



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELEKTRONIC TECHNOLOGY

# TECHNOLOGIE HAL A VLIV VYBRANÝCH FAKTORŮ NA KVALITU

HAL TECHNOLOGY AND SELECTED PARAMETERS INFLUENCE ON QUALITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

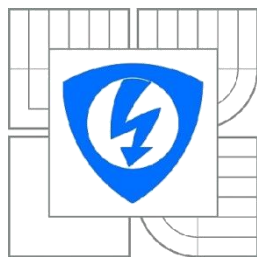
MIROSLAV JAKUB

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ STARÝ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Mikroelektronika a technologie**

**Student:** Miroslav Jakub

**ID:** 125231

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

## NÁZEV TÉMATU:

**Technologie HAL a vliv vybraných faktorů na kvalitu**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte typy povrchových úprav desek s plošnými spoji a jejich vlastnosti. Podrobněji rozeberte technologii HAL s olovnatou a bezolvnatou pájkou.

Na testovacích deskách s rozdílnými velikostmi i fonty písmen definovanými nepájivou maskou určete limitní hranici bezdefektního pokrytí pájkou a výsledky vyhodnoťte.

Zpracujte vliv následujících faktorů na defekty u písmen menších než 0,4 mm. Sledujte kvalitu vyvolání nepájivé masky, množství reziduí oplachové vody na písmencích po předúpravě, kontaminaci tavidla vodou i na časovou prodlevu desky v pájce.

Pomocí mikrovýbrusu určete obvyklou tloušťku nepájivé masky na měděných plochách a stanovte poměr limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky.

Diskutujte dosažené výsledky, analyzujte vzniklé defekty a možné příčiny.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 11. 2. 2013

**Termín odevzdání:** 6. 6. 2013

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Starý, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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:**

Bakalářská práce popisuje a zabývá se problematikou výroby desek plošných spojů. Je zaměřena především na problematiku procesu bezolovnatého HALu a vlivů vybraných faktorů na kvalitu ve výrobě firmy GATEMA s.r.o. v Boskovicích. Obsahuje analýzu DPS pomocí mikrovýbrusů, mikroskopu a ukázek defektů vzniklých při tomto procesu.

Ukazuje na testovacích deskách kvalitu vyvolání nepájivé masky, kontaminaci tavidla vodou, zbytky vody na DPS a porovnává časovou prodlevu DPS v pájce. Dále také určí limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou a stanový obvyklou tloušťku nepájivé masky na Cu ploškách a poměr mezi šířkou písmene a tloušťky nepájivé masky.

## **KLÍČOVÁ SLOVA:**

HAL, DPS, nepájivá maska, expozice, vyvolání, izolpropylalkohol, deionizovaná voda, tavidlo

## **ABSTRACT:**

Bachelor thesis describes and deals the problems of printed circuit boards production. It focuses on issues of process of lead – free HAL and influence of selected parameters on quality in production process GATEMA s.r.o. in Boskovice. Bachelor thesis contains analysis of PCB using microsection, optical microscopy and a sample of defects created during this process.

Bachelor thesis presents on the test boards quality of solder mask developing, evaluates flux contamination with water, residual water on the PCB and it compares the PCB delay in liquid solder. It also determines the limit of non defective cover with the solder and determines the typical thickness of solder mask on the Cu pads and the ratio between the width of font and solder mask thickness.

## **KEYWORDS:**

HAL, PCB, solder mask, exposition, developing, isopropyl alcohol, deionized water, flux

JAKUB, M. *Technologie HAL a vliv vybraných faktorů na kvalitu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 80 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Technologie HAL a vliv vybraných faktorů na kvalitu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 30. května 2013

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Také děkuji pracovníkům firmy GATEMA s.r.o. - Miroslavu Tobolovi, Jiřímu Příkrylovi a Daně Svobodové za poskytnutí informací a přístupu do výroby.

V Brně dne 30. května 2013

.....

(podpis autora)

# OBSAH

ÚVOD	10
1 POVRCHOVÉ ÚPRAVY DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	11
1.1 HAL (Hot Air Leveling)	12
1.2 Imerzní Ag (Immersion Silver)	13
1.3 Imerzní cín (Immersion Tin)	13
1.4 OSP (Organic Solder Preservatives)	14
1.5 ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold)	15
1.6 Ni/Au	15
2 MATERIÁLY A VYBRANÉ VÝROBNÍ OPERACE DPS	16
2.1 Základní materiál	16
2.2 Pájky a tavidla	17
2.3 Kartáčování, čištění	18
2.4 Zpracování nepájivé masky	19
2.5 HAL	21
3 METODIKA MĚŘENÍ	22
3.1 Přehled kontrolovaných operací, jejich zkoušení a kvalita pozorování mikroskopu	22
3.2 Příprava vzorků mikrovýbrusů	23
3.3 Metoda smáčecích vah	24
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	26
4.1 Limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou	26
4.2 Limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou pro jiný motiv	39
4.3 Kvalita vyvolané nepájivé masky	41
4.3.1 Barevné změny na mědi	41
4.3.2 Kvalita expozice a vyvolání	43
4.3.3 Ostrost nepájivé masky	46
4.4 Množství reziduí oplachové vody na písmenech po předúpravě	47
4.5 Měření vlivu tavidla s různým obsahem vody na smáčivost	48
4.6 Vliv časové prodlevy tavidla na limitní hranici pokrytí pájkou	51
4.7 Vliv předehřevu tavidla na limitní hranici pokrytí pájkou	52
4.8 Časová prodleva desky v pájce	53
4.9 Poměr limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky.	56
4.10 Diskuze dosažených výsledků a doporučení	64
5 ZÁVĚR	66
6 SEZNAM LITERATURY	67
7 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	69
8 PŘÍLOHY A VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	70

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Zařízení pro měření smáčení metodou smáčecích vah [9]	24
Obrázek 2 Křivka rovnováhy smáčení [9]	25
Obrázek 3 Příklady průběhů časové závislosti smáčecí síly[9]	25
Obrázek 4 Šířka písmene na 1. straně	27
Obrázek 5 Šířka písmene na 2. straně	28
Obrázek 6 Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 1. stranu	29
Obrázek 7 Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 2. stranu	29
Obrázek 8 Šířka písmene na 1. straně	30
Obrázek 9 Graf celkové kvality pokrytí pájkou Sn/Pb pro 1. stranu	31
Obrázek 10 Graf celkové kvality pokrytí pájkou Sn/Pb pro 2. stranu	31
Obrázek 11 Šířka písmene na 2. straně	32
Obrázek 12 Šířka písmene na 1. straně	33
Obrázek 13 Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 1. stranu po použití IPA	34
Obrázek 14 Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 2. stranu po použití IPA	34
Obrázek 15 Šířka písmene na 2. straně	35
Obrázek 16 Šířka písmene na 1. straně	36
Obrázek 17 Graf celkové kvality pokrytí pájkou Sn/Pb pro 1. stranu po použití IPA	37
Obrázek 18 Graf celkové kvality pokrytí pájkou Sn/Pb pro 2. stranu po použití IPA	37
Obrázek 19 Šířka písmene na 2. straně	38
Obrázek 20 Nová testovací filmová předloha	39
Obrázek 21 Font 2000 2000 H, 100 $\mu$ m, 350 $\mu$ m	41
Obrázek 22 Font 1500 1500 H, 100 $\mu$ m, 350 $\mu$ m	41
Obrázek 23 Font 2000 2000 H, 100 $\mu$ m, 350 $\mu$ m	41
Obrázek 24 Font 1500 1500 H, 120 $\mu$ m, 350 $\mu$ m	41
Obrázek 25 Font 2000 2000 H, 100 $\mu$ m, 350 $\mu$ m	42
Obrázek 26 Font 1500 1500 H, 120 $\mu$ m, 350 $\mu$ m	42
Obrázek 27 Font 2000 2000 V, 100 $\mu$ m, 400 $\mu$ m	42
Obrázek 28 Font 1500 1500 V, 120 $\mu$ m, 400 $\mu$ m	42
Obrázek 29 Font 2000 2000 V, 100 $\mu$ m, 400 $\mu$ m	42
Obrázek 30 Font 1500 1500 V, 120 $\mu$ m, 400 $\mu$ m	42
Obrázek 31 Font 2000 2000 V, 100 $\mu$ m, 400 $\mu$ m	42
Obrázek 32 Font 1500 1500 V, 120 $\mu$ m, 400 $\mu$ m	42
Obrázek 34 Testování expozice: expoziční klín	44
Obrázek 33 Charakteristika vlnové délky pro UV lampu	44
Obrázek 35 Porovnání DPS po 1x vyvolání a po 2x vyvolání	44
Obrázek 36 Mikrovýbrus DPS po 2x vyvolání, šířka písmen 350 $\mu$ m	45

Obrázek 37 Mikrovýbrus DPS, Snížení rychlosti o 25%, Snížení rychlosti o 50% vpravo, šířka písmen 400 $\mu$ m	45
Obrázek 39 DPS 1x vyvolání	46
Obrázek 38 DPS 2x vyvolání vpravo	46
Obrázek 40 DPS, Snížení rychlosti o 25%	46
Obrázek 41 DPS, Snížení rychlosti o 50%	46
Obrázek 42 Kapky vody v písmenkách na DPS, font 1000 1000	47
Obrázek 43 Kapky a ostrůvky na vybrané části DPS, font 1000 1000	47
Obrázek 44 Poměr parametrů pro určení výsledné síly smáčení	49
Obrázek 45 Průběh smáčecích sil u vzorků PALUX 30H s různým obsahem deiovody	50
Obrázek 46 DPS, font H 2000 2000, po projetí 2 x vývojkou, HAL 2/3 s vlevo, HAL 2/2 s vpravo	53
Obrázek 47 DPS , font H 2000 2000, po projetí 2x vývojkou, HAL 1/3 s, po projetí 1x vývojkou, HAL 2/5 s	53
Obrázek 48 DPS, font H 2000 2000, přebytek pájky na DPS	53
Obrázek 49 DPS, font H 2000 2000, snížení rychlosti dopravníku u vývojkou o 25% HAL 1/2 vlevo, o 50% HAL 4 vpravo	54
Obrázek 50 Mikrovýbrus, kvalita nepájivé masky pro šířky písmen 250 $\mu$ m a 300 $\mu$ m	56
Obrázek 51 Mikrovýbrus, kvalita nepájivé masky pro šířky písmen 350 $\mu$ m, 2x vývojka	57
Obrázek 52 Mikrovýbrus, kvalita nepájivé masky pro šířku písmene 400 $\mu$ m	57
Obrázek 53 Tloušťka nepájivé masky a plátované mědi po bezolovnatém HAL	58
Obrázek 54 Tloušťka nepájivé masky a plátované mědi po IPA bezolovnatém HAL	59
Obrázek 55 Tloušťka nepájivé masky a plátované mědi po olovnatém HAL	60
Obrázek 56 Tloušťka nepájivé masky a plátované mědi po IPA olovnatém HAL	61
Obrázek 57 Graf závislosti počtu defektů na poměru šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky u bezolovnatého HAL	62
Obrázek 58 Graf závislosti počtu defektů na poměru šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky u bezolovnatého HAL, s přidáním operace ponoření do izopropylalkoholu	62
Obrázek 59 Graf závislosti počtu defektů na poměru šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky u olovnatého HAL	63
Obrázek 60 Graf závislosti počtu defektů na poměru šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky u olovnatého HAL, s přidáním operace ponoření do izopropylalkoholu	63

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Smáčecí charakteristiky tavidla kontaminované vodou	70
Příloha č. 2: Stanovení poměru limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky	72
Příloha č. 3: Limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou	77
Příloha č. 4: Technické listy pro tavidlo PALUX 30H	80

# SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vlastnosti nejpoužívanějších základních materiálů [10]	17
Tabulka 2 Členění tavidel dle ANSI J-STD-004 [11]	18
Tabulka 3 Klasifikace tavidel pro měkké pájení dle ČSN EN ISO 9454-1 [10]	18
Tabulka 4 DPS 1. strana font V 2000 2000 a font V 1500 1500	27
Tabulka 5 DPS 1. strana font V 1000 1000	27
Tabulka 6 DPS 2. strana font H 2000 2000 a font H 1500 1500	28
Tabulka 7 DPS 2. strana font H 1000 1000	28
Tabulka 8 DPS 1. strana font V 2000 2000 a font V 1500 1500	30
Tabulka 9 DPS 1. strana font V 1000 1000	30
Tabulka 10 DPS 2. strana font H 2000 2000 a font H 1500 1500	32
Tabulka 11 DPS 2. strana font H 1000 1000	32
Tabulka 12 DPS 1. strana font V 2000 2000 a font V 1500 1500	33
Tabulka 13 DPS 1. strana font V 1000 1000	33
Tabulka 14 DPS 2. strana font H 2000 2000 a font H 1500 1500	35
Tabulka 15 DPS 2. strana font H 1000 1000	35
Tabulka 16 DPS 1. strana font V 2000 2000 a font V 1500 1500	36
Tabulka 17 DPS 1. strana font V 1000 1000	36
Tabulka 18 DPS 2. strana font H 2000 2000 a font H 1500 1500	38
Tabulka 19 DPS 2. strana font H 1000 1000	38
Tabulka 20 Složení vzorků	48
Tabulka 21 Naměřené hodnoty maximální síly smáčení a jeho rychlosti smáčení	50
Tabulka 22 Tabulka vzorku s teplotami při procesu HAL	54
Tabulka 23 Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý	58
Tabulka 24 Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý	58
Tabulka 25 Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý s IPA	59
Tabulka 26 Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý s IPA	59
Tabulka 27 Defektnost a poměr pro HAL olovnatý	60
Tabulka 28 Defektnost a poměr pro HAL olovnatý	60
Tabulka 29 Defektnost a poměr pro HAL olovnatý s IPA	61
Tabulka 30 Defektnost a poměr pro HAL olovnatý s IPA	61

# ÚVOD

Tato práce se zabývá technologií HAL a sledování vlivu vybraných faktorů na kvalitu. Základem elektroniky dnešní doby je deska plošných spojů. Jednou z mnoha vlastností desky je povrchová úprava, která ovlivňuje kvalitu a spolehlivost. Z tohoto důvodu patří mezi důležité sledovací parametry. Po teoretickém prostudování informací o povrchových úpravách jsem věnoval pozornost jednotlivým typům povrchových úprav. Jejím výhodám a nevýhodám. Největší pozornost je věnována povrchové úpravě metody HAL.

Praktická část bakalářské práce je zaměřená na experimenty, týkající se určení limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou na testovací DPS. Jejím určením můžeme zabránit zbytečným opravným procesům, které by DPS tepelně zatěžovaly a prodlužovaly. Sledování kvality nepájivé masky, do níž je zahrnuta ostrost nepájivé masky, její expozice a vyvolání. Pozorování množství reziduí oplachové vody na písmencích, kontaminaci tavidla vodou a časovou prodlevu DPS v pájce. V této práci je také určena obvyklá tloušťka nepájivé masky a provedeno stanovení poměru mezi šířkou písmene a tloušťce nepájivé masky.

Všechny tyto parametry jsou důležité pro finální spolehlivost výrobku. Pro testování byla vybrána povrchová úprava HAL s bezolovnatou pájkou SN100C a olovnatou pájkou SnPb, z důvodů jejich použití ve firmě GATEMA.

# 1 POVRCHOVÉ ÚPRAVY DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

Povrchová úprava měděného povrchu slouží především jako ochrana před oxidací, zajišťuje dlouhodobou skladovatelnost a dobrou pájitelnost povrchu. Typ povrchové úpravy musí respektovat požadavky na následnou montáž a výrazně ovlivňuje spolehlivost a jakost spojů [10].

Všeobecné požadavky na volbu povrchové úpravy DPS:

- Materiálová kompatibilita:
  - chemicko-fyzikální kompatibilita s měděným povrchem DPS
  - kompatibilita s nepájivou maskou
  - metalurgická kompatibilita
- Procesní kompatibilita:
  - rovinnost povrchu
  - tloušťka vrstvy 0,1-0,5  $\mu\text{m}$
  - vhodnost pro aplikace s velmi jemnou roztečí vývodů (0,5-0,3 mm)
  - možnost kontaktování
  - malý teplotní stres substrátu pod 65°C
  - snadné řízení procesu a údržba lázně
  - teplotní odolnost povrchové úpravy DPS pro vícenásobný teplotní cyklus
  - dobré mechanické a elektrické vlastnosti v relaci k pracovním podmínkám
  - dlouhodobá skladovatelnost i spolehlivost
- Environmentální kompatibilita:
  - netoxická povrchová úprava
  - ekologické zpracování odpadních vod
  - kompatibilní s environmentálními vlivy [10]

## 1.1 HAL (Hot Air Leveling)

HAL je známý velmi dobrou charakteristikou smáčení a v minulosti býval nejrozšířenější užívanou povrchovou úpravou desek s plošnými spoji proti oxidaci. HAL je metoda žárového nanesení pájky SN100C či SnPb na povrch odhalené mědi po nepájivé masce.

Technika HAL spočívá v tom, že se deska svisle ponoří do roztavené slitiny cín/olovo nebo bezolovnaté slitiny cínu, která vyhovuje směrnici RoHS. Poté se vynoří a pomocí nožů s horkým vzduchem se odfoukne přebytečná pájka. Některé firmy používají dvojí ponoření, což je z technologického hlediska lepší. V prvním ponoru se deska předeřeje a v druhém se snáze nanese pájka na měděné plošky. Až po ukončení druhého ponoru do slitiny se horkým vzduchem odfoukne přebytečná pájka a dojde k vyrovnání pájky horkým vzduchem. Výsledný povrch je relativně rovný. Deformace tvaru DPS ve výrobě a povrchové úpravě před vlastním pájením by nemělo být větší než: 1,00% u DPS tloušťky 0,8 – 1,5 mm a 0,5% u DPS tloušťky 1,8 – 3,2 mm.

V minulosti se předpokládalo, že použití HALu se výrazně omezí, zejména z ekologických (vznik zplodin), aplikačních důvodů a z důvodu náročného energetického procesu. Nyní se ve výrobě postupně začíná modifikovat metoda HAL v bezolovnatý proces [10].

Základní nevýhody HALu:

- špatná rovinnost pájecích ploch krytých pájkou 1-20  $\mu\text{m}$
- horší spolehlivost procesu, deformace a prohýbání DPS
- nemožnost kontaktování vodičů
- nevhodné pro tenké DPS (cca 0,4 mm)
- nevhodnost pro HDI
- přítomnost olova v pájce.
- nevhodné pro press- fit aplikace
- energetická náročnost provozu

Základní výhody HALu:

- vynikající pájitelnost
- dlouhodobá skladovatelnost- minimálně 12 měsíců
- možnosti vícenásobného teplotního cyklu
- slitina Sn/Pb je relativně levná
- možnost použít bezolovnatou slitinu SN100C, ale je nutnost použití vyšších teplot při aplikaci [4][10]

## 1.2 Imerzní Ag (Immersion Silver)

Bezprúdovým nanášením atomů stříbra na povrch mědi vzniká ochranná vrstva imerzního stříbra. Tato povrchová úprava je vhodná pro SMT, flip čip a BGA. Jsou kompatibilní se všemi typy pájecích masek. V praxi se moc neuplatňují [7].

Vlastnosti:

- rychlost aplikace
- malé technologické okno
- vysoká bezpečnost procesu
- malá energetická náročnost, velké množství chemického odpadu

Perspektiva:

- bezolovnatý proces „lead-free“
- jednoduchá a levná výroba [7]

## 1.3 Imerzní cín (Immersion Tin)

Chemický cín se vytváří selektivní metodou cínování měděných povrchů a pro dnešní požadavky pro plošné spoje má odpovídající vlastnosti. Povrchová úprava je vhodná při čistém zacházení s materiálem a pro pájení bezolovnatými pájkami. Po rozbalení je vhodné DPS osadit s minimálními časovými prodlevami, aby nedošlo ke kontaminaci povrchu a oxidaci [4].

Výhody:

- výborná rovinnost povrchu
- vícenásobný cyklus teplotní
- jsou použitelné na všechny nepájjivé masky
- bezolovnatý proces [4]

## 1.4 OSP (Organic Solder Preservatives)

OSP je chemická metoda nanášení organických inhibitorů zabraňujících oxidaci měděných kontaktních ploch. Zpravidla po tisku nepájivé masky. Používají se látky na bázi benzoimidazolů. Vrstvy jsou fixovány slabými Van der Waalsovými silami. Tato povrchová úprava se používá nejvíce pro jednostranné desky. Metodu OSP lze použít i na vícevrstvé desky, mají však podmínku, mohou projít pouze dvěma procesy pájení. Výhodou proti HALu je zejména vynikající rovinnost povrchu a až o 60% nižší cena. Nevýhodou jsou kratší doby skladování. OSP je dobrá díky úspoře drahých kovů pro vytvoření povrchové úpravy. Výrobci zdůrazňují skutečnost, že zbytečné tepelné šoky hodně snižují životnost a spolehlivost výrobku. OSP se nanáší při pokojové teplotě [4][10][14].

Některá doporučení při zpracování:

- správná volba nízko aktivních tavidel
- minimalizování teploty přetavení a rychlejší chlazení pájeného spoje
- zvýšit ponor DPS do pájky pro lepší vyplnění otvorů
- vhodné použití dusíku

Výhody OSP :

- nedochází k teplotním šokům
- možné oživení povrchu
- nevzniká intermetalická vrstva
- pájení za použití běžných tavidel
- bezolovnaté pájení a pájení speciálních slitin
- bezproblémové osazování a kompatibilita součástek

Nevýhody OSP :

- nevhodný povrch pro press-fit aplikace
- maximálně dvojnásobný teplotní cyklus
- náchylná k poškození, rychlé stárnutí a teplotní citlivost[4][10][14]

## 1.5 ENIG ( Electroless Nickel Immersion Gold)

ENIG se používá v průmyslu od začátku 90. let. ENIG je technologie kombinující nanesením chemického niklu a poté vrstvy zlata. Nejznámější poruchou ve výrobě se nazývá Black Pad, při které se od vrstvy niklu oddělí pájený spoj [12].

Výhody:

- vynikající odolnost proti korozi
- dlouhá doba skladovatelnosti
- výborná rovinnost a pájitelnost
- možnost kontaktování
- bezolovnaté technologie
- možnost vícenásobného pájení

Nevýhody:

- dražší výroba
- výskyt Black Pad [4]

## 1.6 Ni/Au

Galvanická metoda nanášení vrstvy niklu a poté vrstvy zlata na odhalený měděný povrch DPS, zpravidla po tisku nepájivé masky, pro tzv. přímé konektory [10]. Nikl má vlastnost oxidovat a tím se pájitelnost snižuje. Nanesená vrstva zlata zabraňuje oxidaci. Výsledná kvalita provedení je podmíněna tím, že se na povrchu mědi vytvoří dostatečně silná vrstva kovu. To je nutné pro zabránění difúze finálního povrchu zlata do vrstvy mědi. V opačném případě vznikne intermetalická vrstva, která je nepájitelná. Při vzniku intermetalické vrstvy, se stanou spoje křehké a zhoršují se mechanické vlastnosti. Výrobní proces je finančně náročný [4].

Výhody:

- rovinnost povrchu
- možnost kontaktování
- dobrá korozní odolnost
- použití v náročnějších aplikacích
- bezolovnatá technologie

Nevýhody:

- difúze zlata z povrchu desky do spoje
- vytváření intermetalických sloučenin
- technologicky náročný a drahý výrobní proces [4]

# 2 MATERIÁLY A VYBRANÉ VÝROBNÍ OPERACE DPS

## 2.1 Základní materiál

### Používané materiály:

#### FR - 2

U tohoto základního materiálu je jako výztuž použit celulózový papír a jako pojivo fenolformaldehydová pryskyřice. Vyrábí se v několika provedeních pro běžné teploty 70°C – 150°C. Obsah pryskyřice obvykle bývá 35 – 38% a platí, že čím větší obsah pryskyřice tím tvrdší materiál. Je relativně levný a má přijatelné elektrické vlastnosti. Používá se pro nenáročné aplikace, zejména pro jednovrstvové DPS. Mezi výhody patří dobré opracování a vrtání. Nevýhody jsou zejména navlhavost, malá odolnost vůči elektrickému oblouku, horší mechanické vlastnosti, křehkost materiálu s větším obsahem pryskyřice a malá pevnost měděné fólie v odtrhu [10].

#### FR - 3

Materiál má lepší mechanické, elektrické i tepelné vlastnosti, vyšší pevnost odtrhu měděné fólie a menší navlhavost. Jeho použití můžeme vidět v náročnějších aplikacích. Je levnější než FR4. Jako výztuž je zde použit tvrzený papír a epoxidová pryskyřice [10][5].

#### FR - 4

Zkratka pro flame retardant. Jako výztuž je pro FR4 použita skleněná tkanina a jako pojivo je epoxidová pryskyřice. Výhodou tohoto materiálu je vysoká rozměrová stabilita, vynikající mechanické vlastnosti jako pevnost v ohybu, vysoká rovinnost povrchu a také její odolnost vůči teplotním šokům vzniklých při pájení. Přidáním aditiv do epoxidové pryskyřice upravujeme její materiálové vlastnosti, zvýšení bodu skelného přechodu a snížení součinitele tepelné roztažnosti. Cena materiálu je velmi vysoká, ale můžeme je použít do všech aplikací, kde požadujeme vysoké nároky na materiál. Materiál je použit především v měřicí a regulační technice [5][3].

V našem případě ve firmě GATEMA byla použita plátovaná měděná deska FR4 (s Cu folií, tloušťky 1,5mm s rozměry 295x460 mm, oboustranná s 18 $\mu$ m Cu)

Tabulka 1 Vlastnosti nejpoužívanějších základních materiálů [10]

<b>Materiál Vlastnosti</b>		<b>FR-2</b>	<b>FR-3</b>	<b>FR-4</b>
Povrchový izolační odpor	$\Omega$	$1.10^{10}$	$3.10^{11}$	$4.10^{12}$
Vnitřní izolační odpor	$\Omega.cm$	$2.10^{12}$	$4.10^{12}$	$8.10^{14}$
Permitivita (1Mhz)	-	4,7	4,9	4,7
Ztrátový činitel (1Mhz)	-	0,047	0,041	0,019
Teplota skel. Přechodu Tg	$^{\circ}C$	105	110	130-170
TCE xy/z (pro menší T menší Tg)	$ppm.K^{-1}$	18/300	18/300	13/60
Cenový faktor		0,5	0,65	1

## 2.2 Pájky a tavidla

### Pájky olovnaté

V minulosti se používala nejčastěji, je to pájka skládající se z podílu 60 – 63 hmotnostních % cínu a 40 – 37 hmotnostních % olova díky specifickým vlastnostem [11]:

- teplota tavení slitiny 183 – 189  $^{\circ}C$  vyhovuje z hlediska návrhu, technologického procesu i běžných pracovních teplot elektronických zařízení
- cín vykazuje velmi dobré smáčecí charakteristiky,
- pájecí slitina nevytváří křehké intermetalické fáze
- příznivá cena

Dnes je méně používána kvůli dané směrnici EU od roku 2006. Pájecí slitiny Sn63Pb37 se z důvodu toxicity snažíme nahradit bezolovnatými pájkami. Výjimky mají pouze v armádním a zdravotnickém průmyslu [13].

### Pájky bezolovnaté

Bezolovnaté pájky mají větší podíl cínu ve slitině a potřebují vyšší teplotu pájení, mají větší tendenci k oxidaci [11].

Bezolovnaté slitiny musí vyhovovat těmto požadavkům:

- kompatibilita s používanými zařízení i postupy
- teplota tavení  $> 185^{\circ}C$
- minimální rozsah plastického stavu
- ekvivalentní a lepší materiálové charakteristiky

Výběr slitiny pájky závisí na:

- druhu spojovaných materiálů i jejich povrchové úpravě
- množství příměsí
- mechanických vlastnostech, požadované teplotě a technice zpracování

Příměsí In, Zn, Bi, Sb v bezolovnatých pájkách vykazují špatné smáčecí charakteristiky.

V našem případě ve firmě GATEMA používají bezolovnatou pájku SN100C od firmy FELDER. Jedná se o slitinu cínu, mědi, niklu a germania. Mezi jeho nevýhody patří vyšší teplota tavení  $227^{\circ}C$ , přičemž ve firmě GATEMA používají pracovní teplotu roztavené pájky

v HAL 270 - 280°C. Jeho výhody jsou lesklý vzhled a nižší cena. Zastoupení jednotlivých prvků je následující: cín 99,3 %, měď 0,7%, nikl 0,05% a germanium [11].

### Typy tavidla

Tavidlo urychluje smáčecí proces a pomáhá k vytvoření spolehlivého pájeného spoje. Je nezbytnou součástí při pájení. Funkce tavidla:

- odstraňuje nečistoty a reakční produkty ze spojovaných povrchů a umožní pájce, aby se dobře roztekla
- zlepšuje přenos tepla
- odstraňuje oxidy ze spojovaných povrchů a brání jejich reoxidaci [10]

Tabulka 2 Členění tavidel dle ANSI J-STD-004 [11]

Základ Tavidla	Zkratka	Úroveň Aktivace (% halidů)					
		L0	L1	M0	M1	H0	H1
		0	0	0,5 - 2	0,5 - 2	nad 2	nad 2
<b>přírodní pryskyřice</b>	<b>ROSIN RO</b>	A	B	C	D	E	F
<b>syntetická pryskyřice</b>	<b>RESIN RE</b>	G	H	I	J	K	L
<b>organické kyseliny</b>	<b>ORGANIC OR</b>	M	N	P	Q	R	S
<b>anorganické kyseliny</b>	<b>INORGANIC IN</b>	T	U	V	W	X	Y

Tabulka 3 Klasifikace tavidel pro měkké pájení dle ČSN EN ISO 9454-1 [10]

Typ tavidla	Zákl.složka	Aktivátor	Forma tavidla
1. pryskyřicové	1. kalafuna	1. bez aktivátoru	A tekuté
	2. bez kalafuny	2. aktivováno halogenidy	B tuhé
	syntetická pryskyřice	3. aktivováno bez halogenidů	C pasta
2. organické	1. rozpustné ve vodě	1. bez aktivátorů	A tekuté
	2. nerozpustné ve vodě	2. aktivováno halogenidy	B tuhé
		3. aktivováno bez halogenidů	C pasta
3. anorganické	1. soli	1. NH <sub>4</sub> Cl	A tekuté
		2. bez NH <sub>4</sub> Cl	B tuhé
	2. kyseliny	1. kys. fosforečná	C pasta
		2. jiné kyseliny	
	3. zásady	1. aminy nebo amoniak	

## 2.3 Kartáčování, čištění

Nejčastěji je to provedeno pod proudem vody pomocí nylonových kartáčů s abrazivem. Nastává vysokotlaký oplach deionizovanou vodou a sušení. Z povrchu mědi na deskách se odstraní oxidy, mastnoty a nečistoty.

## 2.4 Zpracování nepájjivé masky

### Nanášení nepájjivé masky

Světlocitlivá nepájjivá maska se nanáší pomocí clony. Necháme chladit cca 10 minut. Očistíme válečkem TEKNEK. Vložíme DPS na pás, kde se čidla zaktivují a po 5 vteřinách dojde ke zrychlenému pohybu pásu cca 95 m/min a DPS projedou clonou. Následně dojde ke zpomalení pásu a DPS přejede do sušícího modulu, který je rozdělen na dva tunely. V prvním tunelu je teplota 99,9°C a v druhém je 131,9 °C. Rychlost dopravníku je 0,7 mt/min. Po uplynutí 6 minut vyjíždí z modulu a odebere se z dopravníku. Provede se vizuální kontrola a přechází na další operaci. Nanesení nepájjivé masky je zhotoveno ve žlutém osvětlení a v protiprašném prostředí, pro čistotu desek. Bohužel při čištění kartáčkem se s malou pravděpodobností může stát, že nepatrné množství prachových částic se dostane na desku a tím sníží spolehlivost v dalších procesech.

### Expozice

Světlocitlivé nepájjivé masky jsou materiály citlivé na UV- záření. Systém musí zabezpečit dokonalé přilnutí pracovní filmové matrice na povrch fotocitlivé vrstvy a zamezit tak podexpozici, ať už je to systém sklo/fólie nebo sklo/sklo. Exponovaná plocha musí být odolná proti rozpouštění ve vývojce uhličitanu sodného. Také se musí zabezpečit, aby byla přesně exponována požadovaná dávka kolimonovaného světelného kvanta, potřebné k přeměně struktury. Po exponování DPS necháme 15 minut odležet, aby nepájjivá masky polymerizovala. Stejně jak nanesení nepájjivé masky tak i expozice je prováděna ve žlutém osvětlení z důvodů nežádoucího osvětlení a v protiprašném prostředí z důvodů čistoty desek.

### Vyvolání nepájjivé masky

Při vyvolání nepájjivé masky vyvolávací zařízení bezpečně odstraňuje nepájjivou masku z ploch a otvorů. Aby vyvolávací zařízení plnilo požadované funkce, musí mít dostatečně výkonný postřikový systém, možnost plynulé regulace posuvu, účinný oplach a sušení. Rychlost vyvolání je 0,45 m/ min.

### Vytvrzení nepájjivé masky

Po vyvolání se dává DPS na vytvrzení nepájjivé masky do pece. Standartní doba vytvrzení je cca 1 hodina při teplotě v peci 150°C.

### Použitá výrobní zařízení ve firmě GATEMA

- Bürkle LZL-L600 clonovacího zařízení pro nanášení nepájjivé masky
- CMP-HE je zasušovací pec
- COOLIGHT DMVL a RISTON PC-130 PRINTER pro expozici nepájjivé masky.
- PILL pro vyvolání fotonepájjivé masky

## Nepájivá maska

Nepájivá maska chrání odhalenou měď, slouží jako izolační povrchová vrstva. Nejpoužívanější barvy se používají zelená, modrá a červená. Nejdůležitější pro výrobu a montáž DPS je volba vhodné nepájivé masky. Nejdůležitější vlastnosti nepájivé masky ve výrobě je:

- rozlišovací schopnost
- přilnavost
- zapouzdření povrchu
- opakovatelnost

Vlastnosti ovlivňující kvalitu pájení DPS:

- tloušťka
- odolnost proti tepelnému nárazu

Typy nepájivé masky jsou následující:

### Snímatelná

Mezioperační krycí vrstva. Chrání pokovené otvory a povrchy se speciální povrchovou úpravou, před galvanickým pokovením, HALEm nebo zapájením. Po těchto procesech následuje odstranění masky vodou nebo sloupnutím. Nanáší se sítotiskem, dávkovačem, ev. ručně. Polymeruje vlivem vzdušné vlhkosti. Barvu mají převážně modrou.

### Pernamentní

Elektroizolační ochranná vrstva nanesená na neosazené desce plošného spoje definované tloušťky, na bázi epoxidů, akrylátů, epoxido/akrylátů, barvy zpravidla zelené.

### Tekutá fotocitlivá nepájivá maska nanášená clonovým polem.

Fotocitlivý lak je dvousložkový, obsahuje velké množství pevných látek a musí mít definovanou viskozitu a čistotu. Podmínky při nanášení musí být kontrolovány automaticky. Tekutý lak je možné nanášet pouze jednostranně. Při fotozpracování fotocitlivých laků je nutné počítat s delšími expozičními časy i při použití 5 kW zdroje UV světla. Pokud jsou dlouhé expoziční časy a nedokonalé chlazení výbojky, dochází k znehodnocení nepájivé masky. Tento proces je cenově nákladný. Pokud se při vyvolání nepájivé masky špatně odstraní neexponované části filmu, vznikají problémy v dalších procesech výroby. Proto je třeba vybavit vyvolávací zařízení ostřikovými systémy a průběh průběžně kontrolovat. Technologie je náročná na čistotu a klimatizaci pracovního prostředí [1] [8].

V našem případě se ve výrobě používá nepájivá maska typu XV501 TM Curtain Matt.

## 2.5 HAL

Před vlastním žárovým nanášením pájky se provádí aktivace povrchu DPS, následný oplach a poté nanesení tavidla.

### Aktivace

DPS se pokládají na dopravník, který se pohybuje určenou rychlostí. Měděné plošky se aktivují a tím se odstraňují oxidy. Poměr aktivace je LC16 + deiovoda (10 l: 50 l)

### Oplachový modul

Oplach se provádí demi vodou. Deionizovaná voda je voda neobsahující žádné nečistoty. Získává se pomocí metody využívající vlastností určitých makromolekulárních látek (např. syntetických pryskyřic) – tzv. ionexů, které zachycují ionty z roztoku. Metoda má nevýhody. Tato voda na sebe okamžitě po vylití na určitý povrch začne vázat CO<sub>2</sub> a jiné nečistoty, především prachové částice. Proto by se mělo zabezpečit používání v teoreticky čistém pracovním prostředí.

Deionizovaná destilovaná voda je nejvyhledávanější voda v průmyslu, protože má vynikající vlastnosti, jako je nízká cena, nízká viskozita, velký odpor a nejmenší vodivost.

Dnes se deionizovaná voda pokládá za základní složkou v nejrůznějších aplikacích: zdravotnictví, laboratorní využití, farmacie, kosmetika, elektronika, zpracování potravin a další [16] [2] [15].

### Tavidlo

Nanášení mezi dvěma gumovými válečky. Tloušťku nanášené vrstvy je možno změnit přitlakem nanášecích válců.

### HAL Lantronic 204 LF

V zařízení je vlna bezolovnaté pájky, hnaná čerpadlem, přetéká přes přepážku a tím se z povrchu odstraní oxidy a struska. Zabezpečuje čistotu pájky. Vzduchové nože jsou elektricky vyhřívané komůrky, přes které proudí tlakový vzduch. Nože musí být vůči desce přesně nastaveny. Zařízení je provozováno v automatickém režimu. DPS s tavidlem musí být umístěna do kleštin a pomocí pohyblivého ramene se dostává do pájky. Teploty pájky se pohybují od 272 – 280 °C, teplota vzduchu (air knife) se pohybuje kolem 239°C.

### HAL – QuickSilver

Zařízení s obsahem olovnaté pájky. Teplota pájky se pohybuje mezi 240 – 250°C. Teplota vzduchu (air knife) se pohybuje 260 – 270 °C.

Po žárovém nanesení pájky metodou HAL se provádí oplach oplachovým modulem pomocí demivody.

# 3 METODIKA MĚŘENÍ

## 3.1 Přehled kontrolovaných operací, jejich zkoušení a kvalita pozorování mikroskopu

<u>OPERACE</u>	<u>METODIKA ZKOUŠEK CO KONTROLOVAT</u>	<u>POMOCÍ ČEHO</u>
DPS (plátovaný materiál)		
Nepájivá maska nanesení		
Expozice + vyvolání	Šířka mezer, průměr otvorů Vzhled měděného povrchu Kvalita vyvolání nepájivé masky Kvalita expozice nepájivé masky Ostrost nepájivé masky	Mikroskop VUT Mikroskop Gatema Expoziční klín
Vytvrzení		
Aktivace povrchu LC16+ oplach vodou	množství reziduí oplachové vody na písmenech po předúpravě	mikroskop Gatema
Aktivace tavidla	Vliv vody v tavidle Vliv časové prodlevy tavidla	Metoda smáčecích vah Optická metoda
HAL	Limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou HAL - různé časové prodlevy v pájce Určení tloušťky nepájivé masky Určení poměru šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky	Mikroskop VUT a určení, kde jsou limitní hranice Mikrovýbrus - tloušťka nepájivé masky Použití po předúpravě izopropylalkohol Optická kontrola

### 3.2 Příprava vzorků mikrovýbrusů

Postup při zalévání vzorku a přípravě mikrovýbrusu.

- Oddělíme sledovanou část DPS, v našem případě část s písmeny, pomocí lupénkové pilky.
- Na stěnu a dno zalévací formy nanese tenkou vrstvu separátoru.
- Do nádoby dáme odpovídající poměry obou složek technického dentacrylu a provedeme homogenizaci pomocí tyčinky.
- Upevníme vzorek odpovídajícím způsobem do formy a zalijeme vzorek dentacrylem. Musíme dbát na to, aby bylo vytvořeno minimální množství bublin.
- Necháme vzorek zalitý dentacrylem polymerovat. Tuhnutí trvá několik hodin při pokojové teplotě.
- Vyjmeme vzorek ze zalévací formy a provedeme oplach vodou.
- Pomocí brusné jednotky a pod malým proudem tekoucí vody provedeme broušení vzorku na hrubozrnném papíru, typ 200 a poté jemnozrnném papíru typ 600. Dokončíme typem 1200. Musíme dbát při broušení na optimální přítlak, aby se nevytvářely hluboké rýhy, které by se špatně přelešťovaly.
- Oplach deionizovanou vodou
- Leštění provedeme na plstěném kotouči a pomocí IPA. Leštíme cca 5 - 10 minut.
- Vzorek opláchneme vodou a provedeme vizuální kontrolu.

### 3.3 Metoda smáčecích vah

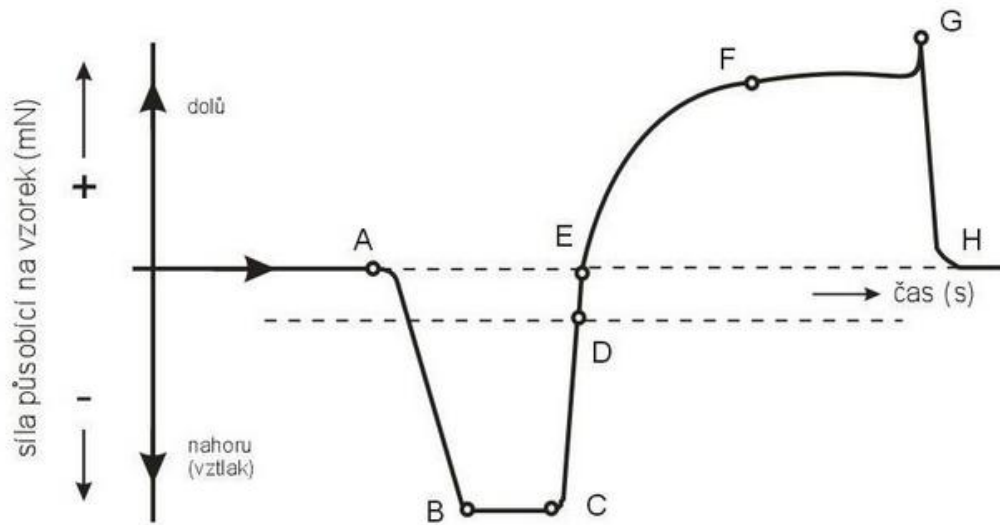
Tato metoda zajišťuje kvantitativní výsledky, které jsou vhodné pro měření pájitelnosti vývodových a povrchově montovaných součástek ev. i kontaktů.

Testovaná součástka s naneseným tavidlem je zavěšena na upevňovací mechanismus snímače síly nad nádobu s roztavenou pájkou. Zařízení je označováno jako “meniskograf”. Nádobka s pájkou stoupá až do doby, kdy nastane kontakt testovací součástky s pájkou a poté ještě do ustavené hloubky ponoření součástky. Zařízení registruje síly působené na měřený prvek a software v počítači zobrazí výsledek v grafu se sledovanými hodnotami. Nádobka s roztavenou pájkou je na zdvihacím mechanismu ovládaném krokovým motorem. Elektronické řízení dovoluje měnit rychlost zdvihu a tím rychlost ponoru. Teplota v lázni je udržována s přesností  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Rychlost, hloubka ponoru, teploty a čas jsou přesně řízeny a sledovány. Proto je možné všechna měření přesně reprodukovat [9].

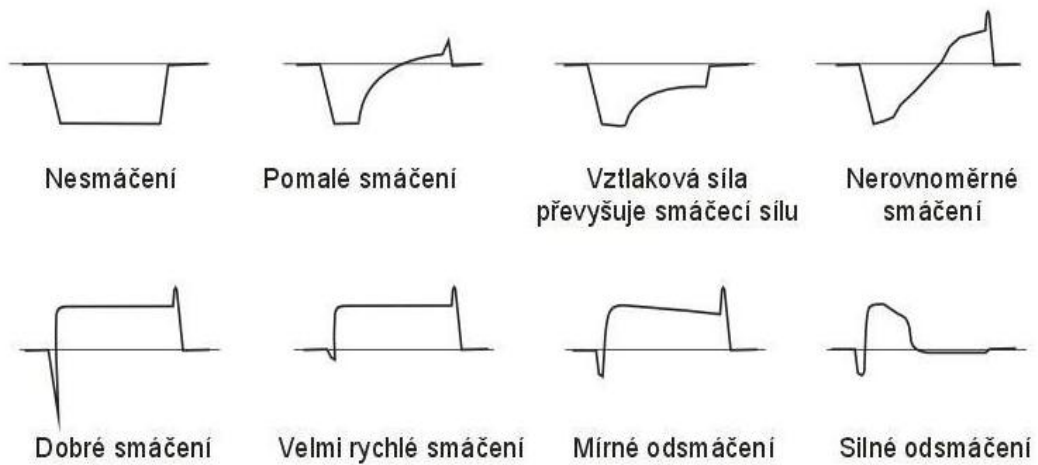


Obrázek 1 Zařízení pro měření smáčení metodou smáčecích vah [9]

Na Obr. 2 je nakreslená křivka smáčení. Počátek styku vzorku s pájkou je označena bodem A. Teplota vzorku je příliš nízká k podpoře smáčení a musí být vtačován velkou silou. Sklon křivky mezi A a B je dán rychlostí, jakou je vzorek ponořován. V bodě C pájka začíná smáčet vzorek. Nastává změna působící síly do bodu F. Pájka nejprve vytlačuje vzorek směrem vzhůru, s postupujícím smáčením ho však začne povrchové napětí táhnout dolů do nádoby – křivka D až F. Bod D je okamžik, kdy povrch pájky je kolmý k povrchu vzorku. Síla v bodě D je rovna vztlakové síle a je možné ji vypočítat z rozměrů vzorku, hloubky ponoru a měrné hmotnosti pájky. V bodě E jsou síly působící na vzorek v rovnováze a výsledná síla je nulová. Časový interval B až C je dán tepelnou kapacitou vzorku a rychlostí přestupu tepla mezi pájkou a vzorkem. Tvar křivky C a F je dán rychlostí smáčení a má rozhodující význam pro určení kvality smáčitelnosti. Bod G je vrchol křivky a určuje, kdy došlo k úplnému vytažení vzorku z lázně, H je konečný stav. Tímto měřením jsme schopni velmi přesně stanovit smáčitelnost a rovněž i vliv dalších činitelů [9].



Obrázek 2 Křivka rovnováhy smáčení [9]



Obrázek 3 Příklady průběhů časové závislosti smáčecí síly[9]

# 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

## 4.1 Limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou

### Analýza a zhodnocení defektnosti DPS

Pro analýzu byla použita dvouvrstvová (oboustranná) deska, určená pro mé testování od firmy GATEMA v Boskovicích. Na testovací DPS je 11 polí z obou stran, takže celkem 22 polí s různými fonty. Zaměřil jsem se na defekty či nepokrytí pájkou SnPb i SN100C, které lze odhalit z horní nebo spodní strany desky. Na desce jsem si vytipoval 3 fonty jak z jedné tak druhé strany DPS. Font 2000 2000 udává že, první číslo ukazuje hodnotu pro výšku písmena a druhé číslo je parametr pro velikost mezery mezi číslicemi. Rozměry a tedy i plocha pájecí plošky jsou definovány nepájivou maskou. Pozornost jsem věnoval rozměrům a šířkám písmenek a jejich pokrytí pájkou po procesu HAL. Hodnocení bylo prováděno pomocí mikroskopu. K mikroskopu je přidána kamera, s jejíž pomocí byly pořízeny jednotlivé snímky s defekty.

Defektnost je vyjádření počtu defektů. Definice defektů: Za chybu (defekt) označujeme každé písmeno, které nemá 100% pokrytí pájkou.

### Použitý materiál

Mikroskop s digitálním fotoaparátem OLYMPUS SZ61 VUT, software QuickPhoto industrial 2.2, 4x DPS(FR4 s Cu folií, tloušťka 1,5mm s rozměry 295x460 mm, oboustranná s 18 $\mu$ m Cu) Aktivace LC16, deionizovaná voda, tavidlo PALUX30H, izopropylalkohol, HAL (bezolovnatý, olovnatý).

### Postup procesu

Viz. [Kap. 2](#)

U testovacích DPS, které byly ponořeny do izopropylalkoholu, byl postup procesu stejný jako obvyklý proces. Jediný rozdíl je, že po aktivaci mikroleptem a oplachem deionizovanou vodou se testovací DPS vzala z dopravníku a byla 2x ponořena do zásobníku s izopropylalkoholem. Poté DPS hned pokračovala do procesu nanášení tavidla a do HAL. Důležité je dát DPS, po ponoření do izopropylalkoholu, hned do procesu nanesení tavidla, protože izopropylalkohol má tendenci se vypařovat.

Vybrané vzorky byly rozděleny do 5 skupin: HAL olovnatý, bezolovnatý, HAL olovnatý, bezolovnatý s přidáním izopropylalkoholu a poslední HAL bezolovnatý, kdy DPS projela 2x vývojkou. Pro spočítání defektnosti byla použita vizuální metoda. Vzala se testovací DPS a pomocí mikroskopu byly spočítány defekty. V procentech byly vyjádřeny špatně pokrytá písmena pájkou. Hranice přípustné chybovosti byla určena do 2,5 %. Vztah, podle kterého byly vypočteny hodnoty defektnosti je:

$$\frac{\text{počet defektů}}{\text{celkový počet písmen}} \times 100 \quad (1)$$

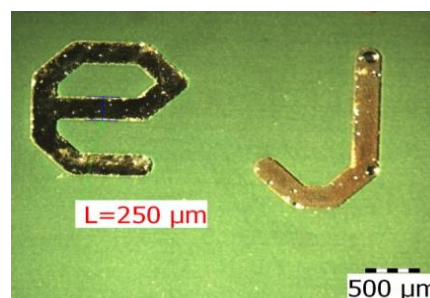
## Měření pokrytí pájkou DPS pro HAL bezolovnatý

Tabulka 4 DPS 1. strana font V 2000 2000 a font V 1500 1500

Typ: font V 2000 2000				Typ: font V 1500 1500			
Počet písmen: 78 písmen				Počet písmen: 78 písmen			
Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky	Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky
	Počet	[%]			Počet	[%]	
100	77	98,71	ano	100	76	97,43	ano
120	73	93,58		120	73	93,58	
150	74	94,87		150	58	74,35	
170	56	71,79		170	49	62,82	
200	53	67,94		200	33	42,3	
250	13	16,66		250	15	19,23	
300	10	12,82		300	15	19,23	
350	12	15,38		350	14	17,94	
400	13	16,66		400	0	0	

Tabulka 5 DPS 1. strana font V 1000 1000

Typ: font V 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky
	Počet	[%]	
100	76	97,43	ano
120	75	93,58	
150	67	74,35	
170	58	62,82	
200	42	42,3	
250	26	19,23	
300	14	19,23	
350	10	17,94	



Obrázek 4 Šířka písmene na 1. straně

Příklad výpočtu pro šířku písmene 100 μm, font V 2000 2000:

$$\frac{77}{78} \times 100 = 98,71\% \quad (2)$$

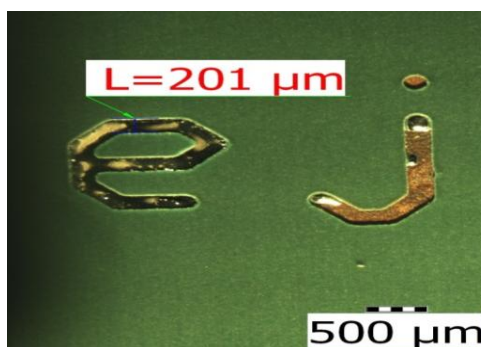
Na obrázku 4 vidíme defekt, kdy písmeno šířky 250 μm j není pokryto ochrannou vrstvou pájky. Takové chyby se vyskytovaly na testovací DPS nejčastěji.

Tabulka 6 DPS 2. strana font H 2000 2000 a font H 1500 1500

Typ: font H 2000 2000				Typ: font H 1500 1500			
Počet písmen: 78 písmen				Počet písmen: 78 písmen			
Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky	Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky
	Počet	[%]			Počet	[%]	
100	78	100	ano	100	78	100	ano
120	78	100		120	78	100	
150	77	98,71		150	76	97,43	
170	77	98,71		170	71	91,02	
200	70	89,74		200	63	80,76	
250	45	57,69		250	40	51,28	
300	17	21,79		300	19	24,35	
350	9	11,53		350	11	14,1	
400	8	10,25		400	0	0	

Tabulka 7 DPS 2. strana font H 1000 1000

Typ: font H 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky
	Počet	[%]	
100	78	100	ano
120	78	100	
150	77	98,71	
170	75	96,15	
200	69	88,46	
250	21	26,9	
300	20	25,64	
350	5	6,41	

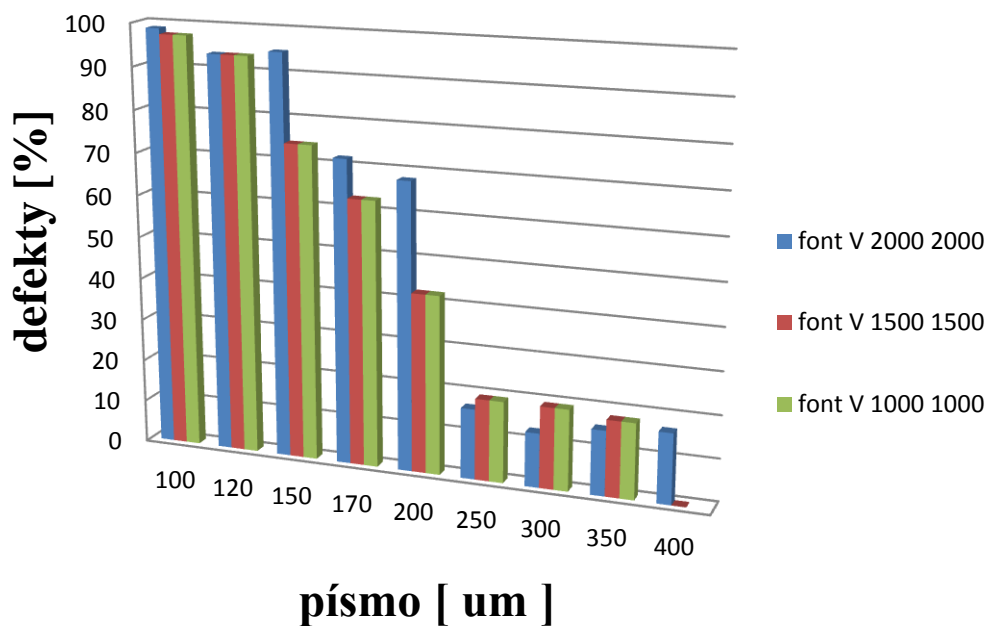


Obrázek 5 Šířka písmene na 2. straně

Níže uvedené grafy, zobrazující celkovou kvalitu pokrytí pájkou, jsou rozděleny na dvě části. Na graf pro 1. stranu (horní) a na graf pro 2. stranu (dolní).

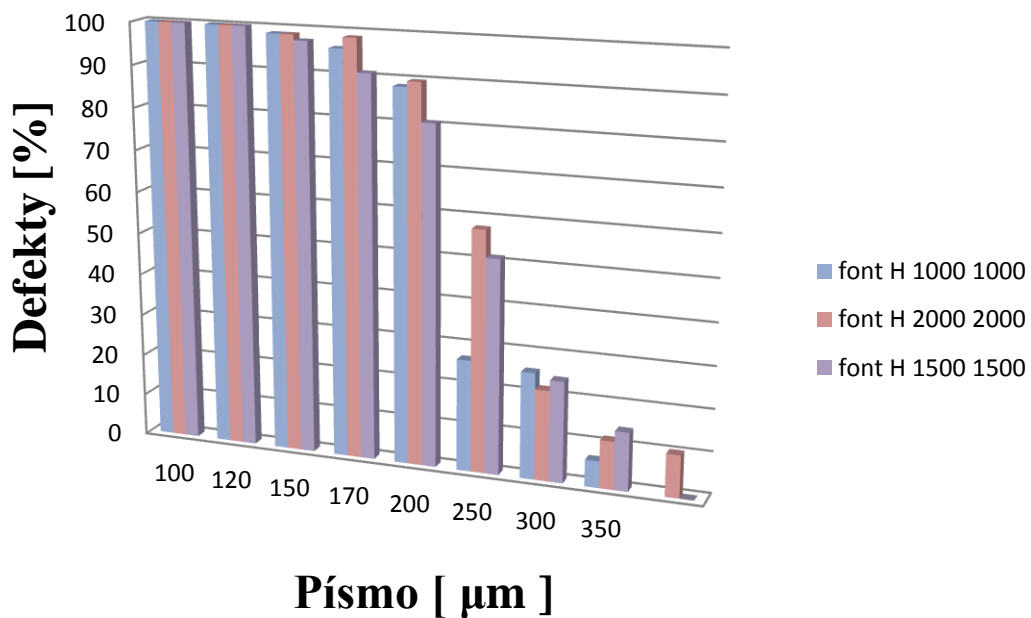
Z tabulek vidíme hodnoty jednotlivých šířek písmen pro fonty 2000 2000, 1500 1500, 1000 1000. Z naměřených a vypočtených závislostí je patrné, že s rostoucí šířkou písmen se snižuje defektnost. Čím větší je font, tím lepší je pokrytí písmen pájkou. Nejlepší výsledky vykazuje font 2000 2000, kde limitní hranice se pohybuje kolem 250 μm. Bohužel i tyto limitní hranice nedosahují procentuální požadovanou hodnotu defektnosti 2,5%. Jediná šířka, která tuto podmínku splňuje je 400μm u fontu 1500 1500. Hlavní příčiny tak velké defektnosti jsou písmena i a j. Možná příčina je i v povrchovém napětí písmene( tvaru a velikosti písmen). U ostatních písmen např. m se může pájka lépe roztékat a také se má kam se roztékat. Další možná příčina může být velké povrchové napětí bezolovnaté pájky, která vede k horšímu smáčení. U bezolovnaté pájky byla určena limitní bezpečná hranice pokrytí pájkou 350 – 400 μm.

### celková kvalita pokovení pájkou SN100C



Obrázek 6 Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 1. stranu

### Celková kvalita pokrytí pájkou SN100C



Obrázek 7 Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 2. stranu

## Měření pokrytí DPS pro HAL olovnatý

Tabulka 8 DPS 1. strana font V 2000 2000 a font V 1500 1500

Typ: font V 2000 2000			Typ: font V 1500 1500				
Počet písmen: 78 písmen			Počet písmen: 78 písmen				
Písmo	Počet defektů		Ověř.	Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	
100	68	87,18	ano	100	71	91,06	ano
120	54	69,23		120	60	76,92	
150	24	30,77		150	30	38,46	
170	24	30,77		170	18	23,07	
200	15	19,23		200	11	14,1	
250	11	14,1		250	7	8,97	
300	5	6,41		300	3	3,85	
350	6	7,69		350	8	10,25	
400	9	11,53		400	0	0	

Tabulka 9 DPS 1. strana font V 1000 1000

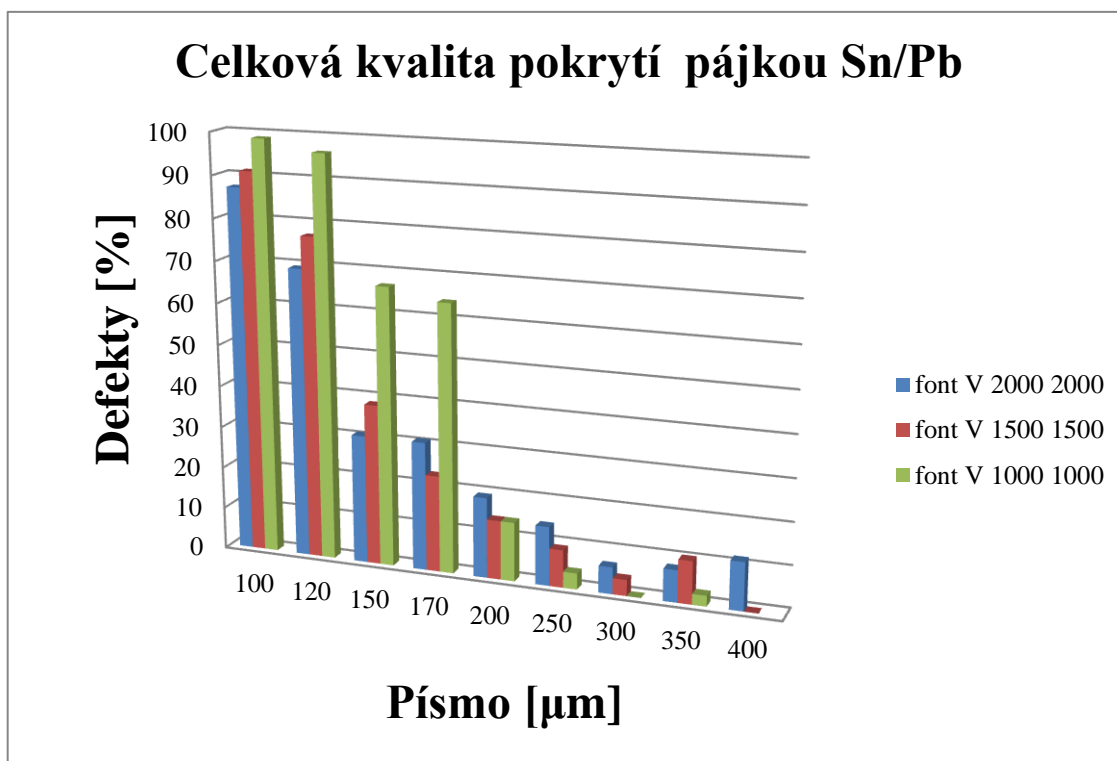
Typ: font V 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	
100	77	98,72	ano
120	75	96,15	
150	52	66,66	
170	50	64,1	
200	11	14,1	
250	3	3,85	
300	0	0	
350	2	2,56	
400	-	-	



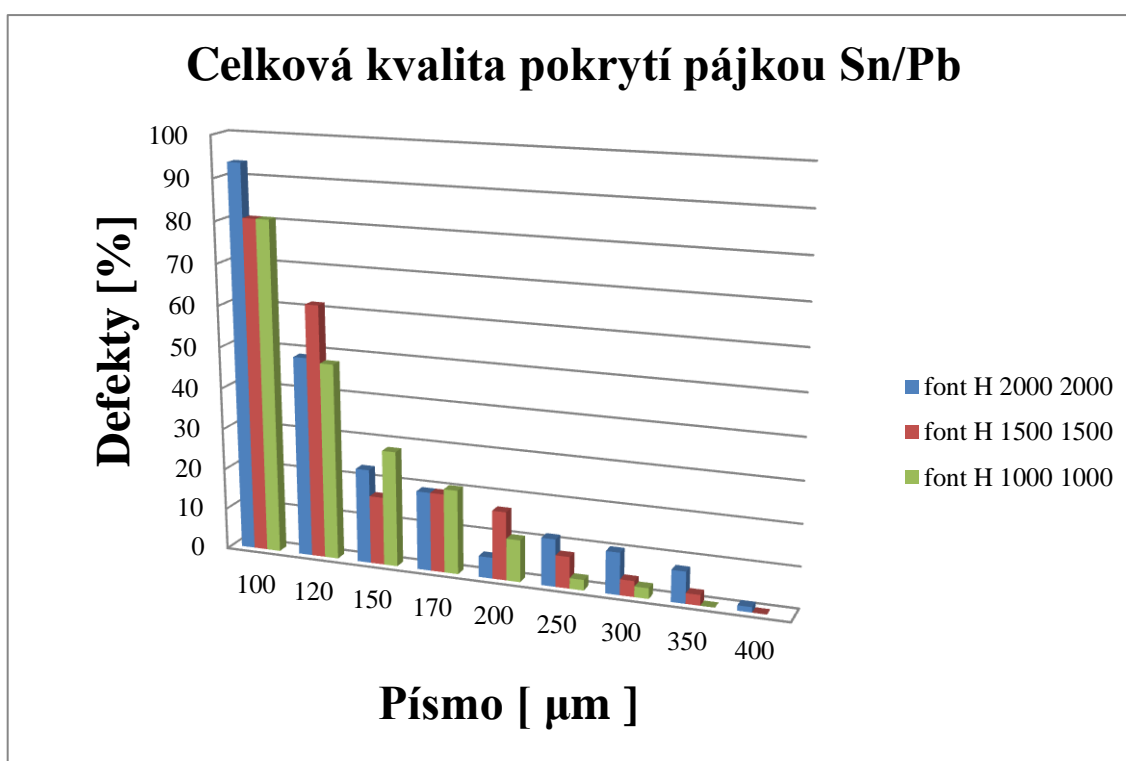
Obrázek 8 Šířka písmene na 1. straně

Rozdíl mezi pájkou olovnatou a bezolvnatou vidíme jak z tabulky 4 – 11, tak i z obrázků 6, 7, 9, 10. U olovnaté pájky je hranice pokrytí pájky posunuta o 150  $\mu\text{m}$ . Tedy limitní hranice pokrytí olovnatou pájkou byla stanovena na 250 $\mu\text{m}$ . To může být způsobeno menším povrchovým napětím olovnaté pájky. Bohužel, i u limitní hranice 250  $\mu\text{m}$  se objevuje v průměru více jak 5 defektů. Chyby byly opět nejvíce u písmen i a j. Námi určenou limitní hranici 2,5 % splňují fonty 1500 1500 pro šířku písmen 350 – 400  $\mu\text{m}$  a font 1000 1000 pro šířku písmen 250 – 350  $\mu\text{m}$ .

Na obrázku 8 vidíme menší hodnotu šířky písmene oproti teoretické hodnotě. Důvody viz. [Kap. 4. 3. 2.](#)



Obrázek 9 Graf celkové kvality pokrytí pájkou Sn/Pb pro 1. stranu



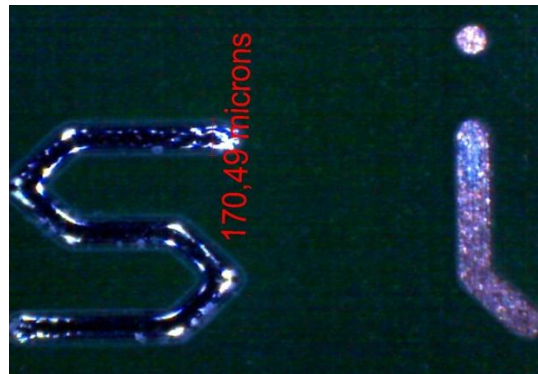
Obrázek 10 Graf celkové kvality pokrytí pájkou Sn/Pb pro 2. stranu

Tabulka 10 DPS 2. strana font H 2000 2000 a font H 1500 1500

Typ: font H 2000 2000			Typ: font H 1500 1500				
Počet písmen: 78 písmen			Počet písmen: 78 písmen				
Písmo	Počet defektů		Ověř.	Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	ano	[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	ano
100	73	93,58		100	63	80,77	
120	38	48,72		120	48	61,53	
150	18	23,07		150	13	16,66	
170	15	19,23		170	15	19,23	
200	4	5,13		200	13	16,66	
250	9	11,53		250	6	7,69	
300	8	10,25		300	3	3,85	
350	6	7,69		350	2	2,56	
400	1	1,28		400	0	0	

Tabulka 11 DPS 2. strana font H 1000 1000

Typ: font H 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	ano
100	63	80,77	
120	37	47,77	
150	22	28,2	
170	16	20,51	
200	8	10,25	
250	2	2,56	
300	2	2,56	
350	0	0	
400	-	-	



Obrázek 11 Šířka písmene na 2. straně

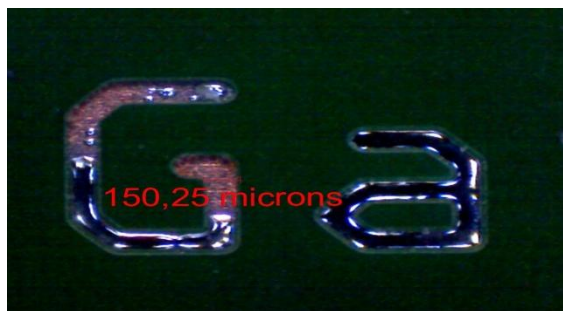
## Měření pokovení DPS pro HAL IPA bezolovnatý

Tabulka 12 DPS 1. strana font V 2000 2000 a font V 1500 1500

Typ: font V 2000 2000			Typ: font V 1500 1500				
Počet písmen: 78 písmen			Počet písmen: 78 písmen				
Písmo	Počet defektů		Ověř.	Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	
100	78	100	ano	100	78	100	ano
120	78	100		120	78	100	
150	75	96,15		150	77	98,72	
170	69	88,46		170	73	93,59	
200	71	91,02		200	71	91,02	
250	29	37,18		250	26	33,33	
300	18	23,08		300	13	16,66	
350	13	16,66		350	11	14,10	
400	13	16,66		400	0	0	

Tabulka 13 DPS 1. strana font V 1000 1000

Typ: font V 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	
100	78	100	ano
120	77	98,72	
150	71	91,02	
170	74	94,87	
200	76	97,43	
250	23	29,49	
300	5	6,41	
350	13	16,66	
400	-	-	

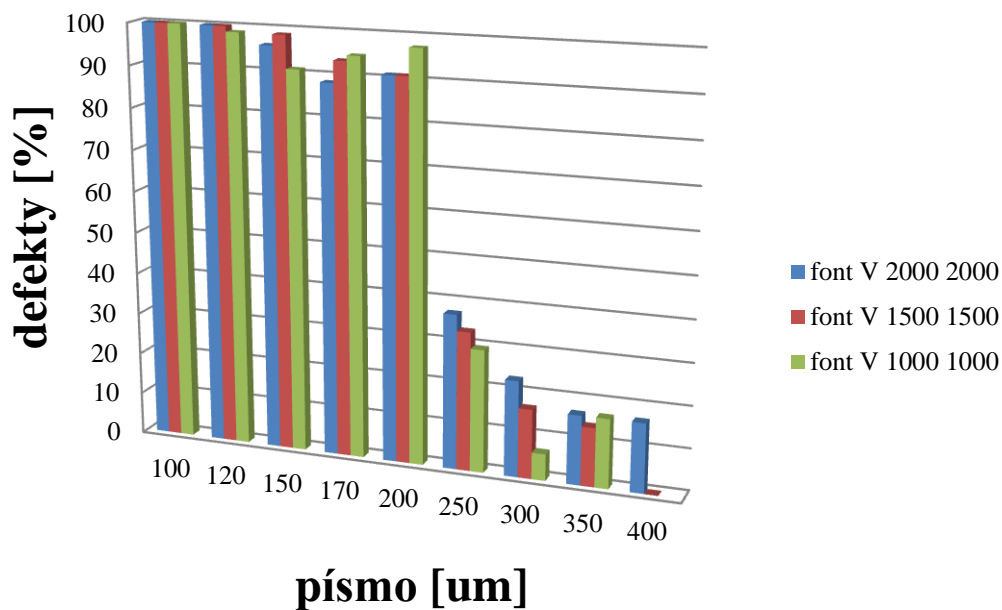


Obrázek 12 Šířka písmene na 1. straně

Přidáním izopropylalkoholu se mělo dosáhnout větší čistoty DPS. Jelikož izopropylalkohol obsahuje alkohol, mělo by dojít ke snadnějšímu ředění se zbytkovou vodou, která zůstává po oplachu deionizovanou vodou, aby se snadněji při procesu

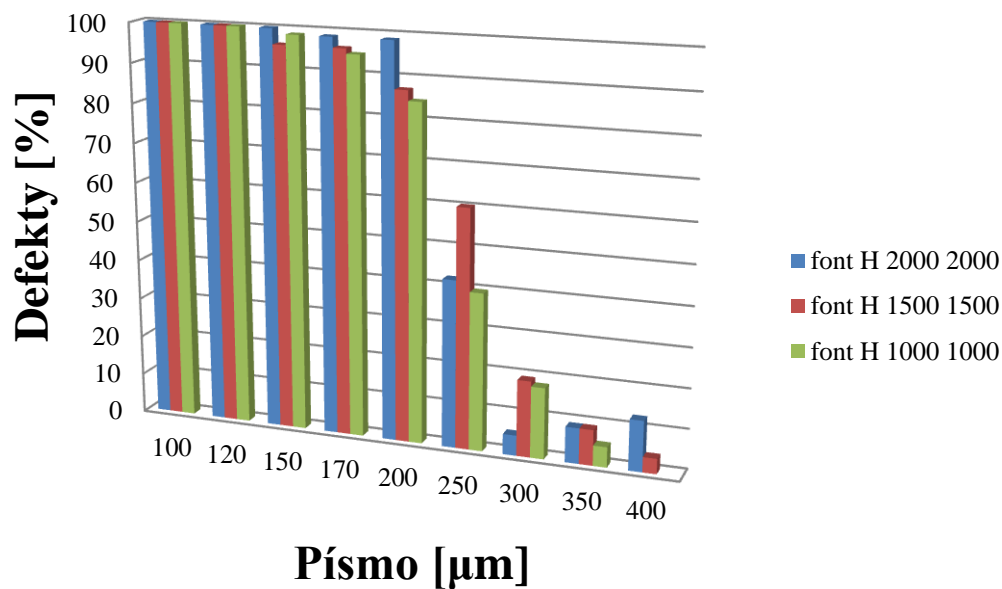
HAL, voda a izopropylalkohol vypařily a umožnily lepší průchod pájce do měděných plošek. U bezolovnaté pájky, kde byl použit izopropylalkohol, se pokrytí písmen pájkou nezlepšilo. Hodnoty zůstaly na stejných hodnotách nebo v některých případech se dokonce zhoršily. Záleží na hodně faktorech, aby se dosáhlo kvalitního pokrytí písmen pájkou. A bohužel kdykoliv se může stát, že proces nebude proveden v takové kvalitě a vždy na 100%.

### celková kvalita pokovení pájkou SN100C



Obrázek 13 Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 1. stranu po použití IPA

### Celková kvalita pokrytí pájkou SN100C



Obrázek 14 Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 2. stranu po použití IPA

Tabulka 14 DPS 2. strana font H 2000 2000 a font H 1500 1500

Typ: font H 2000 2000			Typ: font H 1500 1500				
Počet písmen: 78 písmen			Počet písmen: 78 písmen				
Písmo	Počet defektů		Ověř.	Písmo	Počet defektů		Ověř.
[μm]	Počet	[%]	ano	[μm]	Počet	[%]	ano
100	78	100		100	78	100	
120	78	100		120	78	100	
150	78	100		150	75	96,15	
170	77	98,72		170	75	96,15	
200	77	98,72		200	68	87,18	
250	33	42,3		250	47	60,25	
300	11	14,10		300	15	19,23	
350	12	15,38		350	7	8,97	
400	10	12,82		400	3	3,84	

Tabulka 15 DPS 2. strana font H 1000 1000

Typ: font H 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo	Počet defektů		Ověř.
[um]	Počet	[%]	ano
100	78	100	
120	78	100	
150	77	98,72	
170	74	94,87	
200	66	84,62	
250	31	39,74	
300	14	17,95	
350	4	5,13	
400	-	-	



Obrázek 15 Šířka písmene na 2. straně

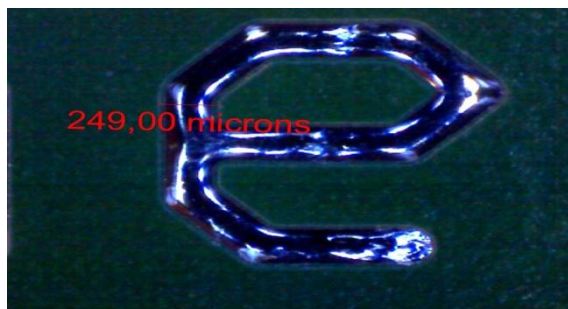
## Měření pokovení DPS pro HAL IPA olovnatý

Tabulka 16 DPS 1. strana font V 2000 2000 a font V 1500 1500

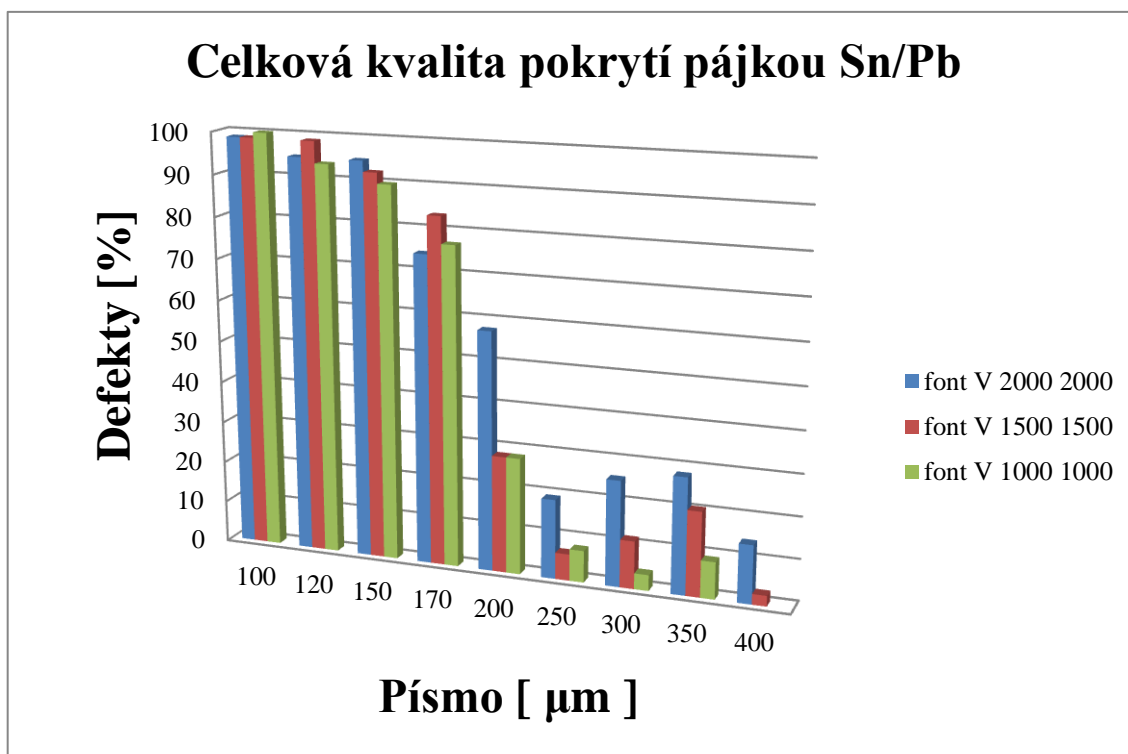
Typ: font V 2000 2000			Typ: font V 1500 1500				
Počet písmen: 78 písmen			Počet písmen: 78 písmen				
Písmo	Počet defektů		Ověř.	Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	
100	77	98,72	ano	100	77	98,72	ano
120	74	94,87		120	77	98,72	
150	74	94,87		150	72	92,3	
170	58	74,35		170	65	83,33	
200	45	57,69		200	22	28,2	
250	15	19,23		250	5	6,41	
300	20	25,64		300	9	11,53	
350	22	28,2		350	16	20,51	
400	11	14,1		400	2	2,56	

Tabulka 17 DPS 1. strana font V 1000 1000

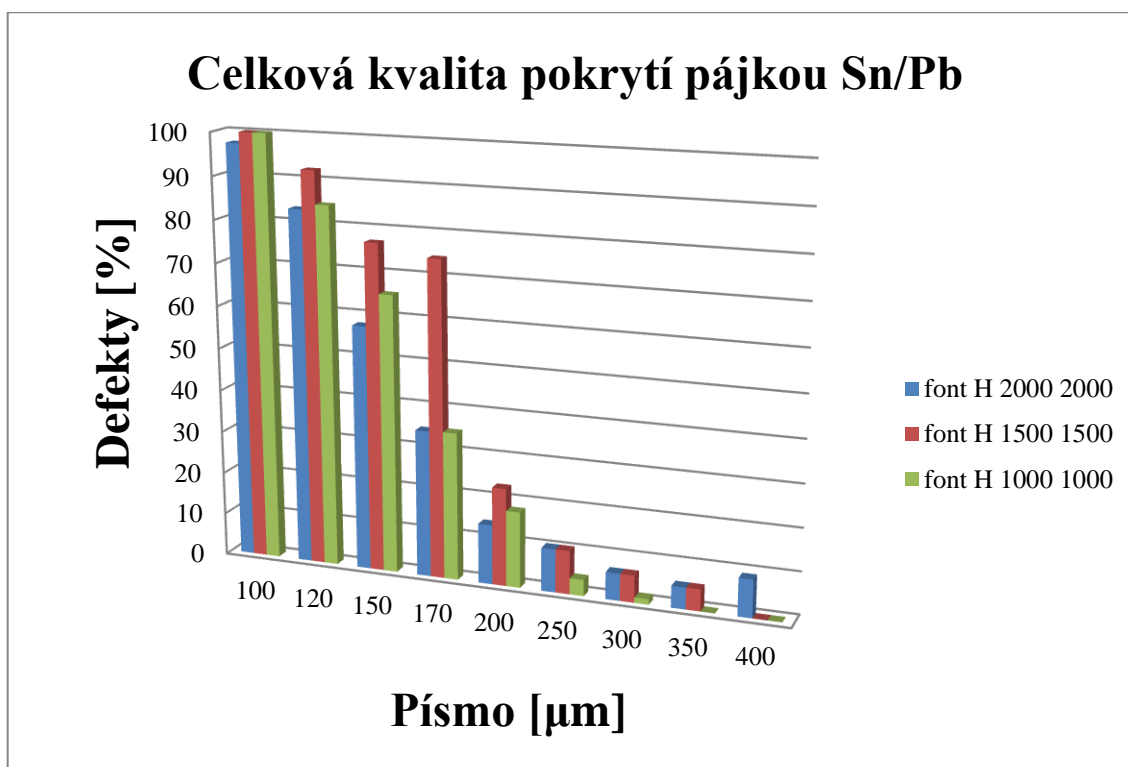
Typ: font V 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	
100	78	100	ano
120	73	93,59	
150	70	89,74	
170	60	76,92	
200	22	28,2	
250	6	7,69	
300	3	3,84	
350	7	8,97	
400	-	-	



Obrázek 16 Šířka písmene na 1. straně



Obrázek 17 Graf celkové kvality pokrytí pájkou Sn/Pb pro 1. stranu po použití IPA



Obrázek 18 Graf celkové kvality pokrytí pájkou Sn/Pb pro 2. stranu po použití IPA

Tabulka 18 DPS 2. strana font H 2000 2000 a font H 1500 1500

Typ: font H 2000 2000			Typ: font H 1500 1500				
Počet písmen: 78 písmen			Počet písmen: 78 písmen				
Písmo	Počet defektů		Ověř.	Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	ano	[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	ano
100	76	97,43		100	78	100	
120	65	83,33		120	72	92,3	
150	45	57,69		150	60	76,92	
170	27	34,61		170	58	74,35	
200	11	14,1		200	18	23,07	
250	8	10,25		250	8	10,25	
300	5	6,41		300	5	6,41	
350	4	5,13		350	4	5,13	
400	7	8,97		400	0	0	

Tabulka 19 DPS 2. strana font H 1000 1000

Typ: font H 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo	Počet defektů		Ověř.
[ $\mu\text{m}$ ]	Počet	[%]	ano
100	78	100	
120	66	84,62	
150	51	65,38	
170	27	34,82	
200	14	17,95	
250	3	3,84	
300	1	1,28	
350	0	0	
400	-	-	



Obrázek 19 Šířka písmene na 2. straně

U olovnaté pájky, kde byl použit izopropylalkohol, se pokrytí písmen pájkou nezlepšilo. Hodnoty zůstaly na stejné úrovni, jako je tomu u DPS bez přítomnosti izopropylalkoholu. Jen v některých případech se zlepšily. Určenou hranici 2,5% dosáhl pouze font

1500 1500 pro šířku písmene 400  $\mu\text{m}$  a font 1000 1000 pro 300-350  $\mu\text{m}$ .

Nejhorší hodnoty defektnosti bylo dosaženo u bezolovnaté pájky a naopak nejlepší hodnoty defektnosti byly dosaženy u olovnaté pájky.

## 4.2 Limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou pro jiný motiv

### Použitý materiál

6x DPS( FR4 s Cu folií, tloušťka 1,5mm s rozměry 295x460 mm, oboustranná s 18 $\mu$ m Cu) Aktivace LC16, deionizovaná voda, tavíadlo PALUX30H, izopropylalkohol, HAL (bezolovnatý, olovnatý), zařízení RESCOTRON pro vyvolávání fotonepájivé masky, linka pro nanášení fotonepájivé masky clonováním, expoziční zařízení COOLIGHT DMVL – 1530, expoziční zařízení RISTON PC-130.

### Použité operace

Viz. [Kap. 2](#) S tím rozdílem, že prodleva u HAL byla nastavena 1,5s /2,5s.

Na testovací DPS je 12 polí z obou stran, takže celkem 22 polí s různými fonty. V každém poli je slovo rozděleno postupně po písmenech, jak můžeme vidět na obrázku 20. Zaměřil jsem se na defekty či nepokrytí pájkou SN100C a Sn/Pb, které lze odhalit z horní nebo spodní strany desky. Pozornost jsem věnoval pokrytí pájkou po procesu HAL. Hodnocení bylo prováděno vizuálně.



Obrázek 20 Nová testovací filmová předloha

Vybrané vzorky byly rozděleny do 5 skupin: HAL olovnatý, bezolovnatý, HAL olovnatý a bezolovnatý s přidáním izopropylalkoholu, HAL bezolovnatý, kde DPS prošla procesem expozice v kombinaci sklo/sklo a sklo/fólie.

U testovacích DPS, které prošly olovnatým HALEm, byla určena limitní hranice bezpečného pokrytí písmen pájkou 150  $\mu$ m. Při použití izopropylalkoholu se hranice posunula na 120  $\mu$ m. V některých případech dokonce na 100 $\mu$ m. Můžeme i vidět nepokrytá písmena pájkou. Důvod je podsvícení a následné špatné vyvolání.

U testovacích DPS, které prošly bezolovnatým HALEm, byla určena limitní hranice bezpečného pokrytí písmen pájkou 250  $\mu$ m. Při použití izopropylalkoholu se hranice posunula na 200  $\mu$ m. Bohužel na straně osvětlení fólie spadla hranice na 250  $\mu$ m. Možným důvodem je podsvícení při expozici. [Viz Kap. 2. 4.](#)

U testovacích DPS, které prošly bezolovnatým HALEm a expozičním zařízením COOLIGHT 1600-CCD s 2 osvětlovacími stoly v kombinaci sklo/sklo, byla určena limitní hranice bezpečného pokrytí písmen pájkou 200  $\mu\text{m}$ . Na některých místech dokonce 170  $\mu\text{m}$ .

U testovacích DPS, které prošly bezolovnatým HALEm a expozičním zařízením RISTON PC130 s kombinací sklo/fólie, byla určena limitní hranice bezpečného pokrytí písmen pájkou 200  $\mu\text{m}$ . Na straně fólie je limitní hranice pokrytí pájkou horší a to 250  $\mu\text{m}$ . Na krajích jsou nevyvolaná písmena, většinou šířky 100 až 120  $\mu\text{m}$ . Možný důvod je podsvícení a teoreticky, po diskuzi s hlavním technologem, možný špatný tlak fólie, kde uprostřed a na krajích není dostatečně odsán vzduch a filmová matrice špatně přilne k povrchu nepájivé masky. [Viz. Kap. 4. 3. 2.](#)

## 4.3 Kvalita vyvolané nepájivé masky

### 4.3.1 Barevné změny na mědi

Následující úkol je zaměřen na pozorování barevných změn na měděných ploškách na DPS. Pozorován byl hlavně barevný rozdíl mědi mezi malými a velkými písmeny na vybraných 3 místech z obou stran DPS. Přesněji na fontech 2000 2000 a 1500 1500. Pozorované změny byly sledovány po procesech:

- vyvolání nepájivé masky
- vytvrzení nepájivé masky
- předúpravě DPS

Zkoumání jsme zvolili vizuální, pomocí mikroskopu ve firmě GATEMA a mikroskopu na VUT.

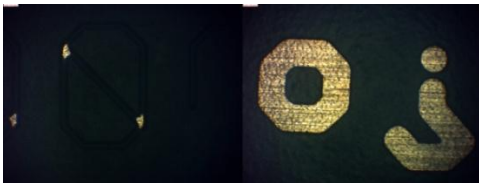
#### Postup procesu:

Na plátovanou měděnou desku byla nanесena, exponována, vyvolána a vytvrzena permanentní nepájivá maska. Poté pokračovala DPS do procesu předúpravy. Viz. [Kap. 2](#)

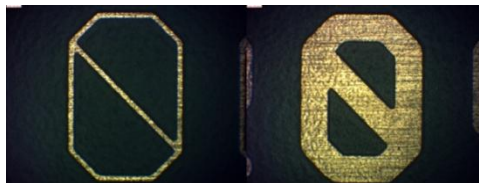
#### Použitý materiál:

Aktivace LC16, deionizovaná voda, FR4 (s Cu folií, tloušťky 1,5mm s rozměry 295x460 mm, oboustranná s 18  $\mu\text{m}$  Cu), mikroskop značky ARSENAL OLYMPUS, fotoaparát, mikroskop s digitálním fotoaparátem Olympus SZ61.

Po vyvolání:

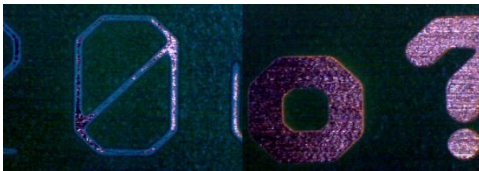


Obrázek 22 Font 1500 1500 H, 100 $\mu\text{m}$ , 350 $\mu\text{m}$

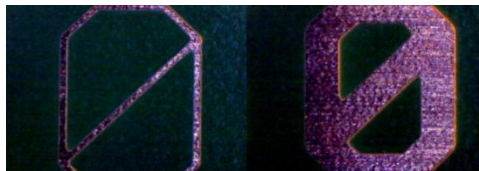


Obrázek 21 Font 2000 2000 H, 100 $\mu\text{m}$ , 350 $\mu\text{m}$

Po vytvrzení:



Obrázek 24 Font 1500 1500 H, 120 $\mu\text{m}$ , 350 $\mu\text{m}$

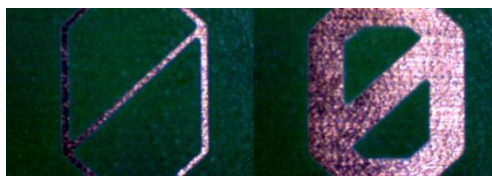


Obrázek 23 Font 2000 2000 H, 100 $\mu\text{m}$ , 350 $\mu\text{m}$

Po předúpravě:

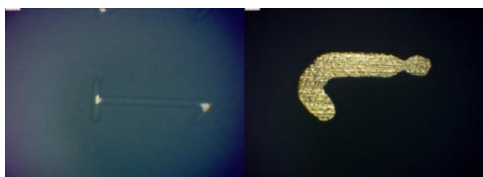


Obrázek 26 Font 1500 1500 H, 120 $\mu$ m, 350 $\mu$ m



Obrázek 25 Font 2000 2000 H, 100 $\mu$ m, 350 $\mu$ m

Po vyvolání:

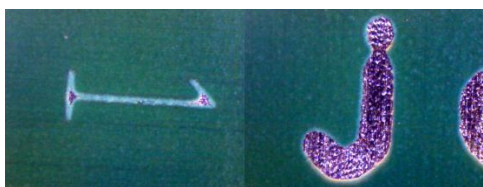


Obrázek 28 Font 1500 1500 V, 120 $\mu$ m, 400 $\mu$ m

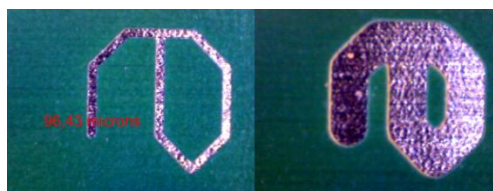


Obrázek 27 Font 2000 2000 V, 100 $\mu$ m, 400 $\mu$ m

Po vytvrzení:



Obrázek 30 Font 1500 1500 V, 120 $\mu$ m, 400 $\mu$ m

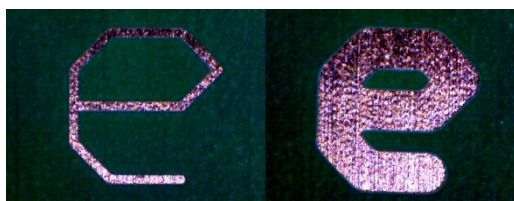


Obrázek 29 Font 2000 2000 V, 100 $\mu$ m, 400 $\mu$ m

Po předúpravě:



Obrázek 32 Font 1500 1500 V, 120 $\mu$ m, 400 $\mu$ m



Obrázek 31 Font 2000 2000 V, 100 $\mu$ m, 400 $\mu$ m

Z optického hlediska zde byly hlavně hodnoceny především barevné rozdíly mědi na malých a velkých písmenkách po jednotlivých procesech. Z obrázku jednotlivých písmen zvětšených pomocí mikroskopu vidíme, že se barva neliší mezi velikostmi písmen. Na obrázcích 21, 24, 26, 28, 30, 32 můžeme vidět neúplně vyvolanou měď. Zejména je tomu u fontu 1500 1500 u malé šířky písmen 100 a 120  $\mu$ m. Je to dáno možným podsvícením nebo také rozměry jednotlivých písmen, kde hraje roli tloušťka nepájivé masky a šířka měděné plošky. DPS také byly vystaveny, díky různým manipulacím a prodlevám trvajícím 7 hodin, oxidaci až do procesu předúprav, kde mikrorept LC16 a deionizovaná voda zbaví DPS zbytky oxidů a jiných nečistot.

### 4.3.2 Kvalita expozice a vyvolání

#### Expozice

Proces expozice je přenesení obrazu z motivu (filmové matrice) do fotocitlivé vrstvy. Musí se zabezpečit dobré přilnutí filmové matrice na povrch nepájkivé masky, jinak dochází k podexpozici. Filmová matrice je osvětlena elektromagnetickým zářením o určité vlnové délce. Teoretická ideální vlnová délka je 365 nm. Důležitou roli hrají expoziční jednotky. Tato jednotka vyjadřuje energii, dopadající na povrch nepájkivé masky. Mimo jiné množství dopadající energie se dá ještě vyjádřit časem. Tento parametr se mění s budoucím procesem jako např. u povrchových úprav. Kde pro HAL jsou hodnoty expozičních jednotek jiné než pro povrchovou úpravu Ni/Au. Velmi důležitou operací je proces sesouhlasení přřezu a filmové předlohy. Po exponování je hlavní dodržení 15 minutové prodlevy, aby se nepájkivá maska stabilizovala dokončením fotochemických reakcí a polymerizovala.

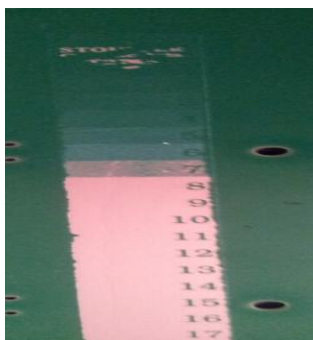
Firma GATEMA používá ve výrobě RISTON PC130 a COOLIGHT 1600-CCD. Oba dva přístroje používají při expozici rtuťovou UV lampu dotovanou jodidem železa s vlnovou délkou cca 365 nm. RISTON PC130 má 2 osvětlené vakuové rámy v kombinaci sklo/ folie (mylar). Vyvine 60% tlaku. Výkon lamp je 2\*5 KW. Kombinace hodnot expozičních jednotek je pro HAL 250,150. COOLIGHT 1600-CCD má 2 osvětlovací stoly v kombinaci sklo/ sklo. Výkon lamp je 2\*7 KW. Vyvine tlak - 40 kPa. Kombinace hodnot expozičních jednotek jsou pro HAL 130,120.

Testování na expozičním klínu je zajištěno dostatečný expoziční čas. Klín slouží k optimalizaci expozice. Optimální hodnoty vidíme na obrázku 34.

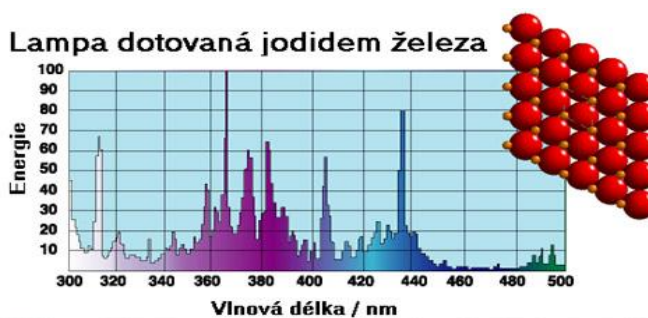
Testovalo se také zvýšení tlaku na vakuové rámy na přístroji RISTON PC130 s kombinací sklo/fólie, kde se tlak zvýšil z 60% na 80%. Bylo zjištěno, že při zvýšení tlaku nastává zhoršení kvality nepájkivé masky. Zanechává šmouhy či malé kazy na nepájkivé masce. Dochází k neúměrnému tlaku vakua, zapříčiňující podsvícení. Jakmile se špatně osvítil DPS, má to vliv na další procesy, které ve výsledku dopadnou špatně.

Testoval se také přístroj COOLIGHT 1600-CCD s 2 osvětlovacími stoly v kombinaci sklo/sklo. Výsledky byly dobré. K podsvícení nedošlo a písmena se dobře vyvolala.

U testovacích DPS byla určena hranice pokrytí pájkou 400  $\mu\text{m}$  pro RISTON PC130 s vakuovými rámy v kombinaci sklo/fólie. Pro COOLIGHT 1600-CCD s 2 osvětlovacími stoly v kombinaci sklo/sklo byla určena hranice pokrytí pájkou 350  $\mu\text{m}$ . V některých případech např. font 2000 2000 byly hranice posunuty až na 300  $\mu\text{m}$ .



Obrázek 34 Testování expozice: expoziční klín

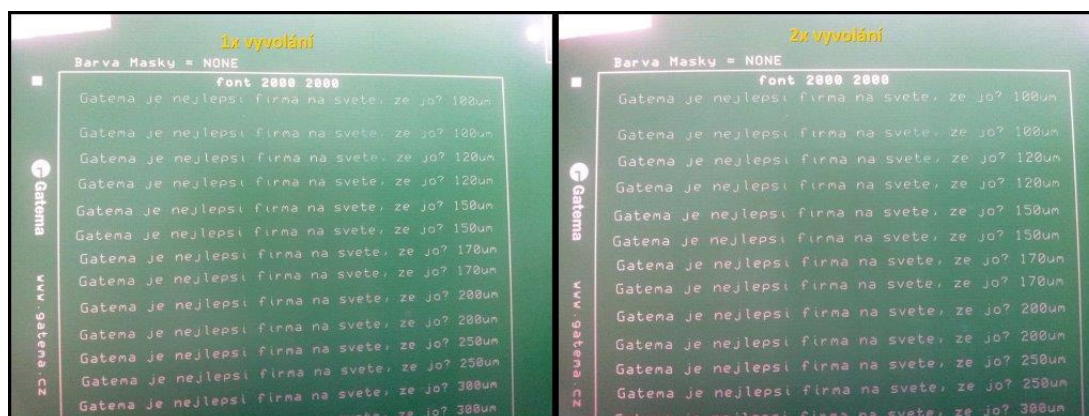


Obrázek 33 Charakteristika vlnové délky pro UV lampu

## Vyvolání

Vyvolání se provádí ostřikem desky vývojkou. Ve firmě GATEMA používají stroj PILL, s 4 kaskádovým oplachem. Typ vývojky se většinou používá uhličitan sodný. Vývojka je smíchaná s vodou a při procesu má teplotu mezi 30 – 40°C. Koncentrace uhličitanu sodného se pohybuje kolem 0,85 – 1,15 %. Při koncentraci 0,85% potřebuje DPS více času pro vyvolání. Proto dbáme, aby vývojka měla optimální koncentraci, jinak hrozí špatné vyvolání a tím i horší kvalita DPS. V zařízení PILL je vyvolání dokončeno v 30 % délky zařízení. Teoretická hodnota vyvolání se pohybuje v 50 % délky zařízení pro ostatní přístroje. Hlavní parametr je washing point. Washing point znamená bod vymytí, kde je deska vyvolána. Rychlost dopravníku a tím i vyvolání je 0,45m/min. Na zařízení PILL pro vyvolání se sleduje hlavně obsah uhličitanu sodného, pH a viskozita. Obsah uhličitanu sodného má minimální hodnotu 0,85 a maximální 1,15. A pH má minimální hodnotu 10,5 a maximální hodnotu 11,5. Hodnoty se měří průběžně několikrát za týden, proto se jejich hodnoty mění s každým novým týdnem

Při měření bylo použito i druhé zařízení RESCOTRON, který má rychlost vyvolání 1m/min. Toto zařízení bylo použito pro testování kvality vyvolání při snížení rychlosti dopravníku o 25% a o 50 %..



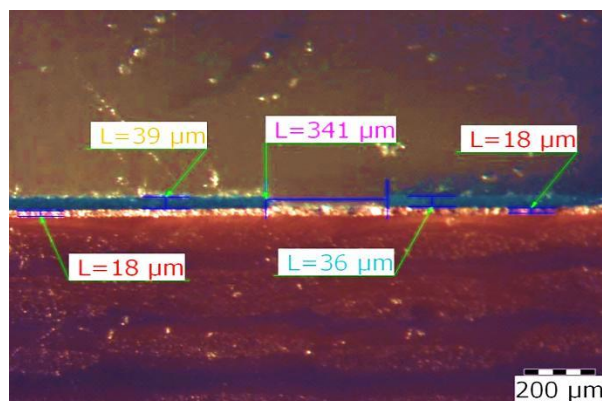
Obrázek 35 Porovnání DPS po 1x vyvolání a po 2x vyvolání

Testování kvality vyvolání bylo prováděno na třech testovacích DPS. První DPS byla nechána projet 2x vývojkou. Zbylé DPS projely 1x vývojkou a nechala se upravit rychlost dopravníku a to snížením rychlosti o 25% a 50%.

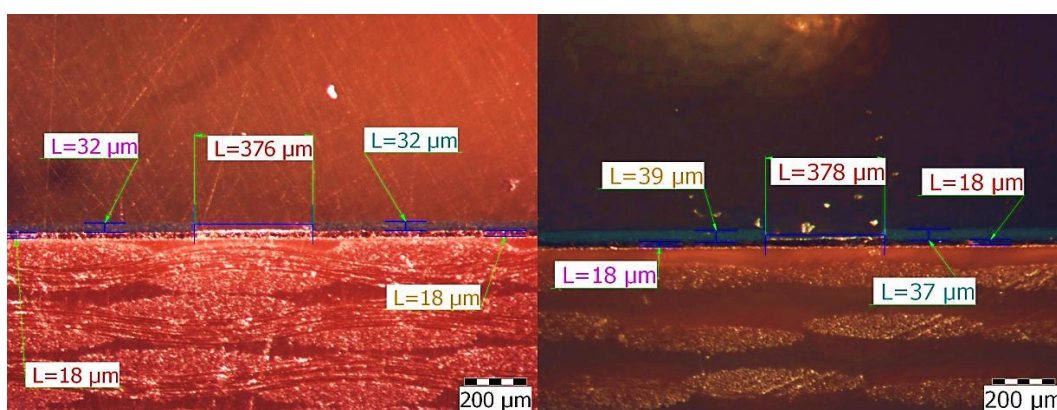
Na obrázku 36 a 37 vidíme, že reálné hodnoty šířky písmen jsou o 10 až 30  $\mu\text{m}$  menší než teoretické hodnoty. Příčinou mohou být tlak v tryskách a čerpadlech, čas a rychlost dopravníku ve vývojce a také koncentrace uhličitanu sodného.

Teoreticky při projetí DPS 2x vyvoláním nebo snížením rychlosti dopravníku o 25% a 50% by mělo přimět k většímu otevření mezery (šířka písmene) a k vymytí zbytků nečistot nepájivé masky (vyčistění mědi). Tímto by se mělo dosáhnout lepšího smáčení HAL. Také je potřeba mít na paměti, že čím větší forma písmene na DPS, tím méně času musí být DPS ve vývojce. A naopak, čím na DPS je menší písmeno, tím více času musí být DPS ve vývojce.

Bohužel, jak můžeme vidět z obrázku 37, snížením rychlosti dopravníku o 25 % a 50 % se zvýší hodnota šířky písmen o několik  $\mu\text{m}$ , ale i tak nedosahuje požadované teoretické hodnoty.



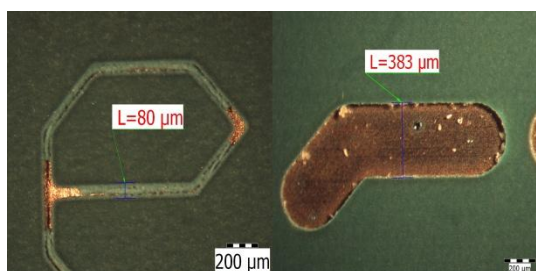
Obrázek 36 Mikrovýbrus DPS po 2x vyvolání, šířka písmen 350 $\mu\text{m}$



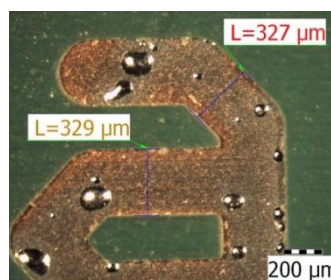
Obrázek 37 Mikrovýbrus DPS, Snížení rychlosti o 25%, Snížení rychlosti o 50% vpravo, šířka písmen 400 $\mu\text{m}$

Při porovnání uvedených testovaných DPS se došlo k závěru, že nejlepší vyvolání nepájivé masky a pokrytí ochrannou vrstvou pájky je vyvolání při snížení rychlosti o 50%. Tedy při rychlosti dopravníku 0,5m/ 1min.

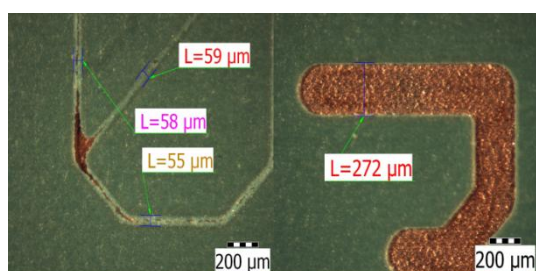
### 4.3.3 Ostrost nepájivé masky



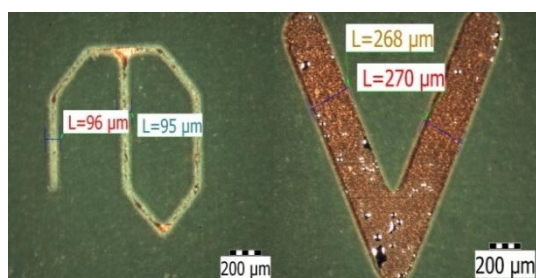
Obrázek 39 DPS 1x vyvolání



Obrázek 38 DPS 2x vyvolání vpravo



Obrázek 40 DPS, Snížení rychlosti o 25%



Obrázek 41 DPS, Snížení rychlosti o 50%

Další sledovaný parametr při hodnocení kvality nepájivé masky je ostrost nepájivé masky.

Měřena byla ostrost nepájivé masky na 4 testovacích DPS. Na obrázcích 38, 39, 40, 41 vidíme ostrost hran nepájivé masky, která má hrany v úhlu cca 90°. Hrany jednotlivých písmen nejsou do zubovitého tvaru. Na obrázcích také můžeme vidět opět snížení hodnoty písmen od hodnot teoretických. V některých případech i špatné vyvolání. Viz [Kap. 4. 3. 2](#)

#### 4.4 Množství reziduí oplachové vody na písmenech po předúpravě

Po nanesení, expozici, vyvolání a vytvrzení permanentní nepájivé masky na DPS pokračovala DPS do předúpravy povrchu před operací HAL. Viz. [Kap. 2](#) Po předúpravě se na DPS vyskytly kapky či ostrůvky deionizované vody.

##### Použitý materiál:

Aktivace LC16, deionizovaná voda, FR4 (s Cu folií, tloušťky 1,5 mm s rozměry 295x460 mm, oboustranná s 18 $\mu$ m Cu), mikroskop značky ARSENAL OLYMPUS, fotoaparát.



Obrázek 42 Kapky vody v písmenkách na DPS, font 1000 1000



Obrázek 43 Kapky a ostrůvky na vybrané části DPS, font 1000 1000

Na obr. 42 a na obr. 43 můžeme vidět ostrůvky vody a kapky vody v písmenkách, které byly pořízeny pomocí mikroskopu a fotografu určené pro zkoumání ve firmě GATEMA s.r.o..

Testování bylo prováděno podle výrobního standartního postupu firmy GATEMA na FR4 s Cu folií, tloušťky 1,5mm s rozměry 295x460 mm. DPS byla oboustranná s 18  $\mu$ m Cu. Kapky a ostrůvky se vyskytovaly jen na některých částech či fontech DPS. Většinou na fontu 1000 1000, jak ukazuje i obr. 42 a obr. 43. Kapky vznikly po následujících operacích. Nejprve proběhla aktivace mikroleptem LC16 s parametry v modulu: teplota 25 °C, poměru 50 l deiovody a 10 l LC16, délka aktivace: 60-90 s. Po ní následoval oplach deionizovanou vodou a vyjmutí z linky na kontrolu kvality. Přítomnost kapek vody snižuje schopnost dostat tavidlo na Cu plošky, kde by nedocházelo k potřebnému smáčecímu procesu a následnému nanesení ochranné vrstvy bezolovnaté pájky SN100C. Dále by mohlo dojít i k oxidaci Cu plošky. Proto je snaha množství reziduí vody zredukovat na co nejmenší množství, lépe žádné. To by se mohlo dosáhnout prostřednictvím moderních zařízení např. horkým vzduchovým nožem (air knife), který odstraní po posledním oplachu kapalinu z DPS včetně nečistot, které jsou v ní rozpuštěné, proudem horkého vzduchu před nanesením tavidla.

V praxi by na DPS po předúpravě neměly být žádné nečistoty, ani iontové náboje. V našem případě různé množství rezidua vody nevadí, ba naopak, kdy po kontaminaci tavidla PALUX30H vodou, má tavidlo dostatečnou sílu a smáčecí charakteristiku. Výsledky můžeme vidět v [Kap. 4. 5.](#)

## 4.5 Měření vlivu tavidla s různým obsahem vody na smáčivost

### Použité materiály

Pro simulaci vlivu tavidla s různým obsahem vody na smáčivost jsem použil zařízení Meniskograf, tavidlo Palux 30H a mikrolept LC16 (aktivace), bezolovnatou pájku SN100C (Sn99,03Cu0,7Ni0,05Ge0,005), Deiovodu, měděný drát, ochranné rukavice, pinzeta, kleštičky.

### Podmínky měření

Teplota pájky byla 265 °C. Použitý vzorek je měděný drát s parametry: délka 17 mm a průměr 0,9 mm. Rychlost ponoru byla nastavena na 10 mm.s<sup>-1</sup>, hloubka ponoru na 3 mm a čas ponoru činil 10 s. Rozsah smáčecí síly jsem nastavil na 2 mN (20 mV). Rozsah časové osy byl 20 s.

### Příprava na měření

Měděný drát byl nastříhán na několik vzorků určité délky a to na 17 mm. Následně do tavidla PALUX 30H bylo přidáno předem stanovené množství vody. Požadované poměry:

Tabulka 20 Složení vzorků

Vzorek	typ	složení
1.	čisté tavidlo	tavidlo 10 ml
2.	naředěné tavidlo	tavidlo 10 ml a voda 1 ml
3.	naředěné tavidlo	tavidlo 10 ml a voda 2 ml
4.	naředěné tavidlo	tavidlo 10 ml a voda 5 ml
5.	naředěné tavidlo	tavidlo 10 ml a voda 7,5 ml

Meniskograf byl nastaven na požadované hodnoty a pájka SN100C (teplota pájky 265°C) měla pracovní teplotu 265 °C.

### Postup měření

Na počátku bylo nutné stanovit hlavní parametry meniskografu a určit vhodný měřicí postup v souladu s požadavky zadání. Kvůli potřebě porovnání výsledků bylo nutné používat jednotné vzorky a jednotné nastavení měřicího pracoviště. Po celou dobu pro všechna měření byly nastaveny stejné měřicí parametry uvedené v podmínkách. Byla použita bezolovnatá pájka SN100C. Teplota pájky byla udržována na hodnotě 265 °C. Tavidlo bylo zvoleno PALUX 30 H, který používá firma GATEMA. Vzorek měděného drátu jsem rozdělil na několik částí. Vkládání vzorků do držáku jsem prováděl s bavlněnými rukavicemi, abych zamezil styku měřené části s jakoukoliv nečistou. Vyčnívající konec jsem zakrátil precizními štípačkami a tím jsem měl zajištěný kolmý řez a stejný tvar všech vzorků.

Zvoleno bylo 7 měření pro každé tavidlo s různou koncentrací deiovody. Vzorek jsem postupně ponořoval do mikroleptu LC16, kde vzorek je očištěn od veškerých nečistot. Po cca

Is byl vzorek namočen do deiovody a poté namočen do tavidla PALUX 30H. Následně byl vzorek zavěšen a ukotven na držák meniskografu. Meniskograf se spustil a byly sledovány jednotlivé průběhy v programu na PC.

### Výsledky měření

Velikost vztlakové síly působící na ponořenou část vzorku určíme ze vztahu vycházejícího z Archimédova zákona. Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčeno silou, která je úměrná hustotě pájky, ponořenému objemu a tíhovému zrychlení. Výpočet korigované nuly:

$$\text{kor. nula} = V * g * \rho = \frac{\pi * d^2}{4} * h * g * \rho = \frac{\pi * (0,91 \cdot 10^{-3})^2}{4} * 3 \cdot 10^{-3} * 7,4 \cdot 10^3 * 9,81 = 0,141 \text{ mN}, \quad (3)$$

kde

V- objem ponořené části vzorku, při hloubce ponoru 3mm a průměru 0,9mm

g – gravitační zrychlení 9,81 m.s<sup>-2</sup>

ρ – hustota bezolovnaté pájky SN100C je 7,4 g.cm<sup>-3</sup>

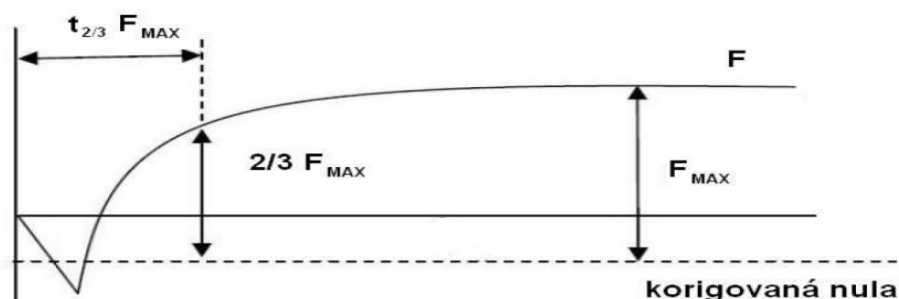
Hodnota korigované nuly je okamžik, kdy je povrch pájky kolmý k povrchu vzorku.

Pro porovnání naměřených výsledků využijí parametry hodnot smáčení. Jedná se o 2/3F<sub>max</sub> a čas t<sub>2/3F<sub>max</sub></sub>.

- F<sub>max</sub> – maximální smáčecí síla
- 2/3F<sub>max</sub> – smáčecí síla dosáhne 2/3 maximální smáčecí síly
- t<sub>2/3</sub> – čas, kdy smáčecí síla dosáhne 2/3 maximální síly

Hodnotu F<sub>max</sub> získáme sečtením korigované nuly a naměřením největší síly na křivce. Koeficient K získáme ze vztahu:

$$K = \frac{\frac{2}{3} F_{\text{max}}}{t_{2/3}}, \quad (4)$$



Obrázek 44 Poměr parametrů pro určení výsledné síly smáčení

Povrchové úpravy zlepšují smáčivost povrchů. Jako příklad výpočtu uvedu výpočet pro čisté tavidlo. Kdy vzorek dosáhl  $2/3F_{max} = 0,629 \text{ mN}$  a hodnota smáčecího času proto  $t_{2/3} = 1460 \text{ ms}$ . Výsledná hodnota  $K$  při použití čistého tavidla je:

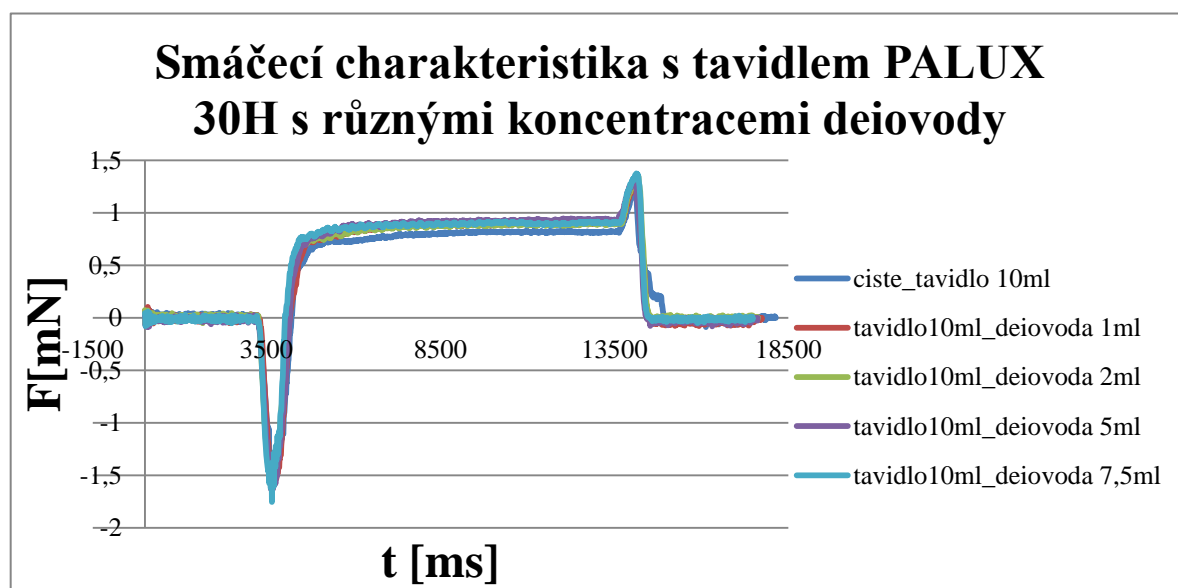
$$K = 0,431 \text{ mN}\cdot\text{s}^{-1}$$

Další výsledky koeficientů  $K$  jednotlivých vzorků jsou v Tab. 21.

Tabulka 21 Naměřené hodnoty maximální síly smáčení a jeho rychlosti smáčení

	1	2	3	4	5
Vzorek	čisté tavidlo	Tavidlo 10 ml + vody 1 ml	Tavidlo 10 ml + vody 2 ml	Tavidlo 10 ml + vody 5 ml	Tavidlo 10 ml + vody 7,5 ml
$F_{max}$ [mN]	0,964	1,053	1,049	1,079	1,056
gradient [mN/s]	3,85	3,615	4,306	4,33	4,6
$K = F_{2/3}/t_{2/3}$ [mN/s]	0,431	0,532	0,599	0,571	0,62

Grafy smáčení



Obrázek 45 Průběh smáčecích sil u vzorků PALUX 30H s různým obsahem deiovody

Z grafu (obrázek 45) vyčteme, že se jedná o průběhy dobrého smáčení a jak čisté tavidlo PALUX 30H, tak i tavidlo PALUX 30H kontaminované různým množstvím deiovody viz. Tab. 20. se nějak neliší a rozdíly smáčecího procesu či aktivace tavidla jsou praktické malé. Je zřejmé, že agresivita tavidla je i po naředění deiovodou tak vysoké, že polární charakter vody aktivitu tavidla ještě o něco zvyšuje. Tavidlo je stále agresivní a tím je i zaručena dobrá smáčivost. Při vyhodnocení a porovnání tavidel mělo nejlepší poměr tavidlo s obsahem tavidla 10 ml + 7,5 ml deionizované vody  $\text{H}_2\text{O}$ . Grafy smáčecích sil jednotlivých vzorků jsou uvedeny v [Příloze](#).

## 4.6 Vliv časové prodlevy tavidla na limitní hranici pokrytí pájkou

### Použitý materiál

Aktivace LC16, deionizovaná voda, FR4 (s Cu folií, tloušťky 1,5 mm s rozměry 295x460 mm, oboustranná s 18  $\mu\text{m}$  Cu), Tavidlo PALUX30H, HAL bezolovnatá pájka SN100C.

### Postup operací

Viz. [Kap. 2](#) S tím rozdílem, že po procesu nanesení tavidla byla pauza pro časové prodlevy tavidla na Cu plošky cca 15 s a 30 s.

Pro zkoušení vlivu adheze byly testovány 2 testovací DPS. První prošla jednou procesem nanášení tavidla PALUX 30H a následně se čekalo 15s než DPS postupovala do HAL. Druhá prošla 2x procesem nanášení tavidla PALUX30H a následně se čekalo 30 s na další postup do HAL.

Na první desce, která prošla 1x tavidlem s následnou prodlevou 15s, bylo vidět na jedné straně chybné expozice. Bezpečná hranice pokrytí pájkou byla určena 300  $\mu\text{m}$ . U fontu 2000 2000 byla hranice pokrytí 250  $\mu\text{m}$ . Na druhé straně DPS byla písmenka vyvolaná a hranice pokrytí pájkou byla stanovena 300  $\mu\text{m}$ . Hlavní problém na obou stranách byl nedostatečné pokrytí písmen i a j.

Na druhé desce, která prošla 2x tavidlem s následnou prodlevou 30s, bylo vidět na první straně dobré vyvolání písmen. Bezpečná hranice pokrytí písmen byla opět 300  $\mu\text{m}$  a opět jen u fontu 2000 2000 je hranice posunuta na 250  $\mu\text{m}$ . Na druhé straně je výsledek stejný, dobře vyvolaná písmena a hranice pokrytí písmen byla opět stanovena na 300  $\mu\text{m}$ .

Výsledky testování jsou bohužel stejné jako u ostatních testovaných vlivů. Časová prodleva tavidla nemá žádný vliv na kvalitu pokrytí písmen pájkou. Největší defektnost měla na obou DPS písmena i a j. Příčinou chybné expozice, po diskuzi s hlavním technologem, by mohl být neúměrný tlak folie na určitá místa povrchu nepájkivé masky, kde mohlo dojít k nedokonalemu přilnutí filmové matrice na povrch nepájkivé masky a poté by mohlo dojít k podsvícení. Proto i některá malá písmenka uprostřed DPS nebyla vyvolaná. Viz. [Kap. 4. 3. 2](#)

## 4.7 Vliv přehřevu tavidla na limitní hranici pokrytí pájkou

### Použitý materiál

Aktivace LC16, deionizovaná voda, FR4 (s Cu folií, tloušťky 1,5 mm s rozměry 295x460 mm, oboustranná s 18  $\mu\text{m}$  Cu), Tavidlo PALUX30H, HAL bezolovnatá pájka SN100C, sušička.

### Postup procesů

Viz. [Kap. 2](#) S tím rozdílem, že po procesu nanesení tavidla byla testovací DPS dána do sušičky na 1 minutu, kde byla nastavena teplota 90°C.

Pro zkoušení vlivu přehřevu byla testována jedna testovací DPS. Proces expozice byl prováděn na RISTON PC-130 PRINTER. Expoziční jednotky byly nastaveny na 250,150. Následný proces vyvolání probíhal bez problému a testovací DPS byla vyvolána dobře. Při procesu HAL byly nastaveny časové prodlevy v pájce 1,5s /2,5 s. Na DPS jsou vyvolány oba, dříve použité, testovací motivy.

#### 1. deska

Na horní straně DPS, kde byl použit první testovací motiv, nebyla určena limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou z důvodu nesplnění podmínky pokrytí 2,5% písmen na jednotlivých fontech desky.

Na dolní straně DPS, kde byl použit druhý testovací motiv, opět nebyla určena bezdefektní hranice pokrytí pájkou z důvodu nesplnění podmínky pokrytí 2,5% z celkových 78 písmen na všech jednotlivých fontech desky. Na každém fontu se vyskytuje 10 i více defektů.

Na desce jsme mohli sledovat kapky vody po procesu aktivace + oplach deionizovanou vodou. Viz. [Kap. 4. 4](#). To mohlo být způsobeno nedokonalým vytvrzením nepájivé masky a tím vyšším povrchovým napětím nepájivé masky.

Testovací DPS, po procesu HAL, podstoupila opravný proces HAL, kdy časové prodlevy v pájce byly 1,5s /2,5s. Hranice bezdefektního pokrytí pájkou prvního testovacího motivu se posunula na 200  $\mu\text{m}$ . Hranice bezdefektního pokrytí pájkou druhého testovacího motivu se posunula na 300  $\mu\text{m}$ .

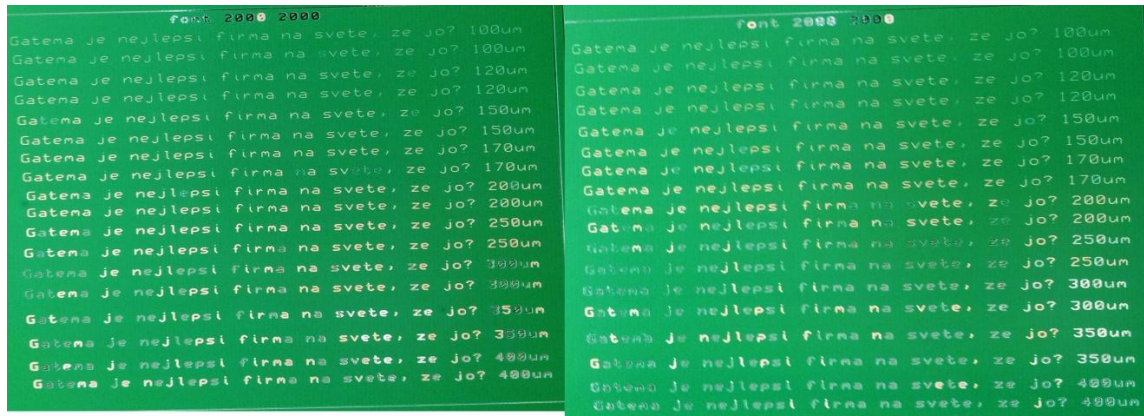
#### 2. deska

Na horní straně DPS, kde byl použit první testovací motiv, byla určena limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou 400  $\mu\text{m}$ .

Na dolní straně DPS, kde byl použit druhý testovací motiv, byla určena bezdefektní hranice pokrytí pájkou 400  $\mu\text{m}$ .

Výsledky testování dopadly negativně, takže přehřev tavidla nemá žádný vliv na zlepšení kvality pokrytí písmen pájkou.

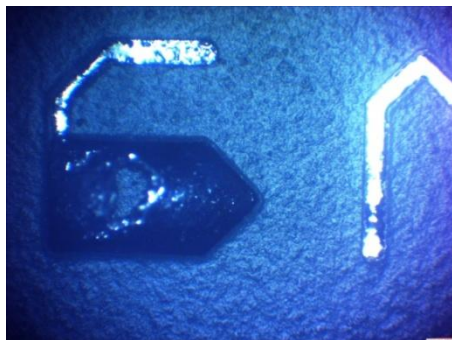
## 4.8 Časová prodleva desky v pájce



Obrázek 46 DPS, font H 2000 2000, po projetí 2 x vývojkou, HAL 2/3 s vlevo, HAL 2/2 s vpravo



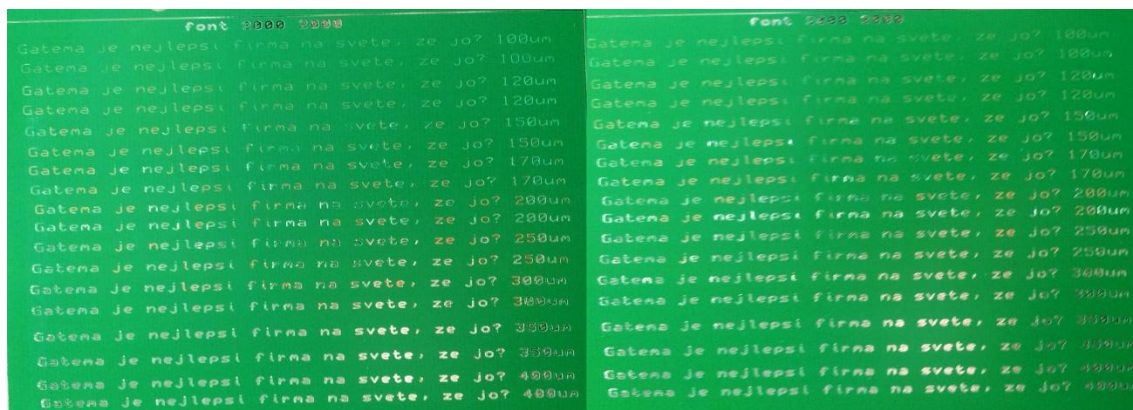
Obrázek 47 DPS , font H 2000 2000, po projetí 2x vývojkou, HAL 1/3 s, po projetí 1x vývojkou, HAL 2/5 s



Obrázek 48 DPS, font H 2000 2000,  
přebytek pájky na DPS

V rámci zkoumání časových prodlev v pájce byly použity testovací desky typu FR4. Provedlo se testování na 6 deskách. Na testovací DPS je 11 polí z každé strany, takže v součtu je na DPS 22 polí. Pro každé pole připadá jeden font. Typy fontu máme 2000 2000, 1500 1500, 1000 1000. Zaměřili jsme se hlavně na font 2000 2000. Kdy první číslo ukazuje hodnotu pro výšku písmena a druhé číslo je parametr pro velikost mezery mezi číslicemi. Zkoumané DPS byly ponořeny v zařízení Lantronic-204-S do bezolovnaté pájky SN100C. Některé prošly 2x vývojkou při procesu vyvolání z důvodů rozšíření šířky písmen. [Viz. Kap. 4. 3. 2](#)

Tavidlo bylo použito PALUX30 H a mikrolept LC16 v poměru LC16 : deiovoda (10 l : 50 l). Aktivace předúpravy je na rozmezí 60 – 90 s. Časové prodlevy v sekundách byly stanoveny takto 1s/3s, 2,5s/0s, 2s/2s, 2s/3s, 1s/2s, 4s/0s. Ponoření bylo dvojité. První slouží jako předeřev, prohřátí desky a difuze pájky do povrchu mědi. Druhá slouží k pájení a vytvoření dobře pájitelného povrchu.



Obrázek 49 DPS, font H 2000 2000, snížení rychlosti dopravníku u vývojky o 25% HAL 1/2 vlevo, o 50% HAL 4 vpravo

Vzorec pro určení doby ponoru je dle hlavního technologa

$$\text{čas} = \text{tloušťka DPS} * 1 + 1 \quad (5)$$

Pro případ FR4 tloušťky 1,5mm vyjde čas 2,5s pro jeden ponor. Pro dva ponory můžeme rozdělit 2,5s na 2s /3s. Tlak v zařízení byl 40 – 45 psi (275790 – 310264 Pa). Teplota pájky je nastavena na 271-272 °C. Po startu procesu se stoupajícím počtem desek se teplota HAL zvýší až na maximálních 280°C. Teplota vzduchu (Air knife) je 239 °C. Tato teplota je stanovena v technických listech.

Tabulka 22 Tabulka vzorku s teplotami při procesu HAL

Vzorek	Ponory	Teplota
HAL bezolovnatý	[s/s]	[°C]
1x vyvolaný	2,5/0	273
1x vyvolaný, snížení o 25%	1/2	273
1x vyvolaný, snížení o 50%	4/0	275
2x vyvolaný	1/3	280
2x vyvolaný	2/2	272
2x vyvolaný	2/3	275

Na obrázku 48 vidíme přebytek pájky na písmenku v části desky font H 2000 2000. Přebytek pájky může být způsoben mnoha aspekty. Tlak a teplota v horkovzdušných nožích v HAL, rychlost vyjímání z pájky, znečištění a teplota pájky, problémy s čerpadlem či znečištění nepájivé masky nebo organické zbytky. Také málo tavidla nebo voda v tavidle.

Při kontrole bylo zjištěno, že DPS při časové prodlevě 1s/3s, 2s/2s, 2s/3s, která prošla 2x vyvoláním, je u časové prodlevy 1s/3s bezpečné pokrytí pájkou zaručeno u hranice 300  $\mu\text{m}$ . U ponoru 2s/2s testování dopadlo hůře. Hranice bezpečného pokrytí pájkou se snížila a to na 400 $\mu\text{m}$  a i na této hranici se vyskytují v průměru 3-4 defekty v podobě nepokrytých písmen. Také na jedné straně DPS vidíme nevyvolaná písmenka v prostřední části desky. Příčinu bych hledal v nedodržení pauzy mezi procesy či špatném tlaku vakuu při expozici. U ponoru 2s/3s testování dopadlo také špatně, i když právě tuto kombinaci ponoru v GATEMA používali ve výrobě v době testování. Bezpečná hranice nebyla určena. I u šířky 400  $\mu\text{m}$  se vyskytovalo v průměru 8 až 10 defektů v každém fontu na DPS.

DPS s časovými prodlevy 1s/2s, 2,5s/0s a 4s/0s projely DPS vyvoláním jednou. U prodlev 1s/2s a 4s/0s prošla DPS vyvoláním v zařízení RESCOTRON a rychlost dopravníku byla zpomalena o 25% a 50%. [Viz. Kap. 4. 3. 2](#)

DPS s prodlevou 2,5s/0s se bezpečná hranice pokrytí určila u šířky písmen 300  $\mu\text{m}$ . Vidíme také přebytky pájky v některých oblastech. Příčiny jsou uvedeny výše.

Testovací DPS s prodlevou 1s/2s a 4s/0s měly bezpečné hranice pokrytí pájkou 300  $\mu\text{m}$  pro 1s/2s a 250  $\mu\text{m}$  pro 4s/0s. Posunutí hranice mohlo zapříčinit právě zpomalení dopravníku, kdy došlo k vymytí Cu plošek od zbytků nečistot u nepájivé masky a s větší časovou prodlevou v uhličitanu sodném se mohly rozměry písmen, definované nepájivou maskou, zvětšit o několik desítek  $\mu\text{m}$ . Viz. [Kap. 4. 3. 2](#)

Můžeme vidět u některých částí DPS, zvláště u DPS s časovou prodlevou 1s/2s a 4s/0s, že písmenka nejsou vyvolaná, což může mít příčinu, po diskuzi s hlavním technologem, v podsvícení či neúměrném tlaku na folii při expozici nebo malou prodlevou mezi operacemi expozice  $\rightarrow$  vyvolání, kde by měla být pauza cca 15 minut.

Ze všech zkoušených prodlev na 6 DPS se nejúčinnější projevil režim 1s/2s a 4s/0s. Tento výsledek je možná dán právě snížením rychlosti dopravníku, kdy DPS je více času v uhličitanu sodném. Bohužel, je zde mnoho aspektů, ať už při procesu nanesení nepájivé masky, expozici, vyvolání, vytvrzení a HAL, kvůli kterým by výsledek mohl dopadnout jinak.

Pro srovnání v [Kap. 4. 1](#) je pro testovací DPS, které bylo pokryto bezolovnatou pájkou, určená hranice bezpečného pokrytí pájkou také 250 $\mu\text{m}$ , při kombinaci ponorů 2s/3s, které se používají ve výrobě a bez snížení rychlosti dopravníku při vyvolání v zařízení RESCOTRON.

## 4.9 Poměr limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky.

### Použitý materiál:

Deionizovaná voda, FR4 (s Cu folií, tloušťky 1,5 mm s rozměry 295x460 mm, oboustranná s 18  $\mu\text{m}$  Cu), mikroskop značky ARSENAL OLYMPUS, fotoaparát, zařízení PILL pro vyvolávání fotonepájivé masky, linka pro nanášení fotonepájivé masky clonováním, expoziční zařízení COOLIGHT DMVL – 1530.

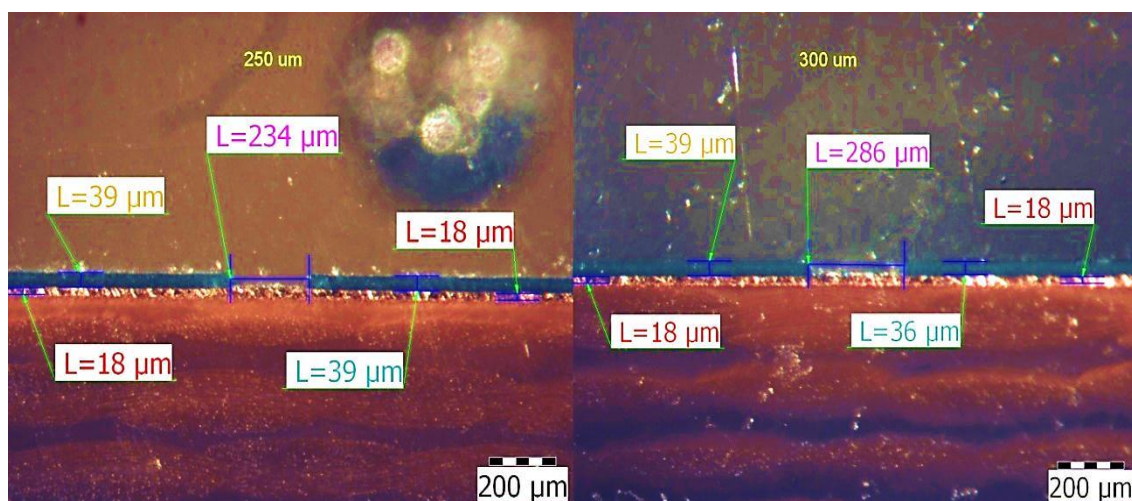
### Postup procesu:

Viz. [Kap. 2](#)

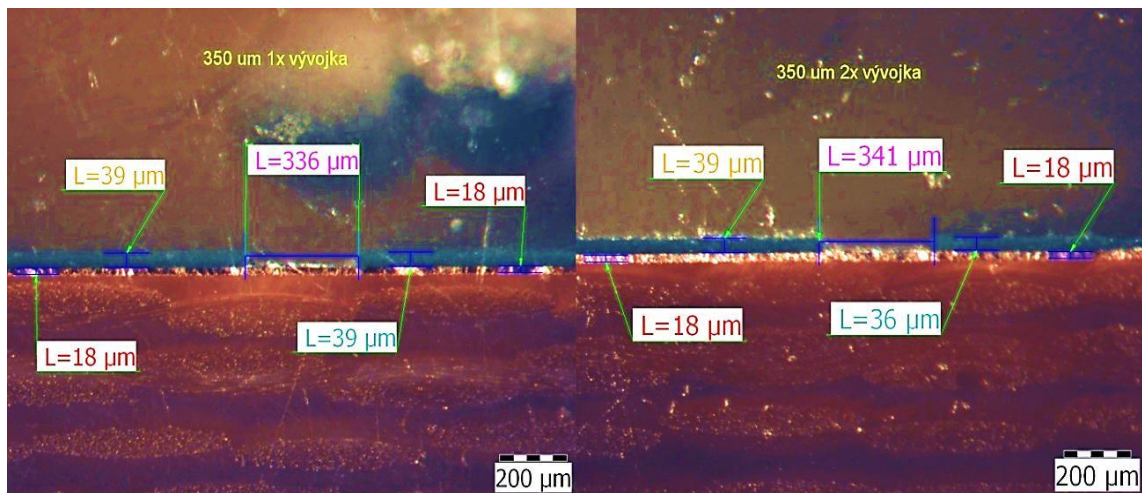
### Hodnocení a analýza DPS pomocí mikrovýbrusu

Pro mikrovýbrusy byly vybrány testovací vzorky DPS pro šířku písmen 250  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 350  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$ . Vzorky prošly procesem bezolovnatý HAL a jeden vzorek prošel 2x vývojkou.

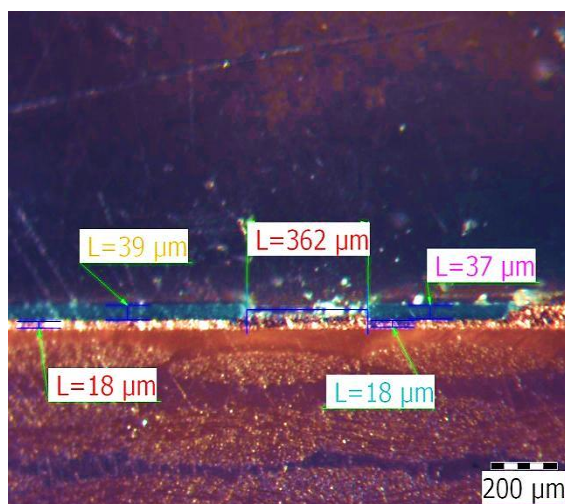
Na obrázku 50 – 52 jsou mikrovýbrusy s rozdílnými šířkami písmen. Tloušťka plátované vrstvy mědi je standardních 18  $\mu\text{m}$ , jak je uváděno v technických listech. Vidíme, že tloušťka nepájivé masky je na vzorku poměrně rovnoměrná. Hodnota se pohybuje okolo 38  $\mu\text{m}$ . Vyskytly se ale výjimky, kdy se tloušťky lišily od sebe o 3  $\mu\text{m}$ . Příčinou může být clonové nanášení nepájivé masky a její vlastnosti, které má v době nanášení. Těmito vlastnostmi mohou být viskozita masky, šířka štěrbin, rychlost pohybu pásu a otáčky čerpadla dopravující masku. Tyto parametry určují tloušťku nepájivé masky. Při testování tyto vlastnosti byly nastaveny dle výrobce a technické dokumentace. Je třeba stanovit ideální poměr tloušťky nepájivé masky a šířky měděné plošky. Při procesu předúprav před HAL se dostávají LC16, voda a tavidlo snáze na měděnou plošku, když tloušťka nepájivé masky není tak velká. Kdyby byla velká hodnota tloušťky nepájivé masky, mohlo by to zapříčinit později řadu problémů např. špatné pokrytí měděné plošky ochrannou vrstvou pájky.



Obrázek 50 Mikrovýbrus, kvalita nepájivé masky pro šířky písmen 250  $\mu\text{m}$  a 300  $\mu\text{m}$



Obrázek 51 Mikrovýbrus, kvalita nepájivé masky pro šířky písmen 350 $\mu$ m, 2x vývojka



Obrázek 52 Mikrovýbrus, kvalita nepájivé masky pro šířku písmene 400 $\mu$ m

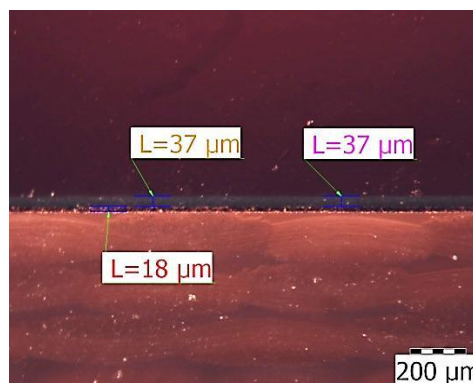
Obvyklá tloušťka nepájivé masky byla vypočítána aritmetickým průměrem z 10 testovacích vzorků. Hodnoty jsem získal pomocí mikrovýbrusů jednotlivých vzorků. Tloušťka nepájivé masky je 38  $\mu$ m. Tato hodnota vyhovuje požadavkům firmy GATEMA. Pozornost je třeba věnovat i šířce písmen. Vidíme zmenšené hodnoty šířky jednotlivých písmen a to o 20 – 25  $\mu$ m. To může být způsobeno vyvoláním. [Viz Kap. 4. 3. 2](#)

#### Stanovení poměru limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky

Jako další zkoumaný parametr byl zvolen poměr šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky. Čím větší poměr šířky písmene a tloušťky nepájivé masky, tím je větší rozměr plochy pájecí plošky a operace HAL má lepší výsledky. Tento úkol byl rozdělen na dvě části. Nejprve byla změřena reálná šířka písmena, která byla v mnoha případech menší než teoretická hodnota. [Více Kap. 4. 3. 2](#) Poté se určila pomocí mikrovýbrusů tloušťka nepájivé masky na jednotlivých vybraných DPS. Vše jen u fontu 2000 2000, protože z předešlých měření měla nejlepší výsledky. Ze 4 DPS byly ponořeny dvě DPS do izopropylalkoholu, aby se odstranily všechny zbylé nečistoty a mastnoty. Následně byl určen poměr limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky. Referenční údaj pro daný poměr podle normy nebyl nalezen. Zřejmě informace výrazně souvisí s povrchovou energií nepájivé masky. Proto poměr bude stanoven z naměřených hodnot pro dané šířky písmen. Parametry operací minulých DPS odpovídaly hodnotám běžně používaných ve výrobě. [Viz. Kap. 2](#)

Tabulka 23 Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý

Font H 2000 2000 bezolovnatá				
Šířka písma teoretická	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájkivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
100	90	37	100	2,43
120	110	37	100	2,97
150	145	37	98,71	3,92
170	160	37	98,71	4,32
200	180	37	89,74	4,86
250	245	37	57,69	6,62
300	295	37	21,79	7,97
350	340	37	11,53	9,19
400	400	37	10,25	10,81



Obrázek 53 Tloušťka nepájkivé masky a plátované mědi po bezolovnatém HAL

Tabulka 24 Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý

Font V 2000 2000 bezolovnatá				
Šířka písma teoretická	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájkivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
100	82	37	98,71	2,22
120	114	37	93,58	3,08
150	133	37	94,87	3,59
170	158	37	71,79	4,27
200	175	37	67,94	4,73
250	230	37	7,69	6,22
300	265	37	12,82	7,16
350	320	37	15,38	8,65
400	364	37	16,66	9,84

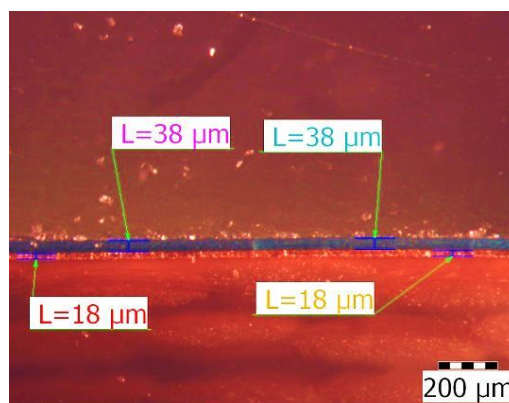
Zjednodušeně se dá říct, že je hledán limitní poměr, při které bude defektnost zároveň nejmenší. Vzorec pro určení poměru je:  $\frac{D}{h} > 1$  (6)

Kde D je šířka písmene a h je tloušťka nepájkivé masky.

Naměřené hodnoty jsou v tabulkách, kde nejpodstatnější jsou sloupce s defektností a poměru.

Tabulka 25 Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý s IPA

Font H 2000 2000 IPA bezolovnatá				
Šířka písma teoretická	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
100	80	38	100	2,11
120	105	38	100	2,76
150	128	38	100	3,37
170	141	38	98,72	3,71
200	169	38	98,72	4,45
250	214	38	42,3	5,63
300	262	38	5,13	6,89
350	310	38	8,97	8,16
400	365	38	12,82	9,61



Obrázek 54 Tloušťka nepájivé masky a plátované mědi po IPA bezolovnatém HAL

Tabulka 26 Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý s IPA

Font V 2000 2000 IPA bezolovnatá				
Šířka písma teoretická	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
100	95	38	100	2,50
120	117	38	100	3,08
150	150	38	96,15	3,95
170	170	38	88,46	4,47
200	185	38	91,02	4,87
250	250	38	37,18	6,58
300	285	38	23,08	4,87
350	345	38	11,53	9,08
400	380	38	16,66	10,00

Na obrázku 53 vidíme tloušťku nepájivé masky a to 37  $\mu\text{m}$ .

U bezolovnaté pájky je nejnižší poměr nepájivé masky pro šířku písmene 100  $\mu\text{m}$ , kde byl určen poměr 2,2 s defektností 98,71%. Naopak největší poměr nepájivé masky je pro šířku 400  $\mu\text{m}$ , kde byl určen poměr 10,81 s defektností 10,25 %.

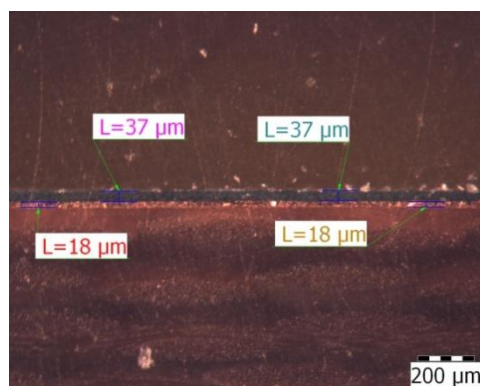
Na obrázku 54 vidíme tloušťku nepájivé masky a to 38  $\mu\text{m}$ .

U DPS ponořených do izopropylalkoholu a poté do bezolovnaté pájky je nejnižší poměr nepájivé masky pro šířku písmene 100 $\mu\text{m}$ , kde byl určen poměr 2,1 s defektností 100 %. Naopak největší poměr nepájivé masky byl určen pro šířku 400  $\mu\text{m}$ , kde byl určen poměr 10 s defektností 16,66 %.

Z uvedených tabulek je zřejmé, že výraznější pokles defektů u bezolovnatého HAL je od poměru 7 a výše, tzn. od šířky písmen 250 – 300  $\mu\text{m}$  pro standardně nanášenou nepájivou maskou.

Tabulka 27 Defektnost a poměr pro HAL olovnatý

Font H 2000 2000 olovnatá				
Šířka písma teoretická	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
100	100	37	93,58	2,70
120	110	37	48,72	2,97
150	130	37	23,07	3,51
170	165	37	19,23	4,46
200	180	37	5,13	4,86
250	230	37	11,53	6,22
300	280	37	10,25	7,57
350	325	37	7,69	8,78
400	380	37	1,28	10,27



Obrázek 55 Tloušťka nepájivé masky a plátované mědi po olovnatém HAL

Tabulka 28 Defektnost a poměr pro HAL olovnatý

Font V 2000 2000 olovnatá				
Šířka písma teoretická	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
100	90	37	87,18	2,43
120	120	37	69,23	3,24
150	135	37	30,77	3,65
170	150	37	30,77	4,05
200	170	37	19,23	4,59
250	220	37	14,1	5,95
300	260	37	6,41	7,03
350	325	37	7,69	8,78
400	375	37	11,53	10,14

Na obrázku 55 vidíme tloušťku nepájivé masky a to 37  $\mu\text{m}$ .

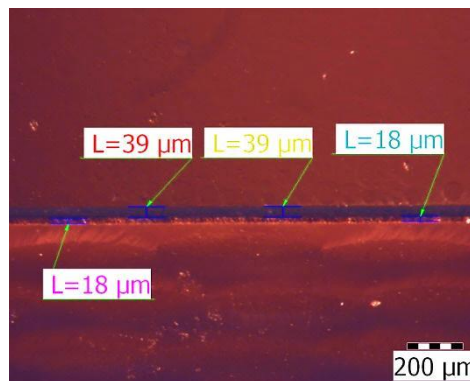
U olovnaté pájky je nejnižší poměr nepájivé masky pro šířku písmene 100  $\mu\text{m}$ , kde byl určen poměr 2,43 s defektností 87,18 %. Naopak největší poměr nepájivé masky je pro šířku 400  $\mu\text{m}$ , kde byl určen poměr 10,14 s defektností 11,53 %.

Z tabulky 27 a 28 je zřejmé, že výraznější pokles defektů u olovnaté pájky je od poměru 5 až 6 a výše.

Tento výsledek poměrů bezolvnaté a olovnaté pájky zřejmě souvisí s povrchovým napětím pájek.

Tabulka 29 Defektnost a poměr pro HAL olovnatý s IPA

Font H 2000 2000 IPA olovnatá				
Šířka písma teoretická	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
100	95	39	97,43	2,44
120	112	39	83,33	2,87
150	140	39	57,69	3,59
170	160	39	34,61	4,10
200	192	39	14,1	4,92
250	230	39	10,25	5,90
300	290	39	6,41	7,44
350	340	39	5,13	8,72
400	390	39	8,97	10,00



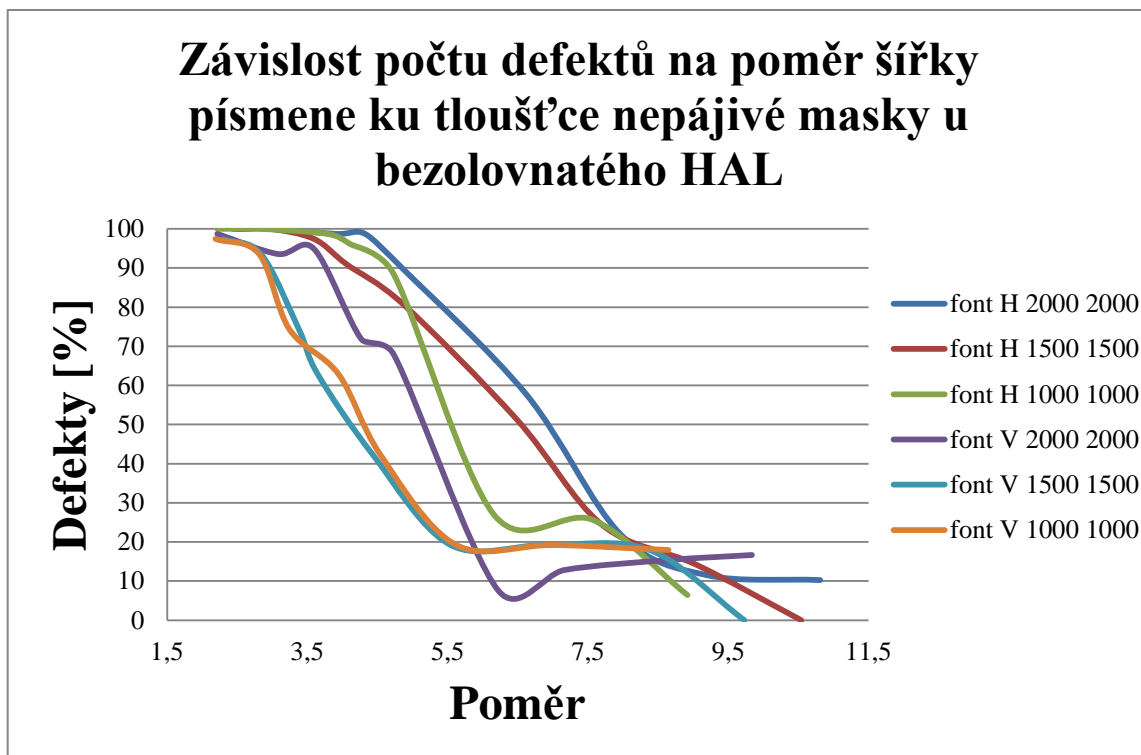
Obrázek 56 Tloušťka nepájivé masky a plátované mědi po IPA olovnatém HAL

Tabulka 30 Defektnost a poměr pro HAL olovnatý s IPA

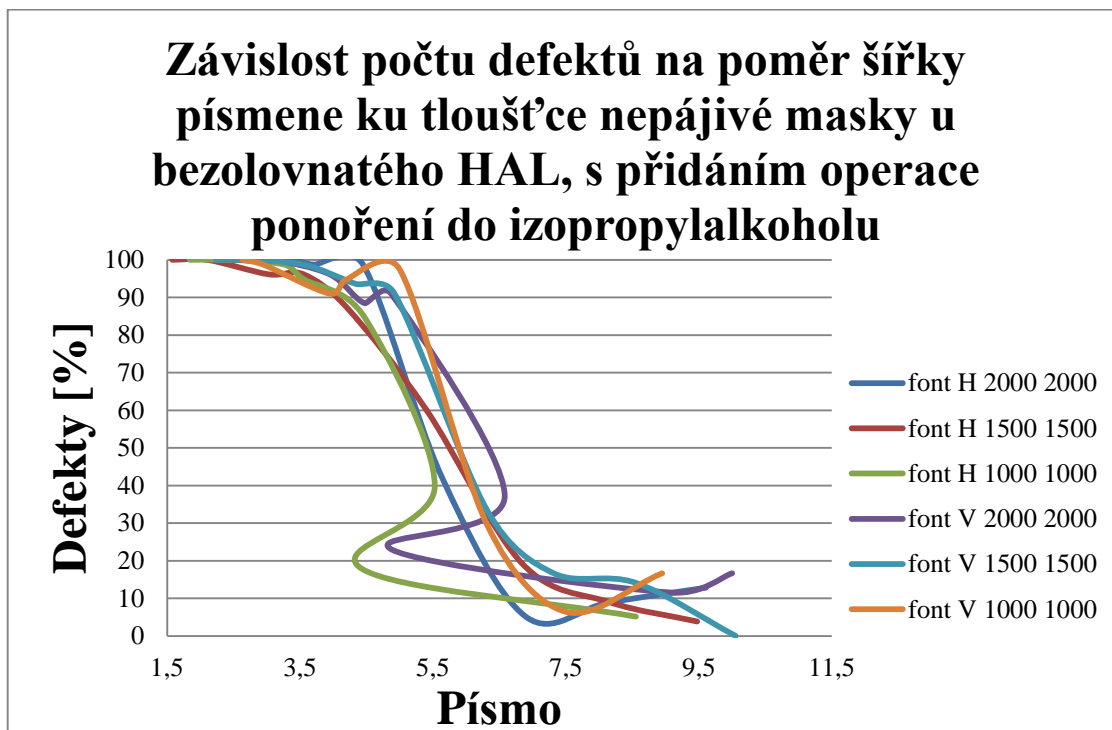
Font V 2000 2000 IPA olovnatá				
Šířka písma teoretická	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
100	95	39	98,72	2,44
120	120	39	94,87	3,08
150	145	39	94,87	3,72
170	160	39	74,35	4,10
200	200	39	57,69	5,13
250	220	39	19,23	5,64
300	278	39	25,64	7,13
350	335	39	28,2	8,59
400	394	39	14,1	10,10

Na obrázku 56 vidíme tloušťku nepájivé masky a to 39  $\mu\text{m}$ .

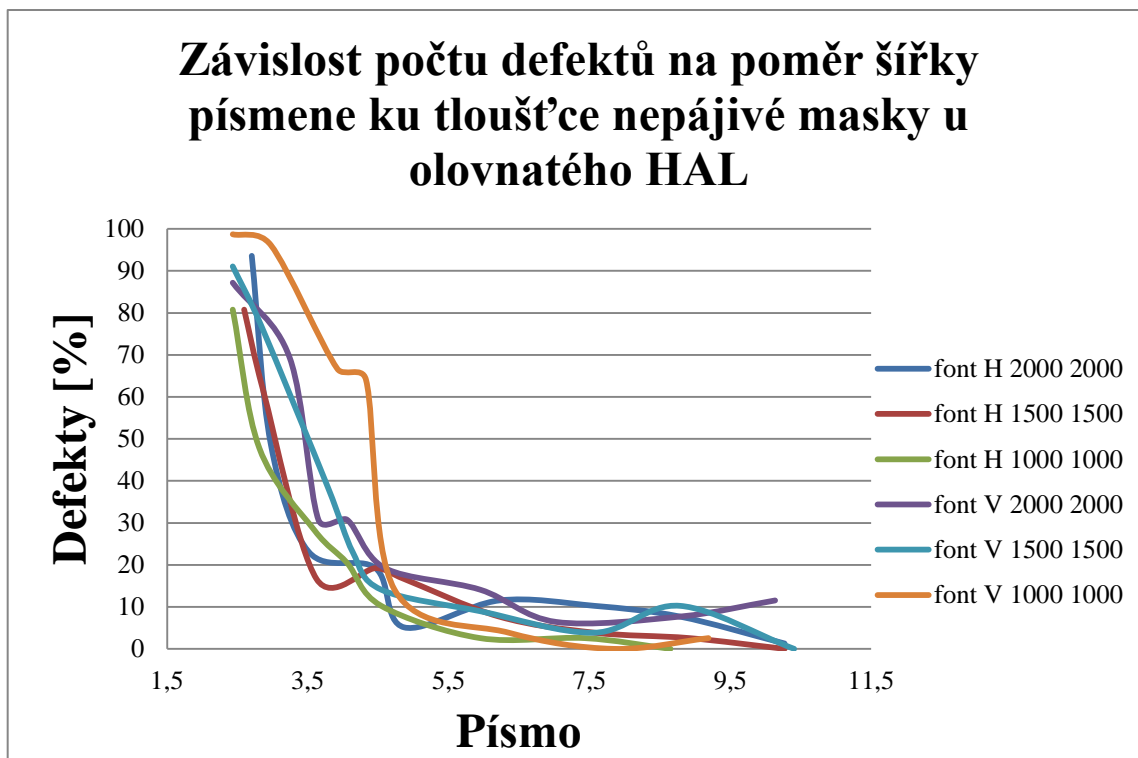
U DPS ponořených do izopropylalkoholu a poté do olovnaté pájky je nejnižší poměr nepájivé masky pro šířku písmene 100  $\mu\text{m}$ , kde byl určen poměr 2,44 s defektností 98,72 %. Naopak největší poměr nepájivé masky je pro šířku 400  $\mu\text{m}$ , kde byl určen poměr 10,10 s defektností 14,1 %.



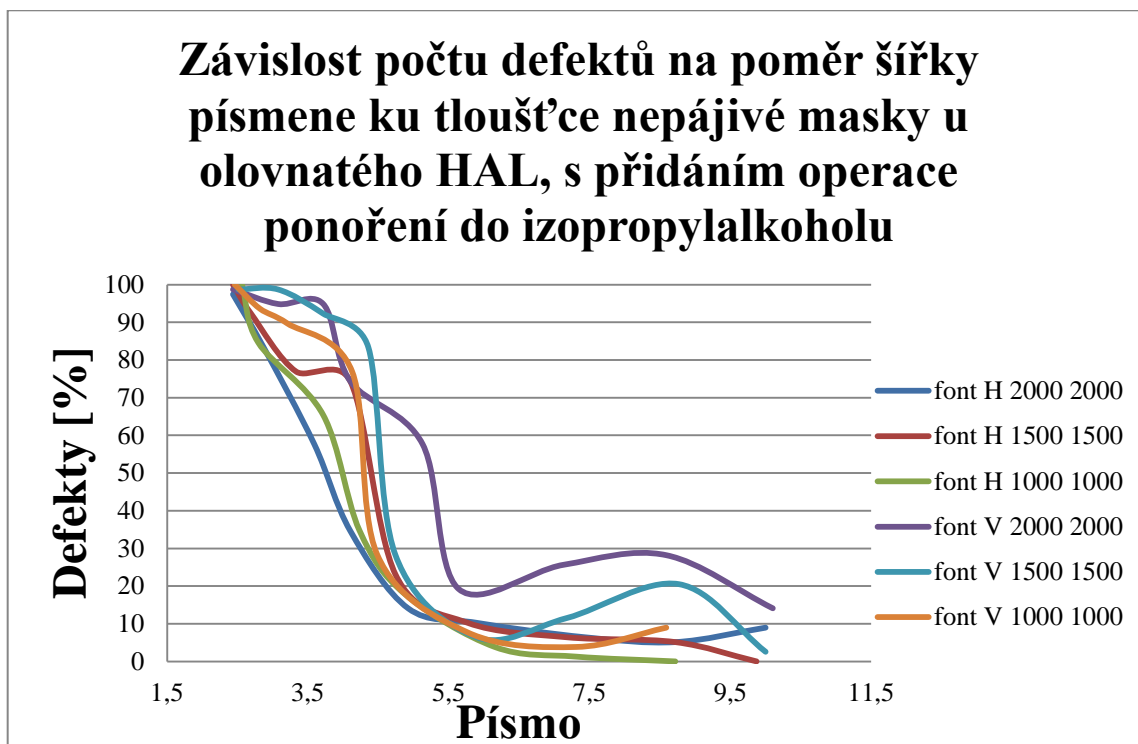
Obrázek 57 Graf závislosti počtu defektů na poměru šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky u bezolovnatého HAL



Obrázek 58 Graf závislosti počtu defektů na poměru šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky u bezolovnatého HAL, s přidáním operace ponoření do izopropylalkoholu



Obrázek 59 Graf závislosti počtu defektů na poměru šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky u olovnatého HAL



Obrázek 60 Graf závislosti počtu defektů na poměru šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky u olovnatého HAL, s přidáním operace ponoření do izopropylalkoholu

## 4.10 Diskuze dosažených výsledků a doporučení

V praktické části jsem se ve spolupráci s firmou GATEMA Boskovice s.r.o. pokusil optimalizovat technologický postup související s aspekty nepokrytí pájkou. Na testovacích deskách s rozdílnými velikostmi i fonty písmen definovanými nepájivou maskou byly určeny limitní hranice bezdefektního pokrytí olovnatou i bezolovnatou pájkou pro HAL. Limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou byla do 2,5%. Bylo zjištěno, že hranice pro bezolovnatou pájku je 400  $\mu\text{m}$ . Většinou se jednalo o font 2000 2000 a font 1500 1500. Hlavní příčiny velké defektnosti jsou písmena i a j. Možná příčina je i v povrchovém napětí písmene( tvaru a velikosti písmen). Další možná příčina může být velké povrchové napětí bezolovnaté pájky, která vede k horšímu smáčení. Naopak u olovnaté pájky byla limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou zlepšena na 350  $\mu\text{m}$ . Přidáním operace oplachem izopropylalkoholem jsme se snažili dosáhnout větší čistoty DPS. Hodnoty zůstaly na stejných hodnotách nebo v některých případech se dokonce zhoršily. Ale při testování na jiném vodivém motivu, který prošel stejnými technologickými operacemi jako předcházející motiv, došlo ke zlepšení a posunutí limitní hranice u bezolovnaté pájky na 250  $\mu\text{m}$ . Motiv můžeme vidět na obrázku 20. Při použití izopropylalkoholu se hranice posunula na 200 $\mu\text{m}$ . U olovnaté pájky se limitní hranice pohybuje na 150  $\mu\text{m}$  a při použití izopropylalkoholu se hranice posunula na 120  $\mu\text{m}$ .

Z výsledných porovnání a vyhodnocení by mohlo vyplývat doporučení zavést používání větších fontů např. font 2000 2000, protože čím máme větší poměr velikosti písma a vzdálenosti písma mezi sebou, tím lepší je DPS pokrytá ochrannou vrstvou pájky. Pro budoucí výrobu bych navrhoval do technických listů zaznamenat limitní hranice šířky písmen, kde je HAL schopen zajistit dostatečně pokrytí pájkou. A zavést v procentech vyjádřenou defektnost, aby byl zákazník s touto hodnotou seznámen a počítal. Také bych doporučil do výroby izopropylalkohol, z důvodů vyčistění zbytků nečisto (částičky prachu) a tím i posunutí limitní hranice bezpečného pokrytí pájkou. Z hlediska průmyslové výroby je zavedení izopropylalkoholu do výroby komplikovanější, včetně bezpečnosti, obsluhy i umístění do výrobní linky.

V další části praktických zkoušek jsem sledoval kvalitu vyvolání a expozici nepájivé masky, množství reziduí oplachové vody na písmenkách po předúpravě, kontaminaci tavidla vodou i časovou prodlevu desky v pájce.

Expozice a vyvolání spolu hodně souvisí, protože dojde-li k podexpozici DPS z důvodu špatného tlaku fólie na nepájivou masku, není zaručeno dokonalé vyvolání Cu plošek či písmen. Proto bych doporučoval ve výrobě používat expozici s přístroji, které mají 2 osvětlovací stoly v kombinaci sklo/sklo , pokud by se jednalo o tuhý materiál např. FR4. Protože přístroje v kombinaci sklo/fólie nemají zaručené dokonalé přilnutí fólie k nepájivé masce, může tím být způsobena horší rozlišovací schopnost, při které hrozí špatné vyvolání Cu plošek. Pokud by se jednalo o ohebný materiál, nechal bych expozici s přístrojem v kombinaci sklo/fólie. Dále je nutné důsledně dodržovat technologické prodlevy

doporučované v technických listech, např. prodleva 15 minut po expozici na dokončení polymerizace.

Z hlediska vyvolání záleží také na mnoha faktorech např. obsah uhličitanu sodného, rychlost dopravníku, tlak v tryskách, homogenita ostříku a teplota. Tyto faktory mohly způsobit náš problém s hodnotami reálných šířek písmen, které byly o několik desítek  $\mu\text{m}$  menší než teoretické hodnoty. Také bylo zjištěno, že při porovnání uvedených testovaných DPS, nejlepší vyvolání nepájivé masky a pokrytí ochrannou vrstvou pájky mají DPS při vyvolání se snížením rychlosti o 50%. Tedy při rychlosti dopravníku 0,5 m/ min.

Dalším sledovaným faktorem je množství reziduí oplachové vody na písmenech po předúpravě. Na vybraných testovacích DPS byly přítomny kapky, někdy i ostrůvky vody, zvláště na dolní straně DPS. Viditelné kapky by mohly teoreticky způsobit cestičky ke zkratům. Zapříčinily by možnou neschopnost dostat tavidlo na Cu plošky, hlavně by mohlo dojít k oxidaci Cu plošky. Doporučil bych množství reziduí vody zredukovat na co nejmenší množství, lépe žádné. To by se mohlo dosáhnout prostřednictvím moderních zařízení např. horkým vzduchovým nožem (air knife), který odstraní po posledním oplachu kapalinu z DPS včetně nečistot, které jsou v ní rozpuštěné, proudem horkého vzduchu, před nanesením tavidla.

Při kontaminaci tavidla vodou bylo zjištěno, že smáčecí průběhy se nijak neliší a rozdíly smáčecího procesu či aktivace tavidla jsou praktické malé. Tavidlo je stále agresivní a tím je i zaručena dobrá smáčivost. Při vyhodnocení a porovnání tavidel měla nejlepší poměr tavidlo s obsahem tavidla 10ml + 7,5 ml deionizované vody  $\text{H}_2\text{O}$  a to 0,62 mN/s. Přínosem je tedy poznatek, že v našem případě voda má minimální vliv na smáčecí charakteristiky a může být obsažena v tavidle PALUX 30H.

Při zkoumání ideálních časových prodlev zkoumané DPS byly ponořeny ve Lantronic-204-S do bezolovnaté pájky SN100C. Některé prošly 2x vývojkou při procesu vyvolání z důvodů rozšíření šířky písmen. Časové prodlevy byly zkoušeny takto 1s/3s, 2,5s/0s, 2s/2s, 2s/3s, 1s/2s, 4s/0s. Ze všech zkoušených prodlev na 6 DPS se neúčinnější projevil 1s/2s a 4s/0s. Tento výsledek je možná dán právě snížením rychlosti dopravníku při vyvolání, kdy DPS je více času v uhličitanu sodném. Při potřebě pokrytí měděných ploch ochrannou vrstvou pájky se osvědčuje ve výrobě stávající kombinace ponoru 1,5s/2,5s.

V poslední části jsem pomocí mikrovýbrusu určil obvyklou tloušťku nepájivé masky na měděných plochách a stanovil poměr limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky. Z mikrovýbrusů jsme určili, že tloušťka nepájivé masky má hodnotu 38  $\mu\text{m}$ . Poměr limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky byl určen od 2,11 do 10,81. Od každého fontu se poměr liší. To můžeme vidět v tabulkách 23 – 30. Bylo zjištěno z obrázků 57 - 60, že s větším poměrem klesá defektnost. To přispívá k tomu, aby se ve výrobě používaly větší fonty s většími šířkami písmen či měděných plošek, které by eliminovaly defektnost.

## 5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá technologií HAL a vlivy vybraných faktorů na kvalitu ve firmě GATEMA Boskovice s.r.o. Řešením bylo vyhodnotit vliv vybraných faktorů na kvalitu HAL a následně napsat příčiny možných problémů.

V teoretické části byla prostudována problematika jednotlivých povrchových úprav s větším zaměřením na HAL s olovnatou a bezolvnatou pájkou.

V praktické části byla určena z naměřených hodnot hranice bezdefektního pokrytí bezolvnatou a olovnatou pájkou. Nejlepší výsledky, jak u olovnaté tak i bezolvnaté pájky, měl font 2000 2000. Kde výška písmene je 2 mm a mezera mezi slovo je 2 mm. Hranice bezdefektního pokrytí pájkou se pohybovala kolem 350 – 400  $\mu\text{m}$ .

Sledovány byly i faktory působící na DPS. Kvalita vyvolání nepájivé masky se jevila optimálně, za předpokladu dodržení pracovního postupu. Často se stávalo, že se naměřené parametry šířky písmen lišily o 10 - 30  $\mu\text{m}$ . Expozice a vyvolání nepájivé masky spolu hodně souvisí, protože dojde-li k podexpoziční DPS z důvodu špatného tlaku fólie na nepájivou masku nebo se nenechá po expozici polymerovat 15 minut, není zaručeno dokonalé vyvolání Cu plošek či písmen. Z hlediska vyvolání záleží také na mnoha faktorech např. obsah uhličitanu sodného, rychlost dopravníku, tlak v tryskách a teplotě. Dalším faktorem, ovlivňující kvalitu HAL, je množství reziduí oplachové vody na písmenech po předúpravě. Na vybraných testovacích DPS byly přítomny kapky, někdy i ostrůvky vody, zvláště na dolních stranách DPS. Z měření bylo zjištěno, že při kontaminaci tavidla vodou smáčecí průběhy se nijak neliší a rozdíly smáčecího procesu či aktivace tavidla jsou praktické malé. Tavidlo je stále agresivní a tím je i zaručena dobrá smáčivost. Zkoumány byly také ideální časové prodlevy zkoumané DPS, které byly ponořeny ve Lantronic-204-S do bezolvnaté pájky SN100C. Nejúčinnější časové prodlevy v pájce se projeví 1s/2s a 4s/0s.

V poslední části jsem pomocí mikrovýbrusu určil obvyklou tloušťku nepájivé masky na měděných plochách a stanovil poměr limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky. Z mikrovýbrusu jsme určili, že obvyklá tloušťka nepájivé masky má hodnotu 38  $\mu\text{m}$ . Poměry limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky byly pro každou šířku písmene jiné. Hodnota se pohybovala od 2,11 do 10,81. Z vytvořených grafů bylo zjištěno, že s větším poměrem klesá defektnost.

V této práci bylo testováno několik vlivů a dle výsledku zkoušek byla nastavení zařízení optimalizována. S příchodem nových technologií a zařízení se můžou výsledky testovaných vlivů lišit. V našem případě k posunutí hranice bezdefektního pokrytí pájkou. Proto vidím další výzvu v testování nových technologií HAL, včetně testování mikropropojů.

Další možné pokračování práce je testování jiné expoziční jednotky, stanovení povrchové energie nepájivé masky a aplikace DOE (Design of Experiment) pro optimální nastavení jednotlivých parametrů zařízení.

## 6 SEZNAM LITERATURY

- [1] ABEL, Martin. *Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce*. Pardubice: Platan, 2000. 218s. ISBN 80-902733-2-7.
- [2] GRILL, J. *Izolační a dielektrické vlastnosti vody*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 61 s.
- [3] CHLOUPEK, T. *Hodnocení materiálových a procesních faktorů na DPS metodou smáčecích vah*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 62 s.
- [4] JIČÍNSKÝ, J. *Environmentální vlivy a pájitelnost povrchových úprav desek plošných spojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 55s.
- [5] JURÁSEK, M. *Elektrické a tepelné vlastnosti bezolovnatých pájek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 55 s.
- [6] Katalogový list tavidla PALUX 30 H [online] [cit.2012-12-10]. Dostupný z WWW: < [http://www.pentagal.de/index.php?article\\_id=63&clang=1](http://www.pentagal.de/index.php?article_id=63&clang=1) >
- [7] LIBICH, J. *Termomechanické namáhání bezolovnatého pájeného spoje*: (diplomová práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 62 s
- [8] SCHNEDERLE, P. *Optimalizace procesu výroby DPS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 56 s.
- [9] SMTCENTRUM *Metoda smáčecích vah*[online] [cit. 2012-12-7]. Dostupný z: < <http://www.smtcentrum.cz/pajeny-spoj-pajitelnost/metoda-smacecich-vah/> >.
- [10] STARÝ, Jiří, KAHLE, Petr. *Plošné spoje a povrchová montáž*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2003. 208 s.
- [11] STARY, J.; ZATLOUKAL, M.; STEJSKAL, P. *Montážní a propojovací technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 262s .
- [12] STRAKA, M. *Pájení laserovou diodou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 63 s.
- [13] SZENDIUCH, I. *Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů*. VUTIUM Brno. 2006. 379s. ISBN 80-214-3292-6
- [14] ŠIMKA, Jaromír. *OSP: Organic solder preservatives*. DPS: Plošné spoje od A do Z. 2011, č. 3, s. 57. ISSN 1804-4891.

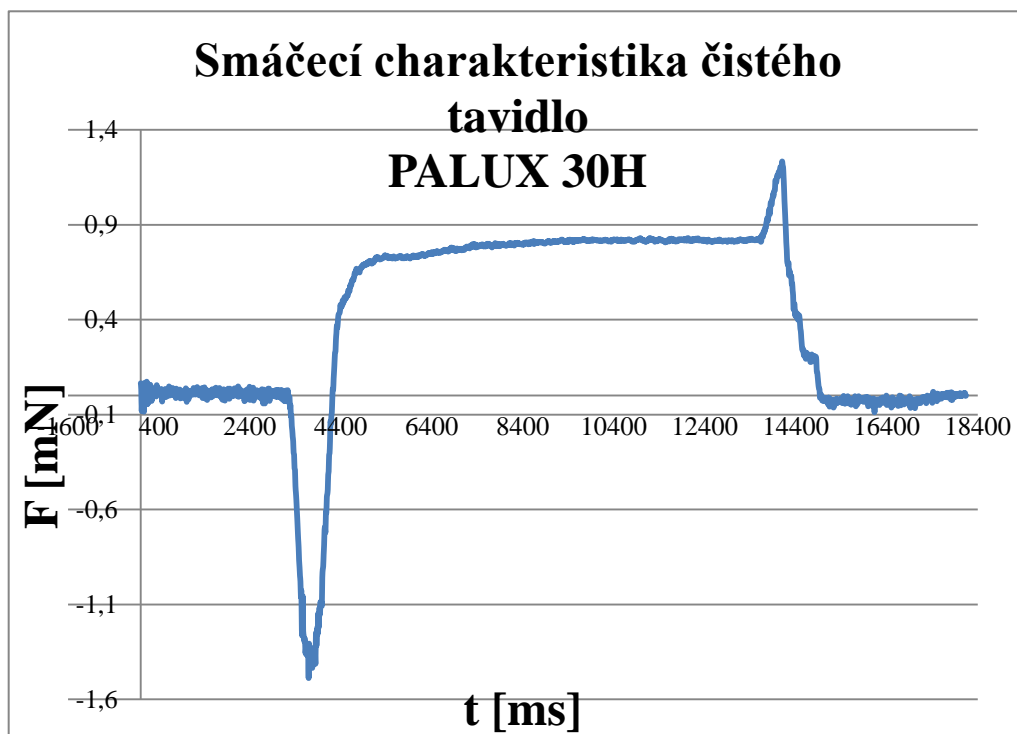
- [15] ZIMÁKOVÁ, J. *Měření permitivity a ztrátového činitele vody*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 61s.
- [16] ŽVÁTORA, J. *Měření izolačních a dielektrických vlastností vody*: Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 35 s., 2 příl.

# 7 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

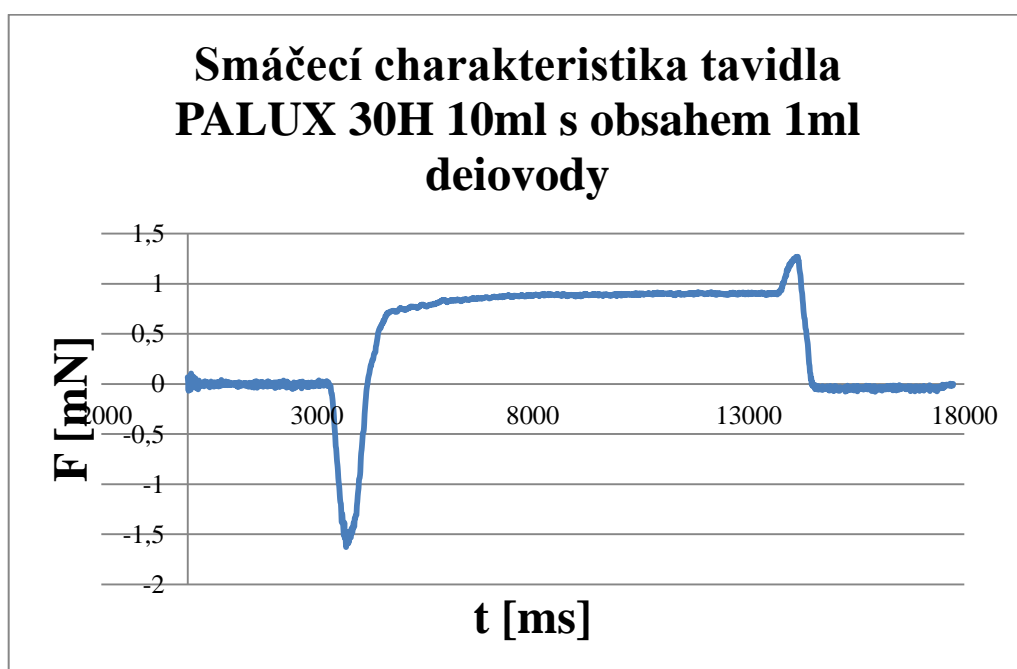
DPS	Deska plošných spojů
Deiovoda	Deionizovaná voda
Sn	Cín
Cu	Měď
Ag	Stříbro
Ni	Nikl
HAL	Hot Air Levelling
Sn63Pb37	Olovnatá pájecí slitina(cín/olovo)
RoHS	Restriction of the use of Hazardous Substances
SN100C	Bezolovnatá pájecí slitina
SMT	Surface Mouted Technoloy (technologie povrchové montáže)
ENIG	Electroless Nickel Immersion Gold
OSP	Organic Solder Preservatives
Ni/Au	Nikl/Zlato
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií v Brně
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu
In	Indium
Zn	Zinek
Sb	Antimon
LC16	Mikrolept
mm	Milimetr
V	Objem ponořené části vzorku
g	Gravitační zrychlení 9,81 [m.s <sup>-2</sup> ]
ρ	Hustota bezolovnaté pájky SN100C [g.cm <sup>-3</sup> ]
F <sub>max</sub>	Maximální smáčecí síla [mN]
2/3F <sub>max</sub>	Smáčecí síla dosáhne 2/3 maximální smáčecí síly [mN]
t <sub>2/3</sub>	Čas, kdy smáčecí síla dosáhne 2/3 maximální síly [ms]
K	Koeficient [mN/s]
F	Smáčecí síla [mN]
Pa	Pascal, odvozená jednotka SI

# 8 PŘÍLOHY A VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Příloha č. 1: Smáčecí charakteristiky tavidla kontaminované vodou

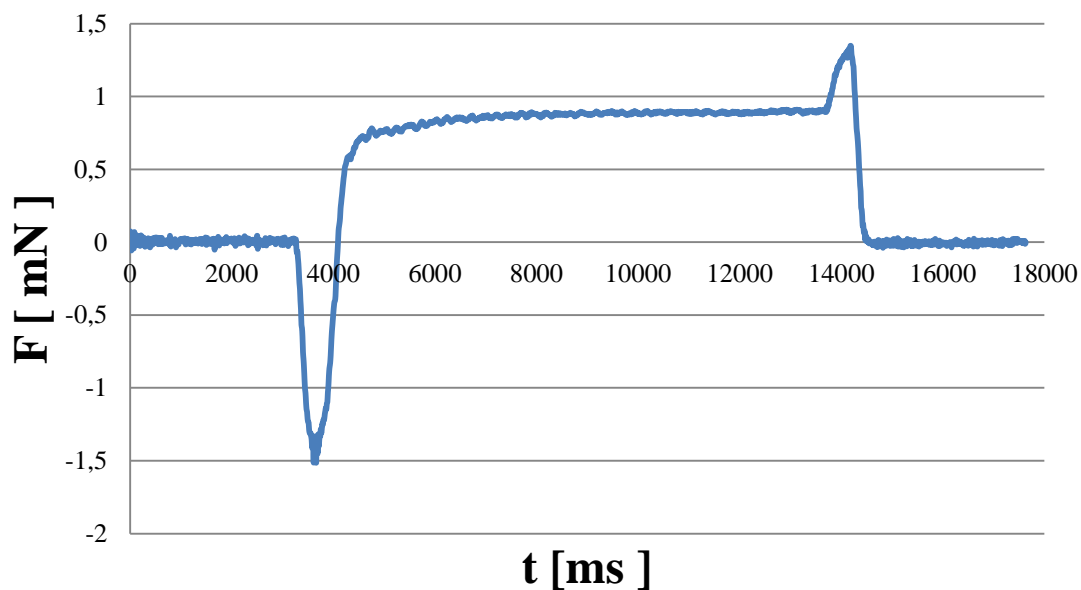


Průběh smáčecích sil u vzorků PALUX 30H čisté tavidlo



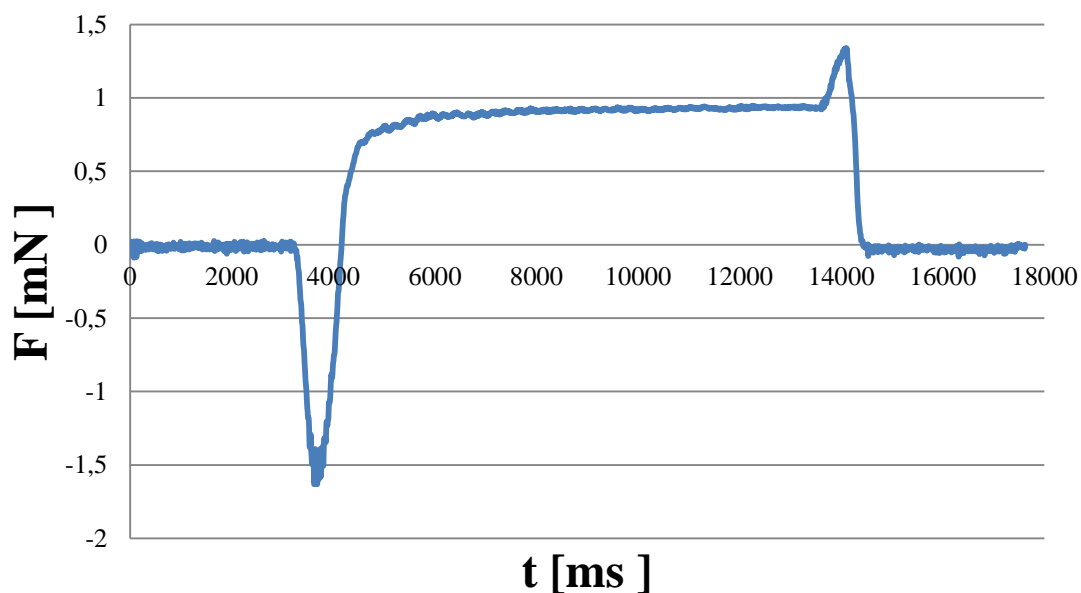
Průběh smáčecích sil u vzorků PALUX30H 10ml s obsahem deiovody 1ml

### Smáčecí charakteristika tavidla PALUX 30H 10ml s obsahem 2ml deiovody



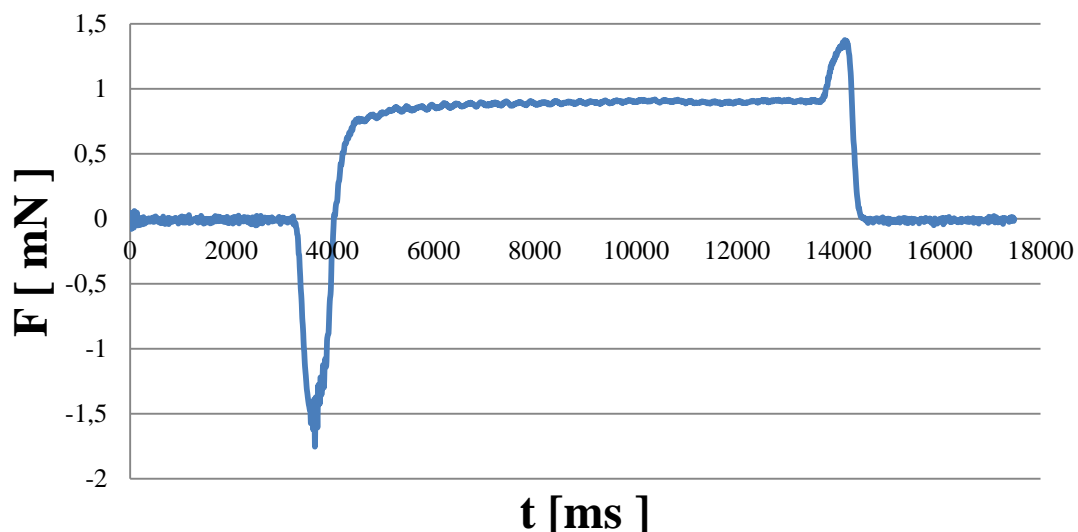
Průběh smáčecích sil u vzorků PALUX30H s obsahem deiovody 2ml

### Smáčecí charakteristika tavidla PALUX 30H 10ml s obsahem 5ml deiovody



Průběh smáčecích sil u vzorků PALUX30H 10ml s obsahem deiovody 5ml

## Smáčecí charakteristika tavidla PALUX 30 H 10ml s obsahem 7,5 ml deiovody



Průběh smáčecích sil u vzorků PALUX30H 10ml s obsahem deiovody 7,5ml

### Příloha č. 2: Stanovení poměru limitní šířky písmene ku tloušťce nepájivé masky

Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý

Font 1500 1500 H bezolovnatá				Font 1000 1000 H bezolovnatá			
Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
92	37	100	2,49	82	37	100	2,22
110	37	100	2,97	105	37	100	2,84
133	37	97,43	3,59	140	37	98,71	3,78
150	37	91,02	4,05	152	37	96,15	4,11
180	37	80,76	4,86	175	37	88,46	4,73
240	37	51,28	6,49	228	37	26,9	6,16
285	37	24,35	7,7	280	37	25,64	7,57
335	37	14,1	9,05	330	37	6,41	8,92
390	37	0	10,54				

## Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý

Font 1500 1500 V bezolovnatá				Font 1000 1000 V bezolovnatá			
Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
85	37	97,43	2,3	81	37	97,43	2,19
105	37	93,58	2,84	104	37	93,58	2,81
125	37	74,35	3,38	120	37	74,35	3,24
135	37	62,82	3,65	146	37	62,82	3,95
164	37	42,3	4,43	168	37	42,3	4,54
205	37	19,23	5,54	208	37	19,23	5,62
256	37	19,23	6,92	260	37	19,23	7,03
310	37	17,94	8,38	320	37	17,94	8,65
360	37	0	9,73				

## Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý s IPA

Font 1500 1500 H IPA bezolovnatá				Font 1000 1000 H IPA bezolovnatá			
Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
60	38	100	1,58	70	38	100	1,84
80	38	100	2,11	93	38	100	2,45
115	38	96,15	3,03	124	38	98,72	3,26
135	38	96,15	3,55	135	38	94,87	3,55
160	38	87,18	4,21	170	38	84,62	4,47
205	38	60,25	5,39	210	38	39,74	5,53
260	38	19,23	6,84	168	38	17,95	4,42
310	38	8,97	8,16	325	38	5,13	8,55
360	38	3,84	9,47				

## Defektnost a poměr pro HAL bezolovnatý s IPA

Font 1500 1500 V IPA bezolovnatá				Font 1000 1000 V IPA bezolovnatá			
Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
85	38	100	2,24	100	38	100	2,63
100	38	100	2,63	112	38	98,72	2,95
135	38	98,72	3,55	150	38	91,02	3,95
165	38	93,59	4,34	160	38	94,87	4,21
187	38	91,02	4,92	190	38	97,43	5
240	38	33,33	6,32	240	38	29,49	6,32
278	38	16,66	7,32	285	38	6,41	7,5
325	38	14,102	8,55	340	38	16,66	8,95
382	38	0	10,05				

## Defektnost a poměr pro HAL olovnatý

Font 1500 1500 H olovnatá				Font 1000 1000 H olovnatá			
Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
96	37	80,77	2,59	90	37	80,77	2,43
106	37	61,53	2,86	104	37	47,77	2,81
134	37	16,66	3,62	133	37	28,2	3,59
165	37	19,23	4,46	150	37	20,51	4,05
180	37	16,66	4,86	168	37	10,25	4,54
230	37	7,69	6,22	220	37	2,56	5,95
280	37	3,85	7,57	275	37	2,56	7,43
330	37	2,56	8,92	320	37	0	8,65
380	37	0	10,27				

## Defektnost a poměr pro HAL olovnatý

Font 1500 1500 V olovnatá				Font 1000 1000 V olovnatá			
Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
90	37	91,06	2,43	90	37	98,72	2,43
105	37	76,92	2,84	110	37	96,15	2,97
140	37	38,46	3,78	145	37	66,66	3,92
153	37	23,07	4,14	160	37	64,1	4,32
168	37	14,1	4,54	175	37	14,1	4,73
220	37	8,97	5,95	235	37	3,85	6,35
280	37	3,85	7,57	290	37	0	7,84
325	37	10,25	8,78	340	37	2,56	9,19
385	37	0	10,41				

## Defektnost a poměr pro HAL olovnatý s IPA

Font 1500 1500 H IPA olovnatá				Font 1000 1000 H IPA olovnatá			
Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
95	39	100	2,44	100	39	100	2,56
105	39	92,3	2,69	109	39	84,62	2,79
130	39	76,92	3,33	145	39	65,38	3,72
160	39	74,35	4,1	165	39	34,82	4,23
185	39	23,07	4,74	190	39	17,95	4,87
225	39	10,25	5,77	240	39	3,84	6,15
280	39	6,41	7,18	285	39	1,28	7,31
340	39	5,13	8,72	340	39	0	8,72
385	39	0	9,87				

## Defektnost a poměr pro HAL olovnatý s IPA

Font 1500 1500 V IPA olovnatá				Font 1000 1000 V IPA olovnatá			
Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr	Šířka písma reálná	Tloušťka nepájivé masky	Defektnost	Poměr
[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]		[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	
98	39	98,72	2,51	96	39	100	2,46
120	39	98,72	3,08	110	39	93,59	2,82
145	39	92,3	3,72	125	39	89,74	3,21
170	39	83,33	4,36	161	39	76,92	4,13
185	39	28,2	4,74	175	39	28,2	4,49
230	39	6,41	5,9	225	39	7,69	5,77
280	39	11,53	7,18	285	39	3,84	7,31
342	39	20,51	8,77	335	39	8,97	8,59
390	39	2,56	10				

**Příloha č. 3: Limitní hranice bezdefektního pokrytí pájkou**  
**Měření pokovení DPS pro HAL bezolovnatý, DPS 2x ve vývoje**

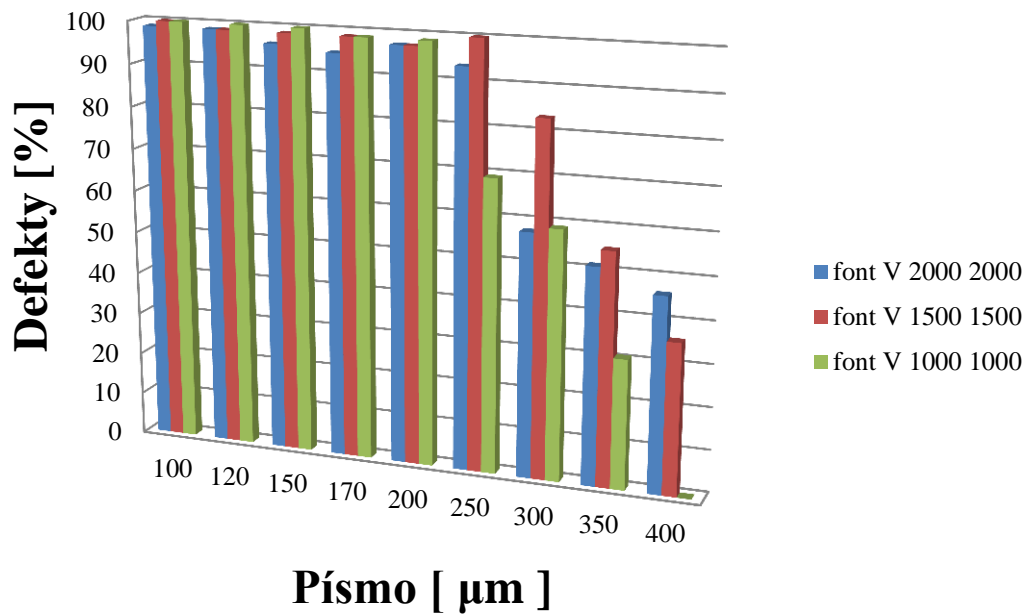
DPS 1. strana font V 2000 2000 a font V 1500 1500

Typ: font V 2000 2000			Typ: font V 1500 1500				
Počet písmen: 78 písmen			Počet písmen: 78 písmen				
Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky	Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky
	Počet	[%]			Počet	[%]	
100	77	98,71	ano	100	78	100	ano
120	77	98,71		120	77	98,71	
150	75	96,15		150	77	98,71	
170	74	94,87		170	77	98,71	
200	76	97,43		200	76	97,43	
250	73	93,59		250	78	100	
300	45	57,69		300	65	83,33	
350	40	51,28		350	43	55,13	
400	36	46,15		400	28	35,89	

DPS 1. strana font V 1000 1000

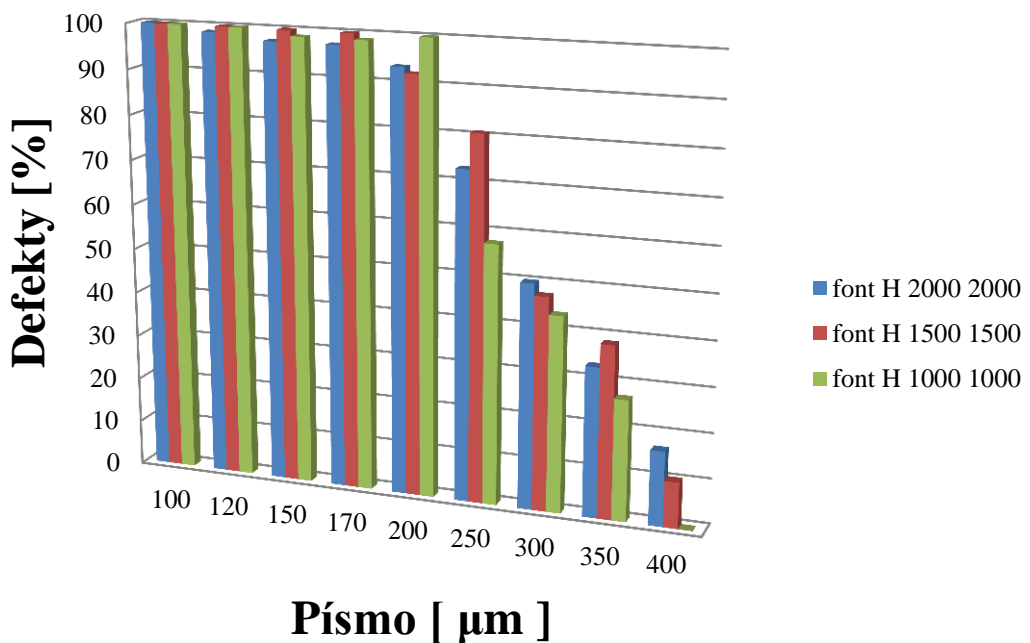
Typ: font V 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky
	Počet	[%]	
100	78	100	ano
120	78	100	
150	78	100	
170	77	98,71	
200	77	98,71	
250	54	69,23	
300	46	58,97	
350	24	30,76	
400	-	-	

## Celková kvalita pokrytí pájkou SN100C



Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 1. stranu 2x ve vývoje

## Celková kvalita pokovení pájkou SN100C



Graf celkové kvality pokrytí pájkou SN100C pro 2. stranu 2x ve vývoje

## DPS 2. strana font H 2000 2000 a font H 1500 1500

Typ: font H 2000 2000				Typ: font H 1500 1500			
Počet písmen: 78 písmen				Počet písmen: 78 písmen			
Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky	Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky
	Počet	[%]			Počet	[%]	
100	78	100	ano	100	78	100	ano
120	77	98,71		120	78	100	
150	76	97,43		150	78	100	
170	76	97,43		170	78	100	
200	73	93,59		200	72	92,3	
250	57	73,07		250	63	80,77	
300	39	50		300	37	47,43	
350	26	33,33		350	30	38,46	
400	13	16,66		400	8	10,26	

## DPS 2. strana font H 1000 1000

Typ: font H 1000 1000			
Počet písmen: 78 písmen			
Písmo [μm]	Počet defektů		Ověření tloušťky
	Počet	[%]	
100	78	100	ano
120	78	100	
150	77	98,71	
170	77	98,71	
200	78	100	
250	45	57,69	
300	34	43,59	
350	21	26,923	
400	-	-	

## Příloha č. 4: Technické listy pro tavidlo PALUX 30H [6]

### TAVIDLO Palux 30 H pro HAL

PALUX 30 H je velmi vhodný pro všechny panely, vyrobené SMD-technikou. Tavidlo je vodou rozpustné a nepěnlivé. Může být smýto studenou vodou a garantuje jen nepatrné iontové znečištění. Povrchy panelů jsou lesklé a prokazují velmi dobré elektrické odpory.

PALUX 30 H nereaguje s nerezovou ocelí a titanem. Vzduchové nože, sletované nádrže, vnější panely stejně jako systém odpadního vzduchu nekorodují, a tudíž se snadno udržují v dobrém stavu. V případě vypouštění znečištěné vody do kanalizace, musí být respektovány místní předpisy.

Vzhledem k těkavým sloučeninám, které vznikají během procesu namáčení, musí PALUX 30 H probíhat v uzavřeném HALu (jako PENTA 550/570/580/Automatic) a znečištěný vzduch musí být odčerpán. Znečištěný vzduch může být zpracovaný čističem vzduchu, jako je např. náš Penta. Voda se rozkládá biologicky.

#### Technická data:

hodnota PH v 100g/l	okolo 1
viskozita ve 23°C	350 mm <sup>2</sup> /s
hustota	1.07 - 1.1 g/cm <sup>3</sup>
teplota vznícení	> 300°C
bod zážehu	okolo 415°C

#### Varování:

Vyvarujte se kontaktu s kůží, noste ochranné rukavice a brýle.

#### Jednotky balení:

Kanistr	30l
Barel	200l
Kontejner	1 m <sup>3</sup>

Výrobce:



**PENTAGAL Chemie und Maschinenbau GmbH**

Carolinenglückstraße 35, D-44793 Bochum

[www.pentagal.de](http://www.pentagal.de)

Do ČR a SR dováží:



**INTERCONTI Ing. Tomáš Bravený s.r.o.**

Ulrychova 54, CZ-624 00 Brno

[www.inter-conti.cz](http://www.inter-conti.cz)

INTERCONTI Ing. Tomáš Bravený s.r.o., 6. 1. 2011, BRNO