích DPS.....	42
Obrázek 31. Snímky sériově vyráběných dílců .....	42
Obrázek 32. Upevnění vzorků .....	44
Obrázek 33. Digitální mikroskop firmy KEYENCE [24] .....	45
Obrázek 34. Snímek výbrusu testovací DPS FR4 při zvětšení 100x .....	46
Obrázek 35. Detail měření voidů levý termální pad.....	46
Obrázek 36. Snímek výbrusu testovací DPS IMS při zvětšení 250x vlevo a 1000x vpravo .....	47
Obrázek 37. Snímky výbrusů vzorku 16 – měření .....	47
Obrázek 38. Rentgenové snímky vzorků použitých pro srovnání pájecích profilů (IMS) .....	49
Obrázek 39. Rentgenové snímky vzorků použitých pro srovnání pájecích profilů (FR4) .....	52
Obrázek 40. Defekt - slití pájky na termálních ploškách .....	55
Obrázek 41. Defekt – průhyb plátování .....	56
Obrázek 42. Defekt – viavoid .....	56



## 2. Seznam grafů

Graf 1. Porovnání pájecí profilů FR4 reflow .....	36
Graf 2. Porovnání pájecích profilů a slitin SAC305 na DPS typu IMS .....	48
Graf 3. Doporučený pájecí profil pro IMS .....	50
Graf 4. Porovnání pájecích profilů a slitin SAC305 na DPS typu FR4.....	51
Graf 5. Doporučený pájecí profil pro FR4.....	53
Graf 6. Porovnání pájecích slitin - IMS .....	54
Graf 7. Porovnání pájecích slitin - FR4 .....	54

## 3. Seznam tabulek

Tabulka 1. Členění pájecích past do tříd podle velikosti zrn prášku .....	12
Tabulka 2. Porovnání použitých pájecích past .....	32
Tabulka 3. Doporučené nastavení výrobní technologie pro DPS IMS.....	50
Tabulka 4. Doporučené nastavení výrobní technologie pro DPS FR4 .....	53

## 4. Seznam zkratk

DPS	Deska plošných spojů (PCB – Printed Circuit Board)
FR4	Skelné vlákno plněné epoxidovou pryskyřicí (FR-4 Flambe Retardant - 4)
IMS	Insulated Metal Substrate
MCPCB	Metal Cald Printed Circuit Board
SMT	Surface Mount Technology
SMD	Surface Mount Device
BGA	Ball Grid Array
QFP	Quat Flat Package
QFN	Quat Flat No-leads package
BCC	Bumped Chip Carrier
SON	Small Outline No leads
ESD	ElectroStatic Discharge
EPA	ElectroStatic Discharge Protected Area
LED	Light Emmiting diode
CCT	Correlated Color Temperature

## 5. Úvod

Tato práce je určena pro elektrotechniky, a především pro technology zabývající se výrobou desek plošných spojů. Konkrétně je zaměřena na montáž SMT součástek, kde při montáži vznikají různé vady spojů. Jednotlivé vady spojů budou probrány a v závěru jsou diskutována jednotlivá doporučení, jak vady částečně nebo zcela eliminovat. Hlavním cílem práce je eliminace voidů v pájených spojích při použití bezolovnaté pájky SAC305 od různých výrobců.

Dále se v této práci seznámíme s výrobním procesem osazování desek plošných spojů. Nanášení pájecí pasty pomocí šablonového tisku, strojního osazení elektronických součástek a samotné zapájení pomocí dvou metod, a to reflow a pájení v parách. V prototypové dílně firmy HELLA Autotechnik nova s.r.o. je téměř všechno strojní vybavení od firmy Fritsch. Konkrétně šablonový tisk osazovací automat a přetavovací pec reflow. Pro pájení v parách je použita pec od firmy Asscon.

S tímto strojním vybavením jsem se musel poprvé seznámit, abych zjistil, jaké možnosti toto vybavení poskytuje a mohl jsem následně provést sérii pokusů, jaký je nejlepší postup pro eliminaci voidů v pájecí pastě. Abych mohl přejít k jednotlivým pokusům, bylo za potřebí navrhnout testovací DPS na které se osazovaly LED diody s různými pájecími pastami a používalo se různé nastavení strojního vybavení. Po osazení a zapájení se provedla vizuální a funkční zkouška jednotlivých vzorků, které se následně použili k testům X-Ray a výbrus. Výsledky testů byly použity pro souhrnná doporučení, jaký používat postup a nastavení strojního vybavení k eliminaci vzniku voidů.

## 6. Seznámení se se strojním vybavením pro osazování DPS

Prvním úkolem ve firmě HELLA bylo seznámení se se strojním vybavením v prototypovém oddělení. Prototypová dílna je vybavena stroji pro malosériovou výrobu především osazování DPS a optickou inspekci prototypových dílů. Jednotlivé kroky postupu osazení DPS budou popsány v jednotlivých podkapitolách níže. Kde prvním krokem je nanesení pájecí pasty SAC305 pomocí šablonového tisku, dále se osadí jednotlivé součástky plně automatickým osazovacím strojem a poté následuje zapájení. Pájení se bude provádět dvěma různými způsoby, a to konvekční reflow (přetavení horkým vzduchem) nebo pájením v parách.

### 1.1. Pájecí pasta

Pájecí pasta je slitina kovů, která se používá k elektricky vodivému spojení elektronických součástek a DPS. Pájecí pasty se používají pro měkké pájení. Pájecích past je nepřeberné množství s různým složením, ale zde se budeme zabývat především pájecí pastou typu SAC305. Pájecí pasta SAC305 je nejrozšířenější bezolovnatou pájkou, která nahradila v roce 2003 nejpoužívanější pájecí slitinu SnPb. Pájecí pasta typu SnPb, tedy olovnatá pájka byla zakázána pro použití v běžné spotřební elektronice Evropskou unií. Jedná se o směrnici, která má chránit životní prostředí RoHS, což je omezení nebezpečných látek v elektronických zařízeních. A protože pájecí pasta SnPb obsahuje olovo, které je jedovaté, tak bylo zařazeno do směrnice Evropské unie a tím se zakázalo používat tuto pájecí slitinu. Tato pájecí slitina dostala však výjimku a to pro lékařské přístroje a kosmonautiku, ale postupem času se bude přecházet i v tomto odvětví na bezolovnaté pájení. Po 14-ti letech používání bezolovnatého pájení se již spousta záporných vlastností podařilo eliminovat, například změnou strojního vybavení, ale i technologických postupů. I nadále jsou jisté neduhy bezolovnaté pájecí slitiny a to například tvorba voidů, na což může mít vliv i rostoucí integrace a miniaturizace.

Označení pájecí slitiny SAC305, kde první tři písmena označení nám udávají složení slitiny kovů a trojčíslí poměr posledních dvou prvků slitiny kovů Sn 96,5 %, Ag 3,0 % a Cu 0,5 %. Pájecí pasta SAC 305 se většinou skládá z přibližně 88 % slitiny kovů ve formě prášku a zbylých 12 % je pojivo. Pojivo pájecí pasty se skládá především z tavidla (aktivátory, rozpouštědla a organické kyseliny) dále pojivo obsahuje i tixotropní přísady. Tixotropní přísady ovlivňují viskozitu a tavidla podporují dobré smáčení povrchů, které usnadňuje pájitelnost spoje. Pájecí pasty se dělí do jednotlivých tříd 1 až 7, kde jednotlivé třídy nám určují velikost zrn pájecího prášku. Toto dělení je popsáno v normě IPC J-STD-005 viz tabulka 1 [6].

**Tabulka 1. Členění pájecích past do tříd podle velikosti zrn prášku**

Typ	Méně než 0,5% večí nez [ $\mu\text{m}$ ]	10% maximálně mezi [ $\mu\text{m}$ ]	80% minimálně mezi [ $\mu\text{m}$ ]	10% méně než [ $\mu\text{m}$ ]
1	160	150 - 160	75 - 150	75
2	80	75-80	45-75	45
3	60	45-60	25-45	25
4	50	38-50	20-38	20
5	40	25-40	15-25	15
6	25	15-25	5-15	5
7	15	11-15	2-11	2

Důležitý je i obsah aktivních složek tavidla, pokud potřebujeme pájet znečištěné nebo i zoxidované DPS je zapotřebí použít tavidlo s vyšší aktivitou a příměsí halogenidů. Popis tavidla obsaženého v pájecí pastě je popsán čtyřmístným kódem např.: ROLO, které pro běžné pájení stačí. První dva znaky nám uvádí, o jaký druh tavidla se jedná, tedy tavidlo na bázi kalafuny, které se označuje RO (ROsin). Dalším typem tavidel jsou tavidla na bázi přírodních pryskyřic RE (REsin), organických označovaných jako OR (ORganic) nebo anorganické, označované jako IN (INorganic). Třetí znak nám udává aktivitu tavidla, kde L (Low) nám říká, že se jedná o tavidlo s nízkou aktivitou. Tavidlo s označení M (Moderate) má mírnou aktivitu a tavidlo s označením H (High) má vysokou aktivitu. Poslední znak nám říká, zda tavidlo obsahuje halogenidy či nikoliv. Pokud je v tavidle obsažen halogenid v rozmezí 0,5 – 2 % hmotnosti pájecí pasty, tak je na konci čtyřmístného kódu 1. Pokud je tavidlo s nízkým obsahem halogenidů < 0,5 % tak se označuje 0. Všechny tyto parametry jsou od výrobců udávány na štítku a v katalogovém listu pájecí pasty.

Další neméně důležitou informací je skladovací teplota a vlhkost, která má vliv na životnost pájecí pasty. Každý výrobce udává jinou životnost pájecí pasty například výrobce *Henkel* udává životnost rok, pokud se pasta neotevře a dodrží se skladovací teplota 5 až 25°C a relativní vlhkost 30 – 60 %. Například výrobce *Indium corporation* uvádí životnost 6 měsíců v originálním balení a za stejných teplot. Po otevření by mělo dojít ke zpracování pájecí pasty co nejdříve. A to z důvodu oxidace a usazování nečistot v pájecí pastě. Důležitá je i příprava pájecí pasty před samotným nanášením a to promíchání a zahřátí pájecí pasty na okolní teplotu 20 – 25 °C. Promícháním stěrkou se vytlačuje vzduch z pájecí pasty, aby byla eliminována tvorba voidů.

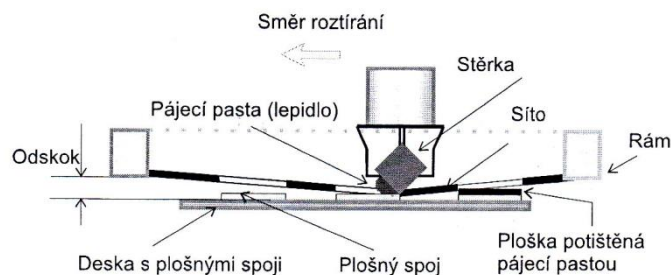
## 1.2. Nanášení pájecí pasty

Pájecí pastu je možné nanést několika možnými způsoby a to tiskem přes síto, tiskem přes šablonu, nanášení disperzerem anebo nanášení metodou jet-print. Jmenované metody se mohou rozdělit do dvou skupin a to na kontaktní a bezkontaktní. Mezi kontaktní metody patří tisk přes síto a šablonu. Kontaktní metoda je metoda, kde je síto nebo šablona přitisknuta na DPS a je tedy v kontaktu. U bezkontaktní metody se pájecí slitina nanáší na DPS z výšky v kapičkách. Nanášení pájecí pasty přes síto je v praxi dnes nejméně používáno a to z důvodů životnosti síta. Naproti tomu je tisk přes šablonu v současné době nejrozšířenější u sériové produkce DPS. Nanášení pájecí slitiny pomocí disperzeru je v současnosti taktéž hojně využíváno ale pro prototypovou výrobu řádově v jednotkách až desítkách kusů DPS. Nejnovější metodou je jet-print, která zaznamenává v současné době veliký rozmach. Tato technologie se již řadu let využívá např. v tiskařství nebo v automobilovém průmyslu. V posledním zmiňovaném se objevuje tato technologie od 90 let 20 století. Pro představu jedná se o vstřikovače pohonných hmot motorů. Tato technologie je řadu let využívána a zdokonalována, proto její nasazení v jiných oborech nenechalo na sebe dlouho čekat.

### 1.2.1. Sítotisk

Jak již bylo zmíněno, tak se nanáší pájecí pasta přes síto, na kterém je nanesený fotorezist a pomocí osvětlení předlohy UV zářením je vyvolán motiv na sítu. Důležitou podmínkou je správná volba síta a třídy pájecí pasty. Síta mohou být z různých materiálů např.: nylon nebo kov. Rozhodující je ale počet ok v sítu na 1 cm, standardně se používá 24 až 78 ok na 1 cm délky [1]. K velikosti ok v sítu je zapotřebí použít vhodnou třídu pájecí pasty např.: typ 3 popř. typ 4. Kde typ 3 má maximální velikost pájecích zrn 60  $\mu\text{m}$  a typ 4 má maximální velikost zrn 50  $\mu\text{m}$ . V literatuře se standardně uvádí, že velikost oka síta by měla být větší nežli 2,5 až 4 násobek maximální velikosti zrna pájecí pasty. Po vyvolání je na sítu zřejmý motiv předlohy, kde osvětlená místa se vývojkou odplaví a neosvětlená místa síta jsou zaslepena. Dále je nutné připevnit síto do rámu, kde jednotlivá vlákna musí svírat s rámem úhel 45°.

Samotné nanášení pájecí pasty je již jednoduché. Musí se umístit DPS a slícovat jednotlivé pájecí body s motivem na sítu. Ke slícování se na DPS a síto umísťují referenční body (Fiducial mark). Tyto body se umísťují, jak na panelizaci, tak i na jednotlivé DPS v panelu. Po slícování referenčních bodů zkontrolujeme, zdali nám lícuji všechny pájecí plošky s motivem a pak stačí umístit dostatečné množství pájecí pasty před stěrku. Poté se protlačí pájecí pasta přes síto setřením z jedné strany na druhou. Při přejíždění síta stěrku se síto prohýbá, protože je umístěno ve vzdálenosti cca 1 mm nad DPS. Za stěrku se síto zvedá a na DPS zůstává nanesena pájecí pasta podle motivu, jak je patrné na obr. 1. Pro správné nanesení pájecí pasty je zapotřebí mít správně nastaven sklon stěrky. Ve většině případů je sklon stěrky 45°. Důležitá je také správná volba stěrky a to buď z tvrdé pryže, nebo z nerezové oceli.

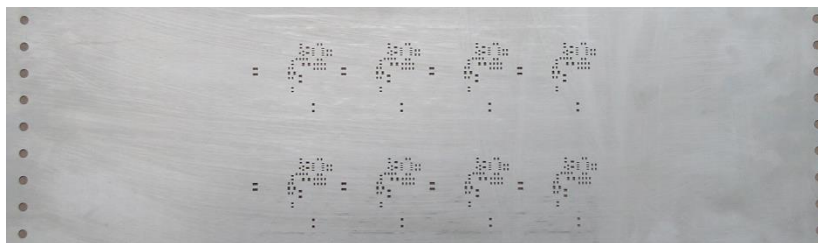


Obrázek 1. Princip sítotisku [1]

## 1.2.2. Šablonový tisk

Dalším způsobem pro nanášení pájecí pasty je šablonový tisk. Jedná se o podobný princip tisku pájecí pasty, jako u sítotisku s tím rozdílem, že místo síta je použita v drtivé většině nerezová šablona. Používají se ale i šablony z materiálu jako je například mosaz, bronz nebo poniklovaná mosaz. Šablony z měkčích materiálů jsou sice levnější, ale nemají takovou životnost jako nerezová ocel. Šablona z nerezové oceli se používá pro velké série DPS řádově v jednotkách až desítkách tisíc kusů. Kdežto ostatní typy šablon se používají pro menší série DPS řádově ve stovkách až jednotkách tisíc kusů. Důležité je zvolit si vhodný typ materiálu šablony z důvodu životnosti. Materiál šablony není jediným faktorem, který ovlivňuje životnost. Při špatném nastavení přtlaku stíracích planžet může dojít k rychlejšímu opotřebení šablony i planžet.

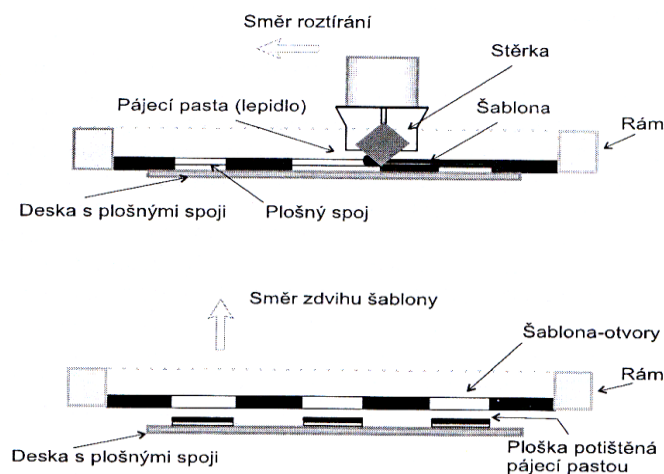
Šablony se vyrábějí různými způsoby leptáním nebo řezáním laserem. Metoda leptání se používá pro šablony s tloušťkou 0,4 mm, kde základní materiál šablony je slitina mědi. Metoda řezání laserovým paprskem se používá pro nerezové nebo mosazné šablony o tloušťkách 0,1 až 0,5 mm. Do šablony se těmito způsoby vytvoří motiv pájecích plošek viz obr. 2. Otvory pro nanášení pájecí pasty se nazývají apertury. Otvory po celém obvodu jsou pro uchycení a napnutí v pneumatickém rámu. Při montáži šablony se rám vyjme z přístroje a na kolíky se umístí šablona, ta se zajistí čtyřmi excentrickými šrouby a vloží zpět do přístroje. K rámu se připojí přívod stlačeného vzduchu, ten pak napne šablonu. Je důležité udržovat jak šablonu, tak i stěrky čisté. Pokud by zaschla pájecí pasta na stěrkách nebo v aperturách, tak by při příštím použití bylo nanášení pájecí pasty nedokonalé. Mohlo by dojít i k zaslepení apertury a na některé pájecí plošky by nebyla nanášena pájecí pasta vůbec, což by vedlo ke snížení kvality výrobku a zvýšení výrobních časů a nákladů spojených s opravami. Mimo snížení jakosti dochází i ke zvýšení opotřebení šablony a stěrek.



Obrázek 2. Šablona [8]

Po umístění šablony do přístroje následuje umístění a vycentrování DPS. Centrování DPS je stejné jako u sítotisku. Používají se minimálně dva, ale standardně jsou na panelizaci umístěny tři centrovací body globální, a pokud by se nanášela pájecí pasta na depanelizované DPS, tak se používají tři lokální centrovací body. Lokální centrovací body se používají i pro osazování v osazovacích automatech. Před vycentrováním je zapotřebí prověřit, zdali šablona doléhá na DPS. V tomto je šablonový tisk rozdílný od sítotisku. Pokud by šablona nedoléhala je potřeba pod DPS vhodně rozmístit podpěrné body, aby při zmačknutí šablony prstem nebyl vidět ani cítit pohyb směrem k DPS. Když je takto vypodložená DPS, tak výsledná výška nanesené pasty je dána tloušťkou šablony. Pro centrování DPS se používá pohyblivý pneumatický stůl, který se ovládá ve dvou osách X a Y manuálně pomocí třech seřizovacích členů. A osa Z je dána velikostí tlaku stlačeného vzduch. Ve směrech X a Y posouváme stůl, tak dlouho, dokud nám přesně nesedí centrovací body. Tlak pro zdvih v ose Z musí být přiměřený, aby nám nezdeformoval šablona.

Dalším krokem je nanesení pájecí pasty, která je připravena k použití. Tiskárnu připravíme do pozice, odkud začne pájecí pastu stírat. Naneseeme pájecí pastu před stírací planžetu a spustíme tisk. U šablonového tisku se stírá pouze jednou a nezáleží na to, z jaké strany pájecí pastu stíráme. Pokud by stírání pasty proběhlo dvakrát, mohlo by dojít v druhém přejezdu stěrky k vytažení části pájecí pasty z apertury. Po tisku pájecí pasty se vypustí stlačený vzduch z pneumatického stolu a DPS se od šablony posune směrem dolů. Na obr. 3 je znázorněn princip funkce šablonového tisku.



Obrázek 3. Šablonový tisk [1]

Poté se vyjme z tiskárny DPS s nanesenou pájecí pastou. Takto připravená deska se přesune na pracoviště k osazení. Šablonový tisk může být buďto jako samostatný přístroj, anebo zařazen do celku, jako inline. Příklad šablonové tiskárny je na obr. 4., která je použita v prototypové dílně firmy Hela Nova.



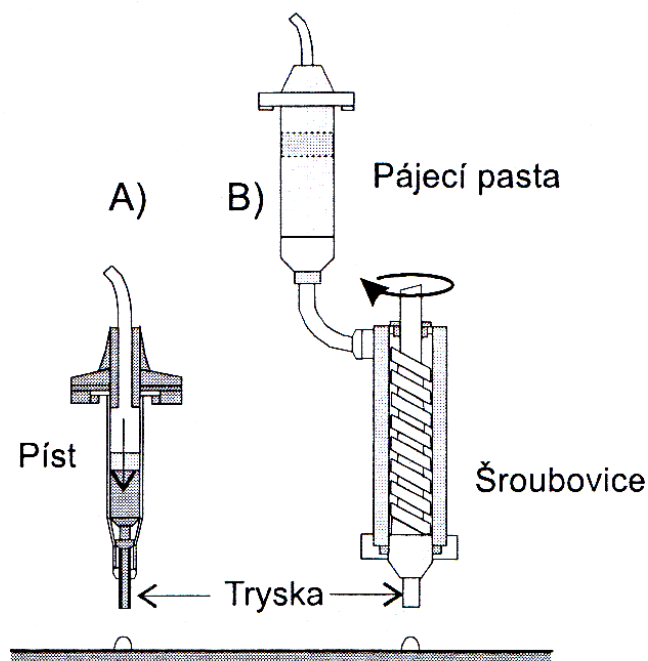
Obrázek 4. Stroj pro šablonový tisk od firmy FRITSCH GmbH [7]

### 1.2.3. Nanášení pájecí pasty disperzerem

Tato metoda nanášení pájecí pasty dávkování je vhodná pro prototypovou výrobu nebo opravy. Jedná se tedy o jemné dávkování pájecí pasty v podobě kapek. U počítačem řízeného disperzeru je možné dosáhnout velmi dobrých výsledků. Záleží především na schopnostech disperzeru, jaké nejmenší množství pájecí pasty dokáže dávkovat, a jak přesně. Záleží také na viskozitě pájecí pasty, protože s nízkou viskozitou je pájecí pasta moc tekutá a s vysokou viskozitou je zase moc tuhá. Proto u některých disperzerů je kartuš s pájecí pastou vyhřívána na konstantní teplotu, aby nebyla ovlivněna okolní teplotou a správně dávkovala potřebné množství pájecí pasty. Protože se pájecí pasty dodávají i v injekčních stříkačkách, tak je možné pomocí jehly nanést pájecí pastu tam kde je potřeba. V závislosti na průměru jehly je možné ručně dávkovat i malá množství s poměrně vysokou přesností.



Na obr. 5. Jsou dva principy dávkování pájecí pasty varianta A – je to princip jako ruční dávkování s tím rozdílem že na píst netlačí ruka ale stlačený vzduch. Varianta B se používá u lepších dispenzerů, kde pájecí pasta je také vytlačena z kartuše stlačeným vzduchem, ale dávkování je prováděno šnekovým dopravníkem. Varianta B je mnohem přesnější nežli varianta A. Dávkování pomocí stlačeného vzduchu je levné ale má své nevýhody. Pokud je viskozita nízká, tak nám pájecí pasta vytéká z kartuše samovolně a pokud je viskozita vysoká, tak dispenzer na některé pájecí plošky nenanese pájecí pastu a na jiných pájecích ploškách je naneseno pájecí pasty moc.

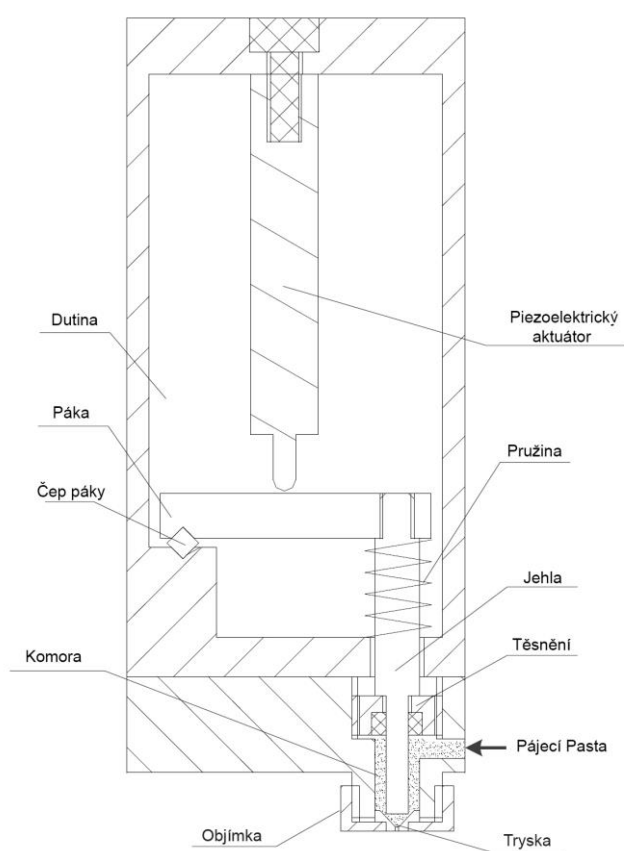


Obrázek 5. Dispenzer [1]

## 1.2.4. Jet Print

Metoda jetprint poměrně nová technologie nanášení pájecí pasty na DPS, i když princip této metody je znám již řadu let. Tato metoda totiž vychází z principů tisku na papír za pomoci cartridge. Jetprint se dostává dnes do popředí díky novým technologiím, především rozmachu piezoelektrických aktorů, které jsou v této metodě využívány. Funkce je založena na principu tryska – jehla, kde jehlu ovládá piezoelektrický aktuátor přes páku. Přiložením napětí na piezoelektrický aktuátor dojde ke zkrácení piezoelektrického aktuátoru, čímž dojde k pohybu páky a zvednutí jehly. Když nastane tento stav, tak pájecí pasta vháněná do komory pod tlakem má volný průchod tryskou a vytvoří se kapka. Po přerušení napětí na piezoelektrickém aktuátoru se aktuátor dostane do původního stavu a tryska se uzavře jehlou. Dávkování pájky v předem definovaném množství je dáno dobou otevření trysky a tlakem pájecí pasty. Cartridge je upevněna na portálovém robotu, který se pohybuje v osách X, Y a někdy i v ose Z. Ovládací software posouvá cartridge na požadované pozice a cyklickým spínáním nanáší pájku na plošky spojů. Na obr. 6. je znázorněna struktura cartridge.

Predikce výrobců strojů pro nanášení pájecí pasty se na tuto technologii různí ale zveřejněné parametry ukazují, že tato metoda do budoucna bude nahrazovat předchozí zmiňované technologie nanášení pájecí pasty. Výhody technologie jetprint jsou v porovnání oproti šablonovému tisku lacinější na menší sérii a středně velké sérii. Hlavní úspora je v ceně výroby šablony. Metoda nanášení pájky dispensorem bude touto technologií zcela nahrazena a to z důvodu větší přesnosti a rychlosti. Nevýhody oproti šablonovému tisku je delší čas nanášení pájky, v případě složitějšího designu DPS s vysokou hustotou součástek je rychlejší šablonový tisk, i když metoda jetprint dosahuje rychlostí 720 000 a při optimalizaci až 1 050 000 bodů za hodinu. Rychlost nanášení pájecí pasty ovlivňují fyzikální zákony mechanických prvků. Tato metoda zajisté v nadcházejících letech dosáhne značného pokroku a bude se implementovat do výrobních linek.



**Obrázek 6. Cartridge JetPrint [20]**

## 1.3. Osazování

Osazení součástek na DPS je dalším krokem po nanesení pájecí pasty. Jde tedy o přesné umístění jednotlivých součástek, které nám udává dokumentace k výrobku. Přesněji se jedná o textový soubor partlist, kde jsou popsány jednotlivé součástky a jejich poloha na DPS. Tento soubor se používá pro strojní osazování a pro ruční osazování se používá grafická forma partlistu a to osazovací plán. Osazování je tedy možné provádět několika různými způsoby a to ručním, strojním sekvenčním a strojním simultánní.

### 1.3.1. Ruční osazení

Ruční osazení se používá pro prototypovou kusovou výrobu, a především pro opravy. Ruční osazování SMT součástek se provádí pomocí pinzety nebo vakuové pipety. Pro montáž THD součástek se ve většině případů nepoužívá žádný nástroj z důvodů většího rozměru součástek, umisťují se přímo rukou na DPS. Pro SMT montáž je možné použít zařízení v podobě portálového jeřábu, který se pohybuje v osách X, Y a Z. Díky tomuto zařízení, je možné eliminovat vliv lidského faktoru a napomáhá k přesnějšímu umístění součástek na DPS. Zařízení bývá doplněno také lupou nebo mikroskopem. Z důvodů nízké rychlosti osazení řádově několika set kusů za hodinu je tento postup nevhodný pro větší série a to, jak z důvodů technické proveditelnosti, tak i z finančního hlediska. Pro dnešní produkci DPS je zapotřebí vysoká jakost a rychlost produkce, což ruční osazení nemůže splnit a pro tento účel se tedy používají strojní osazovací automaty.



Obrázek 7. Ruční osazovací zařízení [9]

## 1.3.2. Strojní sekvenční osazování

Strojní sekvenční osazování je strojově řízený proces zvaný pick-and-place. Jde o postup, kdy manipulátor pohybující se v osách X, Y a Z uchopí vždy jednu součástku ze zásobníku a umístí ji na DPS. Osazovací stroj postupuje po sekvencích přesně podle programu. Tento typ osazovacího automatu je vhodný pro středně velké série řádově jednotky tisíc kusů. Hlavní výhodou sekvenčního osazovacího stroje je variabilita, kdy se jednoduše vymění přísavka na podtlakové pipetě, čímž může osazovat jiný typ součástky. Jedná se tedy o osazovací stroj většinou s jednou osazovací hlavou.

Dalším typem jsou tzv. revolverové nebo karuselové sekvenční osazovací stroje. Tyto typy osazovacích strojů byly vyvinuty pro rychlou montáž a vysoké výrobní množství DPS. Rychlost osazení je řádově několik desítek až stovek tisíc kusů součástek za hodinu. Oba typy mají více osazovacích hlav, které jsou umístěny do kruhu. Karuselový osazovací stroj má osu rotace osazovací hlavy svisle a vždy jedna hlava pokládá součástku na DPS a protilehlá hlava nabírá součástku ze zásobníku. U tohoto osazovacího stroje je hlava statická a pohybuje se pouze DPS a zásobník, aby se osadila součástka na správné místo a odebrala se taktéž součástka ze správného zásobníku. Revolverový osazovací stroj má osazovací hlavu připevněnou k portálovému pohonu, tedy pohybuje se ve všech osách X, Y a Z. Osa rotace revolverové osazovací hlavy je vodorovná. Součástky vždy nabere najednou na všechny osazovací hlavy a poté osadí všechny součástky, co jsou na revolverové hlavě. Proces se opakuje, dokud není osazena celá DPS. Tomuto osazovacímu postupu se také říká collect and place (shromáždí a položí). Tyto stroje jsou dnes schopny osadit téměř všechny SMD součástky s výjimkou některých rozměrnějších součástek. Například je problematické osazovat některé typy konektorů. Problematické je uchycení standardními nástavci podtlakové pipety a použití zakázkových nástavců je neekonomické. Proto je důležité při návrhu DPS brát ohled i na možnosti strojního vybavení. Dalším rozdílem oproti ručnímu osazení je možnost osazování více DPS v panelizaci najednou. Sekvenční osazovací automat může pracovat i v inline. Což znamená, že za osazovacím automatem je umístěna přetavovací pec. Příklad sekvenčního osazovacího automatu je na obr. 8.



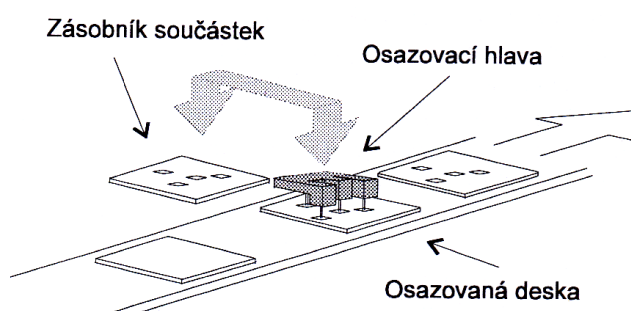
Obrázek 8. Sekvenční osazovací automat od firmy FRITSCH GmbH [7]

Ovládání osazovacího automatu není složité, jen je potřeba mít řádně připravenou dokumentaci k výrobku. Při zapnutí osazovacího automatu je nutná kalibrace všech os, podtlaku a strojového vidění. Dále se nahraje do ovládacího softwaru soubor s přesnými souřadnicemi jednotlivých součástek a centrovacích bodů. V souboru jsou obsaženy i informace o velikosti, typu pouzdra, označení a hodnotě jednotlivých součástek. Dalším krokem je správné uložení DPS pro povrchovou montáž. Je nutné dbát na správné vložení a podepření DPS, aby se při osazování neprohýbala. Pokud by DPS nebyla dobře podložena, tak by vprostřed DPS docházelo k průhybu a změně výšky vůči osazovací hlavě. To by mělo za následek špatné umístění SMD součástky na DPS a možné odpadnutí po následné manipulaci, anebo při přetavení ke vzniku tzv. tombstoning a voidů.

Pokud je DPS upevněna, tak připevníme zásobníky se součástkami a musíme kalibrovat výšku nastavce podtlakové pipety vůči součástkám v zásobníku. Každý zásobník má své unikátní číslo a musí se vždy k tomuto číslu v softwaru přiřadit určitý typ součástky. Když toto uděláme, tak můžeme zásobník vložit kamkoliv a systém již sám detekuje zásobník a ví jaká je v něm součástka a poloha vůči osazovací hlavě. Osazovací automaty mají funkci Align, což je kontrola laserem, aby byla dobře uchycena a správně umístěna součástka na DPS. Tato funkce sice zpomaluje osazovací automat, ale zvyšuje se tím jakost výrobku. Dále je již osazovací automat téměř připraven k práci, jen musíme určit centrovací body DPS, aby osazovací hlava věděla, kde je umístěna DPS v osazovacím prostoru. Poté proběhne kontrola před osazením a závěrečná korekce pozic jednotlivých součástek. Následně se spouští osazovací proces, který trvá v závislosti na počtu komponent DPS. Tento typ osazovacího automatu je schopen osadit 4 000 – 150 000 součástek za hodinu, což je mnohanásobně více nežli u ručního osazování.

### 1.3.3. Strojní simultánní osazování

Tento typ osazování byl vyvinut pro vysokorychlostní osazení, kde velký počet osazovacích hlav nabíral součástky najednou v zásobníku a taktéž je najednou umísťoval na DPS. Osazovací stroje mají nastavené osazovací hlavice do přesně definovaných poloh podle motivu DPS. Zásobníky musí mít součástky taktéž v předem definovaných polohách. Princip funkce simultánního osazovacího stroje je pouze přemístit součástky s definovanou polohou a orientací ze zásobníku na DPS. Tato metoda osazování je nejrychlejší ze všech zde zmíněných, kde osazovací rychlost je až několik set tisíc součástek za hodinu. Simultánní osazovací stroj je sice rychlý ale pouze na jednom typu DPS, na který je stroj nastaven. Pokud bychom chtěli osazovat jinou DPS je nutné přenastavení osazovacích hlav, což je časově velmi náročné. Simultánní osazovací stroj je velice rychlý, ale je málo flexibilní a proto se hodí pro velkokapacitní produkci DPS. Na obr. 9. Je funkční uspořádání simultánního osazovacího stroje.

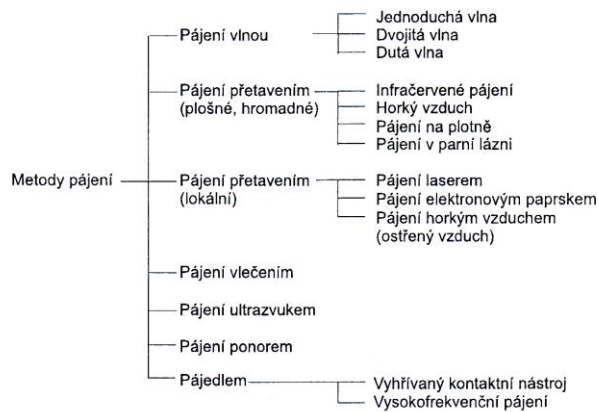


Obrázek 9. Funkční uspořádání simultánního osazovacího stroje [4]

## 1.4. Pájení

Pájení je metalurgický proces, při kterém vzniká spojení dvou kovů roztavenou pájkou, tedy třetím kovem. Základní dělení pájení je na měkké a tvrdé. Měkké pájení se využívá pro spojování materiálů, které jsou méně namáhané např. elektricky vodivé spoje, spojování a utěšňování otopného systému nebo okapných žlabů. Jde tedy o spoj, při kterém teplota pájky nepřesahuje 450°C. U tvrdého pájení jde o vytvoření spoje, který bude mechanicky namáhan a musí mít vyšší pevnost. Tvrdé pájení se používá např. pro spojování rámu motocyklů, jízdních kol a trubkových přírub. Pro vytvoření tohoto typu spoje se používají pájky s teplotou tavení vyšší, jak 500°C.

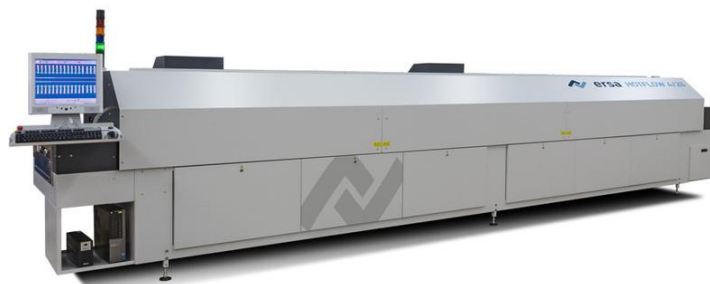
My se ale budeme zabývat pouze pájením měkkým a to v elektrotechnice. Měkké pájení v elektronice se dále rozděluje na několik postupů, jak pájený spoj vytvořit. Základní rozdělení je na pájení ruční a strojní. Přesné rozdělení je vidět na obr. 10. My se nadále budeme zajímat pouze o pájení přetavením a konkrétně půjde o pájení horkým vzduchem častěji označované jako konvekční reflow. A dále se budeme zajímat o pájení v párách. Pájení přetavením je v současné době nejvíce využívaným typem pájení. Tento typ je rozdílný oproti ručnímu pájení nebo pájení vlnou. Kde u ručního pájení a taktéž u pájení vlnou se dodává pájka na pájené místo v době pájení, kdežto u pájení přetavením je prvně nanesena pájecí pasta na DPS, poté je osazena a následně se pájecí pasta přetaví horkým vzduchem nebo parami.



Obrázek 10. Dělení pájen používané v elektrotechnice [1]

### 1.4.1. Pájení horkým vzduchem

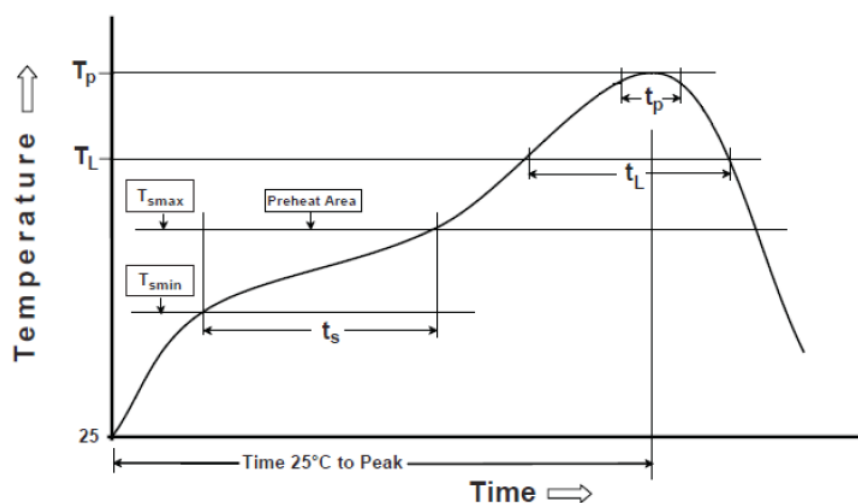
Tato metoda využívá princip konvekce, což je nucené proudění horkého vzduchu nebo plynu. Konvekční reflow lépe prohřívá celý prostor pece a DPS je rovnoměrně zapájena po celé své ploše. Tato metoda, jak již bylo zmíněno, je v současné době nejčastěji využívána a to i přes několikanásobně vyšší náklady za pájecí pastu, nežli je cena pájecích tyčí pro pájení vlnou. Pájení horkým vzduchem nám přineslo možnost pájení součástek s jemnou roztečí vývodů, jako jsou např. BGA, QFP nebo pasivní součástky s pouzdrem 0201 nebo 01005. U těchto typů součástek se nemůže použít pájení vlnou, protože vývody jsou malé a blízko u sebe, takže by docházelo ke slití a propojení více vývodů najednou. Součástky BGA mají vývody na spodní straně, takže se mohou pájet pouze přetavením. U tohoto typu pájení je možné nastavit velmi přesně pájecí profil. Záleží na použité pájecí peci, především na počtu tepelných zón. Standardně se pro velkosériovou výrobu používají pece s osmi až dvanácti tepelnými zónami. Na obr. 11 je deseti zónová přetavovací pec.



Obrázek 11. Přetavovací pec od firmy ERSA GmbH [10]

Jednotlivé zóny jsou rozděleny na předehřívání, přetavení a chlazení DPS. Pro předehřev se používá většinou nejvíce tepelných zón. U přetavovací pece na obr. 11. je šest předehřívacích, jedna přetavovací a tři dochlazovací zóny. Čím více tepelných zón pec má, tím přesněji můžeme nastavit pájecí profil. Pájecí profil má výrazný vliv na jakost výsledného produktu. V případě špatného nastavení pájecího profilu může docházet k nežádoucím vadám vznikajícím v pájených spojích, které budou probány v následující kapitole. Nastavení pájecího profilu se provádí podle doporučení výrobců pájecích past a elektronických součástek. Toto doporučení nám ale neposkytuje stoprocentní výsledky a je potřeba před spuštěním sériové výroby odzkoušet a přeměřit nastavený pájecí profil. Pájecí profil ovlivňuje i materiál DPS, který může být ze standardního materiálu FR4 nebo z IMS. Také záleží na tloušťce materiálu DPS a podle tohoto je potřeba nastavovat teplotní profil předehřevu DPS a samotného přetavení. Pokud bychom použili stejný pájecí profil, který byl nastaven a otestován na materiálu FR4 pro IMS, tak po průchodu pecí zjistíme, že většina součástek je buďto špatně zapájena nebo nejsou zapájeny vůbec. To je dáno rozdílnou tepelnou kapacitou základního materiálu DPS. FR4 je totiž ze skelného vlákna plněného epoxidovou pryskyřicí a IMS je z hliníku nebo mědi.

Na obr. 12. Je znázorněn pájecí profil pro LED diodu *Altilon* při použití bezolovnaté pájecí pasty SAC305. Jedná se tedy o doporučený pájecí profil od společnosti *LUMILEDS*, kde  $T_{smin}$  je minimální teplota předehřevu 150 °C,  $T_{smax}$  je maximální teplota předehřevu 200 °C a  $t_s$  je doba předehřevu DPS, kde záleží na základním materiálu DPS je 60 až 180 s. Dalším parametrem v grafu je  $T_L$  což je teplota tání pájecí pasty 217 °C. Při nastavování pájecího profilu je nutné dodržet rychlost změny teploty pod 3 °C/s, kde tato hodnota je maximální dovolená. Čas  $t_L$  což je doba, po kterou je pájecí pasta v tekutém stavu a musí být v mezích od 60 do 150 s. Teplota přetavení  $T_P$  musí dosáhnout hodnoty 260 °C a musí být pouze v časovém intervalu 20 až 40 s. A jako poslední je rychlost dochlazování, která je rychlejší nežli předehřev a to 6 °C/s.

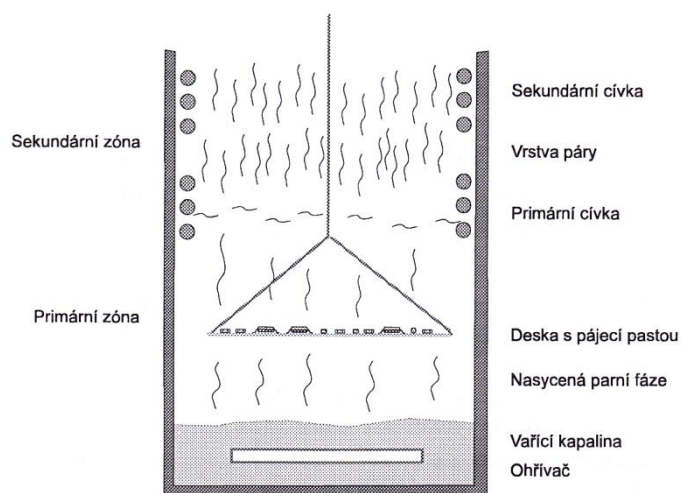


Obrázek 12. Pájecí profil [11]



## 1.4.2. Pájení v parách

Tato metoda je známa již od 70. let 19. století a byla vytvořena v Bell Labs v New Jersey. Jde o metodu pájení přetavením, kde ohřívání DPS je prováděno kondenzací páry na pájených ploškách, součástkách a samotné DPS. Kondenzace probíhá za teplot, které jsou vyšší, nežli je bod tání pájky. Pájecí pec je rozdělena do dvou zón, jak je vidět na obr. 13. Primární parní zóna, která má vyšší hustotu nežli vzduch se drží u dna pájecí pece. Primární pára je tvořena přivedením kapaliny obsahující fluórouhlíky k bodu varu. Tato kapalina má přesně daný bod varu 215 °C nebo 250 °C. Tyto hodnoty mají ještě dané přesné rozmezí a to u prvního 220 až 235 °C a u druhé 250 až 265 °C. Pára v pájecím prostoru vylučuje přítomnost kyslíku a při pájení tedy nedochází k oxidaci. Teplota pájení je dána bodem varu kapaliny a v pájecím prostoru je všude stejná teplota, takže dochází k naprosto rovnoměrnému prohřátí celé DPS. V sekundární parní zóně bývá u některých pecí vakuový zvon, který vysává vzduch z pájky, aby byla minimalizovaná tvorba voidů. Sekundární zóna již neobsahuje nasycenou páru. DPS se spouští prvně do sekundární zóny, tam probíhá přehřev a v primární zóně probíhá přetavení.



Obrázek 13. Princip pájení v parách [4]

Výhody tohoto typu pájení jsou rovnoměrné zahřívání jak u přehřívání, tak i u přetavení, tedy v pájecí zóně. V pájecí zóně nedochází k průniku kyslíku tedy ani k oxidaci pájených míst. Stačí používat méně aktivní tavidla. U této metody nemůže dojít k překročení teploty. Nevýhody tohoto typu pájení jsou: drahá kapalina pro tvorbu pájecí páry, ztráta kapaliny při pájení, je možné pájet jen při některých teplotách daných druhem kapaliny.

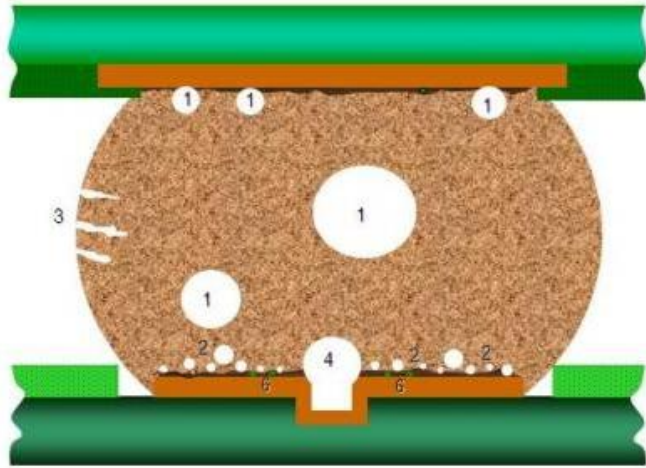
## 1.5. Vady pájení

V této kapitole se budeme zabývat jakostí pájených spojů, tedy přesněji jakým vadám při pájení se vyhnout a jak tyto vady eliminovat. Budou zde probrány stručně vady vznikající při montáži SMT za použití konvekční reflow a pájení v parách. U těchto typů pájení může docházet např. nesmáčení nebo odsmáčení pájených plošek, nepřetavená pájecí pasta, tvorba kuliček cínu nebo tavidla, tvorba můstků, nadbytek pájky, narušené spoje, tombstoning efekt, rozpojení nebo nedostatečné množství pájky a vzduchové bublinky v pájce též nazývané voidy. Poslední zmíněnou vadu pájených spojů probereme zvlášť v další podkapitole.

Vada nesmáčení anebo odsmáčení plošek DPS nebo vývodů součástek se projevuje na pájeném spoji, tak že se vytvoří kulička s úhlem  $\alpha > 90^\circ$ . Tento úhel je mezi pájeným místem a pájkou. Nepřetavená pájecí pasta je následkem špatného nastavení přetavovací pece nebo použitím pájecí pasty s jinou teplotou tání. Pokud se tvoří kuličky cínu a tavidla, tak je nastavená vysoká teplota předehřevu a tavidlo se rychle roztéká a s sebou odebírá i pájku. Další příčinou vzniku kuliček tavidla je nadměrné množství tavidla v pájecí pastě. Tvorba můstků neboli zkratů je následkem použití velkého množství pájecí pasty anebo nevhodně zvolený motiv DPS. Nadbytek pájky je dán velkým množstvím pájecí pasty, ale může být příčinou i zoxidované plošky DPS. Vada narušených spojů se projevuje trhlinkami v pájce, viditelné okem, které jsou způsobeny rychlým ochlazením anebo pohybem součástky v době chladnutí. Tombstoning efekt je nadzvednutí součástky v procesu pájení. Součástka se může postavit na hranu vlivem nedostatku pájecí pasty na pájecích ploškách nebo špatně umístěnou součástkou při procesu osazování. Rozpojení vzniká nedostatkem pájky v pájeném spoji, kde sice obě plochy jsou dobře smáčivé, ale nedojde k jejich spojení. Tyto vady a jim podobné je možné najít v normě IPC – A-610 [12]

### 1.5.1. Tvorba voidů

Voidy jsou malé vzduchové dutiny vytvářející se odpařováním tavidla a vmícháváním vzduchu do pájecí pasty. Především se vyskytují u bezolovnatých pájecích slitin. Touto problematikou se již zabývalo mnoho designérů a výrobců DPS přes víc nežli 20. let. Na téma voidů již bylo napsáno a publikováno za tuto dobu i mnoho článků i studií, ale každá má malinko jiné výsledky. Je to dáno velkým počtem ovlivňujících faktorů, které způsobují tvorbu voidů. Zatím se nepodařilo tuto vadu pájeného spoje eliminovat, ale úspěšně se podařilo vhodným postupem snížit výskyt voidů v pájce. Zjistilo se, že na vznik voidů má největší vliv tvar pájecí plošky, teplotní profil, pájecí pasta a vhodný tvar šablony. Na obr. 14. jsou vyobrazeny různé typy voidů.



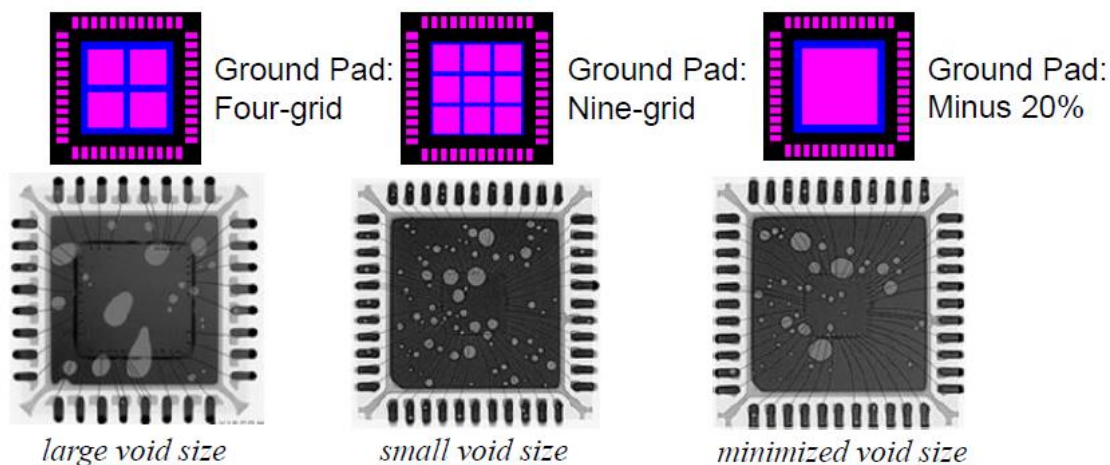
Obrázek 14. Různé typy voidů [14]

Voidy rozdělujeme do šesti skupin:

- Makrovoidy
- Planární voidy
- Shrinkage voidy
- Via voidy
- Pinholde voidy

*Makrovoidy* jsou na obr. 14. označeny č. 1. a vznikají při nanášení pájecí pasty, šablonovým tiskem. Při stírání pasty přes šablonu se dostává vzduch do pájecí pasty a ten je pak při přetavení uzavřen v pájce. *Planární voidy* jsou na obrázku označeny č. 2. vytvářejí se na povrchové úpravě DPS vlivem nečistot. *Shrinkage voidy* jsou na obrázku označeny č. 3. jde o trhlinky s ostrými hranami a vznikají při chladnutí pájecí slitiny SAC. *Via voidy* jsou na obrázku označeny č. 4. Jak již název říká vznikají na nezaslepených nebo špatně zaslepených via otvorech. Posledním typem je *pinholde void*, který je na obrázku označen č. 6. Void vzniká průchodem vzduchu skrze měděnou fólii.

Problematika voidů je nejvíce patrná při pájení velkých ploch pod SMD součástkami s pouzdry např. BTC, QFN, BCC nebo SON. Tyto velké plochy slouží buďto k uzemnění, nebo jako chladicí plocha pro vnitřní strukturu součástky. Jednotliví výrobci těchto součástek uvádí v katalogových listech minimální potřebnou plochu, která musí být spojena s DPS, aby byla zaručena správná funkce součástky. Pokud nám vzniknou spojením malých voidů jeden nebo více větších, tak se styčná plocha zmenšuje. Tím se snižuje i jakost finálního produktu. Z tohoto důvodu výrobci součástek mají v katalogových listech uvedeny tvary pájecích plošek a doporučený pájecí profil pro bezolovnaté pájecí pasty. Jsou i jistá doporučení, jak snížit vznik voidů za použití nepáživé masky viz obr. 15. V dnešní době se hojně používá pájení v dusíkové atmosféře, které je primárně určeno pro snížení oxidace v průběhu pájení, ale bylo zjištěno, že snižuje i výskyt voidů. Dalším postupem pro snížení voidů je vakuování v průběhu procesu pájení. Vakuování je proces odsátí vzduchových bublinek z roztavené pájky. Tuto možnost nám poskytuje pájení v parách ale jen u některých typů pecí.



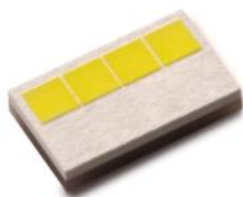
Obrázek 15. Rozdělení pájecí plochy [15]

## 7. Praktická část

Před samotným návrhem testovací DPS mě konzultant práce Ondřej Loun ve firmě HELLA Autotechnik nova s.r.o. provedl a seznámil s vnitřní strukturou fungování firmy. Následně jsem byl proškolen o bezpečnosti práce a používání ochranných pomůcek ESD v prototypové dílně. Bylo mi představeno strojní vybavení prototypové díly a provedena ukázka celého procesu osazování DPS. Dalším krokem byl meeting s ostatními pracovníky, s kterými jsem následně konzultoval jednotlivé dílčí problémy. Jednalo se především o zvolení správného typu materiálu a designu DPS, ale i jaký konkrétní typ LED diod bude na testovacích deskách použit. Poté jsme si stanovili, jaké testy se budou provádět na testovací DPS. Všechny tyto parametry byly navrženy z důvodu přiblížení se sériově vyráběným DPS firmou HELLA.

### 2.1 Návrh testovací DPS

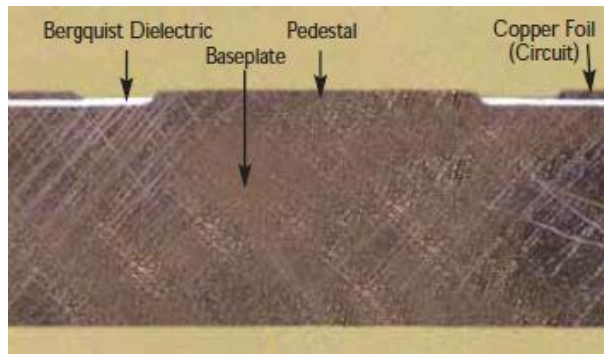
Na poradě byla zvolena čtyřčipová LED dioda *LUXEON Altilon* od firmy *Lumileds*. Jedná se o výkonovou bílou LED diodu určenou pro přední světlometry automobilů. Výkon této LED diody dosahuje až 22 W ale jedná se o výkon při maximálním proudu 1,5A a teplotě čipu - 40°C. Při nominálním proudu 1 A jež udává katalogový list, poskytuje výkon až 12,9W. Při tomto výkonu LED dioda vyzařuje světelný tok od 1 040 do 1 280 lm v závislosti na zvoleném BINu. Světelný tok nejnižšího BINu odpovídá světelnému toku 100 W vláknové žárovky. Barva vyzařovaného světla neboli náhradní teplota chromatičnosti (*CCT*) LED diody je 5 500 až 6 250 K. Tato teplota chromatičnosti odpovídá dennímu světlu nebo je také označovaná jako studená bílá. Další parametr LED diody je vyzařovací úhel 120°. Poslední důležitý údaj pro návrh testovací DPS je tepelný odpor pouzdra LED diody, který má hodnotu 2,2 °C/W.



Obrázek 16. Čtyřčipová LED dioda Lumileds LUXEON Altilon[16]

Dalším krokem byla volba DPS, kde jsme zvolili dvě varianty, a to materiál FR4 a IMS, někdy též známý pod zkratkou MCPCB. Materiál FR4 je standardní skelné vlákno plněné epoxidovou pryskyřicí, někdy také nazývaný cuprexit. Pro DPS z materiálu FR4 bylo zvoleno oboustranné plátování 18 $\mu$ m se zaslepenými mikro via otvory pod thermal pedem (tzv. plug2) LED diody. U druhého materiálu IMS (Insulated Metal Substrate), což znamená, že základní materiál je kov, který může být například hliník nebo měď. My jsme zvolili měděný základní materiál s tepelným odporem 0,3W/mK. Testovacích desek bylo původně zvoleno více typů. Výrobce však nebyl schopen dodat DPS IMS s piedestalem, tak nakonec byla použita pouze DPS IMS s mikroviemi. Protože se v Hella Nova běžně piedestal používá, tak popíši, jak je tvořen a jaké má opodstatnění.

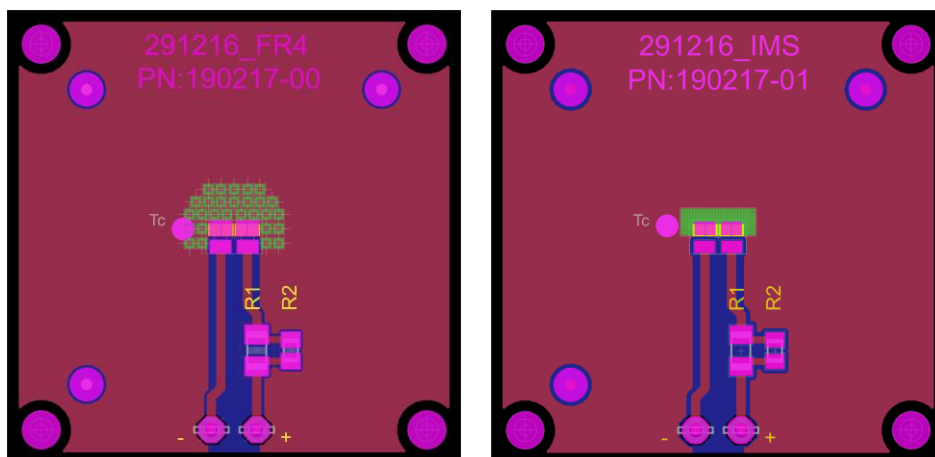
Piedestal se vytvoří odebráním měděné fólie a izolační vrstvy ze strany spojů, tak aby pod termální ploškou byl jen základní materiál v našem případě měď. Poté se na místo odkud byly odebrány jednotlivé vrstvy nanese měď, tak aby všechny pájecí plošky měly stejnou výšku. Vytvořený piedestal je vidět na obr. 17, kde se jedná o mikro výbrus DPS. Důvodem použití piedestalu je primárně snížit tepelný odpor a tím i zvýšit spolehlivost a životnost jednotlivých LED diod. Snižování tepelného odporu je nutností, protože v dnešní době, kdy se LED diody napájí proudem až 3 A (v našem případě maximálně 1,5A) vzniká na polovodičovém přechodu vlivem ztrát oteplení. Teplo vzniklé na PN přechodu může dosahovat u některých LED diod až 175 °C a toto teplo je potřeba spolehlivě odvést. Pokud by se tak nestalo dochází vlivem tepla k nezvratným změnám v polovodičové struktuře a tedy ke zničení PN přechodu. Z tohoto důvodu se snižují tepelné odpory nejen u DPS ale i u samotných LED diod, kde se využívá obrácené technologie čipu tzv. FLIP-CHIP.



Obrázek 17. DPS s vytvořeným pedestalem [17]

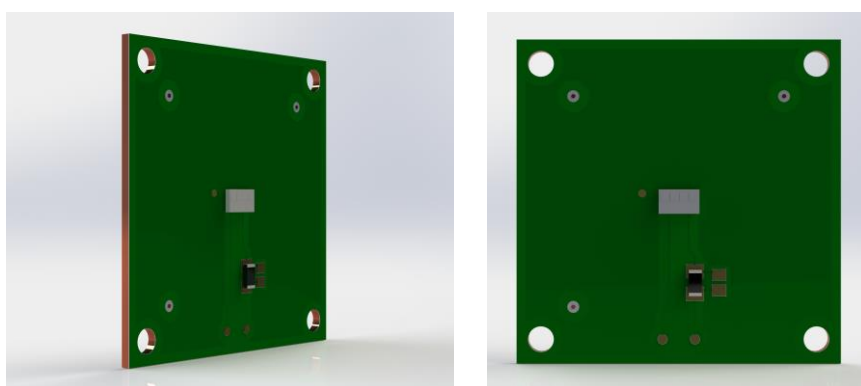
Po získání všech potřebných informací, jsem přešel k samotnému návrhu designu DPS. Po zjištění, že není pro eagle dostupná knihovna pro LED diodu *Altilon*, jsem musel začít vytvořením nové knihovny. Pomocí katalogového listu jsem nakreslil v eagle pouzdro (package) LED diody s odpovídajícím rozmístěním pájecích plošek (footprints), které jsem pojmenoval podle katalogového listu. Dále jsem ve schematickém editoru nakreslil schématickou značku LED diody a pojmenoval vývody stejně jako v editoru pro návrh pouzdra. Následně jsem importoval obě vytvořené části součástky do knihovny a nastavil propojení vývodů.

Následujícím krokem bylo vytvoření schématu, kam jsem vřadil mezi anodu a kladný napájecí pól dva typy rezistorů, popř. jumperů. Rezistor tvoří zdroj proudu pro LED diodu, pokud by byl použit jumper, pak je zapotřebí pro napájení LED diody použít zdroj konstantního proudu. Dále jsem přešel k návrhu designu DPS, kde jsem nejprve zvolil velikost DPS na rozměr 40 x 40 mm a následně umístil LED diodu na střed DPS z důvodu rovnoměrného rozložení tepla. Pro zlepšení odvodu tepla je pod termální ploškou a v blízkém okolí umístěno 200 mikro via otvorů s průměrem 125  $\mu\text{m}$ . Tímto se nahradil pedestal u DPS s měděným základním substrátem (IMS). Druhou variantou DPS je FR4, kde je základní materiál laminát plněný skelným vláknem. U tohoto typu DPS bylo navrženo plug2, což je pokovený via otvor plněný pryskyřicí a následně zaslepený. Zde je použito 32 via otvorů o průměru 0,5 mm pro zvýšení odvodu tepla od LED diody. Pro další zvýšení účinku chlazení je rozlita měď po obou stranách DPS. Varianta FR4 není vhodná pro použití této diody při maximálním zatížení, a to z důvodu vysokého tepelného odporu. Na tomto typu DPS nejsme schopni uchladiť takovýto výkon, ale je zde zařazena z důvodu zkoumání vzniku voidů. Na obr.18. je vidět design DPS, jak pro FR4, tak i pro IMS. Vizualizace 3D modelu testovací DPS IMS je na obr. 19.



Obrázek 18. Testovací DPS - vlevo FR4 a vpravo IMS

Pro testování bude potřeba minimálně 72 ks testovacích DPS. Tedy 36 ks z materiálu IMS a 36 ks z FR4, abych mohl otestovat dva typy pájecích past SAC305, různé pájecí profily a různé pájecí technologie. Budou použity pájecí pasty od firmy *Iridium Corporation* a *Henkel*. Přesně se jedná o pájecí pasty typu *Indium 8.9HFA* a *Loctite GC10*. Velikost pájecích zrn je 25 až 45  $\mu\text{m}$ , jedná se tedy o pájecí slitinu typu 3 s tavidlem ROL0. Zvolené typy pájecích past splňují požadavky na použitá tavidla (IPC-TM-650), která jsou bez obsahu halogenů. Tyto pájecí slitiny nevyžadují po pájecím procesu čištění, jsou tzv. bezoplachová. V tabulce 2. je porovnání použitých pájecích past, kde je přehledně vidět, že pájecí pasty mají téměř shodné katalogové údaje. Jediné, v čem se zvolené pájecí slitiny liší je viskozita, která je u *Indium 8.9HFA* vyšší. Čím je viskozita vyšší tím je nižší roztékavost pájecí slitiny a lépe drží svůj tvar po delší dobu.



Obrázek 19. 3D model DPS IMS

**Tabulka 2. Porovnání použitých pájecích past**

Výrobce	Indium Corporation	Henkel
Typové označení	Indium 8.9HFA	LOCTITE GC 10
slitina pájky	96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu (SAC305)	96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu (SAC305)
Zrnitost typ	Typ 3	Typ 3
Velikost zrn	25 to 45 µm	25 to 45 µm
Tavidlo	ROLO	ROLO
Viskozita	1300 mPa·s	933 mPa·s
Bod tání	217 °C	217 °C
Obsah kovu	88.5%	88.5%
Čištění	Ne	Ne

## 2.2 Metodika pájení

Metodika pájení je nejdůležitější část této diplomové práce, protože díky vhodné zvolenému postupu je možné dosáhnout reprodukovatelnosti dosažených výsledků a zpracovat tabulku pravidel, díky které je možné snížit plochu voidů v pájeném spoji. Pro správnou volbu metodiky pájení se muselo brát v potaz mnoho okolností nejen nastavení pájecího profilu, ale i nanášení pájecí pasty a osazování. Každý jednotlivý úkon byl před osazováním vyzkoušen dle doporučení z manuálů výrobců, tak i dle vnitropodnikových směrnic. Největší důraz byl kladen na používání podnikových standardů, aby se přiblížilo co nejvíce k běžnému výrobnímu procesu ve firmě Hella Nova. Důvodem je zvýšení jakosti prototypových dílců, které by měli odpovídat jakostí sériově vyráběných produktů.

Standards používané v prototypové dílně jsou převzaty ze standardů IPC-A-610, IPC J-STD-001 a další. Některé standardy jsou upraveny a zpřísněny pro dodržení vysoké jakosti výrobků. Tyto standardy se zabývají, jak prostorem, kde se provádí montáž jednotlivých dílců, tak i postupy, aby se docílilo nejvyšší možné kvality produktů. V prototypové dílně je kladen velký důraz na prostor, který je zřízen jako EPA. EPA prostor je místo, kde se manipuluje se součástkami nebo dílci, které jsou citlivé na elektrostatický náboj označovaný ESD. Tyto prostory jsou ve firmě Hella Nova, v každé výrobní hale a laboratořích. Pro snížení rizik zavlečení elektrostatického náboje jsou všichni zaměstnanci vybaveni ESD pracovními pomůckami a oblečením. Dále se v prototypové dílně sleduje konstantní teplota a vlhkost, což předepisuje norma IPC J-STD-001. Hodnoty okolní teploty a vlhkosti v prototypové dílně se udržují na 22 °C a relativní vlhkost do 35 %. Norma předepisuje rozmezí teplot 18 až 30 °C a vlhkost do 30 %. Pokud je vlhkost nižší, je za potřebí použít ionizátor vzduch, aby se podpořil průstup elektrostatického náboje do ochranných pomůcek. Norma IPC J-STD-001 zahrnuje i jiné části montáží elektronických komponent, jako jsou například požadavek na pájený spoj, komponenty a pomůcky, pájení SMD komponent, čištění elektronických sestav, inspekce, opravy a testování. Všechny tyto normy se dodržují v prototypové dílně, pokud jsou využívány výše popsané postupy.



Prvním úkolem bylo vytvoření tabulky, která je v příloze na CD. Tabulka obsahuje jednotlivé rozčlenění testovacích vzorků, kde jsou popsány jednotlivé postupy osazování, pájení a testování. V tabulce jsou uvedeny údaje o každé testovací DPS. Tabulka obsahuje datum osazení a pájení, jak daná DPS byla pájena, testována, označena (QR kód), u některých snímků z x-ray, plochy voidů a u 28 kusů testovacích DPS byl proveden i mikro výbrus pro detailnější zkoumání vad, především voidů. V tabulce jsou zobrazeny u metody reflow naměřené pájecí profily a pro možnost reprodukovatelnosti i nastavení pájecí pece. U pájení v parách není možné měnit pájecí profil, především teplotu, protože teplota je dána pájecí kapalinou Galden LS 230, kde teplota páry je 230°C. A proto zde nejsou upravovány pájecí profily, ale jsou nahrazeny vakuováním ve čtyřech variantách. Členění pájení a následně testování je v příloze 9. a 10., kde je graficky znázorněné provádění jednotlivých operací.

Před samotnou výrobou (osazováním) DPS se muselo zvolit vhodné značení, aby nedošlo k záměně vzorů a tím k chybě ve vyhodnocení. Z tohoto důvodu byly jednotlivé vzorky označeny dvěma způsoby. První značení bylo číselné lihovým popisovačem a druhé značení se provedlo samolepicími štítky, na kterých byl vytištěn QR-kód. Tento QR-kód obsahoval všechny informace o výrobě konkrétní testovací DPS. Na obr. 20. vlevo je vidět označení testovací DPS a vpravo QR-kód, který má v sobě zakódovanou informaci: „45 FR4 FR4 DP ver.1 Reflow ruční elektrický test Vizualní test Rentgen výbrus Loctite GC10 14.7.2017 Pavel Slavík“. Štítky s QR-kódem se na vzorky lepili až po procesu pájení, protože zvolené štítky nejsou schopny vydržet v okolní teplotě 250 °C. Proto Před samotným osazováním bylo zvoleno označení lihovým popisovačem, který po procesu pájení nebylo možné ethanolem setřít. Toto značení zajistilo správnost přiřazení výsledků k testovacím vzorkům. V samotném závěru bylo ale nutné přistoupit ještě jednou k označení vzorků, a to při mikro-výbrusu, kde postup označování je popsán v kapitole 2.5.

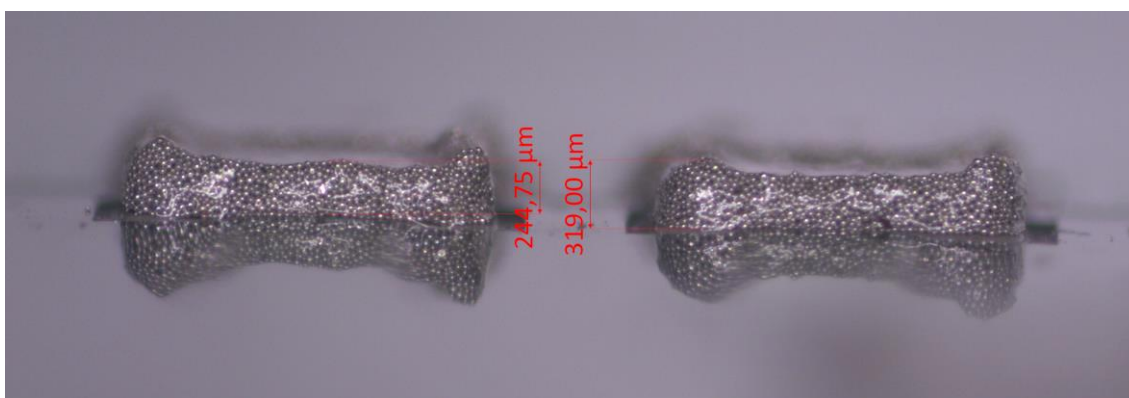


Obrázek 20. Značení testovacích DPS

## 2.2.1 Optimalizace procesu nanášení pájecí pasty

Nanášení pájecí pasty bylo prováděno technologií tiskem přes nerezovou šablonu. Bylo použito poloautomatického stroje pro šablonový tisk od firmy *Fritsch SMT*, kterým je vybavena prototypová dílna. Po seznámení se s tímto přístrojem, bylo nutné nalézt vhodné nastavení, díky kterému by byla pájecí pasta nejlépe nanášena a omezil se vznik defektů v počáteční fázi výroby testovacích DPS. Nejčastější vady nanášené pájky jsou nerovnoměrná tloušťka, chybějící pájecí pasta nebo tzv. psí uši. První dvě zmíněné mají velký podíl na jakosti pájeného spoje. Nerovnoměrné nanášení pájecí pasty může příčinu v několika různých nastavení, jako je nedostatek pájecí pasty, přítlak mezi stírací planžetou a šablonou nebo sklon stírací planžety.

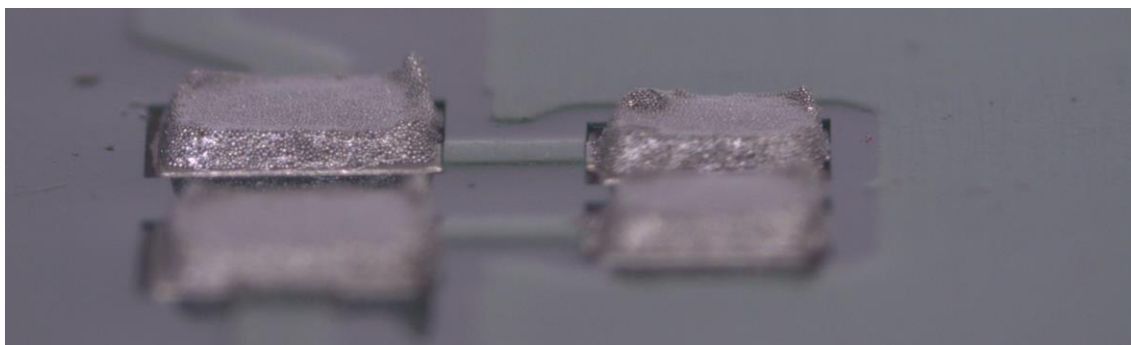
Všechny tyto zmíněné věci se dají eliminovat vhodným nastavením, popř. kontrolou. Úhel sklonu planžety v rozmezí 70° až 75° se u zkoušek osvědčil nejvíce. Při tomto sklonu se dobře zaplňují apertury planžety a výsledný tvar nanesené pájky je vyhovující. Dalším důležitým parametrem nanášení pájecí pasty je přítlak, který musí být nastavený tak, aby se planžeta lehce prohýbala. Tím se zajistí dokonalý kontakt mezi šablonou a stěrkou, přičemž dojde k setření nanesené pájky ze šablony, tak že na ní nezůstanou stopy po pájecí pastě. Nedostatek pájecí pasty je nejčastější příčina této závady, a proto je nutné pravidelně kontrolovat množství pájky v zásobníku, pokud je jím šablonový tisk vybaven. Toto se týká automatických šablonových tiskáren, které používají především výrobci elektroniky. V našem případě se jedná o ruční nanášení pájecí pasty před stírací planžetou, kde je nutné nanést dostatečné množství pájecí slitiny a v dostatečné šířce, aby nechyběla na krajích DPS. Na obr. 21. je vidět vada nerovnoměrně nanesené pájecí pasty.



Obrázek 21. Nanesená pájecí pasta s vadou nerovnoměrné výšky a tzv. „Psí uši“

Příčinou chybějící pasty může být rychlost posunu šablony od DPS při vyjmutí ze šablonového tisku, anebo ucpání apertury šablony. Zaslepená apertura může mít příčinu v nekvalitně vyčištěné šabloně, kdy se před použitím pečlivě nevyčistila a zůstaly části pájecí pasty v aperturách. Na tyto zbytky zaschlé pájecí pasty se následně nabaluje nová pájka a důsledkem je ucpání apertur. Jakmile se apertura zcela zaplní pájecí pastou a vytvoří se v ní zátka, následně nepropustí žádné množství pájky na DPS a vzniká popisovaný defekt chybějící pájecí pasty na DPS. Tomuto se dá jednoduše předejít tím, že se vždy před i po použití důkladně vyčistí šablona. Možnost čištění šablony je několik, nejrychlejší je použití štětečku, ionizovaného stlačeného vzduchu a ethanolu na vyčištění apertur, ale čištění není zcela dokonalé. Nejlepší variantou by bylo použití ultrazvukové vany a tím zcela vyčistit šablonu od nežádoucích nečistot. Ucpání apertur může mít i příčinu v nevhodně zvolené pájecí pastě, především v typu a viskozitě. Pokud používáme velmi malé apertury pro moderní elektronické součástky, kde je velikost pájecích plošek v desetinách milimetru a menší, je důležité použít vhodný typ pájecí pasty. Většinou by měly být zrna pájky minimálně 4krát menší, nežli je velikost apertury. Je to z důvodů nanesení potřebného množství pájky na pájecí plošku. Viskozita taktéž ovlivňuje průchodnost apertur, čím vyšší viskozita tím je vyšší hustota a nanášení pájecí pasty je obtížnější. Proto je dobré najít optimální řešení, aby nedocházelo k ucpávání apertur či k roztékání pájecí pasty po DPS. Při rychlém posunu šablony od DPS po ukončení nanášení pájky může dojít k nadzvednutí nanesené pájecí pasty a na pájecích ploškách bude chybět pájecí pasta. Tímto může dojít i k zacpání apertur šablony. Rychlost posunu šablony od DPS se musí nastavit tak, aby nebyl moc rychlý a ani moc pomalý, jinak by docházelo k popisovanému defektu. Je tedy nutné najít optimální nastavení pro danou viskozitu pájecí pasty, aby bylo docíleno nejlepších výsledků a co nejméně vadných kusů. Nastavení rychlosti posunu DPS od šablony se provádí regulací rychlosti vypouštění stlačeného vzduchu z pneumatického stolu. Pro regulaci posunu pneumatického stolu je umístěn na přívodu dvoucestný ventil, kterým se nastavuje rychlost posunu.

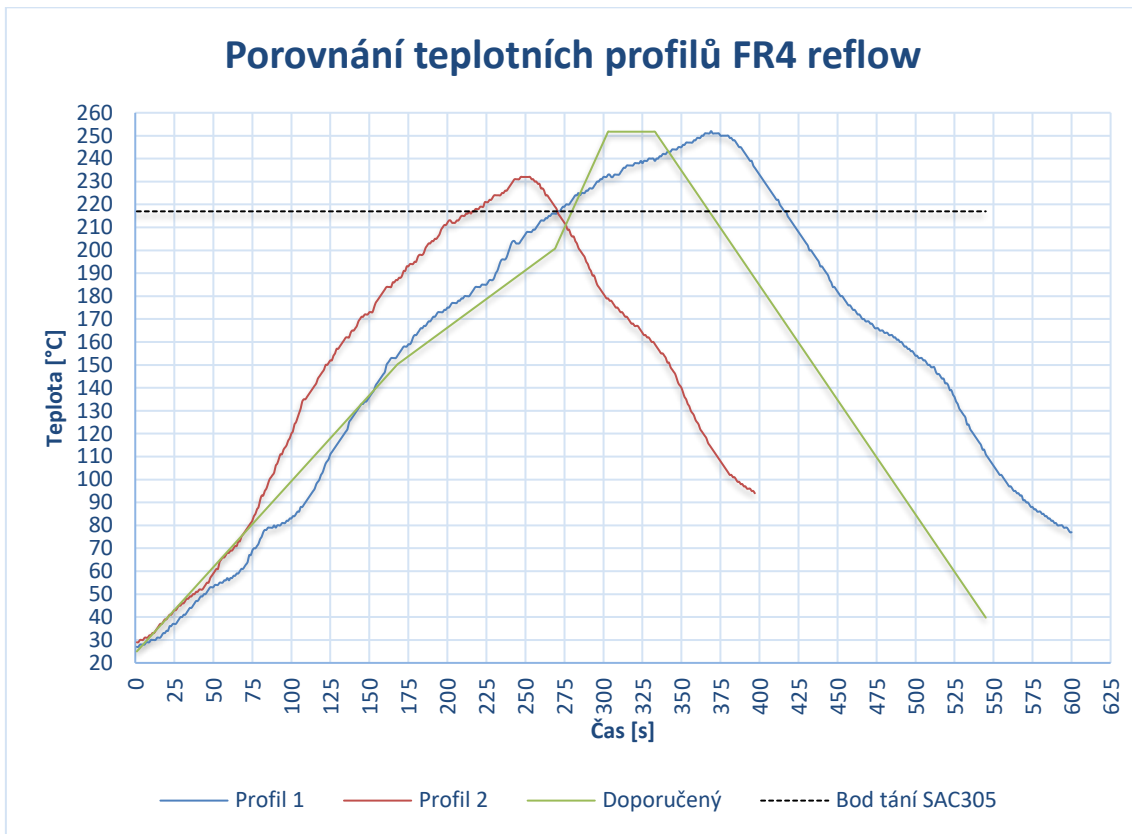
Poslední vada nazývaná psí uši (dog-ears) má příčinu v nevhodně zvolené rychlosti posunu DPS od šablony, viskozitou a čistotou hran apertur. Na obr. 22 je vyobrazena tato vada, která se vyskytla při hledání optimálního nastavení šablonového tisku.



Obrázek 22. Nanesená pájecí pasta s vadou "Psí uši"

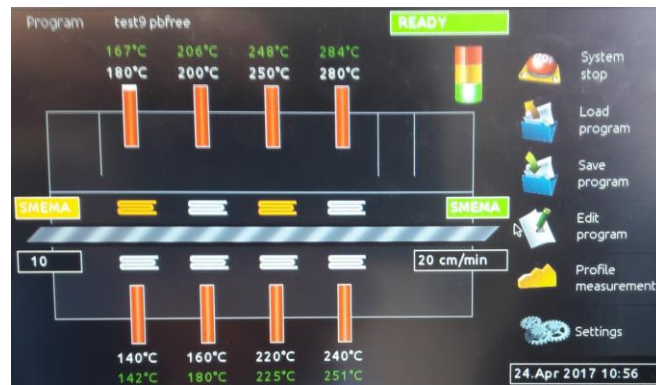
## 2.2.2 Optimalizace pájecího procesu

Stejně jako v předchozí podkapitole bylo nutné prověřit a zhodnotit nastavení technologie pro pájení testovacích vzorků. Úkolem optimalizace pájecího procesu je v co nejvyšší možné míře zvýšit jakost výsledného produktu s následnou minimalizací vzniku voidů v pájeném spoji. Z tohoto důvodu bylo nutné prostudovat všechny potřebné materiály, jako je např.: katalogové listy pájecích past, DPS, použitých LED diod, přetavovací pece reflow a pájení v parách, aby bylo možné co nejlépe zvolit vhodný pájecí profil. Zmíněné katalogové listy, kromě pájecí pece jsou v přílohách 5 až 8. Z těchto získaných informací byl vytvořen graf 1., kde je vidět doporučený teplotní profil znázorněný zelenou barvou. Zbylé dvě křivky jsou naměřené a použité pro pájení testovací DPS ze základního materiálu FR4 v reflow.



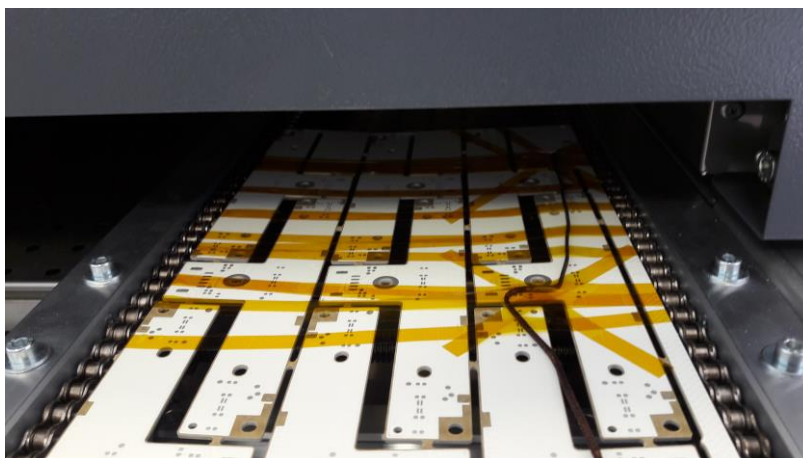
**Graf 1. Porovnání pájecí profilů FR4 reflow**

Doporučený pájecí profil se skládá z několika částí: předehřev, čas předehřevu, rychlost změny teploty předehřevu, teplota tání, doba pájky nad teplotou tání, špičková teplota, doba trvání špičkové teploty, maximální doba ohřevu a dochlazování. Předehřev je teplota od 150 do 200 °C a teploty 200 °C může dosáhnout v rozmezí 60 až 180 sekund. Tím je dána maximální možná rychlost zvýšení teploty na 3 °C/s. Teplota tání slitiny SAC305 se označuje  $T_L$  a je 217 °C. Čas, po který je pájka v tekutém stavu se označuje  $t_L$ , kde tato hodnota musí být v rozmezí 60 až 150 sekund. Špičková teplota  $T_p$  je maximální dosažená teplota pájky a ta nesmí překročit hranici 260 °C, protože by mohlo dojít ke zničení DPS, popřípadě elektronických součástek. Teplota  $T_p$  se volí vždy tak, aby odpovídala maximálním možným teplotám použitých součástek. Také se nesmí překročit maximální čas 8 minut, který je ohraničen intervalem  $25\text{ °C} \div T_p$ . Poslední část pájecího profilu je dochlazování, které nesmí přesáhnout teplotu 6 °C/s. Tyto části nám v grafu znázorňuje zelená křivka, která byla doporučením výrobce použité LED diody.



Obrázek 23. Obrazovka nastavení reflow

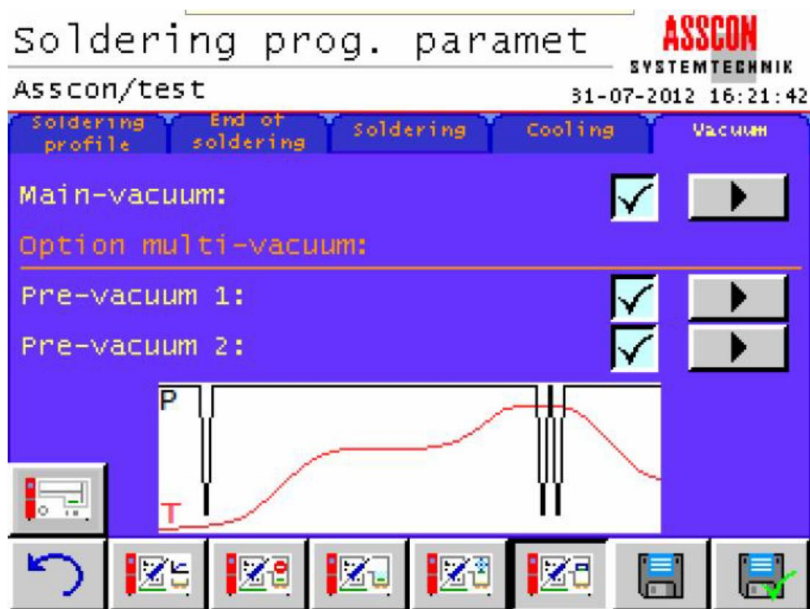
Dosažení takového pájecího profilu se čtyř zónovou pecí bylo problematické, ale po mnoha měřeních a různých konfiguracích, bylo dosaženo dvou profilů, které jsou v grafu 1. znázorněny červenou a modrou barvou. K nastavení těchto profilů bylo zapotřebí zvolit vhodnou rychlost průjezdu testovací DPS a nastavit teploty osmi topných těles, jak je vidět na obr. 23. Jakmile se nastavily teploty a pájecí pec se nahřála na potřebnou teplotu, tak se připravila vyřazená DPS, na kterou se pomocí vysokoteplotní pásky přidělal termočlánek typu K. Termočlánek bylo potřeba zafixovat tak, aby byl v mechanickém kontaktu s DPS, jak je vidět na obr. 24. Pokud by termočlánek nebyl v kontaktu s DPS, docházelo by k chybě měření, protože by se měřila teplota vzduch a ne teplota DPS. Poté se nastavila šířka pojezdu pro DPS a vše bylo připraveno pro měření pájecího profilu. DPS s termočlánekem se položila na řetězový pojezd a na dotykovém panelu se stiskla ikona „*profile measurement*“. Po změření profilu bylo možné pájecí profil zkontrolovat přímo na pájecí peci. Pokud by profil splňoval požadavky, bylo možné jej uložit ve formátu .csv na externí USB úložiště a následně si nastavený profil uložit do interní paměti přetavovací pece. Soubor .csv se mohl nadále zpracovat v aplikaci MS excel, kde stačilo zkopírovat data textového souboru do tabulkového procesoru. Bylo nutné dbát pozornosti na dělicí znaky jinak byl převod bez problémů. Jakmile byly pájecí profily pro DPS z materiálu FR4 odladěny, tak se přešlo na pájení testovacích DPS. Celý tento proces se opakoval pro DPS z materiálu IMS. Jediný rozdílem mezi teplotními profily pro materiálem FR4 a IMS byl, že IMS měl delší dobu předehřevu. Teplotní profily pro testovací vzorky z IMS jsou v tabulce na přiloženém CD.



Obrázek 24. Měření teplotního profilu

U pájení v parách, jak již bylo psáno výše není možné měnit ve velkém rozsahu pájecí profil, především teplotu pájení. Tato pájecí stanice umožňuje měnit čas, po který je DPS v páře a různé nastavení vakuování. Z důvodu složitosti nastavování časů pájení parou, bylo přikročeno k ponechání stávajícího nastavení pájecího profilu a zvoleny různé režimy vakuování. První varianta pájení v parách je bez vakua, pak s vakuem mein, následně vakuum mein s pre-vakuem1 a jako poslední bylo použito nastavení vakuum mein s pre-vakuem1 a pre-vakuem2. Toto členění je graficky znázorněno v přílohách 9 a 10. Na obr. 25 je vidět obrazovka s nastavením pájecí stanice ASSCON, kde jsou znázorněny jednotlivé procesy vakuování v průběhu teplotního profilu. Na obr. 25. jsou dva grafy, jeden s označením  $T$ , což je teplotní profil a  $P$  je vakuování. Pájecí stanice umí vytvořit podtlak až -85.0 kPa. Běžně se však používá 80 až 90 % maximálního podtlaku, a to ve dvou krocích. V první fázi se vakuuje na 80 % po dobu 5 sekund a ve druhé fázi na 90 % po dobu 3 sekund. Toto nastavení je stejné pro všechny tři typy vakuování. V grafu jsou vidět špičkové hodnoty podtlaku  $P$ , první zleva je pre-vakuem1, první zprava je vakuum mein a mezi nimi je pre-vakuem2.

Pre-vakuem1 se aplikuje na pájecí pastu při teplotě 35 °C, tím se docílí vysátí vzduchu z tavidla pájecí pasty, které se do ní dostává při přípravě. Pre-vakuem2 a vakuum mein se aplikuje na roztavenou pájku a tím dochází k vysátí vzduchu z pájeného spoje. Při použití všech režimů vakuování garantuje výrobce méně nežli 1 % plochu voidů v pájeném spoji. Jen se musí brát v úvahu to, že při vakuování dochází k přehřívání vakuového zvonu topnými tělesy a může tím dojít k překročení hraniční teploty součástek, DPS nebo pájecí slitiny SAC305. tento problém se může vyskytnout pouze při použití vakua mein a pre-vakua2.



Obrázek 25. Ovládací panel pájecí stanice ASSCON



## 2.4 X-ray

Jedná se o označení rentgenového záření, někdy také nazývaného záření X (popř. vlnění X). Jde tedy o krátkovlnné záření, jehož vlnová délka je od  $0,01 \div 10$  nm, dalším parametrem je energie rentgenového záření. Ta se pohybuje v úrovni  $0,1 \div 100$  keV. Zdrojem rentgenového záření je elektronka, někdy se nazývá rentgenka, která má anodu, žhavenou katodu a jsou umístěny ve vakuu. Rentgenové záření vzniká narážením urychlených elektronů emitovaných vysokým napětím z katody do anody. Aby docházelo k emisi rentgenového záření musí být anoda z nějakého kovu, jako je například wolfram, měď nebo stříbro. K urychlení elektronů se používá vysoké napětí, které dosahuje až několik stovek kV. Elektrony mohou svoji energii vyzářit buď jako teplo nebo jako ionizující záření. Tepelná energie vzniká při snižování rychlosti elektronů, které nenarazí do anody a rentgenové záření vzniká kolizí elektronu s anodou elektronky. Energie rentgenového záření je závislá na počtu dopadů elektronů na anodu.

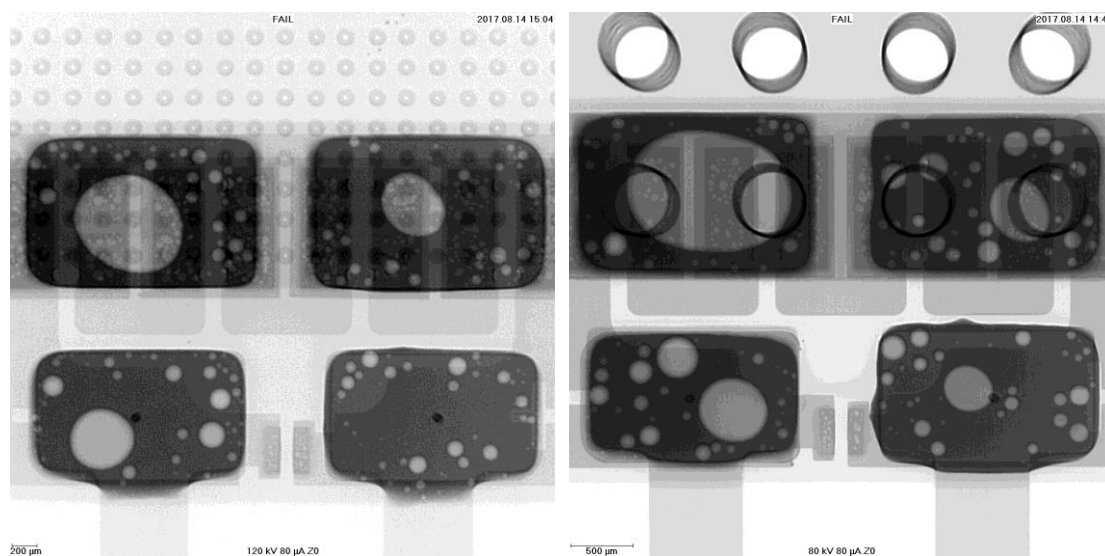
Nejprve bylo rentgenové záření používáno ve zdravotnictví, poté našlo uplatnění v jiných oborech, jako je elektronika, kontrolní stanoviště na letištích, materiálové inženýrství atd. Důvodem rozvoje této techniky zobrazování je zkoumání vnitřní struktury všeho živého i neživého. V lékařství se rentgenové záření využívá k zobrazování vnitřní struktury lidského těla pro diagnostiku onemocnění, ale využívá se i jako léčebný postup při zhoubných onemocněních tzv. radioterapie



Obrázek 26. GE Measurement [21]

V průmyslu se začalo rentgenové záření používat pro obor zvaný defektoskopie. Tento obor protíná všechna průmyslová odvětví, protože díky této nedestruktivní metodě zjišťování závad se snížila cena vývoje a zvýšila se jakost výsledných produktů. Zkoumání vad za pomoci rentgenové defektoskopie se používá především pro zařízení, která by mohla ohrozit život nebo zdraví osob, zvířat či majetek. Taková zařízení jsou nádrže nebo vedení s nebezpečnými látkami např. pohonné hmoty, plyn či jiné chemické látky. Ale využívají se již i pro běžné výrobní procesy, jako je např. automobilový, letecký nebo elektrotechnický průmysl. S rozvojem mikro elektroniky se začínají nasazovat průmyslové rentgeny do sériových linek pro zvýšení kvality a spolehlivosti výsledných produktů.

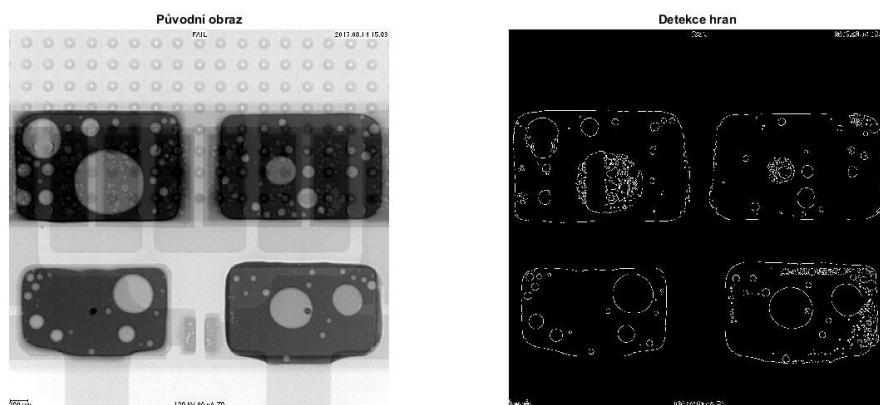
Na obr. 26. je vidět průmyslový rentgen. Jde o rentgen od firmy *General Electric*, který vlastní Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (*SIX*) na VUT v Brně a tento rentgen byl použit pro vytvoření snímků testovacích DPS. Výhodou tohoto zařízení je vysoká energie rentgenového záření a díky tomuto je možné zkoumat defekty i na DPS z materiálu IMS. Většina průmyslových rentgenů nedokáže prosvítit DPS se základním materiálem z mědi, protože měď má vysokou absorpci na rozdíl od materiálů, jako je hliník či FR4. Na obr. 27. je porovnání snímků testovacích DPS z materiálu Cu IMS a FR4. V zápatí snímků jsou vidět parametry nastavené při snímkování, kde u IMS je použito vyšší napětí 120kV, kdežto u FR4 je napětí 80kV. Ze snímků je patrné i to, že u materiálu FR4 jsou hrany ostré a na snímku není zrnění oproti IMS. Průmyslový rentgen od firmy *GE* má velmi kvalitní snímač, který umožňuje dělat snímky ve vysokém rozlišení 1000 x 1000 px. Výhodou rentgenu je i možnost zvětšování a dokáže rozeznat i objekty o velikosti 0,5  $\mu\text{m}$ . Díky této vlastnosti je možné zkoumat i velmi malé defekty vnitřních struktur, jak polovodičových součástek, tak i větších celků.



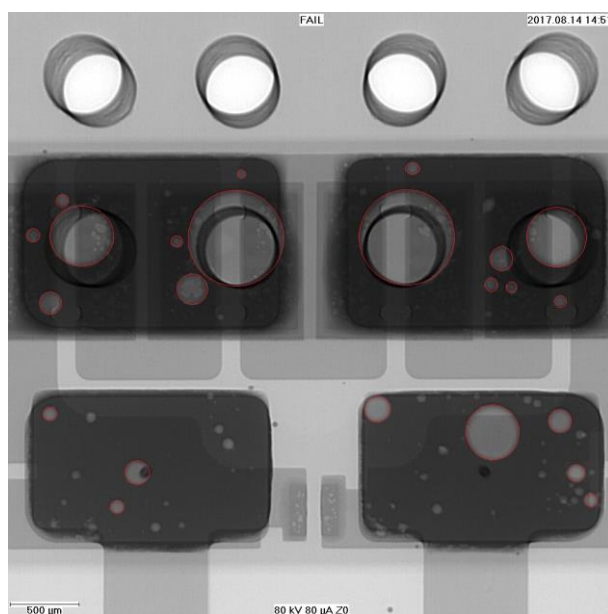
**Obrázek 27. Snímky X-ray vlevo Cu IMS a vpravo FR4**

Použitý rentgen od firmy *GE* umí detekovat a počítat plochy voidů, jen je nutné pro každý typ DPS upravit program, který správně klasifikuje voidy. Rentgen využívá základní funkce počítačového vidění, především předzpracování obrazu, segmentaci obrazu a detekování geometrických primitiv. Z důvodu složitosti programování a nedostatku času pro přípravu byly pořízeny pouze snímky a pro následné zpracování byl použit nástroj *Matlab*. V tomto programu byl vytvořen skript, kde se používají již zmíněné metody zpracování obrazu a na obr. 28 vlevo je porovnání snímku z rentgenu a vpravo upraveného snímku za pomoci *matlabu*. Při optimalizaci skriptu pro detekci voidů za použití počítačového vidění vyvstal problém a to, že se detekovaly i voidy ve vnitřní struktuře samotné LED diody. Tento problém se vyřešil aproximací voidů kružnicí, popř. elipsou, jak je vidět na obr. 29.



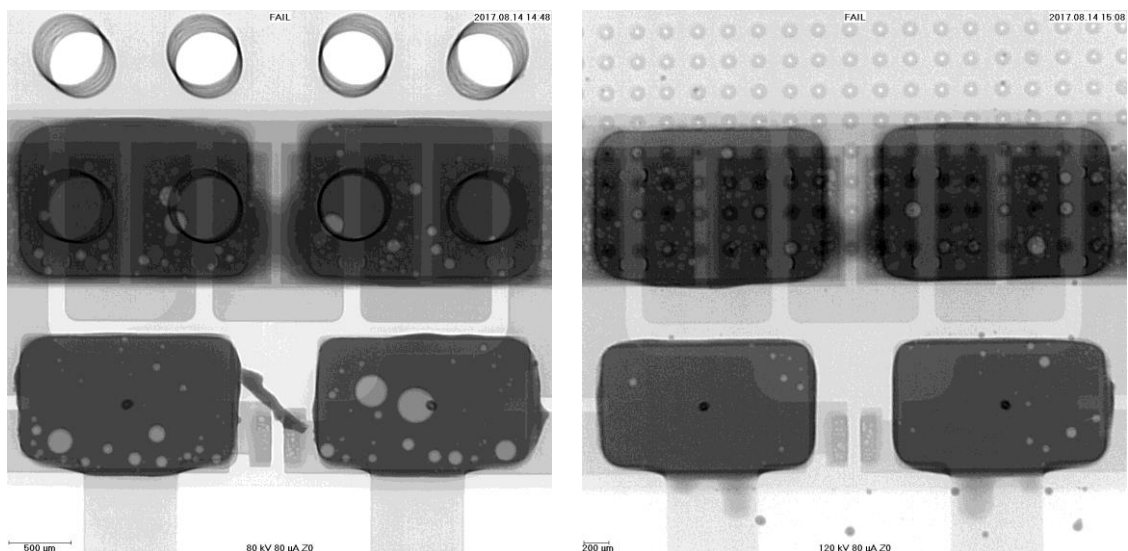


**Obrázek 28. Detekce voidů za použití počítačového vidění**



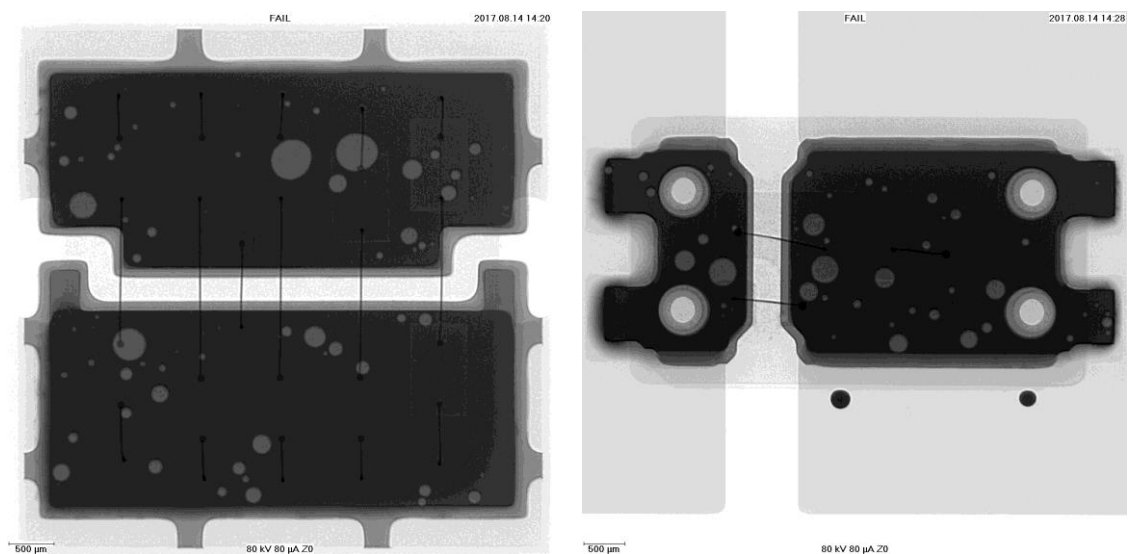
**Obrázek 29. Detekce voidů s využitím kružnic**

Rudě znázorněné kružnice na obr. 29. ohraničují plochy voidů. Hodnoty jednotlivých poloměrů kružnic byly získány za pomoci programu Matlab a následně se dopočítaly jednotlivé plochy voidů. Aby bylo možné změřit poloměr kružnic, bylo za potřebí zjistit, jaký rozměr má jeden pixel. V zápatí obr.29. se nachází měřítko, u kterého jsme museli určit počet pixelů a následně vydělit měřítko počtem pixelů. Tímto jsme dostali rozměr jednoho pixelu  $1\text{px} \approx 4,35 \mu\text{m}$ . V tomto okamžiku bylo možné provádět měření poloměrů resp. počet pixelů jednotlivých kružnic. Z poloměrů jsme jednoduchým matematickým vzorcem pro výpočet plochy kruhu vypočítali plochy všech voidů. Následně byla sečtena plocha všech voidů a vydělena 1 % plochy padů, tím jsme získali procentuální podíl plochy voidů na ploše padů.



**Obrázek 30. Snímky defektů testovacích DPS**

Na obr. 30. jsou dva snímky defektů, které byly zjištěny při rentgenových testech. Na levém obrázku je snímek vzorku 37., který vykazuje defekt (zkrat) na termálních pájecích ploškách, tento defekt nemá na funkci vliv, protože termální plošky LED diody nejsou spojeny s anodou ani katodou. Další vadou na této DPS je roztečení pájky mezi anodou a katodou, která by mohla způsobit zkrat. Při funkčních testech se tato závada neprojevila, ale při sériové výrobě by tento kus měl být odstraněn, jako vadný. Mohlo by za provozu dojít k mechanickému uvolnění a zkratovat zdroj, což by mělo za následek poruchu části nebo celého zařízení. Na pravém snímku je vidět testovací vzorek 31., který vykazuje stejný defekt na termálních ploškách. Kolem napájecích plošek jsou vidět kuličky pájky. Zmíněnou vadu je možné jednoduše odstranit po procesu pájení mechanickou cestou. Příčinou vzniku tohoto defektu je nanesení pájecí pasty na místa, kde není pájecí ploška, nebo odpadnutí části pájecí pasty ze šablony na nepájecivou masku DPS. V tomto případě tento defekt neovlivnil funkčnost dílce, protože jsou na DPS použity součástky s poměrně velkými rozměry. Pokud by se toto stalo u součástek s jemnou roztečí vývodů, mohlo by dojít ke zkratu a nefunkčnosti dílce.



**Obrázek 31. Snímky sériově vyráběných dílců**

Na obrázku 31. jsou dva snímky sériově vyráběných dílců, které byly pájeny konvekční reflow za použití bezolovnaté pájecí slitiny. Na obrázku vlevo je osazena deseti čipová LED dioda *Osram Duris S8* na DPS z materiálu IMS Al. Při porovnání s IMS Cu je patrné lepší zobrazení. V zápatí je vidět, že pro snímání stačí stejné nastavení jako pro materiál FR4. Vpravo je snímek jednočipové diody *Samsung LM561B* osazené na DPS z materiálu FR4. Snímky těchto dílců jsou pořízeny z LED modulů pro osvětlovací tělesa. Jsou zde zmíněny jen pro porovnání s běžně dodávanými výrobky na trhu. Plochy voidů na obrázku 31. nepřesahují 10 % pájecích plošek a splňují požadavky na elektronické sestavy.

## 2.5 Mikro výbrus

Mikro neboli materiálografický výbrus je destruktivní zkušební metoda, která patří do oboru defektoskopie. Při této metodě se zkoumají, jak povrchové, tak i vnitřní struktury materiálů a jejich vady. Pomocí této metody je možné odhalit vady v materiálech, které nejsou rozeznatelné při běžné výstupní kontrole lidským zrakem nebo ze snímků x-ray. Tento nástroj dále posouvá kontrolu kvality a pomáhá nastavovat výrobní postupy tak, aby se snížilo procento vadných výrobků při sériové výrobě. Mikro výbrus se používá napříč všemi odvětvími, jako je např. zpracování plastů, kovů, elektroniky atd. Jak již bylo napsáno, jedná se o destruktivní zkoušku, při které dojde ke zničení výrobku, s čímž je potřeba počítat. Při sebemenší chybě může dojít k znehodnocení zkoumaného vzorku.

Důležitou částí je samotná příprava vzorku, díky které můžeme ušetřit mnoho času při vybrušování. V tomto případě bylo zapotřebí upravit 28 kusů vzorků. Jednalo se o mechanické upravení rozměru testovacích DPS na okružní lupínkové pile na rozměr cca 2x3 cm. První částí bylo hrubé strojní opracování, po níž následovalo zabroušení na pásové brusce brusným papírem o zrnitosti 180. Následně probíhalo jemnější ruční broušení, ale již pod vodou, brusným kotoučem o zrnitosti 220. Jakmile byly všechny vzorky takto připraveny přešlo se k následujícímu kroku, kterým bylo zalití. Vzorky bylo možné zalít do epoxidové pryskyřice nebo do akrylátu.

Rozdíl těchto materiálů je v tuhosti, kde epoxidová pryskyřice vykazuje lepší výsledky při odbrušování, což je dáno kvalitnější fixací. Nevýhodou je doba vytvrzení epoxidové pryskyřice před samotným odbrušováním, které trvá 24 hodin. Akrylátová zalévací hmota je vytvrzena za 25 min, a tak je možné rychle provést výbrus vzorku. Tento typ zalévací hmoty je vhodný tam, kde je potřeba provést rychlou analýzu např. ve výrobním procesu zpracování plastů, když se spouští nová výrobní dávka. Nevýhoda akrylátu je v tuhosti, a proto není vhodný na všechny typy výbrusů. Pro mikro výbrusy jemné elektroniky je vhodné použít epoxidovou pryskyřici, a to z důvodů materiálů elektronických součástek. U velké většiny elektronických součástek jsou použity materiály, jako je keramika a křemík, které se jednoduše lámou a tříští. Díky epoxidové pryskyřici k těmto důsledkům při odbrušování nedochází.

Vzorky se zalévají v plastových kelímcích s odnímatelným dnem. Kelímky mají v průměru 3 cm a na výšku také 3 cm. Před samotným zalitím je nutné kelímek vymazat silikonovou vazelinou z důvodu snadnějšího uvolnění vzorku po vytvrzení epoxidové pryskyřice. Po vymazání je nutné vzorek upnout do svorky, která je buďto z pružného plechu nebo z plastu a drží vzorek kolmo ke dnu kelímku viz obr. 32. Na tomto obrázku jsou patrné upevňovací svorky. Vlevo jsou čtyři vzorky upevněny pomocí plastových svorek a vpravo je vidět různé použití svorek z pružného plechu. Na obrázku je zřejmé i to, že levé čtyři vzorky jsou zality epoxidovou pryskyřicí a dva vzorky vpravo jsou zality akrylátém. U fixace vzorků je nutné dbát zvýšené opatrnosti, aby se vzorek nepohnul nebo nenaklonil. Tím by došlo k znehodnocení vzorku a nebylo by možné ho dále použít k výbrusu.



Obrázek 32. Upevnění vzorků

Neméně důležitou částí je jednotlivé značení vzorků, které se provádí číselným označením kelímků, jež je shodné s označením DPS. Po zalití se vzorky naskládají do vakuového hrnce, ve kterém je na dně nasypán silikagel pro odsátí vzdušné vlhkosti. Následně se vakuový hrnec uzavře a připojí k vakuové pumpě. V tomto případě je zapotřebí vyvolat pouze malý podtlak, a proto se používá vodní vakuová Venturiho trubice. Po odsátí vzduchu z vakuového hrnce se nechají vzorky ve vakuu, aby v epoxidové pryskyřici nebyly bublinky. Po pěti minutách se hrnec otevře a vzorky se nechají vyzrát při pokojové teplotě. Vytvrzené vzorky se za použití mírného násilí vyjmou z kelímků a znovu kus po kuse se označí tak, aby nedošlo k záměně. Označování vzorků probíhá následovně, u každého vzorku se vytvoří na stěně válce plocha za pomoci brusného kotouče, kam se následně napíše číslo vzorku acetonovým popisovačem. Tento proces se provádí z důvodu lepší přilnavosti popisovače k povrchu vzorku, aby nedošlo při odbroušení vzorku ke smazání označení.

Jakmile byly všechny vzorky označeny dle výše popsaného, přešlo se k postupnému odbroušení. Díky znalosti polohy voidů v pájeném spoji od hrany LED diody bylo odbroušení snadnější. Za použití přípravku *AccuStop* se nastavila potřebná výška odebrání materiálu a pomocí brusného kotouče o zrnitosti 120 se rychle odbrousila tato nepotřebná část. Z důvodu hlubokých vrypů bylo zapotřebí nechat rezervu od požadovaného místa přibližně  $150 \div 200 \mu\text{m}$ . Pokud by nebyla ponechána tato rezerva, mohlo by dojít k probroušení cílového místa a vzorek by byl znehodnocen, popřípadě by byly na vzorcích patrné vrypy od hrubozrnného brusného kotouče. Předem se připravily vždy čtyři vzorky, dohromady 12 setů, které se umísťovaly do automatického lešticího zařízení od firmy *Struers*.

Leštička funguje na jednoduchém principu, je zde umístěn poháněný disk, na který se umístí brusný kotouč. Brusný papírový kotouč je přichycen k rotujícímu disku pomocí magnetické podložky, na které je adhezní vrstva. Tato vrstva drží brusný papírový kotouč přilepený k rotujícímu disku. Z vrchní strany je karusel, kde lze umístit až 4 kusy vzorků. Na ně z vrchní strany tlačí píсты a celý karusel se otáčí opačným směrem než kotouč s brusným papírem. Odbrušování probíhá pod vodou, čímž se zamezí šíření prachových částic do ovzduší. Oplachová voda slouží současně jako chladící médium.

Pro odbrušování bylo použito doporučené nastavení od výrobce, které je rozděleno do šesti stupňů leštění. První stupeň je hrubé broušení na brusném kotouči o zrnitosti 220, které následuje brusný kotouč 500, pak 1000 a jako poslední je brusný kotouč 2000. Po broušení za pomoci korundových brusných kotoučů byly vzorky přeštěně speciálním kotoučem. Na něj je nanášena diamantová suspenze, která odebere ze vzorku přibližně 1 $\mu$ m. Jako poslední krok bylo chemické leštění, kde se použil také speciální leštící kotouč a chemická suspenze, díky které se povrch vzorku naleptal a vyleštil. Pro každý brusný kotouč byly nastaveny různé parametry, jako jsou otáčky, přítlak a čas. Toto nastavení ovlivňovalo výsledný výbrus, a především množství odebraného materiálu.

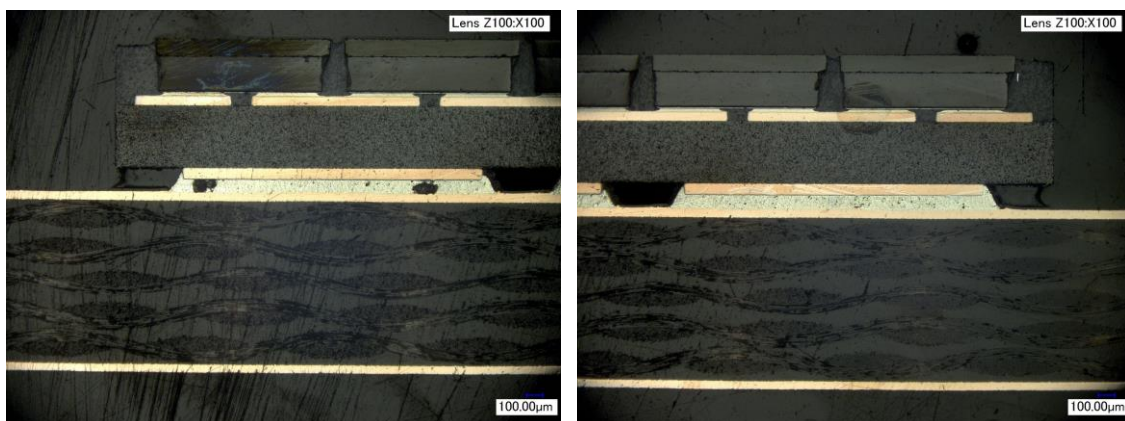
Hotové výbrusy bylo nutné analyzovat. To se provádělo pomocí metody zvané mikroskopie, kde byl využit digitální mikroskop s automatickým měřením od firmy *Keyence* viz. Obr. 33. Používaný mikroskop byl vybaven dvěma různými typy optik s celkovým rozsahem zvětšení 50 ÷ 2 000x. Pro zkoumání vzorků byly využity oba typy optik, kde první měla zvětšení 50 ÷ 200x a druhá 250 ÷ 2 000x. Malé zvětšení 50 ÷ 100x se používalo pro celkový přehled výbrusů a zvětšení 250x a více bylo využito pro zobrazení detailů. Výbava mikroskopu nadále obsahovala software pro analýzu a reporty z měření. Nejčastěji se využívalo měření vzdálenosti, průměru a 3D sken defektů. Mikroskop disponoval umělým osvětlením, aby bylo možné zkoumat jednotlivé detaily výbrusů.



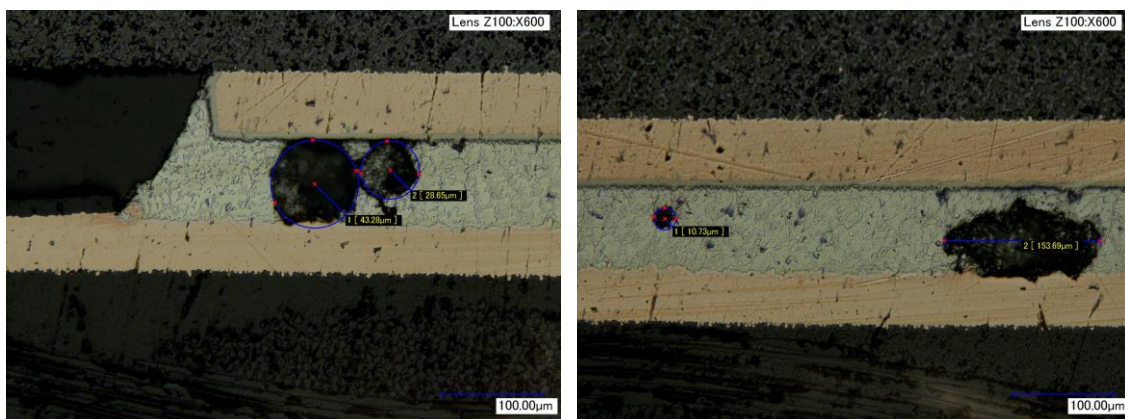
Obrázek 33. Digitální mikroskop firmy KEYENCE [24]



Na obr. 34. je snímek testovací DPS FR4 s číslem 46., kde jsou vidět na levém termálním padu voidy. Jedná se o via voidy, které vznikají nedokonalou smáčivostí na zaslepených či nezaslepených via otvorech. S největší pravděpodobností bylo příčinou vzniku via voidů špatná výroba DPS, kde došlo při výrobě k chybnému zaslepení via otvorů a vlivem nadměrného průhybu plátování došlo ke vzniku via voidu v tomto místě. Vzorek 46. byl pájen konvekční reflow a plocha voidů zabírá 17,75 % plochy pájecích plošek, což dle normy IPC-A-610 je v přípustné toleranci a tento kus by prošel výstupní kontrolou kvality. Za povšimnutí stojí i meniskus pájeného spoje, který má hladký a plynulý přechod z DPS na pad LED diody. To značí dokonalou smáčivost pájecích plošek, a tedy i dobrou aktivaci tavidla. Vlivem voidů na levém termálním padu došlo k mírnému nadzvednutí LED diody, což je patrné z tvaru menisku pájeného spoje. Na levé straně má meniskus tvar konvexní a na opačné straně konkávní. Na obr. 35. je detail se změřeným průměrem a délkou voidů. Z obrázků je patrná povrchová úprava na pájecí plošce LED diody. Povrchovou úpravu nelze na straně DPS poznat z důvodů použití chemického cínu, který se při přetavení sloučil s pájkou.



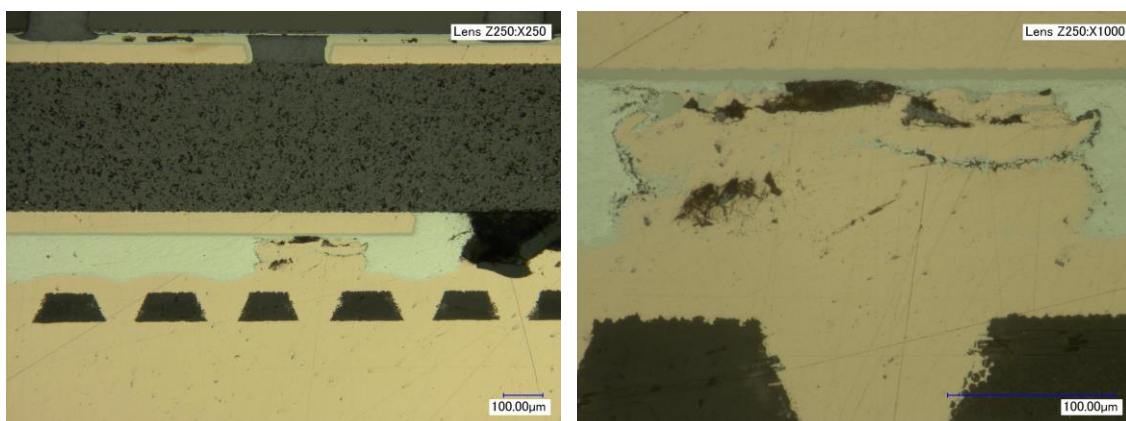
Obrázek 34. Snímek výbrusu testovací DPS FR4 při zvětšení 100x



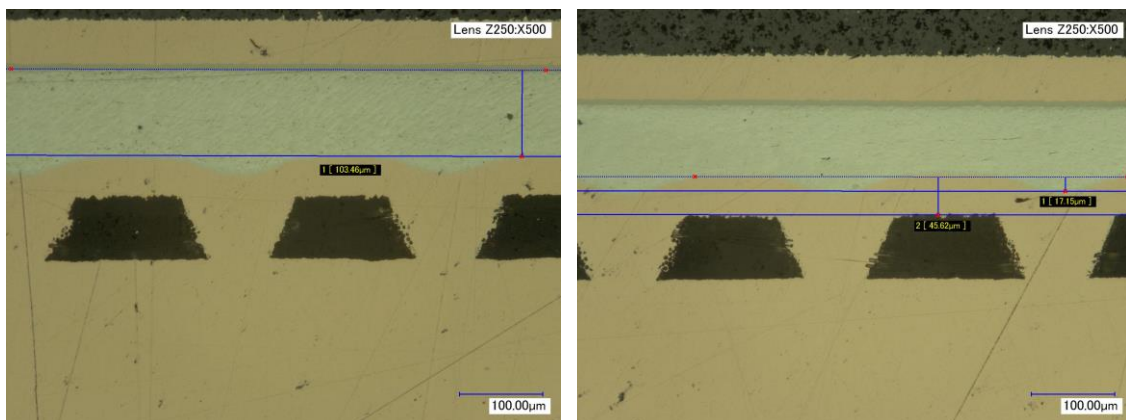
Obrázek 35. Detail měření voidů levý termální pad

Na obr. 36. je snímek vzorku 16., kde je vidět defekt na mikro via otvoru při zvětšení 250x a 1000x. Je možné si všimnout některých detailů, jako jsou povrchové úpravy padů, intermetalická vrstva pájecích plošek DPS, ale i voidy ve vnitřní struktuře LED diody. Na pravém snímku je void, který se vyplnil mědí při odbroušování. Void vznikl na pozici mikrovia otvoru, ale

z důvodu zaplnění voidu mědí nebylo možné přesně určit, zdali jde o viavid nebo makrovid. Z levého snímku je patrné poničení nepájivé masky mezi termálními ploškami. Příčinu poničení nepájivé masky mezi termálními pady mohlo být několik např. vysoká teplota, chyba při výrobě nebo depanelizaci. Vzorek 16. byl pájen v parách bez vakuování a plocha voidů zabírá 12,12 % plochy pájecích plošek. Na tomto vzorku bylo prováděno měření, které je na obr. 37., měřila se výška pájeného spoje, tloušťka vodivých cest a průhybů v oblasti mikrovia otvorů. Tolerance průhybů zaslepených mikrovia otvorů je do 30  $\mu\text{m}$  a z obrázku je patrné, že výrobce tuto toleranci dodržel, změřená hodnota je 17,15  $\mu\text{m}$ . Tloušťka vodivých cest byla definována v datasheetu: 18  $\mu\text{m}$  a galvanické pokovení cca 26  $\mu\text{m}$ . Konečná tloušťka by měla dosahovat 44  $\mu\text{m}$ , ale naměřená hodnota byla 45,62  $\mu\text{m}$ . Výsledkem měření výšky pájeného spoje byla hodnota 103,46  $\mu\text{m}$ . Přípustná tolerance je v intervalu 80 ÷ 120  $\mu\text{m}$ , a proto testovací vzorek 16. splnil všechny požadavky. V případě sériové produkce by vyhověl kontrole kvality.



Obrázek 36. Snímek výbrusu testovací DPS IMS při zvětšení 250x vlevo a 1000x vpravo

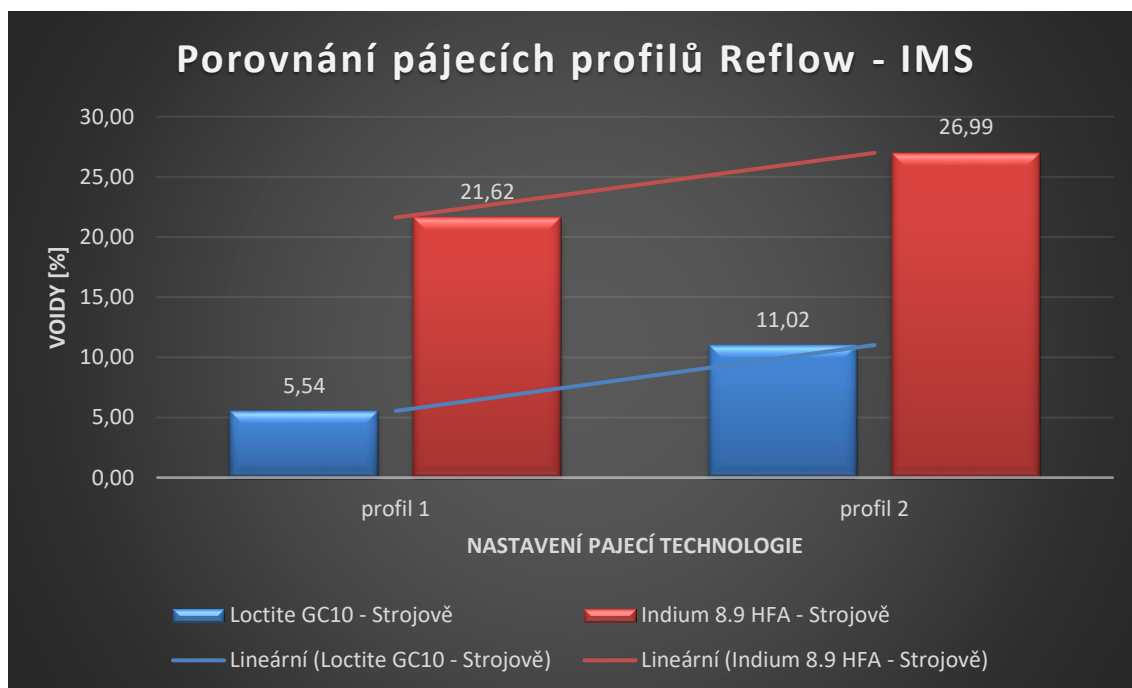


Obrázek 37. Snímky výbrusů vzorku 16 – měření

## 8. Shrnutí

Při výrobě a následném testování DPS bylo zjištěno mnoho informací o jednotlivých mezioperačních úkonech a chybách, které jsou v této kapitole popsány. Z jednotlivých informací byla poskládána tabulka doporučení pro mezioperační úkony, což bylo úkolem této diplomové práce. Při výrobě a testování byla naleznuta různá úskalí, která jsou zde také popsána. Účelem je defektům v budoucnu předejít. Dále zde jsou popsány dosažené výsledky, nejlepší jsou uvedeny v tabulce doporučení. Následně budou nasazeny do výrobního procesu v prototypové dílně firmy Hella Nova.

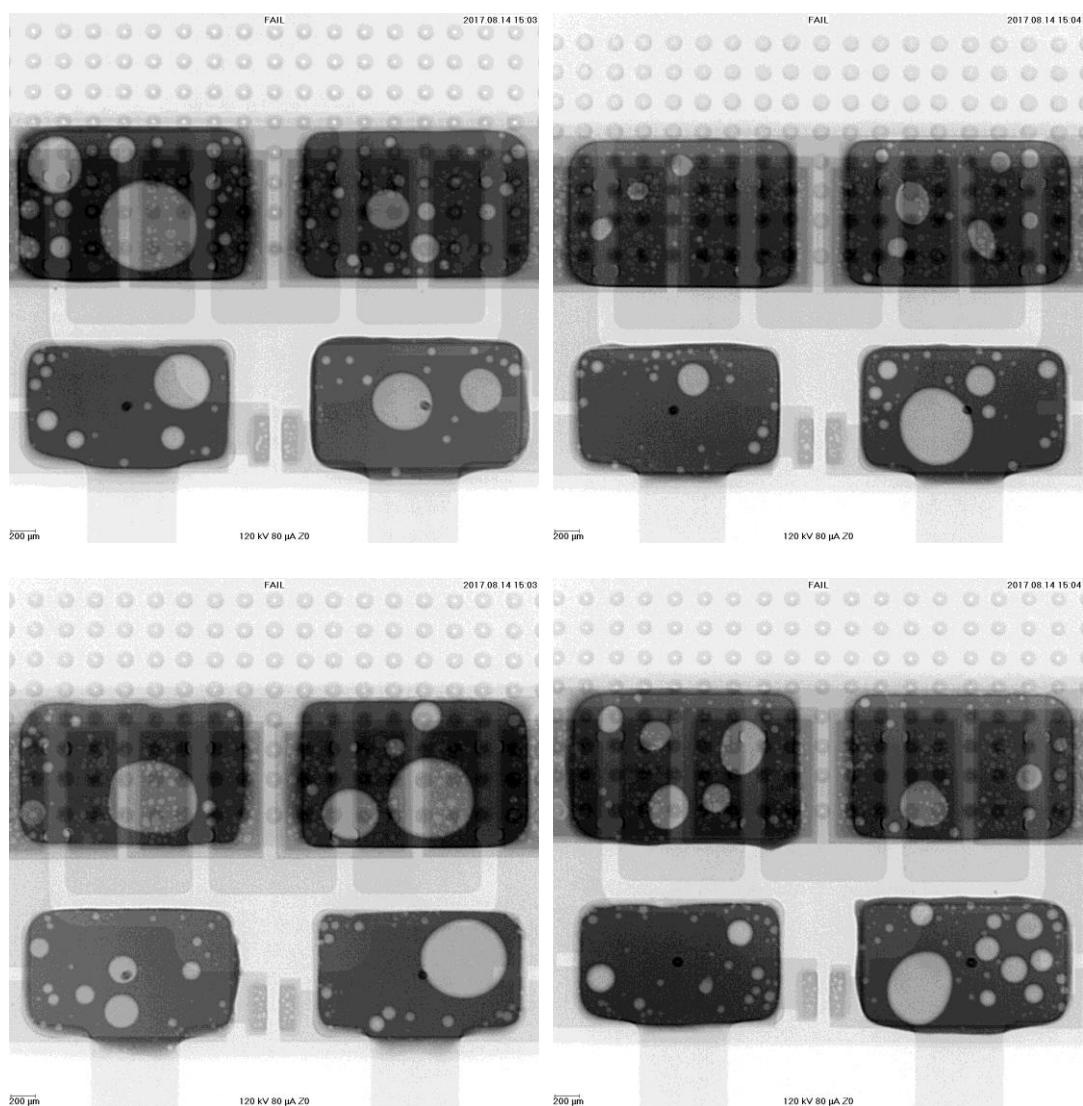
Při porovnání pájecích profilů a slitin použitých na testovacích DPS IMS je z grafu 2. patrný rozdíl. Za použití pájecího profilu 1, vykazuje pájený spoj snížení plochy voidů o 49,72 %. Tento procentuální rozdíl je vztažen k profilu 2, za použití pájecí slitiny *Loctite GC10*. Z toho vyplývá, že pájecí profil 1 má prokazatelně lepší výsledky a bude doporučeno jej využívat. Mezi pájecími slitinami je taktéž patrný veliký rozdíl v ploše voidů, kde u profilu 1 je téměř čtyřnásobný a u profilu 2 je více než dvojnásobný. V procentuálním vyjádření obsahuje pájecí pasta *Loctite GC10* o 74,38 % méně voidů u profilu 1 a u profilu 2 je to 59,17 %. Dalším doporučením pro pájení elektronických sestav s materiálem DPS z IMS bude použití pájecí slitiny *Loctite GC10*, která vykazuje výborné výsledky. Pro zlepšení dosažených výsledků je možné použít inertní dusíkovou atmosféru, při níž nedochází k oxidaci pájecích plošek.



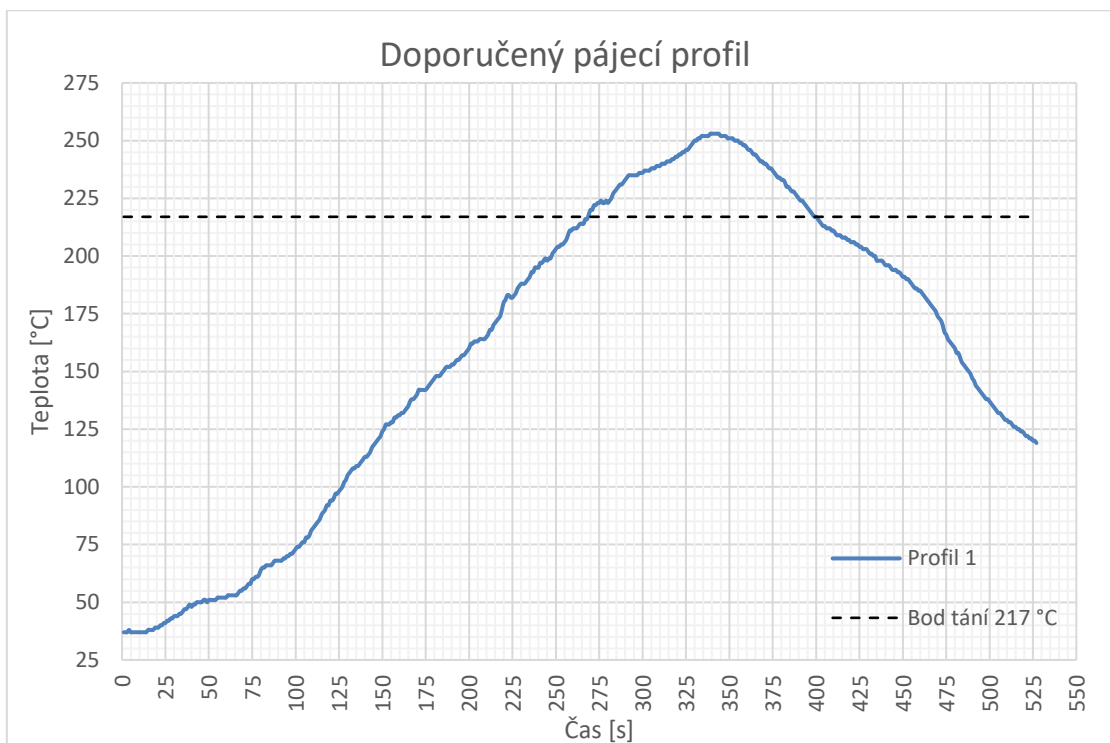
**Graf 2. Porovnání pájecích profilů a slitin SAC305 na DPS typu IMS**



Porovnání rentgenových snímků testovacích DPS vidíme na obr. 38. Vlevo nahoře je vzorek 1., vpravo nahoře vzorek 7., vlevo dole vzorek 4. a vpravo dole vzorek 10. Ze snímků je znatelný rozdíl, především u 1. a 7. vzorku. Na vzorku 1. je vidět, že termální plošky obsahují velké množství voidů. Nejzásadnější jsou dva makrovoidy na levé termální plošce. Průměr největšího makrovoidu je přes 800  $\mu\text{m}$  a to má výrazný vliv na životnost LED diody. Oproti tomu vzorek 7. má na termálních ploškách pár makrovoidů, které svou velikostí nemají výrazný vliv na funkčnost a ani životnost sestavy. U všech testovacích desek typu IMS se vyskytují drobné viavoidy a planární voidy. Při použití pájecí pasty *Loctite GC10* je zřetelně nižší výskyt via voidů. Důvodem je s největší pravděpodobností obsah tavidla v pájecí pastě, protože oba typy pájecích slitin používají shodná tavidla ROL0. Jiné defekty kromě voidů z rentgenových snímků nebylo možné detekovat.



**Obrázek 38. Rentgenové snímky vzorků použitých pro srovnání pájecích profilů (IMS)**



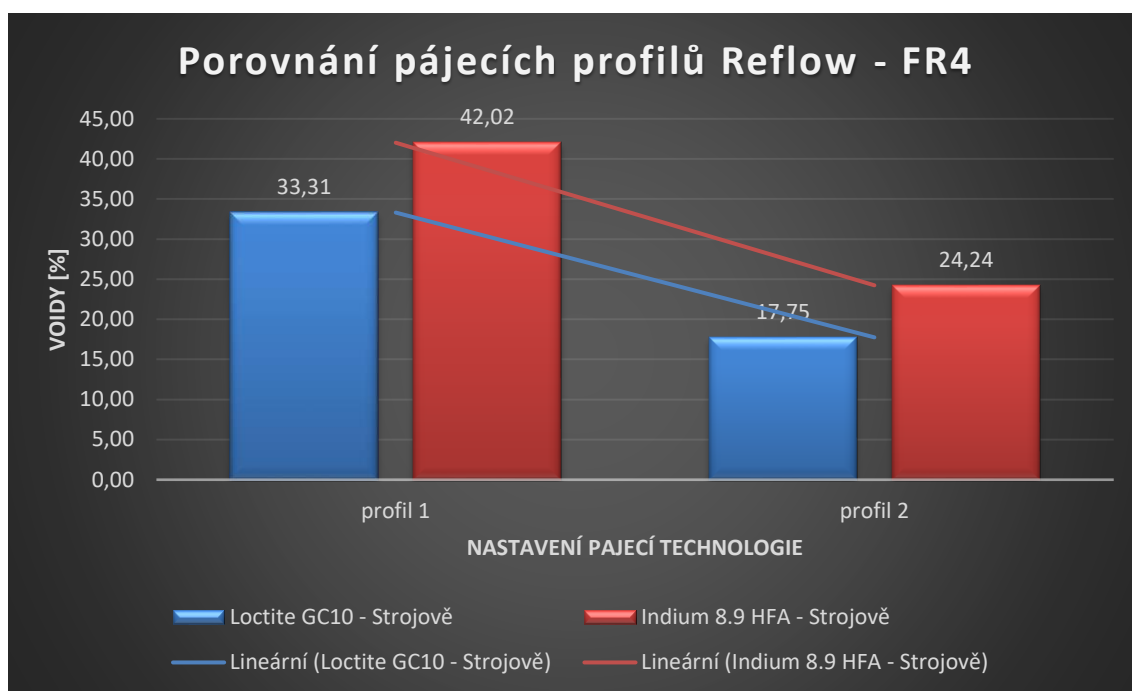
Graf 3. Doporučený pájecí profil pro IMS

Pro dosažení prezentovaných výsledků, je nutné dodržet nastavení výrobní technologie, která je v tabulce 3. Při tomto nastavení obdržíme doporučený pájecí profil 1., který je v grafu 3. Toto doporučení přináší zlepšení pájecího procesu, především snížení plochy voidů u elektronických sestav s DPS typu IMS. K dalšímu zlepšení pájecího procesu by jistě pomohla již zmiňovaná inertní atmosféra, rychlé zpracování pájecí pasty, ale i zamezení kontaktu DPS s lidskou pokožkou. Lidská pokožka vyvolává na povrchu DPS oxidaci a tím se snižuje účinnost tavidla při pájecím procesu.

Tabulka 3. Doporučené nastavení výrobní technologie pro DPS IMS

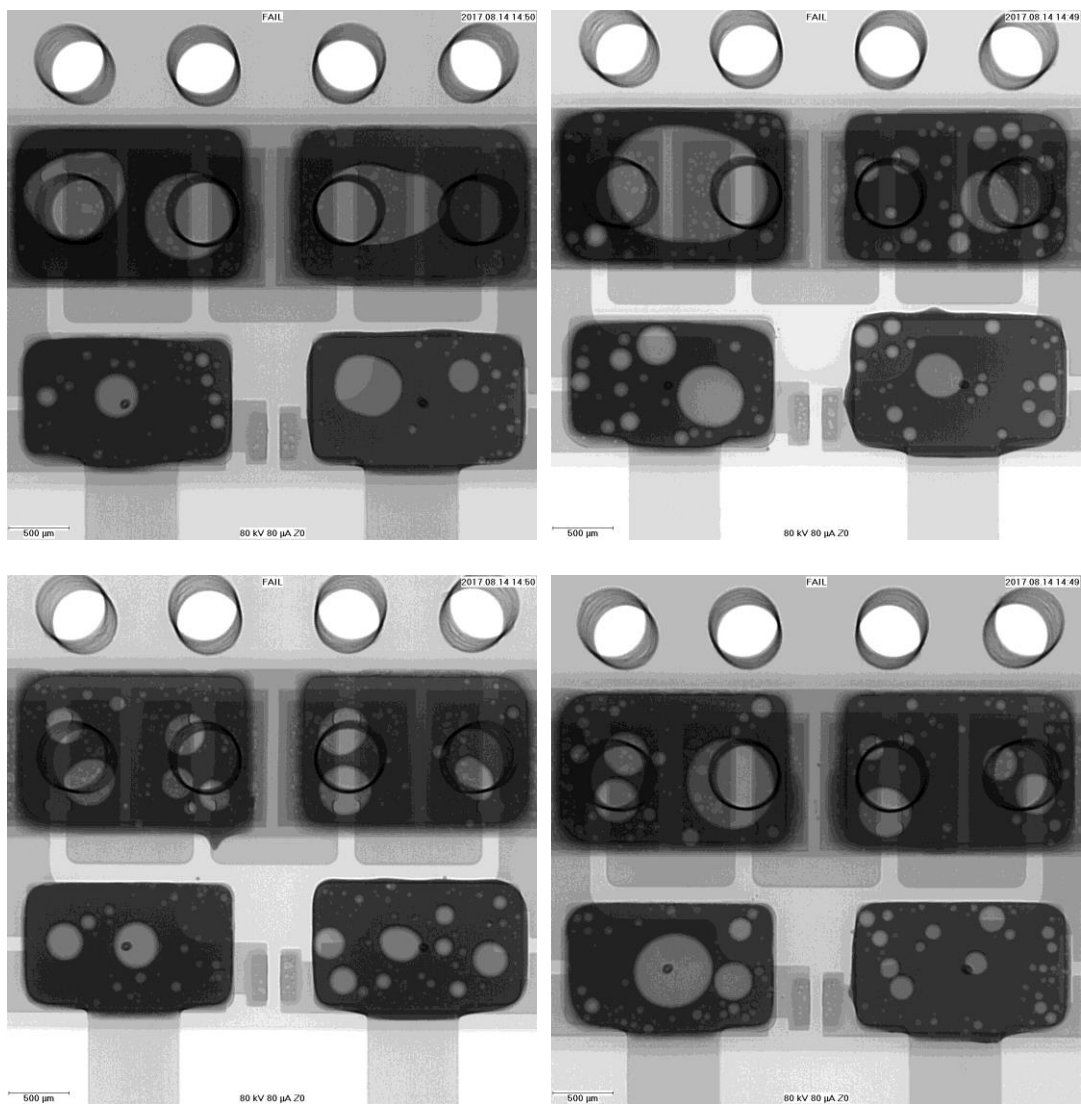
<b>Šablonový tisk</b>					
Sklon stěrky	70 ÷ 75				[°]
Rychlost stírání	65				[mm / s]
Výška stolu	4 x 2				[mm]
Pájecí slitina	Loctite GC10				[-]
<b>Reflow</b>					
	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 4	
Horní ohřev	140	180	250	295	[°C]
Spodní ohřev	140	160	240	265	[°C]
Rychlost posuvu	18				[cm / min]

V grafu 4. jsou přehledně zobrazeny dosažené výsledky, za použití pájecí technologie reflow, na testovacích DPS typu FR4. Pájecí slitina *Loctite GC10* opět vykazuje lepší výsledky, nežli *Indium 8.9HFA* a to i při změně pájecích profilů a typů DPS. U profilu 2 je dosaženo zlepšení o 46,71 % v porovnání s profilem 1. Toto porovnání je vztaženo k pájecí slitině *Loctite GC10*. U pájecího profilu 1 je plocha voidů pro obě pájecí pasty téměř jednou tak velká, nežli u profilu 2. Při srovnání pájecích past opět lépe vychází *Loctite GC10*, jako v předchozím případě. Vyjádřeno procentuálně, pájecí slitina *Loctite GC10* obsahuje až o 26,77 % méně voidů, nežli pájecí slitina *Indium 8.9HFA*. Pájecí profil 1 je pro pájení elektronických sestav, dle IPC-A-610, naprosto nepoužitelný, protože plocha voidů může být maximálně 25 %.



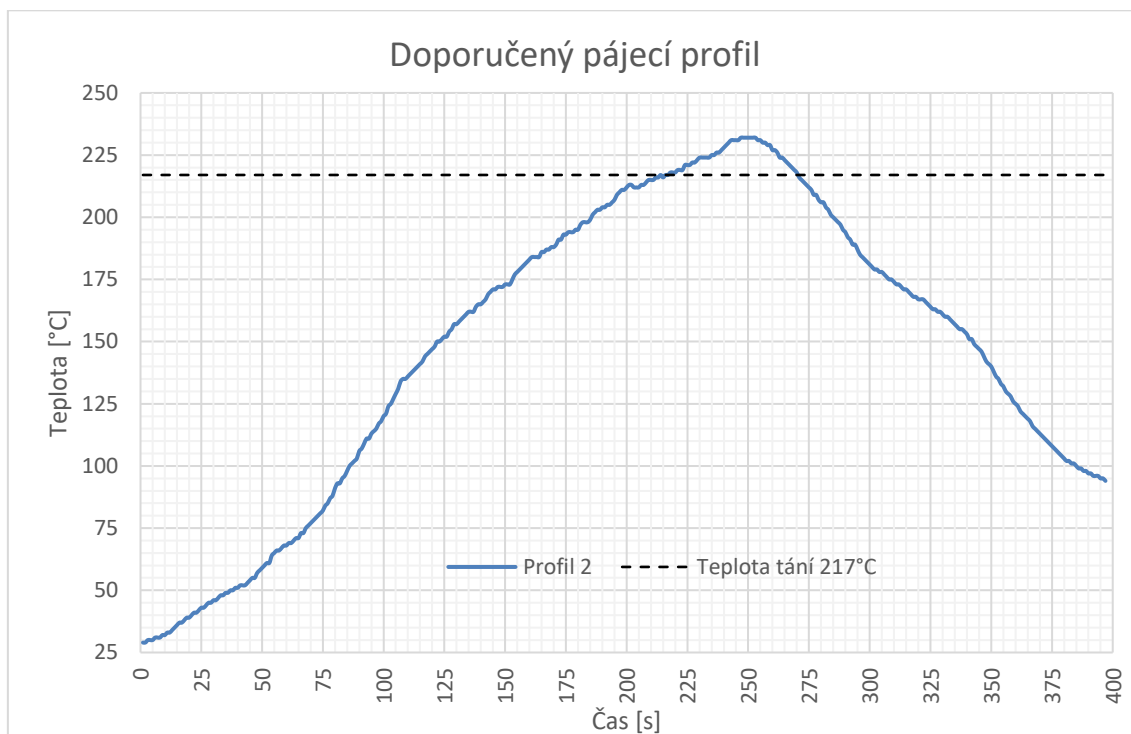
**Graf 4. Porovnání pájecích profilů a slitin SAC305 na DPS typu FR4**

Ze snímku na obr. 39. je možné vyzorovat značné rozdíly tvarů voidů. Rentgenový snímek na obr. 39. vlevo nahoře patří vzorku 43., na němž jsou patrné nepravidelné tvary makrovoidů. Na snímku vpravo nahoře je vzorek 39., na kterém je patrný veliký makrovoid, zabírající téměř celou levou termální plošku. Takovéto makrovoidy jsou v elektronických sestavách nepřijatelné! Z tohoto důvodu je pájecí profil 1 naprosto nevhodný. Snímek vykazující nejlepší dosažené výsledky ze všech porovnávaných DPS na obr. 39. je vzorek 46. vlevo dole. Pájený spoj obsahuje několik viavoidů na termálních ploškách a planární voidy na napájecích ploškách. Poslední snímek vpravo dole je vzorek 40., na kterém jsou vidět viavoidy na termálních ploškách. Na levé termální plošce se viavoid spíše klasifikuje jako makrovoid. Na snímcích nejsou patrné žádné jiné vady.



**Obrázek 39. Rentgenové snímky vzorků použitých pro srovnání pájecích profilů (FR4)**

Aby bylo možné dosáhnout požadovaného snížení plochy voidů, je potřeba nastavit výrobní technologii dle tab. 4. Tím docílíme nastavení pájecího profilu, viditelném v grafu 5. Další možný prostor ke zlepšení procesu pájení DPS typu FR4 technologií reflow, je aplikace inertní dusíkové atmosféry. Většina viavoidů a makrovoidů u tohoto typu DPS vznikla nedostatečnou kvalitou samotných DPS, především v místě zaslepení via otvorů. V těchto místech dochází ke špatnému smáčení povrchů a tím ke vzniku viavoidů. Teoretické snížení vzniku voidů je možné za předpokladu upravení designu DPS. Úprava by se měla zaměřit na via otvory, které by mohly mít o polovinu menší průměr a použít dvojnásobný počet. Je nutné směřovat via otvory do středu termálních plošek tak, aby u krajů pájecích plošek docházelo k co možná nejlepšímu smáčení povrchu DPS.

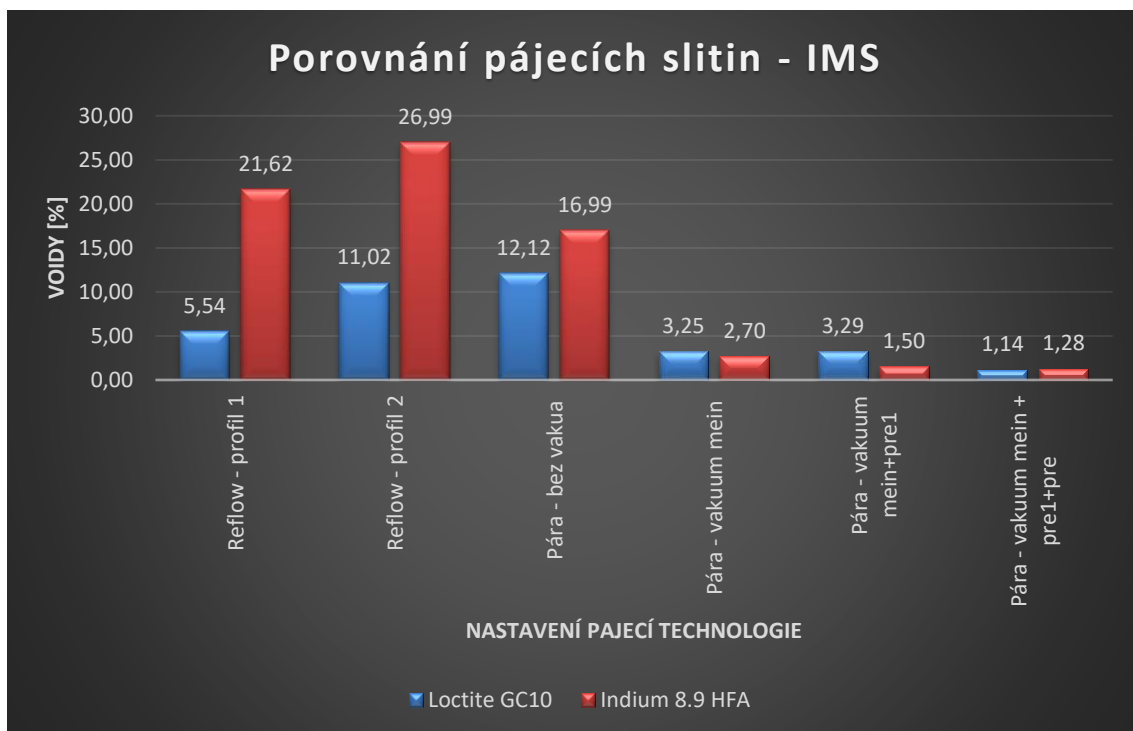


**Graf 5. Doporučený pájecí profil pro FR4**

**Tabulka 4. Doporučené nastavení výrobní technologie pro DPS FR4**

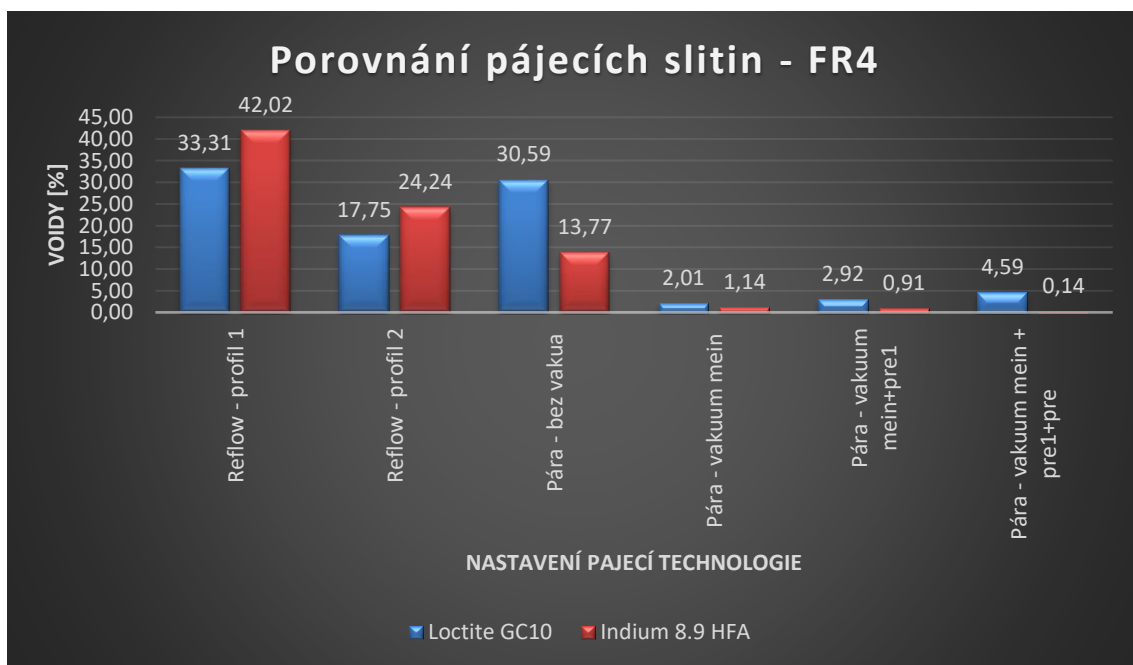
<b>Šablonový tisk</b>					
Sklon stěrky	70 ÷ 75				[°]
Rychlost stírání	65				[mm / s]
Výška stolu	4 x 2				[mm]
Pájecí slitina	Loctite GC10				[-]
<b>Reflow</b>					
	Zóna 1	Zóna 2	Zóna 3	Zóna 4	
Horní ohřev	140	180	225	255	[°C]
Spodní ohřev	140	180	205	235	[°C]
Rychlost posuvu	24				[cm / min]

V případě použití technologie pájení v parách bez vakuování, bylo dosaženo naprosto odlišných výsledků, jak pro pájecí slitiny, tak i pro typy DPS. U DPS typu IMS, výsledky vykazují hodnoty podobné, jako při pájení reflow. Naproti tomu DPS typu FR4, vykazuje přesně opačné výsledky u pájecích slitin. Nejvhodnější pájecí slitinu pro pájení v parách bez vakuování, nelze jednoduše stanovit, jelikož pro každý typ DPS je vhodná jiná pájecí slitina. *Loctite GC10* je nejvhodnější pájecí slitinou pro DPS typu IMS. Při použití vakuování se výsledky sobě velice přibližují a vliv pájecí slitiny již nehraje výraznou roli. V grafu 6. je vidět popisovaný vliv nastavení pájecí technologie na vznik voidů v pájeném spoji.



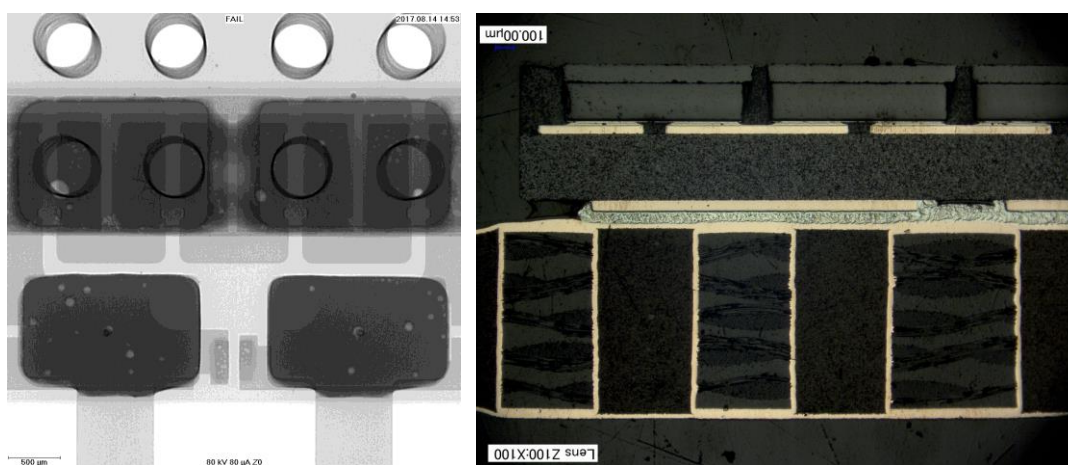
**Graf 6. Porovnání pájecích slitin - IMS**

Na grafu 7. je porovnání pájecích slitin za použití technologie reflow a pájení v parách. Slitiny vykazují při těchto pájecích procesech naprosto opačné vlastnosti. Proto je vhodné použít slitinu *Indium 8.9HFA* pro pájení v parách. Tato slitina vykazuje nejlepší výsledky pro DPS typu FR4.



**Graf 7. Porovnání pájecích slitin - FR4**

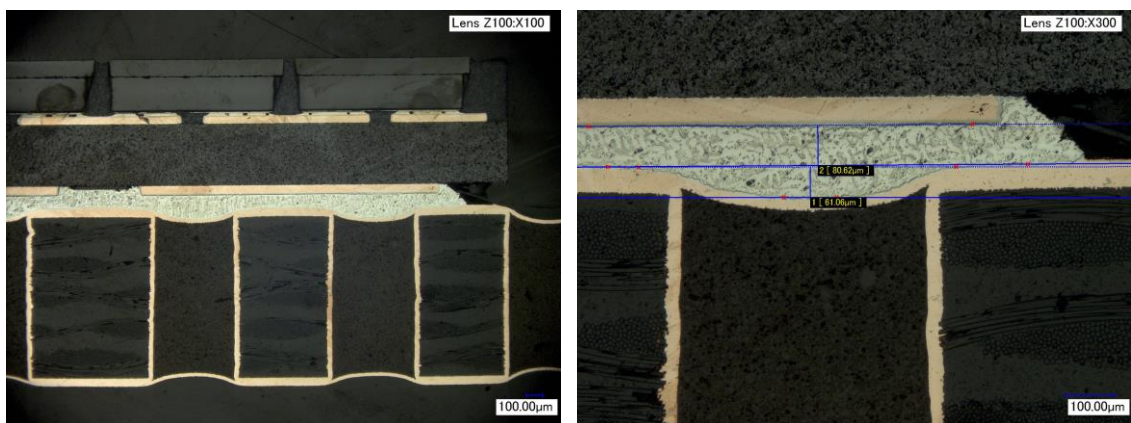
V průběhu pájecího procesu vznikaly na testovacích DPS vady, kde jejich příčiny byly odhaleny až po provedení mikro výbrusů. Nejčastěji vyskytující se vadou bylo slévání pájky na termálních ploškách. Tato závada sice nemá vliv na funkčnost výrobku, ale způsobovala naklonění LED diody. S tímto defektem se u optických částí světloometu nepočítá a může to mít špatný vliv na vyzařovací charakteristiku světla. Příčinou této závady bylo odlepení nepájivé masky od DPS a následné slití pájky. Tím se snížila výška pájeného spoje a došlo k již zmíněnému naklonění. Na obr. 40. vlevo je rentgenový snímek defektu, z něhož nešlo určit příčinu. Vpravo je snímek z mikro výbrusu, kde je patrné odlepení nepájivé masky, která byla pájkou vytlačena až k pouzdru LED diody. Zjišťování závady nebylo jednoduché, ale po vyhodnocení všech snímků z rentgenu bylo zjištěno, že tento defekt vzniká při pájení v parách se všemi procesy vakuování. Příčinou bylo s největší pravděpodobností přehřívání vakuového zvonu při spuštění funkce vakuování mein a pre-vakuum 2. Tyto procesy probíhaly hned za sebou a topná tělesa ohřívala vakuový zvon. Tak dochází k překročení maximální teploty a k odloupení nepájivé masky v nejslabším místě DPS, kterým byla část mezi termálními ploškami.



**Obrázek 40. Defekt - slití pájky na termálních ploškách**

Dále se vyskytoval defekt nadměrného průhybu plátování nad via otvory. Tento typ defektu nebylo možné ovlivnit, protože vznikl již při samotné výrobě testovacích DPS. Průhyb v místech via otvorů je možné tolerovat, ale jen do jistých mezí, poté se zvyšuje riziko vzniku voidů. Na obr. 41. je tento defekt vidět, v tomto případě došlo k dokonalému smáčení, a to především díky pájení v parách s vakuováním. Většina voidů u testovacích DPS se tvořila právě na pozici via otvorů. Z tohoto důvodu je důležité věnovat velkou pozornost rovinatosti DPS, aby se minimalizoval vznik voidů.





Obrázek 41. Defekt – průhyb plátování

Další možností, jak snížit počet a plochu voidů, je design DPS. Na obr. 42. je výbrus vzorku 3., kde je vidět viavoid. Tento defekt by bylo možné eliminovat vhodnou úpravou DPS, a to posunutím mikrovía otvorů blíže ke středu termální plošky tak, aby na kraji pájeného spoje nebyl střed mikrovía otvoru. Pokud by se odebraly i mikrovía otvory mezi termálními ploškami, tak by došlo k nápravě defektu odloupení nepájivé masky. Tím by se zvětšila styčná plocha s DPS a nepájivá maska by tak lépe odolávala vyšším teplotám. Poslední možností pro snížení plochy voidů, je úprava planžety pro nanášení pájecí pasty. Možností, jak upravit planžetu je několik, ale nejvhodnější je vzhledem k rozměrům pájecích plošek zmenšit plochu apertury o 20 %. Tímto přístupem je možné snížit procento voidů viz obr. 15. Při použití šablony o tloušťce 200 µm by se vytvořil pájený spoj o výšce cca 80 µm a více, což je dle standardů Hella Nova stále v mezích normy.



Obrázek 42. Defekt – viavoid



## 9. Závěr

Při tvorbě návrhů testovacích vzorků se vycházelo ze standardů firmy Hella Nova. Všechny tyto požadavky byly zpracovány do designu DPS. Následně byl vytvořen datasheet k jednotlivým typům, který se zadal výrobcí i s výrobními gerber daty. Původním požadavkem bylo vytvoření tří typů DPS a to FR4 se zaslepenými via otvory (plug2), IMS se zaslepenými mikrovia otvory a jako poslední měla být IMS s piedestalem. Poslední zmíněný nebyl výrobce schopen dodat, tak se od tohoto typu ustoupilo a k testování se použily zbylé dva typy. Pro tyto typy byl zvolen postup testování, z čehož vyplynul potřebný počet vzorků. Celkový počet vzorků bylo 72 ks. Původně byl plánován dvojnásobný počet, ale z finančního hlediska by byl výzkum moc nákladný, především kvůli ceně DPS. Pro porovnání dvou typů pájecích slitin a dvou typů technologií, počet testovacích vzorků postačil. Již nelze vytvořit při tomto počtu variací relevantní statistický závěr.

V průběhu výroby a testování, bylo možné se setkat s mnoha moderními technologiemi výroby elektronických sestav, testovacími a měřicími zařízeními. Drtivá většina všech testovacích procesů byla prováděna ve firmě Hella Nova v Mohelnici, která je k tomuto účelu vybavena. Využívá potřebných zařízení k testování při ověřování sériové výroby a uvádění nových produktů na trh. V součinnosti bylo i centrum *SIX*, které pracuje pod záštitou VUT v Brně a provádělo rentgenové snímky testovacích vzorků. Díky této spolupráci bylo možné prezentovat zde popisované výsledky. Měl jsem možnost být u všech procesů testování a konzultovat dosažené výsledky s odborníky z praxe. Většina procesů výroby a testování byla prováděna mou osobou s podporou jednotlivých odporníků firmy Hella Nova.

Výsledkem této diplomové práce je tabulka doporučení, která je součástí přílohy na CD. V této tabulce jsou všechna naměřená data i s komentáři, nastavení jednotlivých pájecích procesů a souhrnná doporučení pro zlepšení jakosti pájených spojů. Za pomoci těchto pravidel se podařilo zlepšit kvalitu pájeného spoje u reflow téměř o 50 %, na rozdíl od druhého pájecího profilu. U technologie reflow nejlépe vyhovuje pájecí slitina *Loctite GC10*, která má výrazně lepší výsledky nežli *Indium 8.9HFA* a to, jak pro DPS typu FR4, tak i pro IMS. Při použití technologie pájení v parách bez vakuování jsou výsledky téměř shodné s technologií reflow pro DPS typu IMS. V tomto případě také lépe vyhovuje pájecí slitina *Loctite GC10*. U pájení DPS typu FR4 v parní lázni, vykazuje lepší výsledky *Indium 8.9HFA*. Při použití vakuování v průběhu pájení parou dochází k výraznému zlepšení a pájecí slitiny vykazují téměř shodné výsledky u obou typů DPS. Přesto doporučuji pro pájení v parách využívat vakuování měn s pre-vakuem 1 a pájecí slitinu *Indium 8.9HFA*, která má přeci jen lepší výsledky.

## 10. Literatura

- [1] ABEL, Martin a Vladimír CIMBUREK. *Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi*. Pardubice: ABE.TEC, 2005. ISBN 80-903-5970-1
- [2] STARÝ, Jiří a Petr KAHLE. *Plošné spoje a povrchová montáž*. Brno, 2003. Elektronická skripta BPSM. VUT Br.
- [3] ABEL, Martin. *Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce*. Pardubice: Platan, 2000. ISBN 80-902-7332-7.
- [4] ABEL, Martin. *SMT Technologie povrchové montáže*. Pardubice: Platan, 2000. ISBN 80-902-7331-9.
- [5] DEVELOPED BY THE IPC TASK GROUP (7-31B) OF THE PRODUCT ASSURANCE SUBCOMMITTEE (7-30) OF IPC. *Acceptability for electronic assemblies*. Revision D. Bannockburn, Ill: IPC, 2005. ISBN 15-809-8750-8.
- [6] *Requirements for Soldering Pastes: IPC J-STD-005A*. 1. Bannockburn: IPC, 2012. ISBN 978-1-61193-038-2.
- [7] FRITSCH GmbH. *Fritsch: Complete and flexible SMT solutions* [online]. Kastl: FRITSCH, 2016 [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: <http://www.fritsch-smt.de/en>
- [8] LAMIREL® PCB Europe s.r.o: Šablona SMT. *LAMIREL® PCB Europe s.r.o* [online]. Jičín: LAMIREL® PCB Europe s.r.o, 2010 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [http://www.lamirel.cz/sablona\\_smt.aspx](http://www.lamirel.cz/sablona_smt.aspx)
- [9] Mechatronic systems. *Mechatronic systems* [online]. 1: Mechatronic systems, 2014 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: [http://www.mechatronic-systems.com/RU/products/automaty/M1/M1\\_compact.jpg](http://www.mechatronic-systems.com/RU/products/automaty/M1/M1_compact.jpg)
- [10] Ersä GmbH. *Ersä GmbH* [online]. Kreuzwertheim: Ersä, 2016 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.kurtzersa.com/electronics-production-equipment/soldering-machines/reflow-soldering/produkt-details/hotflow-426-1.html>
- [11] Lumileds holding B.V.: DS167 Luxeon Altilonn SMD product datasheed. *Lumileds holding B.V.: DS167 Luxeon Altilonn SMD product datasheed* [online]. Aachen: Lumileds holding B.V., 2016 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://www.lumileds.com/uploads/626/DS167-pdf>
- [12] *Acceptability of Electronic Assemblies: IPC - A-610E*. Bannockburn, Illinois: IPC, 2010. ISBN 15-809-8628-5.
- [13] Minimalizace voidů pod BTC komponenty. *DPS elektronika od A do Z* [online]. DPS elektronika od A do Z, 2015 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/vyroba/id:8566/minimalizace-voidu-pod-btc-komponenty>
- [14] Voids in Solder Joints. *Indium Corporation* [online]. 1: Indium Corporation, 2010 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.indium.com/blog/voids-in-solder-joints-i.php>
- [15] TSENG, Watson. *Shenmao America inc.: Study on void formation during soldering*. 5. 2016.

- [16] Rozhovor s viceprezidentem Lumileds Klemens Brunner. *Industrysourcing* [online]. 1: Industrysourcing, 2015 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.industrysourcing.cn/article/312554>
- [17] Using Thermal Clad Dielectric Material. *Bergquistcompany*. online: bergquistcompany, 2009, , 2. Dostupné také z: <http://www.bergquistcompany.com/pdfs/selectorGuides/specialtyaps.pdf>
- [18] *DPS - elektronika od A do Z : odborný časopis pro vývoj a výrobu v oboru elektroniky: Tiskové šablony pod kontrolou*. Liberec: CADware, 2016, **2016**(3). ISSN 1805-5044. Dostupné také z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:42785/tiskove-sablony-pod-kontrolou>
- [19] *DPS - elektronika od A do Z: Technológia InkJet Printing – 1. část Úvod do technologie InkJet Printing*. Liberec: CADware, 2015, **2015**(6). ISSN 1805-5044. Dostupné také z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:38156/technologie-inkjet-printing-1-cast-uvod-do-technologie-inkjet-printing>
- [20] GU, Shoudong, Xiaoyang JIAO, Jianfang LIU, Zhigang YANG, Hai JIANG a Qingqing LV. Design and Experiment of a Solder Paste Jetting System Driven by a Piezoelectric Stack. *Micromachines*. 2016, 1856-1868, **7**(12), 112-. DOI: 10.3390/mi7070112. ISSN 2072-666x. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/2072-666X/7/7/112>
- [21] GE Measurement: phoenix micromex|x Microfocus X-ray System. *GE Measurement* [online]. Canada: GE, 2018 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.gemeasurement.com/inspection-ndt/radiography-and-computed-tomography/phoenix-micromex-industrial-x-ray>
- [22] MLÝNEK, M. *Analýza závad na DPS pomocí X-RAY*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bc. Pavel Řihák.
- [23] SKOČIL, Vlastimil a Jan ŘEBOUN. Diagnostika DPS na katedře technologií a měření FEL ZČU v Plzni: DPS 2/2011. *DPS Elektronika od A do Z: Měření* [online]. KET FEL ZČU v Plzni: DPS Elektronika od A do Z, 2011, 2/2011 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/mereni/id:5808/diagnostika-dps-na-katedre-technologie-i-a-mereni-fel-zcu-v-plzni>
- [24] Keyence: VHX-2000 Super Resolution Digital Microscope with Automated Measurements. *Laboratory-journal* [online]. Darmstadt: Laboratory Portals for Science & Industry, 2012, 23.8.2012 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.laboratory-journal.com/products/laborgeraete/vhx-2000-super-resolution-digital-microscope-automated-measurements>

## **11. Seznam příloh**

Příloha 1. Design testovací DPS FR4

Příloha 2. Datasheet testovací DPS FR4

Příloha 3. Design testovací DPS IMS

Příloha 4. Datasheet testovací DPS IMS

Příloha 5. Katalogový list Indium8.9HFA

Příloha 6. Katalogový list Loctite GC 10

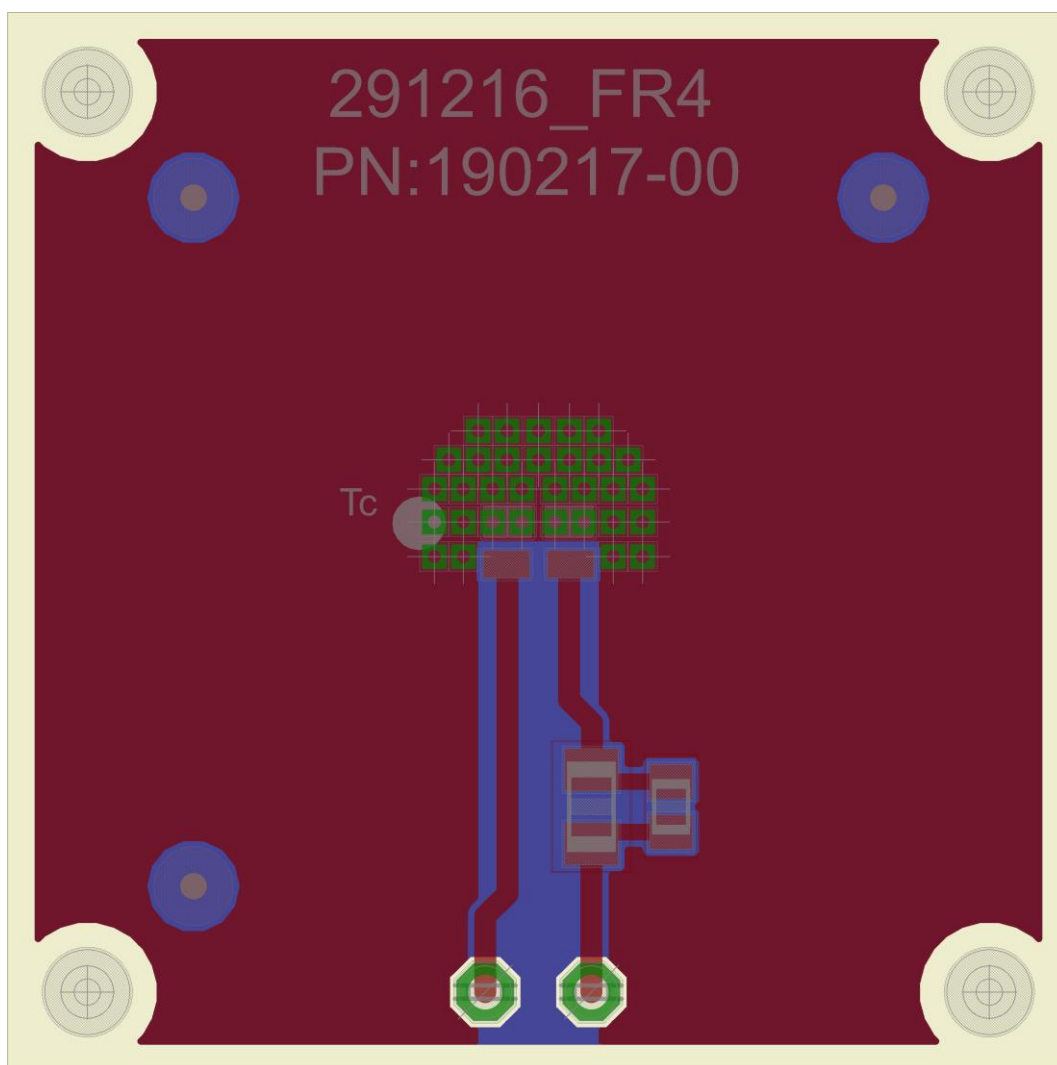
Příloha 7. Výňatek katalogového listu

Příloha 8. Katalogový list pájecí stanice

Příloha 9. Testovací schéma FR4

Příloha 10. Testovací schéma IMS

## Příloha 1.



## Příloha 2.

Testovací\_DPS\_FR4\_V\_1\_12

Prijectinfo

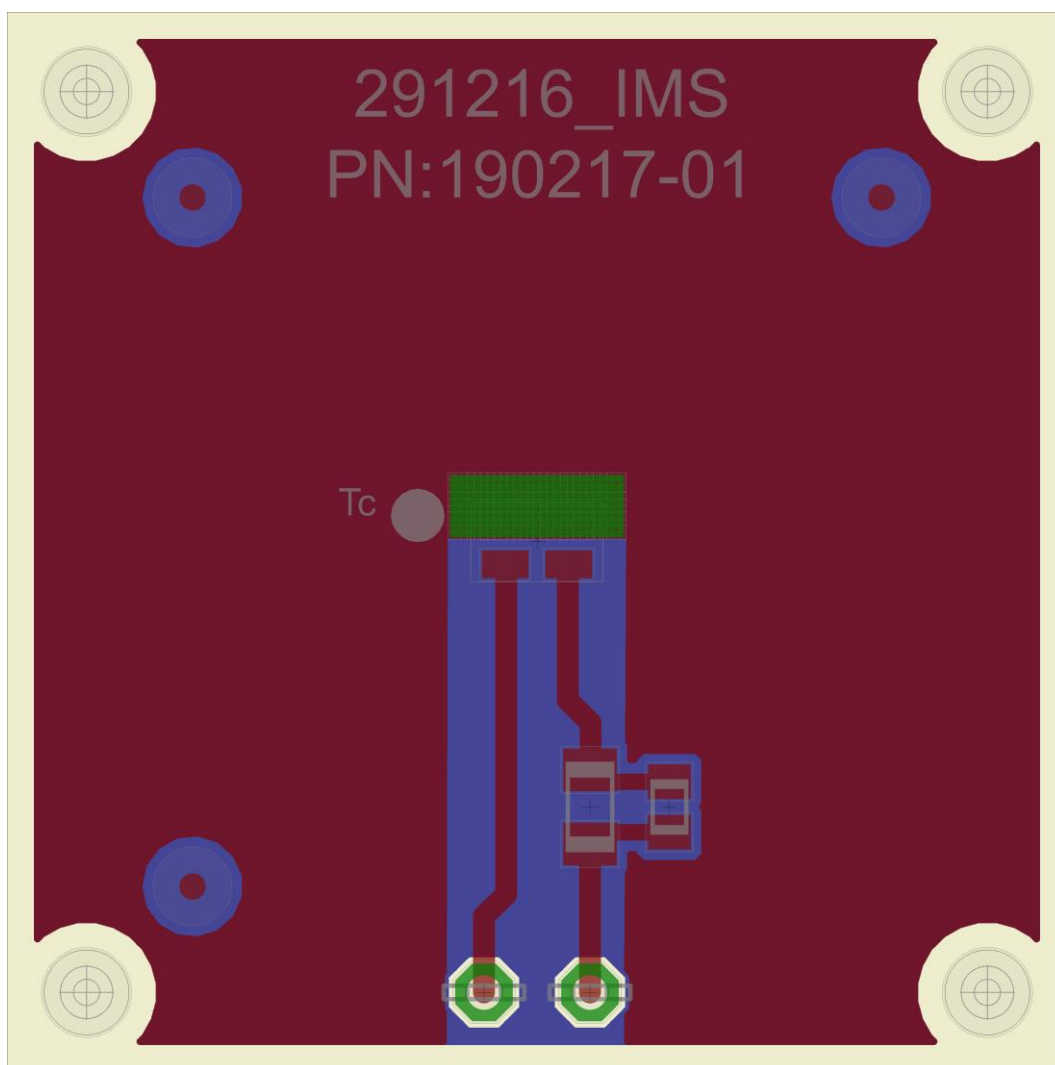
### Project information

Device name: Testovací\_DPS\_FR4\_V\_1\_12  
Device number: 291216\_FR4  
Devel.number:  
Network plan:  
Project manager:  
Mechanical design:  
HW development: Pavel Slavík  
PCB design: Pavel Slavík  
Note:

### PCB information

Layout identification no.: 291226\_FR4  
PCB partnumber: 190217-00  
Change index:  
PCB devel. Number:  
Change index:  
Note:  
  
PCB Type: dual sided  
Dimension: 40 x 40 mm  
Base material: FR4 plug 2 s metalizací  
Material thickness: 1,15 mm  
Copper thickness ext. Layers: 35um + galvanický Cu  
Copper thickness int. Layers: ---  
Surface treatment: chem.Sn BOTH SIDES (0,8-1,2um)  
Min. Tracakwidth: 0,6 mm  
Min. Trackdistance: 0,2 mm  
Min. drill diameter: 0,5 mm  
Soldermask: photo printing  
Position printing: ?  
Special requierements: Solder mask color green

### Příloha 3.



## Příloha 4.

Testovací\_DPS\_IMS\_V\_1\_12

Prijectinfo

### Project information

Device name: Testovací\_DPS\_IMS\_V\_1\_12  
Device number: 291216\_IMS  
Devel.number:  
Network plan:  
Project manager:  
Mechanical design:  
HW development: Pavel Slavík  
PCB design: Pavel Slavík  
Note:

### PCB information

Layout identification no.: 291226\_IMS  
PCB partnumber: 190217-01  
Change index:  
PCB devel. Number:  
Change index:  
Note:

PCB Type: single sided  
Dimension: 40 x 40 mm  
Base material: IMS on cooper 0,3 W/m-K  
Material thickness: 1,15 mm  
Copper thickness ext. Layers: 18um + galvanický Cu  
Copper thickness int. Layers: ---  
Surface treatment: chem.Sn BOTH SIDES (0,8-1,2um)  
Min. Trackwidth: 0,6 mm  
Min. Trackdistance: 0,2 mm  
Min. drill diameter: 0,125 mm  
Soldermask: photo printing  
Position printing: ?  
Special requierements: Solder mask color green  
MikroVia plátované



# PRODUCT DATA SHEET

## Indium8.9HFA

### Pb-free Solder Paste

#### Introduction

**Indium8.9HFA** is an air reflow, no-clean solder paste specifically formulated to accommodate the higher processing temperatures required by SnAgCu, SnAg, and other alloy systems favored by the electronics industry to replace conventional Pb-bearing solders. **Indium8.9HFA** offers unprecedented stencil print transfer efficiency to work in the broadest range of processes.

#### Features

- Eliminates clogged apertures through advanced rheology
- Excellent wetting
- Halogen-free per EN14582 test method
- Eliminates hot and cold slump
- High oxidation resistance
- Excellent soldering performance under high-temperature and long reflow processes

#### Alloys

Indium Corporation manufactures low-oxide spherical powder composed of a variety of Pb-free alloys that cover a broad range of melting temperatures. This document covers Type 4 and Type 3 powder as standard offerings with SAC305 and SAC387 alloys. The metal percent is the weight percent of the solder powder in the solder paste and is dependent upon the powder type and application. Standard product offerings are detailed in the following table.

#### Standard Product Specifications

Alloy	Metal Load*		
	Type 3	Type 4	Type 4.5/Type 5/Type 5-MC
95.5Sn/3.8Ag/0.7Cu (SAC387)			
96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu (SAC305)	88.5%	88.0%–88.5%	87.75%–88.25%
98.5Sn/1.0Ag/0.5Cu (SAC105)			
99Sn/0.3Ag/0.7Cu (SAC0307)			

\*Application Dependent

Industry Standard Test Results and Classification			
Flux Classification	ROLO	Typical Solder Paste Viscosity for SAC305 T4 (Poise)	1,300
Based on the testing required by the current revision of IPC J-Standard-004.		Conforms with all requirements from the current revision of PIC J-Standard-005.	
Halogen-free and low-halogen per J-004, IEC, and JEDEC requirements.	<<1,000ppm Cl <<1,000ppm Br		

**From One Engineer To Another**

#### Compatible Products

- Rework Flux: TACFlux®089HF, TACFlux®020B
- Cored Wire: CW-807
- Wave Flux: WF-9945, WF-9958

Note: Other products may be applicable. Please consult one of Indium Corporation's Technical Support Engineers.

#### Storage and Handling Procedures

Refrigerated storage will prolong the shelf life of solder paste. Solder paste packaged in cartridges should be stored tip down.

Storage Conditions (unopened containers)	Shelf Life
<10°C	6 months

Solder paste should be allowed to reach ambient working temperature prior to use. Generally, paste should be removed from refrigeration at least 2 hours before use. Actual time to reach thermal equilibrium will vary with container size. Paste temperature should be verified before use. Jars and cartridges should be labeled with date and time of opening.

#### Packaging

**Indium8.9HFA** is currently available in 500g jars or 600g cartridges. Packaging for enclosed print head systems is also readily available. Alternate packaging options may be available upon request.



Form No. 98549 R10

## PRODUCT DATA SHEET

# Indium8.9HFA Pb-free Solder Paste

### Printing

#### Stencil Design:

Electroformed and laser cut/electropolished stencils produce the best printing characteristics among stencil types. Stencil aperture design is a crucial step in optimizing the print process. The following are a few general recommendations:

- Discrete components — A 10–20% reduction of stencil aperture has significantly reduced or eliminated the occurrence of mid-chip solder beads. The “home plate” design is a common method for achieving this reduction.
- Fine-pitch components — A surface area reduction is recommended for apertures of 20mil pitch and finer. This reduction will help minimize solder balling and bridging that can lead to electrical shorts. The amount of reduction necessary is process dependent (5–15% is common).
- For optimum transfer efficiency and release of the solder paste from the stencil apertures, industry standard aperture and aspect ratios should be adhered to.

Printer Operation	
Solder Paste Bead Size	~20–25mm in diameter
Print Speed	25–150mm/second
Squeegee Pressure	0.018–0.027kg/mm of blade length
Underside Stencil Wipe	Start at once per every five prints and decrease frequency until optimum value is reached
Squeegee Type/Angle	Metal with appropriate length/~60 degrees
Separation Speed	5–20mm/second or per equipment manufacturer’s specifications
Solder Paste Stencil Life	>8 hours (at 30–60% RH and 22–28°C)

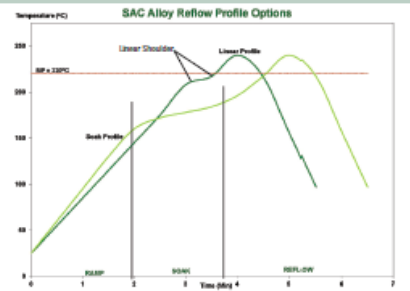
### Cleaning

Indium8.9HFA is designed for no-clean applications, however the flux can be removed if necessary by using a commercially available flux residue remover.

Automated stencil cleaning is best performed using a dry wipe followed by a vacuum wipe. If using a wet wipe, isopropyl alcohol or a solvent-based commercially available cleaner should be used. IPA and other solvent-based cleaners are also acceptable for manual stencil cleaning.

### Reflow

#### Recommended Profile:



The stated profile recommendations apply to most Pb-free alloys in the SnAgCu (SAC) alloy system, including SAC305 (96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu). This can be used as a general guideline in establishing a reflow profile when using Indium8.9HFA solder paste. Deviations from these recommendations are acceptable, and may be necessary, based on specific process requirements, including board size, thickness, and density. Start with the linear profile, then move to the optional soak profile if needed. The flat soak portion of the linear profile (linear shoulder) may also be eliminated.

Reflow Profile Details	SAC305 Parameters		Comments
	Recommended	Acceptable	
Ramp Profile (Average Ambient to Peak) —not the same as maximum rising slope	0.5–1°C/Second	0.5–2.5°C/Second	To minimize solder balling, beading, hot slump
Soak Zone Profile (optional)	30–90 Seconds 160–180°C	30–120 Seconds 150–200°C	May minimize BGA/CSP voiding Eliminating/reducing the soak zone <u>may</u> help to reduce HIP and graping
Time Above Liquidus (TAL)	45–60 Seconds	30–100 Seconds	Needed for good wetting/reliable solder joint
Peak Temperature	230–260°C	230–262°C	As measured with thermocouple
Cooling Ramp Rate	2–6°C/Second	0.5–6°C/Second	Rapid cooling promotes fine grain structure
Reflow Atmosphere	Air or N <sub>2</sub>		N <sub>2</sub> preferred for small components

Note: All parameters are for reference only. Modifications may be required to fit process and design.

This product data sheet is provided for general information only. It is not intended, and shall not be construed, to warrant or guarantee the performance of the products described which are sold subject exclusively to written warranties and limitations thereon included in product packaging and invoices. All Indium Corporation's products and solutions are designed to be commercially available unless specifically stated otherwise.

Contact our engineers today: [askus@indium.com](mailto:askus@indium.com)

Learn more: [www.indium.com](http://www.indium.com)

ASIA +65 6268 8678 • CHINA +86 (0) 512 628 34900 • EUROPE +44 (0) 1908 580400 • USA +1 315 853 4900



©2017 Indium Corporation



## LOCTITE GC 10

July 2015

### PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE GC 10 provides the following product characteristics:

<b>Technology</b>	No-clean and Halogen-free Solder Paste
<b>Application</b>	Pb-free soldering

LOCTITE GC 10 is a halogen free, zero halogens added, no-clean, low voiding, Pb-free solder paste specially formulated to provide added long term stability over a wide range of temperature conditions. The enhanced paste stability created through its novel formulation strategy increases both field application yields and on-line paste utilization.

LOCTITE GC 10 also shows excellent solderability when reflowed in both air and nitrogen across a wide range of challenging surface finishes and component metallizations including immersion Ag, OSP-Cu, ENIG and CuNiZn. It supports excellent reflow to overcome industry wide HiP and NWO challenges. The new flux chemistry protects the solder joint longer, improves coalescence and optimizes wetting performance, allowing for very shiny solder joints.

LOCTITE GC 10 is suitable for use with industry standard SAC alloys.

### FEATURES AND BENEFITS

- Halogen-free flux: passes IC with pretreatment IPC-TM-650 EN14682
- Halogen-free flux classification: ROL0 to ANSI/J-STD-004 Rev. B
- Printing: down to 0.3 mm pitch
- Printing: up to 72 hours stencil life
- Printing: up to 24 hours abandon time
- Printing: suitable for high-speed printing up to 125 mm/s<sup>1</sup>
- Printing: improved paste-transfer efficiency
- Reflow: enhanced soak process window 150-200°C (temperature and time)
- Reflow: enhanced process window with superior coalescence and wetting
- Reflow: minimal hot slump at 182°C
- Reflow: superior coalescence and wetting on small components including 01005
- Reflow: very shiny solder joints
- Reflow: clear, colorless residues for easy post-reflow inspection
- Reflow: residues print testable after 4x reflows

### TYPICAL PROPERTIES

#### Solder Powder

Solder powder is produced to a quality level that exceeds IPC industry requirements for sphericity, size distribution, impurities and oxide levels.

All solder powders are RoHS compliant.

### Particle Size Distribution (PSD) (J-STD-005A)

#### Type 3 Powder

<b>Powder Description</b>	T3
<b>Powder Particle Size Distribution</b>	25 to 45 µm
<b>Henkel Former Description</b>	AGS

#### Type 4 Powder

<b>Powder Description</b>	T4
<b>Powder Particle Size Distribution</b>	20 to 38 µm
<b>Henkel Former Description</b>	DAP

### Solder Alloy (J-STD 006)

<b>LOCTITE Code</b>	SAC305
<b>Henkel Former Description</b>	97SC
<b>Alloy Composition</b>	Sn96.5 Ag3.0 Cu0.5
<b>Melting Point (°C)</b>	217
<b>Ag %</b>	3.0

### Solder Paste Typical Properties

#### Based on Type 3 powder

<b>Metal Content, %</b>	88.5
<b>Brookfield Viscosity @ 25 °C, mPa·s (cP)</b>	933,000
<b>Spindle TF, speed 5 rpm, after 2 minutes</b>	
<b>Malcom Viscosity @ 25 °C, Pa·s</b>	207
<b>Speed 10 rpm</b>	
<b>Malcom Thixotropic Index</b>	0.52
<b>IPC Slump A21, mm</b>	
<b>25°C, 15 minutes</b>	
0.33 x 2.03 mm pads	0.10
0.63 x 2.03 mm pads	0.33
<b>IPC Slump A21, mm</b>	
<b>182°C, 15 minutes</b>	
0.33 x 2.03 mm pads	0.20
0.63 x 2.03 mm pads	0.20

#### Based on Type 4 powder

<b>Metal Content, %</b>	88.5
<b>Brookfield Viscosity @ 25 °C, mPa·s (cP)</b>	900,000
<b>Spindle TF, speed 5 rpm, after 2 minutes</b>	
<b>Malcom Viscosity @ 25 °C, Pa·s</b>	190
<b>Speed 10 rpm</b>	
<b>Malcom Thixotropic Index</b>	0.5
<b>IPC Slump A21, mm</b>	
<b>25°C, 15 minutes</b>	
0.33 x 2.03 mm pads	0.10
0.63 x 2.03 mm pads	0.33
<b>IPC Slump A21, mm</b>	
<b>182°C, 15 minutes</b>	
0.33 x 2.03 mm pads	0.20
0.63 x 2.03 mm pads	0.33

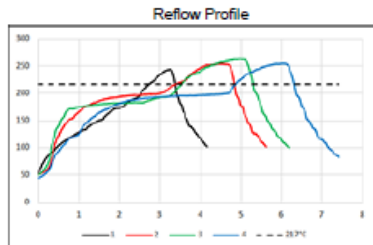


**DIRECTIONS FOR USE****Printing:**

- LOCTITE GC 10 is available for stencil printing with Type 3 and Type 4 powder.
- Printing at speeds between 25 to 125 mm/s<sup>1</sup> can be achieved using laser cut, electropolished or electroformed stencils with metal squeegees.

**Reflow:**

- Suitable for convection, IR, hot belt and vapor phase.
- Proven profiles for multiple circuit board configurations.

**Cleaning:****Cleaning Solder Paste from Stencils:**

- LOCTITE GC 10 is a no-clean solder paste designed to be left on the PCB in many applications post assembly; it does not pose a hazard to long-term reliability
- For stencil cleaning and cleaning board misprints, LOCTITE MSC D1 solvent cleaner is recommended

**Cleaning Solder Paste from Circuit Boards:**

- Residues can be removed using conventional cleaning processes based on solvents, such as LOCTITE MCF 800.
- Cleaning of some assemblies is best conducted in an ultrasonic bath.
- Tap water is not recommended for rinsing. Ionic impurities present in tap water can lead to reduced reliability of the assembly.

**RELIABILITY PROPERTIES****Solder Paste Medium:**

LOCTITE GC 10 medium contains a stable resin system, slow evaporating solvents and with minimal odor. The formulation has been tested to the requirements of the ANSI/J-STD-004B for a type ROL0 classification specifications.

Test	Specification	Results
Flux Comosion	J-STD004B (2.6.15C)	Pass
Copper Mirror	J-STD004B (2.3.32D)	Pass
Surface Insulation Resistance (SIR)	J-STD004B (2.6.3.7)	Pass
Electromigration (ECM)	J-STD004B (2.6.14.1)	Pass
Flux Activity Classification	J-STD004B	ROL0

**PACKAGING**

LOCTITE GC 10 is available in both jars and semco cartridges. Other types of packaging may be available on request.

**Storage:**

**Optimal storage:** 5 to 25°C (± 1.5°C)

Storage information may be indicated on the product container labelling. Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return products to the original container. Henkel Corporation cannot assume responsibility for product that has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

**Shelf Life:**

Provided that LOCTITE GC 10 is stored in the original container, a minimum shelf life of 365 days at 5 to 25°C (± 1.5°C) or 31 days at 40°C can be expected.

**DATA RANGES**

The data contained herein may be reported as a typical value and/or a range. Values are based on actual test data and are verified on a periodic basis.

**GENERAL INFORMATION**

**For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet (MSDS).**

**Not for Product Specifications**

The technical information contained herein is intended for reference only. Please contact Henkel Technologies Technical Service for assistance and recommendations on specifications for this product.

**Conversions**

(°C x 1.8) + 32 = °F  
 kV/mm x 25.4 = V/mil  
 mm / 25.4 = inches  
 µm / 25.4 = mil  
 N x 0.225 = lb  
 N/mm x 5.71 = lb/in  
 N/mm<sup>2</sup> x 145 = psi  
 MPa x 145 = psi  
 N-m x 8.851 = lb-in  
 N-m x 0.738 = lb-ft  
 N-mm x 0.142 = oz-in  
 mPa·s = cP

**Disclaimer****Note:**

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as differing application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

**In case products are delivered by Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS and Henkel France SA, please additionally note the following:**

In case Henkel would be nevertheless held liable, on whatever legal ground, Henkel's liability will in no event exceed the amount of the concerned delivery.

Americas  
+1.888.943.6535

Europe  
+32.1457.5611

Asia  
+86.21.3898.4800

For the most direct access to local sales and technical support visit: [www.henkel.com/electronics](http://www.henkel.com/electronics)

**In case products are delivered by Henkel Colombiana, S.A.S. the following disclaimer is applicable:**

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

**In case products are delivered by Henkel Corporation, Resin Technology Group, Inc., or Henkel Canada Corporation, the following disclaimer is applicable:**

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, **Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits.** The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

**Trademark usage**

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Reference 0.3

---

Americas	Europe	Asia
+1.888.943.6535	+32.1457.5611	+86.21.3898.4800

**For the most direct access to local sales and technical support visit: [www.henkel.com/electronics](http://www.henkel.com/electronics)**



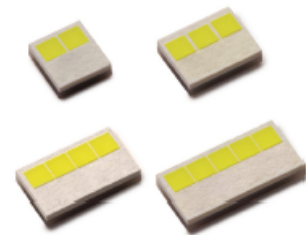
AUTOMOTIVE

## LUXEON Atilon SMD

Automotive forward lighting source

LUXEON Atilon SMD is specifically designed and tested to meet and exceed expectations for reliability, performance, and lifetime in automotive forward lighting applications. It is designed to be assembled with industry standard soldering reflow lines simplifying system integration and lowering assembly costs.

LUXEON Atilon SMD provides industry-best thermal performance in LED forward lighting applications, meeting both SAE and ECE color specifications with finer granularity than existing systems. PPAP documentation is available upon request. All LUXEON Atilon SMD LEDs are AEC-Q101 qualified.



### FEATURES AND BENEFITS

- Higher drive current capability for increased flux performance
- Low thermal resistance and power consumption results in simplified thermal management and system cost
- High flux output provides flexibility in styling and optical design
- Surface mount device to reduce overall costs

### PRIMARY APPLICATIONS

- Adaptive Lighting
  - AFS
- Daytime Running Lights
- Front Fog
- Headlight
  - Low Beam
  - High Beam
  - Static Bending





## Electrical and Thermal Characteristics

Table 3. Typical electrical and thermal characteristics for LUXEON Altilon SMD at 1000mA, 20ms MP,  $T_c=85^\circ\text{C}$ .

PARAMETER		PERFORMANCE			
		1x2	1x3	1x4	1x5
Forward Voltage, $V_f$	min	5.5V	8.1V	10.9V	13.6V
	max	6.5V	9.7V	12.9V	16.2V
Electrical Thermal Resistance, $R_{th(j-c)elec}^{(1)}$	typ	2.2°C/W	1.8°C/W	1.5°C/W	1.2°C/W
	max	2.5°C/W	2.1°C/W	1.8°C/W	1.5°C/W
Real Thermal Resistance, $R_{th(j-c)real}^{(2)}$	typ	3.2°C/W	2.6°C/W	2.2°C/W	1.8°C/W
	max	3.5°C/W	3.0°C/W	2.6°C/W	2.2°C/W

Notes for Table 3:

- $R_{th(j-c)elec}^{(1)}$ : Electrical thermal resistance (junction to case).
- $R_{th(j-c)real}^{(2)}$ : Real thermal resistance (junction to case) with wall plug efficiency included. Reference JE5D51-51, JE5D51-14, 4.1.3.

## Absolute Ratings

Table 4. Absolute ratings for LUXEON Altilon SMD.

PARAMETER	PERFORMANCE			
	1x2	1x3	1x4	1x5
Minimum DC Forward Current	100mA			
Maximum DC Forward Current	1500mA			
Operating Case Temperature at 700mA <sup>(1,2)</sup>	-40°C to 130°C			
Maximum Junction Temperature <sup>(1,2,3)</sup>	150°C			
Operating Case Temperature at Maximum Current	-40°C to 125°C			
Maximum Junction Temperature for Short Time Applications <sup>(4)</sup>	175°C			
Maximum $V_f$ at 1500mA & -40°C <sup>(1,3)</sup>	7.7V	11.5V	15.3V	19.2V
Minimum $V_f$ at 1500mA & 150°C	5.5V	8.2V	11.0V	13.7V
LED Storage Temperature	-40°C to 130°C			
Soldering Temperature	JEDEC 020c 260°C			
Allowable Reflow Cycles	2			
ESD Sensitivity <sup>(5)</sup>	8kV HBM, 2kV CDM, 400V MM			
Reverse Voltage ( $V_{reverse}$ )	LUXEON Altilon SMD LEDs are not designed to be driven in reverse bias			

Notes for Table 4:

- Proper current derating must be observed to maintain junction temperature below the maximum, so that the LED is maintained below the maximum rated operating case temperature.
- LUXEON Altilon SMD LEDs driven at or above the maximum rated operating case temperature may have shorter lifetime.
- Please consult with Lumileds for more information on maximum time durations and forward currents for these temperatures.
- Short time operations of less than 200hrs.
- Measured using human body model (per JE5D22 A114), machine model (per JE5D22 A115) and charged device model (per JE5D22 C101).

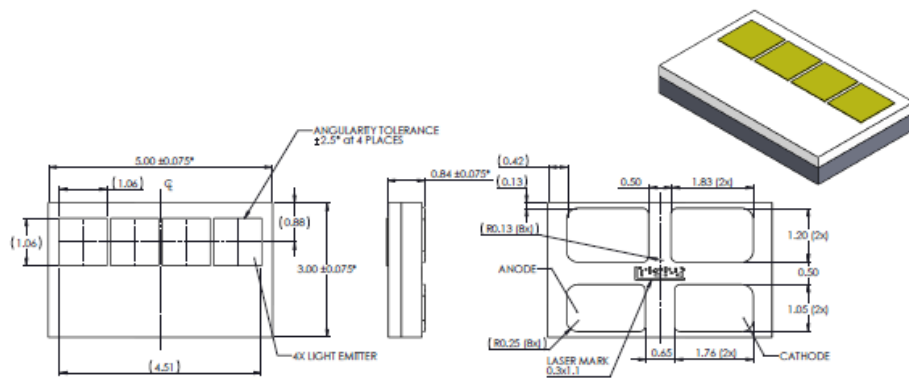


Figure 10. Mechanical dimensions for LUXEON Altilon SMD 1x4.

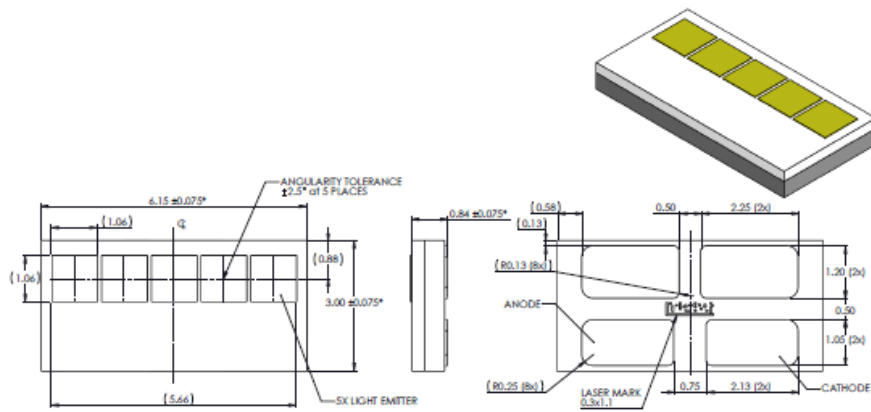


Figure 11. Mechanical dimensions for LUXEON Altilon SMD 1x5.

Notes for Figures 10 and 11:  
 1. Drawings are not to scale.  
 2. All dimensions are in millimeters.



## Reflow Soldering Guidelines

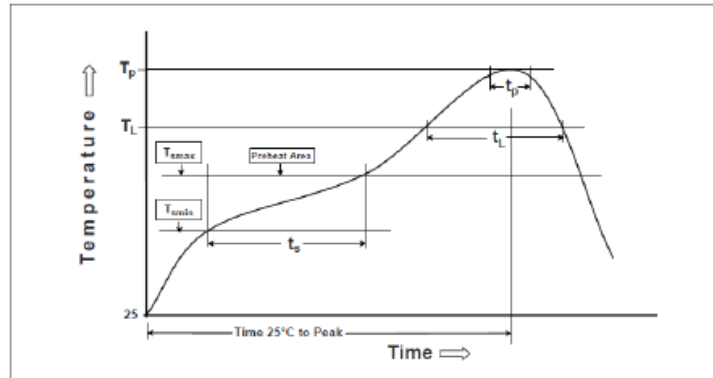


Figure 12. Visualization of the acceptable reflow temperature profile as specified in Table 7.

Table 7. Reflow profile characteristics for LUXEON Altilon SMD.

PROFILE FEATURE	LEAD FREE ASSEMBLY
Preheat Minimum Temperature ( $T_{min}$ )	150°C
Preheat Maximum Temperature ( $T_{max}$ )	200°C
Preheat Time ( $t_{min}$ to $t_{max}$ )	60 to 180 seconds
Ramp-Up Rate ( $T_{max}$ to $T_p$ )	3°C / second maximum
Liquidus Temperature ( $T_L$ )	217°C
Time Maintained Above Temperature $T_L$ ( $t_L$ )	60 to 150 seconds
Peak / Classification Temperature ( $T_p$ )	260°C
Time Within 5°C of Actual Temperature ( $t_5$ )	20 to 40 seconds
Ramp-Down Rate	6°C / second maximum
Time 25°C to Peak Temperature	8 minutes maximum

Notes for Table 7:

1. All temperatures refer to the application Printed Circuit Board (PCB), measured on the surface adjacent to the package body.

## JEDEC Moisture Sensitivity

Table 8. Moisture sensitivity levels for LUXEON Altilon SMD.

LEVEL	FLOOR LIFE	
	TIME	CONDITIONS
1	Unlimited	≤30°C / 85% RH

## Solder Pad Design

Details for recommended solder pad designs that provide low thermal resistance will be published in a separate application brief. These recommendations are not intended to represent specifications for soldering LUXEON Altilon SMD LEDs.

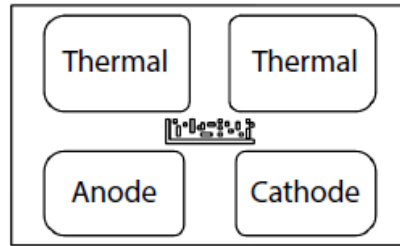


Figure 13. Recommended PCB solder pad layout for LUXEON Altilon SMD.

Notes for Figure 13:

1. All dimensions are in millimeters.
2. The thermal pads are electrically isolated from the anode and cathode contact pads.

## Packaging Information

### Pocket Tape Dimensions

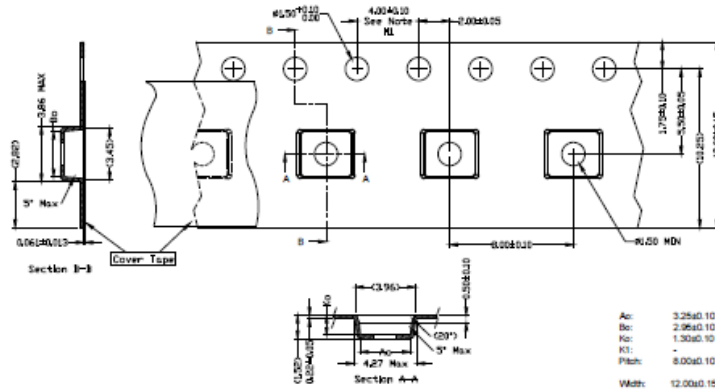


Figure 14. Pocket tape dimensions for LUXEON Altilon SMD 1x2.

Notes for Figure 14:

1. Drawings are not to scale.
2. All dimensions are in millimeters.

## Příloha 8.



# Multi Vacuum

## Innovative Technology for Top Soldering Results

As early as 1999 ASSCON set a milestone in industrial electronics production with its invention of the world's first vapor phase vacuum soldering process. Since then the company has launched a stream of new developments onto market, which satisfy the increased requirements of modern soldering technology. The centerpiece is Multi Vacuum technology.

In the Multi Vacuum soldering process products are placed under a vacuum both before and during melting of the solder paste. A vacuum before reaching the liquidus temperature is particularly effective because the air inclusions, so-called bubbles or voids, arising when the solder parts are joined, are removed before the solder paste is melted. The main cause of gaseous bubbles on the solder joint in the subsequent production process is outgassing from components, PCBs and substrate material, and also reactive gas released when the oxide layers are removed by flux.

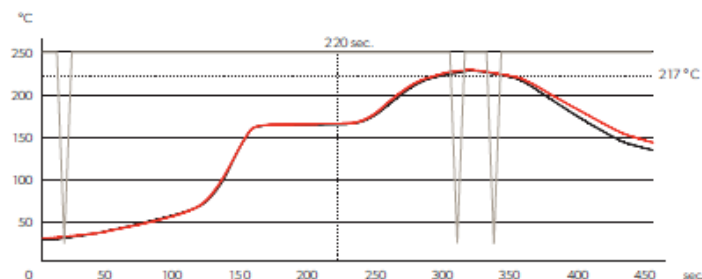
In order to effectively remove these bubbles as well, modules are exposed to a series of separately controlled vacuum processes as part of the patented ASSCON vacuum soldering process. Air or gas bubbles on the solder joint are removed by suction and vanish. Particularly in the case of large-area solder joints, considerably more bubbles can be removed that would be possible in a single vacuum stage.

The Multi Vacuum process also permits void-free solder joints on products with an above-average outgassing potential, for instance in multi-layer applications. Gases still occurring during the first vacuum stage can also be effectively removed from the solder joint while still liqueous during follow-up vacuum stages. Even large voids can be removed from the solder joint in this process consisting of several small phases.

Multi Vacuum soldering is the answer to the challenges of the future. ASSCON is the leader in the field of vapor phase soldering technology and develops innovative processes.

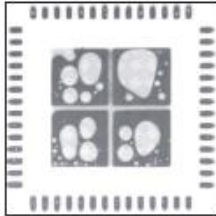
### MULTI VACUUM

A typical temperature profile with pre- and two main vacuum phases after soldering.

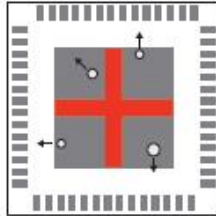


**MULTI VACUUM PROCESS**

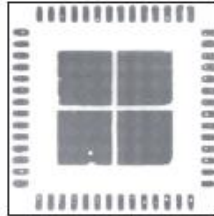
Procedure for reducing void quota prior to the soldering process



**SOLDER JOINT PRIOR TO VACUUM PROCESS**  
High void occurrence



**VACUUM PROCESS**  
Voids are transported to the peripheral areas



**SOLDER JOINT AFTER VACUUM PROCESS**  
Result after two main vacuum phases



after

**voids**  
**< 1%**

After Multi Vacuum treatment.  
[oscon.de/multivacuum](http://oscon.de/multivacuum)

**FUTURE CHALLENGES**

Soldering processes are subject to ever increasing demands in the manufacture of industrial electronics. Cycle times are getting shorter and shorter, while products must be top quality to stay abreast of increasing demands.

- Power electronics modules, for instance, require large-area joint faces. They must be void-free to achieve maximum module efficiency.
- Electronic modules are being used increasingly in key daily service areas. Failsafe reliability is essential precisely in this sector. Voids in solder joints represent one of the major risks of failure.
- This is also true of the life span of such modules. Void-free solder joints are also imperative to achieve this goal.
- Spatial electronic modules – known as 3D MD applications – will play a key role in the future. And the same applies: Void-free formation of the solder joint at lowest and homogeneous process temperature can only be achieved by vacuum soldering in the vapor phase.

**Tomorrow's Electronics: Powerful and reliable**



RENEWABLES



SATELLITE TECHNOLOGY



AVIATION



AEROSPACE



MEDICAL ENGINEERING






ELECTRIC VEHICLES

SMD components are already used today in many sectors. In the future they will assume an increasingly important role in EV, the distribution of electricity generated by renewables, in aerospace, medical engineering and military applications. These implementation areas call for the highest standards of performance. Optimum connexion of components with the printed board achieved by the Multi Vacuum process is thus vital. Manufacturers can thus enhance the reliability and service life of their products.



## Our Product Series

### Multi Vacuum Technology

IMPLEMENTATION AREA	SMALL SERIES	SERIES PRODUCTION	LARGE SERIES PRODUCTION
			
PRODUCT	VP800 VACUUM	VP6000 VACUUM	VP7000 VACUUM
TECHNICAL DATA			
Maximum solder material format (mm)	480 x 295	600 x 600	520 x 450/optional 1000 x 450
Supply voltage	400V/3/N/PE -50Hz/60 Hz	400V/3/PE/N - 50Hz/60Hz	400V/3/PE/N - 50Hz/60Hz
Average energy consumption per hour	2,2kWh/2,7kWh*	3.0kWh	4.0kWh
Ready for operation	ca. 60min.	ca. 35min.	ca. 45min.
Operating mode	Batch	Batch/upgradable to inline	Inline
Vacuum pump	0.5mbar	0.5mbar	0.5mbar

# 50 %

less energy consumption

# 0.5 mbar

vacuum

**OUR CERTIFICATES**

ASSCON permits compliance with the statutory provisions (WEEE and RoHS) for the conversion of all electronic products to lead-free technology. All systems are suitable for lead-free solder temperatures.

The quality management of ASSCON Systemtechnik-Elektronik GmbH has been certified to DIN EN ISO 9001:2008 (ZN: 01 100 060704). In May 2008 the first ASSCON soldering systems were qualified and certified as series systems to UL and CSA standard (as per mark control no. 3147382; Intertek Testing Services NA Inc.).

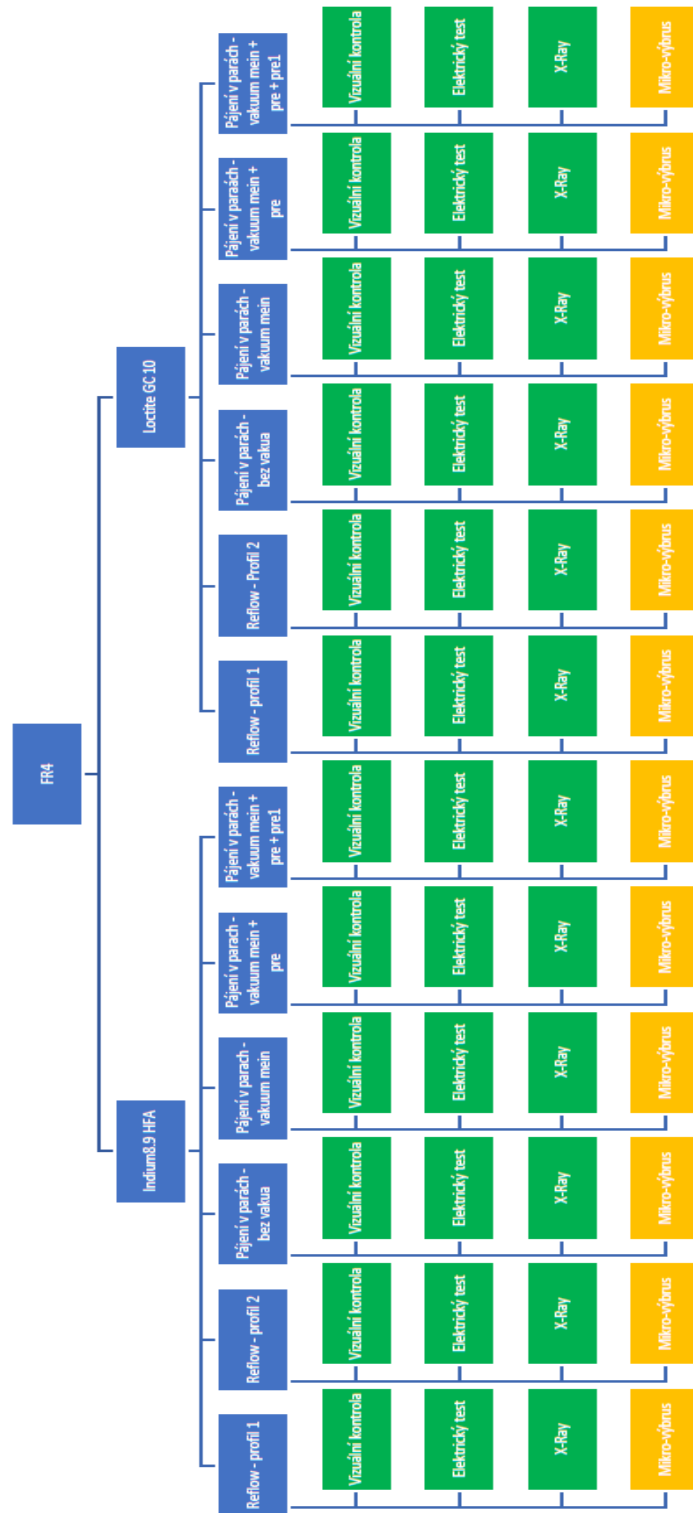




\* Capacity 80 %/100 %

ASSCON Systemtechnik-Elektronik GmbH  
 Messerschmittweg 35 · 86343 Königsbrunn · Germany  
 P +49 8231.95991.0 · F +49 8231.95991.90

# Příloha 9.



# Příloha 10.

