



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY**

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## **OVĚŘTE MOŽNOST OŠETŘENÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ POMOCÍ PLAZMY PRO NÁSLEDNOU POVRCHOVOU ÚPRAVU**

VERIFY THE POSSIBILITY OF PLASMA TREATMENT OF PRINTED CIRCUIT BOARDS FOR SUBSEQUENT  
SURFACE TREATMENT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Josef Brokeš**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.**

**BRNO 2023**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

**Student:** Josef Brokeš

**ID:** 211223

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Ověřte možnost ošetření desek plošných spojů pomocí plazmy pro následnou povrchovou úpravu**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Nastudujte problematiku regenerace a čištění desek plošných spojů. Pomocí ručního plazmového vyvíječe ošetřete sérii desek plošných spojů a pozorujte změny povrchu DPS. Porovnejte tuto metodu s ostatními technologiemi čištění. Pozorujte vliv plazmového svazku na funkčnost elektrotechnických součástek a na kvalitu lakování. Navrhněte zařízení s plazmovým vyvíječem určené k implementaci do výrobních linek a provozů. Výsledky popište v bakalářské práci.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 1.6.2023

**Vedoucí práce:** Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.

**doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**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**

Tato práce se zabývá problematikou regenerace a čištění desek plošných spojů s důrazem na využití plazmové technologie. Byly zkoumány různé metody čištění povrchu, včetně manuálního čištění, průmyslové myčky a plazmového ošetření, a jejich vliv na následnou kvalitu lakování. V rámci práce je také prováděna systematická analýza vlivu plazmového ošetření na kvalitu laku a funkčnost desek, včetně zkoumání možnosti regenerace starších desek. Tato studie představuje základ pro další výzkum a rozvoj v této oblasti. Práce prezentuje také konstrukci a implementaci prototypu zařízení s plazmovým vyvíječem pro integraci do výrobní linky.

## **Klíčová slova**

Desky plošných spojů, plazma, čištění, regenerace, lakování, implementace

## **Abstract**

This thesis deals with the regeneration and cleaning of printed circuit boards with emphasis on the use of plasma technology. Various surface cleaning methods, including manual cleaning, industrial washing and plasma treatment, were investigated and their effect on the subsequent quality of the paintwork. A systematic analysis of the effect of plasma treatment on the paint quality and functionality of the plates is also carried out, including an investigation of the possibility of regenerating older plates. This study provides a basis for further research and development in this area. The thesis also presents the design and implementation of a prototype plasma developer device for integration into a production line.

## **Keywords**

Printed circuit boards, plasma, cleaning, regeneration, coating, implementation

## **Bibliografická citace**

BROKEŠ, Josef. Ověřte možnost ošetření desek plošných spojů pomocí plazmy pro následnou povrchovou úpravu. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/152527>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Alexandr Otáhal.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>Josef Brokeš</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	<i>211223</i>
<b>Typ práce:</b>	<i>Bakalářská práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	<i>2022/23</i>
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>Ověřte možnost ošetření desek plošných spojů pomocí plazmy pro následnou povrchovou úpravu</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne: 30. května 2023

-----  
podpis autora

Příklad:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D. za přátelský přístup, trpělivost a za souhlas s vedením této bakalářské práce.

V Brně dne: 30. května 2023

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1. LAKOVÁNÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ.....</b>	<b>11</b>
1.1 VÝHODY LAKOVÁNÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	12
1.2 MATERIÁLY URČENÉ K LAKOVÁNÍ DPS .....	13
<b>2. ČIŠTĚNÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ .....</b>	<b>16</b>
2.1 RUČNÍ ČIŠTĚNÍ.....	16
2.1.1 <i>Mytí vodou a detergenty</i> .....	16
2.1.2 <i>Mytí s rozpouštědly</i> .....	17
2.1.3 <i>Mytí vodou pod tlakem</i> .....	17
2.1.4 <i>Mytí suchým ledem</i> .....	17
2.2 ČIŠTĚNÍ DPS V PRŮMYSLOVÝCH MYČKÁCH .....	18
2.3 ČIŠTĚNÍ DPS POMOCÍ ULTRAZVUKU .....	19
2.4 ČIŠTĚNÍ DPS POMOCÍ LASERU .....	21
2.5 ČIŠTĚNÍ DPS POMOCÍ PLAZMY .....	24
2.5.1 <i>Plazmové systémy za atmosférických podmínek</i> .....	26
<b>3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>28</b>
3.1 RUČNÍ GENERÁTOR PLAZMY.....	28
3.2 TESTOVACÍ DESKY .....	29
3.3 OŠETŘENÍ DESEK .....	31
3.4 ZALAKOVÁNÍ DESEK .....	33
3.5 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ZALAKOVÁNÍ .....	34
3.5.1 <i>Nečištěná deska</i> .....	34
3.5.2 <i>Stlačený vzduch</i> .....	35
3.5.3 <i>Odstraňovač tavidla</i> .....	36
3.5.4 <i>Průmyslová myčka</i> .....	38
3.5.5 <i>Plazma</i> .....	39
3.5.6 <i>Plazma a stlačený vzduch</i> .....	41
3.6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI DESEK .....	43
3.7 OŠETŘENÍ JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTEK .....	45
3.8 REGENERACE DESEK .....	46
3.9 TEPELNÉ NAMÁHÁNÍ.....	47
3.10 FUNKČNÍ PROTOTYP .....	48
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>51</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>52</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>54</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Konformní povlak .....	11
Obrázek 1.2 Nanášení laku sprejem.....	12
Obrázek 1.3 Akrylový povlak.....	13
Obrázek 1.4 Silikonový povlak.....	14
Obrázek 2.1 Čištění DPS kartáčkem.....	16
Obrázek 2.2 Čištění DPS odstraňovačem tavidla .....	17
Obrázek 2.3 Průmyslová myčka [17].....	18
Obrázek 2.4 Ultrazvukové čištění [18] .....	19
Obrázek 2.5 Princip vzniku kavitace [19].....	20
Obrázek 2.6 Čištění DPS laserem.....	21
Obrázek 2.7 Princip čištění laserem.....	22
Obrázek 2.8 Čištění DPS plazmou.....	24
Obrázek 2.9 Princip změny povrchového napětí .....	25
Obrázek 2.10 Plazmové odstraňování nečistot .....	25
Obrázek 2.11 Viditelný plazmový výboj .....	27
Obrázek 3.1 Piezobrush®PZ3 .....	28
Obrázek 3.2 Testovací deska – horní strana.....	29
Obrázek 3.3 Testovací deska – spodní strana .....	30
Obrázek 3.4 Přípravek pro uchycení DPS .....	31
Obrázek 3.5 Flux Remover .....	32
Obrázek 3.6 Lakování testovací desky .....	33
Obrázek 3.7 Nečištěná deska – UV .....	34
Obrázek 3.8 Nečištěná deska – detail .....	35
Obrázek 3.9 Čištěno stlačeným vzduchem – UV.....	35
Obrázek 3.10 Čištěno stlačeným vzduchem – detail .....	36
Obrázek 3.11 Čištěno odstraňovačem tavidla – UV .....	37
Obrázek 3.12 Čištěno odstraňovačem tavidla – detail.....	38
Obrázek 3.13 Čištěno v myčce – UV.....	38
Obrázek 3.14 Čištěno v myčce – detail.....	39
Obrázek 3.15 Čištěno plazmou – UV .....	40
Obrázek 3.16 Čištěno plazmou – detail .....	40
Obrázek 3.17 Čištěno plazmou a vzduchem – UV .....	41
Obrázek 3.18 Čištěno plazmou a vzduchem – detail.....	42
Obrázek 3.19 Testování desek v laboratoři.....	43
Obrázek 3.20 Porovnání charakteristik (vlevo před plazmou, vpravo po plazmě) .....	44
Obrázek 3.21 Ošetřování jednotlivých součástí .....	45
Obrázek 3.22 Regenerace starých desek.....	46
Obrázek 3.23 Měření přenosu tepla termokamerou .....	47
Obrázek 3.24 Měření teploty vyvíječe plazmy .....	48
Obrázek 3.25 3D model prototypu.....	48
Obrázek 3.26 Detail uchycení vyvíječe plazmy .....	49
Obrázek 3.27 Funkční prototyp .....	50
Obrázek 3.28 Detail funkčního prototypu.....	50



## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 3.1 Vyhodnocení měření.....	45
-------------------------------------	----

# ÚVOD

Plazmové čištění se dnes prosazuje jako moderní metoda pro čištění desek plošných spojů. S jejím využitím se setkáváme v širokém spektru průmyslových odvětví, od výroby elektroniky, přes polovodičovou technologii až po telekomunikace. Použitím této metody se maximalizuje čistota, odstraní se nežádoucí povlaky a zlepší se přilnavost. Tato metoda nabízí vysokou efektivitu při nízkých provozních nákladech. Využívá se i při vyšších teplotách, kde jiné čisticí techniky selhávají. Pro efektivní čištění je důležitá volba správného plazmového systému a optimálních podmínek zpracování, přičemž je třeba brát v úvahu také materiály desek plošných spojů a požadavky na čistotu.

V rámci této práce byla upřednostněna metoda nízkoteplotního plazmatu, která působí na povrch desky ze všech stran. Výsledkem je odstranění povlaků a zlepšení adheze. Zabývá se jak teoretickými, tak praktickými aspekty této metody a hledá nejlepší možné způsoby jejího využití pro dosažení ideálních vlastností desek plošných spojů.

První část práce se zaměřuje na přehled dalších metod čištění a technologií používaných při výrobě desek plošných spojů. Druhá část je pak věnována detailnímu ověření účinnosti plazmového čištění. Dosažené výsledky byly testovány z hlediska mechanických vlastností a čistoty povrchu.

Další důležitou oblastí, kterou tato práce zkoumá, je vliv plazmového čištění na elektrickou funkčnost obvodů na deskách plošných spojů. Je známo, že ačkoliv plazma poskytuje účinný prostředek pro odstranění povlaků a zlepšení adheze, má také potenciál poškodit funkčnost elektronických součástek. Proto je klíčové předcházet jakémukoli možnému negativnímu dopadu a zajistit, že výsledný produkt nejen vykazuje čistotu, ale také plně zachovává svou funkčnost. Práce proto zahrnuje důkladné testování a ověřování elektrické funkčnosti obvodů po procesu plazmového čištění, a to s cílem poskytnout přesvědčivé důkazy o jeho bezpečnosti a spolehlivosti pro širokou škálu aplikací v oblasti výroby elektroniky.

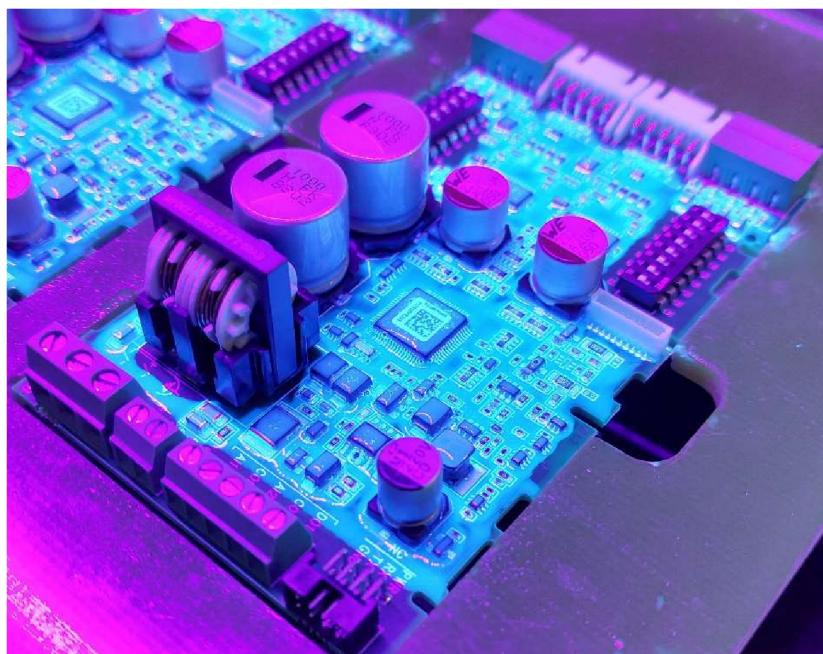
Kromě teoretického zkoumání a praktického ověřování plazmového čištění desek plošných spojů se tato práce také zabývá návrhem a realizací funkčního zařízení pro plazmové ošetřování. Tento prototyp, vytvořený na základě výzkumu a testování, je zkonstruován tak, aby byl snadno integrovatelný do stávajících výrobních linek a provozů.

# 1. LAKOVÁNÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

Lakování desek plošných spojů (DPS) je důležitým procesem v průmyslu elektroniky. Tento proces zajišťuje, že DPS jsou chráněny před vlhkostí, prachem, chemickými látkami a mechanickým opotřebením. Lakování také zlepšuje vodivost a zvyšuje životnost DPS. Existuje několik technologií, které se používají pro lakování DPS.[1]

Nejběžnějšími z nich jsou:

- **Konformní povlaky**  
Konformní povlaky jsou tenké vrstvy ochranného materiálu, který se aplikuje na povrch DPS. Tyto povlaky se skládají z různých materiálů, jako jsou akryl, silikon nebo polyuretan. Konformní povlaky se aplikují pomocí stříkání nebo ponoření.



Obrázek 1.1 Konformní povlak

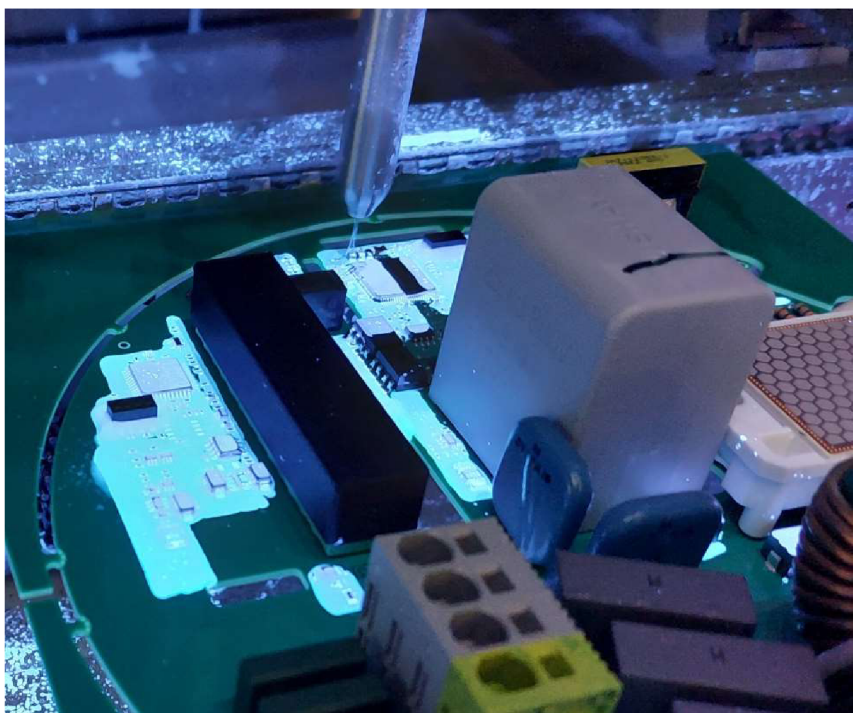
- **SMT (Surface Mount Technology) laky**  
SMT laky jsou speciální druh konformních povlaků, které se používají pro povrchovou montáž součástek. Tyto laky se aplikují před tavným pájením a chrání DPS před vysokými teplotami během procesu pájení.[2]

- **Nano povlaky**

Nano povlaky jsou vysoce tenké ochranné vrstvy, které se nanášejí na povrch DPS pomocí nanotechnologií. Tyto povlaky mají vysokou odolnost vůči vlhkosti, korozivním materiálům a teplotním výkyvům.[2]

## 1.1 VÝHODY LAKOVANÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

Proces nanesení ochranné vrstvy na desky plošných spojů je nezbytný pro jejich ochranu proti negativním vlivům, jako je vlhkost a prach. Tyto faktory mohou způsobit zkrat a selhání elektronických komponent. Tento postup také pomáhá optimalizovat vodivost a prodlužovat životnost DPS tím, že vodivé stopy a elektronické součásti jsou chráněny před mechanickým opotřebením, korozi a teplotními výkyvy. Navíc tento proces může přinést estetické výhody desce plošných spojů, poskytovat uniformní a profesionální vzhled. Díky nanesení ochranné vrstvy jsou DPS méně náchylné ke škrábancům a opotřebením, což přispívá k celkovému vizuálnímu dojmu. Určité typy používaných ochranných materiálů mohou poskytnout vlastnosti, které zlepšují tepelnou vodivost. To může vést ke zvýšení efektivity odvádění tepla z DPS, což je přínosem pro jejich spolehlivost a delší životnost.[3]



Obrázek 1.2 Nanášení laku sprejem

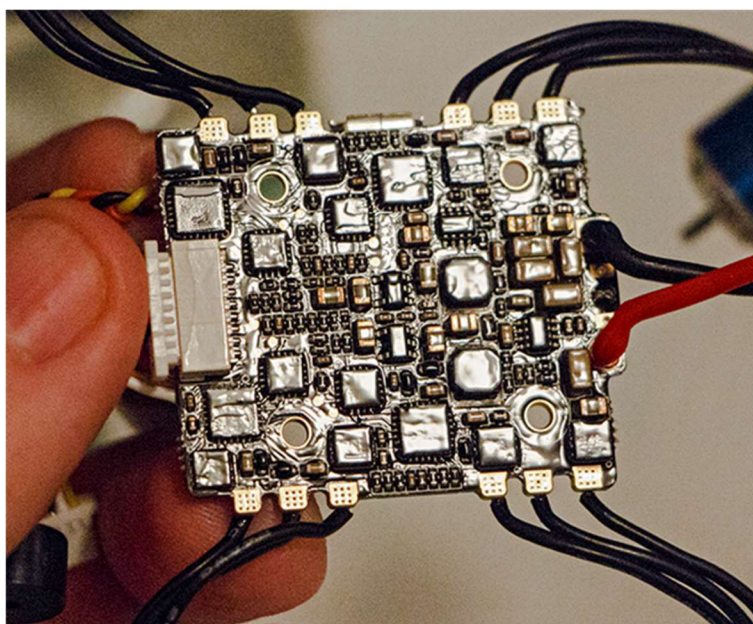
Konformní povlaky na deskách plošných spojů nacházejí uplatnění v řadě různých aplikací a průmyslových odvětví. V oblastech letectví a kosmonautiky jsou elektronické systémy často podrobeny extrémním podmínkám jako jsou vysoké teploty, vlhkost a vibrace. Zde se ochranné vrstvy stávají nezbytností pro zajištění bezproblémového fungování a dlouhé životnosti elektronických komponent. V automobilovém sektoru je nezbytná vysoká odolnost elektronických systémů vůči vibracím, teplotním výkyvům a chemickým látkám. V tomto případě konformní povlaky přispívají k zvýšení odolnosti a životnosti automobilových elektronických systémů. Stejný přístup je použit ve spotřební elektronice, jako jsou mobilní telefony, tablety, počítače a televizory, kde ochranné vrstvy pomáhají chránit elektronické součástky před negativními vlivy, jako je vlhkost, prach a mechanické opotřebení.[3]

## 1.2 MATERIÁLY URČENÉ K LAKOVÁNÍ DPS

Při lakování desek plošných spojů se používají různé materiály, které mají své vlastnosti a využití. Některé z nejběžnějších materiálů používaných pro lakování DPS jsou:

- **Akrylové povlaky**

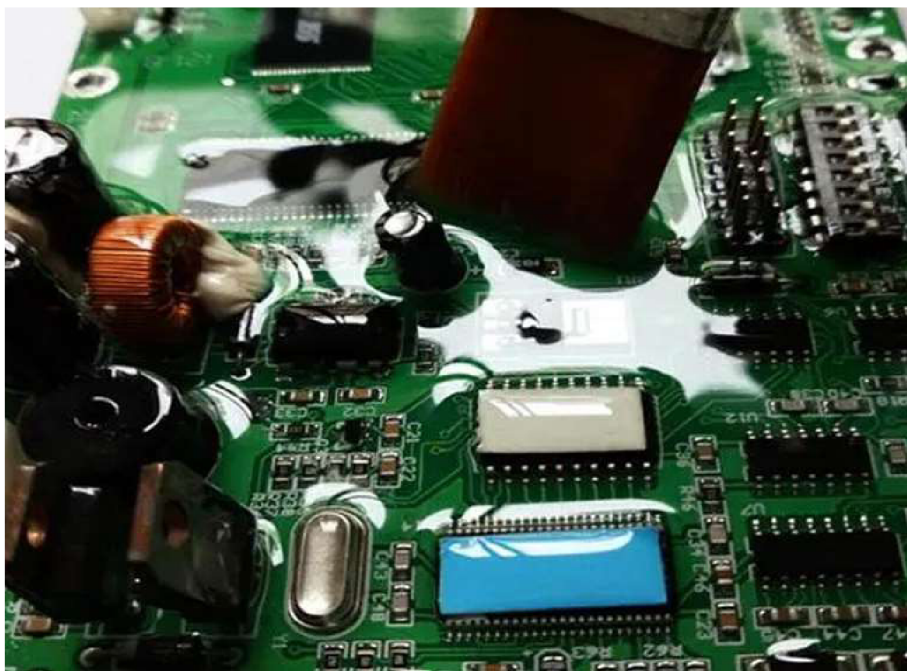
Akrylové povlaky jsou průhledné, rychle schnoucí ochranné vrstvy, které se často používají pro konformní lakování DPS. Akryl je oblíbený pro svou snadnou aplikaci a odstraňování. Poskytuje dobrou ochranu vůči vlhkosti, prachu a chemickým látkám. Nicméně, akrylové povlaky nemají tak vysokou teplotní a mechanickou odolnost jako některé jiné materiály.[2]



Obrázek 1.3 Akrylový povlak

- **Silikonové povlaky**

Silikonové povlaky jsou vysoce odolné vůči teplotním výkyvům, což je činí vhodnými pro aplikace s vysokými teplotními rozdíly a extrémními pracovními podmínkami. Silikonové povlaky také poskytují dobrou ochranu proti vlhkosti, prachu a chemickým látkám. Jsou však obtížnější odstranit než akrylové povlaky.



Obrázek 1.4 Silikonový povlak

- **Polyuretanové povlaky**

Polyuretanové povlaky nabízejí vysokou odolnost vůči mechanickému opotřebení, vlhkosti, teplotě a chemickým látkám. Tyto povlaky jsou také odolné proti poškrábání a poskytují dobrou ochranu proti korozivním materiálům. Polyuretanové povlaky jsou však obtížně odstranitelné a mohou být náročnější na aplikaci.

- **Epoxidové povlaky**

Epoxidové povlaky jsou silné a odolné ochranné vrstvy, které se používají pro lakování DPS. Epoxidové povlaky poskytují vysokou odolnost vůči mechanickému opotřebení, vlhkosti, teplotě a chemickým látkám. Tyto povlaky jsou také odolné proti poškrábání a poskytují dobrou ochranu proti korozivním materiálům. Aplikace epoxidových povlaků může být náročnější a podobně jako u jiných materiálů, jejich odstranění může být obtížné.

- **Fluoropolymerové povlaky**

Fluoropolymerové povlaky, jako je polytetrafluorethylen (PTFE), jsou vysoce odolné vůči chemickým látkám a poskytují vynikající odolnost proti vlhkosti. Tyto povlaky jsou také odolné vůči teplotám a mechanickému opotřebení. Fluoropolymerové povlaky se často používají v chemicky náročných aplikacích a prostředích s vysokou vlhkostí.[16]

- **Nanokompozitní povlaky**

Nanokompozitní povlaky jsou inovativní ochranné vrstvy, které využívají nanotechnologii pro aplikaci ultra-tenkých, konformních povlaků na DPS. Nanokompozitní povlaky mohou být vyrobeny z různých materiálů, jako jsou oxidy kovů, polymery nebo keramika. Tyto povlaky nabízejí vysokou odolnost proti vlhkosti, teplotě, chemickým látkám a mechanickému opotřebení. Díky svým unikátním vlastnostem mají širokou škálu aplikací, včetně vysokofrekvenčních a optoelektronických zařízení.[3]

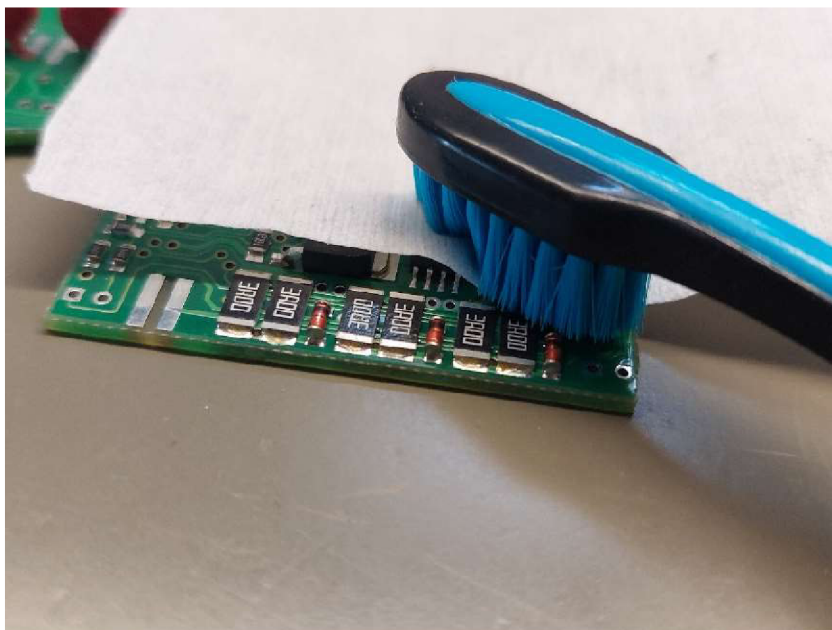
Při výběru materiálu pro lakování desek plošných spojů je důležité zvážit požadavky na odolnost vůči teplotě, vlhkosti, chemickým látkám a mechanickému opotřebení, stejně jako náklady na aplikaci a údržbu. Každý z uvedených materiálů má své výhody a nevýhody a výběr vhodného materiálu závisí na konkrétních potřebách aplikace a očekávaných provozních podmínkách.

## 2. ČIŠTĚNÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

Čištění desek plošných spojů (DPS) je zásadní proces, který zajišťuje čistotu a spolehlivost elektronických součástek a systémů. Během výroby DPS se na povrchu desek a mezi součástkami mohou usazovat nečistoty, zbytky pájky, mastné látky a další kontaminanty, které mohou vést ke zkratům, poruchám nebo nesprávnému fungování elektronických součástek. Způsoby mytí DPS se liší v závislosti na typu a složení nečistot, materiálech, komponentách DPS a požadavcích na čistotu a spolehlivost.[4]

### 2.1 RUČNÍ ČIŠTĚNÍ

Ruční mytí je jednoduchý a nákladově efektivní způsob čištění DPS, který spočívá v použití kartáčku, hadříku nebo stěrky a čistícího roztoku nebo čistícího prostředku. Ruční mytí je vhodné pro menší výrobní dávky, prototypy nebo opravy DPS. Při ručním mytí je důležité zachovat opatrnost a důkladnost, aby nedošlo k poškození součástek nebo povrchu DPS. Nevýhodou ručního mytí je variabilita kvality čištění a časová náročnost.[4]



Obrázek 2.1 Čištění DPS kartáčkem

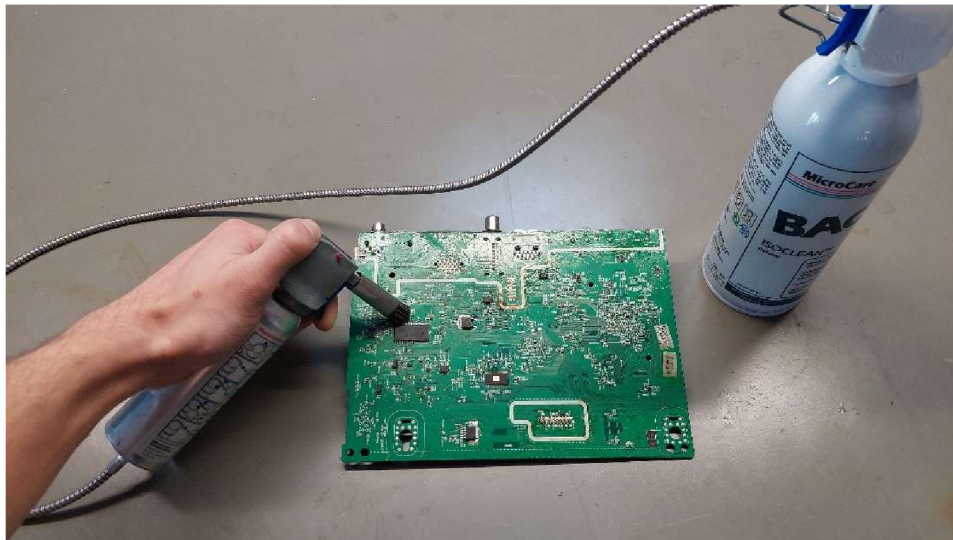
#### 2.1.1 Mytí vodou a detergenty

Mytí vodou a detergenty je šetrnější a ekologičtější způsob čištění DPS, který se často používá v průmyslové výrobě. Mycí zařízení, která používají vodu a speciální čistící prostředky, aplikují na DPS tlakovou vodu následovanou proplachováním a sušením. Voda a detergenty jsou účinné při odstraňování nečistot a zbytků pájky, avšak mohou být méně účinné při odstraňování mastných nečistot nebo některých druhů chemických kontaminantů.[5]



### 2.1.2 Mytí s rozpouštědly

Mytí s rozpouštědly je účinný způsob čištění DPS, který využívá organické rozpouštědly jako jsou alkoholy, ketony nebo estery pro odstranění nečistot, mastných látek a chemických kontaminantů z povrchu DPS. Rozpouštědla jsou často používána ve spojení s ultrazvukovým čištěním, což zvyšuje účinnost procesu mytí. Ultrazvukové čištění vytváří vlny v rozpouštědle, které pronikají do těžko dostupných míst jako jsou mezery mezi součástkami nebo pod nimi. Po dokončení čištění se rozpouštědlo odpařuje a zanechává čistou, suchou DPS.[7]



Obrázek 2.2 Čištění DPS odstraňovačem tavidla

### 2.1.3 Mytí vodou pod tlakem

Mytí vodou pod tlakem je další běžná metoda čištění DPS, která využívá vysokotlaké vodní trysky pro odstranění nečistot a zbytků pájky z povrchu desek. Tato metoda je účinná při čištění velkých, robustních DPS nebo desek s vysokou hustotou součástek. Mytí vodou pod tlakem může být méně účinné při čištění jemných, citlivých nebo těžko dostupných míst. [5]

### 2.1.4 Mytí suchým ledem

Mytí suchým ledem je inovativní a šetrná metoda čištění DPS, která používá pelety suchého ledu jako čisticí médium. Suchý led se stříká na povrch DPS pod tlakem, kde se při kontaktu s nečistotami mění na plynný oxid uhličitý a odstraňuje nečistoty bez poškození součástek nebo povrchu desek. Mytí suchým ledem je účinné při odstraňování mastných nečistot, zbytků pájky a chemických kontaminantů, aniž by zanechalo zbytky čisticího média na DPS.

## 2.2 ČIŠTĚNÍ DPS V PRŮMYSLOVÝCH MYČKÁCH

Mytí desek plošných spojů v průmyslových myčkách za využití mycích kapalin je jedna z běžných a účinných metod čištění, která je široce používána ve výrobním průmyslu. Tento proces je ideální pro sériovou výrobu DPS, protože nabízí vysokou úroveň čistoty, konzistence a automatizace. Průmyslové myčky DPS využívají mycí kapaliny, které se skládají z vody a speciálních čisticích prostředků či rozpouštědel, které účinně odstraňují nečistoty, zbytky pájky a kontaminanty. Průmyslové myčky umožňují nastavení různých parametrů, jako je teplota mycí kapaliny, tlak a doba mytí.



Obrázek 2.3 Průmyslová myčka [17]

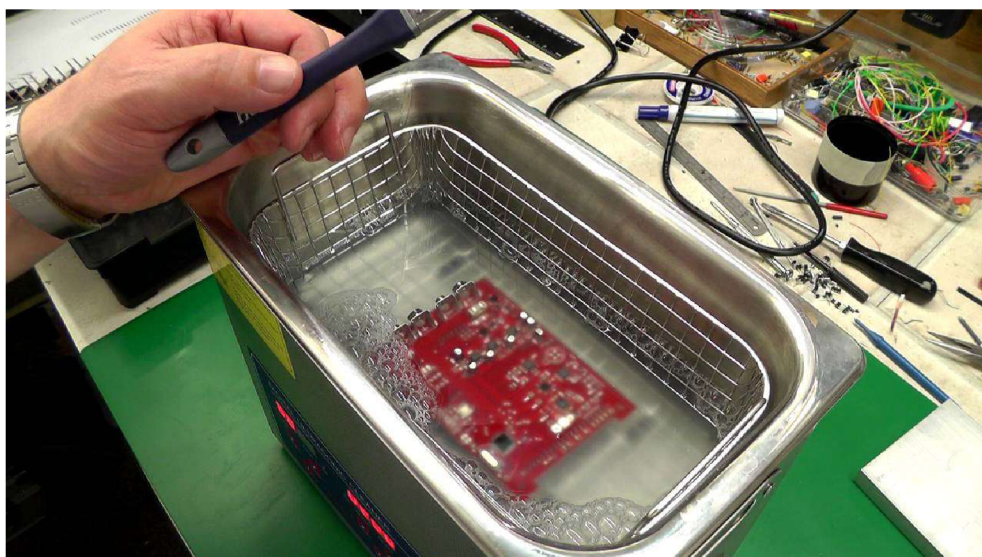
Během mycího procesu jsou desky plošných spojů umístěny na držáku nebo průmyslovém košíku, který je pak vložen do myčky. Myčka aplikuje mycí kapalinu na DPS pomocí trysky nebo ostřikovacího systému, který zajistí rovnoměrné rozložení kapaliny po celém povrchu desek. Po mytí je třeba desky plošných spojů důkladně propláchnout čistou vodou, aby byly odstraněny veškeré zbytky mycí kapaliny a rozpuštěné nečistoty. Proplachování může být prováděno vodou pod tlakem nebo ve vícestupňovém proplachovacím systému. Po proplachování je nutné desky plošných spojů pečlivě usušit, aby se zabránilo korozivním účinkům nebo problémům s elektrickým vedením způsobeným zbytkovou vlhkostí. Sušení může být provedeno

různými způsoby, jako je použití teplého vzduchu, infračerveného záření nebo vakua. Průmyslové myčky často obsahují integrované sušící systémy, které automaticky usuší desky po dokončení mycího a proplachovacího procesu. [8]

Výhody průmyslových myček DPS s mycími kapalinami zahrnují vysokou úroveň automatizace, konzistence a účinnosti čištění, která zajišťuje spolehlivost a kvalitu elektronických součástek a systémů. Navíc tento proces je šetrnější k životnímu prostředí, než některé alternativní metody jako je mytí se škodlivými rozpouštědly. Při výběru mycí kapaliny a nastavení parametrů průmyslové myčky je důležité zohlednit typ materiálů a komponentů DPS, složení nečistot a požadavky na čistotu a spolehlivost.

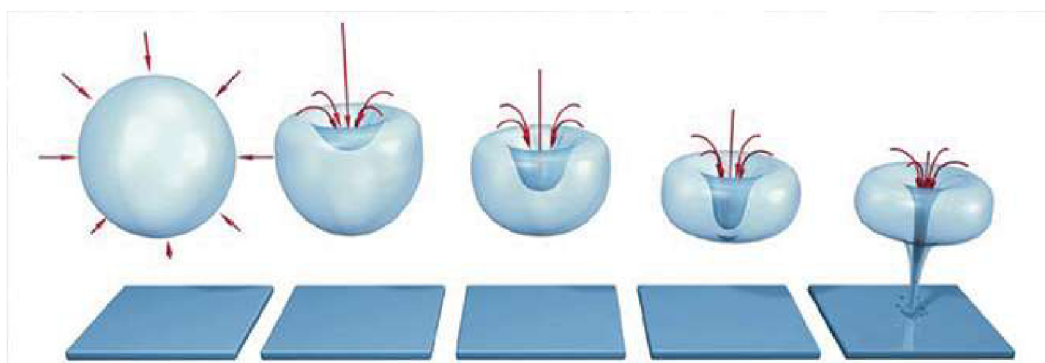
## 2.3 ČIŠTĚNÍ DPS POMOCÍ ULTRAZVUKU

Čištění desek plošných spojů pomocí ultrazvuku je efektivní a šetrná metoda, která se široce používá v průmyslu pro odstraňování nečistot, zbytků pájky a kontaminantů z povrchu desek. Princip ultrazvukového čištění desek plošných spojů (DPS) spočívá ve využití ultrazvukových vln, které vytvářejí rychlé a opakované změny tlaku v čistícím roztoku. Tyto změny tlaku vedou ke vzniku a následnému kolapsu drobných bublinek, jev známý jako kavitace. Během imploze těchto bublinek dochází k vytvoření vysokých teplot a tlakových vln, které mechanicky odstraňují nečistoty a zbytky pájky z povrchu desek plošných spojů.[6]



Obrázek 2.4 Ultrazvukové čištění [18]

Ultrazvukové čištění se provádí za použití speciálního zařízení zvaného ultrazvuková vana nebo komora. Ultrazvukový přístroj generuje ultrazvukové vlny s frekvencemi typicky v rozmezí 25–100 kHz, které jsou přenášeny do čistícího roztoku prostřednictvím ultrazvukových vysílačů umístěných na stěnách nebo dně vany. Kavitace způsobuje silné proudění čistícího roztoku kolem povrchu desek, což pomáhá odstraňovat nečistoty a zbytky pájky. Ultrazvukové čištění je také schopno zlepšit účinnost čistících prostředků či rozpouštědel tím, že zvyšuje jejich pronikání do mikroskopických trhlin a otvorů na povrchu desek.



Obrázek 2.5 Princip vzniku kavitace [19]

Před zahájením ultrazvukového čištění je důležité zkontrolovat, zda jsou všechny součástky pevně upevněny a zda nejsou na desce žádné volné částice nebo materiály, které by mohly během čištění způsobit problémy. Pro ultrazvukové čištění je třeba použít vhodný čistící roztok, který je kompatibilní s materiálem a komponenty DPS a účinně rozpouští nečistoty a zbytky pájky. Čistící roztoky mohou být na bázi vody nebo organických rozpouštědel v závislosti na konkrétních požadavcích čištění. Ultrazvukový přístroj je třeba nastavit na vhodnou frekvenci, amplitudu a dobu čištění, které jsou optimální pro daný typ DPS a složení nečistot. Vyšší frekvence ultrazvuku obvykle poskytují jemnější čištění, zatímco nižší frekvence mohou být účinnější při odstraňování tvrdých nebo silně přilnavých nečistot.[9]

Proces čištění může trvat několik minut až několik desítek minut, v závislosti na míře kontaminace a složitosti desky. Po ultrazvukovém čištění je třeba desky plošných spojů důkladně propláchnout čistou vodou, aby byly odstraněny veškeré zbytky čistícího roztoku a rozpuštěné nečistoty. Proplachování může být prováděno ručně nebo pomocí proplachovacího zařízení. [6]

Výhody čištění DPS pomocí ultrazvuku zahrnují rychlý a účinný proces čištění, schopnost odstraňovat nečistoty z těžko dostupných míst a šetrnost k životnímu prostředí, protože často nevyžaduje použití agresivních chemikálií. Navíc, ultrazvukové čištění je šetrné k materiálům a komponentům DPS, což minimalizuje riziko poškození během

procesu čištění. Při výběru čistícího roztoku a nastavení parametrů ultrazvukového přístroje je důležité zohlednit typ materiálů a komponentů DPS, složení nečistot a požadavky na čistotu a spolehlivost.

## 2.4 ČIŠTĚNÍ DPS POMOCÍ LASERU

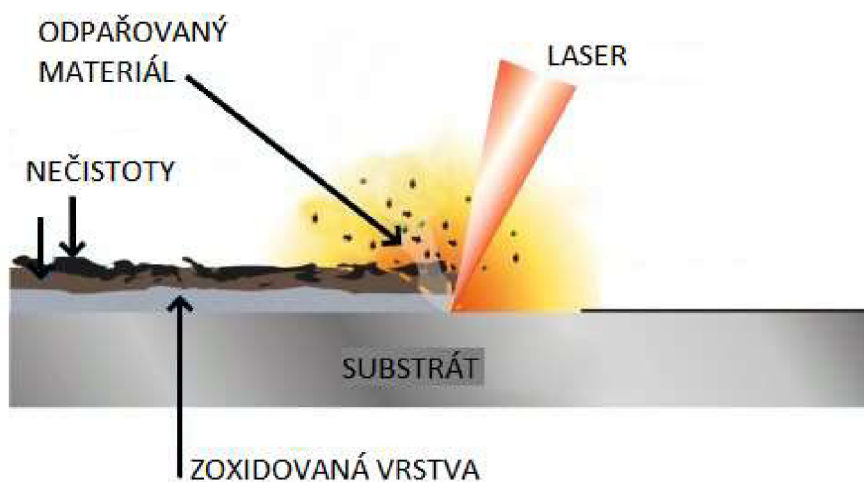
Čištění desek plošných spojů (DPS) pomocí laseru je moderní, přesná a efektivní metoda, která se stále více využívá v průmyslu pro odstraňování nečistot, zbytků pájky a kontaminantů z povrchu desek, stejně jako pro úpravu povrchu před pájením nebo lakováním. Laserové čištění využívá energii laserového paprsku k odstranění nečistot prostřednictvím termochemických a mechanických účinků.



Obrázek 2.6 Čištění DPS laserem

Pro laserové čištění DPS je třeba použít vhodný laserový systém, který je schopen generovat dostatečnou energii a dosáhnout požadovaného čištění. Laserové systémy mohou být založeny na různých typech laserů, jako jsou CO<sub>2</sub> lasery, Nd:YAG lasery, vláknové lasery nebo excimerové lasery v závislosti na konkrétních požadavcích čištění a materiálech DPS. Během laserového čištění je laserový paprsek zaměřen na povrch DPS, kde reaguje s nečistotami a zbytky pájky. Tato reakce může vést k odpařování nečistot, rozbití materiálu nebo vytvoření plazmatu, které následně odstraňují nečistoty a

kontaminanty z povrchu desky. Laserový paprsek je obvykle skenován po celém povrchu DPS pomocí galvanometrického zrcadla nebo XY stolku, což umožňuje rychlé a přesné čištění i složitých a detailních vzorů.[10]



Obrázek 2.7 Princip čištění laserem

Rychlost, jakou je laserový paprsek skenován po povrchu DPS, ovlivňuje dobu expozice a efektivitu čištění. Rychlejší skenování může snížit dobu čištění, ale může také zvýšit riziko neúplného čištění. Rychlost skenování je třeba nastavit tak, aby bylo dosaženo účinného čištění při minimalizaci doby expozice. V průběhu laserového čištění je důležité chránit citlivé komponenty a materiály DPS před nežádoucím poškozením způsobeným laserovou energií. To lze dosáhnout výběrem vhodné vlnové délky, nastavením parametrů laserového systému nebo použitím ochranných masek nebo clon. Během laserového čištění mohou odstraněné nečistoty a materiály tvořit aerosoly nebo částičky, které je třeba bezpečně odstranit a recyklovat. K tomu se často používají odsávací a filtrační systémy, které zajišťují čisté a bezpečné pracovní prostředí.

Parametry laserů:

- **CO2 lasery:**

Vlnová délka: 10,6  $\mu\text{m}$

Výkon: 50 W - 500 W

CO2 lasery jsou vhodné pro odstraňování organických nečistot a pryskyřic. Jejich vlnová délka je efektivní při čištění izolačních vrstev a ochranných vrstev DPS.

- **Nd:YAG lasery:**

Vlnová délka: 1 064 nm (infračervené spektrum)

Výkon: 50 W - 500 W

Nd:YAG lasery se často používají pro odstraňování vrstev kovů, jako je cín nebo pájka. Tento typ laseru je vhodný pro čištění spojů a kontaktů DPS.

- **Vláknové lasery:**

Vlnová délka: 1 064 nm (infračervené spektrum) nebo 1 550 nm

Výkon: 10 W - 500 W

Vláknové lasery jsou podobné Nd:YAG laserům ve svých vlastnostech a použití, ale mají delší životnost a vyšší účinnost. Tyto lasery jsou vhodné pro čištění kovových vrstev na DPS.

- **Excimerové lasery:**

Vlnová délka: 193 nm (ArF), 248 nm (KrF) nebo 308 nm (XeCl)

Výkon: 10 W - 200 W

Excimerové lasery mají výjimečně krátkou vlnovou délku, což umožňuje čištění s vysokou přesností a minimalizací tepelného poškození. Jsou vhodné pro čištění citlivých materiálů a komponentů DPS.

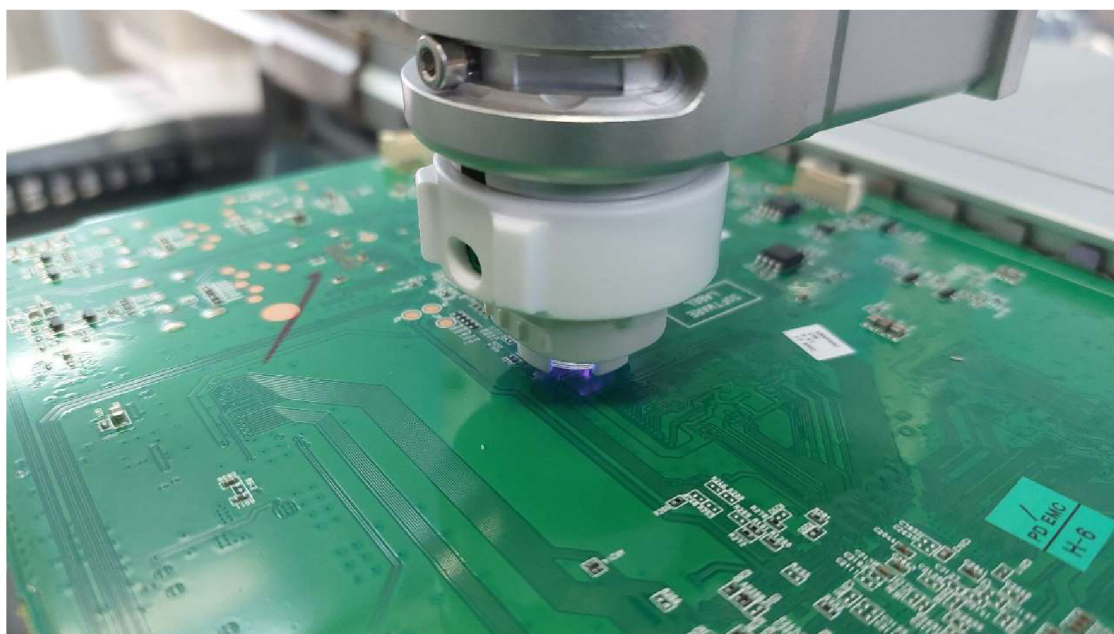
Je důležité poznamenat, že optimální hodnoty vlnové délky a výkonu pro konkrétní aplikaci čištění DPS závisí na materiálech, složení nečistot a požadavcích na čistotu. Při výběru vhodného laserového systému je třeba zohlednit tyto faktory, stejně jako další parametry jako jsou rychlost skenování, velikost laserového paprsku zaostření.[10]

Výhody laserového čištění DPS zahrnují vysokou účinnost, přesnost a schopnost odstraňovat nečistoty z těžko dostupných míst bez použití chemických čisticích prostředků nebo mechanického tření. Nicméně laserové čištění může být nákladnější než tradiční metody čištění a vyžaduje speciální vybavení a školení pro správné použití a údržbu.

## 2.5 ČIŠTĚNÍ DPS POMOCÍ PLAZMY

Plazma je čtvrtým základním stavem látky, který se skládá z ionizovaných částic jako jsou elektrony, ionty a neutrální atomy nebo molekuly. Plazma má jedinečné vlastnosti, které umožňují účinně čistit a aktivovat povrchy DPS.

Ionizované částice plazmy interagují s povrchem DPS a reagují s nečistotami nebo kontaminanty, které jsou na povrchu přítomny. Tyto reakce zahrnují chemické procesy, jako jsou oxidace, redukce nebo hydrolyza a fyzikální procesy jako je bombardování povrchu ionty. Výsledkem těchto interakcí je odstranění nečistot, které se následně odpaří nebo jsou odstraněny pryč z povrchu.



Obrázek 2.8 Čištění DPS plazmou

Čištění desek plošných spojů pomocí plazmy je významná metoda, která má přímý dopad na povrchové napětí DPS. Povrchové napětí je zásadní charakteristika, která ovlivňuje přilnavost a adhezi mezi povrchem DPS a následně aplikovanými materiály, jako je například konformní povlak, lepidlo nebo pájka. Plazma obsahuje volné elektrony a ionty, které se při kontaktu s povrchem DPS vážou na povrchové molekuly. Tím dochází k odstranění kontaminantů a zároveň ke změně chemických vlastností povrchu.[12]

Z hlediska povrchového napětí má tato technika dvojitý efekt. Na jedné straně dochází k odstranění organických a anorganických kontaminantů, které snižují povrchové napětí. Na druhé straně dochází k chemické modifikaci povrchu, která zvyšuje jeho energii a tím i povrchové napětí. Výsledkem je tedy povrch s vyšším povrchovým napětím, který je



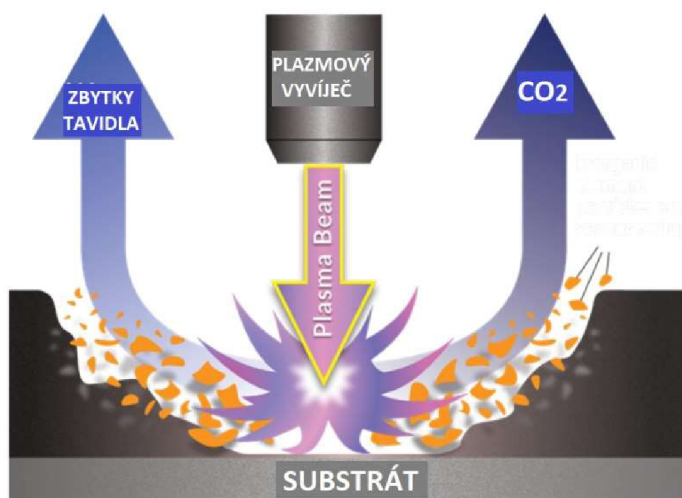
lépe připraven na následující procesy, jako je například pájení nebo aplikace konformního povlaku. Vyšší povrchové napětí znamená lepší přilnavost těchto materiálů k povrchu DPS, což vede k lepší kvalitě a spolehlivosti finálního produktu.[11]



Obrázek 2.9 Princip změny povrchového napětí

Čištění DPS pomocí plazmy má řadu výhod oproti tradičním metodám čištění jako jsou mycí kapaliny nebo ultrazvukové čištění. Jelikož čištění pomocí plazmy nevyžaduje použití chemických látek, tak je tato metoda šetrná k životnímu prostředí. Navíc plazmové čištění generuje méně odpadu a má nižší spotřebu energie než některé tradiční metody čištění. Parametry čištění pomocí plazmy jako je tlak, teplota, složení plynu nebo doba expozice, lze přesně řídit a optimalizovat pro konkrétní aplikaci. To umožňuje dosáhnout optimálních výsledků čištění při minimálním riziku poškození materiálů nebo komponent.

Čištění desek plošných spojů pomocí plazmy je moderní a šetrná metoda, která nabízí vysokou úroveň čistoty povrchu, univerzálnost a ekologičnost. Tato metoda je stále častěji uplatňována v průmyslu výroby elektroniky pro zajištění optimální kvality a spolehlivosti finálních výrobků. Při výběru vhodného plazmového čištění je třeba zohlednit parametry procesu, materiály DPS a požadavky na čistotu, aby bylo dosaženo efektivního a bezpečného odstranění nečistot a kontaminantů.



Obrázek 2.10 Plazmové odstraňování nečistot

V budoucnu lze očekávat další vývoj a zdokonalování technologie plazmového čištění, což může vést k ještě vyšší efektivitě, rychlosti a šetrnosti k materiálům. Kromě toho bude pravděpodobně narůstat zájem o tuto metodu v souvislosti s rostoucí potřebou ekologicky šetrných a udržitelných výrobních procesů v elektronickém průmyslu.

Plazmové čištění má také uplatnění v dalších oblastech jako je nanotechnologie, kde je čistota povrchu kritická pro dosažení požadovaných vlastností a funkcí materiálů. S pokračujícím vývojem a inovacemi v oblasti plazmového čištění lze očekávat, že tato metoda bude hrát stále důležitější roli v různých průmyslových odvětvích a aplikacích.[11]

Při plazmovém čištění DPS je důležité pečlivě zvážit a optimalizovat výše uvedené parametry, aby bylo dosaženo požadované úrovně čistoty a minimalizováno riziko poškození materiálů a komponent. To vyžaduje znalosti materiálů a kontaminantů, které mají být odstraněny a zkušenosti s procesem plazmového čištění a jeho parametry.

### **2.5.1 Plazmové systémy za atmosférických podmínek**

Plazmové systémy za atmosférických podmínek, někdy také označované jako atmosférické plazmové systémy, využívají principu generování plazmy při normálním atmosférickém tlaku, na rozdíl od tradičních vakuových systémů, které vyžadují v komoře vakuum pro vytvoření plazmy.

Základním principem těchto systémů je vytvoření silného elektrického pole, které ionizuje plyny v atmosférickém prostředí. Toto se obvykle dosahuje pomocí vysokofrekvenčního nebo mikrovlnného výkonu.

Jedním z nejběžnějších typů atmosférických plazmových systémů je takzvaný dielektrický bariérový výboj (DBD). DBD zařízení se skládá z dvou elektrod, z nichž alespoň jedna je pokryta dielektrickým materiálem. Když je mezi elektrodami přiloženo vysoké napětí, vzniká silné elektrické pole, které ionizuje plyn mezi elektrodami a vytváří plazmu.[13]

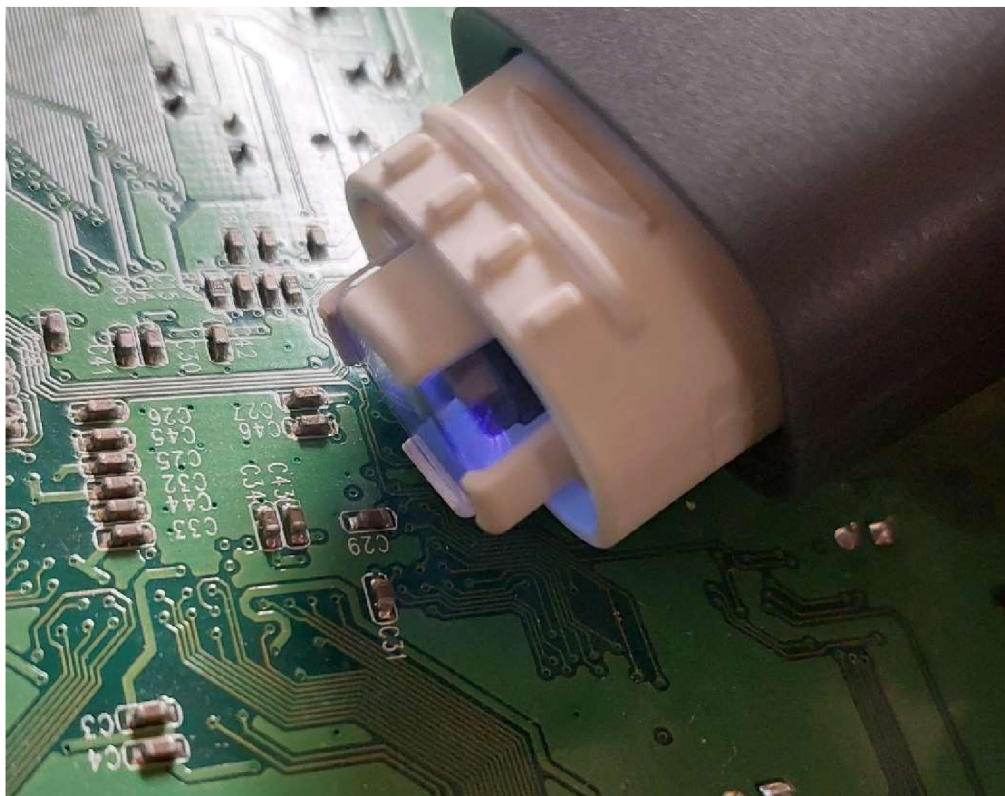
Jiným typem atmosférického plazmového systému je korónový výboj, který je generován mezi ostrým výbojovým bodem a rovinnou elektrodou. Výsledné silné elektrické pole ionizuje vzduch kolem výbojového bodu, čímž vzniká plazma.

Posledním typem tvorby plazmy je technologie Piezoelektrického přímého výboje (PDD). Technologie PDD, nebo také Piezoelectric Direct Discharge, je moderní metoda pro vytváření nízkoteplotní plazmy za atmosférických podmínek. Tato technologie se

stále více používá v průmyslu pro čištění a předúpravu povrchů. PDD technologie využívá piezoelektrický krystal, který podléhá mechanickému stresu způsobenému oscilátorem. Tento stres vyvolává v krystalu deformaci, což vede k vytvoření elektrického náboje na povrchu krystalu díky piezoelektrickému jevu. Tento náboj následně indukuje vysoké napětí. Když je toto vysoké napětí aplikováno na okolní plyn, dochází k ionizaci plynových molekul a vzniku plazmy. Plazma tedy vzniká přímo v běžné atmosféře, což je velkou výhodou, protože se odstraňuje potřeba vakuové komory.[14][15]

Plazma generovaná pomocí PDD je nízkoteplotní, což znamená, že je možné s ní manipulovat bez rizika poškození citlivých materiálů. To je velmi užitečné pro čištění a předúpravu desek plošných spojů, protože je můžeme efektivně čistit a upravovat bez obav z poškození teplem nebo agresivními chemikáliemi.[15]

V atmosférických plazmových systémech se plazma generuje přímo ve vzduchu nebo v jiném plynu za normálního atmosférického tlaku, což eliminuje potřebu vakua. To má několik výhod, včetně snížení nákladů na zařízení a provoz, zvýšení rychlosti procesu a možnosti zpracování velkých nebo složitě tvarovaných dílů. Tyto systémy jsou široce využívány v mnoha průmyslových aplikacích, včetně čištění povrchů, aktivace povrchů pro lepení nebo malování, sterilizace nástrojů v zdravotnictví a mnoha dalších.



Obrázek 2.11 Viditelný plazmový výboj

## 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 3.1 RUČNÍ GENERÁTOR PLAZMY

Tato experimentální část bude zaměřena na využití ručního zařízení pro generování plazmy, konkrétně Piezobrush®PZ3. Toto zařízení, vyvinuté s ohledem na jednoduchost ovládání a pohodlné použití, je ideální pro potřeby experimentu.



Obrázek 3.1 Piezobrush®PZ3

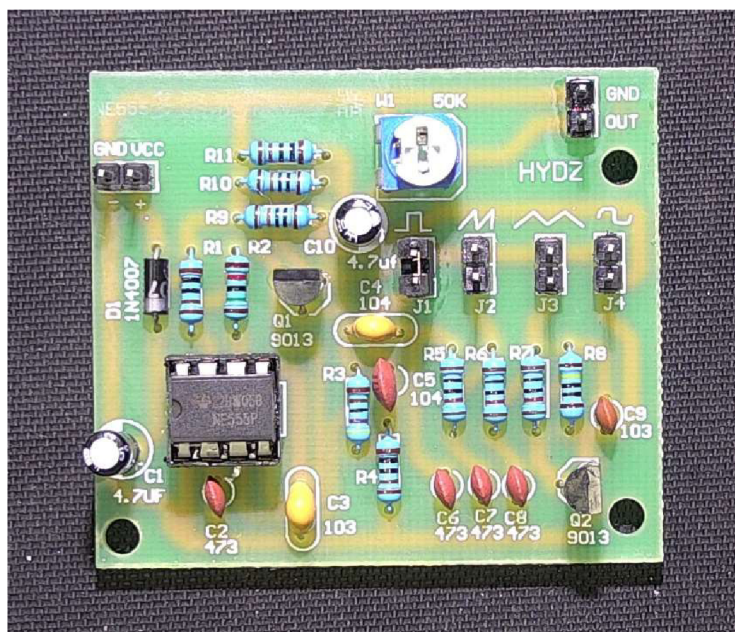
Piezobrush®PZ3 využívá pro výrobu plazmy technologii PDD (Piezoelectric Direct Discharge), která je základem jeho schopnosti efektivně a bezpečně generovat plazmu přímo v atmosféře, bez nutnosti vakuových komor. Díky této vlastnosti je toto zařízení mimořádně flexibilní a vhodné pro široké spektrum aplikací.

Jedním z klíčových rysů Piezobrush®PZ3 je jeho modulární konstrukce. Toto zařízení nabízí vyměnitelné moduly, které umožňují přizpůsobit jeho funkčnost specifickým potřebám dané aplikace. Tato funkcionality představuje významnou výhodu, protože umožňuje uživatelům optimalizovat výkon zařízení pro konkrétní úkoly bez nutnosti pořízení celé nové jednotky.

V průběhu experimentální části bude tato technologie důkladně prozkoumávána a testována, aby byly plně pochopeny její výhody a možnosti, jak může přispět k efektivitě a kvalitě čištění a předúpravy desek plošných spojů.

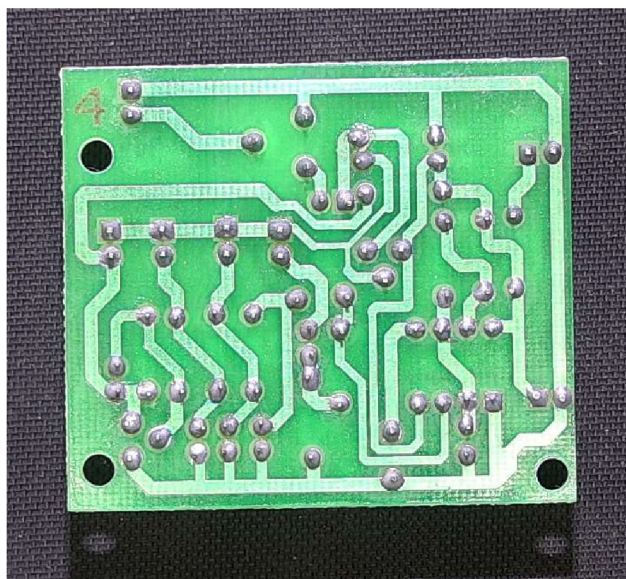
## 3.2 TESTOVACÍ DESKY

Při vývoji a aplikaci nových technologií pro ošetřování desek plošných spojů je důležité pečlivě zkoumat jejich vliv na elektrické vlastnosti použitých obvodů. Pro tento účel byl pro testování zvolen generátor pulzů s pevně danou frekvencí postaveném na časovači NE555.



Obrázek 3.2 Testovací deska – horní strana

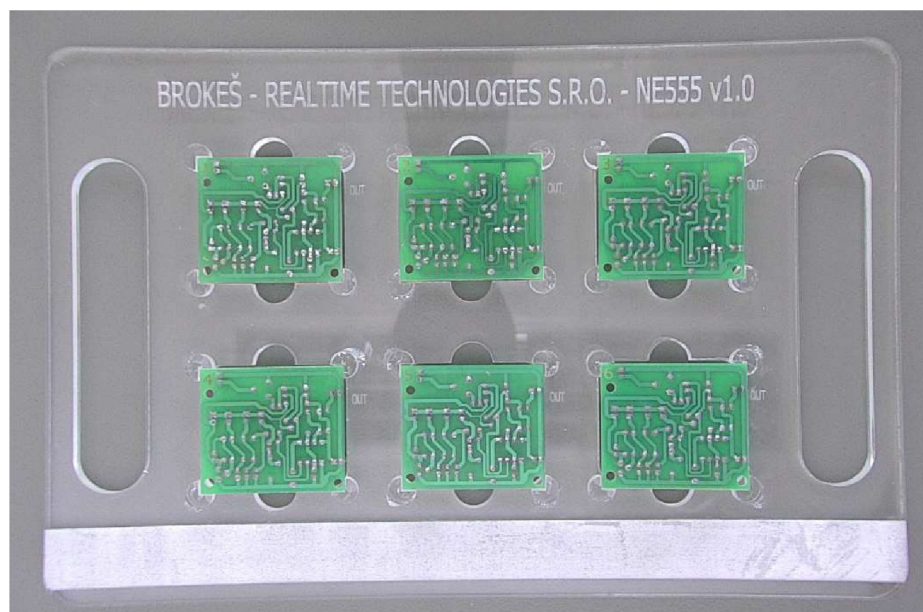
Tento konkrétní obvod byl vybrán na základě své komplexnosti a různorodosti elektronických součástek, od pasivních prvků jako jsou kondenzátory a rezistory, po polovodičové prvky jako jsou tranzistory a diody. Tato různorodost umožňuje podrobněji prozkoumat dopad technologického ošetření na širokou škálu součástek a vlastností obvodu. Generátor pulzů je schopen vytvářet čtyři různé průběhy signálu – sinusoidu, trojúhelníkový signál, pilovitý signál a obdélníkový signál. Tyto různé průběhy umožňují podrobněji porozumět dopadu technologického ošetření na širokou škálu vlastností obvodu.



Obrázek 3.3 Testovací deska – spodní strana

Pro realizaci experimentu byl speciálně navržen přípravek, určený k bezpečnému a pevnému ukotvení šesti desek plošných spojů s generátorem pulzů. Tento přípravek představuje důležitý prvek experimentálního designu, jelikož zajišťuje konzistentnost a opakovatelnost jednotlivých kroků procesu.

Přípravek byl vytvořen za využití laserové technologie, která umožnila vypálení přesných tvarů do plexisklové desky. Plexisklo bylo vybráno pro svou pevnost, průhlednost a odolnost vůči teplotám, což jsou všechno vlastnosti, které jsou pro tuto aplikaci důležité. Tímto způsobem vytvořený přípravek zaručuje pevné a stabilní umístění desek plošných spojů během celého procesu. Zároveň byl přípravek navržen tak, aby se do něj desky plošných spojů daly jednoduše vložit a následně zase vyjmout. Toto usnadňuje manipulaci s deskami a zkracuje dobu potřebnou pro jejich přípravu.



Obrázek 3.4 Přípravek pro uchycení DPS

Hlavním účelem tohoto přípravku je možnost jeho vložení do lakovacího stroje a následné převedení do pece. Tímto způsobem jsou desky plošných spojů vystaveny sérii technologických procesů. Výhodou tohoto postupu je, že je možné současně zpracovat až šest desek, což výrazně zvyšuje efektivitu celého procesu.

### 3.3 OŠETŘENÍ DESEK

Experiment byl navržen tak, aby se získal hlubší pohled na různé metody čištění desek plošných spojů s generátory pulzů. Každá deska byla čištěna a ošetřována jiným způsobem.

První deska v sérii (označená číslem 1) nebyla očištěna vůbec. To umožnilo porovnat výsledky ostatních desek s původním stavem a poskytlo základní referenční bod pro hodnocení účinnosti různých metod čištění.

Druhá deska (označená číslem 6) byla vyčištěna pouze pomocí stlačeného vzduchu. Tento postup je jednoduchý a rychlý, ale jeho schopnost odstranit mastnotu a hlubší nečistoty je omezená. Vyfukování stlačeným vzduchem může být účinné pro odstranění volných částic prachu, ale není schopné odstranit pevněji přilnavé nečistoty nebo zbytky pájky.

Třetí deska (označená číslem 3) byla vyčištěna ručně pomocí kartáčku a rozpouštědla. Tato metoda, ačkoli pracnější a časově náročnější než předchozí, umožňuje pečlivější a hlubší čištění. Kartáček může dosáhnout do obtížně přístupných míst a rozpouštědlo pomáhá rozložit a odstranit těžko odstranitelné nečistoty.



Obrázek 3.5 Flux Remover

Čtvrtá deska (označená číslem 2) byla očištěna pomocí myčky na nejrychlejší program. Tento způsob čištění kombinuje mechanický tlak vody a chemické čištění poskytované čisticím prostředkem v myčce. Jedná se o velmi efektivní metodu pro odstranění velkého množství nečistot, ale může být pro některé citlivé součástky příliš agresivní. Jako čisticí prostředek byl použit DECOTRON CP359.

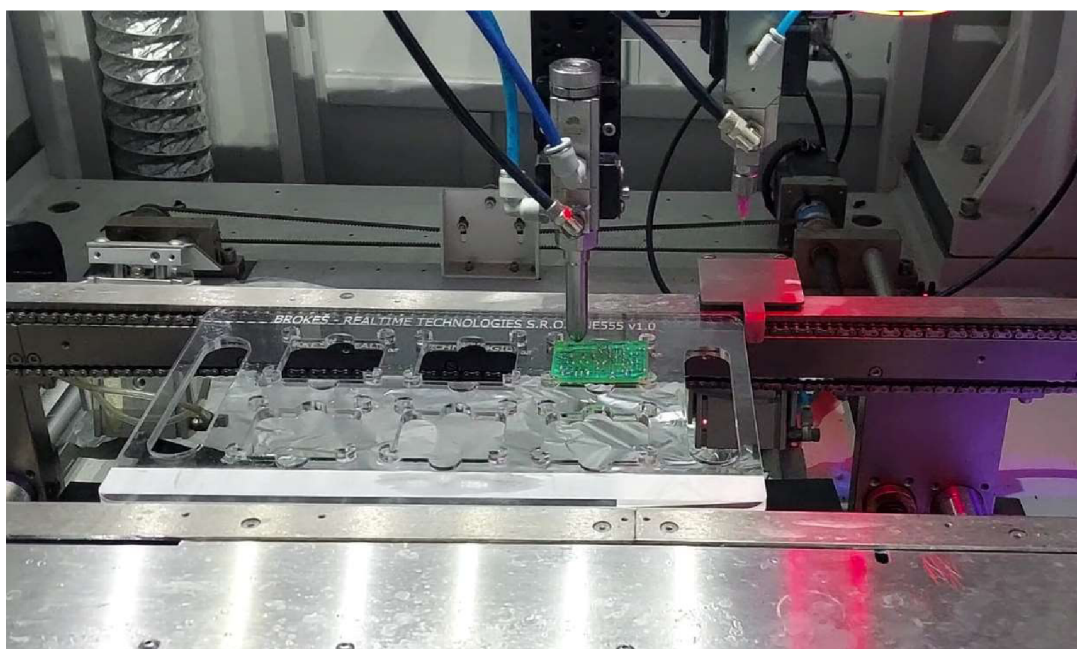
Pátá deska (označená číslem 4) byla ošetřena pomocí technologie plazmového vyvíječe. Ruční plazmový vyvíječ byl použit s rychlostí pohybu 20 mm/s. Jedná se o proces, který dokáže efektivně odstraňovat těžko odstranitelné nečistoty a zbytky pájky.

Šestá deska (označená číslem 5) byla také ošetřena plazmovým vyvíječem, avšak s menší rychlostí pohybu - 10 mm/s. Tento pomalejší postup umožňuje vyvíječi delší kontakt s povrchem desky a potenciálně umožňuje ještě hlubší čištění. Je to ukázka toho, jak může být plazmová technologie flexibilně upravena pro různé účely a jak může drobná modifikace v procesu jako je změna rychlosti pohybu vyvíječe mít významný dopad na výsledný efekt čištění.



### 3.4 ZALAKOVÁNÍ DESEK

Pokračování experimentu po ošetření desek plošných spojů bylo poznamenáno důležitým krokem a to procesem lakování. Tento proces měl zásadní vliv na celkovou účinnost a trvanlivost ošetření desek. Všechny desky, jak ty, které prošly ošetřením, tak i ty, které zůstaly neošetřeny, byly přesunuty do lakovacího stroje. Tento stroj je navržen tak, aby byl schopen precizně aplikovat tenkou vrstvu laku na desky plošných spojů pomocí metody spreje. Tento postup zajišťuje rovnoměrnou pokrytí celé plochy desky a zajišťuje tak její maximální ochranu.



Obrázek 3.6 Lakování testovací desky

Pro účely tohoto pokusu byl zvolen určitý typ laku, který je pod UV světlem dobře viditelný. Tento lak byl poskytnut společností Lackwerke Peters GmbH, která je významným hráčem v oboru lakování elektronických komponent. Společnost Lackwerke Peters GmbH je známa svou dlouholetou zkušeností, technologickým know-how a špičkovou kvalitou svých produktů. Viditelnost laku pod UV světlem je velmi důležitá pro kontrolu kvality a přesnosti procesu lakování.

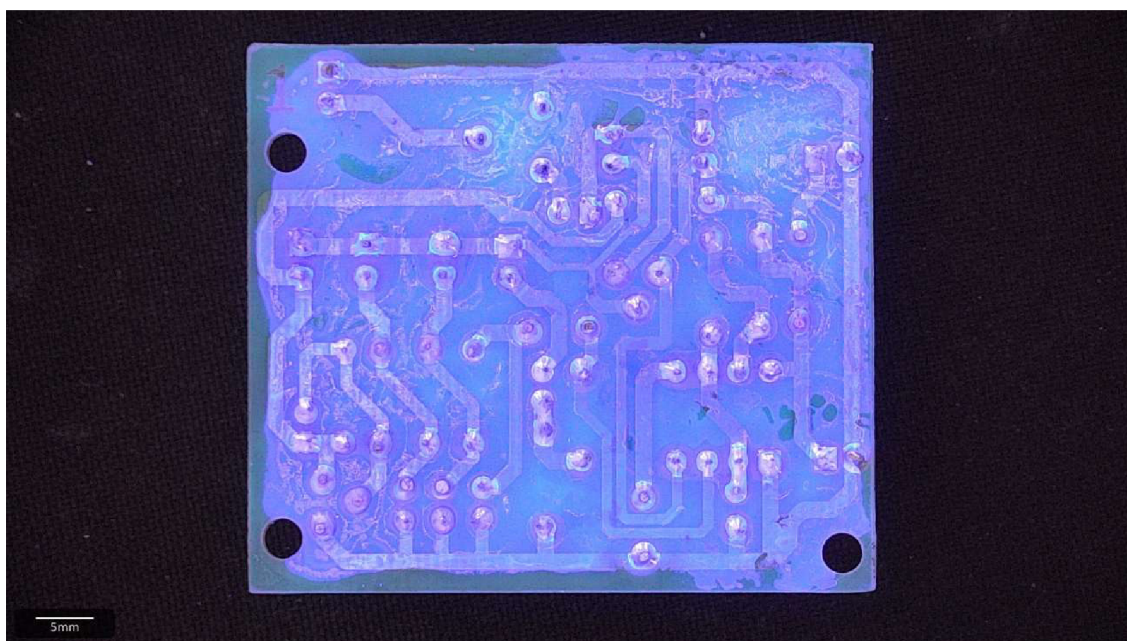
Je důležité zdůraznit, že proces lakování byl zahájen téměř okamžitě po ošetření desek, aniž by došlo k jakékoliv prodlevě. Tato rychlá reakce byla zvláště kritická u desek ošetřených plazmou. Plazmové ošetření je sice efektivní metodou pro odstranění nečistot a zvýšení adheze povrchu, ale jeho účinnost může postupně slábnout s časem. Tím, že byly desky zalakovány ihned po ošetření, bylo zajištěno, že plný potenciál plazmového

ošetření byl zachován. Toto bylo klíčové pro maximalizaci účinnosti celého procesu a pro dosažení optimálních výsledků v experimentu.

## 3.5 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ZALAKOVÁNÍ

### 3.5.1 Nečištěná deska

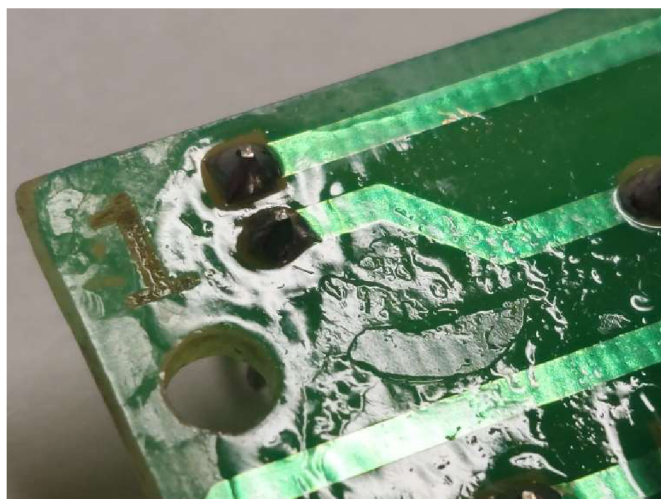
V rámci tohoto experimentu byl proveden test zaměřený na významné zkoumání vlivu čištění desek plošných spojů na následnou kvalitu lakování. Pro realizaci tohoto pokusu byly zvoleny desky, které nebyly vůbec čištěny a byl na ně aplikován lakovací proces.



Obrázek 3.7 Nečištěná deska – UV

Po prozkoumání výsledků se jasně ukázalo, že lakování desek bez předchozího čištění vedlo k značnému poklesu kvality konečného povrchu. Povrch lakované desky nebyl uniformní a celistvý, jak by bylo ideální pro optimální funkčnost a dlouhověkost produktu. Na některých místech bylo možné pozorovat chybějící lak, což je důkazem nedostatečné přípravy povrchu před aplikací lakování.

Zvláště zřejmé byly stopy tavidla, které zůstaly na povrchu desky i po nanesení laku. Tavidlo jako zbytková látka z pájecího procesu, zanechává nežádoucí stopy, které mohou způsobit v budoucnu potíže, ačkoli nejsou okamžitě patrné. Tavidlo může postupně ovlivnit kvalitu laku, narušit jeho strukturu a tím snížit jeho životnost a ochranné vlastnosti.



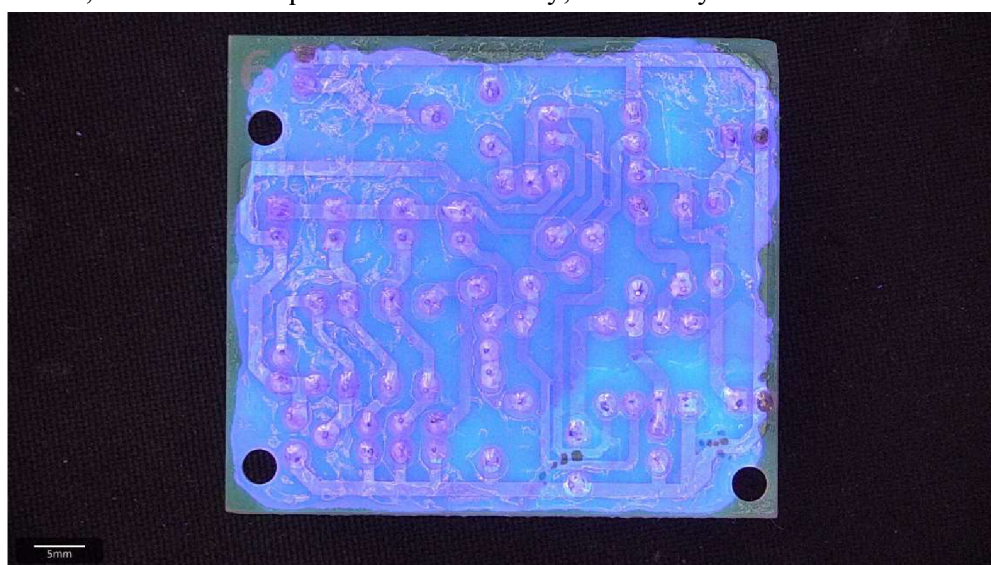
Obrázek 3.8 Nečištěná deska – detail

Kromě toho byly zaznamenány další oblasti, kde lakový povrch nekryl plně pájecí plošky. To může mít negativní dopad na celkovou spolehlivost a funkčnost desky plošných spojů, jelikož odkryté pájecí plošky jsou náchylnější ke korozivním procesům a mohou tak snížit životnost výrobku.

Tento pokus jasně ukazuje důležitost čištění desek plošných spojů před lakováním. Absence čištění výrazně ovlivňuje kvalitu naneseného laku a může vést ke kompromisům v kvalitě a dlouhověkosti výsledného produktu.

### 3.5.2 Stlačený vzduch

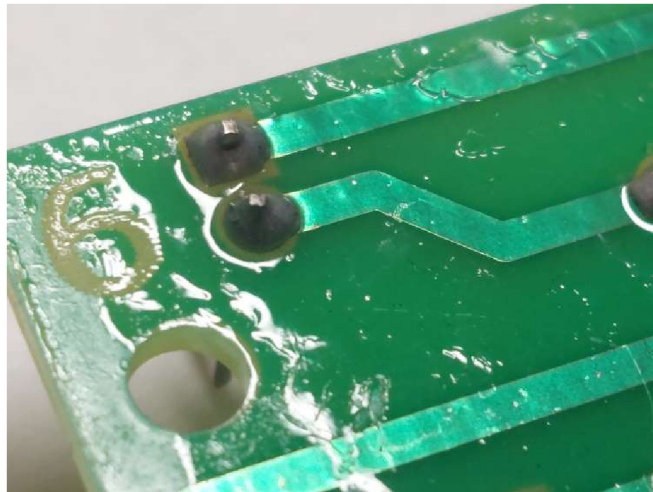
Dalším krokem v rámci experimentu bylo provedení testu na desce, která prošla procesem očištění stlačeným vzduchem před lakováním. Výsledky tohoto pokusu nabízely srovnatelné, avšak mírně lepší obraz než u desky, která nebyla vůbec čištěna.



Obrázek 3.9 Čištěno stlačeným vzduchem – UV

Podobně jako u předchozího pokusu, i zde lakový povrch nevykazoval uniformitu a celistvost, které byly požadovány. V některých částech desky povrch zcela chyběl, což naznačuje nedostatečnou přípravu povrchu i po očištění stlačeným vzduchem. Pájecí plošky opět nebyly dostatečně pokryty, což může vést k problémům spojeným s korozí a funkcí v budoucnu.

Významným ukazatelem problémů byla i stále přítomná stopa tavidla pod lakem. Stejně jako v předchozím pokusu, tyto zbytky tavidla mohou narušovat kvalitu a životnost lakové vrstvy a ovlivňovat tak výkon a dlouhověkost desky plošných spojů. Nicméně, oproti desce, která nebyla vůbec čištěna, tato deska vykazovala mírně lepší výsledky v oblasti mechanických nečistot. Bylo zaznamenáno méně prachu a kuliček pájky, což naznačuje, že použití stlačeného vzduchu jako metoda čištění má určitý vliv na odstraňování těchto nečistot z povrchu.

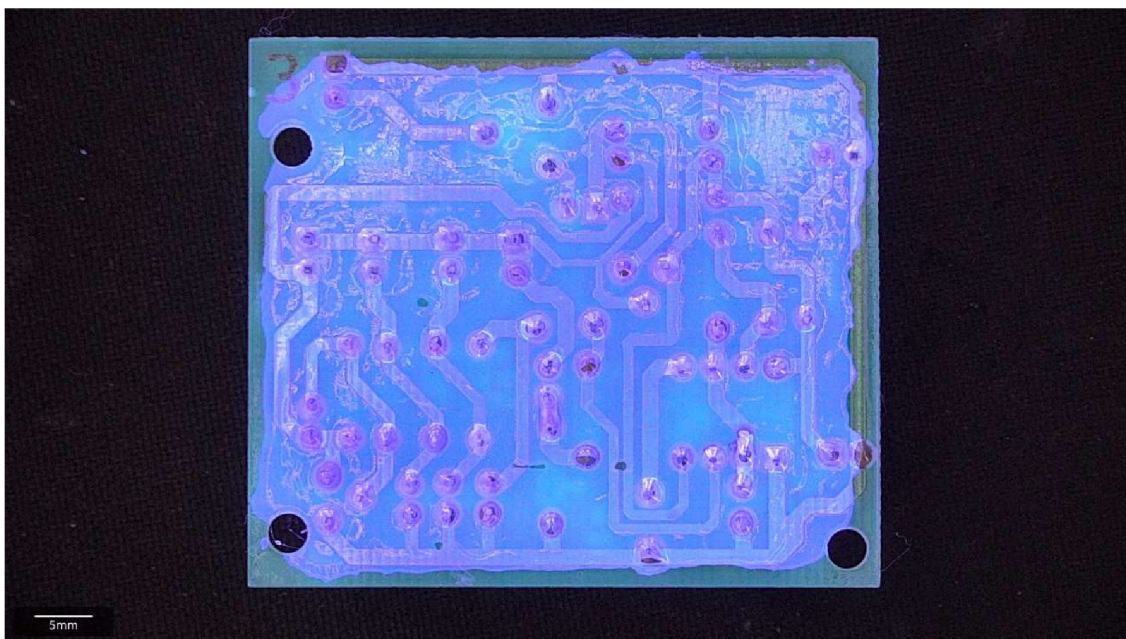


Obrázek 3.10 Čištěno stlačeným vzduchem – detail

V konečném důsledku však i tento test potvrzuje důležitost komplexního a důkladného čištění před procesem lakování. I když byly dosaženy jisté zlepšení v odstraňování mechanických nečistot, celková kvalita lakové vrstvy a jeho přilnavost k pájecím ploškám zůstává nedostatečná. Dále tento experiment ukazuje, že očištění stlačeným vzduchem samo o sobě není dostatečné pro optimalizaci procesu lakování.

### 3.5.3 Odstraňovač tavidla

V rámci další fáze experimentu bylo provedeno ruční čištění povrchu desky za využití odstraňovače tavidla "Flux Remover" a speciálního kartáčku. Výsledek této metody ukázal značné zlepšení v porovnání s předchozími pokusy.

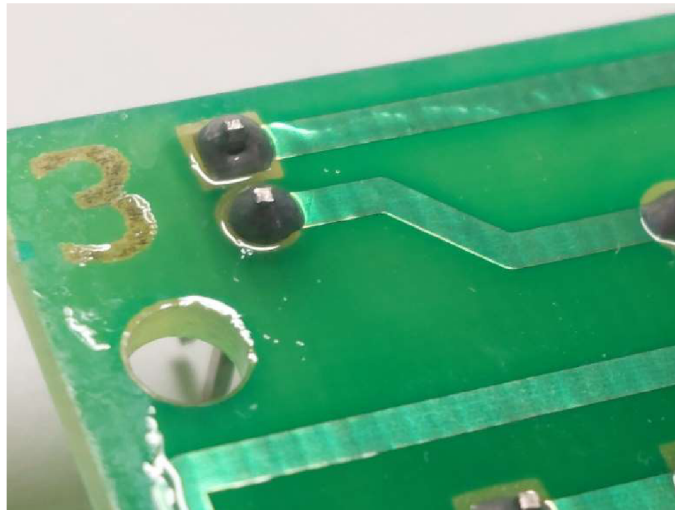


Obrázek 3.11 Čištěno odstraňovačem tavidla – UV

Lakovaný povrch na ručně čištěné desce vykazoval mnohem větší uniformitu a celistvost. Nebyly patrné žádné zbytky tavidla či mechanické nečistoty, což bylo značně odlišné od výsledků předchozích pokusů, kde tyto nečistoty zůstávaly pod vrstvou laku a značně narušovaly jeho kvalitu. Také pájecí plošky byly většinou pokryty lakem, což naznačuje lepší ochranu a potenciálně delší životnost desky.

Nicméně, přestože tato metoda čištění přinesla výrazné zlepšení kvality lakové vrstvy, je třeba zohlednit její nároky. Tento postup vyžaduje ruční práci a je časově náročný, což může být limitující faktor pro jeho aplikaci v průmyslové výrobě. Pokud by bylo cílem dosáhnout úplného pokrytí pájecích plošek, bylo by třeba zvolit silnější vrstvu laku. Nicméně pro účely tohoto experimentu a pro snazší porovnatelnost výsledků s předchozími pokusy byla zvolena co nejtenčí vrstva.

V souhrnu tedy lze uvést, že ruční čištění s odstraňovačem tavidla představuje účinnou metodu přípravy povrchu desky před lakováním, avšak je třeba zohlednit jeho časovou a pracovní náročnost.

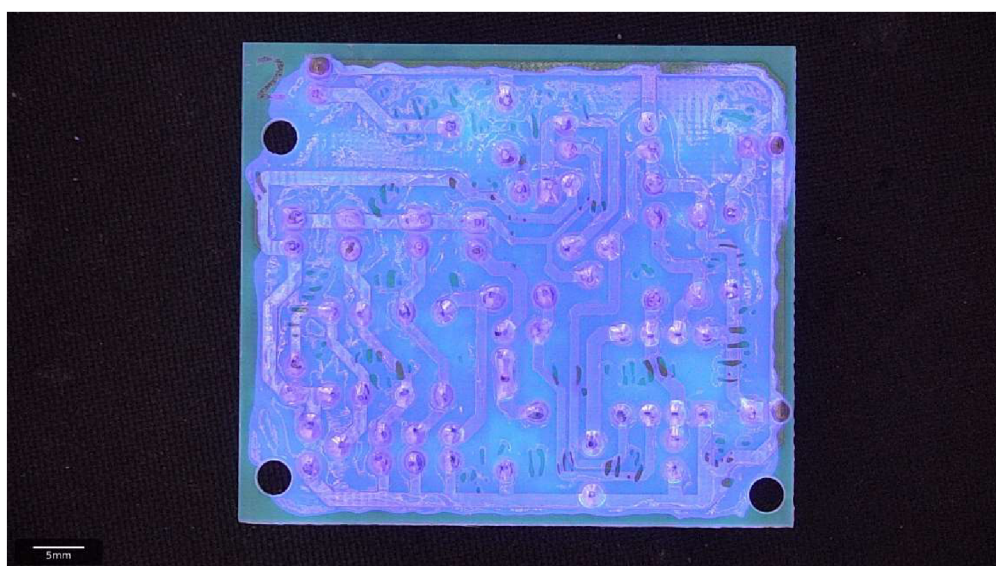


Obrázek 3.12 Čištěno odstraňovačem tavidla – detail

### 3.5.4 Průmyslová myčka

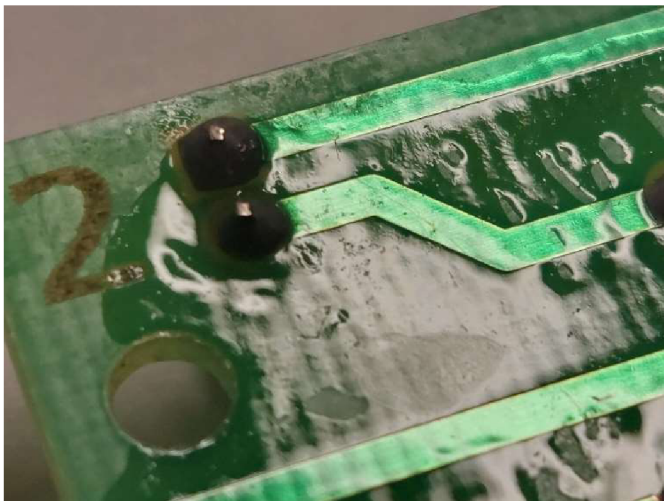
V další etapě experimentu bylo použito průmyslové čištění s mycím přípravkem DECOTRON CP359. Volba byla upravena tak, aby zahrnovala rychlé mytí a následné sušení, což představovalo další metodu přípravy desek před aplikací laku.

Výsledný lakovaný povrch prokázal značnou kvalitu, přičemž byl umyt téměř beze zbytku. Avšak po zalakování se lak na několika místech rozestoupil, což vedlo k vytvoření malých nezalakovaných oblastí. Tato skutečnost je pravděpodobně způsobena rychlým a ne zcela kompletním procesem mytí. Dalším faktorem, který mohl ovlivnit výsledek, je použití staršího mycího přípravku DECOTRON, který byl v myčce již předtím.



Obrázek 3.13 Čištěno v myčce – UV

Pro porovnání s předchozími metodami čištění lze říci, že průmyslové mytí představuje účinnou alternativu, která dosahuje vyšší úrovně čistoty povrchu než pouhé odfukování vzduchem nebo nečištění. Ale i přes své výhody je třeba uvážit několik aspektů.



Obrázek 3.14 Čištěno v myčce – detail

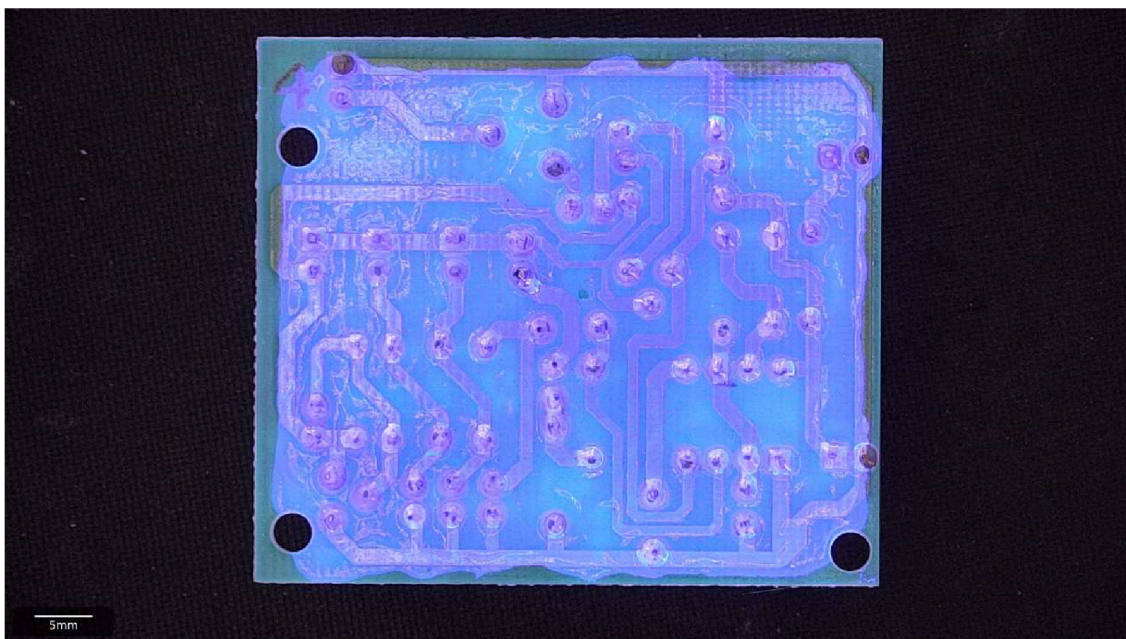
Na jedné straně, průmyslová myčka má potenciál dosáhnout ještě lepších výsledků, pokud by byla myčka řádně vyčištěna a byl by zvolen komplexní program mytí. Na druhé straně její provoz je časově a především energeticky náročnější než ruční čištění nebo odfukování vzduchem, což může být faktor, který omezuje její široké uplatnění v průmyslové výrobě.

Výsledkem této fáze testování je tedy zjištění, že průmyslové mytí nabízí kvalitní čištění povrchu, ale je třeba zohlednit jeho nároky na energii a čas a optimalizovat proces mytí pro dosažení nejlepších výsledků.

### 3.5.5 Plazma

Při dalším experimentálním pokusu byla k očištění desek plošných spojů využita technologie plazmy. Tento postup byl realizován pomocí ručního vyvíječe plazmy, který byl posunován rychlostí 20 mm/s přes povrch desky.

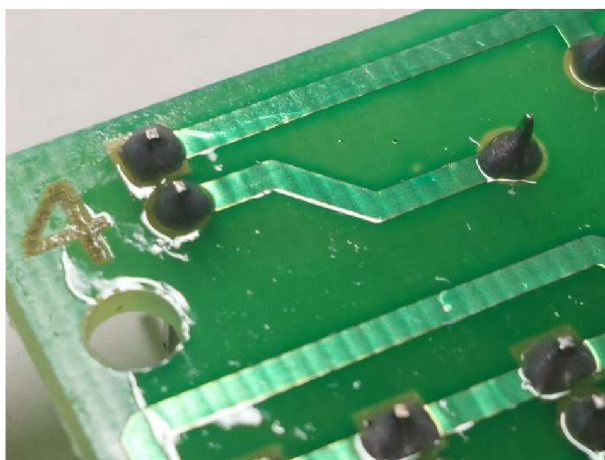
Na povrchu desek po ošetření plazmou byly i nadále patrné hrubé nečistoty, avšak i přesto se projevilo částečné snížení množství tavidla. Bylo zaznamenáno, že plazma, přestože nebyla úplně efektivní v odstraňování hrubých nečistot, přispěla k mírnému odstranění tavidla z povrchu desek.



Obrázek 3.15 Čištěno plazmou – UV

Po aplikaci laku bylo zjištěno, že lak pokrývá celý povrch desky a vytváří celistvou vrstvu navzdory přítomnosti hrubých nečistot. Toto ukazuje na jednu z klíčových předností ošetření plazmou, jelikož i přes určité nedostatky při odstraňování nečistot dokázala tato technika připravit povrch desky pro následnou aplikaci laku.

V porovnání s předchozími metodami čištění byl rovněž zaznamenán značný rozdíl při lakování plastových pouzder součástek. Ty byly po plazmovém ošetření pokryty lakem velmi rovnoměrně, což demonstruje potenciál tohoto přístupu pro přípravu různých materiálů na lakování.



Obrázek 3.16 Čištěno plazmou – detail

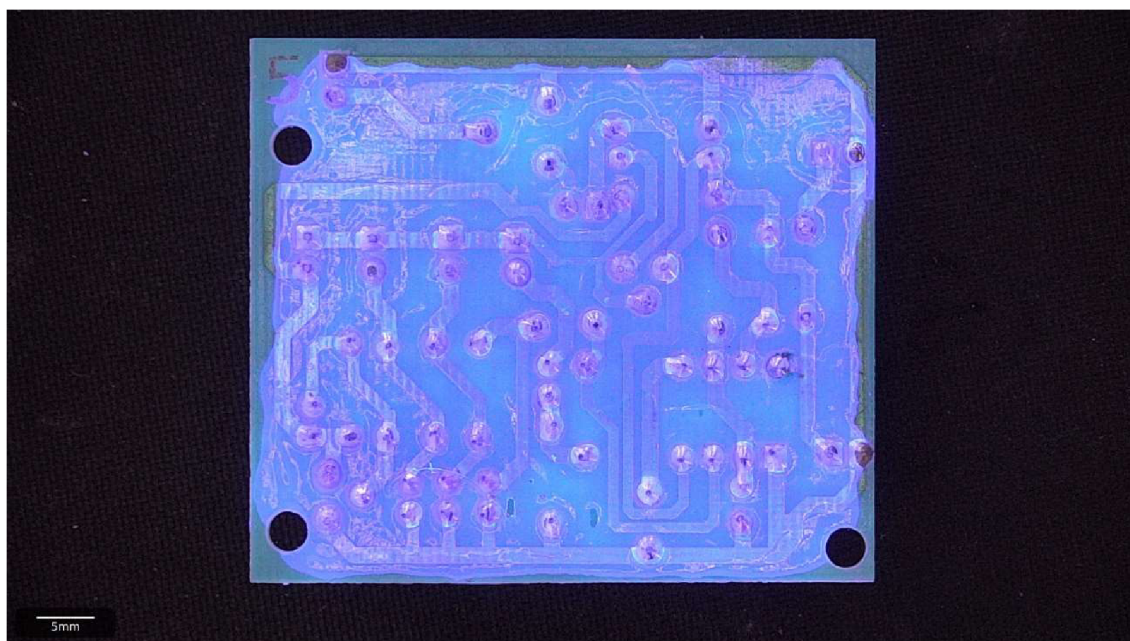


Důležitým zjištěním bylo, že plazma byla schopna skutečně upravit povrchové napětí desek. Tato vlastnost může výrazně přispět ke zlepšení kvality lakování a může být využita v mnoha aplikacích v oblasti výroby plošných spojů.

Lze konstatovat, že plazmové ošetření představuje potenciálně efektivní metodu pro čištění desek plošných spojů před aplikací laku. I přes některé problémy spojené s odstraňováním hrubých nečistot tato technika ukázala svou hodnotu v kontextu zajištění kvalitní a rovnoměrné aplikace laku.

### 3.5.6 Plazma a stlačený vzduch

Poslední fáze testovacího cyklu kombinovala využití plazmy a stlačeného vzduchu v rámci použití prototypu s robotickým ramenem. Tato metoda představovala integraci dvou přístupů k čištění, které byly dříve testovány samostatně s očekáváním, že spojení těchto technik povede k optimálním výsledkům.



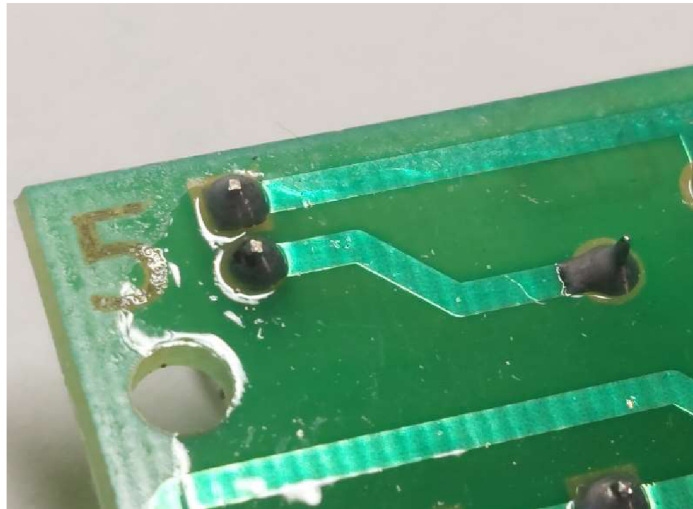
Obrázek 3.17 Čištěno plazmou a vzduchem – UV

Při tomto postupu byl stlačený vzduch přiveden přímo k vyvíječi plazmy a směřoval k ošetřované desce. Rychlost pohybu plazmy byla v tomto pokusu snížena na 10 mm/s, což byla poloviční rychlost oproti předchozímu pokusu s plazmou.

Po aplikaci laku bylo zjištěno, že povrchová kvalita laku byla srovnatelná s předchozím plazmovým pokusem, což ukazuje na účinnost plazmy ve vytváření povrchových podmínek, které jsou vhodné pro lakování. Významný rozdíl však byl

pozorován v úbytku mechanických nečistot. Stlačený vzduch pravděpodobně přispěl k odstranění těchto nečistot, čímž došlo ke zlepšení celkové kvality laku.

Dále bylo potvrzeno, že kvalita laku na plastových pouzdrech součástek byla opět vysoká, což je v souladu s předchozími výsledky pokusů s plazmou. V kontextu předchozích testů je tento pokus zvláště zajímavý, protože integruje poznatky získané z předchozích pokusů. Na základě výsledků předchozích testů s ručním čištěním, průmyslovým mycím procesem, plazmovým ošetřením a použitím stlačeného vzduchu, byla tato metoda navržena tak, aby kombinovala nejlepší aspekty těchto přístupů.



Obrázek 3.18 Čištěno plazmou a vzduchem – detail

Tento kombinovaný přístup představuje účinnou cestu k optimalizaci procesu čištění před lakováním. Plazma se ukázala jako účinný nástroj pro přípravu povrchu desky na lakování, zatímco stlačený vzduch zlepšil odstranění hrubých nečistot. Celkově se zdá, že tento pokus představuje krok směrem k optimalizování kvality lakování desek plošných spojů.

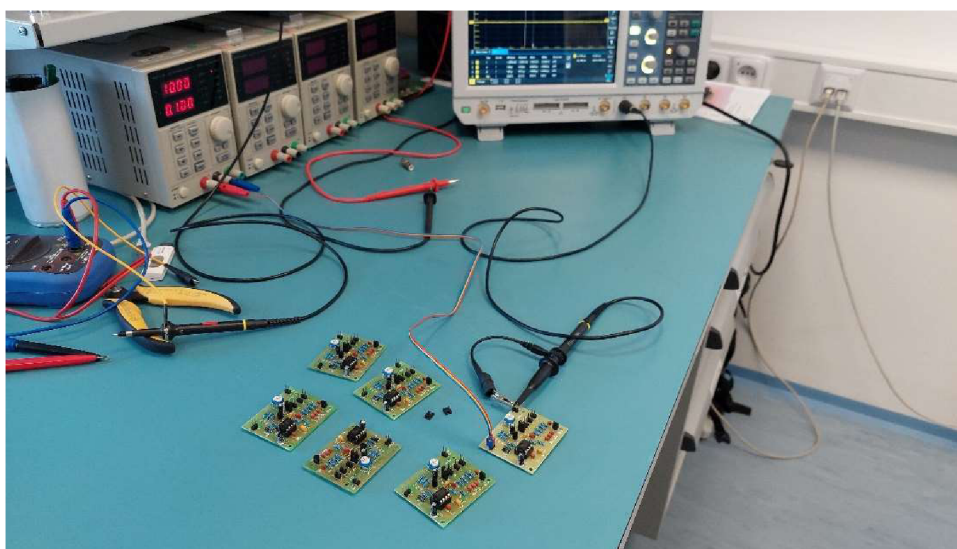
Je důležité podotknout, že tato metoda kombinuje výhody jednotlivých technik, přičemž minimalizuje jejich nevýhody. Stlačený vzduch, který byl sám o sobě dříve neefektivní v odstranění všech nečistot a tavidla, se v kombinaci s plazmou ukázal být účinným nástrojem pro čištění hrubých nečistot. Na druhé straně plazma, ačkoli neodstranila všechny nečistoty, vytvořila ideální povrchové napětí pro nanesení laku, což zvýšilo jeho celkovou kvalitu a celistvost.

Jednou z klíčových výhod tohoto kombinovaného přístupu je, že zlepšuje efektivitu procesu bez nutnosti ruční práce, jak tomu bylo u pokusu s ručním čištěním, což je časově náročné a může být v průmyslovém měřítku nepraktické.

Zároveň tato metoda překonává omezení průmyslové myčky, která i přes svou účinnost přináší vyšší energetickou náročnost a potenciální problémy s rozestupováním laku na některých místech. Je zřejmé, že výsledky tohoto pokusu poskytují přínosné informace, které mohou napomoci k další optimalizaci procesu lakování desek plošných spojů, což může vést k vyšší produktivitě, nižším nákladům a lepší kvalitě výsledného produktu.

### 3.6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI DESEK

Po dokončení procesu lakování následovala další část experimentu, kterou představovalo testování funkčnosti generátorů pulzů na všech deskách. Pro každou desku byly změřeny její specifické průběhy. První měření se uskutečnilo před očištěním desek, druhé měření pak následovalo po očištění a zalakování. Bylo zvoleno toto dvoustupňové měření, aby bylo možné sledovat jakékoliv změny nebo odchylky v elektrických charakteristikách generátorů pulzů způsobené procesem očištění a lakování.

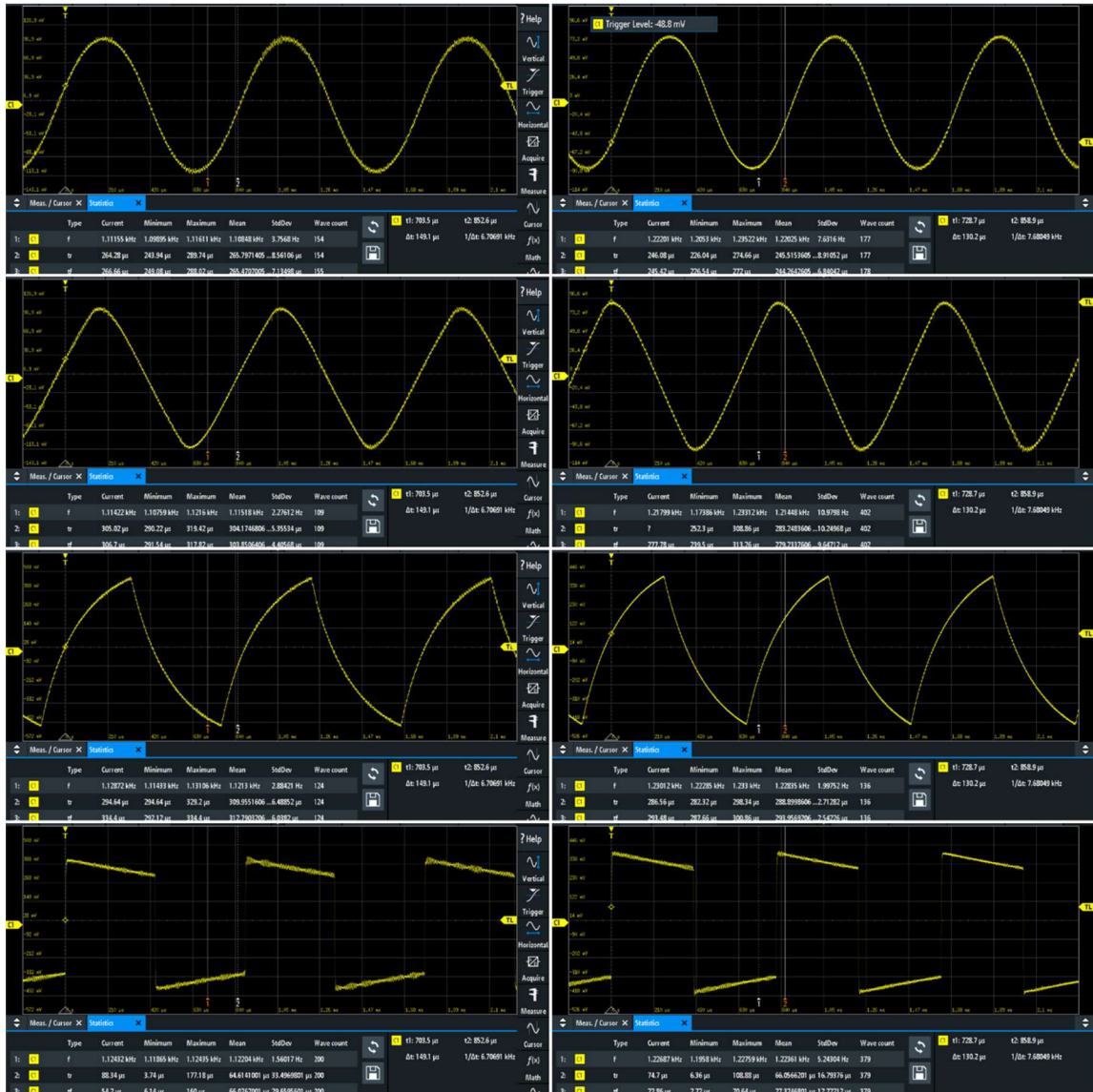


Obrázek 3.19 Testování desek v laboratoři

Z důležitých podrobností experimentu stojí za zmínku, že lak na deskách byl nechán vytvrdnout po dobu 72 hodin. Tento časový úsek byl pečlivě vybrán tak, aby bylo zajištěno, že lak je plně vytvrzený a připravený na následné testování. To zajišťuje, že výsledky měření jsou co nejpřesnější a nejrepresentativnější.

Samotné měření probíhalo v dobře vybavené laboratoři s kontrolovanými podmínkami. Pro zajištění nejvyšší možné přesnosti a spolehlivosti výsledků byly použity

osciloscipy od výrobce ROHDE & SCHWARZ. Tato značka je uznávána pro své kvalitní nástroje a jejich schopnost poskytnout precizní a konzistentní výsledky.



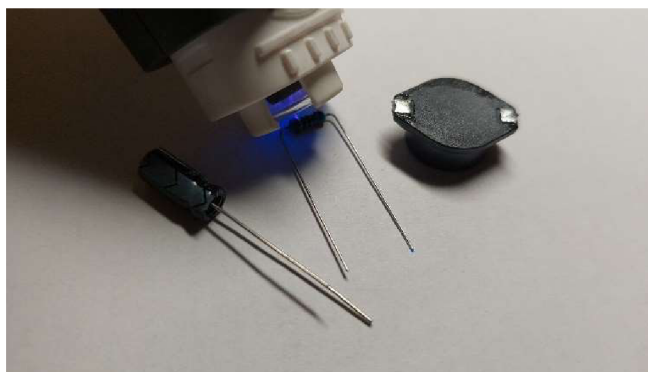
Obrázek 3.20 Porovnání charakteristik (vlevo před plazmou, vpravo po plazmě)

Je důležité zdůraznit, že napětí bylo pro obě měření nastaveno na stejnou úroveň 10 V. Tento krok byl proveden s cílem zajištění srovnatelnosti výsledků obou měření. Toto nastavení umožnilo identifikovat a analyzovat jakékoliv změny v charakteristikách generátorů pulzů, které by mohly být přímo spojeny s procesem očištění a lakování.

Z výsledků lze usoudit, že plazma neměla žádný vliv na funkčnost obvodu. Průběhy i po ošetření mají požadovaný tvar i s korektní frekvencí a amplitudou.

### 3.7 OŠETŘENÍ JEDNOTLIVÝCH SOUČÁSTEK

Z hlediska úplnosti a důkladnosti byla v experimentu zahrnuta také fáze zkoušky nezapájených pasivních součástek. Konkrétně se jednalo o rezistor, kondenzátor a cívku, které byly podrobeny plazmové expozici po dobu jedné minuty. Jedinečnost tohoto postupu spočívala v tom, že namísto zkoumání komplexního zapojení desek plošných spojů byl každý z těchto prvků testován samostatně, čímž byl experiment zaměřen přímo na interakci mezi plazmou a jednotlivými prvkovými součástkami.



Obrázek 3.21 Ošetřování jednotlivých součástek

Před expozicí plazmy byla u každé z těchto součástek desetkrát změřena její hlavní elektrická charakteristika – u rezistoru to byl odpor, u kondenzátoru kapacita a u cívky induktance. Následně, po plazmovém ošetření, byla série měření zopakována s cílem zjistit, zda plazmová expozice měla na tyto charakteristiky nějaký vliv.

Všechny naměřené hodnoty byly poté převedeny do přehledné tabulky pro snadné srovnání a analýzu. Z těchto získaných dat vyplývá, že delší expozice plazmou neměla na pasivní součástky žádný zřejmý vliv. Tento výsledek je významný, protože dokládá, že použitá technika čištění plazmou nevede k nežádoucím změnám v elektrických vlastnostech těchto základních prvků, což dále podporuje její potenciální uplatnění v široké škále aplikací.

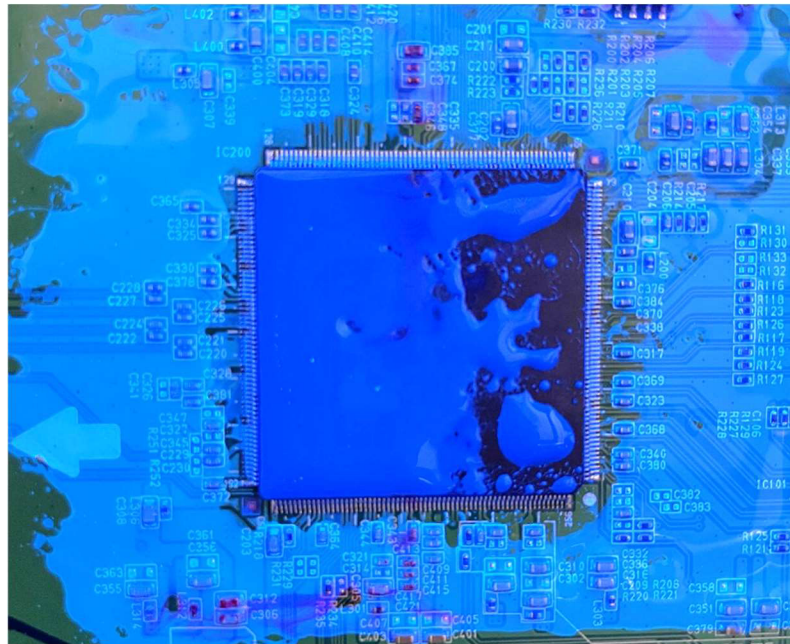
Tabulka 3.1 Vyhodnocení měření

Součástka	Typ	Číslo měření										Průměr	Odchylka [%]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Rezistor 10kΩ ±1%	Před plazmou [kΩ]	9,974	9,991	9,982	9,952	10,005	10,013	9,983	10,010	9,978	10,012	9,990	-0,10
	Po plazmě [kΩ]	9,985	10,005	10,003	10,025	9,943	10,004	10,003	9,988	9,993	10,001	9,995	-0,05
Kondenzátor 33μF ±10%	Před plazmou [μF]	30,7	36,7	30,9	35,9	33,9	34,0	35,0	30,4	33,0	31,8	33,23	0,70
	Po plazmě [μF]	30,3	29,7	35,2	33,9	30,8	32,7	37,0	34,5	34,3	35,1	33,35	1,06
Induktor 22μH ±10%	Před plazmou [μH]	21,9	21,9	22,2	22,0	21,5	22,0	22,8	22,0	22,8	21,4	22,05	0,23
	Po plazmě [μH]	21,4	21,8	22,7	22,6	20,5	22,9	23,3	21,0	23,4	20,6	22,02	0,09

### 3.8 REGENERACE DESEK

V rámci experimentálního výzkumu aplikace plazmy na ošetřování desek plošných spojů byla prověřena také možnost regenerace starších desek. Tento aspekt je obzvláště důležitý v kontextu udržitelnosti a opětovného využití materiálů, což jsou stále naléhavější otázky v současné výrobní praxi.

Konkrétně byla v pokusu využita jedna starší deska, na níž byla vizuálně vyznačena oblast určená k ošetření plazmou. Druhá, neošetřená polovina desky sloužila jako kontrolní vzorek pro přímé srovnání výsledků. Po ošetření a následném nalakování byla výrazně patrná rozdílnost mezi ošetřenou a neošetřenou částí. Ošetřená část desky ukázala pozoruhodnou schopnost regenerace. Povrch byl kvalitně nalakovaný, lak se rovnoměrně rozléval a vytvořil homogenní vrstvu.

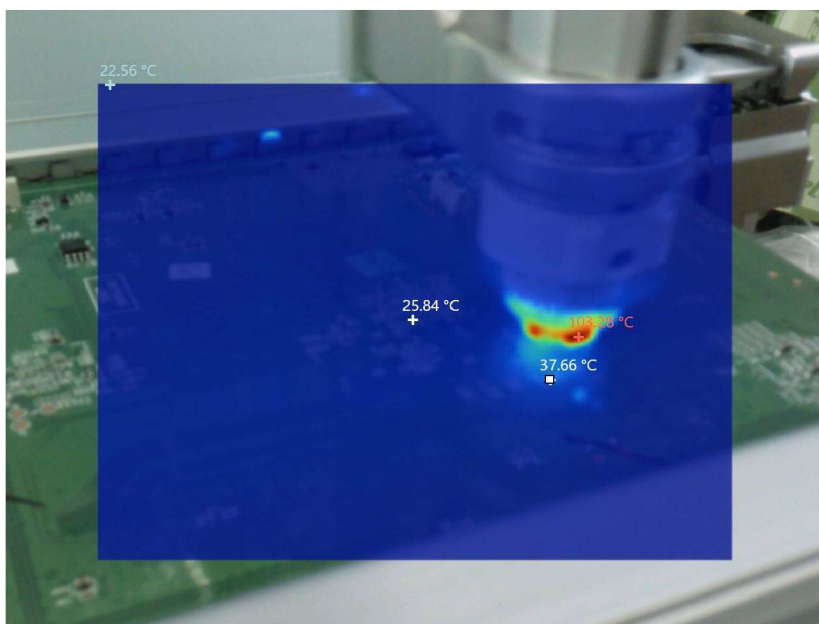


Obrázek 3.22 Regenerace starých desek

Naopak neošetřená část desky vykazovala znaky nepříznivé interakce mezi povrchem desky a lakem. Lak se na této části nechtěl adekvátně rozlévat a celkově se povrch desky choval analogicky s mastným povrchem, což negativně ovlivnilo výslednou kvalitu lakování. Tyto výsledky dále podporují potenciál plazmového ošetření jako efektivní metody pro zlepšení kvality lakování a potenciálně prodloužení životnosti desek plošných spojů prostřednictvím regenerace.

### 3.9 TEPELNÉ NAMÁHÁNÍ

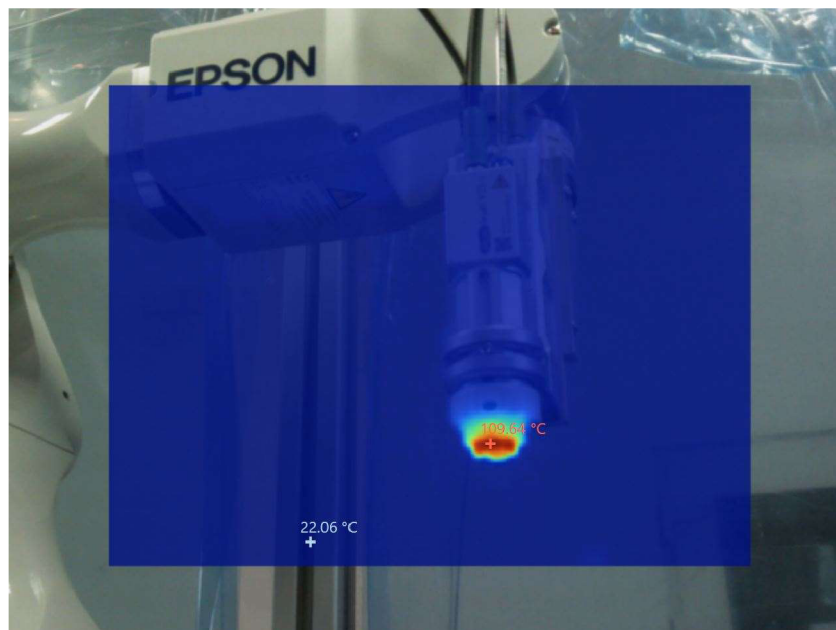
Posledním experimentem studie bylo vyhodnocení tepelného namáhání desek plošných spojů během ošetřování plazmou. Tento důležitý aspekt procesu je důležitý pro pochopení možných dopadů plazmového ošetření na elektronické součástky a celkovou integritu desky plošných spojů.



Obrázek 3.23 Měření přenosu tepla termokamerou

V rámci tohoto pokusu byla použita termokamera, což je nástroj schopný snímat a vizualizovat tepelné profily různých objektů a materiálů. Pro tento test byla speciálně vybrána deska plošných spojů s nízkoprofilovými SMD součástkami. Tento výběr byl proveden s ohledem na to, aby vyvíječ mohl přejíždět bez změny výšky přes celou desku.

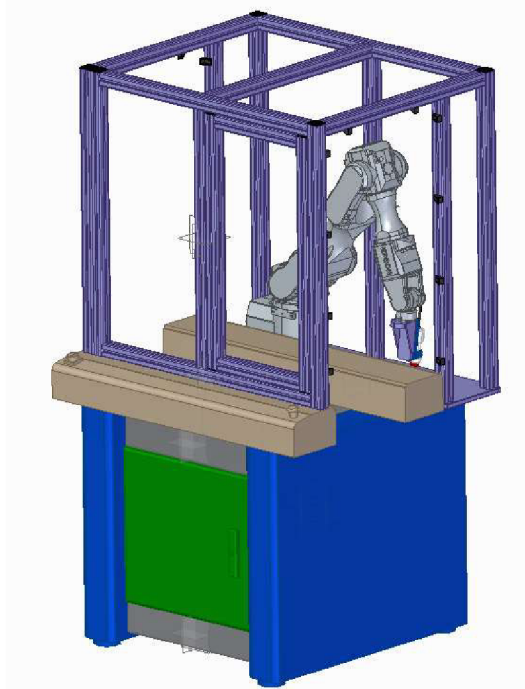
Měření ukazují, že i při delším provozu plazmového vyvíječe teplota na konci nástroje dosahuje maximálně 110°C. Tato hodnota se týká pouze samotného vyvíječe, nikoli desky plošných spojů, která je ošetřována. Další klíčové zjištění z experimentu je, že na záznamech z termokamery nebyla patrná výrazná změna teploty desky během nebo po ošetření plazmou. To je jasným indikátorem, že proces plazmového ošetření nezanechává žádné zřetelné tepelné stopy na desce. Plazmové ošetření je tedy šetrné k elektronickým součástkám na desce a lze jej bezpečně používat i na citlivých a tepelně náročných zařízeních.



Obrázek 3.24 Měření teploty vyvíječe plazmy

### 3.10 FUNKČNÍ PROTOTYP

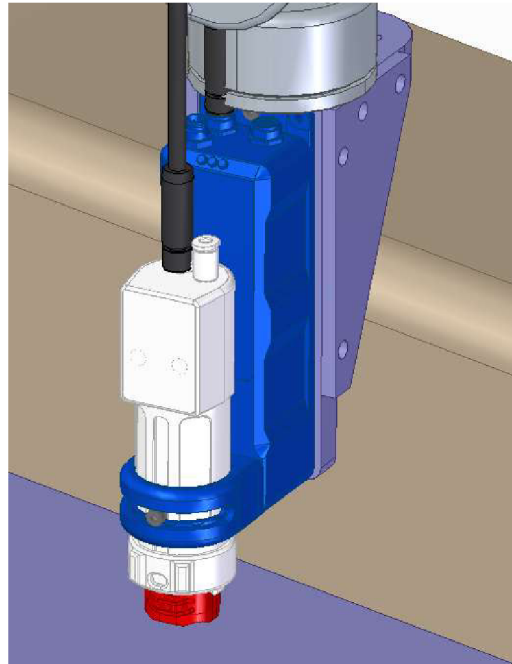
V rámci tohoto projektu byla realizována komplexní procedura, sahající od návrhu až po fyzickou implementaci. S využitím výkonného softwarového nástroje SolidEdge byl vytvořen detailní 3D model prototypu s integrovaným plazmovým vyvíječem, určený k implementaci do stávající výrobní linky.



Obrázek 3.25 3D model prototypu



Počáteční etapou procesu bylo modelování všech nezbytných komponent. Pomocí SolidEdge byly tyto komponenty navrženy s důrazem na vysokou úroveň přesnosti a realistického zobrazení, což umožnilo detailní náhled na celkovou konstrukci zařízení. Po dokončení modelovací fáze následoval proces objednávky a montáže jednotlivých součástí. Tato fáze byla realizována na základě specifikací a rozměrů získaných z vymodelovaného prototypu. Následovalo kompletní elektrické i pneumatické zapojení a následné naprogramování.



Obrázek 3.26 Detail uchycení vyvíječe plazmy

Významnou součástí tohoto funkčního prototypu bylo šestiosé robotické rameno C4, pocházející od firmy Epson. Toto moderní rameno představovalo důležitou komponentu celkové sestavy, poskytující potřebnou flexibilitu a přesnost pro manipulaci s plazmovým vyvíječem v rámci výrobního procesu.

Součástí projektu bylo také začlenění standardizovaného komunikačního protokolu SMEMA. Tento protokol je v průmyslu považován za klíčový pro zajištění hladké a efektivní komunikace mezi jednotlivými stroji v rámci výrobní linky. Protokol SMEMA neboli Surface Mount Equipment Manufacturers Association, je univerzální řešení zajišťující bezproblémový přenos informací mezi předcházejícími a následujícími stroji v procesu výroby. Jeho integrace do prototypu poskytuje zásadní přínos pro automatizovaný výrobní proces. Díky tomuto protokolu je prototyp schopen nejen komunikovat se sousedními stroji, ale také synchronizovat své činnosti s ostatními částmi výrobní linky, což zvyšuje efektivitu a snižuje prostor pro chyby.

Celkově tedy tento projekt demonstroval úspěšnou aplikaci 3D modelování v praxi, od konceptuální fáze až po finální realizaci. Důsledná příprava a plánování v kombinaci s využitím moderních technologických nástrojů umožnilo vytvoření funkčního prototypu, připraveného pro integraci do výrobní linky.



Obrázek 3.27 Funkční prototyp



Obrázek 3.28 Detail funkčního prototypu

## ZÁVĚR

V této práci byla prozkoumána problematika regenerace a čištění desek plošných spojů, přičemž se hlavní pozornost věnovala metodě plazmového ošetření. Vyvíječ plazmy, který byl v rámci projektu popsán, se ukázal jako důležitý nástroj pro provádění ošetření desek plošných spojů před samotným lakováním. Jeho schopnost modifikovat povrchové vlastnosti desek a odstraňovat kontaminanty představovala nové možnosti v oblasti čištění a regenerace desek plošných spojů.

Pro ověření efektivity plazmového ošetření byla provedena série experimentů, kde byly desky ošetřeny plazmou a následně zalakovány. Důkladné srovnání s jinými technologiemi čištění jasně ukázalo, že plazmové ošetření přináší jisté výhody jak v rovnoměrnosti nanesení laku, tak v celkové kvalitě výsledného povrchu. Byla provedena také kontrola funkčnosti desek po ošetření plazmou, která ukázala, že plazmové ošetření nepoškozuje jejich funkčnost. Dále byla prokázána schopnost plazmy regenerovat starší desky, což má využití pro snížení odpadu a zlepšení udržitelnosti v průmyslu výroby plošných spojů.

Na základě výsledků zkoumání bylo navrženo a sestrojeno zařízení s plazmovým vyvíječem určené k implementaci do výrobní linky. Toto zařízení, vybavené komunikací SMEMA pro snadnou integraci s existujícími stroji, představuje cestu k automatizovanému procesu plazmového čištění a lakování, který je schopen zajistit vysokou kvalitu a konzistenci výsledků.

Vedle technických aspektů je třeba zvážit i hospodářské a environmentální dopady plazmového ošetření. Je nutné důkladně analyzovat náklady na provoz a údržbu zařízení, stejně jako spotřebu energie a výrobu odpadu, aby bylo možné určit celkovou životní náklady a environmentální dopad tohoto procesu. Avšak oproti průmyslové myčce DPS je použití plazmy energicky výhodnější, jelikož výkon vyvíječe nepřesahuje 24 W. Dále je ale nutné zhodnotit možnosti a náklady na školení pracovníků, aby byli schopni efektivně a bezpečně pracovat s plazmovým vyvíječem a také na vypracování bezpečnostních směrnic pro manipulaci s plazmou a dalšími součástmi nového zařízení.

Tato práce poskytla základ pro další výzkum a vývoj v oblasti aplikace plazmy v průmyslu výroby plošných spojů. Získané poznatky a zkušenosti s návrhem a konstrukcí zařízení pro plazmové ošetření, stejně jako pochopení účinků plazmy na kvalitu lakování a regeneraci desek, představují přínos pro výrobu plošných spojů.

Rozšíření tohoto výzkumu by mohlo zahrnovat další testování a optimalizaci parametrů plazmového ošetření, včetně rychlosti pohybu vyvíječe a intenzity plazmy.

## LITERATURA

- [1] Materiály pro lakování desek plošných spojů. *Aktuálně na DPS* [online]. Copyright © 2023 DPS Elektronika od A do Z. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:24885/materialy-pro-lakovani-desek-plosnych-spoju>
- [2] Selektivní lakování osazených desek plošných spojů. *Aktuálně na DPS* [online]. Copyright © 2023 DPS Elektronika od A do Z. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:4739/selektivni-lakovani-osazenych-desek-plosnych-spoju>
- [3] FRIDRICHOVSKÝ, Martin. *Ochrana desek plošných spojů před vlivy prostředí* [online]. Plzeň, 2017 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27958/1/DP\\_Martin\\_Fridrichovsky.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27958/1/DP_Martin_Fridrichovsky.pdf). Diplomová práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ.
- [4] Useful Tips for PCB Cleaning | PCBA Store. *PCB Manufacturing and PCB Assembly All Under One Roof | PCBA Store* [online]. Copyright © [pcbstore.com](http://pcbstore.com), All Rights [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.pcbastore.com/blogs/pcb-cleaning.html>
- [5] Cleaning Printed Circuit Boards | Tips | GES. *Global Electronic Services | Electronic Equipment Repair Service* [online]. Copyright © 2023 Global Electronic Services, Inc. All rights reserved. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://gesrepair.com/clean-circuit-board/>
- [6] Tips on How to Clean Your Printed Circuit Board | MCL. *Printed Circuit Board (PCB) Manufacturer | MCL* [online]. Copyright © 2023. All Rights Reserved [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.mclpcb.com/blog/clean-printed-circuit-boards/>
- [7] Guide to Cleaning Printed Circuit Boards - Bittele. *PCB Assembly Services - Turnkey PCB Assembly* [online]. Dostupné z: <https://www.7pcb.com/blog/cleaning-printed-circuit-boards>
- [8] Detailed Guide to Cleaning Printed Circuit Board. *Wevolver | Knowledge for engineers* [online]. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/detailed-guide-to-cleaning-printed-circuit-board>
- [9] How to Clean PCBs | San Francisco Circuits | PCB School. *PCB Manufacturing & Assembly | San Francisco Circuits* [online]. Copyright © Copyright 2005 [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.sfcircuits.com/pcb-school/clean-pcbs-ultrasonic-cleaning>

- [10] Princip laserového čištění a jeho možnosti | MM Průmyslové spektrum. *MM Průmyslové spektrum – nejčtenější strojírenský časopis a jeho digitální obsah* | *MM Průmyslové spektrum* [online]. Copyright © 2001 [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/princip-laseroveho-cisteni-a-jeho-moznosti>
- [11] Čištění plazmou před nanesením povlaku odstranilo problémy. *Aktuálně na DPS* [online]. Copyright © 2023 DPS Elektronika od A do Z. [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:53543/cisten-plazmou-pred-nanesenim-povlaku-odstranilo-problemy>
- [12] Plazmové technologie pro pájení plošných spojů | Volty. *Volty.cz* | *S napětím sledujeme nejnovější trendy a proud informací posíláme k vám...* [online]. Dostupné z: <https://www.volty.cz/2021/04/27/plazmove-technologie-pro-pajeni-plosnych-spoju/>
- [13] PB3/PS2000 SYSTÉM ATMOSFERICKÉ PLAZMY S VYSOKÝM VÝKONEM. *ULBRICH HYDROAUTOMATIK S.R.O.* [online]. Copyright © Copyright 2023 Ulbrich Group [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.ulbrich.cz/pb3-ps2000-system-atmosfericke-plazmy-s-vysokym-vykonem>
- [14] piezobrush® PZ3 · relyon plasma · Oberflächenbehandlung. *relyon plasma GmbH · A TDK Group Company* [online]. Dostupné z: <https://www.relyon-plasma.com/piezobrush-pz3/>
- [15] Dielectric barrier discharge (DBD) | Institute of Interfacial Process Engineering and Plasma Technology | University of Stuttgart. *Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie* | *Universität Stuttgart* [online]. Dostupné z: <https://www.igvp.uni-stuttgart.de/en/research/plasma-technology/sources/barrier/>
- [16] About IPC | IPC International, Inc.. *Homepage* | *IPC International, Inc.* [online]. Copyright © 2023 [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.ipc.org/about-ipc>
- [17] The Conformal Coating Process for PCB Assembly – ABP Electronics. *ABP Electronics – Services-PCB manufacturing, Component sourcing, PCB assembly and Testing* [online]. Dostupné z: <https://www.abp.net.cn/4839.html>
- [18] Video Blog 026 - Ultrasonic Cleaner PCB Flux Removal - YouTube. *YouTube* [online]. Copyright © 2023 Google LLC [cit. 14.05.2023]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=R7xjFCAV0u0>
- [19] Introduction to Cavitation - The Process Piping. *The Process Piping - a technical knowledge base for all the process piping professionals around the world...* [online]. Dostupné z: <https://www.theprocesspiping.com/introduction-to-cavitation/>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
DPS	Desky plošných spojů
PCB	Printed Circuit Board

Symboly:

$U$	napětí	(V)
$I$	proud	(A)
$P$	výkon	(W)
$R$	<i>elektrický odpor</i>	( $\Omega$ )
$C$	<i>kapacita</i>	(F)
$L$	<i>indukčnost</i>	(H)
$F$	<i>frekvence</i>	(Hz)