



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

NÍZKOTEPLTNÍ BIZMUTOVÉ PÁJECÍ PASTY

BISMUTH LOW TEMPERATURE SOLDER PASTES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Vogel

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Starý, Ph.D.

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Vojtěch Vogel

ID: 206747

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Nízkoteplotní bizmutové pájecí pasty

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte odbornou literaturu se zaměřením na bizmutové nízkoteplotní pájecí slitiny a na materiálové, procesní i environmentální vlivy limitující spolehlivost těchto pájených spojů. Soustředte se na perspektivní typy a aplikace, i na úskalí v jejich použití. Aplikujte navrženou metodiku zkoušek vybraných vlastností pájeného spoje. Pokračujte v izotermálním stárnutí a cyklických teplotních zkouškách, dle možností proveďte orientační teplotní šokové zkoušky (- 40 °C/ + 120°C) a analyzujte změny odporu propojení testovaných typů bizmutových pájecích past. Vyhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 8.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá nízkoteplotními pájecími pastami s různým obsahem bismutu. Zaměřuje se na materiálové, procesní a enviromentální vlivy, které ovlivňují spolehlivost pájeného spoje. Také je zde popsán vliv prvků na eutektickou pájecí slitiny Sn-Bi58. Pro praktickou část jsou zvoleny dvě povrchové úpravy (ENIG a imerzní cín) a čtyři pájecí pasty (PF743-PQ10, PF735-PQ10, PF734-PQ10, SAC305). Testované DPS jsou podrobeny izotermálnímu stárnutí a cyklickým teplotním zkouškám. Během teplotního stárnutí došlo ke změně elektrického odporu.

KLÍČOVÁ SLOVA

DPS, BiSn, SMD, pájení přetavením, testovací metody

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with low-temperature soldering pastes with different bismuth content. It focuses on material, process and environmental influences that affect the reliability of the soldered joint. The effect of the elements on the eutectic solder alloy Sn-Bi58 is also described here. For the practical part two surface finishes (ENIG and immersion tin) and four solder pastes (PF743-PQ10, PF735-PQ10, PF734-PQ10, SAC305) are chosen. Tested PCBs are subjected to isothermal aging and cyclic temperature tests. Electrical resistance has changed during thermal aging.

KEYWORDS

PCB, BiSn, SMD, reflow soldering, test method

VOGEL, V. *Nízkoteplotní bizmutové pájecí pasty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, 2020. 88 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Vojtěch Vogel*

VUT ID studenta: *206747*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2019/20*

Téma závěrečné práce: *Nízkoteplotní bizmutové pájecí pasty*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 8. června 2020

.....
Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za všestrannou pomoc, množství cenných a inspirativních rad, podnětů a za ochotu při konzultacích.

OBSAH

Úvod	1
1 Blízká historie pájecích slitin	2
2 Nízkoteplotní pájecí slitiny	3
2.1 Vliv na životní prostředí	4
3 Bizmutové nízkoteplotní pájecí pasty	5
3.1 Intermetalické sloučeniny SnBi	6
3.2 Pevnost v tahu	7
3.3 Vliv aditiv na slitiny, zkouška nárazem	9
3.4 Teplotní cyklování	10
4 Modifikované pájecí slitiny se základem Sn43Bi57	12
4.1 Vliv stříbra na pájecí slitiny	12
4.2 Vliv india a niklu na pájecí slitiny	12
4.3 Vliv mědi na pájecí slitiny	14
4.4 Vliv zinku na pájecí slitiny	14
4.5 Vliv antimonu na pájecí slitiny	14
5 Aplikace v elektrotechnice a fotovoltaice	15
6 Praktická část	18
6.1 Měření testovacích vzorků	18
6.2 Měřící metoda	19
6.3 Referenční hodnoty	20
6.4 Měření po 14 dnech stárnutí	24
6.4.1 Vyhodnocení výsledků po 12 dnech stárnutí	33
6.5 Měření po 28 dnech stárnutí	34
6.5.1 Vyhodnocení výsledků po 28 dnech stárnutí	43
6.6 Měření po 42 dnech stárnutí	44
6.6.1 Vyhodnocení výsledků po 42 dnech stárnutí	53
6.7 Měření po 102 dnech stárnutí	54
6.7.1 Vyhodnocení výsledků po 102 dnech stárnutí	61
6.8 Měření po 116 dnech stárnutí	62

6.8.1	Vyhodnocení výsledků po 116 dnech stárnutí.....	69
Závěr		71
Literatura		72
Seznam symbolů, veličin a zkratk		74
Seznam obrázků		75
Seznam tabulek		76
Seznam grafů		79

ÚVOD

Při přechodu z olovnatého pájení na lead-free byl vyřešen problém s toxicitou a pájky na bázi olova musely být nahrazeny. Avšak vyvíjené pájecí slitiny měly vyšší bod tání a nadměrný intermetalický růst, což vede k menší spolehlivosti pájeného spoje. Jedna z možností, jak tento problém vyřešit, je přidání aditiv do slitin, které výrazně sníží bod tání a zlepší mechanické a elektrické vlastnosti. Díky tomu nedojde k poškození osazených součástek a substrátu. Snížením teploty budě zároveň dosaženo toho, že poklesne potřebná elektrická energie a tím se sníží emise oxidu uhličitého. Toho bude dosaženo tím, že budou použity nízkoteplotní pájecí slitiny, ve kterých je legován bizmut. Nejčastěji používaná slitina je kombinace cínu a bizmutu (SnBi). Tahle pájka by mohla dokonale nahradit pájecí slitiny SnPb a přidáním různých aditiv (Ag, In, Sb, ...) by mohla být vlastnostmi spolehlivější.

1 BLÍZKÁ HISTORIE PÁJECÍCH SLITIN

Elektronický průmysl se neustále přizpůsobuje požadavkům nejnovější generace elektronických zařízení. Pokroky v elektronice jsou doprovázeny s pokroky technologií pájení, protože propojovací materiál jako pájky se používají k elektrickému a mechanickému spojování součástek za účelem vytvoření funkčního obvodu. V elektronických montážích hraje pájecí slitina rozhodující roli v produkci a spolehlivosti. [1]

Pájka SnPb se používala k montáži více jak padesát let díky svým vynikajícím vlastnostem (nízký bod tání, dobrá smáčivost, vyrobitelnost a spolehlivost za přijatelnou cenu). Kvůli tomu, že olovo škodí životními prostředí, se v zemích po celém světě jeho používání omezuje a přechází se na bezolovnaté pájení. To vedlo k mnoha výzkumům zaměřeným na bezolovnaté pájky, které by měly mít stejné nebo lepší vlastnosti jako pájka Sn-Pb. Při vývoji je nejvíce nahlíženo na smáčecí vlastnosti, dobré fyzikální a chemické vlastnosti (např. složení, teplota tavení, výběr tavidla). [1]

Byly studovány různé pájecí slitiny jako např. Sn-Zn, Sn-Zn-Bi, Sn-Bi, Sn-Ag-Cu, Sn-Cu. Jedním ze způsobů, jak zlepšit spolehlivost lead-free pájky, je legování jiným prvkem. Vědci a výrobci přidávali do slitin legující prvky za účelem, zlepšení spolehlivosti nebo vyvinutí nových pájecích slitin. Legovací prvky byly přidávány za účelem zpomalení růstu intermetalických sloučenin, zvýšení pevnosti a tažnosti. Byly používány legovací prvky jako měď, titan, antimon, zlato, nikl, palladium, germanium a další vzácné prvky, ale hlavně prvky bismut, indium, galium, které vedly k velkému rozvoji nízkoteplotních pájecích slitin. [1]

2 NÍZKOTEPLTNÍ PÁJECÍ SLITINY

Nízkoteplotní pájení já stále více diskutovanější téma po tom, co se průmysl plošných spojů přenesl do bezolovnatého pájení. Otázka je ale, co jsou to nízkoteplotní slitiny? Pro základ struktury je použit cín, ačkoli koncept se mírně změnil, při přechodu na lead-free slitiny. Nízkoteplotní pájecí slitina vytvoří pájený spoj mezi ploškou a vývodem součástky. Spoj hraje důležitou roli pro mechanické, elektrické, tepelné vlastnosti. [2]

Montážní průmysl hledal alternativy lead-free slitin s přibližnou nebo lepší spolehlivostí jako SAC slitiny. Pájený spoj v lead-free pájení je vytvořený stejným způsobem jako u procesu obsahující olovo. Povrchové úpravy a plošky jsou stejné, akorát slitiny obsahující olovo byly nahrazeny za materiály, které neobsahují olovo. Ve výsledku bude mít spoj podobné typy a větší množství intermetalických sloučenin. Při porovnání šířky intermetalické vrstvy vytvořené pomocí SAC procesu s nízkoteplotní slitinou s vysokým obsahem bismutu, tak slitina, ve které je obsažen bizmut, bude mít tenčí intermetalickou vrstvu. [2]

Tabulka 1: Bezolovnaté pájecí slitiny používané v průmyslu [2]

Slitina	Složení slitin [%]	Teplota solidu [°C]	Teplota likvidu [°C]	Delta [°C]
SAC305	SnAg3Cu0,5	217	220	3
SAC405	SnAg4Cu0,5	217	219	2
SAC387	SnAg3,8Cu0,7	217	220	3
SACX Plus 0807	SnAg0,8Cu0,7 + aditiva	217	226	9
Innolot	SAC387 + Sb + aditiva	212	220	8
Maxrel™ Plus	SAC387 + aditiva	211	217	6
SnBi0,4Ag	SnBi57,6Ag0,4	138	138	0
SBX02	SnBi + aditiva	139	139	0
HRL1	SnBi + aditiva	138	151	13

Při použití nižších vrcholových teplot během montáže se snižuje šance, že by mohlo dojít k tepelnému poškození komponenty nebo substrátu. To napomáhá hlavně při opravě, protože tím se sníží počet jednotek, které by mohli být během procesu pájení poškozeny. Nízkoteplotní slitiny umožňují pájení při dvoustranném postupu výroby nebo jednostranném postupu s více technologickými kroky. Pro první přetavení jsou použity SAC pájky a pro další mohou být použity nízkoteplotní pájecí pasty např. z tabulky 1. [2]

Výhody použití:

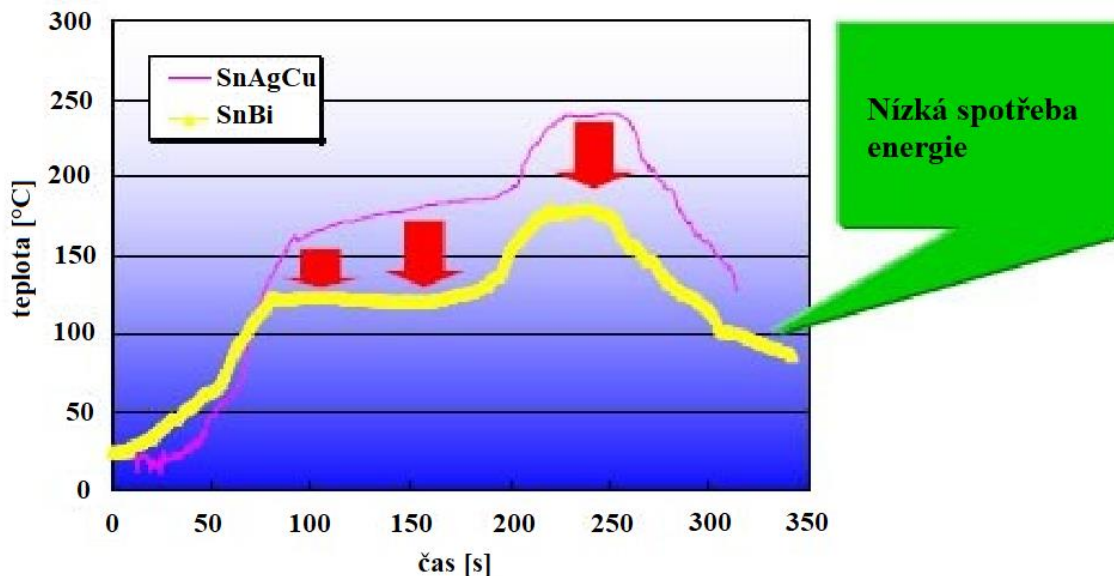
- Umožňuje použití papírových fenolických substrátů, které jsou velice citlivé na teplo. [3]
- Rozpouštědlo tavidla vyprchá i při nízkoteplotním tavení, tudíž nedojde ke snížení izolačního odporu způsobeným nedostatečným odpařováním. [3]
- Nízkoteplotní profil je velice podobný profilu, který vyžívá pájka SAC, tudíž nemusí dojít k příliš velké změně při přechodu na tyto pájecí slitiny. [2]

Nízkoteplotní slitiny jsou vhodné pro domácí spotřebiče i pro jiná zařízení jimiž jsou např. chytré telefony, tablety, výjimkou nejsou základní desky počítačů, síťové servery, automobilové systémy ale také a zdravotnické a vojenské vybavení a další. Požadovaného procesu lze dosáhnout i s použitím stávajícího vybavení. [3]

2.1 Vliv na životní prostředí

Aplikací nízkoteplotních pájecích slitin dojde k úspoře energie díky snížení požadované teploty teplotního zpětného profilu. Při porovnání se systémem SAC305 dojde k přibližnému snížení spotřeby elektrické energie o 40 %. To má za následek snížení emisí CO₂, čímž je pečováno o životní prostředí a jsou zachovány úspory energie. S ohledem na současnou legislativu a na trend zelená planeta je to velký přínos, aby mohl být průmysl více šetrnější k životnímu prostředí. [3]

Na obrázku 1 znázorněný pokles teploty při použití nízkoteplotních pájecí slitiny Sn-Bi, což způsobuje pokles potřebné energie pro přetavení.

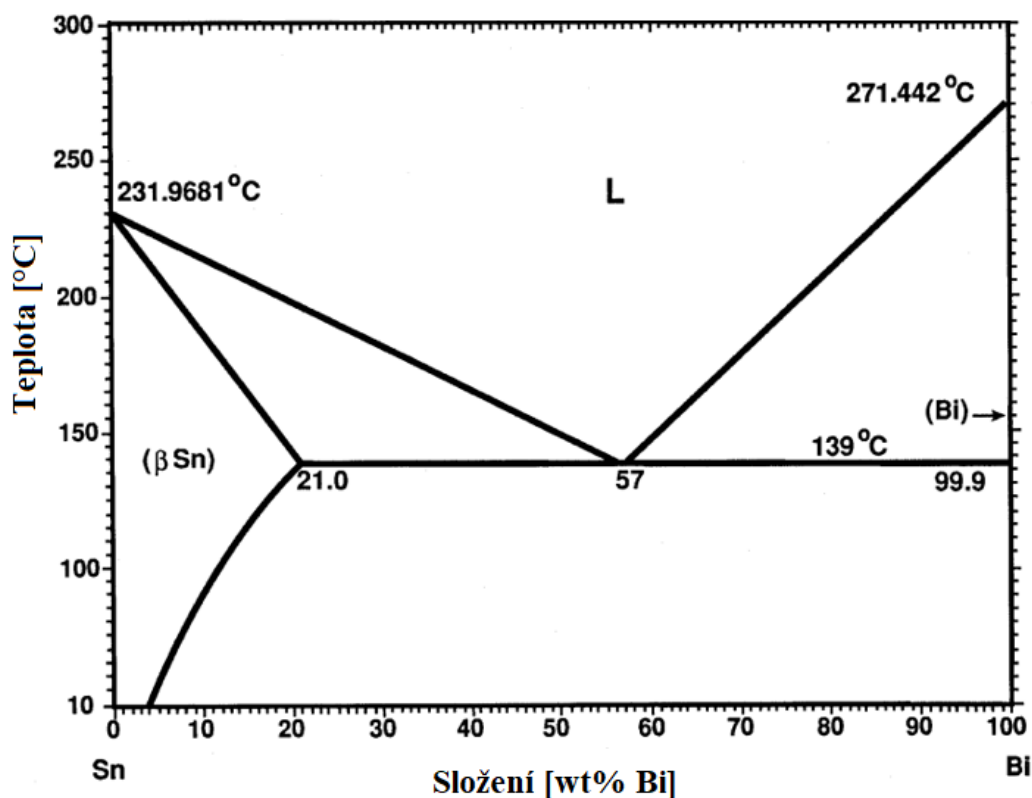


Obrázek 1: Vliv pájecí teploty na energii (převzato z [4])

3 BIZMUTOVÉ NÍZKOTEPLTNÍ PÁJECÍ PASTY

Cílem bylo najít lead-free nízkoteplotní pájecí slitiny, které by vyhovovaly montážnímu průmyslu. Jako nejlepší volba se ukázala slitina s vysokým obsahem bismutu, jehož procentuální obsah se pohybuje mezi 35 % až 60 % z celkové hmotnosti. Byly zkoumány i jiné slitiny s teplotou likvidu pod 200 °C, protože cílem průmyslu je zlepšit produkci bez zvyšování montážní teploty. [2]

Na obrázku 2 lze vidět Sn-Bi fázový diagram, který popisuje procentuální rozložení materiálů ve slitině. Na svislé ose je teplota slitiny a na vodorovné ose je vyneseno hmotnostní poměr kovů tvořících slitinu. Z diagramu vyplývá, že samostatný bismut má teplotu tání 271,44 °C a cín 232 °C. Teplota tání je závislá na hmotnostním poměru kovů. Při složení Sn43-Bi57 je slitina eutektická, tzn. z kapalně fáze tuhne přímo pevně fáze, bez toho, aby tuhnutí procházelo oblastmi, kde je tuhnutí fáze obklopena kapalnou fází. Tohle složení zajišťuje nejvyšší pevnost spoje, elektrickou vodivost i korozní odolnost. [5]



Obrázek 2: SnBi fázový diagram (převzato z [5])

Z pohledu montážního procesu by se dala slitina s vysokým obsahem bismutu použít při vlnovém pájení, tak i technologií povrchové montáže. Problém je v tom, že slitiny s vysokým obsahem bismutu se při chladnutí rozšiřují. Takže při údržbě nebo přerušení

výrobního procesu by mohlo dojít poškození trysek, či čerpadel. [2]

S nižší teplotou přetavení a použitím pájecích slitin s vysokým obsahem bizmutu a jeho sloučenin, je nutné vyvinout taková tavidla, která jsou schopná se vyrovnat s oxidy a sloučeninami kovů na nízké teplotě. Pro no-clean pájecí pasty se používají přírodní kalafuny a syntetická tavidla, protože při přetavení zbytky nijak nevlivní kvality vytvořeného pájeného spoje. V dnešní době si již používají no-clean pasty, ale i takové, jejichž zbytky jsou rozpustitelné ve vodě. [2]

V poslední době umožnily pájecí slitiny s vysokým obsahem bizmutu pájet mikroprocesory s mnohonásobným počtem čipů v jednom pouzdra. Jedná se o pouzdra s tisíci vstupy/výstupy, které jsou náchylné na deformaci během SAC pájení. Deformace může být snížena nebo celkově eliminována použitím past s vysokou spolehlivostí nebo nízkoteplotními slitinami např. HRL. Snížením deformace pouzder snižujeme šanci, že vzniknou určité defekty a tím zvyšujeme kvalitu a produkci. [2]

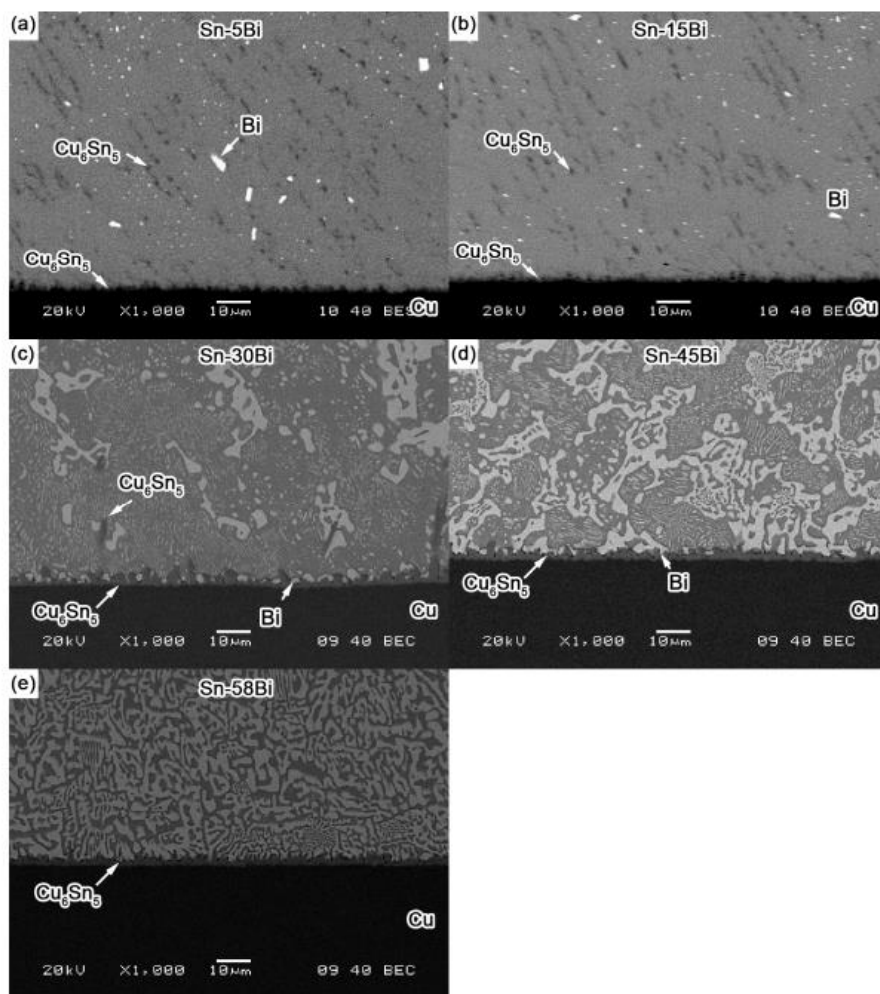
Bizmut se stal jednou z hlavních možností jako snížit teplotu tavení pájky, z finanční stránky, tak i ze stránky toxicity, jelikož je považován za méně jedovatý kov. Bylo zjištěno, že přidáním malého množství bizmutu do slitin vede ke zlepšení smáčivosti. [2]

Eutektické pájky Sn-Bi jsou křehké a mají nízkou odolnost proti mechanickému nárazu. Tento problém lze vyřešit přidáním určitých aditiv, které zvýší pevnost, tažnost, mechanickou spolehlivost. Plastická deformace v atomové mřížce může být řízena mechanismy, jako zpevnění tuhého roztoku nebo zjemnění zrna. Bizmut je schopen jako jeden z mála prvků vytvořit s cínem tuhý roztok. [2]

3.1 Intermetalické sloučeniny SnBi

Vznik intermetalických sloučenin silně závisí na procentuálním obsahu bizmutu ve slitině Sn-Bi. Na základně binárního diagramu slitiny Sn-Bi se může teplota likvidu pájky pohybovat od 232 °C až po 138 °C, což je vlastně eutektický stav slitiny. Tuhý roztok pájky Sn-Bi s obsahem bizmutu pod maximální rozpustnou mez 21 % hmotnosti je potenciální náhradou pájky Sn-Pb37. [7]

Na obrázku 3 lze vidět mikrostrukturu měděné plošky a pájky Sn-Bi s různým obsahem bizmutu. Mezi ploškou a pájkou došlo ke vzniku intermetalických sloučenin. Na obrázku 3a a 3b lze vidět, že došlo ke vzniku sloučeniny Cu_6Sn_5 nezávisle na obsahu bizmutu v pájce. Morfologie vrstvy intermetalických sloučenin ukazuje typický skalpový typ a šířka je přibližně 1 μm . Množství intermetalických vloček Cu_6Sn_5 je při pájce Sn-Bi5 větší jak u pájky Sn-Bi15. V pájeném spoji Sn-Bi30, znázorněný na 3c, tloušťka IMC je o něco větší než u pájených spojů Sn-Bi5 a Sn-Bi15 a IMC vločky jsou jen zřídka pozorovány. Na obrázcích 3d a 3e lze vidět bizmutové lamely obohacené o cín, které vznikly v mikrostruktuře. Nejsou zde pozorovány žádné IMC vločky Cu_6Sn_5 a tloušťka je přibližně 2 μm . [7]



Obrázek 3: Mikrostruktura přechodu ploška/pájka (převzato z [7])

3.2 Pevnost v tahu

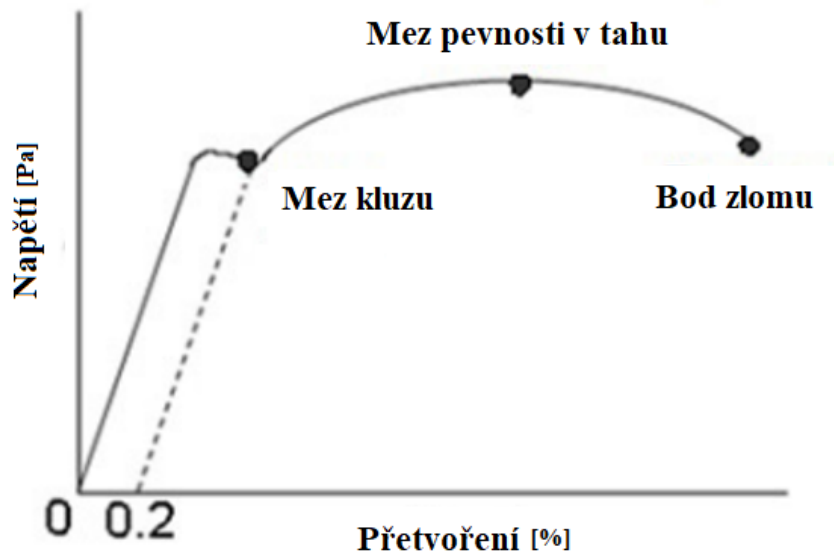
Zkoušky pevnosti v tahu se provádějí relativně snadno a udávají, jak se může materiál deformovat, než dojde ke nevratnému poškození. [2]

Na obrázku 4 lze vidět schématickou křivku získanou během zkoušky tahem. První (lineární) část představuje elastickou deformaci, tj. deformace se po ukončení napětí obnoví. Maximální elastická deformace je označena jako mez kluzu, která je dána 0,2 % z celkové délky. Jakmile materiál překročí tento bod, dojde k nevratné plastické deformaci. Mez pevností v tahu je bod, při jehož překročení dojde k poškození materiálu. [8]

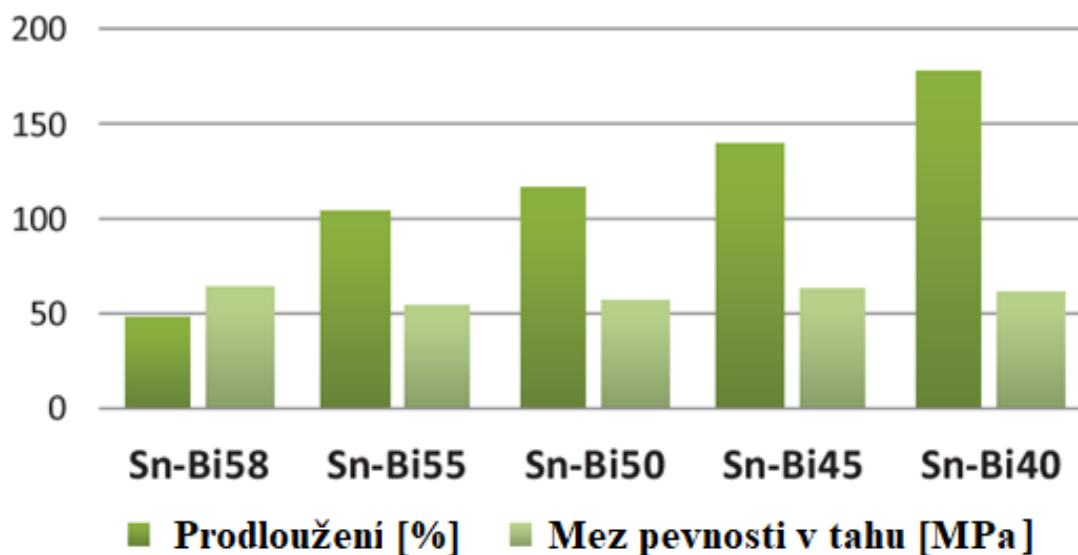
Pokud je koncentrace bizmutu ve slitině nad mezí rozpustnosti cínu, tak ve fázi bohaté na cín dojde ke vzniku bizmutových sraženin. To má následně velký vliv na mechanické vlastnosti výsledné slitiny. [2]

Na obrázku 5 lze vidět mez pevnosti v tahu a prodloužení slitiny Sn-Bi s klesajícím

obsahem bizmutu z 58 % na 40 %. Mez pevnosti není v grafu ukázána, ale její průběh je stejný jako u meze pevnosti v tahu. Podle rychle zvyšujícího prodloužení, je možno říci, že plastická deformace je vysoce závislá na obsahu bizmutu ve slitině. [8]



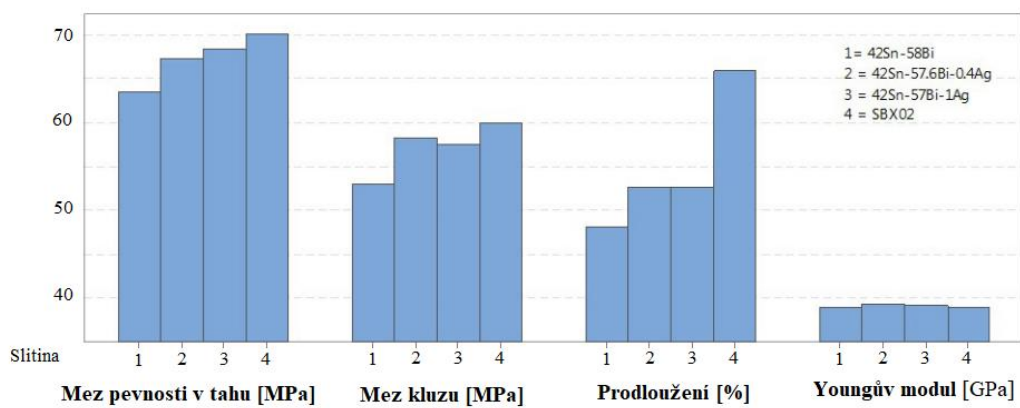
Obrázek 4: Křivka pevnosti v tahu (převzato z [8])



Obrázek 5: Vliv procentuální obsahu Bi na vlastnosti v tahu (převzato z [8])

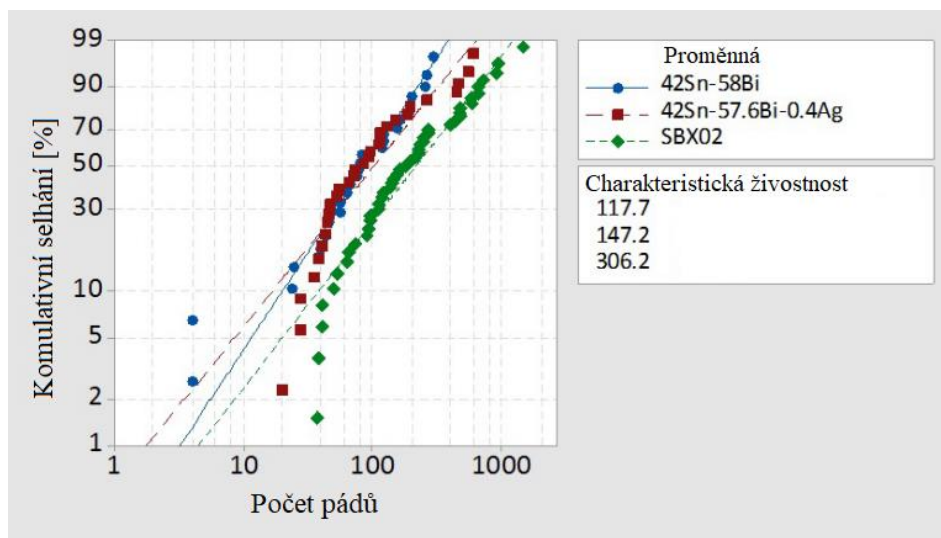
3.3 Vliv aditiv na slitiny, zkouška nárazem

Přidáním malého počtu aditiv např. v řádu 0,1 % z celkové hmotnosti se projeví na mechanických vlastnostech. Na obrázku 6 jsou porovnávány 4 nízkoteplotní slitiny, a to Sn-Bi58, Sn-Bi57,6-Ag0,4, Sn-Bi57-Ag1 a SBX02. Přidáním 0,4 % hmotnosti stříbra do eutektické slitiny dojde ke 6 % zvýšení meze pevnosti v tahu. Zato u 1 % stříbra bude mez pevnosti navýšena o 8 %. Prodloužení a mez pevnosti jsou v rámci směrodatných odchylek, zatímco u slitiny SBX02 došlo k 10 % změně u meze pevnosti v tahu, 14 % u meze pevnosti a 37 % u prodloužení. Všechny tyto hodnoty jsou větší než směrodatné odchylky. Takové zlepšení bylo získáno přidáním aditiv do mikrostruktury a čímž došlo k jejímu zlepšení. [5]



Obrázek 6: Mechanické vlastnosti eutektických SnBi slitin (převzato z [2])

Zlepšené mechanické vlastnosti pájky SBX02 mají také za následek lepší odolnost vůči nárazům. Toho bude dosaženo tím, že bude zesílena intermetalická fáze. [2]



Obrázek 7: Zkoušky nárazem eutektických Sn-Bi slitin (převzato z [2])

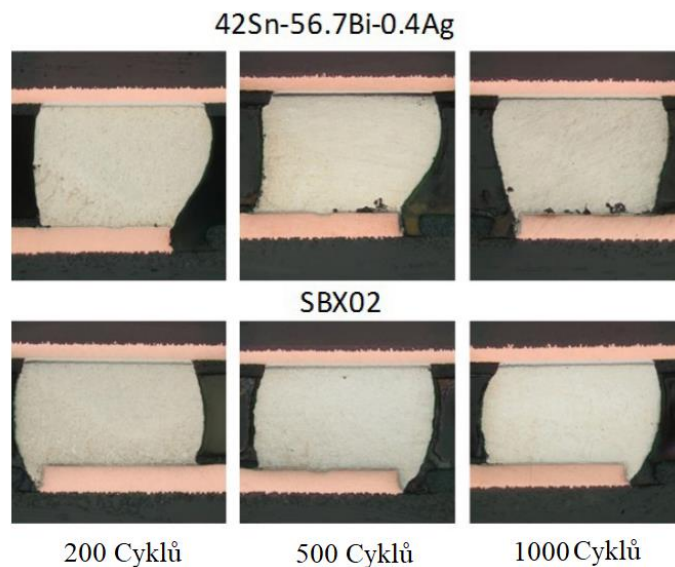
Na obrázku 7 bylo testováno BGA pouzdro zkoušce nárazem, které bylo použito v kapesním elektronickém zařízení. Životnost pájecí slitiny Sn-Bi58 je velmi nízká. Součástka vydržela pouze 118 pádů, než celkové poškození překročilo 95 % kumulace poškození. Přidáním 0,4 % stříbra byla zdokonalena pevnost mikrostruktury a tím byla zlepšena odolnost vůči pádům o 29 na rozdíl od slitiny Sn-Bi58. Struktura slitiny SBX02 poskytuje nejlepší životnost mezi porovnávanými slitinami. Bylo naměřeno 306 pádů což je o 160% lepší životnost než u slitiny Sn-Bi48. [2]

3.4 Teplotní cyklování

V pájeném spoji dochází při přechodu z chladného prostředí do horkého, ke vzniku napětí v důsledku rozdílů koeficientu teplotní roztažnosti (TCE). Rozdílné TCE různých materiálů způsobuje vznik mikrotrhlin a voidů v pájeném spoji. Nejprve dojde k termomechanickému namáhání určitého místa, což vede ke vzniku mikrotrhliny, která se při dalších teplotním cyklování zvětšuje. Dochází k degradaci pevnosti a až trhlina překročí kritickou mez, dojde ke zničení pájeného spoje. Nejčastěji vznikají v mikrostruktuře s křehkou fází, tedy v oblasti intermetalických sloučenin. [9]

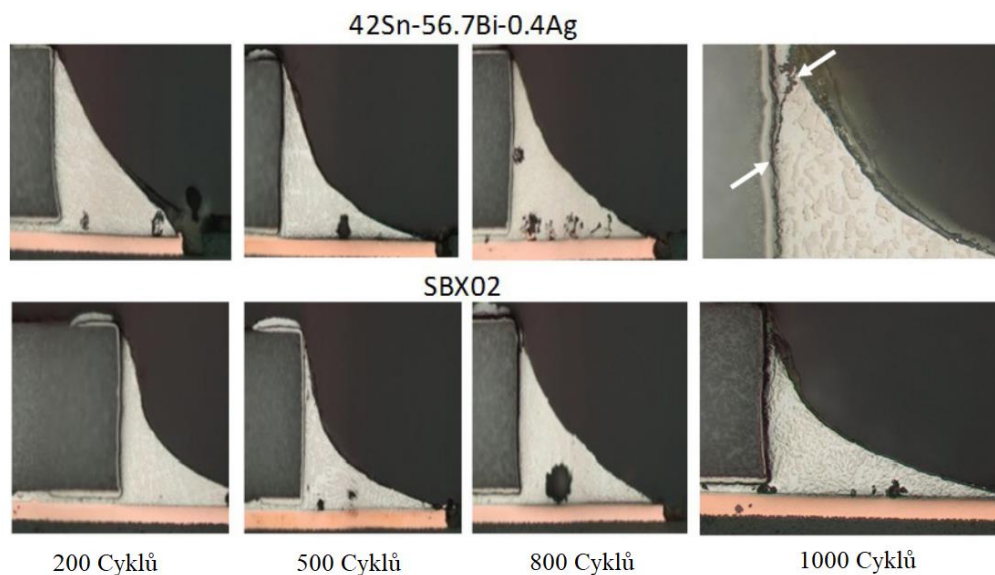
Trhliny a fázová segregace (nerovnoměrné chemické složení) vedou ke změně odporu pájeného spoje. [9]

Mechanická pevnost slitiny je silně ovlivněna tím, jestli se nachází ve studeném nebo teplém prostoru. Podle toho se mění homologní poměr např. pájka SAC305 má homologní poměr při 25 °C 0,6 a při 125 °C 0,8. Z toho plyne, že se může pájka začít pomalu deformovat již při pokojové teplotě, ale její degradace se zvýší až při 125 °C. Slitina Sn-Bi58 má homologní poměr při 85 °C 0,87, tzn pájený spoj má zhoršené mechanické vlastnosti a bude permanentně deformován. Homologní teplota vyjadřuje poměr materiálu jako zlomek jeho teploty vůči teplota tání, při použití Kelvinovy stupnice. Životnosti pájeného spoje se odhaduje pomocí teplotních cyklů. [2]



Obrázek 8: Pájené spoje eutektických pájek BGA pouzdro po teplotním cyklování (převzato z [2])

Na obrázku 8 byly použity pájecí slitiny Sn-Bi56,7-Ag0,4 a SBX02. Byl prováděn test na BGA pouzdra, které se bylo namáháno teplotním cyklováním. Cyklování bylo rozděleno na 200, 500 a 1000 cyklů. Lze vidět, že u pájecí slitiny Sn-Bi56,7-Ag0,4 dochází při 200 cyklech k malým trhlinám. Větší trhliny byly pozorovány až od 500 cyklů, zatímco slitina SBX02 nevykazuje žádné trhliny. [2]



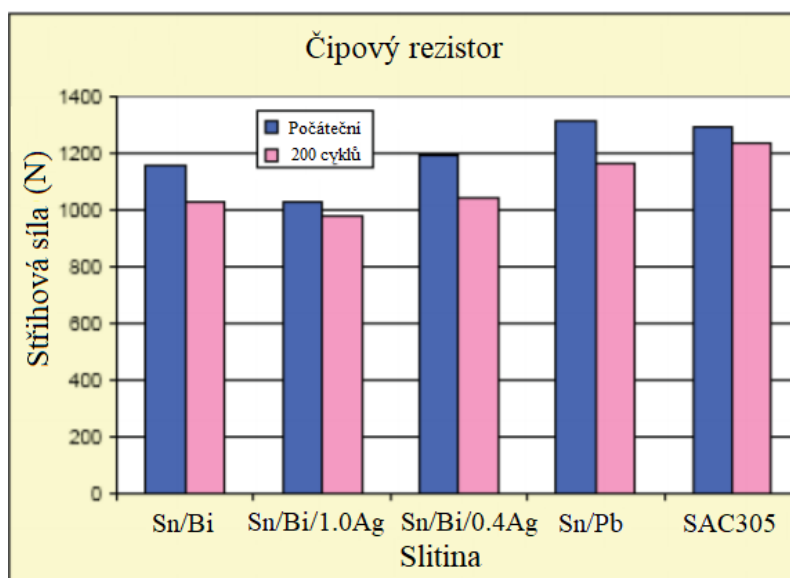
Obrázek 9: Pájené spoje eutektických pájek SMD rezistorů po teplotním cyklování (převzato z [2])

Na rozdíl od BGA pouzdra, kde jsou pájené spoje smíšené (SAC305, SnBi), mají SMD rezistory pájené spoje tvořeny pouze z nízkoteplotních pájecích slitin. Na obrázku 9 jsou průřezy SMD rezistorů po 200, 500, 800 a 1000 cyklech. Obě slitiny vytvořily podobný meniskus. Ve slitině Sn-Bi56,7-Ag0,4 byly pozorovány voidy a praskliny dříve, než v druhé slitině ale ve srovnání s BGA pouzdrům se deformace objevily dříve. U první slitiny lze vidět trhliny již mezi 800-1000 cyklem, zatímco u druhé nebyly pozorovány žádné. [2]

4 MODIFIKOVANÉ PÁJECÍ SLITINY SE ZÁKLADEM SN43BI57

4.1 Vliv stříbra na pájecí slitiny

Sn-Bi-AgX je pájecí slitina se základem v eutektické pájce Sn43-Bi57, do které je přidáno malé množství stříbra. Přidáváním stříbra až do 1 % z celkové hmotnosti nevede ke změně teploty solidu ani likvidu. Avšak přidáním 3 % celkové hmotnosti vede ke snížení teploty na 125 °C, což dokazuje přítomnost sloučenin s nižší teplotou tání. Přidáním stříbra do eutektické pájecí slitiny Sn43-Bi57 vede ke zlepšení mechanických vlastností. Zvýšení obsahu stříbra z 0,4 % na 1 % způsobí vyšší pevnost pájeného spoje ale také menší prodloužení. Porovnání s eutektickou pájecí slitinou, olovenou a také běžně používanou pájecí pastou SAC305, lze vidět na obrázku 10. Do stávající slitiny je možné přidat 3 % obsah india, které minimálně ovlivní mechanické vlastnosti, ale výrazně sníží prodloužení a modul pružnosti. Jak už bylo popsáno v kapitole 3.3 vliv stříbra na pájecí slitinu zlepší celkovou životnost (viz. obrázek 7). [10]

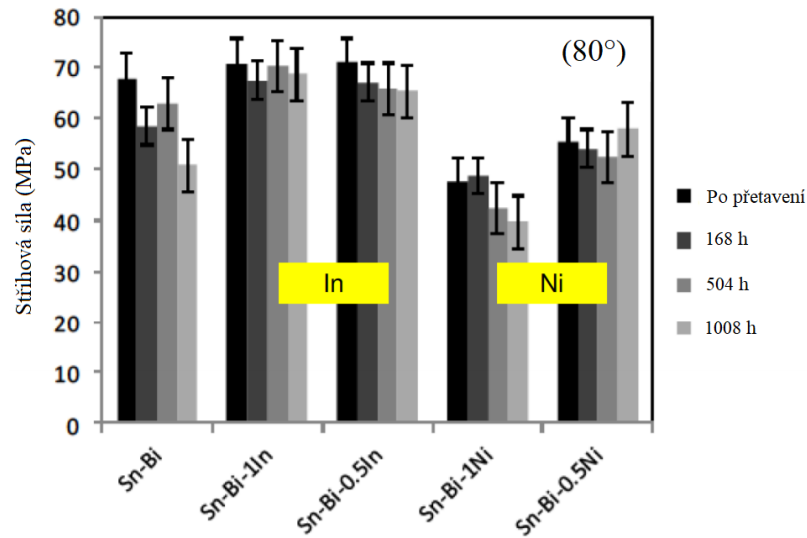


Obrázek 10: Vliv teplotního cyklování -45 °C až 125 °C na pájecí slitiny (převzato z [11])

4.2 Vliv india a niklu na pájecí slitiny

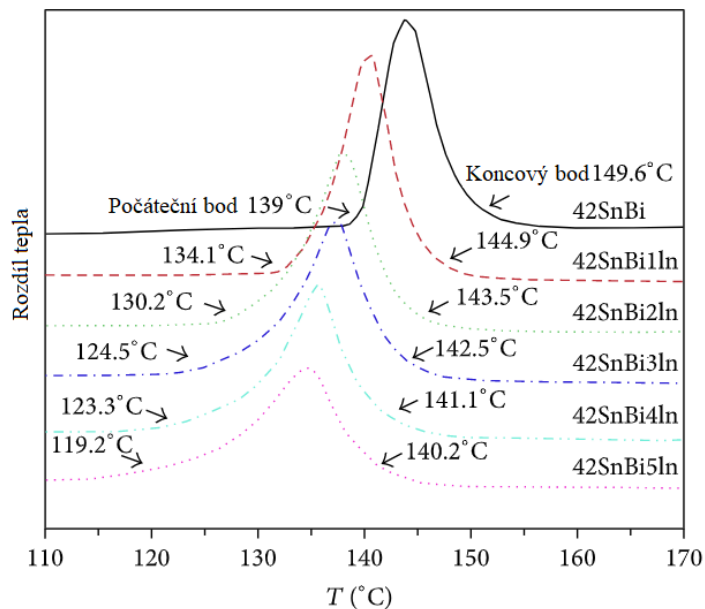
Přidáním malého množství india nebo niklu do eutektické pájecí slitiny Sn43-Bi57 má vliv na růst intermetalických sloučenin v rozhraní pájeného spoje během přetavení a teplotního stárnutí. Příliš malé množství modifikovaných prvků není tak účinné při potlačení růstu intermetalických sloučenin během přetavení, avšak přidáním 0,5 % z celkové hmotnosti výrazně ovlivní růst IMC během teplotního stárnutí. Indium také potlačuje růst krystalů v bizmutové fázi. Aditiva kladně ovlivňují mechanické vlastnosti pájeného spoje. Jak lze vidět na obrázku 11 indium zlepšuje stříhovou sílu v porovnání

s pájkou Sn-Bi, zato nikl ji výrazně sniží. Při porovnání obsahového množství 0,5 % a 1,0 %, nižší množství modifikátorů způsobí menší růst intermetalických vrstvy. [12]



Obrázek 11: Test stříhové síly na pájené spoje po přetavení a během teplotního stárnutí (převzato z [11])

Na obrázku 12 lze vidět vliv india na teplotu přetavení pájecí slitiny. Přidáním 0,5 % celkové hmotnosti do eutektické pájecí slitiny vede k přibližnému poklesu teploty přetavení o 5 °C. Se zvyšujícím obsahem klesnula špičková hodnota teplota o 10 °C. [13]



Obrázek 12: Vliv india na teplotu přetavení pájecí slitiny (převzato z [13])

4.3 Vliv mědi na pájecí slitiny

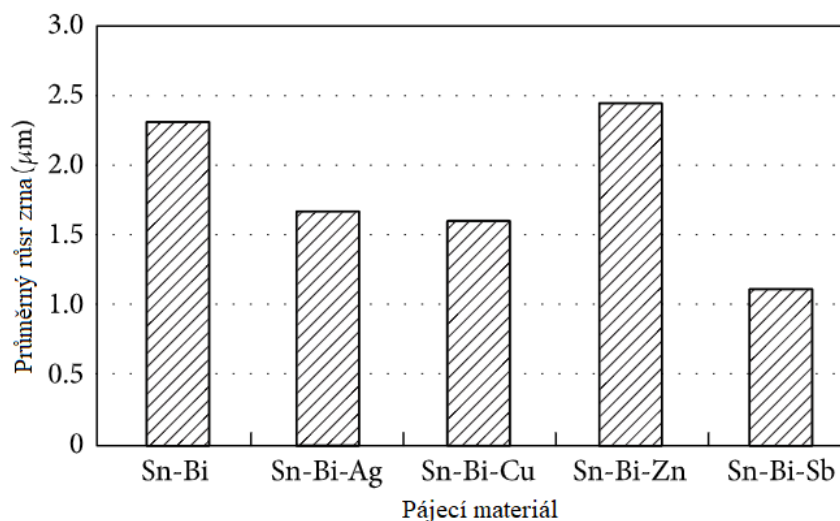
Přidáním mědi do pájecí slitiny by mohlo snížit teplotu přetavení. Měď má pozitivní vliv na mechanické vlastnosti pájeného spoje, kdy zlepšuje pevnost v tahu a zvyšuje hodnotu prodloužení. Při zkoušce tvrdosti podle Vickerse (tzn. vniknutí zkušebního tělesa do zkoumaného materiálu a následné zjišťování míry deformace), způsobí měď zlepšení tvrdosti. Měď zlepšuje odolnost vůči dlouhodobému namáhání. To se nejlépe projevilo při přidání 1 % z celkové hmotnosti. Přidání 0,1 % výrazně zlepší fázi bohatou na bismut, protože měď reaguje s cínem za vzniku Cu_6Sn_5 intermetalické vrstvy a atomů bismutu rozpuštěných v této fázi. [13][14]

4.4 Vliv zinku na pájecí slitiny

Přidání zinku způsobí zvýšení teploty přetavení. V porovnání s eutektickou pájkou Sn-Bi vede přidání 0,7 % Zn ke snížení teploty přetavení z 138 °C na 136,3 °C. Zato při kontaktu s měděným substrátem rostla intermetalická vrstva při stárnutí rapidně. Zinek má negativní vliv na pevnost v tahu a na prodloužení, kdy např. přidáním 0,5 % z celkové hmotnosti způsobilo pokles pevnosti a též i pokles prodloužení. Přidání zinku výrazně potlačí růst Bi fáze, což vede k vyšší odolnosti vůči dlouhodobému namáhání. [13]

4.5 Vliv antimonu na pájecí slitiny

Vliv antimonu na pevnost v tahu je rozdílný podle teploty, ve které se nachází. Přidáním 0,5 % z celkové hmotnosti měl lepší účinek při vyšších teplotách než při nižších. Když je k pájce Sn-Bi přidán prvek Sb, stříhová pevnost kompozitní pájky je nejprve snížena a poté zvýšena se zvyšujícím se obsahem antimonu. Také se zvyšujícím obsahem antimonu postupně roste šířka intermetalické vrstvy. Zato pro růst zrna v mikrostruktuře má velmi dobrý vliv (viz obrázek 13). [13][15]



Obrázek 13: Průměrný růst zrna pro pájecí slitiny (převzato z [13])

5 APLIKACE V ELEKTROTECHNICE A FOTOVOLTAICE

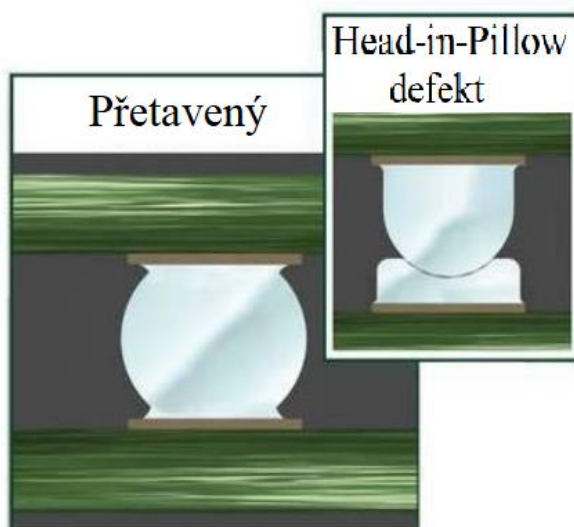
Převážná část solárních panelů, které se používají jsou vyrobeny z krystalického křemíku. Články jsou zapojeny do série a společně tvoří obvod, který generuje elektrickou energii. Články mohou být spojeny mnoha způsoby, nejčastěji je používán měděný pásek potažený konektory, které jsou k sobě spojeny pájecí pastou. Většina solárních modulů používá šířku křemíkového článku v rozsahu 180 μm . Snahou je snížit náklady a tím se zároveň zmenšuje tloušťka článků. Ty jsou však velmi náchylné a může dojít k prasknutí. K tomu může dojít i během montáže, protože pásky a další komponenty mají větší koeficient teplotní roztažnosti než samostatný křemík. Proto je snahou najít takové slitiny, které mají nízký bod přetavení a tím dojde ke snížení rizika, že by mohl článek během pájení prasknout. Na obrázku 14 lze vidět využití solárních panelů. [2]



Obrázek 14: Pole solárních panelů (převzato z [16])

Zvýšená digitalizace a větší konektivita vedly k miniaturizaci a komplexnějším a integrovanějším návrhům v elektronice. A tím, jak se zmenšují desky plošných spojů, mění se také velikost pouzder. Snaha o nalezení konstrukčních řešení pro vyšší výkon nadále roste. Nízkoteplotní pájky jsou v současné době zvažovány pro různé montážní potřeby. Mají potenciál zvýšit dlouhodobou spolehlivost snížením tepelné expozice, snížit celkové náklady na materiály pomocí desky plošných spojů s nízkým T_g a komponentami kompatibilními s nízkou teplotou a její uhlíkovou stopou. U BGA součástek snižují dynamickou deformaci pouzder. Tím dojde ke snížení nebo úplné eliminaci negativního efektu „non-wet open“ to znamená, když pájecí pasta se nedostane do kontaktu s ploškou. Vada se projevuje nesmáčenou ploškou po přetavení. Dojde také ke snížení „head-in-pillow“ defektu, ten je charakterizován tím, že se BGA kulička s pájecí pastou přetaví ale nesloučí se. [17]

Na obrázku 15 je znázorněn „head-in-pillow“ defekt, kdy je levém obrázku je správně přetavený spoj a na pravém lze vidět, že spoje jsou přetaveny ale nedošlo k jejich spojení.



Obrázek 15: Porovnání dobrého pájené spoje s "head-in-pillow" defektem (převzato z [18])

MID (Molded Interconnect Device) je vstříkovaný plast, který obsahuje vodivý vzor a propojuje jak mechanické funkce, tak i elektrické (viz obrázek 16). Měděné cesty jsou leptány na povrch plastové části a vytváří cesty a plošky, které mohou pojmout elektrické komponenty. MID je používáno při od lékářství po automobilový průmysl a také v telefonech a tabletech. Výhodou použijí je eliminace velkého množství kabeláže nebo šetření místa např. u telefonních může být anténa spojena s mechanickým krytem což nám ušetří místo na desce plošných spoje, a dokonce to zlepší i funkci antény. [19]

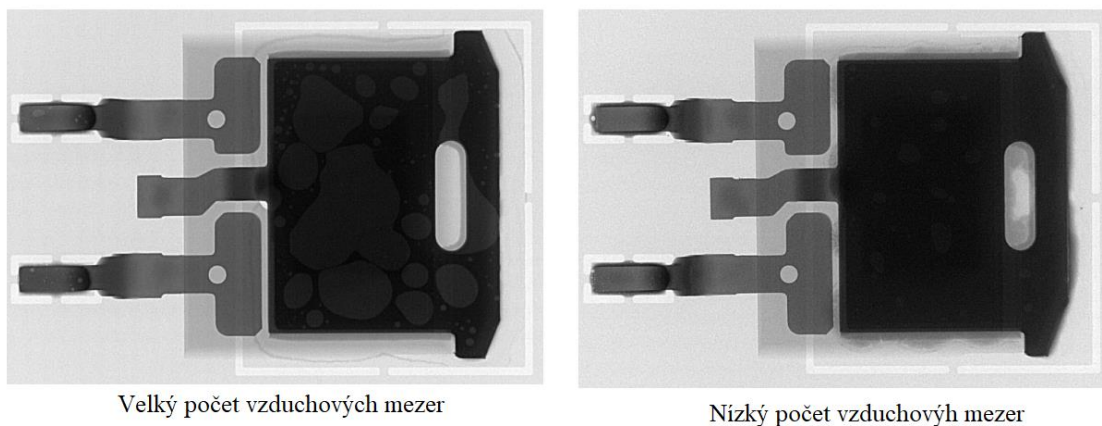


Obrázek 16: Ukázka použití MID (převzato z [19])

Vytváření vzduchových mezer pod součástkami s velkou pájecí plochou nebo

nízkou výškou jako jsou součástky DPAK. Tyto vzduchové kapsy mohou snížit mechanickou pevnost a také elektrickou a tepelnou vodivost. Použitím nízkoteplotních bezolovnatých pájecích slitin lze snížit na méně než 10 %. [20]

Na obrázku 17 lze vidět, jak použití nízkoteplotních pájecích slitin ovlivní vzduchové mezero pod součástkami.



Obrázek 17: Porovnání pouzder s vysokých a nízkých obsahem vzduchových mezer (převzato z [20])

6 PRAKTICKÁ ČÁST

6.1 Měření testovacích vzorků

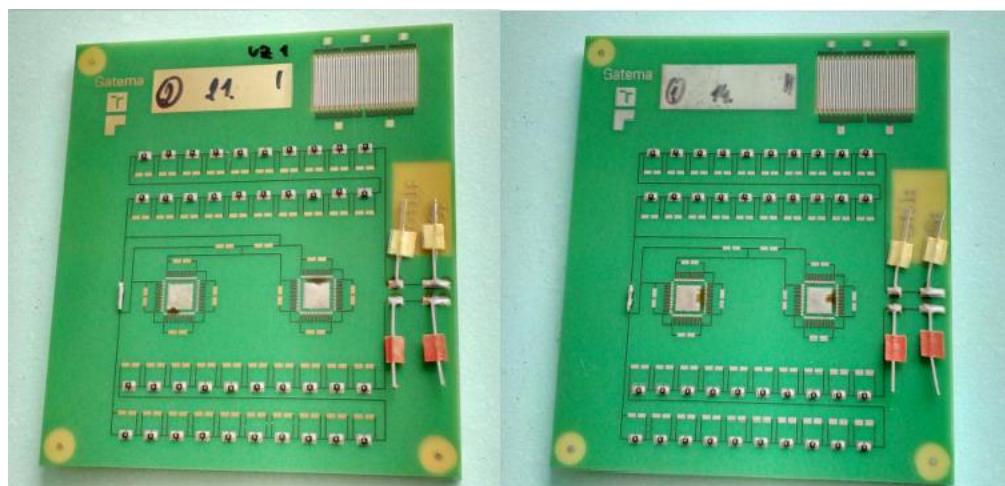
Pro měření bylo vyrobeno 62 testovacích desek. Při výrobě byly použity 3 typy pájecích past s rozdílným množstvím bizmutu. Na první polovinu desek byla použita povrchová úprava ENIG a na druhou polovinu byla použita povrchová úprava imerzní cín. Měřené vzorky byly rozděleny do čtyřech skupin, podle toho, v jaké teplotě budou uchovávány. V každé uchovávané teplotě jsou všechny čtyři použité pájecí pasty po dvou kusech pro každou povrchovou úpravu. Na obrázku 18 jsou znázorněny měřené vzorky po každou povrchovou úpravu.

Testovací teploty jsou $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$. K dosažení $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ byl použit mrazicí box Elcold 130L, ve kterém bylo uloženo čtrnáct pracovních vzorků po dobu čtrnácti dní. K dosažení $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ byl použit Sterilizátor Chirana, ve kterém bylo uloženo šestnáct pracovních vzorků na čtrnáct dní. Šestnáct vzorků bylo na pokojové teplotě a posledních šestnáct vzorků bylo uloženo v teplotní skříni Friocell 66R, ve které byly vystaveny teplotnímu cyklování $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu čtrnácti dní. Na obrázku 19a, 19b, 19c jsou znázorněny použité přístroje při měření.

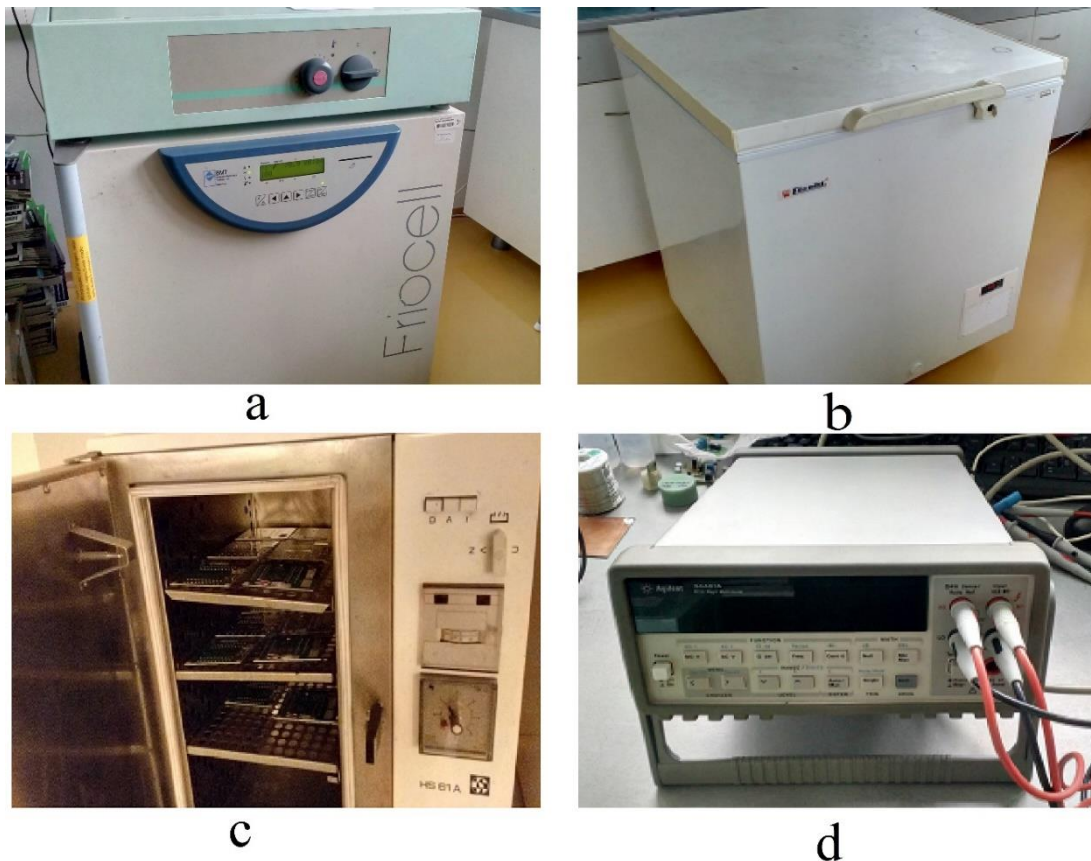
Pro měření byly stanoveny teplotní podmínky pro všechny vzorky. Před každým měřením byly vzorky temperovány při teplotě $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 30 min a následně pomocí multimetru Agilent 34401A byl změřen každý vzorek zvlášť. Na obrázku 19d je znázorněn měřicí přístroj.

Použité pájecí pasty a jejich složení

- | | |
|-------------------------|----------------|
| • PF734-PQ10 (vzorek 1) | SnBi40AgX |
| • PF735-PQ10 (vzorek 2) | SnBi57AgX |
| • PF743-PQ10 (vzorek 3) | SnBi48AgX |
| • SAC305 (vzorek 4) | Sn96,5Ag3Cu0,5 |



Obrázek 18: Měřené vzorky s povrchovou úpravou ENIG a imerzní cín

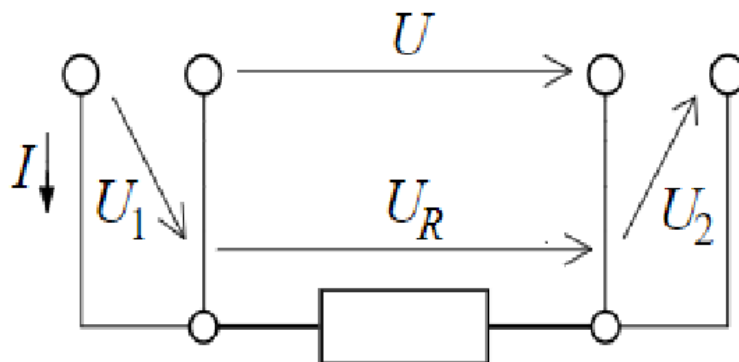


Obrázek 19: Použité přístroje při měření (a v teplotní skříni Friocell 66R, b mrazící box Elcold 130L, c Sterilizátor Chirana, d multimetr Agilent 34401A)

6.2 Měřicí metoda

Způsob měření elektrického odporu závisí na jeho velikosti. Podle ní určíme, jaká metoda bude použita. Buď bude použito dvou vodičová nebo čtyřvodičová měřicí metoda. Čtyřvodičové zapojení je použito při měření velmi malých odporů, kdy měřená hodnota odporu je srovnatelná s odporem přívodních vodičů a přechodových svorek. Úbytek napětí je na svorkách a přívodních vodičích totožný s úbytkem na měřeném odporu. Měřicí zařízení, které umožňuje čtyřvodičové zapojení je tvořeno oddělenými napěťovými proudovými svorkami. To umožní připojení napěťových svorek co nejbližší k měřené zátěži a dojde k eliminaci parazitních odporů.[21]

Na obrázku 20 je znázorněno čtyřvodičové měření odporu. Na bližších svorkách (napěťových) je měřeno napětí jen na zátěži, tím dojde k eliminaci úbytku napětí na přívodních vodičích U_1 , U_2 . Vzdálenější svorky jsou proudové.



Obrázek 20: Čtyřvodičové měření odporu (převzato z [21])

6.3 Referenční hodnoty

V následujících tabulkách jsou naměřené hodnoty a rozdělené podle použité pájecí pasty a povrchové úpravy. Všechna měření proběhla v teplotní skříni Friocell 66R při teplotě 40 °C. Po skončení byly všechny vzorky rozmístěny do patřičných teplot a podstoupeny dalšímu teplotnímu stárnutí.

V tabulce 2 jsou znázorněny referenční hodnoty pro pájecí pastu PF734-PQ10, na kterou byla použita povrchová úprava ENIG.

Tabulka 2: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF734-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG

umístění	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	odpor [Ω]
Sterilizátor	17	ENIG	I.	0,926
			II.	1,818
Sterilizátor	18	ENIG	I.	1,836
			II.	1,843
Mrazicí box	19	ENIG	I.	0,927
			II.	1,768
Mrazicí box	20	ENIG	I.	1,816
			II.	1,794
Friocell	21	ENIG	I.	1,875
			II.	1,880
Friocell	22	ENIG	I.	0,920
			II.	1,755
Pokožová teplota	23	ENIG	I.	0,953
			II.	1,795
Pokožová teplota	24	ENIG	I.	1,822
			II.	1,825

V tabulce 3 jsou znázorněny referenční hodnoty pro pájecí pastu PF734-PQ10, na kterou byla použita povrchová úprava imerzní cín.

Tabulka 3: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF734-PQ10 s povrchovou úpravou imerzní cín

umístění	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	odpor [Ω]
Sterilizátor	17	IMERZNÍ CÍN	I.	0,927
			II.	1,770
Sterilizátor	18	IMERZNÍ CÍN	I.	1,743
			II.	1,722
Mrazicí box	19	IMERZNÍ CÍN	I.	0,884
			II.	1,683
Mrazicí box	20	IMERZNÍ CÍN	I.	1,697
			II.	1,700
Friocell	21	IMERZNÍ CÍN	I.	1,727
			II.	1,781
Friocell	22	IMERZNÍ CÍN	I.	0,906
			II.	1,786
Pokožová teplota	23	IMERZNÍ CÍN	I.	0,902
			II.	1,753
Pokožová teplota	24	IMERZNÍ CÍN	I.	1,736
			II.	1,725

V tabulce 4 jsou znázorněny referenční hodnoty pro pájecí pastu PF743-PQ10, na kterou byla použita povrchová úprava ENIG.

Tabulka 4: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF743-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG

umístění	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	odpor [Ω]
Sterilizátor	9	ENIG	I.	1,732
			II.	1,750
Sterilizátor	12	ENIG	I.	0,926
			II.	1,745
Mrazicí box	10	ENIG	I.	0,890
			II.	1,758
Mrazicí box	11	ENIG	I.	1,705
			II.	1,748
Friocell	13	ENIG	I.	0,917
			II.	1,710
Friocell	14	ENIG	I.	1,774
			II.	1,744
Pokožová teplota	15	ENIG	I.	0,895
			II.	0,890
Pokožová teplota	16	ENIG	I.	1,743
			II.	1,748

V tabulce 5 jsou znázorněny referenční hodnoty pro pájecí pastu PF743-PQ10, na kterou byla použita povrchová úprava imerzní cín.

Tabulka 5: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF743-PQ10 s povrchovou úpravou imerzní cín

umístění	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	odpor [Ω]
Sterilizátor	9	IMERZNÍ CÍN	I.	0,908
			II.	1,720
Sterilizátor	12	IMERZNÍ CÍN	I.	1,860
			II.	1,837
Mrazicí box	10	IMERZNÍ CÍN	I.	0,942
			II.	1,826
Mrazicí box	11	IMERZNÍ CÍN	I.	1,813
			II.	1,825
Friocell	13	IMERZNÍ CÍN	I.	0,923
			II.	1,764
Friocell	14	IMERZNÍ CÍN	I.	1,744
			II.	1,753
Pokojová teplota	15	IMERZNÍ CÍN	I.	1,779
			II.	1,809
Pokojová teplota	16	IMERZNÍ CÍN	I.	0,889
			II.	1,734

V tabulce 6 jsou znázorněny referenční hodnoty pro pájecí pastu PF735-PQ10, na kterou byla použita povrchová úprava ENIG.

Tabulka 6: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF735-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG

umístění	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	odpor [Ω]
Sterilizátor	3	ENIG	I.	1,744
			II.	1,812
Sterilizátor	4	ENIG	I.	0,937
			II.	1,810
Mrazicí box	1	ENIG	I.	1,813
			II.	1,804
Mrazicí box	2	ENIG	I.	0,951
			II.	1,825
Friocell	5	ENIG	I.	0,946
			II.	0,949
Friocell	6	ENIG	I.	1,818
			II.	1,856
Pokojová teplota	7	ENIG	I.	1,738
			II.	1,768
Pokojová teplota	8	ENIG	I.	0,922
			II.	1,802

V tabulce 7 jsou znázorněny referenční hodnoty pro pájecí pastu PF735-PQ10, na kterou byla použita povrchová úprava imerzní cín.

Tabulka 7: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF735-PQ10 s povrchovou úpravou imerzní cín

umístění	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	odpor [Ω]
Sterilizátor	3	IMERZNÍ CÍN	I.	0,948
			II.	1,822
Sterilizátor	4	IMERZNÍ CÍN	I.	1,802
			II.	1,850
Mrazicí box	1	IMERZNÍ CÍN	I.	0,889
			II.	1,783
Mrazicí box	2	IMERZNÍ CÍN	I.	1,700
			II.	1,751
Friocell	5	IMERZNÍ CÍN	I.	0,915
			II.	1,756
Friocell	6	IMERZNÍ CÍN	I.	1,796
			II.	1,803
Pokojová teplota	7	IMERZNÍ CÍN	I.	1,674
			II.	1,725
Pokojová teplota	8	IMERZNÍ CÍN	I.	0,933
			II.	1,816

V tabulce 8 jsou znázorněny referenční hodnoty pro pájecí pastu SAC305 a PF735-PQ10 na kterou byly použity povrchová úprava ENIG.

Tabulka 8: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu SAC305 a PF735-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG

umístění	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	použitá pasta	odpor [Ω]
Sterilizátor	26	ENIG	I.	SAC305	0,929
			II.	PF735-PQ10	0,997
Sterilizátor	27	ENIG	I.	SAC305	1,819
			II.	PF735-PQ10	1,941
Mrazicí box	25	ENIG	I.	SAC305	0,897
			II.	PF735-PQ10	0,922
Friocell	28	ENIG	I.	SAC305	0,940
			II.	PF735-PQ10	0,982
Friocell	29	ENIG	I.	SAC305	1,740
			II.	PF735-PQ10	1,798
Pokojová teplota	30	ENIG	I.	SAC305	1,736
			II.	PF735-PQ10	1,868
Pokojová teplota	31	ENIG	I.	SAC305	0,880
			II.	PF735-PQ10	0,908

V tabulce 9 jsou znázorněny referenční hodnoty pro pájecí pastu SAC305, na kterou byla použita povrchová úprava imerzní cín.

Tabulka 9: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu SAC305 s povrchovou úpravou imerzní cín

umístění	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	odpor [Ω]
Sterilizátor	26	IMERZNÍ CÍN	I.	0,882
Sterilizátor	27	IMERZNÍ CÍN	I.	1,682
Mrazicí box	25	IMERZNÍ CÍN	I.	0,880
Friocell	28	IMERZNÍ CÍN	I.	1,717
Friocell	29	IMERZNÍ CÍN	I.	0,891
Pokožová teplota	30	IMERZNÍ CÍN	I.	1,682
Pokožová teplota	31	IMERZNÍ CÍN	I.	0,881

6.4 Měření po 14 dnech stárnutí

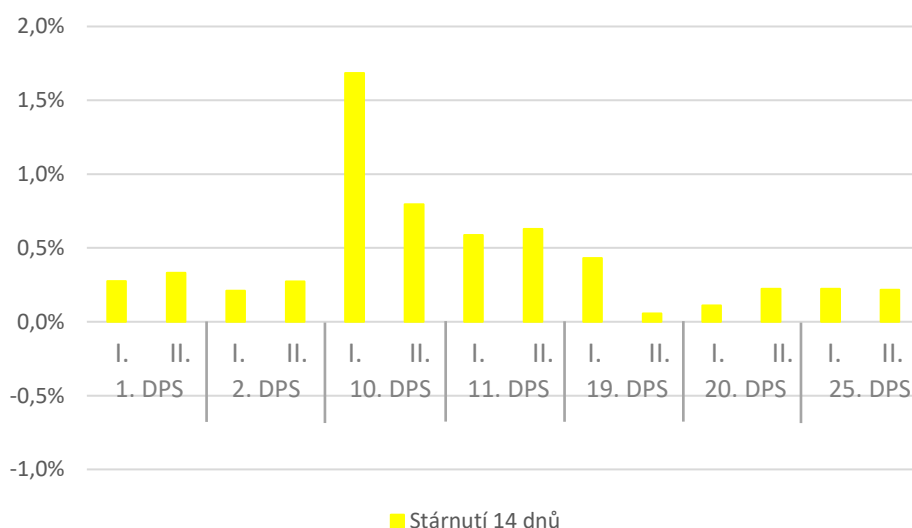
V následujících tabulkách jsou naměřené hodnoty odporů po 14 dnech stárnutí a porovnány s referenčními. Vzorky jsou rozdělené podle povrchové úpravy a místa, ve kterém byly uloženy. Všechna měření proběhla v teplotní skříni Friocell 66R při teplotě 40 °C. Po skončení byly všechny vzorky rozmístěny do patřičných teplot a podstoupeny dalšímu teplotnímu stárnutí.

V tabulce 10 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 14 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v mrazícím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 10: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG

Mrazící box					
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	1	ENIG	I.	1,813	1,818
			II.	1,804	1,810
PF735-PQ10	2	ENIG	I.	0,951	0,953
			II.	1,825	1,830
PF743-PQ10	10	ENIG	I.	0,890	0,905
			II.	1,758	1,772
PF743-PQ10	11	ENIG	I.	1,705	1,715
			II.	1,748	1,759
PF734-PQ10	19	ENIG	I.	0,927	0,931
			II.	1,768	1,769
PF734-PQ10	20	ENIG	I.	1,816	1,818
			II.	1,794	1,798
SAC305	25	ENIG	I.	0,897	0,899
PF735-PQ10			II.	0,922	0,924

V grafu 1 je znázorněna procentuální změna odporu po 14 dnech vůči referenční hodnotě.



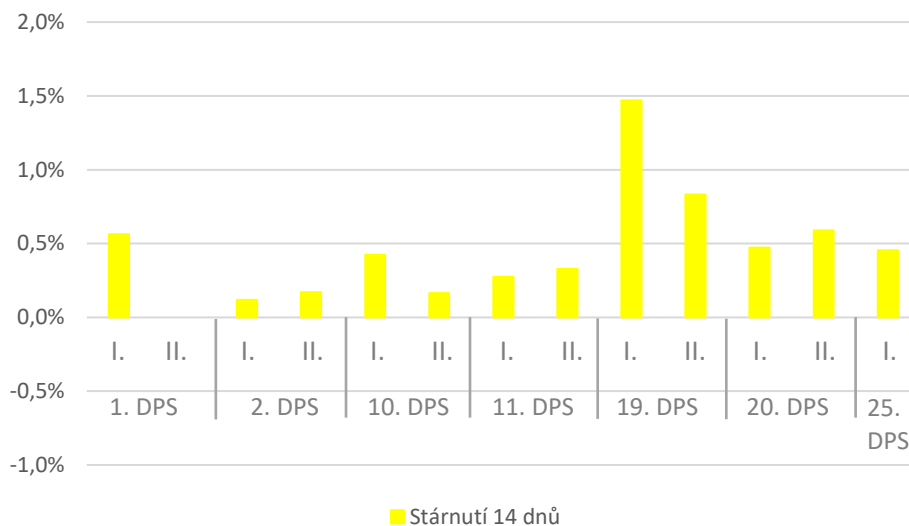
Graf 1: Procentuální změna odporu po 14 dnech v mrazícím boxu, povrchová úprava ENIG

V tabulce 11 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 14 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v mrazícím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 11: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie imerzní cín

Mrazící box					
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	1	IMERZNÍ CÍN	I.	0,889	0,894
			II.	1,783	1,783
PF735-PQ10	2	IMERZNÍ CÍN	I.	1,700	1,702
			II.	1,751	1,754
PF743-PQ10	10	IMERZNÍ CÍN	I.	0,942	0,946
			II.	1,826	1,829
PF743-PQ10	11	IMERZNÍ CÍN	I.	1,813	1,818
			II.	1,825	1,831
PF734-PQ10	19	IMERZNÍ CÍN	I.	0,884	0,897
			II.	1,683	1,697
PF734-PQ10	20	IMERZNÍ CÍN	I.	1,697	1,705
			II.	1,700	1,710
SAC305	25	IMERZNÍ CÍN	I.	0,880	0,884

V grafu 2 je znázorněna procentuální změna odporu po 14 dnech vůči referenční hodnotě.



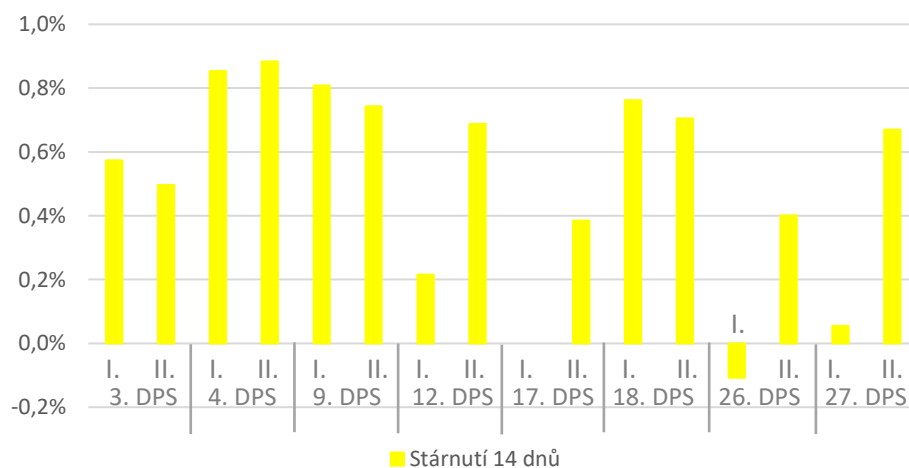
Graf 2: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 12 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 14 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny ve sterilizátoru. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 12: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie ENIG

Sterilizátor					
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	3	ENIG	I.	1,744	1,754
			II.	1,812	1,821
PF735-PQ10	4	ENIG	I.	0,937	0,945
			II.	1,810	1,826
PF743-PQ10	9	ENIG	I.	1,732	1,746
			II.	1,750	1,763
PF743-PQ10	12	ENIG	I.	0,926	0,928
			II.	1,745	1,757
PF734-PQ10	17	ENIG	I.	0,926	0,926
			II.	1,818	1,825
PF734-PQ10	18	ENIG	I.	1,836	1,850
			II.	1,843	1,856
SAC305	26	ENIG	I.	0,929	0,928
PF735-PQ10			II.	0,997	1,001
SAC305	27	ENIG	I.	1,819	1,820
PF735-PQ10			II.	1,941	1,954

V grafu 3 je znázorněna procentuální změna odporu po 14 dnech vůči referenční hodnotě.



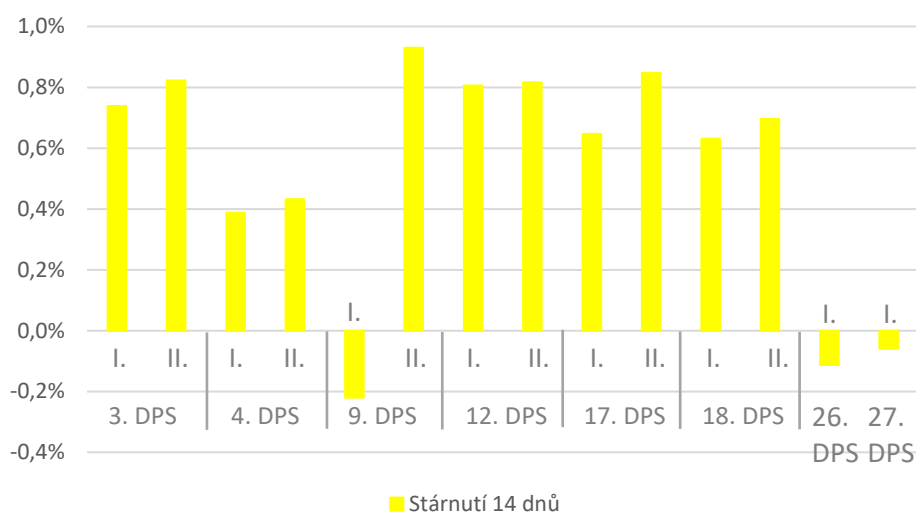
Graf 3: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava ENIG

V tabulce 13 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 14 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny ve sterilizátoru. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 13: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie imerzní cín

Sterilizátor					
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	3	IMERZNÍ CÍN	I.	0,948	0,955
			II.	1,822	1,837
PF735-PQ10	4	IMERZNÍ CÍN	I.	1,802	1,809
			II.	1,850	1,858
PF743-PQ10	9	IMERZNÍ CÍN	I.	0,908	0,906
			II.	1,720	1,736
PF743-PQ10	12	IMERZNÍ CÍN	I.	1,860	1,875
			II.	1,837	1,852
PF734-PQ10	17	IMERZNÍ CÍN	I.	0,927	0,933
			II.	1,770	1,785
PF734-PQ10	18	IMERZNÍ CÍN	I.	1,743	1,754
			II.	1,722	1,734
SAC305	26	IMERZNÍ CÍN	I.	0,882	0,881
SAC305	27	IMERZNÍ CÍN	I.	1,682	1,681

V grafu 4 je znázorněna procentuální změna odporu po 14 dnech vůči referenční hodnotě.



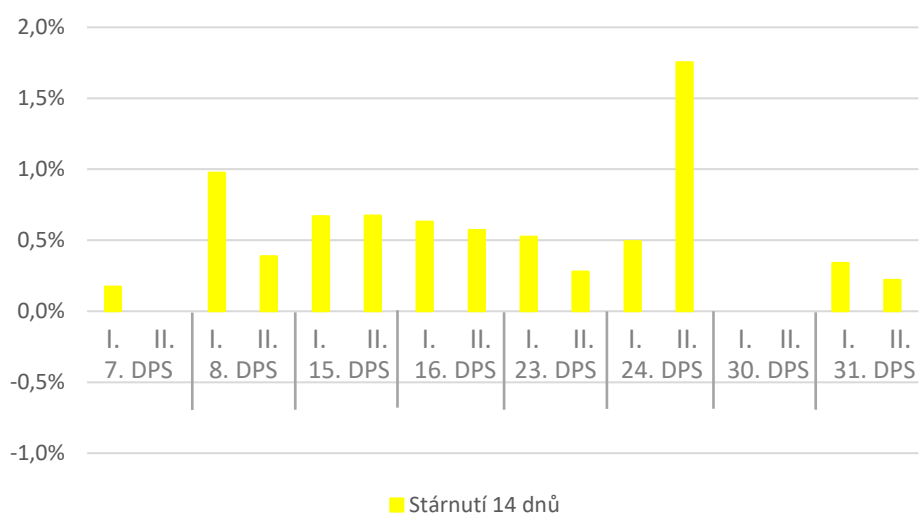
Graf 4: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 14 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 14 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 14: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v pokojové teplotě (23 °C), povrchová technologie ENIG

Pokojová teplota					
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	7	ENIG	I.	1,738	1,741
			II.	1,768	1,768
PF735-PQ10	8	ENIG	I.	0,922	0,931
			II.	1,802	1,809
PF743-PQ10	15	ENIG	I.	0,895	0,901
			II.	0,890	0,896
PF743-PQ10	16	ENIG	I.	1,743	1,754
			II.	1,748	1,758
PF734-PQ10	23	ENIG	I.	0,953	0,958
			II.	1,795	1,800
PF734-PQ10	24	ENIG	I.	1,822	1,831
			II.	1,825	1,857
SAC305	30	ENIG	I.	1,736	1,736
PF735-PQ10			II.	1,868	1,868
SAC305	31	ENIG	I.	0,880	0,883
PF735-PQ10			II.	0,908	0,910

V grafu 5 je znázorněna procentuální změna odporu po 14 dnech vůči referenční hodnotě.



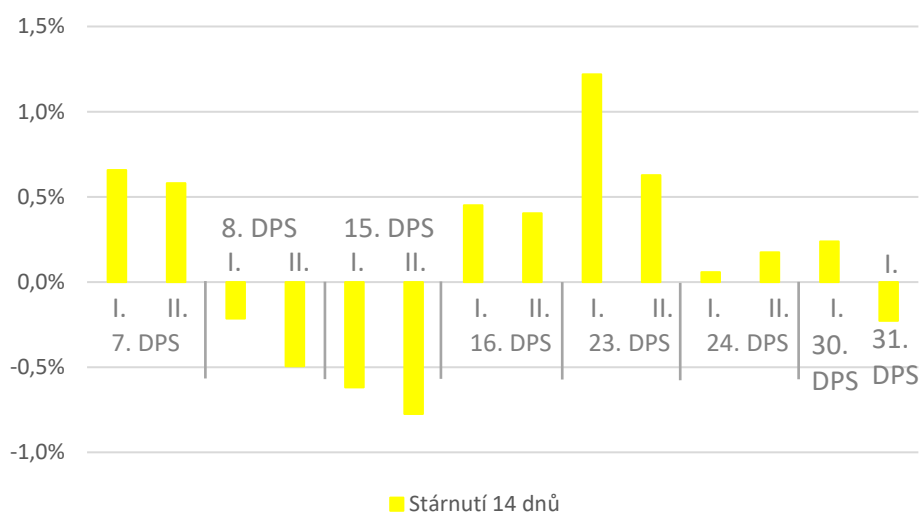
Graf 5: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG

V tabulce 15 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 14 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 15: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v pokojové teplotě (23 °C), povrchová technologie imerzní cín

Pokojová teplota					
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	7	IMERZNÍ CÍN	I.	1,674	1,685
			II.	1,725	1,735
PF735-PQ10	8	IMERZNÍ CÍN	I.	0,933	0,931
			II.	1,816	1,807
PF743-PQ10	15	IMERZNÍ CÍN	I.	1,779	1,768
			II.	1,809	1,795
PF743-PQ10	16	IMERZNÍ CÍN	I.	0,889	0,893
			II.	1,734	1,741
PF734-PQ10	23	IMERZNÍ CÍN	I.	0,902	0,913
			II.	1,753	1,764
PF734-PQ10	24	IMERZNÍ CÍN	I.	1,736	1,737
			II.	1,725	1,728
SAC305	30	IMERZNÍ CÍN	I.	1,682	1,686
SAC305	31	IMERZNÍ CÍN	I.	0,881	0,879

V grafu 6 je znázorněna procentuální změna odporu po 14 dnech vůči referenční hodnotě.



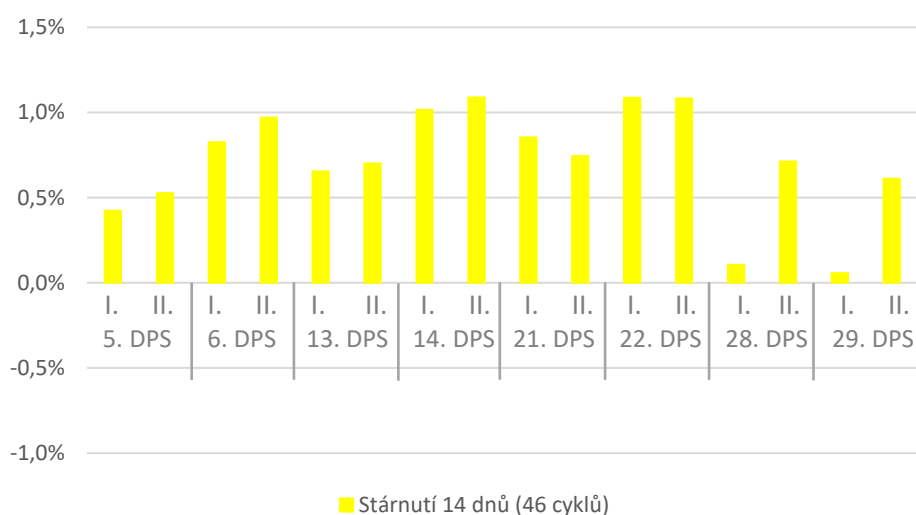
Graf 6: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 16 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 14 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 16: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG

Teplotní skříň Friocell					
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	5	ENIG	I.	0,946	0,950
			II.	0,949	0,954
PF735-PQ10	6	ENIG	I.	1,818	1,833
			II.	1,856	1,874
PF743-PQ10	13	ENIG	I.	0,917	0,923
			II.	1,710	1,722
PF743-PQ10	14	ENIG	I.	1,774	1,792
			II.	1,744	1,763
PF734-PQ10	21	ENIG	I.	1,875	1,891
			II.	1,880	1,894
PF734-PQ10	22	ENIG	I.	0,920	0,93
			II.	1,755	1,774
SAC305	28	ENIG	I.	0,940	0,941
PF735-PQ10			II.	0,982	0,989
SAC305	29	ENIG	I.	1,740	1,741
PF735-PQ10			II.	1,798	1,809

V grafu 7 je znázorněna procentuální změna odporu po 14 dnech vůči referenční hodnotě.



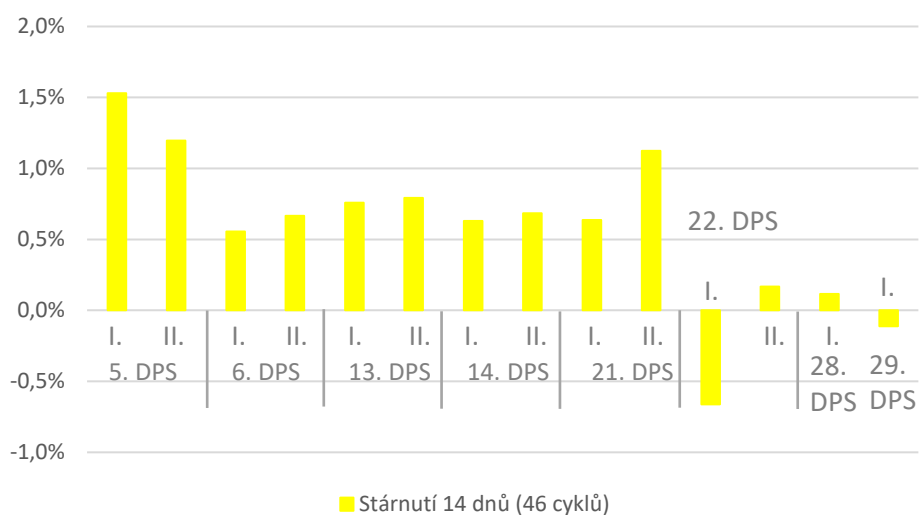
Graf 7: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG

V tabulce 17 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 14 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 17: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín

Teplotní skříň Friocell					
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	5	IMERZNÍ CÍN	I.	0,915	0,929
			II.	1,756	1,777
PF735-PQ10	6	IMERZNÍ CÍN	I.	1,796	1,806
			II.	1,803	1,815
PF743-PQ10	13	IMERZNÍ CÍN	I.	0,923	0,93
			II.	1,764	1,778
PF743-PQ10	14	IMERZNÍ CÍN	I.	1,744	1,755
			II.	1,753	1,765
PF734-PQ10	21	IMERZNÍ CÍN	I.	1,727	1,738
			II.	1,781	1,801
PF734-PQ10	22	IMERZNÍ CÍN	I.	0,906	0,900
			II.	1,786	1,789
SAC305	28	IMERZNÍ CÍN	I.	1,717	1,719
SAC305	29	IMERZNÍ CÍN	I.	0,891	0,890

V grafu 8 je znázorněna procentuální změna odporu po 14 dnech vůči referenční hodnotě.



Graf 8: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín

6.4.1 Vyhodnocení výsledků po 12 dnech stárnutí

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,43 %.
- Největší změna byla 1,69 % na DPS č. 10, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,06 % na DPS č. 19, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,45 %.
- Největší změna byla 1,47 % na DPS č. 19, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 1, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu ve sterilizátoru pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,51 %.
- Největší změna byla 0,88 % na DPS č. 4, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 17, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.

Naměřené změny odporu ve sterilizátoru pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,53 %.
- Největší změna byla 0,93 % na DPS č. 9, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla -0,06 % na DPS č. 27, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,48 %.
- Největší změna byla 1,75 % na DPS č. 24, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 26, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 30, kde na I průchod pecí byla použita pájecí pasta SAC305 a na druhý průchod pecí PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,15 %.
- Největší změna byla 1,22 % na DPS č. 23, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,06 % na DPS č. 24, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,72 %.
- Největší změna byla 1,09 % na DPS č. 14, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 22, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,06 % na DPS č. 29, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,58 %.
- Největší změna byla 1,53 % na DPS č. 5, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.
- Nejmenší změna byla -0,11 % na DPS č. 29, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

6.5 Měření po 28 dnech stárnutí

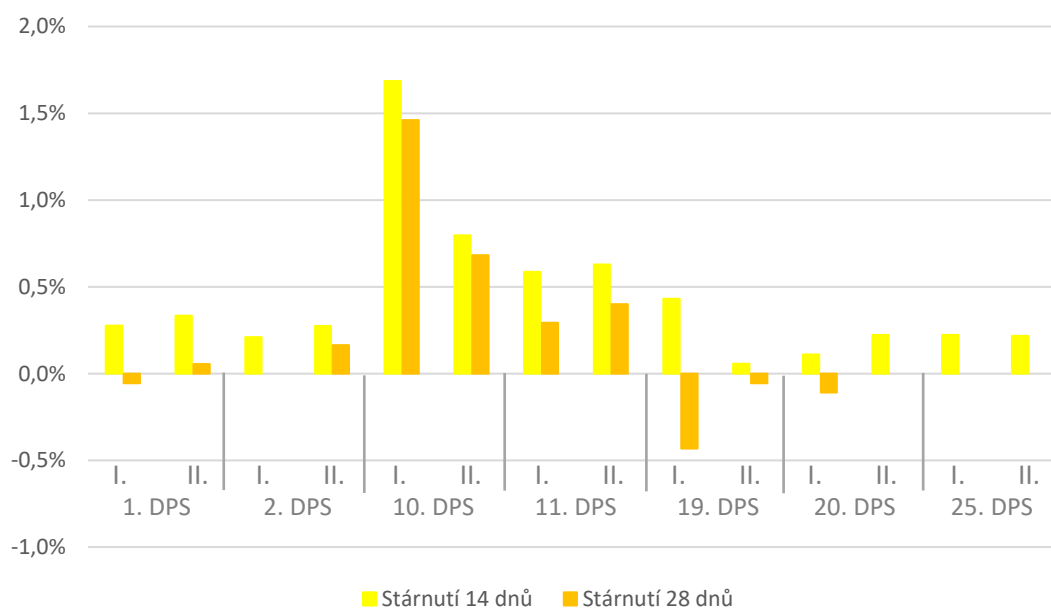
V následujících tabulkách jsou naměřené hodnoty odporů po 28 dnech stárnutí a porovnány s referenčními. Vzorky jsou rozdělené podle povrchové úpravy a místa, ve kterém byly uloženy. Všechna měření proběhla v teplotní skříni Friocell 66R při teplotě 40 °C. Po skončení byly všechny vzorky rozmístěny do patřičných teplot a podstoupeny dalšímu teplotnímu stárnutí.

V tabulce 18 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 28 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v mrazícím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 18: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG

Mrazící box						
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]	hodnoty po 93 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	1	ENIG	I.	1,813	1,818	1,812
			II.	1,804	1,810	1,805
PF735-PQ10	2	ENIG	I.	0,951	0,953	0,951
			II.	1,825	1,830	1,828
PF743-PQ10	10	ENIG	I.	0,890	0,905	0,903
			II.	1,758	1,772	1,770
PF743-PQ10	11	ENIG	I.	1,705	1,715	1,710
			II.	1,748	1,759	1,755
PF734-PQ10	19	ENIG	I.	0,927	0,931	0,923
			II.	1,768	1,769	1,767
PF734-PQ10	20	ENIG	I.	1,816	1,818	1,814
			II.	1,794	1,798	1,794
SAC305	25	ENIG	I.	0,897	0,899	0,897
PF735-PQ10			II.	0,922	0,924	0,922

V grafu 9 je znázorněna procentuální změna odporu po 28 dnech vůči referenční hodnotě a porovnána se změnou odporu po 14 dnech.



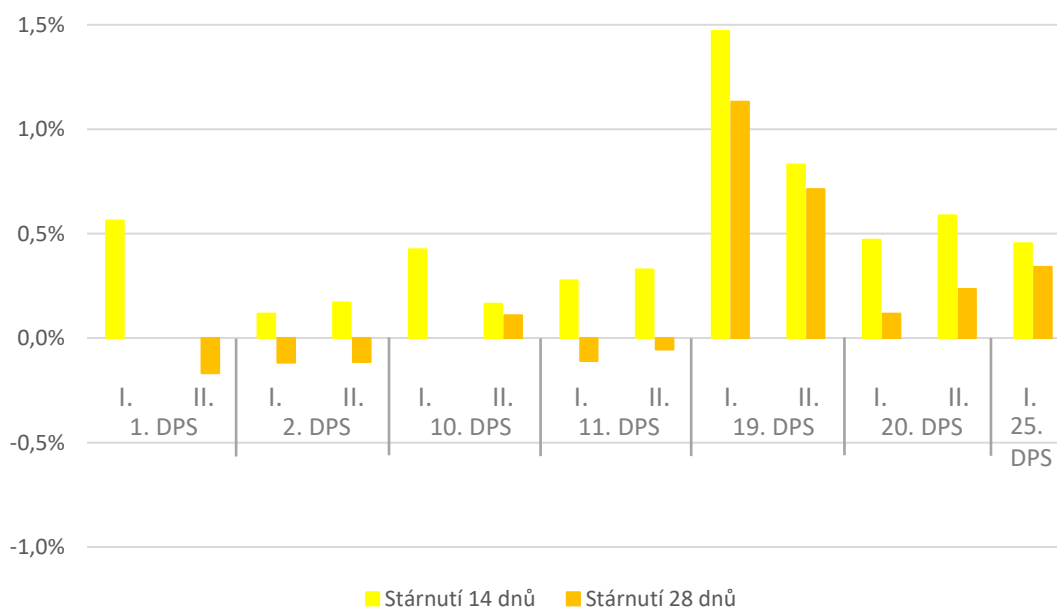
Graf 9: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava ENIG

V tabulce 19 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 28 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v mrazicím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 19: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v mrazicím boxu, povrchová technologie imerzní cín

Mrazicí box						
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]	hodnoty po 93 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	1	IMERZNÍ CÍN	I.	0,889	0,894	0,889
			II.	1,783	1,783	1,780
PF735-PQ10	2	IMERZNÍ CÍN	I.	1,700	1,702	1,698
			II.	1,751	1,754	1,749
PF743-PQ10	10	IMERZNÍ CÍN	I.	0,942	0,946	0,942
			II.	1,826	1,829	1,828
PF743-PQ10	11	IMERZNÍ CÍN	I.	1,813	1,818	1,811
			II.	1,825	1,831	1,824
PF734-PQ10	19	IMERZNÍ CÍN	I.	0,884	0,897	0,894
			II.	1,683	1,697	1,695
PF734-PQ10	20	IMERZNÍ CÍN	I.	1,697	1,705	1,699
			II.	1,700	1,710	1,704
SAC305	25	IMERZNÍ CÍN	I.	0,880	0,884	0,883

V grafu 10 je znázorněna procentuální změna odporu po 28 dnech vůči referenční hodnotě a porovnána se změnou odporu po 14 dnech.



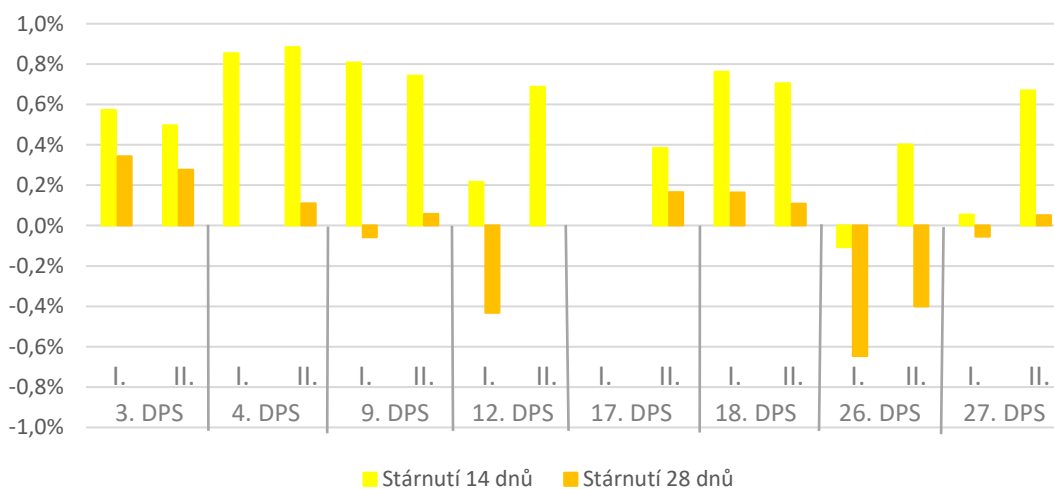
Graf 10: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v mrazicím boxu, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 20 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 28 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny ve sterilizátoru. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 20: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie ENIG

Sterilizátor						
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]	hodnoty po 93 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	3	ENIG	I.	1,744	1,754	1,750
			II.	1,812	1,821	1,817
PF735-PQ10	4	ENIG	I.	0,937	0,945	0,937
			II.	1,810	1,826	1,812
PF743-PQ10	9	ENIG	I.	1,732	1,746	1,731
			II.	1,750	1,763	1,751
PF743-PQ10	12	ENIG	I.	0,926	0,928	0,922
			II.	1,745	1,757	1,745
PF734-PQ10	17	ENIG	I.	0,926	0,926	0,926
			II.	1,818	1,825	1,821
PF734-PQ10	18	ENIG	I.	1,836	1,850	1,839
			II.	1,843	1,856	1,845
SAC305	26	ENIG	I.	0,929	0,928	0,923
PF735-PQ10			II.	0,997	1,001	0,993
SAC305	27	ENIG	I.	1,819	1,820	1,818
PF735-PQ10			II.	1,941	1,954	1,942

V grafu 11 je znázorněna procentuální změna odporu po 28 dnech vůči referenční hodnotě a porovnána se změnou odporu po 14 dnech.



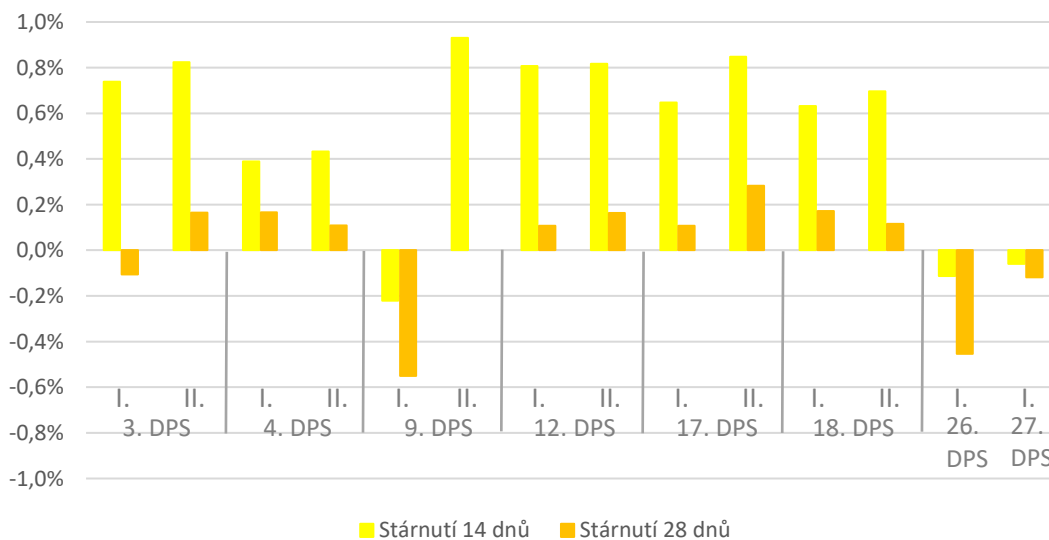
Graf 11: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava ENIG

V tabulce 21 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 28 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny ve sterilizátoru. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 21: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie imerzní cín

Sterilizátor						
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]	hodnoty po 93 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	3	IMERZNÍ CÍN	I.	0,948	0,955	0,947
			II.	1,822	1,837	1,825
PF735-PQ10	4	IMERZNÍ CÍN	I.	1,802	1,809	1,805
			II.	1,850	1,858	1,852
PF743-PQ10	9	IMERZNÍ CÍN	I.	0,908	0,906	0,903
			II.	1,720	1,736	1,720
PF743-PQ10	12	IMERZNÍ CÍN	I.	1,860	1,875	1,862
			II.	1,837	1,852	1,840
PF734-PQ10	17	IMERZNÍ CÍN	I.	0,927	0,933	0,928
			II.	1,770	1,785	1,775
PF734-PQ10	18	IMERZNÍ CÍN	I.	1,743	1,754	1,746
			II.	1,722	1,734	1,724
SAC305	26	IMERZNÍ CÍN	I.	0,882	0,881	0,878
SAC305	27	IMERZNÍ CÍN	I.	1,682	1,681	1,680

V grafu 12 je znázorněna procentuální změna odporu po 28 dnech vůči referenční hodnotě a porovnává se změnou odporu po 14 dnech.



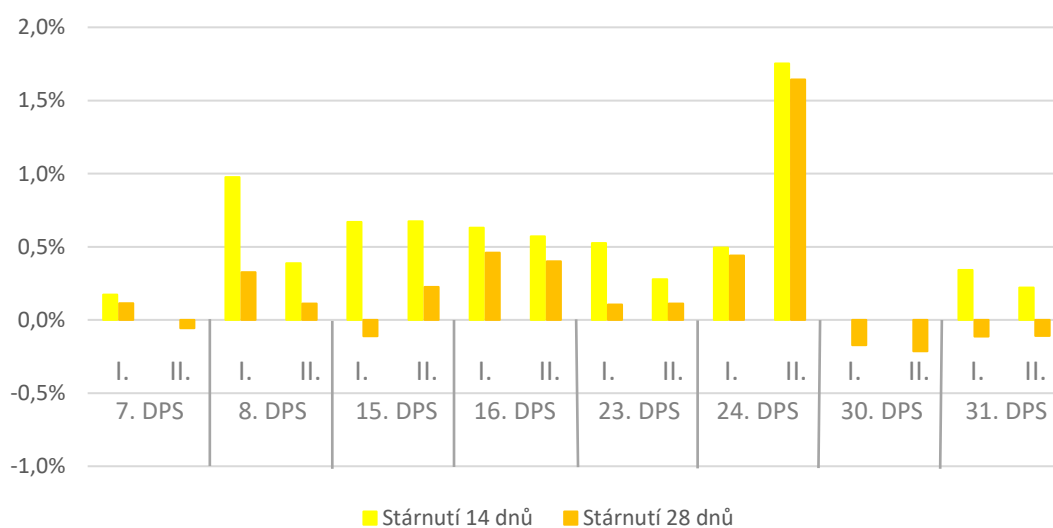
Graf 12: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 22 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 28 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 22: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie ENIG

Pokojová teplota						
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]	hodnoty po 93 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	7	ENIG	I.	1,738	1,741	1,740
			II.	1,768	1,768	1,767
PF735-PQ10	8	ENIG	I.	0,922	0,931	0,925
			II.	1,802	1,809	1,804
PF743-PQ10	15	ENIG	I.	0,895	0,901	0,894
			II.	0,890	0,896	0,892
PF743-PQ10	16	ENIG	I.	1,743	1,754	1,751
			II.	1,748	1,758	1,755
PF734-PQ10	23	ENIG	I.	0,953	0,958	0,954
			II.	1,795	1,800	1,797
PF734-PQ10	24	ENIG	I.	1,822	1,831	1,830
			II.	1,825	1,857	1,855
SAC305	30	ENIG	I.	1,736	1,736	1,733
PF735-PQ10			II.	1,868	1,868	1,864
SAC305	31	ENIG	I.	0,880	0,883	0,879
PF735-PQ10			II.	0,908	0,910	0,907

V grafu 13 je znázorněna procentuální změna odporu po 28 dnech vůči referenční hodnotě a porovnána se změnou odporu po 14 dnech.



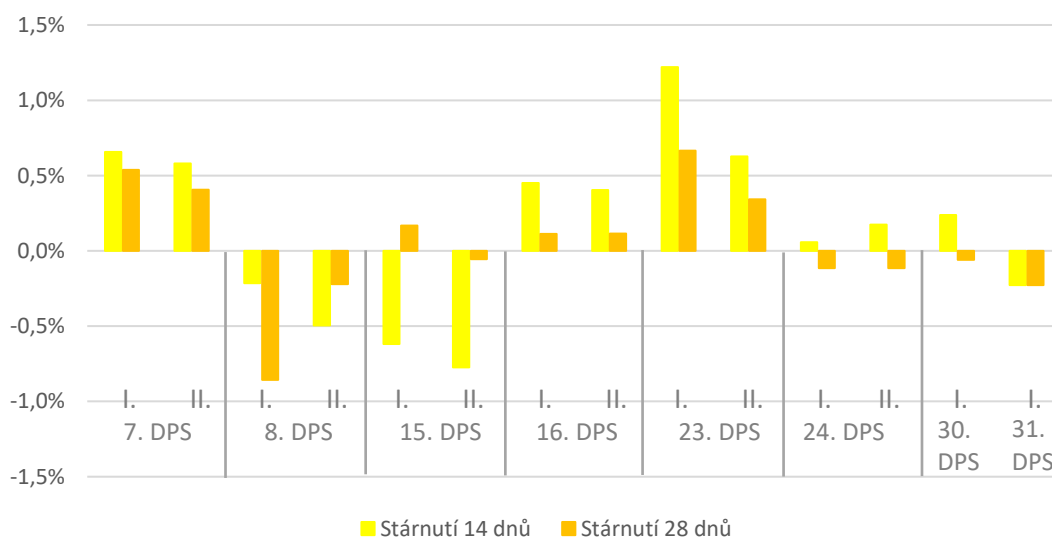
Graf 13: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG

V tabulce 23 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 28 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 23: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie imerzní cín

Pokojová teplota						
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]	hodnoty po 93 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	7	IMERZNÍ CÍN	I.	1,674	1,685	1,683
			II.	1,725	1,735	1,732
PF735-PQ10	8	IMERZNÍ CÍN	I.	0,933	0,931	0,925
			II.	1,816	1,807	1,812
PF743-PQ10	15	IMERZNÍ CÍN	I.	1,779	1,768	1,782
			II.	1,809	1,795	1,808
PF743-PQ10	16	IMERZNÍ CÍN	I.	0,889	0,893	0,890
			II.	1,734	1,741	1,736
PF734-PQ10	23	IMERZNÍ CÍN	I.	0,902	0,913	0,908
			II.	1,753	1,764	1,759
PF734-PQ10	24	IMERZNÍ CÍN	I.	1,736	1,737	1,734
			II.	1,725	1,728	1,723
SAC305	30	IMERZNÍ CÍN	I.	1,682	1,686	1,681
SAC305	31	IMERZNÍ CÍN	I.	0,881	0,879	0,879

V grafu 14 je znázorněna procentuální změna odporu po 28 dnech vůči referenční hodnotě a porovnává se změnou odporu po 14 dnech.



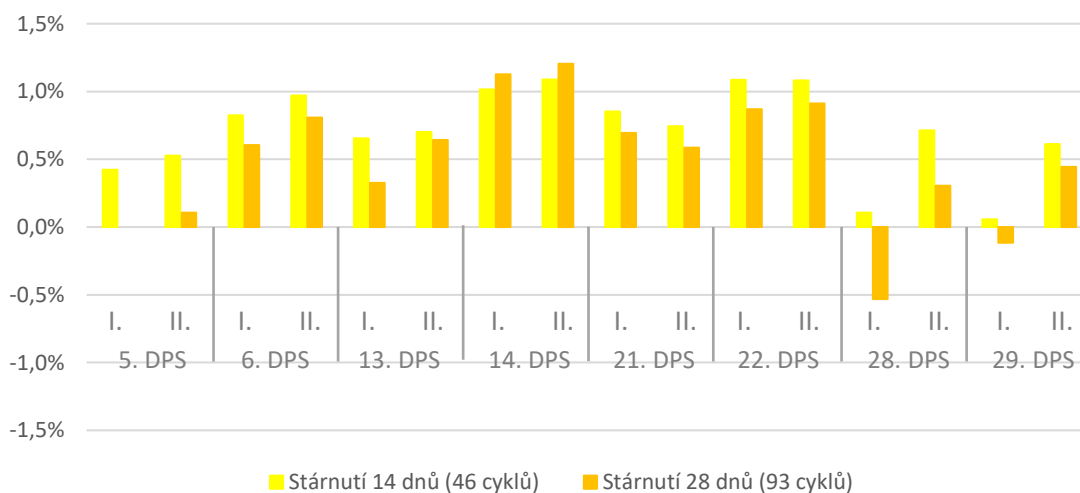
Graf 14: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 24 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 28 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 24: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG

Teplotní skříň Friocell						
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]	hodnoty po 93 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	5	ENIG	I.	0,946	0,950	0,946
			II.	0,949	0,954	0,950
PF735-PQ10	6	ENIG	I.	1,818	1,833	1,829
			II.	1,856	1,874	1,871
PF743-PQ10	13	ENIG	I.	0,917	0,923	0,920
			II.	1,710	1,722	1,721
PF743-PQ10	14	ENIG	I.	1,774	1,792	1,794
			II.	1,744	1,763	1,765
PF734-PQ10	21	ENIG	I.	1,875	1,891	1,888
			II.	1,880	1,894	1,891
PF734-PQ10	22	ENIG	I.	0,920	0,930	0,928
			II.	1,755	1,774	1,771
SAC305	28	ENIG	I.	0,940	0,941	0,935
PF735-PQ10			II.	0,982	0,989	0,985
SAC305	29	ENIG	I.	1,740	1,741	1,738
PF735-PQ10			II.	1,798	1,809	1,806

V grafu 15 je znázorněna procentuální změna odporu po 28 dnech vůči referenční hodnotě a porovnána se změnou odporu po 14 dnech.



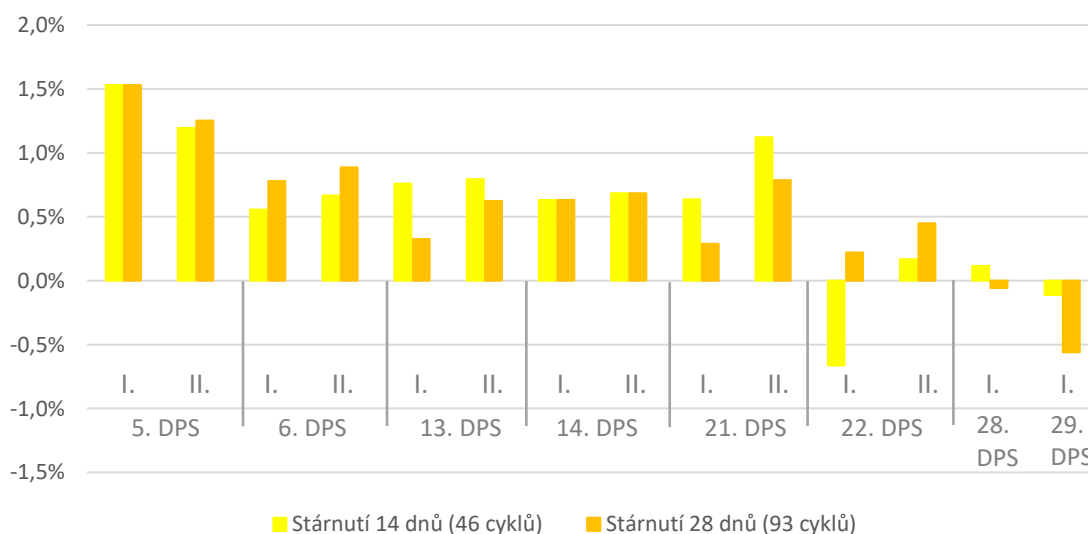
Graf 15: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG

V tabulce 25 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 28 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 25: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín

Teplotní skříň Friocell						
pájecí pasta	číslo DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty [Ω]	hodnoty po 46 cyklech [Ω]	hodnoty po 93 cyklech [Ω]
PF735-PQ10	5	IMERZNÍ CÍN	I.	0,915	0,929	0,929
			II.	1,756	1,777	1,778
PF735-PQ10	6	IMERZNÍ CÍN	I.	1,796	1,806	1,810
			II.	1,803	1,815	1,819
PF743-PQ10	13	IMERZNÍ CÍN	I.	0,923	0,930	0,926
			II.	1,764	1,778	1,775
PF743-PQ10	14	IMERZNÍ CÍN	I.	1,744	1,755	1,755
			II.	1,753	1,765	1,765
PF734-PQ10	21	IMERZNÍ CÍN	I.	1,727	1,738	1,732
			II.	1,781	1,801	1,795
PF734-PQ10	22	IMERZNÍ CÍN	I.	0,906	0,900	0,908
			II.	1,786	1,789	1,794
SAC305	28	IMERZNÍ CÍN	I.	1,717	1,719	1,716
SAC305	29	IMERZNÍ CÍN	I.	0,891	0,890	0,886

V grafu 16 je znázorněna procentuální změna odporu po 28 dnech vůči referenční hodnotě a porovnává se změnou odporu po 14 dnech.



Graf 16: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín

6.5.1 Vyhodnocení výsledků po 28 dnech stárnutí

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,17 %.
- Největší změna byla 1,46 % na DPS č. 10, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 20, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 25, kde na I průchod pecí byla použita pájecí pasta SAC305 a na II průchod pecí PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,16 %.
- Největší změna byla 1,13 % na DPS č. 19, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 1, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 10, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.

Naměřené změny odporu ve sterilizátoru pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí -0,02 %.
- Největší změna byla -0,65 % na DPS č. 26, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 4, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 12, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10 a u DPS č. 17, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.

Naměřené změny odporu ve sterilizátoru pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,01 %.
- Největší změna byla -0,55 % na DPS č. 9, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 9, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,12 %.
- Největší změna byla 1,64 % na DPS č. 24, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla -0,06 % na DPS č. 7, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,05 %.
- Největší změna byla -0,86 % na DPS č. 8, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.
- Nejmenší změna byla -0,06 % na DPS č. 15, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 30, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,45 %.
- Největší změna byla 1,20 % na DPS č. 14, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 5, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,56 %.
- Největší změna byla 1,53 % na DPS č. 5, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.
- Nejmenší změna byla -0,06 % na DPS č. 28, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

6.6 Měření po 42 dnech stárnutí

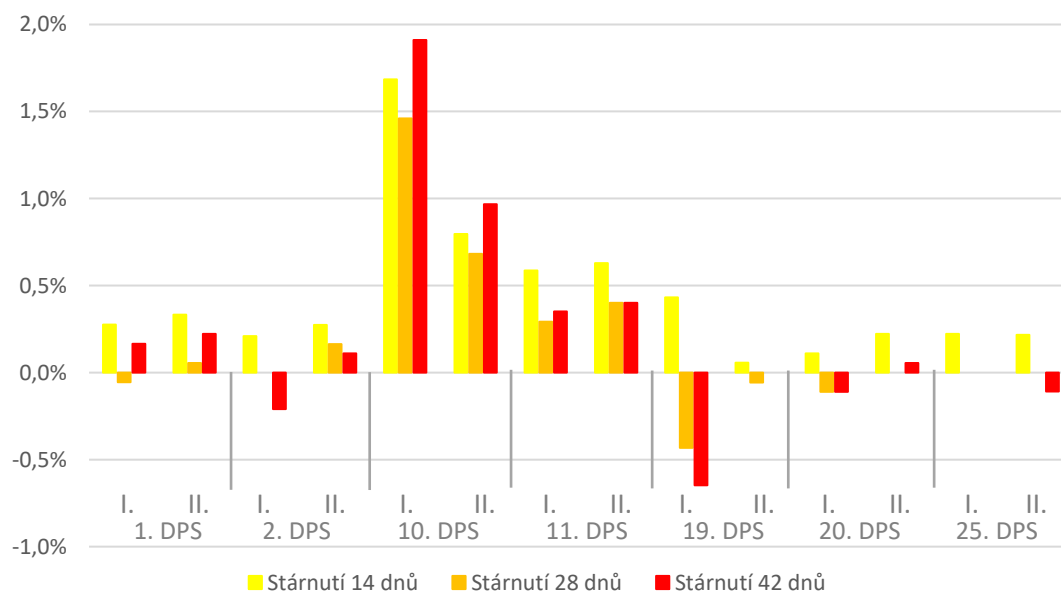
V následujících tabulkách jsou naměřené hodnoty odporů po 42 dnech stárnutí a porovnány s referenčními. Vzorky jsou rozdělené podle povrchové úpravy a místa, ve kterém byly uloženy. Všechna měření proběhla v teplotní skříni Friocell 66R při teplotě 40 °C. Po skončení byly všechny vzorky rozmístěny do patřičných teplot a podstoupeny dalšímu teplotnímu stárnutí.

V tabulce 26 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 42 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v mrazícím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 26: Naměřené hodnoty pájecích past po 42 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG

Mrazící box						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	46 cyklů [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	1	I.	1,813	1,818	1,812	1,816
		II.	1,804	1,810	1,805	1,808
PF735-PQ10	2	I.	0,951	0,953	0,951	0,949
		II.	1,825	1,830	1,828	1,827
PF743-PQ10	10	I.	0,890	0,905	0,903	0,907
		II.	1,758	1,772	1,770	1,775
PF743-PQ10	11	I.	1,705	1,715	1,710	1,711
		II.	1,748	1,759	1,755	1,755
PF734-PQ10	19	I.	0,927	0,931	0,923	0,921
		II.	1,768	1,769	1,767	1,768
PF734-PQ11	20	I.	1,816	1,818	1,814	1,814
		II.	1,794	1,798	1,794	1,795
SAC305	25	I.	0,897	0,899	0,897	0,897
PF735-PQ10		II.	0,922	0,924	0,922	0,921

V grafu 17 je znázorněna procentuální změna odporu po 42 dnech vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešлыми měřeními.



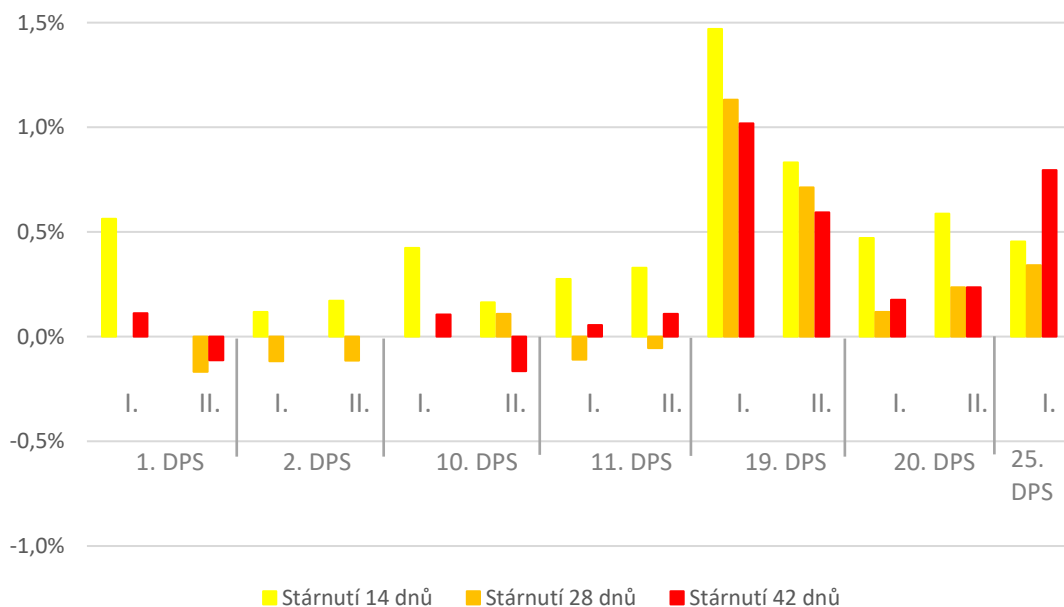
Graf 17: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava ENIG

V tabulce 27 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 42 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v mrazicím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 27: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v mrazicím boxu, povrchová technologie imerzní cín

Mrazicí box						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	46 cyklů [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	1	I.	0,889	0,894	0,889	0,890
		II.	1,783	1,783	1,780	1,781
PF735-PQ10	2	I.	1,700	1,702	1,698	1,700
		II.	1,751	1,754	1,749	1,751
PF743-PQ10	10	I.	0,942	0,946	0,942	0,943
		II.	1,826	1,829	1,828	1,823
PF743-PQ10	11	I.	1,813	1,818	1,811	1,814
		II.	1,825	1,831	1,824	1,827
PF734-PQ10	19	I.	0,884	0,897	0,894	0,893
		II.	1,683	1,697	1,695	1,693
PF734-PQ11	20	I.	1,697	1,705	1,699	1,700
		II.	1,700	1,710	1,704	1,704
SAC305	25	I.	0,880	0,884	0,883	0,887

V grafu 18 je znázorněna procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnává s předešlými měřeními.



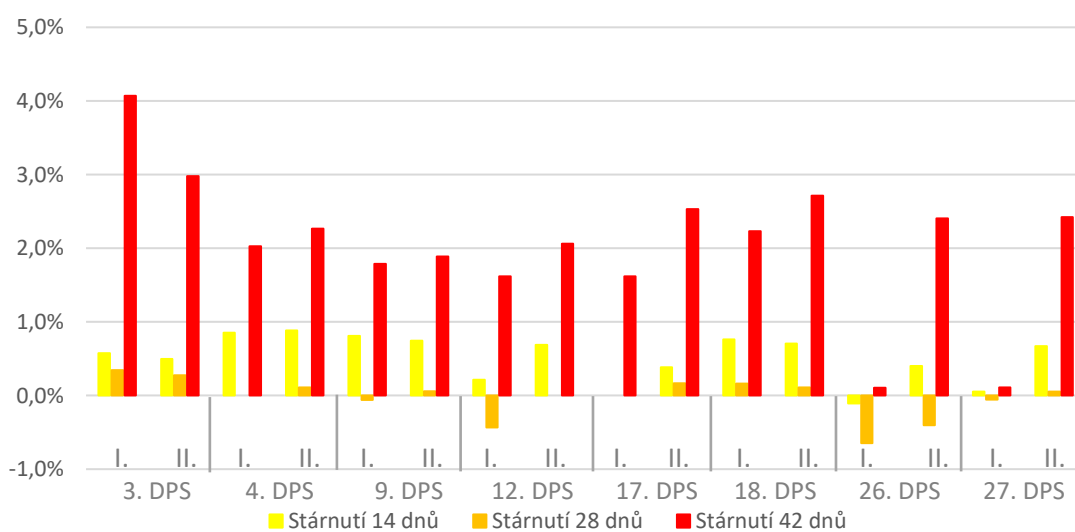
Graf 18: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v mrazicím boxu, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 28 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 42 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny ve sterilizátoru. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 28: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie ENIG

Sterilizátor						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	46 cyklů [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	3	I.	1,744	1,754	1,750	1,815
		II.	1,812	1,821	1,817	1,866
PF735-PQ10	4	I.	0,937	0,945	0,937	0,956
		II.	1,810	1,826	1,812	1,851
PF743-PQ10	9	I.	1,732	1,746	1,731	1,763
		II.	1,750	1,763	1,751	1,783
PF743-PQ10	12	I.	0,926	0,928	0,922	0,941
		II.	1,745	1,757	1,745	1,781
PF734-PQ10	17	I.	0,926	0,926	0,926	0,941
		II.	1,818	1,825	1,821	1,864
PF734-PQ11	18	I.	1,836	1,850	1,839	1,877
		II.	1,843	1,856	1,845	1,893
SAC305	26	I.	0,929	0,928	0,923	0,930
PF735-PQ10		II.	0,997	1,001	0,993	1,021
SAC305	27	I.	1,819	1,820	1,818	1,821
PF735-PQ10		II.	1,941	1,954	1,942	1,988

V grafu 19 je znázorněna procentuální změna odporu po 42 dnech vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



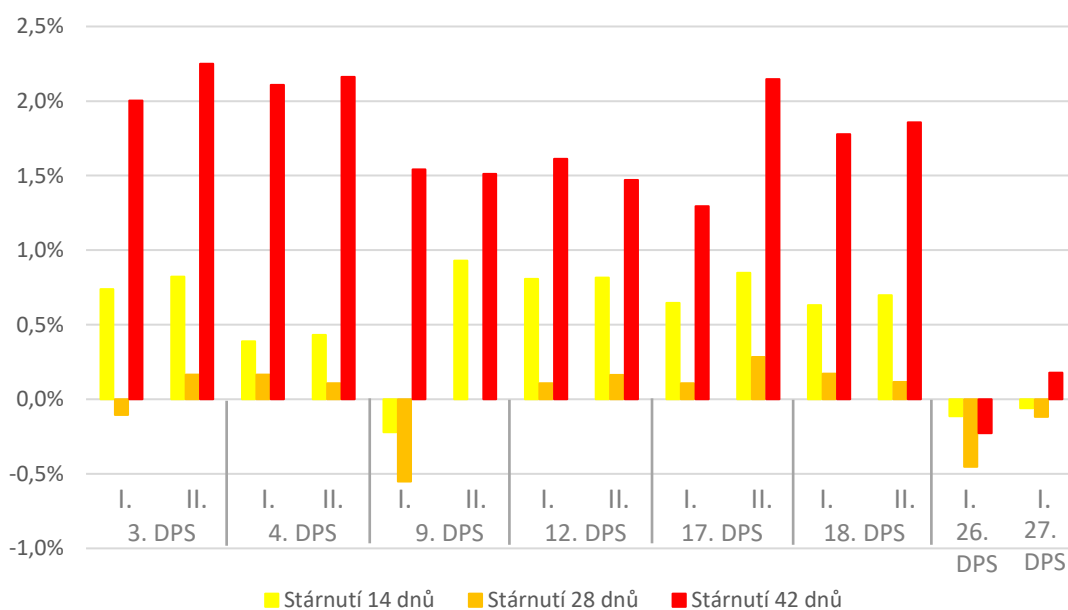
Graf 19: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava ENIG

V tabulce 29 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 42 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny ve sterilizátoru. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 29: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie imerzní cín

Sterilizátor						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	46 cyklů [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	3	I.	0,948	0,955	0,947	0,967
		II.	1,822	1,837	1,825	1,863
PF735-PQ10	4	I.	1,802	1,809	1,805	1,840
		II.	1,850	1,858	1,852	1,890
PF743-PQ10	9	I.	0,908	0,906	0,903	0,922
		II.	1,720	1,736	1,720	1,746
PF743-PQ10	12	I.	1,860	1,875	1,862	1,890
		II.	1,837	1,852	1,840	1,864
PF734-PQ10	17	I.	0,927	0,933	0,928	0,939
		II.	1,770	1,785	1,775	1,808
PF734-PQ11	18	I.	1,743	1,754	1,746	1,774
		II.	1,722	1,734	1,724	1,754
SAC305	26	I.	0,882	0,881	0,878	0,880
SAC305	27	I.	1,682	1,681	1,680	1,685

V grafu 20 je znázorněna procentuální změna odporu po 42 dnech vůči referenčním hodnotám a porovnává s předešlými měřeními.



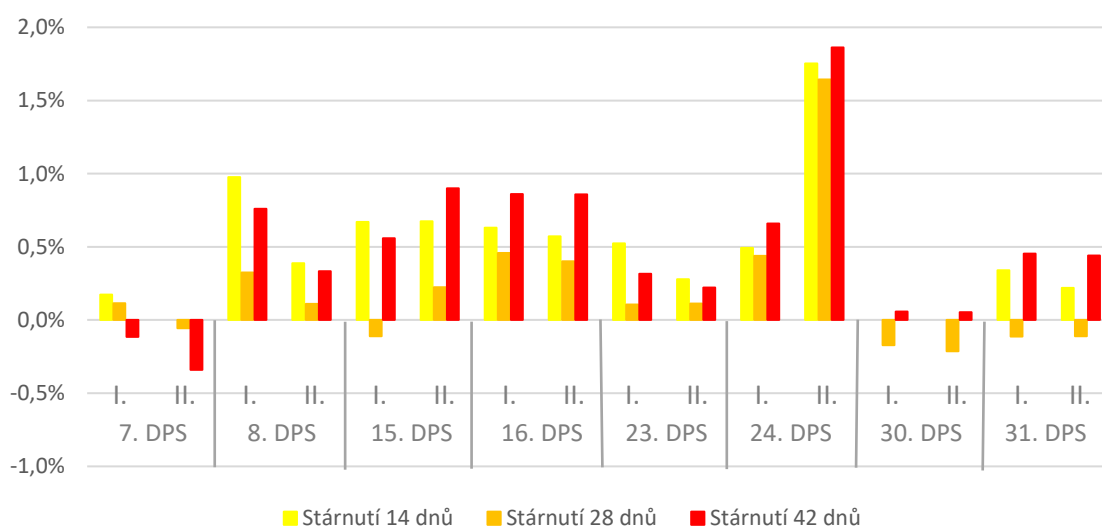
Graf 20: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 30 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 42 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 30: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie ENIG

Pokojová teplota						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	46 cyklů [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	7	I.	1,738	1,741	1,740	1,736
		II.	1,768	1,768	1,767	1,762
PF735-PQ10	8	I.	0,922	0,931	0,925	0,929
		II.	1,802	1,809	1,804	1,808
PF743-PQ10	15	I.	0,895	0,901	0,894	0,900
		II.	0,890	0,896	0,892	0,898
PF743-PQ10	16	I.	1,743	1,754	1,751	1,758
		II.	1,748	1,758	1,755	1,763
PF734-PQ10	23	I.	0,953	0,958	0,954	0,956
		II.	1,795	1,800	1,797	1,799
PF734-PQ11	24	I.	1,822	1,831	1,830	1,834
		II.	1,825	1,857	1,855	1,859
SAC305	30	I.	1,736	1,736	1,733	1,737
PF735-PQ10		II.	1,868	1,868	1,864	1,869
SAC305	31	I.	0,880	0,883	0,879	0,884
PF735-PQ10		II.	0,908	0,910	0,907	0,912

V grafu 21 je znázorněna procentuální změna odporu po 42 dnech vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



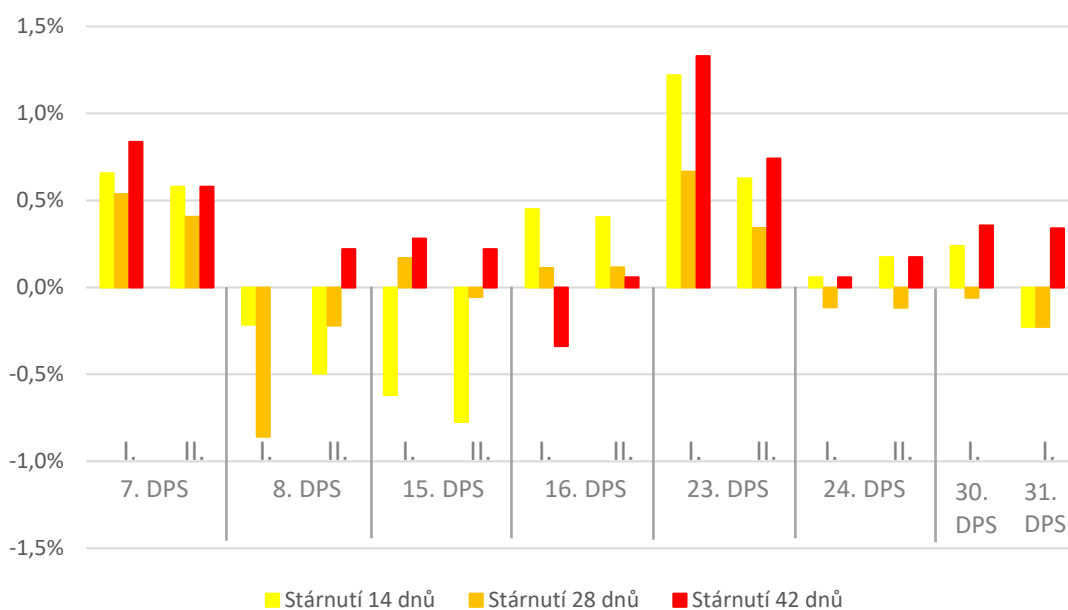
Graf 21: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG

V tabulce 31 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 42 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 31: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie imerzní cín

Pokojová teplota						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	46 cyklů [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	7	I.	1,674	1,685	1,683	1,688
		II.	1,725	1,735	1,732	1,735
PF735-PQ10	8	I.	0,933	0,931	0,925	0,933
		II.	1,816	1,807	1,812	1,820
PF743-PQ10	15	I.	1,779	1,768	1,782	1,784
		II.	1,809	1,795	1,808	1,813
PF743-PQ10	16	I.	0,889	0,893	0,890	0,886
		II.	1,734	1,741	1,736	1,735
PF734-PQ10	23	I.	0,902	0,913	0,908	0,914
		II.	1,753	1,764	1,759	1,766
PF734-PQ11	24	I.	1,736	1,737	1,734	1,737
		II.	1,725	1,728	1,723	1,728
SAC305	30	I.	1,682	1,686	1,681	1,688
SAC305	31	I.	0,881	0,879	0,879	0,884

V grafu 22 je znázorněna procentuální změna odporu po 42 dnech vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



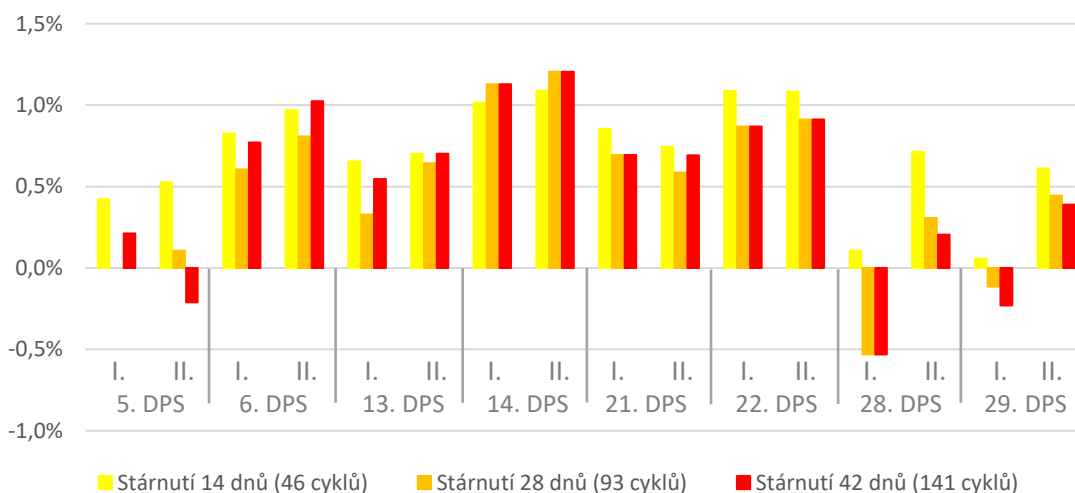
Graf 22: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 32 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 42 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 32: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG

Teplotní skříň Friocell						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	46 cyklů [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	5	I.	0,946	0,950	0,946	0,948
		II.	0,949	0,954	0,950	0,947
PF735-PQ10	6	I.	1,818	1,833	1,829	1,832
		II.	1,856	1,874	1,871	1,875
PF743-PQ10	13	I.	0,917	0,923	0,920	0,922
		II.	1,710	1,722	1,721	1,722
PF743-PQ10	14	I.	1,774	1,792	1,794	1,794
		II.	1,744	1,763	1,765	1,765
PF734-PQ10	21	I.	1,875	1,891	1,888	1,888
		II.	1,880	1,894	1,891	1,893
PF734-PQ11	22	I.	0,920	0,930	0,928	0,928
		II.	1,755	1,774	1,771	1,771
SAC305	28	I.	0,940	0,941	0,935	0,935
PF735-PQ10		II.	0,982	0,989	0,985	0,984
SAC305	29	I.	1,740	1,741	1,738	1,736
PF735-PQ10		II.	1,798	1,809	1,806	1,805

V grafu 23 je znázorněna procentuální změna odporu po 42 dnech vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



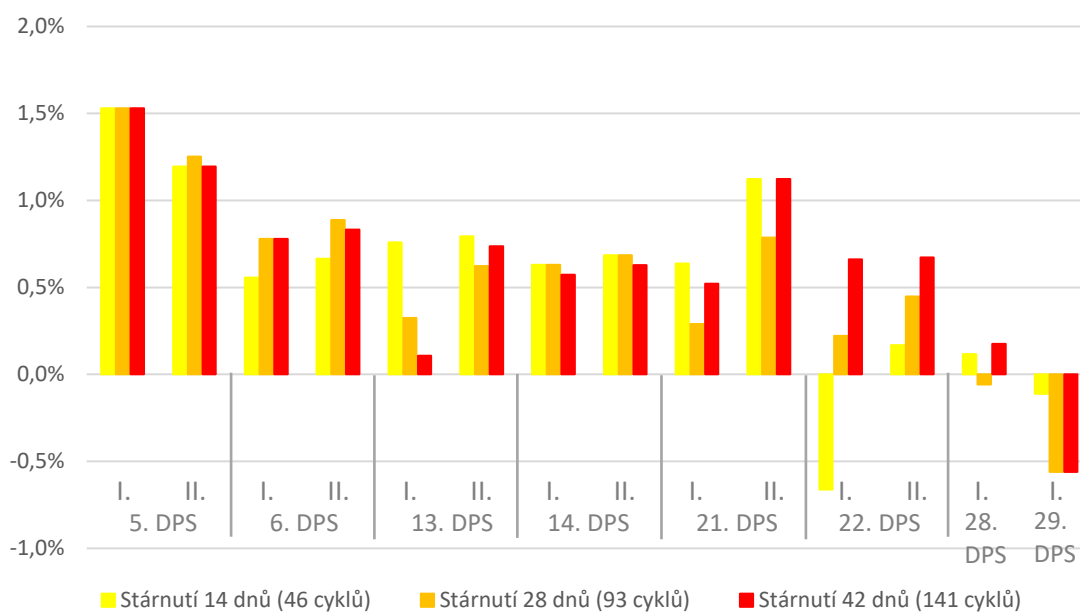
Graf 23: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG

V tabulce 33 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 42 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 33: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín

Teplotní skříň Friocell						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	46 cyklů [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	5	I.	0,915	0,929	0,929	0,929
		II.	1,756	1,777	1,778	1,777
PF735-PQ10	6	I.	1,796	1,806	1,810	1,810
		II.	1,803	1,815	1,819	1,818
PF743-PQ10	13	I.	0,923	0,930	0,926	0,924
		II.	1,764	1,778	1,775	1,777
PF743-PQ10	14	I.	1,744	1,755	1,755	1,754
		II.	1,753	1,765	1,765	1,764
PF734-PQ10	21	I.	1,727	1,738	1,732	1,736
		II.	1,781	1,801	1,795	1,801
PF734-PQ11	22	I.	0,906	0,900	0,908	0,912
		II.	1,786	1,789	1,794	1,798
SAC305	28	I.	1,717	1,719	1,716	1,720
SAC305	29	I.	0,891	0,890	0,886	0,886

V grafu 24 je znázorněna procentuální změna odporu po 42 dnech vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



Graf 24: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín

6.6.1 Vyhodnocení výsledků po 42 dnech stárnutí

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,22 %.
- Největší změna byla 1,91 % na DPS č. 10, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 19, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 25, kde na I průchod pecí byla použita pájecí pasta SAC305 a na II průchod pecí PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,23 %.
- Největší změna byla 1,02 % na DPS č. 19, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 2, průchod pecí I i II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu ve sterilizátoru pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 2,05 %.
- Největší změna byla -4,07 % na DPS č. 3, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,11 % na DPS č. 26, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 27, průchod pecí I, s použitou pájecí SAC305.

Naměřené změny odporu ve sterilizátoru pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 1,55 %.
- Největší změna byla 2,25 % na DPS č. 3, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,18 % na DPS č. 27, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,49 %.
- Největší změna byla 1,86 % na DPS č. 24, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,05 % na DPS č. 30, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,35 %.
- Největší změna byla 1,33 % na DPS č. 23, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 8, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,52 %.
- Největší změna byla 1,20 % na DPS č. 14, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,20 % na DPS č. 28, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,64 %.
- Největší změna byla 1,53 % na DPS č. 5, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,11 % na DPS č. 13, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.

6.7 Měření po 102 dnech stárnutí

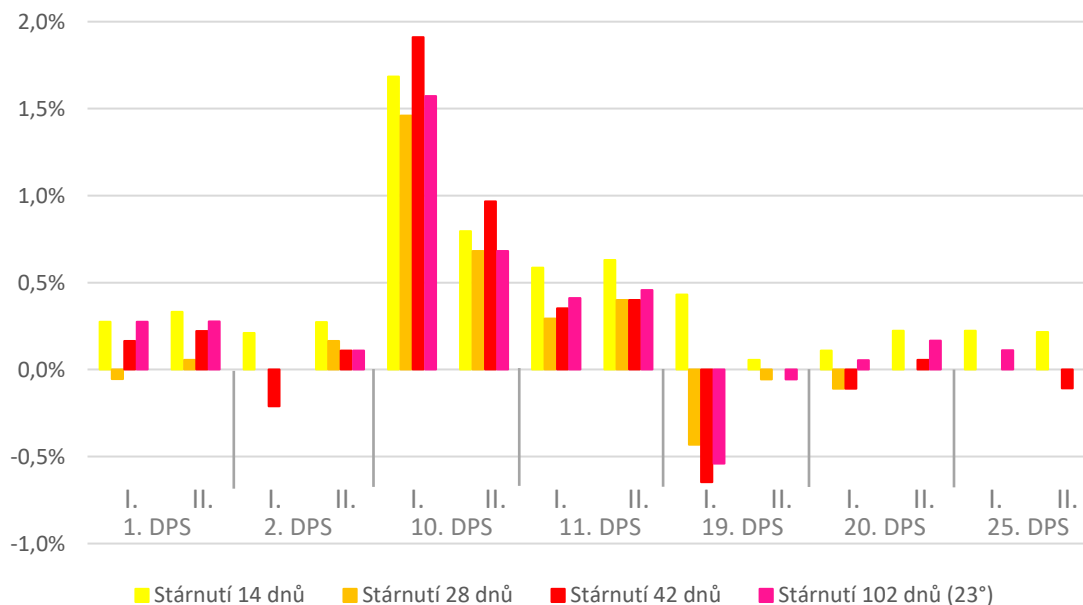
V následujících tabulkách jsou naměřené hodnoty odporů po 102 dnech stárnutí, přičemž posledních 60 dnů stárnutí pájecí pasty při pokojové teplotě (23 °C) a porovnány s referenčními. Vzorky jsou rozdělené podle povrchové úpravy a místa, ve kterém byly uloženy. Všechna měření proběhla v teplotní skříni Friocell 66R při teplotě 40 °C. Po skončení byly všechny vzorky rozmístěny do patřičných teplot a podstoupeny dalšímu teplotnímu stárnutí. Pro lepší přehlednost v tabulce jsou hodnoty z druhého měření odebrány, ale v grafech jsou stále zahrnuté, aby byla vidět celková změna odporu vztahovaná k referenčnímu měření.

V tabulce 34 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 102 dnech stárnutí pro vzorky, které stárnou v mrazícím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 34: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG

Mrazící box						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů (23°) [Ω]
PF735-PQ10	1	I.	1,813	1,812	1,816	1,818
		II.	1,804	1,805	1,808	1,809
PF735-PQ10	2	I.	0,951	0,951	0,949	0,951
		II.	1,825	1,828	1,827	1,827
PF743-PQ10	10	I.	0,890	0,903	0,907	0,904
		II.	1,758	1,770	1,775	1,770
PF743-PQ10	11	I.	1,705	1,710	1,711	1,712
		II.	1,748	1,755	1,755	1,756
PF734-PQ10	19	I.	0,927	0,923	0,921	0,922
		II.	1,768	1,767	1,768	1,767
PF734-PQ11	20	I.	1,816	1,814	1,814	1,817
		II.	1,794	1,794	1,795	1,797
SAC305	25	I.	0,897	0,897	0,897	0,898
PF735-PQ10		II.	0,922	0,922	0,921	0,922

V grafu 25 je znázorněna procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



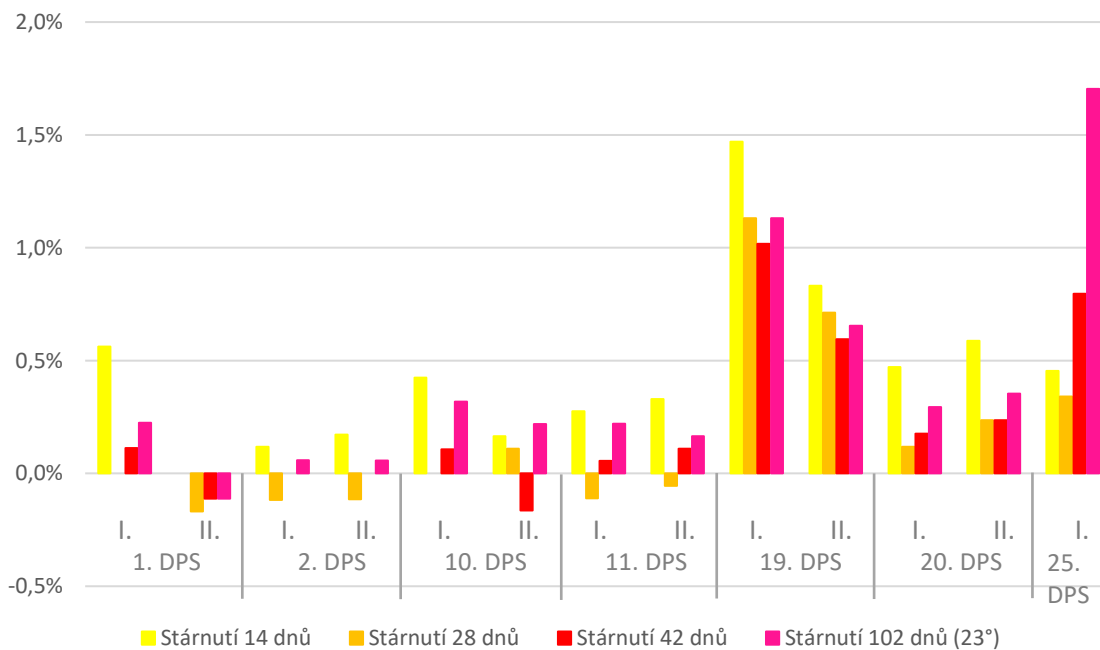
Graf 25: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v mrazícím boxu, povrchová úprava ENIG

V tabulce 35 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 102 dnech stárnutí pro vzorky, které stárnou v mrazícím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 35: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie imerzní cín

Mrazící box						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů (23°) [Ω]
PF735-PQ10	1	I.	0,889	0,889	0,890	0,891
		II.	1,783	1,780	1,781	1,781
PF735-PQ10	2	I.	1,700	1,698	1,700	1,701
		II.	1,751	1,749	1,751	1,752
PF743-PQ10	10	I.	0,942	0,942	0,943	0,945
		II.	1,826	1,828	1,823	1,830
PF743-PQ10	11	I.	1,813	1,811	1,814	1,817
		II.	1,825	1,824	1,827	1,828
PF734-PQ10	19	I.	0,884	0,894	0,893	0,894
		II.	1,683	1,695	1,693	1,694
PF734-PQ11	20	I.	1,697	1,699	1,700	1,702
		II.	1,700	1,704	1,704	1,706
SAC305	25	I.	0,880	0,883	0,887	0,895

V grafu 26 je znázorněna procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



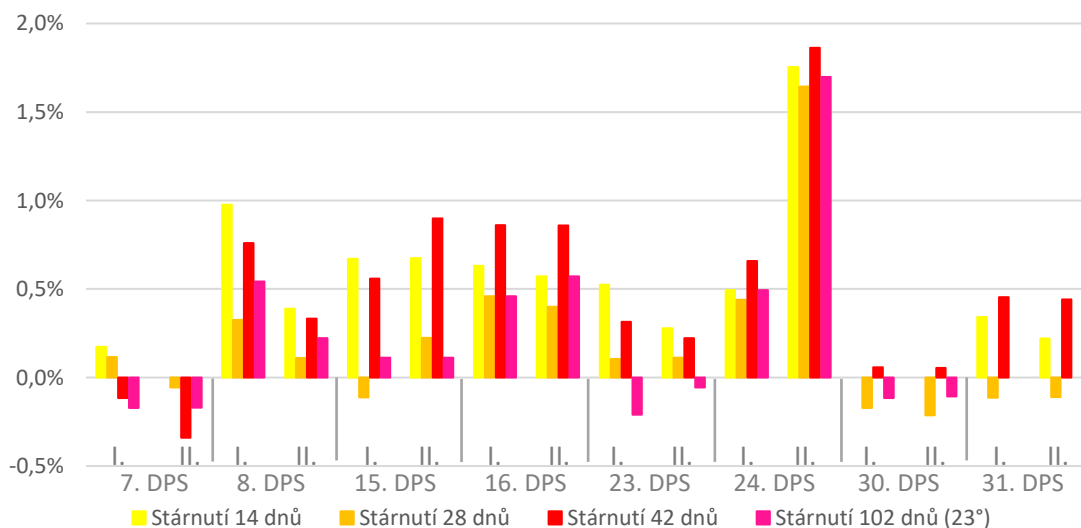
Graf 26: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v mrazícím boxu, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 36 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 102 dnech stárnutí pro vzorky, které stárnou v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 36: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie ENIG

Pokojová teplota						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů (23°) [Ω]
PF735-PQ10	7	I.	1,738	1,740	1,736	1,735
		II.	1,768	1,767	1,762	1,765
PF735-PQ10	8	I.	0,922	0,925	0,929	0,927
		II.	1,802	1,804	1,808	1,806
PF743-PQ10	15	I.	0,895	0,894	0,900	0,896
		II.	0,890	0,892	0,898	0,891
PF743-PQ10	16	I.	1,743	1,751	1,758	1,751
		II.	1,748	1,755	1,763	1,758
PF734-PQ10	23	I.	0,953	0,954	0,956	0,951
		II.	1,795	1,797	1,799	1,794
PF734-PQ11	24	I.	1,822	1,830	1,834	1,831
		II.	1,825	1,855	1,859	1,856
SAC305	30	I.	1,736	1,733	1,737	1,734
PF735-PQ10		II.	1,868	1,864	1,869	1,866
SAC305	31	I.	0,880	0,879	0,884	0,880
PF735-PQ10		II.	0,908	0,907	0,912	0,908

V grafu 27 je znázorněna procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



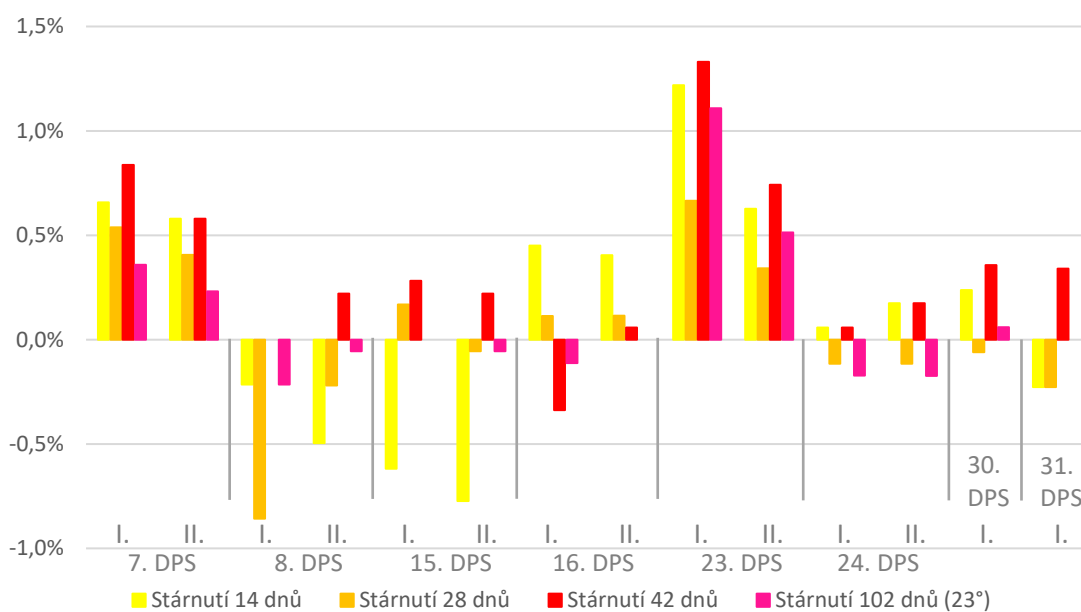
Graf 27: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG

V tabulce 37 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 102 dnech stárnutí pro vzorky, které stárnou v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 37: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie imerzní cín

Pokojová teplota						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů (23°) [Ω]
PF735-PQ10	7	I.	1,674	1,683	1,688	1,680
		II.	1,725	1,732	1,735	1,729
PF735-PQ10	8	I.	0,933	0,925	0,933	0,931
		II.	1,816	1,812	1,820	1,815
PF743-PQ10	15	I.	1,779	1,782	1,784	1,779
		II.	1,809	1,808	1,813	1,808
PF743-PQ10	16	I.	0,889	0,890	0,886	0,888
		II.	1,734	1,736	1,735	1,734
PF734-PQ10	23	I.	0,902	0,908	0,914	0,912
		II.	1,753	1,759	1,766	1,762
PF734-PQ11	24	I.	1,736	1,734	1,737	1,733
		II.	1,725	1,723	1,728	1,722
SAC305	30	I.	1,682	1,681	1,688	1,683
SAC305	31	I.	0,881	0,879	0,884	0,881

V grafu 28 je znázorněna procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



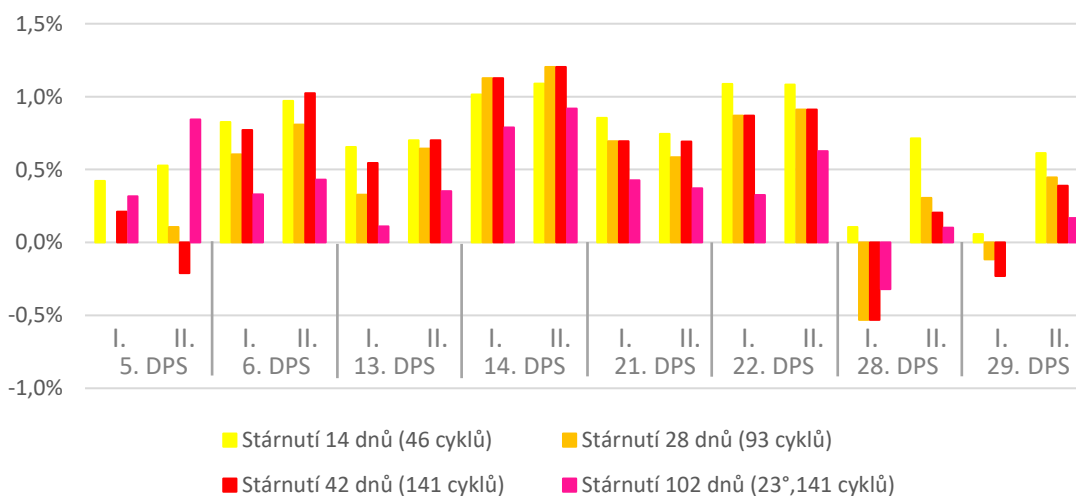
Graf 28: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 38 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 102 dnech stárnutí pro vzorky, které stárnou v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 38: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG

Teplotní skříň Friocell						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů (23°) [Ω]
PF735-PQ10	5	I.	0,946	0,946	0,948	0,949
		II.	0,949	0,950	0,947	0,957
PF735-PQ10	6	I.	1,818	1,829	1,832	1,824
		II.	1,856	1,871	1,875	1,864
PF743-PQ10	13	I.	0,917	0,920	0,922	0,918
		II.	1,710	1,721	1,722	1,716
PF743-PQ10	14	I.	1,774	1,794	1,794	1,788
		II.	1,744	1,765	1,765	1,760
PF734-PQ10	21	I.	1,875	1,888	1,888	1,883
		II.	1,880	1,891	1,893	1,887
PF734-PQ11	22	I.	0,920	0,928	0,928	0,923
		II.	1,755	1,771	1,771	1,766
SAC305	28	I.	0,940	0,935	0,935	0,937
PF735-PQ10		II.	0,982	0,985	0,984	0,983
SAC305	29	I.	1,740	1,738	1,736	1,740
PF735-PQ10		II.	1,798	1,806	1,805	1,801

V grafu 29 je znázorněna procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



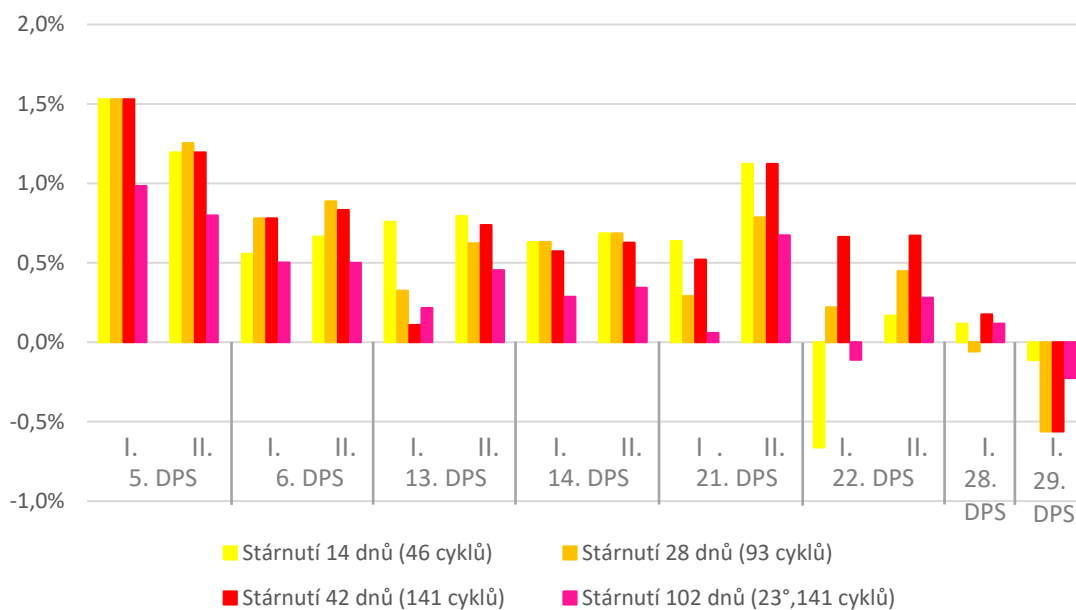
Graf 29: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG

V tabulce 39 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 102 dnech stárnutí pro vzorky, které stárnou v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 39: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín

Teplotní skříň Friocell						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	93 cyklů [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů (23°) [Ω]
PF735-PQ10	5	I.	0,915	0,929	0,929	0,924
		II.	1,756	1,778	1,777	1,770
PF735-PQ10	6	I.	1,796	1,810	1,810	1,805
		II.	1,803	1,819	1,818	1,812
PF743-PQ10	13	I.	0,923	0,926	0,924	0,925
		II.	1,764	1,775	1,777	1,772
PF743-PQ10	14	I.	1,744	1,755	1,754	1,749
		II.	1,753	1,765	1,764	1,759
PF734-PQ10	21	I.	1,727	1,732	1,736	1,728
		II.	1,781	1,795	1,801	1,793
PF734-PQ11	22	I.	0,906	0,908	0,912	0,905
		II.	1,786	1,794	1,798	1,791
SAC305	28	I.	1,717	1,716	1,720	1,719
SAC305	29	I.	0,891	0,886	0,886	0,889

V grafu 30 je znázorněna procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



Graf 30: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín

6.7.1 Vyhodnocení výsledků po 102 dnech stárnutí

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,25 %.
- Největší změna byla 1,57 % na DPS č. 10, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 2, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 25, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,41 %.
- Největší změna byla 1,70 % na DPS č. 25, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.
- Nejmenší změna byla 0,06 % na DPS č. 2, průchod pecí I i II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,21 %.
- Největší změna byla 1,70 % na DPS č. 24, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 30, průchod pecí I i II, s použitou pájecí pastou na první průchod SAC305 a na druhý průchod PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,11 %.
- Největší změna byla 1,11 % na DPS č. 23, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 16, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 31, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,36 %.
- Největší změna byla 0,92 % na DPS č. 14, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 29, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,35 %.
- Největší změna byla 0,98 % na DPS č. 5, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,06 % na DPS č. 21, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.

6.8 Měření po 116 dnech stárnutí

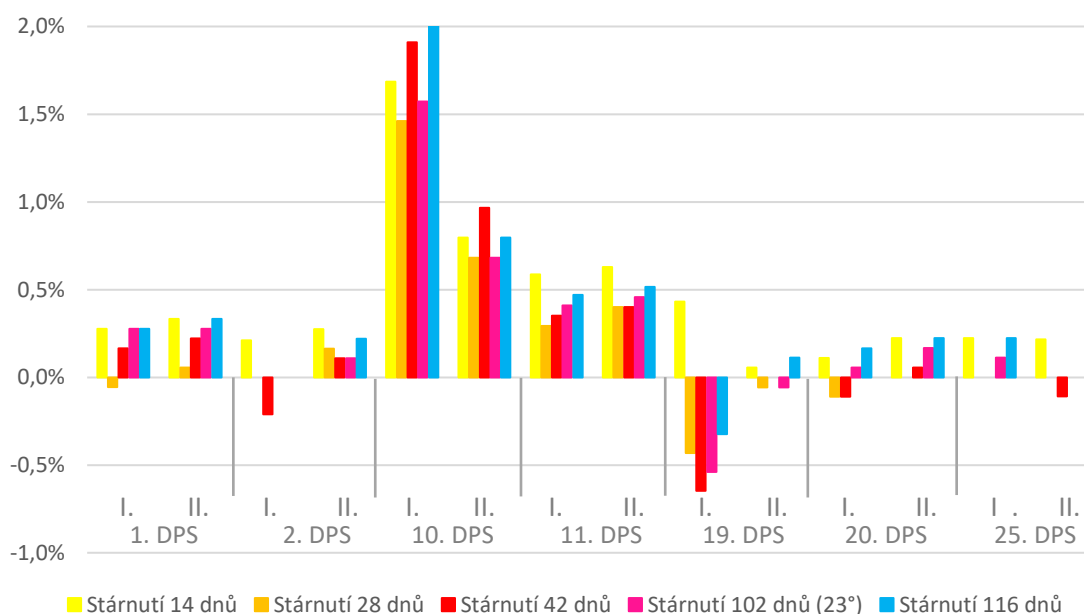
V následujících tabulkách jsou naměřené hodnoty odporů po 116 dnech stárnutí a porovnány s referenčními. Vzorky jsou rozdělené podle povrchové úpravy a místa, ve kterém byly uloženy. Všechna měření proběhla v teplotní skříni Friocell 66R při teplotě 40 °C. Po skončení byly všechny vzorky rozmístěny do patřičných teplot a podstoupeny dalšímu teplotnímu stárnutí. Pro lepší přehlednost v tabulce jsou hodnoty z druhého a třetího měření odebrány, ale v grafech jsou stále zahrnuté, aby byla vidět celková změna odporu vztažená k referenčnímu měření.

V tabulce 40 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 116 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v mrazícím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 40: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG

Mrazící box						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů, 23° [Ω]	189 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	1	I.	1,813	1,816	1,818	1,818
		II.	1,804	1,808	1,809	1,810
PF735-PQ10	2	I.	0,951	0,949	0,951	0,951
		II.	1,825	1,827	1,827	1,829
PF743-PQ10	10	I.	0,890	0,907	0,904	0,910
		II.	1,758	1,775	1,770	1,772
PF743-PQ10	11	I.	1,705	1,711	1,712	1,713
		II.	1,748	1,755	1,756	1,757
PF734-PQ10	19	I.	0,927	0,921	0,922	0,924
		II.	1,768	1,768	1,767	1,770
PF734-PQ11	20	I.	1,816	1,814	1,817	1,819
		II.	1,794	1,795	1,797	1,798
SAC305	25	I.	0,897	0,897	0,898	0,899
PF735-PQ10		II.	0,922	0,921	0,922	0,922

V grafu 31 je znázorněna procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



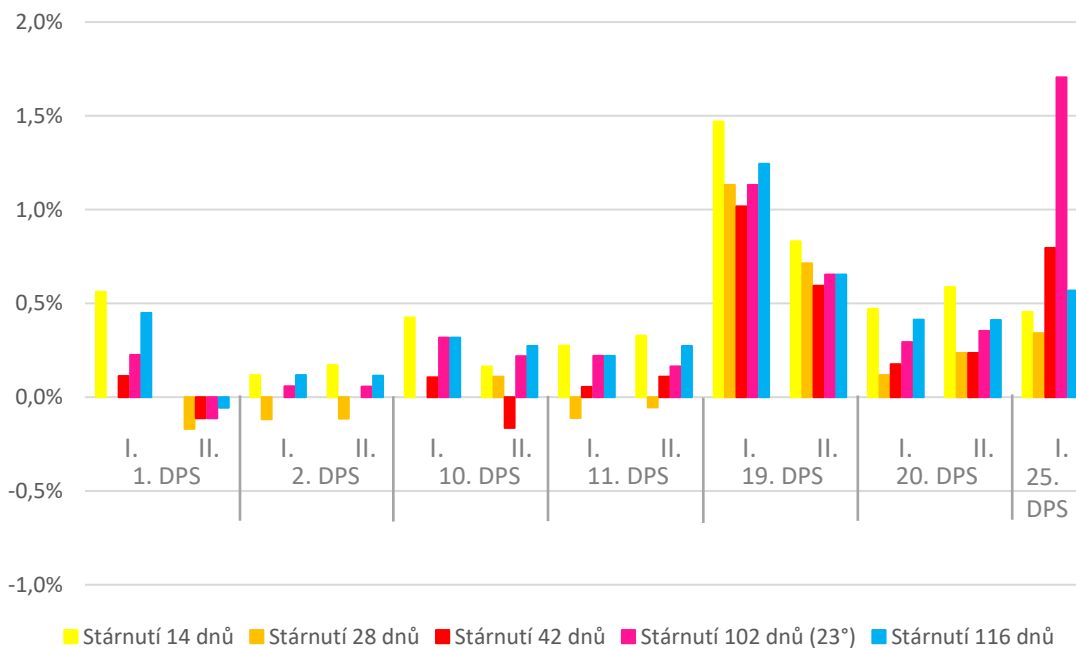
Graf 31: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava ENIG

V tabulce 41 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 116 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v mrazícím boxu. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 41: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie imerzní cín

Mrazící box						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů, 23° [Ω]	189 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	1	I.	0,889	0,890	0,891	0,893
		II.	1,783	1,781	1,781	1,782
PF735-PQ10	2	I.	1,700	1,700	1,701	1,702
		II.	1,751	1,751	1,752	1,753
PF743-PQ10	10	I.	0,942	0,943	0,945	0,945
		II.	1,826	1,823	1,830	1,831
PF743-PQ10	11	I.	1,813	1,814	1,817	1,817
		II.	1,825	1,827	1,828	1,830
PF734-PQ10	19	I.	0,884	0,893	0,894	0,895
		II.	1,683	1,693	1,694	1,694
PF734-PQ11	20	I.	1,697	1,700	1,702	1,704
		II.	1,700	1,704	1,706	1,707
SAC305	25	I.	0,880	0,887	0,895	0,885

V grafu 32 je znázorněna procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



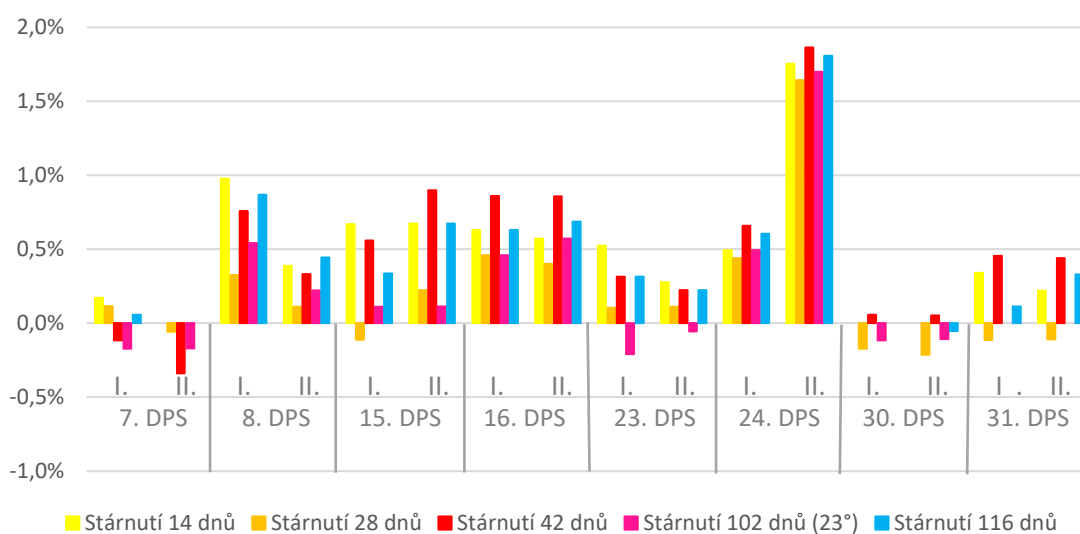
Graf 32: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 42 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 116 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 42: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie ENIG

Pokojová teplota						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů, 23° [Ω]	189 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	7	I.	1,738	1,736	1,735	1,739
		II.	1,768	1,762	1,765	1,768
PF735-PQ10	8	I.	0,922	0,929	0,927	0,930
		II.	1,802	1,808	1,806	1,810
PF743-PQ10	15	I.	0,895	0,900	0,896	0,898
		II.	0,890	0,898	0,891	0,896
PF743-PQ10	16	I.	1,743	1,758	1,751	1,754
		II.	1,748	1,763	1,758	1,760
PF734-PQ10	23	I.	0,953	0,956	0,951	0,956
		II.	1,795	1,799	1,794	1,799
PF734-PQ11	24	I.	1,822	1,834	1,831	1,833
		II.	1,825	1,859	1,856	1,858
SAC305	30	I.	1,736	1,737	1,734	1,736
PF735-PQ10		II.	1,868	1,869	1,866	1,867
SAC305	31	I.	0,880	0,884	0,880	0,881
PF735-PQ10		II.	0,908	0,912	0,908	0,911

V grafu 33 je znázorněna procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



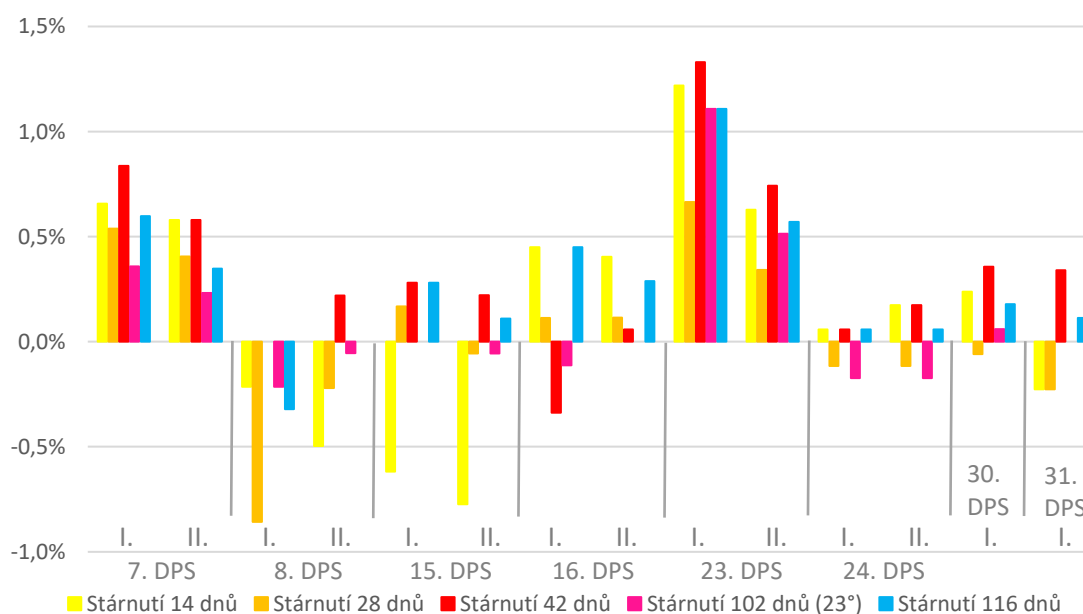
Graf 33: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG

V tabulce 42 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 116 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v pokojové teplotě. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 43: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie imerzní cín

Pokojová teplota						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů, 23° [Ω]	189 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	7	I.	1,674	1,688	1,680	1,684
		II.	1,725	1,735	1,729	1,731
PF735-PQ10	8	I.	0,933	0,933	0,931	0,930
		II.	1,816	1,820	1,815	1,816
PF743-PQ10	15	I.	1,779	1,784	1,779	1,784
		II.	1,809	1,813	1,808	1,811
PF743-PQ10	16	I.	0,889	0,886	0,888	0,893
		II.	1,734	1,735	1,734	1,739
PF734-PQ10	23	I.	0,902	0,914	0,912	0,912
		II.	1,753	1,766	1,762	1,763
PF734-PQ11	24	I.	1,736	1,737	1,733	1,737
		II.	1,725	1,728	1,722	1,726
SAC305	30	I.	1,682	1,688	1,683	1,685
SAC305	31	I.	0,881	0,884	0,881	0,882

V grafu 34 je znázorněna procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



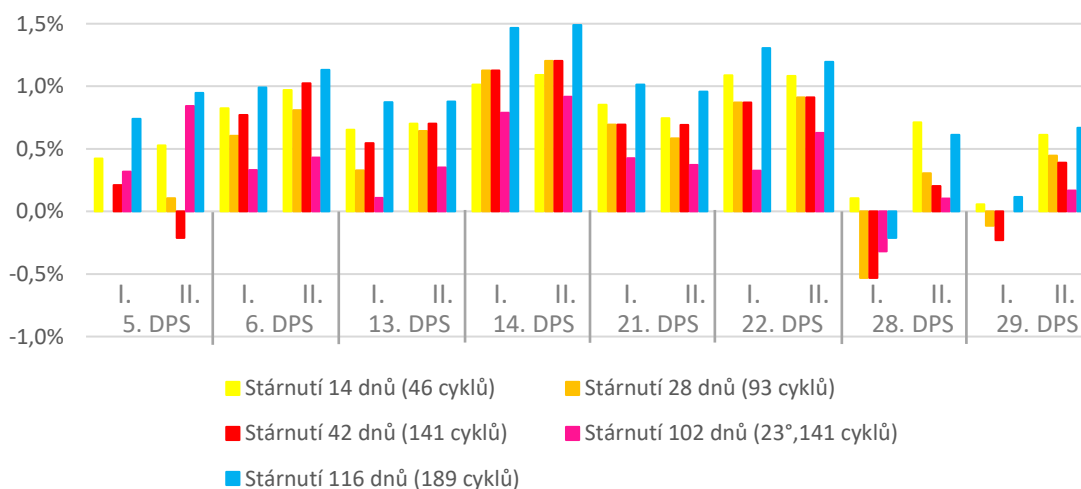
Graf 34: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín

V tabulce 44 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 116 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita ENIG technologie.

Tabulka 44: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG

Teplotní skříň Friocell						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů, 23° [Ω]	189 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	5	I.	0,946	0,948	0,949	0,953
		II.	0,949	0,947	0,957	0,958
PF735-PQ10	6	I.	1,818	1,832	1,824	1,836
		II.	1,856	1,875	1,864	1,877
PF743-PQ10	13	I.	0,917	0,922	0,918	0,925
		II.	1,710	1,722	1,716	1,725
PF743-PQ10	14	I.	1,774	1,794	1,788	1,800
		II.	1,744	1,765	1,760	1,770
PF734-PQ10	21	I.	1,875	1,888	1,883	1,894
		II.	1,880	1,893	1,887	1,898
PF734-PQ11	22	I.	0,920	0,928	0,923	0,932
		II.	1,755	1,771	1,766	1,776
SAC305	28	I.	0,940	0,935	0,937	0,938
PF735-PQ10		II.	0,982	0,984	0,983	0,988
SAC305	29	I.	1,740	1,736	1,740	1,742
PF735-PQ10		II.	1,798	1,805	1,801	1,810

V grafu 35 je znázorněna procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



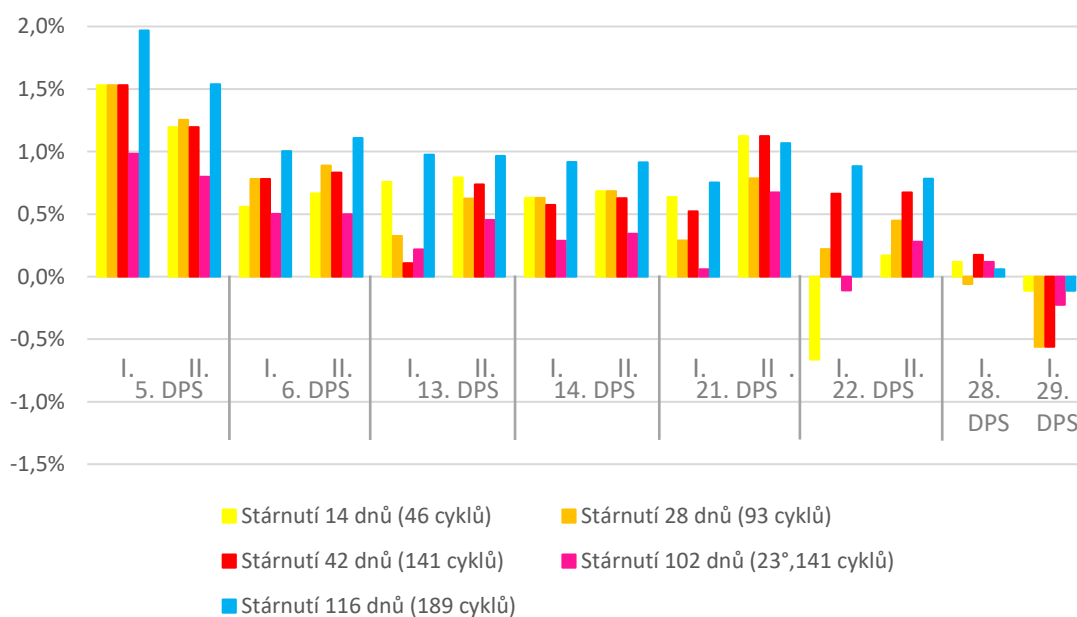
Graf 35: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG

V tabulce 45 jsou znázorněny naměřené hodnoty po 116 dnech stárnutí pro vzorky, které byly umístěny v teplotní skříni Friocell. Na povrchovou úpravu byla použita imerzní cín technologie.

Tabulka 45: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín

Teplotní skříň Friocell						
pájecí pasta	číslo DPS	průchod pecí	ref. hodnoty [Ω]	141 cyklů [Ω]	60 dnů, 23° [Ω]	189 cyklů [Ω]
PF735-PQ10	5	I.	0,915	0,929	0,924	0,933
		II.	1,756	1,777	1,770	1,783
PF735-PQ10	6	I.	1,796	1,810	1,805	1,814
		II.	1,803	1,818	1,812	1,823
PF743-PQ10	13	I.	0,923	0,924	0,925	0,932
		II.	1,764	1,777	1,772	1,781
PF743-PQ10	14	I.	1,744	1,754	1,749	1,760
		II.	1,753	1,764	1,759	1,769
PF734-PQ10	21	I.	1,727	1,736	1,728	1,740
		II.	1,781	1,801	1,793	1,800
PF734-PQ11	22	I.	0,906	0,912	0,905	0,914
		II.	1,786	1,798	1,791	1,800
SAC305	28	I.	1,717	1,720	1,719	1,718
SAC305	29	I.	0,891	0,886	0,889	0,890

V grafu 36 je znázorněna procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí vůči referenčním hodnotám a porovnána s předešlými měřeními.



Graf 36: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín

6.8.1 Vyhodnocení výsledků po 116 dnech stárnutí

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,38 %.
- Největší změna byla 2,25 % na DPS č. 10, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 2, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 25, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v mrazícím boxu pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,38 %.
- Největší změna byla 1,24 % na DPS č. 19, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla -0,06 % na DPS č. 1, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,44 %.
- Největší změna byla 1,81 % na DPS č. 24, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 7, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10. Stejná změna byla naměřena u DPS č. 30, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

Naměřené změny odporu v pokojové teplotě pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,27 %.
- Největší změna byla 1,11 % na DPS č. 23, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF734-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,00 % na DPS č. 8, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu ENIG

- Průměrná změna odporu činí 0,89 %.
- Největší změna byla 1,49 % na DPS č. 14, průchod pecí II, s použitou pájecí pastou PF743-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,11 % na DPS č. 29, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

Naměřené změny odporu v teplotní skříni Friocell pro povrchovou úpravu imerzní cín

- Průměrná změna odporu činí 0,92 %.
- Největší změna byla 1,97 % na DPS č. 5, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou PF735-PQ10.
- Nejmenší změna byla 0,06 % na DPS č. 28, průchod pecí I, s použitou pájecí pastou SAC305.

ZÁVĚR

V bakalářské práci byly měřeny tři druhy nízkoteplotních pájecích past s různým obsahem bizmutu a pasta SAC305. Bylo měřeno celkem 62 testovaných vzorků, z toho na první polovinu byla použita povrchová úprava technologií ENIG a na druhou polovinu imerzní cín. Testovací vzorky byly rozděleny do čtyř různých teplot. A to, že 14 vzorků bylo podrobeno teplotnímu stárnutí při teplotě -40 °C , 16 vzorků při teplotě 90 °C , 16 vzorků při teplotě 23 °C (pokojové teplota) a posledních 16 vzorků cyklovalo při teplotě 0 °C – 100 °C .

Na každou desku plošných spojů bylo použito čtyřicet nulových rezistorů zapojených v sérii a byly použity obě strany. Jelikož bylo pracováno s nulovými rezistory, tak měřený odpor byl velmi malý, a tak musela být použita čtyřvodičová měřicí metoda. Aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků, tak všechny vzorky byly měřeny za stejných podmínek. To znamená, že před každým měřením se celá sada z určitého teplotního uložení nechala temperovat po dobu 30 min na 40 °C . Při této teplotě byly odečítány hodnoty odporů pro každé měření. Proces se opakoval pro všechny teplotní rozdělení.

Nejdříve bylo nutné naměřit referenční hodnoty, ke kterým je vztaženo každé vyhodnocení. Vzorky byly měřeny po 14 dnech stárnutí, 28 dnech stárnutí, 42 dnech stárnutí. Během této doby byly rozmístěny do patřičných teplot a při nich stárnuly. Další měření bylo provedeno pro 60 dnech od posledního měření, kdy všechny vzorky stárnuly při pokojové teplotě. Poslední měření již bylo zase s rozmístěným do patřičných teplot.

Při teplotním stárnutí rostou intermetalické vrstvy, dochází ke vznik mikroprasklin a voidů a tím pádem by měl odpor pájených spojů růst. Při vyhodnocení naměřených hodnot však lze vidět určité poklesy. Na škodu dosažených výsledků přispěla závada pece, která způsobila po 42 dnech měření přetavení pájených spojů a tím došlo k výrazné změně odporů (viz graf 19 a 20). Pro další vyhodnocování již nebyly vzorky z pece měřeny.

Změny při teplotním stárnutí nebyly nijak výrazné, protože se hodnoty odporů měnily v tisícinách tzn. že nedošlo k výraznému růstu intermetalických vrstev. Ale i přesto, pájka s nejvyšším obsahem bizmutu (PF735-PQ10), blížícím se eutektickému stavu, měla nejmenší změny odporů, a proto by mohla být použita u aplikací, u kterých je požadována stála hodnota odporu nebo, které jsou vystaveny teplotním změnám.

Na grafech číslo 35, 36 lze sledovat trend růstu odporu s postupným stárnutím, kdy při stárnutím došlo k růstu intermetalických vrstev a ke změně odporu. Následně po stárnutí při pokojové teplotě došlo k ustálení a při následném stárnutí k opětovnému růstu tzn. zvětšení odporu.

Pro další pokračování práce doporučuji měřené vzorky podrobit náročnějším testům, např. šokovým zkouškám nebo cyklickému stárnutí, kdy by vzorky byly střídavě namáhány mezi teplotami -40 °C a 90 °C nebo teplotami -25 °C a 100 °C (zkouška typu TC2 dle IPC-9701). Dále na těchto pájených spojkách sledovat změny mikrostruktury na mikrovýbrusech a testovat pevnost pomocí zkoušky stříhem.

LITERATURA

- [1] RAZAK, Nurul Razliana Abdul, Mohd Arif Anuar MOHD SALLEH, Norainiza SAUD, Rita Mohd SAID a Mohd Izrul Izwan RAMLI. Influence of Bismuth in Sn-Based Lead-Free Solder – A Short Review: Part I—Thermal properties and microstructural analysis. *Solid State Phenomena* [online]. 2018, 273(10), 40-45 [cit. 2019-11-29]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.273.40. ISSN 1662-9779. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/325980939_Influence_of_Bismuth_in_Sn-Based_Lead-Free_Solder_-_A_Short_Review
- [2] BAS, Morgana. *Low-Temperature Soldering* [online]. USA: BR Publishing, 2018 [cit. 2019-11-29]. ISBN 978-0-9998648-4-5. Dostupné z: https://www.hilpert.ch/files/alpha_low-temperature-soldering.pdf
- [3] BBIEN TECHNOLOGY. *Nízkoteplotní pájecí pasta o teplotě 138 °C Sn42Bi58* [online]. [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <http://cz.bbientsolders.com/no-clean-solder-paste/lead-free-solder-paste/138-degree-melting-low-temperature-solder-paste.html>
- [4] Bath, J., Itoh, M., Clark, G.W., Takahashi, H., Yokota, K., Asai, K., Atsushi, Irisawa, Mori, K., Rund, D., & García, R.O. *An investigation into low temperature tin-bismuth and tin-bismuth-silver lead-free alloy solder pastes for electronics manufacturing applications*. [online]. 2013 [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-investigation-into-low-temperature-tin-bismuth-Bath-Itoh/a2c143dd34f3d724e7b1b8bc29a7394cbc06fc13#related-papers>
- [5] STARÝ, Jiří a Petr KAHLE. *Plošné spoje a povrchová montáž* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2011 [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/2635621-Ing-jiri-stary-ph-d-ing-petr-kahle-plosne-spoje-a-povrchova-montaz.html>
- [6] *Journal of Electronic Materials* [online]. 1999, 28(10) [cit. 2019-11-29]. ISSN 0361-5235. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-999-0250-4>
- [7] WANG, Fengjiang, Ying HUANG, Zhijie ZHANG a Chao YAN. Interfacial Reaction and Mechanical Properties of Sn-Bi Solder joints. *Materials* [online]. 2017, 10(8), 920 [cit. 2019-11-29]. DOI: 10.3390/ma10080920. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1944/10/8/920>
- [8] RIBAS, Morgana, Sujatha CHEGUDI, Anil KUMAR, Ranjit PANDHER, Rahul RAUT, Sutapa MUKHERJEE, Siuli SARKAR a Bawa SINGH. Development of low-temperature drop shock resistant solder alloys for handheld devices. *2013 IEEE 15th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC 2013)* [online]. IEEE, 2013, 2013, , 48-52 [cit. 2019-11-29]. DOI: 10.1109/EPTC.2013.6745682. ISBN 978-1-4799-2834-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6745682/>
- [9] ZUO, Yong, Limin MA, Sihan LIU, Ting WANG, Fu GUO, Xitao WANG, Siuli SARKAR a Bawa SINGH. The coupling effects of thermal cycling and high current density on Sn58Bi solder joints. *Journal of Materials Science* [online]. IEEE, 2013, 2013, 48(6), 2318-2325 [cit. 2019-11-29]. DOI: 10.1007/s10853-012-7011-0. ISBN 978-1-4799-2834-7. ISSN 0022-2461. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10853-012-7011-0>
- [10] LOW TEMPERATURE SOLDERING USING SN-BI ALLOYS. *Proceedings of SMTA International* [online]. Rosemont, 2017, , 201-206 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://alphaassembly.com/-/media/Media-Assets/Low-Temperature-Soldering-Using-Sn-Bi-Alloys.pdf>
- [11] LEE, Ning-Cheng. It is Time for Low Temperature: Low Temperature Solders , New Development, and Their Applications [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z:

- https://www.smta.org/chapters/files/Boston_Chapter_LowTempPb-freeSoldering.pdf
- [12] MOKHTARI, Omid a Hiroshi NISHIKAWA. Effects of In and Ni Addition on Microstructure of Sn-58Bi Solder Joint. *Journal of Electronic Materials* [online]. 2014, 43(11), 4158-4170 [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.1007/s11664-014-3359-z. ISSN 0361-5235. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-014-3359-z>
- [13] YANG, Fan, Liang ZHANG, Zhi-quan LIU, Su-juan ZHONG, Jia MA a Li BAO. Properties and Microstructures of Sn-Bi-X Lead-Free Solders. *Advances in Materials Science and Engineering* [online]. 2016, 2016, 1-15 [cit. 2020-05-22]. DOI: 10.1155/2016/9265195. ISSN 1687-8434. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2016/9265195/>
- [14] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Zkouška tvrdosti podle Vickerse [online]. c2019 [citováno 22. 05. 2020]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Zkou%C5%A1ka_tvrdosti_podle_Vickerse&oldid=17949028>
- [15] ZHANG, Cheng, Si-dong LIU, Guo-tong QIAN, Jian ZHOU a Feng XUE. Effect of Sb content on properties of Sn—Bi solders. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* [online]. 2014, 24(1), 184-191 [cit. 2020-05-22]. DOI: 10.1016/S1003-6326(14)63046-6. ISSN 10036326. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1003632614630466>
- [16] Příspěvatelé Wikipedie, *Solar panel* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2019, Datum poslední revize 2. 11. 2019, 00:21 UTC, [citováno 29. 11. 2019]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_panel#/media/File:Photovoltaik_Dachanlage_Hannover_-_Schwarze_Heide_-_1_MW.jpg
- [17] High-reliability, Low-temperature Solder Alloys. *SMT007 Magazine* [online]. 2020, Květen 2020, 109 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <http://iconnect007.uberflip.com/i/1243344-smt007-may2020/24>
- [18] Halogen-Free and Head-in-Pillow [online]. 2008, 6. června 2008 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.indium.com/blog/halogen-free-and-head-in-pillow.php>
- [19] TAMARI, Alexander. What Are Molded Interconnect Devices or MIDs? [online]. 30. března 2017 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://resources.altium.com/p/what-are-molded-interconnect-devices-or-mids>
- [20] What do you think of low temperature lead free solder paste? [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <http://www.surfacemountprocess.com/low-temperature-lead-free-solder-paste.html>
- [21] Základní elektrická měření [online]. [cit. 2019-10-27]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/personal/xfabera/AM/labcv/labcv3/labcv3.html>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

SnPb	pájecí slitina se složením SnPb
SAC	pájecí slitina se složením SnAgCu
Lead-free	bezolovnaté pájecí slitiny
Co2	oxid uhličitý
SnBi	pájecí slitina se složením SnBi
No-clean	typ tavidla nevyžadující čištění
HRL	patentovaná pájecí slitina s obsahem bizmutu
SBX02	patentovaná pájecí slitina s obsahem bizmutu
IMC	Intermetallic Compound, intermetalická sloučenina
BGA	Ball Grid Array, typ pouzdra integrovaného obvodu pro povrchovou montáž
TCE	Thermal Expansion Coefficient, teplotní součinitel délkové roztažnosti
DPS	Deska Plošných Spojů
SMD	Surface Mount Device, součástka pro povrchovou montáž
ENIG	Electroless Nickel Immersion Gold, typ povrchové úpravy
MID	Molded Interconnect Device
DPAK	typ pouzdra používaný pro výkonové MOSFET tranzistory

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vliv pájecí teploty na energii (převzato z [4])	4
Obrázek 2: SnBi fázový diagram (převzato z [5]).....	5
Obrázek 3: Mikrostruktura přechodu ploška/pájka (převzato z [7]).....	7
Obrázek 4: Křivka pevnosti v tahu (převzato z [8])	8
Obrázek 5: Vliv procentuální obsahu Bi na vlastnosti v tahu (převzato z [8]).....	8
Obrázek 6: Mechanické vlastnosti eutektických SnBi slitin (převzato z [2]).....	9
Obrázek 7: Zkoušky nárazem eutektických Sn-Bi slitin (převzato z [2]).....	9
Obrázek 8: Pájené spoje eutektických pájek BGA pouzdrů po teplotním cyklování (převzato z [2]).....	10
Obrázek 9: Pájené spoje eutektických pájek SMD rezistorů po teplotním cyklování (převzato z [2]).....	11
Obrázek 10: Vliv teplotního cyklování -45 °C až 125 °C na pájecí slitiny (převzato z [11])	12
Obrázek 11: Test stříhové síly na pájené spoje po přetavení a během teplotního stárnutí (převzato z [11]).....	13
Obrázek 12: Vliv india na teplotu přetavení pájecí slitiny (převzato z [13])	13
Obrázek 13: Průměrný růst zrna pro pájecí slitiny (převzato z [13])	14
Obrázek 14: Pole solárních panelů (převzato z [16])	15
Obrázek 15: Porovnání dobrého pájené spoje s "head-in-pillow" defektem (převzato z [18]).....	16
Obrázek 16: Ukázka použití MID (převzato z [19]).....	16
Obrázek 17: Porovnání pouzder s vysokých a nízkých obsahem vzduchových mezer (převzato z [20]).....	17
Obrázek 18: Měřené vzorky s povrchnou úpravou ENIG a imerzní cín	18
Obrázek 19: Použité přístroje při měření(a v teplotní skříni Friocell 66R, b mrazicí box Elcold 130L, c Sterilizátor Chirana, d multimetr Agilent 34401A)	19
Obrázek 20: Čtyřvodičové měření odporu (převzato z [21]).....	20

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Bezolovnaté pájecí slitiny používané v průmyslu [2]	3
Tabulka 2: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF734-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG.....	20
Tabulka 3: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF734-PQ10 s povrchovou úpravou imerzní cín	21
Tabulka 4: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF743-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG.....	21
Tabulka 5: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF743-PQ10 s povrchovou úpravou imerzní cín	22
Tabulka 6: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF735-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG.....	22
Tabulka 7: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF735-PQ10 s povrchovou úpravou imerzní cín	23
Tabulka 8: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu SAC305 a PF735-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG	23
Tabulka 9: Naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu SAC305 s povrchovou úpravou imerzní cín	24
Tabulka 10: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG	25
Tabulka 11: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie imerzní cín.....	26
Tabulka 12: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie ENIG	27
Tabulka 13: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie imerzní cín.....	28
Tabulka 14: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v pokojové teplotě (23 °C), povrchová technologie ENIG	29
Tabulka 15: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v pokojové teplotě (23 °C), povrchová technologie imerzní cín.....	30
Tabulka 16: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG.....	31
Tabulka 17: Naměřené hodnoty pájecích past po 14 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín	32
Tabulka 18: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG	35
Tabulka 19: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie imerzní cín.....	36

Tabulka 20: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie ENIG	37
Tabulka 21: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie imerzní cín	38
Tabulka 22: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie ENIG	39
Tabulka 23: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie imerzní cín	40
Tabulka 24: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG	41
Tabulka 25: Naměřené hodnoty pájecích past po 28 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín	42
Tabulka 26: Naměřené hodnoty pájecích past po 42 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG	45
Tabulka 27: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie imerzní cín	46
Tabulka 28: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie ENIG	47
Tabulka 29: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné ve sterilizátoru, povrchová technologie imerzní cín	48
Tabulka 30: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie ENIG	49
Tabulka 31: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie imerzní cín	50
Tabulka 32: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG	51
Tabulka 33: Naměřené hodnoty pájecích past 42 dnech umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín	52
Tabulka 34: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG	55
Tabulka 35: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie imerzní cín	56
Tabulka 36: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie ENIG	57
Tabulka 37: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie imerzní cín	58
Tabulka 38: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG	59
Tabulka 39: Naměřené hodnoty pájecích past po 102 dnech stárnutí pro vzorky umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín	60

Tabulka 40: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie ENIG	63
Tabulka 41: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v mrazícím boxu, povrchová technologie imerzní cín.....	64
Tabulka 42: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie ENIG.....	65
Tabulka 43: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v pokojové teplotě, povrchová technologie imerzní cín	66
Tabulka 44: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie ENIG.....	67
Tabulka 45: Naměřené hodnoty pájecích past po 116 dnech pro vzorky umístěné v teplotní skříni Friocell, povrchová technologie imerzní cín	68

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Procentuální změna odporu po 14 dnech v mrazícím boxu, povrchová úprava ENIG	25
Graf 2: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava imerzní cín	26
Graf 3: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava ENIG	27
Graf 4: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava imerzní cín	28
Graf 5: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG	29
Graf 6: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín	30
Graf 7: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG	31
Graf 8: Procentuální změna odporu po 14 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín.....	32
Graf 9: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava ENIG	35
Graf 10: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava imerzní cín	36
Graf 11: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava ENIG	37
Graf 12: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava imerzní cín	38
Graf 13: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG	39
Graf 14: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín	40
Graf 15: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG	41
Graf 16: Procentuální změna odporu po 28 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín.....	42
Graf 17: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava ENIG	45
Graf 18: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v mrazícím boxu, povrchová úprava imerzní cín	46

Graf 19: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava ENIG	47
Graf 20: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí ve sterilizátoru, povrchová úprava imerzní cín	48
Graf 21: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG	49
Graf 22: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín	50
Graf 23: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG	51
Graf 24: Procentuální změna odporu po 42 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín.....	52
Graf 25: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v mrazicím boxu, povrchová úprava ENIG	55
Graf 26: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v mrazicím boxu, povrchová úprava imerzní cín.....	56
Graf 27: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG	57
Graf 28: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín.....	58
Graf 29: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG.....	59
Graf 30: Procentuální změna odporu po 102 dnech stárnutí pro vzorky uložené v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín	60
Graf 31: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v mrazicím boxu, povrchová úprava ENIG	63
Graf 32: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v mrazicím boxu, povrchová úprava imerzní cín	64
Graf 33: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG	65
Graf 34: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín	66
Graf 35: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava ENIG	67
Graf 36: Procentuální změna odporu po 116 dnech stárnutí v teplotní skříni Friocell, povrchová úprava imerzní cín.....	68