



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD**

**Zhodnocení mycího procesu u technologie pájení přetavením**

**Evaluation of the cleaning process for reflow soldering technology**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Autor práce: Denis Froš

Vedoucí práce: doc. Ing. Karel Dušek, Ph.D.

Praha 2017

---



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Froš Jméno: Denis Osobní číslo: 440924  
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická  
Zadávací katedra/ústav: Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd  
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Studijní obor: Elektrotechnika a management

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Zhodnocení mycího procesu u technologie pájení přetavením

Název bakalářské práce anglicky:

Evaluation of the cleaning process for reflow soldering technology

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s růstem dendritů u pájených spojů
- 2) Zhodnoťte náklady na mytí desek plošných spojů
- 3) Pokuste se experimentálně dendrity vypěstovat

Seznam doporučené literatury:

- [1] ABEL M., CIMBUREK V.: Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi, ABE.TEC, Pardubice 2005.
- [2] MACH P., SKOČIL V., URBÁNEK J.: Montáž v elektrotechnice, ČVUT Praha, 2001.
- [3] Alena Pietriková, Juraj Ďurišin, and Pavel Mach, Diagnostika a optimalizácia pou žitia ekologických materiálů pre vodivé spájanie v elektronike, 1. vydanie. Košice: Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej university v Košiciach, 2010.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Karel Dušek Ph.D., katedra elektrotechnologie FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: 02.02.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 26.05.2017

Platnost zadání bakalářské práce: 27.05.2018

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma Zhodnocení mycího procesu u technologie pájení přetavením vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce. Dále prohlašuji, že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

.....

**Denis Froš**

---

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Karlu Duškovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování práce. Mé poděkování patří též doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi, CSc. za věcné připomínky při zpracování ekonomické části práce.

---

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se věnuje mycímu procesu desek plošných spojů. Rovněž zahrnuje témata, která úzce korespondují se současnou problematikou růstu dendritů. Obsahuje část ekonomickou, která se zabývá náklady související s mycím procesem a hodnocením investice do mycího zařízení. Tato část nabízí ekonomické porovnání dvou mycích zařízení. Dále práce zahrnuje praktickou část dokazující růst dendritů za různých podmínek.

## **Klíčová slova**

Pájení, tavidlo, rezidua, mycí proces, dendrity, mycí zařízení, náklady

## **Abstract**

Bachelor thesis deals with cleaning process of printed circuit board (PCB). It includes topics connected to current issue of dendritic growth. Economic part of the thesis focuses on cost calculating and evaluation of the investment. This part contains economic comparison of two different cleaning machines. Practical part proves growth of dendrites under different conditions.

## **Key words**

Soldering, flux, residues, cleaning process, dendrites, cleaning machine, cost

---





## Obsah

1. Úvod.....	11 -
2. Pájení v elektrotechnice .....	12 -
2.1 Pájení přetavením.....	12 -
2.1.1. Teplotní profil .....	13 -
2.1.2. Snímání teploty .....	15 -
2.1.3. Metody pájení přetavením, pájecí zařízení .....	15 -
2.2 Pájecí pasta.....	19 -
2.2.1. Kovový prášek .....	20 -
2.2.2. Pájecí slitiny.....	21 -
2.3 Tavidla .....	22 -
2.3.1. Složení a typy tavidel.....	23 -
2.3.2. Tavidla „no-clean“ .....	24 -
2.4 Mycí proces.....	25 -
2.4.1. Druhy nečistot .....	26 -
2.4.2. Čisticí prostředky .....	28 -
2.4.3. Způsoby čištění .....	30 -
2.4.4. Mytí bezoplachových tavidel .....	31 -
2.5 Negativní vlivy tavidlových zbytků .....	34 -
2.5.1. Koroze .....	34 -
2.5.2. Migrace .....	35 -
2.5.3. Svodové proudy .....	36 -
2.5.4. Dendrity .....	37 -
2.6 Měřicí metody související s ionizovatelnými rezidui .....	37 -
2.6.1. Měření povrchového izolačního odporu (SIR).....	38 -
2.6.2. ROSE – Resitivity of Solvent Extract .....	38 -
2.6.3. SEC (Solvent Extract Conductivity) .....	39 -
2.6.4. Omegametr.....	39 -
2.6.5. Ionograf .....	40 -
3. Ekonomické zhodnocení .....	41 -
3.1 Mini SWASH II .....	41 -
3.1.1. Technické specifikace .....	42 -
3.1.2. Stanovení provozních nákladů .....	43 -
3.1.3. Zhodnocení efektivity investice.....	45 -
3.2 INJET 388-CRD .....	53 -
3.2.1. Technické specifikace .....	53 -

---

3.2.2.	Stanovení provozních nákladů .....	- 56 -
3.2.3.	Zhodnocení efektivity investice .....	- 57 -
3.3	Komparace zařízení .....	- 59 -
4.	Experimentální růst dendritů .....	- 61 -
4.1	Příprava experimentu .....	- 61 -
4.1.1.	Deska plošného spoje - DPS.....	- 61 -
4.1.2.	Pájecí pasty.....	- 62 -
4.1.3.	Příprava vzorků .....	- 63 -
4.2	Popis a výsledky experimentu .....	- 63 -
4.2.1.	Průběh experimentu.....	- 63 -
4.2.2.	Snímky vzniklých dendritů.....	- 64 -
4.2.3.	Shrnutí výsledků.....	- 68 -
5.	Závěr.....	- 69 -
	Bibliografie.....	- 71 -
	Seznam obrázků .....	- 73 -
	Seznam tabulek .....	- 74 -
	Seznam grafů.....	- 74 -
	Příloha A – výpočetní tabulka Mini SWASH II.....	- 75 -
	Příloha B – výpočetní tabulka INJET 388-CRD .....	- 77 -

---

## 1. Úvod

Spojení technologie a financí je v současnosti aktuálním tématem a jistým problémem, který je potřeba před zařazením určitého prvku do výroby vyřešit. Znamená to, že se nezabýváme pouze technickým řešením dané problematiky, ale i stránkou ekonomickou. Právě ta bývá ve většině případů nadřazována a podle nákladů na pořízení, provoz a údržbu zařízení se rozhodujeme. Zároveň analyzujeme, jestli zvolený technologický postup odpovídá požadavkům na spolehlivost výsledného výrobku. Z ekonomického hlediska je míra spolehlivosti zařazena mezi určující členy promítající se do hodnoty výsledného výrobku. V praxi například dochází ke srovnání, zda náklady na záruční opravy výrobku dané četností a rozsahem případné poruchovosti výrobku nepřesahují náklady na technologii, která může poruchovost podstatně snížit.

Dendritický růst je tématem, který se v souvislosti s elektronickými zařízení v současnosti objevuje. Důvody, které k tomuto jevu vedou, jsou náplní této práce a jsou i podrobně rozebrány. Růst dendritů snižuje spolehlivost výrobků a zvyšuje jejich poruchovost a tudíž je potřeba se tímto problémem zabývat i ve spojení s ekonomickým dopadem.

Mycí proces u technologie pájení přetavením, který po pájení přetavením může následovat, je tím, co do jisté míry rozhoduje o spolehlivosti výrobku. A to tím, že snižuje riziko růstu dendritů mezi vodivými cestami. Samozřejmě, že v rámci pájení přetavením je více aspektů, které se podílejí na kvalitě výsledného produktu. Mohou to být použité pájecí pasty, navržený teplotní profil, atd. Nicméně mycí proces je hlavním tématem této práce, a proto je mu věnována největší pozornost. Při rozhodování, zda tuto technologii do výroby zařadíme, se hlavně řídíme již zmíněnými náklady, které je nutné na provoz zařízení vynakládat. V případě, že mycí produkt nabízíme jako externí dodavatel, tak je důležité se v této problematice dobře orientovat. Případně zájemce informovat o možných dopadech a nabízet vhodné řešení, abychom co nejvíce naplnili očekávané výnosy z investice do daného zařízení.

Celkově je práce rozdělena do tří hlavních částí. Nejprve je zde zahrnuta teorie, která popisuje pájení přetavením, mycí proces a růst dendritů včetně témat s těmito pojmy spojená. Další část se věnuje ekonomické analýze mycího procesu. Především vyčíslením nákladů na provoz a na režijní materiál. Poslední součástí je experimentální část, v níž je věnována pozornost růstu dendritů na desce plošného spoje.

## 2. Pájení v elektrotechnice

V technologii často rozeznáváme dva základní druhy pájení, které jsou od sebe rozlišeny hranicí teploty využívané při samotném procesu pájení. První možností je tzv. tvrdé pájení, při kterém se teplota během pájení pohybuje nad hranicí 450 °C. Nutno poznamenat, že tento způsob spojování materiálů je využíván v jiných odvětvích, než je elektrotechnika, a to hlavně ve strojírenské výrobě, kde není například možné použít obloukové svařování z důvodu vysoké teploty. Nicméně pro elektrotechniku je mnohem podstatnější proces nazývaný měkké pájení, které se vyznačuje využitím teploty nepřesahující hranici 450 °C. Právě pájení přetavením je jednou z několika možností měkkého pájení. Pájení obecně je tedy spojování dvou většinou kovových objektů a charakterizuje využíváním roztaveného přídavného materiálu nazývaného pájka sloužícího ke smáčení daných ploch a následně vedoucí k vytvoření kovového spoje mezi příslušnými plochami. V našem případě se nejčastěji jedná o vývod součástky a pájecí plošku na desce plošného spoje (DPS). Během samotného procesu pájení dochází k narušení spojovaných ploch díky reakci, která probíhá mezi tající pájkou a pájecí ploškou. Uvedený základní popis je sice typický pro „klasické“ pájení hrotovou páječkou. Avšak některé uvedené informace platí s různými odlišnostmi pro veškeré metody pájení. Pro techniku pájení přetavením, která je jedním z hlavních témat této práce, platí zmíněné vlastnosti s některými odlišnostmi, jako je například využití pájecí pasty obsahující zároveň i tavidlo nanesené na plochy místo přidávání pevné pájky, nekonstantní teplota během pájení atd. [1]

### 2.1 Pájení přetavením

Pájení přetavením je přednostně využíváno v technologii povrchové montáže součástek (SMT – surface mount technology) na DPS. Fáze přetavení následuje až poté, co jsou všechny požadované součástky umístěny na správných pozicích v rámci DPS. Metody přetavení dělíme podle způsobu dodání tepla. Míra a způsob tepla přijatého tělesem se pro každou z metod bezpochyby liší a lze stanovit podle vzorců, které nejsou součástí tohoto textu, jelikož nejsou pro tuto práci podstatné. V rámci pájení přetavením se setkáme se všemi možnostmi přenosu tepla (vedení, proudění, sálání), na které se vztahují různé zákony vyjádřené již zmíněnými vzorci. S nimi je nutné pracovat při návrhu profilu. [2]

U pájení přetavením rozlišujeme selektivní a hromadné metody. Metodu volíme podle několika hledisek a zejména výhod, které jednotlivé metody nabízejí. Přetavení prouděním horkého plynu je efektivní z hlediska přenosu tepla a navíc účinnost nezávisí na typu materiálu, jako je tomu u pájení pomocí IČ (infračervené) záření. Naopak přetavení pomocí IČ záření lze mluvit o vysoké účinnosti, co se týká ohřevu. Na druhou stranu se zde můžeme potýkat s problémem udržování rovnoměrné teploty v rámci celé plochy pájené desky kvůli zmíněné závislosti ohřevu na typu materiálu. Naopak při pájení v parách tento problém odpadá. Jednotlivé používané způsoby jsou popsány v oddíle 1.1.3 a srovnání jejich výhod a nevýhod nabízí tabulka č. 1. [2]

Tabulka 1 Srovnání výhod a nevýhod jednotlivých metod [2] [3]

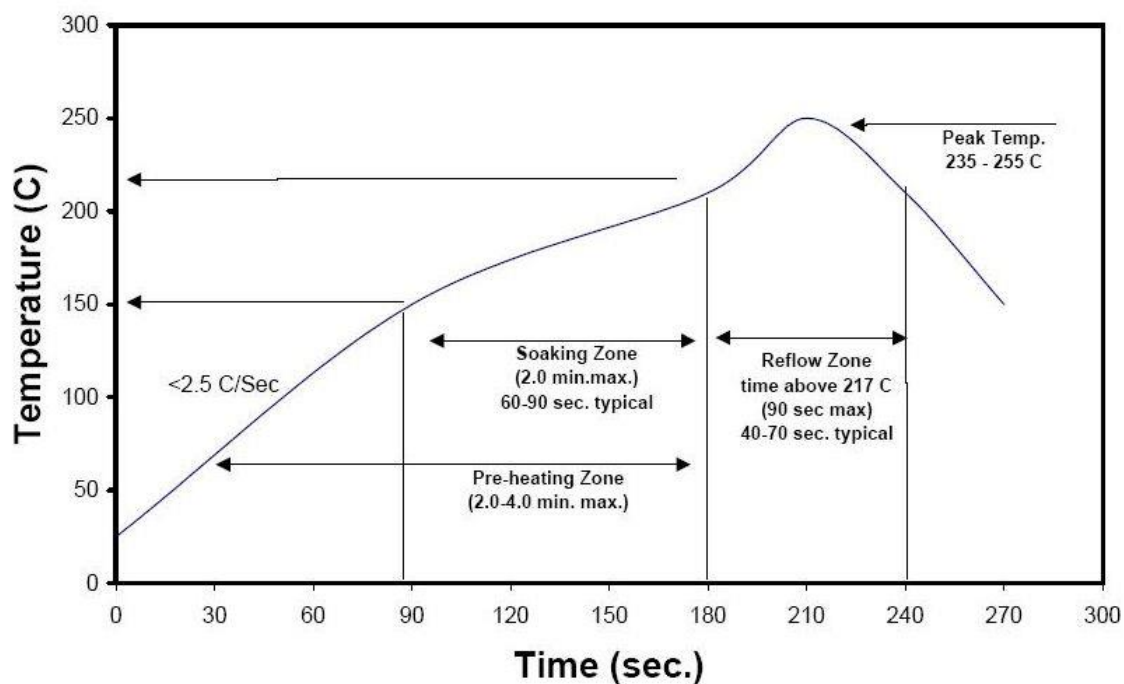
	Výhody	Nevýhody
<b>Infračervené záření</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Postupné a programovatelné rychlosti ohřevu</li> <li>• Nastavitelná pájecí teplota</li> <li>• Velký rozsah nastavitelných teplot</li> <li>• Omezení tombstoning efektu</li> <li>• Nízké náklady na provoz</li> <li>• Vysoká účinnost (až 70 %)</li> <li>• Relativní jednoduchost a snadná obsluha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rozdílné vlastnosti povrchů a zabarvení způsobuje nerovnoměrné zahřívání</li> <li>• Teplotně citlivé součástky musí být osazovány manuálně</li> <li>• Nevhodné pro moderní součástky např. typu BGA</li> </ul>
<b>Konvekční ohřev</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malé náklady na vybavení a provoz</li> <li>• Všechny části jsou jednotně zahřívány</li> <li>• Pomalé proudění tepla zamezuje praskání komponentů</li> <li>• Přenos tepla zajišťuje ideální předehřívání tavidla</li> <li>• Využití inertního plynu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pomalý přenos tepla</li> <li>• Zařízení mohou být velmi prostorná</li> <li>• Menší účinnost a velká spotřeba energie</li> <li>• Obtížné nastavování teplotního profilu</li> <li>• Oxidace pájecí pasty (v případě pájení ve vzduchu)</li> </ul>
<b>Pájení v parách</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Využití pro vysokou míru hustoty osazení součástek</li> <li>• Stejná teplota v rámci celého zařízení, tudíž jsou všechny součástky pájeny téměř zároveň</li> <li>• Maximální omezení rozdílu teplot napříč DPS</li> <li>• Možnost použití méně tavidla díky pájení v inertní atmosféře (bez přítomnosti kyslíku)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proud tepla je velmi rychlý a může poškodit součástky nebo použitý materiál</li> <li>• Využití cenově nákladných kapalin</li> <li>• Tvorba slabých kyselin při rozkladu pracovní kapaliny</li> <li>• Výskyt tombstoning a „popcorn efektu“</li> </ul>
<b>Pájení laserem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vhodné pro tepelně citlivé součástky</li> <li>• Tvorba kvalitního pájeného spoje</li> <li>• Vysoká flexibilita procesu</li> <li>• Dosáhnutí relativně velké pájecí teploty</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vysoká cena vybavení</li> <li>• Nízká produktivita z důvodu individuálního pájení jednotlivých spojů</li> <li>• Nelze pájet některé typy pouzder</li> </ul>

### 2.1.1. Teplotní profil

Průběh teploty v čase dle požadavků výrobců součástek nebo pájecích past, se nazývá teplotní profil. Často používaný průběh zobrazený na obrázku č. 1 je velmi důležitým faktorem, aby při procesu proběhlo vše podle potřeb bez jakýchkoliv poškození některých částí DPS a součástek. V praxi mnoho výrobců součástek uvádí maximální nárůst teploty a to zhruba od 2 °C do 4 °C za jednu sekundu. Z matematického hlediska by se jednalo o vyjádření  $dT/dt$ , nebo-li změna teploty za určitý čas, který lze vyjádřit pomocí derivace funkce. Kdybychom totiž nedodrželi předepsanou rychlost oteplování, tak by mohlo dojít k praskání součástek hlavně

v důsledku narůstání tepelného namáhání způsobeného rozdílným koeficientem tepelné roztažnosti jednotlivých použitých prvků a případnou vlhkostí absorbovanou součástkami. Vyjmenované jevy jsou nejčastěji typické pro součástky vyráběné z keramiky (např. keramické kondenzátory). [2]

Negativní následky při špatně navrženém teplotním profilu se netýkají jenom pájených součástek, ale i použité pájecí pasty. V případě špatného profilu může rychlý nárůst teploty způsobit zvýšit nebo snížit dynamické chování. Tento jev je způsoben tím, že nedojde k důkladnému odparu rozpouštědla nacházející se v pájecí pastě, což vede k mohutnému snížení viskozity. Rovněž při prudkém nárůstu teploty se tavidlo rychle odpařuje a může docházet k rozstříku pasty kolem pájeného spoje. [2]



Obrázek 1 Příklad teplotního profilu pro bezolovnaté pájecí pasty

V rámci této kapitoly je nezbytné pospat jednotlivé fáze teplotního profilu. Na obrázku č. 1 můžeme vidět ohraničenou zónu nazvanou anglickým výrazem „soaking“ - předeheřev. Smyslem předeheřevu je aktivace tavidla a odpaření rozpouštědel. Doporučené teploty a doba trvání předeheřivání se liší na základě použité pájecí pasty z hlediska její složení. Jedná-li se o pastu tvořenou sloučeninou Si-Pb, tak teplota se pohybuje maximálně do 160 °C: V případě bezolovnaté pasty je hodnota teploty vyšší a může dosahovat až hranci 200 °C. Potřebná hodnota teploty je ale nejen závislá na složení pájecí pasty, ale i na typu rozpouštědla. Rozmezí teplot a doba trvání fáze je rozmanitá a přesné údaje poskytuje výrobce. Ke kompletnímu popisu stádia předeheřivání je nutné přidat ještě jeden důležitý účinek. Tato část teplotního profilu rovněž slouží k co největšímu vyrovnání teploty v rámci celé desky plošného spoje. Tento krok je velmi podstatný proto, aby nárůst teploty během samotného přetavení nebyl příliš strmý, jelikož by to mohlo vést ke vzniku následujících potíží. Vzniknout mohou tzv. studené pájené spoje. Též může dojít k nerovnoměrnému smáčení obou konců čipových kondenzátorů a rezistorů, což sebou nese

riziko vzniku tzv. náhrobního kamene nebo ke stočení součástky. Komplikace mohou však nastat i v případě, že přehřívací úsek je příliš dlouhý, což vede k nadměrně zvýšenému odparu tavidla. Následkem může být tvorba kuliček pájky, voidů či zhoršené smáčení. Ze zkušeností navíc vyplývá, že tzv. no-clean a vodou rozpustné tavidla v pájecích pastách jsou na správné nastavení průběhu předhřevu citlivější než ostatní. [2]

Následnou fází, jak je z průběhu patrné, je zóna samotného přetavení. V případě pájky Sn63Pb37 je teplota tání 183 °C, jelikož se však v současnosti od používání olovnatých pájek ustupuje, tak pro většinu bezolovnatých pájek jsou teploty tání podstatně vyšší. Například pájka Sn96,5Ag3,5 má teplotu tání 220 °C a dokonce ještě o 20 °C vyšší teplotu tání má pájka Sn95Ag5. V praxi dále využívané pájky obsahující měď mají bod tání většinou v rozmezí 220-240 °C. Z těchto uvedených údajů vyplývá, že maximální hodnota s vyřazením olovnatých pájek vzrostla a pohybuje se v intervalu 235-255 °C. S touto podmínkou, že teplota nad 220 °C musí být dodržena po dobu 40-80 sekund. Zároveň je totiž snaha o to, aby teplota vyšší než je teplota tání dané pájky, byla přítomna po co nejmenší časový úsek a to proto, aby nedocházelo ke vzniku intermetalických sloučenin. Samozřejmě, že uvedené teplotní údaje nejsou závislé pouze na použité pájce, ale při sestavování teplotních hodnot je nutné brát zřetel na vlastnosti pájených součástek a desky plošného spoje. Následky špatně zvoleného postupu mohou vést k celkovému zhoršení elektrických vlastností jak DPS tak i osazovaných součástek. Dalšími projevy jsou poškození pájených ploch či výskyt spálených zbytků tavidla. [2]

### **2.1.2. Snímání teploty**

Sledování teploty předem určených míst na DPS a některých součástek je důležitým úkonem ke kontrole, zda nedochází k překročení stanovených kritických tepelných hodnot. Realizace se provádí pomocí termočlánků a tepelně vodivého lepidla, které musejí být použitelné nejméně do 260°C. Možnou náhradou vodivého lepidla je pájecí slitina s vyšší teplotou tání, než je zde uvedeno. [4]

Rozhodnutí o umístění jednotlivých termočlánků je hlavně závislé na typech součástek nacházejících se na DPS. Termočlánky by měly být instalovány na kritické pájené spoje a tepelně citlivé součástky. V případě, že některá součástka má menší teplotní rozsah (např. do 250°C), tak je vhodné umístit termočlánek na tuto součástku. Dochází tak ke kontrole nepřesáhnutí dané maximální teploty. Dalšími místy, na kterých je monitorování teploty doporučeno, jsou zóny s nejnižší a nejvyšší předpokládanou teplotou. Zmíněné oblasti se nejčastěji určují podle schopnosti pohlcovat tepelnou energii anebo umístění součástky na desce. Obvykle malé čipové rezistory se zahřejí na vysokou teplotu. Na druhou stranu součástky typu BGA<sup>1</sup> a QFP<sup>2</sup> mají v porovnání studenější pájené spoje. Dále se zpravidla kontroluje i nejvyšší dosažená teplota samotné DPS, aby bylo vyloučeno její poškození. [4]

### **2.1.3. Metody pájení přetavením, pájecí zařízení**

Podle způsobu ohřevu rozlišujeme následující možnosti pájení přetavením.

---

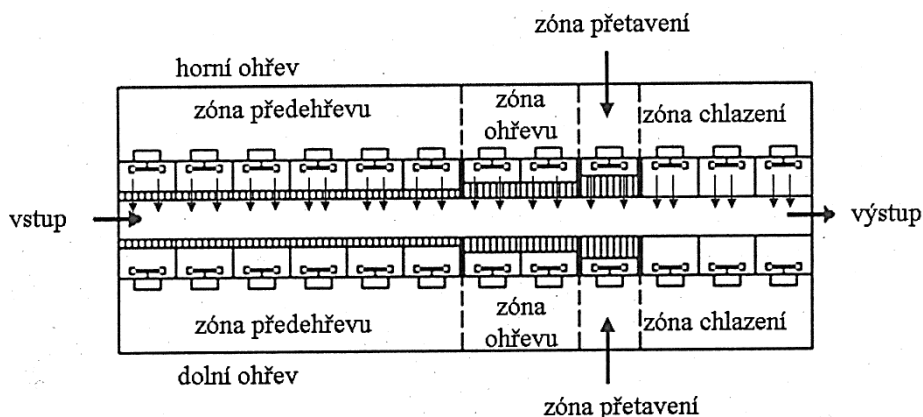
<sup>1</sup> BGA – Ball Grid Array, označení součástky (pouzdra) s kuličkovými vývody na spodní straně

<sup>2</sup> QFP – Quad Flat Pack, označení součástky čtvercového tvaru s vývody ve tvaru J, L, či I umístěných po obvodu

- pájení horkým vzduchem nebo plynem (konvekční ohřev)
- pájení infračerveným zářením (infra ohřev)
- pájení v kondenzovaných parách (kondenzační ohřev)
- pájení laserem
- pájení vyhřívaným nástrojem (impulsní pájení)
- indukční pájení (indukční ohřev)
- pájení na horké desce nebo pásu

### *Pájení horkým vzduchem (plynem)*

Pro pájení přetavením pomocí nuceného proudění horkého vzduchu se využívají pájecí pece. Ty v současnosti z důvodu využívání bezolovnatých pájecích past musí být schopny dosáhnout větší teploty. Pájecí pece s větším počtem tepelných zón (okolo 10 zón) jsou vhodné pro pájení velkých DPS, jelikož je možné docílit větší kontroly teploty. Navíc každá zóna může být složena z několika dalších segmentů (viz obr. 2). Pece disponující čtyřmi až pěti zónami jsou vhodné pro menší výrobky (např. mobilní telefony). Nicméně s rozsáhlými a komplikovanými typy DPS z hlediska použitých součástek mají pece s menším počtem zón problém s udržením co nejmenšího rozdílu teploty napříč pájené DPS. [4]



Obrázek 2 Uspořádání pájecího zařízení s konvekčním ohřevem [5]

Samotný princip ohřevu DPS spočívá v proudění horkého vzduchu nebo plynu z regulovatelných trysek. Výhodou konvekčních pecí je i možnost regulace průtoku horkého vzduchu většinou v závislosti na hustotě a typu součástek. Změnou rychlosti dopravníku lze navíc dosáhnout úpravy teplotního profilu. Další předností pecí s konvekčním ohřevem je malý teplotní gradient v rámci celé pece (lze dosáhnout až  $\pm 2$  °C). Ve srovnání s pecemi pro infračervený ohřev je konstrukce konvekčních pecí náročnější a složitější, protože zařízení musí být vybaveno dokonalým řídicím systémem, který zabezpečuje kvalitní účinnost přestupu tepla ze zdroje do celého prostoru pájení. Tato vlastnost je důležitá, aby bylo docíleno požadovaného teplotního profilu v podélném i příčném směru. [5]

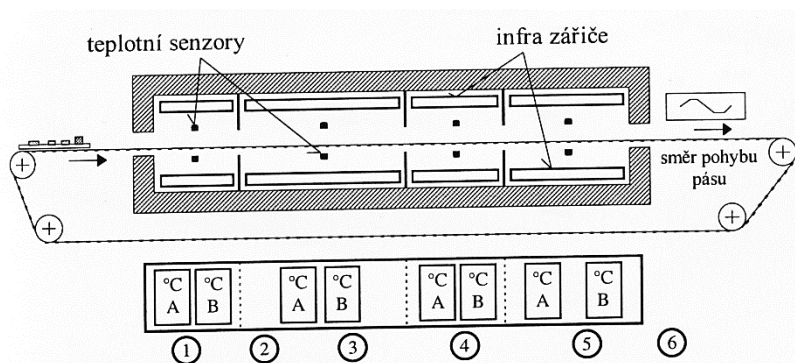
Aktuálním tématem v oblasti konvekčního pájení je uplatnění ochranné atmosféry. Během pájení při vysokých teplotách a přítomnosti kyslíku dochází k oxidaci kovových povrchů rychleji, než je tomu při běžných podmínkách. Jedním z hlavních cílů pájení v ochranné atmosféře je omezení množství nebo vyloučení používání tavidla v pájecí pastě. Vedlejšími pozitivními



vlastnostmi ochranné atmosféry je zlepšení smáčivosti pájených povrchů a kompatibilita se stále přísnějšími předpisy týkající se ochrany životního prostředí. Obecně se uvádí, že od hladiny kyslíku 1000ppm se dosahuje určitého zlepšení a při 500ppm jsou důkazy o přínosnosti inertní atmosféry viditelné. Dochází totiž k lepšímu smáčení povrchů a eliminaci změny barvy DPS v blízkosti spojů. Podle odhadů se dusíku, jako nejpoužívanějšího inertního plynu, využívá již u několika desítek procent pájecích pecí. Nevýhodou této technologie jsou vyšší pořizovací konvekčních pecí i provozní náklady způsobené neustálou spotřebou dusíku. [6]

### *Pájení infračerveným zářením*

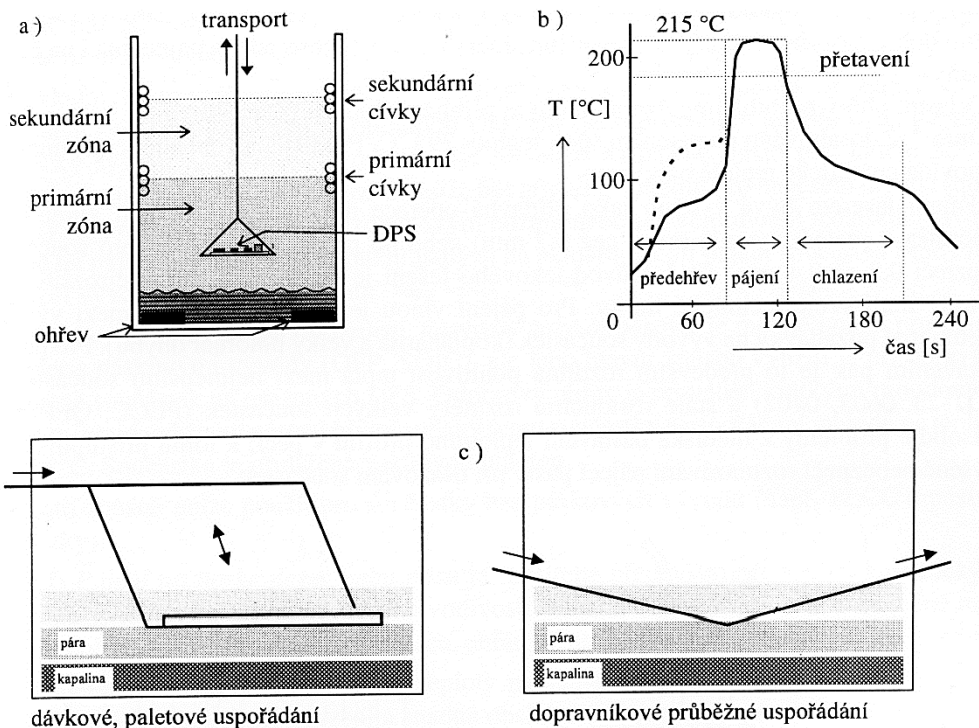
Zdrojem tepla jsou zářiče umístěné nad i pod dopravníkem, které jsou zároveň rozděleny do několika samostatně regulovatelných zón. Konstrukce pece je podobná jako u konvekčního ohřevu, tedy je navržena jako průběžná s teplotními senzory v jednotlivých sekcích (viz obr. 3). U tohoto způsobu dochází k pohlcování tepla v závislosti na barvě povrchu. Místa, na nichž se nachází pasta, se zahřívají pomaleji než tmavě zbarvené součástky. Teplotní diference substrátu se vyskytuje zejména u součástek velkých rozměrů, jenž způsobují stínění některých míst. V praxi se u pájení přetavením můžeme setkat i s kombinací dvou doposud zmíněných metod. [5]



Obrázek 3 Konstrukce pájecího zařízení s ohřevem pomocí infračerveného záření [5]

### *Pájení v kondenzovaných parách*

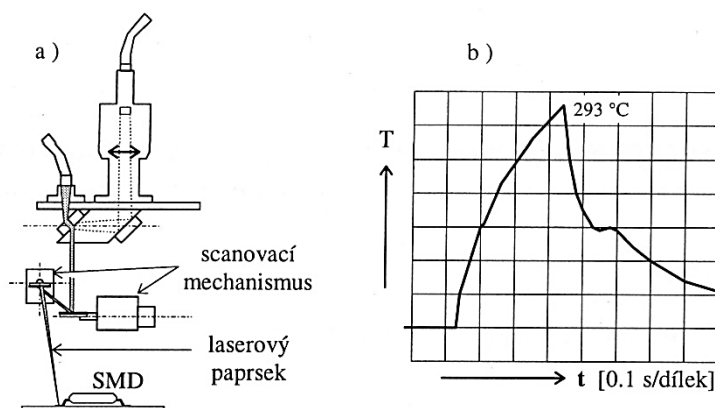
Z nemalého počtu výhod shrnutých v tabulce č. 1 je zřejmé, že si pájení v parách udržuje svoji pozici mezi metodami pájení přetavením. Sice méně často používaná metoda než je konvekční způsob ohřevu, nicméně stále inovovaná a modernizovaná, aby splňovala všechna ekologická nařízení. Dřívější konstrukce využívala dvojitý vsázkový systém, z nichž jeden byl naplněn freonem pro předehřev a krytí ztrát pájecích par. Díky vývoji stabilních kapalin bez obsahu freonů není potřeba vrstvu páry v prostoru pájení krýt, čímž došlo i ke zjednodušení pájecího zařízení. U pájení v parách se používá kapalina podle jejího bodu varu (150-300 °C), tím je definována i teplota přetavení. Současné konstrukční řešení (znázorněná na obr. 4) může být jak vsázkové (dávkové), tak i dopravníkové. [5]



Obrázek 4 Pájení přetavením na principu kondenzace par: a) schéma zařízení, b) teplotní profil, c) koncepce moderních zařízení [5]

### Pájení laserem

Pro techniku pájení laserem se upřednostňuje Nd:YAG laser před  $\text{CO}_2$  laserem, neboť se ukázalo, že záření prvně zmíněného laseru je dobře absorbováno pájkou a zajišťuje dobrý tepelný přenos na nanesenou pájecí pastu a následně na pájené plochy. Laserové pájení se nejčastěji využívá jako přídatná operace po hromadném pájení přetavením (pro součástky s roztečí 0,2-0,4 mm). Důvodem této kombinace je odlišná absorpce tepla mezi nejmenšími součástkami a součástkami velkých rozměrů (PLCC<sup>3</sup>, QFP). Laserové zařízení může být vybaveno modulem pro nanesení tavidla. Může jím být pěnový rozprašovač tzv. fluxer se vzduchovým nožem nebo injekční modul aplikující tavidlo přesně na pájené plošky. Tento způsob nanášení tavidla se nejčastěji používá u součástek FPT<sup>4</sup>. [5]



Obrázek 5 Přetavení laserem - FTP součástky: a) princip zařízení, b) teplotní profil

<sup>3</sup> PLCC – Plastic leaded chip carrier – pouzdro využívané pro integrované obvody s vysokou integrací

<sup>4</sup> FPT – Fine Pitch technology – součástky s jemnou roztečí vývodů zpravidla menší než 0,5 mm

## Ostatní metody

Nejčastěji používané metody vypsané výše již byli podrobněji popsány. Se zbylými metodami se setkáváme méně často nebo v kombinaci s ostatními. Jejich použití může být závislé na typu součástky nebo substrátu. Například pájení na horké desce/pásu se používá zejména u keramických substrátů, který zajišťuje dobrý přenos tepla z desky nebo pásu. Dále se jedná o selektivní metody využívané při opravách a výměně součástek nebo dodatečném osazování některých součástek. [5]

## 2.2 Pájecí pasta

Velmi podstatným prvkem techniky pájení přetavením je pájecí pasta. Jak již bylo zmíněno na začátku této práce, tak abychom mohli spojit dvě kovové části a vznikl spoj, musíme dodat do spoje přídatný materiál. Nicméně v procesu pájení přetavení je jedinou možností, jak vytvořit správný kovový spoj, využití pájecí pasty. Z hlediska realizace existuje mnoho praktických důvodů, proč nelze používat avizovanou pájku ve formě přídatného drátu.

Pájecí pasta může být popsána jako spojovací materiál, jenž může po splnění určitých podmínek vytvářet spoj mezi dvěma kovovými materiály. Jelikož se jedná o měkkou hmotu (tzv. viskoelastickou), tak díky této vlastnosti může být na DPS dávkována v potřebném množství a tvaru. Další pozitivní vlastností je „lepivá“ funkce, což znamená, že při osazování v automatizovaném procesu je součástka přidržena na správném místě, než dojde k vytvoření pevného spoje. Kovové prvky ve složení pájky dávají následnému spoji v elektrotechnice sledované parametry. Jedná se hlavně o elektrickou a tepelnou vodivost a pevnost samotného spoje. Složení pájecích past je tedy navrhováno tak, aby ve zmíněných parametrech dosahovalo těch požadavků, které jsou v daném případě osazování DPS vyžadovány. Aby bylo docíleno těchto nároků a samozřejmě i dalších (např. smáčivost při pájení, odolnost vůči okolím podmínkám, atd.) je nutné při návrhu respektovat vlastnosti použitých materiálů z různých vědních oborů, kterými jsou fyzika, chemie, metalurgie reologie aj. a vhodně tyto vlastnosti využít. Například reologické vlastnosti pájecí pasty udávají její deformační a modelovací schopnosti. Faktory ovlivňující tyto schopnosti a následné vlastnosti pájecí pasty v případě ideální reologie jsou shrnuty v tabulce č. 2. Nicméně v praktickém použití většinou dochází k upřednostnění některých vlastností před jinými, jelikož průniku všech benefitů jednotlivých složek nelze dosáhnout. [7]

Tabulka 2 Vlastnosti pájecí pasty

<b>Okolnosti ovlivňují reologické vlastnosti pájecí pasty</b>	<b>Výsledné chování v případě ideálních reologických vlastností pájecí pasty</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Velký rozdíl v hustotě mezi organickou maticí a kovovými částicemi</li><li>• Relativně velký rozměr částic</li><li>• Oddělování kovových částic</li><li>• Prostorový (kulový) tvar částic</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Možnost specifikovaného skladování a stabilitu</li><li>• Nedochozí k usazování a oddělování jednotlivých složek</li><li>• Uspokojivé „lepivé“ schopnosti pro udržení součástek při osazení, ale pasta se při aplikaci netáhá</li><li>• Dobré vyrovnávací schopnosti bez prudkého poklesu</li><li>• Vhodný přenos skrz šablonu</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snadné odstraňování ze šablony</li> <li>• Neovlivitelná teplotou ve výrobních prostorách (teplota a vlhkost ovlivňuje „lepivost“ a vysychání)</li> <li>• Nenáročné čištění a nezanechává těžko odstranitelné zbytky</li> <li>• Minimalizace výskytu rozstříku pájky a pájecích kuliček (nejdůležitější pro no-clean procesy)</li> </ul>
--	--

Pájecí pasta se zpravidla skládá z prášku pájecí slitiny, tavidla a pojiva. Pojivo slouží jako nositel částic pájecí slitiny a jejím úkolem je při procesu přetavení docílit správného pohybu a deformace pájecí pasty v závislosti na okolních podmínkách. Tavidlo zajišťuje to, aby pájecí plochy byly čisté. Důležité je odstranit oxidy kovu, ze kterého jsou pájecí plochy tvořeny. Výsledkem působení tavidla je správné smáčení povrchů pájecí slitinou a následné vytvoření souvislého kovového spoje. Pojivo i tavidlo jsou již během anebo na konci přetavení na základě tékavých vlastností, tepelných reakcí, apod. jsou odstraněny. Tyto dvě popsané složky pájecí pasty jsou svojí přítomností velmi důležité pro zhotovení spolehlivého, permanentního spoje. Další podrobnosti týkající se tavidel a jejich případného čištění jsou uvedeny části 1.3 této práce. Informace popisující poslední součást pájecí pasty - pájecí slitiny - jsou obsaženy v následující podkapitole (1.2.1). [7]

### 2.2.1. Kovový prášek

Z metalurgického hlediska vytvoření spolehlivého pájeného spoje zahrnuje několik kroků. Počínaje výběrem vhodné pájecí slitiny následující smáčecími schopnosti, kontrolou procesu tuhnutí a konče působením okolních vlivů na vytvořený spoj. Metalurgie pájecí pasty ovšem není pouze o používaných slitinách, ale je nutné se samostatně zabývat vlastnostmi prášku dané slitiny. Ten totiž během pájení nejprve taje, reaguje s okolím a následně opět tuhne. Chování v jednotlivých fázích rovněž ovlivňuje kvalitu výsledného spoje. Vybíráme-li si vhodnou pájecí slitinu pro specifikované použití, je dobré řídit podle určitých kritérií. Těmito kritérii jsou teplota tavení, přítomnost olova, velikost částic prášku (velikost kovových částí) a výsledná pevnost spoje. Všechny vyjmenovaná kritéria lze nalézt v katalogích výrobců pájecích past.

Slitina je kovový materiál vytvořený kombinací rozpuštěných dvou a více prvků a smícháním dohromady v kapalném stavu. Tekutá slitina následně ztuhne do pevného stavu. Zmíněný způsob platí i v pájecí slitiny. Kovový prášek může být vyráběn přímo z hotové slitiny či následným smícháním prášků daných prvků, které pájecí slitinu tvoří. Kovový prášek může být vyráběn několika možnými technikami. [7]

- Chemická reakce a následný rozklad,
- Mechanické zpracování materiálu v pevném stavu,
- Elektrolytický rozklad,
- Rozklad na atomy - atomizace.

Jednotlivé metody se neliší pouze principem výroby kovového prášku, ale také vzhledem, strukturou a tvarem vzniklých částic kovu. Vlastnosti kovového prášku používaného v pájecí

pastě následně ovlivňují chování pasty během pájení (např. smáčivost, roztékání pasty apod.). Z tohoto důvodu se využívají ty metody, při nichž jsou vzniklé částice nejméně tvarované s pravidelným tvarem. Kovový prášek získaný pomocí chemické reakce (redukce za vysoké teploty) se vyznačuje vznikem spongiální a pórovité struktury. Ušlechtilé kovy jako je například stříbro se získávají vysrážením za redukce soli ve vodném prostředí s určitým pH. Vzniklá kašovitá hmota je filtrována, čištěna a vysušena za přísných podmínek. Mechanické zpracování je využitelné u kovů vyznačujících se dobrou kujností (např. zlato, stříbro, měď, hliník, atd.). Vyjmenované prvky jsou schopny vytvářet lupínkovité útvary. Elektrolytický rozklad je charakterizován vznikem dendritických útvarů a vznikem velmi čistého prášku. Velikost vzniklých částic je dána jednak zvoleným typem redukčního činidla a jeho vlastnostmi a zároveň dalšími reakčními podmínkami. Vlastnosti vzniklých částic jsou ovlivněny aktuální hustotou, použitým elektrolytem, aditivou a teplotou reakce. Principem rozkladu na atomy (atomizace) je rozklad tekutého kovu. Ten je za vysokého tlaku protlačován přes otvor do komory obsahující plyn, vakuum nebo vodu. Mezi popsány metodami se nejvíce používá metoda k výrobě prášku pro pájecí pasty zmíněná jako poslední. Důvodem je to, že takto vzniklé částice si udržují svou strukturu a tvar. Atomizace může být rovněž realizována nejen výše popsáním způsobem, ale i pomocí rotujícího disku. V následujícím seznamu jsou uvedené vlastnosti, které musejí být vzaty v potaz při výrobě pájecí pasty. [7]

- Teplota tání,
- Rychlost pohybu,
- Zdánlivá hustota,
- Tvar a velikost částic,
- Obsah oxidů a nečistot,
- Vhodnost pro pájení,
- Vliv velikosti částic na jejich pohyb.

### 2.2.2. Pájecí slitiny

Prvky běžně používané pro výrobu slitin a následně prášku jsou cín (Sn), stříbro (Ag), bismut (Bi), indium (In), antimon (Sb), měď (Cu) a zřídka germanium (Ge). Samozřejmě do zákazu používání olova (Pb) byl tento prvek nejčastěji používaným, a proto je v některých porovnáních olovo stále zmiňováno. Vlivy jednotlivých prvků na vlastnosti pájecí slitiny jsou uvedeny v tabulce č. 3. Zákazem používání olova v hromadné sériové výrobě též došlo k potlačení jeho pozitivních vlastností, které do slitin dodávalo. Olovo se například nepodílí na tvorbě intermetalických sloučenin, snižuje teplotu slitiny Pb-Sn a zlepšuje mechanické vlastnosti cínu tvořící společně daný pájený spoj<sup>5</sup>. [7]

---

<sup>5</sup> Zejména snižuje tuhost spoje a dodává mu elasticitu. Daný spoj je mechanicky odolnější.

Tabulka 3 Přínosnost prvků v pájecích pastách

Prvek	Vlastnosti
<b>Stříbro</b>	Snižuje bod tání, zlepšuje smáčivost a pevnost.
<b>Bismut</b>	Snižuje bod tání, zlepšuje smáčivost.
<b>Měď</b>	Zvyšuje pevnost.
<b>Zinek</b>	Nízký bod tání a nízká cena.
<b>Antimon</b>	Zvyšuje pevnost a snižuje povrchové napětí. Využití pro lepší roztékavost a menší pravděpodobnost tombstoningu.
<b>Indium</b>	Snižuje bod tání.
<b>Nikl</b>	Zabraňuje odsmaččení.

V současnosti se v elektrotechnice využívá více druhů bezolovnatých pájecích past. Nejvyužívanějšími slitinami jsou SAC (Sn-Ag-Cu), SC (Sn-Cu), SA (Sn-Ag). Neopomenutelnou slitinou je i perspektivní SCNi (Sn-Cu-Ni), která se však řadí mezi SC slitiny, protože poměrné zastoupení niklu je minimální. Souhrnný popis vyjmenovaných slitin nabízí následující tabulka.

Tabulka 4 Přehled bezolovnatých slitin

Slitina	Nejčastější složení	Eutektická teplota tavení	Základní vlastnosti
SAC	96,5% Sn, 3% Ag, 0,5% Cu	216-217 °C	Změna poměru jednotlivých složek se provádí za účelem změny mech vlastností. Dochází ke vzniku intermetalických sloučenin – Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub> , Cu <sub>3</sub> Sn a Ag <sub>3</sub> Sn
SC	99,3% Sn, 0,7 Cu	227 °C	Teplota tavení pouze 5 °C menší než teplota tavení cínu. Výskyt intermetalických sloučenin - Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub> , Cu <sub>3</sub> Sn
SCNi	92,5-99% Sn, 0,4-5% Cu, 0,05-2% Ni	216-238 °C (rozsah teplot tání, nikoliv eutektická teplota tání)	Příkladem je pájka SN100 (t <sub>t</sub> = 227 °C). Složení je stejné jako u eutektické pájky SC, ale obsahuje stopové prvky – 0,01% Ni a 0,005% Ge. Jejich přítomnost ovlivňuje např. smáčivost.
SA	96% Sn, 4% Ag	221 °C	Tvorba intermetalických sloučenin – nejčastěji jde o Ag <sub>3</sub> Sn
SB	57% Sn, 43% Bi	139 °C	Využití a aplikacích, kde požadována nižší teplota tavení, která je nižší než u předchozích typů bezolovnatých slitin, ale mají horší mechanické vlastnosti. Nedochází ke vzniku intermetalických sloučenin (struktura spoje podobná Pb pájkám).

## 2.3 Tavidla

Základní funkcí tavidla je chemicky očistit kovové plošky tvořící výsledný pájený spoj a povrch kovových částic pájecí pasty. Zároveň musí zajistit čistotu obou povrchů a kovových částic během samotného pájení, aby byla zajištěna kontinuita kovového spoje na rozhraních a správné spojení kovových částic. Dále také zvyšují smáčivost povrchů, tím že zvyšují povrchové napětí. Pro zajímavost tavidla neodstraňují oleje, různé mastnoty nebo otisky prstů. Navíc kromě základních funkcí se musejí určitým způsobem odstranit z roztavené pájky, aby mohl být vytvořen spoj. Dalším požadavkem na tavidla je jejich tepelná odolnost vůči teplému prostředí

bez chemického rozkladu. Zbytky tavidla vzniklé po procesu přetavení nesmějí být vodivé a způsobovat korozi. Pokud toto nesplňují, tak musejí být alespoň lehce omyvatelné. [8] [9]

Výběr vhodného tavidla záleží na několika následujících faktorech: druh pájených kovových ploch, čistota povrchu (více reaktivní tavidla jsou vyžadována na znečištěnější povrchy), způsobování koroze zbytky tavidla. Neopomenutelným faktorem je i rozpustnost zbytků ve vodě, pokud je nutné DPS po přetavení omývat. Velmi reaktivní tavidla se používají v případech, kdy jsou zhoršené podmínky pro pájení. Avšak nedoporučuje se aplikace na DPS, kde by nemuselo dojít ke kompletnímu omývání. Místa, kde by zbytky tavidla mohly zůstat i po provedení mycího procesu, jsou úzké spáry, oblasti pod součástkami, uvnitř konektorů nebo neutěsněných součástí. [8] [9]

### 2.3.1. Složení a typy tavidel

Pro přípravu tavidel se používají chemické sloučeniny obsahující funkční skupiny, které jsou aktivní nebo se stávají aktivními při teplotách odpovídajících teplotám pájení. Podle míry aktivity tavidla se používají různé organické chemické látky nebo i látky přírodní. Velmi důležitou skupinou jsou pryskyřice. Rozlišujeme pryskyřice přírodní (rosin), které se získávají z mízy borovice, a pryskyřice získané synteticky (resin). Hlavní složkou přírodní pryskyřice je kyselina abietová, jejíž hlavní funkcí je zvyšování adheze.

Tabulka 5 Tavidla pro měkké pájení [10]

Klasifikace tavidel pro měkké pájení podle obsahu hlavních složek			
Typ tavidla	Základ tavidla	Aktivace tavidla	Obsah halogenidu %
1 Pryskyřičné	1 Kalafuna (borová nemodifikovaná)	1 Bez aktivátorů	
	2 Nehalogenové pryskyřice (borová modifikovaná nebo syntetická)		
2 Organické (nízký nebo žádný obsah pryskyřice)	1. Vodou rozpustná	2. Halogeny	3 Nehalogenové aktivátory
	2. Vodou nerozpustná		
3 Anorganické	1 Soli ve vodném roztoku	1 S chloridem amonným	1 < 0,01
	2 Soli v anorganickém rozpouštědle	2 Bez chloridu amonného	2 < 0,15
	3 Kyseliny	1 S kyselinou fosforečnou	3 0,15-2,0
	4 Zásady	2. Bez kyseliny fosforečné	4 > 2
		1 Aminy a/nebo uhličitany amonné	

Tavidla obsahující pouze pryskyřice (kalafunu) rozpuštěné v lihovém roztoku (typ R) jsou nejméně reaktivní a vyžadují předčištění před samotným pájením, pokud se povrch nejeví jako vysoce pájitelný. Přidáním aktivačních látek dojde ke zlepšení vlastností tavidla. Středně aktivovaná pryskyřičná tavidla (RMA) obsahují aktivní látky, které po přetavení nezanechávají vodivé a korozivní zbytky. V případě RMA tavidel je následné čištění DPS nepotřebné. Aktivními látky mohou být organické kyseliny nebo aminokyseliny. U obou dosud zmíněných tavidel platí, že přidané aktivační látky nejsou při pokojové teplotě aktivní. Aktivními se stávají až po dosažení určité teploty. Nejaktivnějšími tavidly jsou plně aktivovaná pryskyřičná tavidla (typ RA). RA tavidla se vyznačují aktivitou i při nižší teplotě, tudíž jejich chování při styku s pájenými plochami musí být neustále kontrolováno, protože může docházet k nežádoucím chemickým reakcím - odleptávání původního materiálu. Zbytky RA tavidel z důvodu vyššího obsahu iontů by měly být omývány, jelikož obzvláště ve vlhkých prostředích mohou způsobovat korozi. Extrémním případem jsou silně aktivovaná (typ RSA), jejichž rezidua musí být po pájení omyta. [8] [9]

Další kategorií mohou být tavidla na bázi organických kyselin (typ OA). Hodnota pH tavidel se pohybuje okolo 2 a většinou se skládají z alkoholu, organické kyseliny a soli halogenvodíků. Kvůli lehké ionizovatelným složkám OA tavidel je nutné provést čištění desky například pomocí vody. Jinou skupinou jsou tavidla rozpustná ve vodě (typ WS). Přítomnost vody v tavidle může vést i k potížím během pájení. Obsah vody časově omezuje možnost nanášení pasty a zároveň pasty obsahující WS tavidla mají menší lepící schopnosti, což pro pájení přetavením je nežádoucí vlastností. Nevýhodou WS tavidel je také rozstřík pájecí pasty a tudíž i tvorba kuliček pájky nebo výskyt voidů. Z těchto důvodů je voda nahrazována jinými organickými rozpouštědly. Tavidla rozpustná v nepolárních chlorofluorovodících se nazývají syntetická (typ SA). Jejich účinky se dají srovnat s OA tavidly. Jejich zbytky způsobují korozi a po pájení musejí být odstraněny. Omývání se provádí roztokem o stejném složení, v němž jsou rozpustná. Používání SA tavidel je omežováno z důvodu obsahu freonů, který při úniku do atmosféry rozkládá ozon. Pro kompletní výčet druhů tavidel je nutné zmínit ještě anorganická tavidla (typ IA). Tavidla založená na anorganických kyselinách (např. HCl) patří mezi nejagresivnější. Zbytky anorganických tavidel jsou chemicky aktivní, tudíž i velmi korozivní. Zároveň jsou těžko odstranitelné, proto se v elektrotechnice využívají pouze zřídka. Dělení a názvosloví tavidel pro měkké pájení může být různé v závislosti na použitém zdroji a literatuře, proto je zde přítomna tabulka č. 5 přejatá z harmonizované normy pro přehledné shrnutí a možnosti dělení. [8] [9]

### **2.3.2. Tavidla „no-clean“**

V současnosti hlavně kvůli snižování nákladů na výrobu elektronických zařízení je velká tenze k tomu, aby tavidla měly takové složení, které umožňuje z procesu výroby vymýt omývání DPS po pájení přetavením. Tzv. „no-clean“ tavidla se dají jednoduše charakterizovat tím, že obsahují minimální množství pevné složky, které následně zůstává na povrchu pájeného spoje a DPS. Zároveň zachované zbytky tavidla jsou chemicky inertní a elektricky nevodivé. Ve skutečnosti to funguje tak, že soli jsou pohlceny zbytky pojiva, které na povrchu DPS zůstanou. Většinou nejsou agresivní a pouze lehce korozivní. Z již zmíněných typů tavidel by bylo možné



do „no-clean“ tavidel zahrnout tavidla R a RMA. Nejčastěji bývají „no-clean“ tavidla založena na bázi alkoholu jako rozpouštědla a procentně malém množství aktivní látky. Aktivními látkami jsou syntetické pryskyřice nebo organické kyseliny. Modernějšími „no-clean“ tavidly jsou ta, která jsou rozpustná ve vodě a neobsahují žádné těkavé látky včetně alkoholu. Tradiční pryskyřičná tavidla obsahují zhruba 25-30 hm. % pevné složky, což je ve srovnání s 2-3 hm. % „no-clean“ tavidly značný rozdíl. Nevýhodou však je jejich nižší agresivita, což nese vyšší nároky na kontrolu a techniku samotného pájení. [9]

Do roku 1987 bylo 98% DPS po pájení omýváno. S příchodem „no-clean“ technologie a jejím zařazením do výroby došlo k tomu, že pouze 20% DPS procházelo mycím procesem. Nicméně kvůli neustálé miniaturizaci součástek se opět výrobci vrací k omývání a zhruba 53% DPS s použitými „no-clean“ tavidly je v současnosti po pájení oplachováno. Podle IPC standardů je mezní hodnotou nečistot vyskytujících se DPS  $1,56 \mu\text{g NaCl}/\text{cm}^2$ . Zda je tato hodnota překročena, nezávisí pouze na typu použité pájecí pasty a tavidla v ní obsažené, ale na průběhu teplotního profilu a také na správně zvoleném prostředku pro omývání. Vyšší teploty v rámci teplotního profilu snižují výskyt znečištění, ale zase zvyšují tvorbu intermetalických sloučenin. Vhodně zvolená látka pro omývání DPS nečistoty odstraní, avšak při špatně zvoleném rozpouštědle jejich výskyt naroste. [11]

Nicméně označení tavidla „no-clean“ ještě stoprocentně nezaručuje naprostou jistotu, že nebude docházet ke korozi. V experimentálním testování [12] se prokázalo, že za určitých podmínek se následky zanechání tavidla na DPS mohou projevit právě vznikající korozi. Proto je nutné v některých průmyslových odvětvích, kde je požadována vysoká míra spolehlivosti, DPS omývat bez ohledu na použitý druh tavidla.

## 2.4 Mycí proces

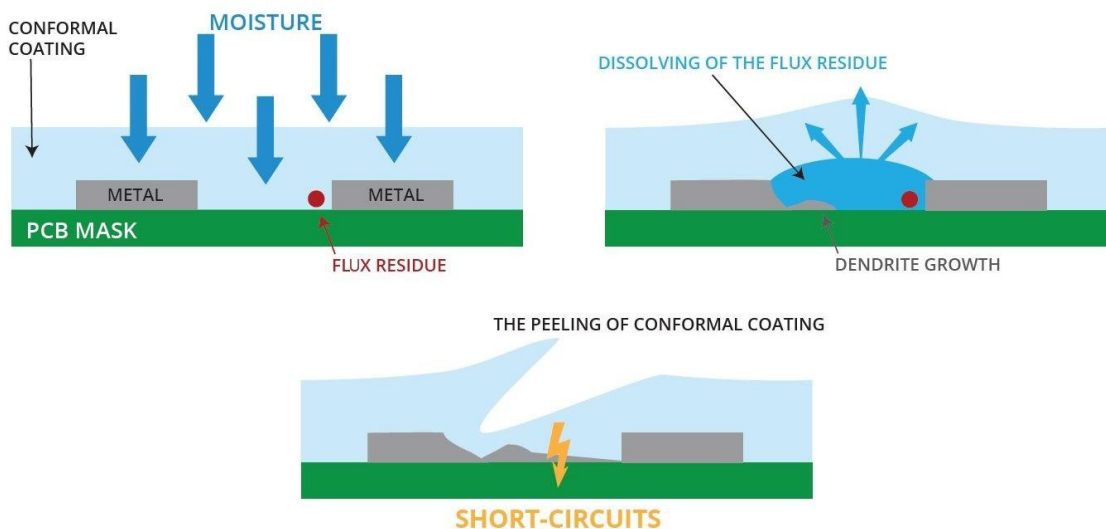
Proces mytí DPS obecně nezahrnuje pouze odstraňování zbytků tavidla. Na desce se můžou během celého procesu výroby zachytit například i rezidua fotorezistu, otřepy po vrtání, kovové špony, atd. Dle požadavků se tyto vzniklé nečistoty mohou a v již avizovaných případech musejí omývat. Samotný mycí proces lze rozdělit do tří základních fází: mytí, oplach a sušení. V první fázi dochází ke styku čisticího prostředku s povrchem omývaného předmětu. Díky chemickým a mechanickým vlastnostem mycího roztoku dochází k rozpouštění nečistot a jejich následnému uvolnění do roztoku. Během oplachu se znečištěný mycí roztok odstraní z povrchu předmětu. Možnosti použití a kombinace čisticího a oplachového média jsou uvedeny v následující podkapitole. Mycí proces následně ukončuje sušení horkým vzduchem, při kterém se odpařují zbytky oplachové látky. [13]

Důvodem pro čištění je mnoho, nicméně všechny vycházejí z prvořadého požadavku zajišťující požadovanou jakost (spolehlivost) pájeného spoje. Konkrétními důvody [14] mohou například být:

- splnění požadavku na hodnotu izolačního odporu,
- vyloučení komplikace spojené s působením zbytků tavidla v delším časovém horizontu,

- omezení problému souvisejícího s nemožností hrotového měření na substrátu,
- dosažení dobrých adhezních vlastností pro ochranné vrstvy,
- zlepšení kosmetického vzhledu osazené desky.

Na závěr této kapitoly je dobré poznamenat, že mycí proces byl v minulosti potlačen do pozadí díky nástupu „no-clean“ technologie. Nicméně s neustálou miniaturizací a rostoucími nároky na elektronické soustavy „nachází“ mycí proces v oblasti elektroniky své uplatnění. Důkazem může například být vzrůstající požadavek na SIR v souvislosti s nižšími používanými úrovněmi signálů v obvodech. Nebo aplikování elektronických řídicích a kontrolních prvků na místa, kde to bylo dříve s ohledem na prostředí nemožné.



Obrázek 6 Možnost narušení ochranné vrstvy [26]

### 2.4.1. Druhy nečistot

Nečistoty, které se mohou na DPS nacházet lze podle typu jejich částic rozdělit následovně. Mohou být polární/nepolární, anorganické/organické. Dále skupina látek schopné rozkládat se na kladné a záporné ionty. Většina aktivačních látek, kterými jsou tavidla dopovány, obsahují sloučeniny schopny vytvářet kationty a anionty, jsou anorganické a mají polární molekuly. Na druhou stranu přírodní i syntetické pryskyřice jsou látkami organickými nerozkládající se na ionty. [15]

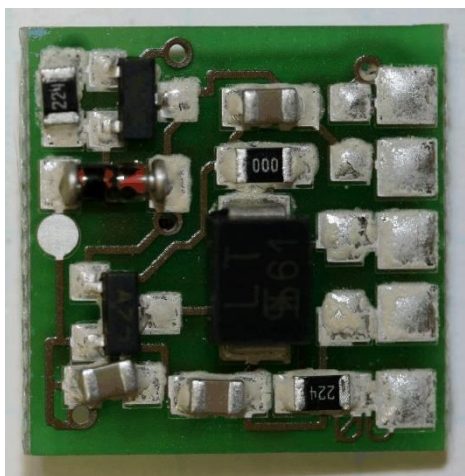
Nejvíce škodlivými jsou sloučeniny, které jsou schopny disociovat se na ionty (polární/iontové). Pokud nejsou z DPS odstraněny, tak mohou způsobovat výrazné problémy. Nejčastěji vznikají svodové proudy mezi vodivými cestami, dále pak může docházet ke korozi. Obzvláště ve vlhkém prostředí dochází ke zvýšené aktivitě. Voda totiž podporuje disociaci a umožňuje iontům se pohybovat. V přítomnosti napětí na vodivých cestách se mohou mezi místy s opačnou polaritou začít tvořit dendrity. Příkladem tohoto druhu kontaminace nejsou pouze aktivátory tavidel a jejich zbytky, nýbrž také zbytky solí jako pozůstatek leptání nebo sodík a chlorid draslíku (z otisku prstů). [15]

Jedním z možností, jak se těmto jevům vyhnout je pokrytí DPS speciální polymerní látkou. Tloušťka ochranného filmu se nejčastěji pohybuje v rozmezí 25-250  $\mu\text{m}$ . Nanesená vrstva chrání

i před kontaminací chemickými látkami, vibracemi, rychlými změnami okolní teploty a vlhkosti. Použití této ochrany však nepřináší naprostou odolnost a vyhnutí se následným defektům. Pokud zůstane pod povlakem ochranné látky nějaká nečistota (např. hydroskopická látka), která podporuje vznik vodních molekul na povrchu, a dojde k její hydrataci, tak případný vzniklý tlak způsobí poškození povlaku ve formě „puchýře“. Schéma znázorňující problematiku tzv. conformal coating (ochranná vrstva) je znázorněno na obrázku č. 6. [15]

Látky nerozkládající se na ionty (nepolární/neiontové), které mohou po přetavení na DPS zůstat, mohou rovněž způsobit negativní jevy. Jednou z nich může být ovlivnění při testování přípravkem s jehlovým polem (tzv. Bed of Nails). Zbytek látky, která je nevodivá, může způsobit nepropojení obvodu při testování. Druhým nežádoucím jevem je snížení adheze místa, na němž se reziduum nachází. Následné nanesení ochranného povlaku, tak nemusí být stoprocentně spolehlivé. Nečistoty jsou také schopné zakrýt látky štěpitelní na ionty, které se za určitých podmínek (teplota a vlhkost) mohou stát aktivními. Nepolární látkou mohou být zbytky kalafuny, které jsou nekorozivní a ve vodě nezpůsobují nárůst elektrické vodivosti. [15]

Pevné nečistoty se na povrchu DPS vyskytují po mechanických úpravách (vrtání, řezání, pouzdření, atd.). Tyto nečistoty jsou v čistícím médiu nerozpustné a odstranění je tedy čistě mechanické. Zároveň je nutné jejich koncentraci v mycím roztoku monitorovat a držet ji na nízké úrovni filtračního média. Při zvýšeném množství by mohlo docházet k opětovnému uvíznutí na povrchu DPS.



Obrázek 7 Ukázka bílých reziduí [27]

Výskyt bílých reziduí na povrchu DPS je jedním z problematik, které se objevují po provedení mycího procesu. Bílé zbytky, vzhledem připomínající nečistoty vodního kamene na skle, jsou v podstatě svým složením soli. Jsou to pozůstatky po používání tavidel nebo pojících látek obsažených v pájecích pastách. Tixotropní činidla obsažená v pájecích pastách mohou být po přetavení těžko odstranitelná obzvláště bez mechanického působení. Jsou-li navíc vystavena některému alkoholu (např. IPA), tak je výskyt velmi pravděpodobný. Možnostmi, jak se tomuto jevu vyhnout, je například analyzovat teplotní profil a vyhnout se vyšším teplotám, pokud je to možné.

Druhou možností je používat vylepšená tavidla založená na pryskyřicích. Ty jsou výhodná v tom, že jsou tepelně a chemicky odolnější. Bílá rezidua jsou totiž poměrně těžko odstranitelná, a pokud je jejich eliminace vyžadována, mohou se náklady na výrobu zvýšit. Způsob odstranění může být opětovné působení tavidla a okamžité očištění, přičemž působením tavidla dochází k výpomoci při rozpouštění. Eventuálně je možné DPS ponořit do vařícího se roztoku s tavidlem a následně ji pomocí tryskajícího rozpouštědla omýt. [15]

V rámci předchozích odstavců bylo vyjmenováno velké množství nečistot různých druhů, které mohou uvíznout na DPS v průběhu výroby až po ukončení procesu pájení. Jestliže se

výrobce rozhoduje, zda se bude DPS po pájení přetavením omývat, je předem nezbytné odpovědět si na několik otázek. Například, je vůbec nutné DPS omývat? Odpověď je poměrně složitá, nicméně bavili bychom se o rizikových prostředích a vysoké míře spolehlivosti, tak se k omývání přistupuje. Na obr. 10 jsou specifikovány tři základní rozhodovací aspekty – typ substrátu (vč. rozměrů, typu součástek a jejich rozložení), typ a míra nečistot a hlavně výsledné žádané vlastnosti.



Obrázek 8 Rozhodovací okolnosti pro zavedení mycího procesu

Pro elektronická zařízení používaná v kontrolovaných podmínkách (teplota, vlhkost) může být rozhodování o mytí poměrně složité a individuální. Může totiž například dojít k tomu, že selžou zařízení udržující „konstantní“ prostředí. Co to může následně způsobit? Z této otázky vyplývá, že je nutné analyzovat, co může přinést nefunkčnost zařízení. Stručně řečeno vzniklý defekt by neměl způsobit velké ekonomické ztráty, ohrozit lidský život, atd. Pro zařízení nespádající do těchto rizikových kategorií, a to hlavně svou cenou, důležitostí a užitkem, většinou platí to, že mycí proces je bázi dobrovolnosti. A ve většině případů se logicky z důvodu snižování nákladů na výrobu zcela vypouští. Naproti této snaze však působí stálé zmenšování vzdáleností mezi jednotlivými spoji a vodiči. Možnosti mycího procesu anebo jeho eliminaci lze stanovit podle toho, čím je omýváno, jakým způsobem a zda vůbec [15]. Tyto možnosti mohou být následující:

- čištění pomocí rozpouštědla obsahující organické složky, které rozpouští a následně odstraňuje zbytky tavidla či pájecí pasty,
- čištění pomocí rozpouštědla doprovázeno vodním oplachem,
- vodní čištění s použitím saponátu, který zajistí rozpustnost ve vodě zejména tavidel a pájecí pasty na bázi kalafuny (pryskyřice),
- vodní čištění tavidel a pájecích past rozpustných ve vodě,
- použití „no-clean“ tavidla (pájecí pasty), což vede k vyhnutí se mycího procesu,
- vyhnutí se čištění díky pájení přetavením v inertní atmosféře.

#### 2.4.2. Čisticí prostředky

Současné prostředky vhodné k čištění DPS mohou rozděleny do jednotlivých tříd, které jsou vyjmenovány a popsány v tabulce č. 6. Saponáty se musejí vybírat podle typu tavidla, jenž je odstraňováno. Velmi důležitá je koncentrace detergentu ve vodě. Ta se může být 3-50 %.

Dalším parametrem je teplota, při které se provádí čištění, a způsob nanášení čističe na DPS. Zároveň je nezbytné zvážit poměr mezi těmito dvěma parametry, aby byl účinek neoptimálnější. Teplota použití se pohybuje v rozmezí 20-90 °C a možnosti nanášení jsou uvedeny v následující kapitole. Jedna z nevýhod prostředků na bázi saponátů souvisí s pojmem povrchové napětí. Povrchové napětí je totiž velmi důležitým faktorem při čištění DPS. V současném trendu miniaturizace je požadováno, aby povrchové napětí čisticích prostředků bylo velmi malé. Jednou z možností, jak snížit povrchové napětí některé látky, je ohřátí roztoku, než dojde k vpuštění do mycí jednotky. V případě saponátu je problémem omývání zbytků pod součástkami, neboť saponátové roztoky mají pro toto použití vysoké povrchové napětí (40-50 mN/m). Dalšími negativními vlastnostmi je agresivita těchto prostředků včetně vzájemných účinků s materiály, následné oplachování<sup>6</sup>, sušení, voděodolnost a odstranění znečištěné směsi. [16]

Tabulka 6 Typy produktů používaných k čištění DPS a sloučeniny [16]

TYP PRODUKTU	SLOUČENINY
Saponáty	Tenzidy, detergenty, soli a voda
Benzínová čistidla	Alkoholy, ketony, čistidla třídy AII
Uhlovodíková čistidla	Alifatická čistidla, terpeny s aditivy, cyklo-, iso-parafíny, čistidla třídy AIII
Brómová rozpouštědla	n-Brómpropan smíchaný s alkoholy
Glykoly nebo modifikované alkoholy	Mono-propylen glykol, ostatní aditiva a voda
Fluorovaná rozpouštědla	Nonafluorobutyl-methyl éter, ostatní aditiva

Benzínová čistidla jsou nejčastěji používána za studena. Využití za vyšších teplot s sebou nese vysokou míru zabezpečení, jelikož tyto produkty jsou vysoce hořlavé i při pokojové teplotě. S výběrem daného čisticího produktu se pojí náklady nejenom na zařízení, ale i na následnou likvidaci. U benzínových čističů mohou být náklady na likvidaci značné. Bromová rozpouštědla se používají pro čištění v parách a jsou velmi agresivní. Proto se kompatibilita s materiály musí zkoušet individuálně s každým, se kterým může přijít rozpouštědlo do kontaktu. I přes velmi nízkou hodnotu povrchového napětí (20-30 mN/m) není zaručeno odstranění všech iontů. Pořizovací náklady jsou nízké, avšak z hlediska ohrožení životního prostředí a koncového uživatele jsou bromová rozpouštědla v Evropě zakázána používat. [16]

Uhlovodíková čistidla v podstatě nahrazují freony, které se používali v minulosti. Jedná-li se o poměrově správný roztok, tak se tento druh řadí mezi ty nejúčinnější. Díky nízkému povrchovému napětí (cca 20 mN/m) odstraňují pevné částičky, soli i zbytky tavidla pod jakýmkoliv typem součástky. Následné smývání může být prováděno vodou (systém rozpouštědlo - voda) nebo pomocí rozpouštědla (systém rozpouštědlo – rozpouštědlo). Při omývání rozpouštědla vodou narazíme na stejný problém, jako u saponátových čističů, a to je vyšší povrchové napětí vody než čistidla. U systému rozpouštědlo – rozpouštědlo dochází k velmi vysoké míře čistoty a dobrému sušení. Pozitivní vlastností je i možnost recyklace rozpouštědla

<sup>6</sup> Povrchové napětí vody se pohybuje v rozmezí 70-80 mN/m. Tato hodnota musí být snižována různými aditivy nebo isopropanolem, aby bylo možné omýt saponát s menším povrchovým napětím, než je u vody.

po oplachu a nízká nákupní cena. Uhlovodíková rozpouštědla splňují jak nároky na čistotu DPS po omytí, tak i ekologické požadavky. [16]

Sloučeniny glykolů nebo modifikovaných alkoholů mají nízké povrchové napětí, avšak nerozpouští některé nečistoty. Nevýhodou je relativně vysoká cena, odolnost některých částic vůči vodě a likvidace znečištěné směsi. Rozpouštědla s obsahem fluoru se bez dalších příměsí nevyužívají, protože nedokážou rozpustit veškeré nečistoty i přes nízkou hodnotu povrchového napětí (8-15 mN/m). Přidáním příměsí zejména uhlovodíků dostaneme však velmi účinné čističe, které splňují i velmi přísné normy. Tyto rozpouštědla by mohla být využívána v nejmodernějším způsobu omývání DPS a to při čištění v parách. Podle expertů ze společnosti zabývající rovněž problematikou mytí DPS, kteří porovnávali náklady na omývání DPS při použití vodního roztoku a čištění v parách, je možné při správném nastaveném procesu snížit náklady až na jednu desetinu. [16] [17]

Jelikož mycí prostředek tvoří podle výpočtů nezanedbatelnou část z celkových nákladů na mycí proces. Z toho vyplývá snaha o omezení spotřeby čisticích látek. Toho lze dle odborné literatury [14] dosáhnout několika způsoby a jejich kombinacemi:

- změnou resp. modernizací čistícího procesu,
- využíváním informací a rad od dodavatelů čisticích látek,
- účinným řízením procesu (monitorování, vyhodnocování a řízení),
- školením obsluhy,
- úpravou zařízení redukující odpařování (uzavření prostoru, stínění apod.),
- instalací recyklačního zařízení,
- zavedením ekologických čisticích metod (alkalické zmýdelnění pryskyřic nebo rozpouštědlové vodní čištění).

### **2.4.3. Způsoby čištění**

Nanášení mycího prostředku či způsob jeho kontaktu s čištěnou deskou plošného spoje lze realizovat více možnostmi, jejichž výčet a stručný popis je obsahem této kapitoly. Ve většině případů bývají mycí zařízení řešeny komplexně. Nezastávají pouze funkci omývání rozpouštědlem, ale fungují i jako oplachovací a sušící jednotky.

#### *Čištění ultrazvukem*

Ultrazvukové čištění se řadí mezi moderní a nejefektivnější způsoby čištění. Ultrazvukové čištění je založeno na tzv. kavitaci čili tvorbě milionů mikroskopických dutin (bublinek), které se působením ultrazvukového zdroje vytváří v čisticím médiu. Bublínky vlivem tlaku následně implodují a uvolněná energie odstraňuje nečistoty z povrchu DPS. Základním prvkem myčky jsou piezoelektrické měniče, které přeměňují vysokofrekvenční energii na mechanické vlnění. Ke zvýšení účinnosti se přistupuje ohříváním mycího prostředku na teplotu 50-60 °C a využití odplyněné vody obsahující malé množství rozpuštěného vzduchu. Výhodou tohoto čištění je, že mechanicky nedochází k poškozování součástí, spojů a dalších součástí DPS a čištění i velmi

těžko dostupných míst. Na druhou stranu se vylučuje použití ultrazvukového čištění u těch součástek, kde by mohlo dojít k trvalému poškození. [18]

### *Čištění postříkem*

Nečistoty jsou v tomto případě omývány pomocí emulze, jež je aplikována na desky pomocí pohyblivých trysek. Čisticí prostředek je do trysek natlakován na tlak 3-5 barů a rozdělen mezi počet trysek. Pro zajištění co nejlepšího výsledku jsou trysky natáčeny pod různými úhly. Nicméně i tak se může vyskytnout problém s nedokonalým omytím. Obzvláště v případech, kdy se na DPS vyskytují součástky typu BGA nebo některé konektory, anebo pokud je deska osazená s velkou mírou hustoty součástek. Vstříkovaná kapalina se totiž nemusí dostat na všechna místa, a to z důvodu velmi úzkého prostoru pod součástkou či stínění místa samotnou součástkou. Poté je vhodnější zvolit ultrazvukovou metodu, která z tohoto hlediska účinnější. [18]

### *Čištění v páře*

Jedná se o spojení dvou čisticích metod. Mycí zařízení je tvořeno dvěma částmi nacházející se vedle sebe. Jedna z nich je tvořena nádobou s vařícím se médiem a druhá část je ultrazvuková. Průběh čištění je takový, že nejprve je koš s deskami přes chladicí zónu spuštěna nad zónu, kde se nachází vařící čisticí roztok. Zde dojde ke kondenzaci páry na DPS a kondenzát obsahující rozpouštědlo odstraní nečistoty. Mezitím vytvořené kapičky na povrchu odkapávají zpět do nádržky. Poté je koš s deskami přemístěn do vyhřívané ultrazvukové lázně, kde dojde k dočištění. Nakonec se provádí sušení ve dvou chladicích zónách k zajištění kompletního vysušení. Tento způsob prozatím není mnoho využíván. Nicméně ve srovnání s čistě vodním čištěním, kde jsou používány vysokotlaké trysky, složité sušicí systémy, a cykly trvají delší dobu, je čištění v páře časově kratší a účinnější. Rovněž rozpouštědla mohou být méně agresivní, a tudíž je šetrnější k omývaným předmětům. [17] [19]

### *Čištění kýváním*

Princip čištění kýváním je velmi jednoduchý a je založen na periodickém vertikálním pohybu ramene, v němž je DPS uchycena. Pohybem dochází k proudění kapaliny okolo součástek a povrchu desky, čímž dochází k odplavení nečistot. Stejně jako předchozí způsob je tento spojen s ultrazvukovým čištěním, aby míra čistoty byla umocněna. Ve spojení to funguje tak, že pohyb desky pomáhá k odplavení ultrazvukem uvolněných nečistot. [18]

### *Čištění probubláváním*

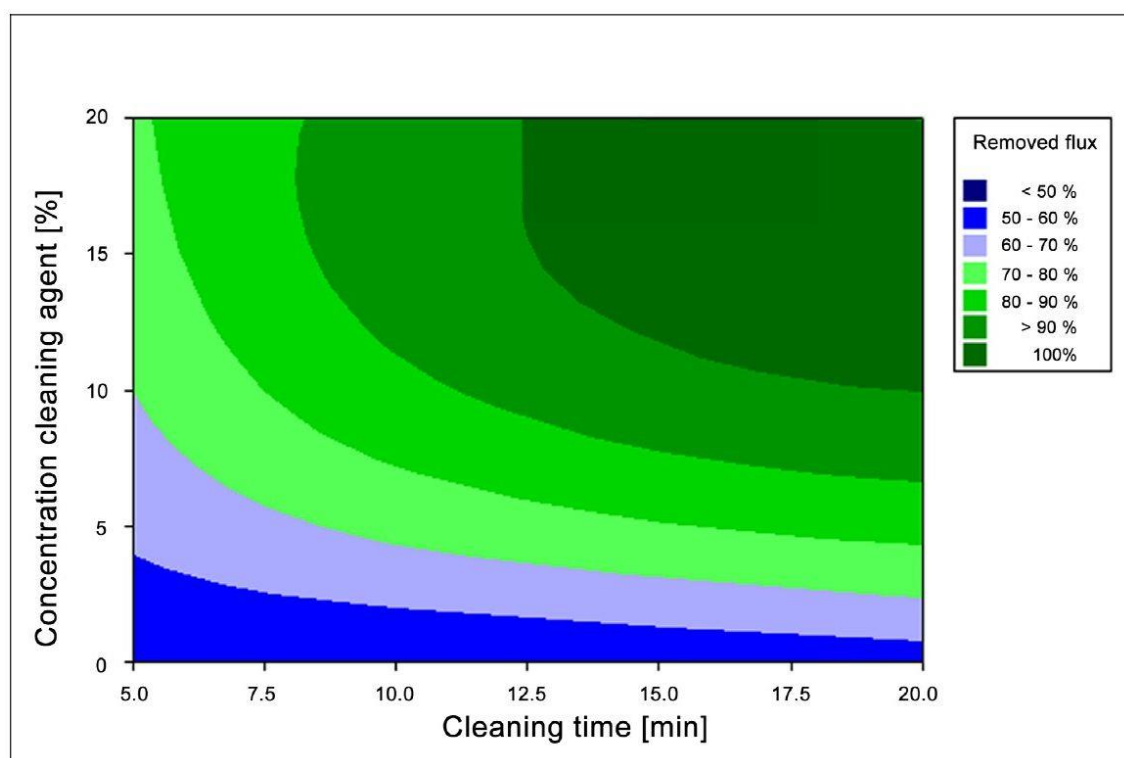
Způsob, který je využíván výjimečně, a to zejména na masivní díly. Jeho účinnost ve srovnání s uvedenými způsoby je horší a zdlouhavější. Je založeno na principu vhánění vzduchu společně s rozpouštědlem do vany spodními tryskami. Vzniklé bubliny cestou vzhůru váží nečistoty a vplavují na povrch. [18]

## **2.4.4. Mytí bezoplachových tavidel**

„No-clean“ tavidla v současné výrobě převládají a to zejména v oblasti spotřební elektroniky. Navzdory tomuto trendu se nedá říct, že by ostatní tavidla, která povrch DPS kontaminují větším množstvím rizikových částic, byla na výrazném ústupu. V praxi se však mohou vyskytnout případy, že po aplikaci „no-clean“ pájecí pasty dochází k omývání zbytků

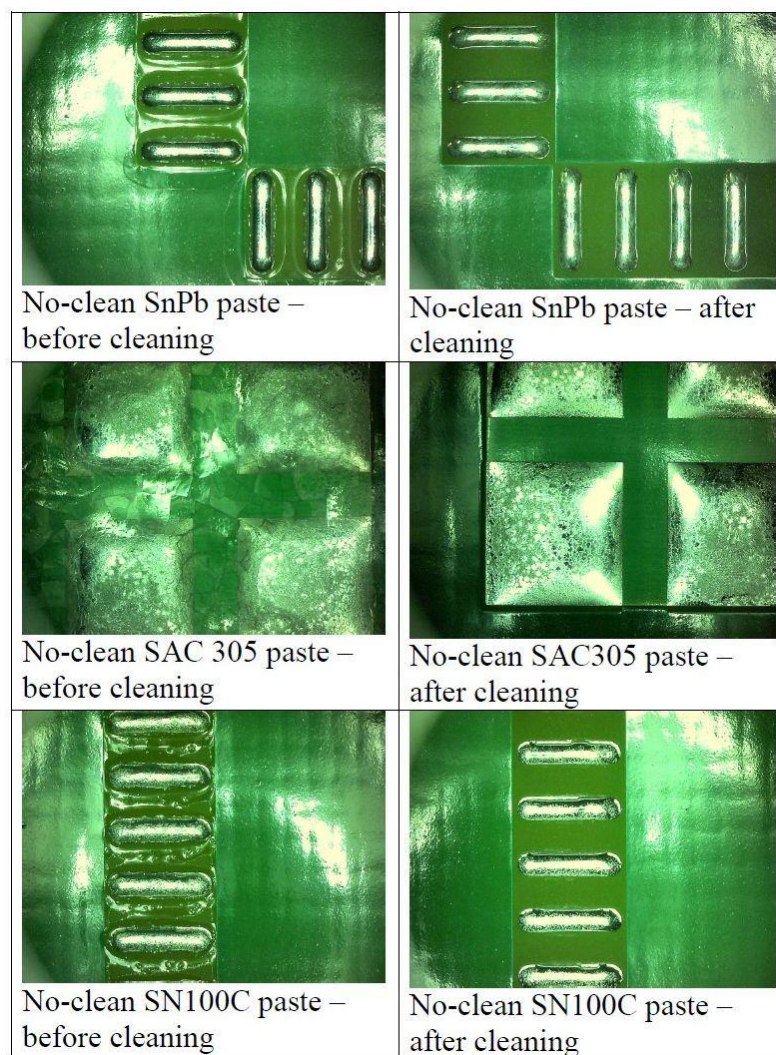
tavidla této pasty. Pro omytí těchto reziduí je nutné použití správných detergentů. Čištění čistou vodou (deionizovanou bez jakéhokoliv detergentu) je účinné pochopitelně u vodou rozpustných nečistot, ovšem za působení „fyzického kontaktu“ a/nebo vyšší teploty požívané vody. Mechanický kontakt je velmi efektivní, avšak musí být přiměřený, aby nedocházelo k poškození DPS. Proto omývání bezoplachového tavidla čistou vodou je vyloučeno. Nedojde-li ke kompletnímu mytí zbytků dostatečně účinným roztokem, situace z hlediska elektromigrace může být naopak horší, než při zanechání zbytků bez povšimnutí. Vlastností „no-clean“ tavidel je totiž vytvořit vrstvu („zapouzdřit“) okolo aktivačních látek, která na povrchu substrátu po přetavení zůstane, a tím je eliminovat. Z toho vyplývá, že v případě pouze částečného omytí dojde k narušení tohoto „ochranného obalu“. Výsledek je zhoršení stavu, než byl před omýváním.

Experimentální omývání bezoplachového tavidla dokázalo, že za správných mycích podmínek lze dosáhnout kvalitního mytí i tohoto tavidla. Obrázek č. 9 znázorňuje vliv vzájemného působení koncentrace mycího prostředku a délky mycího procesu. Srovnání stavu pájených ploch před a po omytí je ilustrováno na obrázku č. 10 a výsledná koncentrace reziduí po mycím procesu ostřikem nebo ultrazvukem porovnává obrázek č. 11. [20]

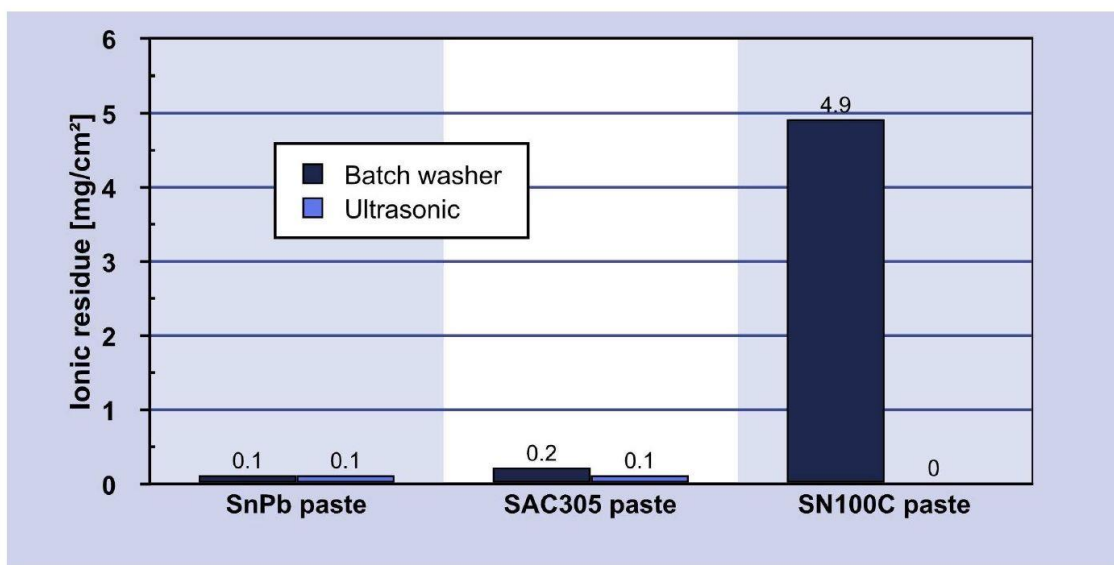


Obrázek 9 Výsledná čistota v závislosti na délce mycího procesu a koncentraci mycího prostředku [20]

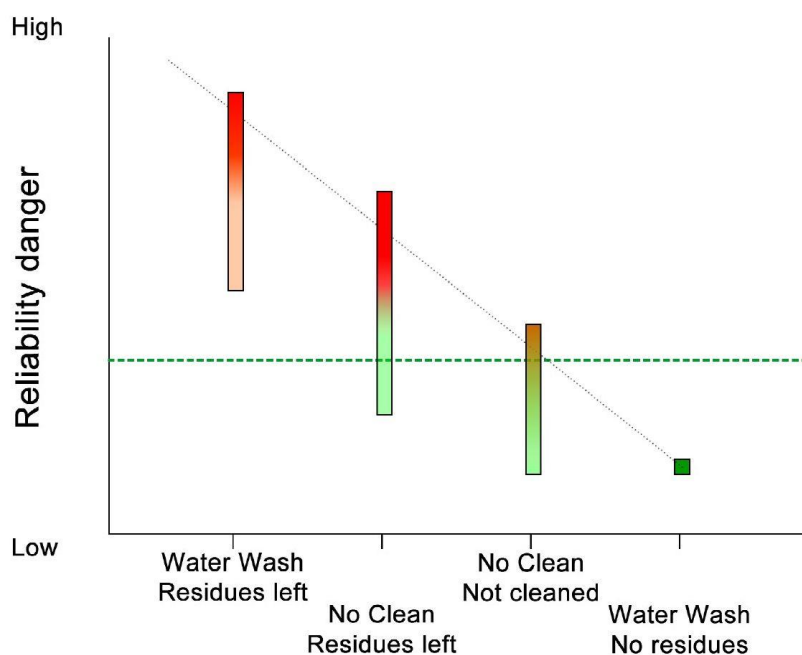




Obrázek 10 Vzhled pájených ploch před a po mycím procesu [20]



Obrázek 11 Úroveň koncentrace reziduí pro různé pájecí pasty a dva způsoby omývání (ultrazvuk, postřik) [20]



Obrázek 12 Riziko výskytu negativních jevů při použití různých tavidel [20]

## 2.5 Negativní vlivy tavidlových zbytků

Kvalita a spolehlivost pájeného spoje může být hodnocena z několika hledisek. Pro výrobce a uživatele je nejdůležitějším měřítkem spolehlivost a životnost. Vlivy, které působí na pájené spoje, a snižující jejich životnost jsou následující: stárnutí materiálů, mechanické namáhání a tepelné namáhání. Vzájemnou „spoluprací“ těchto vlivů dále procházejícím proudem a působením okolního prostředí může docházet k fyzikálním a chemickým dějům, které destrukují pájený spoj. Mezi zmíněné děje řadíme korozi a migraci.

### 2.5.1. Koroze

Koroze by se dala definovat jako mechanismus působící na kovový pájený spoj. Přičemž dochází k postupné degradaci kvality za působení vlhkosti, látek v prostředí a na samotném spoji. Následkem neustálého narušování struktury spoje je selhání celého zařízení. V atmosféře se vyskytuje velké množství chemických prvků, které s materiálem spoje reagují (např. O<sub>2</sub>). Mnohem horší účinky však vykazují plyny<sup>7</sup> nebo jejich soli (nejčastěji pozůstatek tavidel), které mají ve vlhkém prostředí tendenci vytvářet kyseliny a narušovat chemicky pájku. [14]

Možné dělení koroze dle charakteru probíhajících dějů může být následovné:

- a) elektrochemická      b) chemická      c) galvanická      d) ne-elektrolytická

#### *Elektrochemická koroze*

Proces probíhající při styku kovu s elektrolytem ve vodivém prostředí. Elektrochemická korozní reakce se skládá ze dvou dílčích reakcí. První z nich je reakce anodová, která odpovídá oxidaci kovu (vlastní koroze). Druhý současným dějem je katodová reakce, která odpovídá redukci některé složky korozního prostředí nebo redukci kyslíku rozpuštěného v elektrolytu.

<sup>7</sup> Nejčastější plyny vykazující korozivní účinky: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, atd.

Relativní vlhkost a napětí jsou nejzásadnějšími parametry ovlivňující korozi. Vodní páry při dané teplotě kondenzují na povrchu DPS. Počet molekulárních vrstev, které se na povrchu vytvoří, závisí na okolní relativní vlhkosti. Pravděpodobnost chemické nebo elektrochemické reakce je tím větší, čím je větší počet molekulárních vrstev vody na povrchu DPS. Pro elektrochemickou korozi navíc ještě platí, že je podpořena přítomností elektrického napětí, které svou hodnotou úměrně urychluje její aktivitu. Následkem probíhající koroze je změna vlastnosti materiálu spoje, zejména narušuje homogenitu a zhoršuje adhezi. [14]

#### *Chemická koroze*

Jedná se chemickou reakci, při níž je koroze vyvolána plyny působícími oxidačně (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> atd.) nebo redukčně (H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> atd.). Typickým znakem chemické koroze je tvorba korozních zplodin na povrchu kovu či slitiny. Tento druh koroze (oxidace kovů) se řadí mezi tzv. heterogenní reakce, neboť se jedná o reakci pevné fáze (kov, slitina) s plynnou fází. [14]

#### *Galvanická koroze*

Probíhá v přítomnosti elektrolytu bez vnějšího potenciálu. Míra galvanická koroze je hlavně ovlivňována difúzí materiálu. Vlastnosti reakce jsou dány množstvím přenášených reagujících složek přes materiál s nízkou difúzní schopností. Příkladem takového materiálu může být polymerový film či výplňový materiál. [14]

#### *Neelektrolytická koroze*

Původcem neelektrolytické koroze jsou chemické sloučeniny, které se vytvářejí na povrchu kovového pájeného spoje. Chemické látky vznikají na povrchu pokrytém neelektrolytickou látkou z prvků, které jsou obsaženy v roztoku. Ty pak různě (ve většině případů negativně) působí na povrch kovu. [14]

### **2.5.2. Migrace**

Elektrochemická migrace by se dala popsat jako pohyb iontů kovů za přítomnosti stejnosměrného napětí. Tento jev může vést k selhání zařízení kvůli vzniku zkratu, jenž je způsoben růstem dendritů. Je to proces, při kterém však nevznikají žádné korozivní jevy. Dalším důvodem k selhání je rozpojení obvodu v důsledky „rozpuštění“ anody. Možnost výskytu tohoto jevu je tím častější, čím je menší prostor mezi vodivými cestami. Vysvětlením je vztah (1) pro intenzitu elektrického pole, která je nepřímo úměrná vzdálenosti mezi vodiči:

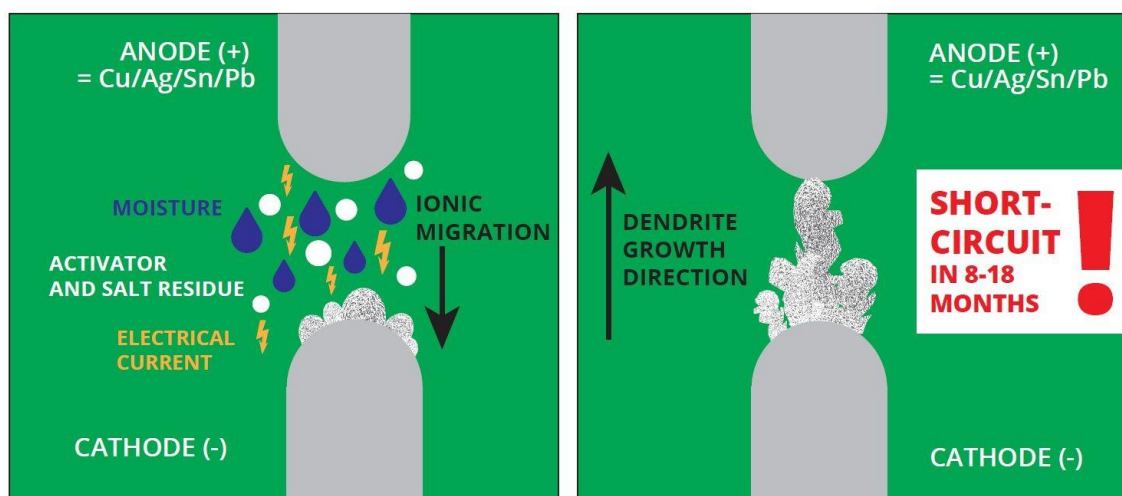
$$E = \frac{U}{d} \quad (1)$$

kde E [V/m] je intenzita elektrického pole, U [V] přiložené napětí a d [m] vzdálenost mezi vodiči. [21]

Podstatnou součástí elektrochemického jevu je přítomnost vlhkosti. Ta se musí v dostatečné míře vytvořit na povrchu izolátoru oddělující vodiče. Tím může být umožněno elektrolytické (iontové) vedení proudu při daném napětí (rozdílu potenciálu). To znamená, že dojde k vytváření iontů kovu oxidací na anodě přímým elektrochemickým rozkladem nebo pomoví několika elektrochemických a čistě chemických reakcí. Následuje pohyb iontu skrz

elektrolyt ke katodě. Nakonec se na katodě kladně nabitý iont redukuje na neutrální atom kovu posléze vytvářející dendrity. [21] [22]

Migraci lze podle zdroje působení rozdělit na dva druhy. První možností je elektrická migrace, která se objevuje zejména na rozhraní pájky a nosiče čipu. Hlavní příčinou elektrické migrace je velmi vysoká elektronová hustota proudu tekoucího z čipu přes pájený spoj. Vytvořená dutina na rozhraní se postupně rozšiřuje a značně ovlivňuje spolehlivost vývodů. Druhým typem je migrace tepelná. Tepelná migrace se od té elektrické liší tím, že je ovlivňována teplotním gradientem místo elektrickým potenciálem (popř. proudovou hustotou). Nicméně výsledek elektrické a tepelné migrace je naprosto stejný, tedy hromadné přemísťování iontů z jedné oblasti do jiné. [14]



Obrázek 13 Elektrická migrace - růst dendritu [26]

### 2.5.3. Svodové proudy

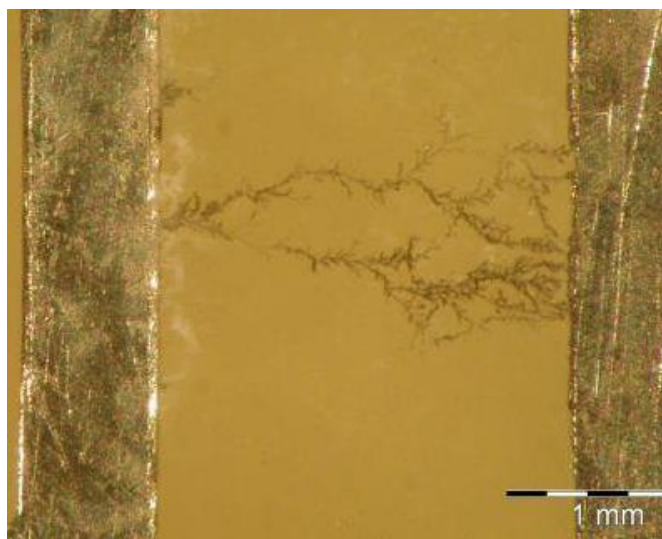
Svodové proudy je nežádoucí jev ve všech oblastech elektrotechniky, a pokud jsou splněny následující podmínky, tak jejich výskyt je detekovatelný i na DPS.

- Rozdíl napětí v určitém místě.
- V místě je povrchově absorbovaná tekutina ve formě mikrokapiček
- Vznik vodivého zbytku, který se stane nositelem proudu podél původní cesty (bez viditelného větvení – růstu dendritů).

Zásadní rozdíl mezi elektromigrací a svodovým proudem je ten, že nedochází k samotné migraci kovu a k tvrdému zkratu. Princip je podobný elektromigraci a tkví ve vytvoření vodivé cesty – přemostění obvodu – při uchycení vlhkosti a vodivých zbytků. Vlhkost je absorbována tavidlovými zbytky vytvářející vodivý povlak. Ten však nemá korozivní tendenci a tudíž nedochází k elektromigraci. Výsledkem je výskyt bludných proudů na povrchu DPS, jejichž vliv je nežádoucí hlavně v případě citlivých obvodů.

#### 2.5.4. Dendrity

Dendrity vznikají jako důsledek elektrochemické koroze a následné migrace. Jejich tvar často připomíná jehličkové útvary. Příčinou elektrochemické koroze a následně tvorby dendritů je přítomnost zbytků chloridů, které na povrchu DPS zůstanou po aplikaci tavidla. Působením vlhkosti se z těchto zbytků vytvářejí kyselinové roztoky, které narušují kovové cesty a pájené spoje. Tím se vytvoří vodivé soli (např. chlorid cíničitý) nebo vodivé dendrity. Vzniklé soli a dendrity snižují povrchový izolační odpor (SIR) a tudíž dojde ke zkratu. Dendrity jsou příčinou selhání elektrických a elektronických celků a to nejčastěji pokud obsahují mikroelektronické součástky. Diagnostika této poruchy je velmi obtížná (pod povrchem součástky), neboť proud protékající dendritem může způsobit jeho destrukci. Tento jev nastává typicky pro velkou proudovou hustotu a dendrit malého průřezu. Jejich tvar často připomíná jehličkové útvary. [13]



Obrázek 14 Příklad růstu dendritů

Popsaný princip vzniku dendritů platí pro většinu základních kovů využívaných v pájení. Byl pozorován u stříbra, olova, mědi, olova, cínu, molybdenu a zinku. Navíc pro Ag, Cu a Sn používané v pájecích pastách platí, že jsou náchylné k elektromigraci už i za mírně zvýšené vlhkosti. Postačí, pokud je DPS pokryta pouze několika monovrstvami molekul vody. Na rozdíl od jiných potenciálních kovů, které se mohou pro pájení používat, je potřebné pokrýt povrch DPS viditelnou vrstvou vody, jako například kondenzujícími kapkami. [23]

#### 2.6 Měřicí metody související s ionizovatelnými rezidui

Někteří výrobci a jejich odběratelé považují za čisté to, co je čisté na pohled. Ve výrobě s větší závazností je však potřeba přistupovat jiným způsobem a žádat neviditelnou iontovou čistotu. Iontová čistota znamená, že na povrchu sestavy nebo v jejích povrchových i hloubkových vrstvách nejsou látky, které mají elektronovou aktivitu a mohly by se uvolnit. Konkrétněji se jedná o látky, které s vlhkostí vytváří dielektrika a způsobují pohyb iontů kovů. V normách nalezneme sedm přímých způsobů měření iontové nečistoty, z nichž jen některé budou níže popsány. Dále je možné využít i nepřímých metod, u nichž se neměří znečištění ve fyzikálních jednotkách. Místo toho se zjišťují účinky nečistot tak, aby se podmínky testování co nejvíce

přiblížili praxi. Mezi nepřímé metody řadíme vizuální metody, test elektromigrace, ale i měření povrchového odporu (SIR). [24]

### 2.6.1. Měření povrchového izolačního odporu (SIR)

Povrchový odpor je dán poměrem napětí mezi dvěma elektrodami a proudem protékajícím mezi nimi. Měření proudu je možné dvěma způsoby, a sice napřímo, nebo prostřednictvím nabíjeného kondenzátoru, kde měřenou veličinou je vybíjecí proud kondenzátoru. Výhodou měření SIR (Surface Insulation Resistance) v porovnání s ostatními metodami je to, že se jedná o přímou metodu. Zbylými metodami získáme průměrné znečištění v rámci celé testované DPS. Pomocí SIR měření jsme schopni detekovat přítomnost zbytků tavidla i v případě nerovnoměrného znečištění DPS. Nevýhodou této metody je nutnost vytvoření dodatečných obvodů na vrchní vrstvě DPS pro získání korektních hodnot. Měření povrchového izolačního odporu je hojně využíváno pro určení: [25]

- izolačních schopností a odolnosti vůči vlhkosti laminátů a materiálů na DPS,
- kompatibility tavidla s materiály DPS,
- čistoty povrchu DPS,
- detekce přítomnosti zbytků tavidla pod součástkami.

Podmínky pro měření SIR v závislosti na přítomnosti ionizovatelných zbytků pod součástkami a na povrchu DPS jsou stanoveny v IPC standardech. Konkrétně se jedná o normu J-STD-004A a její novější verzi J-STD-004B (viz. hodnoty v závorce pro porovnání změn). Hodnoty SIR za níže vypsanych podmínek musí být odečteny ve čtvrtém a sedmém dni testování (každých dvacet minut). Nejnovější norma J-STD-004B stanovuje hodnotu SIR na 100 MΩ. [25]

- Relativní vlhkost:  $85 \pm 2\%$  ( $90 \pm 2\%$ ).
- Teplota:  $85 \pm 2\text{ °C}$  ( $40 \pm 2\text{ °C}$ ).
- Délka trvání experimentálního měření: 168 hod. (7 dní).
- Testovací napětí: -100 V DC.
- Polarizační napětí (napětí, které je přiloženo, pokud se deska nachází v klimatické komoře): 45-50 V DC (10 V DC).
- Využití deionizované vody v klimatické komoře s odporem větším než 4 MΩ.

### 2.6.2. ROSE – Resistivity of Solvent Extract

Metoda spočívající v omytí DPS přesným množstvím přesně připraveného roztoku deionizované vody a izopropanolu v poměru 3:1 (popř. 2:1 – dle vztažené normy). Po předem stanovené době působení roztoku na ploše DPS je pozorována změna vodivosti roztoku a srovnávána s kalibračním měřením. Lázeň pro kalibrační měření se kontaminuje přesným množstvím NaCl. Z naměřené hodnoty vodivosti se vypočítává ekvivalent množství NaCl na DPS nebo lze rovněž získat průměrnou kontaminaci na plochu desky podle vztahu (2). [13] [24]

$$Z_{PS} = (\gamma_1 - \gamma_0) \cdot \frac{V}{S \cdot k_{24}} \quad (2)$$



- $Z_{PS}$  – kontaminace DPS [ $\mu\text{g}\cdot\text{NaCl}\cdot\text{cm}^{-2}$ ]
- $\gamma_0$  – počáteční vodivost [ $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
- $\gamma_1$  – konečná vodivost [ $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
- $V$  – objem [ml]
- $k_{24}$  – směrnice vodivosti při 24 °C

### 2.6.3. SEC (Solvent Extract Conductivity)

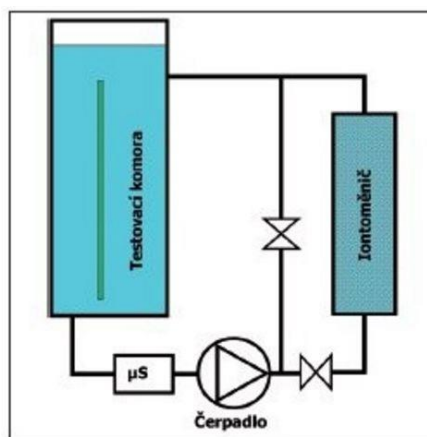
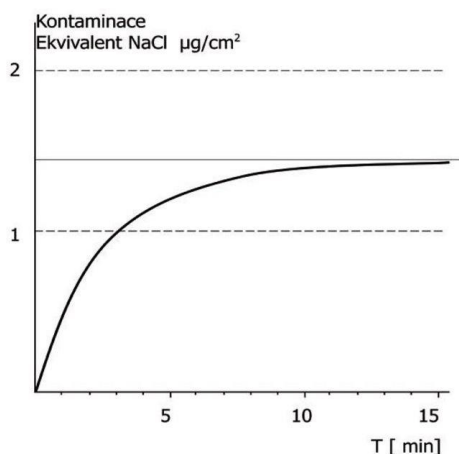
Konduktometrická metoda využívající k odstranění rozpustitelných nečistot z měřeného vzorku DPS roztok izopropanolu a deionizované vody. Výsledkem měření je změna konduktivity roztoku, která udává průměrné znečištění ionizovatelnými zbytky na jednotku plochy. Pomocí SEC metody ale například nezjistíme plošné rozložení nečistot či nedetekujeme neionizovatelná rezidua. Navíc výsledek může být ovlivněn hustotou osazení DPS. Za účelem detekce rozložení reziduí na DPS a jejich vlivu na konkrétní místa se preferuje SIR měření. [13] [24]

SEC se zejména využívá pro následující účely:

- Testování čistoty podle IPC, MIL a dalších platných norem.
- Řízení procesu čištění linek.
- Cenově výhodná metoda pro hodnocení mycích procesů.

### 2.6.4. Omegametr

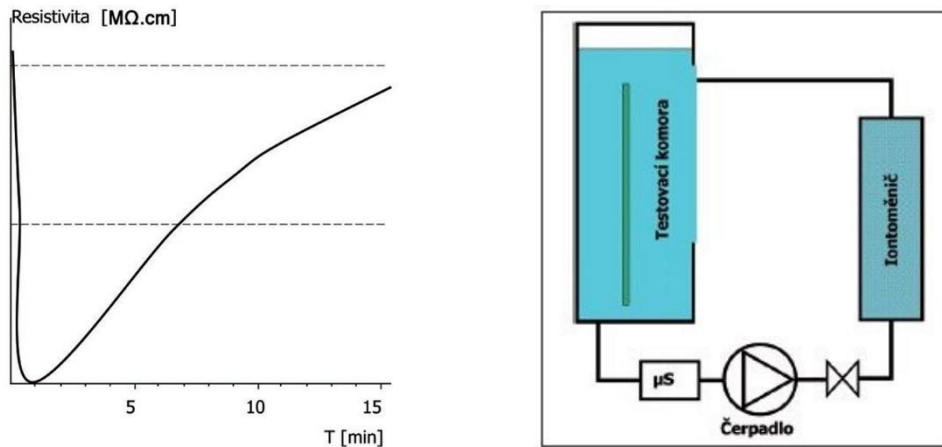
Jedná se o statickou metodu, při níž se roztok deionizované vody a izopropanolu připraví v přístroji cirkulací přes speciální vysoce výkonné iontoměnič (hodnota cca 20  $\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ ). V okamžiku dosažení požadované hodnoty se iontoměničové kolony oddělí z okruhu a roztok se vystaví působení vzorku. Hodnota vodivosti postupně (nejčastěji asymptoticky) klesá k určité ustálené hodnotě, která je výsledkem měření. [13] [24]



Obrázek 15 Typická křivka měření omegametrů (vlevo) a schéma omegametrů (vpravo)

## 2.6.5. Ionograf

Dynamická měřicí metoda, v jejíž průběhu je testovací roztok kontinuálně regenerován. Podle rychlosti regenerace roztoku se vyhodnocuje kontaminace v přepočtu na ekvivalent solnosti. Jinými slovy se měří změna vodivosti a z výsledného integrálu vznikne výsledek. Ionografické měření se provádí za studena, nebo pro vyšší citlivost při zvýšené teplotě. [13] [24]



Obrázek 16 Charakteristická křivka měření ionografu (vlevo) a schéma ionografu (vpravo)



### 3. Ekonomické zhodnocení

Hlavním účelem této části bakalářské práce je vyčíslit náklady na mytí DPS. Pro tento účel jsem oslovil společnosti, které se mycím procesem určitým způsobem zabývají. Buď poskytují mycí služby jako externí dodavatel zhotovitele DPS, nebo s mycími zařízeními a prostředky obchodují. Na základě reálných údajů získaných od těchto společností, jsem realizoval některé výpočty, které jsou v následujících kapitolách prezentovány. Součástí jsou vyčíslené náklady na mytí DPS, což je nezbytný údaj nejen pro firmu, která aplikuje mycí proces ve vlastní výrobě DPS, ale i pro externí firmy (dodavatele této služby). U externích dodavatelů jsou náklady na mycí cyklus jedním z hlavních údajů, jenž je používán ke kalkulaci ceny nabízené odběrateli. Do ekonomického zhodnocení jsem dále zařadil i analýzu prodejní ceny za jeden mycí cyklus v rámci investice do zařízení, kterou jsem stanovil na základě nákladů a makroekonomických ukazatelů. Nutno poznamenat, že všechny teoretické úvahy a výpočty vychází z dostupných informací vázaných na daná mycí zařízení, a tudíž je nelze obecně aplikovat na jiné technologie omývání DPS.

#### 3.1 Mini SWASH II

Zařízení s obchodním názvem Mini SWASH II je určeno k omývání nejenom zbytků tavidla po pájení přetavením, ale i pro oplach kovových šablon a sít od zbytků pájecí pasty a SMD lepidla. Další možností využití je mytí tzv. missprintů neboli špatně natisknutých DPS.

Po oslovení společnosti, která zařízení využívá a nabízí k prodeji, jsem k tomuto zařízení obdržel podrobné ekonomické a technické údaje. Výsledky a analýzy mých výpočtů jsou obsahem následujících částí této práce, stejně jako některé důležité technické informace vybrané z datasheetu.



Obrázek 17 Mycí zařízení Mini SWASH II

### 3.1.1. Technické specifikace

Jedná se zařízení, jehož rozměry činí (š×v×h) 1520×1195 (1540)<sup>8</sup>×780 mm bez filtrační jednotky. Celková hmotnost je 250 kg rovněž bez filtrační jednotky. Podle rozměrů je zřejmé, že se jedná mycí jednotku menších rozměrů určenou pro menší série. Samotné omývání probíhá pomocí synchronní rotace ostřikových ramen, které jsou rozmístěny tak, aby docházelo k přímému ostřiku bez nežádoucích stínů a mechanického namáhání mytých soustav. Celkový počet mycích trysek činí 51 a tlak mycího roztoku na tryskách dosahuje 2,6 bar (260 kPa). Teplota mycího média se pohybuje okolo 60 °C a průtok dosahuje hodnoty 50 litrů za minutu. Jelikož se jedná o komplexní jednotku, tak kromě oplachu mycího prostředku, je v tomto zařízení možné myté soustavy vysušet. Sušení je řešeno pomocí rotačního vzduchového nože, což přináší přímé a vysoce účinné sušení a nízkou spotřebu čistící chemie. Maximální možná nastavitelná teplota pro sušení 85 °C.

Dalšími technickými vlastnostmi a zároveň i přednostmi Mini SWASH II je variabilně konfigurovatelný oplach. Konkrétně je možné volit mezi čistidlem, kohoutkovou nebo deionizovanou vodou jako média určeného pro spláchnutí čistícího prostředku. Řízení je řešeno pomocí PLC a dotykového barevného displeje s možností ukládání mycích programů. Výhodou je graficky přehledné zobrazení všech nastavených a aktuálních parametrů.

Tabulka č. 7 na následující straně shrnuje všechny potřebné technicko-ekonomické informace. Tabulka je rozčleněna do třech sekcí. Červeně podbarvená část podává údaje o současných cenách energií, mycího prostředku, mzdy a v neposlední řadě je zde zahrnuta nákupní cena zařízení. V zelené sekci jsou údaje o činnosti zařízení (denní zatížení) a jeho obsluze. Je zde stanovena i doba odepisování zařízení, která je závislá hlavně na zatížení a s tím spojeným opotřebením. Aby s co největší pravděpodobností byla naplněna doba předpokládané životnosti, tak by uvedené zatížení nemělo ve větší míře překračováno. „Počet přestávek za den“ a „Počet cyklů mezi přestávkami“ pro konkrétní čísla znamená, že v současnosti za den proběhne 5 mycích cyklů a poté následuje „přestávka po zbytek dne“. Modré řádky uvádějí zejména spotřebu energií, prostředku. Dále také kapacitu a ceny spotřebního materiálu, servisu a revizí. Cena servisních prací je stanovena jako dlouhodobá průměrná hodnota podle zkušeností.

Cenové údaje jsou uvedené eurech z obchodních důvodů. Převod na koruny je stanoven podle kurzu uvedeného ve výpočetním souboru a využit ke stanovení nákladů pro rok 2016. V rámci zhodnocení investice a stanovení prodejní ceny jsem již počítal s cenami v korunách. Vyjma položek (spotřební materiál, mycí prostředek), které jsou dodavatelům hrazeny v eurech.

---

<sup>8</sup> Výška zařízení včetně signalizačního majáku.

Tabulka 7 Technicko - ekonomické údaje Mini SWASH II

Aktuální ceny (náklady)	Mycí zařízení	25 700,00	€
	Elektrina	0,15	€/kWh
	Stlačený vzduch	0,01	€/m <sup>3</sup>
	Mycí prostředek VIGION A 201 (25%)	4,42	€/l
	Likvidace mycího prostředku	0,50	€/l
	Kohoutková voda – vodné	3,00	€/m <sup>3</sup>
	Odpadní voda – stočné	0,50	€/l
	Mzda (1 zaměstnanec obsluhující zařízení)	8,00	€/hod.
Obsluha (činnost) zařízení	Doba odepisování	10,00	rok
	Délka pracovní doby	8,00	hod.
	Počet přestávek za den	1,00	denně
	Počet pracovních dnů	250,00	ročně
	Doba trvání obsluhy (1 cyklus)	2,00	min
	Počet cyklů mezi přestávkami	5,00	cyklů
Technické údaje o zařízení	Kapacita zařízení (max. 1,3 cyklu/hod.)	0,60	cykl/hod.
	Počet rámu v zařízení	1,00	rám/cykl
	Běžná doba trvání jednoho cyklu	0,75	hod.
	Spotřeba mycího prostředku	0,30	l/cykl
	Množství mycího prostředku	62,00	l
	Výměna mycího prostředku za rok	3,00	
	Spotřeba kohoutkové vody	0,20	l/cykl
	Množství vody	33,00	l
	Výměna vody za rok	5,00	krát
	Průměrný příkon (mytí, oplach, sušení)	1,00	kW
	Spotřeba stlačeného vzduchu	1,00	l/min
	Spotřební materiál	290,00	€/měsíc
	Revize a servis mycího zařízení	700,00	€/rok

### 3.1.2. Stanovení provozních nákladů

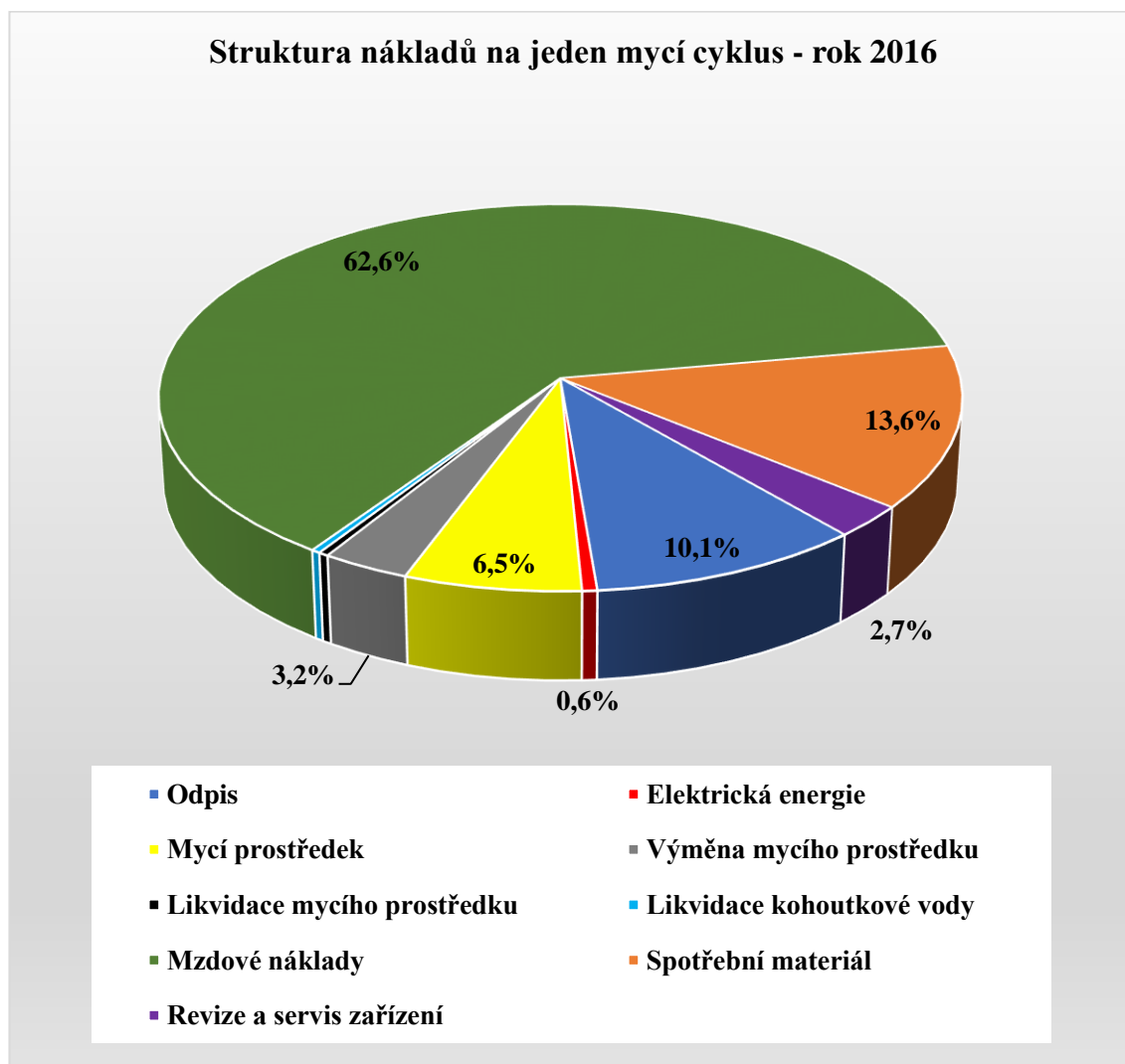
Na základě hodnot, které jsou v tabulce výše, jsem stanovil celkové náklady na jeden mycí cyklus. Celková hodnota nákladů se skládá z jednotlivých dílčích položek, jejichž vyčíslení jsem zahrnul do tabulky č. 8. Podíl jednotlivých nákladových položek na celkové sumě je přehledně zobrazen v grafu č. 1. Zmíněná tabulka je sestavena pro současné ceny materiálu, pracovní síly a kurz CZK/EUR stanovený pro přepočítání. Je zřejmé, že ceny se v čase mění, proto zde úmyslně uvádím platnost napočítaných nákladů pro rok 2016. V investičním hodnocení, s touto skutečností pracuji a podrobnosti jsou rozebrány v podkapitole 3.1.3. Hodnoty v tabulce zaokrouhluji až na čtyři desetinná místa z toho důvodu, že některé nákladové položky jsou svojí velikostí tak nízké, že při menším počtu desetinných míst by byly zanedbány.

Při stanovení nákladů na mzdu v mé kalkulaci počítám s jedním operátorem, který by obsluhoval pouze jedno zařízení. V případě, že by firma disponovala více zařízeními, tak tím by se nákladu mzdu vztažené na mycí cyklus mohli snižovat, protože obsluha zařízení trvá teoreticky pouze 2 minuty v rámci jednoho cyklu. Jeden operátor by tedy mohl obsluhovat více zařízení.

Tabulka 8 Nákladové položky na jeden mycí cyklus

Vyčíslení nákladů na jeden mycí cyklus v roce 2016			
Položka	Podíl	Cena v EUR	Cena v CZK
Odpis	10,060%	2,0560 €	55,55 Kč
Elektrická energie	0,550%	0,1125 €	3,04 Kč
Stlačený vzduch	0,002%	0,0005 €	0,01 Kč
Mycí prostředek	6,488%	1,3260 €	35,83 Kč
Výměna mycího prostředku	3,218%	0,6577 €	17,77 Kč
Likvidace mycího prostředku	0,364%	0,0744 €	2,01 Kč
Kohoutková voda	0,003%	0,0006 €	0,02 Kč
Výměna kohoutkové vody	0,002%	0,0004 €	0,01 Kč
Likvidace kohoutkové vody	0,323%	0,0660 €	1,78 Kč
Mzdové náklady	62,628%	12,8000 €	345,86 Kč
Spotřební materiál	13,622%	2,7840 €	75,22 Kč
Revize a servis zařízení	2,740%	0,5600 €	15,13 Kč
<b>Celkové náklady na 1 cyklus</b>	<b>100%</b>	<b>20,4380 €</b>	<b>552,24 Kč</b>

Graf 1 Podíl zastoupení jednotlivých nákladových položek



Z grafu č. je patrné, že více jak jednu polovinu celkových nákladů tvoří náklad na mzdu pracovníka obsluhující zařízení. Naopak některé položky nedosahují ani 0,5 % podílu a dokonce jsou položky, které jsou v řádu tisícín procent. Tímto se poměrně zužuje prostor k případné redukci nákladů, neboť snížení mzdy je téměř nereálné a zabývat se redukováním položek podílejících se na mycím cyklu v řádech setin a tisícín nepřinese kýžený efekt. Odpisy redukovat rovněž nelze, tudíž zbývající položky, kde je možné hledat úspory, jsou spotřební materiál, mycí prostředek a servis zařízení. Avšak je důležité poznamenat, že úspory aplikované na spotřební materiál (zejména filtry) a mycí prostředek mohou velký vliv na výslednou iontovou čistotu omývaných DPS. Rozdíl mezi nákladem „mycí prostředek“ a „výměna mycího prostředku“ tkví v tom, že první zmíněná položka znamená spotřebu (ztrátu) mycího prostředku během jednoho cyklu, který je třeba po dokončení doplnit. Načež výměna mycího prostředku je kompletní nahrazení prostředku konkrétně 62 litrů po určitém počtu cyklů stejně jako u kohoutkové vody.

Závěrem této kapitoly je nutné vyzdvihnout celkovou hodnotu nákladů na jeden mycí cyklus 552,24 Kč. Je to hodnota, která navýší hodnotu výrobních nákladů DPS, pokud se výrobce rozhodne investovat do tohoto zařízení a zařadit mycí cyklus do výroby. Přičemž účinná čistící plocha je 0,45 m<sup>2</sup> a například do rámu v rámci jednoho cyklu je možné vložit maximálně 24 kusů DPS o rozměrech 100×160 mm. To znamená přibližně 23 Kč na každou omytou DPS. Výsledné produkt se může skládat z více DPS, tudíž náklady na mycí proces pro jeden produkt jsou dané počtem obsažených DPS.

### **3.1.3. Zhodnocení efektivnosti investice**

V předchozí kapitole jsem vyčíslil náklady, se kterými je třeba počítat, rozhodne-li se firma produkující DPS zařadit mycí proces do své výroby. Náplní této kapitoly je hodnocení investice pro společnost, která nabízí své služby externě. Neboli předmětem podnikání této společnosti je nabízení služeb v oblasti omývání DPS výrobcům. Aby bylo možné investici ekonomicky zhodnotit je potřeba doplnit několik dalších údajů, než jsou pouze náklady a pořizovací cena.

#### **3.1.3.1. Údaje potřebné pro zhodnocení**

##### *Počet mycích cyklů*

Po položení dotazu společnosti, jestli je možné z firemních údajů určit, jaký je vývoj ohledně počtu provedených mycích cyklů, jsem obdržel odpověď, že průměrný meziroční nárůst by se mohl pohybovat okolo 18 % za poslední tři roky. Tuto hodnotu jsem následně v mých výpočtech použil pro stanovení vývoje počtu mycích cyklů provedených za rok. Růst z minulých let je s velkou pravděpodobností spojen s růstem ekonomiky. Mycí proces je například využíván pro DPS pro zařízení v automobilovém průmyslu, pro který je v posledních letech typický růst výroby (v roce 2016 +5 % oproti roku 2015). Z těchto úvah odvozují i další růst 18% tempem až do roku 2021. V dalších letech již kalkuluji se stagnujícím počtem, neboť již desetiletá predikce je velmi nepřesná. Navíc se nedá předpokládat, že růst by byl nekonečně dlouhý. Zároveň počet cyklů 2860 při stanoveném počtu pracovních dnů a využití maximální kapacity zařízení (1,3 cyklu/hod.) znamená téměř devět hodin provozu denně. Při obsluze jedním zaměstnancem dochází zároveň k překročení standardní osmihodinové pracovní doby. Tento potenciální problém není v rámci mých výpočtů finančně řešen.

### *Diskontní sazba*

Diskontní sazba je současně s peněžním tokem důležitým faktorem pro stanovení ekonomické efektivity investičního projektu, proto je určení diskontní sazby základním úkolem při investičním rozhodování. U firem je základem diskontní sazby diskontní firemní sazba, kterou lze ztotožnit s firemními náklady kapitálu. Ty se stanovují jako vážený aritmetický průměr nákladů vlastního kapitálu a cizího kapitálu. Dalšími korekcemi (např. dle rizika projektu, míry inflace) se můžeme dostat ke konečné hodnotě sazby. Jelikož určení podle vzorců většinou vyžadují větší míru znalostí z oblasti podnikových financí, pro účely této bakalářské práce jsem došel k určení diskontní sazby jiným poněkud jednodušším, ale ne tak přesným způsobem.

Podíváme-li se na investici z pohledu potencionálního investora, lze diskontní sazbu nazývat i oportunitní cost, tj. náklady ztracených příležitostí. Nejnižší použitelnou úrokovou mírou může tedy být míra efektu bezrizikové investice, čímž může být úrok z krátkodobých státních dluhopisů nebo termínovaných vkladů u komerčních bank. V současnosti jsou nabídky úrokových sazeb velmi nízké, takže úroky na termínovaných vkladech s počátečním vkladem 0,5-1 mil. Kč po dobu deseti let se pohybují maximálně do 2 % p.a. u komerčních bank a do 3 % p.a. u družstevních záložen. Vezmu-li v potaz zmíněné úrokové sazby a míru rizika investice (dle tabulky v odborné literatuře), tak podle mého názoru odpovídající diskontní sazba pro tento investiční záměr je 9 %. Jedná se sice o konzervativní odhad, nicméně pro výpočty v rámci bakalářské práce dostačující.

### *Měnový kurz CZK/EUR*

Stanovení kurzu je v mých výpočtech z toho důvodu, že mycí prostředek a spotřební materiál je nakupován od zahraničního dodavatele a tudíž vývoj nelze naprosto zanedbat a nepočítat s ním. Stanovit vývoj kurzu obecně jedné měny vůči jiné je obtížné na několik měsíců dopředu natož na deset let. I když jsem v mých výpočtech nějaký vývoj navrhl, tak je dobré říci, že případná mírná odlišnost od předpokládané hodnoty nebude znamenat velký dopad na výsledky.

### *Inflace*

V současnosti se míra inflace pohybuje okolo 2,5 %. Podle prognózy ČNB by inflace v prvním čtvrtletí roku 2018 měla být 2,5 % a ve druhém 2,3%. S tím, že inflační cíl je stanoven na hodnotu 2 % a snaha bude taková, aby tato hodnota nebyla překročena o více než jeden procentní bod z obou stran. Na základě těchto hodnot jsem pro mé výpočty stanovil míru inflace na 2 %. Pro zjednodušení s touto mírou inflace počítám při nákupu zboží ze zahraničí.

### *Růst mezd*

Procentní růst mzdy jsem zvolil dle vývoje průměrné mzdy. S nahlédnutím do minulosti (posledních pět až deset let) zjistíme, že meziroční nárůst se pohyboval téměř od 0 % až po 6-8%. Pro účely výpočtů jsem se rozhodl použít meziroční nárůst 3 % po celou dobu trvání investice.

### *Daňové odpisy*

Za účelem stanovení celkového zisku po zdanění je nutné zahrnout do výpočtu daňové odpisy. Určují podle Zákona o daních příjmu zařazením dlouhodobého hmotného majetku do

správné odpisové skupiny. Na základě charakteristiky majetku druhé odpisové skupiny jsem mycí zařízení do této skupiny zařadil, tudíž doba odepisování je stanovena na 5 let. Konkrétně by mycímu zařízení mohla odpovídat položka 2-60 (CZ-CPA 28.99.20) v příloze č. 1 zákona č. 586/1992 Sb. Dále se musí rozhodnout, zda aplikovat lineární nebo degresivní způsob odepisování. Ve výpočtech jsem zvolil první zmíněný způsob.

#### *Daň z příjmu*

Aktuální sazba daně z příjmu (neboli daň ze zisku) je 19 %. S touto sazbou kalkuluji ve výpočtech po celou dobu životnosti investice. Při výpočtu základu nepracuji se zápornou hodnotou daně. Není tedy využita jako tzv. daňový štít. Pokud je základ daně záporný, tak ho uplatňuji pro snížení kladného základu daně v dalších letech. Nejpozději však v následujících pěti zdaňovacích obdobích.

#### **3.1.3.2. Stanovení ceny za mycí cyklus**

Ve výpočtech neustále pracuji s hodnotami vztaženými na jeden mycí cyklus. Mycí zařízení totiž pracuje neustále se stejnou spotřebou energií, prostředku, mírou opotřebení atd. a vůbec nezáleží, jestli je z hlediska své kapacity 100% naplněno nebo běží naprázdno. Výroba DPS však většinou probíhá ve velkých sériích, takže problém s nenaplněním kapacity zařízení v rámci cyklu nehrozí. V závislosti na předchozím vysvětlení jsem stanovil ideální prodejní cenu za mycí cyklus.

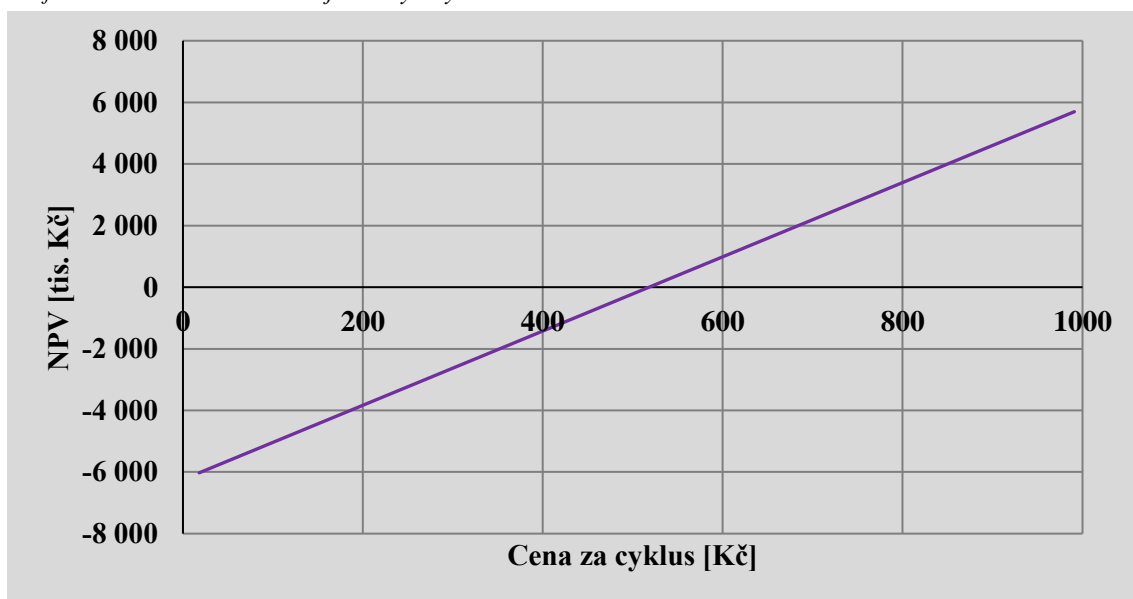
K výpočtu prodejní ceny jsem využil jednu z metod, která se využívá k hodnocení ekonomické efektivnosti investice. Touto metodou je metoda čisté současné hodnoty (NPV), jejíž výpočetní vzorec je (3). Cash flow je možné vypočítat pomocí přímé metody a následně za výnosy můžeme dosadit součin provedených mycích cyklů a prodejní ceny, tak je to znázorněno v rovnici (3). Položením této rovnice rovné nule či jakémukoliv číslu získáme prodejní cenu mycího cyklu, která splňuje požadavky diskontní sazby a hodnoty investice za deset let.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{(V-N)_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{(p \cdot q - N)_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

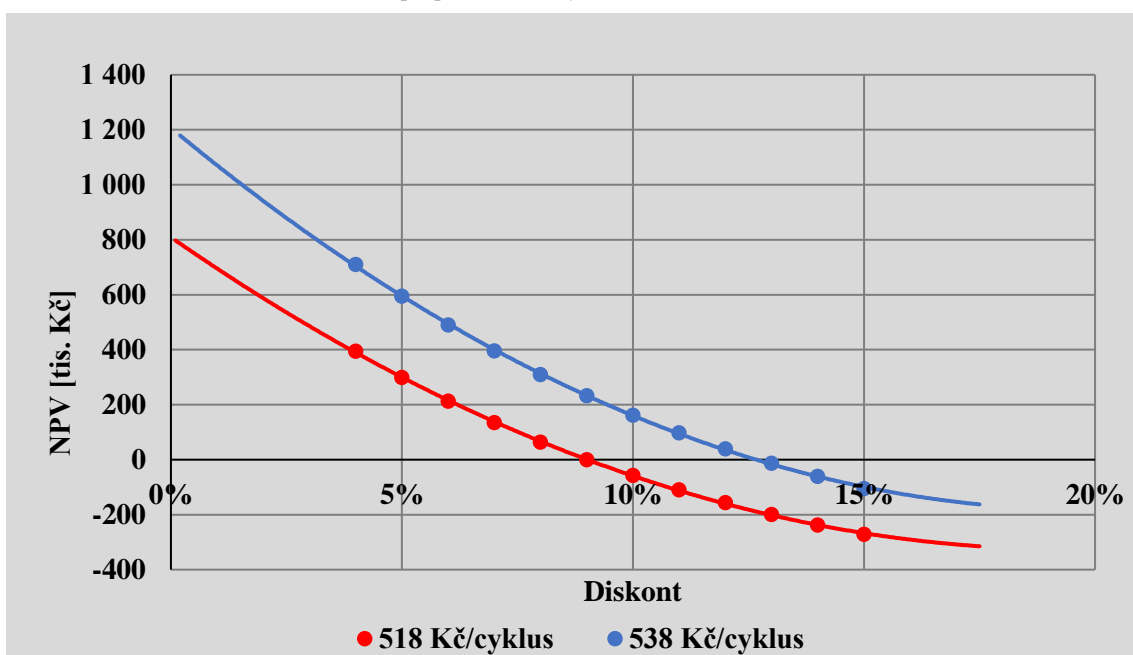
- CF – cash flow (peněžní tok) v daném roce
- V – výnosy v daném roce
- N – náklady v daném roce
- p – cena za cyklus
- q – množství provedených mycích cyklů v daném roce
- r – diskontní sazba

Závislost NPV na prodejní ceně za jeden cyklus znázorňuje graf č. 2. Se zvyšující se cenou můžeme sledovat lineární nárůst čisté současné hodnoty této investice. Pro cenu, při které je NPV rovno nule (518 Kč za cyklus), platí, že je zajištěn výnos kapitálu ve výši vstupního požadavku 9 %. V závislosti na tendenci zhodnocovat kapitál větší mírou je možností zvednou počáteční podmínku (diskontní sazbu), a tím zvýšit i cenu za cyklus. Druhou možností na základě vypočtené ceny pomocí analýzy tuto cenu navyšovat do „maximální“ možné výše. Zpětně pak získáme míru výnosu investice pomocí výpočtu IRR (vnitřní výnosové procento). Pro ukázkou jsem zvolil cenu za cyklus o 20 Kč vyšší od původní vypočtené. Souvislost mezi diskontní sazbou a NPV pro dvě zmíněné ceny za cyklus nabízí graf č. 3. Graf znázorňuje, že pokud zvedneme cenu za cyklus o 20 Kč, tak dojde ke zvýšení zhodnocení kapitálu na přibližných 12,5 %.

Graf 2 Závislost NPV na ceně za jeden mycí cyklus



Graf 3 Závislost NPV na diskontní sazbě při poč. ceně za cyklus





I přes zahrnutí veškerých potencionálních vlivů zvyšující náklady v průběhu investice, tak i výslednou cenu za cyklus podrobují stanovené inflační míře. Jistě že by bylo možné stanovit cenu, která by byla po celou dobu investice konstantní a zaručovala by stejné zhodnocení. Takto určená konstantní cena má výhodu například během vyjednávání o dlouhodobých kontraktech (5-10 let), kdy je možné zákazníkovi zaručit pevnou cenu po dobu platnosti smlouvy.

Ještě jednu věc bych ale v rámci této kapitoly podotkl, která souvisí s tím, že podnikání v oblasti mytí DPS je ovlivněno konkurenčním prostředím. Ne jedné straně je sice možné stanovit „ideální“ cenu za cyklus, která splňuje naše očekávané přínosy. Na straně druhé však tato cena musí být konkurence schopná, aby bylo možné se trhu s touto službou prosadit. Nicméně po mírném průzkumu na internetu se ukázalo, že nabídka této služby je minimální a tudíž cenové srovnání je omezené. Spíše převládají případy prodeje mycího zařízení do vlastní výroby.

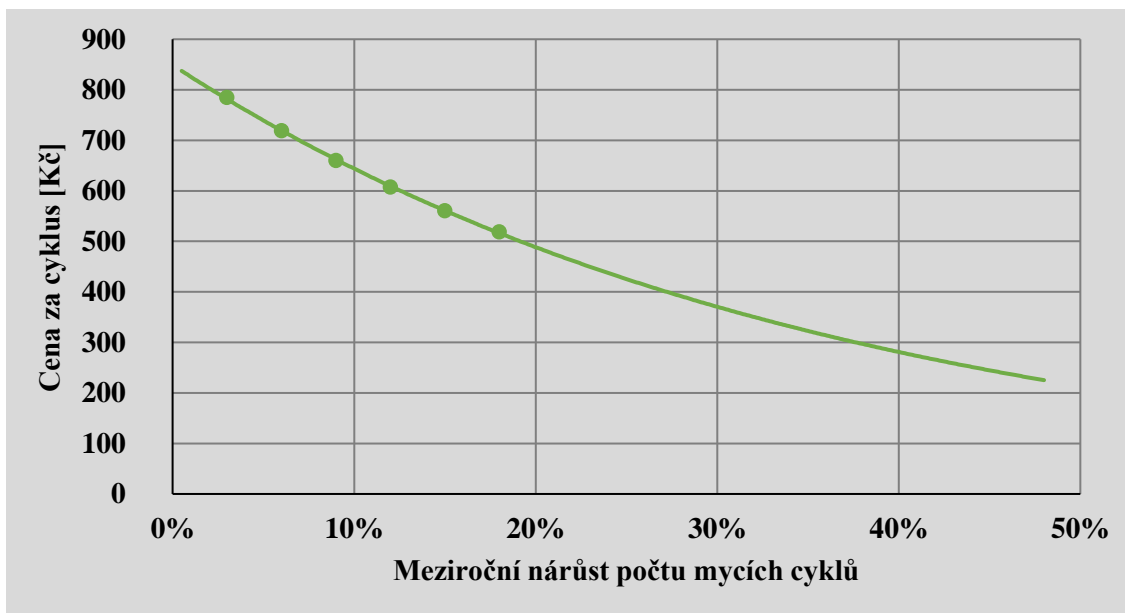
### 3.1.3.3. Analýza vývoje

Předpokládaný růst, s nímž je kalkulováno, se nemusí zaručeně vyvíjet podle mých očekávání. Proto je potřeba analyzovat různé vývoje počtu cyklů a stanovit pro ně cenu za cyklus, aby bylo docíleno požadovaného výsledku hospodaření. Pro analýzu jsem stanovil různé meziroční nárůsty mycích cyklů. Potom na základě rozdílu provozních výnosů a nákladů (provozního zisku - EBIT) jsem určil takovou cenu, aby pro jakoukoliv konstantní meziroční změnu byl EBIT stejný. Výsledky shrnuje tabulka č. 9 a graf č. 3. Z grafu je zřejmé, že s rostoucím počtem cyklů klesá cena za cyklus téměř exponenciálně.

Tabulka 9 Požadovaná počáteční cena za cyklus pro jednotlivé meziroční nárůsty mycích cyklů

Meziroční nárůst mycích cyklů	18%	15%	12%	9%	6%	3%
Počáteční cena za cyklus	518 Kč	560 Kč	607 Kč	660 Kč	719 Kč	785 Kč

Graf 4 Závislost počáteční ceny na vývoji počtu mycích cyklů



### 3.1.3.4. Bod zvratu

Analýza bodu zvratu je metoda, která určuje kritické množství objemu výroby. Jedná se o bod při určitém objemu výroby, kdy se výnosy rovnají nákladům. To znamená, že je splněna rovnice (4).

$$p \cdot q = a + b \cdot q \quad (4)$$

- p – cena za výrobek (cyklus)
- q – počet vyrobených výrobků (množství provedených mycích cyklů)
- a – fixní náklady
- b – variabilní náklady

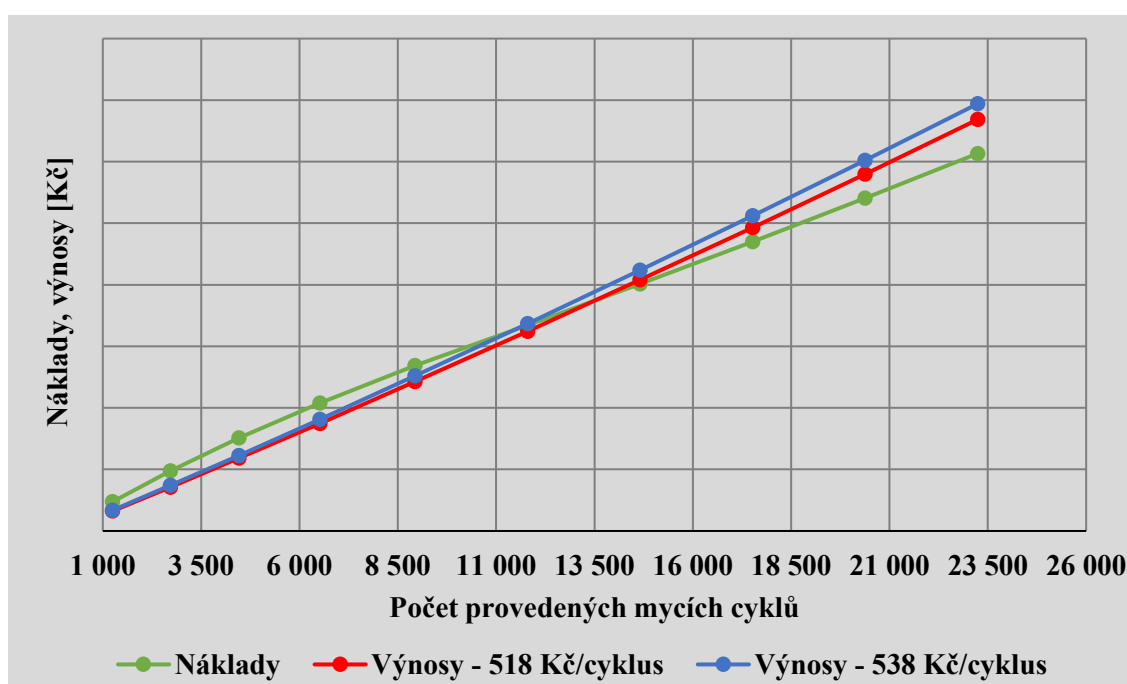
V případě analýzy bodu zvratu mohou nastat následující situace, kdy k bodu zvratu nedojde.

- Bodu zvratu a případného zisku není možné dosáhnout, neboť cena výrobku je menší než variabilní náklady.
- Bodu zvratu nelze dosáhnout z důvodu omezené kapacity výroby nebo koupěschopné poptávky.

Z dostupných údajů a následných výpočtů tyto situace však nenastaly a tudíž jsem byl pro danou počáteční cenu schopen stanovit bod zvratu. Přibližně pro počet 13500 provedených cyklů se náklady rovnají výnosům, proto se tento počet dá označit bodem zvratu. Průběh výnosové a nákladové křivky je znázorněn na grafu č. 4. Pro porovnání jsem do grafu vynesl i výnosovou křivku pro počáteční cenu vyšší o 20 Kč. Tím se bod zvratu sníží o 2000 mycích cyklů.

Pro bod zvratu lze zjednodušeně vyvodit i to, pro jaký počet cyklů se vyplatí do zařízení investovat nebo službu využívat externě. Provedeme-li menší počet cyklů, než je bod zvratu je

Graf 5 Znázornění bodu zvratu pro dvě počáteční ceny

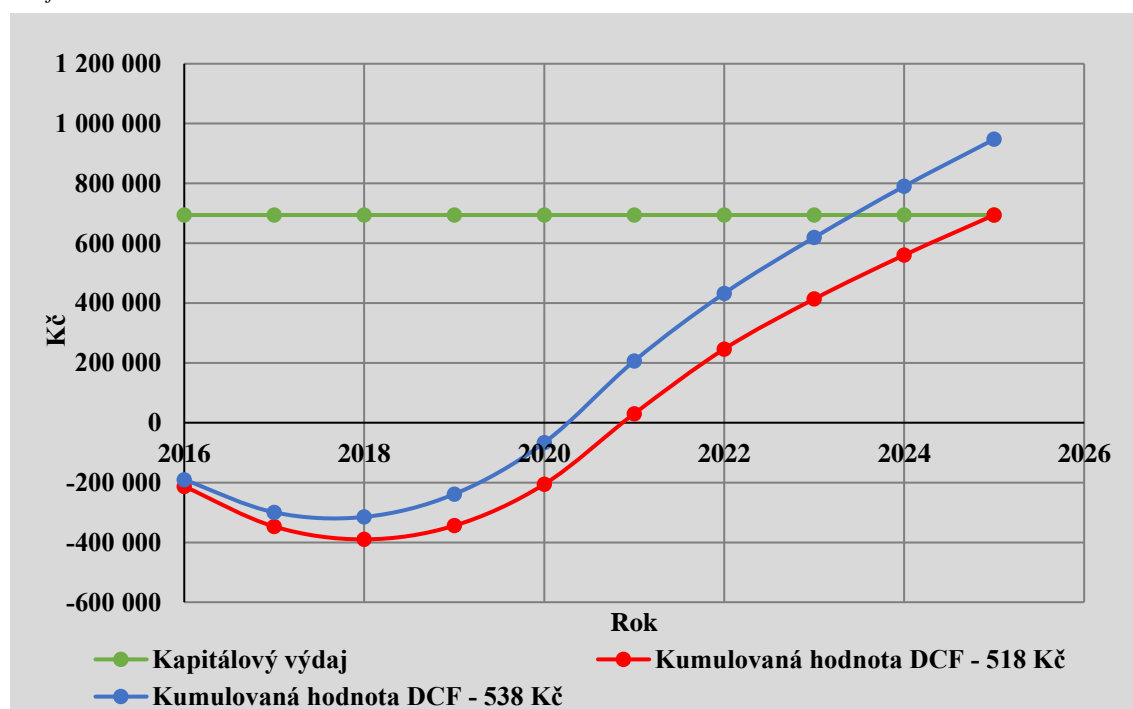


výhodnější si nechávat DPS omývat externím dodavatelem za počáteční „kupní“ cenu, s níž jsem při stanovení bodu zvratu pracoval.

### 3.1.3.5. Doba návratnosti

Určení doby návratnosti investice patří mezi metody hodnotící investici, a dává nám možnost ji popřípadě porovnat s dalšími investicemi, pokud se rozhodujeme mezi více variantami. U této metody sledujeme, kdy naakumulované hodnoty cashflow překročí kapitálový výdaj. Pro přesnější určení této doby jsem použil diskontované cashflow po zdanění, aby nebylo potlačeno časové rozlišení. Podle grafu č. 5 je možné tvrdit, že doba návratnosti by měla pro stanovenou cenu právě v roce 2025. Zvýšením počáteční ceny logicky snížíme dobu návratnosti. Jak velký je časový rozdíl při zvýšení původní ceny o 3,9 %. Doba návratnosti se tak sníží o více jak rok a půl. Graf č. 6 zobrazuje prostou dobu návratnosti získanou pomocí kumulované hodnoty cashflow bez použití diskontu.

Graf 6 Diskontovaná doba návratnosti investice



Dobu návratnosti lze však v případě zařazení mycího procesu DPS do výroby přímo výrobcem chápat jinak. A to tak, že pokud dojde k investování do tohoto zařízení, tak by mělo dojít k redukci výskytu růstu dendritů. Nejenom že to vede k větší spolehlivosti výrobků, ale i k menší poruchovosti zařízení a to znamená i redukci například záručních oprav atd. I tímto způsobem lze mluvit o návratnosti investice. Potvrzení této myšlenky by mohlo určitě být námětem některé další analýzy. Nicméně je velmi obtížné z dosavadních zkušeností získat data, která by předchozí slova potvrzovala. Navíc není dokázáno, že by mycí proces stoprocentně vyloučil případný růst dendritů, tím mohou případné výpočty a analýzy ještě složitější.

Graf 7 Prostá doba návratnosti investice



### 3.2 INJET 388-CRD

Mycí zařízení, které je vhodné stejně jako předchozí k omývání zbytků tavidel, šablon, pumprintů a misprintů. Technologie omývání je rovněž totožná, a to tlakový ostřík mycím prostředkem pomocí trysek.



Obrázek 18 INJET 388-CRD (celkový pohled vlevo, vnitřní uspořádání vpravo)

#### 3.2.1. Technické specifikace

Komplexně řešené zařízení zahrnující všechny procesy – mytí, oplach, sušení. Celý proces je automaticky řízen pomocí PLC, které lze nastavovat pomocí dotykového displeje. Zařízení je možné umístit přímo do výrobních prostor díky plně uzavřeným okruhům. Nepochází tudíž k vypouštění žádných par ze zařízení. Mycí komora je navrhována tak, aby byla minimalizována spotřeba provozních kapalin. Množství provozních kapalin a kontaminace filtrů je průběžně elektronicky sledována. Celkové rozměry jsou (š×v×h) 1050×1325×1850 mm a hmotnost činí 350 kg. Maximální rozměry mytých dílů jsou 190×860×790 mm Teplotu mycí i oplachové kapaliny lze nastavit od okolní teploty až do 60 °C. Nejvyšší nastavitelná teplota během sušení je 80°C. Průtok mycí kapaliny je 125 l/min.



Obrázek 19 Ukázka rámu pro uchycení DPS uvnitř zařízení (nahore), detail uchycení DPS (dole)

Tabulka 10 Technicko-ekonomické údaje INJET 388-CRD

Aktuální ceny ( náklady)	Mycí zařízení	668 602,00	Kč
	Elektřina	4,05	Kč/kWh
	Stlačený vzduch	0,27	Kč/m <sup>3</sup>
	Mycí prostředek DECOTRON CP381	239,00	Kč/l
	Likvidace mycího prostředku	13,51	Kč/l
	Deionizovaná voda	56,73	Kč/l
	Likvidace deionizované vody	13,51	Kč/l
	Mzda (1 zaměstnanec obsluhující zařízení)	216,00	Kč/hod.
Obsluha (činnost) zařízení	Délka odepisování	15,00	rok
	Délka pracovní doby	8,00	hod.
	Počet přestávek za den	1,00	denně
	Počet pracovních dnů	250,00	ročně
	Doba trvání obsluhy (1 cyklus)	2,00	min
	Počet cyklů mezi přestávkami	5,00	cyklů
Technické údaje o zařízení	Kapacita zařízení (max. 2 cykly/hod.)	0,65	cykl/hod.
	Počet rámu v zařízení	1,00	rám/cykl
	Běžná doba trvání jednoho cyklu	0,58	hod.
	Spotřeba mycího prostředku	0,20	l/cykl
	Množství mycího prostředku	50,00	l
	Spotřeba deionizované vody	0,15	l/oplach
	Oplach deionizovanou vodou	2,00	krát
	Množství deionizované vody	50,00	l
	Výměna DI vody, mycí prostředek za rok	4,00	
	Průměrný příkon	1,65	kW
	Spotřeba stlačeného vzduchu	2,00	l/min
	Spotřební materiál	7 565,00	Kč/měsíc
	Revize a servis mycího zařízení	18 240,00	Kč/rok

V tabulce č. 10 jsou shrnuty potřebné údaje ke kalkulaci nákladů se stejným popisem jako u předchozího zařízení, aby bylo možné obě mycí jednotky nákladově srovnat. Některé položky jsou názvem jiné, ale významem je totožný. Délku odepisování jsem neměl k dispozici, takže jsem ji stanovil podle doby poskytované záruky na nerezové díly zařízení. Náklady na spotřební materiál, revize a servis jsem určil podle prvního zařízení. Jelikož se jedná o zařízení o velmi podobné pořizovací ceně, tak se dá očekávat, že náklady na tyto položky budou rovněž podobné. Další odlišné údaje jsou převzaty z datasheetu zařízení. Odlišné je využití deionizované vody, která se doporučuje aplikovat na oplach místo kohoutkové vody v případě použití mycí kapaliny DECOTRON CP381.

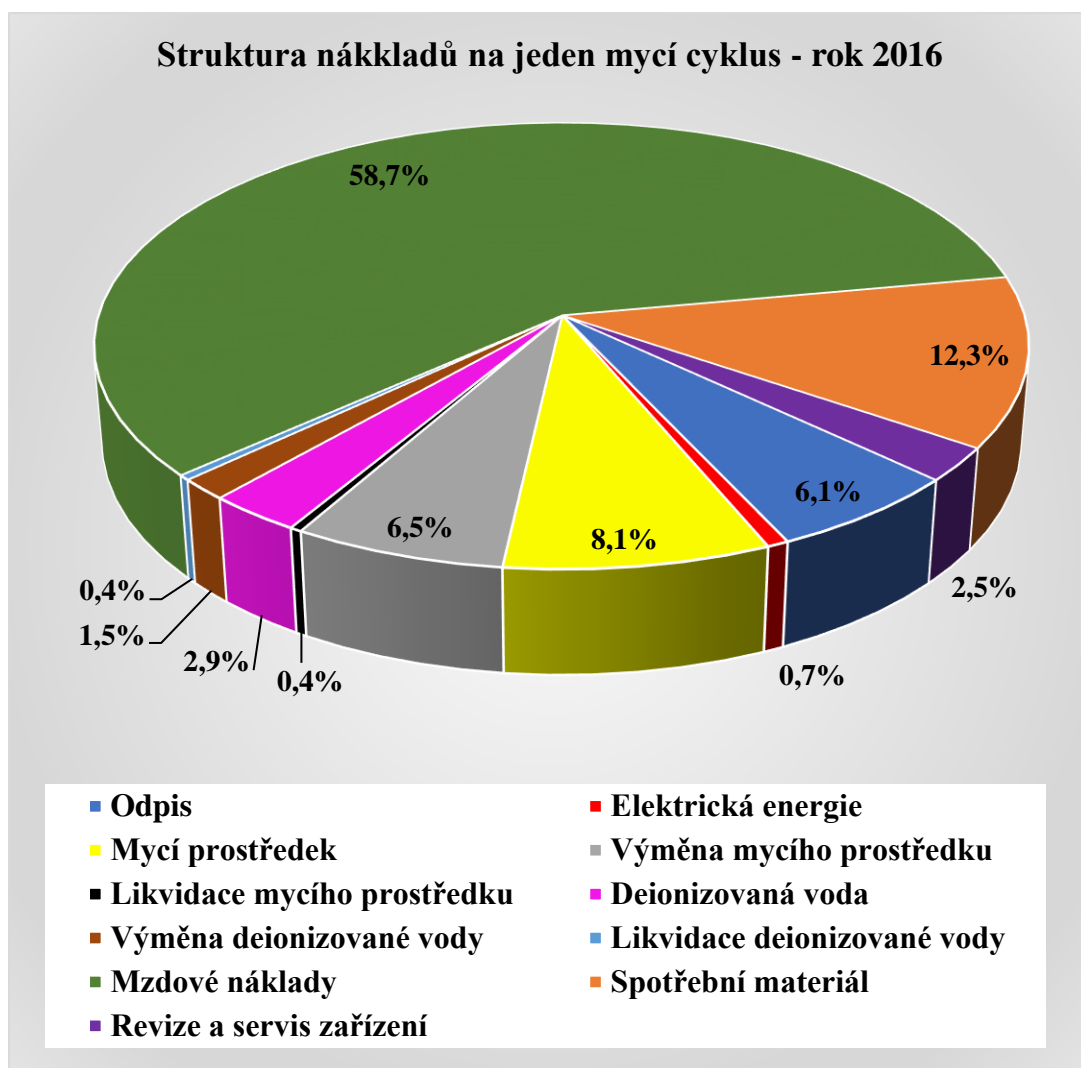


### 3.2.2. Stanovení provozních nákladů

Tabulka 11 Nákladové položky na jeden mycí cyklus

Vyčíslení nákladů na jeden mycí cyklus v roce 2016		
Položka	Podíl	Cena v CZK
Odpis	6,056%	35,66 Kč
Elektrická energie	0,658%	3,88 Kč
Stlačený vzduch	0,003%	0,02 Kč
Mycí prostředek	8,118%	47,80 Kč
Výměna mycího prostředku	6,494%	38,24 Kč
Likvidace mycího prostředku	0,367%	2,16 Kč
Deionizovaná voda	2,890%	17,02 Kč
Výměna deionizované vody	1,542%	9,08 Kč
Likvidace kohoutkové vody	0,367%	2,16 Kč
Mzdové náklady	58,693%	345,60 Kč
Spotřební materiál	12,334%	72,62 Kč
Revize a servis zařízení	2,478%	14,59 Kč
<b>Celkové náklady na 1 cyklus</b>	<b>100%</b>	<b>588,83 Kč</b>

Graf 8 Podíl zastoupení jednotlivých nákladových položek





V rámci jednoho cyklu je například možné do zařízení vložit 12 ks DPS o rozměrech 140×230 mm. Z toho vyplývá přibližně 49 Kč náklad na omytí jedné desky o daných rozměrech.

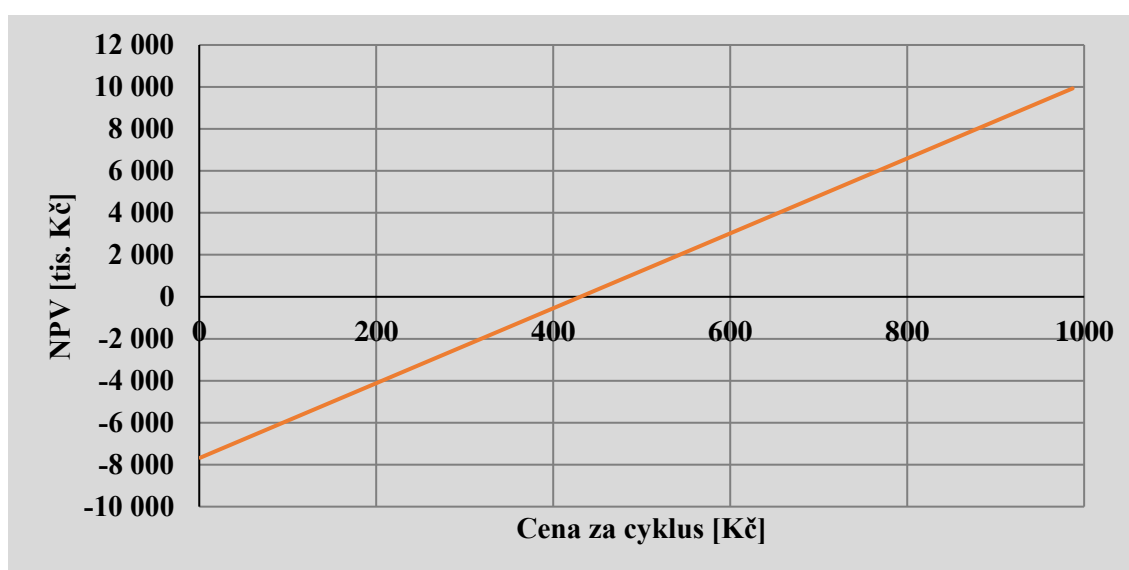
### 3.2.3. Zhodnocení efektivnosti investice

Stejně jako u zařízení Mini SWASH II, tak i pro INJET 388-CRD jsem provedl analýzu investice do zařízení. Při analýze jsem využil stejné údaje, jako jsou stanoveny v kapitole 3.1.3.1, a proto je zde znovu neuvádím. Pouze doplním jednu informaci, která v podstatě platí i pro první hodnocené zařízení. V případě položky „revize a servis“ kalkuluji s tím, že zařízení narůstajícím počtem mycích cyklů potřebuje rozsáhlejší servisní zásahy. Proto každý rok navyšuji náklady na servis nejen o inflační míru, ale i o meziroční nárůst mycích cyklů. Pokud k nárůstu mycích cyklů již nedochází, tak i přesto navyšuji každý rok náklady na servis o 18 %, neboť se domnívám, že s rostoucím stářím a opotřebením může narůstat poruchovost zařízení.

#### 3.2.3.1. Stanovení ceny za jeden cyklus

Výpočet ceny za jeden cyklus jsem provedl identicky s prvním zařízením. Opět jsem využil vzorec pro výpočet NPV a jeho rovnost nule. Tímto způsobem vyšla počáteční cena 431 Kč za mycí cyklus. Závislost NPV na ceně za cyklus je znázorněna v grafu č. 9.

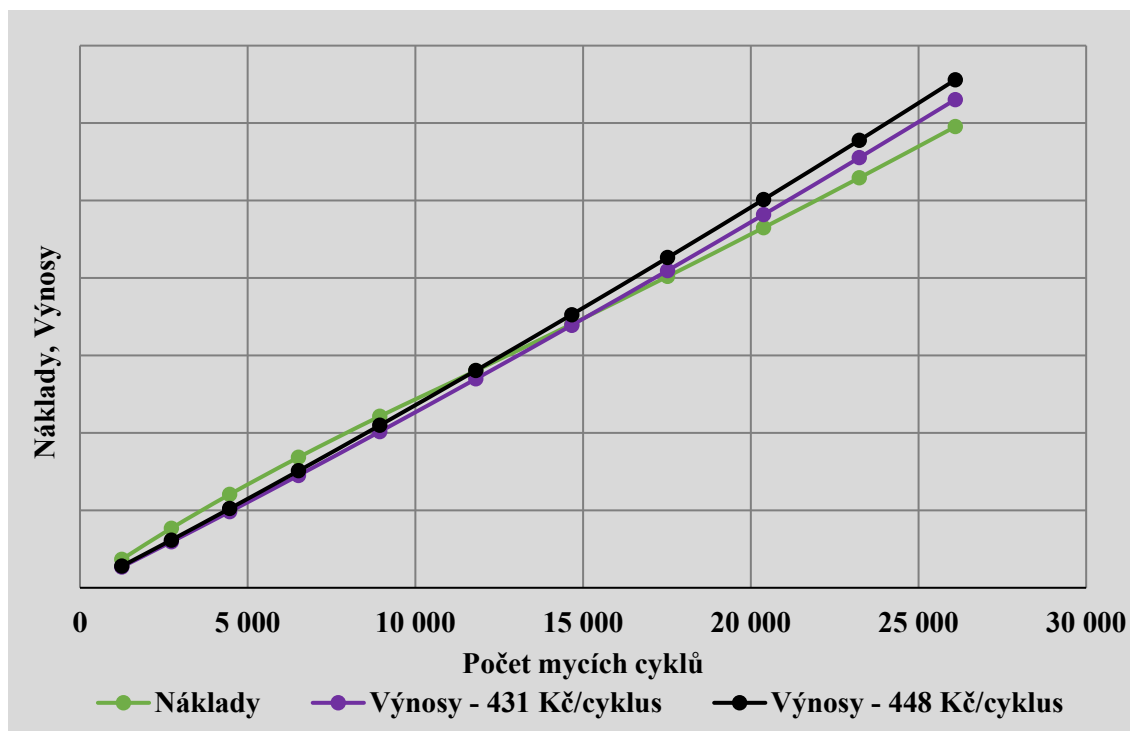
Graf 9 Závislost čisté současné hodnoty investice na ceně za jeden mycí cyklus



#### 3.2.3.2. Analýza bodu zvratu

V grafu č. 10 je znázorněn bod zvratu pro počáteční cenu 431 Kč za cyklus. Pro tuto cenu nastává při počtu okolo 14600 provedených cyklů. Při zvýšení počáteční ceny o 3,9 % se sníží bod zvratu přibližně o 1800 mycích cyklů. Pro znázornění bodu zvratu jsem využil hodnoty nezátížené diskontní sazbou.

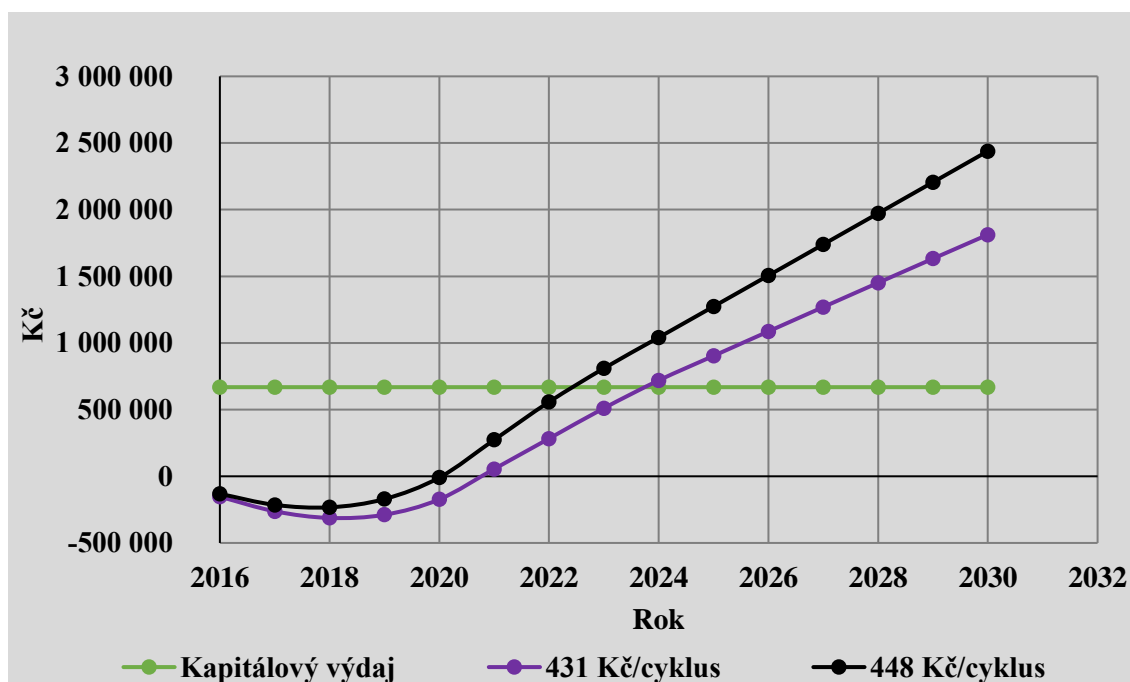
Graf 10 Znárodnění bodu zvratu



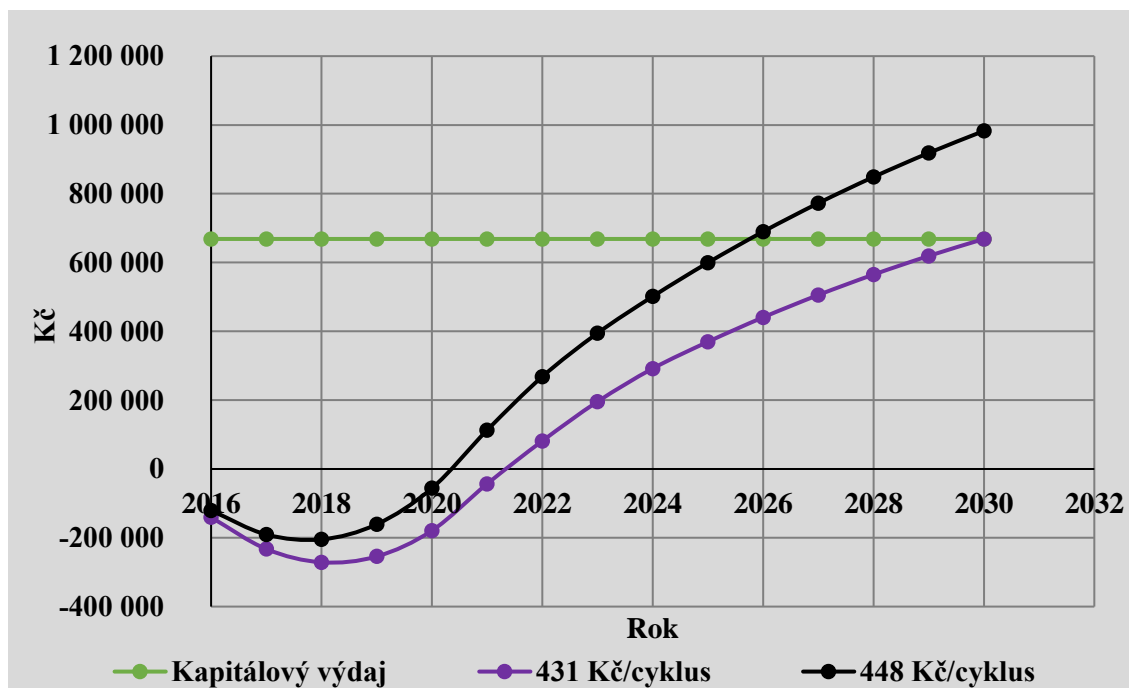
### 3.2.3.3. Doba návratnosti

Grafy č. 11 a 12 nabízejí určení prostou a diskontovanou dobu návratnosti pro dvě různé počáteční ceny za mycí cyklus.

Graf 11 Prostá doba návratnosti



Graf 12 Diskontovaná doba návratnosti



### 3.3 Komparace zařízení

Přestože se jedná o zařízení, která vyžívají k mytí DPS stejnou technologii, tak se v jejich využití vyskytují některé odlišnosti. Obrázek o technických odlišnostech si lze udělat z již vypsanych technických údajů. V této kapitole se tudíž zabývám ekonomickým srovnáním.

Pokud někdo uvažuje o pořízení zařízení do výroby, tak ho vyjma technických parametrů budou zajímat náklady na jeden mycí cyklus. V tomto případě a za podmínky, že nekalkulujeme s dlouhodobějším výhledem, se jeví jako lepší varianta zařízení Mini SWASH II, neboť náklady na mycí cyklus jsou o 37 Kč nižší. Srovnání je relevantní, protože celková mycí plocha je téměř shodná (viz tabulka č.). V případě Mini SWASH II je plocha sice o 24 cm<sup>2</sup>, ale vezmu-li v potaz více mezer (při větším počtu DPS), tak rozdíl bude již minimální.

Tabulka 12 Srovnání nákladů na mycí plochu

Mycí zařízení	Počet DPS	Velikost DPS	Celková plocha	Náklady na cyklus
Mini SWASH II	24 ks	100×160 mm	3840 cm <sup>2</sup>	552 Kč
INJET 388-CRD	12 ks	140×230 mm	3864 cm <sup>2</sup>	589 Kč

Jelikož porovnávaná zařízení mají odlišnou dobu životnosti (délka odepisování), tak srovnání hlediska investice je možné pomocí RCF (roční ekvivalentní peněžní tok). Použití je možné pod podmínkou opakovatelnosti investice.

$$RCF = a_T \cdot NPV = \frac{q^t \cdot (q - 1)}{q^t - 1} \cdot NPV \quad (5)$$

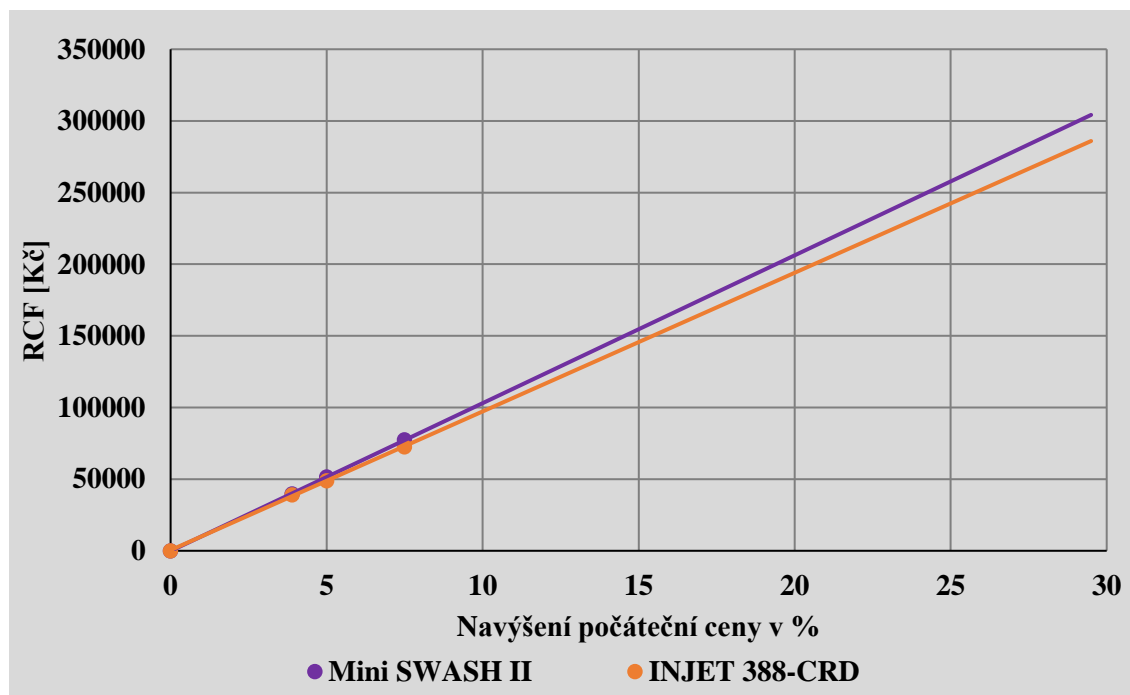
$a_T$  – anuita pro dobu životnosti

$q$  –  $(1+r)$ , kde  $r$  je diskontní sazba

NPV – čistá současná hodnota dané investice

Srovnání dvou projektů, jejichž NPV je rovno nule dostaneme RCF rovněž rovno nule. Z tohoto důvodu jsem zpracoval analýzu, při které jsem u obou zařízení procentuálně zvedal počáteční cenu (stanovenou pro NPV=0). Pro dané ceny jsem pro každé zařízení vypočetl RCF a výsledky jsem shrnul v grafu č. 12, na němž je vidět že lepším zařízením z hlediska investice se jeví Mini SWASH II. Rozdíl je tím větší, čím je počáteční cena za cyklus procentuálně vyšší. Na druhou stranu, je tento rozdíl velmi malý i při velkém navýšení počáteční ceny.

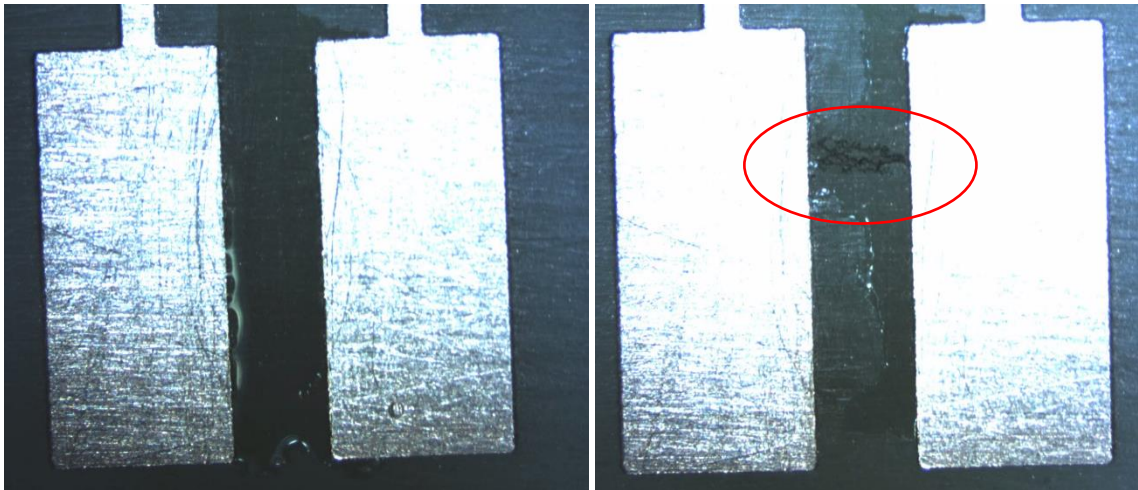
Graf 13 Průběh RCF při zvyšující se počáteční ceně



## 4. Experimentální růst dendritů

Dalším úkolem v rámci bakalářské práce bylo experimentální pěstování dendritů na DPS. Tato kapitola shrnuje všechny věcné informace a výsledky, které byly v průběhu přípravy a vlastní realizace experimentu získány.

Se studiem dendritického růstu jsem začal již během individuálního projektu a jako důkaz růstu dendritů byl proveden krátký, ale velmi názorný pokus. Ten byl realizován pouze na destičce s měděnými vodivými cestami bez použití jakékoliv pájecí pasty a tavidla v ní obsažené. Na destičku byla nanesena voda a bylo současně přivedeno napětí 12 V, které bylo postupně zvyšováno, aby proces růstu byl mírně urychlen. Množství vody, které se desce během experimentu vyskytovalo, bylo ve srovnání s praktickým používáním několikanásobně větší. Tento fakt však ovlivní pouze rychlost tvorby dendritu. Obrázek zachycuje stav před (vlevo) a po provedení (vpravo) experimentu. Pokus je zároveň důkazem toho, že dendrity mohou vyrůst mezi dvěma vodivými cestami, které nejsou ovlivněny tavidlem z pájecí pasty.



Obrázek 20 Ukázka vyrostlého dendritu mezi elektrodami

### 4.1 Příprava experimentu

Samotná příprava zahrnuje několik kroků, než dojde k připojení vzorků ke zdroji napětí. Mezi tyto kroky patří následující body.

- Volba desky plošného spoje (popřípadě návrh).
- Volba pájecích past.
- Aplikace pájecí pasty.
- Osazení DPS součástkami.
- Přetavení horkým vzduchem.
- Nakontaktování vzorků.

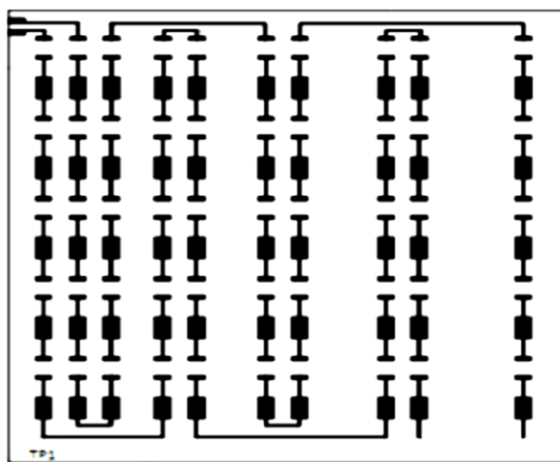
#### 4.1.1. Deska plošného spoje - DPS

Pro účely experimentu byla zvolena dnes běžná DPS s tzv. nepáživou maskou. Nepáživá maska se vyznačuje hlavně ochrannou funkcí. Jako například ochrana před navlhnutím, korozí a

mechanickým poškozením. Musí být odolná vůči tavidlům a čistícím prostředkům využívaných během mycího procesu. Její přítomnost na DPS se pozná díky typickým používaným barvám (zelená, modrá, červená). Ve srovnání s DPS bez nepájivé masky má ta s nepájivou maskou lepší izolační vlastnosti. Odlišné je i povrchové napětí.

Dle uvedeného vzorce (1) ovlivňuje růst dendritů vzdálenost mezi vodivými cestami, proto jsou na použité DPS různé mezery mezi cestami. Velikosti mezer jsou 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm a 10 mm. Vzor vodivých cest je znázorněn na obrázku č. 19. K testování byly vybrány i různé povrchové úpravy pájecích ploch a vodivých cest. Jednalo se měděné bez povrchové úpravy dále potom postříbřené a pozlacené.

#### 4.1.2. Pájecí pasty



Obrázek 21 Vzor DPS použitého pro experiment

Za účelem osazení odporů jsem použil dvě pájecí pasty. Svým složením jsou rozdílné a dnes v bezolovnatém pájení běžně používané. Výrobce obou past je Senju Manufacturing (Europe) Ltd. pod obchodním názvem ECO SOLDER PASTE.

##### *M31-GRN360-K1MK-V*

Pasta typu SAC, která obsahuje 95,75 % cínu, 3,5 % stříbra a 0,75 % mědi. Eutektická teplota pasty se pohybuje v rozmezí 217-219 °C. Přínosy jednotlivých prvků nacházejících se v této pastě již byly zmíněny v teoretické části. Obsahuje tavidlo typu RO (kalafuna) s aktivací L0 bez přítomnosti halogenidů.

##### *M705-GRN360-K2-V*

Pasta, která neobsahuje oproti předchozí měď, tudíž se jedná pastu typu SC. Podle aktuálních informací výrobce má typ M705 již odlišné složení a obsahuje stříbro. Na obalu pasty není uvedeno přesné složení (poměr mezi jednotlivými prvky) a technický dokument se mi nepodařilo dohledat. Často používaný poměr je 99,25% cínu a 0,75 % mědi, který má teplotu tání 227-229 °C. Proto se dá přepokládat, že se i u této pasy jednalo o zmíněný poměr. Navíc výrobce nabízí SnCu pastu ve zmíněném poměru, ale pod jiným označením.

### 4.1.3. Příprava vzorků

Nejdříve jsem na zvolené desky plošného spoje nanесl pájecí pastu. Nanesení je možné několika způsoby. Z dostupných možností bylo nejrychlejší a nejpřesnější variantou šablonový tisk. Po správném upevnění šablony do upínací konstrukce (sítotiskového zařízení SAB 06) a následném přesném uložení DPS pod nastavenou šablonu jsem na šablonu nanесl pájecí pastu. Tu bylo potřeba rovnoměrně rozetřít po cele ploše pomocí stěrky všemi směry. Při změně pájecí pasty jsem šablonu nejprve pečlivě očistil a potom opakoval postup jako v prvním případě.

Dalším krokem bylo osazení DPS součástkami. K tomu jsem využil manipulační zařízení k osazování SMD součástek. Pomocí hrotu dojde k uchopení součástky a následným pohybem ramene a natáčením trysky je možné součástku přesně usadit na nanесenou pájecí pastu. Celkově jsem tímto způsobem osadil všechny vzorky, celkem 900 kusů rezistorů.

Osazené DPS jsem následně vložil do zařízení a nechal zapájet přetavením. K přetavení horkým vzduchem jsem využil průběžnou pec Mistral 260. Teplotní profil jsem nenavrhol, pouze jsem využil předem nastavených hodnot, které splňovaly požadavky pájecí pasty. Po vyjmutí z pece a vychladnutí jsem na vzorky připojil vodiče pomocí ruční hrotové páječky, aby je bylo možné připojit na zdroj napětí.

## 4.2 Popis a výsledky experimentu

Než dojde k případnému růstu dendritů, může to u reálných zařízení trvat několik minut, ale i několik měsíců nebo let. Abych tento děj v laboratorních podmínkách urychlil, tak bylo zapotřebí vyzkoušet několik způsobů, jak k tomu dojít, než se dostavil výsledek.

### 4.2.1. Průběh experimentu

Za účelem dosažení definovaného množství vody (vodní vrstvy) na povrchu DPS jsem nejprve vzorky vložil klimatické komory. V klimatické komoře byla nastavena teplota na 25 °C a vlhkost na 95 % RH. Vzorky byly současně připojeny na zdroj stejnosměrného napětí 24 V a v komoře byly ponechány po dobu více jak 24 hodin. Záměrem bylo, aby na povrchu destiček zkondenzovala vlhkost, a tím se vytvořila souvislá vrstva vodního povlaku pro definované podmínky. Jelikož ani po více jak dnu pobytu vzorků v komoře na povrchu žádná vlhkost nezkondenzovala, tak jsem tento způsob po poradě s vedoucím ukončil.

Dalším vyzkoušeným způsobem k pokrytí DPS vodním povlakem bylo položení vzorků na měděný plech. Plech jsem položil na zmrznutou vrstvu, která byla tvořena gelem z chladících vložek. Vzorky se takto sice orosily, ale pouze na některých místech. Navíc velmi rychle osychaly z důvodu vysoké okolní teploty místnosti. Podobným způsobem jsem se pokusil docílit větší vrstvy vody, tím že jsem vzorky cyklicky vkládal a vyndával z mrazáku. Tímto postupem se měly při každém vyjmutí destičky teoreticky orosit. Při zpětném vložení do mrazničky měla vzniklá vrstvička opět zmrznout. Během každého opakování tohoto postupu bylo očekáváno, že vodní vrstva bude narůstat. K orosení destičky při vyjmutí došlo, ale vzniklá vodní vrstva rychle oschla a tudíž k naplnění předpokladu opět nedošlo a dendrity se mi doposud vypěstovat nepodařilo.

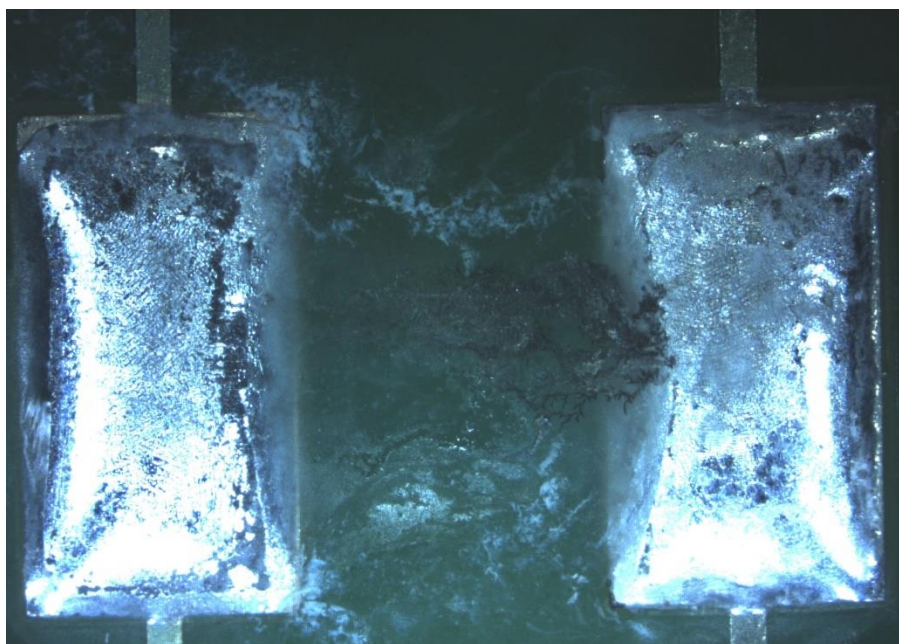
Po dosavadních nezdařilých pokusech jsem po domluvě s mým vedoucím přistoupil k „radikálnějšímu“ řešení. Vzorky jsem pokropil vodou pomocí rozprašovače, a když by se mohlo



zdát, že tím bylo docíleno alespoň nějakého celoplošného pokrytí povrchu DPS vodou, tak tomu nebylo. Naprášená voda totiž nevytvořila souvislou vrstvu po celé ploše, nýbrž velké izolované kapky. Abych vůbec získal souvislou vrstvu na povrchu, tak mi nezbývalo nic jiného, než snížit povrchové napětí vody. Přidáním jaru byl vytvořen roztok s menším povrchovým napětím a tudíž s lepší smáčivostí vůči DPS. Využitím jarové vody se mi konečně podařilo vzorky pokrýt souvislou vrstvou vody a za přítomnosti napětí 24 V se začaly dendrity tvořit.

#### 4.2.2. Snímky vzniklých dendritů

Snímky jsem pořídil pomocí optického systému HAWK QC 5000. Na všech vložených snímcích je patrná jehličková (stroměčková) struktura. Podrobnější popis vzorku (použitá pájecí pasta a povrchová úprava pájecích ploch) je přítomen pod každým snímkem zvlášť.



Obrázek 23 Pájecí pasta SAC, pozlacená povrchová úprava



Obrázek 22 Pájecí pasta SAC, postříbřená povrchová úprava



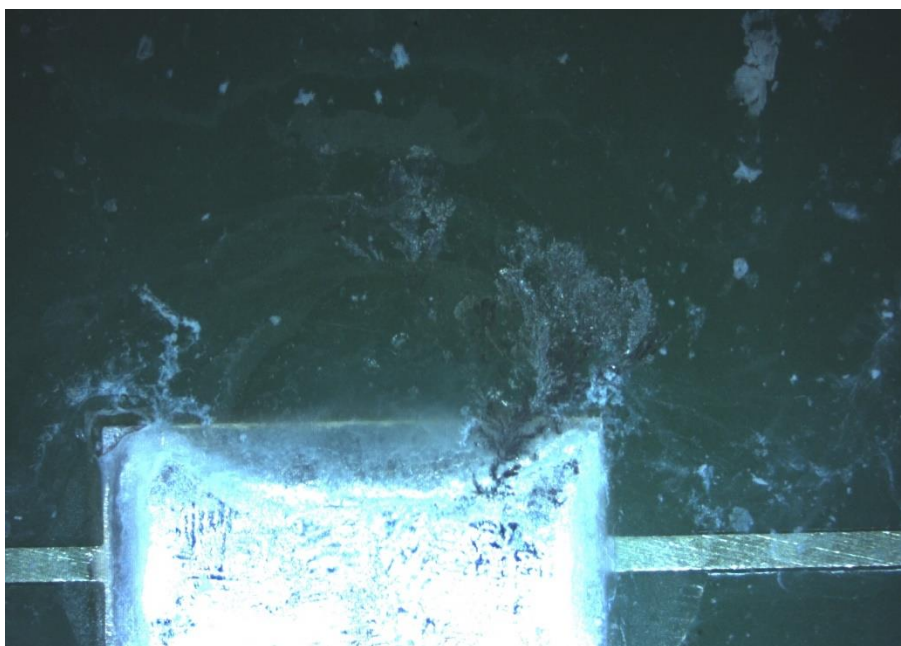
V případě, že je dendrit světlého, lesklého zbarvení, tak by se pravděpodobně mělo jednat o dendrit vzniklý migrací stříbra. Tmavě šedá barva dendritu znamená migraci mědi či jiného prvku, který může být součástí vývodů součástky. Další příčinou tmavého zbarvení může být i prohoření dendritu, kdy průchodem proudem dendrit až zčerná.



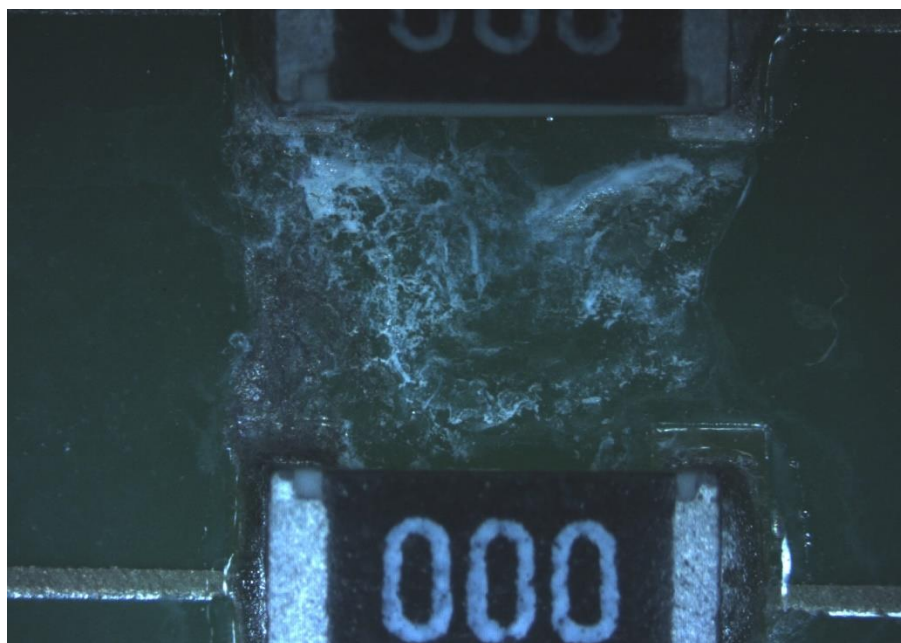
*Obrázek 24 Pájecí pasta SAC, bez povrchové úpravy*



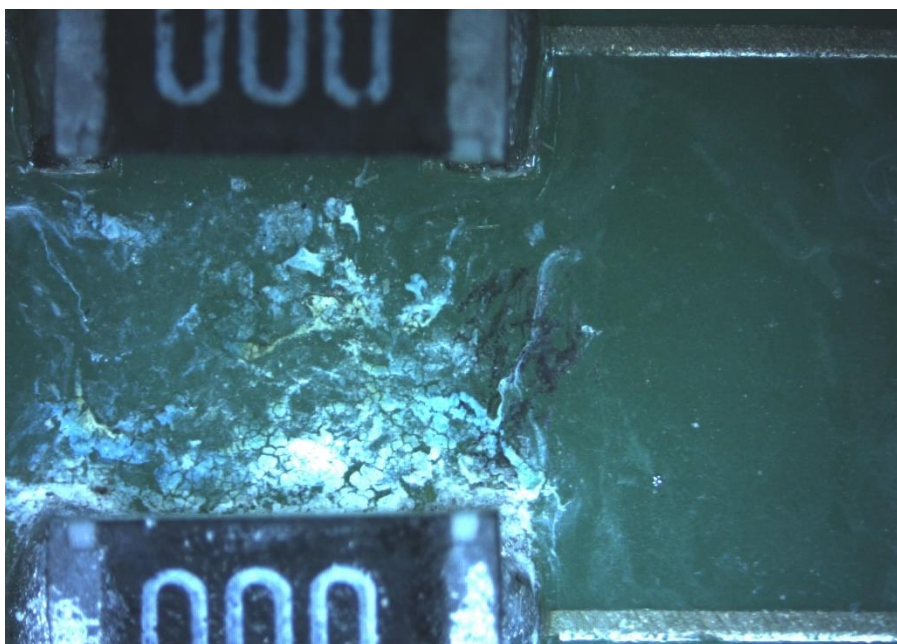
*Obrázek 25 Pájecí pasta SAC, postříbřená povrchová úprava*



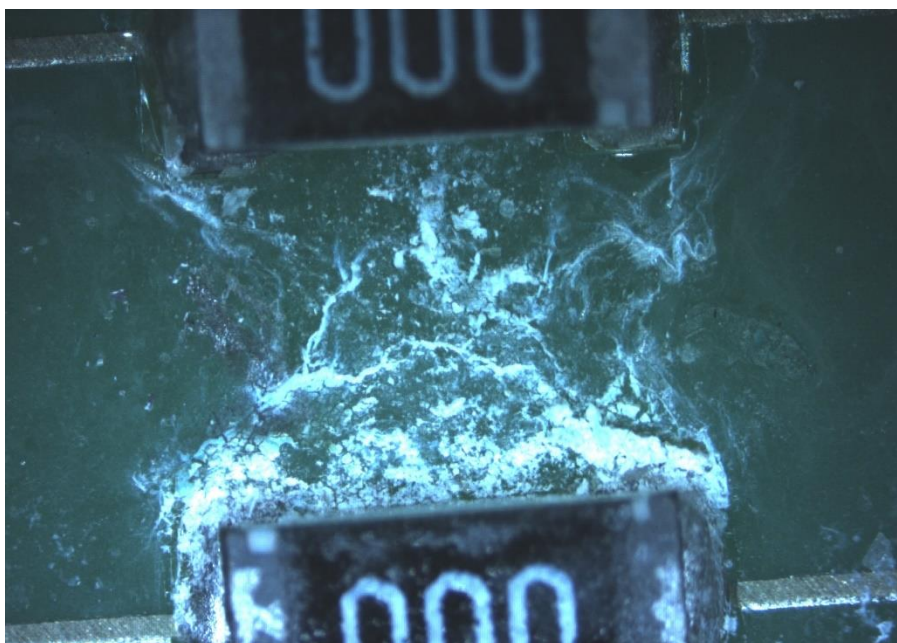
*Obrázek 26 Pájecí pasta SAC, pozlacená povrchová úprava*



*Obrázek 27 Pájecí pasta SnCu, postříbřená povrchová úprava*

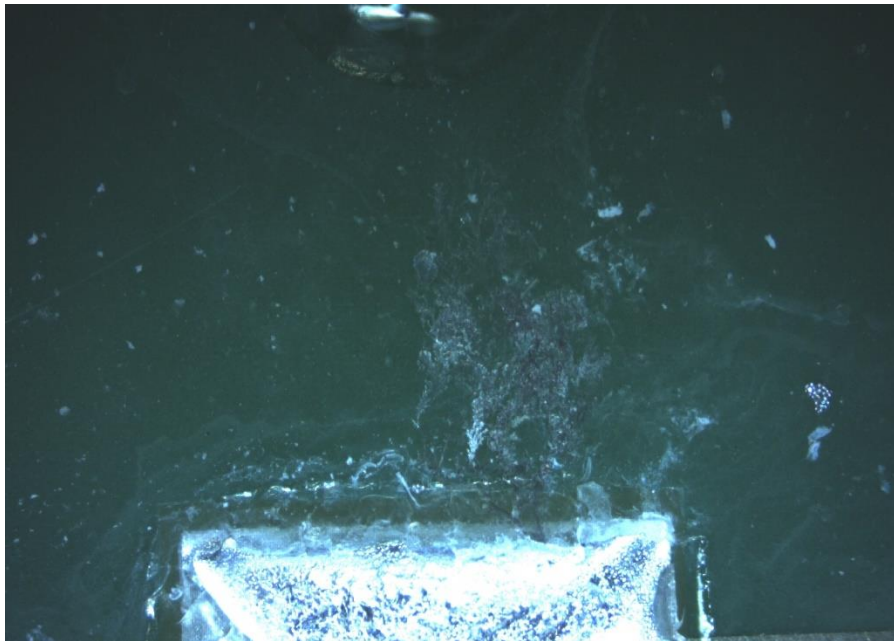


*Obrázek 28 Pájecí pasta SnCu, pozlacená povrchová úprava*



*Obrázek 29 Pájecí pasta SnCu, bez povrchové úpravy*





Obrázek 30 Pájecí pasta SnCu, postříbřená povrchová úprava

#### 4.2.3. Shrnutí výsledků

Samořejmě, že nanesením vody na povrch DPS pomocí štětce došlo k výraznému vylepšení podmínek pro růst dendritů. Tudíž z hlediska okolích podmínek nelze vyvozovat objektivní závěry, ale hodnotit vliv pájecí pasty nebo vzdálenost mezi vodivými cestami na růst lze, protože podmínky byly sice extrémní, ale pro všechny vzorky stejné.

Na základě mých výsledků lze usoudit, že tvorba dendritů není povrchovou úpravou pájecích ploch do větší míry ovlivněna, neboť si mi vždy podařilo najít vyrostlý dendrit pro každou povrchovou úpravu. Podle teoretických předpokladů se nejvíce očekávalo, že nejméně odolné vzorky budou s měděnými plochami (bez povrchové úpravy). To by se možná potvrdilo při větším množství vzorků, mírnějších podmínkách a dlouhodobějším testování.

Největší rozdíl je patrný ve složení pájecí pasty. Ze snímků je patrné, že v případě použití SAC pasty dochází k migraci i na větší vzdálenosti. Tento jev je nejspíše způsoben přítomností stříbra v pájecí pastě, které je z požívaných prvků jedním z nejnáchylnějších k migraci. V případě pasty SnCu jsem tvorbu dendritů zaznamenal ve většině případů mezi součástkami. To znamená vzdálenost 2 mm a menší a navíc, jak již bylo poznamenáno, se mohlo jednat o migraci prvků, které jsou obsaženy v materiálu vývodů jednotlivých součástek.

## 5. Závěr

Vypracováním rešerše v první části bakalářské práce jsem se podrobněji seznámil s metodou pájení přetavením, využitím a složením pájecí pasty. Ze složek pájecí pasty jsem se nejvíce zabýval tavidly, které jsou z hlediska koroze a růstu dendritů nejpodstatnější. Důležitou kapitolou, kterou jsem do této práce zařadil, je popis mycího procesu. Zejména používané mycí prostředky a možnosti mytí DPS. Nakonec teoretické části jsem objasnil problematiku dendritického růstu.

Výpočetní část bakalářské práce jsem se věnoval stanovením nákladů na mycí proces DPS. Náklady jsem vztáhnul a vyčíslil vždy na jeden mycí cyklus. Do výpočtů jsem zahrnul všechny vstupy, jejichž podíl na mycí cyklus jsem přehledně zpracoval. Dále jsem se v rámci výpočtů zabýval investicí do mycího zařízení z hlediska poskytovatele mytí DPS jako služby pro výrobce. Pomocí metod hodnotících investice jsem například stanovil ideální prodejní cenu splňující požadavky na výnosnost, dobu návratnosti při různých prodejních cenách atd. Dalším přínosem stanovení prodejní ceny je rovněž to, s jakým nákladem na mytí DPS musí počítat potencionální odběratel. Analýzou bodu zvratu jsem stanovil počet mycích cyklů, při jakém se vyplatí do zařízení investovat a naopak, kdy se vyplatí využívat externího dodavatele. V této části jsem tedy provedl stanovení nákladů, ale porovnání nákladů využívá-li firma vlastního zařízení nebo služeb externího dodavatele.

V praktické části bakalářské práci jsem experimentálně sledoval růst dendritů. Nejprve jsem si připravil určité množství vzorků. Potom jsem se snažil různými způsoby vytvořit dendrity na připravených vzorcích. Po několika nezdařených pokusech se experiment povedl a docílil jsem toho, že se na některých vzorcích začali tvořit dendrity. Snímky a závěry jsem následně shrnul na konci příslušné kapitoly.

Vypracováním této bakalářské jsem nahlédl do současné problematiky v oblasti měkkého pájení a výroby DPS. Zabýval jsem se mycím procesem, se kterým lze snížit výskyt dendritického růstu, a stanovil jsem cenu, za jakou cenu toho lze dosáhnout. Osobně mohu tvrdit, že zpracováním zadaných úkolů jsem získal celou řadu poznatků a zároveň jsem si vyzkoušel využití některých znalostí v praxi.



## Bibliografie

- [1] HUMPSTON, Giles a David JACOBSON. *Principles of soldering*. 2004. Materials Park, Ohio: ASM International, 2004. ISBN 0871707926.
- [2] LEE, Ning-Cheng. *Reflow soldering processes SMT, BGA, CSP and flip chip technologies*. 1. Boston: Newnes, 2002. ISBN 9780080492247.
- [3] EDITED BY DAL KOSHAL., *Manufacturing engineer's reference book*. Norwich, NY: Knovel, 2002. ISBN 978-008-0523-958.
- [4] BATH, Jasbir. *Lead-free soldering*. New York: Springer, 2007. ISBN 9780387684222.
- [5] SZENDIUCH, Ivan. *Mikroelektronické montážní technologie*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 1997. ISBN 80-214-0901-0.
- [6] SZENDIUCH, Ivan. Pájení a bezolovnaté pájky. - [online]. 2008, [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/>
- [7] BY JENNIE S. HWANG., . *Solder Paste in Electronics Packaging Technology and Applications in Surface Mount, Hybrid Circuits, and Component Assembly*. 1992. Boston, MA: Springer US, 1992. ISBN 9780442013530.
- [8] PECHT, Michael. *Soldering processes and equipment*. 1993. New York: Wiley, 1993. ISBN 047159167X.
- [9] LAU, John. *Solder joint reliability: theory and applications*. 1991. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. ISBN 0442002602.
- [10] ČSN EN ISO 9454-1 (050046). *Tavidla pro měkké pájení - Klasifikace a požadavky - Část 1: Klasifikace, označování a balení*. 1.9.2016., 2016.
- [11] RENDL, Karel, Vaclav WIRTH a Frantisek STEINER. Impact of no-clean fluxes cleaning on PCB ionic contamination. *2015 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)* [online]. IEEE, 2015, 197-201 [cit. 2017-01-02]. DOI: 10.1109/ISSE.2015.7247989. ISBN 978-1-4799-8860-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7247989/>
- [12] DONGXIA XU, , XUSHENG LI, CAIQIN WANG a BIN XU. Study on wettability and corrosivity of a new no-clean flux for lead-free solder paste in electronic packaging technology. *2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*. IEEE, 2011, 1706-1708. DOI: 10.1109/MACE.2011.5987285. ISBN 978-1-4244-9436-1. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5987285/>
- [13] GRAMETBAUER, Michal. *Tavidla pro bezolovnaté pájení a jejich vliv na spolehlivost*. Plzeň, 2014, 78 s. 58639. Dostupné také z: <https://otik.uk.zcu.cz/handle/11025/12397>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření. Vedoucí práce Doc. Ing. František Steiner Ph.D.

- [14] SZENDIUCH, Ivan. *Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-3292-6.
- [15] EDITED BY LES HYMES. *Cleaning Printed Wiring Assemblies in Today's Environment*. 1991. Dordrecht: Springer Netherlands, 1991. ISBN 9789401169691.
- [16] DUCHI, P. a A.-M. LAUGT. Cleaning PCBs in Electronics: Understanding Today's Needs. *ECS Transactions* [online]. 2014, **60**(1), 817-822 [cit. 2016-12-27]. DOI: 10.1149/06001.0817ecst. ISSN 19386737. Dostupné z: <http://ecst.ecsdl.org/cgi/doi/10.1149/06001.0817ecst>
- [17] Aqueous Cleaning Costs Explored in New Study by MicroCare. In: *MicroCare - News&Media* [online]. MicroCare, 2016, [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://www.microcare.com/aqueous-cleaning-costs-explored-new-study-microcare/>
- [18] JELÍNEK, Tomáš. *Sledování účinnosti čisticích emulzí pro desky plošných spojů*. Brno, 2010, 33 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/11012/17911>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Buršík.
- [19] *Vapor Degreaser Equipment and Ultrasonic Vapor Degreaser Systems* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://www.besttechnologyinc.com/precision-cleaning-systems/vapor-degreasers/>
- [20] DIEPSTRATEN, Gerjan a Tim LAWRENCE. CLEAN “NO-CLEAN” OR USE A WATER WASH SOLDER PASTE?. *BALVER ZINN - Technical papers* [online]. 2010, [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: [http://www.balverzinn.com/374.html?file=tl\\_files/balverzinn/downloads/dokumente\\_en/](http://www.balverzinn.com/374.html?file=tl_files/balverzinn/downloads/dokumente_en/)
- [21] SHANGGUAN, Dongkai. *Lead-free solder interconnect reliability*. 1. Materials Park, OH: ASM International, 2005. ISBN 0-87170-816-7.
- [22] TYLICH, Ondřej. *Elektromigrace tavidlových zbytků na povrchu DPS*. Brno, 2016, 58 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/11012/59910>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.
- [23] ROSS, Richard. *Microelectronics failure analysis: desk reference*. 6th ed. Materials Park, Ohio: ASM International, 2011. ISBN 978-1-61503-725-4.
- [24] SÍTKO, Vladimír. Jak čisté je čisté (a jak čistého dosáhnout). *DPS Elektronika od A do Z* [online]. 2011, [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/vyroba>
- [25] PRASAD, Ray. *Surface mount technology: Principles and practice*. 2nd ed. New York: Chapman, 1997. ISBN 978-0-412-12921-6.
- [26] DCT CLEANING, . *Reklamní a propagační materiál*.
- [27] *Reklamní a propagační materiál, DuPont Vertrel Specialty Fluids: New cleaning agents for degreasing and defluxing*. 2010.



## Seznam obrázků

Obrázek 1 Příklad teplotního profilu pro bezolovnaté pájecí pasty -----	14 -
Obrázek 2 Uspořádání pájecího zařízení s konvekčním ohřevem [5]-----	16 -
Obrázek 3 Konstrukce pájecího zařízení s ohřevem pomocí infračerveného zařízení [5] ----	17 -
Obrázek 4 Pájení přetavením na principu kondenzace par: a) schéma zařízení, b) teplotní profil, c) koncepce moderních zařízení [5] -----	18 -
Obrázek 5 Přetavení laserem - FTP součástky: a) princip zařízení, b) teplotní profil -----	18 -
Obrázek 6 Možnost narušení ochranné vrstvy [26] -----	26 -
Obrázek 7 Ukázka bílých reziduí [27] -----	27 -
Obrázek 8 Rozhodovací okolnosti pro zavedení mycího procesu -----	28 -
Obrázek 9 Výsledná čistota v závislosti na délce mycího procesu a koncentraci mycího prostředku [20]-----	32 -
Obrázek 10 Vzhled pájených ploch před a po mycím procesu [20]-----	33 -
Obrázek 11 Úroveň koncentrace reziduí pro různé pájecí pasty a dva způsoby omývání (ultrazvuk, postřík) [20]-----	33 -
Obrázek 12 Riziko výskytu negativních jevů při použití různých tavidel [20] -----	34 -
Obrázek 13 Elektrická migrace - růst dendritů [26]-----	36 -
Obrázek 14 Příklad růstu dendritů -----	37 -
Obrázek 15 Typická křivka měření omegametry (vlevo) a schéma omegametry (vpravo)---	39 -
Obrázek 16 Charakteristická křivka měření ionografu (vlevo) a schéma ionografu (vpravo)-	40 -
Obrázek 17 Mycí zařízení Mini SWASH II -----	41 -
Obrázek 18 INJET 388-CRD (celkový pohled vlevo, vnitřní uspořádání vpravo)-----	53 -
Obrázek 19 Ukázka rámu pro uchycení DPS uvnitř zařízení (nahore), detail uchycení DPS (dole) -----	54 -
Obrázek 20 Ukázka vyrostlého dendritu mezi elektrodami-----	61 -
Obrázek 21 Vzor DPS použitého pro experiment -----	62 -
Obrázek 23 Pájecí pasta SAC, postříbřená povrchová úprava -----	64 -
Obrázek 22 Pájecí pasta SAC, pozlacená povrchová úprava -----	64 -
Obrázek 24 Pájecí pasta SAC, bez povrchové úpravy -----	65 -
Obrázek 25 Pájecí pasta SAC, postříbřená povrchová úprava -----	65 -
Obrázek 26 Pájecí pasta SAC, pozlacená povrchová úprava -----	66 -
Obrázek 27 Pájecí pasta SnCu, postříbřená povrchová úprava -----	66 -
Obrázek 28 Pájecí pasta SnCu, pozlacená povrchová úprava -----	67 -
Obrázek 29 Pájecí pasta SnCu, bez povrchové úpravy -----	67 -
Obrázek 30 Pájecí pasta SnCu, postříbřená povrchová úprava -----	68 -

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Srovnání výhod a nevýhod jednotlivých metod [2] [3] -----	13 -
Tabulka 2 Vlastnosti pájecí pasty -----	19 -
Tabulka 3 Přínosnost prvků v pájecích pastách -----	22 -
Tabulka 4 Přehled bezolovnatých slitin-----	22 -
Tabulka 5 Tavidla pro měkké pájení [10] -----	23 -
Tabulka 6 Typy produktů používaných k čištění DPS a sloučeniny [16] -----	29 -
Tabulka 7 Technicko - ekonomické údaje Mini SWASH II-----	43 -
Tabulka 8 Nákladové položky na jeden mycí cyklus -----	44 -
Tabulka 9 Požadovaná počáteční cena za cyklus pro jednotlivé meziroční nárůsty mycích cyklů- 49 -	
Tabulka 10 Technicko-ekonomické údaje INJET 388-CRD -----	55 -
Tabulka 11 Nákladové položky na jeden mycí cyklus-----	56 -
Tabulka 12 Srovnání nákladů na mycí plochu-----	59 -

## Seznam grafů

Graf 1 Podíl zastoupení jednotlivých nákladových položek -----	44 -
Graf 2 Závislost NPV na ceně za jeden mycí cyklus-----	48 -
Graf 3 Závislost NPV na diskontní sazbě při poč. ceně za cyklus-----	48 -
Graf 4 Závislost počáteční ceny na vývoji počtu mycích cyklů-----	49 -
Graf 5 Znárodnění bodu zvratu pro dvě počáteční ceny -----	50 -
Graf 6 Diskontovaná doba návratnosti investice -----	51 -
Graf 7 Prostá doba návratnosti investice -----	52 -
Graf 8 Podíl zastoupení jednotlivých nákladových položek -----	56 -
Graf 9 Závislost čisté současné hodnoty investice na ceně za jeden mycí cyklus -----	57 -
Graf 10 Znárodnění bodu zvratu -----	58 -
Graf 11 Prostá doba návratnosti-----	58 -
Graf 12 Diskontovaná doba návratnosti -----	59 -
Graf 13 Průběh RCF při zvyšující se počáteční ceně -----	60 -

# Příloha A – výpočetní tabulka Mini SWASH II

Rok	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Vývoj kurzu (CZK/EUR)	-	27,02	27,02	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
<b>Předpokládaný mezinárodní nártisť jednotlivých nákladových položek v závislosti na změně inflace, průměrné mzdy a kurzu CZK/EUR</b>																							
Růst mzdy / hod.	-	346 Kč	356 Kč	367 Kč	378 Kč	389 Kč	401 Kč	413 Kč	425 Kč	438 Kč	451 Kč	464 Kč	477 Kč	490 Kč	503 Kč	516 Kč	529 Kč	542 Kč	555 Kč	568 Kč	581 Kč	594 Kč	
Mýcí prostředek / cyklus	-	1,98 €	2,03 €	2,07 €	2,12 €	2,16 €	2,21 €	2,26 €	2,31 €	2,36 €	2,41 €	2,46 €	2,51 €	2,56 €	2,61 €	2,66 €	2,71 €	2,76 €	2,81 €	2,86 €	2,91 €	2,96 €	
Sportovní materiál / cyklus	-	2,78 €	2,85 €	2,91 €	2,97 €	3,04 €	3,10 €	3,17 €	3,24 €	3,31 €	3,39 €	3,46 €	3,53 €	3,60 €	3,67 €	3,74 €	3,81 €	3,88 €	3,95 €	4,02 €	4,09 €	4,16 €	
Revize a servis / rok	-	18 914 Kč	19 292 Kč	19 678 Kč	20 072 Kč	20 473 Kč	20 883 Kč	21 300 Kč	21 726 Kč	22 161 Kč	22 604 Kč	23 056 Kč	23 516 Kč	23 984 Kč	24 460 Kč	24 944 Kč	25 436 Kč	25 936 Kč	26 444 Kč	26 959 Kč	27 482 Kč	28 013 Kč	
Cena za jeden mycí cyklus	-	518 Kč	529 Kč	539 Kč	550 Kč	561 Kč	572 Kč	584 Kč	595 Kč	607 Kč	619 Kč	631 Kč	643 Kč	655 Kč	667 Kč	679 Kč	691 Kč	703 Kč	715 Kč	727 Kč	739 Kč	751 Kč	
Předpokládaný počet cyklů	-	1250	1475	1741	2054	2423	2860	3360	3920	4550	5250	6020	6860	7770	8750	9800	10920	12110	13380	14720	16130	17610	
<b>Celkové provozní výnosy</b>	-	<b>647 882 Kč</b>	<b>779 791 Kč</b>	<b>938 536 Kč</b>	<b>1 129 646 Kč</b>	<b>1 359 642 Kč</b>	<b>1 636 466 Kč</b>	<b>1 972 000 Kč</b>	<b>2 368 800 Kč</b>	<b>2 827 200 Kč</b>	<b>3 348 000 Kč</b>	<b>3 932 400 Kč</b>	<b>4 581 600 Kč</b>	<b>5 306 800 Kč</b>	<b>6 118 800 Kč</b>	<b>7 027 600 Kč</b>	<b>8 044 400 Kč</b>	<b>9 179 600 Kč</b>	<b>10 444 800 Kč</b>	<b>11 850 400 Kč</b>	<b>13 407 600 Kč</b>	<b>15 126 400 Kč</b>	<b>17 009 600 Kč</b>
Energie	-	3 849 Kč	4 541 Kč	5 359 Kč	6 323 Kč	7 461 Kč	8 804 Kč	10 360 Kč	12 160 Kč	14 240 Kč	16 616 Kč	19 312 Kč	22 360 Kč	25 784 Kč	30 512 Kč	35 680 Kč	41 312 Kč	47 440 Kč	54 192 Kč	61 584 Kč	69 648 Kč	78 416 Kč	
Osobní náklady	-	691 712 Kč	712 463 Kč	733 837 Kč	755 852 Kč	778 528 Kč	801 884 Kč	825 940 Kč	850 719 Kč	876 240 Kč	902 527 Kč	929 576 Kč	957 396 Kč	985 984 Kč	1 015 344 Kč	1 045 480 Kč	1 076 396 Kč	1 108 088 Kč	1 140 560 Kč	1 173 816 Kč	1 207 856 Kč	1 242 688 Kč	1 278 320 Kč
Mýcí prostředek	-	66 999 Kč	80 799 Kč	93 761 Kč	113 073 Kč	136 361 Kč	164 446 Kč	198 064 Kč	241 057 Kč	284 360 Kč	338 976 Kč	405 984 Kč	487 488 Kč	585 504 Kč	701 040 Kč	836 112 Kč	992 720 Kč	1 182 864 Kč	1 410 528 Kč	1 687 712 Kč	2 017 408 Kč	2 413 632 Kč	2 890 400 Kč
Sportovní materiál	-	94 030 Kč	113 396 Kč	131 589 Kč	158 691 Kč	191 375 Kč	230 790 Kč	285 867 Kč	351 040 Kč	428 800 Kč	520 640 Kč	638 272 Kč	784 320 Kč	960 480 Kč	1 170 400 Kč	1 418 800 Kč	1 711 200 Kč	2 052 000 Kč	2 446 400 Kč	2 899 200 Kč	3 416 000 Kč	4 003 200 Kč	4 667 200 Kč
Revize a servis	-	18 914 Kč	22 765 Kč	23 220 Kč	23 685 Kč	24 158 Kč	24 641 Kč	25 134 Kč	25 637 Kč	26 150 Kč	26 673 Kč	27 216 Kč	27 788 Kč	28 380 Kč	28 992 Kč	29 624 Kč	30 276 Kč	30 948 Kč	31 640 Kč	32 352 Kč	33 084 Kč	33 836 Kč	34 608 Kč
Ekologická likvidace (voda, prostředek)	-	4 481 Kč	5 288 Kč	6 240 Kč	7 363 Kč	8 688 Kč	10 252 Kč	12 080 Kč	14 184 Kč	16 584 Kč	19 304 Kč	22 352 Kč	26 752 Kč	32 528 Kč	39 712 Kč	48 336 Kč	58 432 Kč	70 032 Kč	83 184 Kč	98 000 Kč	114 592 Kč	133 072 Kč	153 456 Kč
Součet nákladů bez odpisů	-	879 985 Kč	939 252 Kč	994 006 Kč	1 064 986 Kč	1 146 571 Kč	1 240 818 Kč	1 349 000 Kč	1 462 336 Kč	1 590 800 Kč	1 735 200 Kč	1 896 800 Kč	2 077 600 Kč	2 279 600 Kč	2 503 840 Kč	2 751 200 Kč	3 022 800 Kč	3 329 600 Kč	3 672 800 Kč	4 053 600 Kč	4 473 600 Kč	4 934 400 Kč	5 438 400 Kč
Odpisy	-	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč	69 441 Kč
Danové odpisy	-	76 386 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč	154 507 Kč
<b>Celkové provozní náklady</b>	-	<b>949 426 Kč</b>	<b>1 008 693 Kč</b>	<b>1 063 447 Kč</b>	<b>1 134 428 Kč</b>	<b>1 216 013 Kč</b>	<b>1 310 259 Kč</b>	<b>1 433 504 Kč</b>	<b>1 577 671 Kč</b>	<b>1 740 744 Kč</b>	<b>1 914 641 Kč</b>	<b>2 100 307 Kč</b>	<b>2 309 241 Kč</b>	<b>2 542 848 Kč</b>	<b>2 802 347 Kč</b>	<b>3 081 747 Kč</b>	<b>3 390 041 Kč</b>	<b>3 728 041 Kč</b>	<b>4 096 801 Kč</b>	<b>4 497 601 Kč</b>	<b>4 932 801 Kč</b>	<b>5 404 801 Kč</b>	<b>5 915 201 Kč</b>
<b>Provozní zisk (EBIT)</b>	-	<b>-301 544 Kč</b>	<b>-228 902 Kč</b>	<b>-124 891 Kč</b>	<b>-4 781 Kč</b>	<b>143 630 Kč</b>	<b>326 207 Kč</b>	<b>534 496 Kč</b>	<b>766 169 Kč</b>	<b>1 036 456 Kč</b>	<b>1 333 359 Kč</b>	<b>1 657 153 Kč</b>	<b>2 014 759 Kč</b>	<b>2 416 952 Kč</b>	<b>2 864 059 Kč</b>	<b>3 357 559 Kč</b>	<b>3 897 359 Kč</b>	<b>4 484 559 Kč</b>	<b>5 119 359 Kč</b>	<b>5 802 801 Kč</b>	<b>6 537 601 Kč</b>	<b>7 324 401 Kč</b>	<b>8 165 401 Kč</b>
Základ daně před odečtením ztrát	-	-308 488 Kč	-313 968 Kč	-209 957 Kč	-89 847 Kč	58 564 Kč	395 648 Kč	585 648 Kč	766 169 Kč	1 036 456 Kč	1 333 359 Kč	1 657 153 Kč	2 014 759 Kč	2 416 952 Kč	2 864 059 Kč	3 357 559 Kč	3 897 359 Kč	4 484 559 Kč	5 119 359 Kč	5 802 801 Kč	6 537 601 Kč	7 324 401 Kč	
Uplatnění ztráty z roku 2016	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	58 564 Kč	249 924 Kč	249 924 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
Zůstatek ztráty z roku 2016	-	308 488 Kč	308 488 Kč	308 488 Kč	308 488 Kč	249 924 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
Uplatnění ztráty z roku 2017	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	145 724 Kč	168 244 Kč	168 244 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
Zůstatek ztráty z roku 2017	-	313 968 Kč	313 968 Kč	313 968 Kč	313 968 Kč	168 244 Kč	168 244 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
Uplatnění ztráty z roku 2018	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	209 957 Kč	209 957 Kč	209 957 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
Zůstatek ztráty z roku 2018	-	313 968 Kč	313 968 Kč	313 968 Kč	313 968 Kč	168 244 Kč	168 244 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
Uplatnění ztráty z roku 2019	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
Zůstatek ztráty z roku 2019	-	313 968 Kč	313 968 Kč	313 968 Kč	313 968 Kč	168 244 Kč	168 244 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
Základ daně	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
Dan z příjmu (19%)	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	
<b>Zisk po zdanění (EAT)</b>	-	<b>-308 488 Kč</b>	<b>-313 968 Kč</b>	<b>-209 957 Kč</b>	<b>-89 847 Kč</b>	<b>58 564 Kč</b>	<b>395 648 Kč</b>	<b>585 648 Kč</b>	<b>766 169 Kč</b>	<b>1 036 456 Kč</b>	<b>1 333 359 Kč</b>	<b>1 657 153 Kč</b>	<b>2 014 759 Kč</b>	<b>2 416 952 Kč</b>	<b>2 864 059 Kč</b>	<b>3 357 559 Kč</b>	<b>3 897 359 Kč</b>	<b>4 484 559 Kč</b>	<b>5 119 359 Kč</b>	<b>5 802 801 Kč</b>	<b>6 537 601 Kč</b>	<b>7 324 401 Kč</b>	
Diskontovaný zisk (EAT)	-	-283 017 Kč	-264 216 Kč	-162 125 Kč	-63 650 Kč	38 063 Kč	235 912 Kč	395 133 Kč	554 444 Kč	742 444 Kč	950 444 Kč	1 188 444 Kč	1 456 444 Kč	1 754 444 Kč	2 082 444 Kč	2 440 444 Kč	2 828 444 Kč	3 246 444 Kč	3 694 444 Kč	4 172 444 Kč	4 680 444 Kč	5 218 444 Kč	
Cash Flow po zdanění	-	-694 414 Kč	-159 461 Kč	-55 450 Kč	64 660 Kč	215 071 Kč	395 648 Kč	585 648 Kč	766 169 Kč	1 036 456 Kč	1 333 359 Kč	1 657 153 Kč	2 014 759 Kč	2 416 952 Kč	2 864 059 Kč	3 357 559 Kč	3 897 359 Kč	4 484 559 Kč	5 119 359 Kč	5 802 801 Kč	6 537 601 Kč	7 324 401 Kč	
Diskontované CF	-	-212 938 Kč	-134 215 Kč	-42 817 Kč	45 807 Kč	138 482 Kč	235 912 Kč	395 133 Kč	554 444 Kč	742 444 Kč	950 444 Kč	1 188 444 Kč	1 456 444 Kč	1 754 444 Kč	2 082 444 Kč	2 440 444 Kč	2 828 444 Kč	3 246 444 Kč	3 694 444 Kč	4 172 444 Kč	4 680 444 Kč	5 218 444 Kč	
Kumulovaná hodnota DCF	-	-212 938 Kč	-347 153 Kč	-389 970 Kč	-344 163 Kč	-205 682 Kč	30 230 Kč	246 381 Kč	413 642 Kč	560 316 Kč	694 414 Kč	815 864 Kč	924 414 Kč	1 019 964 Kč	1 102 514 Kč	1 172 064 Kč	1 228 614 Kč	1 272 164 Kč	1 303 714 Kč	1 323 264 Kč	1 330 814 Kč	1 326 364 Kč	
<b>Akumulovaný zisk</b>	-	<b>896 382 Kč</b>	<b>-41 512 Kč</b>	<b>-112 512 Kč</b>	<b>112 512 Kč</b>	<b>225 024 Kč</b>	<b>337 536 Kč</b>	<b>450 048 Kč</b>	<b>562 560 Kč</b>	<b>675 072 Kč</b>	<b>787 584 Kč</b>	<b>900 096 Kč</b>	<b>1 012 608 Kč</b>	<b>1 125 120 Kč</b>	<b>1 237 632 Kč</b>	<b>1 350 144 Kč</b>	<b>1 462 656 Kč</b>	<b>1 575 168 Kč</b>	<b>1 687 680 Kč</b>	<b>1 800 192 Kč</b>	<b>1 912 704 Kč</b>	<b>2 025 216 Kč</b>	<b>2 137 728 Kč</b>
Čistá současná hodnota	-	-41 512 Kč	-112 512 Kč	112 512 Kč	225 024 Kč	337 536 Kč	450 048 Kč	562 560 Kč	675 072 Kč	787 584 Kč	900 096 Kč	1 012 608 Kč	1 125 120 Kč	1 237 632 Kč	1 350 144 Kč	1 462 656 Kč	1 575 168 Kč	1 687 680 Kč	1 800 192 Kč	1 912 704 Kč	2 025 216 Kč	2 137 728 Kč	
Vnitřní výnosové procento	-	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	
Diskotní sazba	-	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	



# Příloha B – výpočetní tabulka INJET 388-CRD

Rok	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	<b>Předpokládaný meziroční nárůst jednotlivých nakladových položek v závislosti na změně inflace, průměrné mzdy a kurzu CZK/EUR</b>															
Růst mzdy / hod.	-	216 Kč	222 Kč	229 Kč	236 Kč	243 Kč	250 Kč	258 Kč	266 Kč	274 Kč	282 Kč	290 Kč	299 Kč	308 Kč	317 Kč	327 Kč
Mycí prostředek / cyklus	-	86 Kč	88 Kč	90 Kč	91 Kč	93 Kč	95 Kč	97 Kč	99 Kč	101 Kč	103 Kč	105 Kč	107 Kč	109 Kč	111 Kč	114 Kč
Deionizovaná voda = výměna / cyklus	-	26 Kč	27 Kč	28 Kč	28 Kč	28 Kč	29 Kč	29 Kč	30 Kč	31 Kč	31 Kč	32 Kč	32 Kč	33 Kč	34 Kč	34 Kč
Spotřební materiál / cyklus	-	74 Kč	73 Kč	76 Kč	77 Kč	79 Kč	80 Kč	82 Kč	83 Kč	85 Kč	87 Kč	89 Kč	90 Kč	92 Kč	94 Kč	96 Kč
Revize a servis / rok	-	18 240 Kč	18 605 Kč	18 977 Kč	19 356 Kč	19 744 Kč	20 138 Kč	20 541 Kč	20 952 Kč	21 371 Kč	21 798 Kč	22 234 Kč	22 679 Kč	23 133 Kč	23 595 Kč	24 067 Kč
Cena za jeden mycí cyklus	-	431 Kč	439 Kč	448 Kč	457 Kč	466 Kč	476 Kč	485 Kč	495 Kč	505 Kč	515 Kč	525 Kč	536 Kč	546 Kč	557 Kč	568 Kč
Předpokládaný počet cyklů	-	1250	1475	1741	2054	2423	2860	2860	2860	2860	2860	2860	2860	2860	2860	2860
<b>Celkové provozní výnosy</b>	-	<b>538 373 Kč</b>	<b>647 986 Kč</b>	<b>779 916 Kč</b>	<b>938 707 Kč</b>	<b>1 129 827 Kč</b>	<b>1 359 860 Kč</b>	<b>1 387 057 Kč</b>	<b>1 414 799 Kč</b>	<b>1 443 095 Kč</b>	<b>1 471 956 Kč</b>	<b>1 501 396 Kč</b>	<b>1 531 423 Kč</b>	<b>1 562 052 Kč</b>	<b>1 593 293 Kč</b>	<b>1 625 159 Kč</b>
Energy	-	4 868 Kč	5 745 Kč	6 779 Kč	7 999 Kč	9 439 Kč	11 137 Kč	11 137 Kč	11 137 Kč	11 137 Kč	11 137 Kč	11 137 Kč	11 137 Kč	11 137 Kč	11 137 Kč	11 137 Kč
Osobní náklady	-	432 000 Kč	444 960 Kč	458 309 Kč	472 058 Kč	486 220 Kč	500 806 Kč	515 831 Kč	531 306 Kč	547 245 Kč	563 662 Kč	580 572 Kč	597 989 Kč	615 929 Kč	634 407 Kč	653 439 Kč
Mycí prostředek	-	107 550 Kč	129 447 Kč	155 803 Kč	187 524 Kč	225 704 Kč	271 657 Kč	277 090 Kč	282 632 Kč	288 285 Kč	294 051 Kč	299 932 Kč	305 930 Kč	312 049 Kč	318 290 Kč	324 656 Kč
Deionizovaná voda	-	32 620 Kč	39 261 Kč	47 255 Kč	56 876 Kč	68 456 Kč	82 393 Kč	84 041 Kč	85 722 Kč	87 436 Kč	89 185 Kč	90 969 Kč	92 788 Kč	94 644 Kč	96 537 Kč	98 468 Kč
Spotřební materiál	-	90 780 Kč	109 263 Kč	131 509 Kč	158 284 Kč	190 510 Kč	229 298 Kč	233 884 Kč	238 562 Kč	243 333 Kč	248 200 Kč	253 164 Kč	258 227 Kč	263 392 Kč	268 660 Kč	274 033 Kč
Revize a servis	-	18 240 Kč	21 954 Kč	22 393 Kč	22 841 Kč	23 297 Kč	23 763 Kč	24 239 Kč	24 723 Kč	25 218 Kč	25 722 Kč	26 237 Kč	26 761 Kč	27 297 Kč	27 843 Kč	28 399 Kč
Etiketovací likvidace	-	5 404 Kč	6 377 Kč	7 525 Kč	8 879 Kč	10 477 Kč	12 363 Kč	12 363 Kč	12 363 Kč	12 363 Kč	12 363 Kč	12 363 Kč	12 363 Kč	12 363 Kč	12 363 Kč	12 363 Kč
Součet nákladů bez odpisů	-	691 462 Kč	757 006 Kč	829 571 Kč	914 460 Kč	1 014 103 Kč	1 131 419 Kč	1 158 586 Kč	1 186 446 Kč	1 215 018 Kč	1 244 320 Kč	1 274 373 Kč	1 305 197 Kč	1 336 810 Kč	1 369 236 Kč	1 402 495 Kč
Odpisy	-	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč	44 573 Kč
Danové odpisy	-	73 546 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč	148 764 Kč
<b>Celkové provozní náklady</b>	-	<b>736 036 Kč</b>	<b>801 580 Kč</b>	<b>874 144 Kč</b>	<b>959 034 Kč</b>	<b>1 058 676 Kč</b>	<b>1 175 993 Kč</b>	<b>1 203 159 Kč</b>	<b>1 231 019 Kč</b>	<b>1 259 591 Kč</b>	<b>1 288 894 Kč</b>	<b>1 318 947 Kč</b>	<b>1 349 770 Kč</b>	<b>1 381 384 Kč</b>	<b>1 413 809 Kč</b>	<b>1 447 068 Kč</b>
<b>Provozní zisk (EBIT)</b>	-	<b>-197 662 Kč</b>	<b>-153 594 Kč</b>	<b>-94 228 Kč</b>	<b>-20 327 Kč</b>	<b>71 151 Kč</b>	<b>183 868 Kč</b>	<b>183 898 Kč</b>	<b>183 779 Kč</b>	<b>183 503 Kč</b>	<b>183 063 Kč</b>	<b>182 449 Kč</b>	<b>181 653 Kč</b>	<b>180 668 Kč</b>	<b>179 484 Kč</b>	<b>178 091 Kč</b>
Základ daně před odečtením ztrát	-	-226 635 Kč	-257 784 Kč	-198 419 Kč	-124 517 Kč	-33 040 Kč	228 441 Kč	228 472 Kč	228 353 Kč	228 077 Kč	227 636 Kč	227 022 Kč	226 227 Kč	225 242 Kč	224 057 Kč	222 664 Kč
Uplatnění ztráty z roku 2016	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	226 635 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Zůstatek ztráty z roku 2016	-	226 635 Kč	226 635 Kč	226 635 Kč	226 635 Kč	226 635 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Uplatnění ztráty z roku 2017	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	1 806 Kč	228 472 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Zůstatek ztráty z roku 2017	-	257 784 Kč	257 784 Kč	257 784 Kč	257 784 Kč	255 978 Kč	27 507 Kč	27 507 Kč	27 507 Kč	27 507 Kč	27 507 Kč	27 507 Kč	27 507 Kč	27 507 Kč	27 507 Kč	27 507 Kč
Uplatnění ztráty z roku 2018	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	198 419 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Zůstatek ztráty z roku 2018	-	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč	198 419 Kč
Uplatnění ztráty z roku 2019	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	29 934 Kč	94 583 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Zůstatek ztráty z roku 2019	-	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč	124 517 Kč
Uplatnění ztráty z roku 2020	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Zůstatek ztráty z roku 2020	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Základ daně	-	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč	133 494 Kč	227 636 Kč	227 022 Kč	226 227 Kč	225 242 Kč	224 057 Kč	222 664 Kč
<b>Zisk po zdanění (EAT)</b>	-	<b>-226 635 Kč</b>	<b>-257 784 Kč</b>	<b>-198 419 Kč</b>	<b>-124 517 Kč</b>	<b>-33 040 Kč</b>	<b>228 441 Kč</b>	<b>228 472 Kč</b>	<b>228 353 Kč</b>	<b>228 077 Kč</b>	<b>227 636 Kč</b>	<b>227 022 Kč</b>	<b>226 227 Kč</b>	<b>225 242 Kč</b>	<b>224 057 Kč</b>	<b>222 664 Kč</b>
Cash flow po zdanění	-	-668 602,00	-153 089 Kč	-109 020 Kč	-49 655 Kč	-24 247 Kč	115 724 Kč	228 441 Kč	228 353 Kč	202 713 Kč	184 385 Kč	183 888 Kč	183 244 Kč	182 446 Kč	181 486 Kč	180 358 Kč
Kumulovaná hodnota CF	-	-153 089 Kč	-262 109 Kč	-311 764 Kč	-341 419 Kč	-366 648 Kč	-285 120 Kč	513 472 Kč	716 186 Kč	900 571 Kč	1 084 459 Kč	1 267 702 Kč	1 450 459 Kč	1 633 634 Kč	1 817 120 Kč	2 000 278 Kč
Diskontovaná CF	-	-140 449 Kč	-91 760 Kč	-38 343 Kč	17 177 Kč	75 213 Kč	136 212 Kč	124 982 Kč	114 603 Kč	98 335 Kč	77 886 Kč	71 263 Kč	65 150 Kč	59 510 Kč	54 309 Kč	49 515 Kč
Kumulovaná hodnota DCF	-	-140 449 Kč	-232 209 Kč	-270 551 Kč	-253 375 Kč	-178 162 Kč	-41 950 Kč	83 032 Kč	197 635 Kč	290 969 Kč	368 856 Kč	440 118 Kč	505 268 Kč	564 778 Kč	619 087 Kč	668 602 Kč
<b>Akumulovaný zisk</b>	-	<b>1 143 300 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>
<b>Čistá současná hodnota</b>	-	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>	<b>0 Kč</b>
<b>Vnitřní výnosové procento</b>	-	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>
<b>Diskontní sazba</b>	-	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>9%</b>