



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 ELECTRONIC TECHNOLOGY

## OPTIMALIZACE PROCESU VYVOLÁNÍ A LEPTÁNÍ DPS OPTIMIZATION OF PCB PROCESS DEVELOPING AND ETCHING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

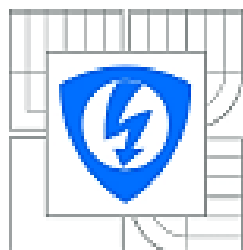
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

PETR NERUŠIL

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ STARÝ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Mikroelektronika a technologie

Student: Petr Nerušil  
Ročník: 3

ID: 119548  
Akademický rok: 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Optimalizace procesu vyvolání a leptání DPS**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku vyvolávání fotorezistu a leptání mědi u desek s plošnými spoji.

Navrhněte testovací motiv pro sledování vyvolání, leptání i úrovně podleptání horní a dolní strany DPS. Zpracujte metodiku měření a vyhodnocování vybraných technologických parametrů na zařízení proX2. Podle této metodiky vyhodnoňte kvalitu vyvolání fotorezistu a leptání mědi se stávajícím nastavením parametrů.

Sledujte leptání Cu za různých procesních podmínek (vliv parametrů jako je pH, obsah Cu, ...) za stávajících hodnot teploty a rychlosti pohybu dopravníku.

Sledujte vlivy teploty a rychlosti pohybu dopravníku na kvalitu vyvolání fotorezistu i na leptací rychlost a úroveň podleptání mědi. Uveďte důležité procesní hodnoty, např. koncentraci vývojky, pH leptadla aj.

Realizujte mikrovýbrusy vybraných tloušťek Cu fólie u stávajícího a optimalizovaného procesu leptání. Vyhodnoňte úrovně podleptání.

Proveďte diskuzi dosažených výsledků.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 5.6.2014

Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Králová Iva, Ph.D., Valenta Josef, ČEMEB  
Blansko.

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 řeší operace vyvolání fotorezistu a leptání mědi, které patří mezi klíčové operace výroby dvouvrstevných DPS subtraktivní technologií pattern plating. V praktické části byl navržen testovací motiv a schematický diagram technologického postupu ke kontrole kvality. Stěžejní části práce jsou operace vyvolání fotorezistu a sledování rozměrových změn šířek fotorezistu na navrženém zkušebním obrazci během vyvolávání i leptání včetně uvedených faktorů leptání mědi.

## **KLÍČOVÁ SLOVA:**

DPS, pattern plating, fotorezist, vyvolání, leptání, mikrovýbrus.

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis deals with photoresist developing and copper etching – these ones are the key operations in the double layer PCB production realised with pattern plating subtractive technique. Test pattern and a schematic diagram of the technological process for quality control in the practical part. Main part of this thesis is focused to operations of photoresist developing and to inspection and evaluation of photoresist width changes on test pattern during developing and etching including copper etch factor.

## **KEYWORDS**

PCB, pattern plating, photoresist, developing, etching, microsection,

NERUŠIL, P. *Optimalizace procesu vyvolání a leptání DPS* . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Optimalizace procesu vyvolání a leptání DPS 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 .....

.....

(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. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Ivě Králové, Ph.D. a Josefu Valentovi z firmy ČEMEBO s.r.o. Blansko za odbornou pomoc při řešení bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# Obsah

Úvod.....	9
1. Výroba dvouvrstevých DPS subtraktivní technologií pattern-plating .....	10
1.1 Základní materiál (substrát).....	11
1.2 Vrtání .....	11
1.3 Čištění.....	12
1.4 Zvodivění otvorů .....	12
1.5 Fotorezist a jeho zpracování .....	12
1.5.1 Aplikace fotorezistu .....	13
1.5.2 Expozice fotorezistu.....	13
1.5.3 Vyvolání.....	14
1.6 Galvanické pokovení .....	15
1.7 Odstranění fotorezistu.....	15
1.8 Leptání .....	15
1.8.1 Leptací zařízení .....	16
1.8.2 Rozhodující parametry při leptání .....	18
1.8.3 Další leptací lázně .....	18
1.8.4 Faktor leptání a podleptání.....	19
1.9 Stripování cínu.....	20
1.10 Nanesení fotocitlivé nepájitivé masky .....	20
1.11 Povrchová úprava HAL .....	20
2. Používané metody kontroly kvality ve výrobě DPS .....	21
2.1 Automatická optická inspekce (AOI) .....	21
2.2 Vizuální kontrola (VI) .....	21
2.3 Mikrovýbrus (MS).....	21
2.4 Rastrovací elektronový mikroskop (SEM) .....	22
3. Praktická část.....	23
3.1 Návrh motivu testovací desky .....	23
3.2 Schematický diagram testování .....	24
3.3 Výroba testovacích desek .....	25
3.3.1 Postup výroby jednostranných desek.....	25
3.3.2 Postup výroby oboustranných desek.....	25

3.3.3 Podmínky za jakých byly desky leptány .....	26
3.4 Metodika hodnocení kvality vyleptaných desek .....	27
3.4.1 Rozvržení měření na testovací desce .....	27
3.4.2 Postup měření a vyhodnocování na jednotlivých deskách.....	28
3.5 Výsledky měření vyleptaných jednostranných desek.....	29
3.5.1 Jednostranná deska, plátovaná měď 18 $\mu\text{m}$ .....	29
3.5.2 Jednostranná deska, plátovaná měď 35 $\mu\text{m}$ .....	32
3.5.3 Jednostranná deska, plátovaná měď 70 $\mu\text{m}$ .....	34
3.5.4 Jednostranná deska, plátovaná měď 105 $\mu\text{m}$ .....	38
3.5.5 Měření faktoru leptání.....	42
3.6 Šířková stabilita fotorezistu ve vyvolávacím a leptacím procesu.....	44
3.6.1 Metodika měření šířky fotorezistu na měřicím zařízení proX2 .....	44
3.6.2 Vliv rychlosti pohybu dopravníku vyvolávací linky na šířku fotorezistu.....	45
3.6.3 Vliv změny teploty vývojky vyvolávací linky na šířku fotorezistu .....	49
3.6.4 Vliv leptacího roztoku na rozměrovou stabilitu fotorezistu.....	52
4. Závěr.....	54
Seznam použitých symbolů a zkratk .....	56
Použitá literatura .....	57



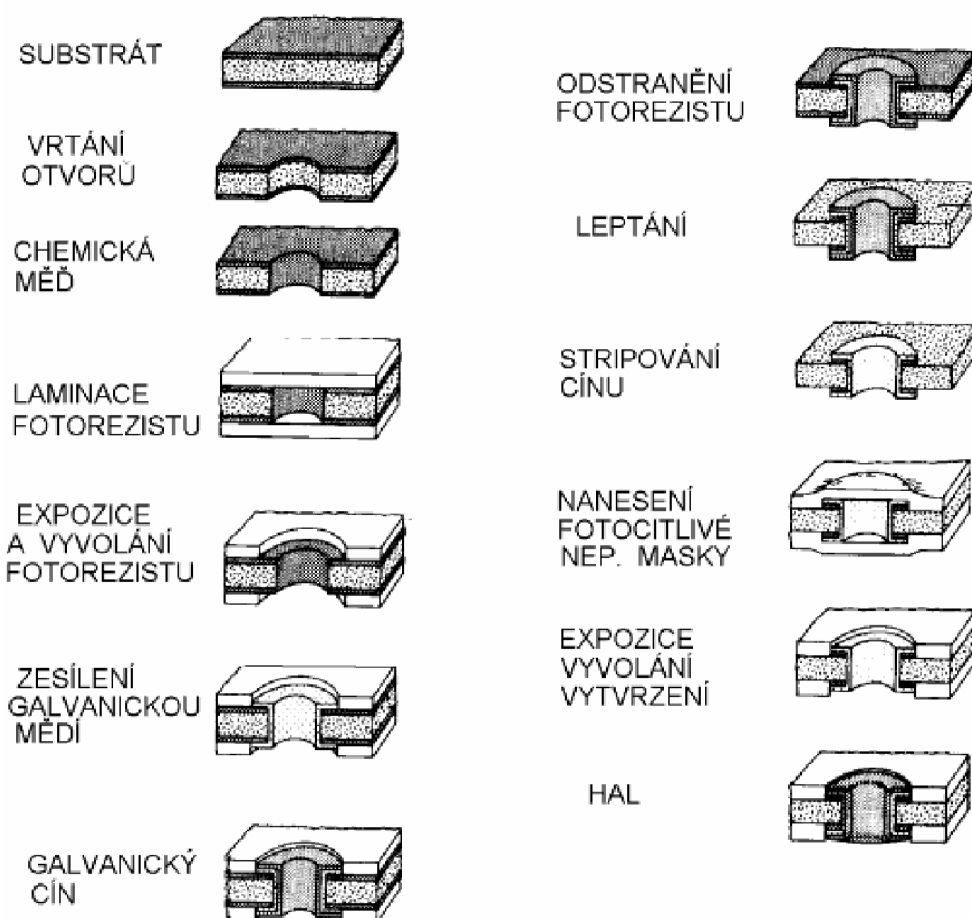
# Úvod

Dnešní doba vyžaduje kvalitní, spolehlivé a co nejmenší elektronické výrobky. Téměř každé elektronické zařízení obsahuje plošný spoj, který je vytvořený technikou chemického leptání a právě to při výrobě plošných spojů hraje velmi důležitou roli. Proto je potřeba tento proces co nejvíce optimalizovat.

V bakalářské práci se zabývám vyvolávacím a leptacím procesem při výrobě plošných spojů, jeho optimalizací a kontrolami, kterými se posuzuje kvalita leptaného spoje během výroby dvouvrstevných desek plošných spojů subtraktivní technologií. Bakalářská práce byla realizována ve spolupráci s firmou Čemebo s.r.o.

# 1. Výroba dvouvrstevných DPS subtraktivní technologií pattern-plating

Základní materiál je oboustranně plátovaný měděnou fólií. Vodivé cesty a otvory jsou galvanicky zesíleny mědí, poté jsou pokoveny Sn eventuálně Sn/Pb rezistem. Po odstranění (odstripování) fotorezistu je odhalená měď leptána. Jako leptuodolná vrstva slouží Sn, Sn/Pb, Au. Patří mezi nejrozšířenější technologie [1]. Na obr. 1 je zobrazen technologický postup výroby DPS.



Obr. 1: Technologie pattern - plating [1]

## 1.1 Základní materiál (substrát)

Jsou elektroizolační nosné podložky, které jsou tvořeny buď dielektrickým materiálem, nebo izolovaným kovovým jádrem. Základní materiál se používá jako tuhý, pružný nebo kombinovaný tuhý/pružný „nosič“ vodivého motivu a slouží k montáži elektronických součástek, mechanických a elektronických prvků. Svými vlastnostmi předurčuje výsledné chování osazené desky s plošnými spoji.

Základní materiály jsou na organické, anorganické, případně kombinované bázi (anorganicko-organický substrát, organický substrát s kovovým výztužným jádrem). [1]

## 1.2 Vrtání

Vrtání je jednou ze základních operací používaných téměř u každé DPS. Je používána pro připevnění mechanických dílů, chladičů nebo součástek. Nejčastěji jsou vrtány průchodky pro elektronické součástky nebo je průchodů využito jako elektrického propojení vícevrstvé desky.

Průběh operace:

Přířez požadovaných rozměrů je vložen do pracovního prostoru vrtačky. Upevnění se provede tak, aby bylo zabráněno samovolnému pohybu desky. Vrtačka ve velkovýrobě je většinou programovatelný automat obr. 2, který pracuje podle pokynů zadaných obsluhou většinou pomocí tzv. gerber dat. Minimální otvor, který lze vytvořit technikou vrtání je (0,1 - 0,15 mm). Maximální velikost otvoru je v podstatě neomezena.

Další způsob vytváření otvorů je pomocí laserového paprsku, který selektivně odpařuje materiál na určeném místě. Tato technologie je velmi perspektivní, protože pomocí ní je možno dosáhnout menších průměrů a to začíná být žádoucí díky stálému technologickému pokroku a miniaturizaci. [3]



Obr. 2: Souřadnicová CNC vrtačka SCHMOLL A-MX1-200S-CCD [8]

### 1.3 Čištění

Při vrtání otvorů dochází ke vzniku otřepů, což jsou zbytky materiálu, které se zachycují jak ve vrtaném otvoru, tak i na povrchu desky. Tyto otřepy způsobují značné nerovnosti povrchu desky a proto je nutné je minimalizovat. Další znečištění nastává při manipulaci deskou obsluhou. Dochází k téměř neviditelným nečistotám, které by však v dalším průběhu výroby mohly mít špatný vliv na kvalitu desky. Proto je nutné desky čistit. Nejčastěji se to provádí pod proudem vody pomocí oscilujících kartáčů z nylonu. Jako brusivo se používá  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC. Dále nastává vysokotlaký oplach deionizovanou vodou a následné sušení. [3]

### 1.4 Zvodivění otvorů

Zvodivění je dnes bez výjimek automatický proces. Probíhá v automatické lince rozdělené na několik částí a nejčastěji je nazýván jako Shadow proces.

Nejdříve je deska čištěna, poté je nanesen koloidní materiál. Je to roztok obsahující částičky grafitu. Ten se stříká na desku a poté za pomoci tzv. fixeru se zachycuje v otvorech. Dále následuje oplach a sušení. Tento proces zajišťuje zvodivění otvorů vytvořených vrtáním a zajišťuje při operaci galvanického pokovení nanesení vrstvy mědi i jiného kovu na nevodivý povrch otvorů nebo jiných míst. [1][3]

Metody zvodivění:

- metoda nepřímého pokovení:
  - chemická měď
  
- metoda přímého pokovení:
  - systém na bázi grafitu
  - systém na bázi vodivých polymerů (DMS2)
  - systém na bázi paládia (CRIMSON) [1]

### 1.5 Fotorezist a jeho zpracování

Fotorezist je fotocitlivý materiál, který působením UV záření určité vlnové délky mění své vlastnosti. Základní požadavkem je odolnost při vztyku s pokovovací, případně i leptací lázní. Základní kroky ve zpracování tuhého fotorezistu jsou:

1. laminace
2. prodleva 10min
3. expozice
4. prodleva 15min
5. vyvolání [1]

## 1.5.1 Aplikace fotorezistu

Způsob aplikace je dán dle skupenství fotorezistu:

- **Kapalný** se zpravidla nanáší navalováním mezi dvěma válci. Nejnovější typy jsou ve formě koloidního roztoku, nanáší se elektroforeticky. Dosahované rozlišení je pod 25  $\mu\text{m}$  [1].
- **Tuhý** se nanáší laminováním. Laminátor nebo také laminační lis může být s rovnými styčnými plochami nebo soustava proti sobě otočných válců. Na desku působí stanoveným tlakem a teplotou po určitou dobu. Na obr. 3 můžeme vidět válcový laminátor tuhého negativního fotorezistu. [1]

Ve výrobě DPS je preferován tuhý fotorezist



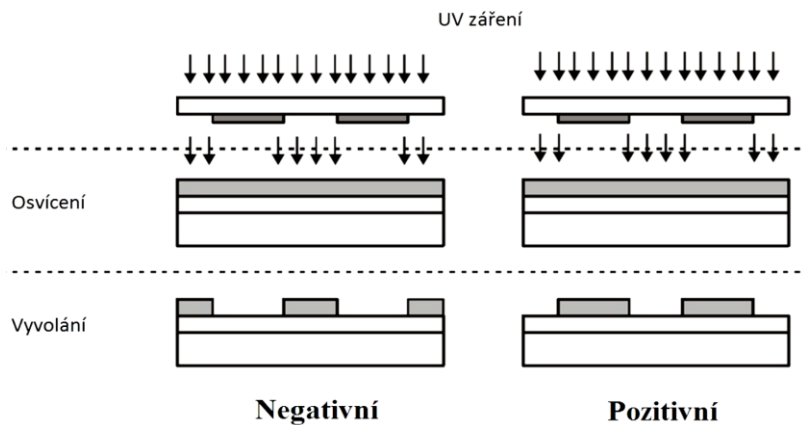
Obr. 3: Válcový laminátor tuhého negativního fotorezistu [9]

## 1.5.2 Expozice fotorezistu

Expozicí je přenesen obraz vodivého motivu na fotorezist. Filmová matrice je vystavena UV zářením o určité vlnové délce. Světlo, které matricí projde, působí na fotorezist. Ten se poté vytvrdí nebo naruší dle použitého typu fotorezistu obr. 4 [4].

Typy fotorezistů:

- **Negativní** – Působením záření naexponované části fotorezistu zpolymerují a kryjí. Používá se více, je levnější, má horší rozlišovací schopnost. Expozice ve vlnové délce zpravidla (360 – 420) nm [4].
- **Pozitivní** – Působením záření se naruší struktura fotorezistu a ve vývojce se odplaví. Expozice ve vlnové délce zpravidla (380 - 405) nm [4].



Obr. 4: Pozitivní a negativní fotorezist [4]

### 1.5.3 Vyvolání

Ve velkovýrobě plošných spojů je využíváno vyvolávacích linek. Vyvolání je prováděno ostřikem desky vyvolávacím roztokem. Vyvolávací roztok může být 1 % roztok uhličitanu sodného ve vodě. Na obr. 5 můžeme vidět linku na vyvolání suchého fotorezistu [3][4]. Faktory ovlivňující kvalitu vyvolání jsou: koncentrace a teplota vývojky, rychlost pohybu dopravníku, intenzita, směr a homogenita ostříkových trysek aj.



Obr. 5: Linka na vyvolání suchého fotorezistu

Vyvolávací linka je složena z následujících modulů:

- Vstupní modul
- Vyvolávací modul s ostříkovými tryskami
- Oplachový modul
- Přídavný oplachový modul
- Sušící modul
- Výstupní modul se zásobníkem vyvolaných desek

## 1.6 Galvanické pokovení

Galvanické pokovení je proces nanášení vrstvy vodivého materiálu z pokovovacího roztoku průchodem elektrického proudu. Na obr. 6 náhled na galvanické pokovovací lázně.

Deska je ponořena do pokovovací lázně na dobu potřebnou k vytvoření požadované vrstvy, aby na místech, která mají být zesílena, se vytvořila přídatná vrstva mědi. Dále deska pokračuje na cínování. Tato vrstva v dalších procesech slouží především jako leptuodolná. V dalším kroku jsou desky kontrolovány. Při této operaci se zjišťuje, jestli došlo k vytvoření vrstvy požadovaných parametrů. [3]



Obr. 6: Linka pro galvanické pokovení

## 1.7 Odstranění fotorezistu

Odstranění (stripování) se provádí v (5 %) roztoku KOH (hydroxid draselný) [1].

## 1.8 Leptání

Leptací proces ve výrobě plošných spojů se používá k odstranění měděné vrstvy, která není chráněna leptuodolnou maskou před napadením leptacího roztoku, čímž vytváří vodivý motiv. Ochranný leptuodolný rezist může být organický fotopolymer nebo kov jako je cín (Sn) nebo cín-olovo (SnPb).

Leptání mědi je chemická reakce, při níž je měď oxidována a odstraněna z povrchu jako rozpustná měďnatá sůl nebo solná sloučenina. Kyselá leptadla jsou dominantní při procesu tištění/leptání. Oxidant (aktivní složka) může být sůl kovu mědi  $\text{CuCl}_2$  nebo sůl železa  $\text{FeCl}_3$ . Produkt nižšího valenčního stavu reakce může být regenerován do aktivního stavu přidáním oxidantu, jako je peroxid vodíku. Alkalická leptadla jako amoniakální, se používají v kombinaci s kovovými rezisty, aby minimalizovala napadení leptuodolného rezistu [2].



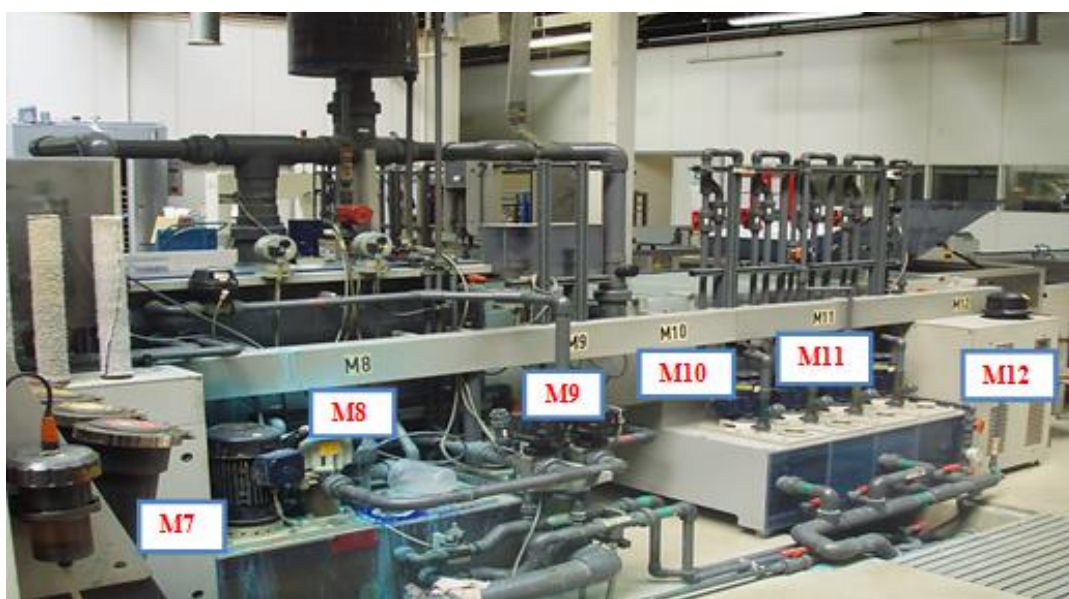
### 1.8.1 Leptací zařízení

Ve velkovýrobě plošných spojů se využívá leptacích linek. Na (obr. 7 a obr. 8) můžeme vidět leptací linku od firmy SCHMID.

Desky jsou leptány v leptacích komorách a posouvány dopravníky. Leptací komory jsou vybaveny rozprašovacími tryskami umístěnými na vrchní i spodní straně pro oboustranný ostřík desek. Na obr. 9 náhled na trysky v leptací komoře. Důležitým faktorem v leptacím procesu je rovnoměrný rozstřík leptacího roztoku na povrch desek. Pro vytvoření kvalitního obvodového vzoru by bylo ideální, aby leptadlo stříkalo pouze svislým směrem a nikoliv i bočním nebo vodorovným. Nicméně určitý stupeň bočního ostříku je nevyhnutelný. Poměr svislého a bočního leptání je často uveden jako faktor leptání. Žádoucí je vysoký faktor. Na faktor leptání má také vliv krystalická struktura měděné fólie. Na obr. 10 můžeme vidět vyleptaný plošný spoj bez povrchových úprav [2].



Obr 7: Leptací linka pohled z čelní strany

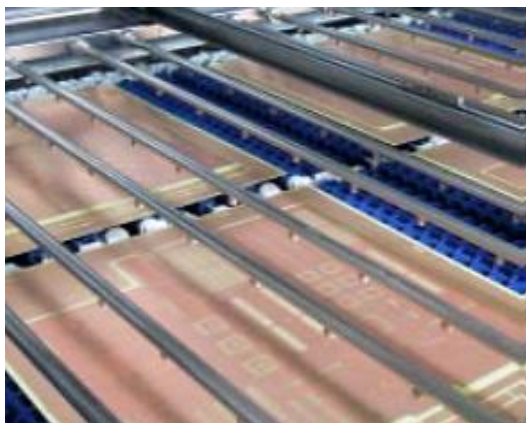


Obr 8: Leptací linka, pohled ze zadní strany



Leptací linka je složena z modulů M7 – M12 (viz obr. 7 a obr. 8). Součástí leptací linky je regenerační modul ELO-CHEM EZ 3000 obr. 11, zařízení na elektrolytické odstraňování mědi z leptací lázně. Leptací lázeň tvoří: Elofast starter, síran amonný chemicky čistý  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a dihydrogenfosforečnan amonný  $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ . Jednotlivé moduly leptací linky:

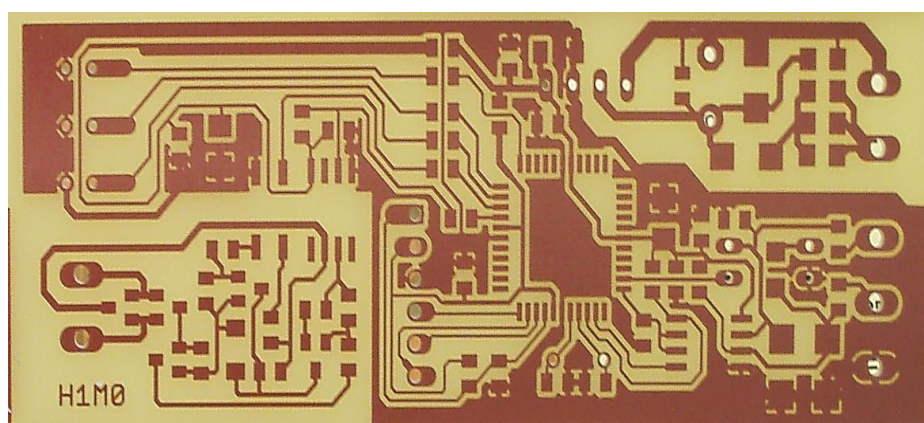
- M7 dopravník,
- M8 leptací lázeň,
- M9 leptací lázeň,
- M10 přepravník,
- M11 oplach,
- M12 sušení [9].



Obr. 9 Leptací komora s tryskami [6]



Obr. 11 Regenerační modul



Obr. 10: Leptaný plošný spoj

## 1.8.2 Rozhodující parametry při leptání

- **Chemické parametry při kyselém leptání:** Chemické parametry, které řídí rychlost kyselého leptání jsou: poměr  $\text{Cu}^{++}/\text{Cu}^+$ , normalita kyseliny a celkový obsah mědi. Míra leptání je vysoká u vysokého poměru měďnatých a měďných iontů i vysokých normalit kyselin a vysokého obsahu mědi (bez překročení limitu rozpustnosti) [2].
- **Chemické parametry při alkalickém leptání:** Chemické parametry, které kontrolují rychlost zásaditého leptání, jsou: obsah mědi, koncentrace chloridu a pH. Obsah mědi a chloridu jsou nepřímé indikátory koncentrace aktivních složek chloridu měďnatého obohaceného o amoniak. Další nepřímý indikátor je pH: je sledován pro kontrolu odpovídajícího (volného) amoniaku k obohacení chloridu. Hladina kyslíku v leptacích komorách obvykle nebývá sledována [2].
- **Další rozhodující parametry:** Celkový čas v leptací komoře je rozhodující pro stupeň leptání (hloubku leptu). Stejně tak je to teplota, tlak při ostříku a ostřiková plocha. Účinný dopad ostříku na vrstvu tvořící hranici mědi a leptadla je určován tlakem ostříku, typem trysky a tloušťkou tekuté hraniční vrstvy. Tloušťka hraniční vrstvy je ovlivňována „kalužovými“ efekty, které mohou být minimalizovány správným seřízením ostříku, nasměrováním ostřikových trysek a seřízením pracovních cyklů při ostříku [2].

## 1.8.3 Další leptací lázně

Tyto typy lázní se používají zejména v malosériové produkci. Leptání je velmi nebezpečné, proto je nezbytné během leptání mít ochranné pracovní pomůcky

- **Leptání v kyselině chlorovodíkové (HCl):** Leptacím roztokem je směs kyseliny chlorovodíkové, peroxidu vodíku a vody. Peroxid vodíku je třeba použít s koncentrací alespoň 10 %, lépe 30 %. V nouzi lze použít i peroxidové tablety. Leptací proces probíhá rychle, řádově jednotky minut. Roztok se značně zahřívá při vyšší koncentraci aktivních složek. Pokud roztok přestane leptat, je třeba přidat peroxid. Použitý roztok se obtížně skládá, protože uvolňuje velmi agresivní výpary (chlorovodík) a peroxid se postupně rozkládá (zbývá po něm voda, čímž se snižuje koncentrace kyseliny v roztoku). [7]
- **Leptání v kyselině sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>):** Leptacím roztokem je směs kyseliny sírové, peroxidu vodíku, stabilizátoru a vody. Použití kyseliny sírové jako leptací roztok se používá spíše pro laboratorní účely. [7]
- **Leptání v chloridu železitém (FeCl<sub>3</sub>):** Chlorid železitý je olejovitá světlehnědá kapalina. Jako leptací rezist je možno použít většinu látek odolných v kyselé oblasti (pH < 7). Leptací proces je pomalejší ve srovnání s předchozími. Pro urychlení procesu leptání je vhodné ohřát leptací roztok a zajistit míchání, případně desku do leptadla umístit ve vertikální poloze. Proces vhodný i pro domácí použití. [7]

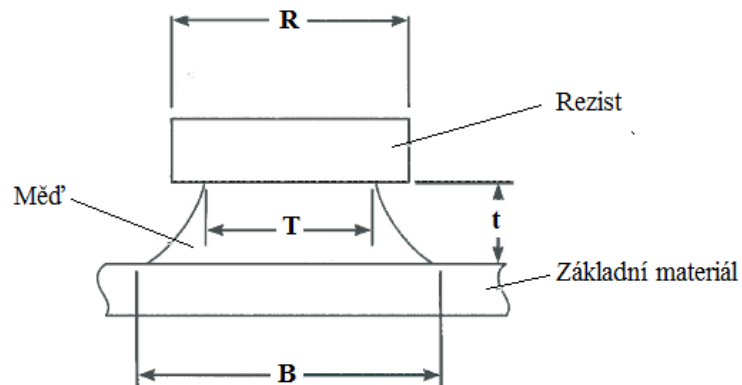
### 1.8.4 Faktor leptání a podleptání

Na obr. 12 můžeme vidět náčrtek řezu leptaného vodiče plošného spoje. Jednotlivé kóty zobrazují úseky pro měření a následný výpočet faktoru leptání a podleptání.

Vzorce pro výpočet [8]:

Faktor leptání (Etch factor):  $U=(R-T)/2$

Podleptání (Undercut):  $F=(B-T)$



Obr. 12: Faktor leptání a podleptání [8]

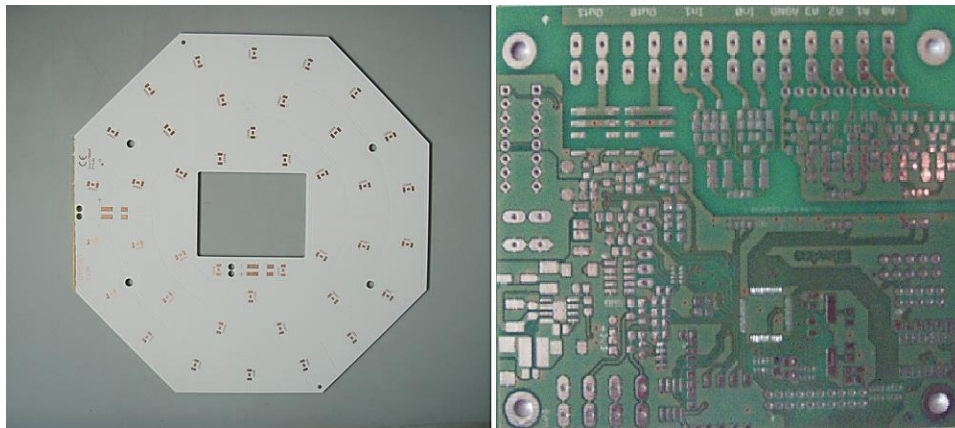
## 1.9 Stripování cínu

Chemický proces selektivního odstraňování vrstvy cínu z mědi. Používají se směsi organických kyselin v jednostupňových nebo dvoustupňových procesech [1].

## 1.10 Nanesení fotocitlivé nepájkivé masky

Nepájkivá maska bývá většinou na bázi epoxidových, akrylátových nebo epoxidoakrylátových pryskyřic, zpravidla aplikovaná v tekuté formě. Preferují se nepájkivé masky zpracovávané fotoprocem, obdobně jako fotorezist. Požadované vlastnosti se docílí finálním vytvrzením.

**Slouží jako:** ochranná izolační vrstva spojů, která má definované povrchové a elektrické vlastnosti, minimalizuje cínové můstky po pájení, částečně chrání vodivé cesty při působení vnějších vlivů, zjednodušuje optickou kontrolu zapájených součástek, snižuje pájky [5][3]. Nepájkivé masky mohou být v různém barevném provedení dle aplikace. Na obr. 13 můžeme vidět dvě barevná provedení.



Obr.13: Plošný spoj pokrytý nepájkivou maskou bílé a zelené barvy

## 1.11 Povrchová úprava HAL

HAL (Hot Air Leveling) slouží jako základní povrchová úprava desek plošných spojů. Žárově se nanáší vrstva bezolovnaté pájky (SN100C), ev. pájky SnPb. Vrstva pájky je stabilnější než galvanický Sn. Deska se ponoří do roztavené pájky a při vytahování je přebytečná pájka odstraněna horkovzdušným nožem. Tloušťka nanesené vrstvy se pohybuje okolo 6  $\mu\text{m}$ . V současné době je tato technologie nahrazována jinými, kvalitnějšími a ekologičtějšími metodami úpravy povrchu [1] [3].

## 2. Používané metody kontroly kvality ve výrobě DPS

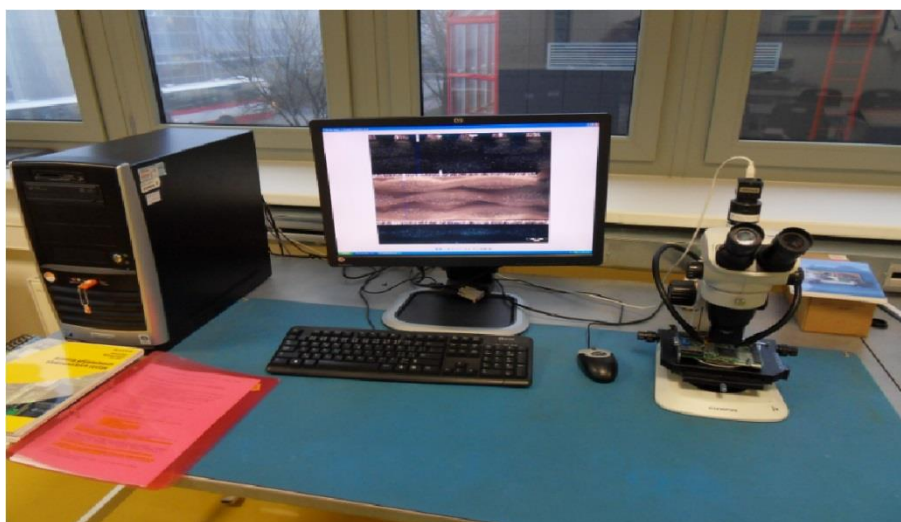
Některé tyto metody pozorování jsou využity v praktické části bakalářské práce.

### 2.1 Automatická optická inspekce (AOI)

AOI skenuje povrch desky plošného spoje. Deska je osvětlená více světelnými zdroji a pozorována skenerem nebo množstvím kamer s vysokým rozlišením. To umožňuje sledování všech oblastí na desce. Nasnímaný obraz je porovnáván s referenčním [11].

### 2.2 Vizuelní kontrola (VI)

Způsob této kontroly je prováděno pomocí optického mikroskopu Olympus SZ61. Na obr. 14 je náhled na laboratorní pracoviště, kde je prováděna vizuelní kontrola za pomoci optického mikroskopu Olympus SZ61 a počítače, který je vybaven programem Quick PHOTO Industrial verze 2.3. Program má řadu funkcí, kterými je možné vyhodnocovat zkoumané objekty, jako je například: měření délek, obvodů, ploch, úhlů, oblouků, vzdáleností, rovnoběžek, počítání objektů, analýza fází, měření tvrdosti a mikrotvrdosti.



Obr. 14: Laboratorní pracoviště vizuelní kontroly

### 2.3 Mikrovýbrus (MS)

Mikrovýbrusy slouží k detailnímu pozorování řezu zkoumaného vzorku.

**Výroba vzorku:** Spočívá v zalití sledovaného vzorku do dentacrylu. Dentacryl je metylmetakrylátová licí pryskyřice, která se skládá ze dvou složek a to tekuté a práškové. Po smíchání na požadovanou konzistenci a zalití sledovaného vzorku do separátorem upravené formy, dochází postupně k vytvrzení. K úplnému vytvrzení dojde přibližně po pěti hodinách. Samotný mikrovýbrus se provádí mechanickým broušením za mokra na kotoučových bruskách, kde je plocha vzorku opracovávána brusným papírem za stálého proudu vody. Pro broušení se často používají brusné papíry se zrnitostí 220, 600, 1200. Brusný papír zrnitosti 220 slouží k hrubému obroušení k požadovanému zkoumanému místu, zbylé dva brusné papíry slouží k odstranění rýh po hrubém broušení. Pro samotné pozorování na mikroskopu je

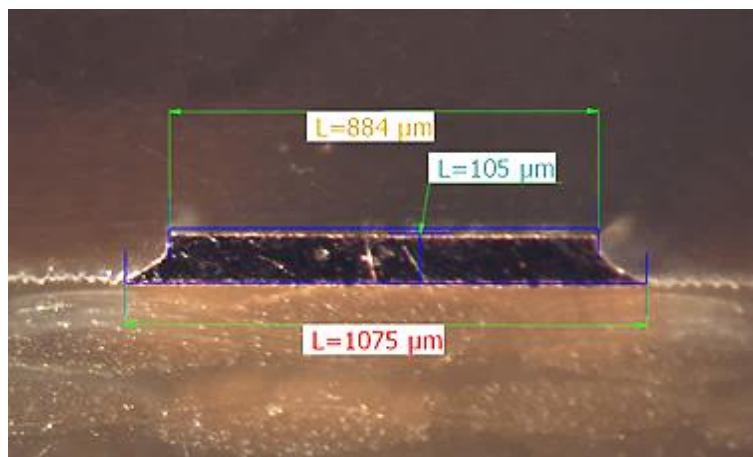


potřeba vzorek doleštit. Leštění je možno provést leštícími kotouči s diamantovou pastou. [11]. Na obr. 15 je brousící zařízení, na kterém je vzorek broušen a leštěn.



Obr. 15: Brousící zařízení Metasinx

Na obr. 16 vidíme zvětšený mikrovýbrus vzorku desky plošného spoje. Na fotografii můžeme pozorovat řez jedné vodivé cesty plošného spoje zvětšeného pod optickým mikroskopem. Pomocí vizuální kontroly a mikrovýbrusů je možné velmi detailně pozorovat a přesně měřit šířky zkoumaných objektů.



Obr. 16: Zvětšený mikrovýbrus vzorku DPS

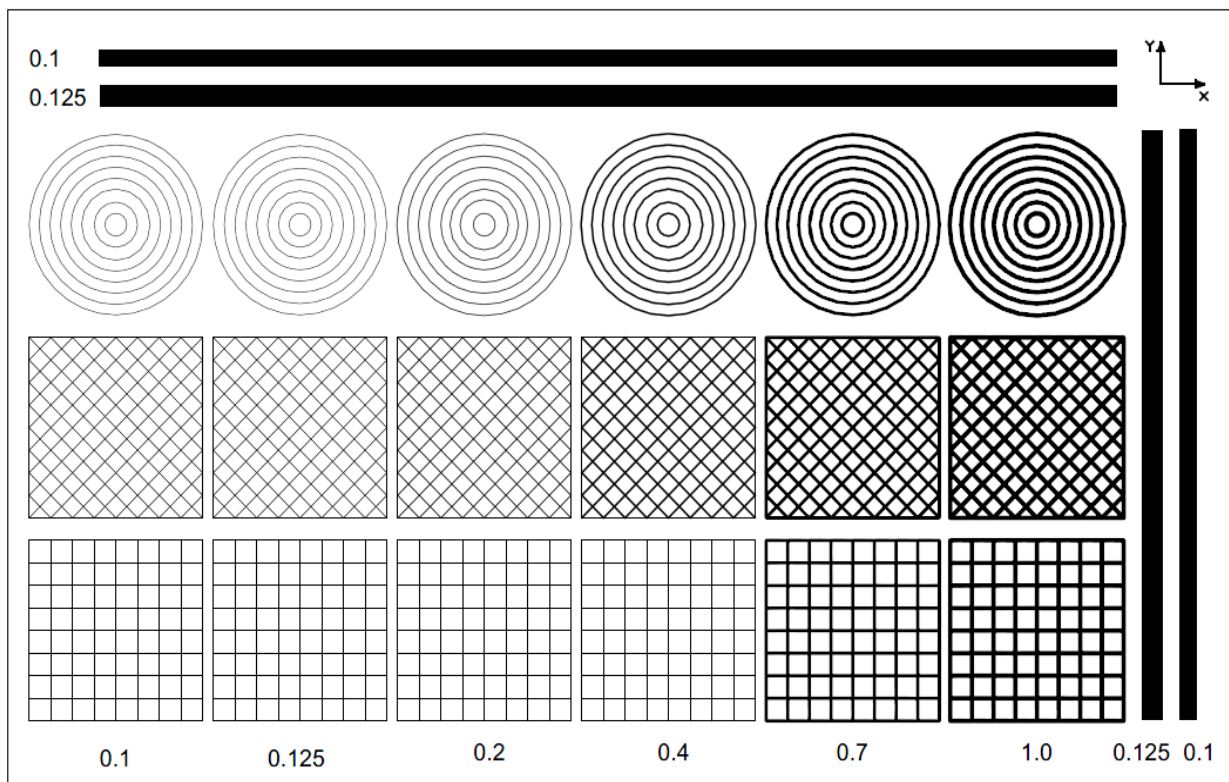
## 2.4 Rastrovací elektronový mikroskop (SEM)

Rastrovací elektronový mikroskop využívá k zobrazování pohyblivého elektronového svazku. Na každé místo vzorku je zaměřen úzký paprsek elektronů. Interakcí dopadajících elektronů s materiálem vzorku vznikají různě detekovatelné složky. Jak paprsek postupuje po vzorku, mění se podle charakteru povrchu úroveň signálu v detektoru. Z těchto signálů je pak sestavován výsledný obraz [10].

## 3. Praktická část

### 3.1 Návrh motivu testovací desky

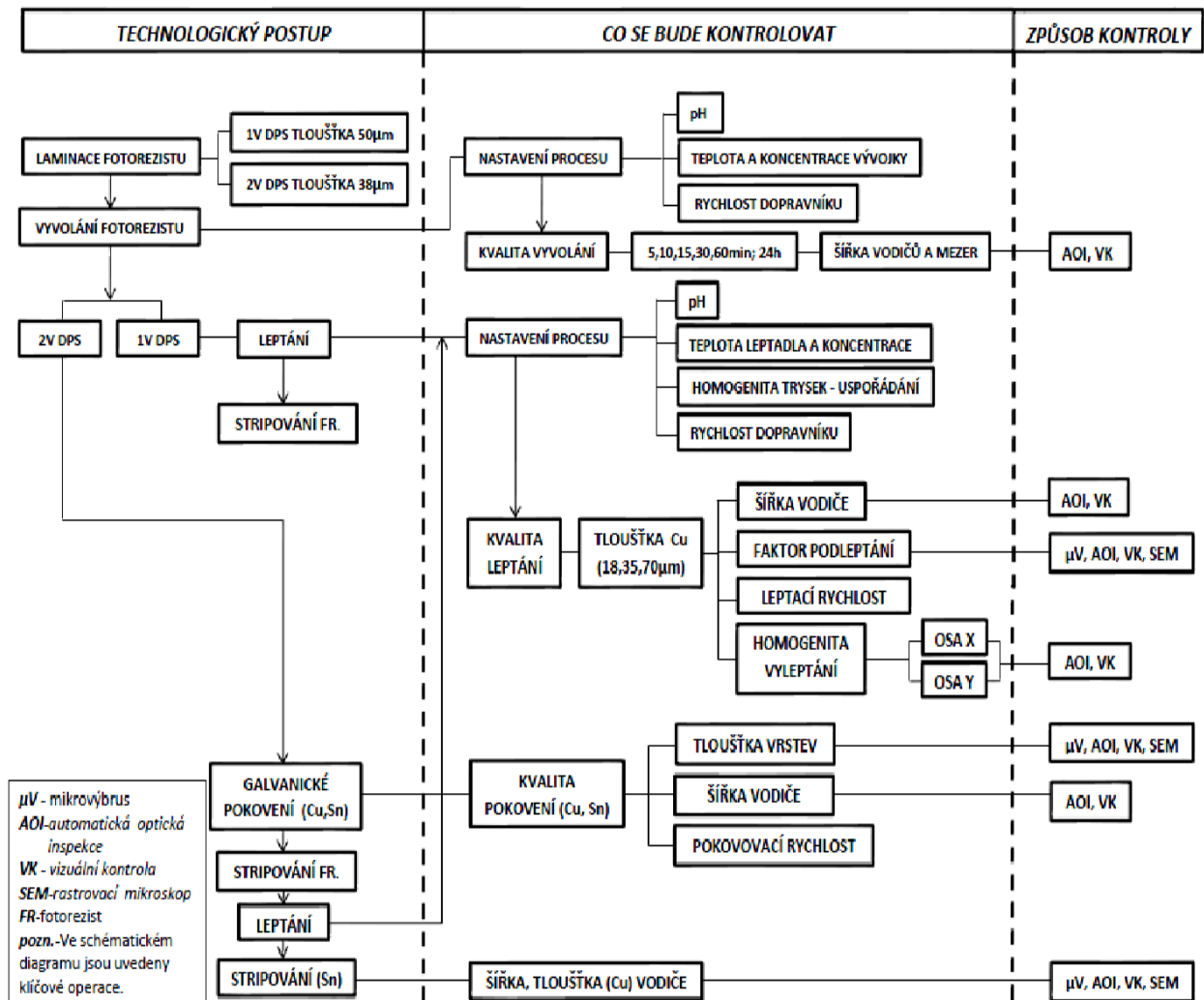
Testovací motiv obr. 17 byl navržen v návrhovém systému DPS Eagle. Testovací deska má rozměry (300 x 200 mm), obsahuje čáry se šířkami (100; 125; 200; 400; 700; 1000  $\mu\text{m}$ ) ve tvaru přímek, kružnic a čtverců s čarami pod úhly  $\pm$  (  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  a  $90^\circ$ ) Podélné a příčné přímky jsou o šířce čára – mezera (100; 125  $\mu\text{m}$ ). Na desce je vyobrazena osa X a Y, která nám slouží k určení orientace průchodu vyvolávací a leptací linkou. Jednotným směrem průchodu vyvolávací a leptací linkou bude vyhodnocována kvalita leptaných vodičů jdoucích v jednotlivých osách. Záměrně byly použity šířky čar 125  $\mu\text{m}$ , protože se jedná o nejmenší šířku (vodič/mezera) používanou ve firmě. A šířky čar 100  $\mu\text{m}$ , pro posouzení kvality leptání pod technologické možnosti firmy.



Obr. 17: Testovací motiv

### 3.2 Schematický diagram testování

Ve schématickém diagramu obr. 18 jsou uvedeny postupy a klíčové operace výroby desek plošných spojů a důležité parametry jednotlivých operací a metody provádění kontrol. Podle tohoto diagramu se realizovaly vybrané testy a kontroly kvality.



Obr. 18: Schematický diagram možného testování a sledování kvality



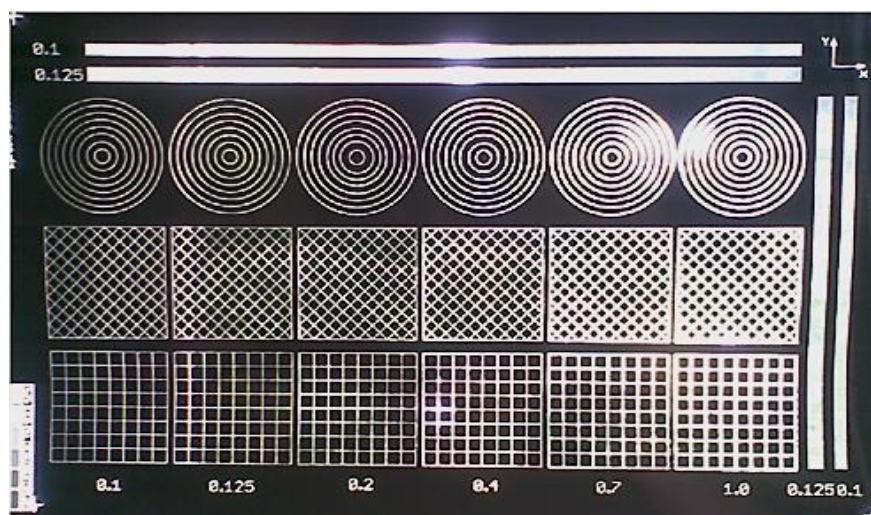
## 3.3 Výroba testovacích desek

### 3.3.1 Postup výroby jednostranných desek

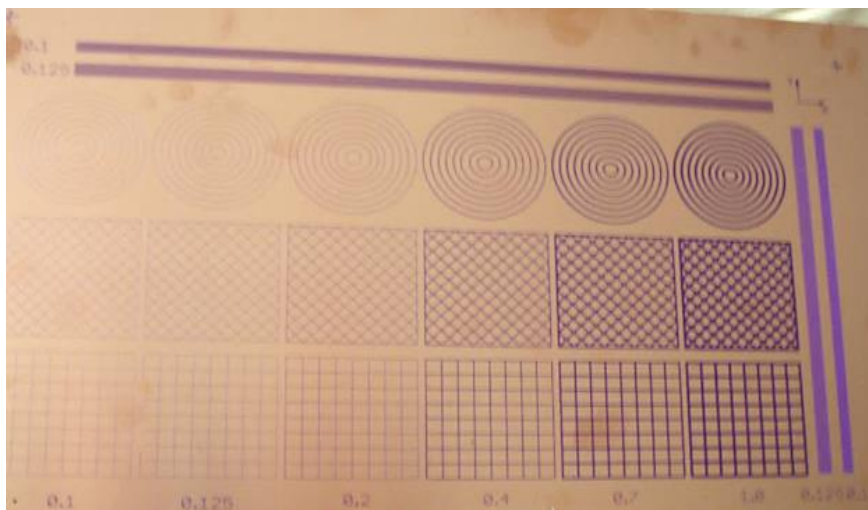
Po zpracování dat z návrhového systému byla vytvořena negativní filmová předloha obr. 19. Byly vytvořeny přířezy desek s jednostranně plátovanou mědí o tloušťkách měděné vrstvy (18, 35, 70, 105  $\mu\text{m}$ ). Použitý základní materiál FR-4. Přířezy byly nalaminovány tuhým negativním fotorezistem a naexponovány. Po vyvolání obr. 20 náhled na vyvolanou desku. Desky byly kladeny na dopravník leptací linky ve směru osy Y, která je vyznačena v pravém horním rohu testovací desky. Poslední operací po vyleptání následovalo odstripování fotorezistu. Leptány byly čtyři přířezy, každý z přířezů obsahoval dvě testovací desky. Na obr. 21, můžeme vidět finálně vyleptanou testovací desku.

### 3.3.2 Postup výroby oboustranných desek

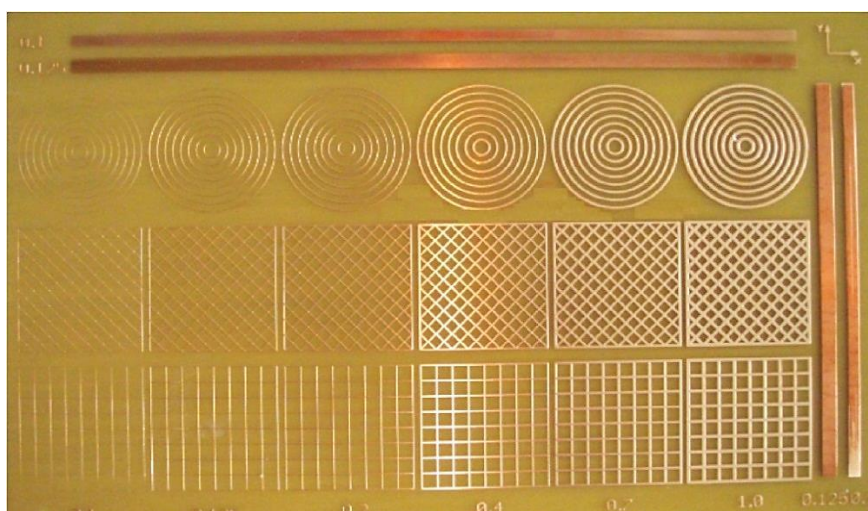
Od výroby jednostranných desek se liší: použitím oboustranně plátovaného základního materiálu o tloušťce plátované mědi 18 $\mu\text{m}$ . Použitá filmová předloha má pozitivní obrazec. Po naexponování a vyvolání následovalo zesílení galvanickou mědí na požadovanou tloušťku. Zesílená vrstva byla pokryta galvanickým cínem, který slouží jako leptuodolná vrstva. Po odstripování fotorezistu následovalo leptání. Jednotlivé desky byly též kladeny na dopravník ve směru osy Y. Poslední operací po leptání bylo odstripování galvanického cínu. Leptány byly tři přířezy každý z přířezů, obsahoval dvě testovací desky o tloušťce plátované mědi (18, 35, 70  $\mu\text{m}$ ) + měď galvanická 25  $\mu\text{m}$ .



Obr. 19: Negativní filmová předloha



Obr. 20: Deska po vyvolání



Obr. 21: Deska po vyleptání a odstripování fotorezistu

### 3.3.3 Podmínky za jakých byly desky leptány

Desky byly leptány za podmínek běžného provozu – tab. 1. Rychlosti dopravníku leptací linky se liší, pro jednostranné, oboustranné desky a také v tloušťce použité měděné vrstvy. Parametry leptací lázně se pohybovaly v daných mezích: koncentrace mědi (70 – 90) [g/l], pH (8,3 – 8,9), teplota ( $50 \pm 3$ ) [°C].

Tab. 1: Podmínky, za jakých byly desky leptány. Tloušťkou je myšlena plátovaná měď.

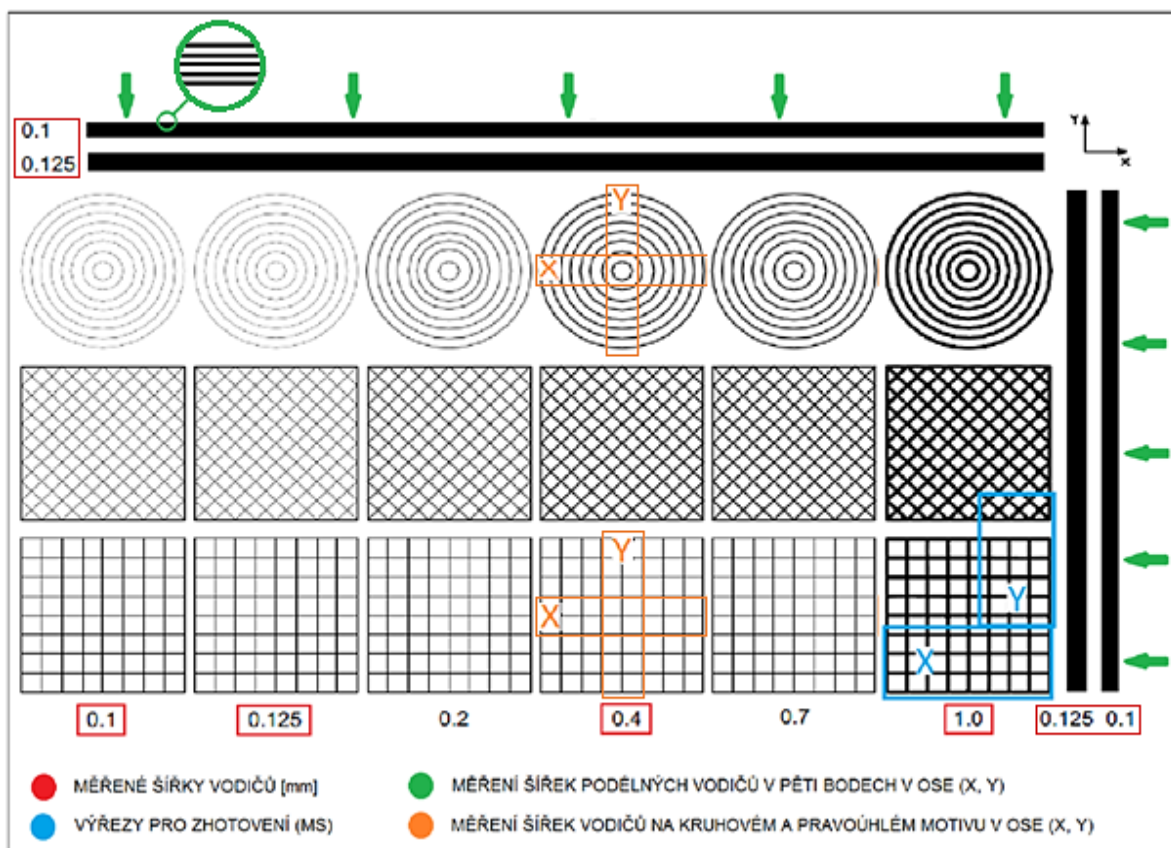
	Desky						
	Oboustranné			Jednostranné			
Tloušťka mědi [μm]	18	35	70	18	35	70	105
pH[-]	8,56	8,84	8,84	8,84	8,84	8,39	8,41
Teplota leptadla [°C]	49	49	49	49	49	49	49
Koncentrace mědi [g/l]	81	81	81	81	81	89	88
Rychlost dopravníku [m/min]	0,7	0,55	0,3	0,8	0,6	0,3	0,2

### 3.4 Metodika hodnocení kvality vyleptaných desek

Cílem tohoto měření a vyhodnocení bylo zjistit kvalitu vyleptaných desek s odlišnými tloušťkami plátované mědi a navrhnout možné opatření pro optimalizaci procesu leptání.

#### 3.4.1 Rozvržení měření na testovací desce

V navrženém testovacím motivu obr. 22 po dohodě s pracovníky firmy byly vybrány šířky vodičů (100; 125; 400; 1000  $\mu\text{m}$ ). Měření bylo provedeno v ose X a Y, na motivu kruhových, pravoúhlých a podélných vodičů. Na obr. 22, jsou barevně vyznačeny úseky, na kterých bylo provedeno měření. Červenou barvou jsou vyznačeny měřené šířky vodičů. Oranžová barva zobrazuje oblasti na motivech, kde byla provedena jednotlivá měření. U podélných vodičů jsou zelenými šipkami vyznačeny úseky, kde bylo provedeno měření. Mikrovýbrusy byly realizovány pouze na motivu pravoúhlých vodičů u jednostranných desek. Modrou barvou jsou vyznačeny úseky, kde byly vyřezány vzorky určené pro zhotovení mikrovýbrusů.



Obr. 22: Rozvržení měření



### 3.4.2 Postup měření a vyhodnocování na jednotlivých deskách

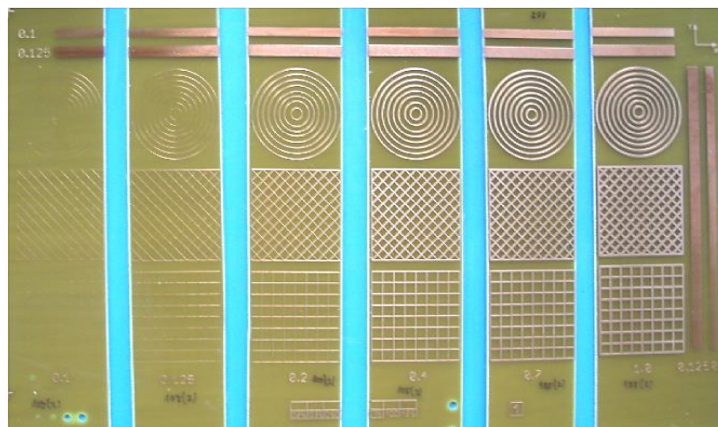
- Vizuální posouzení vyleptaných desek
- Měření vybraných šířek vodičů
- Měření faktoru leptání

Desky jsou prověřovány pouze po vyleptání, tedy jako hotové bez povrchových úprav. Pro jednotlivé tloušťky plátované mědi byly vždy leptány dvě desky, které obsahoval jeden přířez. Na obou deskách byla provedena stejná měření. Měřené hodnoty jsou graficky zpracovány. Vždy pro každou tloušťku plátované mědi jsou porovnávány rozdíly mezi oběma deskami přířezu v osách X a Y a také z hlediska tvaru motivu. Mezi sebou byl vždy porovnáván motiv pravoúhlých a kruhových vodičů.

Měření a pozorování jednotlivých desek bylo prováděno pomocí optického mikroskopu Olympus SZ61 a počítače, který je vybaven programem Quick PHOTO Industrial verze 2.3. Na Obr. 23 je náhled na pracoviště ve školní laboratoři, kde bylo měření a pozorování realizováno. Před každým měřením na mikroskopu byly desky rozstříhány pro snadnější manipulaci obr. 24.



Obr. 23: Pracoviště (VI)



Obr. 24: Nastříhaná deska

## 3.5 Výsledky měření vyleptaných jednostranných desek

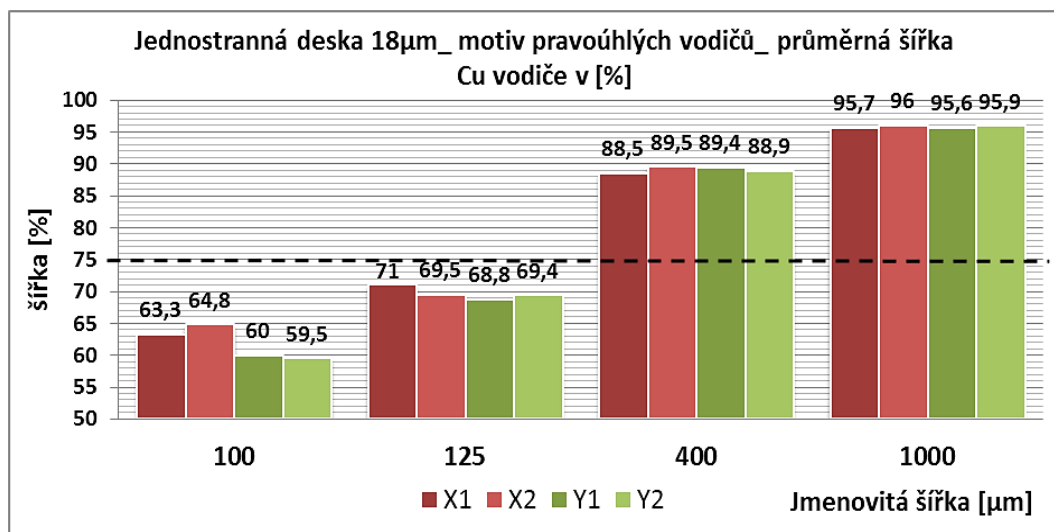
V této kapitole jsou jednotlivě vizuálně zhodnoceny a proměřeny jednostranné desky s tloušťkami plátované mědi (18, 35, 70, 105  $\mu\text{m}$ ).

### 3.5.1 Jednostranná deska, plátovaná měď 18 $\mu\text{m}$

Z vizuálního hlediska na obou deskách jednoho přířezu nebyly pozorovány nedostatky typu nedoleptaných ploch ani úplného odleptání některých vzorů. Tabulky (tab. 2 a tab. 3) obsahují: měřené šířky vodičů, na kruhovém a pravoúhlém motivu. Jmenovité šířky vodičů (100, 125, 400, 1000  $\mu\text{m}$ ), které by vodiče v ideálním případě měly mít za standardního postupu vyvolání fotorezistu a standardního postupu leptání mědi. Jmenovité šířky vodičů jsou odvozeny od šířky motivu měřené na filmové předloze s tolerancemi  $\pm 1$   $\mu\text{m}$  pro dané šířky (100, 125, 400, 1000  $\mu\text{m}$ ). Osy X1 a Y1 pro první desku přířezu a X2, Y2 pro druhou. Měření byla prováděna na „patách“ leptaných vodičů. Z naměřených šířek vyleptaných vodičů byla vypočítána: průměrná šířka vodiče v [ $\mu\text{m}$ ], procentech [%] a směrodatná odchylka v [ $\mu\text{m}$ ].

Tab. 2: Měřené šířky vodičů na motivu pravoúhlých vodičů, plátovaná měď 18 $\mu\text{m}$

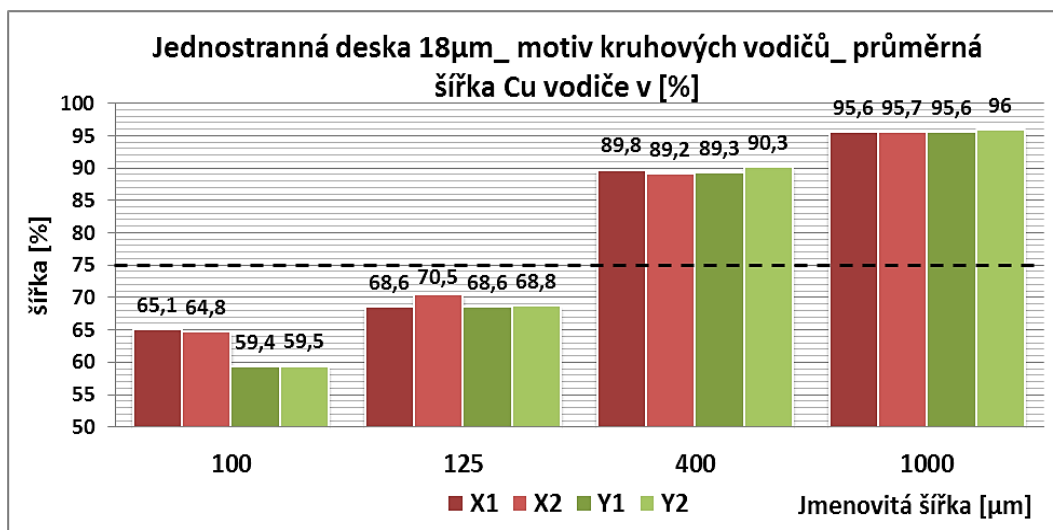
Jednostranná deska 18 $\mu\text{m}$ _ motiv pravoúhlých vodičů								
Jmenovitá hodnota [ $\mu\text{m}$ ]	Šířky vodičů v osách_deska (1)							
	X1				Y1			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	62	92	353	961	58	86	359	959
2.	61	89	351	958	58	87	359	956
3.	61	89	354	955	61	83	361	954
4.	70	86	353	958	68	86	361	955
5.	72	88	350	953	57	86	354	954
6.	61	89	359	955	59	86	355	954
7.	59	89	355	958	57	87	357	958
8.	60	88	358	955	62	87	356	956
<b>Průměrná šířka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>63,3</b>	<b>88,8</b>	<b>354,1</b>	<b>956,6</b>	<b>60</b>	<b>86</b>	<b>357,8</b>	<b>955,8</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>63,3</b>	<b>71</b>	<b>88,5</b>	<b>95,7</b>	<b>60</b>	<b>68,8</b>	<b>89,4</b>	<b>95,6</b>
<b>Směrodatná odchylka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>4,6</b>	<b>1,6</b>	<b>2,9</b>	<b>2,4</b>	<b>3,5</b>	<b>1,2</b>	<b>2,5</b>	<b>1,8</b>
Jmenovitá hodnota [ $\mu\text{m}$ ]	Šířky vodičů v osách_deska (2)							
	X2				Y2			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	64	89	355	962	61	86	354	959
2.	62	88	358	961	57	89	357	955
3.	62	87	361	961	62	87	351	957
4.	63	89	361	963	62	88	355	959
5.	71	87	358	957	58	84	358	962
6.	63	84	355	961	59	87	357	959
7.	65	87	358	957	59	87	357	963
8.	68	84	359	957	58	86	355	957
<b>Průměrná šířka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>64,8</b>	<b>86,9</b>	<b>358,1</b>	<b>959,9</b>	<b>59,5</b>	<b>86,8</b>	<b>355,5</b>	<b>958,9</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>64,8</b>	<b>69,5</b>	<b>89,5</b>	<b>96</b>	<b>59,5</b>	<b>69,4</b>	<b>88,9</b>	<b>95,9</b>
<b>Směrodatná odchylka [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>3</b>	<b>1,8</b>	<b>2,1</b>	<b>2,3</b>	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>



Obr. 25 Grafické znázornění pro motiv pravoúhlých vodičů, plátovaná měď 18 $\mu$ m

Tab. 3: Měřené šířky vodičů na motivu kruhových vodičů, plátovaná měď 18 $\mu$ m

Jednostranná deska 18 $\mu$ m_ motiv kruhových vodičů								
Jmenovitá hodnota [ $\mu$ m]	Šířky vodičů v osách_deska (1)							
	X1				Y1			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	68	89	359	958	64	87	355	959
2.	75	86	361	955	57	88	357	955
3.	66	91	361	957	59	87	358	953
4.	66	86	359	960	55	87	362	956
5.	59	83	357	957	65	83	357	959
6.	64	82	360	958	54	88	358	957
7.	61	86	361	951	67	83	355	951
8.	62	83	354	951	54	83	356	958
<b>Průměrná šířka [<math>\mu</math>m]</b>	<b>65,1</b>	<b>85,8</b>	<b>359</b>	<b>955,9</b>	<b>59,4</b>	<b>85,8</b>	<b>357,3</b>	<b>956</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>65,1</b>	<b>68,6</b>	<b>89,8</b>	<b>95,6</b>	<b>59,4</b>	<b>68,6</b>	<b>89,3</b>	<b>95,6</b>
<b>Směrodatná odchylka [<math>\mu</math>m]</b>	<b>4,6</b>	<b>2,9</b>	<b>2,3</b>	<b>3,1</b>	<b>4,9</b>	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>2,7</b>
Jmenovitá hodnota [ $\mu$ m]	Šířky vodičů v osách_deska (2)							
	X2				Y2			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	58	91	355	964	59	87	362	965
2.	58	87	357	958	61	84	359	963
3.	76	90	358	955	59	87	361	962
4.	67	89	357	958	58	86	362	961
5.	82	87	358	956	56	84	361	959
6.	67	87	357	955	61	86	362	958
7.	70	88	356	954	61	86	363	960
8.	63	86	356	954	59	88	360	954
<b>Průměrná šířka [<math>\mu</math>m]</b>	<b>67,6</b>	<b>88,1</b>	<b>356,8</b>	<b>956,8</b>	<b>59,3</b>	<b>86</b>	<b>361,3</b>	<b>960,3</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>64,8</b>	<b>70,5</b>	<b>89,2</b>	<b>95,7</b>	<b>59,5</b>	<b>68,8</b>	<b>90,3</b>	<b>96</b>
<b>Směrodatná odchylka [<math>\mu</math>m]</b>	<b>7,8</b>	<b>1,6</b>	<b>1</b>	<b>3,1</b>	<b>1,6</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>3,2</b>



Obr. 26 Grafické znázornění pro motiv kruhových vodičů, plátovaná měď 18 $\mu$ m

Na (obr. 25 a obr. 26) jsou graficky znázorněny průměrné šířky vodičů v procentech pro motiv pravoúhlých a kruhových vodičů, měřené hodnoty (viz tab. 2 a tab. 3). V grafech je vyznačena hranice 75 %, pod kterou by se šířka vodiče neměla dostat. Na vodorovné ose jsou vyznačeny jmenovité hodnoty, které by vodiče v ideálním případě měly mít. Svislá osa zobrazuje šířku vodiče v procentech. Každá jmenovitá hodnota obsahuje čtyři sloupce v grafu. První dva sloupce s odlišnými odstíny červené barvy znázorňují osu X1 a X2 pro desky 1 a 2. Jsou vedle sebe záměrně pro porovnání rozdílu dvou desek leptaných po sobě jdoucích, měřených v ose X. Obdobně to platí pro osu Y1 a Y2 u sloupců grafu s odlišným odstínem zelené barvy. Tímto uspořádáním jsou zároveň porovnávány rozdíly v osách X a Y. Tento popis grafických zobrazení platí pro všechny desky v kapitole (3.5).

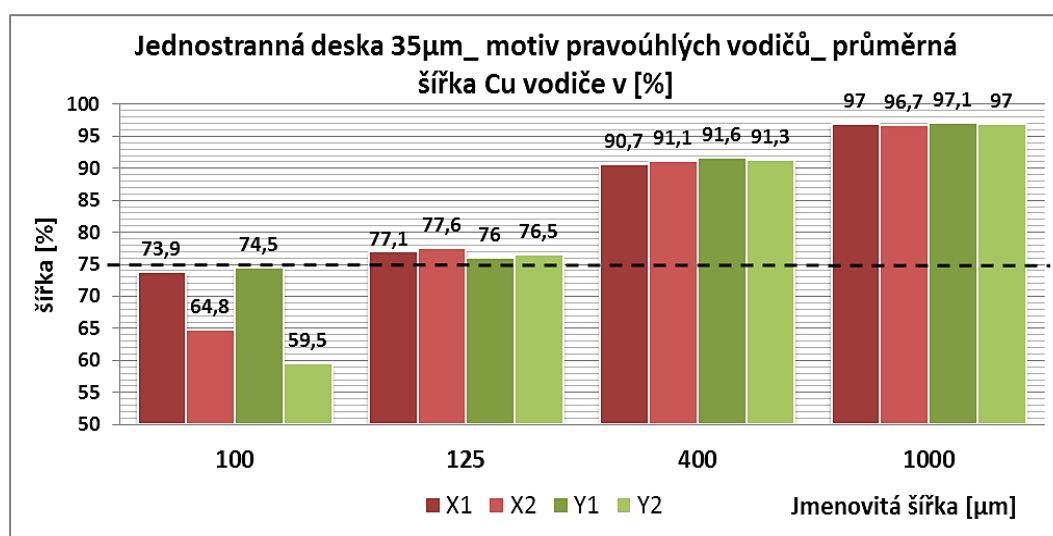
Při prvním pohledu na (obr. 25 a obr. 26) nejsou pozorovány značné rozdíly šířek vodičů z hlediska tvaru motivu. Pro jmenovité šířky vodičů (100 a 125  $\mu$ m) je reálná šířka vodiče pod hranicí 75 %. Pro jmenovitou šířku 100  $\mu$ m to bylo možné předpokládat, protože se jedná o šířku vodiče pod hranici technologických možností firmy. Pro jmenovitou šířku vodiče 125  $\mu$ m, by šířka vodiče po vyleptání neměla klesnout pod hranici 75 %. Rozdíly z hlediska dvou desek leptaných po sobě jsou minimální. Pro jmenovité šířky (400 a 1000  $\mu$ m) jsou šířkové rozdíly téměř zanedbatelné, tyto šířky vodičů se pohybují vysoko nad hranicí minimální šířky vodiče po vyleptání, ale nedosahují jmenovitých hodnot. Z grafů lze také vyčíst jednoznačnou závislost šířky vodiče na kvalitě vyleptání a šířkovou stabilitu vodičů. Největší šířkové rozdíly jsou pozorovány pro jmenovitou šířku 100  $\mu$ m. U obou desek pro rozměry (100 a 125  $\mu$ m) není dosaženo minimální šířky vodiče. Podle výsledků měření u (100 a 125  $\mu$ m) motivů a tloušťky plátované mědi 18  $\mu$ m je zřejmé, že by se měla zvýšit rychlost pohybu dopravníku.

### 3.5.2 Jednostranná deska, plátovaná měď 35 μm

Na deskách nebyly pozorovány nedoleptané plochy mědi ani odleptané úseky vodivých motivů. Měřené hodnoty (viz tab. 4 a tab. 5).

Tab. 4: Měřené šířky vodičů na motivu pravoúhlých vodičů, plátovaná měď 35 μm

Jednostranná deska 35μm_ motiv pravoúhlých vodičů								
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (1)							
	X1				Y1			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	70	93	363	970	76	97	371	970
2.	74	97	368	971	70	92	368	970
3.	75	95	360	975	79	91	368	972
4.	73	102	361	970	76	97	361	971
5.	75	100	368	968	74	97	368	971
6.	78	96	364	968	72	95	367	972
7.	72	93	359	971	74	94	360	970
8.	74	95	360	970	75	97	368	970
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>73,9</b>	<b>96,4</b>	<b>362,9</b>	<b>970,4</b>	<b>74,5</b>	<b>95</b>	<b>366,4</b>	<b>970,8</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>73,9</b>	<b>77,1</b>	<b>90,7</b>	<b>97</b>	<b>74,5</b>	<b>76</b>	<b>91,6</b>	<b>97,1</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>2,2</b>	<b>3</b>	<b>3,3</b>	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>	<b>3,6</b>	<b>0,8</b>
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (2)							
	X2				Y2			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	72	95	364	963	68	97	368	971
2.	78	95	367	966	70	96	367	970
3.	78	95	371	968	72	92	367	972
4.	72	96	366	964	75	97	359	967
5.	71	99	363	964	75	97	363	975
6.	68	97	365	966	73	95	368	972
7.	71	99	362	974	72	95	363	967
8.	72	100	357	968	75	96	365	968
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>72,8</b>	<b>97</b>	<b>364,4</b>	<b>966,6</b>	<b>72,5</b>	<b>95,6</b>	<b>365</b>	<b>970,3</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>64,8</b>	<b>77,6</b>	<b>91,1</b>	<b>96,7</b>	<b>59,5</b>	<b>76,5</b>	<b>91,3</b>	<b>97</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>3,3</b>	<b>1,9</b>	<b>3,8</b>	<b>3,3</b>	<b>2,4</b>	<b>1,6</b>	<b>3</b>	<b>2,6</b>

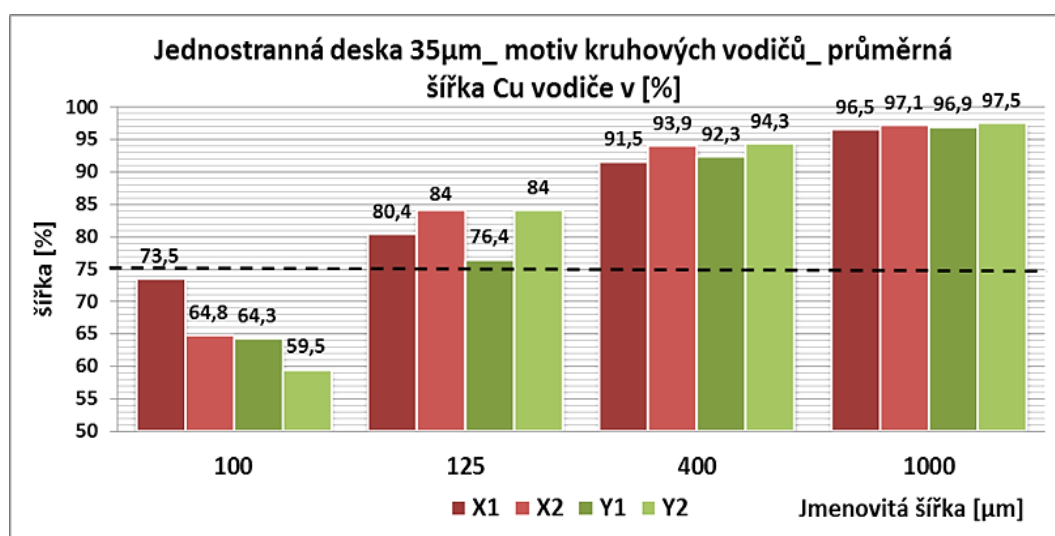


Obr. 27 Grafické znázornění pro motiv pravoúhlých vodičů, plátovaná měď 35μm



Tab. 5: Měřené šířky vodičů na motivu kruhových vodičů, plátovaná měď 35 $\mu$ m

Jednostranná deska 35 $\mu$ m_ motiv kruhových vodičů								
Jmenovitá hodnota [ $\mu$ m]	Šířky vodičů v osách_deska (1)							
	X1				Y1			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	75	101	364	967	67	97	361	975
2.	75	101	364	968	67	99	374	968
3.	76	103	367	963	71	97	370	972
4.	76	104	368	966	71	93	370	964
5.	73	100	374	970	59	92	371	971
6.	70	99	368	963	63	98	370	970
7.	72	99	362	963	59	99	367	966
8.	71	97	361	958	57	89	369	969
<b>Průměrná šířka [<math>\mu</math>m]</b>	<b>73,5</b>	<b>100,5</b>	<b>366</b>	<b>964,8</b>	<b>64,3</b>	<b>95,5</b>	<b>369</b>	<b>969,4</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>73,5</b>	<b>80,4</b>	<b>91,5</b>	<b>96,5</b>	<b>64,3</b>	<b>76,4</b>	<b>92,3</b>	<b>96,9</b>
<b>Směrodatná odchylka [<math>\mu</math>m]</b>	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>3,9</b>	<b>3,5</b>	<b>5,2</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,2</b>
Jmenovitá hodnota [ $\mu$ m]	Šířky vodičů v osách_deska (2)							
	X2				Y2			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	70	107	370	970	76	104	376	982
2.	74	109	370	972	78	100	387	976
3.	80	108	375	968	75	100	380	976
4.	80	108	379	971	78	101	380	975
5.	75	103	379	970	79	107	374	975
6.	78	104	379	973	83	113	373	972
7.	80	101	378	979	78	108	374	971
8.	82	100	375	968	83	107	375	972
<b>Průměrná šířka [<math>\mu</math>m]</b>	<b>77,4</b>	<b>105</b>	<b>375,6</b>	<b>971,4</b>	<b>78,8</b>	<b>105</b>	<b>377,4</b>	<b>974,9</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>64,8</b>	<b>84</b>	<b>93,9</b>	<b>97,1</b>	<b>59,5</b>	<b>84</b>	<b>94,3</b>	<b>97,5</b>
<b>Směrodatná odchylka [<math>\mu</math>m]</b>	<b>3,8</b>	<b>3,2</b>	<b>3,6</b>	<b>3,3</b>	<b>2,7</b>	<b>4,3</b>	<b>4,4</b>	<b>3,3</b>

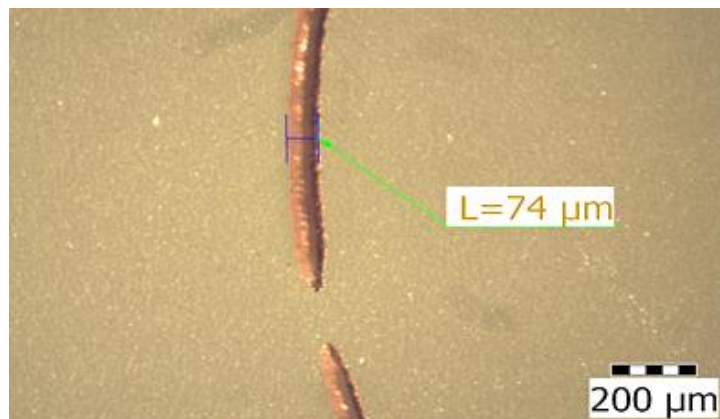


Obr. 28 Grafické znázornění pro motiv kruhových vodičů, plátovaná měď 35 $\mu$ m

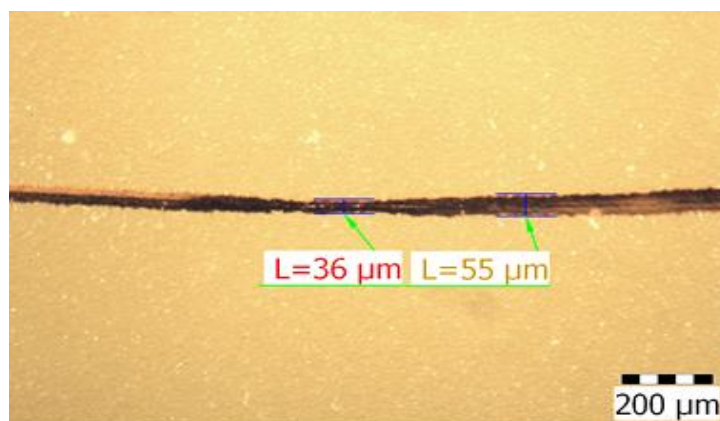
Při porovnání grafů na (obr. 27 a obr. 28) jsou pozorovány patrnější rozdíly z hlediska tvaru motivu. U kruhového motivu jsou pozorovány celkově větší šířkové nehomogenity ve srovnání s pravoúhlým motivem. Tyto pozorované rozdíly mohou být způsobovány změnou proudění dopadající leptací lázně na odlišný tvar motivu. Největší šířkové rozdíly jsou pozorovány pro jmenovitou šířku 100  $\mu\text{m}$ . U obou desek pro tento rozměr není dosaženo minimální šířky vodiče. Zbývající rozměry se pohybují nad hranicí minima, lze tedy usoudit, že leptané desky pro tloušťku plátované mědi 35  $\mu\text{m}$  mají nastavený proces v mezích postačující kvality. Desky o téhle tloušťce plátované mědi jsou ve firmě nejvíce používané, proto nastavený proces ve správných mezích je velmi důležitý.

### 3.5.3 Jednostranná deska, plátovaná měď 70 $\mu\text{m}$

Na deskách bylo pozorováno množství značných nedostatků. Přeleptané a neodleptané úseky mědi. Nedoleptané úseky byly pozorovány nejvíce u podélných vodičů. Na kruhovém motivu pro jmenovitou šířku vodiče 100  $\mu\text{m}$  byl pozorován přerušovaný úsek obr. 29. Defekty tohoto typu jsou nejčastěji způsobeny špatnou adhezí fotorezistu nebo také mechanickým poškozením při manipulaci s deskou. Na obr. 30 můžeme pozorovat přeleptaný vodič kruhového motivu, pozorovat můžeme velké rozdíly šířek na tomto úseku. Na (obr. 29 a obr. 30) při pohledu na povrch vodičů je patrné, že jsou značně přeleptané. Fotorezist, který má krytí povrch vodičů byl odplaven, ještě před výstupem z leptací komory.

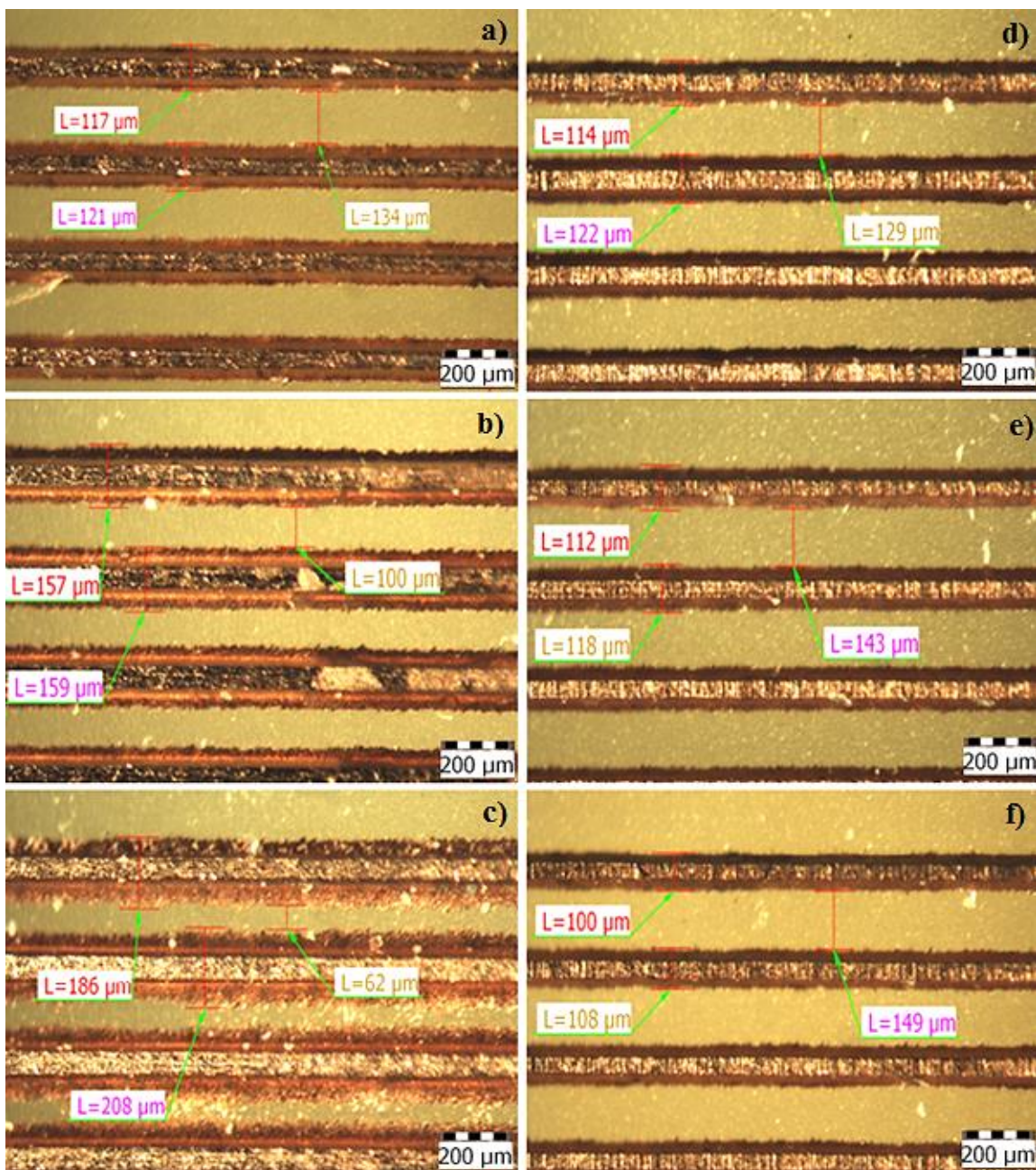


Obr. 29 Přerušovaný úsek vodiče pozorovaný na kruhovém motivu



Obr. 30 Přeleptaný úsek pozorovaný na kruhovém motivu

Na (obr. 30 a) až f)), můžeme pozorovat nafocené úseky z motivů podélných vodičů pro šířku 125  $\mu\text{m}$  v ose X a Y. Na všech obrázcích jsou změřené vždy dvě šířky vodičů a jedna mezera mezi nimi. Na (obr. 30 a), b) a c)) jsou postupně nafoceny úseky jdoucí v ose X zleva doprava ve třech místech (10, 110 a 210 mm). Na obrázcích (obr. 30 d), e) a f)) jsou nafocené úseky jdoucí v ose Y, obdobně jako v ose X. U jednotlivých obrázků v ose X můžeme pozorovat postupné rozšiřování vodičů až u obr. 30 d) jsou v mezerách mezi jednotlivými vodiči pozorovány neodleptané zbytky mědi. Tento nedostatek nerovnoměrného leptání na celé délce u tohoto motivu v ose X byl pozorován u většiny vyleptaných desek. Příčina této nehomogenity je s největší pravděpodobností způsobena nerovnoměrným ostřikem trysek leptací linky. Ve srovnání s osou Y (obr. 30 d), e) a f)) jsou také pozorovány nehomogenity tohoto typu ale v mnohem menším rozsahu.

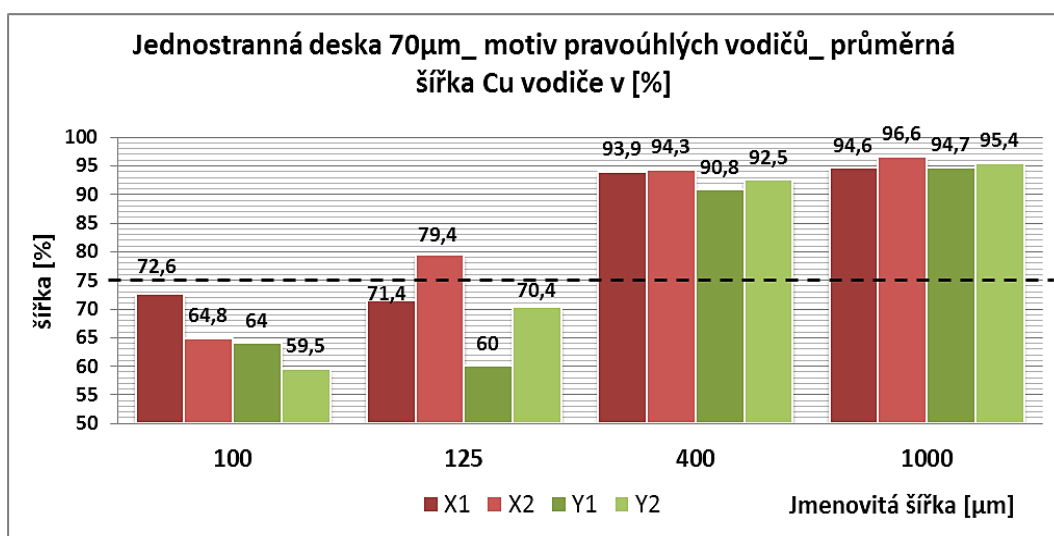


Obr. 30 a) až f): Rozdíly na motivu podélných vodičů pro šířku 125  $\mu\text{m}$  v ose X a Y



Tab. 6: Měřené šířky vodičů na motivu pravoúhlých vodičů, plátovaná měď 70μm

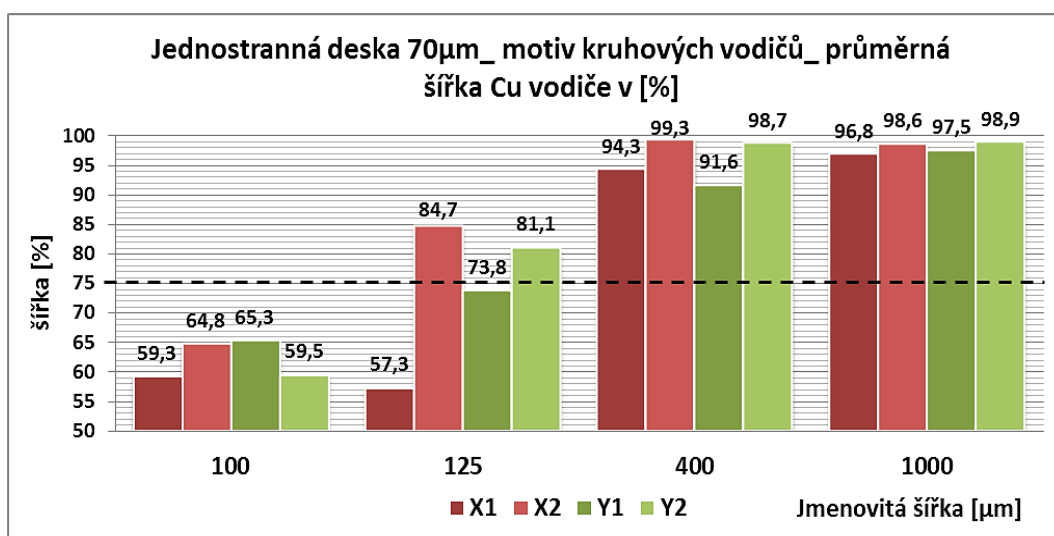
Jednostranná deska 70μm_ motiv pravoúhlých vodičů								
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (1)							
	X1				Y1			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	71	95	384	949	64	74	359	946
2.	66	91	388	943	64	76	361	943
3.	67	95	379	937	64	72	363	945
4.	71	90	374	941	59	79	363	946
5.	68	84	364	940	61	76	370	950
6.	71	78	377	955	65	74	363	948
7.	76	88	370	940	69	74	363	951
8.	91	93	368	963	66	75	362	949
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>72,6</b>	<b>89,3</b>	<b>375,5</b>	<b>946</b>	<b>64</b>	<b>75</b>	<b>363</b>	<b>947,3</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>72,6</b>	<b>71,4</b>	<b>93,9</b>	<b>94,6</b>	<b>64</b>	<b>60</b>	<b>90,8</b>	<b>94,7</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>7,5</b>	<b>5,5</b>	<b>7,6</b>	<b>8,4</b>	<b>2,8</b>	<b>1,9</b>	<b>3</b>	<b>2,5</b>
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (2)							
	X2				Y2			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	34	108	376	968	70	86	371	953
2.	68	98	380	970	63	87	367	954
3.	70	92	375	958	70	88	370	943
4.	64	84	371	954	71	84	368	953
5.	66	97	376	959	66	89	372	955
6.	87	101	383	971	61	92	370	955
7.	90	103	375	970	66	91	371	961
8.	91	111	380	976	67	87	371	958
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>71,3</b>	<b>99,3</b>	<b>377</b>	<b>965,8</b>	<b>66,8</b>	<b>88</b>	<b>370</b>	<b>954</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>64,8</b>	<b>79,4</b>	<b>94,3</b>	<b>96,6</b>	<b>59,5</b>	<b>70,4</b>	<b>92,5</b>	<b>95,4</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>17,6</b>	<b>8,1</b>	<b>3,5</b>	<b>7,2</b>	<b>3,3</b>	<b>2,4</b>	<b>1,6</b>	<b>4,9</b>



Obr. 31 Grafické znázornění pro motiv pravoúhlých vodičů, plátovaná měď 70μm

Tab. 7: Měřené šířky vodičů na motivu kruhových vodičů, plátovaná měď 70μm

Jednostranná deska 70μm_ motiv kruhových vodičů								
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (1)							
	X1				Y1			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	70	79	379	955	51	97	376	970
2.	67	66	384	959	64	95	367	974
3.	71	75	383	965	68	96	371	978
4.	78	70	380	976	70	96	365	976
5.	64	64	371	976	67	89	365	974
6.	64	70	371	978	70	93	364	966
7.	34	75	370	971	68	89	362	979
8.	26	74	378	967	64	83	362	979
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>59,3</b>	<b>71,6</b>	<b>377</b>	<b>968,4</b>	<b>65,3</b>	<b>92,3</b>	<b>366,5</b>	<b>974,5</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>59,3</b>	<b>57,3</b>	<b>94,3</b>	<b>96,8</b>	<b>65,3</b>	<b>73,8</b>	<b>91,6</b>	<b>97,5</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>17,5</b>	<b>4,7</b>	<b>5,2</b>	<b>7,9</b>	<b>5,8</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,3</b>
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (2)							
	X2				Y2			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	78	113	394	1005	61	100	395	999
2.	70	104	397	993	72	93	395	993
3.	75	111	390	999	76	99	396	991
4.	71	105	398	996	76	100	399	992
5.	67	96	403	976	71	104	399	988
6.	76	111	397	967	75	108	393	987
7.	75	107	401	982	75	105	390	980
8.	75	100	399	970	74	102	390	984
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>73,4</b>	<b>105,9</b>	<b>397,4</b>	<b>986</b>	<b>72,5</b>	<b>101,4</b>	<b>394,6</b>	<b>989,3</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>64,8</b>	<b>84,7</b>	<b>99,3</b>	<b>98,6</b>	<b>59,5</b>	<b>81,1</b>	<b>98,7</b>	<b>98,9</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>3,4</b>	<b>5,5</b>	<b>3,8</b>	<b>13,3</b>	<b>4,7</b>	<b>4,2</b>	<b>3,3</b>	<b>5,5</b>

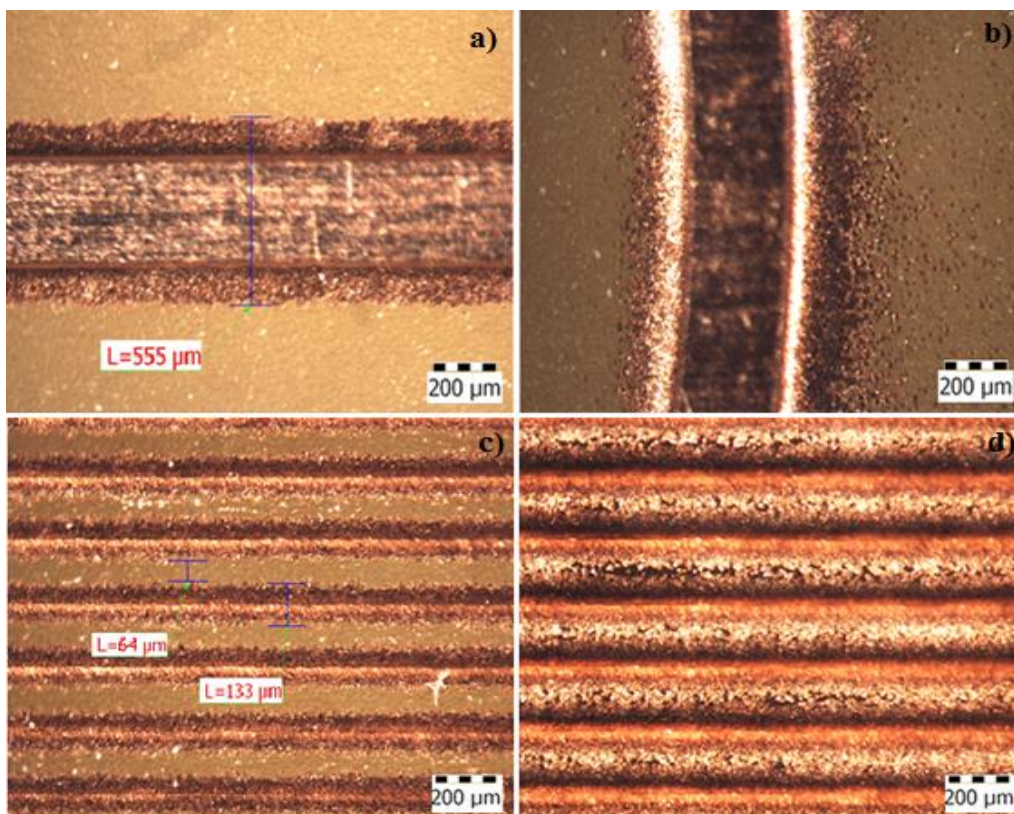


Obr. 32 Grafické znázornění pro motiv kruhových vodičů, plátovaná měď 70μm

Při porovnání grafů na (obr. 31 a obr. 32) pro jmenovité šířky (100 a 125  $\mu\text{m}$ ) jsou pozorovány pro oba typy motivů velké nehomogenity šířek vodičů v osách X a Y u obou desek. Z toho je patrné, že vodiče jsou značně podleptané a také nerovnoměrně leptané. Některé šířky vodičů dosahují hranice minimálních šířek a jiné jsou hluboko pod touto hranicí. Podle výsledků měření je zřejmé, že proces leptání není nastaven ve správných mezích pro takhle malé šířky vodičů. Pro větší šířky vodičů nejsou pozorovány větší nedostatky. Celkově pro oba typy motivů jsou pozorovány větší nehomogenity šířek pro motiv kruhových vodičů.

### **3.5.4 Jednostranná deska, plátovaná měď 105 $\mu\text{m}$**

Na deskách bylo pozorováno velké množství nedostatků. Nedoleptané plochy na desce. V tabulkách (tab. 8 a tab. 9) nejsou uvedeny hodnoty pro jmenovitou šířku vodiče 100  $\mu\text{m}$  pro desku 2, tyto šířky vodičů nebylo možné měřit, protože byly z velké části odleptané. U většiny vodičů byly pozorovány nedoleptané paty vodičů, což vodič zdatelně rozšiřuje. Na (obr. 33 a) a b)) můžeme vidět nedoleptané paty vodičů, pro motiv pravoúhlých a kruhových vodičů jmenovité šířky 400  $\mu\text{m}$ . Na obr. 33 a) je měřena šířka vodiče, na nedoleptané patě vodiče, která je 555  $\mu\text{m}$ . Na (obr. 33 c) a d)) jsou nafocené úseky na dvou odlišných místech u podélných vodičů v ose X, pro jmenovitou šířku 100  $\mu\text{m}$ . Na obr. 33 d) jsou vodiče tak nedoleptané, že tvoří jeden vodivý celek. Podobné rozdíly byly pozorované i pro šířku 125  $\mu\text{m}$ . Tyto rozdíly jsou způsobeny nerovnoměrným ostřikem desky. Značné rozdíly v šířkách leptaných vodičů (100 a 125  $\mu\text{m}$ ) mohou být způsobeny i neúplnou kompatibilitou typu fotorezistu a leptacího roztoku, ev. i v relativních změnách délkových roztažností použitých materiálů. Zajímavé by bylo i proměření homogenity a kvality plátované mědi vybraných dodavatelů u DPS pro kritické aplikace. Nehomogenní kvalitu ostřiku v příčném směru pohybu dopravníku je názorně vidět na (obr. 33 c) a d)). Je zřejmé, že je nutno dále optimalizovat nejen rychlost pohybu dopravníku, ale i rychlost ostřiku. Pro optimalizaci procesu leptání a analogicky i procesu vyvolání je perspektivně zajímavá metoda plánovaných experimentů (Design of Experiments).

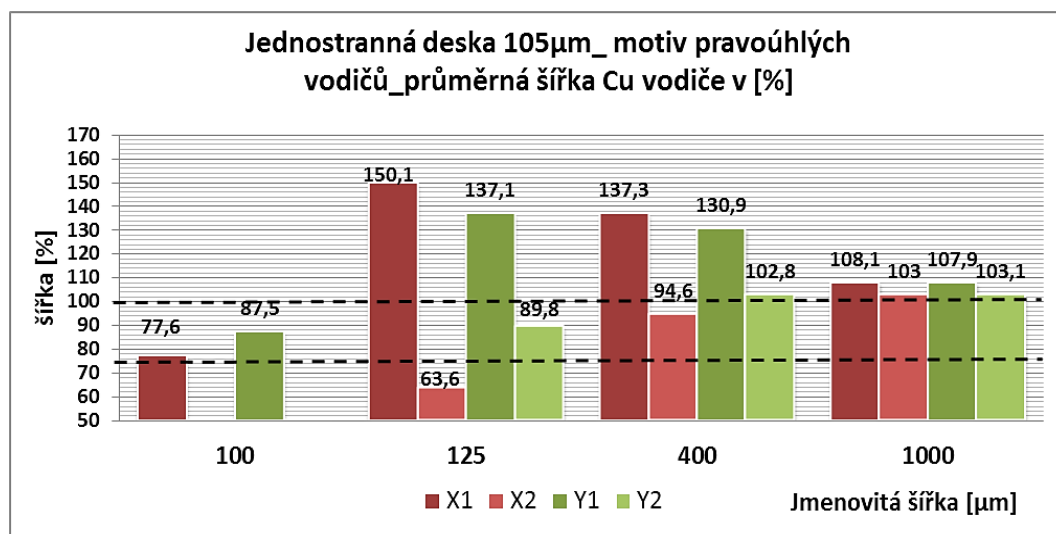


Obr. 33 a) a b): Nedoleptané paty vodičů, jmenovitá šířka vodiče 400 μm, c) a d) rozdíly šířek podélných vodičů pro jmenovitou šířku 100 μm.

Tab. 8: Měřené šířky vodičů na motivu pravoúhlých vodičů, plátovaná měď 105 μm

Jednostranná deska 105μm_ motiv pravoúhlých vodičů								
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (1)							
	X1				Y1			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	79	226	541	1087	47	130	479	1096
2.	91	207	542	1086	66	151	500	1085
3.	82	189	550	1071	82	167	532	1062
4.	75	187	545	1086	93	178	528	1072
5.	71	186	554	1084	97	179	555	1070
6.	74	174	555	1078	108	185	538	1080
7.	72	168	558	1075	112	203	514	1089
8.	77	164	550	1079	95	178	543	1076
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>77,6</b>	<b>187,6</b>	<b>549,4</b>	<b>1080,8</b>	<b>87,5</b>	<b>171,4</b>	<b>523,6</b>	<b>1078,8</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>77,6</b>	<b>150,1</b>	<b>137,3</b>	<b>108,1</b>	<b>87,5</b>	<b>137,1</b>	<b>130,9</b>	<b>107,9</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>6,1</b>	<b>19,3</b>	<b>5,8</b>	<b>5,5</b>	<b>20,4</b>	<b>20,9</b>	<b>23,2</b>	<b>10,3</b>
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (2)							
	X2				Y2			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	/	86	376	1051	/	54	391	1038
2.	/	90	379	1031	/	57	392	1027
3.	/	86	387	1033	/	131	395	1028
4.	/	84	384	1033	/	121	398	1025
5.	/	74	374	1032	/	125	405	1014
6.	/	80	375	1018	/	130	420	1041
7.	/	70	378	1021	/	142	434	1037
8.	/	66	375	1020	/	138	453	1040
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>/</b>	<b>79,5</b>	<b>378,5</b>	<b>1029,9</b>	<b>/</b>	<b>112,3</b>	<b>411</b>	<b>1031,3</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>/</b>	<b>63,6</b>	<b>94,6</b>	<b>103</b>	<b>/</b>	<b>89,8</b>	<b>102,8</b>	<b>103,1</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>/</b>	<b>8</b>	<b>4,4</b>	<b>9,9</b>	<b>/</b>	<b>33,4</b>	<b>21,2</b>	<b>8,8</b>

Pozn. [ / ] lomítko znázorňuje neměřitelné hodnoty.



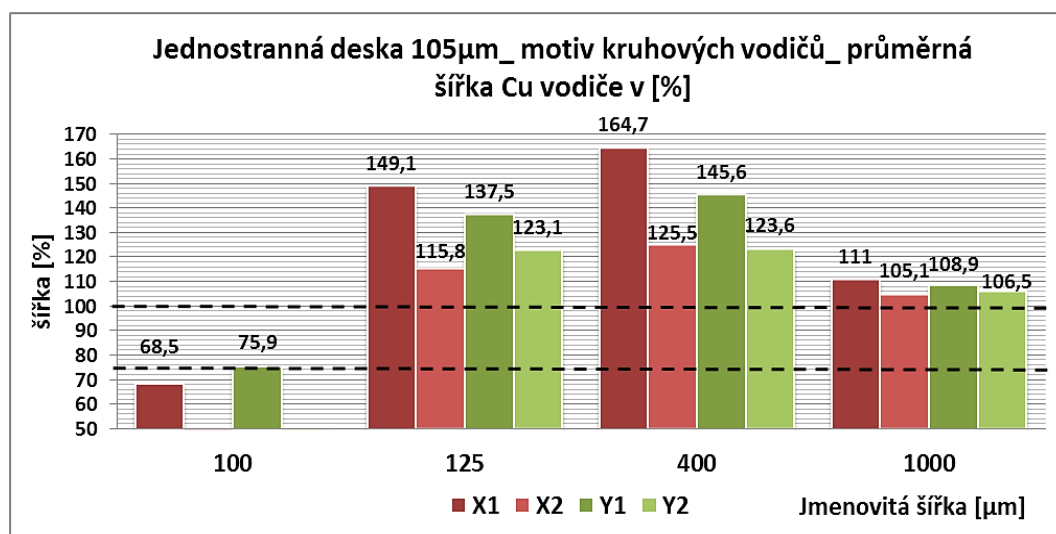
Obr. 34 Grafické znázornění pro motiv pravoúhlých vodičů, plátovaná měď 105μm



Tab. 9: Měřené šířky vodičů na motivu kruhových vodičů, plátovaná měď 105 μm

Jednostranná deska 105μm_ motiv kruhových vodičů								
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (1)							
	X1				Y1			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	33	174	599	1096	47	159	536	1096
2.	50	179	602	1103	71	164	542	1117
3.	55	180	717	1108	87	165	538	1093
4.	75	187	763	1099	80	159	545	1104
5.	71	190	671	1105	74	179	591	1087
6.	88	201	680	1114	78	184	658	1072
7.	87	200	622	1132	84	182	600	1070
8.	89	180	616	1120	86	183	648	1070
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>68,5</b>	<b>186,4</b>	<b>658,8</b>	<b>1109,6</b>	<b>75,9</b>	<b>171,9</b>	<b>582,3</b>	<b>1088,6</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>68,5</b>	<b>149,1</b>	<b>164,7</b>	<b>111</b>	<b>75,9</b>	<b>137,5</b>	<b>145,6</b>	<b>108,9</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>19,3</b>	<b>9,4</b>	<b>55,7</b>	<b>11,1</b>	<b>12,1</b>	<b>10,4</b>	<b>46,8</b>	<b>16,2</b>
Jmenovitá hodnota [μm]	Šířky vodičů v osách_deska (2)							
	X2				Y2			
	100	125	400	1000	100	125	400	1000
1.	/	153	516	1066	/	162	491	1067
2.	/	167	516	1054	/	145	487	1066
3.	/	146	510	1063	/	143	492	1065
4.	/	142	490	1049	/	143	504	1064
5.	/	145	490	1048	/	146	496	1045
6.	/	138	500	1042	/	154	485	1057
7.	/	134	497	1039	/	154	511	1070
8.	/	133	498	1044	/	184	488	1086
<b>Průměrná šířka [μm]</b>	<b>/</b>	<b>144,8</b>	<b>502,1</b>	<b>1050,6</b>	<b>/</b>	<b>153,9</b>	<b>494,3</b>	<b>1065</b>
<b>Průměrná šířka [%]</b>	<b>/</b>	<b>115,8</b>	<b>125,5</b>	<b>105,1</b>	<b>/</b>	<b>123,1</b>	<b>123,6</b>	<b>106,5</b>
<b>Směrodatná odchylka [μm]</b>	<b>/</b>	<b>10,4</b>	<b>9,9</b>	<b>9,1</b>	<b>/</b>	<b>13</b>	<b>8,5</b>	<b>10,8</b>

Pozn. [ / ] lomítko znázorňuje neměřitelné hodnoty.

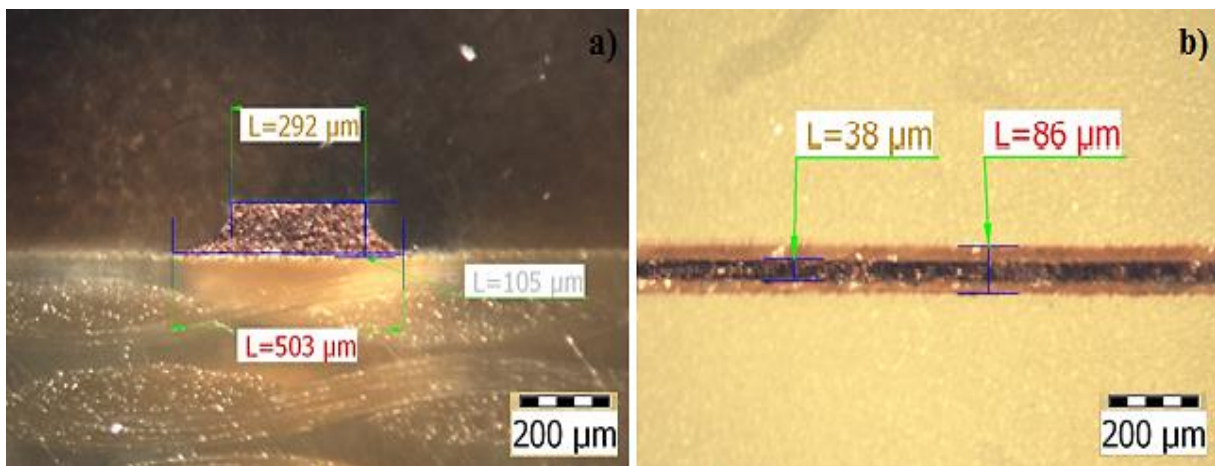


Obr. 35 Grafické znázornění pro motiv kruhových vodičů, plátovaná měď 105μm

V grafech na (obr. 34 a obr. 35) je doplněna mez maximální jmenovité šířky vodiče, která by neměla být překročena. V mnoha případech můžeme pozorovat, že tato mez je překročena. Směrodatné odchylky (viz tab. 8 a tab. 9) jasně poukazují na velké šířkové rozdíly vodičů pro jednotlivá měření. U motivu kruhových vodičů je mez maximální šířky překročena ve více případech než u motivu pravoúhlých vodičů. U desek takové tloušťky plátované mědi, v podstatě není možné dosáhnout dobře vyleptaných vodičů tak malých šířek jako je (100 a 125  $\mu\text{m}$ ) především pro šířku vodiče 100  $\mu\text{m}$ , protože tloušťka plátované mědi přesahuje šířku vodiče. Desky tohoto typu se používají především pro výkonové aplikace, tak že s vodiči o šířkách (100 a 125  $\mu\text{m}$ ) se téměř nesetkáme. S ohledem na šířky vodičů (400 a 1000  $\mu\text{m}$ ), dle výsledků měření je zřejmé, že by se měla snížit rychlost dopravníku, aby se eliminovaly nedoleptané paty vodičů a plochy nedoleptané mědi. Pro tloušťky plátované mědi 105  $\mu\text{m}$  realizované na stávajícím technologickém vybavení dle výsledků experimentů je vhodná minimální šířka vodičů doporučit na 400  $\mu\text{m}$ .

### 3.5.5 Měření faktoru leptání

Faktor leptání bylo možné měřit dvěma metodami. První metoda za pomoci mikrovýbrusů a optického mikroskopu (viz obr. 36 a)), touto metodou byly měřeny některé faktory leptání, je vhodná především tam, kde není známa šířka měděné vrstvy. Druhá metoda měření je pouze pomocí optického mikroskopu (viz obr. 36 b)). Tato metoda měření leptacího faktoru je mnohem jednodušší a rychlejší, protože známe tloušťku měděné vrstvy. Touto metodou byl faktor leptání měřen ve většině případech.



Obr. 36 a) a b) Metody měření faktoru leptání

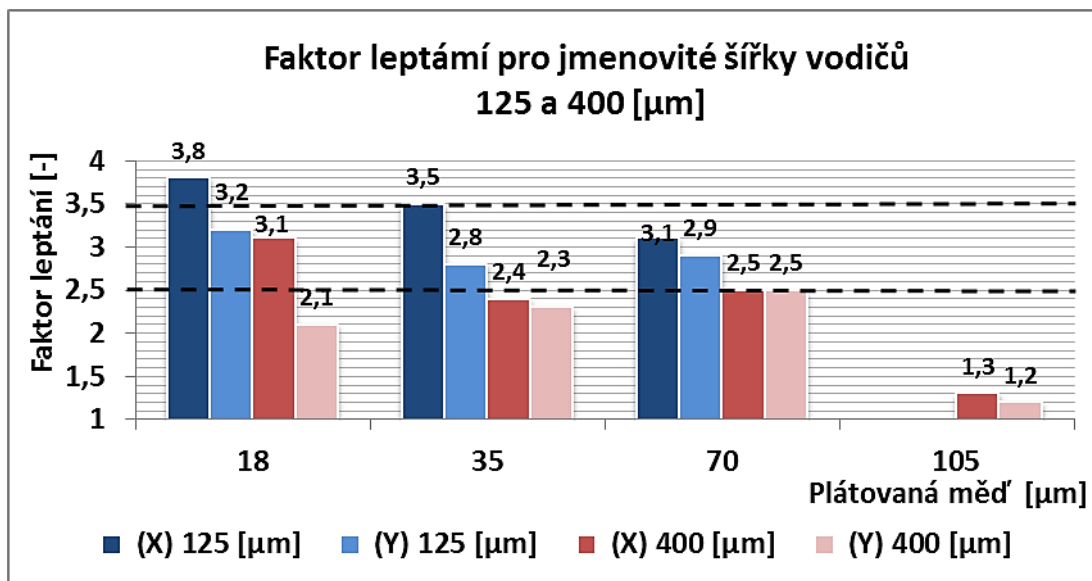
Faktor leptání byl měřen pro všechny jmenovité šířky vodičů (100, 125, 400, 1000  $\mu\text{m}$ ) v osách X a Y. Měření bylo provedeno na jednostranných deskách o tloušťkách plátované mědi (18, 35, 70, 105  $\mu\text{m}$ ). V tabulce tab. 10 jsou uvedeny měřené hodnoty faktorů leptání v osách X a Y, pro jednotlivé jmenovité šířky vodičů a tloušťky plátované mědi. Pro tloušťku plátované mědi 105  $\mu\text{m}$  byl faktor leptání měřen pouze pro jmenovité šířky (400 a 1000  $\mu\text{m}$ ) pro menší šířky vodičů toto měření nebylo proveditelné, protože většina vodičů bylo značně přeleptaných nebo úplně odleptaných. Výrobce leptací linky uvádí leptání s faktorem cca. (2,5 - 3,5). Žádán je co největší.

Tab. 10: Měřené faktory leptání pro tloušťky plátované mědi (18, 35, 70, 105  $\mu\text{m}$ ).

Plátovaná měď [ $\mu\text{m}$ ]	Faktor leptání							
	18				35			
Jmenovitá šířka [ $\mu\text{m}$ ]	100	125	400	1000	100	125	400	1000
Osa X	2,4	3,8	3,1	2,8	3,2	3,5	2,4	2,9
Osa Y	2,8	3,2	2,1	2,1	3,7	2,8	2,3	2
Plátovaná měď [ $\mu\text{m}$ ]	70				105			
Osa X	2,9	3,1	2,5	2,4	/	/	1,3	1,2
Osa Y	3,4	2,9	2,5	2,2	/	/	1,2	1,1

Pozn. [ / ] lomítko znázorňuje neměřitelné hodnoty.

Na obr. 37 můžeme pozorovat grafické znázornění faktorů leptání pro vybrané šířky vodičů (125 a 400  $\mu\text{m}$ ) v osách X a Y, pro jednotlivé tloušťky plátované mědi. V grafu můžeme vidět vyznačené hranice, které udává výrobce leptací linky. Z grafu můžeme vyčíst rozdíly v osách X a Y). Faktor leptání je pozorován vyšší v ose X. Z toho jasně plyne, že homogenita leptání v osách je odlišná. Dále můžeme pozorovat závislost na tloušťce použité plátované mědi. S větší tloušťkou faktor leptání klesá. Pro tloušťku plátované mědi 105  $\mu\text{m}$  bylo měření dost nepřesné z důvodu nedoleptaných pat vodičů.



Obr. 37 Grafické znázornění faktorů leptání pro jmenovité šířky vodičů (125 a 400  $\mu\text{m}$ )

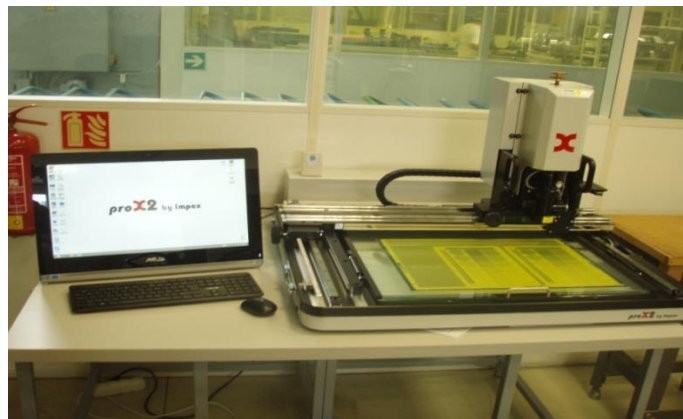
### 3.6 Šířková stabilita fotorezistu ve vyvolávacím a leptacím procesu

V této kapitole je vyhodnocovaná šířková stabilita fotorezistu a kvalita vyvolání fotorezistu, při změně rychlosti pohybu dopravníku a teploty vývojky vyvolávací linky a při průchodu leptací linkou. Veškeré měření byly provedeny na motivu pravoúhlých vodičů testovacího motivu v osách X a Y. Také byla zpracována metodika měření na měřicím zařízení proX2. Zařízení, na kterých byly desky zpracovány:

- Expoziční zařízení: (OLEC ACCUPRINT AP 30 8000 SUPER EIGHT, r. v: 1998)
- Vyvolávací linka: (SCHMID COMBI – ETCH TYP: 45-85, r. v: 1988)
- Leptací linka: (SCHMID COMBI-LINE TYP: 24, r. v: 2000)

#### 3.6.1 Metodika měření šířky fotorezistu na měřicím zařízení proX2

Veškeré měření šířek vyvolaného fotorezistu bylo realizováno pomocí měřicího zařízení proX2 (viz obr. 38). Je to měřicí zařízení, které dokáže měřit až s přesností na tisíce milimetrů. Toto zařízení se skládá z počítače, který je vybaven softwarem pro zpracování měřených dat a měřicího přístroje vybaveného kamerou, která snímá měřené objekty. Snímací kamerou je možné pohybovat v osách X a Y, což umožňuje pozorování na libovolných místech měřeného objektu.



Obr. 38 Měřicí zařízení proX2

Pro správné měření na měřicím zařízení proX2 je velmi důležité, aby byl měřený objekt dobře zaostřen a správně nasvícen, jedině při správném nastavení těchto parametrů je možné dosáhnout správných výsledků měření.

V prvním kroku při spuštění měřicího zařízení je nutno vykonat pohyb snímací kamerou v ose X a Y, tím dojde ke spuštění kamery. Posuvem v osách X a Y a zaměřovacího laseru si přesně zvolíme místo které chceme na desce měřit. V programu zvolíme nejvyšší zvětšení (250x) a měřený úsek zaostříme, poté zvolíme správný poměr světla z více světelných zdrojů tak, aby byly dobře rozpoznatelné hrany místa, které chceme měřit. V programu pomocí kurzoru označíme měřenou šířku a necháme programem vyhodnotit šířku měřeného úseku.

### 3.6.2 Vliv rychlosti pohybu dopravníku vyvolávací linky na šířku fotorezistu

V tomto experimentu byla měřena šířková stabilita fotorezistu po vyvolání při změně rychlosti pohybu dopravníku linky. Byly zhotoveny tři přířezy testovacích desek s oboustranně plátovanou mědí o tloušťce 35  $\mu\text{m}$ . Testovací desky byly oboustranně laminovány negativním fotorezistem typu Ordyl AM150 a standardně přes filmovou předlohu s testovacím motivem byla exponována pouze horní strana TOP z důvodu rozdílných energií osvitů horní a spodní strany expozičního zařízení. Veškerá měření byla provedena na horní straně desky, tedy TOP. Všechny testovací desky byly kladeny na dopravník vyvolávací linky jednotnou orientací, tedy ve směru osy Y, která je vyobrazena v pravém horním rohu testovacího motivu, přičemž horní strana TOP všech desek směřovala vždy nahoru, aby strana desky TOP byla vyvolána horním ostřikem vyvolávací linky. Tento jednotný způsob exponování a vyvolání všech desek byl zvolen, aby byly minimalizovány nepřesnosti výsledného měření. První deska byla vyvolána za stávajícího procesu, tedy rychlost dopravníku (0,7 m/min) a teplota vývojky 30 °C. Testovací rychlosti byly zvoleny (0,4 a 0,85 m/min), tedy vyšší a nižší vůči stávajícímu nastavení. Měření bylo provedeno pro jmenovité šířky fotorezistu (100, 125, 200  $\mu\text{m}$ ) v ose X a Y, pro posouzení homogenity vyvolání pro jednotlivé osy. V tabulkách (tab. 11, tab. 12 a tab. 13) jsou uvedeny podmínky, za jakých byly desky měřeny a vyvolány. Koncentrace vývojky byla měřena vždy před vyvoláním. Z naměřených hodnot byla vypočítána: průměrná šířka fotorezistu v [ $\mu\text{m}$ ], procentech [%] a směrodatná odchylka v [ $\mu\text{m}$ ].

Tab. 11: Vyvolaná deska za podmínek běžného provozu

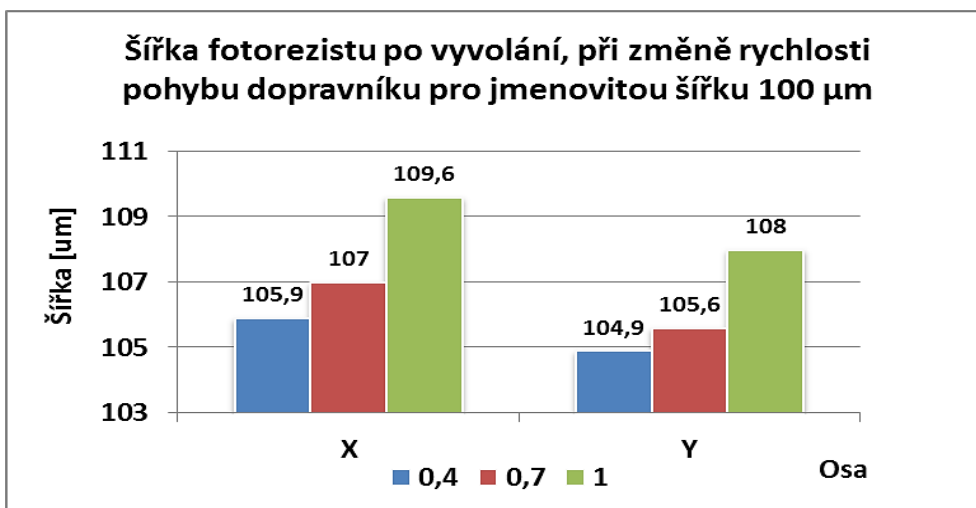
VYVOLANÁ DESKA ZA PODMÍNEK BĚŽNÉHO PROVOZU						
Teplota okolí [°C]:	24		Vlhkost [%]:	22		
Rychlost dopravníku [m/min]:	0,7		Teplota vývojky[°C]:	30		
Koncentrace vývojky [%]:	1,1					
Strana desky	TOP					
Jmenovitá šířka [ $\mu\text{m}$ ]	100		125		200	
osa	X	Y	X	Y	X	Y
1.	107	106	130	129	208	206
2.	107	106	130	129	209	206
3.	107	107	131	128	209	205
4.	107	104	129	129	208	207
5.	106	105	131	129	207	205
6.	107	106	130	129	207	206
7.	108	105	129	128	208	205
Průměrná šířka [ $\mu\text{m}$ ]	107	105,6	130	128,7	208	205,7
Průměrná šířka [%]	107	105,6	104	103	104	102,9
Směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	0,5	0,9	0,8	0,5	0,8	0,7

Tab. 12: Vyvolaná deska, změna rychlosti dopravníku

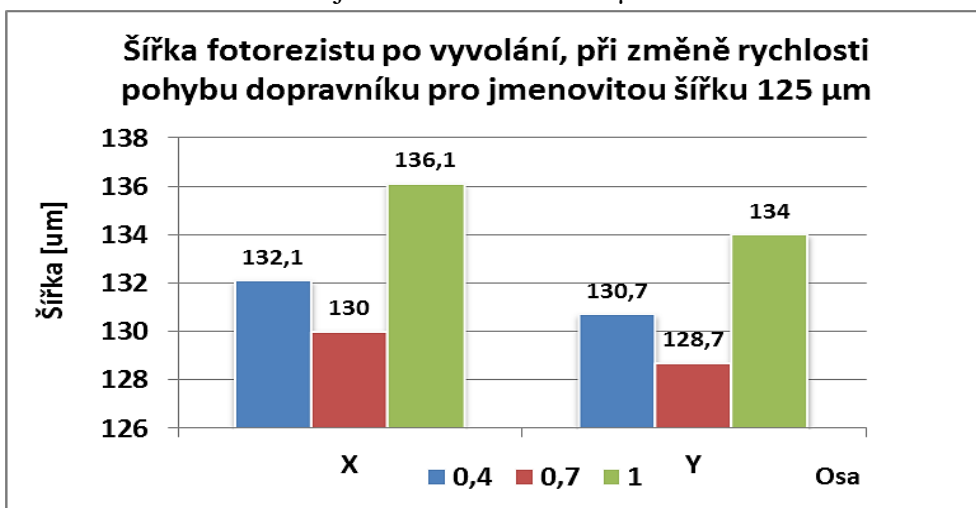
VYVOLANÁ DESKA, ZMĚNA RYCHLOSTI DOPRAVNÍKU						
Teplota okolí [°C]:	24,2		Vlhkost [%]:	20,5		
Rychlost dopravníku [m/min]:	1		Teplota vývojky[°C]:	30		
Koncentrace vývojky [%]:	1,1					
Strana desky	TOP					
Jmenovitá šířka [μm]	100		125		200	
osa	X	Y	X	Y	X	Y
1.	108	108	136	134	212	210
2.	109	108	137	133	211	209
3.	110	107	136	134	211	211
4.	110	108	136	135	212	210
5.	111	108	137	134	212	210
6.	109	109	136	134	213	211
7.	110	108	135	134	211	210
Průměrná šířka [μm]	109,6	108	136,1	134	211,7	210,1
Průměrná šířka [%]	109,6	108	108,9	107,2	105,9	105,1
Směrodatná odchylka [μm]	0,9	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6

Tab. 13: Vyvolaná deska, změna rychlosti dopravníku

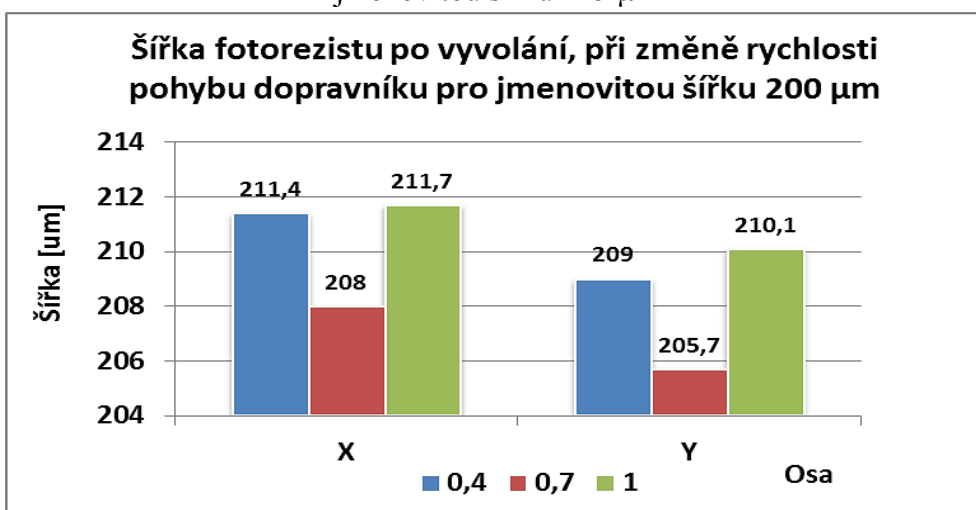
VYVOLANÁ DESKA, ZMĚNA RYCHLOSTI DOPRAVNÍKU						
Teplota okolí [°C]:	24,3		Vlhkost [%]:	21		
Rychlost dopravníku [m/min]:	0,4		Teplota vývojky[°C]:	30		
Koncentrace vývojky [%]:	1,1					
Strana desky	TOP					
Jmenovitá šířka [μm]	100		125		200	
osa	X	Y	X	Y	X	Y
1.	105	105	132	129	212	209
2.	106	104	132	130	213	210
3.	106	105	132	131	211	209
4.	106	105	132	131	211	208
5.	107	106	133	131	212	210
6.	106	104	132	132	211	208
7.	105	105	132	131	210	209
Průměrná šířka [μm]	105,9	104,9	132,1	130,7	211,4	209
Průměrná šířka [%]	105,9	104,9	105,7	104,6	105,7	104,5
Směrodatná odchylka [μm]	0,6	0,6	0,3	0,9	0,9	0,8



Obr. 39 Šířka fotorezistu po vyvolání, pro odlišné rychlosti dopravníku pro jmenovitou šířku 100  $\mu\text{m}$



Obr. 40 Šířka fotorezistu po vyvolání, pro odlišné rychlosti dopravníku pro jmenovitou šířku 125  $\mu\text{m}$



Obr. 41 Šířka fotorezistu po vyvolání, pro odlišné rychlosti dopravníku pro jmenovitou šířku 200  $\mu\text{m}$



Na (obr. 39, Obr. 40 a Obr. 41) můžeme pozorovat grafická zobrazení pro jmenovité šířky fotorezistu (100, 125, 200  $\mu\text{m}$ ) měřené po vyvolání. Na vodorovné ose grafu jsou zobrazeny hodnoty měření v ose X a Y. Na svislé ose je zobrazena měřená šířka fotorezistu po vyvolání. V grafech jsou pro každou osu zobrazeny tři sloupce pro jednotlivé rychlosti pohybu dopravníku (0,4, 0,7 a 1m/min).

Pro všechna měření jsou pozorovány malé rozdíly v osách X a Y. V ose Y jsou naměřené šířky fotorezistu celkově menší, než v ose X, rozdíly jsou cca 1  $\mu\text{m}$ . To je zřejmě způsobeno nehomogenitou ostřiku trysek v osách X a Y. Z grafických zobrazení pro jmenovité šířky (125 a 200  $\mu\text{m}$ ) po vyvolání fotorezistu je patrné, že stávající nastavení vyvolávací linky pro rychlost dopravníku (0,7 m/min), má proces vyvolání nastaven nejoptimálněji, protože měřené šířky fotorezistu po vyvolání se nejvíce blíží jmenovitým hodnotám šířek fotorezistu. Vzhledem k nejednoznačnému trendu šířky byla měření zopakována s novými sadami vzorků a s nastavením větších minimálních a maximálních rychlostí pohybu dopravníku. Dosažené výsledky opět vykazovaly podobný průběh šířkových změn.

### 3.6.3 Vliv změny teploty vývojky vyvolávací linky na šířku fotorezistu

V tomto experimentu byla měřena šířková stabilita fotorezistu po vyvolání při změně teploty leptací lázně. Testovací desky byly nalaminovány, exponovány a vyvolány stejným způsobem jaký je uveden v kapitole (3.6.2) s tím rozdílem, že měněným parametrem byla teplota vyvolávací lázně. Pro přesné nastavení a kontrolu aktuálních a nastavených teplot vývojky byl do vyvolávací lázně ostřikové komory vložen termočlánek typu K, pomocí něhož byla kontrolována přesná teplota vývojky. První testovací deska byla vyvolána za stávajícího procesu vyvolání, tedy rychlost dopravníku (0,7 m/min) a teplota vývojky 30 °C. Při měření teploty vyvolávací lázně, pro stávající proces vyvolání byla naměřena teplota pomocí termočlánu typu K 29 °C, tato teplota je považována za správnou. Pro zbývající testovací desky byla teplota nastavena na (20 a 40°C) tedy nižší a vyšší, než v případě stávajícího nastavení procesu vyvolání. Taktéž tyto teploty byly kontrolovány pomocí termočlánu typu K a jsou v rozsahu (+/- 1 °C). V tabulkách (tab. 14, tab. 15 a tab. 16) jsou uvedeny podmínky, za jakých byly desky měřeny a vyvolány. Koncentrace vývojky byla měřena vždy před vyvoláním. Z naměřených hodnot byla vypočítána: průměrná šířka fotorezistu v [ $\mu\text{m}$ ], procentech [%] a směrodatná odchylka v [ $\mu\text{m}$ ].

Tab. 14: Vyvolaná deska za podmínek běžného provozu

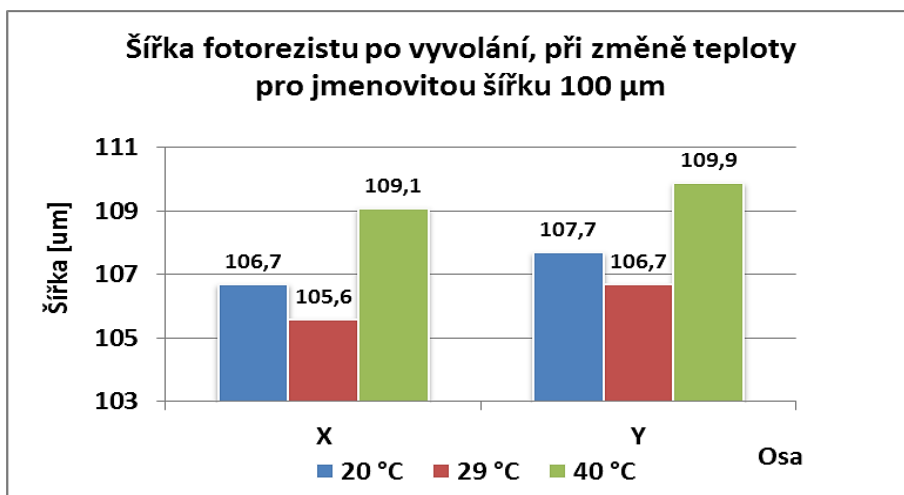
VYVOLANÁ DESKA ZA PODMÍNEK BĚŽNÉHO PROVOZU						
Teplota okolí [°C]:	24,3		Vlhkost [%]:	20		
Rychlost dopravníku [m/min]:	0,7		Teplota vývojky[°C]:	29		
Koncentrace vývojky [%]:	1,12					
Strana desky	TOP					
Jmenovitá šířka [ $\mu\text{m}$ ]	100		125		200	
osa	X	Y	X	Y	X	Y
1.	106	106	131	131	206	204
2.	104	107	132	131	205	205
3.	105	106	131	130	206	204
4.	106	107	131	130	206	206
5.	106	107	129	130	208	208
6.	105	107	131	129	207	206
7.	107	107	130	130	206	205
Průměrná šířka [ $\mu\text{m}$ ]	105,6	106,7	130,7	130,1	206,3	205,4
Průměrná šířka [%]	105,6	106,7	104,6	104,1	103,1	102,7
Směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	0,9	0,5	0,9	0,6	0,9	1,3

Tab. 15: Vyvolaná deska, změna teploty vývojký

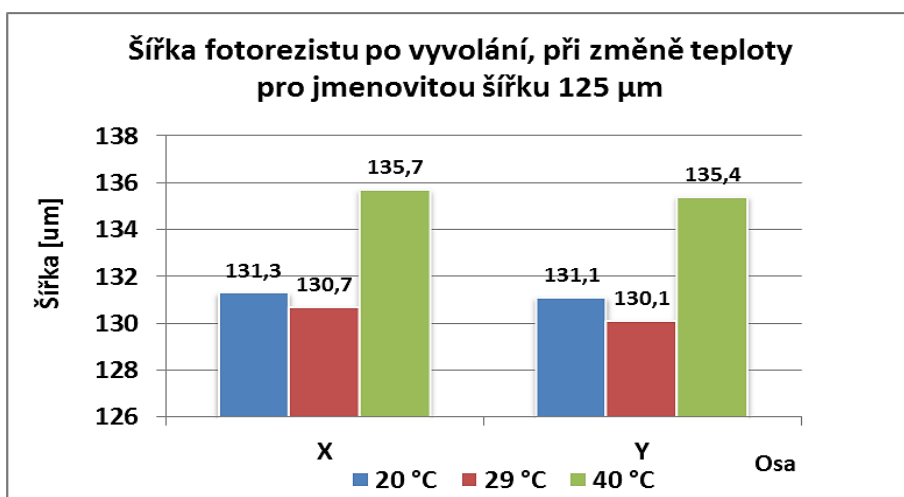
VYVOLANÁ DESKA, ZMĚNA TEPLoty						
Teplota okolí [°C]:	24,2		Vlhkost [%]:	20		
Rychlost dopravníku [m/min]:	0,7		Teplota vývojký[°C]:	20		
Koncentrace vývojký [%]:	1,12					
Strana desky	TOP					
Jmenovitá šířka [μm]	100		125		200	
osa	X	Y	X	Y	X	Y
1.	107	108	133	131	207	207
2.	106	107	132	132	207	206
3.	106	107	132	132	207	205
4.	107	107	132	131	208	206
5.	106	109	130	131	208	206
6.	108	108	130	130	207	206
7.	107	108	130	131	207	206
Průměrná šířka [μm]	106,7	107,7	131,3	131,1	207,3	206
Průměrná šířka [%]	106,7	107,7	105	104,9	103,6	103
Směrodatná odchylka [μm]	0,7	0,7	1,2	0,6	0,5	0,5

Tab. 16: Vyvolaná deska, změna teploty vývojký

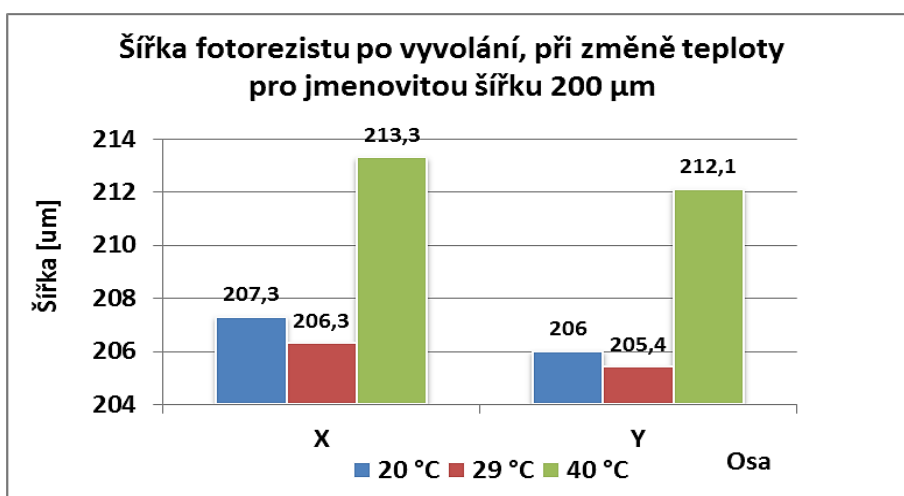
VYVOLANÁ DESKA, ZMĚNA TEPLoty						
Teplota okolí [°C]:	24,5		Vlhkost [%]:	20		
Rychlost dopravníku [m/min]:	0,7		Teplota vývojký[°C]:	40		
Koncentrace vývojký [%]:	1,12					
Strana desky	TOP					
Jmenovitá šířka [μm]	100		125		200	
osa	X	Y	X	Y	X	Y
1.	111	111	136	137	213	212
2.	110	110	137	136	213	213
3.	109	109	136	135	214	213
4.	109	110	137	136	213	212
5.	108	110	134	135	213	212
6.	109	109	135	134	214	211
7.	108	110	135	135	213	212
Průměrná šířka [μm]	109,1	109,9	135,7	135,4	213,3	212,1
Průměrná šířka [%]	109,1	109,9	108,6	108,3	106,6	106,1
Směrodatná odchylka [μm]	1	0,6	1	0,9	0,5	0,6



Obr. 42 Šířka fotorezistu po vyvolání, pro odlišné teploty vývojký, měřené pro jmenovitou šířku 100  $\mu\text{m}$



Obr. 43 Šířka fotorezistu po vyvolání, pro odlišné teploty vývojký, měřené pro jmenovitou šířku 125  $\mu\text{m}$



Obr. 44 Šířka fotorezistu po vyvolání, pro odlišné teploty vývojký, měřené pro jmenovitou šířku 200  $\mu\text{m}$

Na (obr. 42, obr. 43 a obr. 44) můžeme vidět grafická zobrazení pro jmenovité šířky fotorezistu (100, 125, 200  $\mu\text{m}$ ) měřené po vyvolání při změnách teploty. Uspořádání v grafickém zobrazení je stejné jako v kapitole (3.6.2) s tím rozdílem, že na místě rychlostí dopravníku je teplota vyvolávací lázně. Na výše uvedených obrázcích jsou patrné rozměrové anomálie. Výraznější nárůst šířky fotorezistu byl pozorován v pracovních teplotách vyvolávací lázně, které jsou mimo rozsah vyvolávacích teplot udávaných výrobcem (26°C – 32°C). Z naměřených výsledků můžeme usoudit, že při nedodržení doporučených teplot a to jak při nižších teplotách 20°C, tak i při vyšších teplotách 40°C dojde k nárůstu šířky vyvolaného fotorezistu.

### 3.6.4 Vliv leptacího roztoku na rozměrovou stabilitu fotorezistu

V tomhle experimentu byla měřena šířková stabilita fotorezistu po průchodu leptací linkou.

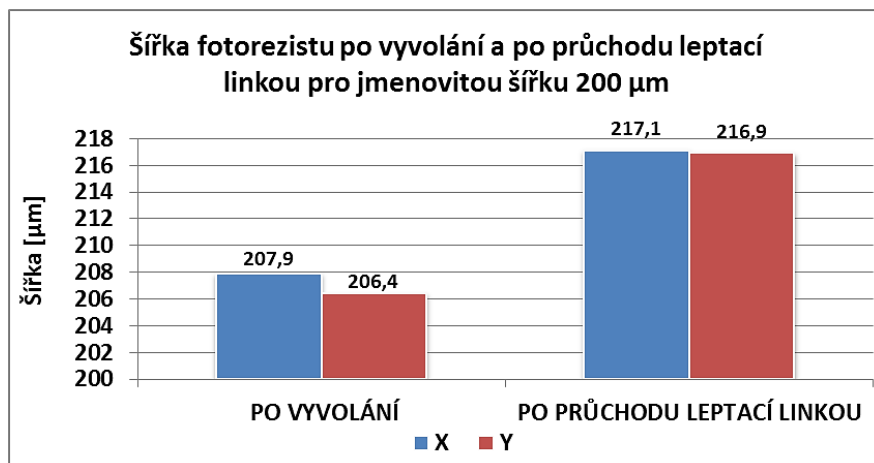
Na tenhle experiment byl použit jeden přířez neplátovaného základního materiálu FR – 4, na který byl z jedné strany nalaminován tuhý negativní fotorezist. Jelikož na desce není plátovaná měď a expoziční zařízení má oboustranný osvit, tak na spodní stranu osvit byla vložena černá fólie, která zabraňuje naexponování fotorezistu prosvitem desky. Po naexponování byla deska vyvolána za běžných podmínek provozu. Orientace desky průchodu vyvolávací linkou byla ve směru osy Y. Po vyvolání bylo provedeno měření pro jmenovité šířky fotorezistu (100, 125, 200  $\mu\text{m}$ ) po vyvolání. Měřené hodnoty (viz tab. 17). Po proměření, byla deska vložena na dopravník leptací linky, kterým prošla, orientovaná ve směru osy Y. Parametry leptací linky byly nastaveny na leptání desek tloušťky plátované mědi 35  $\mu\text{m}$ . Po průchodu leptací linkou bylo měření provedeno na stejných místech desky jako po vyvolání. Měřené hodnoty (viz tab. 17).

Na (obr. 45) můžeme vidět grafické znázornění šířek fotorezistu po vyvolání desky a po průchodu desky leptací linkou pro jmenovitou šířku fotorezistu 200  $\mu\text{m}$ . Z grafického zobrazení můžeme vyčíst, že šířkové rozdíly jsou značné. Nárůst šířky fotorezistu po průchodu leptací linkou vzrostl přibližně o 10  $\mu\text{m}$ . Tyto šířkové rozdíly jsou pozorovány i pro ostatní měřené šířky (viz tab. 17). Při téhle šířkové nestabilitě při styku fotorezistu s leptací lázní může docházet ke zhoršení adheze fotorezistu, což vede k většímu podleptání vodiče nebo úplnému odplavení fotorezistu pro šířky v desítkách mikrometrů. Dále z grafu můžeme vyčíst menší šířkové rozdíly v osách X a Y po průchodu leptací linkou než dosažené rozdíly po vyvolání. To může způsobovat ostřík trysek opačně orientovaných u vyvolávací a leptací linky. Tyto rozdíly mohou být ovlivněny i chybou měření.

Šířková nestabilita může být způsobována i odlišným pH leptacího roztoku a také teplotou leptací lázně.

Tab. 17: Měřené hodnoty šířkové stability fotorezistu po vyvolání a průchodu leptací linkou

FR - 4						
VYVOLANÁ DESKA ZA BĚŽNÝCH PODMÍNEK						
Teplota okolí [°C]:	23		Vlhkost [%]:	21		
Rychlost dopravníku [m/min]:	0,7		Teplota vývojky[°C]:	30		
Koncentrace vývojky [%]:	1					
<b>PO VYVOLÁNÍ</b>						
Jmenovitá šířka [μm]	100		125		200	
osa	X	Y	X	Y	X	Y
1.	108	108	133	133	207	207
2.	108	109	133	133	208	207
3.	108	108	133	133	208	206
4.	108	107	133	133	208	206
5.	107	109	133	133	208	207
6.	106	108	132	132	208	206
7.	108	107	132	133	208	206
Průměrná šířka [μm]	107,6	108	132,7	132,9	207,9	206,4
Průměrná šířka [%]	107,6	108	106,2	106,3	103,9	103,2
Směrodatná odchylka [μm]	0,7	0,8	0,5	0,3	0,3	0,5
<b>PO PRŮCHODU LEPTACÍ LINKOU</b>						
Jmenovitá šířka [μm]	100		125		200	
osa	X	Y	X	Y	X	Y
1.	113	114	140	139	217	217
2.	115	116	139	139	217	217
3.	113	113	139	139	218	216
4.	113	114	139	140	217	217
5.	113	115	139	139	217	217
6.	112	114	139	139	217	217
7.	113	112	138	138	217	217
Průměrná šířka [μm]	113,1	114	139	139	217,1	216,9
Průměrná šířka [%]	113,1	114	111,2	111,2	108,6	108,4
Směrodatná odchylka [μm]	0,8	1,2	0,5	0,5	0,3	0,3



Obr. 45 Šířka fotorezistu po vyvolání a po průchodu leptací linkou

## 4. Závěr

Bakalářská práce řešila problematiku vyvolání fotorezistu, leptání mědi i rozměrových změn fotorezistu při výrobě DPS subtraktivní technologií. Dílčí výsledky jsou diskutovány u jednotlivých kapitol.

V prvním úseku praktické části byl navržen schematický diagram testování, podle kterého se realizovaly vybrané testy a kontroly kvality. Dále byl navržen testovací motiv, na kterém byla ověřována kvalita vyvolání a leptání. Testovací motiv obsahuje čáry s odlišnými šířkami, ve tvaru přímk, kružnic a čtverců a s čarami pod úhly. Tímto je prověřována kvalita leptání a vyvolání. Podle testovacího motivu byla zhotovena filmová předloha pro vytvoření testovacích desek.

Ve druhém úseku praktické části se zabývám vyhodnocením kvality vyleptaných jednostranných desek o různých tloušťkách plátované mědi, vyleptaných za podmínek běžného provozu leptání. Z výsledků měření a vizuálního posouzení má nejlépe nastavený proces leptání deska o tloušťce plátované mědi 35  $\mu\text{m}$ . Minimální šířka vodiče používaná ve firmě dosahovala minimální požadované šířky, tedy 75 % jmenovité šířky. Pro větší jmenovité šířky vodičů se měřené šířky pohybovaly vysoko nad hranicí minima, ale nedosahovaly jmenovitých šířek.

Nejhůře nastavený proces leptání byl pozorován pro tloušťku plátované mědi 105  $\mu\text{m}$ . Bylo pozorováno velké množství nedostatků. Nedoleptané plochy, přeleptané nebo úplně odleptané vodiče a nedoleptané paty vodičů. S ohledem na šířky vodičů (400 a 1000  $\mu\text{m}$ ), dle výsledků měření je zřejmé, že by se měla snížit rychlost pohybu dopravníku, aby se eliminovaly nedoleptané paty vodičů a plochy nedoleptané mědi. Pro tloušťky plátované mědi 105  $\mu\text{m}$  realizované na stávajícím technologickém vybavení dle výsledků experimentů je vhodné minimální šířku vodičů doporučit na 400  $\mu\text{m}$ .

Celkově na všech deskách byly pozorovány nehomogenity leptání ostříkem v osách X a Y a také menší rozdíly v leptání použitého tvaru motivu. Pozorované rozdíly v šířkách leptaných vodičů (100 a 125  $\mu\text{m}$ ) mohou být způsobeny dále i neúplnou kompatibilitou typu fotorezistu a leptacího roztoku, ev. i v relativních změnách délkových roztažností použitých materiálů.

Leptány byly také oboustranné desky, z důvodu časové náročnosti měření a vyhodnocování nebyly zpracovány v této bakalářské práci.

V posledním úseku praktické části se zabývám vyvoláním fotorezistu a jeho šířkovou stabilitou při změnách nastavení procesu vyvolání - rychlostí pohybu dopravníku a teplotou a dále po průchodu leptací lázni. Výsledky měření ukázaly, že neoptimálněji nastavený vyvolávací proces z hlediska rychlosti pohybu dopravníku je proces stávající a aktuálně používaný, protože jmenovité šířky fotorezistu se nejvíce blíží hodnotám jmenovitých šířek. Dále byla měněna teplota vyvolávací lázně. Nastavena byla nižší a vyšší vůči stávajícímu procesu nastavení. Výraznější nárůst šířky fotorezistu byl pozorován v pracovních teplotách vyvolávací lázně, které jsou mimo rozsah vyvolávacích teplot udávaných výrobcem (26 °C – 32 °C). Z naměřených výsledků můžeme usoudit, že při nedodržení doporučených teplot a to jak při nižších teplotách 20 °C, tak i při vyšších teplotách 40 °C dojde k nárůstu šířky vyvolaného fotorezistu. V poslední části tohoto experimentu byl zkoumán vliv leptacího roztoku na rozměrovou stabilitu fotorezistu. Bylo zjištěno, že při styku fotorezistu s leptací



lázní dochází ke značnému nárůstu jeho šířky. Pro jmenovitou šířku fotorezistu 200  $\mu\text{m}$ , byl rozdíl po průchodu leptací linkou 10  $\mu\text{m}$ . Tato šířková nestabilita může být způsobována odlišným pH leptacího roztoku a také teplotou leptací lázně.

Operace vyvolání a leptání s odpovídající materiálovými i procesními znalostmi, jsou velmi důležité pro dosahování dobré kvality DPS. Perspektivně zajímavé by bylo i proměření homogenity a kvality plátované mědi vybraných dodavatelů u DPS pro kritické aplikace a sledování homogenity ostříku ve stacionárním režimu. Pro lepší optimalizaci procesu leptání a analogicky i procesu vyvolání se jeví i použití metody plánovaných experimentů (Design of Experiments).

# Seznam použitých symbolů a zkratek

UV	Ultrafialové záření
DPS	Deska plošných spojů
AOI	Automatická optická inspekce
SEM	Rastrovací elektronový mikroskop
HAL	Hot Air Leveling
FeCl <sub>3</sub>	Chlorid železitý
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kyselina sírová
HCl	Kyselina chlorovodíková
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Síran amonný chemicky čistý
(NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Dihydrogenfosforečnan amonný

# Použitá literatura

- [1] STARÝ, Jiří, KAHLE, Petr. Plošné spoje a povrchová montáž. VUT. [online]. [2012-12-08]. Dostupné z URL: <[http://www.umel.feec.vutbr.cz/METMEL/studijni-pomucky/METMEL\\_11\\_SP\\_Plosne\\_spoje\\_a\\_povrchova\\_montaz.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/METMEL/studijni-pomucky/METMEL_11_SP_Plosne_spoje_a_povrchova_montaz.pdf)>
- [2] ROSS, W. M. *A Comprehensive Guide to the Design and Manufacture of Printed Board Assemblies Volume 2*, Electrochemical Publications Limited, 1999. [cit. 2012-12-10].
- [3] SCHNEDERLE, P. *Optimalizace procesu výroby DPS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.
- [4] MARTYKÁN, L. Laboratorní výroba dvouvrstevných desek s plošnými spoji. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 75 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.
- [5] LAMIREL PCB EUROPE s.r.o.[online]. [2012-12-08]. Dostupné z URL: <<http://www.lamirel.cz/nepajivamaska.aspx>>
- [6] JANSSENS, Eric. AGFA-GEVAERT N.V. *Phototooling in the PCB industry How to get the best out of it*. B-2640 Mortselsel, Belgium, 2012.
- [7] KÁKONA, Jakub, LAFATA, Jan, HORKEL, Milan. Výroba plošných spojů fotocestou.[online]. [2012-12-04]. Dostupné z URL: [http://www.mlab.cz/Articles/HowTo/How\\_to\\_make\\_PCB/DOC/HTML/How\\_to\\_make\\_PC\\_B.cs.html](http://www.mlab.cz/Articles/HowTo/How_to_make_PCB/DOC/HTML/How_to_make_PC_B.cs.html)
- [8] *Printed circuits handbook*. 6th ed. Editor Clyde F Coombs. New York: McGraw-Hill, c2008, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 978-0-07-146734-6.
- [9] *Leptání*. Blansko, 2008.
- [10] STRAKA, M. *Pájení laserovou diodou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 63 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Stejskal.
- [11] HEJDIŠ, R. *Kontrola osazených DPS s SMT komparační metodou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.