

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Tavidla pro bezolovnaté pájení a jejich vliv na
spolehlivost**

vedoucí práce: Doc. Ing. František Steiner Ph.D.

2014

autor: Michal Grametbauer

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal GRAMETBAUER**
Osobní číslo: **E12N0010P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Tavidla pro bezolovnaté pájení a jejich vliv na spolehlivost**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou tavidel používaných při pájení v elektronice a jejich vlivem na spolehlivost.
2. Zpracujte přehled metod stanovení čistoty desek plošných spojů po procesu pájení.
3. Pomocí DOE (Design of experiment) navrhnete a realizujete test vlivu typu tavidla, teplotního profilu a dalších parametrů na spolehlivost desek plošných spojů.
4. Proveďte vyhodnocení výsledků.

Anotace

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou tavidel a jejich vlivů na spolehlivost desky plošných spojů. V úvodních kapitolách jsou vysvětleny základní pojmy týkající se kontaminace a tavidel.

Dále jsou popsány normy a testovací metody pro posouzení povrchového izolačního odporu a iontové kontaminace desky plošných spojů. V další části jsou realizované experimenty pro testování povrchového izolačního odporu a iontové kontaminace DPS pro různá tavidla a různé přetavovací teploty. V závěrečné části jsou vyhodnoceny výsledky experimentů.

Klíčová slova

Tavidla, iontová kontaminace, povrchový izolační odpor, kalafuna

Abstract

This diploma thesis deals with fluxes and their effect on the reliability of the printed circuit boards. The initial chapters explain the basic concepts related to contamination and fluxes.

Next part describes the standards and test methods for the assessment of surface insulation resistance and ion contamination of the PCB. The other parts are realized experiments to test the insulation resistance and surface contamination of PCB for various fluxes and different remelting temperatures. The final section analyzes the results of experiments.

Key words

Contamination, flux, surface insulation resistivity, rosin

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne

Michal Grametbauer

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Františkovi Steinerovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Čengerymu Ph.D. za cenné rady při praktické části.

Tato práce vznikla s podporou Evropského fondu pro regionální rozvoj a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci projektu Regionální inovační centrum elektrotechniky (RICE), číslo projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0094.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	9
Úvod.....	10
1. Tavidla	11
1.1 Anorganická tavidla	14
1.2 Organická tavidla	14
1.3 Kalafunová tavidla	14
2 Kontaminace	16
3 Elektromigrace.....	17
4 Povrchový izolační odpor	18
5 Normy a testovací metody	19
5.1 IPC normy	19
5.2 MIL a DEF normy.....	21
5.3 ČSN NORMY	22
6 Technika DESIGN OF EXPERIMENTS	23
6.1 Historie DoE.....	23
6.2 Použití techniky DoE	24
6.3 Návrh experimentu pro zjištění vlivu tavidel.....	24
7 Praktická část experimentu	27
7.1 Volba základního substrátu DPS.....	27
7.2 Volba předlohy a návržení testovacího vzorku.....	27
7.3 Použitá tavidla	29
7.4 Nanesení tavidla a přetavení	30
7.5 Čištění testovacích vzorků	31
7.6 Použité přístroje.....	32
7.7 Měření povrchového izolačního odporu	37
8 Analýza dat z měření povrchového izolačního odporu.....	39
8.1 Analýza dat při interakci sledovaných vlivů	40
8.2 Grafické vyhodnocení interakce vlivů působící na povrchový izolační odpor.....	53
8.3 Vyhodnocení interakce vlivů působící na povrchový izolační odpor.....	55
9 Analýza dat z měření iontové kontaminace vzorků.....	57

9.1	Grafické vyhodnocení interakce vlivů působící na iontovou kontaminaci.....	65
9.2	Vyhodnocení interakce vlivů působící na iontovou kontaminaci vzorků.....	68
10	Závěr	69
	Použitá literatura	71
	Příloha.....	74

Seznam symbolů a zkratk

R	Rosin (kalafuna)
RMA	Rosin mildly activated (kalafuna mírně aktivovaná)
RSA	Rosin strongly activated (kalafuna silně aktivovaná)
RA	Rosin activated (kalafuna aktivovaná)
FR 4	Základní substrát DPS
SIR	Surface insulation resistance (povrchový izolační odpor)
Demi	Demineralizovaná voda
Ipa	Izopropylalkohol
DPS	Deska plošného spoje
Clean tavidla	Oplachová tavidla
No-clean tavidla	bezoplachová tavidla

Úvod

Nároky na moderní elektronická zařízení neustále rostou. Požadavky na vysoký výkon a spolehlivost jsou doplněny nutností vyšší integrace a zmenšení přístrojů. Při zmenšování desek plošných spojů dochází k značnému zmenšení izolačních vzdáleností mezi vodiči. Z těchto důvodů se klade velký důraz na čistotu desky plošných spojů.

Při kontaminaci DPS dochází ke snížení povrchového izolačního odporu, který při kombinaci s malou izolační vzdáleností mezi vodiči může způsobit značné snížení spolehlivosti přístroje. DPS mohou být kontaminovány jak při samotné výrobě tak i během provozu v obtížných klimatických podmínkách. Z těchto důvodů se ve výrobních postupech více zaměřujeme na odstranění kontaminace při výrobním procesu a na ochranu samotné DPS proti nepříznivým vlivům.

Jeden z hlavních faktorů působících na čistotu desky plošného spoje jsou tavidla. Tavidla jsou nedílnou součástí pájecího procesu a mají za úkol redukovat oxidové vrstvy na pájeném povrchu, zlepšit smáčení pájeného povrchu, napomáhat roztékání pájky a ochránit pájku a očištěný kov před další oxidací. Má také tepelnou funkci a to přenášet teplo od zdroje k pájenému spoji. Tavidla mají také negativní vliv na spolehlivost desek plošných spojů. Tyto negativní vlivy způsobují zbytky tavidel, které zůstávají korozivně aktivní a elektricky vodivé. Při kombinaci těchto zbytků tavidel s vnější kontaminací a s vlhkostí může dojít k nepředvídatelným jevům, které mohou způsobit zkrat a tím selhání přístroje.

Z důvodu nutnosti zkoumání těchto vlivů jsem vypracoval zde předkládanou diplomovou práci. V této práci se zabývám nejen zkoumáním vlivů tavidel na povrchový izolační odpor, ale také zkoumáním vlivů tavidel na kontaminaci desek plošných spojů. Díky takto rozsáhlému měření mohu popsat vliv nečistot na spolehlivost desek plošných spojů.

1. Tavidla

Je nutné si uvědomit, že každý kovový povrch základního materiálu oxiduje. Tato oxidace vzniká za přítomnosti kyslíku a nelze jí zabránit. Při pájení na takto zoxidovaném základním materiálu dochází ke špatnému smáčení a vytvoření nekvalitního spoje. Z těchto důvodů se využívají tavidla, která napomáhají odstranění negativních vlivů (např. oxidové vrstvy) na základním materiálu. Dále musí tavidlo napomáhat dobrému smáčení povrchu roztavenou pájkou a musí ochránit pájené místo před působením kyslíku po dobu pájení, protože při zvýšené teplotě dochází k rychlejší oxidaci pájeného spoje. [1, 2]

Tavidla se hodnotí nejen z pohledu tvorby pájeného spoje, ale také z hlediska nežádoucích vlivů po vytvoření pájeného spoje. Mezi negativní vlivy patří korozivní a elektricky vodivé zbytky tavidel a jejich reakční produkty. Tyto rezidua je nutné odstranit omytím, které je značně nákladné nejen z hlediska ekonomického, ale také z hlediska ekologického.[1, 2]

Ideální tavidlo je vysoce aktivní za pájecích teplot a nečinné za normálních pracovních teplot (okolo 24°C), čímž by nebylo nutné ho odstraňovat. Tato kombinace vlastností je však nedosažitelná a skutečné tavidlo se volí kompromisem mezi aktivitou za pájecích teplot a nečinností za pracovních teplot.[1, 2]

Z důvodu lepší orientace mezi značením různých druhů tavidel je uvedeno rozdělení jak dle normy ČSN EN 29454-1 (tabulka 1) tak i dle normy EN 61190-1-1 (tabulka 2).

Tabulka 1.: Tavidla pro měkké pájení [28]

Klasifikace tavidel			Kód
Typ tavidla	Základ tavidla	Aktivace tavidla	
1. Pryskyřičná	1. Kalafuna	1. Bez aktivátorů	1.1.1
	2. Nehalogenové pryskyřice	2. Halogeny	1.2.1
		3. Nehalogenové aktivátory	1.2.2
2. Organická	1. Vodou ředitelná	1. Bez aktivátorů	1.1.3
	2. Vodou nefeditelná	2. Halogeny	2.1.2
			2.2.2
		3. Nehalogenové Aktivátory	2.2.3
3. Anorganická	1. Soli	1. S chloridem amonným	2.2.2
		2. Bez chloridu amonného	2.2.3
	2. Kyseliny	1. Kyselina fosforečná	2.2.2
		2. Jiná kyselina	2.2.3
	3. Alkálie	1. Aminy nebo amoniak	3.1.1
			3.1.2
		3.2.1	

Tabulka 2.: Přehled tavidel [29]

Materiál pro stavbu tavidel ^a	Aktivní látka (váha % halogenidů) ^b	IEC Označení tavidel ^c	ISO označení tavidel ^d
Kalafuna (RO)	Málo (low) (<0,01) L0	ROL0	1.1.1
	Málo (low) (<0,15) L1	ROL1	1.1.2.W, 1.1.2.X
	Mírně (moderate) (0) M0	ROM0	1.1.3.W
	Mírně (moderate) (0,5-2,0) M1	ROM1	1.1.2.Y, 1.1.2.Z
	Velmi (high) (0) H0	ROH0	1.1.3.X
	Velmi (high) (>2,0) H1	ROH1	1.1.2.Z
Pryskyřice (RE)	Málo (low) (<0,01) L0	REL0	1.2.1
	Málo (low) (<0,15) L1	REL1	1.2.2.W, 1.2.2.X
	Mírně (moderate) (0) M0	REM0	1.2.3.W
	Mírně (moderate) (0,5-2,0) M1	REM1	1.2.2.Y, 1.2.2.Z
	Velmi (high) (0) H0	REH0	1.2.3.X
	Velmi (high) (>2,0) H1	REH1	1.2.2.Z
Organické látky (OR)	Málo (low) (<0,01) L0	ORL0	2.1., 2.2.3.E
	Málo (low) (<0,15) L1	ORL1	-
	Mírně (moderate) (0) M0	ORM0	-
	Mírně (moderate) (0,5-2,0) M1	ORM1	2.1.2, 2.2.2
	Velmi (high) (0) H0	ORH0	2.2.3.0
	Velmi (high) (>2,0) H1	ORH1	2.2.2
Anorganické látky (IN)	Málo (low) (<0,01) L0	INL0	Nevhodný
	Málo (low) (<0,15) L1	INL1	(Anorganické
	Mírně (moderate) (0) M0	INM0	tavidlo podle
	Mírně (moderate) (0,5-2,0) M1	INM1	ISO různých)
	Velmi (high) (0) H0	INH0	
	Velmi (high) (>2,0) H1	INH1	

^{a)} Tavidla se vyskytují jako S (pevné látky), P (pasty/krémy) nebo L (kapaliny).

^{b)} 0 a 1 označují nepřítomnosti nebo přítomnosti halogenidu.

L - nízký obsah nebo tavidlo bez aktivátorů

M - mírná aktivita tavidla

H - vysoká aktivita tavidla

^{c)} Porovnání aktivní úrovně RO,RE,OR,IN s třídami L,M,H a u R,RMA,RA, vodou rozpustná a nerozpustná najdeme v IEC 61190-1-1

^{d)} Název ISO je podobný jako název IEC s menšími rozdíly ve vlastnostech

1.1 Anorganická tavidla

Tento druh tavidel se jen zřídka používá v elektronice z důvodu vysokého obsahu solí, čímž se stávají velmi korozivní. Používají se hlavně na neelektrické aplikace, při kterých je nutné odstranit vrstvu oxidu jak z železných, tak i neželezných materiálů, jako je například nikl, nerez ocel, atd. Jejich hlavní nevýhody při použití v elektronice jsou chemicky aktivní zbytky. Ty zůstávají na místě pájení a jsou velmi těžko odstranitelné. [1,5,13]

1.2 Organická tavidla

Tento druh tavidel je dobrým kompromisem mezi kalafunovými tavidly a anorganickými tavidly. Organická tavidla jsou více aktivní než kalafunová a jejich zbytky po pájení jsou snadněji odstranitelné než zbytky anorganických tavidel. Z těchto důvodů je tento druh tavidel hojně využíván při pájení vlnou pro součástky povrchové montáže, které jsou přilepeny na spodní straně DPS. Organická tavidla obsahují polární ionty, které jsou snadno odstranitelné pomocí polárních rozpouštědel jako např. voda. [1,5,13]

1.3 Kalafunová tavidla

Základní složkou kalafunových tavidel je přírodní pryskyřice, která se skládá z pryskyřičných kyselin s největším podílem kyseliny abietové. Kyselina abietová je jednou z hlavních složek přírodních pryskyřic. Její hlavní vlastností je zvyšování adheze. Kalafunová tavidla se rozpouští pomocí organických rozpouštědel, jako je etylalkohol. Bod tání kalafuny je mezi 172°C až 175°C, což je ideální teplota pro olovnaté pájení. Zde nastává problém vzhledem k zákazu používání olovnatých pájek z ekologického důvodu a jejich nahrazením bezolovnatými pájkami, které mají bod tání kolem 220°C, čímž jsou tavidla vystavená značně vyšším teplotám a mohou činit určité problémy. Kalafuna je velmi málo aktivní a nestačila by pro odstranění nežádoucí látek z pájeného spoje. Z tohoto důvodu je kalafuna doplněna aktivátory, které zlepšují její vlastnosti. Podle druhu aktivátoru a jeho množství se kalafunová tavidla rozdělují následujícím způsobem. [1, 5, 13]

Typ R

Toto tavidlo je složené z bílé pryskyřice (kalafuna), která je rozpuštěna v lihovém ředidle. Jeho aktivita je nejnižší a proto se používá na vysoce pájitelné povrchy (např. pro čištění povrchů Ag, Au). Rezidua tohoto tavidla nejsou korozivní. [1,5,13]

Typ RMA

Do tohoto tavidla jsou přidány vhodné organické směsi, které zvyšují jeho aktivitu. Používá se na materiály s dobrou pájitelností (např. Cu, Au). Rezidua tohoto tavidla jsou považována za netečná, a proto nemusí být odstraněna (odstranění je možné pomocí polárních a nepolárních rozpouštědel). [1,5,13]

Typ RA

Toto tavidlo obsahuje více aktivních přísad než typ RMA. Tento typ tavidla je používán pro pájení kovů, které nejsou ihned pájitelné s tavidly typu R a RMA. Tento typ tavidla je vysoce aktivní a z tohoto důvodu je nutné odstranit rezidua tavidla. Při ponechání těchto reziduí na spoji by mohlo dojít k podpoření dlouhodobé koroze. [1,5,13]

Typ RSA

Tavidlo typu RSA je velmi silně aktivované tavidlo. Ze stejného důvodu jako u tavidla typu RA je nutné po dokončení pájecího procesu odstranit jeho rezidua. [1,5,13]

Porovnání tavidel dle normy EN 61190-1-1 mezi typy L, M, H a starším značením na bázi kalafuny R, RMA, RA, RSA: [4]

- L0 – všechna R, některá RMA, některá s nízkým obsahem sušiny (neoplachová)
- L1 – většina RMA, některá RA
- M0 – některá RA a některá s nízkým obsahem sušiny (neoplachová)
- M1 – většina RA, některá RSA
- H0 – některá vodou rozpustná
- H1 – některá RSA, některá vodou rozpustná a synteticky aktivovaná

2 Kontaminace

Ke kontaminaci (znečištění) DPS může dojít v jakékoliv fázi výrobního procesu nebo v provozní fázi. Nečistoty způsobující vznik kontaminace DPS můžeme rozdělit do tří základních skupin:

- Polární – iontové
- Nepochární – neiontové
- Pevné nečistoty

Polární – iontové kontaminace jsou částečně nebo úplně rozpustné a ionizovatelné ve vodě. Tento druh kontaminace má velký vliv na pokles povrchového izolačního odporu za přítomnosti vlhka. Díky těmto vlastnostem je možné tyto kontaminanty detekovat pomocí testů pro zjištění iontové kontaminace DPS. Tato kontaminace může vzniknout téměř při každém výrobním a montážním procesu. Příkladem tohoto druhu kontaminace jsou aktivátory tavidel, aktivované zbytky, zbytky solí z leptání, sodík a chlorid draslíku (z otisků prstů).

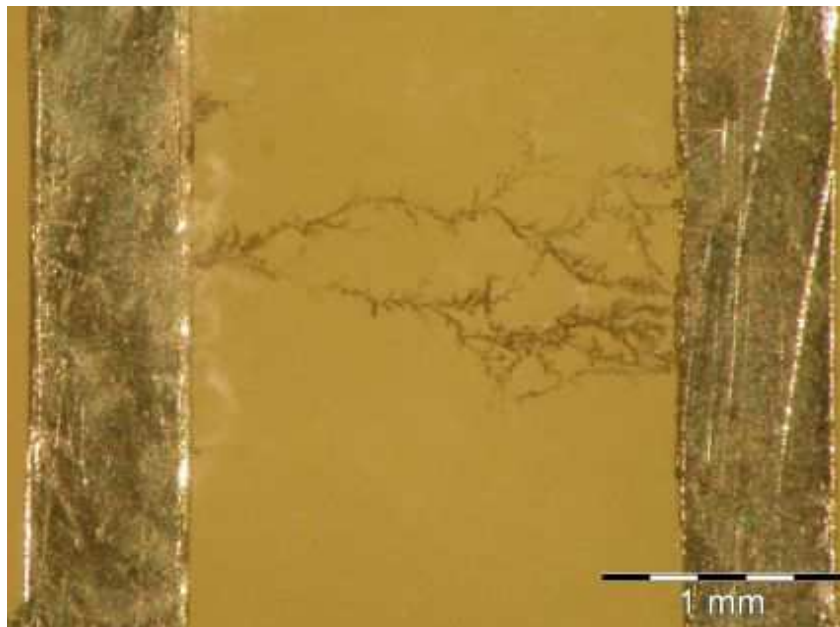
Nepochární – neiontové kontaminace jsou rozpustné v organických rozpouštědlech (alkohol, uhlovodíky, atd.). Nejčastějšími zástupci tohoto druhu kontaminace jsou zbytky kalafuny z tavidel. Jak je obecně známé, kalafuna je nekorozivní a nezpůsobuje nárůst elektrické vodivosti vody. Z těchto důvodů tento druh kontaminantů nelze detekovat pomocí testů pro zjištění iontové kontaminace DPS.

Pevné nečistoty mohou vzniknout z velkého množství zdrojů. Mezi nejvýznamnější zdroje patří mechanické úpravy DPS (řezání, vrtání, pouzdření atd.). Tyto kontaminanty jsou v drtivé většině nerozpustné v čistícím médiu a jsou pouze smývány z povrchu DPS. Při omývání těchto kontaminantů dochází ke znečištění čistícího media, čímž vzniká možnost opětovné kontaminace DPS. Z tohoto důvodu je nutné udržovat koncentraci pevných částic na nízké úrovni pomocí filtrace. [4]

3 Elektromigrace

K tomuto jevu dochází za přítomnosti elektrického pole a nečisto na substrátu. Volné záporné ionty jsou přenášeny, vlivem elektrického pole ke kladnější elektrodě. Tyto volné ionty jsou nečistoty, které vznikají při výrobě vnější kontaminací nebo pomocí elektrochemické koroze. Elektrochemická koroze vzniká za přítomnosti zbytků chloridů a halogenidů, které se vyskytují v tavidlech. Zbytky halogenidů vytvářejí kyselinové roztoky, které narušují měděné a cínové vodivé cesty a vytváří vodivé soli (např. chlorid měďnatý) nebo vodivé dendrity (uvolněné ionty kovů). Tato koroze je navíc urychlena přítomností napětí ve vodivých cestách. Přítomnost dendritů a vodivých solí snižuje povrchový izolační odpor (více v následující kapitole), což má za následek ztrátový proud a zkraty v obvodu (obrázek 1). Elektrochemickou korozi dělíme na dva typy dle rozsahu zasaženého prostoru:

- | | |
|----------------------------|--|
| Koroze rovnoměrná | Úbytek kovu je rovnoměrný po celém povrchu substrátu. Tento typ je nejrozšířenější. |
| Koroze nerovnoměrná | Úbytek kovu je jen v určitých částech obvodu nebo uvnitř kovu (důlková, bodová, laminární, mezikrystalová a transkrystalová).[3,6,9] |



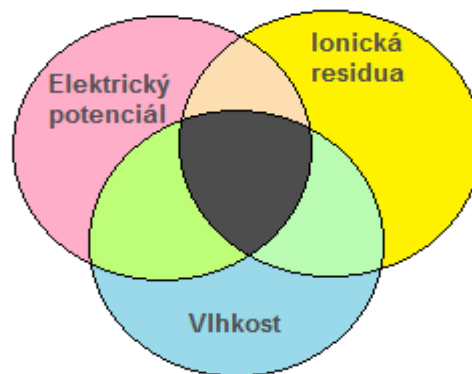
Obrázek 1: Zkrat zapříčiněný růstem dendritů [6]

4 Povrchový izolační odpor

Mezi nejvýznamnější vlivy, které ovlivňují povrchový izolační odpor, patří voda a různé nečistoty na substrátu. I velmi tenký vodní film značně snižuje povrchový izolační odpor, který je velmi důležitou vlastností u substrátů. Vlastnosti substrátu značně ovlivňují tloušťku vodního filmu na povrchu. Jedním z hlavních vlastností substrátu, které ovlivňují zachycení vody a nečistot je drsnost povrchu. Substráty s drsnějším povrchem mají tendenci zachytávat větší množství nečistot a pohlcují více vlhkosti z okolního prostředí.

Testování povrchového izolačního odporu je nedestruktivní metoda, která se využívá při vývoji materiálů pro elektroniku a optimalizaci výrobních procesů. Cílem testování SIR je odhalit sklony DPS k nežádoucím svodům elektrické energie. Nezbytné faktory pro vznik nežádoucích svodů jsou vlhkost, ionická rezidua a elektrický potenciál (obrázek 2).

Tato práce se zabývá zkoumáním vlivů tavidel na spolehlivost DPS. Mezi jednu z použitých metod pro zkoumání vlivu tavidel na DPS je testování povrchového izolačního odporu. Testovací metoda použita k dosažení výsledků je blíže popsána v kapitole 6.3.[3,9]



Obrázek 2: Vennův diagram znázorňující vlivy na povrchový izolační odpor [9]

5 Normy a testovací metody

Existuje mnoho průmyslových standardů využívajících se pro klasifikaci a testování tavidel, které vyvinuly různé firmy nebo asociace. Mezi nejznámější patří IPC, JIS a Bellcore. V těchto standardech se popisují testovací metody, postup klasifikace tavidel a jejich zbytku na DPS. V této práci jsou využity standardy a testovací manuál od asociace IPC pro klasifikaci a testování tavidel. Dále jsou v této práci použity standardy ČSN, DEF a MIL.

5.1 IPC normy

Název normy: **Požadavky na pájecí tavidla (IPC J-STD-004B)**

Platnost od: 1.11.2011

Norma IPC J-STD-004B je novelizací normy IPC J-STD-004A z roku 2004. Tato norma stanovuje hlavní požadavky pro klasifikaci a testování tavidel pro vysoce kvalitní propojování pájením. Norma se zabývá charakteristikou tavidel, testy kvality a dodává dokumenty pro tavidla a látky v nich obsažené. [8]

Název normy: **Příručka povrchového izolačního odporu (IPC 9201)**

Poslední revize: 1.8.2007

Tento dokument popisuje návrh testovacích desek a různé testovací metody, které slouží k určení povrchového izolačního odporu. Dokument obsahuje pět návrhů testovacích desek a popis jejich hlavních výhod a nevýhod. [9]

Název normy: Zkušební metody (IPC TM-650-MDP)

Poslední revize: 1.5.2012

Tento soubor definuje testy, které musí být obsaženy v IPC TM-650-MDP testovací metodě. Cílem je vyvinout jednotný přístup k navrhování a ověřování výrobku dle zkušebních metod IPC. Účelem těchto kritérií je pomoc při definování lepších zkušebních metod pro výrobky v elektronice a všech souvisejících odvětví. Tento testovací manuál se odkazuje na normy ISO / IEC 17025, ISO 5725-1, ISO 5725-2, ISO 5725-3, ISO 5725-4, ISO 5725-5, ISO 5725-6, ISO 17000, ISO / IEC Guide 43-1, ISO / IEC Guide 43-2. [8]

V této práci jsou využity následující testovací metody pro posouzení izolačního povrchového odporu:

Název testovací metody: Surface Insulation Resistance (TM 2.6.3.7)

Datum vytvoření: 1.7.2003

Tato zkušební metoda se používá ke kvantifikaci škodlivých účinků reziduí na povrchový izolační odpor (SIR) při zhotovení, zpracování nebo manipulaci za přítomnosti vlhkosti. Elektrody jsou dlouhé vodivé motivy (hřebenový vzor) na standardizované tištěné desce nebo sestavě. Elektrody jsou během přípravy nastaveny k usnadnění elektrochemické reakce. Konkrétně je tato metoda navržena tak, aby současně posoudila:

- a) unikající proud způsobený ionizovanými filmy vody,
- b) elektrochemická degradace zkušební vzorku (koroze, dendritický růst). [8]

Název testovací metody: Surface Insulation Resistance, Fluxes (TM 2.6.3.3B)

Datum vytvoření: 1.4.2006

Tato zkušební metoda měří degradaci povrchového izolačního odporu desky plošných spojů po expozici určitého tavidla. Tento test se provádí při vysoké teplotě a vlhkosti. [8]

5.2 MIL a DEF normy

Název normy: **Stanovení iontové čistoty (MIL-P-28809A)**

Datum vytvoření: 13.4.1981

Norma MIL-P-28809A popisuje měřicí metodu, která testuje iontovou kontaminaci DPS jako celku. To znamená, že testování mohou být podrobeny nejen obě strany holé DPS, ale je možné testovat DPS s již osazenými součástkami. Standard požaduje měřicí roztok skládající se z 75% izopropylalkoholu a z 25% demineralizované vody. Měření má probíhat za referenční teploty 20°C. Rozhodovací úroveň je stanovena na 1,3 µg/cm² ekv. NaCl.

Název normy: **Stanovení iontové čistoty (DEF-STAND 00-10/3)**

Datum vytvoření: 13.4.1986

Jedná se o novější standard, než je MIL- P-28809A. Tento standard již bere na vědomí rozměry umístěných součástek a provádí kompenzaci přičtením až 10% povrchu součástky k rozměrům DPS. Standard požaduje měřicí roztok skládající se z 50% izopropylalkoholu a z 50% demineralizované vody. Mezní úroveň je stanovena na 1,5 µg/cm² ekv. NaCl.

5.3 ČSN NORMY

Název normy: **Tavidla pro měkké pájení (ČSN EN ISO 9455-17)**

Poslední revize: 1.3.2007

Tato norma popisuje zkušební metody pro určení vlivu tavidel na povrchový izolační odpor a elektrochemickou migraci zbytkových reziduí. Tyto testy se provádějí za předem stanovených podmínek popsanych v této normě. Tato norma se odkazuje na normy ISO 5725-2, ISO 9453, ISO 12224-1, IEC 61249-2-7, IEC 60068-2-20, IPC-TM-650.

Název normy: **Tavidla pro měkké pájení (ČSN EN ISO 9454)**

Poslední revize: 1.8.2001

Tato norma stanovuje číselný systém pro klasifikaci tavidel pro měkké pájení podle jejich aktivních složek a dále požadavky na označování a balení.

Výše uvedené normy jsou použity při vysvětlení problematiky nebo při praktickém měření. Samozřejmě existuje velké množství dalších norem, které se zabývají problematikou tavidel a jejich vlivu na DPS.

6 Technika DESIGN OF EXPERIMENTS

6.1 Historie DoE

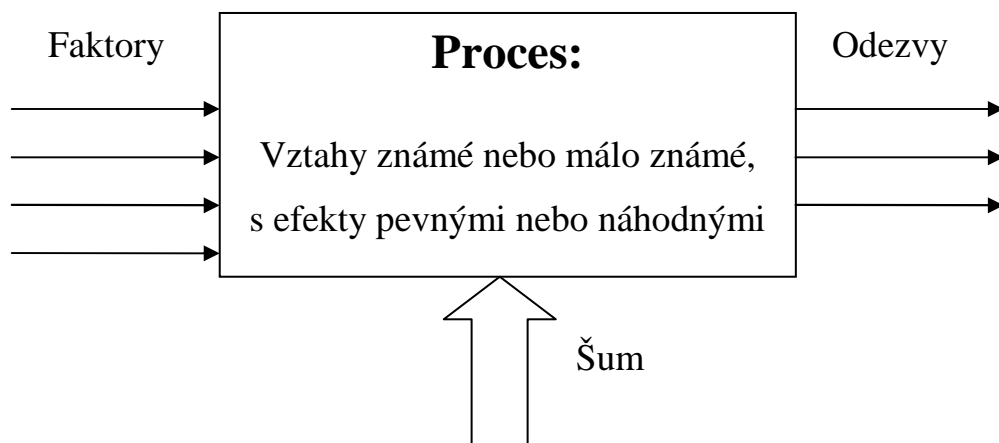
DoE (Design of experiments) je technika neboli analytická metoda, pomocí které řešíme složité a komplexní úlohy. Tato technika využívá kombinaci analytických a statistických metod pro návržení a vyhodnocení vhodných experimentů. Tato metoda je založena na vhodném ovlivňování vstupních faktorů (vlivy, které můžeme ovlivnit) za účelem dosažení co nejlepšího výstupu (odezvy). Největší výhodou DoE spočívá ve schopnosti identifikace vzájemného působení mezi faktory.

Největší pozornost k DoE přitahuje v roce 1986 nově vznikající manažerská iniciativa Six sigma. Six sigma byla poprvé zavedena ve společnosti Motorola Billem Smilem, jehož myšlenka byla posuzovat kvalitu na základě měření směrodatných odchylek proměnlivosti procesů. Sice hlavní myšlenka posuzování kvality na základě výrobního procesu a nikoliv na základě výrobku nebyla originální, ale zpracování a zavedení celé metrologie s měřítkem six sigma bylo již zásluhou Smitha. Tato koncepce byla značně rozpracována a dodnes je hlavní filozofií společnosti Motorola.

Tato metoda vyžaduje velmi kvalitní přípravu před samotnou realizací experimentu. Je nutné si uvědomit, které procesy lze ovlivnit (faktory) a které procesy jsou neovladatelné (šum). Na konci procesu jsou měřitelné výstupy (odezvy). Po identifikaci jednotlivých procesů a výstupů si naplánujeme samotný experiment a zvolíme si umístění „měřících sond“ v experimentálním prostoru. Umístění těchto „sond“ je velmi důležité pro omezení plýtvání prostředků.[16,18,19]

6.2 Použití techniky DoE

Mezi procesy zahrnujeme metody, lidi, zařízení a další prostředky podílející se na přeměně vstupů (materiály) na výstupy (polotovary či konečné výrobky). Do těchto procesů vstupují ovladatelné faktory, které přímo ovlivňují proces transformace. DoE je metoda, pomocí které získáváme nové poznatky o interakci sledovaných faktorů. Díky těmto poznatkům zjistíme, které faktory jsou neovladatelné a které faktory můžeme cíleně ovlivnit pro dosažení zlepšení jakosti měřených výstupů. Cílem metody DoE je získat potřebné informace pro zlepšení kvality při co nejmenších finančních nákladech. Na obrázku 3 je patrný vztah jednotlivých elementů.[16,17]



Obrázek 3: Model měřeného systému [17]

6.3 Návrh experimentu pro zjištění vlivu tavidel

Úkolem navrženého experimentu je zjistit vliv různých tavidel na spolehlivost DPS. Z tohoto důvodu se experiment zaměřuje hlavně na povrchový izolační odpor a kontaminaci DPS tavidly. Jednotlivé experimenty, použité v této práci jsou rozvrženy tak, aby prověřily kombinace vlivů, které mají největší podíl na zhoršení povrchového izolačního odporu a kontaminace DPS. Vybrané sledované vlivy ovlivňující povrchový izolační odpor a kontaminaci DPS jsou teplota přetavení a druh mycího roztoku. Testované vzorky (obrázek 10) byly navrženy dle normy IPC-9201. Z důvodu velkého rozsahu testů bylo nutné tyto návrhy upravit (kapitola 7.2.).

Všechny vzorky byly podrobeny úvodnímu měření, které proběhlo ještě před jakoukoliv operací na nich. Úkolem úvodního měření bylo získání referenčních hodnot pro srovnávání se vzorky, které byly ovlivněny sledovanými vlivy. Poté se vybraly čtyři tavidla vhodná pro testování. Dvě tavidla typu clean, z toho jedno tavidlo ze skupiny ROL0 a jedno tavidlo ze skupiny ROL1, a dvě tavidla typu no-clean, z toho jedno tavidlo ze skupiny ROL0 a jedno tavidlo ze skupiny ROL1.

Vzorky byly rozděleny do čtyř hlavní skupin dle použitého tavidla. Následovalo nanesení tavidel typu no-clean na první a druhou skupinu. Poté nanesení tavidel typu clean na třetí a čtvrtou skupinu. Jednotlivé skupiny byly zpracovávány a vyhodnocovány odděleně. Nakonec bylo na jednotlivé skupiny působeno kombinací sledovaných vlivů (viz. tabulka 3). Mezi působením sledovaných vlivů probíhalo měření povrchového izolačního odporu.

První ze sledovaných vlivů byla teplota přetavení. Jednotlivá tavidla byla přetavena teplotou 200°C, 240°C nebo byla ponechána v laboratoři zasychat po dobu 30 minut.

Druhým sledovaným vlivem bylo působení dvou druhů mycího roztoku. Prvním druhem roztoku byla demineralizovaná voda a druhý roztok se skládal z 50% demineralizované vody a z 50% izopropylalkoholu. Mycí proces probíhal po dobu 10 minut za teploty 70°C v ultrazvukové čistící lázni.

Po klimatickém namáhání následovalo měření iontové kontaminace testovaných vzorků. Úroveň iontové kontaminace byla posuzována dle norem DEF a MIL (kapitola 5.2).

Jednotlivé vlivy působící na testované vzorky jsou graficky znázorněny v tabulce 3. Tavidla jsou rozdělena dle značení vzorků následovně:

- A – tavidlo SM-816 (no-clean)
- B – tavidlo SMF-2 (no-clean)
- C – P (clean)
- D – P30 (clean)

Detailnější rozbor jednotlivých tavidel v kapitole 7.

Tabulka 3: Vlivy působící na testované vzorky

Vzorek	Nepřetavené (zaschlé)	Teplota přetavení		Nemyté	Mytí	
		200°C	240°C		Demineralizovaná voda	50% Demi. 50% Ipa.
A_1			•	•		
A_1I	•			•		
A_1II		•		•		
B_1			•	•		
B_1I	•			•		
B_1II		•		•		
C_1			•	•		
C_1I	•			•		
C_1II		•		•		
D_1			•	•		
D_1I	•			•		
D_1II		•		•		
A_2			•		•	
A_2I	•				•	
A_2II		•			•	
B_2			•		•	
B_2I	•				•	
B_2II		•			•	
C_2			•		•	
C_2I	•				•	
C_2II		•			•	
D_2			•		•	
D_2I	•				•	
D_2II		•			•	
A_3			•			•
A_3I	•					•
A_3II		•				•
B_3			•			•
B_3I	•					•
B_3II		•				•
C_3			•			•
C_3I	•					•
C_3II		•				•
D_3			•			•
D_3I	•					•
D_3II		•				•

7 Praktická část experimentu

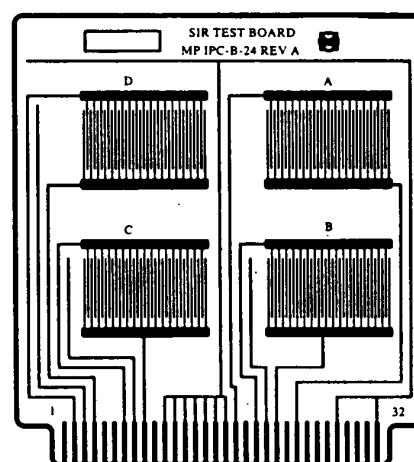
7.1 Volba základního substrátu DPS

Mezi nepoužívanější základní materiály pro DPS jsou samozhášivé desky typu FR4. V těchto deskách jsou použity skelné tkaniny jako výztuž a epoxidový živec jako pojivo. Má velmi dobré elektrické a mechanické vlastnosti.

Pro možnost objektivního srovnání výsledků měření byl použit pro všechny vzorky shodný materiál UMATEX-222-FR4 o tloušťce dielektrika 1,5mm, jednostranně plátovaný mědí 18 μ m. Důvodem použití tohoto materiálu je velké využití v českém průmyslu.

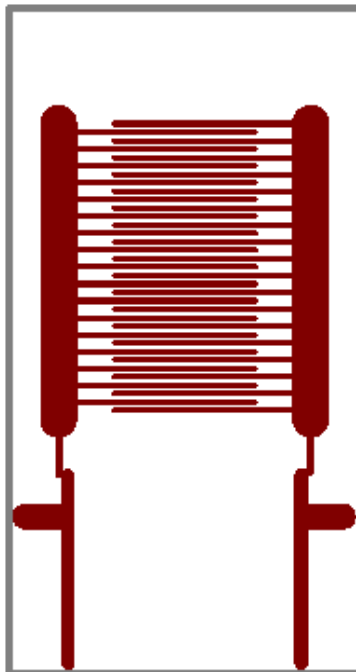
7.2 Volba předlohy a navržení testovacího vzorku

Pro navržení testovacího vzorku byla využita předloha dle IPC-B-24 (obrázek 4), který je obsažen ve standardu IPC-9201. Tento vzor byl vybrán dle doporučení testovacích metod TM 2.6.3.3B a TM 2.6.3.7. Tento testovací vzor je využíván pro měření povrchového izolačního odporu (SIR) a pro měření možné iontové kontaminace DPS reziduí tavidel. Největší přednosti tohoto vzoru jsou nízké náklady na výrobu, možnost využití pro mnoho testovacích metod a ochrana stíněním mezi jednotlivými hřebeny. Tuto předlohu bylo nutné upravit z důvodu použití pouze jednoho testovacího obrazce, protože každý obrazec byl testován jinou kombinací sledovaných vlivů. [9]



Obrázek 4: IPC-B-24 [9]

K vytvoření předlohy byl použit program Eagle 6.3.0. Obrazec má hřebenovitou strukturu s šířkami čar 16 mil (0,003 cm) a s elektrodami o šířce 50 mil (0,127 cm). Izolační mezera v hřebenovité struktuře je široká 20 mil (0,051cm). Délka překrytí hřebenů byla vypočítána, dle popsaného postupu ve standartu IPC-9201 na 600 mil (1,524 cm). Jednotlivé elektrody jsou opatřeny připojovacími body pro umožnění připojení měřících kabelů. Rozestup mezi elektrodami je 1000 mil (2,54 cm). Tato vzdálenost byla použita pro možnost využití ISA sběrnice, která je využívána pro připojení napájecího napětí. Tyto sběrnice jsou umístěny na samostatné desce doplněné rezistory s odporem $1M\Omega$, které zabraňují vzniku zkratu. Vzhled testovacího vzorku je na obrázku 5.



Obrázek 5: Testovací vzorek

7.3 Použitá tavidla

Všechna použitá tavidla byla vyrobena společností Shenmao technology Inc. Informace o tavidlech z dodaných datasheetu jsou popsány níže.

SMF-2

Toto pastovité tavidlo patří mezi bezoplachová tavidla (no-clean) typu ROL0. Aktivační teplota je mezi 150°C-170°C a doporučená teplota přetavení je mezi 230°C-250°C. Povrchový izolační odpor měřený výrobcem dle testovacího manuálu IPC-TM-650 je $10^{10}\Omega$. [20]

SM-816

Toto tekuté tavidlo také patří mezi bezoplachová tavidla (no-clean) typu ROL1 (nanášení proběhlo pomocí pipety). Aktivační teplota je mezi 80°C-105°C a doporučená teplota přetavení je mezi 260°C-285°C. Povrchový izolační odpor měřený výrobcem dle testovacího manuálu IPC-TM-650 je $10^{10}\Omega$. [21]

P30

Toto pastovité tavidlo také patří mezi oplachová tavidla (clean) typu ROL0. Aktivační teplota je mezi 100°C-130°C a doporučená teplota přetavení je >200°C. Hodnoty měření povrchového izolačního odporu výrobcem nejsou udaná. [22]

P

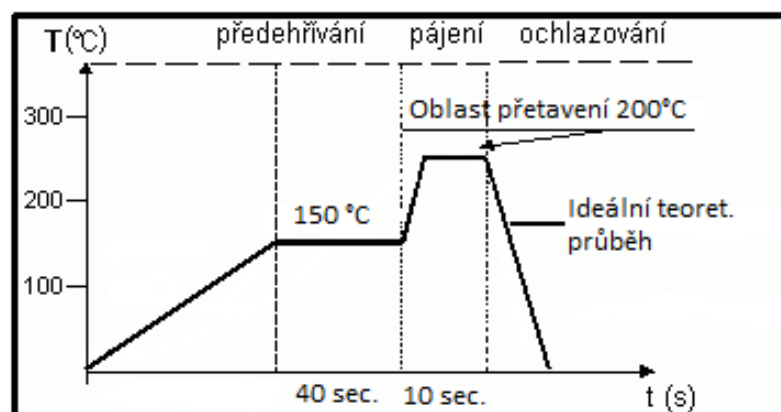
Toto pastovité tavidlo také patří mezi oplachová tavidla (clean) typu ROL1. Aktivační teplota je mezi 100°C-130°C a doporučená teplota přetavení je <200°C. Hodnoty měření povrchového izolačního odporu výrobcem nejsou udaná. [23]

7.4 Nanesení tavidla a přetavení

Před samotným nanášením bylo nutné jednotlivé vzorky očistit. Čištění probíhalo dle instrukcí ve vybraných testovacích metodách z testovacího manuálu IPC-TM-650 (TM 2.6.3.3B a TM 2.6.3.7). Jednotlivé vzorky byly čištěny po dobu 30 sekund za pomoci měkkého kartáčku a izopropylalkoholu. Po důkladném očištění byl vzorek opláchnut demineralizovanou vodou a nechán uschnout na vzduchu.

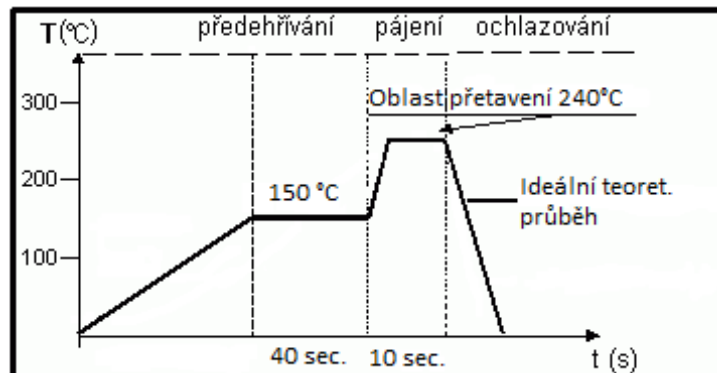
Po usušení byly na testované vzorky naneseny jednotlivá tavidla. Tavidla byla nanášena opět dle předepsaných pravidel testovacích metod z testovacího manuálu IPC-TM-650 (TM 2.6.3.3B a TM 2.6.3.7). Tloušťka šablony byla 90 μ m. Tavidlo bylo naneseno rovnoměrně přes celý testovací motiv. Jedno z tavidel je tekuté, z toho důvodu byla použita pro nanášení pipeta a tavidlo bylo naneseno přelitím přes testovací motiv (použito bylo 0,3 ml tavidla). Po kompletním nanesení tavidel se nechala první skupina tavidel zaschnout a dvě zbylé skupiny tavidel byly přetaveny (graficky znázorněno v tabulce 3).

Druhá skupina byla přetavena teplotou 200°C. Tato teplota byla zvolena kvůli použitelnosti pouze na olovnaté pájky. Bezolovnaté pájky mají bod tání až okolo teploty 220°C.[1] Teplota předehřevu byla zvolena dle doporučení dodavatele. Přetavení proběhlo bez většího problému. Teplotní profil přetavení využitý v této práci je znázorněn na obrázku 6.



Obrázek 6: Teplotní profil přetavení teplotou 200°C [24]

Třetí skupina byla přetavena teplotou 240°C vhodnou i pro bezolovnaté pájky. Během přetavení reagovala tavidla intenzivnějším odpařováním. Teplota předehřevu byla zvolena dle doporučení dodavatele. Teplotní profil přetavení je znázorněno na obrázku 7. Grafické znázornění jednotlivých vlivů působících na testované vzorky (viz. kapitola 6.3).



Obrázek 7: Teplotní profil přetavení teplotou 240°C [24]

7.5 Čištění testovacích vzorků

Po dokončení přetavení testovaných vzorků byla druhá a třetí řada vzorků čištěna pro zjištění interakce sledovaných vlivů (graficky znázorněno v kapitole 6.3). Pro čištění testovacích vzorků byla využita ultrazvuková čistící lázeň Sonorex digital 10P (více v kapitole 7.6).

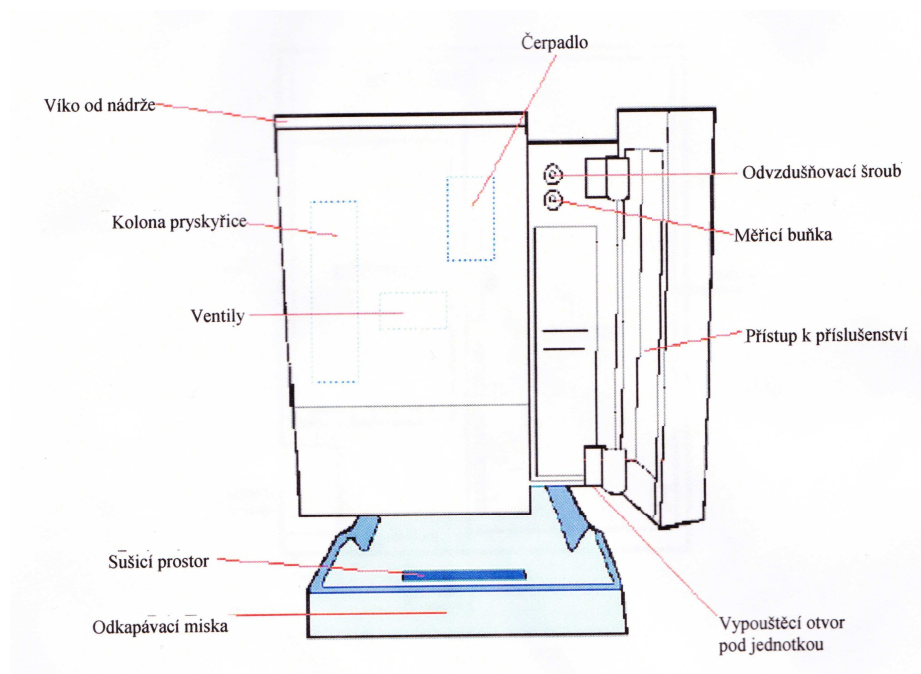
Na druhou řadu vzorků byl použit jako čistící roztok demineralizovaná voda s dobou čištění 10 minut s teplotou 70°C. Po dobu čištění bylo viditelné uvolňování tavidel pouze ze zaschlých vzorků a to ve velmi malém množství.

Na třetí řadu vzorků byl použit čistící roztok v poměru 50% demineralizované vody a 50% izopropylalkoholu. Čištění probíhalo ve stejném časovém intervalu a při stejné teplotě jako při použití demineralizované vody (10 minut a 70°C). Po dobu čištění bylo jasně viditelné uvolňování nečistot a zbytků tavidel ze všech vzorků. Nejvíce patrné bylo uvolňování nečistot a zbytků tavidel opět ze zaschlých vzorků.

7.6 Použité přístroje

Concoat Contaminometer CM11

Tento přístroj umožňuje rychlé měření iontové kontaminace nejen v laboratoři, ale také v továrně. Funkce přístroje je založena na elektrické vodivosti roztoku demineralizované vody a izopropylalkoholu. Hodnota vodivosti roztoku je stanovena na maximální hodnotu $0,056 \mu\text{S}/\text{cm}^2$. Vodivost roztoku je také závislá na její teplotě, která je kontrolována termistorem. Přístroj je z velké části vyroben z plastu, aby nedocházelo k nežádoucí kontaminaci měřicího roztoku. Jednotlivé části přístroje jsou znázorněny na obrázku 11.



Obrázek 8: Schéma contaminometru [11]

Mnoho kontaminantů je nerozpustných ve vodě, obzvláště kontaminanty zachycené v kalafuně. Z těchto důvodů je nutné volit testovací roztok, který obsahuje nejen demineralizovanou vodu, ale také izopropylalkohol. Izopropylalkohol zajistí rozpuštění kontaminantů, které jsou nerozpustné v demineralizované vodě. Testovací roztok má v našem případě 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody. Tento poměr byl vybrán dle normy DEF-STAND 00-10/3 (viz. kapitola 5.2).

Při měření dochází k ponoření celé testované DPS do testovacího roztoku. Testovací roztok pomocí čerpadla velmi rychle omyje všechny kontaminanty z DPS a osazených součástek. Poté pomocí vodivostní buňky skládající se ze dvou zlatých drátků, které jsou bifilárně (dvojitě) navinuty na polymerickém válci. Ve středu je již zmiňovaný termistor, který má za úkol měřit teplotu kapaliny. Jak buňka, tak termistor jsou připojeny k operačnímu zesilovači. Tento zesilovač je navržen pro velmi přesné měření při velmi nízkých hodnotách vodivosti. Oba signály se sloučí v analogovém kalkulátoru a výsledek je napětí vzhledem k teplotně kompenzované vodivosti. [11]

Tento přístroj byl použit pro stanovení iontové kontaminace testovaných vzorků po dlouhodobém vystavení klimatickému namáhání.

Elektrometr KEITHLEY 6517A

Elektrometr KEITHLEY 6517A je měřicí přístroj, který je možné použít pro měření různých veličin. Mezi základní měřicí funkce patří měření napětí, velmi malých proudů, náboje, charakteristik diod, kondenzátorů a velkých odporů. Možnost přepínání mezi jednotlivými funkcemi je možné pomocí tlačítek umístěných na přední straně přístroje (Obrázek 12). Mezi další přednosti tohoto přístroje patří vlastní paměť a sběrnice GPIB a RS232, pomocí kterých je možné komunikovat s dalšími přístroji. [12]

Tento přístroj byl použit nejen pro měření povrchového izolačního odporu, ale také jako zdroj napájecího napětí po dobu měření.



Obrázek 9: Elektrometr KEITHLEY 6517A [12]

Sonorex digital 10P

Sonorex digital 10P je ultrazvuková čistící lázeň, která je vyrobena z nerezové oceli kvůli odolnosti proti chemickým látkám využívaných při čištění. Z důvodu zajištění rovnoměrného a šetrného čištění má ultrazvukový zdroj pracující na frekvenci až 35kHz. Přístroj je doplněn ohřívačem, který umožňuje volitelné ohřívání čistící kapaliny v rozmezí 20-80 °C. Při čištění se využívala teplota 70°C. Ovládání je zajištěno pomocí digitálního displeje umístěného vpředu. Zde je možné předvolit všechny náležitosti pro čistící proces a je také možné tuto předvolbu uložit do paměti (lze uložit až 10 různých nastavení pro čistící proces).

Odstranění nečistot (organických i anorganických) z povrchu čištěného materiálu je dosaženo pomocí jevu zvaný kavitace. Kavitace je jev, při kterém vznikají v kapalině dutiny vlivem lokálního poklesu tlaku. Tyto dutiny následnou implozí vytvoří rázové vlny, které odtrhávají nečistoty z čištěného povrchu. Ultrazvukové čištění je velmi rychlý proces, při kterém nedochází k mechanickému poškození čištěného povrchu. Využívá se nejen v elektronice, ale také v optice, automobilovém průmyslu, strojírenském průmyslu, zdravotnictví atd. [25]

Tato ultrazvuková lázeň byla využita pro čištění testovacích vzorků DPS.



Obrázek 10: Sonorex digital 10P [25]

Přetavovací pec HR-21

Tato přetavovací pec pro STM je určena pro výrobu malých sérií DPS. Má zásuvný rošt, na který se umísťují jednotlivé desky pro přetavení. Ohřev probíhá pomocí částečně stíněných zářičů (toto stínění přispívá k rovnoměrnému rozložení tepla v komoře) umístěných v zadní části komory. Pohyb horkého vzduchu je zaručen pomocí ventilátoru umístěného za ohřevními tělesy. Chlazení pece probíhá vysunutím roštu. Pomocí displeje umístěného v pravé části a připojené PC klávesnice se nastavují parametry pro teplotu přehřevu, přetavení a dobu trvání jednotlivých cyklů. [26]

Tato pec byla použita pro přetavení jednotlivých testovacích vzorku předepsanou teplotou.



Obrázek 11: Přetavovací pec HR-21 [26]

Mikroskop MX51

Mikroskop MX51 od společnosti Olympus je profesionální přístroj navržený pro zkoumání vzorků. Pomocí led osvětlení a speciálních objektivů lze zobrazovat vzorek bez zkreslení. Díky možnosti připojení k počítači je možné tyto snímky archivovat a použít pro další výzkum. Tento přístroj lze také využívat jako fluorescenční mikroskop, který umožňuje jasnější sledování aktivních zbytků tavidel. [27]

Mikroskop byl použit pro zkoumání změn na povrchu testovaných vzorků.



Obrázek 12: Mikroskop MX51 [27]

Klimatická komora

Klimatická komora využívaná při experimentech je od společnosti Feutron. Byla použita pro klimatické namáhání teplotou 40°C s relativní vlhkostí 90%.

7.7 Měření povrchového izolačního odporu

Deska plošného spoje má za úkol přenést elektrický signál od zdroje k vybrané součástce s minimálním poklesem velikosti vstupního signálu a bez jakéhokoliv zkreslení. K tomuto zkreslení dochází při velkém poklesu povrchového izolačního odporu. Z tohoto důvodu je nutné měřit vliv nepříznivých klimatických podmínek buďto na finálních výrobcích, anebo testovat speciálně vytvořené testovací vzorky, které jsou umístěny do nejnepříznivějších podmínek a simulují největší klimatické namáhání desek plošného spoje.

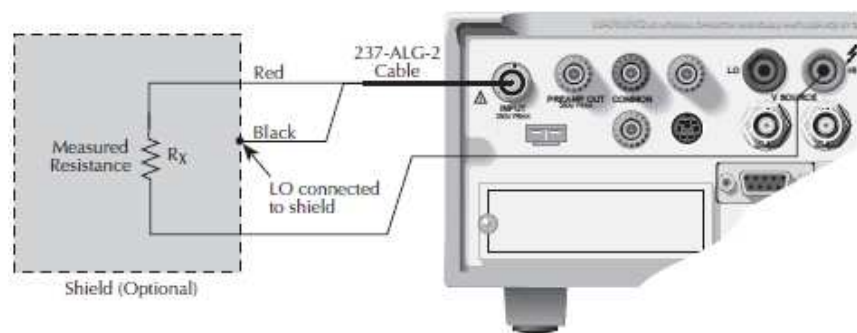
Příprava měření

Prvním krokem bylo stanovení příslušných norem, podle kterých se bude měřit povrchový izolační odpor. Metody, podle nichž bylo postupováno při měření povrchového izolačního odporu, jsou TM 2.6.3.3B a TM 2.6.3.7 z testovacího manuálu IPC-TM-650. Tyto testovací metody mají obdobu v normě ČSN EN ISO 9456-17 a probíhají za pevně stanovených klimatických podmínek (40°C – 90% r. v. nebo 85°C – 85% r. v.). Předepsané napájecí napětí je mezi 5 až 50V a testovací napětí je mezi 5 až 100V. Čas testování byl stanoven dle testovací metody TM 2.6.3.7 na 72 hodin. Množství testovaných vzorků připadajících na jednu kombinaci sledovaných vlivů bylo nutné zmenšit z časových důvodů na 1 vzorek.

Pro experiment byly zvoleny klimatické podmínky 40°C a relativní vlhkost 90%. Napájecí napětí bylo nastaveno na 50V a testovací napětí bylo nastaveno na 100V.

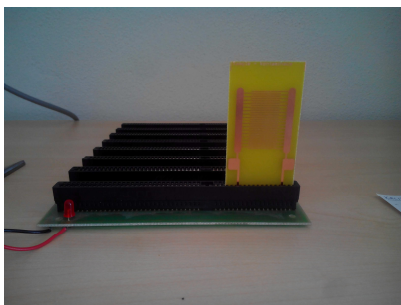
Schéma zapojení

Při experimentu byl využit elektrometr Keithley 6517A nejen pro měření povrchového izolačního odporu, ale také jako zdroj napájecího napětí. Nejdříve bude popsáno využití elektrometru pro měření povrchového izolačního odporu. Měření velkých odporů je velmi náchylné na vnější vlivy. Z těchto důvodů je nutné provést kalibraci měřicího přístroje, zajistit odstínění testovaného vzorku od okolního rušení a při samotném měření nemanipulovat s měřicími kabely. Zapojení elektrometru pro měření velkých odporů je znázorněno na obrázku 13.



Obrázek 13: Zapojení elektrometru s měřeným objektem[12]

Dále byl přístroj využit pro napájení testovaných vzorků napětím 50V po dobu klimatického namáhání. Aby bylo možné napájet všechny vzorky současně, byla využita napájecí deska s ISA sloty (obrázek 14)[4]. Deska s ISA sloty je doplněna rezistory s odporem $1\text{M}\Omega$, přes které jsou jednotlivé vzorky napájeny. Tento odpor je při měření povrchového izolačního odporu zanedbatelný, ale pokud by došlo ke vzniku zkratu v motivu jednoho ze vzorků, tento odpor by zabránil odpojení napájení zbytku vzorků. Zapojení elektrometru jako zdroje je znázorněn na obrázku 15. [12]



Obrázek 14: upevnění vzorků

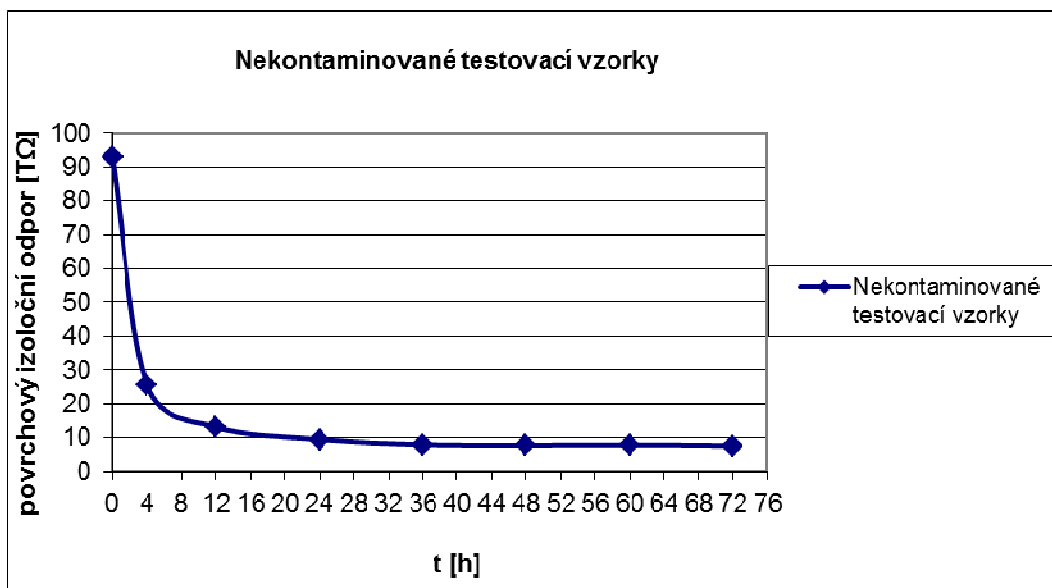


Obrázek 15: schéma zapojení zdroje napájení[12]

8 Analýza dat z měření povrchového izolačního odporu

Měření probíhalo ve čtyřech částech, vždy po dobu 72 hodin. Toto rozdělení bylo nutné z důvodu možnosti měřit pouze 18 vzorků najednou. Na každou kombinaci sledovaných vlivů, byl určen jeden testovací vzorek. Pouze u prvního měření při získávání výchozích dat byl použit plný počet vzorků.

První měření bylo provedeno hlavně z důvodů získání výchozích dat a zjištění vlivu klimatického namáhání na nekontaminované testovací vzorky. Pro měření bylo použito 18 vzorků. Data získána z tohoto měření byla zprůměrována a použita pro vytvoření grafu. Výsledky jsou patrné na obrázku 16, kde je zřetelně vidět velký pokles povrchového izolačního odporu. Při výchozím měření byla naměřena hodnota 93 TΩ, která strmě klesala a ustálila se na hodnotě 7,6 TΩ.

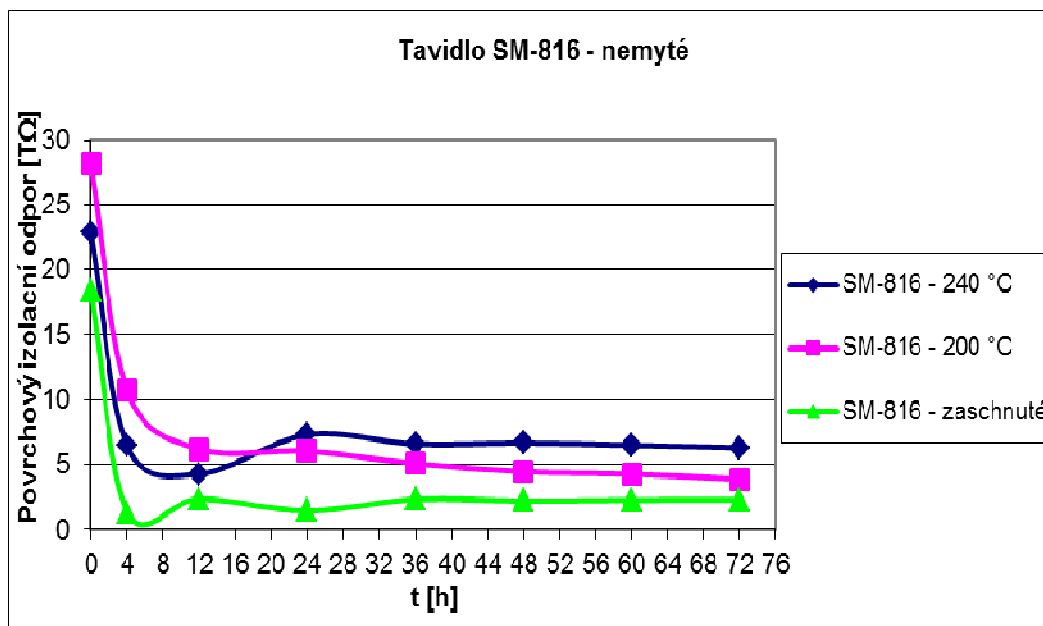


Obrázek 16: Nekontaminované testovací vzorky

8.1 Analýza dat při interakci sledovaných vlivů

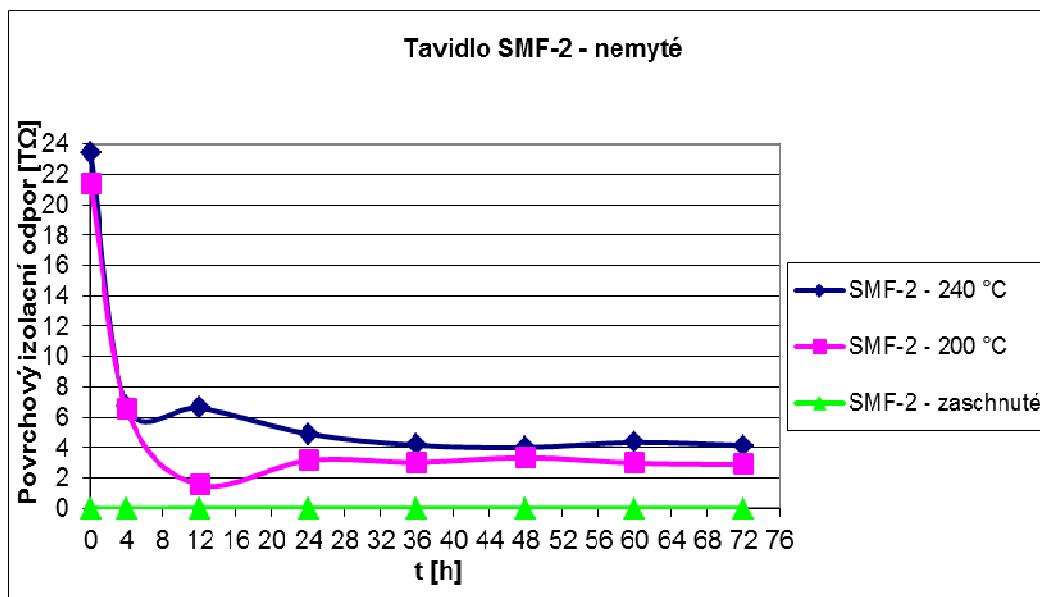
V druhém měření se na vzorky nanasla tavidla a dle popsaného postupu v kapitole 6.3 byly přetaveny nebo se nechaly zaschnout. Po dokončení tohoto procesu, byly změřeny výchozí hodnoty testovacích vzorků a vloženy do klimatické komory, kde probíhalo samotné měření.

Nejdříve byl posouzen pouze vliv různé teploty přetavení bez použití mytí vzorků. Na obrázku 17 je no-clean tavidlo SM-816 (více v kapitole 7.3). Z obrázku 17 je patrné, že nedostatečná teplota přetavení má za následek menší povrchový izolační odpor. Důvodem menšího povrchového izolačního odporu, při teplotách přetavení nižších než 240°C, je nedostatečná teplota pro úplnou aktivaci tavidla. Tavidlo přetavené teplotou 240°C se ustálilo na hodnotě 6,31 TΩ.



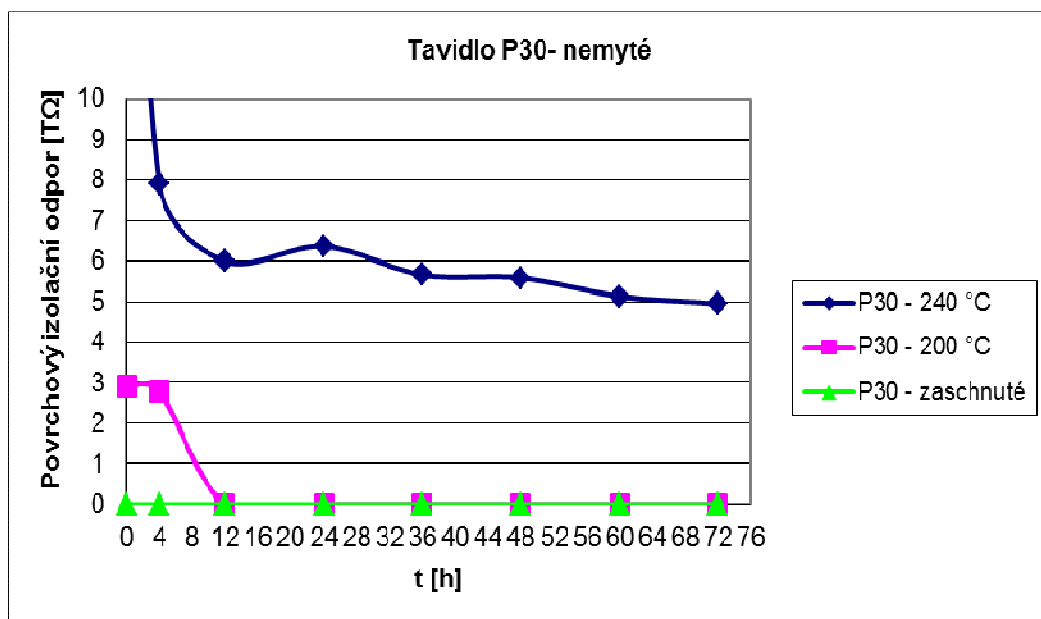
Obrázek 17: Vliv teploty přetavení

Na obrázku 18 je no-clean tavidlo SMF-2 (více v kapitole 7.3). Z obrázku 18 je patrné, že nedostatečná teplota přetavení má za následek menší povrchový izolační odpor. Důvodem menšího povrchového izolačního odporu u vzorků s nižší teplotou přetavení než 240°C je nedostatečná teplota pro úplnou aktivaci tavidla. Tavidlo přetavené teplotou 240°C se ustálilo na hodnotě 4,15 TΩ.



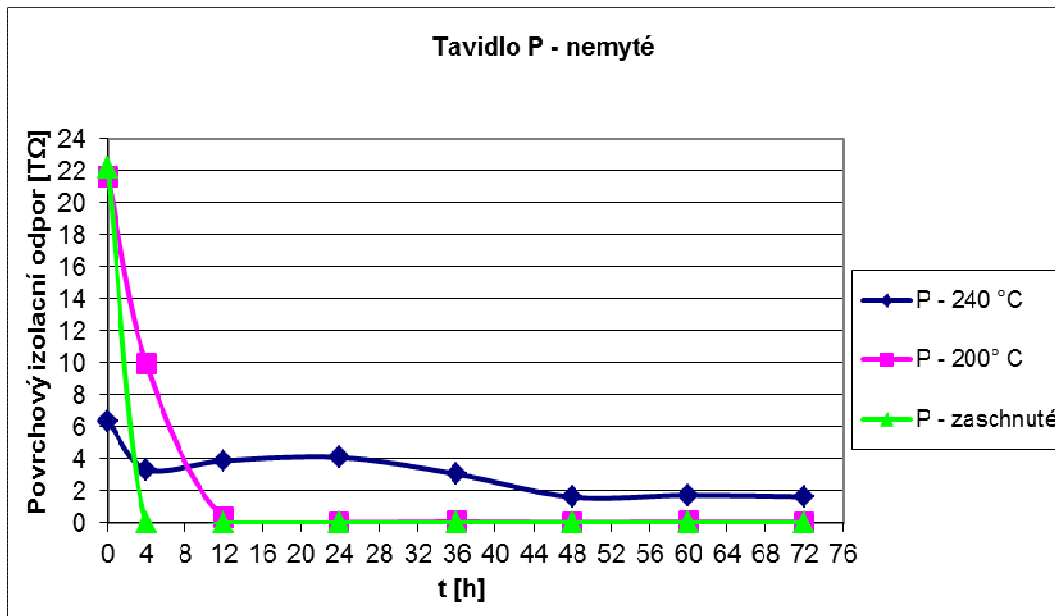
Obrázek 18: Vliv teploty přetavení

Na Obrázku 19 je clean tavidlo P30 (více v kapitole 7.3). Z obrázku 19 je patrné, že nedostatečná teplota přetavení (menší než 240°C) má za následek rychlý pokles povrchového izolačního odporu až na hodnotu $10^6\Omega$. Důvodem je příliš malá teplota přetavení, která je nedostatečná pro aktivaci tavidla. Tavidlo přetavené teplotou 240°C vykazuje stále klesání hodnoty povrchového izolačního odporu. Je to zapříčiněno aktivními zbytky tavidel, které nebyly odstraněny. Po 72 hodinách měl vzorek s přetaveným tavidlem teplotou 240°C hodnotu povrchového izolačního odporu $4,95\text{ T}\Omega$.



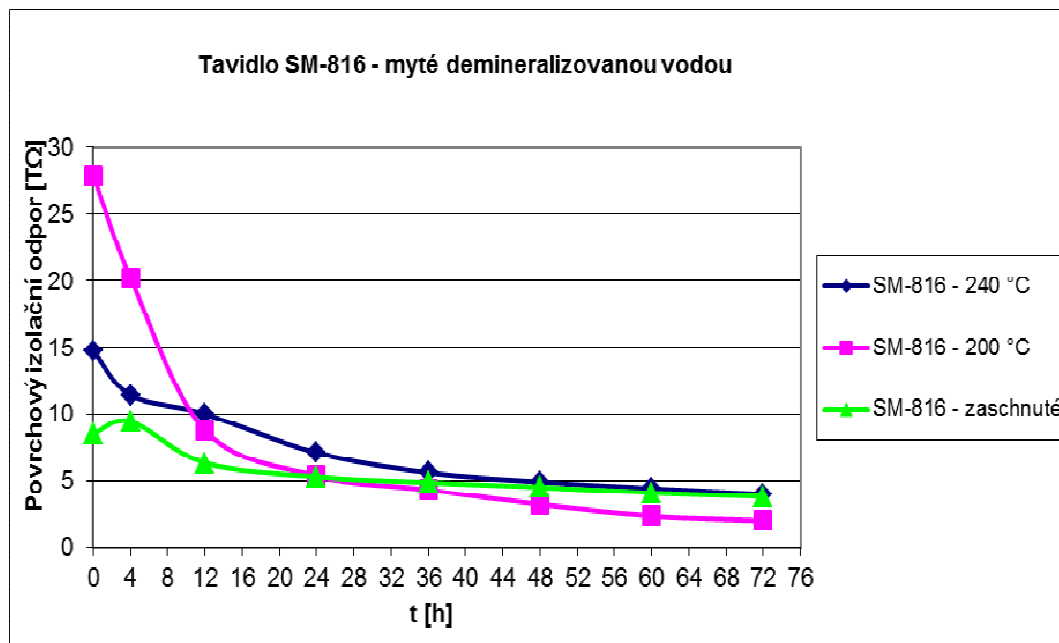
Obrázek 19: Vliv teploty přetavení

Na obrázku 20 je clean tavidlo P (více v kapitole 7.3). Z obrázku 20 je patrné, že i dostatečná teplota přetavení v kombinaci s absencí mytí má za následek u tohoto typu tavidla velmi nízký povrchový odpor. Toto tavidlo vykazuje nejmenší povrchový izolační odpor z měřených tavidel přetavených teplotou 240°C a při absenci mytí. Hodnota povrchového izolačního odporu se u tavidla přetaveného teplotou 240°C ustálila na 1,63 TΩ.



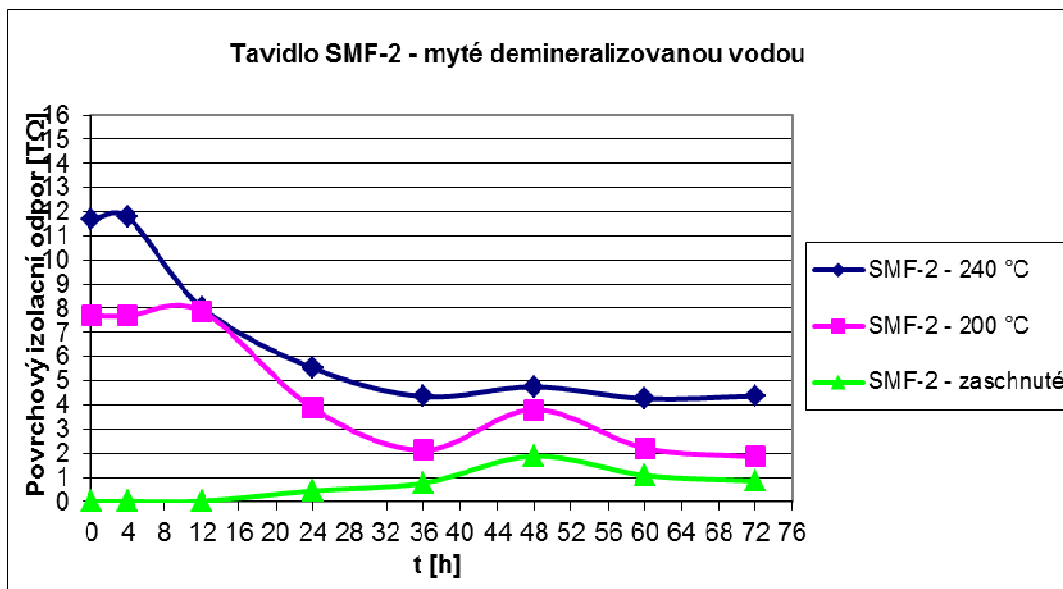
Obrázek 20: Vliv teploty přetavení

Poté byla posouzena kombinace vlivů různé teploty přetavení a mytí pomocí demineralizované vody. Na obrázku 21 je no-clean tavidlo SM-816 (více v kapitole 7.3). Z obrázku 21 je patrný pokles povrchového izolačního odporu oproti předešlému měření (viz. obrázek 17). Tento pokles je způsoben narušením struktury tavidla čistícím roztokem, který vede ke snížení povrchového izolačního odporu na hodnotu $4,02T\Omega$. Z obrázku 21 je patrný klesající trend, který by s největší pravděpodobností pokračoval.



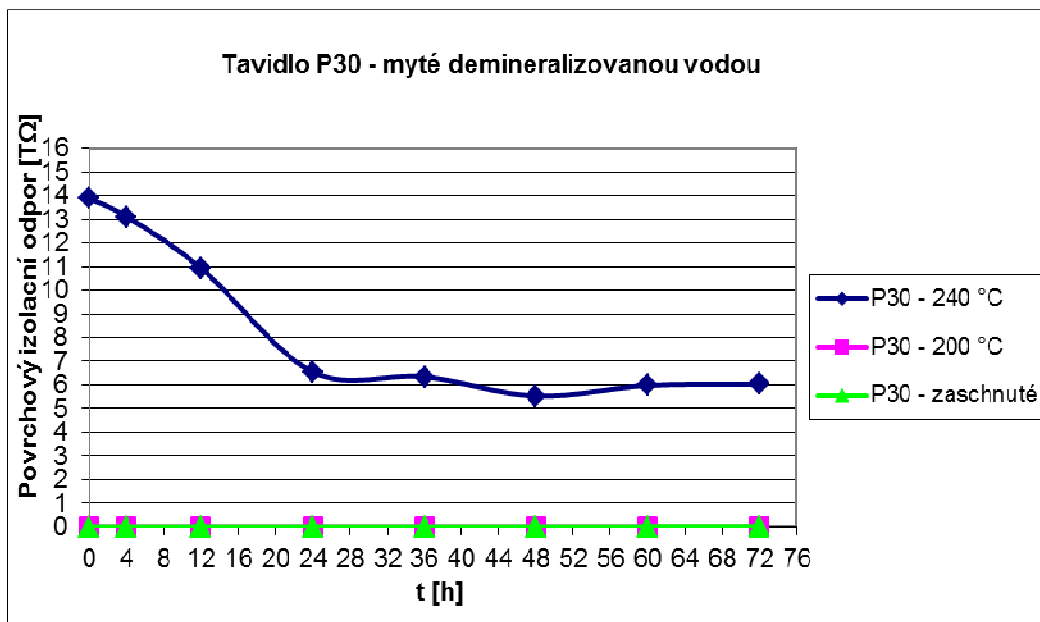
Obrázek 21: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demineralizované vody

Na obrázku 22 je no-clean tavidlo SMF-2 (více v kapitole 7.3). Z obrázku 22 je patrné, že povrchový izolační odpor u vzorku přetaveného 240°C má velmi podobnou hodnotu jako na obrázku 18, kdy nebylo použité mytí. K znatelnějšímu poklesu povrchového izolačního odporu nedošlo, protože nebyla narušena struktura tavidla. K poklesu izolačního povrchového odporu došlo v případě vzorku přetaveného teplotou 200°C oproti nemytému vzorku (viz. obrázek 18).



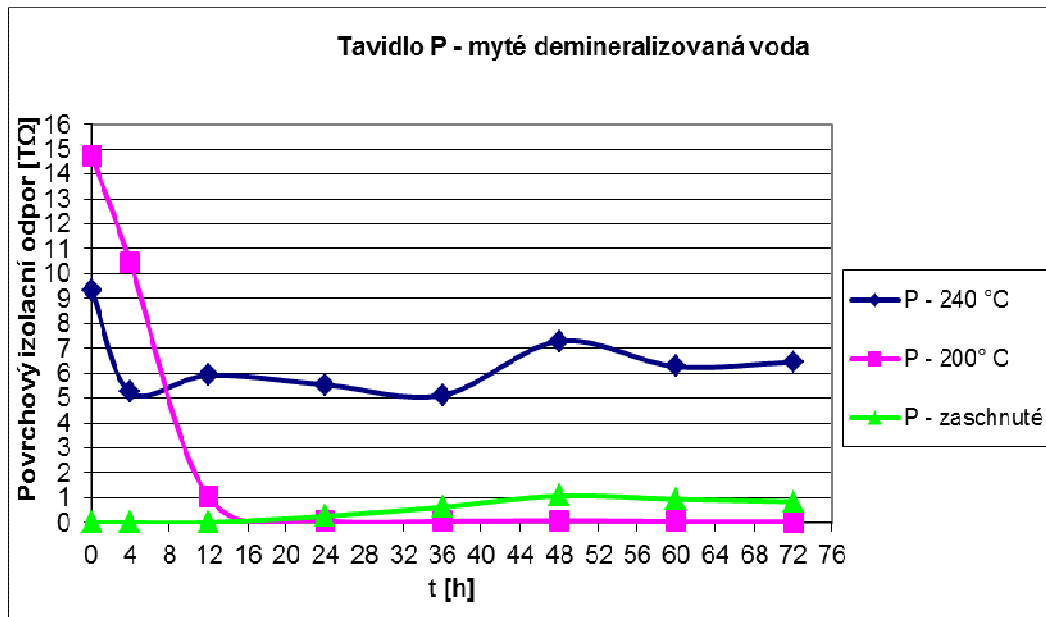
Obrázek 22: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demineralizované vody

Na obrázku 23 je clean tavidlo P30 (více v kapitole 7.3). Z obrázku 23 je patrné, že povrchový izolační odpor u vzorku přetaveného 240°C a omytého pomocí demineralizované vody má vyšší hodnotu než vzorek, který myt nebyl (viz. obrázek 19). Hodnota povrchového izolačního odporu po 72 hodinách byla 6,04 TΩ. Při použití nižší teploty přetavení byla hodnota odporu v řádech 10⁹Ω.



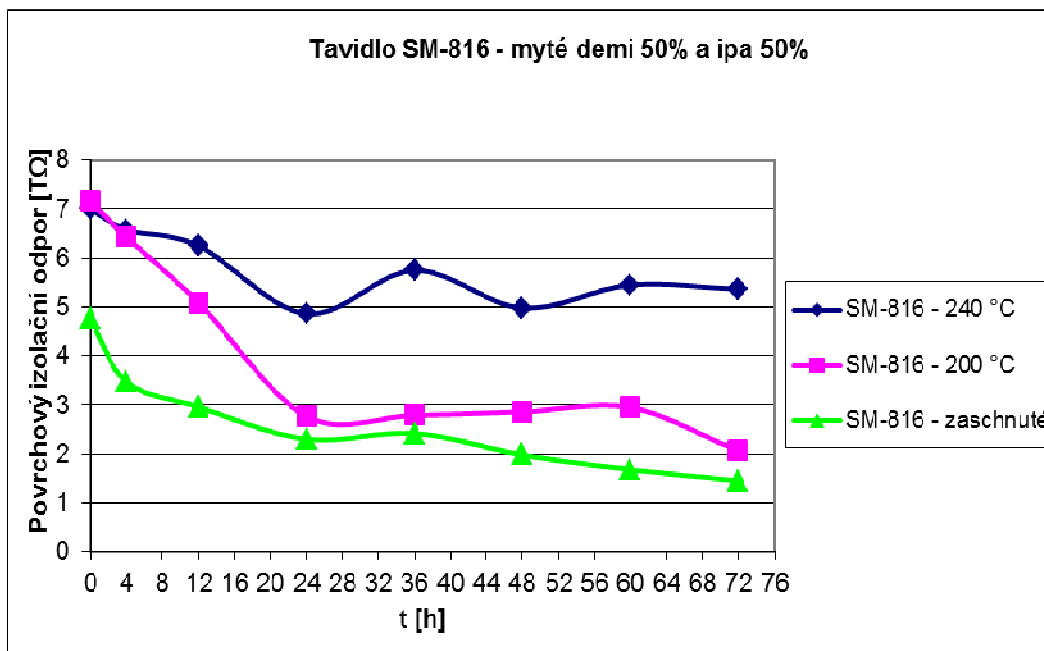
Obrázek 23: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demineralizované vody

Na obrázku 24 je clean tavidlo P (více v kapitole 7.3). Z obrázku 24 je patrné, že povrchový izolační odpor u vzorku přetaveného 240°C a omytého pomocí demineralizované vody se zdatelně zvýšil až 4x oproti vzorku, který nebyl mytý (viz. obrázek 20). Hodnota povrchového izolačního odporu po 72 hodinách byla 6,45 TΩ. Při použití nižší teploty přetavení má odpor hodnotu v řádech 10¹¹Ω. Takto nízký odpor je zapříčiněn nízkou teplotou přetavení, která je nedostačující pro úplnou aktivaci tavidla.



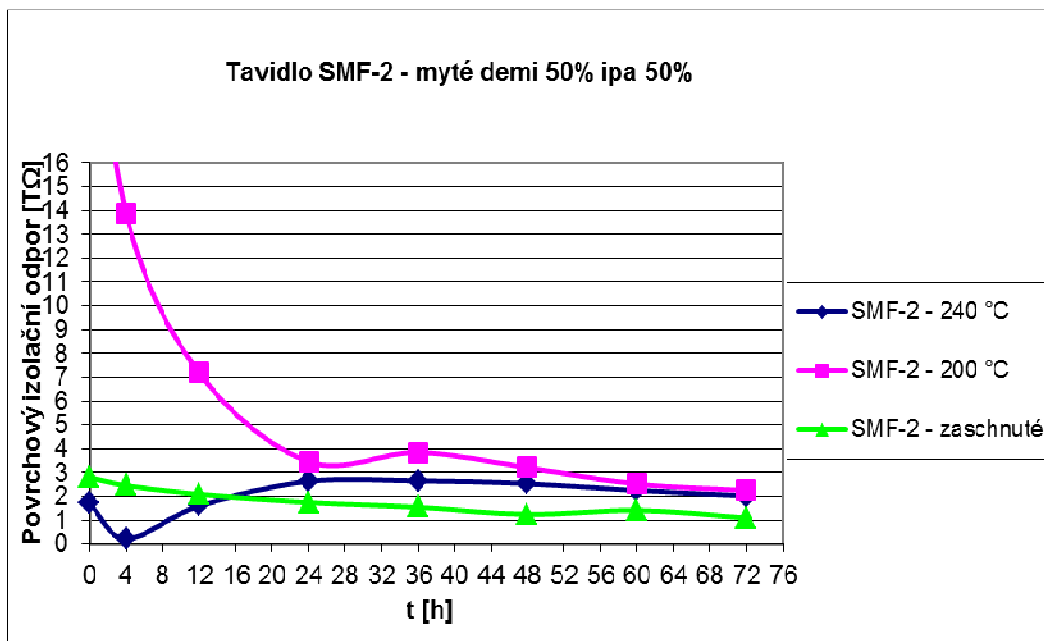
Obrázek 24: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demineralizované vody

Nakonec byla posouzena kombinace vlivu různé teploty přetavení a mytí pomocí mycího roztoku 50% demineralizované vody a 50% izopropylalkoholu. Na obrázku 25 je no-clean tavidlo SM-816 (více v kapitole 7.3). Z obrázku 25 je patrné, že mycí roztok 50% demineralizované vody a 50% izopropylalkoholu v kombinaci s teplotou přetavení 240°C vykazuje lepší vlastnosti než při použití demineralizované vody v kombinaci s teplotou přetavení 240°C (viz. obrázek 21). Zlepšení povrchového izolačního odporu je nejspíše zapříčiněno účinnějším omytím zbytků tavidel. Nicméně vykazuje velké výkyvy při měření, což nasvědčuje narušení struktury přetaveného tavidla. V porovnání s použitím demineralizované vody byly ale nečistoty odstraněny. Tuto skutečnost potvrzuje vyšší povrchový odpor oproti vzorku mytým v demineralizované vodě. Hodnota povrchové izolačního odporu při teplotě přetavení 240°C byla 5,36TΩ.



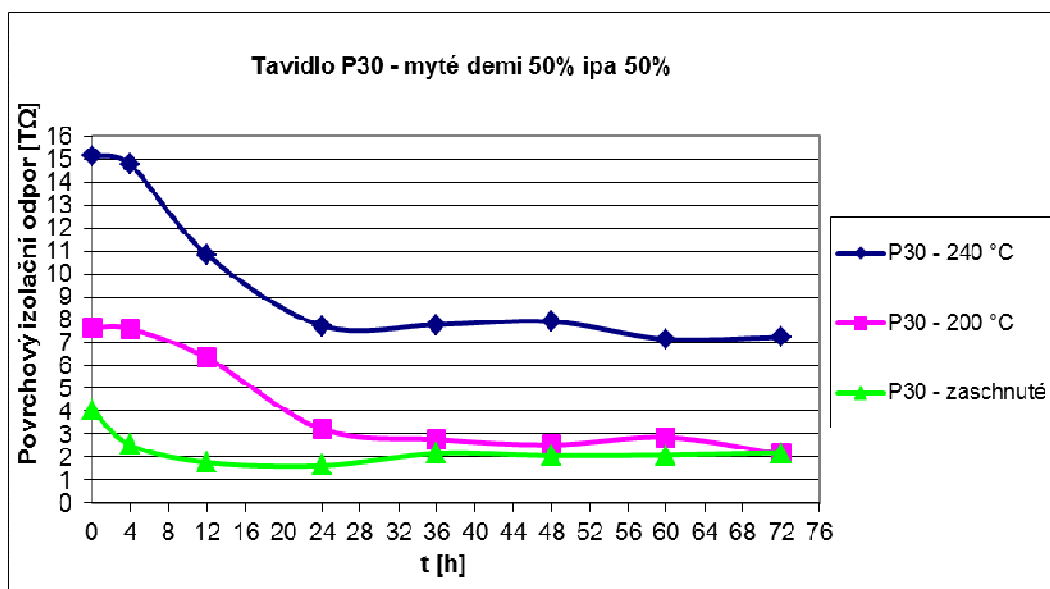
Obrázek 25: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demi 50% a ipa 50%

Na obrázku 26 je no-clean tavidlo SMF-2 (více v kapitole 7.3). Z obrázku 26 je patrné, že mycí roztok 50% demineralizované vody a 50% izopropylalkoholu v kombinaci s teplotou přetavení 240°C vykazuje znatelný pokles povrchového izolačního odporu, oproti předešlému měření (viz. obrázek 18, 22). Tento pokles povrchového izolačního odporu je zaviněn vážným narušením struktury tavidla. Hodnota povrchového izolačního odporu naměřená po 72 hodinách byla 1,1 TΩ.



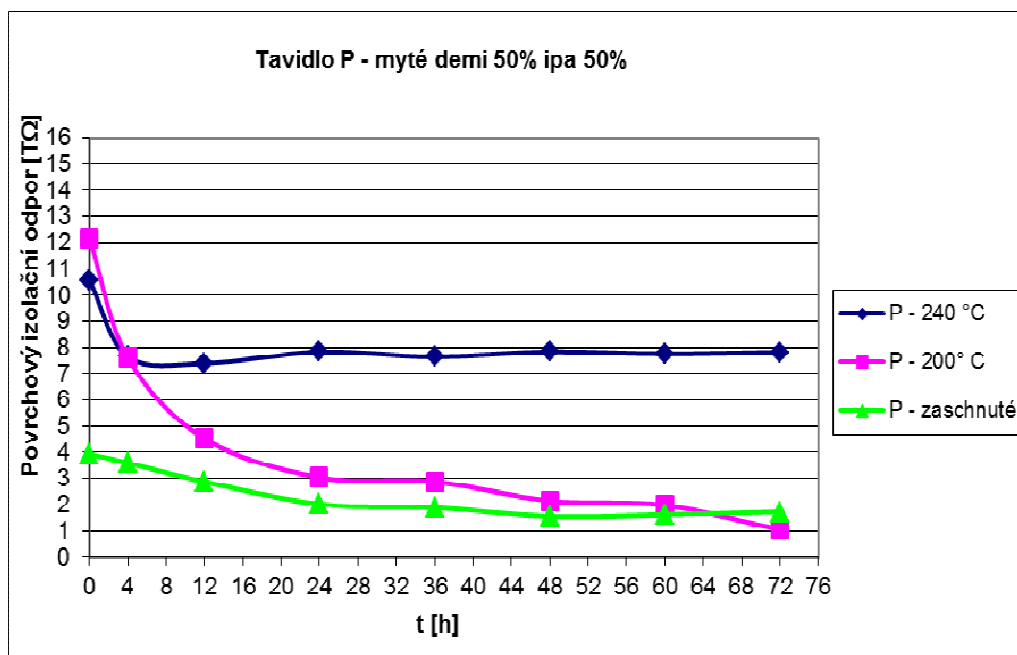
Obrázek 26: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demi 50% a ipa 50%

Na obrázku 27 je clean tavidlo P30 (více v kapitole 7.3). Z obrázku 27 je patrné, že mycí roztok 50% demineralizované vody a 50% izopropylalkoholu v kombinaci s teplotou přetavení 240°C vykazuje zvýšení povrchového izolačního odporu oproti předešlým druhům mytí (viz. obrázky 19,23). Nárůst je způsoben odstraněním zbytků tavidla. Hodnota povrchového izolačního odporu po 72 hodinách byla 7,25 TΩ. Zlepšení, se také ukázalo u tavidla přetaveného teplotou 200°C, které je také způsobeno odstraněním zbytků tavidel po přetavení.



Obrázek 27: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demi 50% a ipa 50%

Na obrázku 28 je clean tavidlo P (více v kapitole 7.3). Z obrázku 28 je patrné, že mycí roztok 50% demineralizované vody a 50% izopropylalkoholu v kombinaci s teplotou přetavení 240°C vykazuje zvýšení povrchového izolačního odporu, oproti předešlým druhům mytí (viz. obrázek 20, 24). Nárůst je způsoben odstraněním zbytků tavidla. Hodnota povrchového izolačního odporu po 72 hodinách u vzorku přetaveného teplotou 240°C byla 7,82 TΩ. Zlepšení se také patrné u tavidla přetaveného teplotou 200°C, který vykazoval klesající povrchový odpor, ale stále byl vyšší než při použití demineralizované vody či úplné absenci mytí.



Obrázek 28: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demi 50% a ipa 50%

Zkoumání vzorků pod mikroskopem

Na závěr měření povrchového izolačního odporu, byly vzorky prozkoumány pomocí mikroskopu MX51 (více v kapitole 7.6) při zvětšení 40x. Nejpatrnější výskyt zbytků tavidel bylo nejlépe vidět na nemytém vzorku tavidla SM-816, které se nechalo pouze zaschnout (obrázek 29).



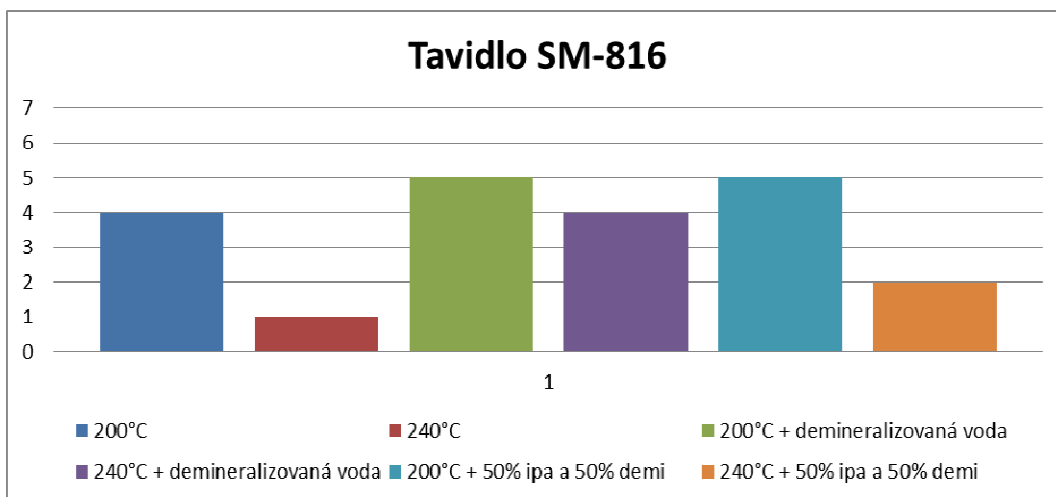
Obrázek 29: Zaschlé tavidlo SM-816

Na vzorcích s přetavenými tavidly nebyly objeveny žádné větší nečistoty či patrné zbytky tavidel. Fotografie vzorku s přetaveným tavidlem SM-816 byly vloženy do přílohy č. 1.

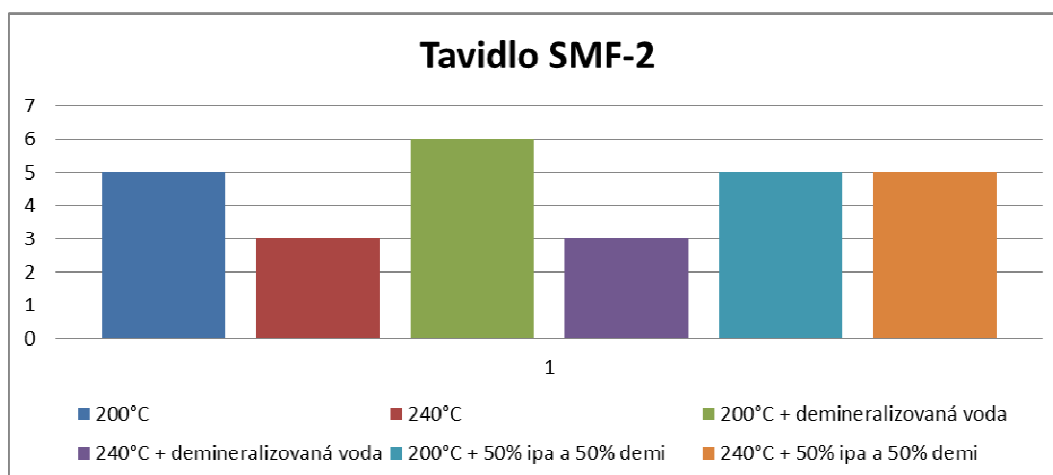
8.2 Grafické vyhodnocení interakce vlivů působících na povrchový izolační odpor

V následujících histogramech je graficky znázorněna interakce sledovaných vlivů působících na povrchový izolační odpor. Pomocí výchozího měření nekontaminovaných vzorků je stanovena základní hodnota na $7,6 \text{ T}\Omega$. Čím výše je vyveden sloupec tím větší degeneraci povrchového izolačního odporu způsobuje interakce pozorovaných vlivů. Maximální hodnota je 7, což značí pokles povrchového izolačního odporu pod $10^{12} \Omega$.

Nejdříve jsou znázorněny histogramy s interakcí sledovaných vlivů u tavidel typu no-clean (viz. obrázek 30,31).

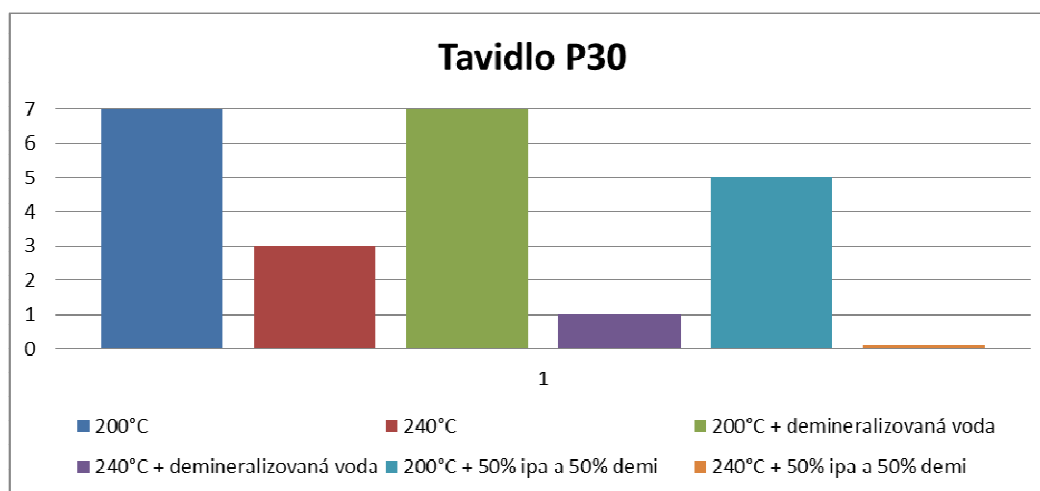


Obrázek 30: Histogram s interakcí sledovaných vlivů u tavidla SM-816

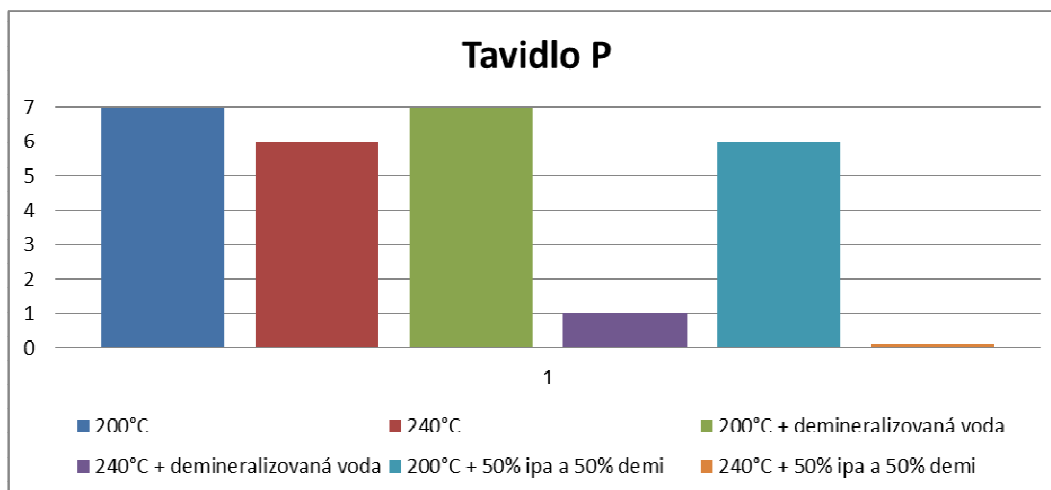


Obrázek 31: Histogram s interakcí sledovaných vlivů u tavidla SMF-2

Dále jsou znázorněny histogramy s interakcí sledovaných vlivů u tavidel typu clean (viz. obrázek 32,33).



Obrázek 32: Histogram s interakcí sledovaných vlivů u tavidla P30



Obrázek 33: Histogram s interakcí sledovaných vlivů u tavidla P

8.3 Vyhodnocení interakce vlivů působící na povrchový izolační odpor

Nejdříve byla vyhodnocena interakce sledovaných vlivů pro tavidla typu no-clean. Do této skupiny patří tavidla SM-816 a SMF-2.

Tavidlo SM-816 vykazuje nejvýraznější pokles povrchového izolačního odporu u interakce nízké teploty přetavení (200°C) s mytím pomocí demineralizované vody (viz. obrázek 21, 30). Tento obrázek vykazuje klesající trend, z čehož lze předpokládat pokračující degradaci povrchového izolačního odporu při delším měření.

U tavidla SMF-2 nastal největší pokles povrchového izolačního odporu použitím mycího roztoku 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody (viz. obrázek 31). Teplota přetavení v tomto případě neměla vliv, protože oba vzorky přetavené různou teplotou vykazují stejný povrchový izolační odpor po 72 hodinách. Toto je patrné z obrázku 26.

Druhou posuzovanou skupinou byla tavidla typu clean. Do této skupiny patří tavidla P30 a P.

Tavidlo P30 vykazuje značnou závislost povrchového izolačního odporu na teplotě přetavení. Z obrázků 19, 23 a 32 lze na první pohled vidět rozdíl mezi vzorky přetavené teplotou 240°C a 200°C. Zlepšení povrchového izolačního odporu u vzorku přetaveného 200°C je patrné v kombinaci s mytím při použití roztoku 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody. I přes toto zlepšení je povrchový izolační odpor vzorku přetaveného teplotou 200°C asi 4x menší než u vzorku přetaveného teplotou 240°C (viz. obrázek 27).

Tavidlo P vykazuje stejně jako tavidlo P30 závislost povrchového izolačního odporu na teplotě přetavení. Vzorky přetavené teplotou 200°C se projevují velmi nízkým odporem jak je patrné z obrázků 20, 24 a 33. Mytí má také významný pozitivní vliv na povrchový izolační odpor, ale pouze v případě použití vzorků přetavených teplotou 240°C (viz. obrázek 24 a 28).

Z vyhodnocení jednotlivých tavidel pomocí histogramů (viz obrázky 30,31,32,33) je zřejmé, že vstupní sledovaný vliv, který nejvíce ovlivňuje povrchový izolační odpor u všech tavidel, je teplota přetavení. Tento závěr potvrzují datasheety, které udávají u všech tavidel doporučenou teplotu přetavení >200. Nižší teplota má za následek nedostatečnou aktivaci tavidel, která vede k degradaci povrchového izolačního odporu.

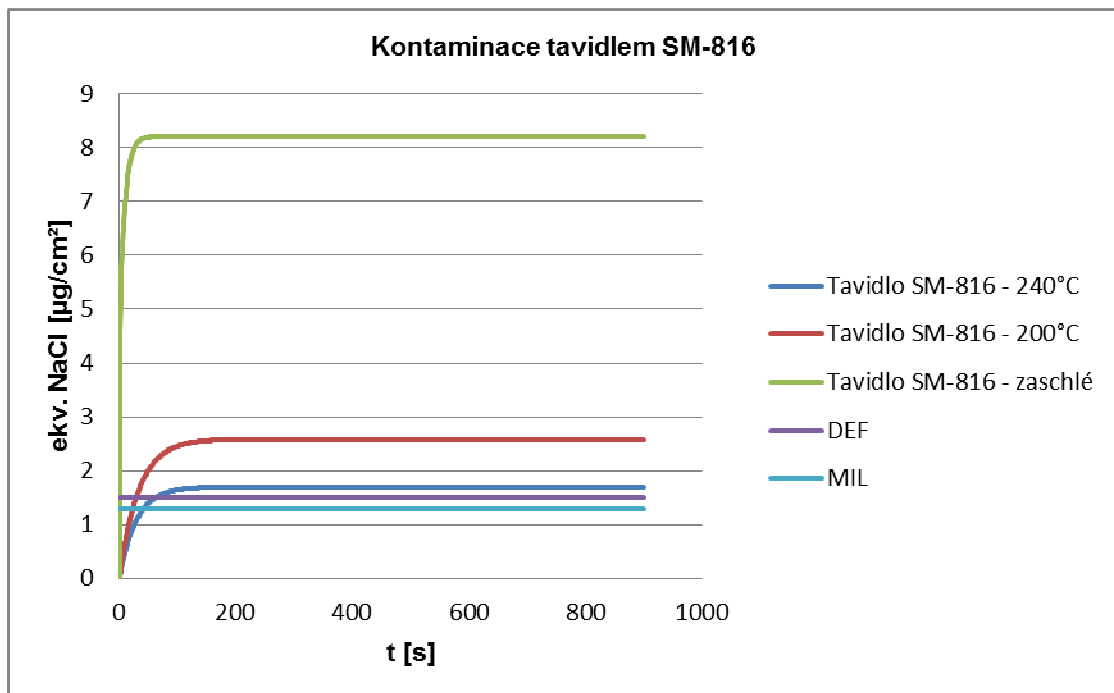
9 Analýza dat z měření iontové kontaminace vzorků

Po dokončení analýzy dat z měření povrchového izolačního odporu a prozkoumání vzorků pod mikroskopem bylo přistoupeno k poslednímu druhu testování a to měření iontové kontaminace jednotlivých vzorků. K tomuto měření byl použit přístroj Concoat Contaminometer CM11 (více v kapitole 7.6). Vzorky byly porovnány z 3 různých pohledů. Do grafů jsou vloženy rozhodovací úrovně dle norem DEF ($1,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a MIL ($1,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Je nezbytné si uvědomit, že testované vzorky prošly klimatickým namáháním a proto ve většině případů nesplňují předepsané normy. Tyto normy jsou stanoveny pro výrobky přímo z výroby. Více o normách v kapitole 5.2.

Nejdříve bylo provedeno měření na porovnání jednotlivých vzorků s tavidly dle teploty přetavení. Poté bylo provedeno měření, ve kterém jsou porovnávány vlastnosti jednotlivých tavidel mezi sebou. Poslední způsob porovnání tavidel bylo dle čistícího roztoku.

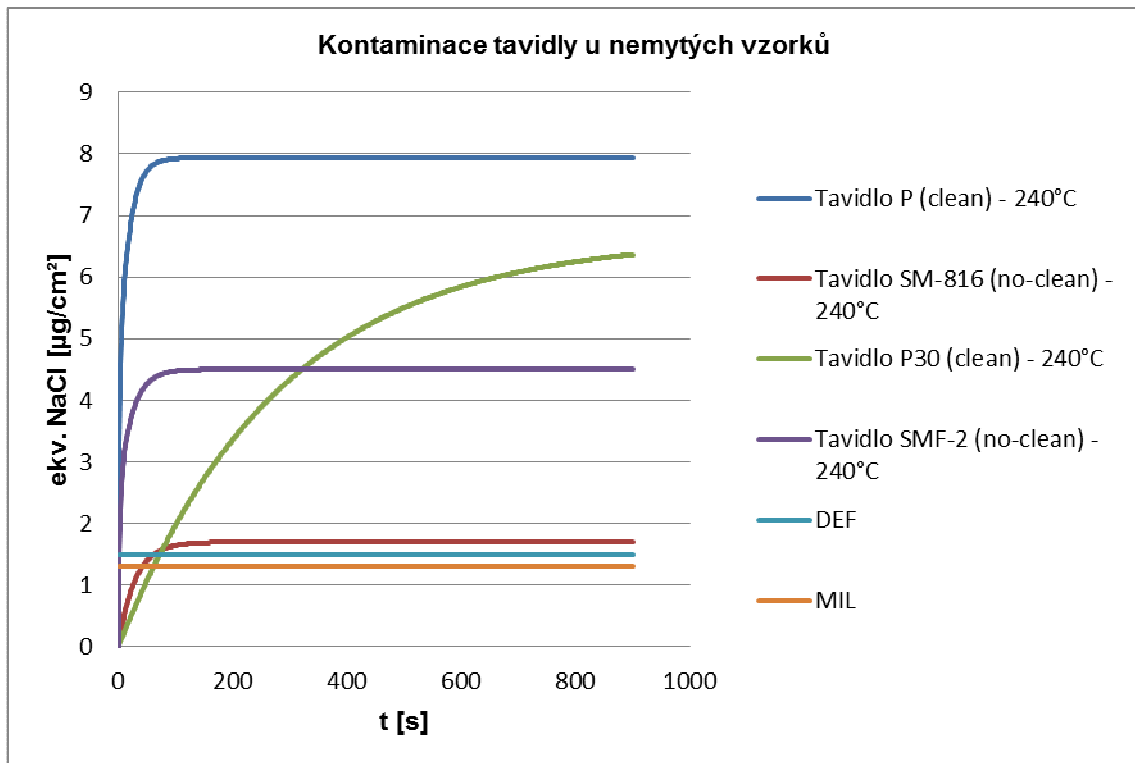
Nemyté vzorky a tavidlem SM-816

První sada vzorků, která byla zkoumaná, byly vzorky nemyté. Pro ukázkou bylo vybrané tavidlo typu no-clean SM-816 (blíže popsáno v kapitole 7.3). Na obrázku 34 je patrné, že nejlepších výsledků dosahuje vzorek při teplotě přetavení 240°C. Tavidlo zaschlé ukazuje maximální iontovou kontaminaci vzorku tímto tavidlem. Ostatní obrázky zabývající se porovnáním iontové kontaminace dle teploty přetavení v příloze 2,3,4.



Obrázek 34: Vliv teploty přetavení

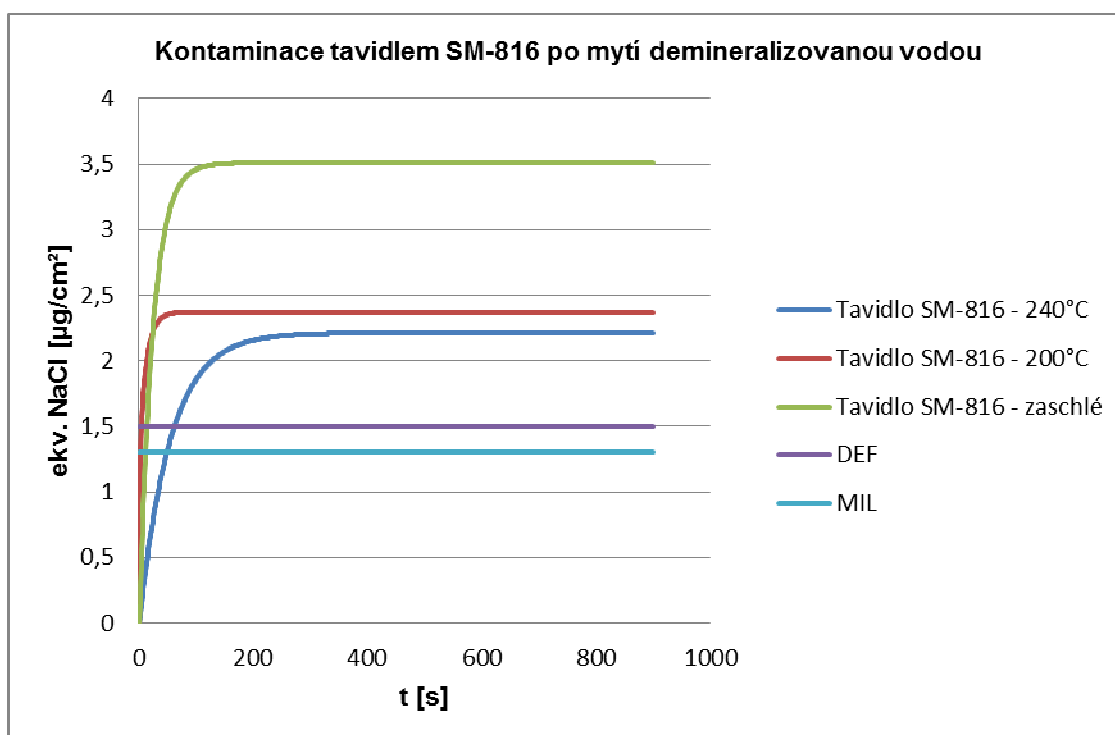
Na následujícím obrázku 35 je porovnání množství iontové kontaminace vzorků s různými tavidly. Můžeme vidět, že nejlepší vlastnosti vykazuje no-clean tavidlo SM-816. Nejhorší výsledky má clean tavidlo P. Z toho je patrné, že clean tavidla bez použití mytí způsobují vážnou kontaminaci vzorků. Obrázky s tavidly přetavenými 200°C a nebo zaschlé do práce umístěny nebyly. Hodnoty lze dohledat v přílohách 2,3,4.



Obrázek 35: Porovnání tavidel

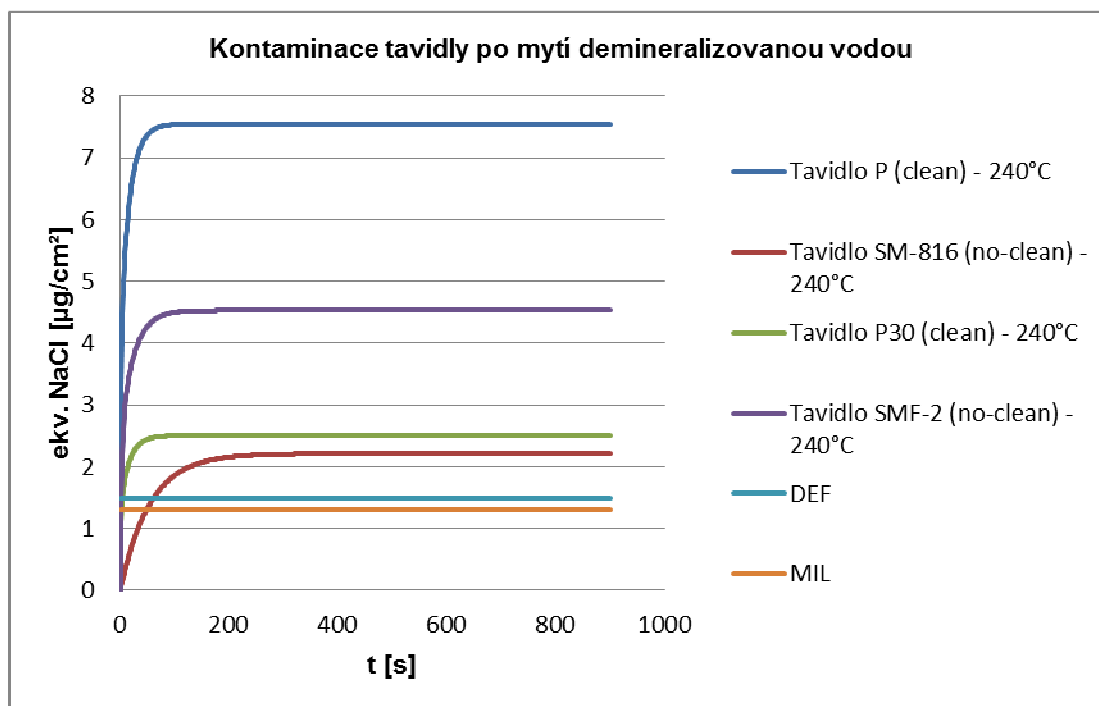
Vzorky s tavidlem SM-816 myté demineralizovanou vodou

Tyto vzorky byly před klimatickým namáháním myty demineralizovanou vodou (více v kapitole 7.3). Na obrázku 36 je vidět, že znovu nejlepší vlastnosti vykazuje tavidlo přetavené 240°C. Obrázky s průběhy dalších tavidel jsou umístěné v příloze 5,6,7.



Obrázek 36: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demineralizované vody

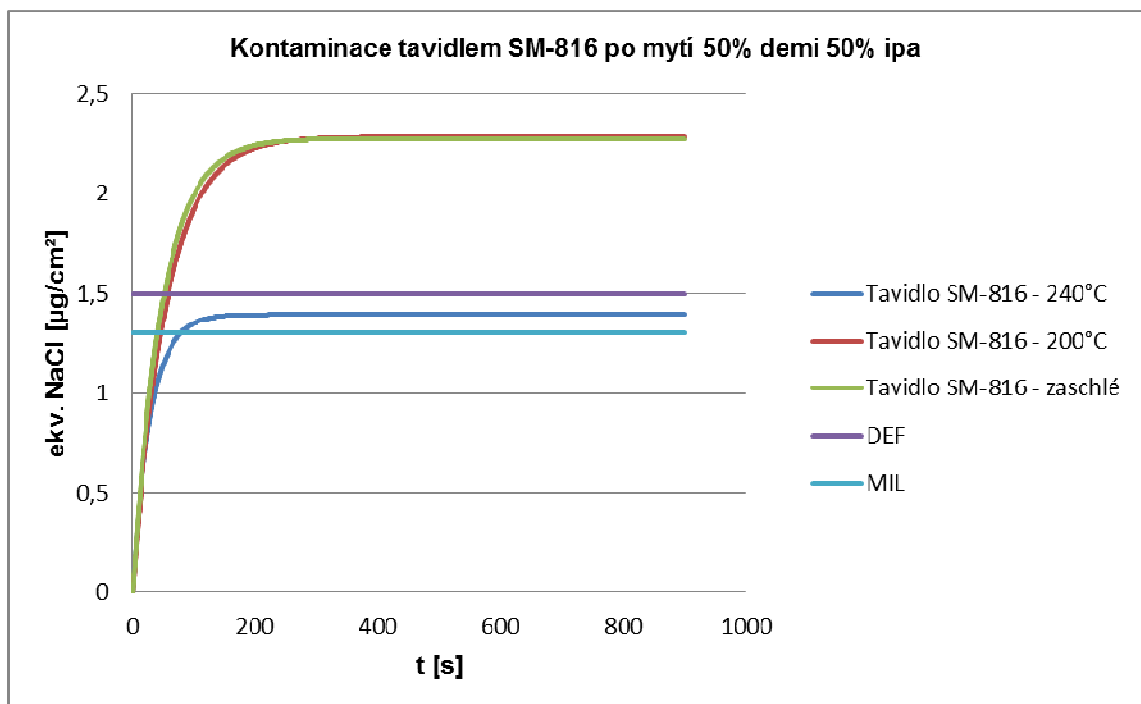
Na obrázku 37 jsou porovnávány iontové kontaminace vzorků s různými tavidly. Na Obrázku 37 můžeme vidět, že nejlepší vlastnosti vykazuje no-clean tavidlo SM-816. Nejhorší výsledky má clean tavidlo P. Obrázky s průběhy tavidel přetavenými 200°C a nebo zaschlé do práce umístěny nebyly. Hodnoty lze dohledat v přílohách 5,6,7.



Obrázek 37: Porovnání tavidel

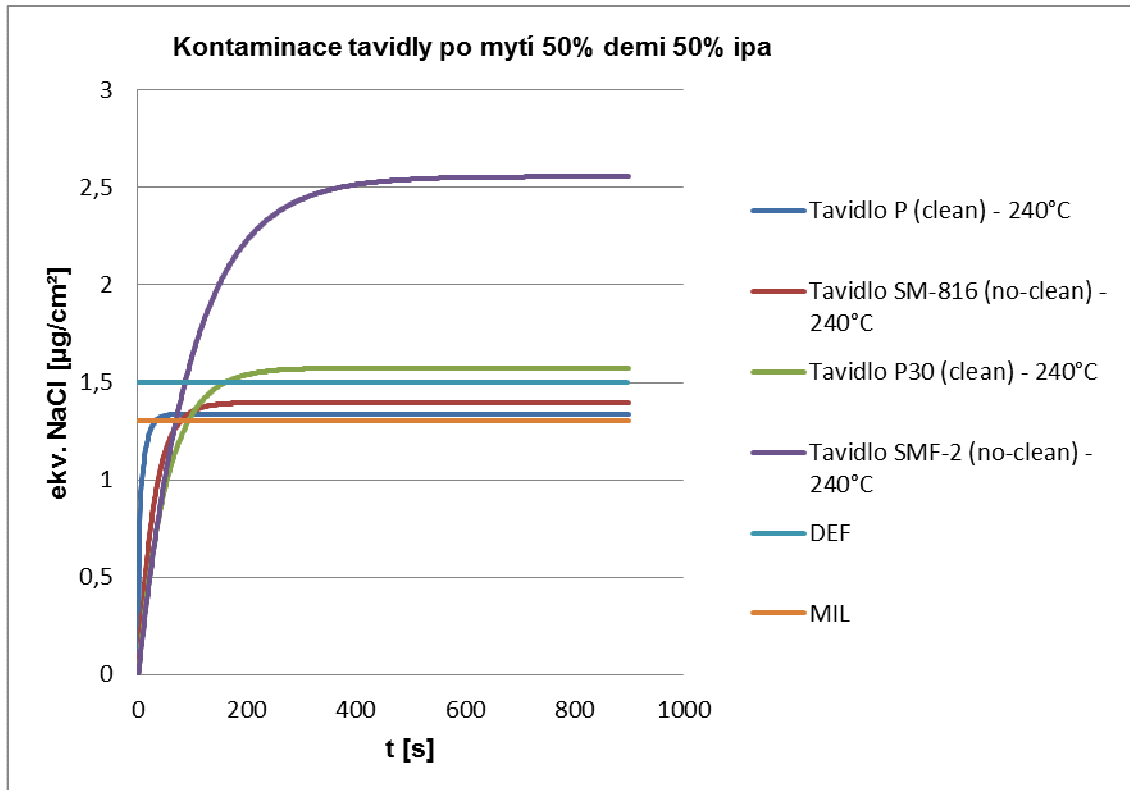
Vzorky s tavidlem SM-816 myté roztokem 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody

Tyto vzorky byly před klimatickým namáháním myty roztokem 50% izopropylalkoholu (ipa) a 50% demineralizované vody (demi). (více v kapitole 7.3). Na obrázku 38 je vidět, že znovu nejlepší vlastnosti vykazuje no-clean tavidlo SM-816 přetavené 240°C. Takto přetavené tavidlo splňuje normu DEF. Obrázky s průběhy dalších tavidel jsou umístěné v příloze 8,9,10.



Obrázek 38: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demi 50% a ipa 50%

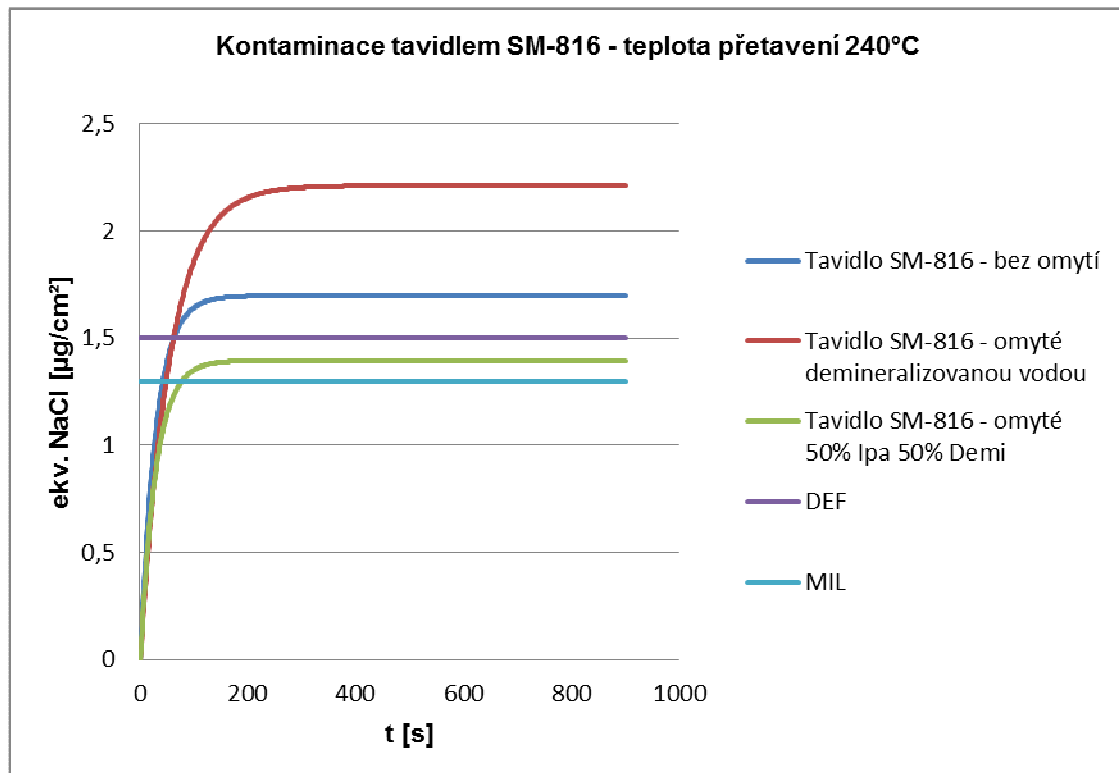
Na obrázku 39 je porovnání iontové kontaminace vzorků s různými tavidly. Na obrázku 39 můžeme vidět, že nejlepší vlastnosti vykazuje clean tavidlo P, které splňuje obě použité normy. Nejhorší výsledky má no-clean tavidlo SMF-2. Obrázky s průběhy tavidel přetavených 200°C a nebo zaschlých do práce umístěny nebyly. Hodnoty lze dohledat v přílohách 8,9,10.



Obrázek 39: Porovnání tavidel

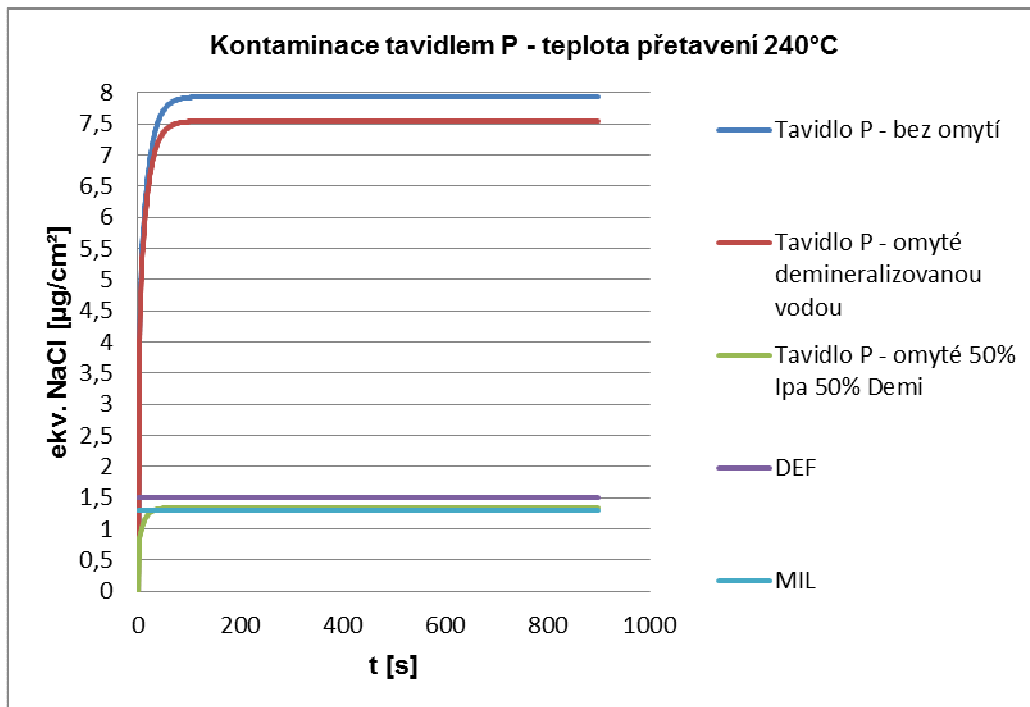
Porovnání vzorků tavidla SM-816 dle druhu čistícího roztoku

Posledním porovnáním je porovnání dle použitého mycího roztoku. Pro ukázkou byla vybrána teplota přetavení 240°C, která je pro nás nejdůležitější a dvě tavidla. První tavidlo no-clean s označením SM-816 je zobrazeno na obrázku 40. Je zde vidět negativní vliv demineralizované vody a naopak pozitivní vliv roztoku 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody.



Obrázek 40: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí různými roztoky

Druhé tavidlo je clean s označením P, na které oba typy oplachů působí pozitivně, ale jedině s mytím roztokem 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody splňuje normy DEF a MIL, jak je patrné z obrázku 41. Ostatní obrázky s porovnáním dle druhu mycího roztoku v práci nejsou umístěny, ale hodnoty lze najít v přílohách 2 až 10.

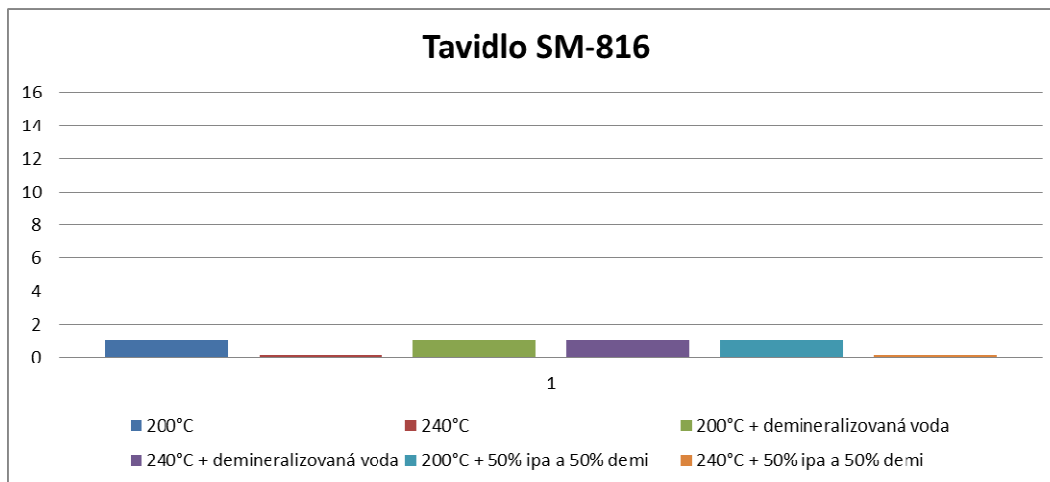


Obrázek 41: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí různými roztoky

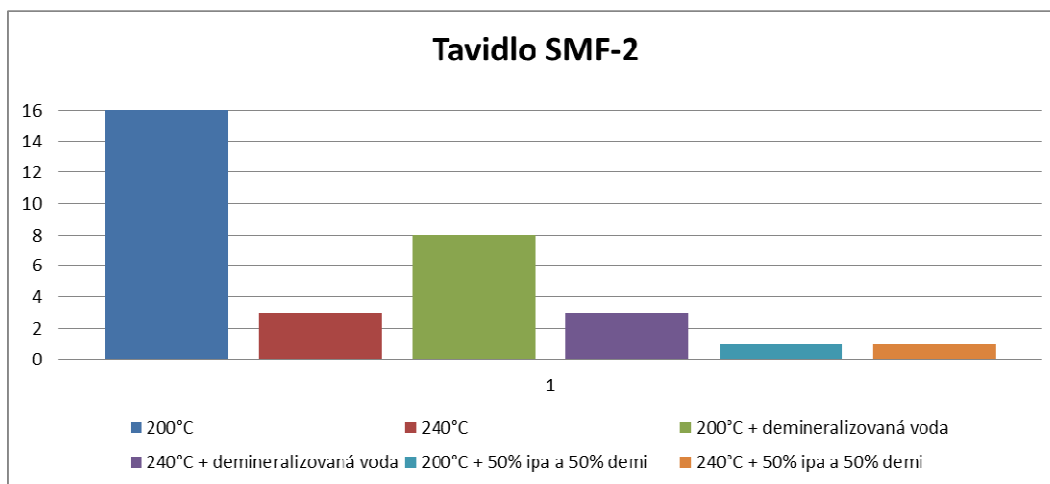
9.1 Grafické vyhodnocení interakce vlivů působící na iontovou kontaminaci

V následujících histogramech je graficky znázorněna interakce sledovaných vlivů působící na iontovou kontaminaci testovaných vzorků. Výchozí hodnota je stanovena dle použité normy MIL. Ta udává hodnotu $1,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ NaCl. Čím výše je vyveden sloupec, tím větší je iontová kontaminace vzorků.

Nejdříve jsou znázorněny histogramy s interakcí sledovaných vlivů u tavidel typu no-clean (viz. obrázek 42,43).

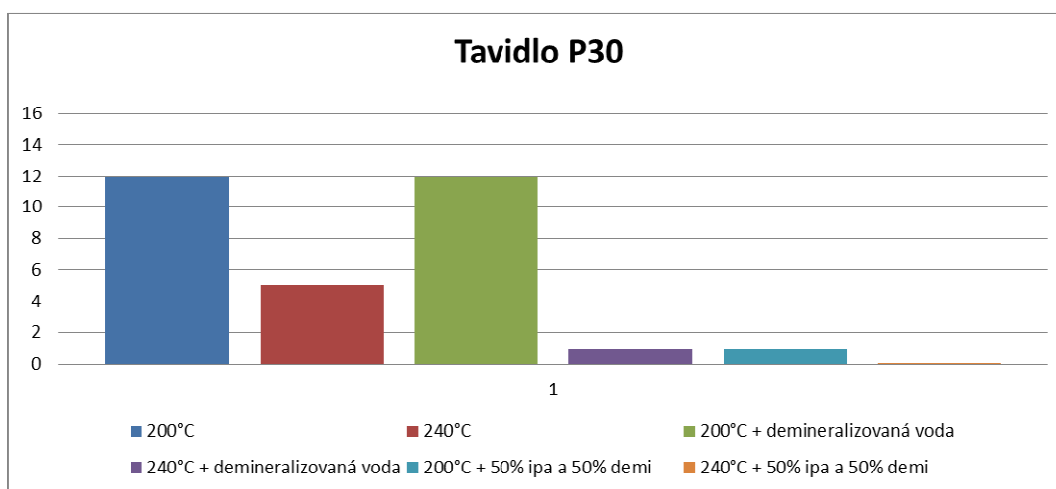


Obrázek 42: Histogram s interakcí sledovaných vlivů u tavidla SM-816

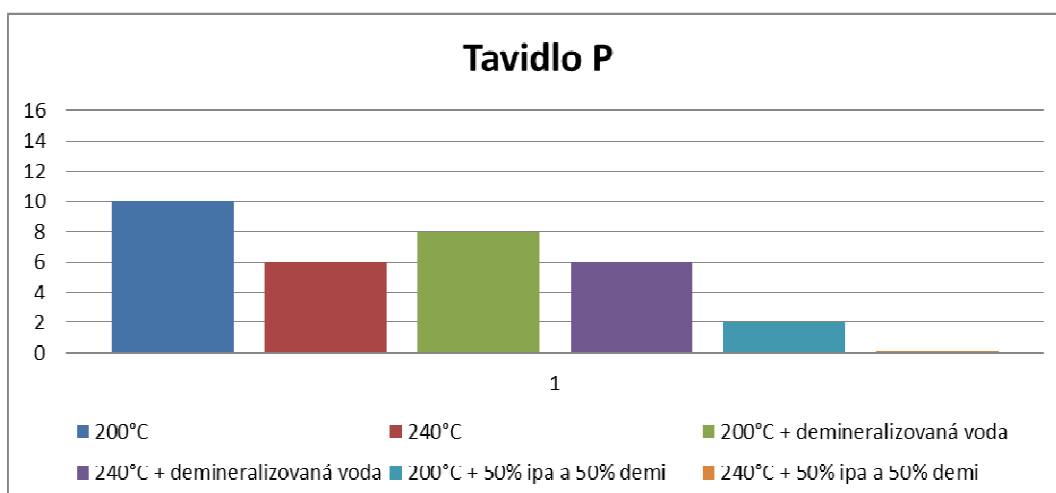


Obrázek 43: Histogram s interakcí sledovaných vlivů u tavidla SMF-2

Dále jsou znázorněny histogramy s interakcí sledovaných vlivů u tavidel typu clean (viz. obrázek 44,45).



Obrázek 44: Histogram s interakcí sledovaných vlivů u tavidla P30



Obrázek 45: Histogram s interakcí sledovaných vlivů u tavidla P

9.2 Vyhodnocení interakce vlivů působící na iontovou kontaminaci vzorků

Nejlepších výsledků u všech tavidel bylo dosaženo při teplotě přetavení 240°C a mytí pomocí čistícího roztoku 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody, jak je patrné z histogramů (viz. obrázek 42, 43, 44, 45). Bylo toho dosaženo, díky dostatečné teplotě pro aktivaci tavidel a odstranění většiny nečistot při mytí.

Nejhorších výsledků tavidla dosáhla při teplotě přetavení 200°C a bez použití mytí. Je to způsobeno příliš nízkou teplotou přetavení, která má za následek nedostatečnou aktivaci tavidla a žádným mycím procesem, který by alespoň částečně tuto kontaminaci odstranil.

10 Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s druhy používaných tavidel a jejich vlivem na desky plošného spoje. Dále jsou v této práci představeny normy a testovací metody, pomocí kterých byl testován vliv tavidel na spolehlivost DPS. K testování vlivu tavidel na spolehlivost DPS bylo použito měření povrchového izolačního odporu a měření iontové kontaminace na testovaných vzorcích.

Při měření povrchového izolačního odporu a iontové kontaminace vzorků u no-clean tavidel byla pozorována interakce teplot přetavení s různými druhy mycího roztoku. V této práci byla použita nejvyšší teplota přetavení 240°C, při níž tavidla typu no-clean vykazují nejlepší výsledky jak povrchového izolačního odporu tak i při měření iontové kontaminace vzorků. Z obrázků 17, 18, 21, 22, 25, 26 je patrné, že při použití mytí demineralizovanou vodou nebo roztokem 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody dochází k degradaci povrchového izolačního odporu. To je zapříčiněno narušením struktury tavidel a uvolněním nečistot z této struktury. Při měření iontové kontaminace vzorků vykazují tavidla nejmenší kontaminaci při použití mycího roztoku 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody s teplotou přetavení 240°C (viz. obrázek 39). Je to způsobeno odstraněním nečistot z narušených struktur tavidel.

Při měření povrchového izolačního odporu a iontové kontaminace vzorků u clean tavidel byla také pozorována interakce teplot přetavení s různými druhy mycího roztoků. V tomto experimentu vykazují nejlepší výsledky jak u povrchového izolačního odporu, tak i u měření iontové kontaminace, vzorky myté roztokem 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody a teplotou přetavení 240°C. Je to zapříčiněno dostatečnou teplotou přetavení, jejímž následkem je úplná aktivace tavidel a odstranění aktivních zbytků tavidel bez narušení jejich struktury.

Z výsledků experimentů vyplývá, že sledovaným vlivem, který nejvíce působí na povrchový izolační odpor a iontovou kontaminaci vzorků u všech čtyřech druhů tavidel, je teplota přetavení. V případě tohoto experimentu nejlepší vlastnosti vykazovala teplota přetavení 240°C (viz. obrázek 30, 31, 32, 33).

U no-clean tavidel je další otázkou, jestli je mýt či ne. Výsledky experimentů nasvědčují tomu, že no-clean tavidla není vhodné mýt. I když výsledky těchto tavidel při měření iontové kontaminace s použitím roztoku 50% izopropylalkoholu a 50% demineralizované vody a teploty přetavení 240°C byly nejlepší, mělo to zásadní vliv na jejich povrchový izolační odpor. V případě tavidla SMF-2 byla degradace povrchového izolačního odporu oproti nemytému vzorku již při prvním měření velmi znatelná. U tavidla SM-816 došlo jen k lehké degradaci povrchového izolačního odporu. Po vystavení klimatickému namáhání ale začalo toto tavidlo vykazovat velké výkyvy při měření, což bylo nejspíše způsobeno narušením jeho struktury. Z těchto důvodů není doporučeno mýt tavidla typu no-clean.

Použitá literatura

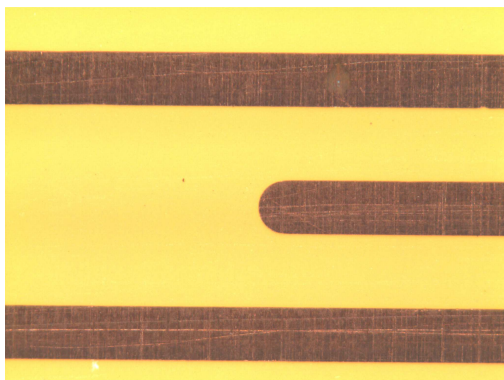
- [1] ABEL, Martin. Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi. 1. vyd. Pardubice: ABE.TEC, 2005, 179 s. ISBN 80-903-5970-1.
- [2] PÍCHA, JAN. STUDIUM SPOLEHLIVOSTI BEZOLOVнатÉHO PÁJENÍ. *Vutbr.cz* [online]. Brno, 2010 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/17107/DP_Spolehlivost_Bezolovnat%C3%A9ho_p%C3%A1jen%C3%AD_Jan_P%C3%ADcha.pdf?sequence=1
- [3] PULEC, Jiří. *Analýza vlivu pouzdření na izolační vlastnosti: Analyze of Packaging Impact on Insulating properties* [online]. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009 [cit. 2014-03-17]. 1 elektronický optický disk [CD-ROM / DVD]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12205/diplprace2009.pdf>. Diplomová práce. vutbr.
- [4] ČENGERY, Jiří. *Dekontaminace jako příspěvek zvýšení spolehlivosti elektronických zařízení*. Plzeň, 2005. Disertační práce. Západočeská univerzita. Vedoucí práce Skočil Vlastimil, Doc. Ing. CSc.
- [5] GDOVIN, Jiří. *Druhy tavidel a jejich vliv na kvalitu pájeného spoje* [online]. Plzeň, 2010 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=29176>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita.
- [6] MEDGYES, Bálint. Investigation on Electrochemical Migration in the Electronics. [online]. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: http://doktori.bme.hu/bme_palyazat/2012/hallgato/honlap/medgyes_balint_en.htm
- [7] LABARA. *FR4* [online]. 2014 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.labara.cz/vrstvene-izolanty/izolacni-desky/155-sklotextit-r-fr4>
- [8] IPC. *Association Conecting electronics indrustries* [online]. 2014 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://ipc.org/>
- [9] IPC. *IPC-9201: Surface insulation resistance handbook*. 1996.

- [10] IPC. *J-STD-004: Requirements for soldering fluxes*. 1995.
- [11] Concoat Contaminometer – manuál
- [12] keithley 6517a – manual [online]. [cit. 2014-04-17]. Dostupné z:
<http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/7293199.PDF>
- [13] DUŠEK, Radim. *Druhy tavidel a jejich vliv na kvalitu pájeného spoje* [online]. Plzeň, 2008 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z:
<https://portal.zcu.cz/StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=20653>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita.
- [14] NOVOTNÝ, Jan. Testování pájitelnosti pomocí Concoat MUST SYSTEM II [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z:
<https://portal.zcu.cz/StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=47445>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita.
- [15] *Pájení a tepelné procesy, opravy v SMT, novinky v mikroelektronice*. Brno: SMT-info, 2010
- [16] MAREK, Petr. *Optimalizace pájecího procesu vlnou* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z:
<https://portal.zcu.cz/StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=40811>. Diplomová práce. Západočeská univerzita.
- [17] TŮMOVÁ, Olga. *Metrologie a hodnocení procesů*. 1. vyd. Praha: BEN technická literatura, 2009, 231 s. ISBN 978-80-7300-249-7.
- [18] Interquality : Six Sigma [online]. 1998 [cit. 2010-12-30]. Co je Six Sigma. Dostupné z
WWW: <<http://www.sixsigma-iq.cz/COJESIXSIGMA.aspx>>.
- [19] MILLER, Ivan. Interquality [online]. 2008 [cit. 2010-10-26]. Co to je statisticky navržený experiment?. Dostupné z WWW:
<<http://www.interquality.cz/INTERN%C3%8DKURZY/DOEInterquality/tabid/79/Default.aspx>>.

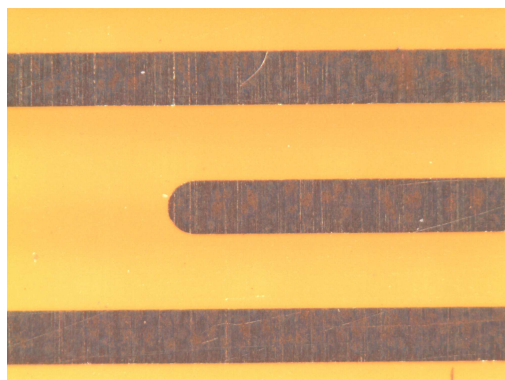
- [22] SHENMAO TECHNOLOGY. *Data sheet: FLUX, For Lead Free Solder Paste Use. MODEL: SMF-2*
- [21] SHENMAO TECHNOLOGY. *Data sheet: LEAD FREE LIQUID FLUX. MODEL: SM-816.*
- [22] SHENMAO TECHNOLOGY. *Data sheet: FLUX, For Lead Free Solder Paste Use. MODEL: P-30*
- [23] SHENMAO TECHNOLOGY. *Data sheet: FLUX P, For Lead Free Solder Paste Use. MODEL: P*
- [24] PLHA, Pavel. Zařízení pro osazování a pájení technikou povrchové montáže. Telefon u nás [online]. 2012 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: telefon.unas.cz
- [25] MONMOUTH SCIENTIFIC. Sonorex digital 10p [online]. 2014 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://www.monmouthscientific.co.uk/ultrasonic-baths/sonorex-digital-10p.html>
- [26] PAJECI-TECHNIKA. *HR-21* [online]. 2014 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.pajeci-technika.cz/>
- [27] OLYMPUS. *SZX10* [online]. 2014 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.olympus-global.com/en/>
- [28] ČSN EN ISO 29454-1. Tavidla pro měkké pájení. 1993.
- [29] ČSN EN 61190-1-1. Připojovací materiály pro elektronickou montáž - Část 1-1: Požadavky na pájecí tavidla pro vysoce kvalitní propojování v elektronické montáži. 2003.

Příloha

Příloha č. 1

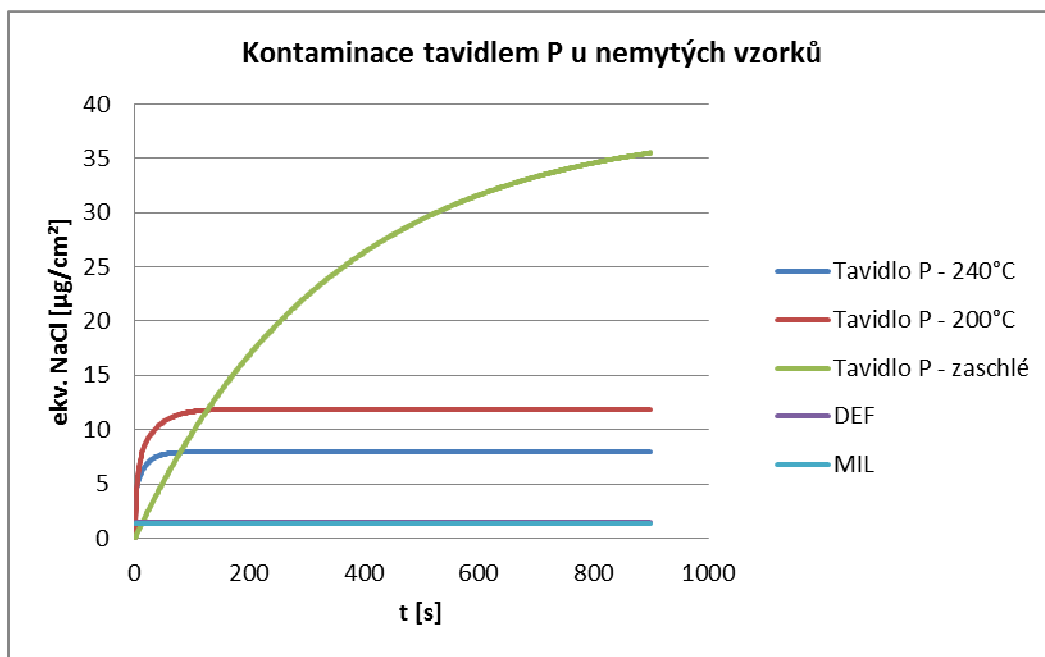


Obrázek 46: SM-816 200°C



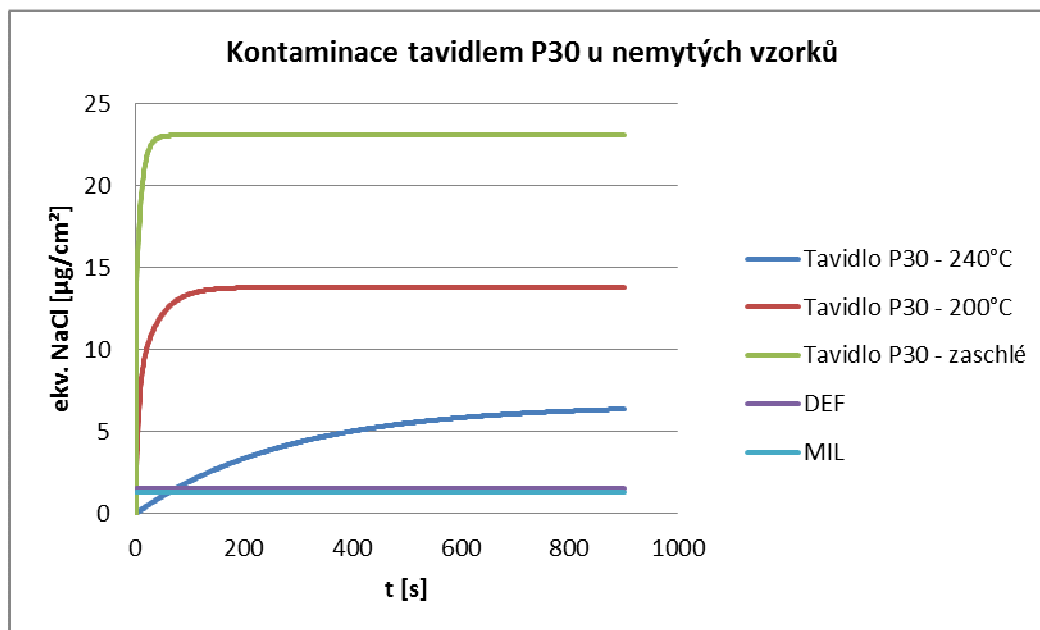
Obrázek 47: SM-816 240°C

Příloha č. 2



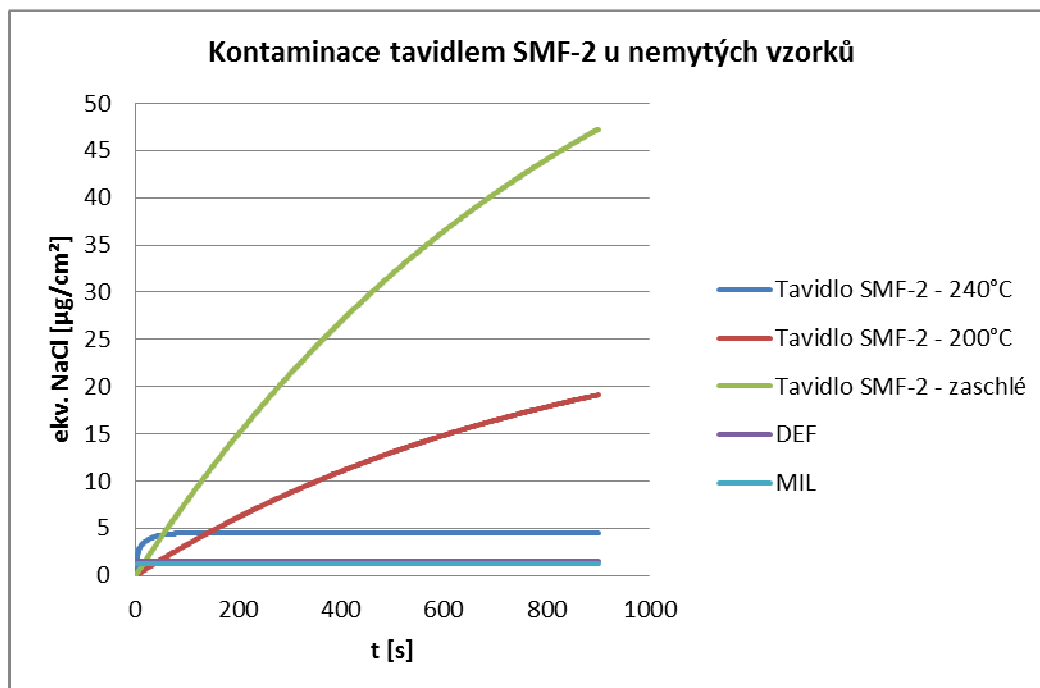
Obrázek 47: Vliv teploty přetavení

Příloha č. 3



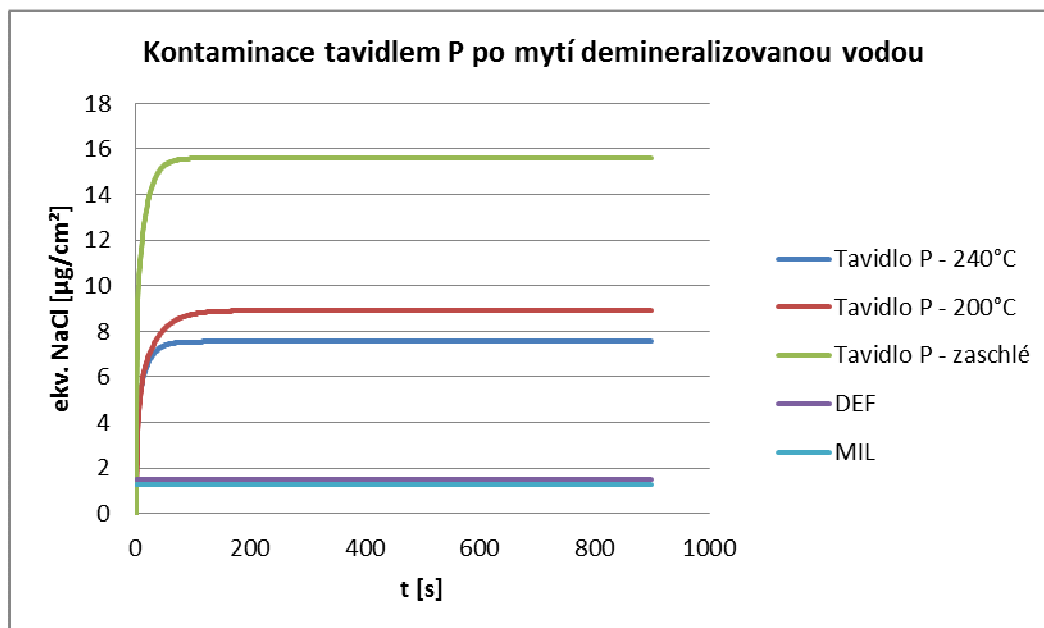
Obrázek 48: Vliv teploty přetavení

Příloha č. 4



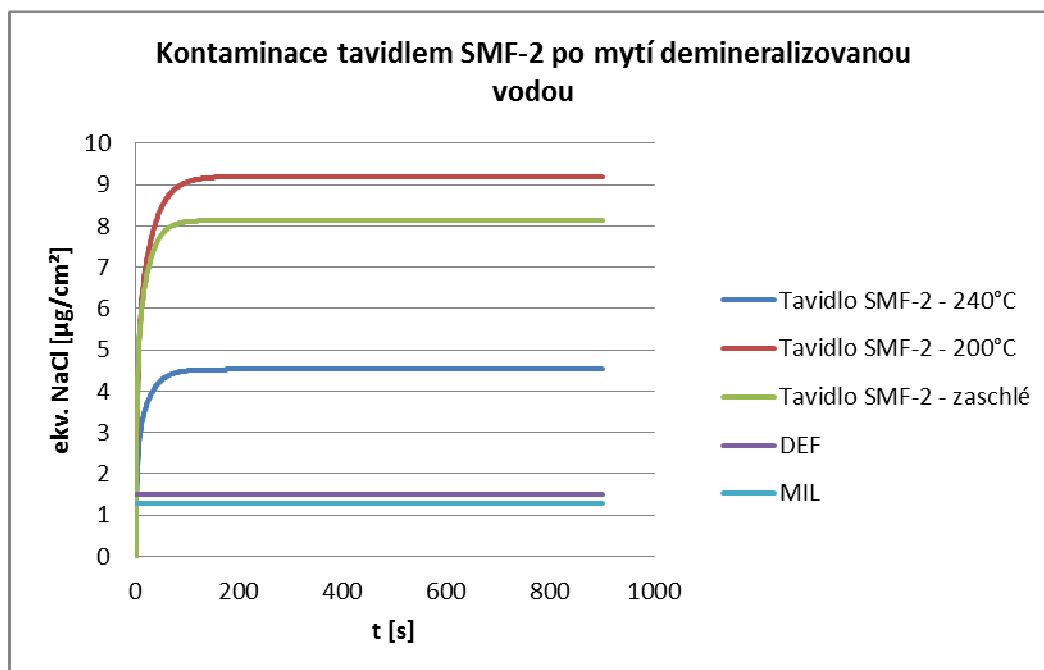
Obrázek 49: Vliv teploty přetavení

Příloha č. 5



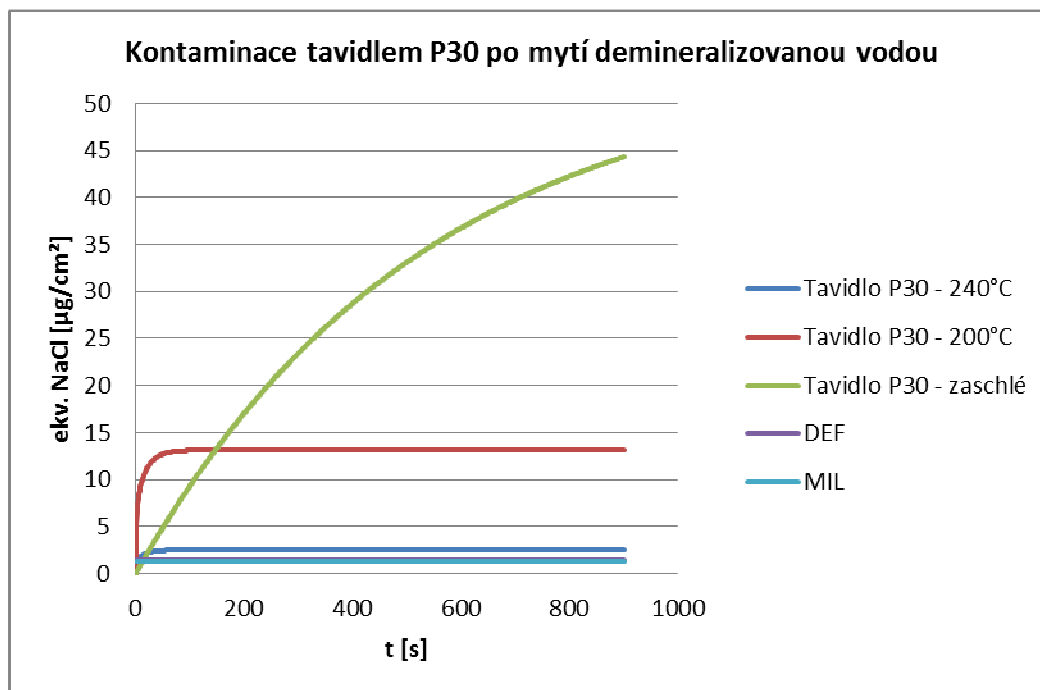
Obrázek 50: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demineralizované vody

Příloha č. 6



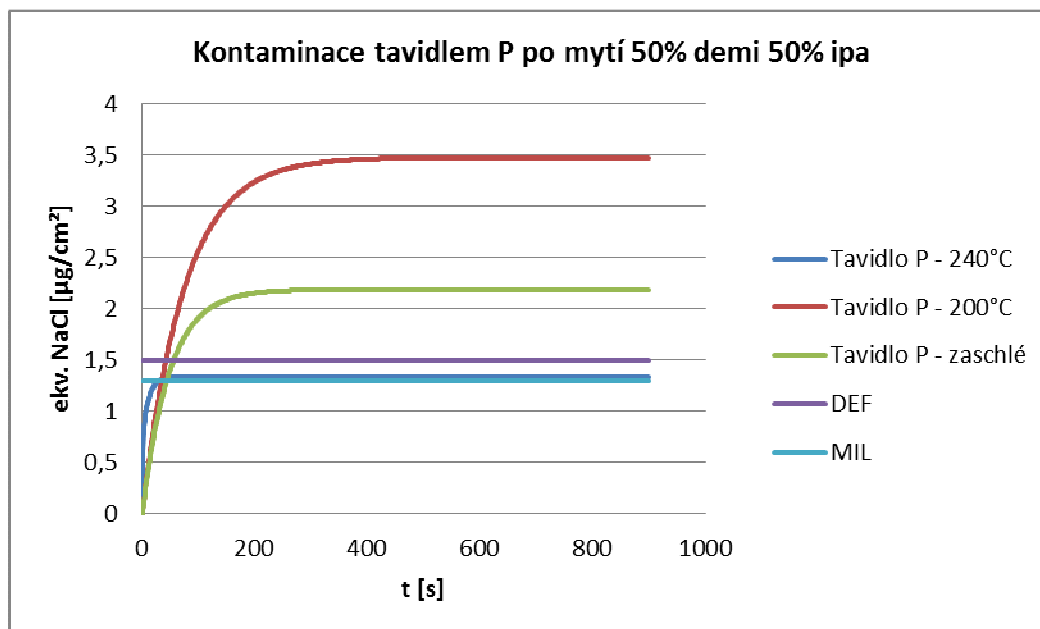
Obrázek 51: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demineralizované vody

Příloha č. 7



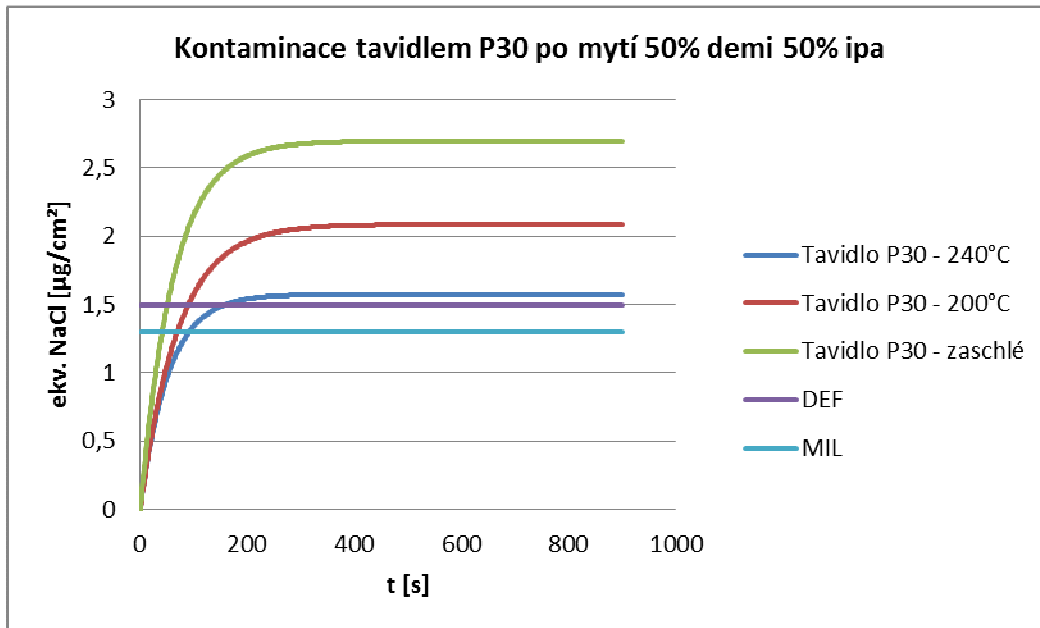
Obrázek 52: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demineralizované vody

Příloha č. 8



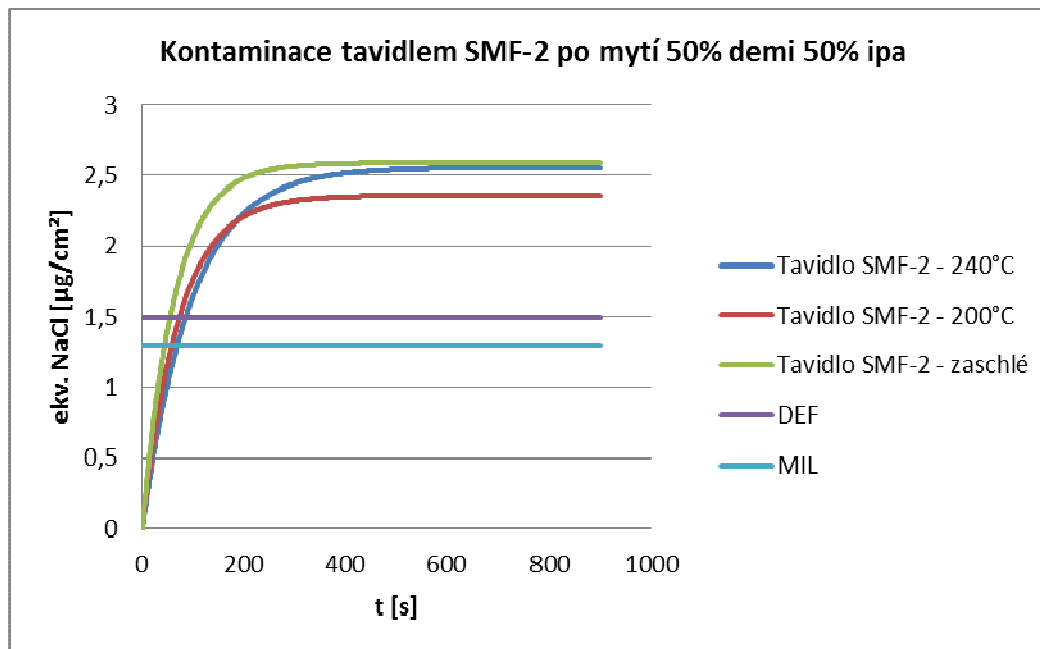
Obrázek 53: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demi 50% a ipa 50%

Příloha č. 9



Obrázek 54: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demi 50% a ipa 50%

Příloha č. 10



Obrázek 53: Kombinace vlivů teploty přetavení a mytí pomocí demi 50% a ipa 50%