



# 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

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miloš Švéda

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Starý, Ph.D.

BRNO 2019

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**

Ústav elektrotechnologie

**Student:** Bc. Miloš Švéda

**ID:** 151928

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2018/19

## NÁZEV TÉMATU:

### Nízkoteplotní bizmutové pájecí pasty

#### POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte odbornou literaturu se zaměřením na bizmutové nízkoteplotní pájecí slitiny a na materiálové, procesní a environmentální vlivy limitující spolehlivost těchto pájených spojů. Soustředte se i na perspektivní aplikace a na úskalí v jejich použití.

Navrhněte metodiku zkoušek vybraných vlastností pájeného spoje.

Na zkušební DPS zapájejte přetavením s definovaným teplotním profilem nulové rezistory 0805. Proveďte izotermální stárnutí a cyklické teplotní zkoušky, dle možností i orientační teplotní šokové zkoušky (- 40 °C/ + 120°C) a analyzujte změny odporu propojení i pevnosti pájeného spoje.

Pozorujte změny struktury na mikrovýbrusech pájeného spoje dodaných typů bizmutových pájecích past.

Vyhodnoťte dosažené výsledky.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 21.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Starý, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 diplomová práce se zabývá bizmutovými nízkoteplotními pájecími pastami. Popisuje vlastnosti bizmutových pájecích past. Ukazuje postup výroby zkušební desky plošných spojů. V práci je optimalizováno nastavení teplotního profilu pro slitinu SnBi v laboratorní přetavovací peci. Osazení nulových rezistorů na vyrobené desky plošných spojů s odlišnou povrchovou úpravou ve výrobním podniku. Nastavení pájecích profilů pro nízkoteplotní pájecí pasty v přetavovací peci. Testování odporu osazených nulových rezistorů na zkušební desce je prováděno pro různé podmínky teplotního stárnutí. Měření odporu po stanovené době. Testování pevnosti pájeného spoje desek plošných spojů pro rozdílné povrchové úpravy. Změny struktury na mikrovýbrusech pro pájecí pasty.

## **Klíčová slova**

DPS, BiSn, SMD, pájení přetavením, testovací metody, mikrovýbrus

## **Abstract**

This master's thesis deals with bismuth low temperature solder pastes. Describes the properties of bismuth solder pastes. It shows the process of manufacturing a printed circuit board for test. The thesis also characterizes laboratory temperature profile setting for the BiSn soldering pastes. Solder paste printing and placement 0 ohm resistors to printed circuit boards with different surface finishes in the manufacturing plant. Setting of solder profiles for low soldering pastes in reflow oven. Testing resistance of mounted zero resistor on the test board at different aging temperature were analysed. Resistance measurement after a specified time. Testing of solder joint strength of printed circuit boards for different surface treatments. Changes in structure were analysed on microsections for solder pastes.

## **Keywords**

PCB, BiSn, SMD, reflow soldering, test method, microsection

### **Bibliografická citace:**

ŠVÉDA, M. *Nízkoteplotní bizmutové pájecí pasty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. 107 s., 40 s. příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Starý, Ph.D..

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování diplomové práce. Rád bych poděkoval firmě GATEMA za výrobu desek plošných spojů s různou povrchovou úpravou. Déle děkuji spolupracujícím členům z firmy RESIDEO za osazení desek plošných spojů. Panu Doc. Ing. Jaromírovi Hubálkovi, Ph.D. za zapůjčení mrazícího boxu pro stárnutí DPS. Panu Ing. Pavlu Čudkovi, Ph.D. za pomoc při zkoumání vzorků pomocí rastrovací elektronové mikroskopie. V poslední řadě bych rád poděkoval své rodině především manželce za podporu při studiu.

V Brně dne: 21. května 2019

.....  
podpis autora

# Obsah

1.	Úvod.....	15
2.	Nízkoteplotní pájecí pasty.....	16
2.1	Historie pájecí pasty na bázi bizmutu .....	17
2.2	Pájecí pasty na bázi bizmutu a aplikace.....	18
2.3	Výhody pájecích slitin na bázi bizmutu .....	22
2.4	Povrchové úpravy DPS .....	24
3.	Testovací metody .....	27
3.1	Měření velmi malých odporů čtyřbodovou metodou.....	27
3.2	Mechanická zkouška stříhem .....	27
4.	Osazení a pájení DPS v Resideo .....	29
5.	Testy vyrobených DPS v Resideo.....	33
5.1	Vstupní test jednotlivých parametrů DPS .....	34
5.2	Test DPS po 7 dnech stárnutí .....	38
5.3	Test DPS po 14 dnech stárnutí .....	47
5.4	Test DPS po 21 dnech stárnutí .....	56
5.5	Test DPS po 28 dnech stárnutí .....	65
5.6	Měření odporu – shrnutí průběhu stárnutí v různých podmínkách .....	74
5.6.1	Mrazicí box .....	74
5.6.2	Izotermální stárnutí .....	75
5.6.3	Cyklické stárnutí .....	77
5.6.4	Pokojová teplota .....	78
5.6.5	Pájecí pasta PF735-PQ10.....	80
5.6.6	Pájecí pasta PF743-PQ10.....	81
5.6.7	Pájecí pasta PF734-PQ10.....	82
5.6.8	Pájecí pasta SAC305.....	83
5.6.9	Pájecí pasta PF735-PQ10 pájená se SAC305 .....	84
6.	Mechanická zkouška a mikrovýbrus .....	85
6.1	Mechanická zkouška stříhem .....	86
6.2	Mikrovýbrus .....	90
7.	Závěr .....	105

## Seznam symbolů a zkratek

### Zkratky:

SAC	...	slitina se složením Sn-Ag-Cu	
Sn	...	chemická značka pro cín	
Bi	...	chemická značka pro bizmut	
In	...	chemická značka pro indium	
Pb	...	chemická značka pro olovo	
BGA	...	Ball Grid Array, na spodní straně pouzdra jsou kuličky	
flip-chip	...	řízené propojení chipů	
PoP	...	Package on Package, pouzdro na pouzdro	
SiP	...	System in Package, systém na pouzdře	
MTS	...	Membrane Touch Switches, membránový dotykový spínač	
LED	...	Light-Emitting Diode, elektroluminiscenční dioda	
FR1, FR4	...	Flame Retardant, základní materiál se samozhášecí přísadou	
XPC	...	základní materiál pro výrobu DPS s papírovým jádrem razitelný za studena	
SMT	...	Surface Mounted Technology, technologie povrchové montáže	
PITH	...	Paste In Through Hole, pasta v průchozím otvoru	
SMD	...	Surface Mounted Device, součástka pro povrchovou montáž	
QFN	...	Quad-Flat No-leads, čtvercové pouzdro bez vývodů	
ENIG	...	Electroless Nickel Immersion Gold, pokovení chemickým niklem a imerzním zlatem	
DPS	...	Deska Plošných Spojů	
PC	...	Personal Computer, osobní počítač	

### Symbole:

R	...	odpor	[ $\Omega$ ]
F	...	síla	[N]

## Seznam obrázků

Obr. 1: Prodloužení slitiny SnBi při různé koncentraci Bi (převzato z [4]) .....	18
Obr. 2: Mikrostruktura (a) Sn-58Bi, (b) Sn-57,6Bi-0,4Ag, (c) SBX02, Bi - světle šedé, Sn tmavě šedé (převzato z [4]) .....	18
Obr. 3: Aplikace flexibilního obvodu ve fitness náramku (převzato z [4]) .....	19
Obr. 4: Membránové dotykové spínače (převzato z [4]) .....	20
Obr. 5: Vodivý a dielektrický inkoust (převzato z [5]) .....	21
Obr. 6: Inkoust ze stříbrných nanočástic (převzato z [6]) .....	21
Obr. 7: Struktura dielektrického inkoustu (převzato z [6]) .....	22
Obr. 8: Konektor Molex (převzato z [7]) .....	22
Obr. 9: Prohýbání DPS při pájení vlnou (převzato z [7]) .....	23
Obr. 10: Lesklé spoje, vlevo pouzdro QFN, vpravo držák knoflíkové baterie (převzato z [7]) .....	24
Obr. 11: Imerzní pokovení mědi cínem (převzato z [8]) .....	25
Obr. 12: Imerzní pokovení zlatem [8] .....	25
Obr. 13: Čtyřvodičové zapojení pro měření malého elektrického odporu (převzato z [6]) .....	27
Obr. 14: Princip mechanické zkoušky stříhem .....	28
Obr. 15: Sesouhlasení trnu se součástkou a) správné sesouhlasení, b) špatné sesouhlasení .....	28
Obr. 16: Výška trnu nad deskou a) špatná výška, b) správná výška .....	28
Obr. 17: Sítotisk ASM DEK NEoHorizon vlevo, vpravo šablona s testovanou pastou .....	29
Obr. 18: Inspekce pájecí pasty, vpravo výsledek po kontrole .....	30
Obr. 19: Osazovací automat ASM SIPLACE .....	30
Obr. 20: Ersu HOTFLOW 4/20 .....	31
Obr. 21: Posunutý nulový rezistor .....	31
Obr. 22: Špatně přetavena pájecí pasta, zvětšení 231,5x .....	32
Obr. 23: Použita zařízení při stárnutí .....	33
Obr. 24: DPS č. 16 ENIG, průchod pecí 1x s vývody C, D, E a F .....	33
Obr. 25: Deska plošných spojů při měření .....	34

Obr. 26: Procentuální změna odporu po 7 dnech, mrazící box pro ENIG.....	39
Obr. 27: Procentuální změna odporu po 7 dnech, mrazící box pro imerzní cín .....	40
Obr. 28: Procentuální změna odporu po 7 dnech z izotermálního boxu pro ENIG..	41
Obr. 29: Procentuální změna odporu po 7 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín.....	42
Obr. 30: Procentuální změna odporu po 23 cyklech pro ENIG .....	43
Obr. 31: Graf naměřených hodnot po 23 cyklech pro imerzní cín .....	44
Obr. 32: Graf naměřených hodnot po 7 dnech z pokojové teploty pro ENIG .....	45
Obr. 33: Graf naměřených hodnot po 7 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín .	46
Obr. 34: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech, mrazící box pro ENIG.....	48
Obr. 35: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech, mrazící box pro imerzní cín .....	49
Obr. 36: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech z izotermálního boxu pro ENIG.....	50
Obr. 37: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín .....	51
Obr. 38: Porovnání procentuálních změn odporu po 46 cyklech pro ENIG.....	52
Obr. 39: Porovnání procentuálních změn odporu po 46 cyklech pro imerzní cín ....	53
Obr. 40: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech, pokojová teplota pro ENIG.....	54
Obr. 41: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech, pokojová teplota pro imerzní cín .....	55
Obr. 42: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, mrazící box pro ENIG.....	57
Obr. 43: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, mrazící box pro imerzní cín .....	58
Obr. 44: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, izotermální box pro ENIG.....	59
Obr. 45: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, izotermálního boxu pro imerzní cín .....	60
Obr. 46: Porovnání procentuálních změn odporu po 69 cyklech pro ENIG.....	61

Obr. 47: Porovnání procentuálních změn odporu po 69 cyklech pro imerzní cín ....	62
Obr. 48: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, pokojová teplota pro ENIG.....	63
Obr. 49: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, pokojová teplota pro imerzní cín .....	64
Obr. 50: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, mrazicí box pro ENIG.....	66
Obr. 51: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, mrazicí box pro imerzní cín .....	67
Obr. 52: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, izotermální box pro ENIG.....	68
Obr. 53: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, izotermální box pro imerzní cín .....	69
Obr. 54: Porovnání procentuálních změn odporu po 100 cyklech pro ENIG.....	70
Obr. 55: Porovnání procentuálních změn odporu po 100 cyklech pro imerzní cín ..	71
Obr. 56: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, pokojová teplota pro ENIG.....	72
Obr. 57: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, pokojová teplota pro imerzní cín .....	73
Obr. 58: Trhané součástky .....	85
Obr. 59: Uchycení desky plošných spojů při trhání.....	85
Obr. 60: DPS č. 5, ENIG .....	86
Obr. 61: DPS č. 8, imerzní cín.....	86
Obr. 62: DPS č. 15, ENIG .....	87
Obr. 63: DPS č. 9, imerzní cín.....	87
Obr. 64: DPS č. 23, ENIG .....	88
Obr. 65: DPS č. 22, imerzní cín.....	88
Obr. 66: DPS č. 26, ENIG .....	89
Obr. 67: DPS č. 26, imerzní cín.....	89
Obr. 68: DPS č. 31, ENIG .....	90
Obr. 69: Znázornění, kde se prováděl mikrovýbrus .....	90
Obr. 70: Vzorčky po zalití a ztuhnutí .....	91

Obr. 71: SAPHIR 530 .....	91
Obr. 72: DPS č. 5 binokulární mikroskop .....	92
Obr. 73: DPS č. 15 binokulární mikroskop .....	92
Obr. 74: DPS č. 28 binokulární mikroskop .....	93
Obr. 75: Struktura pájeného spoje DPS č. 5 .....	93
Obr. 76: Analýza složení struktury pájeného spoje pro DPS č. 5.....	94
Obr. 77: Označené místo intermetalické vrstvy pro prvkovou analýzu DPS č. 5 ....	94
Obr. 78: Detail intermetalické vrstvy DPS č. 5 .....	95
Obr. 79: Analýza složení intermetalické vrstvy DPS č. 5 .....	95
Obr. 80: Difuze do povrchové úpravy DPS č. 5 .....	96
Obr. 81: Detail struktury povrchové úpravy DPS č. 5.....	96
Obr. 82: Analýza složení povrchové úpravy DPS č. 5 .....	97
Obr. 83: Difuze do pájecí plošky pro DPS č. 5.....	97
Obr. 84: Struktura pájecí plošky pod povrchovou úpravou DPS č. 5.....	98
Obr. 85: Analýza složení pájecí plošky pro DPS č. 5.....	98
Obr. 86: Struktura pájeného spoje DPS č. 15 .....	99
Obr. 87: Analýzy složení struktury pájeného spoje pro DPS č. 15.....	99
Obr. 88: Označené místo intermetalické vrstvy pro prvkovou analýzu DPS č. 15	100
Obr. 89: Detail intermetalické vrstvy DPS č. 15 .....	100
Obr. 90: Analýza složení intermetalické vrstvy pro DPS č. 15 .....	101
Obr. 91: Difuze do povrchové úpravy DPS č. 15 .....	101
Obr. 92: Detail struktury povrchové úpravy DPS č. 15.....	102
Obr. 93: Analýza složení povrchové úpravy DPS č. 15 .....	102
Obr. 94: Difuze do pájecí plošky DPS č. 15.....	103
Obr. 95: Struktura pájecí plošky pod povrchovou úpravou DPS č. 15.....	103
Obr. 96: Analýzy složení pájecí plošky pro DPS č. 15.....	103

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Slitiny s teplotou pod 180 °C [1] .....	16
Tabulka 2: Ceny jednotlivých prvků v Kč/g [3] .....	16
Tabulka 3: Toxicita jednotlivých prvků [4] .....	17
Tabulka 4: Tabulka s potenciálními úsporami (převzato [7]).....	23
Tabulka 5: Naměřené referenční hodnoty pro PF735-PQ10 ENIG.....	34
Tabulka 6: Naměřené referenční hodnoty pro PF735-PQ10 imerzní cín .....	35
Tabulka 7: Naměřené referenční hodnoty pro PF743-PQ10 ENIG.....	35
Tabulka 8: Naměřené referenční hodnoty pro PF743-PQ10 imerzní cín .....	36
Tabulka 9: Naměřené referenční hodnoty pro PF734-PQ10 ENIG.....	36
Tabulka 10: Naměřené referenční hodnoty pro PF734-PQ10 imerzní cín .....	37
Tabulka 11: Naměřené referenční hodnoty pro SAC305 a PF735-PQ10 ENIG .....	37
Tabulka 12: Naměřené referenční hodnoty pro SAC305 imerzní cín .....	38
Tabulka 13: Naměřené hodnoty 7 dnech z mrazicího boxu pro ENIG.....	39
Tabulka 14: Naměřené hodnoty po 7 dnech z mrazicího boxu pro imerzní cín .....	40
Tabulka 15: Naměřené hodnoty po 7 dnech z izotermálního boxu pro ENIG .....	41
Tabulka 16: Naměřené hodnoty po 7 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín. ....	42
Tabulka 17: Naměřené hodnoty po 23 cyklech pro ENIG .....	43
Tabulka 18: Naměřené hodnoty po 23 cyklech pro imerzní cín.....	44
Tabulka 19: Naměřené hodnoty po 7 dnech z pokojové teploty pro ENIG.....	45
Tabulka 20: Naměřené hodnoty po 7 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín .....	46
Tabulka 21: Naměřené hodnoty po 14 dnech z mrazicího boxu pro ENIG.....	48
Tabulka 22: Naměřené hodnoty po 14 dnech z mrazicího boxu pro imerzní cín .....	49
Tabulka 23: Naměřené hodnoty po 14 dnech z izotermálního boxu pro ENIG .....	50
Tabulka 24: Naměřené hodnoty z izotermálního boxu pro imerzní cín .....	51
Tabulka 25: Naměřené hodnoty po 46 cyklech pro ENIG .....	52
Tabulka 26: Naměřené hodnoty po 46 cyklech pro imerzní cín.....	53
Tabulka 27: Naměřené hodnoty po 14 dnech z pokojové teploty pro ENIG.....	54
Tabulka 28: Naměřené hodnoty po 14 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín ...	55
Tabulka 29: Naměřené hodnoty po 21 dnech z mrazicího boxu pro ENIG.....	57
Tabulka 30: Naměřené hodnoty po 21 dnech z mrazicího boxu pro imerzní cín .....	58

Tabulka 31: Naměřené hodnoty po 21 dnech z izotermálního boxu pro ENIG .....	59
Tabulka 32: Naměřené hodnoty po 21 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín	60
Tabulka 33: Naměřené hodnoty po 69 cyklech pro ENIG .....	61
Tabulka 34: Naměřené hodnoty po 69 cyklech pro imerzní cín.....	62
Tabulka 35: Naměřené hodnoty po 21 dnech z pokojové teploty pro ENIG.....	63
Tabulka 36: Naměřené hodnoty po 21 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín...	64
Tabulka 37: Naměřené hodnoty po 28 dnech z mrazícího boxu pro ENIG.....	66
Tabulka 38: Naměřené hodnoty po 28 dnech z mrazícího boxu pro imerzní cín.....	67
Tabulka 39: Naměřené hodnoty po 28 dnech z izotermálního boxu pro ENIG .....	68
Tabulka 40: Naměřené hodnoty po 28 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín	69
Tabulka 41: Naměřené hodnoty po 100 cyklech pro ENIG .....	70
Tabulka 42: Naměřené hodnoty po 100 cyklech pro imerzní cín.....	71
Tabulka 43: Naměřené hodnoty po 28 dnech z pokojové teploty pro ENIG.....	72
Tabulka 44: Naměřené hodnoty po 28 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín...	73
Tabulka 45: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro PF735-PQ10 .....	80
Tabulka 46: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro PF743-PQ10 .....	81
Tabulka 47: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro PF734-PQ10 .....	82
Tabulka 48: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro SAC305.....	83
Tabulka 49: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro PF735-PQ10 pájená se SAC305.....	84
Tabulka 50: Procentuální zastoupení prvků DPS č. 5, struktura pájeného spoje .....	94
Tabulka 51: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků v intermetalické vrstvě pro DPS č. 5. ....	96
Tabulka 52: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků povrchové úpravy pro DPS č. 5.....	97
Tabulka 53: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků pájecí plošky DPS č. 5. ..	98
Tabulka 54: Procentuální zastoupení prvků DPS č. 15, struktura pájeného spoje .	100
Tabulka 55: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků v intermetalické vrstvě DPS č. 15. ....	101
Tabulka 56: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků povrchové úpravy pro DPS č. 15.....	102

Tabulka 57: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků pájecí plošky DPS č. 15.

..... 104

# 1. ÚVOD

Trend při pájení je omezit používání olova v pájecích slitinách. Hlavním důvodem je toxicita olova. Olovo je nahrazováno jinými materiály. Nahrazením se zvýšila teplota potřebná pro přechod z pevného skupenství do kapalného a zpět. Přidáním dalších prvků se teplota při pájecím procesu pohybuje výše než 220 °C. Zvýšení teploty má negativní vliv na zvýšení nákladů. Vyšší je i teplotní namáhání osazených součástek a základního materiálu.

Na základě tohoto byla potřeba nižší teplota při pájení. Náklady poklesnou, není třeba ohřívání na vysoké teploty. Je možné použít levnější součástky. Menší teplota při pájení pozitivně ovlivní namáhání DPS i osazených součástek. Jednou z možností je použití pájecí slitiny na bázi SnBi. Díky této kombinaci dochází ke snížení teploty pájení i pod teplotou 190 °C. Při této teplotě se pájelo s některými olovnatými pájecími slitinami.

## 2. NÍZKOTEPLTNÍ PÁJECÍ PASTY

Co to jsou nízkoteplotní pájecí slitiny? Jedná se o slitiny, které mají menší teplotu tání, než mají bezolovnaté pájecí slitiny např. SAC305. Hodnota teploty tání je pod teplotou 220 °C. Snížení teploty tání má i své ekonomické přínosy. Není potřeba při pájení zahřívát pec nebo pájecí lázeň na vyšší teploty. Tato výhoda je i pro komponenty, které nemusí při pájecím procesu procházet vyšším teplotním stresem. V následující tabulce 1 je přehled typů slitin s teplotou tání pod 180 °C.

**Tabulka 1: Slitiny s teplotou pod 180 °C [1]**

typ slitiny	složení (hm %)	rozsah teploty tavení
Sn-Bi	Sn-58Bi	138e
Sn-In	Sn-52In	118e
	Sn-50In	118-125
Bi-In	Bi-33In	109e

### prvky slitin:

**Bizmut (Bi)** – snižuje bod tání, smáčivost je spíše průměrná, výhodou je cena, ale jeho použití snižuje jeho získávání jako produktu při čištění olova. [2]

**Indium (In)** – využívá se ke snížení bodu tání slitiny, má teplotu tání 156 °C, dobrá smáčivost povrchu, mechanické vlastnosti nejsou příliš vhodné pro pájení, také cena je vysoká, protože je indium dražší než stříbro a pro používání pájky je potřeba tohoto prvku velké množství. [2]

Ceny jednotlivých prvků se velice liší. Z ekonomického hlediska je více rozšířen bizmut než indium. Výskyt obou prvků v zemské kůře je vzácný, ale bizmutu je pořád více než india. V tabulce 2 jsou znázorněny ceny jednotlivých prvků s porovnáním s cenou olova.

**Tabulka 2: Ceny jednotlivých prvků v Kč/g [3]**

chemické prvky	cena je za gram [Kč/g]
Sn	4
In	28
Bi	3
Pb	1

Toxicita používaných prvků používaných při pájení je uvedena v tabulce 3. V této tabulce je znázorněna toxicita jednotlivých chemických prvků používaných v elektronice. Na stupnici od 1 do 10, kdy 10 je nejvyšší. [4]

**Tabulka 3: Toxicita jednotlivých prvků [4]**

chemický prvek	toxicita
Pb	10
čistý Sn	4
Sb, Zn	2
Cu, Al, Ag	2
Mg, Bi	1

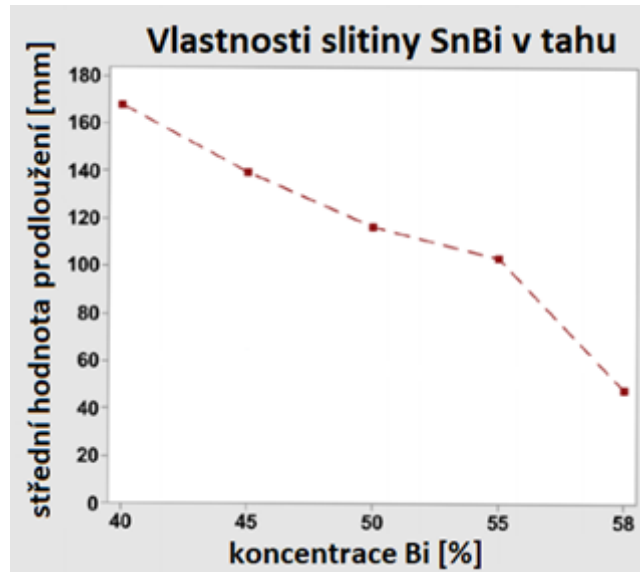
Z tabulky 3 vyplývá, že bizmut je méně toxický než používaný cín.

## 2.1 Historie pájecí pasty na bázi bizmutu

Důvodem proč se pájecí pasta na bázi bizmutu nepoužívala je to, že pájený spoj měl horší mechanickou odolnost oproti dříve používané pastě SnPb. Koncem 90. let bylo slitině SnBi věnováno hodně pozornosti jako možné náhrady za eutektický SnPb. Z výrobního hlediska bylo použití binární směsi eutektické slitiny poměrně atraktivní, ale existovaly obavy ohledně omezení kvůli její nižší teplotě tání. Díky tomuto Národní centrum pro výrobní vědy dospělo k závěru, že Sn-58Bi by mohlo potenciálně nahradit SnPb pro spotřební elektroniku a telekomunikace. Zároveň vyloučila jeho využití pro letecké a kosmické aplikace. Prokázalo se, že únava spoje během jeho života pro pájky SnBi je vyšší, než je tomu pro eutektickou pájku SnPb, ale je nižší než při použití SAC nebo SnAg. [4]

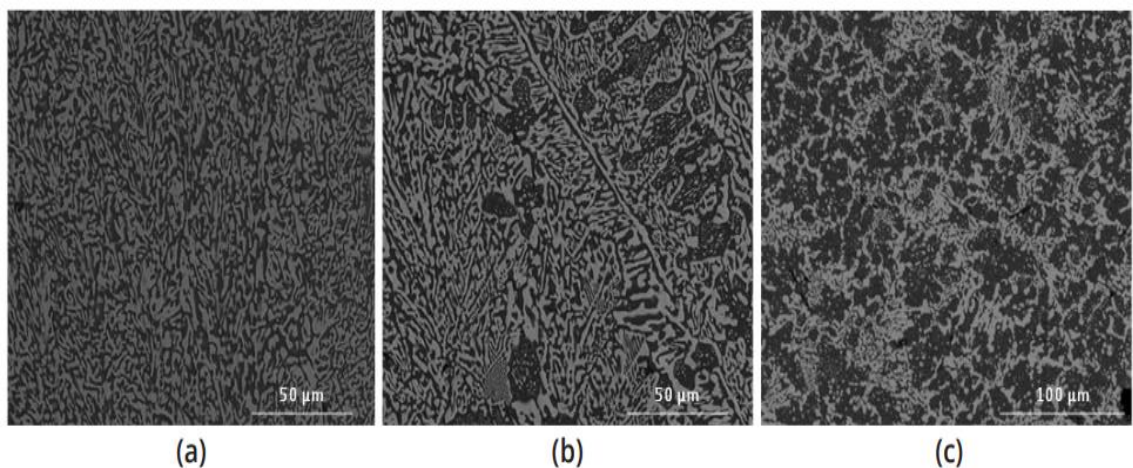
Dalším důvodem, proč se eutektický Sn-58Bi nepoužíval za náhradu ve všech využitích tak jako SnPb bylo to, že měl špatnou odolnost proti pádu a mechanickému šoku. Eutektické pájky SnBi jsou křehké a mají špatnou odolnost proti mechanickému rázu. Tyto problémy je však možné řešit pomocí přísad pro zvýšení tažnosti, pevnosti, mechanické spolehlivosti a únavovou životnost. Bizmut je jedním z mála prvků, který tvoří pevné roztoky s cínem, to už od 4 % a od 10 % hmotnosti při eutektické teplotě. V tomto mechanismu jsou některé z atomů cínu nahrazeny většími atomy bizmutu. Atomy bizmutu vytváří napětí v atomové mřížce, která přispívá k posílení cínové matrice. [4]

Pokud je koncentrace bizmutu ve slitině nad hranicí rozpustnosti cínu, bizmutové sraženiny se tvoří na fázi bohatou na cín. To může ovlivnit mechanické vlastnosti výsledné slitiny. Prodloužení slitiny SnBi v tahu jsou na obr. 1. Červeně přerušovaně je znázorněno prodloužení. Přičemž obsah bizmutu ve slitině je v rozmezí 40 až 50 % hmotnosti. Z daného obrázku je patrné, že prodloužení je větší při 40 % hmotnosti bizmutu. Plastická deformace slitin SnBi je vysoce závislá na obsahu bizmutu. [4]



**Obr. 1: Prodloužení slitiny SnBi při různé koncentraci Bi (převzato z [4])**

Na obr. 2a jsou zobrazeny mikrostruktury eutektické SnBi slitiny, přičemž bizmutové lamely jsou bohaté na cín. Vylepšením mikrostruktury je obecně spojeno s vyšší odolností proti plastické deformaci způsobené dislokačním pohybem. Pro rafinaci eutektické mikrostruktury mohou být použity malé přísady stříbra. Tyto přísady jsou ukázány na obr. 2b pro Sn-57,6Bi-0,4Ag. Nicméně další legující přísady jako je nikl, měď a kobalt mohou dokonce upravovat eutektickou mikrostrukturu. Obr. 2c ukazuje mikrostrukturu slitiny SBX02, která neobsahuje stříbro. Na obr. 2 je bizmut světle šedý, cín je tmavě šedý. [4]



**Obr. 2: Mikrostruktura (a) Sn-58Bi, (b) Sn-57,6Bi-0,4Ag, (c) SBX02, Bi - světle šedé, Sn tmavě šedé (převzato z [4])**

## 2.2 Pájecí pasty na bázi bizmutu a aplikace

Miniaturizace přenosné elektroniky, vyšší složitost obalů, stále slabší flip chip BGA a vícestupňové montážní procesy. Tyto důvody jsou klíčovým faktorem za obnovený zájem o pájky s nízkou teplotou pájení. Nedávné studie ukazují, že sestavení ultratenkých mikroprocesorů se standartními bezolovnatými pájkami jako je SAC (teplota tání je

v rozmezí 217 – 221 °C), má za následek dynamickou deformaci na substrátu desky plošných spojů. Takové vady mohou být zmírněny při použití nízkoteplotních pájecích past, které se přetavují při teplotě nižší jak 180 °C. Díky nižším teplotám přetavení umožní použití levnějších substrátů, čímž se dosáhne výrazného snížení energetických a provozních nákladů. Kromě výsledné úspory energie sebou přináší i úsporu při snížení emisí uhlíku. [4]

### **Aplikace pro polovodičová pouzdra**

Rychlý vývoj polovodičové technologie a heterogenní integrace funkcí konečného produktu vedl průmysl k nižším roztečím od 10 nm k 7 nm. Rozteč propojení se snižuje kvůli tranzistorům, hustota propojení se nadále zvyšuje. Řešení tohoto problému je pouzdro na pouzdro (PoP) a technologie ventilátorové pouzdro na pouzdro. V dnešní době také vytváří větší pozornost v systému na pouzdro (SiP). Integrací několika logických obvodů, která jsou uzavřena v pouzdru, je schopen poskytnout širokou škálu aplikačních funkcí. [4]

### **Flexibilní obvody**

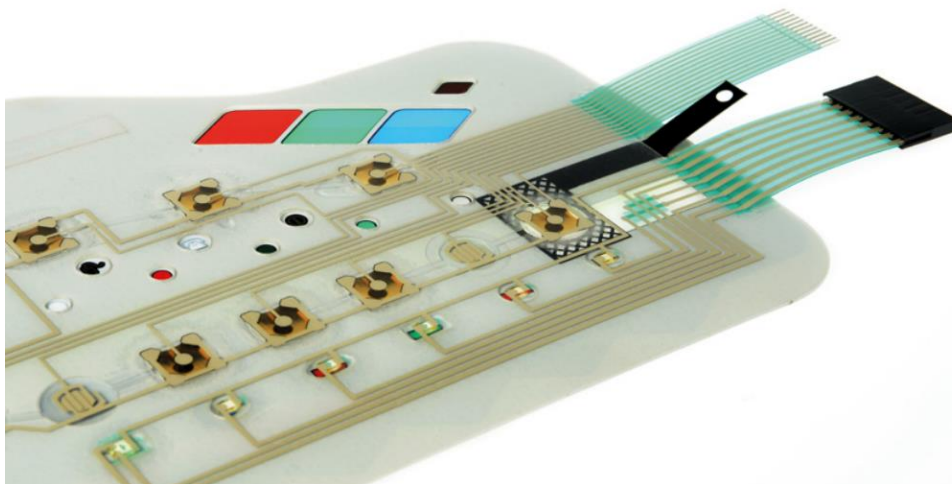
Téměř všechny elektronické produkty budou a mnohé z nich již obsahují flexibilní obvody. Flexibilní substráty se používají místo tuhých obvodů, protože váží méně, zabírají méně místa a umožní větší flexibilitu produktu. Výrobek vyrobený z flexibilních obvodů je znázorněn na obr. 3. Zatímco flexibilní substráty přinášejí mnoho významných výhod, tyto výhody přichází s cenou. Flexibilní obvody jsou citlivější na teplo a mohou se deformovat nebo dokonce rozkládat, jestliže teplota procesu je příliš vysoká. Existuje mnoho různých flexibilních obvodových substrátů používaných v dnešní elektronice, s nejoblíbenějšími variantami polyesteru, polyimidu, polykarbonátu nebo polyethylenu. Jednou z nejkritičtějších vlastností je teplotní stabilita. Určité typy jsou schopné odolávat vyšším procesním teplotám než ostatní. Zvolený substrát ovlivňuje i to jakou pájecí pastu použít, protože každá pájecí pasta je formulována k přetavení podle teplotních profilů. Pájecí slitina v pastě je kritickým faktorem stejně jako tavídko, protože musí udržovat své vlastnosti během přetavením. [4]



**Obr. 3: Aplikace flexibilního obvodu ve fitness náramku (převzato z [4])**

### Membránové dotykové spínače

Mnoho elektrických výrobků dnes používá technologie membránového dotykového spínače (MTS) na uživatelském rozhraní. Technologie MTS používá celou řadu polymerních materiálů, které umožňují stylový, funkční a lehký výrobek. Přejít na technologii MTS obvykle eliminuje použití mechanických tlačítek a spínačů, pevné desky plošných spojů a procesní podmínky potřebné pro jejich sestavení. Protože nové materiály MTS jsou citlivé na teplotu pájecí pasty s nižší teplotou tavení umožňují tento přechod, aniž by se zhoršila mechanická spolehlivost. Tato technologie se používá, nebo se bude v budoucnu používat téměř na všech hlavních trzích s elektronikou, včetně automobilového, bílého zboží, počítačů, mobilních zařízení, LED, zdravotnického zařízení a dokonce i v leteckém průmyslu. [4] Na obr. 4 je znázorněna technologie MTS.



Obr. 4: Membránové dotykové spínače (převzato z [4])

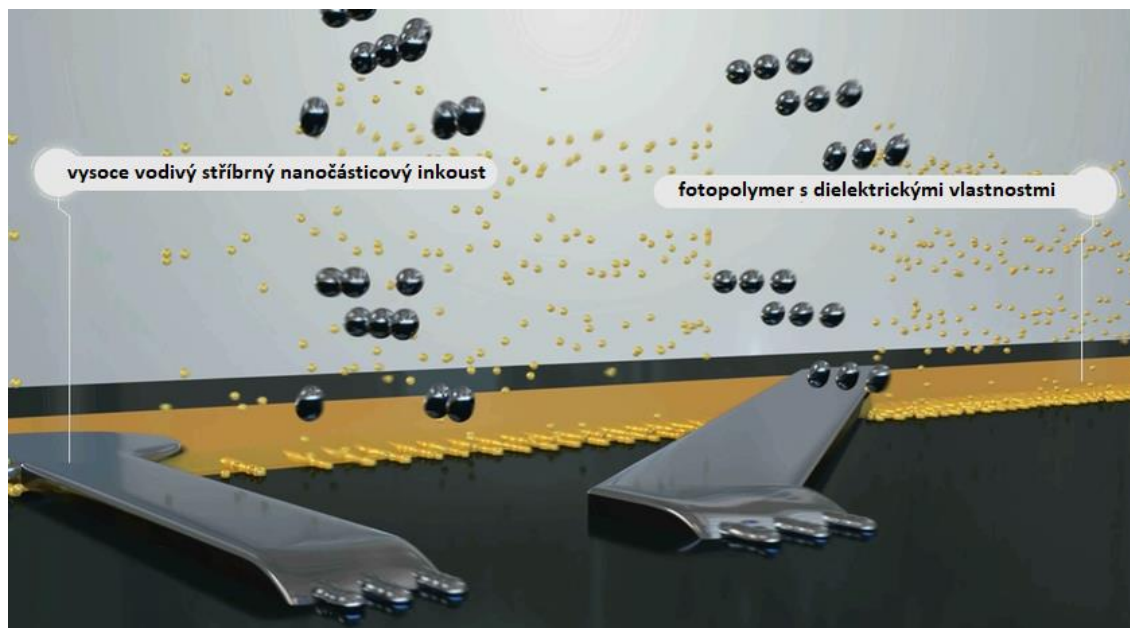
### Fotovoltaika

Většina solárních modulů vyráběných ve světě používá k výrobě energie převážně krystalický křemík. Tyto buňky jsou sestaveny v řetězcích, umístěny do pole a poté spojeny dohromady, aby vytvořily obvod, který generuje energii. Buňky jsou spojeny pomocí různých metod nejčastěji typy měděných pásek opatřených pájkou nebo jiné části konektorů spojených pomocí pájecí pasty. Ve fotovoltaickém průmyslu se vyskytují velké posuny, které ovlivní materiály používané při montáži solární článků s krystalickým křemíkem ty se ztenčují. Průmysl bude muset přejít od používání SnPb k bezolovnatému pájení v příštích letech. [4]

### 3D tisk

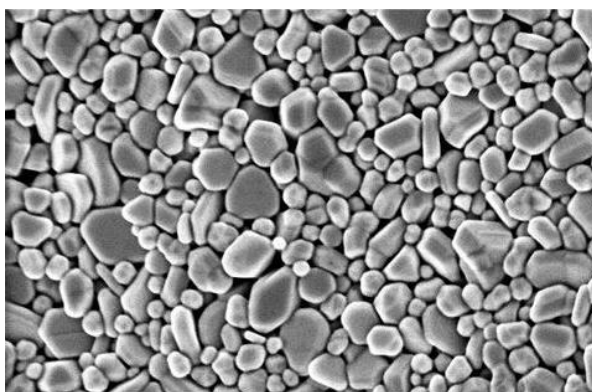
Firma Nano Dimension vyvinula 3D tiskárnu pro výrobu desek plošných spojů. Díky vyvinutí speciálního inkoustu lze vytisknout jak vodivé, tak i dielektrické oblasti desek plošných spojů. Vlastnosti takto vytištěné desky plošných spojů jsou podobné se základním materiálem FR-4. Vícevrstvé provedení vytištěné desky plošných spojů je náchylné pro pájení při teplotách pro bezolovnaté pájení. Vhodnou náhradou bezolovnatého pájení je použití nízkoteplotních pájecích past.

Tiskne se na 3D tiskárně DragonFly pro. Používají dva typy inkoustu jeden stříbrný pro vytváření vodivých cest. Pro dielektrické vlastnosti se používá polymer. Na obr. 5 je znázorněn tisk vodivým a dielektrickým inkoustem.



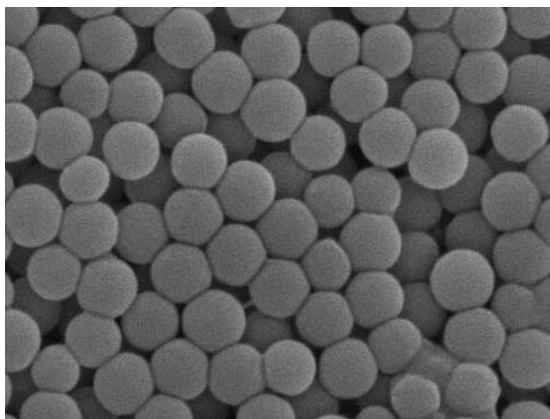
**Obr. 5: Vodivý a dielektrický inkoust (převzato z [5])**

Vodivý inkoust je vyroben ze stříbrných nanočástic. Roky výzkumu a vývoje umožnily spolehlivě extrahovat částice čistého stříbra o velikosti 10 až 100 nanometrů. To zajišťuje zachování vynikající vodivosti, přilnavosti a flexibility. Na rozdíl od běžných kovových prášků, které vyžadují vysoké teploty slinování. Může inkoust s nanočástic stříbra dosáhnout slinovací teploty dostatečně nízké, aby podporoval širokou škálu substrátů např.: papír, polymer, sklo. Díky nízkým slinovacím teplotám je inkoust s nanočásticemi stříbra vhodný pro nejrůznější aplikace. [6] Na obr. 6 je znázorněná struktura inkoustu se stříbrnými nanočásticemi.



**Obr. 6: Inkoust ze stříbrných nanočástic (převzato z [6])**

Dielektrický fotopolymerní inkoust je navržen tak, aby doplnil vodivý inkoust s nanočásticemi stříbra a zajistil nezbytnou elektrickou izolaci i při tisku do šířky 100 mikronů. Fotopolymerové dielektrické inkousty jsou vytvrzovány ultrafialovým světlem. Během tisku je vystavení ultrafialovému světlu, které je řízeno algoritmem pro zajištění optimálních vlastností materiálu. Je zaručena maximální kompatibilita mezi vodivým a dielektrickým inkoustem. Proto mohou být potišťeny stejné druhy substrátu jak s vodivým inkoustem. [6] Na obr. 7 je ukázka struktury dielektrického inkoustu.



**Obr. 7: Struktura dielektrického inkoustu (převzato z [6])**

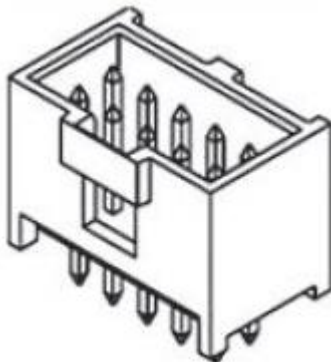
### 2.3 Výhody pájecích slitin na bázi bizmutu

Použití těchto past má řadu výhod, jednotlivé výhody jsou popsány v následujícím textu.

#### **Nižší náklady na komponenty**

Většina vyráběných komponentů je levnější pro nízkoteplotní pájení. Hlavním důvodem nižší ceny je menší množství materiálu, které bylo použito pro výrobu daných komponentů. Při nižší teplotě pájení není potřeba, aby komponenty zvládaly vyšší teplotní šoky. Díky tomuto mohou být vyrobeny tenčí, dochází k úspoře základního materiálu.

Příkladem je uzavřený konektor Molex. Cena jednoho kusu pro nízkoteplotní pájení je 0,84 \$/kus, běžná varianta stojí 1,23 \$/kus. To představuje přímou úsporu 46 % pro jediný konektor. [7] Na obr. 8 je konektor Molex.



**Obr. 8: Konektor Molex (převzato z [7])**

#### **Lepší vyrovnání komponentů**

Vyrovnání komponentů je mnohem lepší v případě, že laminát se prohýbá méně při nízkoteplotním pájení než při teplotách s používáním bezolovnatých nebo SnPb pájek. Kromě toho, nízkoteplotní pájení umožňuje používat jemnější rastr a menší rozestupy. Nižší prohýbání laminátu umožňuje vyšší hustotu součástek na běžných montážních skupinách. [7]

### Levnější lamináty

Vzhledem k tomu, že lamináty při nízkoteplotním pájení se prohýbají méně. Mnoho výrobců využilo tuto výhodu a přešlo k méně nákladným materiálům pro lamináty s cílem získat ještě vyšší úspory. Tam kde to aplikace připouští, již levné materiály mohou být ještě levnější. [7]

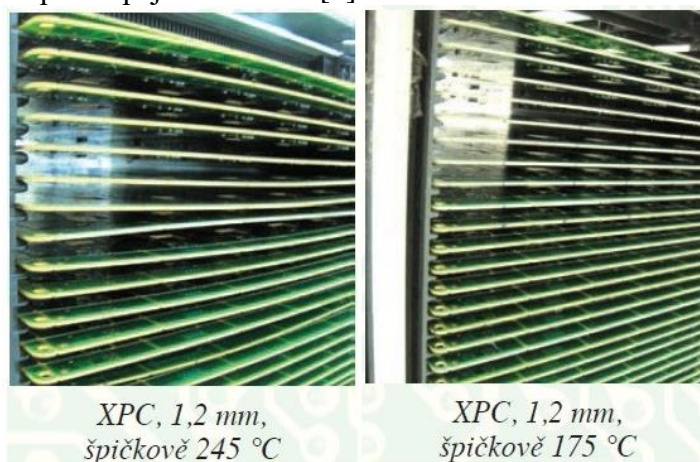
Protože toto byla pouze studie proveditelnosti materiálu DPS, potenciální úspory jsou v tabulce 4. Cenové rozdíly DPS byly odhadnuty na 10 % mezi materiály na základě různých dodavatelů DPS. [7]

**Tabulka 4: Tabulka s potenciálními úsporami (převzato [7])**

	FR-1	XPC	potenciální úspory	částka úspor
cena DPS v \$/panel	6,00	5,40	0,60	
průměrná výroba v \$/týden	20000	20000	2000	2000
průměrná výroba v \$/rok	1080000	1080000	108000	108000

### Snížení prohýbání laminátů

Na následujícím obr. 9 je znázorněno prohýbání XPC při pájení se slitinou SAC305 a rozdíl mezi nízkoteplotní pájecí slitinou. [7]



**Obr. 9: Prohýbání DPS při pájení vlnou (převzato z [7])**

### Úspory spojené s náhradou pájení vlnou

Právě redukce kapitálových investic ustoupení od pájecích tyčí a nestálost cen kovů byla pro mnohé dostatečně hybnou silou pro přechod na nízkoteplotní pájení. Pro ty, kdo investovali své pájení vlnou na nízkoteplotní SMT pájení, se otevřela zcela nová oblast přínosů. Počínaje zlepšením kvality až k úsporám energií, výrobních ploch a pracovních sil. [7]

### Výhody výlisků (tvarovek)

Přidáním výlisků pájky se vyřeší další problém, a to hustota komponentů. Několikanásobné nebo malé výlisky mohou být rozmístěny strategicky ve stísněných prostorech pro využití PITH, a přesto stále plní požadavky na rovnoměrné vyplnění

otvorů a spojů. Natištění pájecí pasty a výlisky jsou mnohem přesnější než pájení vlnou. To vede k opakovatelným vyplnění otvorů a spojů, dokonce i v případě tlustých a vícevrstvých montážních skupin s vysokým nahromaděním tepla. Rovněž tak je zcela vyloučen vysoký tepelný šok působící na takovéto kritické a nákladné montážní skupiny při extrémních nastaveních pájení vlnou. [7]

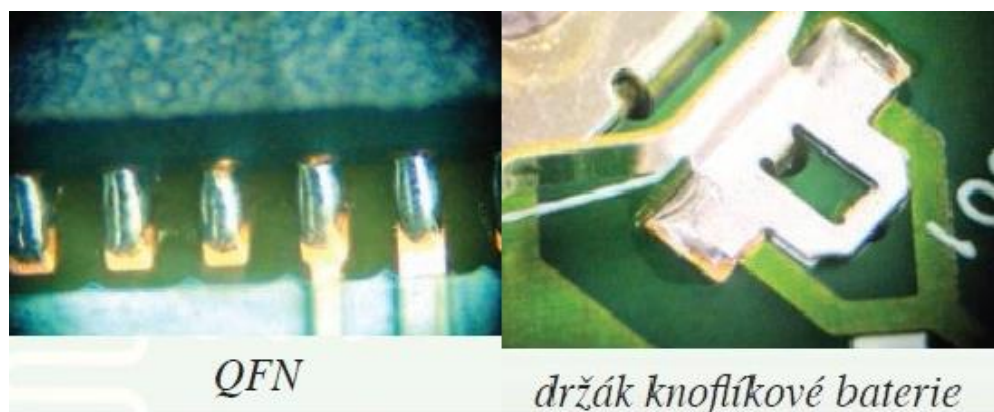
### **Pájení přetavením versus pájení vlnou**

Vedle odstranění vysokého teplotního šoku, který působí na montážní skupiny v kontaktu s roztavenou pájkou při pájení vlnou, nízkoteplotní pájení přetavením vystavuje montážní skupiny pouze krátkodobě teplotám nad 138 °C. [7]

Nárůst teploty na špičkovou hodnotu je u nízkoteplotního pájení přetavením velmi mírný oproti nárazovým a rychlým teplotním špičkám v případě pájení vlnou. V důsledku tohoto není prakticky zapotřebí žádné upínání do přípravků pro eliminaci účinků vysokoteplotního šoku. [7]

### **Lesklé spoje**

Nízkoteplotní pájky se obvykle rozlévají a vzlínají velmi dobře, přestože neobsahují olovo. Takovéto spoje mají tendenci být velice hladké s excelentním smáčením [5], jak je vidět na obr. 10. Kde je zobrazeno pouzdro QFN – pouzdro bez vodičů a držák knoflíkové baterie. [7]

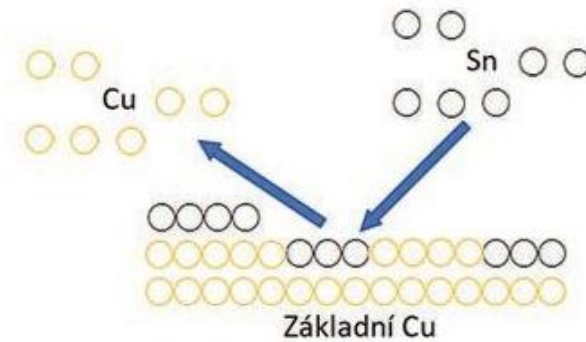


**Obr. 10: Lesklé spoje, vlevo pouzdro QFN, vpravo držák knoflíkové baterie (převzato z [7])**

## **2.4 Povrchové úpravy DPS**

### **Imerzní cín**

Jedná se o imerzní pokovení mědi cínem. Imerzní znamená, že atomy mědi jsou nahrazeny atomy cínu. Pokovené plošky mají stříbrnou barvu. [8] Imerzní pokovení mědi cínem je na obr. 11.



**Obr. 11: Imerzní pokovení mědi cínem (převzato z [8])**

Pokovený cín tvoří s mědí intermetalické vrstvy. Když dojde k pokovení mědi volným cínem, spustí se proces tvorby intermetalické vrstvy ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$  a  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ), přičemž platí, že čím méně volného cínu zbude, tím více se může objevit problém s pájitelností, protože měď začne v podstatě prorůstat do pokoveného cínu.[8]

#### Výhody [9]:

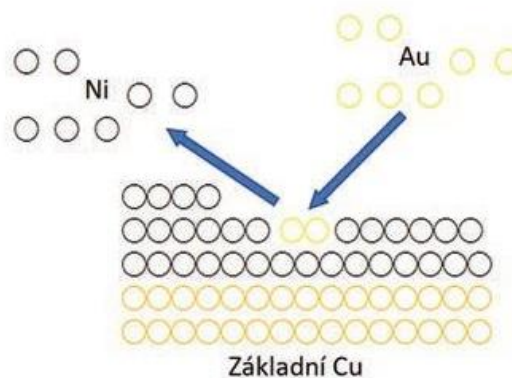
- jednoduchost procesu
- dobře se hodí pro aplikace při vkládání pinů
- vhodný pro opravy špatného pájeného spoje
- nízké náklady
- ploché pájecí plošky, vhodný pro fine pitch aplikace
- cín a pájka se rychle rozpouští při pájecím procesu, dobrý spoj měď/cín

#### Nevýhody [9]:

- agresivní pro pájecí masku
- pájitelnost se rychle snižuje již při jedné tepelné expozici
- potenciální růst dendritů
- rychlá tvorba intermetalické vrstvy, snížená životnost povrchové úpravy

#### ENIG

DPS pokovené imerzním zlatem se vyznačují zářivě zlatou barvou. Proces začíná čištěním a leptáním povrchu, s následnou přípravou pro nanášení niklu na povrch mědi. Poté přichází na řadu imerzní nanášení zlata. Úlohou zlata při tomto procesu je ochrana niklu před oxidací. [8] Imerzní pokovení mědi zlatem je znázorněno na obr. 12.



**Obr. 12: Imerzní pokovení zlatem [8]**

**Výhody [9,10]:**

- vysoká odolnost proti oxidaci díky niklové bariéře
- vynikající pájitelnost
- odpor kontaktů
- kontaktování zlatým drátkem
- žádná degradace mezi reflow cykly
- rovinnost povrchu
- vysoká teplotní odolnost
- dobrá tepelná difúze
- dlouhá životnost
- neobsahuje olovo
- dobré elektrické vlastnosti

**Nevýhody [9,10]:**

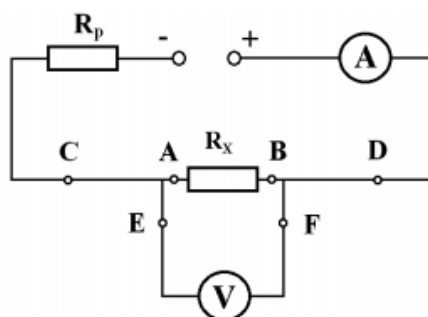
- mnoho chemických kroků, obtížné zpracování
- drahý
- vysoké teploty v lázni mohou vyluhovat pájecí masku a substrátové materiály
- pokovení
- Black Pad – koroze podkladového niklu
- relativně nízká smáčivost
- výrazné snížení spolehlivosti pájeného spoje

## 3. TESTOVACÍ METODY

### 3.1 Měření velmi malých odporů čtyřbodovou metodou

Při použití běžných dvou vodičových metod (přímé metody, substituční, můstkové) je výsledná hodnota ovlivněna přechodovým odporem, odporem přívodních vodičů a termoelektrickým napětím. Metoda vhodná pro měření velmi malých odporů jednotky ohmu a méně. Tato metoda se využívá pro vyloučení vlivu přechodových odporů a odporu přívodních vodičů. Měřený vzorek připojíme do obvodu pomocí čtyř svorek. [6]

Na obr. 13 je znázorněno zapojení čtyřvodičové metody pro měření malého elektrického odporu. Kde  $R_p$  představuje předřadný odpor, body A a B jsou konci měřeného odporu  $R_x$ . Svorky C a D se nazývají proudové svorky, svorky E a F se nazývají napěťové svorky. [6]

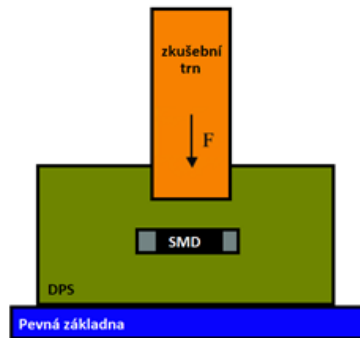


Obr. 13: Čtyřvodičové zapojení pro měření malého elektrického odporu (převzato z [6])

### 3.2 Mechanická zkouška stříhem

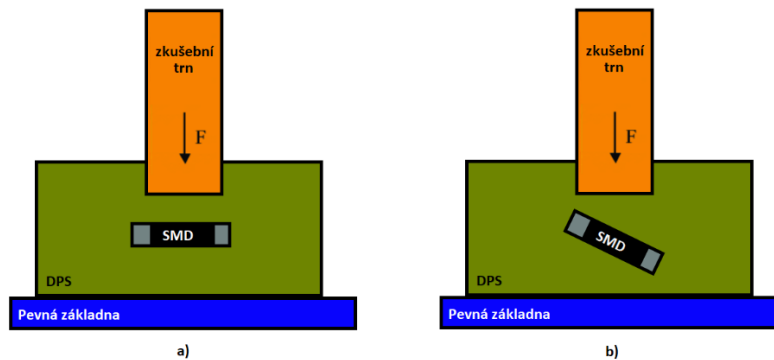
Mechanická zkouška stříhem zkoumá potřebnou sílu pro utržení osazené a zapájené SMD součástky z desky plošných spojů. Tato síla je závislá na parametrech pájeného spoje. Mezi tyto parametry patří pevnost pájky a její množství. Další činitelé, které ovlivňují pevnost pájeného spoje jsou praskliny, trhliny a dutiny. Ty mohou vznikat během pájecího procesu.

Důležitým požadavkem pro měření je rovnoměrný pohyb trhacího trnu, přesné sesouhlasení trhacího trnu se součástkou i správné nastavení výšky trnu nad deskou plošných spojů. Při špatném sesouhlasení i špatné výšce trhacího nástroje dojde k prasknutí pájeného spoje dříve a tím i k nesprávnému měření. Na obr. 14 je znázorněn princip mechanické zkoušky stříhem.



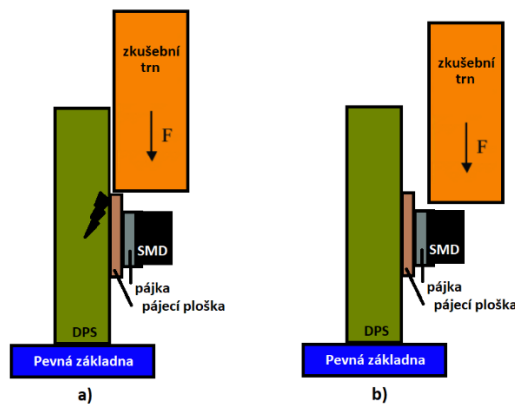
**Obr. 14: Princip mechanické zkoušky stříhem**

Na obr. 15 je vyobrazeno sesouhlasění trnu a testované SMD součástky z čelního pohledu. Obr. 15a znázorňuje správné sesouhlasění součástky a zkušebního trnu. Špatné sesouhlasění zkušebního trnu a testovaného vzorku ukazuje obr. 15b.



**Obr. 15: Sesouhlasění trnu se součástkou a) správné sesouhlasění, b) špatné sesouhlasění**

Na obr. 16 je znázorněn pohled z boku na mechanický test stříhem. Obr. 16a znázorňuje špatně nastavenou vzdálenost zkušebního trnu od desky plošných spojů. Zkušební trn je velice blízko přiblížen, může se i dotýkat desky plošných spojů. Trn naráží již do pájecí plošky, nebo přímo do desky plošných spojů. Tato chyba způsobí odtržení pájecí plošky či její deformaci. A tím je zaznamenána vyšší nebo nižší síla, než která by byla potřebná k odtržení součástky od pájeného spoje. Správná vzdálenost trnu od desky plošných spojů je zobrazena na obr. 16b, kde veškerá síla trnu působí na součástku.



**Obr. 16: Výška trnu nad deskou a) špatná výška, b) správná výška**

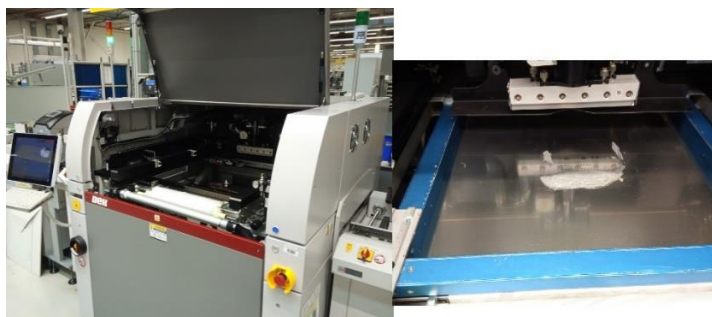
## 4. OSAZENÍ A PÁJENÍ DPS V RESIDEO

Výroba, osazení, pájení a nastavení pájecího profilu pro testovací desky plošných spojů je uvedena v příloze č.1. V příloze č. 2 jsou uvedeny naměřené hodnoty pro stárnutí a pro mechanickou zkoušku stříhem vyrobených desek plošných spojů.

Desky plošných spojů byly vyrobeny ve firmě Gatema. Celkový počet vyrobených desek plošných spojů touto firmou byl šedesát tři. S povrchovou úpravou ENIG jich bylo třicet dva. Zbýlých třicet jedna bylo s povrchovou úpravou imerzní cín. Jedna deska plošných spojů s povrchovou úpravou ENIG byla opatřena tepelnými čidly pro nastavení pájecích profilů pro jednotlivé pasty.

K testům byly vybrány tři nové typy nízkoteplotních pájecích past s odlišným množstvím bizmutu. Pasta s označením PF734-PQ10 má složení Sn/Bi40,0/Ag/X s použitým tavidlem ROL0. PF735-PQ10 má složení Sn/Bi57,0/Ag1,0/X s použitým tavidlem ROL0. Poslední nízkoteplotní pájecí pasta s označením PF743-PQ10 má složení Sn/Bi48,0/Ag/X s použitým tavidlem ROL0. Všechny pasty mají velikost částic typ 4 s velikostí v rozmezí 20 – 38  $\mu\text{m}$ . Množství tavidla je stejný u všech past a to  $12,0 \pm 1,0$  hmotnostních procent.

Vyrobené desky plošných spojů, byly vloženy do zásobníku před sítotiskovou jednotku. Kde bylo natištěno definované množství pájecí pasty. Sítotisk probíhal na ASM DEK NeoHorizon. Na obr. 17 je vyfocena sítotisková jednotka vlevo, vpravo je zobrazená šablona s testovanou pájecí pastou. V tomto případě se jednalo o pájecí pastu PF735-PQ10.



**Obr. 17: Sítotisk ASM DEK NEOHorizon vlevo, vpravo šablona s testovanou pastou**

Po nanesení pasty na šablonu na desku plošných spojů pokračovala po dopravníku na inspekci pájecí pasty. Tato inspekce nanesení pájecí pasty se prováděla na zařízení od firmy Koh Young Technology. Na obr. 18 je znázorněné zařízení a detail vyhodnocení dané inspekce na monitoru. Do zařízení byly nahrány pájecí plošky desek plošných spojů, které se tiskly.



**Obr. 18: Inspekce pájecí pasty, vpravo výsledek po kontrole**

Po inspekci pájecí pasty deska plošných spojů pokračovala do osazovacího automatu od firmy ASM SIPLACE. Všechny vstupní informace o vkládání součástek, byly nahrány z dat, které sloužily pro výrobu desek plošných spojů. Automatický osazovací automat je na obr. 19. Do automatického osazovacího automatu byl vložen zásobník s nulovými rezistory velikosti 0805.



**Obr. 19: Osazovací automat ASM SIPLACE**

Po osazení desky plošných spojů pokračovala do reflow pece. Jednalo se o reflow pec od firmy Erska HOTFLOW 4/20. Která má dvacet pájecích zón z toho jsou tři pájecí zóny (peak) a tři chladící zóny. Pájecí profil byl nastaven podle jednotlivých specifikací od výrobce pájecích past. Pájecí profily pro jednotlivé pájecí pasty jsou přiloženy v příloze č. 5 až č. 11. Zde je požadovaný pájecí profil od výrobce pájecí pasty a nastavený pájecí profil pro danou pastu. Na obr. 20 je reflow pec.



**Obr. 20: Ersas HOTFLOW 4/20**

Jakmile desky plošných spojů projely reflow pecí pokračovaly do automatické optické inspekce, kde byly zapájené desky plošných spojů kontrolovány. Následně pokračovaly do zásobníků. Na obr. 21 je snímek z automatické optické inspekce nulového rezistoru, který je posunut na pájecích ploškách.

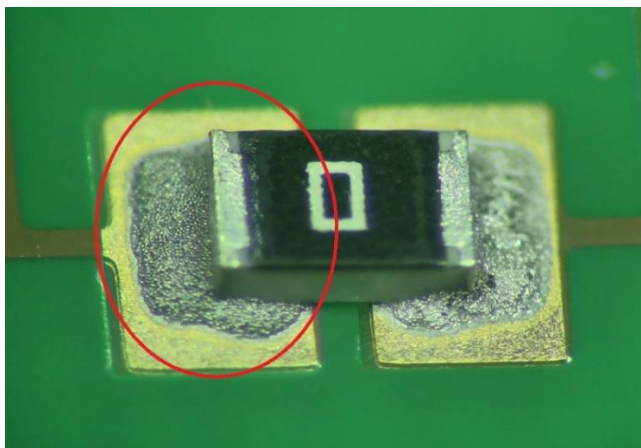


**Obr. 21: Posunutý nulový rezistor**

Po zkontrolování poslední desky plošných spojů a uložení do zásobníku, byl zásobník přenesen na začátek linky a byla zapájena i druhá strana.

Přetavení pájecích past probíhalo bez problému, až na pastu PF735-PQ10. Při přetavení u desek plošných spojů s povrchovou úpravou imerzní cín, došlo ke správnému zapájení. Když byly potištěny stejnou pastou i desky plošných spojů s povrchovou úpravou ENIG nastaly potíže.

Při projetí desek plošných spojů reflow pecí nedocházelo ke správnému přetavení dané pasty. Bylo zapotřebí změnit pájecí profil. Teplota se při reflow zvýšilo o 20 °C oproti základnímu nastavení. Na obr. 22 je zobrazen nulový rezistor, který má použitou pastu na jedné pájecí plošce již přetavenou. Druhá pájecí ploška s danou pastou ještě přetavená není. Toto místo je na obr. označeno červeným orámováním. Jedná se o snímek z EVO CAM.



**Obr. 22: Špatně přetavena pájecí pasta, zvětšení 231,5x**

Po zvýšení teploty již došlo ke správnému přetavení pájecí pasty a správnému zapájení daných nulových rezistorů.

Bylo rozhodnuto o použití zbylých sedmi desek plošných spojů s povrchovou úpravou imerzní cín, aby se osadily a zapájely používanou pastou v Resideo. Jednalo se o pastu SAC305. Použilo se i sedm s povrchovou úpravou ENIG. Použily se ty desky plošných spojů, u kterých se špatně přetavila nízkoteplotní pájecí pasta PF735-PQ10.

Celkem bylo vyrobeno ke každé pastě šestnáct desek plošných spojů. Z toho osm s povrchovou úpravou imerzní cín a osm ENIG.

## 5. TESTY VYROBENÝCH DPS V RESIDEO

Každá vyrobená deska plošných spojů byla opatřena vývody, které usnadňují připojení svorek pro měření malých odporů čtyřbodovou metodou.

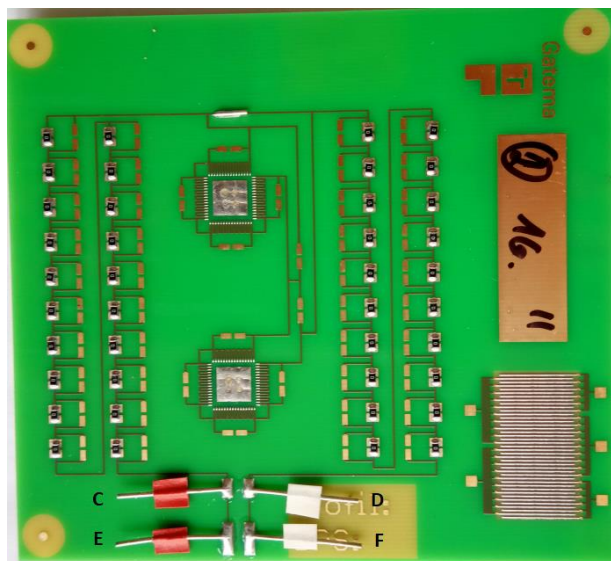
Po změření všech desek plošných spojů, byly rozděleny do čtyřech testovacích souborů. První testovací soubor byl vložen do mrazícího boxu s teplotou  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Druhý testovací soubor byl vložen do izotermálního zařízení, kde byla teplota  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jedná se o zařízení HS61A. Třetí testovací soubor cykloval ve Friocellu. Cyklování probíhalo v setrvání dvou hodin na maximální teplotě  $99,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Po uplynutí této doby byla teplota snížena na minimální teplotu zařízení a to na  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  po dobu dvou hodin. Poslední testovací soubor byl ponechán při pokojové teplotě laboratoře, a to při teplotě  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na obr. 23 jsou všechna použita zařízení pro stárnutí. Zleva mrazící box, izotermický box HS61A a cyklování ve Friocellu.



Obr. 23: Použita zařízení při stárnutí

Aby bylo možno jednoduše připojit svorky na testované desky plošných spojů, každá strana byla opatřena vývody. Tyto vývody jsou znázorněny na obr. 24. Vývody E a F slouží pro připojení napěťových svorek a vývody C a D slouží pro připojení proudových svorek.



Obr. 24: DPS č. 16 ENIG, průchod pecí 1x s vývody C, D, E a F

## 5.1 Vstupní test jednotlivých parametrů DPS

Před začátkem měření byly desky plošných spojů vloženy do Friocellu na dobu 30 min. při teplotě 40 °C. Na obr. 25 je zobrazena deska plošných spojů při měření. Měření odporu bylo prováděno multimetrem Metra MIT 291, který je na obr. 25 vpravo.



**Obr. 25: Deska plošných spojů při měření**

V následujících tabulkách jsou změřené vstupní hodnoty odporu jednotlivých desek plošných spojů. Tabulky jsou rozděleny podle použitých pájecích past.

V tabulce 5 jsou uvedeny naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF735-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 5: Naměřené referenční hodnoty pro PF735-PQ10 ENIG**

pájecí pasta PF735 - PQ10				
označení DPS	umístění	povrchová úprava	průchod pecí	změřený odpor [ $\Omega$ ]
1. DPS	mrazicí box -18 °C	ENIG	1x	1,714
			2x	1,710
2. DPS	mrazicí box -18 °C	ENIG	1x	1,723
			2x	1,732
3. DPS	teplo 90 °C	ENIG	1x	1,643
			2x	1,714
4. DPS	teplo 90 °C	ENIG	1x	1,682
			2x	1,706
5. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	ENIG	1x	1,631
			2x	1,682
6. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	ENIG	1x	1,711
			2x	1,756
7. DPS	pokojová teplota 23 °C	ENIG	1x	1,635
			2x	1,662
8. DPS	pokojová teplota 23 °C	ENIG	1x	1,676
			2x	1,707

V tabulce 6 jsou uvedeny naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF735-PQ10 s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 6: Naměřené referenční hodnoty pro PF735-PQ10 imerzní cín**

pájecí pasta PF735 - PQ10				
označení DPS	umístění	povrchová úprava	průchod pecí	změřený odpor [ $\Omega$ ]
1. DPS	mrazicí box -18 °C	imerzní cín	1x	1,534
			2x	1,628
2. DPS	mrazicí box -18 °C	imerzní cín	1x	1,605
			2x	1,662
3. DPS	teplo 90 °C	imerzní cín	1x	1,639
			2x	1,732
4. DPS	teplo 90 °C	imerzní cín	1x	1,695
			2x	1,755
5. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	imerzní cín	1x	1,652
			2x	1,673
6. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	imerzní cín	1x	1,691
			2x	1,701
7. DPS	pokojová teplota 23 °C	imerzní cín	1x	1,593
			2x	1,646
8. DPS	pokojová teplota 23 °C	imerzní cín	1x	1,658
			2x	1,720

V tabulce 7 jsou uvedeny naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF743-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 7: Naměřené referenční hodnoty pro PF743-PQ10 ENIG**

pájecí pasta PF743 - PQ10				
označení DPS	umístění	povrchová úprava	průchod pecí	změřený odpor [ $\Omega$ ]
10. DPS	mrazicí box -18 °C	ENIG	1x	1,635
			2x	1,674
11. DPS	mrazicí box -18 °C	ENIG	1x	1,621
			2x	1,662
9. DPS	teplo 90 °C	ENIG	1x	1,634
			2x	1,694
12. DPS	teplo 90 °C	ENIG	1x	1,647
			2x	1,715
13. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	ENIG	1x	1,615
			2x	1,657
14. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	ENIG	1x	1,655
			2x	1,679
15. DPS	pokojová teplota 23 °C	ENIG	1x	1,608
			2x	1,630
16. DPS	pokojová teplota 23 °C	ENIG	1x	1,654
			2x	1,662

V tabulce 8 jsou uvedeny naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF743-PQ10 s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 8: Naměřené referenční hodnoty pro PF743-PQ10 imerzní cín**

<b>pájecí pasta PF743 - PQ10</b>				
<b>označení DPS</b>	<b>umístění</b>	<b>povrchová úprava</b>	<b>průchod pecí</b>	<b>změřený odpor [<math>\Omega</math>]</b>
10. DPS	mrazicí box -18 °C	imerzní cín	1x	1,690
			2x	1,730
11. DPS	mrazicí box -18 °C	imerzní cín	1x	1,721
			2x	1,731
9. DPS	teplo 90 °C	imerzní cín	1x	1,625
			2x	1,697
12. DPS	teplo 90 °C	imerzní cín	1x	1,730
			2x	1,759
13. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	imerzní cín	1x	1,663
			2x	1,667
14. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	imerzní cín	1x	1,633
			2x	1,642
15. DPS	pokojová teplota 23 °C	imerzní cín	1x	1,691
			2x	1,714
16. DPS	pokojová teplota 23 °C	imerzní cín	1x	1,616
			2x	1,646

V tabulce 9 jsou uvedeny naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF734-PQ10 s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 9: Naměřené referenční hodnoty pro PF734-PQ10 ENIG**

<b>pájecí pasta PF734 - PQ10</b>				
<b>označení DPS</b>	<b>umístění</b>	<b>povrchová úprava</b>	<b>průchod pecí</b>	<b>změřený odpor [<math>\Omega</math>]</b>
19. DPS	mrazicí box -18 °C	ENIG	1x	1,668
			2x	1,675
20. DPS	mrazicí box -18 °C	ENIG	1x	1,694
			2x	1,715
17. DPS	teplo 90 °C	ENIG	1x	1,679
			2x	1,696
18. DPS	teplo 90 °C	ENIG	1x	1,731
			2x	1,734
21. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	ENIG	1x	1,761
			2x	1,773
22. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	ENIG	1x	1,647
			2x	1,666
23. DPS	pokojová teplota 23 °C	ENIG	1x	1,699
			2x	1,710
24. DPS	pokojová teplota 23 °C	ENIG	1x	1,735
			2x	1,753

V tabulce 10 jsou uvedeny naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu PF734-PQ10 s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 10: Naměřené referenční hodnoty pro PF734-PQ10 imerzní cín**

pájecí pasta PF734 - PQ10				
označení DPS	umístění	povrchová úprava	průchod pecí	změřený odpor [ $\Omega$ ]
19. DPS	mrazicí box -18 °C	imerzní cín	1x	1,595
			2x	1,595
20. DPS	mrazicí box -18 °C	imerzní cín	1x	1,602
			2x	1,610
17. DPS	teplo 90 °C	imerzní cín	1x	1,647
			2x	1,661
18. DPS	teplo 90 °C	imerzní cín	1x	1,617
			2x	1,642
21. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	imerzní cín	1x	1,622
			2x	1,679
22. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	imerzní cín	1x	1,638
			2x	1,678
23. DPS	pokojová teplota 23 °C	imerzní cín	1x	1,644
			2x	1,657
24. DPS	pokojová teplota 23 °C	imerzní cín	1x	1,630
			2x	1,630

V tabulce 11 jsou uvedeny naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu SAC305 s povrchovou úpravou ENIG. Z druhé strany je pájecí pasta PF735-PQ10.

**Tabulka 11: Naměřené referenční hodnoty pro SAC305 a PF735-PQ10 ENIG**

pájecí pasta SAC305					
označení DPS	umístění	povrchová úprava	průchod pecí	použitá pasta	změřený odpor [ $\Omega$ ]
25. DPS	mrazicí box -18 °C	ENIG	1x	SAC305	1,605
			2x	PF735- PQ10	1,629
26. DPS	teplo 90 °C	ENIG	1x	SAC305	1,678
			2x	PF735- PQ10	1,732
27. DPS	teplo 90 °C	ENIG	1x	SAC305	1,702
			2x	PF735- PQ10	1,843
28. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	ENIG	1x	SAC305	1,658
			2x	PF735- PQ10	1,771
29. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	ENIG	1x	SAC305	1,632
			2x	PF735- PQ10	1,696
30. DPS	pokojová tep. 23 °C	ENIG	1x	SAC305	1,630
			2x	PF735- PQ10	1,772
31. DPS	pokojová tep. 23 °C	ENIG	1x	SAC305	1,574
			2x	PF735- PQ10	1,664

V tabulce 12 jsou uvedeny naměřené referenční hodnoty pro pájecí pastu SAC305 s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 12: Naměřené referenční hodnoty pro SAC305 imerzní cín**

pájecí pasta SAC305				
označení DPS	umístění	povrchová úprava	průchod pecí	změřený odpor [ $\Omega$ ]
25. DPS	mrazicí box -18 °C	imerzní cín	1x	1,525
26. DPS	teplo 90 °C	imerzní cín	1x	1,560
27. DPS	teplo 90 °C	imerzní cín	1x	1,582
28. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	imerzní cín	1x	1,602
29. DPS	cyklování 99,9 °C / 0 °C	imerzní cín	1x	1,582
30. DPS	pokojová teplota 23 °C	imerzní cín	1x	1,576
31. DPS	pokojová teplota 23 °C	imerzní cín	1x	1,573

Všechny desky plošných spojů s použitou pájecí pastou SAC 305 měly nejnižší naměřený odpor. Ostatní nízkoteplotní pájecí pasty na bázi bizmutu měly vyšší měřený odpor.

Po změření všech desek plošných spojů, byly vloženy do daného prostředí pro stárnutí.

## 5.2 Test DPS po 7 dnech stárnutí

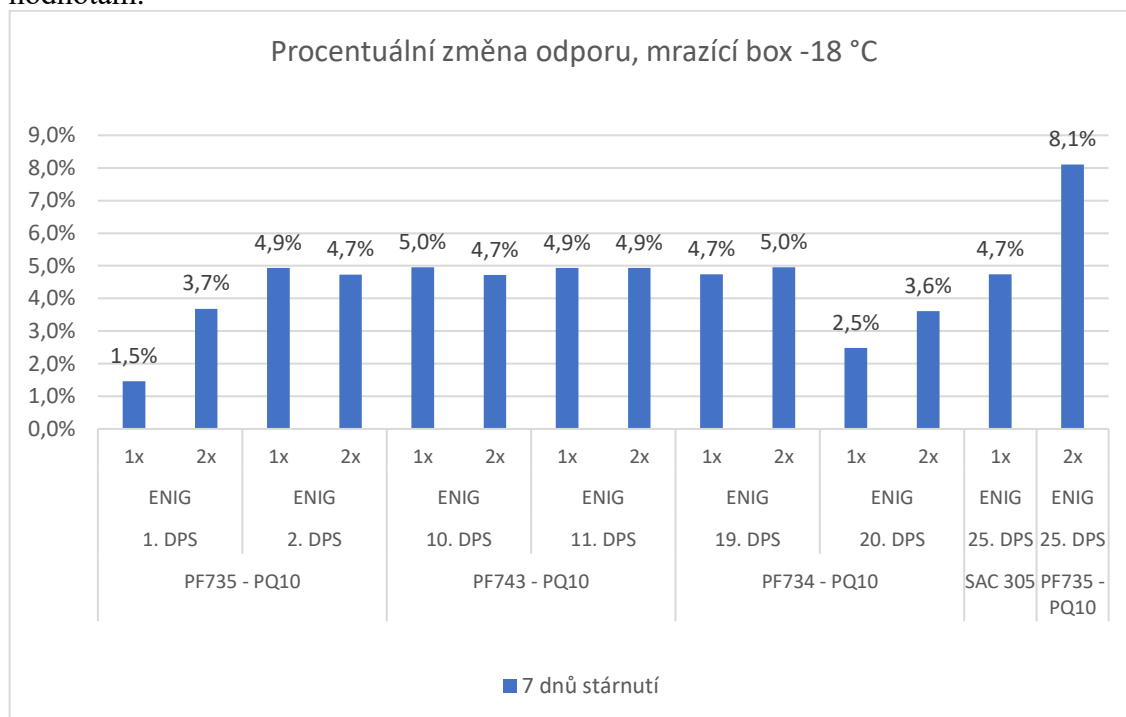
Na začátku měření byly všechny desky plošných spojů vloženy do Friocellu na dobu 30 min. při teplotě 40 °C, z důvodu teploty jednotlivých desek plošných spojů.

Ve všech grafech v této kapitole je zobrazeno procentuální navýšení, které se porovnávalo s referenční hodnotou. Důvod volby procentuálních změn je jednodušší vyhodnocení naměřených výsledků. V tabulkách jsou uvedeny naměřené hodnoty pro dané prostředí, rozdělené podle použitých pájecích past.

V tabulce 13 jsou uvedeny naměřené hodnoty po 7 dnech pro DPS z mrazícího boxu.  
**Tabulka 13: Naměřené hodnoty 7 dnů z mrazícího boxu pro ENIG**

Mrazící box -18 °C					
použitá pasta	označení DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí
				změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735 - PQ10	1. DPS	ENIG	1x	1,714	1,739
			2x	1,710	1,773
	2. DPS	ENIG	1x	1,723	1,808
			2x	1,732	1,814
PF743 - PQ10	10. DPS	ENIG	1x	1,635	1,716
			2x	1,674	1,753
	11. DPS	ENIG	1x	1,621	1,701
			2x	1,662	1,744
PF734 - PQ10	19. DPS	ENIG	1x	1,668	1,747
			2x	1,675	1,758
	20. DPS	ENIG	1x	1,694	1,736
			2x	1,715	1,777
SAC 305	25. DPS	ENIG	1x	1,605	1,681
PF735 - PQ10	25. DPS	ENIG	2x	1,629	1,761

Na obr. 26 je procentuální změna odporu po 7 dnech z mrazícího boxu pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po sedmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám.



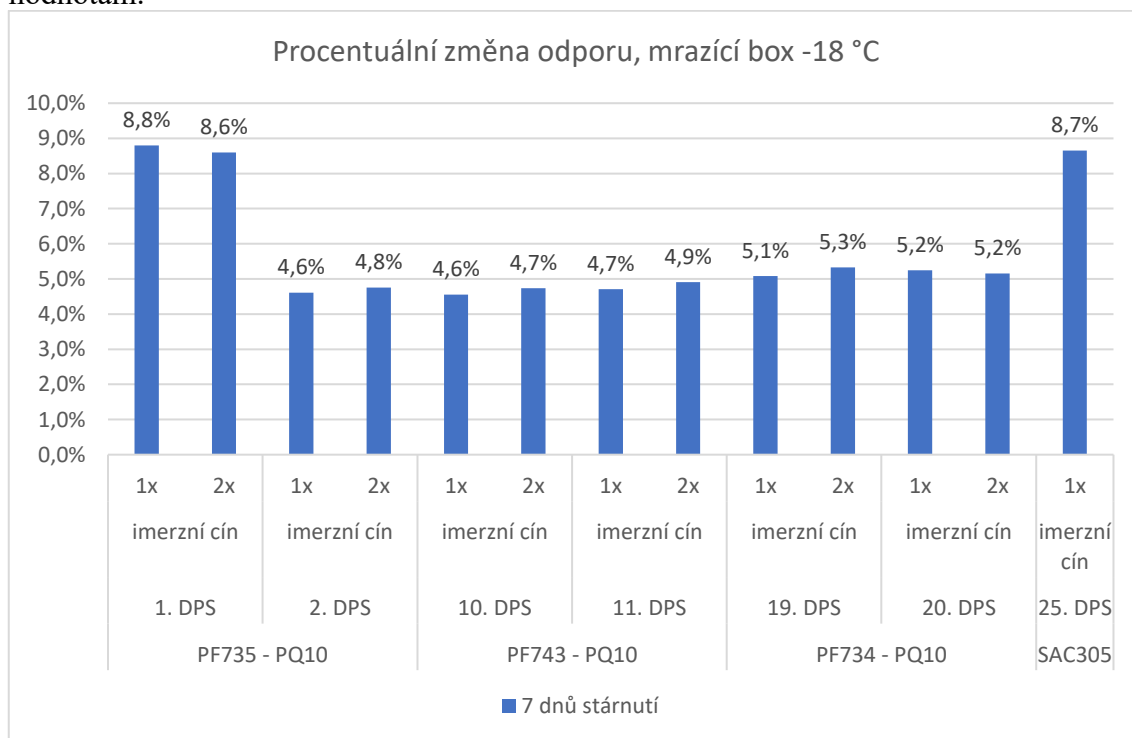
**Obr. 26: Procentuální změna odporu po 7 dnech, mrazící box pro ENIG**

V tabulce 14 jsou naměřené hodnoty po 7 dnech pro desky plošných spojů z mrazícího boxu s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 14: Naměřené hodnoty po 7 dnech z mrazícího boxu pro imerzní cín**

Mrazící box -18 °C					
použitá pasta	označení DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí
				změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	1. DPS	imerzní cín	1x	1,534	1,669
			2x	1,628	1,768
	2. DPS	imerzní cín	1x	1,605	1,679
			2x	1,662	1,741
PF743-PQ10	10. DPS	imerzní cín	1x	1,690	1,767
			2x	1,730	1,812
	11. DPS	imerzní cín	1x	1,721	1,802
			2x	1,731	1,816
PF734-PQ10	19. DPS	imerzní cín	1x	1,595	1,676
			2x	1,595	1,680
	20. DPS	imerzní cín	1x	1,602	1,686
			2x	1,610	1,693
SAC305	25. DPS	imerzní cín	1x	1,525	1,657

Na obr. 27 je procentuální změna odporu po 7 dnech z mrazícího boxu pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po sedmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám.



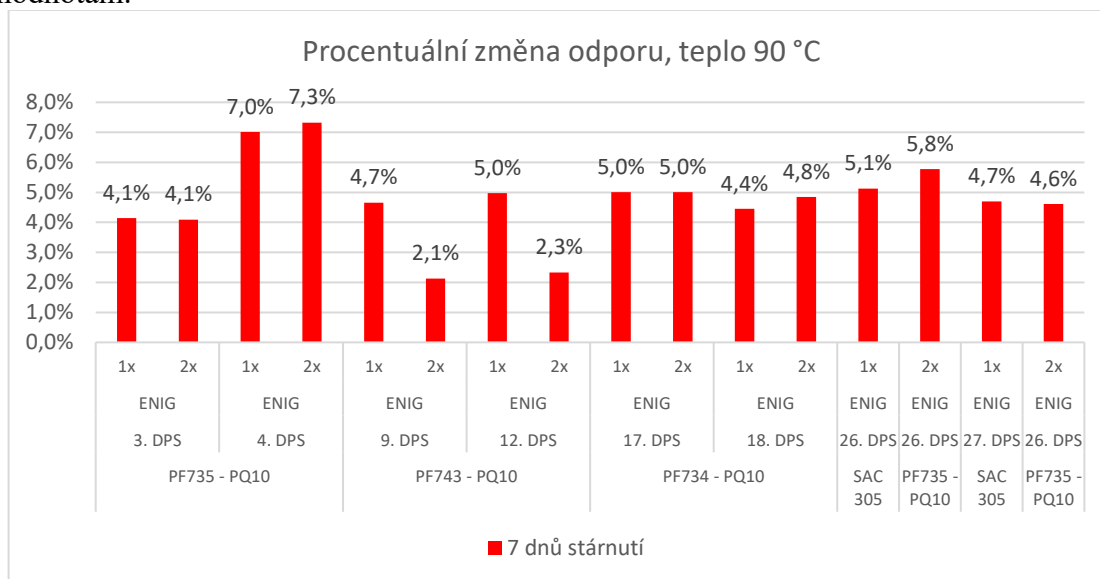
**Obr. 27: Procentuální změna odporu po 7 dnech, mrazící box pro imerzní cín**

V tabulce 15 jsou naměřené hodnoty po 7 dnech pro desky plošných spojů z izotermálního boxu s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 15: Naměřené hodnoty po 7 dnech z izotermálního boxu pro ENIG**

Teplota 90 °C					
použitá pasta	označení DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí
				změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	3. DPS	ENIG	1x	1,643	1,711
			2x	1,714	1,784
	4. DPS	ENIG	1x	1,682	1,800
			2x	1,706	1,831
PF743-PQ10	9. DPS	ENIG	1x	1,634	1,710
			2x	1,694	1,730
	12. DPS	ENIG	1x	1,647	1,729
			2x	1,715	1,755
PF734-PQ10	17. DPS	ENIG	1x	1,679	1,763
			2x	1,696	1,781
	18. DPS	ENIG	1x	1,731	1,808
			2x	1,734	1,818
SAC 305	26. DPS	ENIG	1x	1,678	1,764
PF735-PQ10	26. DPS	ENIG	2x	1,732	1,892
SAC 305	27. DPS	ENIG	1x	1,702	1,782
PF735-PQ10	26. DPS	ENIG	2x	1,843	1,928

Na obr. 28 je procentuální změna odporu po 7 dnech z izotermálního boxu pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po sedmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám.



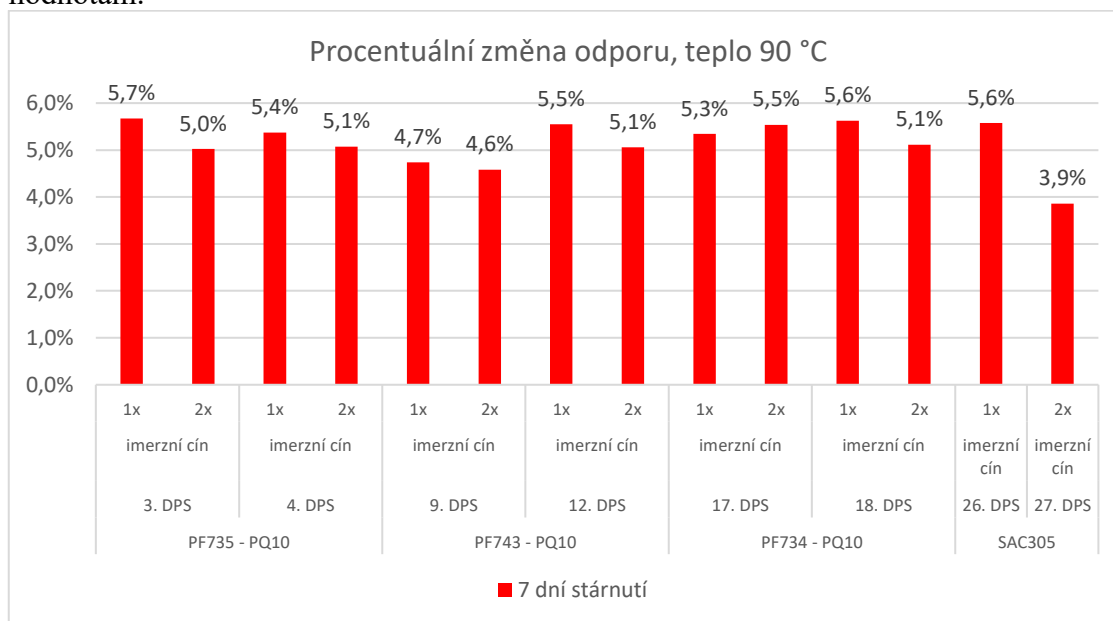
**Obr. 28: Procentuální změna odporu po 7 dnech z izotermálního boxu pro ENIG**

V tabulce 16 jsou naměřené hodnoty po 7 dnech pro desky plošných spojů z izotermálního boxu s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 16: Naměřené hodnoty po 7 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín**

Teplota 90 °C					
použitá pasta	označení DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí
				změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	3. DPS	imerzní cín	1x	1,639	1,732
			2x	1,732	1,819
	4. DPS	imerzní cín	1x	1,695	1,786
			2x	1,755	1,844
PF743-PQ10	9. DPS	imerzní cín	1x	1,625	1,702
			2x	1,637	1,712
	12. DPS	imerzní cín	1x	1,730	1,826
			2x	1,759	1,848
PF734-PQ10	17. DPS	imerzní cín	1x	1,647	1,735
			2x	1,661	1,753
	18. DPS	imerzní cín	1x	1,617	1,708
			2x	1,642	1,726
SAC305	26. DPS	imerzní cín	1x	1,560	1,647
	27. DPS	imerzní cín	1x	1,582	1,643

Na obr. 29 je procentuální změna odporu po 7 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po sedmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám.



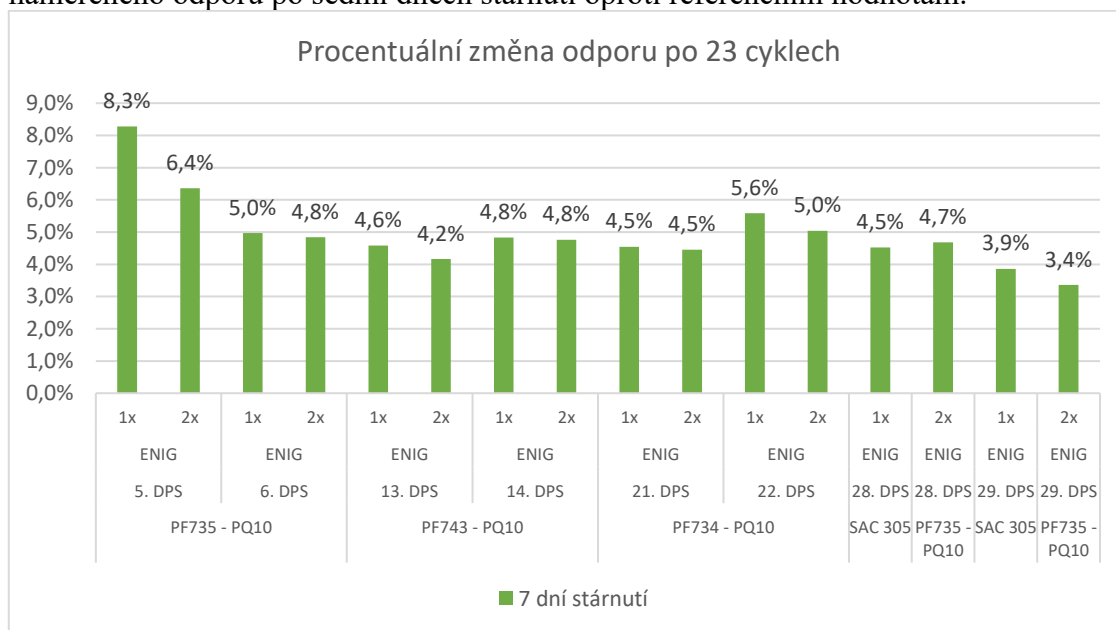
**Obr. 29: Procentuální změna odporu po 7 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín**

V tabulce 17 jsou naměřené hodnoty po 23 cyklech pro desky plošných spojů s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 17: Naměřené hodnoty po 23 cyklech pro ENIG**

po 23 cyklech					
použitá pasta	označení DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí
				změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	5. DPS	ENIG	1x	1,631	1,766
			2x	1,682	1,789
	6. DPS	ENIG	1x	1,711	1,796
			2x	1,756	1,841
PF743-PQ10	13. DPS	ENIG	1x	1,615	1,689
			2x	1,657	1,726
	14. DPS	ENIG	1x	1,655	1,735
			2x	1,679	1,759
PF734-PQ10	21. DPS	ENIG	1x	1,761	1,841
			2x	1,773	1,852
	22. DPS	ENIG	1x	1,647	1,739
			2x	1,666	1,750
SAC 305	28. DPS	ENIG	1x	1,658	1,733
PF735-PQ10	28. DPS	ENIG	2x	1,771	1,854
SAC 305	29. DPS	ENIG	1x	1,632	1,695
PF735-PQ10	29. DPS	ENIG	2x	1,696	1,753

Na obr. 30 je procentuální změna odporu po 23 cyklech pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po sedmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám.



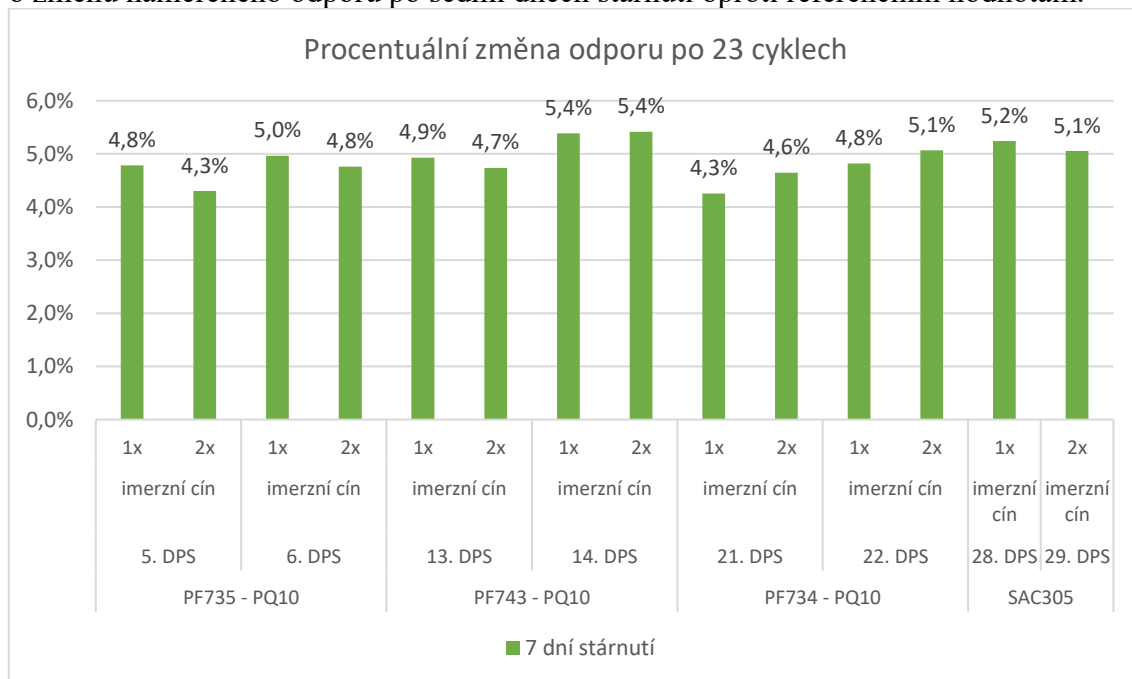
**Obr. 30: Procentuální změna odporu po 23 cyklech pro ENIG**

V tabulce 18 jsou naměřené hodnoty po 23 cyklů pro desky plošných spojů s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 18: Naměřené hodnoty po 23 cyklech pro imerzní cín**

po 23 cyklech					
použitá pasta	označení DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí
				změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	5. DPS	imerzní cín	1x	1,652	1,731
			2x	1,673	1,745
	6. DPS	imerzní cín	1x	1,691	1,775
			2x	1,701	1,782
PF743-PQ10	13. DPS	imerzní cín	1x	1,663	1,745
			2x	1,667	1,746
	14. DPS	imerzní cín	1x	1,633	1,721
			2x	1,642	1,731
PF734-PQ10	21. DPS	imerzní cín	1x	1,622	1,691
			2x	1,679	1,757
	22. DPS	imerzní cín	1x	1,638	1,717
			2x	1,678	1,763
SAC305	28. DPS	imerzní cín	1x	1,602	1,686
	29. DPS	imerzní cín	1x	1,582	1,662

Na obr. 31 je procentuální změna odporu po 23 cyklech pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po sedmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám.



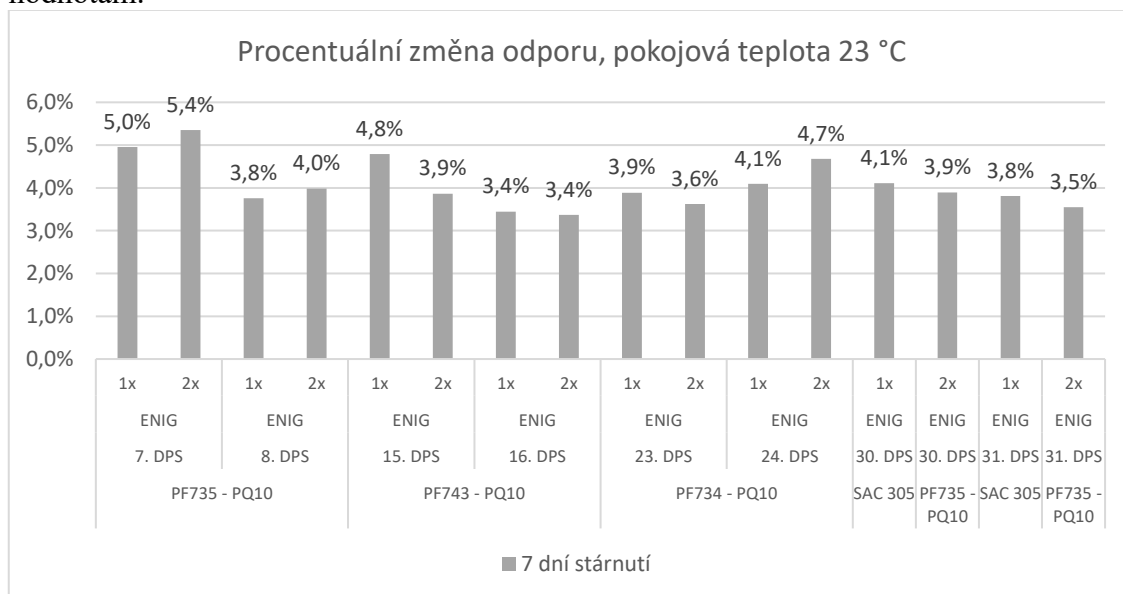
**Obr. 31: Graf naměřených hodnot po 23 cyklech pro imerzní cín**

V tabulce 19 jsou naměřené hodnoty po 7 dnech pro desky plošných spojů z pokojové teploty s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 19: Naměřené hodnoty po 7 dnech z pokojové teploty pro ENIG**

Pokojová teplota 23 °C					
použitá pasta	označení DPS	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí
				změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735 - PQ10	7. DPS	ENIG	1x	1,635	1,716
			2x	1,662	1,751
	8. DPS	ENIG	1x	1,676	1,739
			2x	1,707	1,775
PF743 - PQ10	15. DPS	ENIG	1x	1,608	1,685
			2x	1,630	1,693
	16. DPS	ENIG	1x	1,654	1,711
			2x	1,662	1,718
PF734 - PQ10	23. DPS	ENIG	1x	1,699	1,765
			2x	1,710	1,772
	24. DPS	ENIG	1x	1,735	1,806
			2x	1,753	1,835
SAC 305	30. DPS	ENIG	1x	1,630	1,697
PF735 - PQ10	30. DPS	ENIG	2x	1,772	1,841
SAC 305	31. DPS	ENIG	1x	1,574	1,634
PF735 - PQ10	31. DPS	ENIG	2x	1,664	1,723

Na obr. 32 je procentuální změna odporu po 7 dnech z pokojové teploty pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po sedmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám.



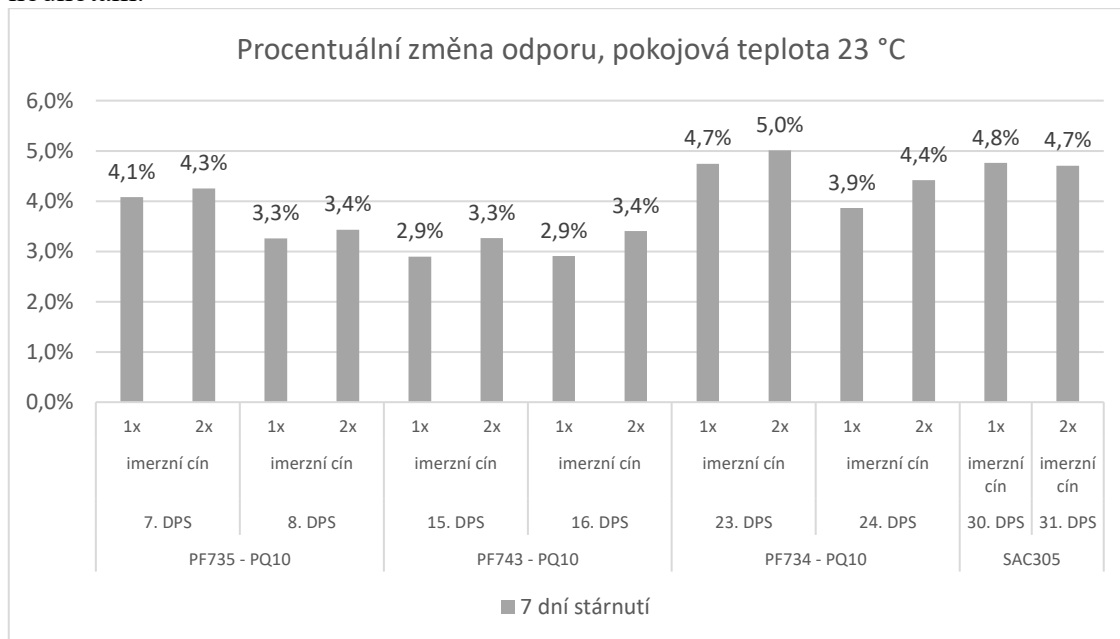
**Obr. 32: Graf naměřených hodnot po 7 dnech z pokojové teploty pro ENIG**

V tabulce 20 jsou naměřené hodnoty po 7 dnech pro desky plošných spojů z pokojové teploty s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 20: Naměřené hodnoty po 7 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín**

Pokojová teplota 23 °C					
použitá pasta	označení DPS	povrchová úprava	průchod pečí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí
				změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735 - PQ10	7. DPS	imerzní cín	1x	1,593	1,658
			2x	1,646	1,716
	8. DPS	imerzní cín	1x	1,658	1,712
			2x	1,720	1,779
PF743 - PQ10	15. DPS	imerzní cín	1x	1,691	1,740
			2x	1,714	1,770
	16. DPS	imerzní cín	1x	1,616	1,663
			2x	1,646	1,702
PF734 - PQ10	23. DPS	imerzní cín	1x	1,644	1,722
			2x	1,657	1,740
	24. DPS	imerzní cín	1x	1,630	1,693
			2x	1,630	1,702
SAC305	30. DPS	imerzní cín	1x	1,576	1,651
	31. DPS	imerzní cín	1x	1,573	1,647

Na obr. 33 je procentuální změna odporu po 7 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po sedmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám.



**Obr. 33: Graf naměřených hodnot po 7 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín**

### 5.3 Test DPS po 14 dnech stárnutí

Na začátku měření byly všechny desky plošných spojů vloženy do Friocellu na dobu 30 min. při teplotě 40 °C. Z důvodu temperace jednotlivých desek plošných spojů.

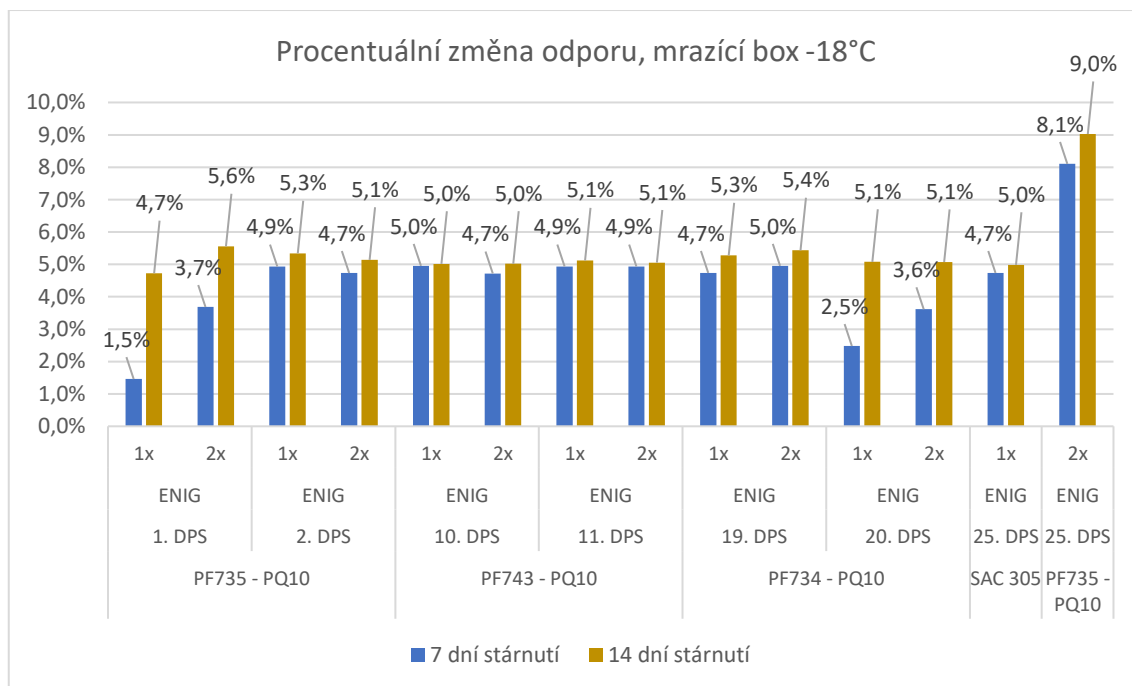
U všech grafů v této podkapitole je zobrazeno procentuální navýšení. Procentuální navýšení je porovnání naměřené hodnoty a referenční hodnoty. Důvod volby procentuálních změn je jednodušší vyhodnocení naměřených výsledků. V tabulkách jsou uvedeny naměřené hodnoty pro dané prostředí, rozdělené podle použitých pájecích past. Pro lepší přehlednost každá tabulka začíná na nové stránce. Pod tabulkou je graf z naměřených hodnot.

V tabulce 21 jsou naměřené hodnoty po 14 dnech pro desky plošných spojů z mrazícího boxu s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 21: Naměřené hodnoty po 14 dnech z mrazícího boxu pro ENIG**

Mrazící box -18 °C					
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	1. DPS	1x	1,714	1,739	1,795
		2x	1,710	1,773	1,805
	2. DPS	1x	1,723	1,808	1,815
		2x	1,732	1,814	1,821
PF743-PQ10	10. DPS	1x	1,635	1,716	1,717
		2x	1,674	1,753	1,758
	11. DPS	1x	1,621	1,701	1,704
		2x	1,662	1,744	1,746
PF734-PQ10	19. DPS	1x	1,668	1,747	1,756
		2x	1,675	1,758	1,766
	20. DPS	1x	1,694	1,736	1,780
		2x	1,715	1,777	1,802
SAC 305	25. DPS	1x	1,605	1,681	1,685
PF735-PQ10	25. DPS	2x	1,629	1,761	1,776

Na obr. 34 je procentuální změna odporu po 14 dnech z mrazícího boxu pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po čtrnácti dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami po sedmi dnech stárnutí.



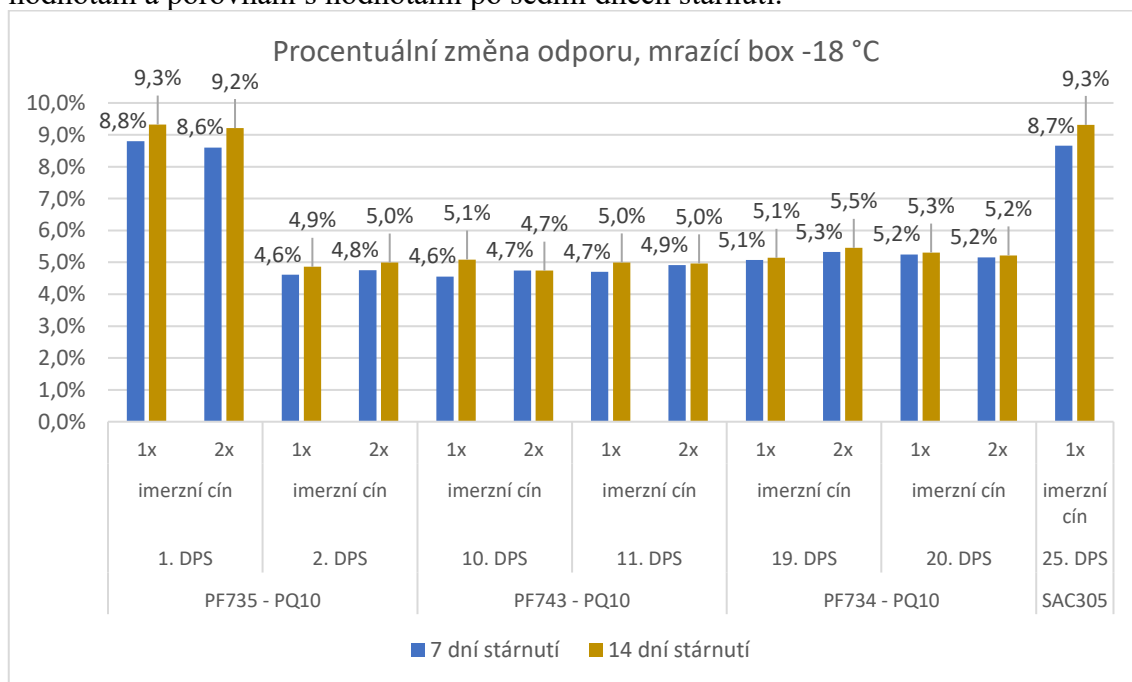
**Obr. 34: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech, mrazící box pro ENIG**

V tabulce 22 jsou naměřené hodnoty po 14 dnech pro desky plošných spojů z mrazícího boxu s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 22: Naměřené hodnoty po 14 dnech z mrazícího boxu pro imerzní cín**

Mrazící box -18 °C					
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	1. DPS	1x	1,534	1,669	1,677
		2x	1,628	1,768	1,778
	2. DPS	1x	1,605	1,679	1,683
		2x	1,662	1,741	1,745
PF743-PQ10	10. DPS	1x	1,690	1,767	1,776
		2x	1,730	1,812	1,812
	11. DPS	1x	1,721	1,802	1,807
		2x	1,731	1,816	1,817
PF734-PQ10	19. DPS	1x	1,595	1,676	1,677
		2x	1,595	1,680	1,682
	20. DPS	1x	1,602	1,686	1,687
		2x	1,610	1,693	1,694
SAC305	25. DPS	1x	1,525	1,657	1,667

Na obr. 35 je procentuální změna odporu po 14 dnech mrazícího boxu pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po čtrnácti dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami po sedmi dnech stárnutí.



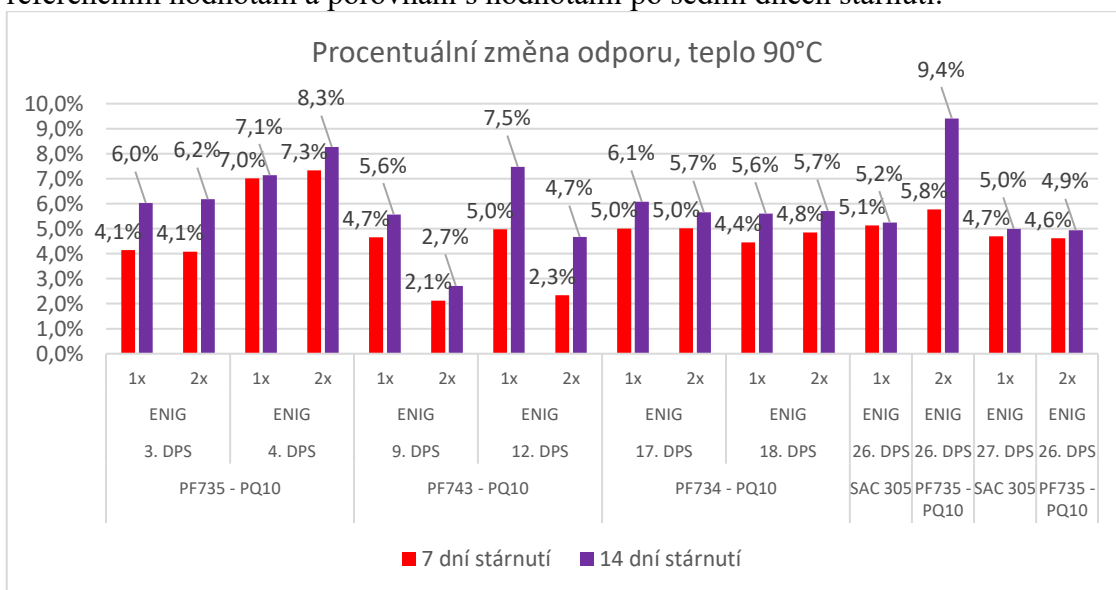
**Obr. 35: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech, mrazící box pro imerzní cín**

V tabulce 23 jsou naměřené hodnoty po 14 dnech pro desky plošných spojů z izotermálního boxu s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 23: Naměřené hodnoty po 14 dnech z izotermálního boxu pro ENIG**

Teplota 90 °C					
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	3. DPS	1x	1,643	1,711	1,742
		2x	1,714	1,784	1,820
	4. DPS	1x	1,682	1,800	1,802
		2x	1,706	1,831	1,847
PF743-PQ10	9. DPS	1x	1,634	1,710	1,725
		2x	1,694	1,730	1,740
	12. DPS	1x	1,647	1,729	1,770
		2x	1,715	1,755	1,795
PF734-PQ10	17. DPS	1x	1,679	1,763	1,781
		2x	1,696	1,781	1,792
	18. DPS	1x	1,731	1,808	1,828
		2x	1,734	1,818	1,833
SAC 305	26. DPS	1x	1,678	1,764	1,766
PF735-PQ10	26. DPS	2x	1,732	1,832	1,895
SAC 305	27. DPS	1x	1,702	1,782	1,787
PF735-PQ10	26. DPS	2x	1,843	1,928	1,934

Na obr. 36 je procentuální změna odporu po 14 dnech z izotermálního boxu pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po čtrnácti dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami po sedmi dnech stárnutí.



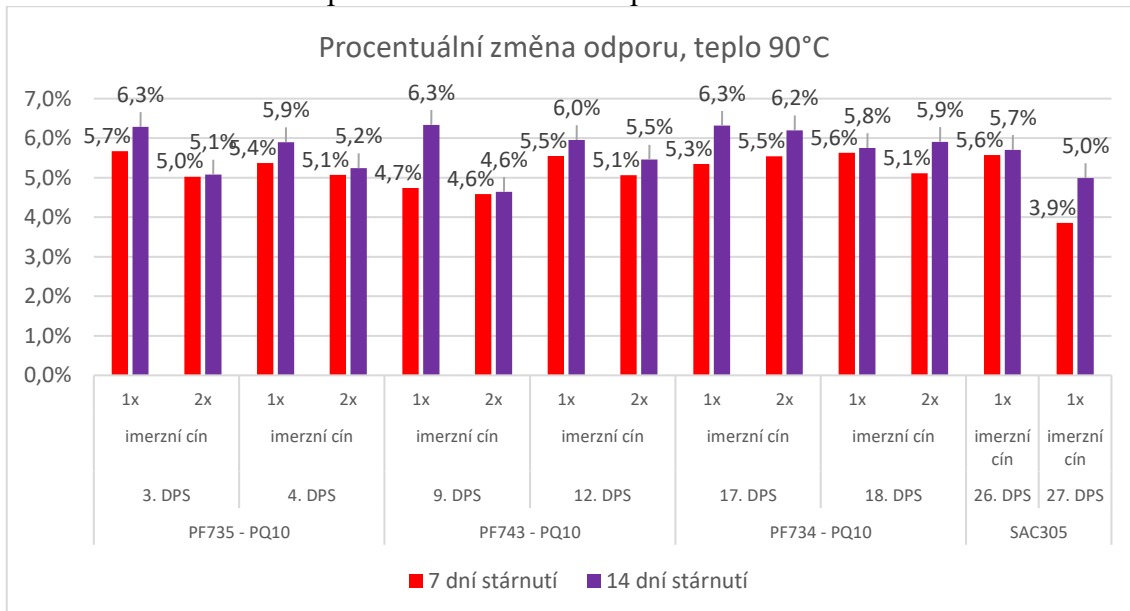
**Obr. 36: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech z izotermálního boxu pro ENIG**

V tabulce 24 jsou naměřené hodnoty po 14 dnech pro desky plošných spojů z izotermálního boxu s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 24: Naměřené hodnoty z izotermálního boxu pro imerzní cín**

Teplo 90 °C					
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	3. DPS	1x	1,639	1,732	1,742
		2x	1,732	1,819	1,820
	4. DPS	1x	1,695	1,786	1,795
		2x	1,755	1,844	1,847
PF743-PQ10	9. DPS	1x	1,625	1,702	1,728
		2x	1,637	1,712	1,713
	12. DPS	1x	1,730	1,826	1,833
		2x	1,759	1,848	1,855
PF734-PQ10	17. DPS	1x	1,647	1,735	1,751
		2x	1,661	1,753	1,764
	18. DPS	1x	1,617	1,708	1,710
		2x	1,642	1,726	1,739
SAC305	26. DPS	1x	1,560	1,647	1,649
	27. DPS	1x	1,582	1,643	1,661

Na obr. 37 je procentuální změna odporu po 14 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po čtrnácti dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami po sedmi dnech stárnutí.



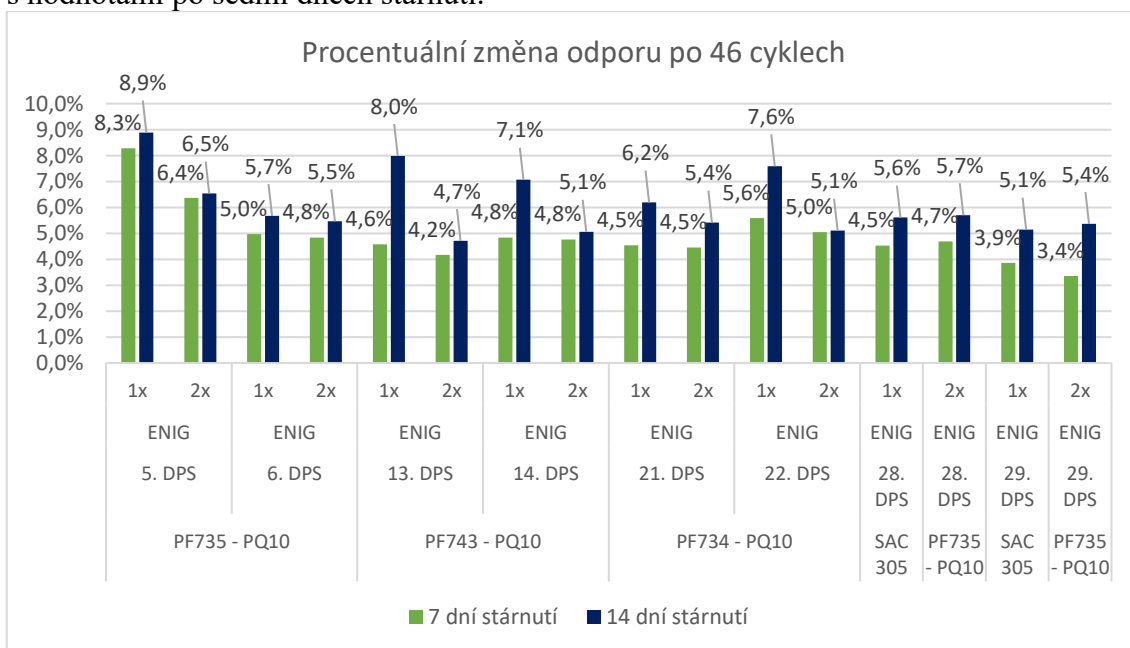
**Obr. 37: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín**

V tabulce 25 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů po 46 cyklech s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 25: Naměřené hodnoty po 46 cyklech pro ENIG**

46 cyklů					
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	5. DPS	1x	1,631	1,766	1,776
		2x	1,682	1,789	1,792
	6. DPS	1x	1,711	1,796	1,808
		2x	1,756	1,841	1,852
PF743-PQ10	13. DPS	1x	1,615	1,689	1,744
		2x	1,657	1,726	1,735
	14. DPS	1x	1,655	1,735	1,772
		2x	1,679	1,759	1,764
PF734-PQ10	21. DPS	1x	1,761	1,841	1,870
		2x	1,773	1,852	1,869
	22. DPS	1x	1,647	1,739	1,772
		2x	1,666	1,750	1,751
SAC 305	28. DPS	1x	1,658	1,733	1,751
PF735-PQ10	28. DPS	2x	1,771	1,854	1,872
SAC 305	29. DPS	1x	1,632	1,695	1,716
PF735-PQ10	29. DPS	2x	1,696	1,753	1,787

Na obr. 38 je procentuální změna odporu po 46 cyklech pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po čtrnácti dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami po sedmi dnech stárnutí.



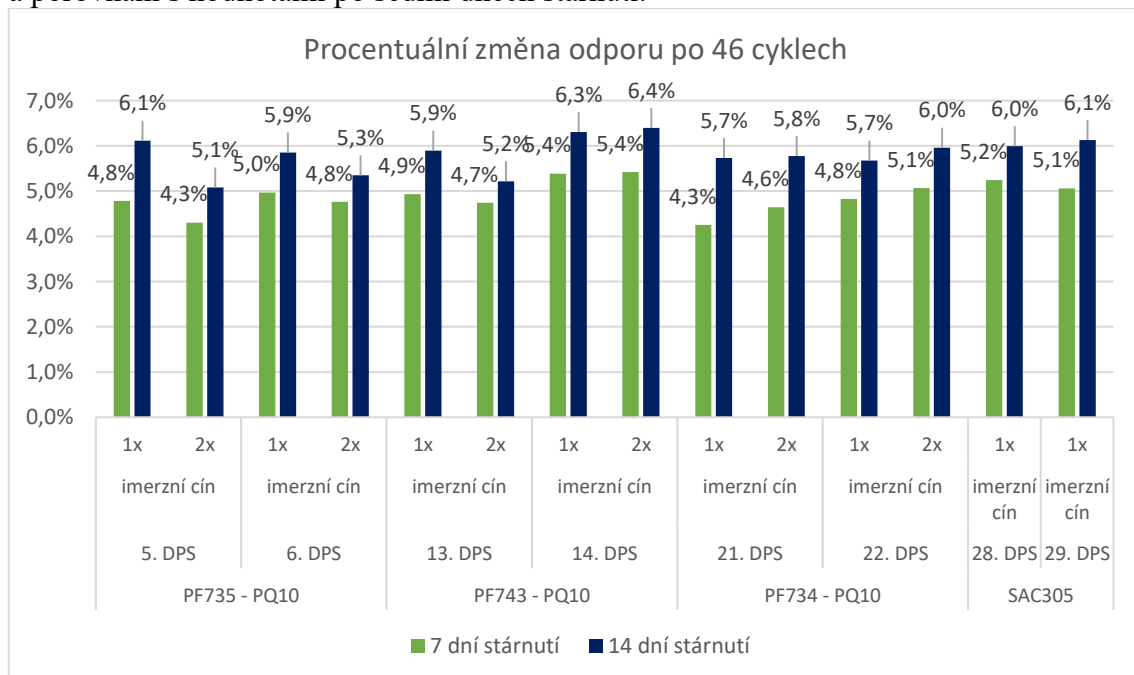
**Obr. 38: Porovnání procentuálních změn odporu po 46 cyklech pro ENIG**

V tabulce 26 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů po 46 cyklech s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 26: Naměřené hodnoty po 46 cyklech pro imerzní cín**

46 cyklů					
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	5. DPS	1x	1,652	1,731	1,753
		2x	1,673	1,745	1,758
	6. DPS	1x	1,691	1,775	1,790
		2x	1,701	1,782	1,792
PF743-PQ10	13. DPS	1x	1,663	1,745	1,761
		2x	1,667	1,746	1,754
	14. DPS	1x	1,633	1,721	1,736
		2x	1,642	1,731	1,747
PF734-PQ10	21. DPS	1x	1,622	1,691	1,715
		2x	1,679	1,757	1,776
	22. DPS	1x	1,638	1,717	1,731
		2x	1,678	1,763	1,778
SAC305	28. DPS	1x	1,602	1,686	1,698
	29. DPS	1x	1,582	1,662	1,679

Na obr. 39 je procentuální změna odporu po 46 cyklech pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po čtrnácti dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami po sedmi dnech stárnutí.



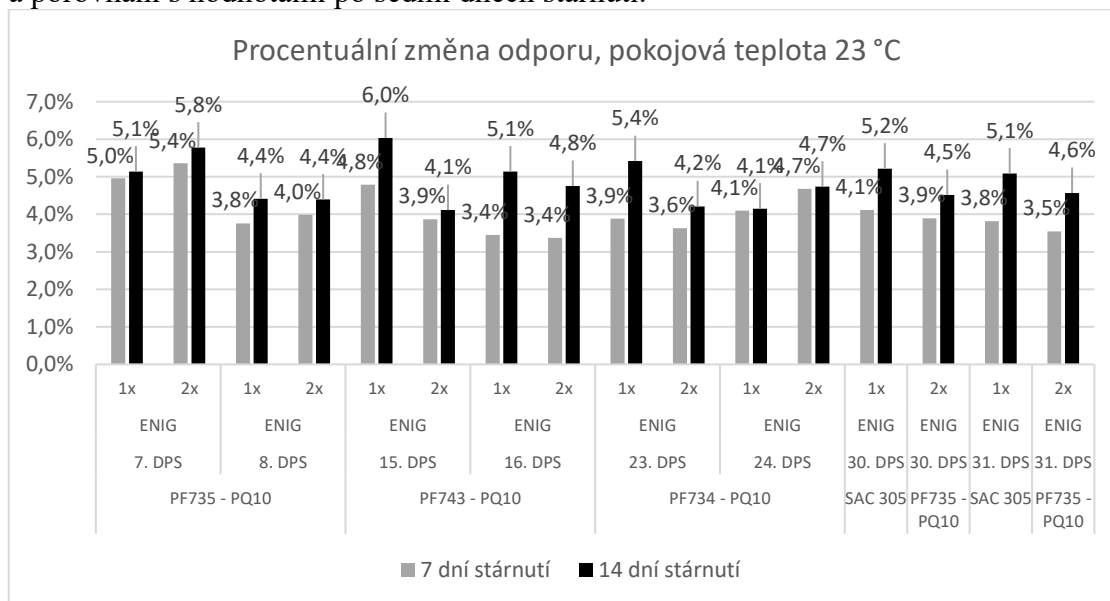
**Obr. 39: Porovnání procentuálních změn odporu po 46 cyklech pro imerzní cín**

V tabulce 27 jsou naměřené hodnoty po 14 dnech pro desky plošných spojů z pokojové teploty s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 27: Naměřené hodnoty po 14 dnech z pokojové teploty pro ENIG**

Pokojová teplota 23 °C					
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	7. DPS	1x	1,635	1,716	1,719
		2x	1,662	1,751	1,758
	8. DPS	1x	1,676	1,739	1,750
		2x	1,707	1,775	1,782
PF743-PQ10	15. DPS	1x	1,608	1,685	1,705
		2x	1,630	1,693	1,697
	16. DPS	1x	1,654	1,711	1,739
		2x	1,662	1,718	1,741
PF734-PQ10	23. DPS	1x	1,699	1,765	1,791
		2x	1,710	1,772	1,782
	24. DPS	1x	1,735	1,806	1,807
		2x	1,753	1,835	1,836
SAC 305	30. DPS	1x	1,630	1,697	1,715
PF735-PQ10	30. DPS	2x	1,772	1,841	1,852
SAC 305	31. DPS	1x	1,574	1,634	1,654
PF735-PQ10	31. DPS	2x	1,664	1,723	1,740

Na obr. 40 je procentuální změna odporu po 14 z pokojové teploty pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po čtrnácti dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami po sedmi dnech stárnutí.



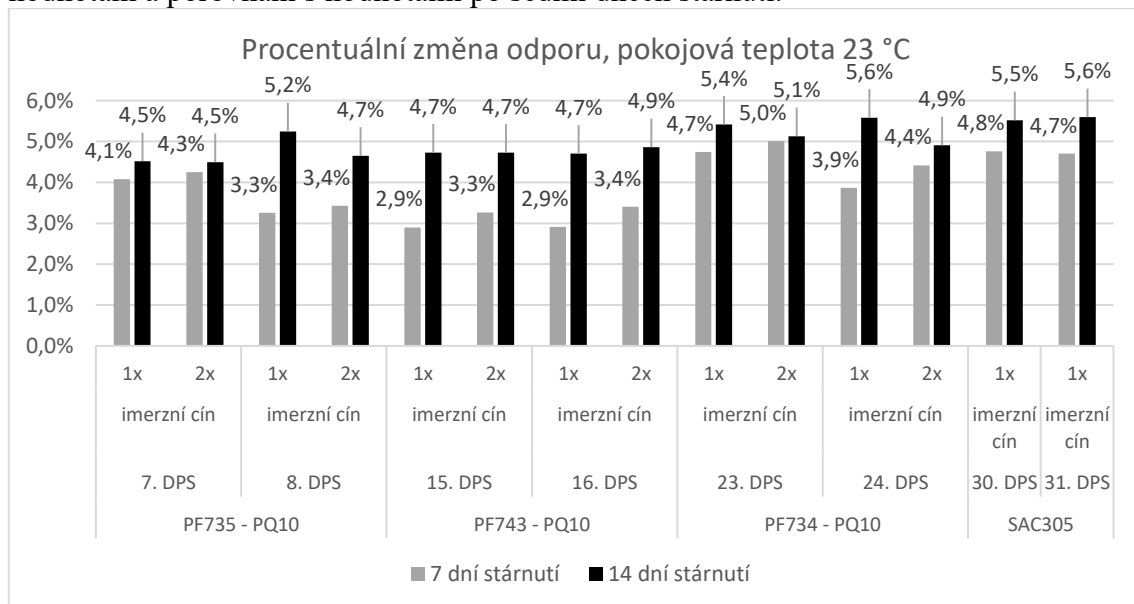
**Obr. 40: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech, pokojová teplota pro ENIG**

V tabulce 28 jsou naměřené hodnoty po 14 dnech pro desky plošných spojů z pokojové teploty s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 28: Naměřené hodnoty po 14 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín**

Pokojová teplota 23 °C					
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	7. DPS	1x	1,593	1,658	1,665
		2x	1,646	1,716	1,720
	8. DPS	1x	1,658	1,712	1,745
		2x	1,720	1,779	1,800
PF743-PQ10	15. DPS	1x	1,691	1,740	1,771
		2x	1,714	1,770	1,795
	16. DPS	1x	1,616	1,663	1,692
		2x	1,646	1,702	1,726
PF734-PQ10	23. DPS	1x	1,644	1,722	1,733
		2x	1,657	1,740	1,742
	24. DPS	1x	1,630	1,693	1,721
		2x	1,630	1,702	1,710
SAC305	30. DPS	1x	1,576	1,651	1,663
	31. DPS	1x	1,573	1,647	1,661

Na obr. 41 je procentuální změna odporu po 14 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po čtrnácti dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami po sedmi dnech stárnutí.



**Obr. 41: Porovnání procentuálních změn odporu po 14 dnech, pokojová teplota pro imerzní cín**

## 5.4 Test DPS po 21 dnech stárnutí

Na začátku měření byly všechny desky plošných spojů vloženy do Friocellu na dobu 30 min. při teplotě 40 °C. Z důvodu temperace jednotlivých desek plošných spojů.

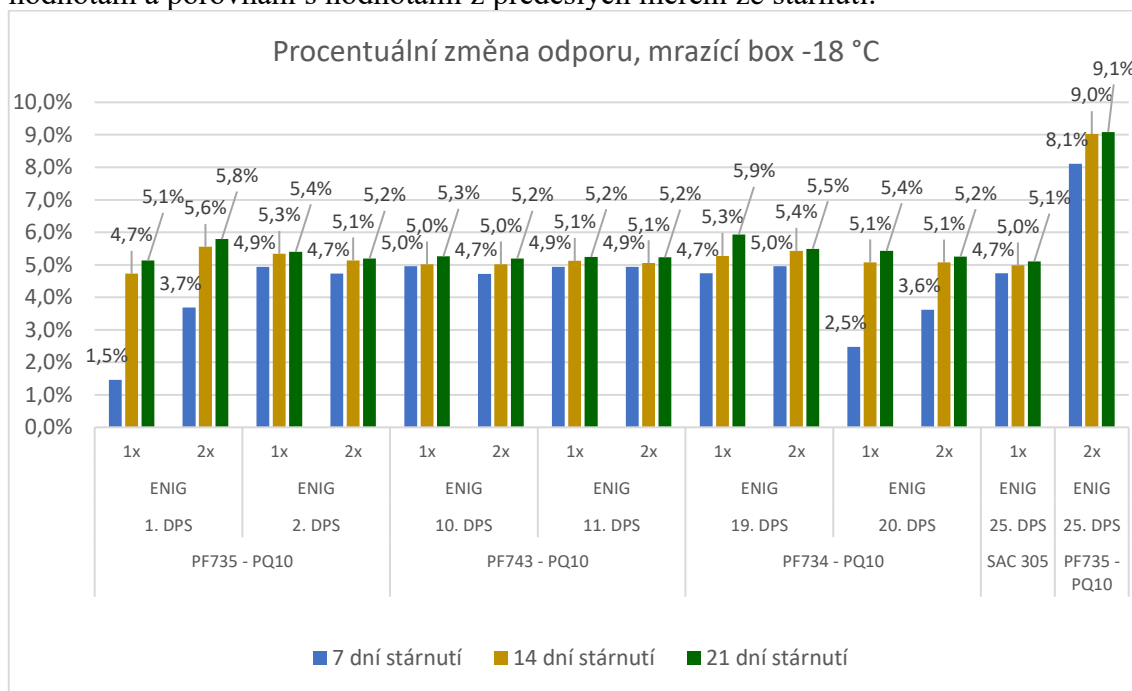
U všech grafů v této podkapitole je zobrazeno procentuální navýšení. Procentuální navýšení je porovnání naměřené hodnoty a referenční hodnoty. Důvod volby procentuálních změn je jednodušší vyhodnocení naměřených výsledků. V tabulkách jsou uvedeny naměřené hodnoty pro dané prostředí, rozdělené podle použitých pájecích past. Pro lepší přehlednost každá tabulka začíná na nové stránce. Pod tabulkou je graf z naměřených hodnot.

V tabulce 29 jsou naměřené hodnoty po 21 dnech pro desky plošných spojů z mrazícího boxu s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 29: Naměřené hodnoty po 21 dnech z mrazícího boxu pro ENIG**

Mrazící box -18 °C						
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	1. DPS	1x	1,714	1,739	1,795	1,802
		2x	1,710	1,773	1,805	1,809
	2. DPS	1x	1,723	1,808	1,815	1,816
		2x	1,732	1,814	1,821	1,822
PF743-PQ10	10. DPS	1x	1,635	1,716	1,717	1,721
		2x	1,674	1,753	1,758	1,761
	11. DPS	1x	1,621	1,701	1,704	1,706
		2x	1,662	1,744	1,746	1,749
PF734-PQ10	19. DPS	1x	1,668	1,747	1,756	1,767
		2x	1,675	1,758	1,766	1,767
	20. DPS	1x	1,694	1,736	1,780	1,786
		2x	1,715	1,777	1,802	1,805
SAC 305	25. DPS	1x	1,605	1,681	1,685	1,687
PF735-PQ10	25. DPS	2x	1,629	1,761	1,776	1,777

Na obr. 42 je procentuální změna odporu po 21 dnech z mrazícího boxu pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti jedna dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



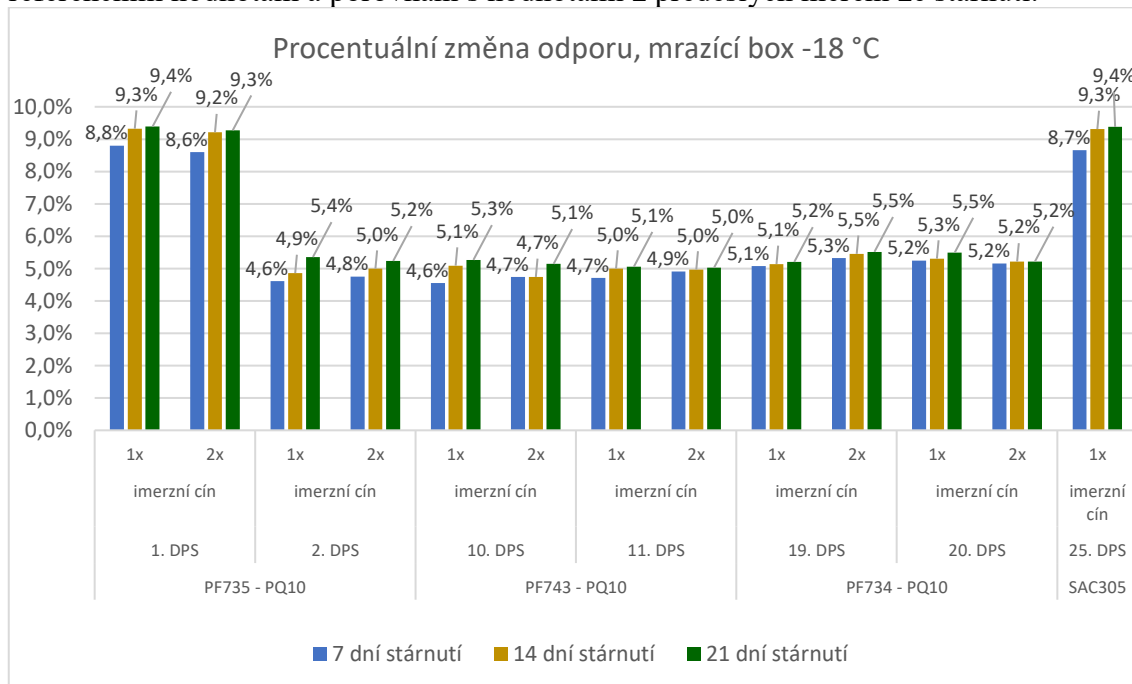
**Obr. 42: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, mrazící box pro ENIG**

V tabulce 30 jsou naměřené hodnoty po 21 dnech pro desky plošných spojů z mrazícího boxu s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 30: Naměřené hodnoty po 21 dnech z mrazícího boxu pro imerzní cín**

Mrazící box -18 °C						
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	1. DPS	1x	1,534	1,669	1,677	1,678
		2x	1,628	1,768	1,778	1,779
	2. DPS	1x	1,605	1,679	1,683	1,691
		2x	1,662	1,741	1,745	1,749
PF743-PQ10	10. DPS	1x	1,690	1,767	1,776	1,779
		2x	1,730	1,812	1,812	1,819
	11. DPS	1x	1,721	1,802	1,807	1,808
		2x	1,731	1,816	1,817	1,818
PF734-PQ10	19. DPS	1x	1,595	1,676	1,677	1,678
		2x	1,595	1,680	1,682	1,683
	20. DPS	1x	1,602	1,686	1,687	1,690
		2x	1,610	1,693	1,694	1,694
SAC305	25. DPS	1x	1,525	1,657	1,667	1,668

Na obr. 43 je procentuální změna odporu po 21 dnech z mrazícího boxu pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti jedna dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



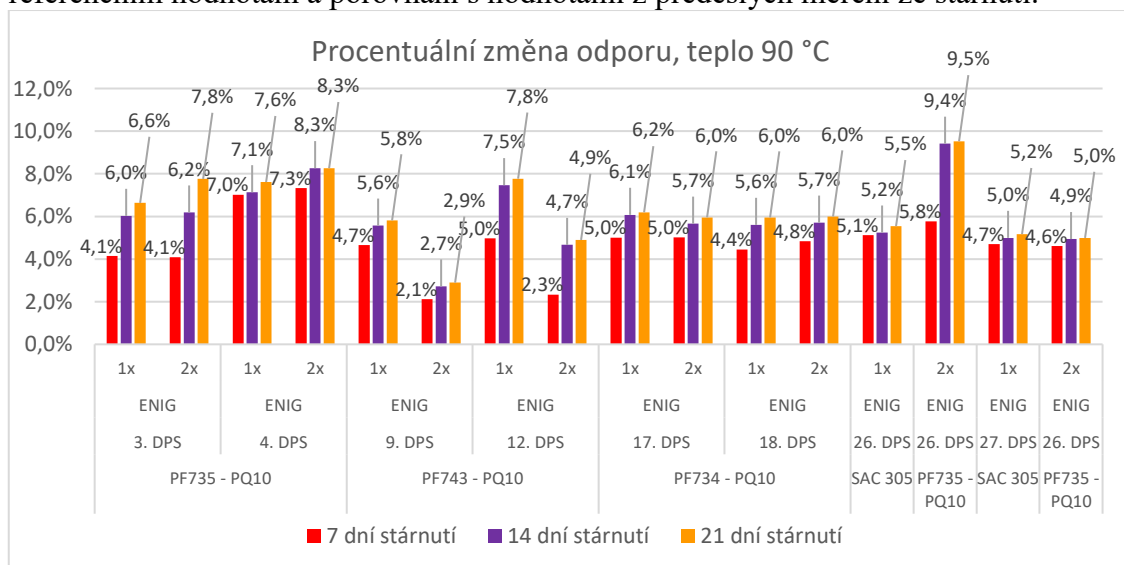
**Obr. 43: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, mrazící box pro imerzní cín**

V tabulce 31 jsou naměřené hodnoty po 21 dnech pro desky plošných spojů z izotermálního boxu s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 31: Naměřené hodnoty po 21 dnech z izotermálního boxu pro ENIG**

Teplota 90 °C						
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	3. DPS	1x	1,643	1,711	1,742	1,752
		2x	1,714	1,784	1,820	1,847
	4. DPS	1x	1,682	1,800	1,802	1,810
		2x	1,706	1,831	1,847	1,847
PF743-PQ10	9. DPS	1x	1,634	1,710	1,725	1,729
		2x	1,694	1,730	1,740	1,743
	12. DPS	1x	1,647	1,729	1,770	1,775
		2x	1,715	1,755	1,795	1,799
PF734-PQ10	17. DPS	1x	1,679	1,763	1,781	1,783
		2x	1,696	1,781	1,792	1,797
	18. DPS	1x	1,731	1,808	1,828	1,834
		2x	1,734	1,818	1,833	1,838
SAC 305	26. DPS	1x	1,678	1,764	1,766	1,771
PF735-PQ10	26. DPS	2x	1,732	1,832	1,895	1,897
SAC 305	27. DPS	1x	1,702	1,782	1,787	1,790
PF735-PQ10	26. DPS	2x	1,843	1,928	1,934	1,935

Na obr. 44 je procentuální změna odporu po 21 dnech z izotermálního boxu pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti jedna dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



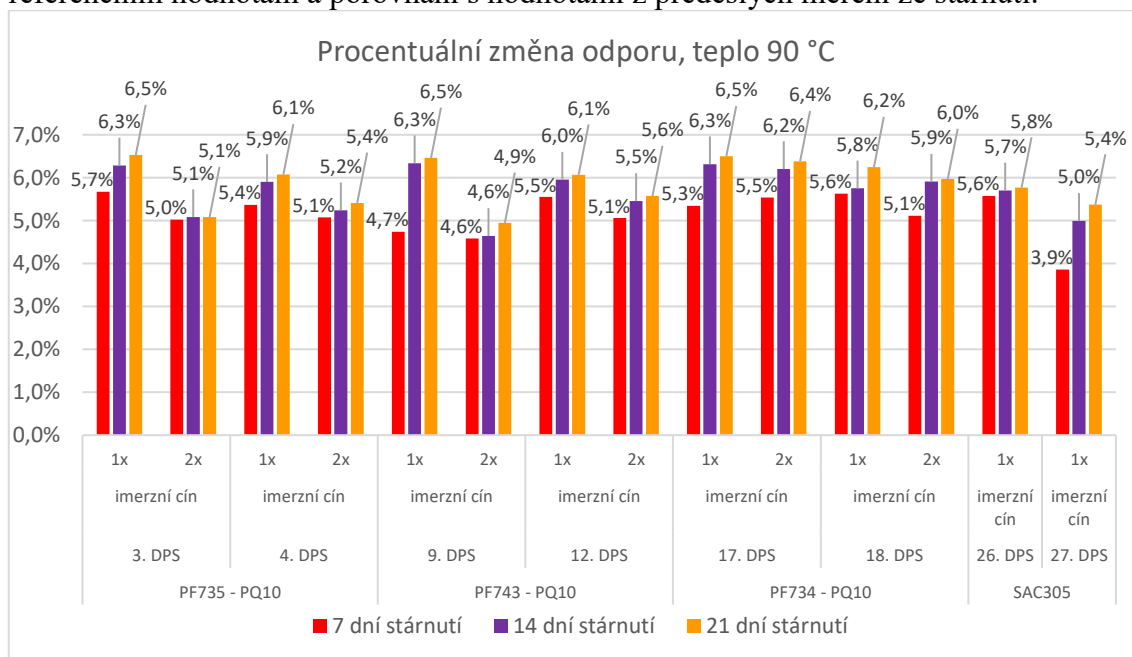
**Obr. 44: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, izotermální box pro ENIG**

V tabulce 32 jsou naměřené hodnoty po 21 dnech pro desky plošných spojů z izotermálního boxu s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 32: Naměřené hodnoty po 21 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín**

Teplo 90 °C						
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	3. DPS	1x	1,639	1,732	1,742	1,746
		2x	1,732	1,819	1,820	1,820
	4. DPS	1x	1,695	1,786	1,795	1,798
		2x	1,755	1,844	1,847	1,850
PF743-PQ10	9. DPS	1x	1,625	1,702	1,728	1,730
		2x	1,637	1,712	1,713	1,718
	12. DPS	1x	1,730	1,826	1,833	1,835
		2x	1,759	1,848	1,855	1,857
PF734-PQ10	17. DPS	1x	1,647	1,735	1,751	1,754
		2x	1,661	1,753	1,764	1,767
	18. DPS	1x	1,617	1,708	1,710	1,718
		2x	1,642	1,726	1,739	1,740
SAC305	26. DPS	1x	1,560	1,647	1,649	1,650
	27. DPS	1x	1,582	1,643	1,661	1,667

Na obr. 45 je procentuální změna odporu po 21 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti jedna dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



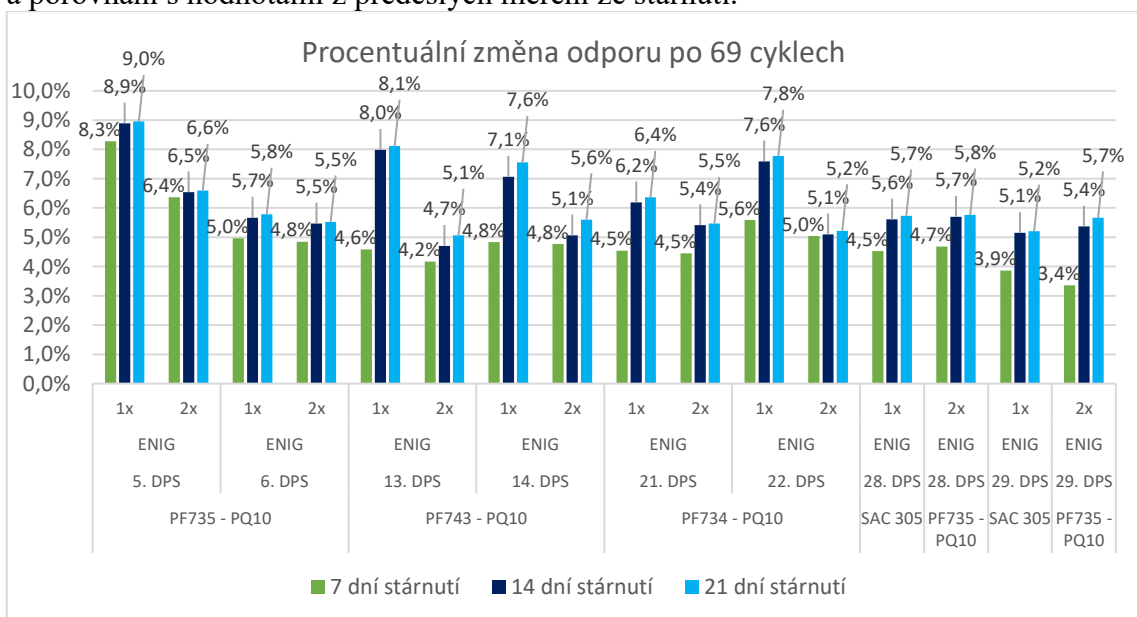
**Obr. 45: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, izotermálního boxu pro imerzní cín**

V tabulce 33 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů po 69 cyklech s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 33: Naměřené hodnoty po 69 cyklech pro ENIG**

69 cyklů						
použitá pasta	označení DPS	přechod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	5. DPS	1x	1,631	1,766	1,776	1,777
		2x	1,682	1,789	1,792	1,793
	6. DPS	1x	1,711	1,796	1,808	1,810
		2x	1,756	1,841	1,852	1,853
PF743-PQ10	13. DPS	1x	1,615	1,689	1,744	1,746
		2x	1,657	1,726	1,735	1,741
	14. DPS	1x	1,655	1,735	1,772	1,780
		2x	1,679	1,759	1,764	1,773
PF734-PQ10	21. DPS	1x	1,761	1,841	1,870	1,873
		2x	1,773	1,852	1,869	1,870
	22. DPS	1x	1,647	1,739	1,772	1,775
		2x	1,666	1,750	1,751	1,753
SAC 305	28. DPS	1x	1,658	1,733	1,751	1,753
PF735-PQ10	28. DPS	2x	1,771	1,854	1,872	1,873
SAC 305	29. DPS	1x	1,632	1,695	1,716	1,717
PF735-PQ10	29. DPS	2x	1,696	1,753	1,787	1,792

Na obr. 46 je procentuální změna odporu po 69 cyklech pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti jedna dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



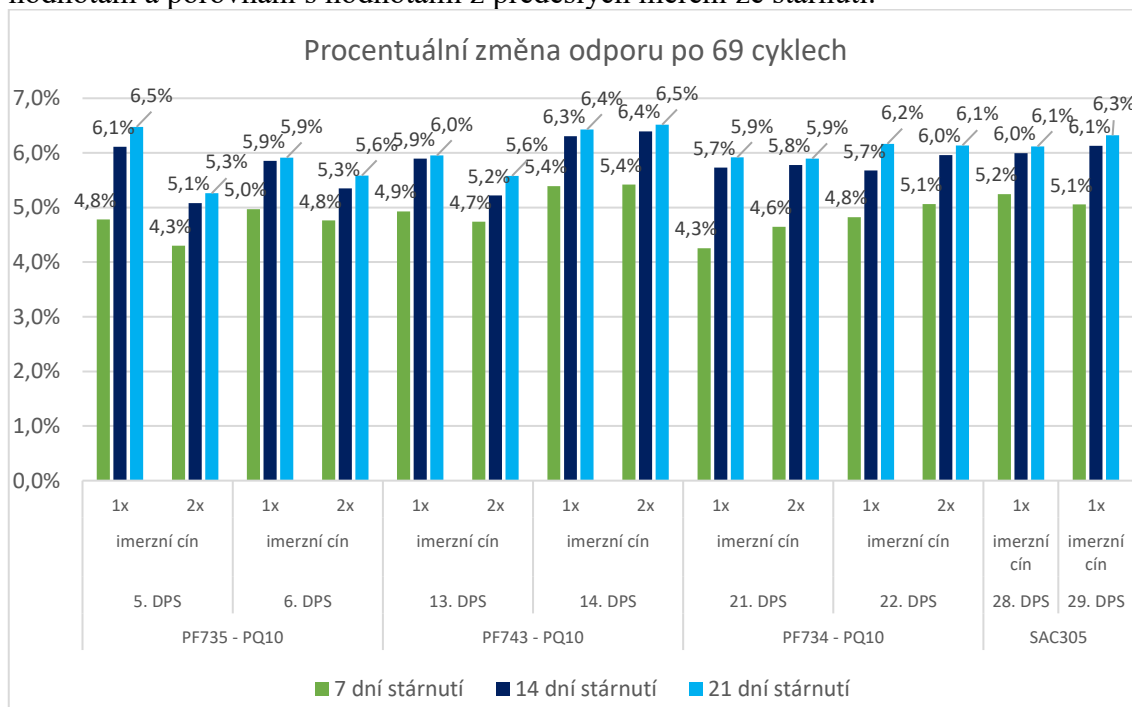
**Obr. 46: Porovnání procentuálních změn odporu po 69 cyklech pro ENIG**

V tabulce 34 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů po 69 cyklech s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 34: Naměřené hodnoty po 69 cyklech pro imerzní cín**

69 cyklů						
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	5. DPS	1x	1,652	1,731	1,753	1,759
		2x	1,673	1,745	1,758	1,761
	6. DPS	1x	1,691	1,775	1,790	1,791
		2x	1,701	1,782	1,792	1,796
PF743-PQ10	13. DPS	1x	1,663	1,745	1,761	1,762
		2x	1,667	1,746	1,754	1,760
	14. DPS	1x	1,633	1,721	1,736	1,738
		2x	1,642	1,731	1,747	1,749
PF734-PQ10	21. DPS	1x	1,622	1,691	1,715	1,718
		2x	1,679	1,757	1,776	1,778
	22. DPS	1x	1,638	1,717	1,731	1,739
		2x	1,678	1,763	1,778	1,781
SAC305	28. DPS	1x	1,602	1,686	1,698	1,700
	29. DPS	1x	1,582	1,662	1,679	1,682

Na obr. 47 je procentuální změna odporu po 69 cyklech pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti jedna dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



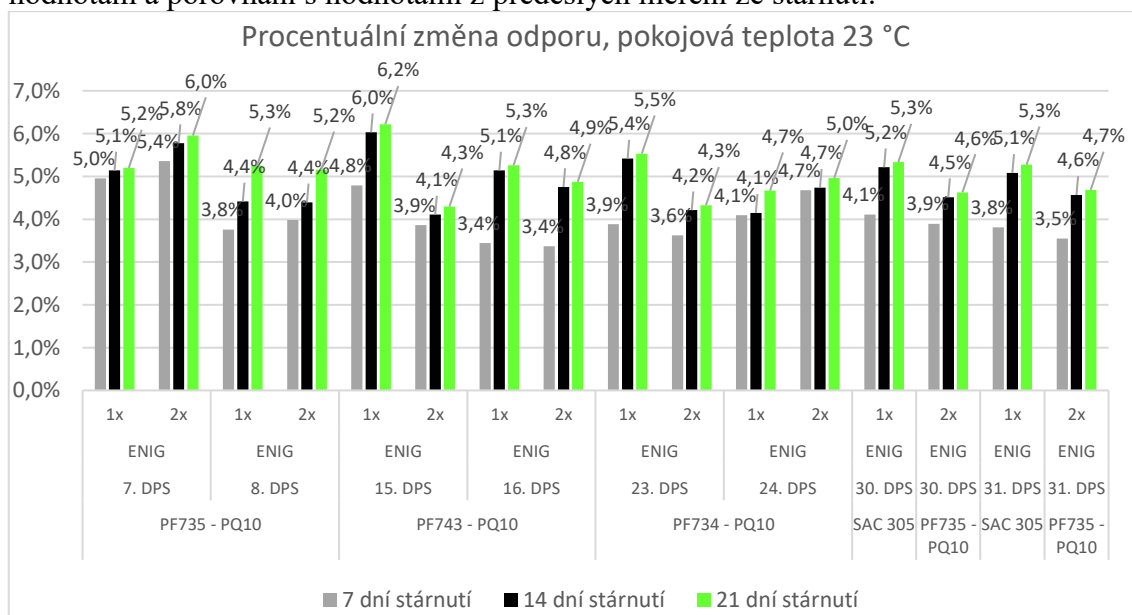
**Obr. 47: Porovnání procentuálních změn odporu po 69 cyklech pro imerzní cín**

V tabulce 35 jsou naměřené hodnoty po 21 dnech pro desky plošných spojů z pokojové teploty s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 35: Naměřené hodnoty po 21 dnech z pokojové teploty pro ENIG**

Pokojová teplota 23 °C						
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	7. DPS	1x	1,635	1,716	1,719	1,720
		2x	1,662	1,751	1,758	1,761
	8. DPS	1x	1,676	1,739	1,750	1,764
		2x	1,707	1,775	1,782	1,795
PF743-PQ10	15. DPS	1x	1,608	1,685	1,705	1,708
		2x	1,630	1,693	1,697	1,700
	16. DPS	1x	1,654	1,711	1,739	1,741
		2x	1,662	1,718	1,741	1,743
PF734-PQ10	23. DPS	1x	1,699	1,765	1,791	1,793
		2x	1,710	1,772	1,782	1,784
	24. DPS	1x	1,735	1,806	1,807	1,816
		2x	1,753	1,835	1,836	1,840
SAC 305	30. DPS	1x	1,630	1,697	1,715	1,717
PF735-PQ10	30. DPS	2x	1,772	1,841	1,852	1,854
SAC 305	31. DPS	1x	1,574	1,634	1,654	1,657
PF735-PQ10	31. DPS	2x	1,664	1,723	1,740	1,742

Na obr. 48 je procentuální změna odporu po 21 dnech z pokojové teploty pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti jedna dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



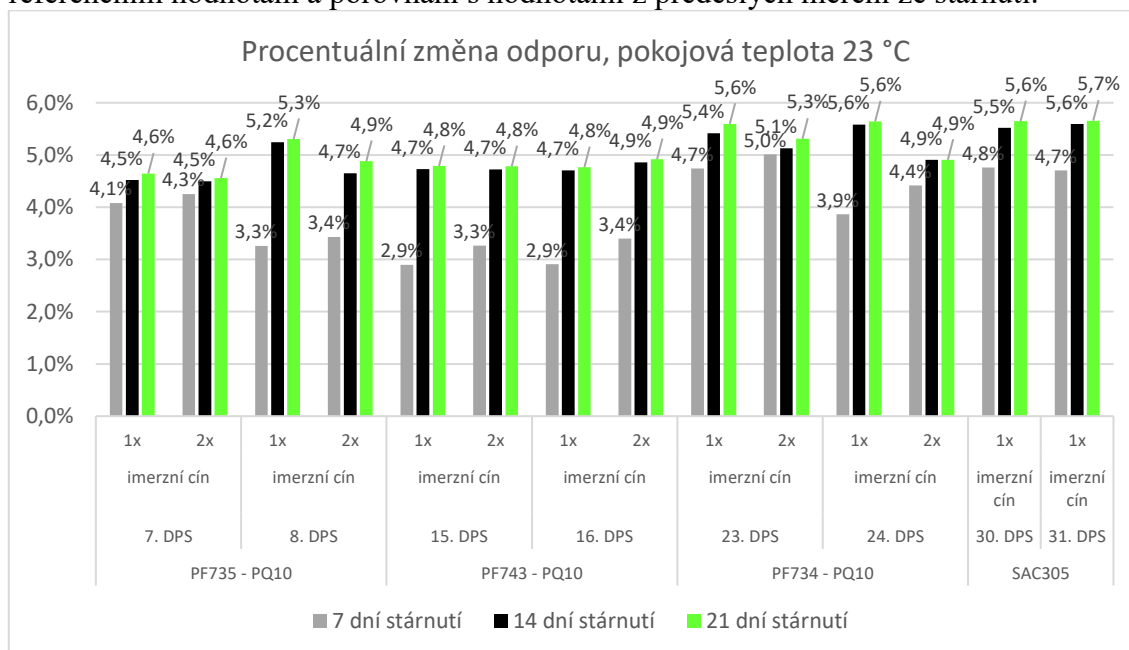
**Obr. 48: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, pokojová teplota pro ENIG**

V tabulce 36 jsou naměřené hodnoty po 21 dnech pro desky plošných spojů z pokojové teploty s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 36: Naměřené hodnoty po 21 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín**

Pokojová teplota 23 °C						
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	7. DPS	1x	1,593	1,658	1,665	1,667
		2x	1,646	1,716	1,720	1,721
	8. DPS	1x	1,658	1,712	1,745	1,746
		2x	1,720	1,779	1,800	1,804
PF743-PQ10	15. DPS	1x	1,691	1,740	1,771	1,772
		2x	1,714	1,770	1,795	1,796
	16. DPS	1x	1,616	1,663	1,692	1,693
		2x	1,646	1,702	1,726	1,727
PF734-PQ10	23. DPS	1x	1,644	1,722	1,733	1,736
		2x	1,657	1,740	1,742	1,745
	24. DPS	1x	1,630	1,693	1,721	1,722
		2x	1,630	1,702	1,710	1,710
SAC305	30. DPS	1x	1,576	1,651	1,663	1,665
	31. DPS	1x	1,573	1,647	1,661	1,662

Na obr. 49 je procentuální změna odporu po 21 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti jedna dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



**Obr. 49: Porovnání procentuálních změn odporu po 21 dnech, pokojová teplota pro imerzní cín**

## 5.5 Test DPS po 28 dnech stárnutí

Na začátku měření byly všechny desky plošných spojů vloženy do Friocellu na dobu 30 min. při teplotě 40 °C. Z důvodu temperace jednotlivých desek plošných spojů.

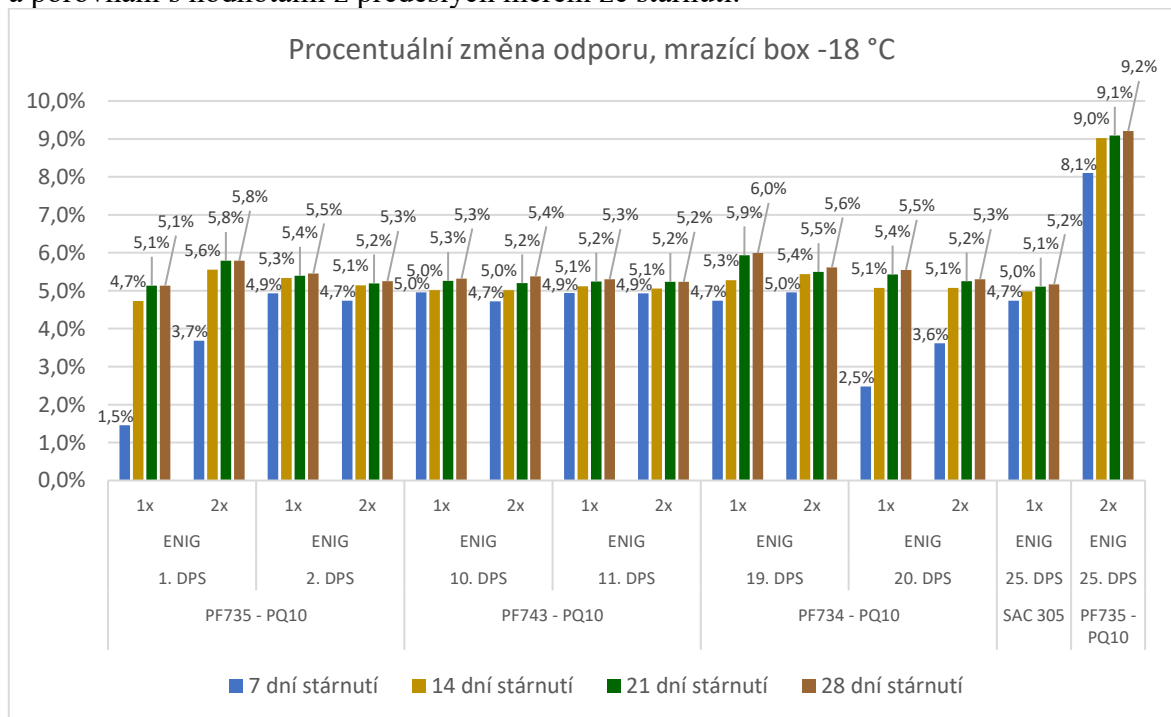
U všech grafů v této podkapitole je zobrazeno procentuální navýšení. Procentuální navýšení je porovnání naměřené hodnoty a referenční hodnoty. Důvod volby procentuálních změn je jednodušší vyhodnocení naměřených výsledků. V tabulkách jsou uvedeny naměřené hodnoty pro dané prostředí, rozdělené podle použitých pájecích past. Pro lepší přehlednost každá tabulka začíná na nové stránce. Pod tabulkou je graf z naměřených hodnot.

V tabulce 37 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů z mrazícího boxu s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 37: Naměřené hodnoty po 28 dnech z mrazícího boxu pro ENIG**

Mrazící box -18 °C							
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	1. DPS	1x	1,714	1,739	1,795	1,802	1,802
		2x	1,710	1,773	1,805	1,809	1,809
	2. DPS	1x	1,723	1,808	1,815	1,816	1,817
		2x	1,732	1,814	1,821	1,822	1,823
PF743-PQ10	10. DPS	1x	1,635	1,716	1,717	1,721	1,722
		2x	1,674	1,753	1,758	1,761	1,764
	11. DPS	1x	1,621	1,701	1,704	1,706	1,707
		2x	1,662	1,744	1,746	1,749	1,749
PF734-PQ10	19. DPS	1x	1,668	1,747	1,756	1,767	1,768
		2x	1,675	1,758	1,766	1,767	1,769
	20. DPS	1x	1,694	1,736	1,780	1,786	1,788
		2x	1,715	1,777	1,802	1,805	1,806
SAC 305	25. DPS	1x	1,605	1,681	1,685	1,687	1,688
PF735-PQ10	25. DPS	2x	1,629	1,761	1,776	1,777	1,779

Na obr. 50 je procentuální změna odporu z mrazícího boxu pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti osmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



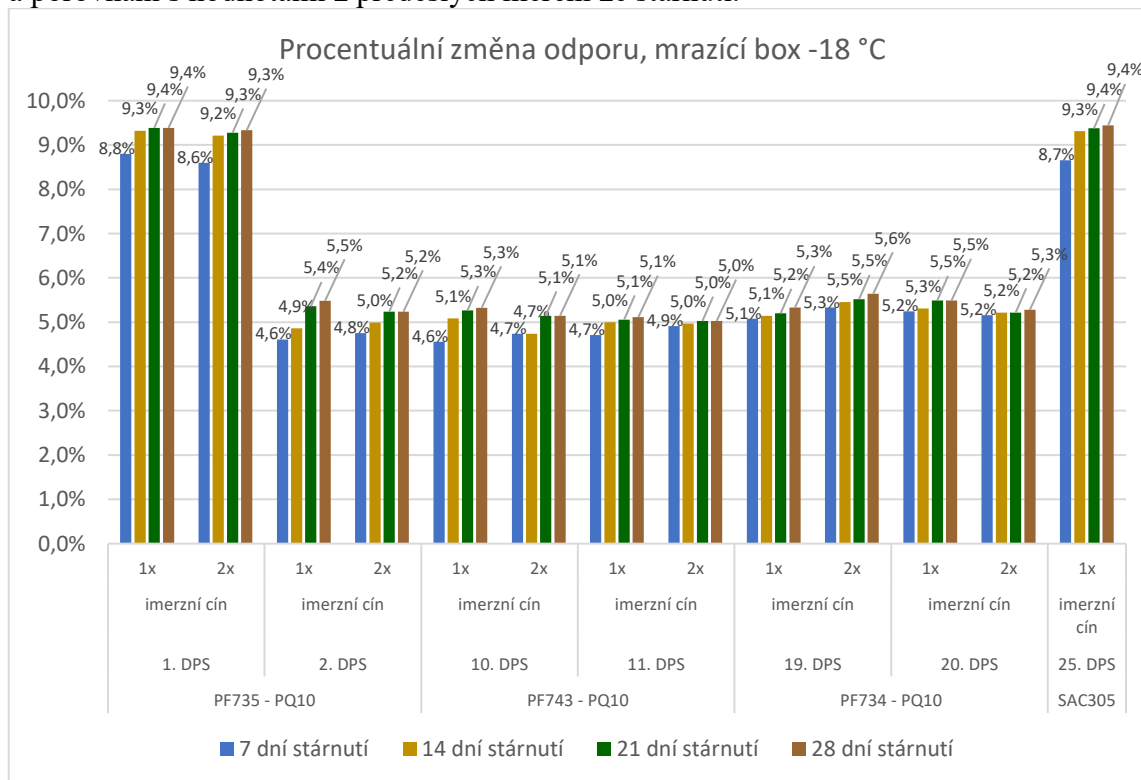
**Obr. 50: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, mrazící box pro ENIG**

V tabulce 38 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů z mrazícího boxu s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 38: Naměřené hodnoty po 28 dnech z mrazícího boxu pro imerzní cín**

Mrazící box -18 °C							
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	1. DPS	1x	1,534	1,669	1,677	1,678	1,678
		2x	1,628	1,768	1,778	1,779	1,780
	2. DPS	1x	1,605	1,679	1,683	1,691	1,693
		2x	1,662	1,741	1,745	1,749	1,749
PF743-PQ10	10. DPS	1x	1,690	1,767	1,776	1,779	1,780
		2x	1,730	1,812	1,812	1,819	1,819
	11. DPS	1x	1,721	1,802	1,807	1,808	1,809
		2x	1,731	1,816	1,817	1,818	1,818
PF734-PQ10	19. DPS	1x	1,595	1,676	1,677	1,678	1,680
		2x	1,595	1,680	1,682	1,683	1,685
	20. DPS	1x	1,602	1,686	1,687	1,690	1,690
		2x	1,610	1,693	1,694	1,694	1,695
SAC305	25. DPS	1x	1,525	1,657	1,667	1,668	1,669

Na obr. 51 je procentuální změna odporu z mrazícího boxu pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti osmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



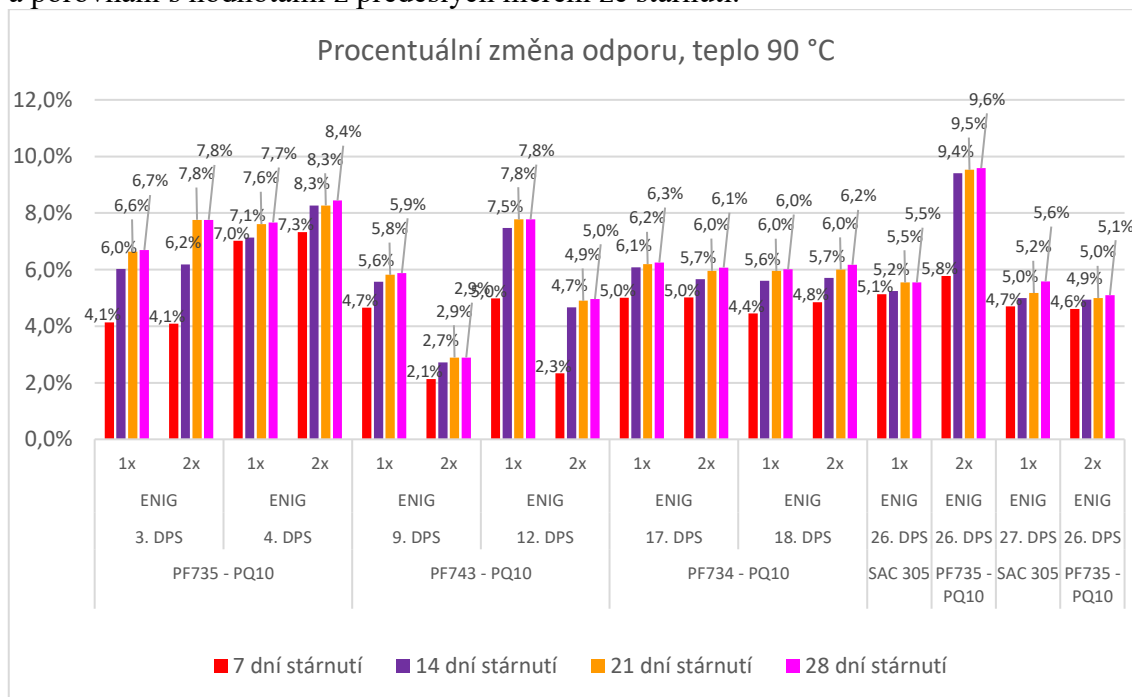
**Obr. 51: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, mrazící box pro imerzní cín**

V tabulce 39 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů z izotermálního boxu s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 39: Naměřené hodnoty po 28 dnech z izotermálního boxu pro ENIG**

Teplota 90 °C							
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	3. DPS	1x	1,643	1,711	1,742	1,752	1,753
		2x	1,714	1,784	1,820	1,847	1,847
	4. DPS	1x	1,682	1,800	1,802	1,810	1,811
		2x	1,706	1,831	1,847	1,847	1,850
PF743-PQ10	9. DPS	1x	1,634	1,710	1,725	1,729	1,730
		2x	1,694	1,730	1,740	1,743	1,743
	12. DPS	1x	1,647	1,729	1,770	1,775	1,775
		2x	1,715	1,755	1,795	1,799	1,800
PF734-PQ10	17. DPS	1x	1,679	1,763	1,781	1,783	1,784
		2x	1,696	1,781	1,792	1,797	1,799
	18. DPS	1x	1,731	1,808	1,828	1,834	1,835
		2x	1,734	1,818	1,833	1,838	1,841
SAC 305	26. DPS	1x	1,678	1,764	1,766	1,771	1,771
PF735-PQ10	26. DPS	2x	1,732	1,832	1,895	1,897	1,898
SAC 305	27. DPS	1x	1,702	1,782	1,787	1,790	1,797
PF735-PQ10	26. DPS	2x	1,843	1,928	1,934	1,935	1,937

Na obr. 52 je procentuální změna odporu z izotermálního boxu pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti osmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



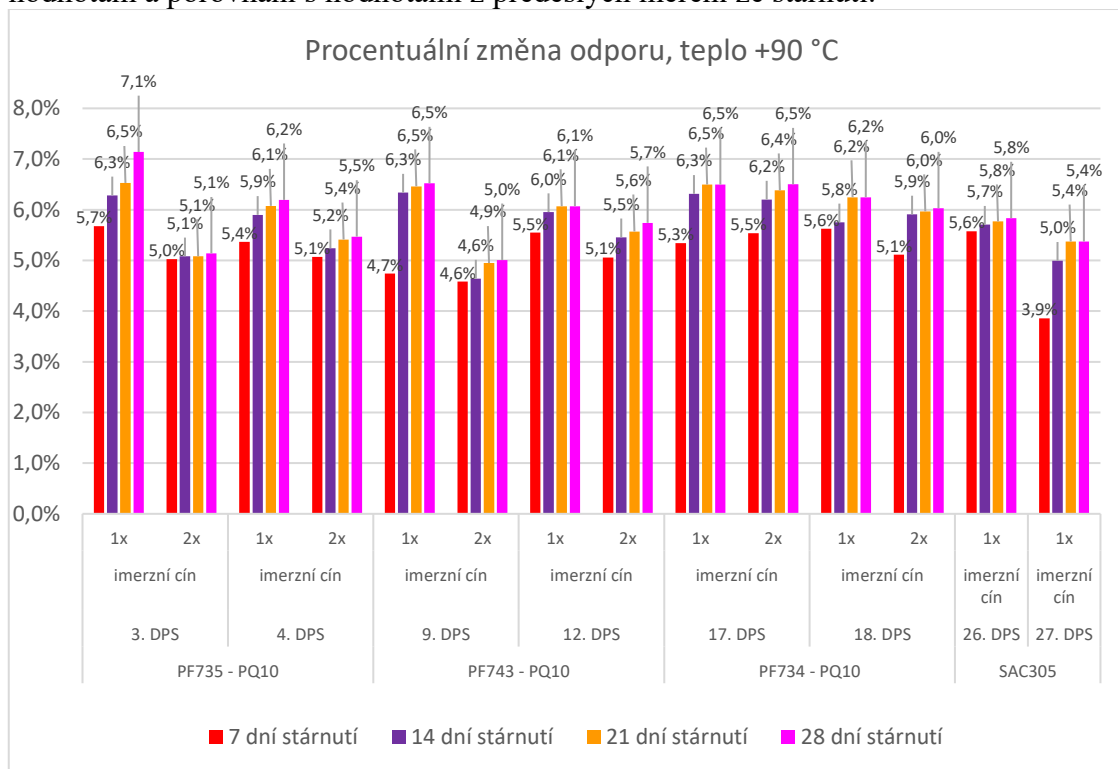
**Obr. 52: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, izotermální box pro ENIG**

V tabulce 40 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů z izotermálního boxu s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 40: Naměřené hodnoty po 28 dnech z izotermálního boxu pro imerzní cín**

Teplota 90 °C							
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	3. DPS	1x	1,639	1,732	1,742	1,746	1,756
		2x	1,732	1,819	1,820	1,820	1,821
	4. DPS	1x	1,695	1,786	1,795	1,798	1,800
		2x	1,755	1,844	1,847	1,850	1,851
PF743-PQ10	9. DPS	1x	1,625	1,702	1,728	1,730	1,731
		2x	1,637	1,712	1,713	1,718	1,719
	12. DPS	1x	1,730	1,826	1,833	1,835	1,835
		2x	1,759	1,848	1,855	1,857	1,860
PF734-PQ10	17. DPS	1x	1,647	1,735	1,751	1,754	1,754
		2x	1,661	1,753	1,764	1,767	1,769
	18. DPS	1x	1,617	1,708	1,710	1,718	1,718
		2x	1,642	1,726	1,739	1,740	1,741
SAC305	26. DPS	1x	1,560	1,647	1,649	1,650	1,651
	27. DPS	1x	1,582	1,643	1,661	1,667	1,667

Na obr. 53 je procentuální změna odporu z izotermálního boxu pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti osmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



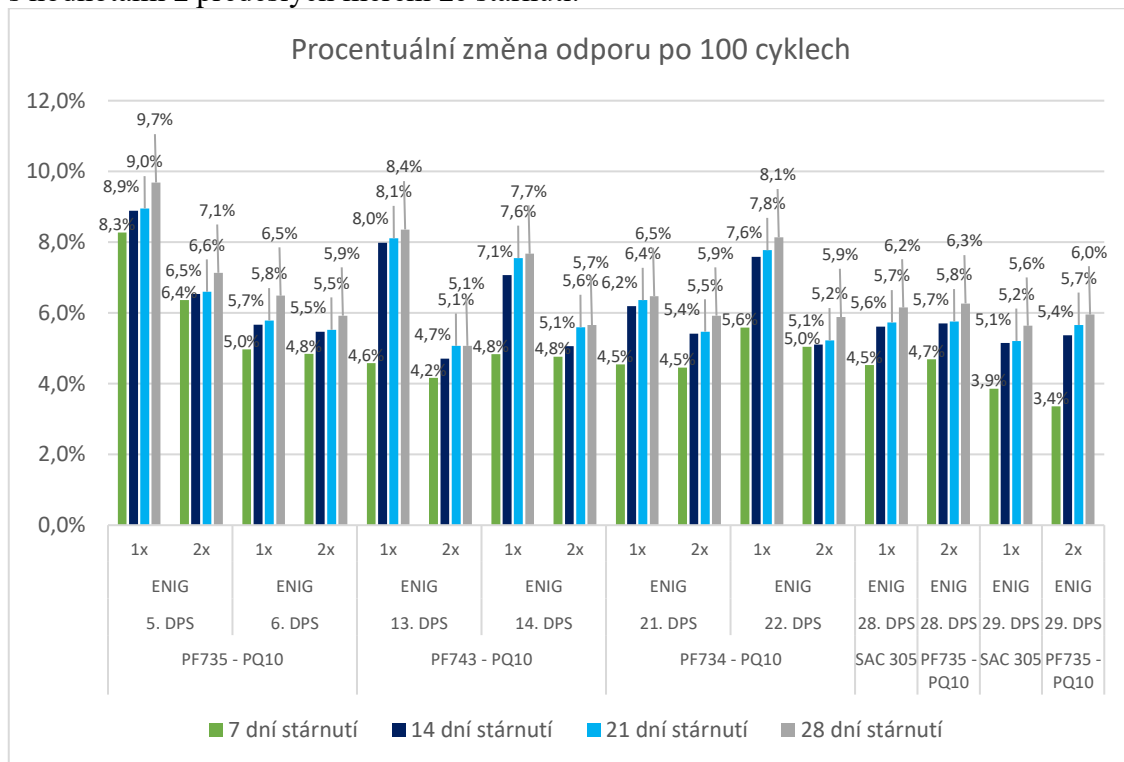
**Obr. 53: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, izotermální box pro imerzní cín**

V tabulce 41 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů po 100 cyklech s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 41: Naměřené hodnoty po 100 cyklech pro ENIG**

100 cyklů							
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	5. DPS	1x	1,631	1,766	1,776	1,777	1,789
		2x	1,682	1,789	1,792	1,793	1,802
	6. DPS	1x	1,711	1,796	1,808	1,810	1,822
		2x	1,756	1,841	1,852	1,853	1,860
PF743-PQ10	13. DPS	1x	1,615	1,689	1,744	1,746	1,750
		2x	1,657	1,726	1,735	1,741	1,741
	14. DPS	1x	1,655	1,735	1,772	1,780	1,782
		2x	1,679	1,759	1,764	1,773	1,774
PF734-PQ10	21. DPS	1x	1,761	1,841	1,870	1,873	1,875
		2x	1,773	1,852	1,869	1,870	1,878
	22. DPS	1x	1,647	1,739	1,772	1,775	1,781
		2x	1,666	1,750	1,751	1,753	1,764
SAC 305	28. DPS	1x	1,658	1,733	1,751	1,753	1,760
PF735-PQ10	28. DPS	2x	1,771	1,854	1,872	1,873	1,882
SAC 305	29. DPS	1x	1,632	1,695	1,716	1,717	1,724
PF735-PQ10	29. DPS	2x	1,696	1,753	1,787	1,792	1,797

Na obr. 54 je procentuální změna odporu po 100 cyklech pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po 100 cyklech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



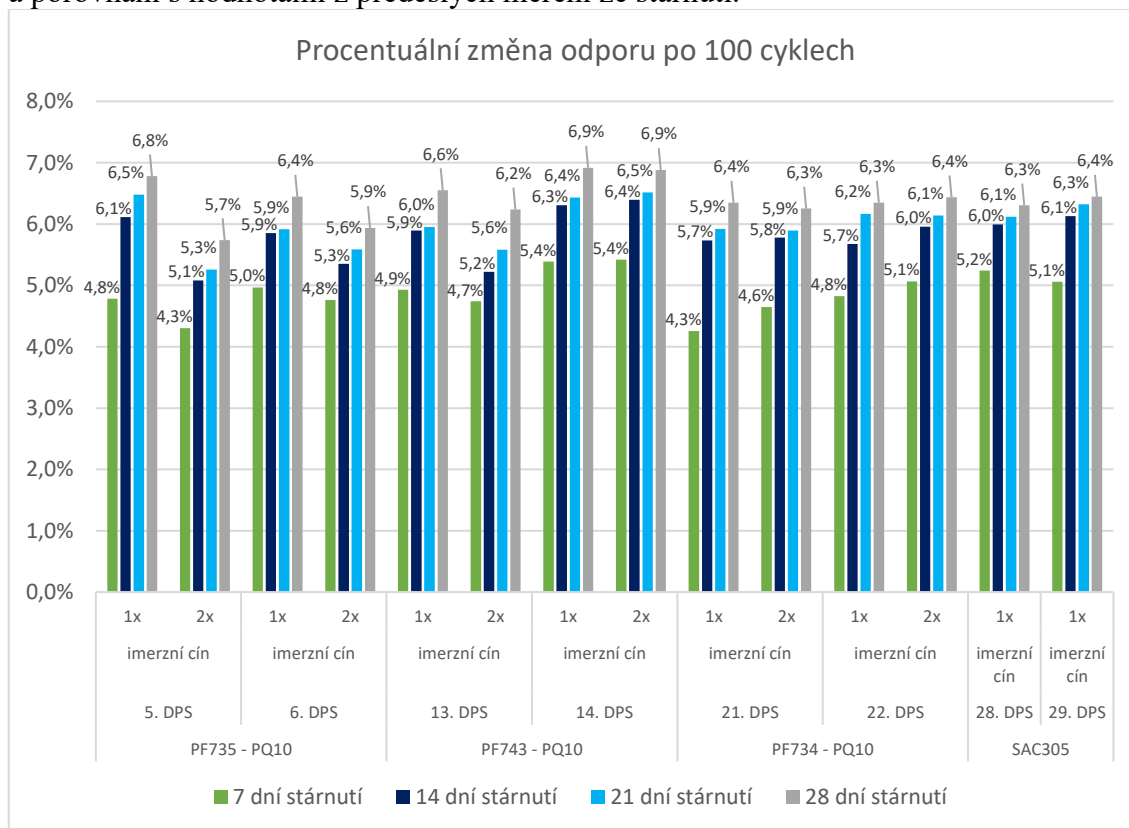
**Obr. 54: Porovnání procentuálních změn odporu po 100 cyklech pro ENIG**

V tabulce 42 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů po 100 cyklech s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 42: Naměřené hodnoty po 100 cyklech pro imerzní cín**

100 cyklů							
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]
PF735-PQ10	5. DPS	1x	1,652	1,731	1,753	1,759	1,764
		2x	1,673	1,745	1,758	1,761	1,769
	6. DPS	1x	1,691	1,775	1,790	1,791	1,800
		2x	1,701	1,782	1,792	1,796	1,802
PF743-PQ10	13. DPS	1x	1,663	1,745	1,761	1,762	1,772
		2x	1,667	1,746	1,754	1,760	1,771
	14. DPS	1x	1,633	1,721	1,736	1,738	1,746
		2x	1,642	1,731	1,747	1,749	1,755
PF734-PQ10	21. DPS	1x	1,622	1,691	1,715	1,718	1,725
		2x	1,679	1,757	1,776	1,778	1,784
	22. DPS	1x	1,638	1,717	1,731	1,739	1,742
		2x	1,678	1,763	1,778	1,781	1,786
SAC305	28. DPS	1x	1,602	1,686	1,698	1,700	1,703
	29. DPS	1x	1,582	1,662	1,679	1,682	1,684

Na obr. 55 je procentuální změna odporu po 100 cyklech pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po 100 cyklech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



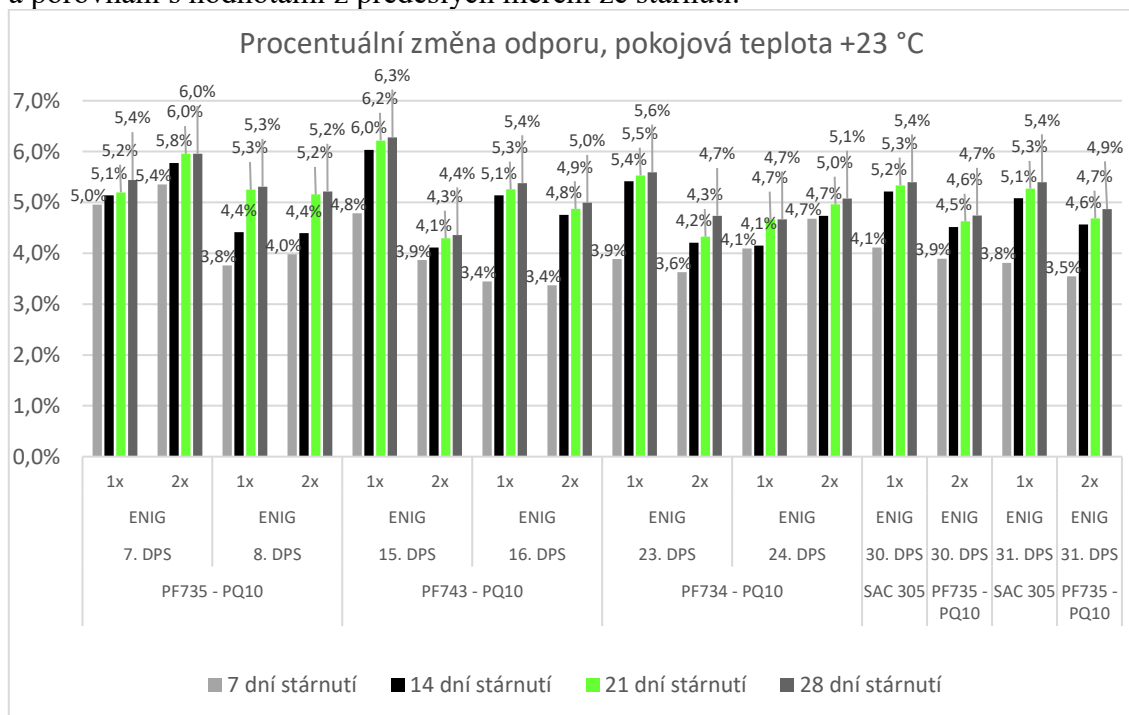
**Obr. 55: Porovnání procentuálních změn odporu po 100 cyklech pro imerzní cín**

V tabulce 43 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů z pokojové teploty s povrchovou úpravou ENIG.

**Tabulka 43: Naměřené hodnoty po 28 dnech z pokojové teploty pro ENIG**

Pokojevá teplota 23 °C							
použitá pasta	označení DPS	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	7. DPS	1x	1,635	1,716	1,719	1,720	1,724
		2x	1,662	1,751	1,758	1,761	1,761
	8. DPS	1x	1,676	1,739	1,750	1,764	1,765
		2x	1,707	1,775	1,782	1,795	1,796
PF743-PQ10	15. DPS	1x	1,608	1,685	1,705	1,708	1,709
		2x	1,630	1,693	1,697	1,700	1,701
	16. DPS	1x	1,654	1,711	1,739	1,741	1,743
		2x	1,662	1,718	1,741	1,743	1,745
PF734-PQ10	23. DPS	1x	1,699	1,765	1,791	1,793	1,794
		2x	1,710	1,772	1,782	1,784	1,791
	24. DPS	1x	1,735	1,806	1,807	1,816	1,816
		2x	1,753	1,835	1,836	1,840	1,842
SAC 305	30. DPS	1x	1,630	1,697	1,715	1,717	1,718
PF735-PQ10	30. DPS	2x	1,772	1,841	1,852	1,854	1,856
SAC 305	31. DPS	1x	1,574	1,634	1,654	1,657	1,659
PF735-PQ10	31. DPS	2x	1,664	1,723	1,740	1,742	1,745

Na obr. 56 je procentuální změna odporu z pokojové teploty pro ENIG. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti osmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



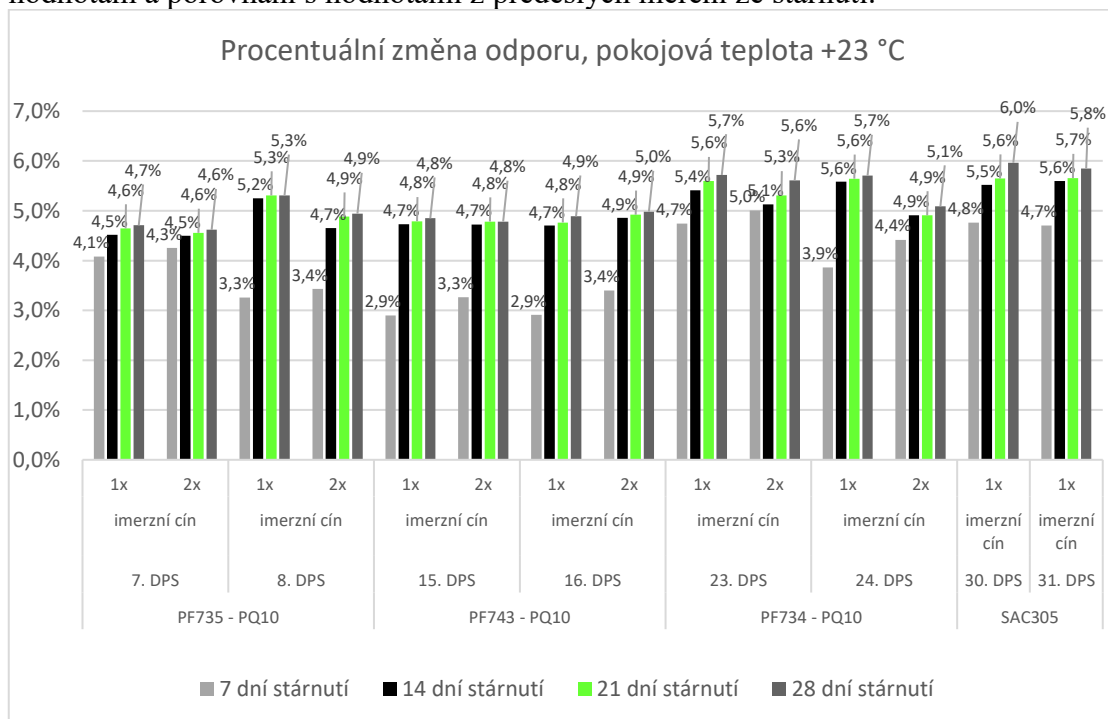
**Obr. 56: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, pokojová teplota pro ENIG**

V tabulce 44 jsou naměřené hodnoty pro desky plošných spojů z pokojové teploty s povrchovou úpravou imerzní cín.

**Tabulka 44: Naměřené hodnoty po 28 dnech z pokojové teploty pro imerzní cín**

Pokojová teplota 23 °C							
použitá pasta	označení DPS	průchod peci	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí
			změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]	změřený odpor [Ω]
PF735-PQ10	7. DPS	1x	1,593	1,658	1,665	1,667	1,668
		2x	1,646	1,716	1,720	1,721	1,722
	8. DPS	1x	1,658	1,712	1,745	1,746	1,746
		2x	1,720	1,779	1,800	1,804	1,805
PF743-PQ10	15. DPS	1x	1,691	1,740	1,771	1,772	1,773
		2x	1,714	1,770	1,795	1,796	1,796
	16. DPS	1x	1,616	1,663	1,692	1,693	1,695
		2x	1,646	1,702	1,726	1,727	1,728
PF734-PQ10	23. DPS	1x	1,644	1,722	1,733	1,736	1,738
		2x	1,657	1,740	1,742	1,745	1,750
	24. DPS	1x	1,630	1,693	1,721	1,722	1,723
		2x	1,630	1,702	1,710	1,710	1,713
SAC305	30. DPS	1x	1,576	1,651	1,663	1,665	1,670
	31. DPS	1x	1,573	1,647	1,661	1,662	1,665

Na obr. 57 je procentuální změna odporu z pokojové teploty pro imerzní cín. Jedná se o změnu naměřeného odporu po dvaceti osmi dnech stárnutí oproti referenčním hodnotám a porovnání s hodnotami z předešlých měření ze stárnutí.



**Obr. 57: Porovnání procentuálních změn odporu po 28 dnech, pokojová teplota pro imerzní cín**

## 5.6 Měření odporu – shrnutí průběhu stárnutí v různých podmínkách

### 5.6.1 Mrazicí box

#### Po 7 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG

- Nejnižší procentuální nárůst 1,5 % deska plošných spojů č. 1, průchod pecí 1x, použita pasta PF735-PQ10. U této pájecí pasty byl upraven teplotní profil, teplota byla o 20 °C větší než pájecí profil doporučený výrobcem.
- Nejvyšší procentuální nárůst 8,1 % deska plošných spojů č. 25, průchod pecí 2x, použita pasta PF735-PQ10. První průchod nastaven podle výrobce, špatné zapájení, druhý průchod podle výrobce pasty pro SAC305.
- Průměrné navýšení 4,5 %.

#### Po 7 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín

- Nejnižší procentuální nárůst 4,6 % deska plošných spojů č. 10, průchod pecí 1x, použita pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 8,8 % deska plošných spojů č. 1, průchod pecí 1x, použita pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 5,8 %.

#### Po 14 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG

- Nejnižší procentuální nárůst 4,7 % deska plošných spojů č. 1, průchod pecí 1x, použita pasta PF735-PQ10. U této pájecí pasty byl upraven teplotní profil, teplota byla o 20 °C větší než pájecí profil doporučený výrobcem.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,0 % deska plošných spojů č. 25, průchod pecí 2x, použita pasta PF735-PQ10. První průchod nastaven podle výrobce, špatné zapájení, druhý průchod podle výrobce pasty pro SAC305.
- Průměrné navýšení 5,4 %.

#### Po 14 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín

- Nejnižší procentuální nárůst 4,7 % deska plošných spojů č. 10, průchod pecí 2x, použita pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,3 % deska plošných spojů č. 1, průchod pecí 1x, použita pájecí pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 6,0 %.

#### Po 21 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG

- Nejnižší procentuální nárůst 5,1 % deska plošných spojů č. 1, průchod pecí 1x, použita pasta PF735-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,1 % deska plošných spojů č. 25, průchod pecí 2x, použita pasta PF735-PQ10. První průchod nastaven podle výrobce, špatné zapájení, druhý průchod podle výrobce pasty pro SAC305.
- Průměrné navýšení 5,6 %.

**Po 21 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 5,0 % deska plošných spojů č. 11, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,4 % deska plošných spojů č. 1, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 6,2 %.

**Po 28 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 5,1 % deska plošných spojů č. 1, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,2 % deska plošných spojů č. 25, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10. První průchod nastaven podle výrobce, špatné zapájení, druhý průchod podle výrobce pasty pro SAC305.
- Průměrné navýšení 5,7 %.

**Po 28 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 5,0 % deska plošných spojů č. 11, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,4 % deska plošných spojů č. 1, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 6,2 %.

## 5.6.2 Izotermální stárnutí

**Po 7 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 2,1 % deska plošných spojů č. 9, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 7,3 % deska plošných spojů č. 4, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 4,8 %.

**Po 7 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 3,9 % deska plošných spojů č. 27, průchod pecí 1x, použitá pasta SAC305.
- Nejvyšší procentuální nárůst 5,7 % deska plošných spojů č. 3, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 5,2 %.

**Po 14 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 4,7 % deska plošných spojů č. 12, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,4 % deska plošných spojů č. 26, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10. První průchod nastaven podle výrobce, špatné zapájení, druhý průchod podle výrobce pasty pro SAC305.
- Průměrné navýšení 6,0 %.

**Po 14 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 4,6 % deska plošných spojů č. 9, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 6,3 % deska plošných spojů č. 3, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 5,7 %.

**Po 21 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 2,9 % deska plošných spojů č. 9, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,5 % deska plošných spojů č. 26, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10. První průchod nastaven podle výrobce, špatné zapájení, druhý průchod podle výrobce pasty pro SAC305.
- Průměrné navýšení 6,3 %.

**Po 21 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 4,9 % deska plošných spojů č. 9, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 6,5 % deska plošných spojů č. 17, průchod pecí 1x, použitá pasta PF734-PQ10.
- Průměrné navýšení 5,9 %.

**Po 28 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 2,9 % deska plošných spojů č. 9, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,6 % deska plošných spojů č. 26, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10. První průchod nastaven podle výrobce, špatné zapájení, druhý průchod podle výrobce pasty pro SAC305.
- Průměrné navýšení 6,4 %.

**Po 28 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 5,0 % deska plošných spojů č. 9, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 7,1 % deska plošných spojů č. 3, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 6,0 %.

### 5.6.3 Cyklické stárnutí

#### Po 23 cyklech stárnutí povrchová úprava ENIG

- Nejnižší procentuální nárůst 3,4 % deska plošných spojů č. 29, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10. První průchod nastaven podle výrobce, špatné zapájení, druhý průchod podle výrobce pasty pro SAC305.
- Nejvyšší procentuální nárůst 8,3 % deska plošných spojů č. 5, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 4,9 %.

#### Po 23 cyklech stárnutí povrchová úprava imerzní cín

- Nejnižší procentuální nárůst 4,3 % deska plošných spojů č. 21, průchod pecí 1x, použitá pasta PF734-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 5,4 % deska plošných spojů č. 14, průchod pecí 1x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Průměrné navýšení 4,9 %.

#### Po 46 cyklech stárnutí povrchová úprava ENIG

- Nejnižší procentuální nárůst 4,7 % deska plošných spojů č. 13, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 8,9 % deska plošných spojů č. 5, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 6,1 %.

#### Po 46 cyklech stárnutí povrchová úprava imerzní cín

- Nejnižší procentuální nárůst 5,1 % deska plošných spojů č. 5, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 6,4 % deska plošných spojů č. 14, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Průměrné navýšení 5,8 %.

#### Po 69 cyklech stárnutí povrchová úprava ENIG

- Nejnižší procentuální nárůst 5,1 % deska plošných spojů č. 13, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,0 % deska plošných spojů č. 5, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 6,3 %.

**Po 69 cyklech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 5,3 % deska plošných spojů č. 5, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 6,5 % deska plošných spojů č. 14, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Průměrné navýšení 6,0 %.

**Po 100 cyklech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 5,1 % deska plošných spojů č. 13, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 9,7 % deska plošných spojů č. 5, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 6,7 %.

**Po 100 cyklech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 5,7 % deska plošných spojů č. 5, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 6,9 % deska plošných spojů č. 14, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Průměrné navýšení 6,4 %.

## 5.6.4 Pokojová teplota

**Po 7 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 3,4 % deska plošných spojů č. 16, průchod pecí 1x, použitá pasta PF743-PQ10
- Nejvyšší procentuální nárůst 5,4 % deska plošných spojů č. 7, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Průměrné navýšení 4,1 %.

**Po 7 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 2,9 % deska plošných spojů č. 15, průchod pecí 1x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 5,0 % deska plošných spojů č. 23, průchod pecí 2x, použitá pasta PF734-PQ10.
- Průměrné navýšení 3,9 %.

**Po 14 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 4,1 % deska plošných spojů č. 24, průchod pecí 1x, použitá pasta PF734-PQ10
- Nejvyšší procentuální nárůst 6,0 % deska plošných spojů č. 15, průchod pecí 1x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Průměrné navýšení 4,9 %.

**Po 14 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 4,5 % deska plošných spojů č. 7, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 5,6 % deska plošných spojů č. 24, průchod pecí 1x, použitá pasta PF734-PQ10.
- Průměrné navýšení 5,0 %.

**Po 21 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 4,3 % deska plošných spojů č. 15, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 6,2 % deska plošných spojů č. 15, průchod pecí 1x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Průměrné navýšení 5,1 %.

**Po 21 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 4,6 % deska plošných spojů č. 7, průchod pecí 1x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 5,7 % deska plošných spojů č. 31, průchod pecí 1x, použitá pasta SAC305.
- Průměrné navýšení 5,1 %.

**Po 28 dnech stárnutí povrchová úprava ENIG**

- Nejnižší procentuální nárůst 4,4 % deska plošných spojů č. 15, průchod pecí 2x, použitá pasta PF743-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 6,3 % deska plošných spojů č. 15, průchod pecí 1x, použitá pasta PF743-PQ10
- Průměrné navýšení 5,2 %.

**Po 28 dnech stárnutí povrchová úprava imerzní cín**

- Nejnižší procentuální nárůst 4,6 % deska plošných spojů č. 7, průchod pecí 2x, použitá pasta PF735-PQ10.
- Nejvyšší procentuální nárůst 6,0 % deska plošných spojů č. 30, průchod pecí 1x, použitá pasta SAC305
- Průměrné navýšení 5,2 %.

## 5.6.5 Pájecí pasta PF735-PQ10

V tabulce 45 jsou průměrné naměřené hodnoty odporu pro pastu PF735-PQ10. Procentuální navýšení oproti referenční hodnotě je v posledním sloupci.

**Tabulka 45: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro PF735-PQ10**

stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
Mrazicí box	ENIG	1x	1,719	1,774	1,805	1,809	1,810	5,30
		2x	1,721	1,794	1,813	1,816	1,816	5,52
	imerzní cín	1x	1,57	1,674	1,68	1,685	1,686	7,39
		2x	1,645	1,755	1,762	1,764	1,765	7,26
izotermální stárnutí	ENIG	1x	1,663	1,756	1,772	1,781	1,782	7,19
		2x	1,71	1,808	1,834	1,847	1,849	8,10
	imerzní cín	1x	1,667	1,759	1,769	1,772	1,778	6,66
		2x	1,744	1,832	1,834	1,835	1,836	5,31
pokojová teplota	ENIG	1x	1,656	1,728	1,735	1,742	1,745	5,38
		2x	1,685	1,763	1,77	1,778	1,779	5,58
	imerzní cín	1x	1,626	1,685	1,705	1,707	1,707	5,01
		2x	1,683	1,748	1,76	1,763	1,764	4,78
stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	23 cyklů	46 cyklů	69 cyklů	100 cyklů	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
cyklování	ENIG	1x	1,671	1,781	1,792	1,794	1,806	8,05
		2x	1,719	1,815	1,822	1,823	1,831	6,52
	imerzní cín	1x	1,672	1,753	1,772	1,775	1,782	6,61
		2x	1,687	1,764	1,775	1,779	1,786	5,84

Nejnižší procentuální nárůst odporu byl 5,01 %. Stárnutí probíhalo při pokojové teplotě, povrchová úprava imerzní cín, průchod pecí 1x.

Nejvyšší procentuální nárůst odporu byl 8,10 %. Jednalo se o izotermální stárnutí, povrchová úprava ENIG, průchod pecí 2x.

Průměrné procentuální navýšení 6,28 %.

## 5.6.6 Pájecí pasta PF743-PQ10

V tabulce 46 jsou průměrné naměřené hodnoty odporu pro pastu PF743-PQ10. Procentuální navýšení oproti referenční hodnotě je v posledním sloupci.

**Tabulka 46: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro PF743-PQ10**

stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
Mrazicí box	ENIG	1x	1,628	1,7085	1,7105	1,7135	1,7145	5,31
		2x	1,668	1,749	1,752	1,755	1,757	5,31
	imerzní cín	1x	1,706	1,785	1,792	1,794	1,795	5,22
		2x	1,731	1,814	1,815	1,819	1,819	5,09
izotermální stárnutí	ENIG	1x	1,641	1,72	1,748	1,752	1,753	6,83
		2x	1,705	1,743	1,768	1,771	1,772	3,93
	imerzní cín	1x	1,678	1,764	1,781	1,783	1,783	6,29
		2x	1,698	1,78	1,784	1,788	1,79	5,39
pokojová teplota	ENIG	1x	1,631	1,698	1,722	1,725	1,726	5,82
		2x	1,646	1,706	1,719	1,722	1,723	4,68
	imerzní cín	1x	1,654	1,702	1,732	1,733	1,734	4,87
		2x	1,68	1,736	1,761	1,762	1,762	4,88
stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	23 cyklů	46 cyklů	69 cyklů	100 cyklů	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
cyklování	ENIG	1x	1,635	1,712	1,758	1,763	1,766	8,01
		2x	1,668	1,743	1,75	1,757	1,758	5,37
	imerzní cín	1x	1,648	1,733	1,749	1,75	1,759	6,74
		2x	1,655	1,739	1,751	1,755	1,763	6,56

Nejnižší procentuální nárůst odporu byl 3,93 %. Stárnutí probíhalo v izotermálním boxu, povrchová úprava ENIG, průchod pecí 2x.

Nejvyšší procentuální nárůst odporu byl 8,01 %. Jednalo se o cyklické stárnutí, povrchová úprava ENIG, průchod pecí 1x.

Průměrné procentuální navýšení 5,64 %.

## 5.6.7 Pájecí pasta PF734-PQ10

V tabulce 47 jsou průměrné naměřené hodnoty odporu pro pastu PF734-PQ10. Procentuální navýšení oproti referenční hodnotě je v posledním sloupci.

**Tabulka 47: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro PF734-PQ10**

stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
Mrazicí box	ENIG	1x	1,681	1,7415	1,768	1,7765	1,778	5,77
		2x	1,695	1,768	1,784	1,786	1,788	5,46
	imerzní cín	1x	1,599	1,681	1,682	1,684	1,685	5,41
		2x	1,603	1,687	1,688	1,689	1,69	5,46
izotermální stárnutí	ENIG	1x	1,705	1,786	1,805	1,809	1,81	6,13
		2x	1,715	1,8	1,813	1,818	1,82	6,12
	imerzní cín	1x	1,632	1,722	1,731	1,736	1,736	6,37
		2x	1,652	1,74	1,752	1,754	1,755	6,27
pokojová teplota	ENIG	1x	1,717	1,786	1,799	1,805	1,805	5,13
		2x	1,732	1,804	1,809	1,812	1,817	4,91
	imerzní cín	1x	1,637	1,708	1,727	1,729	1,731	5,71
		2x	1,644	1,721	1,726	1,728	1,732	5,35
stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	23 cyklů	46 cyklů	69 cyklů	100 cyklů	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
cyklování	ENIG	1x	1,704	1,79	1,821	1,824	1,828	7,28
		2x	1,72	1,801	1,81	1,812	1,821	5,90
	imerzní cín	1x	1,63	1,704	1,723	1,729	1,734	6,35
		2x	1,679	1,76	1,777	1,78	1,785	6,34

Nejnižší procentuální nárůst odporu byl 4,91 %. Stárnutí probíhalo při pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG, průchod pecí 2x.

Nejvyšší procentuální nárůst odporu byl 7,28 %. Jednalo se o cyklické stárnutí, povrchová úprava ENIG, průchod pecí 1x.

Průměrné procentuální navýšení 5,87 %.

## 5.6.8 Pájecí pasta SAC305

V tabulce 48 jsou průměrné naměřené hodnoty odporu pro pastu SAC305. Procentuální navýšení oproti referenční hodnotě je v posledním sloupci.

**Tabulka 48: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro SAC305**

stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
Mrazicí box	ENIG	1x	1,605	1,681	1,685	1,687	1,688	5,17
	imerzní cín	1x	1,525	1,657	1,667	1,668	1,669	9,44
izotermální stárnutí	ENIG	1x	1,69	1,773	1,777	1,781	1,784	5,56
	imerzní cín	1x	1,571	1,645	1,655	1,659	1,659	5,60
pokojová teplota	ENIG	1x	1,602	1,666	1,685	1,687	1,689	5,40
	imerzní cín	1x	1,575	1,649	1,662	1,664	1,668	5,91
stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	23 cyklů	46 cyklů	69 cyklů	100 cyklů	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
cyklování	ENIG	1x	1,645	1,714	1,734	1,735	1,742	5,90
	imerzní cín	1x	1,592	1,674	1,689	1,691	1,694	6,38

Nejnižší procentuální nárůst odporu byl 5,40 %. Stárnutí probíhalo při pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG, průchod pecí 1x.

Nejvyšší procentuální nárůst odporu byl 9,44 %. Stárnutí probíhalo v mrazicím boxu, povrchová úprava imerzní cín, průchod pecí 1x.

Průměrné procentuální navýšení 6,17 %.

## 5.6.9 Pájecí pasta PF735-PQ10 pájená se SAC305

V tabulce 49 jsou průměrné naměřené hodnoty odporu pro pastu PF735-PQ10 pájená se SAC305. Procentuální navýšení oproti referenční hodnotě je v posledním sloupci.

**Tabulka 49: Průměrné naměřené hodnoty odporu pro PF735-PQ10 pájená se SAC305.**

stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	7 dní stárnutí	14 dní stárnutí	21 dní stárnutí	28 dní stárnutí	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
Mrazicí box	ENIG	2x	1,629	1,761	1,776	1,777	1,779	9,21
izotermální stárnutí	ENIG	2x	1,788	1,88	1,915	1,916	1,918	7,27
pokojeová teplota	ENIG	2x	1,718	1,782	1,796	1,798	1,801	4,80
stárnutí	povrchová úprava	průchod pecí	referenční hodnoty	23 cyklů	46 cyklů	69 cyklů	100 cyklů	$\Delta R$ [%]
			změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	změřený odpor [ $\Omega$ ]	
cyklování	ENIG	2x	1,734	1,804	1,83	1,833	1,84	6,11

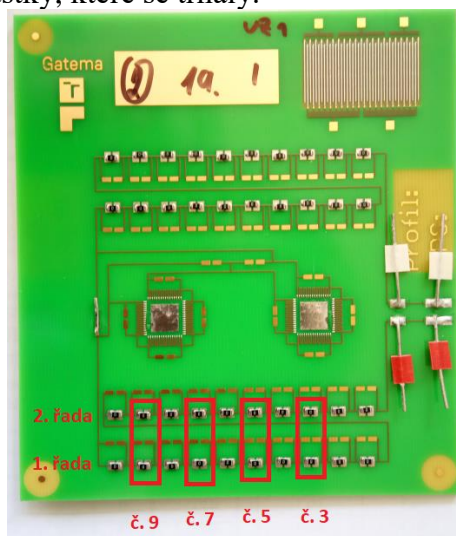
Nejnižší procentuální nárůst odporu byl 4,8 %. Stárnutí probíhalo při pokojové teplotě, povrchová úprava ENIG, průchod pecí 2x.

Nejvyšší procentuální nárůst odporu byl 9,21 %. Stárnutí probíhalo v mrazicím boxu, povrchová úprava ENIG, průchod pecí 2x.

Průměrné procentuální navýšení 6,17 %.

## 6. MECHANICKÁ ZKOUŠKA A MIKROVÝBRUS

Jelikož se jedná o destruktivní zkoušky, měřilo se až po 28 dnech stárnutí. Pro měření byly vybrány desky plošných spojů, které měly nejvyšší procentuální změny. Nejvyšší procentuální změny měly převážně desky plošných spojů, které prošly 1x pájecím procesem. Proto k trhání byla vybrána tato strana. Trhalo se celkem 8 součástek. Trhala se součástka 3, 5, 7, 9 z první a druhé řady. Zbytek součástek se netrhala. Díky tomuto řešení se dá jedna strana desek plošných spojů použít pro další testy v budoucnu. Na obr. 58 jsou znázorněny součástky, které se trhaly.



Obr. 58: Trhané součástky

Pro tuto zkoušku bylo vybráno osm desek plošných spojů pro každou pájecí pastu. Čtyři s povrchovou úpravou ENIG a čtyři s povrchovou úpravou imerzní cín. Naměřené hodnoty byly průměrovány ze všech utržených součástek z dané řady.

Trhací hrot byl od desky plošných spojů vzdálený 0,1 mm, rychlost posunu hrotu 0,4 mm/s. Na obr. 59 je znázorněno, jak byla deska uchycena v trhacím zařízení, vlevo a uprostřed. Měření se provádělo na digitálním siloměru Mark10 M5-100, který je na obr. 59 vpravo.

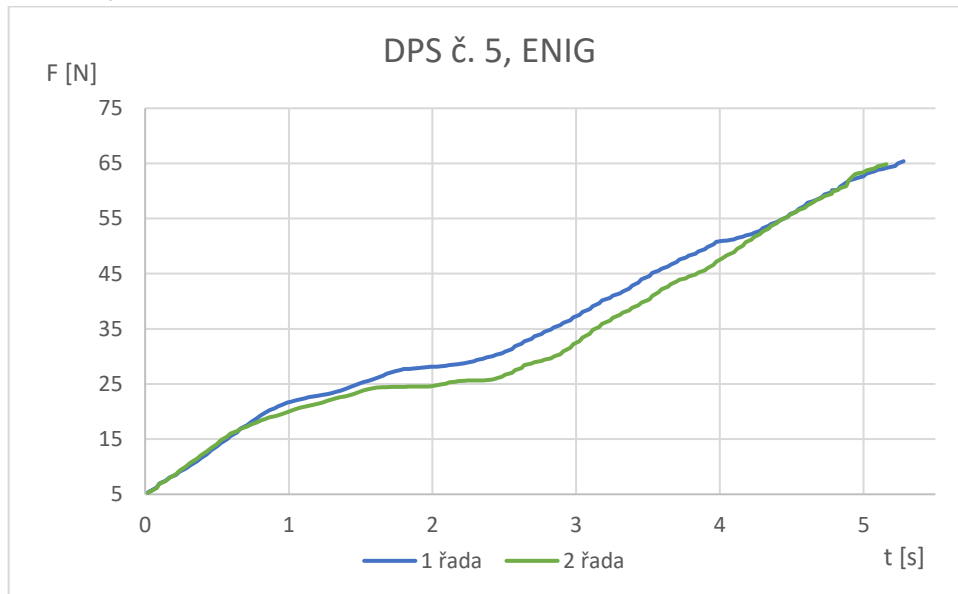


Obr. 59: Uchycení desky plošných spojů při trhání

## 6.1 Mechanická zkouška stříhem

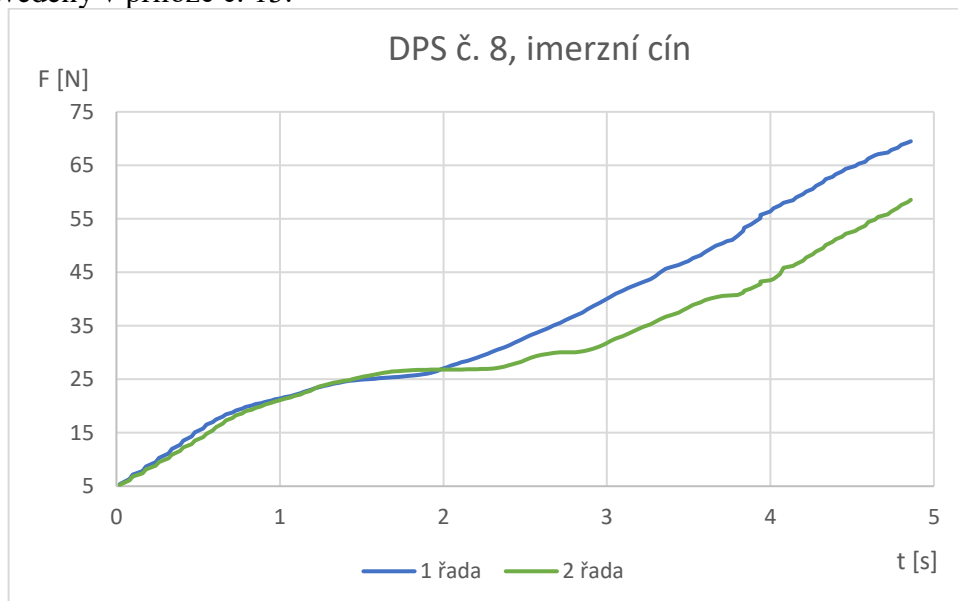
### PF735-PQ10 mechanická zkouška stříhem

Výběr desek plošných spojů č. 2 (mrazící box), č. 4 (izotermický box), č. 5 (cyklování), č. 8 (pokojová teplota) s ENIG. S imerzním cínem tyto desky plošných spojů č. 1 (mrazící box), č. 3 (izotermický box), č. 5 (cyklování), č. 8 (pokojová teplota). Na obr. 60 je vybrán průběh nárůstu síly při trhání pro povrchovou úpravu ENIG. Průběh vychází z průměru naměřených hodnot pro danou řadu. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 12.



Obr. 60: DPS č. 5, ENIG

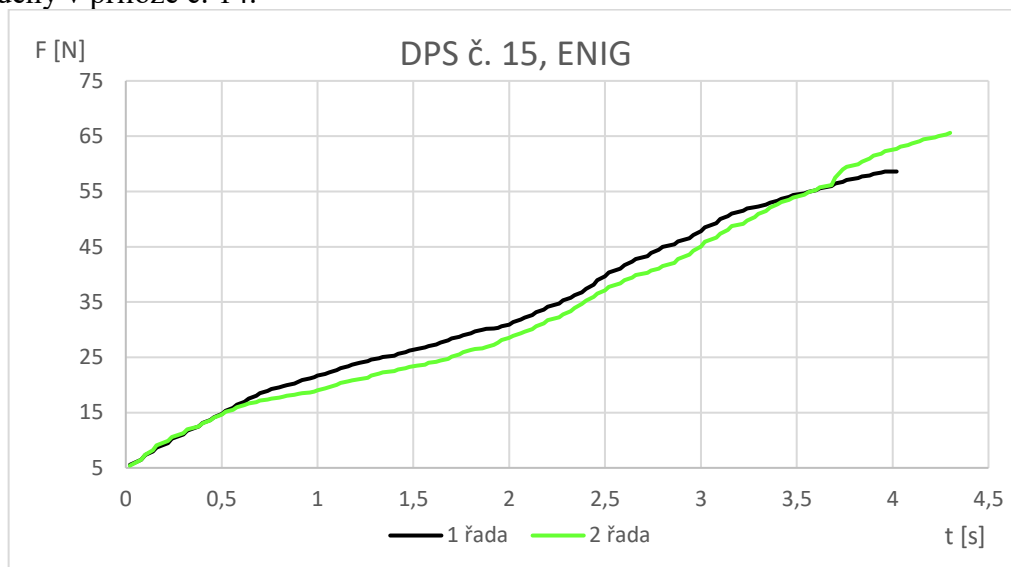
Na obr. 61 je vybrán průběh nárůstu síly při trhání pro povrchovou úpravu imerzní cín. Průběh vychází z průměru naměřených hodnot pro danou řadu. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 13.



Obr. 61: DPS č. 8, imerzní cín

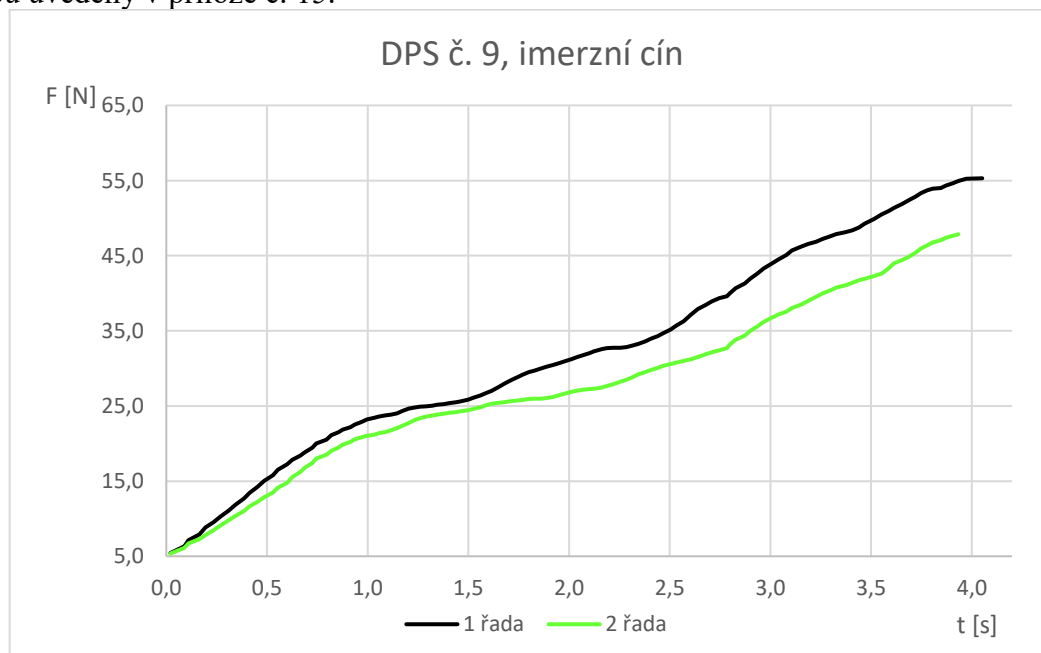
### PF743-PQ10 mechanická zkouška stříhem

Výběr desek plošných spojů č. 10 (mrazící box), č. 12 (izotermický box), č. 13 (cyklování), č. 15 (pokojová teplota) s ENIG. S imerzním cínem tyto desky plošných spojů č. 9 (izotermický box), č. 10 (mrazící box), č. 13 (cyklování), č. 16 (pokojová teplota). Na obr. 62 je vybrán průběh nárůstu síly při trhání pro povrchovou úpravu ENIG. Průběh vychází z průměru naměřených hodnot pro danou řadu. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 14.



Obr. 62: DPS č. 15, ENIG

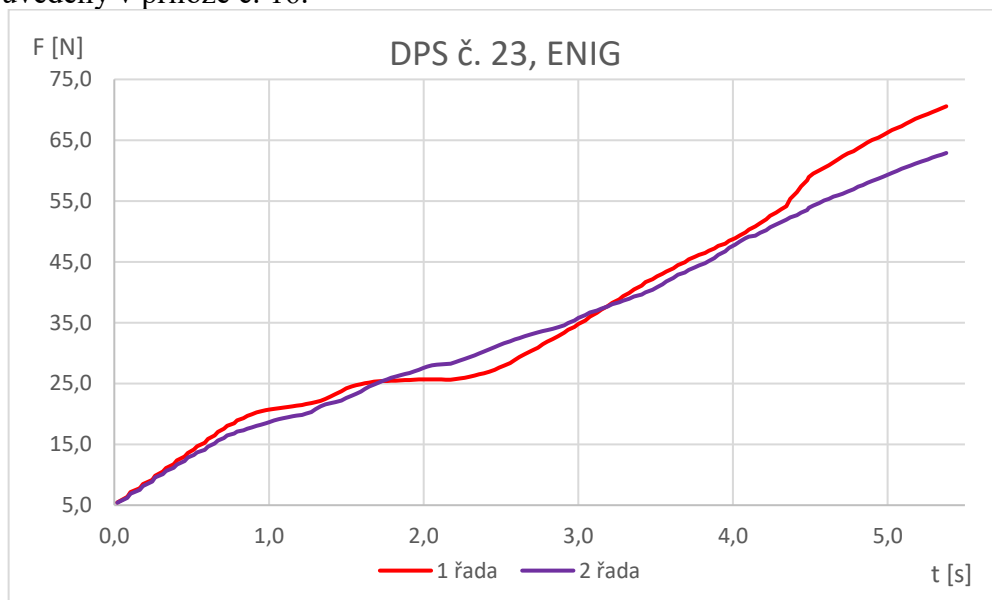
Na obr. 63 je vybrán průběh nárůstu síly při trhání pro povrchovou úpravu imerzní cín. Průběh vychází z průměru naměřených hodnot pro danou řadu. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 15.



Obr. 63: DPS č. 9, imerzní cín

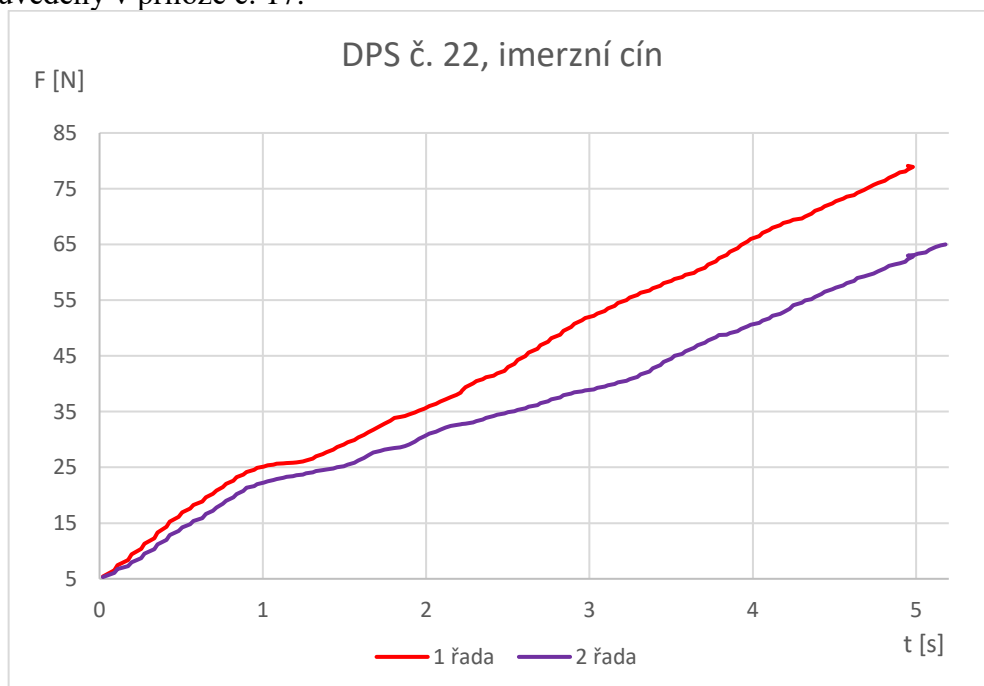
### PF734-PQ10 mechanická zkouška stříhem

Výběr desek plošných spojů č. 17 (izotermický box), č. 19 (mrazící box), č. 22 (cyklování), č. 23 (pokojová teplota) s ENIG. S imerzním cínem tyto desky plošných spojů č. 17 (izotermický box), č. 19 (mrazící box), č. 22 (cyklování), č. 8 (pokojová teplota). Na obr. 64 je vybrán průběh nárůstu síly při trhání pro povrchovou úpravu ENIG. Průběh vychází z průměru naměřených hodnot pro danou řadu. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 16.



Obr. 64: DPS č. 23, ENIG

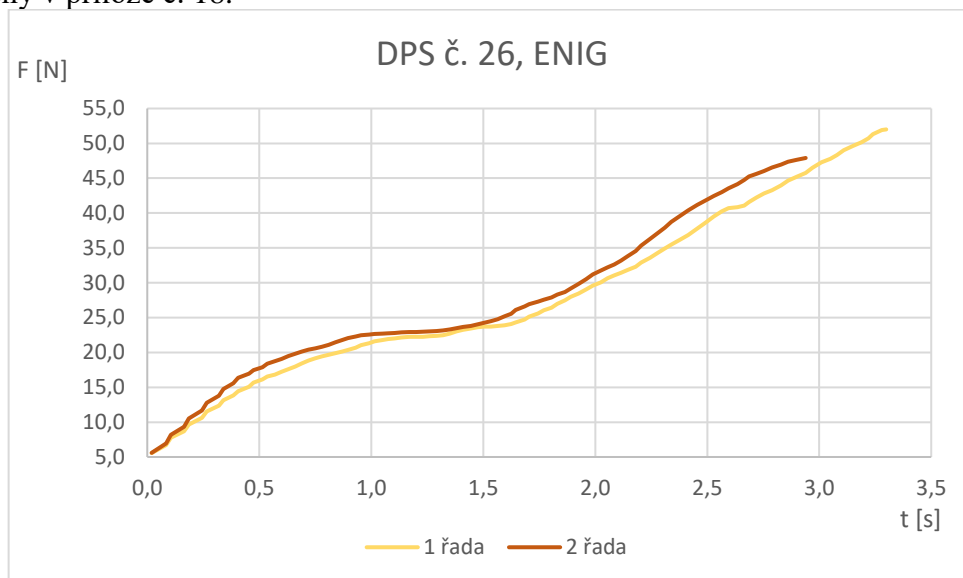
Na obr. 65 je vybrán průběh nárůstu síly při trhání pro povrchovou úpravu imerzní cín. Průběh vychází z průměru naměřených hodnot pro danou řadu. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 17.



Obr. 65: DPS č. 22, imerzní cín

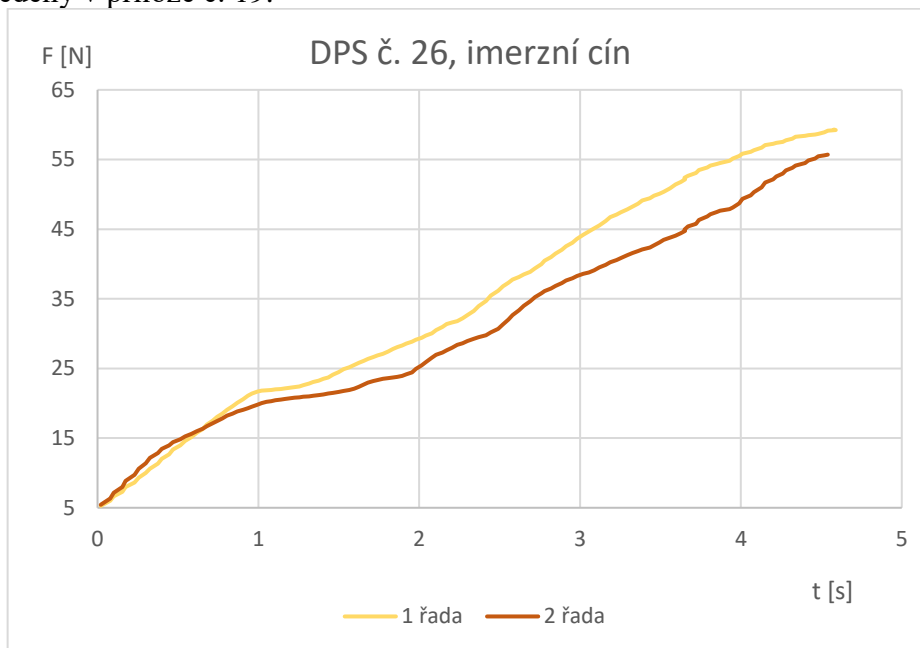
### SAC305 mechanická zkouška stříhem

Výběr desek plošných spojů č. 25 (mrazící box), č. 26 (izotermický box), č. 28 (cyklování), č. 31 (pokojová teplota) s ENIG. S imerzním cínem tyto desky plošných spojů č. 25 (mrazící box), č. 26 (izotermický box), č. 29 (cyklování), č. 31 (pokojová teplota). Na obr. 66 je vybrán průběh nárůstu síly při trhání pro povrchovou úpravu ENIG. Průběh vychází z průměru naměřených hodnot pro danou řadu. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 18.



Obr. 66: DPS č. 26, ENIG

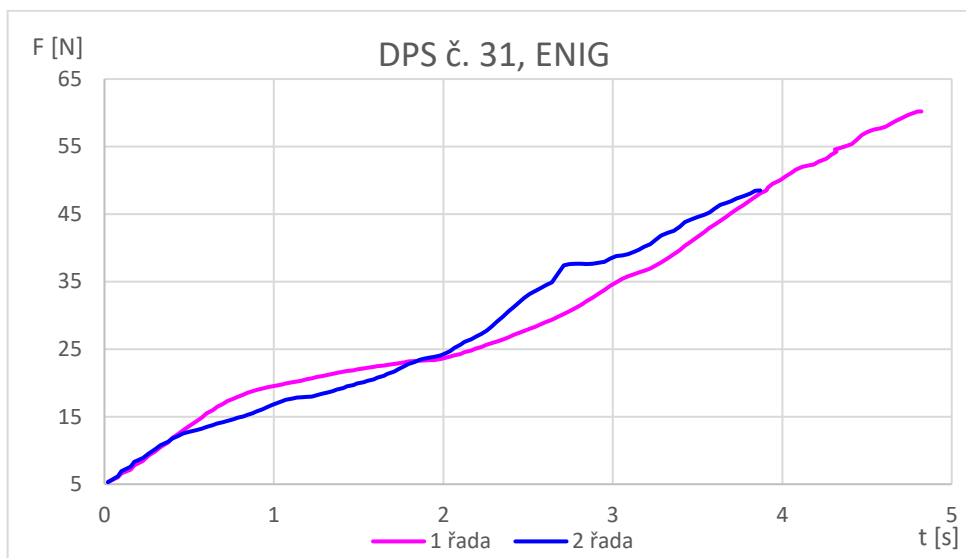
Na obr. 67 je vybrán průběh nárůstu síly při trhání pro povrchovou úpravu imerzní cín. Průběh vychází z průměru naměřených hodnot pro danou řadu. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 19.



Obr. 67: DPS č. 26, imerzní cín

### PF735-PQ10 se SAC305 mechanická zkouška stříhem

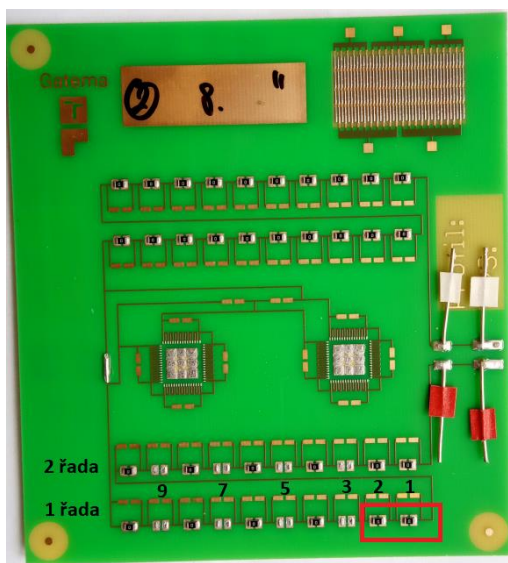
Výběr desek plošných spojů č. 25 (mrazící box), č. 26 (izotermický box), č. 28 (cyklování), č. 31 (pokojová teplota) s ENIG. Na obr. 68 je vybrán průběh nárůstu síly při trhání pro povrchovou úpravu ENIG. Průběh vychází z průměru naměřených hodnot pro danou řadu. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v příloze č. 20.



Obr. 68: DPS č. 31, ENIG

## 6.2 Mikrovýbrus

Mikrovýbrus je destruktivnější zkouška než mechanická zkouška stříhem. Proto se testovalo až po této zkoušce. Celkem byly testovány tři desky plošných spojů. Dvě stárnuly při cyklování a jedna stárnula v pokojové teplotě. Na obr. 69 jsou znázorněny součástky, kde se prováděl mikrovýbrus. Ten se dělal u součástek 1 a 2. Součástky byly vybrány účelně, aby se při řezání desky plošných spojů dala použít zbylá část pro další testy.



Obr. 69: Znázornění, kde se prováděl mikrovýbrus

Pro zhotovení mikrovýbrusu byly vybrány desky plošných spojů s povrchovou úpravou ENIG. DPS č. 5 (cyklování, PF735-PQ10), DPS č. 15 (pokojová teplota, PF743-PQ10) a DPS č. 28 (cyklování, SAC305 a PF735-PQ10).

K zalévání byla použita pryskyřice pro zalévání za studena KEM 35. Vlastnosti hmoty jsou: minimální tvorba mezer, hranová přesnost. Použitelná pro středně tvrdé až velmi tvrdé materiály. Jako základ se používá metylmetakrylát, plnivo keramika. Úběr broušením velmi nízký. Světle zelená barva, poloprůhledná, nízká smrštivost. Doba tuhnutí cca 12 min. Dvousložkový systém, prášek + tvrdidlo (1,5:1 objemové %). [13]

Na obr. 70 jsou zobrazeny vzorky pro broušení, které jsou zality v KEM 35.



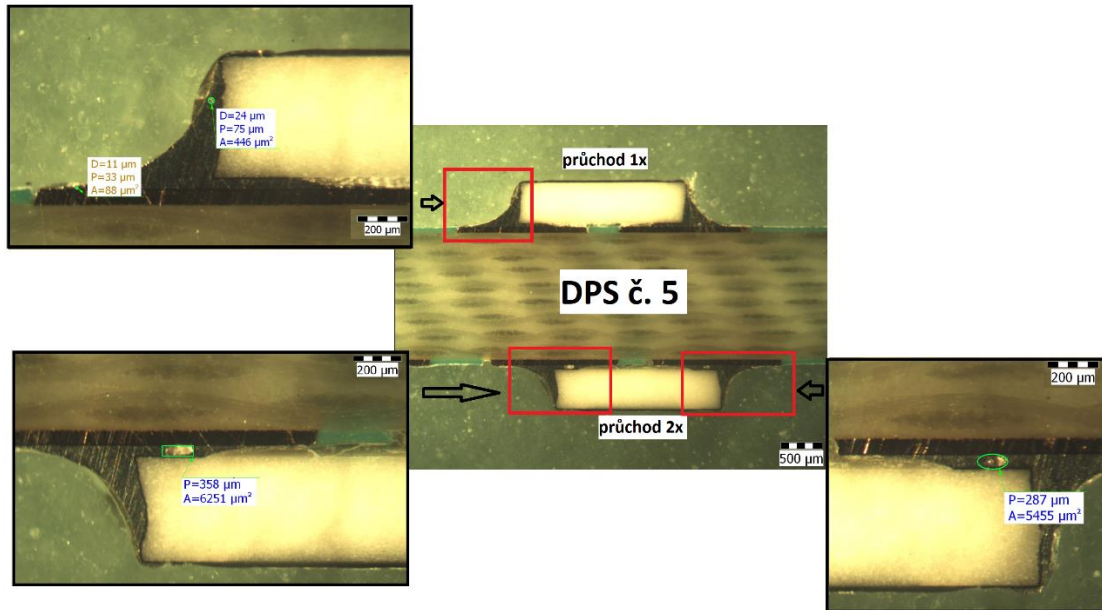
**Obr. 70: Vzorky po zalití a ztuhnutí**

Dále se pokračovalo na automatické dvoukotoučové brusce SAPHIR 530. Na obr. 71 je SAPHIR 530. Použité brusné papíry měly zrnitost 180, 320, 600 a 1200.



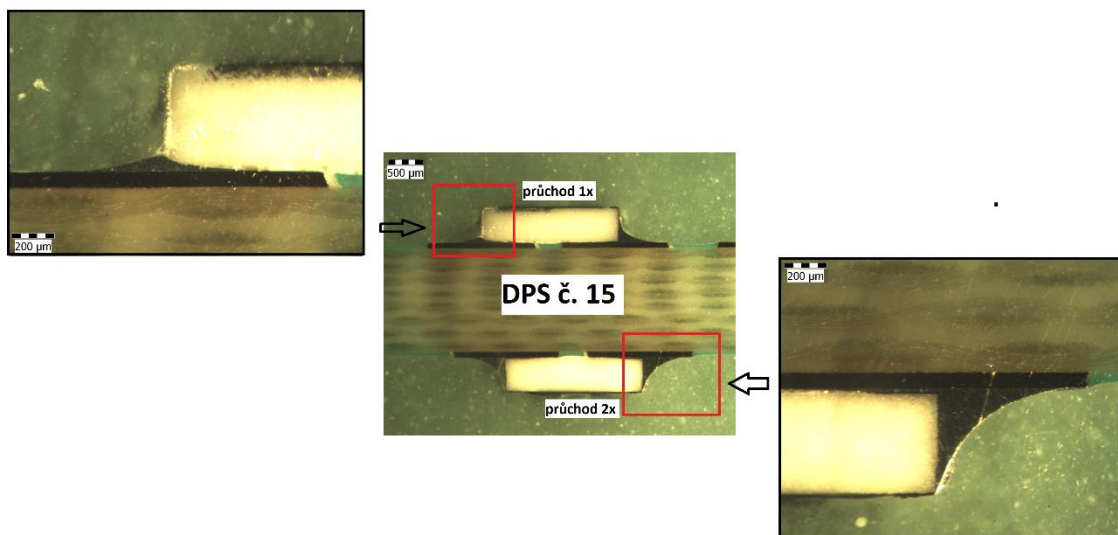
**Obr. 71: SAPHIR 530**

Na obr. 72 jsou zobrazeny voidy, které byly pozorovány binokulárním mikroskopem Olympus SZ41 se zvětšením 6,7x až 90x na DPS č. 5.



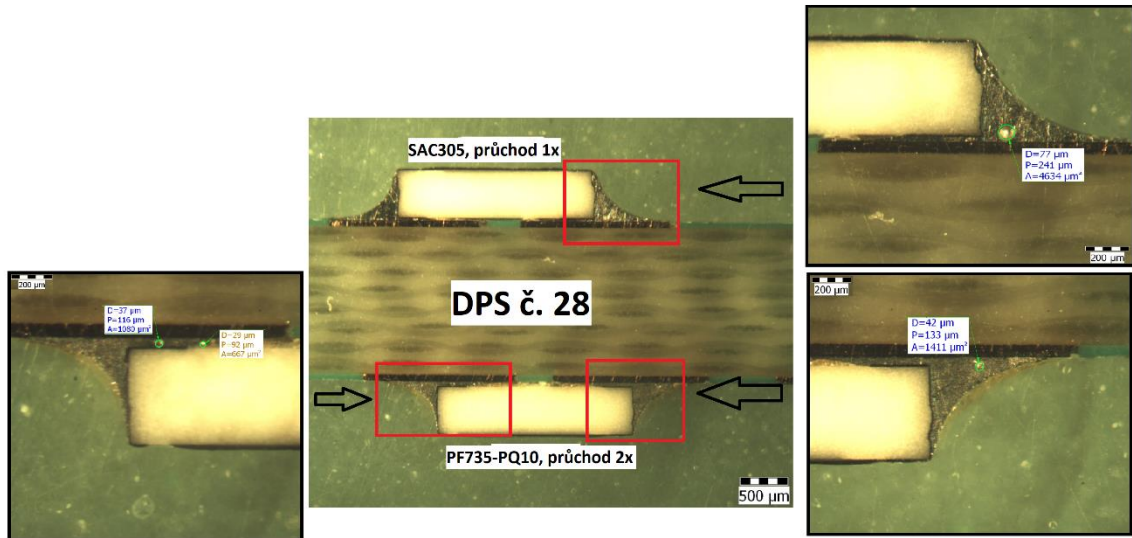
**Obr. 72: DPS č. 5 binokulární mikroskop**

Na obr. 73 je zobrazen mikrovýbrus DPS č. 15 z binokulárního mikroskopu Olympus SZ41 se zvětšením 6,7x až 90x. V pájeném spoji se nevyskytovaly žádné vady. Jen v průchodu 1x je viditelné menší smáčení součástky, způsobené pootočením součástky. Při bližším zkoumání, byl pájený spoj, který smáčel celou součástku posunut dál.



**Obr. 73: DPS č. 15 binokulární mikroskop**

Poslední třetí mikrovýbrus je na obr. 74. Zde jsou označeny voidy, které se nacházely v pájeném spoji.



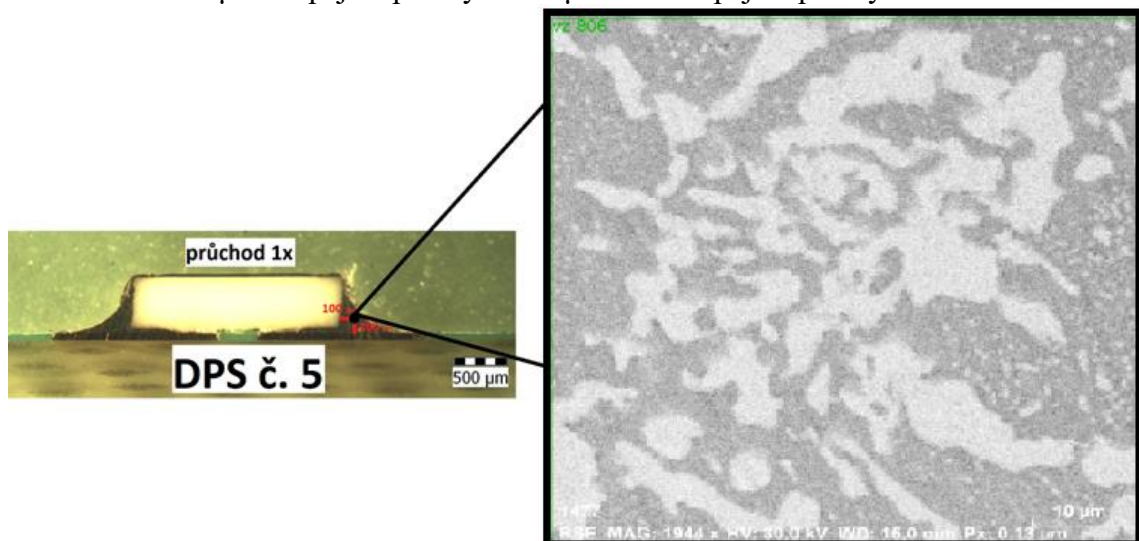
Obr. 74: DPS č. 28 binokulární mikroskop

### Rastrovací elektronový mikroskop

Pro pozorování rastrovacím elektronovým mikroskopem, byly vybrány DPS č. 5 a DPS č. 15. U DPS č. 5 byla použita pasta PF735-PQ10 a u DPS č. 15 PF743-PQ10 pro oba průchody. Na rastrovacím elektronovém mikroskopu se zkoumal pájený spoj, která byl u součástky č. 2.

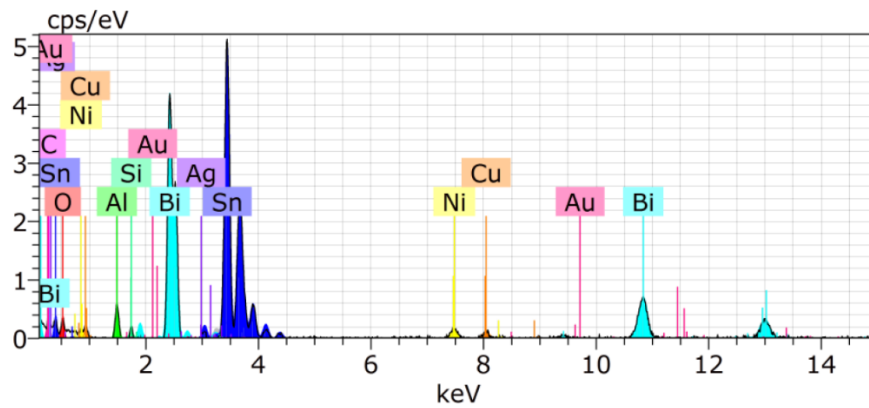
### DPS č. 5 v rastrovacím elektronovém mikroskopu

Na obr. 75 je zobrazena struktura z rastrovacího elektronového mikroskopu ve vzdálenosti 100 μm od pájecí plošky a 100 μm od čela pájecí plošky rezistoru.



Obr. 75: Struktura pájeného spoje DPS č. 5

Na obr. 76 je analýza složení struktury pájeného spoje pro DPS č. 5.



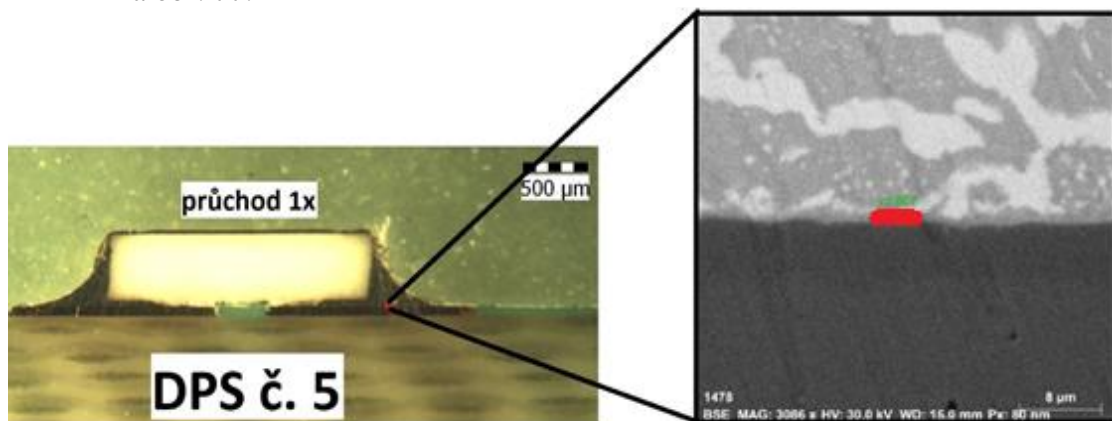
**Obr. 76: Analýza složení struktury pájeného spoje pro DPS č. 5**

V tabulce 50 je procentuální zastoupení jednotlivých prvků ve struktuře pájeného spoje pro DPS č. 5.

**Tabulka 50: Procentuální zastoupení prvků DPS č. 5, struktura pájeného spoje**

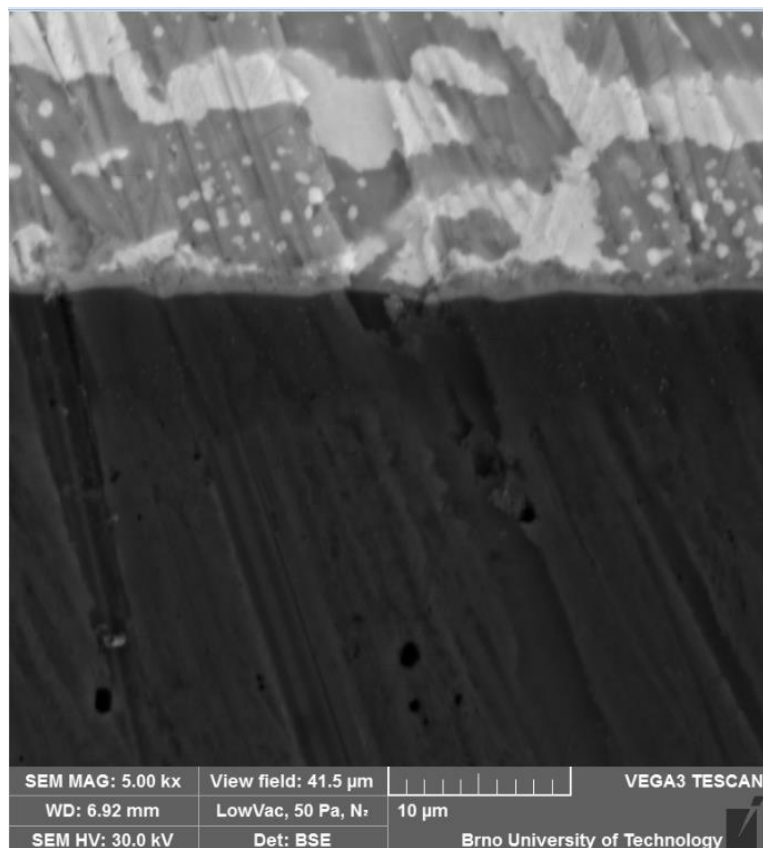
prvek	zastoupení prvku [%]
cín	57,86
bizmut	25,55
nikl	1,53
měď	1,10
hliník	3,25
kyslík	6,95
uhlík	2,93
křemík	0,58
zlato	0,25

Místo, kde se prováděla prvková analýza intermetalické vrstvy DPS č. 5 je označeno červeně na obr. 77.



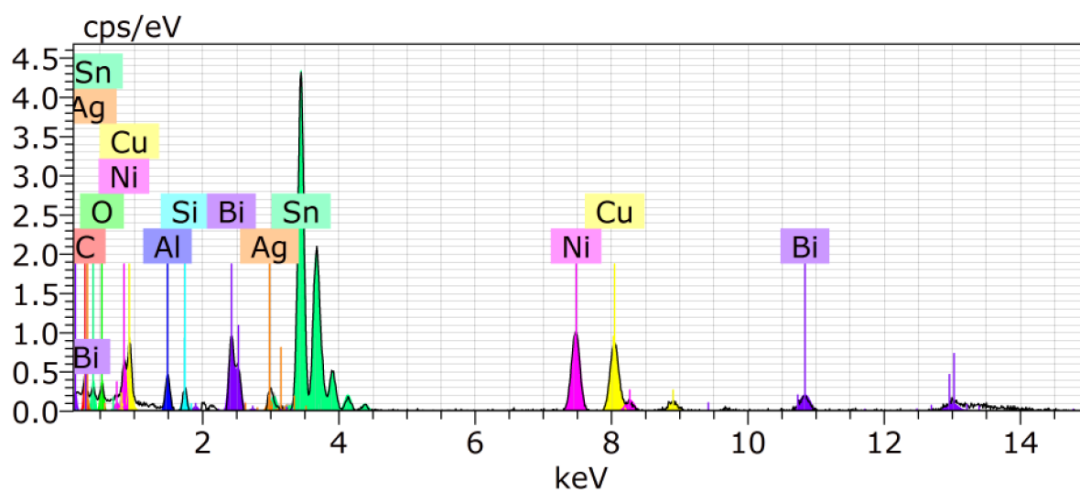
**Obr. 77: Označené místo intermetalické vrstvy pro prvkovou analýzu DPS č. 5**

Detail intermetalické struktury je na obr. 78



**Obr. 78: Detail intermetalické vrstvy DPS č. 5**

Na obr. 79 je analýza složení intermetalické vrstvy spoje pro DPS č. 5.



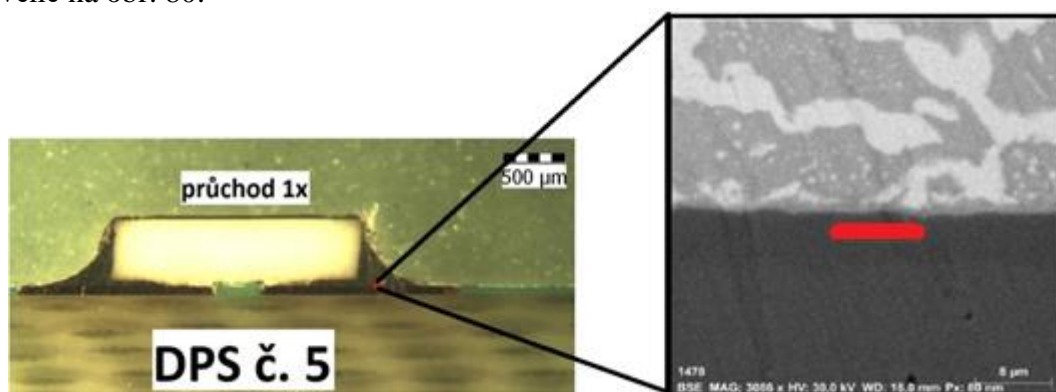
**Obr. 79: Analýza složení intermetalické vrstvy DPS č. 5**

V tabulce 51 je procentuální zastoupení jednotlivých prvků v intermetalické vrstvě pro DPS č. 5.

**Tabulka 51: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků v intermetalické vrstvě pro DPS č. 5.**

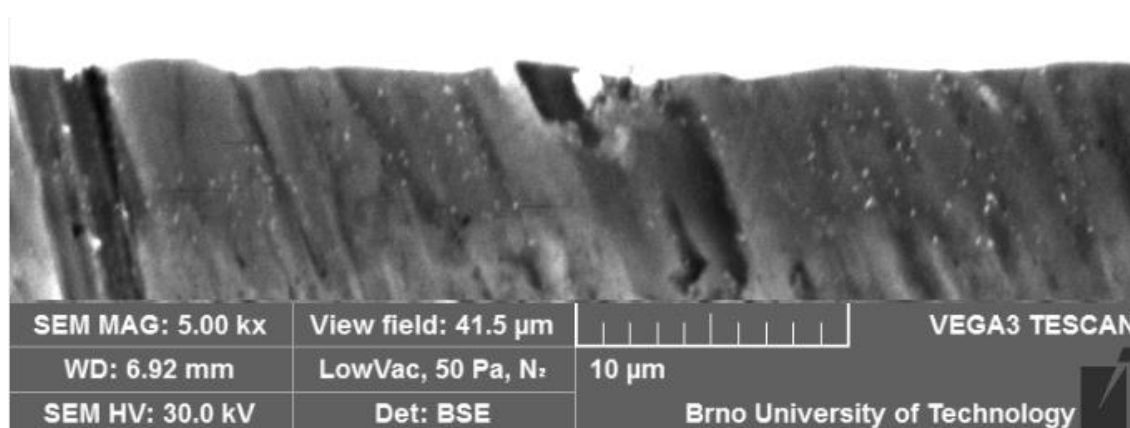
prvek	zastoupení prvku [%]
cín	49,73
bizmut	7,60
nikl	9,50
měď	8,86
hliník	3,42
kyslík	8,42
uhlík	9,75
křemík	1,52
stříbro	1,20

Místo, kde se prováděla prvková analýza povrchové úpravy DPS č. 5 je označeno červeně na obr. 80.



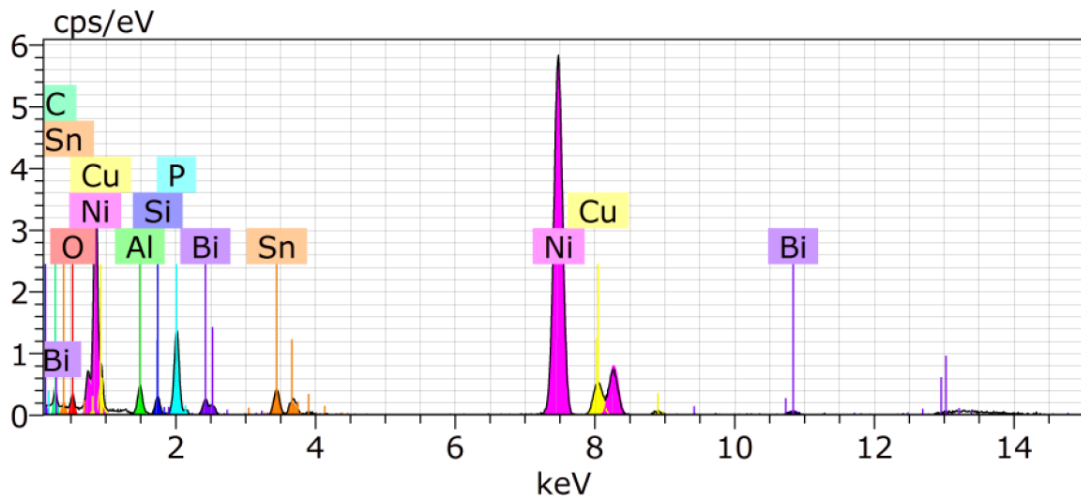
**Obr. 80: Difuze do povrchové úpravy DPS č. 5**

Detail struktury povrchové úpravy DPS č. 5 je na obr. 81.



**Obr. 81: Detail struktury povrchové úpravy DPS č. 5**

Na obr. 82 je analýza složení povrchové úpravy pro DPS č.5.



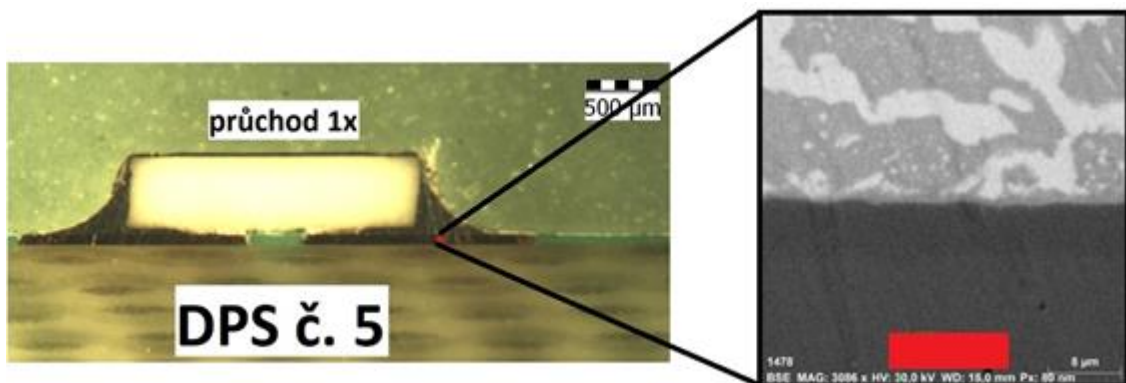
**Obr. 82: Analýza složení povrchové úpravy DPS č. 5**

V tabulce 52 je procentuální zastoupení jednotlivých prvků povrchové úpravy pro DPS č. 5.

**Tabulka 52: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků povrchové úpravy pro DPS č. 5**

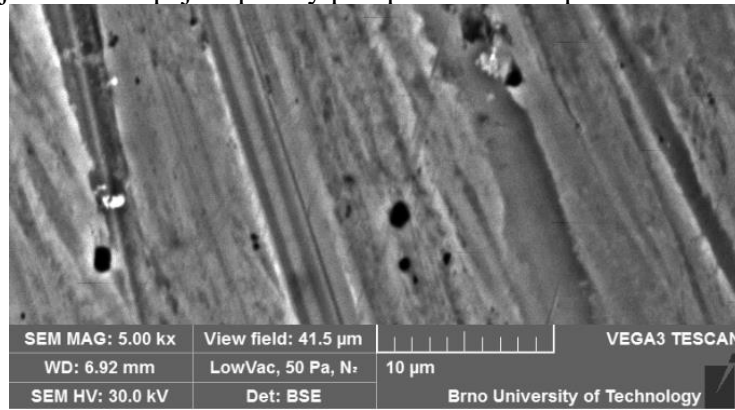
prvek	zastoupení prvku [%]
cín	5,52
bizmut	2,66
nikl	49,40
měď	5,21
hliník	4,40
kyslík	6,32
uhlík	15,99
křemík	2,16
fosfor	8,34

Místo, kde se prováděla prvková analýza pájecí plošky DPS č. 5 je označeno červeně na obr. 83.



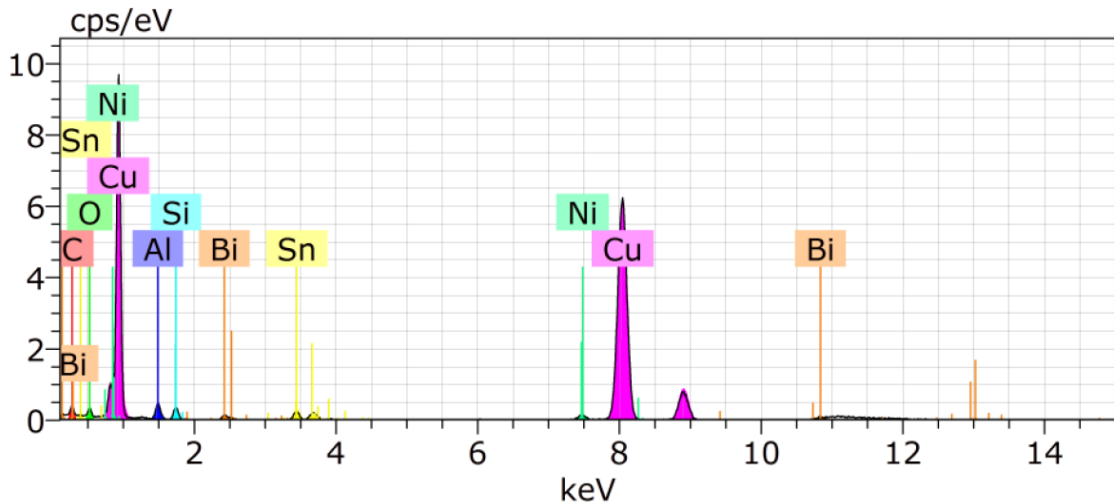
**Obr. 83: Difuze do pájecí plošky pro DPS č. 5**

Na obr. 84 je struktura pájecí plošky pod povrchovou úpravou.



**Obr. 84: Struktura pájecí plošky pod povrchovou úpravou DPS č. 5**

Na obr. 85 je analýza složení pájecí plošky pro DPS č.5.



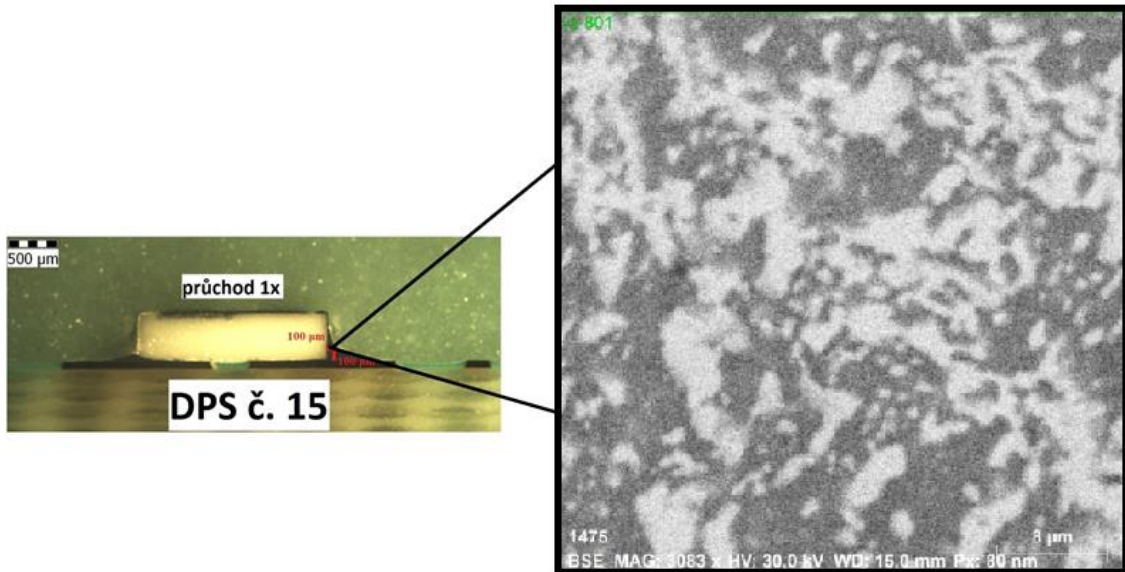
**Obr. 85: Analýza složení pájecí plošky pro DPS č. 5**

V tabulce 53 je procentuální zastoupení jednotlivých prvků pájecí plošky DPS č. 5.  
**Tabulka 53: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků pájecí plošky DPS č. 5.**

prvek	zastoupení prvku [%]
cín	3,86
bizmut	4,60
nikl	1,18
měď	62,96
hliník	5,02
kyslík	5,80
uhlík	13,65
křemík	2,94

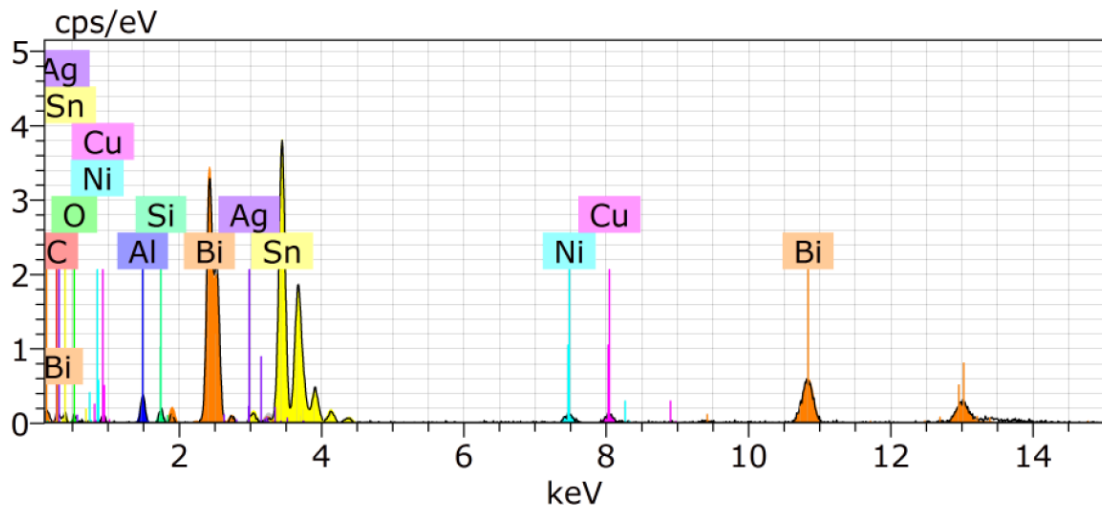
### DPS č. 15 v rastrovacím elektronovém mikroskopu

Na obr. 86 je zobrazena struktura z rastrovacího elektronového mikroskopu ve vzdálenosti 100  $\mu\text{m}$  od pájecí plošky a 100  $\mu\text{m}$  od čela pájecí plošky rezistoru.



Obr. 86: Struktura pájeného spoje DPS č. 15

Na obr. 87 je analýza složení struktury pájeného spoje pro DPS č.15.



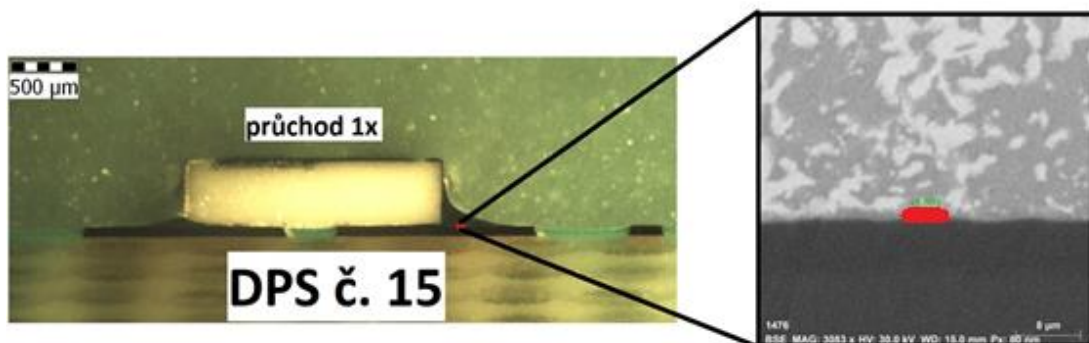
Obr. 87: Analýzy složení struktury pájeného spoje pro DPS č. 15

V tabulce 54 je procentuální zastoupení jednotlivých prvků ve struktuře pájeného spoje pro DPS č. 15.

**Tabulka 54: Procentuální zastoupení prvků DPS č. 15, struktura pájeného spoje**

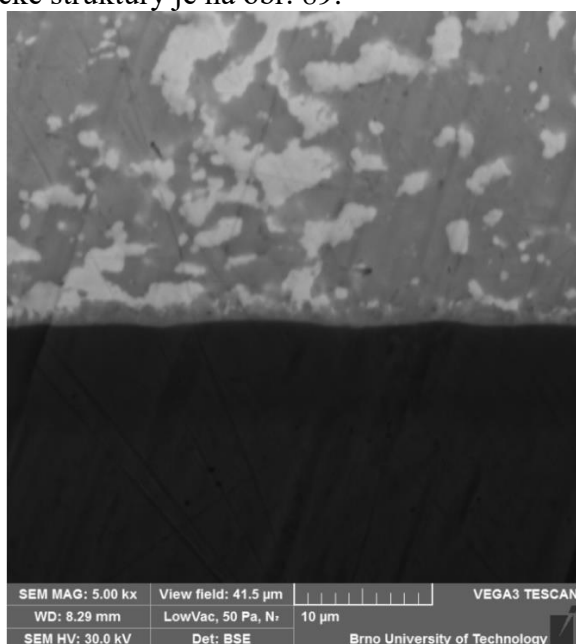
prvek	zastoupení prvku [%]
cín	61,51
bizmut	27,50
nikl	1,43
měď	1,33
hliník	2,80
kyslík	2,49
uhlík	1,86
křemík	1,08

Místo, kde se prováděla prvková analýza intermetalické vrstvy DPS č. 15 je označeno červeně na obr. 88.



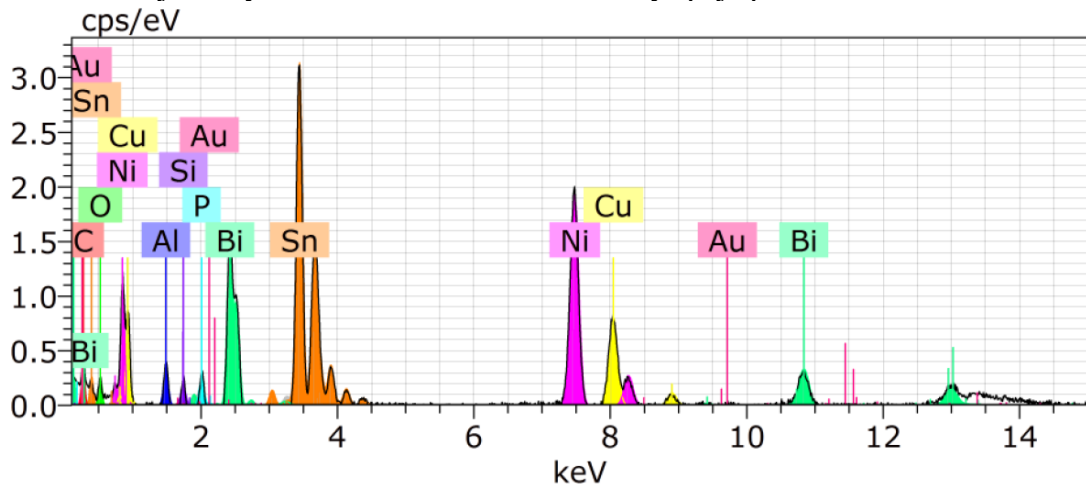
**Obr. 88: Označené místo intermetalické vrstvy pro prvkovou analýzu DPS č. 15**

Detail intermetalické struktury je na obr. 89.



**Obr. 89: Detail intermetalické vrstvy DPS č. 15**

Na obr. 90 je analýza složení intermetalické vrstvy spoje pro DPS č. 15.



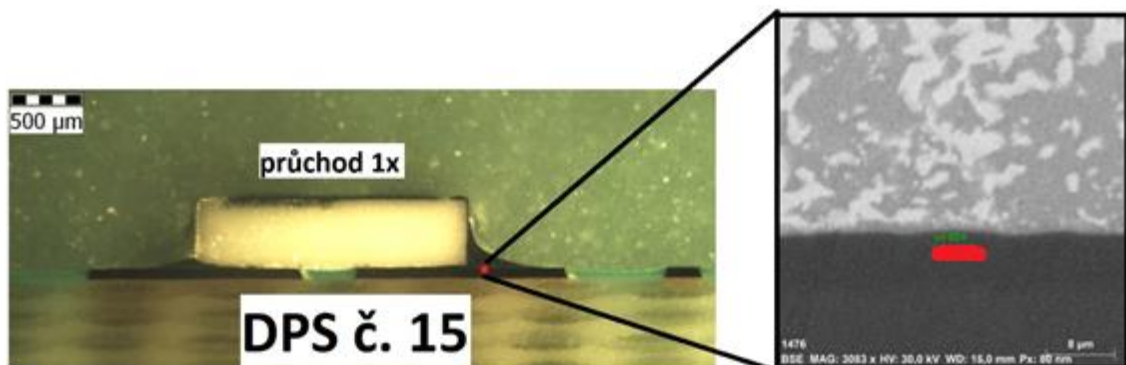
**Obr. 90: Analýza složení intermetalické vrstvy pro DPS č. 15**

V tabulce 55 je procentuální zastoupení jednotlivých prvků v intermetalické vrstvě pro DPS č. 15.

**Tabulka 55: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků v intermetalické vrstvě DPS č. 15.**

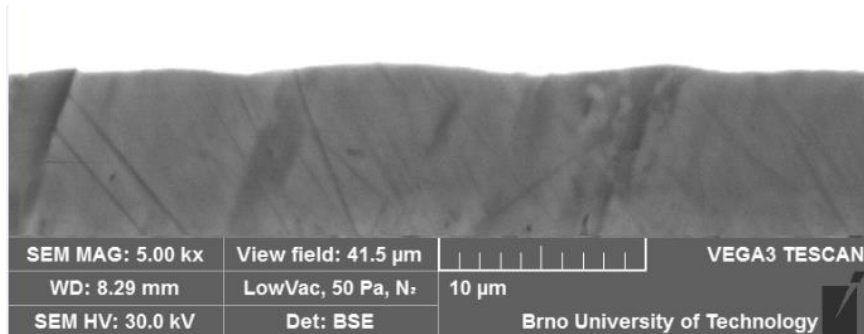
prvek	zastoupení prvku [%]
cín	39,88
bizmut	13,94
nikl	19,62
měď	8,94
hliník	2,62
kyslík	5,43
uhlík	7,05
křemík	1,08
fosfor	1,18
zlato	0,27

Místo, kde se prováděla prvková analýza povrchové úpravy DPS č. 15 je označeno červeně na obr. 91.



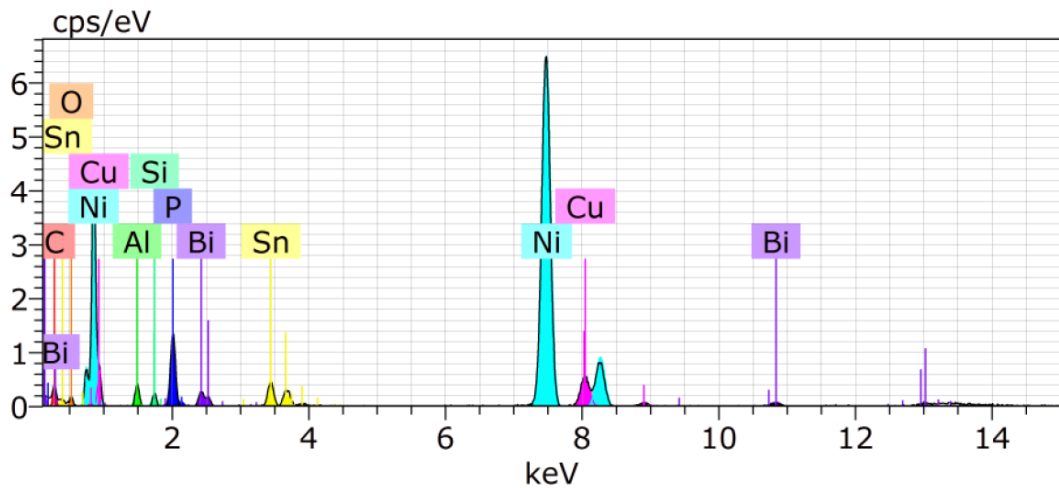
**Obr. 91: Difuze do povrchové úpravy DPS č. 15**

Detail struktury povrchové úpravy DPS č. 15 je na obr. 92.



**Obr. 92: Detail struktury povrchové úpravy DPS č. 15**

Na obr. 93 je analýza složení povrchové úpravy pro DPS č. 15.



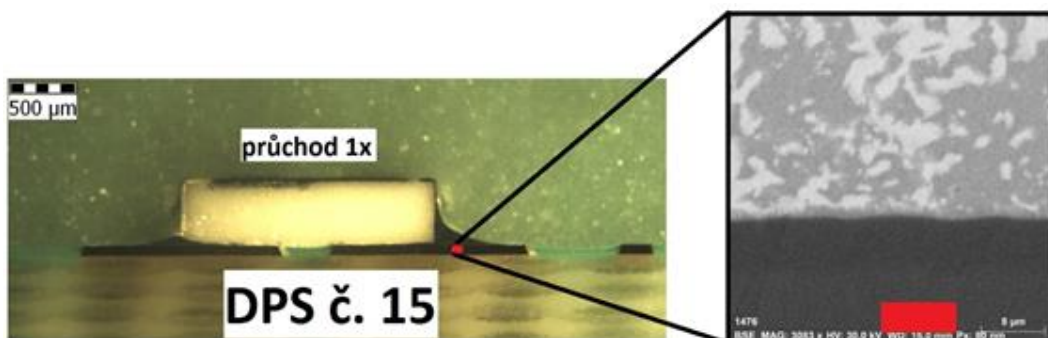
**Obr. 93: Analýza složení povrchové úpravy DPS č. 15**

V tabulce 56 je procentuální zastoupení jednotlivých prvků povrchové úpravy pro DPS č. 15.

**Tabulka 56: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků povrchové úpravy pro DPS č. 15**

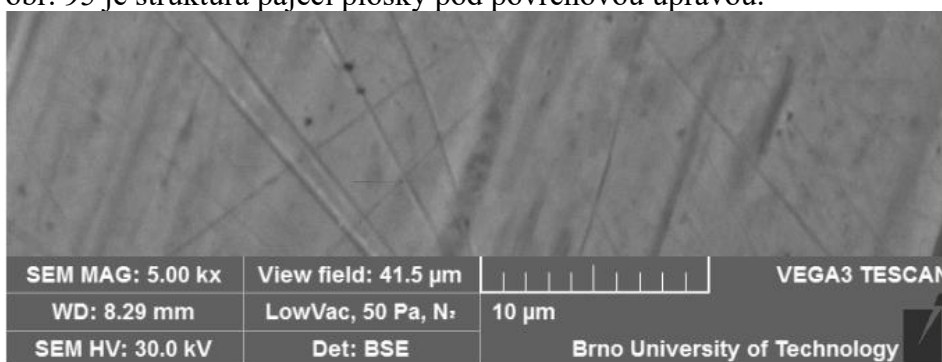
prvek	zastoupení prvku [%]
cín	6,28
bizmut	3,00
nikl	57,04
měď	5,40
hliník	2,64
kyslík	3,23
uhlík	14,53
křemík	1,20
fosfor	6,68

Místo, kde se prováděla prvková analýza pájecí plošky DPS č. 15 je označeno červeně na obr. 94.



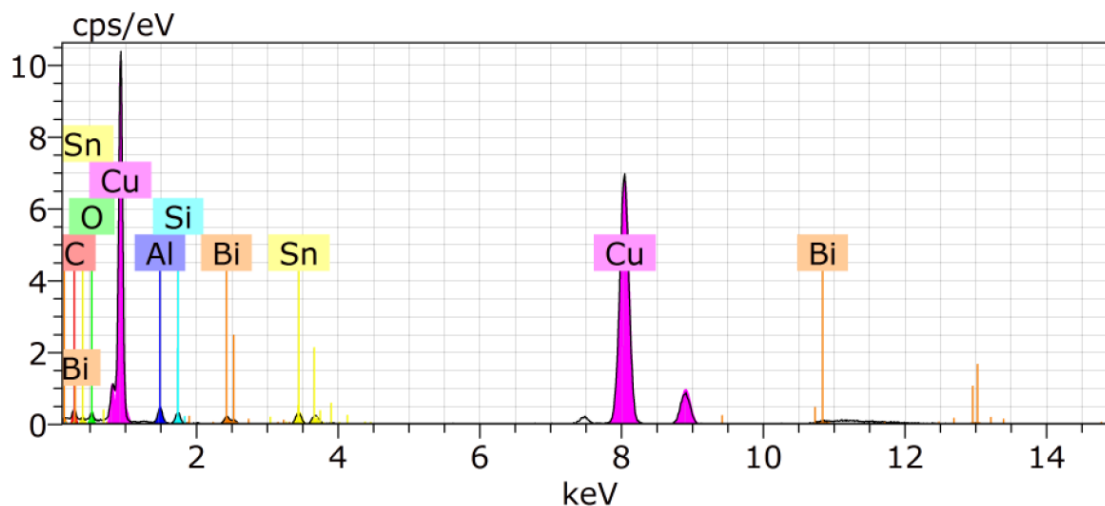
**Obr. 94: Difuze do pájecí plošky DPS č. 15**

Na obr. 95 je struktura pájecí plošky pod povrchovou úpravou.



**Obr. 95: Struktura pájecí plošky pod povrchovou úpravou DPS č. 15**

Na obr. 96 je analýza složení pájecí plošky pro DPS č. 15.



**Obr. 96: Analýzy složení pájecí plošky pro DPS č. 15**

V tabulce 57 je procentuální zastoupení jednotlivých prvků pájecí plošky DPS č. 15.  
**Tabulka 57: Procentuální zastoupení jednotlivých prvků pájecí plošky DPS č. 15.**

<b>prvek</b>	<b>zastoupení prvku [%]</b>
cín	4,34
bizmut	5,24
měď	65,87
hliník	4,69
kyslík	4,99
uhlík	12,29
křemík	2,58

## 7. ZÁVĚR

V diplomové práci byly testovány tři nové typy nízkoteplotních pájecích past na bázi bizmutu. Je to možná alternativa místo použití konvenčně používaných past typu SAC. Při testování byly použity dvě rozdílné povrchové úpravy ENIG a imerzní cín. Cílem práce bylo sledovat tyto pasty za různých environmentálních působeníh, provést úvodní sady měření a zpracovat doporučení pro další pokračování těchto technologických testů.

Při měření velmi malých odporů čtyřbodovou metodou byly testovány všechny desky plošných spojů po určitých intervalech stárnutí. Dbalo se na to, aby při měření byly stejné podmínky. Všechny měřené desky plošných spojů byly vloženy do Friocellu na dobu 30 min. při teplotě 40 °C. Po uplynutí této doby začalo měření.

První měření bylo provedeno po výrobě desek plošných spojů, tato hodnota byla označena jako referenční. Po změření odporu byly desky vloženy do stárnocích zařízení. První byl mrazicí box, teplota -18 °C. Druhý byl izotermický box, teplota 90 °C. Třetí bylo cyklování, maximální teplota 99,9 °C po dobu dvou hodin, minimální teplota 0 °C po dobu dvou hodin. Poslední stárnutí probíhalo při pokojové teplotě, teplota 23 °C. Druhé měření probíhalo po sedmi dnech a již byly patrné rozdíly u desek plošných spojů, měřený odpor se zvyšoval. Další měření probíhala po čtrnácti dnech, dvaceti jedna dnech, dvaceti osmi dnech. U cyklování se končilo po sto cyklech. Nejmenší procentuální změnu a to 5,64 % měla pasta PF743-PQ10. Nevyšší procentuální změny měla pasta PF735-PQ10.

Po uplynutí dvaceti osmi dnů, byla měřena pevnost pájecího spoje zkušební metodou stříhem. Testovaná deska plošných spojů byla upnuta do držáku a pomocí digitálního siloměru byla měřena síla, která byla potřebná k odtržení součástky z pájeného spoje. Jelikož se jedná o destruktivní zkoušku, testovalo se až po uplynutí dvaceti osmi dnů. Před zahájením této zkoušky byly desky plošných spojů vloženy do Friocellu na dobu 30 min při teplotě 40 °C. Po uplynutí této doby začalo testování. Celkem se trhaly čtyři součástky z první a druhé řady. Naměřené výsledky byly průměrovány pro celou řadu. V průměru vycházela pevnost pájeného spoje pro nízkoteplotní pájecí pasty s povrchovou úpravou ENIG. První řada měla průměrnou pevnost 65 N, druhá řada měla průměrnou pevnost 63 N. Pro povrchovou úpravu imerzní cín byla průměrná pevnost první řady 67 N. Druhá řada měla průměrnou pevnost 58 N. Potvrdila se korelace mezi pevností pájeného spoje s množstvím bizmutu ve dvou pájecích slitinách PF743-PQ10 a PF735-PQ10. Struktury těchto past je možno vidět na fotografiích z rastrovacího elektronového mikroskopu.

Měřily se i parametry bezolovnaté pájecí pasty SAC305, která se používá v Resideu. Tato pasta měla nejnižší měřený odpor s porovnáním s pastami s nízkou teplotou tavení.

Po zkouškách stříhem byl připraven mikrovýbrus u tří desek plošných spojů pro součástky 1 a 2 v první řadě. Mikrovýbrus byl pozorován binokulárním mikroskopem. U pasty PF743-PQ10 nebyl pozorován žádné vady u pájeného spoje, u dalších dvou typů byl pozorován větší výskyt voidů.

Nakonec bylo z časových důvodů zkoumáno pouze složení pájecí pasty PF735-PQ10 a PF743-PQ10 v rastrovacím elektronovém mikroskopu. Byl sledován vlivu difúzního mechanismu pájecí pasty, složení pájeného spoje ve vzdálenosti 100 μm od pájecí plošky a 100 μm od čela součástky, intermetalické sloučeniny a povrchové úpravy ENIG na podkladové mědi základního materiálu FR-4. Výsledky pozorování struktury povrchu spolu s prvkovou analýzou jsou zpracovány v dílčích tabulkách.

Při pokračování tohoto projektu by bylo dobré provádět měření odporu po delších časových úsecích např. po 200, 500 a 1000 cyklech. Po této době provést pevnostní zkoušky stříhem i prvkovou analýzu pájeného spoje, aby bylo možné podrobněji sledovat difúzi pájecí pasty do pájecí plošky a povrchové úpravy. Dle možností by bylo vhodné průběžně využívat i nedestruktivní metodu pomocí rentgenu na sledování změn výskytu voidů. Po těchto dílčích testech provést celkové vyhodnocení a sledovat korelaci dosažených výsledků. Následně doporučit jednotlivé pájecí pasty pro konkrétní aplikace a uvést jejich limitace.

# Literatura

- [1] STARÝ, J., ZATLOUKAL, M., Montážní a propojovací technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Brno, 2015, 272s.
- [2] PAŠKO, Martin. Analýza změn v pájených spojích vzniklých vlivem stárnutí [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=41196](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41196). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Stejskal.
- [3] Prvky. Svět prvků [online]. Hodonín [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <http://svetprvku.cz/12-prvky>
- [4] Low-Temperature Soldering [online]. U.S.A.: BR Publishing, 2018 [cit. 2018-12-12]. ISBN 978-0-9998648-4-5. Dostupné z: <http://iconnect007.com/my-icconnect007/books/lts>
- [5] Nano Dimension. *Nano Dimension* [online]. Nes Cijona, Izrael, 2019 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.nano-di.com/dragonfly-pro-3d-printer>
- [6] Nano Dimension. *Nano Dimension* [online]. Nes Cijona, Izrael, 2019 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://www.nano-di.com/materials>
- [7] HOLTZER, Mitch. Zavedení nízkoteplotního procesu SMT. Elektronika od A po Z [online]. 2013 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:3477/zavedeni-nizkoteplotniho-procesu-smt>
- [8] BELUCZ, Jakub. Povrchové úpravy desek plošných spojů. *DPS elektronika od A do Z* [online]. Liberec, 2019 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:59606/z-aktualniho-vydani-povrchove-upravy-desek-plosnych-spoju>
- [9] J HANSON, Robyn. *Electronics Surface Finish Overview* [online]. In: . MacDermid, 2015, 25 June 2015, s. 56 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: [https://www.smta.org/chapters/files/UMW\\_SMTA\\_Surface\\_Finish\\_June\\_2015\\_-\\_Hanson.pdf](https://www.smta.org/chapters/files/UMW_SMTA_Surface_Finish_June_2015_-_Hanson.pdf)
- [10] *Comparison between ENIG and ENEPIG* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.pcbcart.com/article/content/ENIG-and-ENEPIG-comparision.html>
- [11] Měření malých odporů čtyřvodičovou metodou [online]. 2013 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://nanoed.tul.cz/mod/resource/view.php?id=1908>
- [12] JEŽEK, Vladimír. Vliv integrálu teploty a času pájení na kvalitu pájeného spoje. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.
- [13] Metalco. *Metalco* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/hmoty-pro-zalevani-za-studena/pryskyrice-pro-zalevani-za-studena-kem-35-sada/>

## Seznam příloh

Příloha 1 - Výroba DPS pro ověření testovacích metod.....	109
Příloha 2 - Ověření testovacích metod na vyrobených DPS.....	113
Příloha 3 - Změřený pájecí profil pasty PF 602-P .....	121
Příloha 4 - Pájecí profil pro pastu PF 602-P .....	122
Příloha 5 - Pájecí profil pro pastu PF734-PQ10 .....	123
Příloha 6 - Změření profil pro pastu PF734-PQ10 .....	124
Příloha 7 - Pájecí profil pro pastu PF735-PQ10 .....	125
Příloha 8 - Změřený profil pro pastu PF735-PQ10.....	126
Příloha 9 - Pájecí profil pro pastu PF743-PQ10 .....	127
Příloha 10 - Změřený profil pro pastu PF743-PQ10.....	128
Příloha 11 - Změřený profil pro SAC305 .....	129
Příloha 12 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 5 ENIG .....	130
Příloha 13 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 8 imerzní cín.....	132
Příloha 14 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 15 ENIG .....	134
Příloha 15 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 9 imerzní cín.....	136
Příloha 16 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 23 ENIG .....	138
Příloha 17 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 22 imerzní cín.....	140
Příloha 18 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 26 ENIG .....	142
Příloha 19 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 26 imerzní cín.....	144
Příloha 20 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 31 ENIG .....	146

# Příloha 1 - Výroba DPS pro ověření testovacích metod

Pro ověření testovacích metod, byly vyráběny desky plošných spojů v prostorách laboratoří VUT Brno. Pro výrobu byl vybrán oboustranně mědí plátovaný laminát FR4 o tloušťce 1 mm.

## Příprava laminátu

Laminát byl zkrácen přesně na rozměry vyráběných DPS. Po úpravě rozměrů bylo potřeba očistit povrch. Povrch byl čištěn z důvodu dalších procesních kroků pro výrobu vodivého motivu. Očištění povrchu bylo provedeno kartáčováním, aby dobře přilnula fotocitlivá vrstva. Na obr. 1 je znázorněn laminát po očištění s kartáčem.



Obr. 1: Očištěný základní materiál s kartáčem

## Vodivý motiv

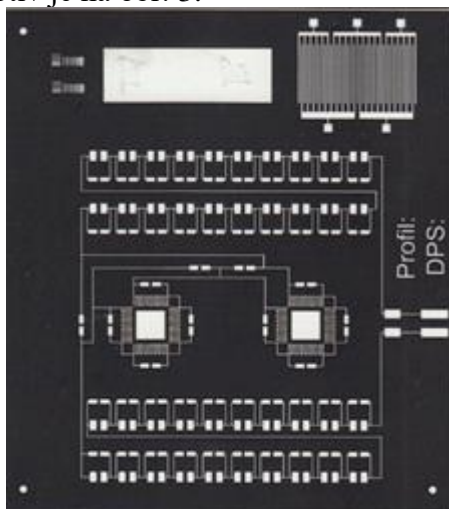
Sušení se provádělo v peci při teplotě 70 °C, aby bylo možné nanést tuhý fotorezist v co nejkratší době. Hlavním důvodem tohoto řešení je co nejvíce zkrátit dobu před nanesením tuhého fotorezistu, aby lamináty nezačaly oxidovat. Jakmile lamináty byly usušeny naněsli se tuhý fotorezist. Zařízení pro laminaci tuhého fotorezistu je na obr. 2.



Obr. 2: Zařízení pro laminaci tuhého fotorezistu

Fólie byla nanášena z obou stran laminátu. Přebytečný tuhý fotorezist byl odstraněn. Po odstranění byla přiložena negativní filmová předloha. Byla použita již vytvořená filmová předloha od pana Ing. Vladimíra Ježka. Důvod pro použití této předlohy byla možnost porovnání vlastností desek plošných spojů vyrobených v laboratoři bez

povrchové úpravy a desek plošných spojů, které byly opatřeny povrchovou úpravou ENIG. Použitý negativní motiv je na obr. 3.



**Obr. 3: Použitý negativní motiv (převzato z [12])**

Expozice probíhala po dobu 16 s v expoziční jednotce Circuitape AZ 218 Exposure Unit. Tato jednotka je na obr. 4, šipka ukazuje na laminát s nanesenou fotocitlivou fólií.



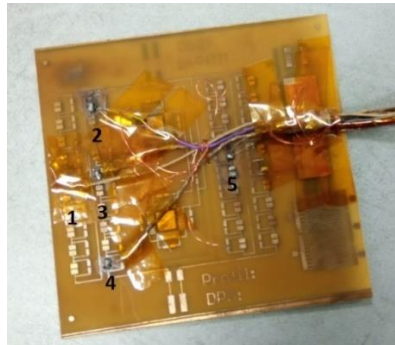
**Obr. 4: Expoziční jednotka pro laminát s nanesenou fólií**

Po uplynutí doby osvětlení v expoziční jednotce, byla odstraněna fólie a laminát putoval do vývojky. Ve vývojce byl 1% roztok uhličitánu sodného. Poté byl laminát opláchnut a následně leptán. Leptání se provádělo exotermní reakcí v roztoku, který se skládal z 3 dílů vody, 1 dílu peroxidu 30 % a 1 dílu kyseliny chlorovodíkové v technické koncentraci. Během leptání je nutno zajistit dostatečné odsávání reakčních zplodin.

### **Pájecí profil**

Pro testování byla vybrána pájecí pasta od firmy Shenmao technology a označení pasty PF602-P BiSn42. Pro danou pastu bylo zapotřebí nastavit pájecí profil. Tento profil byl nastavován pomocí zkušební DPS, na které bylo rozmístěno pět teplotních čidel. Čidla měřila teplotu ovzduší (1) v peci, levou (2) a pravou (4) stranu, střední (3) a zadní (5) část desky. Deska pro optimalizaci teplotního profilu je znázorněná na obr. 5. Měření bylo prováděno pomocí Slim-KIC 2000. Veškeré naměřené hodnoty se přenášely do PC, kde se ukládaly a graficky zaznamenávaly. Výsledný změřený pájecí profil je přiložen v příloze č. 3. Teplotní profil testované pájecí pasty je v příloze č. 4. Pro správné

nastavení pájecího profilu byla nastavována teplota přehřevu, teplota na straně součástek, teplota na straně spojů a rychlost posunu pásu. Vše bylo nastaveno na přetavovací peci DIMA typ SMRO 0180.



**Obr. 5: Deska pro optimalizaci teplotního profilu**

Přetavovací profil byl nastaven podle doporučení výrobce pájecí pasty na peci DIMA SMRO 0180 pro pájení přetavením.

#### **Osazení a pájení přetavením**

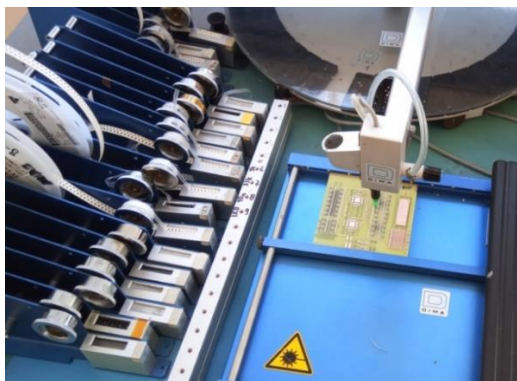
Na připravené DPS bylo potřeba nanést přesně definované množství pájecí pasty. Nanášelo se na šablonovém tisku, který je znázorněn na obr. 6.



**Obr. 6: Šablonový tisk pro nanesení pájecí pasty**

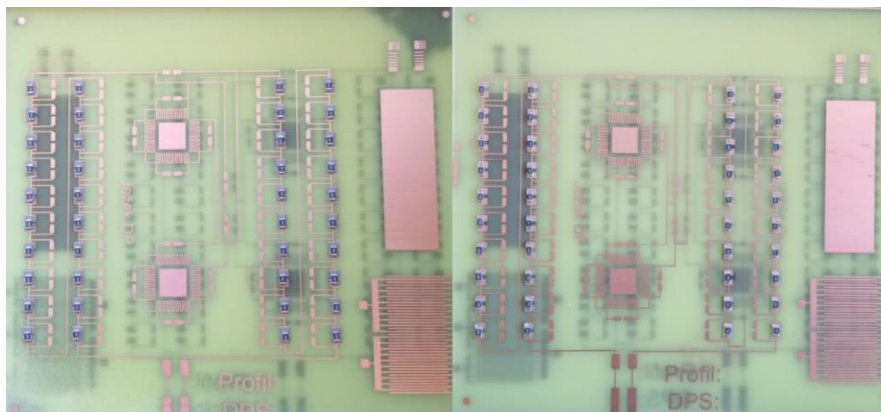
Na horní část bylo nanášeno množství pájecí pasty a pomocí třerky bylo přejížděno po horní straně šablony. Úhel třerky byl  $60^\circ$  a pasta byla vytlačena otvory přímo na kontaktní plošky DPS.

Když již byla nanášena pájecí pasta na pájecí plošky, dále byla DPS osazena nulovými rezistory 0805. K osazení DPS byla použita vakuová pipeta. Na obr. 7 je zobrazena vakuová pipeta.



**Obr. 7: Vakuová pipeta**

Na dalším obrázku obr. 8 je vidět celá osazená DPS vlevo, vpravo je již DPS po zapájení v přetavovací peci.



**Obr. 8: Osazená DPS vlevo po osazení, vpravo po přetavení**

Osazené DPS byly vloženy do přetavovací pece DIMA SMRO 0180. Jakmile DPS projela pecí byla na druhou stranu nanесena pasta, osazena součástkami a bylo provedeno pájení z druhé strany.

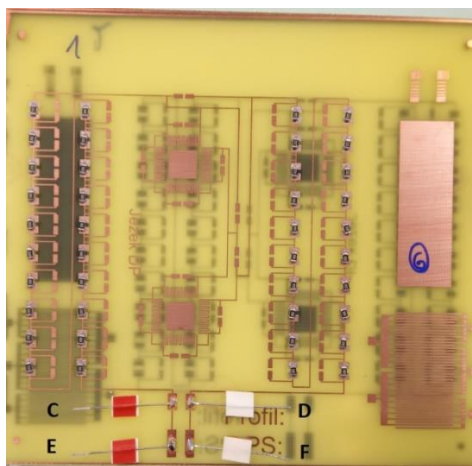
## Příloha 2 - Ověření testovacích metod na vyrobených DPS

Desky plošných spojů byly rozděleny do tří rozdílných prostředí, kvůli zrychlení stárnutí pájeného spoje. V každém testovacím souboru byly tři desky. První soubor desek byl vložen do Friocellu, kde byla udržována teplota 99 °C. Druhý soubor desek byl vložen do mrazícího boxu při teplotě -33 °C a poslední soubor desek byl ponechán při teplotě okolí, která byla 23 °C. Na obr. 9 jsou zobrazena obě dvě zařízení, která jsou použita pro stárnutí desek plošných spojů. Obě zařízení jsou majetkem VUT Brno a nachází se v laboratořích.



Obr. 9: Vlevo Friocell, vpravo mrazící box

Aby bylo možno jednoduše připojit svorky na testované desky plošných spojů, každá strana byla opatřena vývody. Tyto vývody jsou znázorněny na obr. 10. Vývody E a F slouží pro připojení napěťových svorek a vývody C a D slouží pro připojení proudových svorek.



Obr. 10: DPS č.6 strana 1x pájená opatřená vývody E, F, C a D

### Vstupní test parametrů jednotlivých DPS

Tento test probíhal po vyrobení a osazení všech DPS. Všechny DPS byly vloženy do Friocellu na dobu 10 min. při teplotě 40 °C, aby byly zabezpečeny stejné podmínky při měření. Obr. 11 ukazuje, jak probíhalo měření. Vlevo je otevřený Friocell a zapojení pro měření odporu čtyřbodovou metodou na desce plošných spojů. Ostatní desky

temperovaly na okolních policích. Měření odporu bylo prováděno multimetrem Metra MIT 291, které je na obr. 11 vpravo.



**Obr. 11: Vlevo měření ve Friocellu, vpravo Metra MIT 291**

### Porovnání jednotlivých výsledků z měření

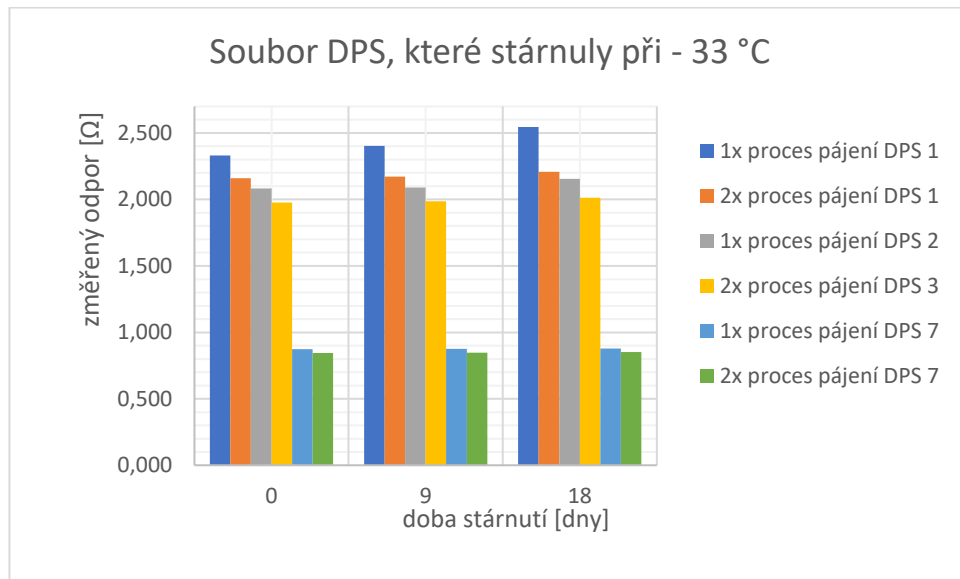
V tabulce 1 jsou shrnuty výsledky měření, které se provádělo na DPS vyrobených v laboratoři VUT Brno.

**Tabulka 1: Souhrnná tabulka všech měření**

stárnutí [°C]	-33			99			23		
označení DPS	1	3	7	5	6	9	2	4	8
1x proces pájení změřený odpor [ $\Omega$ ]	2,332	2,084	0,873	2,036	2,103	0,773	2,132	2,085	0,835
2x proces pájení změřený odpor [ $\Omega$ ]	2,161	1,978	0,844	1,983	2,004	0,749	2,056	2,071	0,748
po 9 dnech stárnutí									
1x proces pájení změřený odpor [ $\Omega$ ]	2,404	2,090	0,875	2,039	2,101	0,768	2,129	2,084	0,826
2x proces pájení změřený odpor [ $\Omega$ ]	2,172	1,986	0,848	1,982	2,002	0,744	2,049	2,076	0,739
po 18 dnech stárnutí									
1x proces pájení změřený odpor [ $\Omega$ ]	2,546	2,154	0,879	1,851	1,965	0,715	1,970	1,923	0,761
2x proces pájení změřený odpor [ $\Omega$ ]	2,209	2,013	0,852	1,832	1,872	0,634	1,921	1,862	0,633

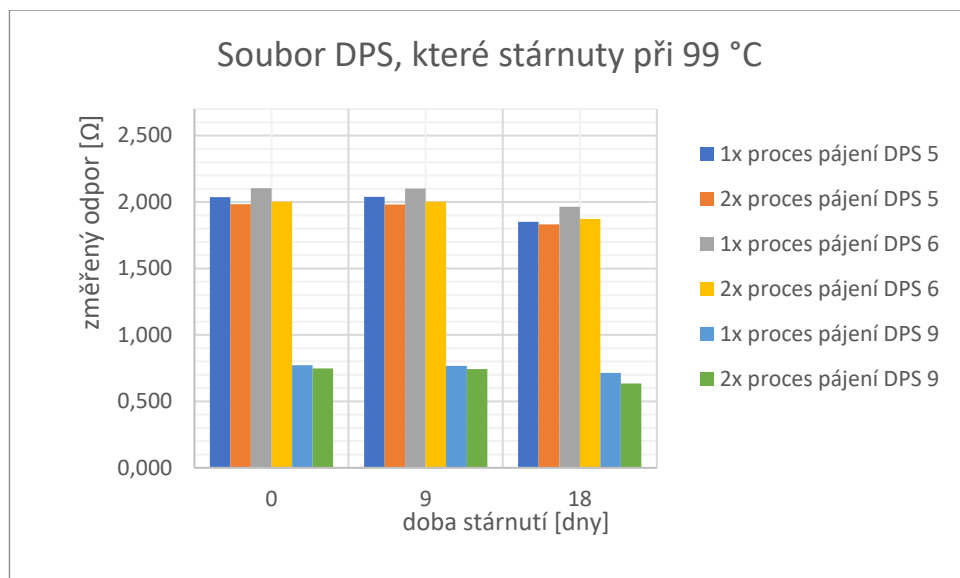
Když byly desky plošných spojů stárnuty v mrazu při teplotě  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ , je z výsledku měření patrné, že u všech tří DPS v daném souboru došlo ke zvýšení odporu. V souboru, který byl zahříván na teplotu  $99\text{ }^{\circ}\text{C}$  došlo ke snížení odporu. V posledním souboru, kde byly DPS ponechány při pokojové teplotě došlo taky ke snížení elektrického odporu, toto zmenšení nebylo takové jako u DPS, které byly zahřáty na teplotu  $99\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na obr. 12 je znázorněn soubor DPS, který stárnul v mrazícím boxu při -33 °C.



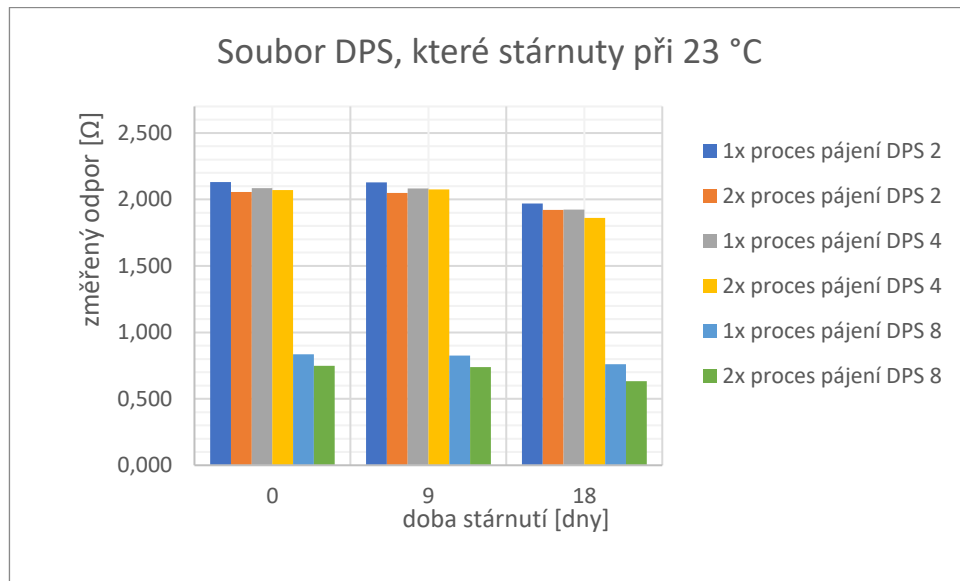
**Obr. 12: Soubor DPS, které stárnuly při -33 °C**

Na obr. 13 je znázorněn soubor DPS, který stárnul ve Friocellu při 99 °C.



**Obr. 13: Soubor DPS, které stárnuly při 99 °C**

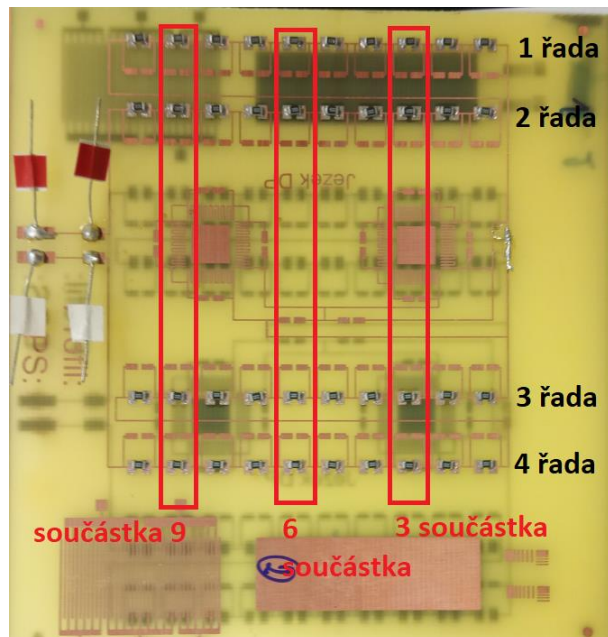
Na obr. 14 je znázorněn soubor DPS, který stárnul při teplotě okolí 23 °C.



**Obr. 14: Soubor DPS, které stárnuly při 23 °C**

### Mechanická zkouška stříhem

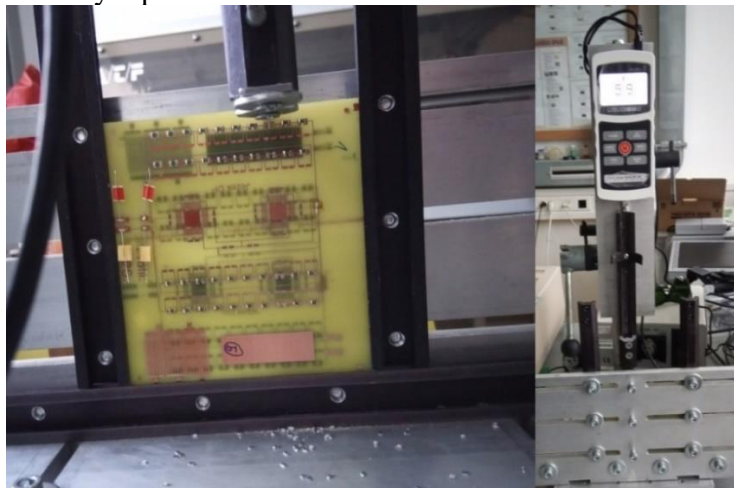
Jelikož se jedná o destruktivní zkoušku, zkouška stříhem probíhala až po ukončení posledního měření. Z každé desky plošných spojů z každé řady se trhaly tři součástky. Celkem se trhalo z každé strany dvanáct součástek. Na obr. 15 je znázorněno, které součástky byly trhací zkouškou testovány. Pozice těchto součástek nebyla zvolena náhodně, ale účelně. Součástka 3 a 9 je dál od okraje a tím je eliminována chyba při pájení přetavením na okrajích DPS. A součástka 6 se nachází přibližně ve středu DPS.



**Obr. 15: Znázornění součástek pro zkoušku stříhem**

DPS před mechanickou zkouškou stříhem byly vloženy po dobu 30 min do Friocellu při teplotě 30 °C, aby se eliminovaly co nejvíce negativní vlivy. Kdyby dané DPS byly vloženy rovnou na zkušební držák.

Na obr. 16 je znázornění uchycení DPS pro mechanickou zkoušku stříhem. Měření probíhalo na digitálním siloměru Mark10 M5-100, ten je zobrazen vpravo na obr. 32. Veškerá data z měření byla přenesena do PC.



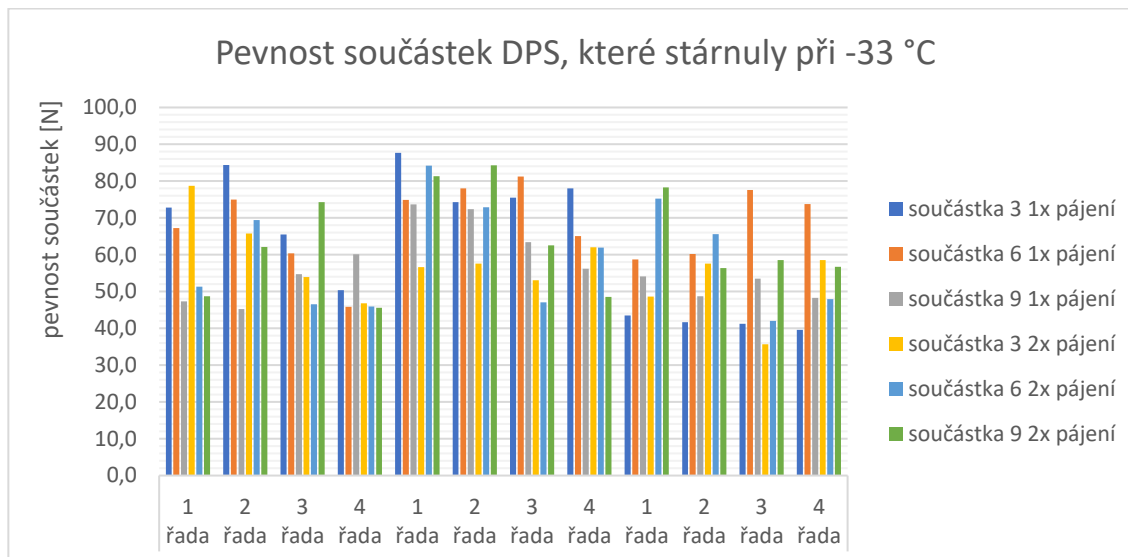
**Obr. 16: Vlevo uchycení DPS, vpravo digitální siloměr čelní pohled**

V tabulce 2 jsou výsledky jednotlivých měření pro desky plošných spojů, které byly po dobu 18 dnů vloženy do mrazicího boxu při teplotě -33 °C. Veškeré naměřené hodnoty jsou v newtonech [N]. Z naměřených výsledků lépe dopadly DPS, které byly vyrobeny v laboratořích VUT, nežli DPS 7, která měla povrchovou úpravu ENIG.

**Tabulka 2: Naměřené hodnoty pro DPS, které stárnuly při -33 °C**

		1x proces pájení			2x proces pájení		
DPS 1	součástka	3	6	9	3	6	9
	1 řada	72,8	67,2	47,3	78,7	51,3	48,7
	2 řada	84,4	75,0	45,2	65,8	69,4	62,1
	3 řada	65,5	60,4	54,7	53,9	46,5	74,3
	4 řada	50,4	45,8	60,1	46,8	45,9	45,6
		1x proces pájení			2x proces pájení		
DPS 3	součástka	3	6	9	3	6	9
	1 řada	87,7	74,9	73,7	56,6	84,2	81,3
	2 řada	74,3	78,0	72,4	57,6	72,9	84,3
	3 řada	75,5	81,2	63,4	53,1	47,1	62,5
	4 řada	78,0	65,1	56,2	62,0	61,9	48,5
		1x proces pájení			2x proces pájení		
DPS 7	součástka	3	6	9	3	6	9
	1 řada	43,5	58,7	54,1	48,6	75,2	78,3
	2 řada	41,7	60,2	48,7	57,6	65,6	56,4
	3 řada	41,2	77,6	53,5	35,7	42,0	58,5
	4 řada	39,6	73,8	48,3	58,5	47,9	56,7

Na obr. 17 jsou graficky zobrazeny naměřené výsledky, které jsou uvedeny v tabulce 2.



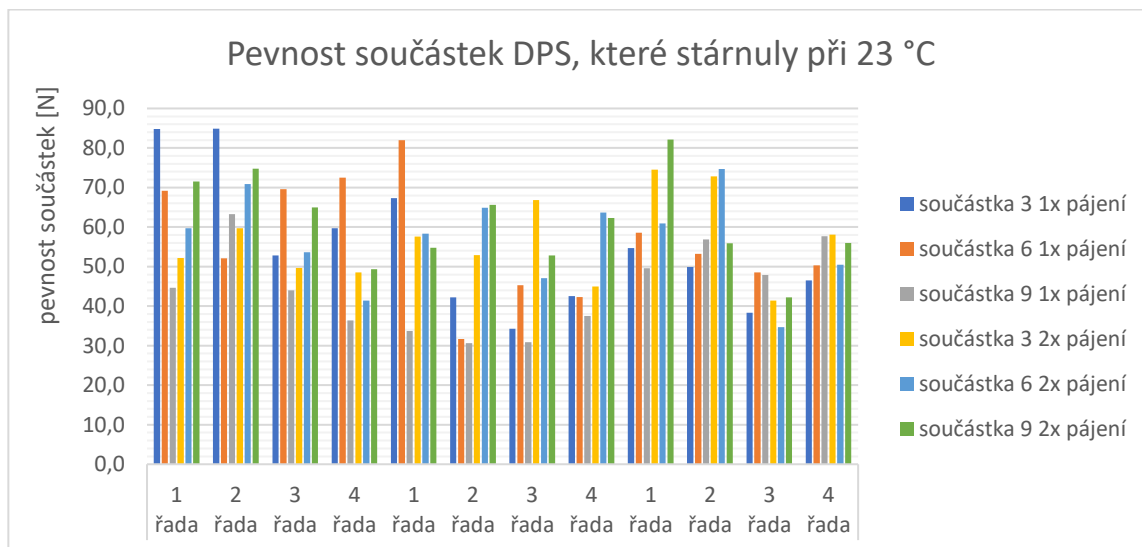
**Obr. 17: Pevnost součástek DPS, které stárnuly při -33 °C**

Tabulka 3 ukazuje naměřené hodnoty pro DPS, které byly po dobu 18 dnů při pokojové teplotě a to ve 23 °C. Všechny naměřené hodnoty jsou v newtonech [N].

**Tabulka 3: Naměřené hodnoty pro DPS při teplotě 23 °C**

		1x proces pájení			2x proces pájení			
		součástka	3	6	9	3	6	9
DPS 2	1 řada	84,8	69,2	44,6	52,2	59,7	71,5	
	2 řada	84,9	52,1	63,3	59,7	70,9	74,8	
	3 řada	52,8	69,6	44,0	49,7	53,6	65,0	
	4 řada	59,7	72,5	36,4	48,5	41,4	49,3	
		1x proces pájení			2x proces pájení			
		součástka	3	6	9	3	6	9
DPS 4	1 řada	67,3	82,0	33,7	57,6	58,3	54,8	
	2 řada	42,2	31,7	30,6	52,9	64,9	65,6	
	3 řada	34,3	45,3	30,9	66,8	47,1	52,8	
	4 řada	42,5	42,3	37,5	45,0	63,7	62,3	
		1x proces pájení			2x proces pájení			
		součástka	3	6	9	3	6	9
DPS 8	1 řada	54,7	58,6	49,6	74,5	60,9	82,1	
	2 řada	49,9	53,2	56,9	72,8	74,7	55,9	
	3 řada	38,3	48,5	47,9	41,4	34,7	42,2	
	4 řada	46,5	50,3	57,7	58,1	50,5	56,0	

Na obr. 18 jsou graficky zobrazeny naměřené výsledky, které jsou uvedeny v tabulce 3.



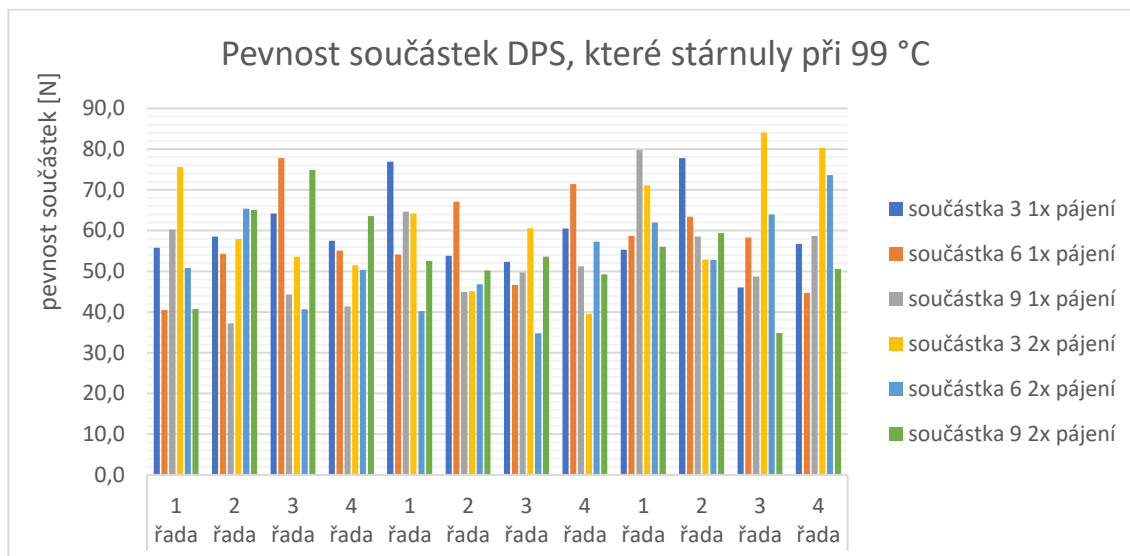
**Obr. 18: Pevnost součástek DPS, které stárnuly při 23 °C**

V tabulce 4 jsou výsledky posledních 3 DPS, které byly stárnuty při teplotě 99 °C po dobu 18 dnů. Všechny naměřené hodnoty v tabulce jsou v newtonech [N].

**Tabulka 4: Naměřené hodnoty pro DPS z Friocellu při 99 °C**

	1x proces pájení				2x proces pájení		
	součástka	3	6	9	3	6	9
DPS 5	1 řada	55,8	40,5	60,3	75,6	50,8	40,8
	2 řada	58,5	54,3	37,2	57,9	65,4	65,1
	3 řada	64,2	77,8	44,3	53,6	40,7	74,9
	4 řada	57,5	55,1	41,4	51,5	50,4	63,6
DPS 6	1 řada	76,9	54,1	64,7	64,2	40,2	52,6
	2 řada	53,8	67,1	44,9	45,1	46,8	50,2
	3 řada	52,3	46,7	49,7	60,6	34,8	53,6
	4 řada	60,5	71,4	51,2	39,5	57,3	49,3
DPS 9	1 řada	55,3	58,7	79,8	71,1	62,0	56,0
	2 řada	77,8	63,4	58,5	52,9	52,8	59,4
	3 řada	46,0	58,3	48,7	84,1	64,0	34,9
	4 řada	56,7	44,7	58,7	80,3	73,6	50,6

Na obr. 19 jsou graficky zobrazeny naměřené výsledky, které jsou uvedeny v tabulce 4.



**Obr. 19: Pevnost součástek DPS, které stárnuly při 99 °C**

# Příloha 3 - Změřený pájecí profil pasty PF 602-P



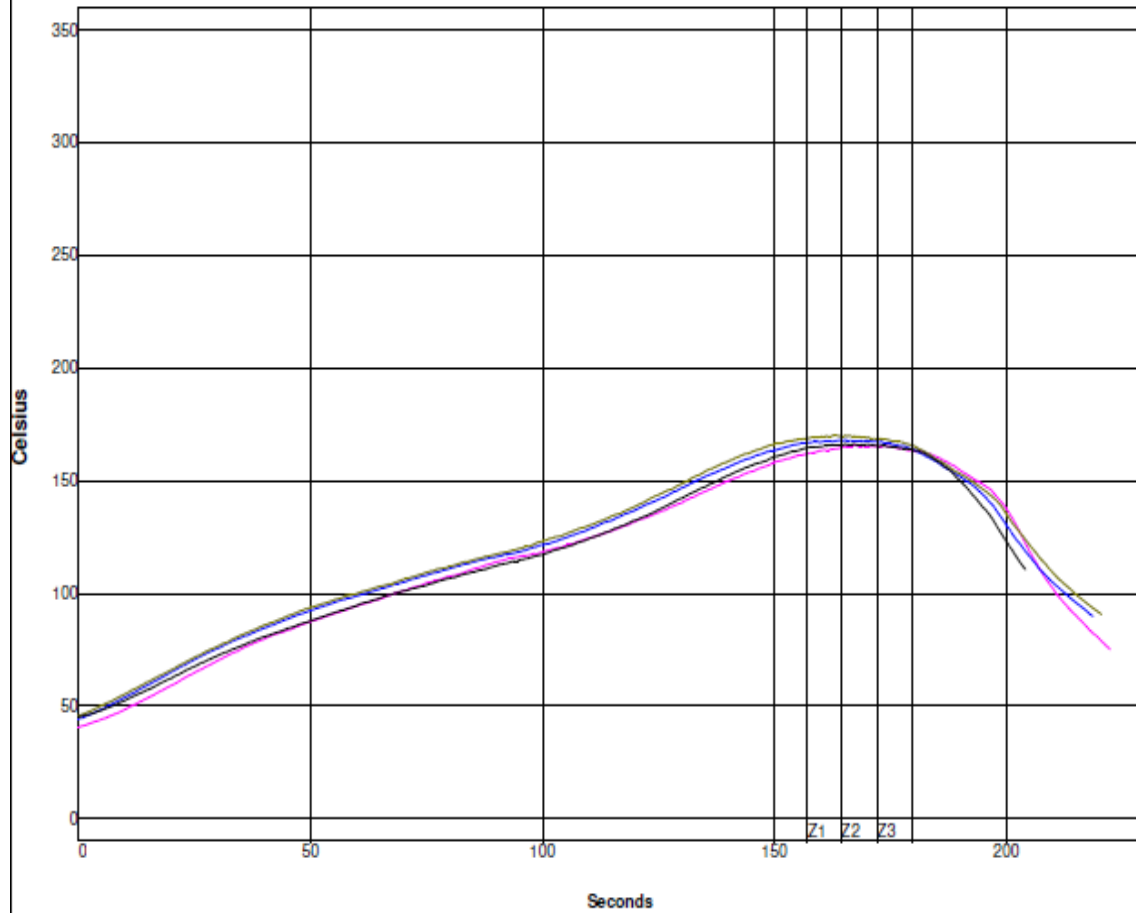
Sveda PF602-P

Sat Nov 24 2018 17:30:57



Company: FEKT  
Oven Name: Dima

Site: FEKT  
Process Window Name: SHENMAO PF602-P



	PWI: 93%	Max Rising Slope	Max Falling Slope	Peak Temp	Tot Time /138C	Preheat 90-120C-(4)
leva	1.09	9%	-2.95	165.68	72.68	49.13
stred	1.10	10%	-2.40	168.21	76.57	50.58
prava	1.08	8%	-2.33	170.23	79.93	49.93
vzadu	1.00	0%	-2.46	166.38	69.27	50.79
Delta	0.10		0.62	4.55	10.66	1.66

# Příloha 4 - Pájecí profil pro pastu PF 602-P

Partnership in Solder Technology Innovation



**Lead-Free Solder Paste**  
**PF 602-P**

version 1, 07/15

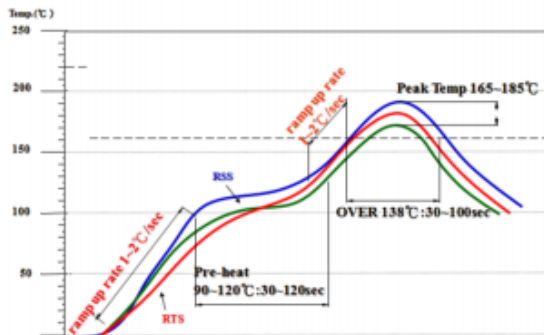
## PERFORMANCE & RELIABILITY

Copper Plate Corrosion Test	Pass	JIS-Z-3197, 8.4.1
Spreading Test	> 70%	JIS-Z-3197, 8.3.1.1
Copper Mirror Test	Pass	IPC-TM-650, 2.3.32
Viscosity Test (25°C, 10 rpm)	180 ± 50 Pa . S	JIS-Z-3284. Annex 6
Tackiness Test (gf)	> 130 (8hr)	JIS-Z-3284. Annex 9
Slump Test	Pass	JIS-Z-3284. Annex 7,8
Solder Ball Test	Pass	JIS-Z-3284. Annex 11

S.I.R. Test	▲ > 1 x 10 <sup>9</sup> Ω, Pass	IPC-TM-650, 2.6.3.3
Electro Migration Test	◆ Pass	PC-TM-650, 2.6.14.1

▲ Test Conditions : 85 °C, 85% RH for 168hrs ◆ Test Conditions: 65°C, 88.5% RH for 596 hrs

## RECOMMENDED REFLOW PROFILE



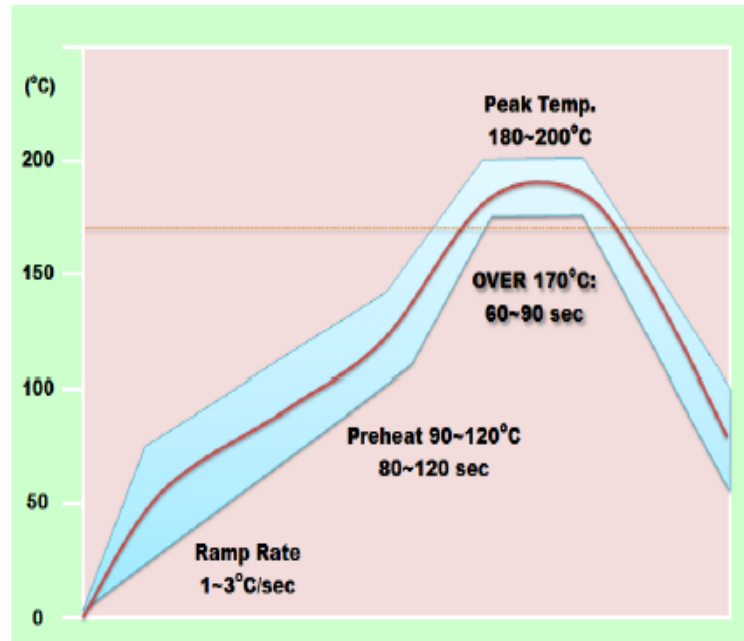
- Ramp Up Rate (30~90°C): 1.0~2.0 °C/sec
- Pre-heating Time (90~120°C): 30~120 sec
- Time Period Above 138°C: 30 - 100 sec
- Ramp Up Heating Rate: 1.0-2.0 °C/sec
- Peak Temperature: 165~185 °C
- Ramp Down Cooling Rate: 1.0~6.0 °C/sec

Note: The recommended reflow profile is provided as a guideline. Optimal profile may differ due to oven type, assembly layout or other process variables.

## Příloha 5 - Pájecí profil pro pastu PF734-PQ10



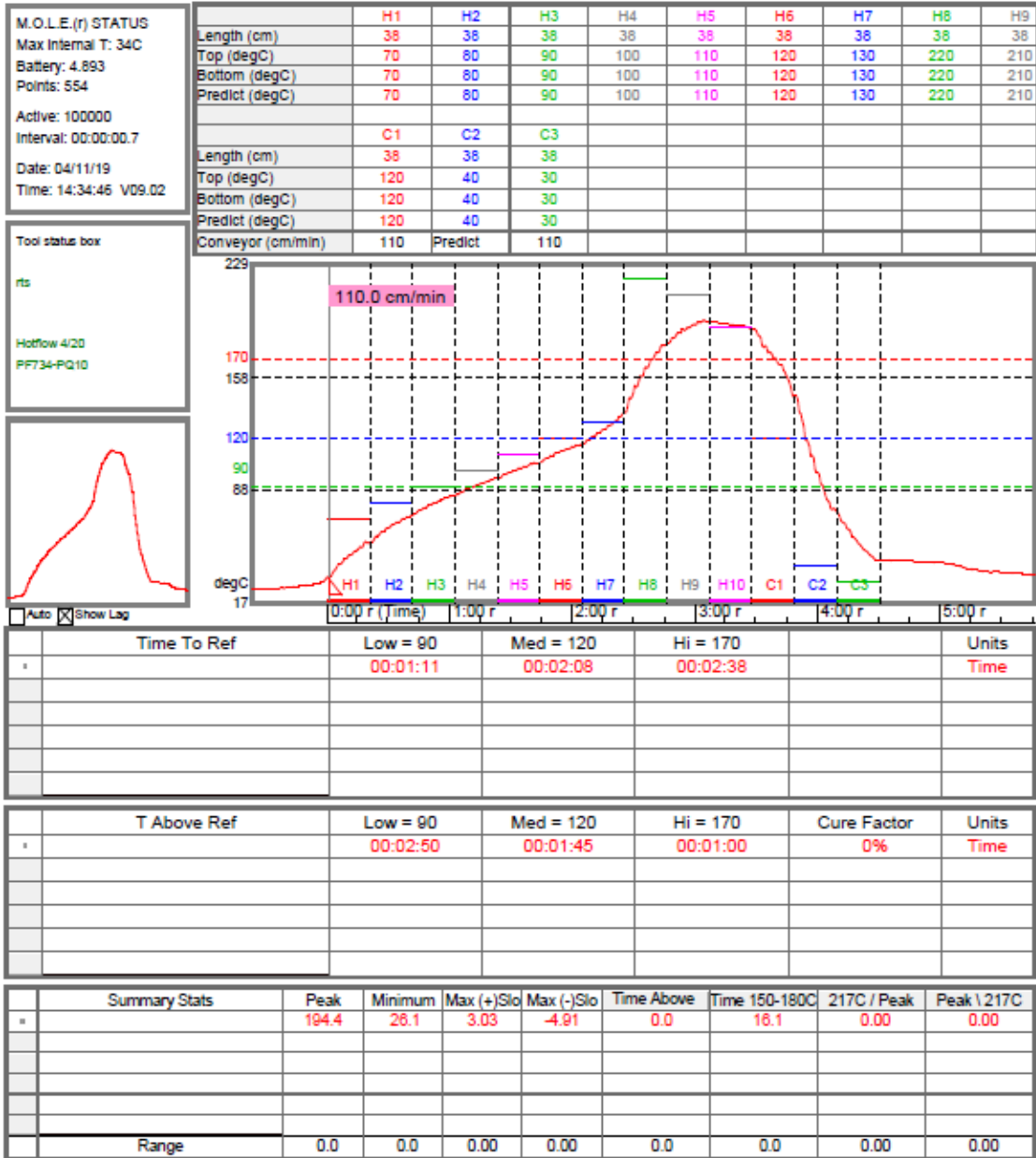
### — Temperature Profile —



The recommended reflow profile for the PF734-PQ10 is provided as a guideline.  
Optimal profile may differ due to oven type, assembly layout, or other process variables.

Ramp Up Rate (30~90°C):	1.0~3.0°C/sec
Pre-heating Time (90~120°C) :	80~120 sec
Time Period Above 170°C:	60~90 sec
Peak Temperature:	180~200°C
Ramp Down Rate During Cooling:	1.0~6.0°C/sec

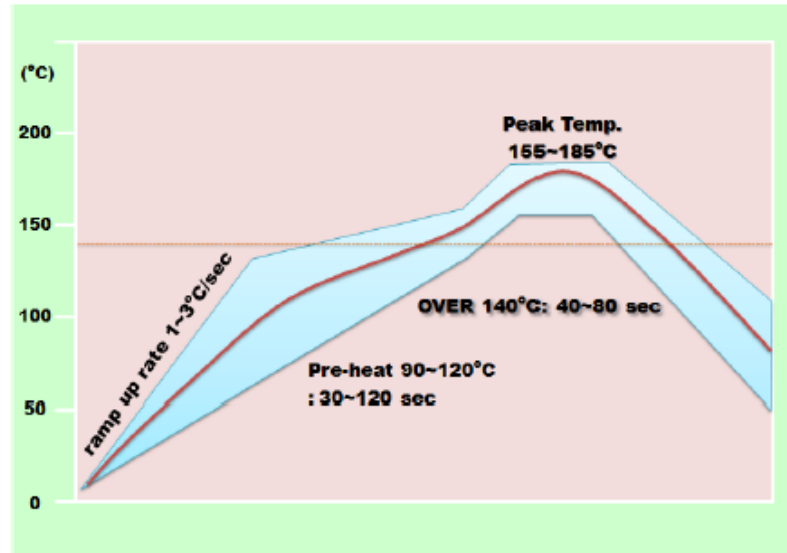
# Příloha 6 - Změření profil pro pastu PF734-PQ10



## Příloha 7 - Pájecí profil pro pastu PF735-PQ10



### — Temperature Profile —



The recommended reflow profile for the PF735-PQ10 is provided as a guideline.  
Optimal profile may differ due to oven type, assembly layout, or other process variables.

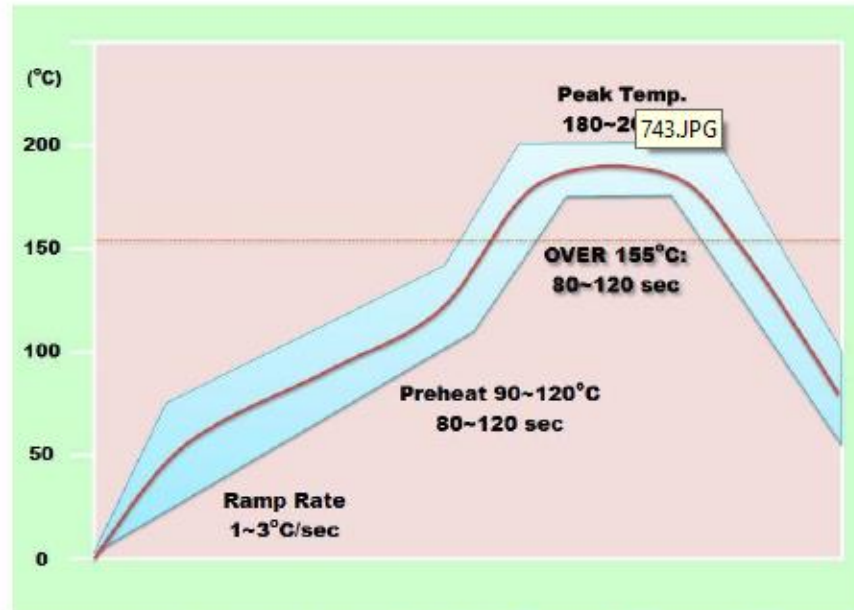
Ramp Up Rate (30~90°C):	1.0~3.0°C/sec
Pre-heating Time (90~120°C) :	30~120 sec
Time Period Above 140°C:	40~80 sec
Peak Temperature:	155~185°C
Ramp Down Rate During Cooling:	1.0~6.0°C/sec



## Příloha 9 - Pájecí profil pro pastu PF743-PQ10



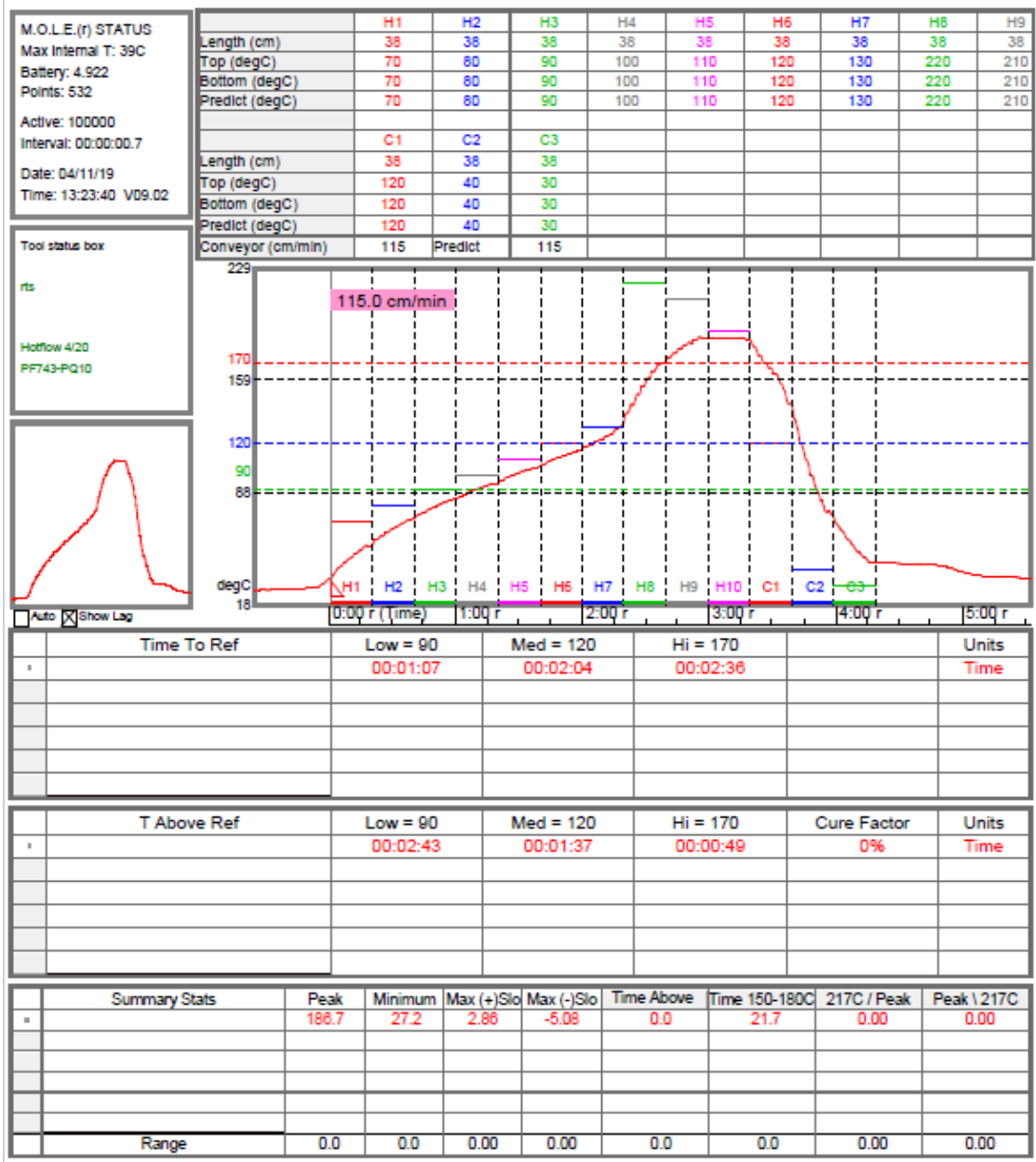
### – Temperature Profile –



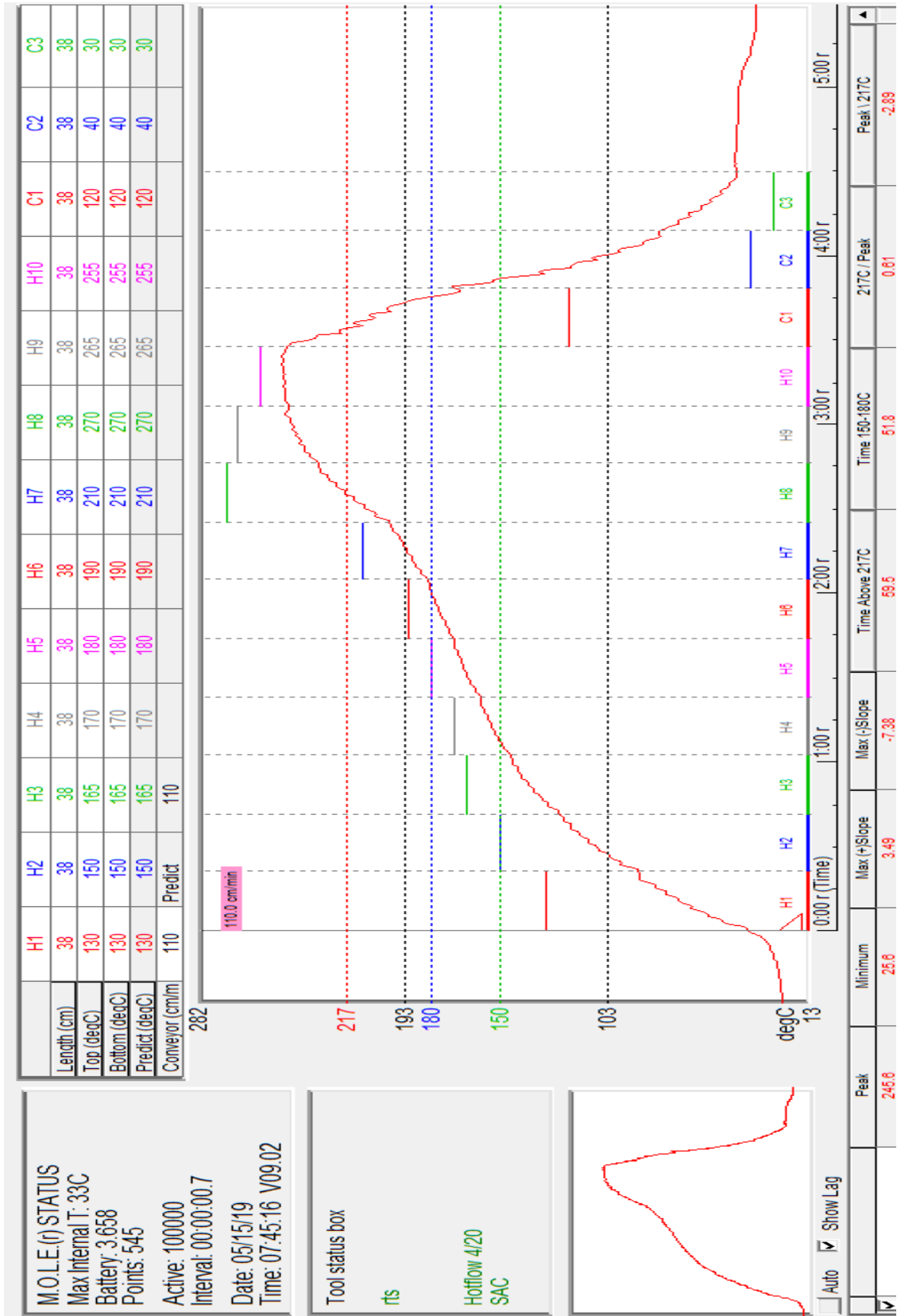
The recommended reflow profile for the PF743-PQ10 is provided as a guideline. Optimal profile may differ due to oven type, assembly layout, or other process variables.

Ramp Up Rate (30~90°C):	1.0~3.0°C/sec
Pre-heating Time (90~120°C) :	80~120 sec
Time Period Above 155°C:	80~120 sec
Peak Temperature:	180~200°C
Ramp Down Rate During Cooling:	1.0~6.0°C/sec

# Příloha 10 - Změřený profil pro pastu PF743-PQ10



# Příloha 11 - Změřený profil pro SAC305



## Příloha 12 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 5 ENIG

Tabulka 5: Průměrné hodnoty pevnosti DPS č. 5 ENIG, první řada

DPS č. 5, ENIG, první řada											
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,6	25,8	95	3,1	39,0	142	4,6	58,0
2	0,0	5,5	49	1,6	26,0	96	3,1	39,2	143	4,6	58,3
3	0,1	6,9	50	1,6	26,2	97	3,2	40,1	144	4,7	58,5
4	0,1	7,0	51	1,7	26,8	98	3,2	40,2	145	4,7	59,2
5	0,1	7,9	52	1,7	27,0	99	3,2	41,0	146	4,7	59,5
6	0,2	8,2	53	1,7	27,3	100	3,3	41,1	147	4,8	60,0
7	0,2	8,9	54	1,7	27,4	101	3,3	41,7	148	4,8	60,2
8	0,2	9,3	55	1,8	27,7	102	3,3	41,9	149	4,8	60,2
9	0,3	10,1	56	1,8	27,7	103	3,4	42,7	150	4,8	61,4
10	0,3	10,5	57	1,8	27,8	104	3,4	43,0	151	4,9	61,6
11	0,4	11,4	58	1,9	27,8	105	3,4	43,9	152	4,9	62,2
12	0,4	11,8	59	1,9	28,0	106	3,5	44,1	153	4,9	62,2
13	0,4	12,7	60	1,9	28,0	107	3,5	45,1	154	5,0	62,6
14	0,5	13,2	61	2,0	28,1	108	3,5	45,2	155	5,0	62,8
15	0,5	14,1	62	2,0	28,1	109	3,6	45,9	156	5,0	63,5
16	0,5	14,6	63	2,0	28,2	110	3,6	46,0	157	5,1	63,7
17	0,6	15,4	64	2,0	28,2	111	3,6	46,6	158	5,1	64,0
18	0,6	15,8	65	2,1	28,4	112	3,7	46,7	159	5,1	64,0
19	0,6	16,8	66	2,1	28,5	113	3,7	47,5	160	5,2	64,4
20	0,7	17,1	67	2,2	28,6	114	3,7	47,7	161	5,2	64,7
21	0,7	17,9	68	2,2	28,7	115	3,8	48,3	162	5,2	65,3
22	0,7	18,4	69	2,2	28,9	116	3,8	48,3	163	5,3	65,5
23	0,8	19,2	70	2,2	29,0	117	3,8	49,0			
24	0,8	19,5	71	2,3	29,3	118	3,8	49,1			
25	0,8	20,2	72	2,3	29,4	119	3,9	49,8			
26	0,9	20,3	73	2,4	29,8	120	3,9	50,0			
27	0,9	20,9	74	2,4	29,9	121	4,0	50,7			
28	0,9	21,1	75	2,4	30,2	122	4,0	50,9			
29	1,0	21,6	76	2,4	30,3	123	4,0	51,0			
30	1,0	21,7	77	2,5	30,8	124	4,0	51,1			
31	1,0	22,0	78	2,5	31,0	125	4,1	51,5			
32	1,0	22,1	79	2,6	31,7	126	4,1	51,5			
33	1,1	22,3	80	2,6	32,0	127	4,2	51,9			
34	1,1	22,5	81	2,6	32,7	128	4,2	52,0			
35	1,1	22,7	82	2,6	32,8	129	4,2	52,4			
36	1,2	22,8	83	2,7	33,6	130	4,2	52,5			
37	1,2	22,9	84	2,7	33,8	131	4,3	53,1			
38	1,2	23,1	85	2,8	34,4	132	4,3	53,4			
39	1,3	23,2	86	2,8	34,5	133	4,3	54,0			
40	1,3	23,4	87	2,8	35,2	134	4,4	54,1			
41	1,3	23,7	88	2,8	35,3	135	4,4	54,6			
42	1,4	23,9	89	2,9	36,0	136	4,4	54,9			
43	1,4	24,3	90	2,9	36,2	137	4,5	55,7			
44	1,4	24,6	91	3,0	37,0	138	4,5	55,9			
45	1,5	25,0	92	3,0	37,2	139	4,5	56,6			
46	1,5	25,2	93	3,0	38,0	140	4,5	56,9			
47	1,5	25,4	94	3,0	38,1	141	4,6	57,7			

**Tabulka 6: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 5 ENIG, druhá řada**

DPS č. 5, ENIG, druhá řada											
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,1	48	1,6	24,2	95	3,0	34,4	142	4,6	57,8
2	0,0	5,4	49	1,6	24,3	96	3,1	35,2	143	4,7	58,1
3	0,1	6,9	50	1,6	24,4	97	3,1	35,5	144	4,7	58,6
4	0,1	7,0	51	1,6	24,4	98	3,1	36,3	145	4,7	58,9
5	0,2	7,9	52	1,7	24,5	99	3,2	36,7	146	4,8	59,3
6	0,2	8,1	53	1,7	24,5	100	3,2	37,4	147	4,8	59,6
7	0,2	9,2	54	1,7	24,5	101	3,2	37,8	148	4,8	60,1
8	0,3	9,4	55	1,8	24,5	102	3,3	38,1	149	4,9	60,3
9	0,3	10,7	56	1,8	24,5	103	3,3	38,5	150	4,9	60,7
10	0,3	10,8	57	1,8	24,5	104	3,3	39,1	151	4,9	61,1
11	0,4	12,0	58	1,9	24,5	105	3,4	39,5	152	5,0	63,0
12	0,4	12,2	59	1,9	24,5	106	3,4	40,1	153	5,0	63,0
13	0,4	13,3	60	1,9	24,6	107	3,5	40,5	154	5,0	63,4
14	0,5	13,5	61	1,9	24,6	108	3,5	41,4	155	5,1	63,4
15	0,5	14,7	62	2,0	24,7	109	3,5	41,9	156	5,1	64,0
16	0,6	15,0	63	2,0	24,9	110	3,6	42,5	157	5,1	64,2
17	0,6	15,9	64	2,0	24,9	111	3,6	42,8	158	5,2	64,7
18	0,6	16,1	65	2,1	25,2	112	3,6	43,4	159	5,2	64,7
19	0,7	16,8	66	2,1	25,3	113	3,7	43,7	160	5,2	65,0
20	0,7	16,9	67	2,1	25,5	114	3,7	44,1			
21	0,7	17,7	68	2,2	25,5	115	3,7	44,2			
22	0,7	17,8	69	2,2	25,7	116	3,8	44,8			
23	0,8	18,3	70	2,2	25,7	117	3,8	44,9			
24	0,8	18,4	71	2,3	25,7	118	3,8	45,5			
25	0,8	18,9	72	2,3	25,7	119	3,9	45,7			
26	0,9	19,0	73	2,3	25,7	120	3,9	46,3			
27	0,9	19,3	74	2,4	25,7	121	3,9	46,8			
28	0,9	19,4	75	2,4	25,9	122	4,0	47,5			
29	1,0	19,8	76	2,4	26,0	123	4,0	48,0			
30	1,0	20,0	77	2,4	26,6	124	4,0	48,7			
31	1,0	20,3	78	2,5	26,8	125	4,1	49,1			
32	1,1	20,6	79	2,5	27,3	126	4,1	49,8			
33	1,1	20,8	80	2,5	27,6	127	4,1	50,4			
34	1,1	20,9	81	2,6	28,2	128	4,2	51,0			
35	1,1	21,2	82	2,6	28,7	129	4,2	51,4			
36	1,2	21,3	83	2,6	28,8	130	4,2	51,9			
37	1,2	21,5	84	2,7	29,1	131	4,3	52,4			
38	1,2	21,8	85	2,7	29,2	132	4,3	53,0			
39	1,3	22,0	86	2,7	29,6	133	4,3	53,3			
40	1,3	22,3	87	2,8	29,7	134	4,4	54,0			
41	1,3	22,5	88	2,8	30,2	135	4,4	54,4			
42	1,4	22,7	89	2,8	30,6	136	4,4	55,0			
43	1,4	22,9	90	2,9	31,3	137	4,5	55,4			
44	1,4	23,1	91	2,9	31,8	138	4,5	56,0			
45	1,5	23,4	92	2,9	32,6	139	4,5	56,4			
46	1,5	23,7	93	3,0	33,0	140	4,6	56,8			
47	1,5	24,0	94	3,0	33,8	141	4,6	57,1			

# Příloha 13 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 8 imerzní cín

Tabulka 7: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 8 imerzní cín, první řada

DPS č. 8, imerzní cín, první řada											
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,5	25,0	95	3,0	40,7	142	4,5	65,6
2	0,0	5,6	49	1,5	25,1	96	3,1	41,3	143	4,6	65,7
3	0,1	7,1	50	1,6	25,1	97	3,1	41,8	144	4,6	66,8
4	0,1	7,3	51	1,6	25,2	98	3,1	42,3	145	4,6	66,9
5	0,2	8,5	52	1,6	25,3	99	3,2	42,5	146	4,7	67,3
6	0,2	8,9	53	1,7	25,4	100	3,2	43,0	147	4,7	67,5
7	0,2	10,1	54	1,7	25,4	101	3,2	43,4	148	4,7	68,2
8	0,3	10,5	55	1,7	25,5	102	3,3	44,0	149	4,8	68,4
9	0,3	11,8	56	1,7	25,5	103	3,3	44,5	150	4,8	69,2
10	0,3	12,2	57	1,8	25,7	104	3,3	45,4	151	4,8	69,3
11	0,4	13,4	58	1,8	25,7	105	3,4	46,0	152	4,9	69,7
12	0,4	13,7	59	1,8	25,9	106	3,4	46,1	153	4,9	69,8
13	0,5	14,9	60	1,9	26,0	107	3,4	46,7			
14	0,5	15,2	61	1,9	26,1	108	3,5	46,8			
15	0,5	16,4	62	1,9	26,3	109	3,5	47,4			
16	0,6	16,6	63	2,0	26,7	110	3,5	47,9			
17	0,6	17,4	64	2,0	27,1	111	3,6	48,5			
18	0,6	17,6	65	2,0	27,5	112	3,6	49,1			
19	0,6	18,4	66	2,0	27,8	113	3,6	49,7			
20	0,7	18,5	67	2,1	28,1	114	3,7	50,2			
21	0,7	19,1	68	2,1	28,4	115	3,7	50,6			
22	0,7	19,2	69	2,1	28,6	116	3,7	51,0			
23	0,8	19,8	70	2,2	28,8	117	3,8	51,1			
24	0,8	19,9	71	2,2	29,2	118	3,8	52,6			
25	0,8	20,3	72	2,2	29,6	119	3,8	52,8			
26	0,8	20,4	73	2,3	29,9	120	3,8	53,8			
27	0,9	20,7	74	2,3	30,4	121	3,9	54,0			
28	0,9	20,8	75	2,3	30,7	122	3,9	55,1			
29	0,9	21,2	76	2,4	31,2	123	3,9	55,2			
30	1,0	21,3	77	2,4	31,6	124	3,9	56,2			
31	1,0	21,6	78	2,4	32,2	125	4,0	56,5			
32	1,0	21,7	79	2,5	32,6	126	4,0	57,4			
33	1,1	22,0	80	2,5	33,1	127	4,1	57,6			
34	1,1	22,2	81	2,5	33,4	128	4,1	58,4			
35	1,1	22,5	82	2,6	33,9	129	4,1	58,5			
36	1,1	22,8	83	2,6	34,2	130	4,2	59,5			
37	1,2	23,2	84	2,6	34,8	131	4,2	59,7			
38	1,2	23,4	85	2,7	35,3	132	4,2	60,5			
39	1,2	23,7	86	2,7	35,9	133	4,3	60,6			
40	1,3	23,9	87	2,7	36,3	134	4,3	61,7			
41	1,3	24,1	88	2,8	36,7	135	4,3	62,0			
42	1,3	24,3	89	2,8	37,2	136	4,3	62,8			
43	1,4	24,5	90	2,9	37,8	137	4,4	62,9			
44	1,4	24,7	91	2,9	38,4	138	4,4	63,8			
45	1,4	24,7	92	2,9	39,0	139	4,4	63,9			
46	1,5	24,9	93	3,0	39,6	140	4,5	64,8			
47	1,5	24,9	94	3,0	40,2	141	4,5	65,0			

**Tabulka 8: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 8 imerzní cín, druhá řada**

DPS č. 8, imerzní cín, druhá řada											
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,1	48	1,5	25,6	95	3,0	32,3	142	4,6	53,3
2	0,0	5,4	49	1,6	25,8	96	3,0	32,9	143	4,7	54,0
3	0,1	6,7	50	1,6	26,0	97	3,1	33,2	144	4,7	54,8
4	0,1	6,9	51	1,6	26,1	98	3,1	33,8	145	4,7	54,9
5	0,2	8,0	52	1,6	26,3	99	3,1	34,1	146	4,7	55,8
6	0,2	8,3	53	1,7	26,4	100	3,2	34,6	147	4,8	55,9
7	0,2	9,4	54	1,7	26,5	101	3,2	35,0	148	4,8	56,9
8	0,3	9,7	55	1,7	26,5	102	3,2	35,6	149	4,9	57,2
9	0,3	10,8	56	1,8	26,6	103	3,3	36,0	150	4,9	58,0
10	0,3	11,1	57	1,8	26,7	104	3,3	36,5	151	4,9	58,2
11	0,4	12,1	58	1,8	26,7	105	3,3	36,8	152	4,9	58,9
12	0,4	12,4	59	1,9	26,7	106	3,4	37,3			
13	0,5	13,4	60	1,9	26,8	107	3,4	37,6			
14	0,5	13,7	61	1,9	26,8	108	3,4	38,3			
15	0,5	14,7	62	2,0	26,8	109	3,5	38,6			
16	0,5	14,9	63	2,0	26,8	110	3,5	39,2			
17	0,6	15,9	64	2,0	26,8	111	3,5	39,6			
18	0,6	16,2	65	2,0	26,8	112	3,6	40,1			
19	0,7	17,2	66	2,1	26,8	113	3,6	40,2			
20	0,7	17,4	67	2,1	26,8	114	3,6	40,6			
21	0,7	18,2	68	2,1	26,9	115	3,7	40,6			
22	0,7	18,3	69	2,2	26,9	116	3,7	40,8			
23	0,8	18,9	70	2,2	26,9	117	3,7	40,7			
24	0,8	19,1	71	2,2	26,9	118	3,8	40,9			
25	0,8	19,6	72	2,3	26,9	119	3,9	41,4			
26	0,9	19,7	73	2,3	27,0	120	3,9	41,6			
27	0,9	20,2	74	2,3	27,0	121	3,9	42,3			
28	0,9	20,4	75	2,3	27,2	122	4,0	42,4			
29	1,0	20,7	76	2,4	27,5	123	4,0	43,2			
30	1,0	21,0	77	2,4	27,8	124	4,0	43,4			
31	1,0	21,3	78	2,4	28,1	125	4,1	43,7			
32	1,0	21,5	79	2,5	28,5	126	4,1	43,8			
33	1,1	21,7	80	2,5	28,8	127	4,1	45,6			
34	1,1	22,1	81	2,5	29,2	128	4,1	46,2			
35	1,1	22,2	82	2,6	29,4	129	4,2	46,3			
36	1,2	22,7	83	2,6	29,7	130	4,2	46,8			
37	1,2	22,9	84	2,6	29,9	131	4,2	47,5			
38	1,2	23,5	85	2,7	30,0	132	4,2	48,0			
39	1,3	23,7	86	2,7	30,1	133	4,2	48,7			
40	1,3	24,0	87	2,7	30,0	134	4,4	49,1			
41	1,3	24,2	88	2,8	30,0	135	4,4	49,8			
42	1,4	24,5	89	2,8	30,1	136	4,4	50,4			
43	1,4	24,6	90	2,8	30,4	137	4,5	51,0			
44	1,4	24,8	91	2,8	30,5	138	4,5	51,4			
45	1,4	24,9	92	2,9	30,9	139	4,5	51,9			
46	1,5	25,2	93	2,9	31,3	140	4,6	52,4			
47	1,5	25,4	94	3,0	31,9	141	4,6	53,0			

# Příloha 14 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 15 ENIG

Tabulka 9: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 15 ENIG, první řada

DPS č. 15, ENIG, první řada								
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,3	48	1,5	26,4	95	3,0	48,1
2	0,0	5,8	49	1,5	26,5	96	3,0	48,9
3	0,1	7,2	50	1,6	27,0	97	3,1	49,7
4	0,1	7,4	51	1,6	27,1	98	3,1	50,4
5	0,1	8,5	52	1,6	27,6	99	3,1	50,7
6	0,2	8,9	53	1,6	27,8	100	3,2	51,3
7	0,2	10,1	54	1,7	28,4	101	3,2	51,8
8	0,2	10,5	55	1,7	28,5	102	3,2	52,1
9	0,3	11,6	56	1,7	28,9	103	3,3	52,2
10	0,3	11,9	57	1,8	29,1	104	3,3	52,3
11	0,4	13,0	58	1,8	29,6	105	3,3	52,9
12	0,4	13,2	59	1,8	29,8	106	3,4	53,0
13	0,4	14,1	60	1,9	30,2	107	3,4	53,6
14	0,5	14,2	61	1,9	30,2	108	3,4	53,7
15	0,5	15,2	62	1,9	30,2	109	3,5	54,3
16	0,5	15,4	63	1,9	30,4	110	3,5	54,4
17	0,6	16,3	64	2,0	30,8	111	3,5	54,9
18	0,6	16,6	65	2,0	31,0	112	3,6	55,0
19	0,6	17,4	66	2,0	31,7	113	3,6	55,5
20	0,6	17,8	67	2,1	31,9	114	3,6	55,6
21	0,7	18,3	68	2,1	32,5	115	3,7	56,4
22	0,7	18,7	69	2,1	32,8	116	3,7	56,5
23	0,7	19,2	70	2,1	33,5	117	3,7	57,0
24	0,8	19,3	71	2,2	33,7	118	3,8	57,1
25	0,8	19,8	72	2,2	34,5	119	3,8	57,7
26	0,8	19,8	73	2,3	35,0	120	3,8	57,7
27	0,8	20,1	74	2,3	35,6	121	3,9	58,1
28	0,9	20,4	75	2,3	36,0	122	3,9	58,2
29	0,9	20,8	76	2,3	36,6	123	3,9	58,6
30	0,9	20,9	77	2,4	36,9	124	4,0	58,6
31	1,0	21,4	78	2,4	37,9			
32	1,0	21,5	79	2,4	38,5			
33	1,0	21,9	80	2,5	39,4			
34	1,0	22,1	81	2,5	39,9			
35	1,1	22,6	82	2,5	40,8			
36	1,1	22,8	83	2,6	41,3			
37	1,1	23,3	84	2,6	42,1			
38	1,2	23,5	85	2,6	42,5			
39	1,2	23,8	86	2,7	43,0			
40	1,2	24,2	87	2,7	43,6			
41	1,3	24,5	88	2,7	44,2			
42	1,3	24,7	89	2,8	44,7			
43	1,3	24,9	90	2,8	45,3			
44	1,3	25,2	91	2,9	45,6			
45	1,4	25,4	92	2,9	46,3			
46	1,4	25,9	93	2,9	46,8			
47	1,5	26,1	94	3,0	47,5			

**Tabulka 10: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 15 ENIG, druhá řada**

DPS č. 15, ENIG, druhá řada								
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,5	23,5	95	2,9	45,6
2	0,0	5,6	49	1,5	23,5	96	3,0	46,2
3	0,1	7,3	50	1,6	23,9	97	3,0	47,1
4	0,1	7,5	51	1,6	24,2	98	3,1	47,6
5	0,2	8,9	52	1,6	24,3	99	3,1	48,5
6	0,2	9,3	53	1,7	24,6	100	3,1	49,0
7	0,2	10,5	54	1,7	24,9	101	3,2	49,3
8	0,3	10,7	55	1,7	25,4	102	3,2	50,1
9	0,3	11,9	56	1,7	25,7	103	3,2	50,6
10	0,3	12,1	57	1,8	26,2	104	3,3	51,2
11	0,4	13,0	58	1,8	26,5	105	3,3	51,7
12	0,4	13,2	59	1,8	26,5	106	3,4	52,5
13	0,5	14,0	60	1,9	26,8	107	3,4	52,9
14	0,5	14,2	61	1,9	26,9	108	3,4	53,3
15	0,5	15,1	62	1,9	27,6	109	3,5	53,7
16	0,5	15,2	63	1,9	27,8	110	3,5	54,1
17	0,6	15,8	64	2,0	28,4	111	3,5	54,6
18	0,6	16,2	65	2,0	28,7	112	3,6	55,1
19	0,6	16,6	66	2,0	29,1	113	3,6	55,5
20	0,7	16,8	67	2,1	29,6	114	3,6	56,0
21	0,7	17,0	68	2,1	29,7	115	3,7	56,3
22	0,7	17,3	69	2,1	30,4	116	3,7	58,6
23	0,7	17,4	70	2,2	30,8	117	3,7	59,4
24	0,8	17,7	71	2,2	31,5	118	3,8	59,5
25	0,8	17,8	72	2,2	32,0	119	3,8	60,3
26	0,9	18,0	73	2,2	32,5	120	3,8	60,5
27	0,9	18,1	74	2,3	33,0	121	3,9	61,4
28	0,9	18,3	75	2,3	33,6	122	3,9	61,5
29	0,9	18,4	76	2,3	34,3	123	3,9	62,2
30	1,0	18,6	77	2,4	35,0	124	4,0	62,4
31	1,0	18,7	78	2,4	35,5	125	4,0	63,0
32	1,0	18,9	79	2,4	36,3	126	4,0	63,2
33	1,1	19,2	80	2,5	36,7	127	4,1	63,6
34	1,1	19,5	81	2,5	37,6	128	4,1	63,8
35	1,1	19,8	82	2,5	37,9	129	4,1	64,4
36	1,2	20,3	83	2,6	38,8	130	4,2	64,5
37	1,2	20,5	84	2,6	39,1	131	4,2	65,0
38	1,2	20,8	85	2,6	39,8	132	4,2	65,0
39	1,2	20,9	86	2,7	40,0	133	4,3	65,6
40	1,3	21,2	87	2,7	40,6	134	4,3	65,6
41	1,3	21,4	88	2,7	40,8			
42	1,3	22,0	89	2,7	41,3			
43	1,4	22,1	90	2,8	41,7			
44	1,4	22,5	91	2,8	42,5			
45	1,4	22,6	92	2,9	43,1			
46	1,5	23,0	93	2,9	44,1			
47	1,5	23,1	94	2,9	44,5			

# Příloha 15 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 9 imerzní cín

Tabulka 11: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 9 imerzní cín, první řada

DPS č. 9, imerzní cín, první řada								
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,5	26,2	95	3,0	44,3
2	0,0	5,6	49	1,6	26,6	96	3,0	44,7
3	0,1	7,0	50	1,6	26,8	97	3,1	45,4
4	0,1	7,3	51	1,6	27,2	98	3,1	46,0
5	0,2	8,6	52	1,6	27,8	99	3,2	46,4
6	0,2	9,1	53	1,7	28,1	100	3,2	46,7
7	0,2	9,9	54	1,7	28,7	101	3,2	47,1
8	0,3	10,7	55	1,7	28,9	102	3,3	47,4
9	0,3	11,4	56	1,8	29,5	103	3,3	47,8
10	0,3	12,3	57	1,8	29,6	104	3,3	47,9
11	0,4	13,1	58	1,8	29,9	105	3,4	48,3
12	0,4	13,8	59	1,9	30,1	106	3,4	48,5
13	0,5	14,7	60	1,9	30,4	107	3,4	49,0
14	0,5	15,3	61	1,9	30,5	108	3,5	49,5
15	0,5	16,3	62	2,0	30,9	109	3,5	50,3
16	0,6	16,8	63	2,0	31,0	110	3,6	50,7
17	0,6	17,7	64	2,0	31,4	111	3,6	51,1
18	0,6	18,1	65	2,0	31,6	112	3,6	51,6
19	0,7	18,8	66	2,1	32,0	113	3,7	52,2
20	0,7	19,0	67	2,1	32,1	114	3,7	52,6
21	0,7	19,9	68	2,1	32,5	115	3,7	53,1
22	0,7	20,1	69	2,2	32,6	116	3,7	53,6
23	0,8	21,0	70	2,2	32,8	117	3,8	53,9
24	0,8	21,2	71	2,2	32,8	118	3,8	53,9
25	0,9	21,8	72	2,3	32,8	119	3,8	54,1
26	0,9	21,9	73	2,3	32,9	120	3,9	54,6
27	0,9	22,5	74	2,3	33,2	121	3,9	54,7
28	0,9	22,6	75	2,3	33,3	122	3,9	55,2
29	1,0	23,1	76	2,4	33,9	123	4,0	55,3
30	1,0	23,3	77	2,4	34,0			
31	1,0	23,5	78	2,4	34,6			
32	1,1	23,7	79	2,5	34,9			
33	1,1	23,8	80	2,5	35,5			
34	1,1	23,9	81	2,5	36,0			
35	1,1	24,1	82	2,6	36,7			
36	1,2	24,6	83	2,6	37,6			
37	1,2	24,7	84	2,6	38,2			
38	1,2	24,9	85	2,7	38,7			
39	1,3	24,9	86	2,7	39,2			
40	1,3	25,0	87	2,7	39,6			
41	1,3	25,1	88	2,8	39,7			
42	1,3	25,2	89	2,8	40,4			
43	1,4	25,3	90	2,8	40,9			
44	1,4	25,4	91	2,9	41,7			
45	1,4	25,6	92	2,9	42,2			
46	1,5	25,7	93	2,9	43,0			
47	1,5	26,0	94	3,0	43,6			

**Tabulka 12: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 9 imerzní cín, druhá řada**

DPS č. 9, imerzní cín, druhá řada								
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,5	24,7	95	3,0	36,9
2	0,0	5,6	49	1,5	25,0	96	3,0	37,5
3	0,1	6,7	50	1,6	25,2	97	3,0	37,7
4	0,1	6,8	51	1,6	25,4	98	3,1	38,4
5	0,2	7,7	52	1,6	25,5	99	3,1	38,6
6	0,2	8,0	53	1,6	25,6	100	3,2	39,3
7	0,2	9,0	54	1,7	25,7	101	3,2	39,7
8	0,3	9,3	55	1,7	25,8	102	3,2	40,2
9	0,3	10,3	56	1,7	25,9	103	3,2	40,6
10	0,3	10,5	57	1,8	26,0	104	3,3	40,9
11	0,4	11,6	58	1,8	26,0	105	3,3	41,2
12	0,4	11,7	59	1,8	26,0	106	3,3	41,6
13	0,4	12,8	60	1,9	26,1	107	3,4	41,9
14	0,5	13,0	61	1,9	26,3	108	3,4	42,0
15	0,5	14,0	62	1,9	26,6	109	3,4	42,6
16	0,5	14,2	63	1,9	26,7	110	3,4	42,8
17	0,6	15,3	64	2,0	27,0	111	3,5	43,9
18	0,6	15,7	65	2,0	27,1	112	3,5	44,1
19	0,6	16,7	66	2,0	27,2	113	3,5	44,8
20	0,7	16,9	67	2,1	27,3	114	3,6	45,0
21	0,7	17,9	68	2,1	27,3	115	3,6	45,9
22	0,7	18,1	69	2,1	27,6	116	3,6	46,1
23	0,8	19,0	70	2,2	27,8	117	3,7	46,7
24	0,8	19,1	71	2,2	28,0	118	3,7	46,8
25	0,8	19,8	72	2,2	28,4	119	3,7	47,4
26	0,8	19,9	73	2,2	28,6	120	3,8	47,5
27	0,9	20,5	74	2,3	29,1	121	3,8	47,9
28	0,9	20,6	75	2,3	29,3			
29	0,9	21,0	76	2,4	29,7			
30	1,0	21,1	77	2,4	29,9			
31	1,0	21,3	78	2,4	30,3			
32	1,0	21,5	79	2,4	30,4			
33	1,0	21,6	80	2,5	30,8			
34	1,1	21,9	81	2,5	30,8			
35	1,1	22,2	82	2,5	31,2			
36	1,1	22,6	83	2,6	31,3			
37	1,2	22,9	84	2,6	31,8			
38	1,2	23,3	85	2,6	32,0			
39	1,2	23,5	86	2,7	32,3			
40	1,3	23,7	87	2,7	32,5			
41	1,3	23,8	88	2,7	33,0			
42	1,3	23,9	89	2,8	33,5			
43	1,3	24,0	90	2,8	34,2			
44	1,4	24,2	91	2,8	34,6			
45	1,4	24,3	92	2,9	35,4			
46	1,4	24,4	93	2,9	35,8			
47	1,5	24,5	94	2,9	36,6			

# Příloha 16 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 23 ENIG

Tabulka 13: Průměrné hodnoty pro DPS č. 23 ENIG, první řada

DPS č. 23, ENIG, první řada											
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,3	48	1,5	24,7	95	3,0	35,0	142	4,6	60,7
2	0,0	5,7	49	1,6	24,8	96	3,0	35,8	143	4,6	61,1
3	0,1	7,1	50	1,6	25,0	97	3,1	36,2	144	4,6	61,6
4	0,1	7,2	51	1,6	25,1	98	3,1	37,0	145	4,7	62,1
5	0,2	8,3	52	1,6	25,2	99	3,1	37,4	146	4,7	62,7
6	0,2	8,7	53	1,7	25,4	100	3,2	38,1	147	4,7	63,0
7	0,2	9,7	54	1,7	25,4	101	3,2	38,5	148	4,8	63,5
8	0,3	10,0	55	1,7	25,4	102	3,3	39,2	149	4,8	64,0
9	0,3	11,0	56	1,8	25,5	103	3,3	39,6	150	4,8	64,4
10	0,3	11,2	57	1,8	25,5	104	3,3	40,3	151	4,9	64,9
11	0,4	12,3	58	1,8	25,5	105	3,4	40,7	152	4,9	65,2
12	0,4	12,5	59	1,8	25,6	106	3,4	41,5	153	4,9	65,7
13	0,5	13,5	60	1,9	25,6	107	3,4	41,9	154	5,0	66,1
14	0,5	13,7	61	1,9	25,6	108	3,5	42,4	155	5,0	66,5
15	0,5	14,6	62	1,9	25,6	109	3,5	42,8	156	5,0	66,9
16	0,5	14,8	63	2,0	25,7	110	3,5	43,3	157	5,1	67,2
17	0,6	15,8	64	2,0	25,7	111	3,6	43,6	158	5,1	67,5
18	0,6	16,0	65	2,0	25,7	112	3,6	44,4	159	5,1	68,0
19	0,6	17,0	66	2,1	25,7	113	3,6	44,6	160	5,1	68,3
20	0,7	17,1	67	2,1	25,7	114	3,7	45,3	161	5,2	68,8
21	0,7	18,0	68	2,1	25,7	115	3,7	45,6	162	5,2	69,2
22	0,7	18,1	69	2,1	25,7	116	3,8	46,1	163	5,3	69,5
23	0,8	18,9	70	2,2	25,7	117	3,8	46,2	164	5,3	69,8
24	0,8	19,0	71	2,2	25,8	118	3,8	46,8	165	5,3	70,1
25	0,8	19,6	72	2,2	25,9	119	3,8	46,9	166	5,4	70,5
26	0,9	19,8	73	2,3	26,1	120	3,9	47,5	167	5,4	70,7
27	0,9	20,1	74	2,3	26,2	121	3,9	47,7			
28	0,9	20,4	75	2,3	26,4	122	3,9	48,3			
29	0,9	20,5	76	2,4	26,6	123	4,0	48,6			
30	1,0	20,7	77	2,4	26,8	124	4,0	49,2			
31	1,0	20,8	78	2,4	27,1	125	4,0	49,6			
32	1,0	20,9	79	2,5	27,4	126	4,1	50,1			
33	1,1	21,0	80	2,5	27,8	127	4,1	50,5			
34	1,1	21,1	81	2,5	28,1	128	4,1	51,2			
35	1,1	21,2	82	2,6	28,7	129	4,2	51,6			
36	1,2	21,3	83	2,6	29,2	130	4,2	52,4			
37	1,2	21,4	84	2,6	29,6	131	4,2	52,7			
38	1,2	21,6	85	2,7	30,1	132	4,3	53,4			
39	1,2	21,7	86	2,7	30,6	133	4,3	53,9			
40	1,3	21,9	87	2,7	31,2	134	4,3	54,5			
41	1,3	22,0	88	2,8	31,7	135	4,4	56,3			
42	1,3	22,3	89	2,8	32,1	136	4,4	56,7			
43	1,4	22,6	90	2,8	32,6	137	4,4	58,2			
44	1,4	23,2	91	2,9	33,0	138	4,5	58,7			
45	1,4	23,4	92	2,9	33,7	139	4,5	59,2			
46	1,5	24,0	93	2,9	34,0	140	4,5	59,8			
47	1,5	24,4	94	3,0	34,6	141	4,6	60,3			

**Tabulka 14: Průměrné hodnoty pro DPS č. 23 ENIG, druhá řada**

DPS č. 23, ENIG, druhá řada											
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,6	23,1	95	3,0	36,0	141	4,5	55,1
2	0,0	5,6	49	1,6	23,5	96	3,1	36,5	142	4,5	55,1
3	0,1	6,8	50	1,6	23,8	97	3,1	36,9	143	4,6	55,6
4	0,1	7,0	51	1,7	24,4	98	3,1	37,2	144	4,6	55,9
5	0,2	8,0	52	1,7	24,6	99	3,2	37,5	145	4,6	56,0
6	0,2	8,3	53	1,7	25,0	100	3,2	37,9	146	4,7	56,5
7	0,2	9,4	54	1,7	25,2	101	3,2	38,2	147	4,7	56,7
8	0,3	9,7	55	1,8	25,6	102	3,3	38,5	148	4,7	57,3
9	0,3	10,6	56	1,8	25,8	103	3,3	38,8	149	4,8	57,5
10	0,3	10,8	57	1,8	26,1	104	3,3	39,1	150	4,8	57,8
11	0,4	11,6	58	1,9	26,2	105	3,4	39,5	151	4,8	58,2
12	0,4	11,8	59	1,9	26,5	106	3,4	39,8	152	4,9	58,4
13	0,4	12,7	60	1,9	26,6	107	3,4	40,2	153	4,9	59,0
14	0,5	13,0	61	2,0	26,9	108	3,5	40,6	154	4,9	59,1
15	0,5	13,6	62	2,0	27,1	109	3,5	41,1	155	5,0	59,6
16	0,5	13,7	63	2,0	27,4	110	3,5	41,5	156	5,0	59,7
17	0,6	14,5	64	2,1	27,6	111	3,6	42,1	157	5,0	60,2
18	0,6	14,7	65	2,1	27,9	112	3,6	42,7	158	5,1	60,4
19	0,6	15,6	66	2,1	28,1	113	3,6	43,1	159	5,1	60,7
20	0,7	15,7	67	2,1	28,1	114	3,7	43,4	160	5,1	61,0
21	0,7	16,4	68	2,2	28,2	115	3,7	44,0	161	5,2	61,4
22	0,7	16,6	69	2,2	28,2	116	3,7	44,2	162	5,2	61,7
23	0,8	17,1	70	2,2	28,3	117	3,8	44,7	163	5,2	62,0
24	0,8	17,2	71	2,3	28,7	118	3,8	44,9	164	5,3	62,3
25	0,8	17,5	72	2,3	28,9	119	3,8	45,5	165	5,3	62,5
26	0,9	17,7	73	2,3	29,3	120	3,9	45,9	166	5,3	62,8
27	0,9	17,9	74	2,4	29,4	121	3,9	46,5	167	5,3	63,1
28	0,9	18,2	75	2,4	29,8	122	3,9	47,0	168	5,4	63,5
29	0,9	18,3	76	2,4	30,1	123	4,0	47,6	169	5,4	63,7
30	1,0	18,7	77	2,5	30,4	124	4,0	48,1	170	5,4	64,3
31	1,0	18,8	78	2,5	30,8	125	4,0	48,7	171	5,5	64,5
32	1,0	19,1	79	2,5	31,2	126	4,1	49,1	172	5,5	64,7
33	1,1	19,2	80	2,6	31,4	127	4,1	49,2	173	5,5	64,8
34	1,1	19,5	81	2,6	31,8	128	4,1	49,4	174	5,6	64,9
35	1,1	19,5	82	2,6	32,1	129	4,1	50,1	175	5,6	65,0
36	1,2	19,7	83	2,7	32,4	130	4,1	50,3	176	5,6	65,3
37	1,2	19,7	84	2,7	32,6	131	4,2	51,1	177	5,6	65,4
38	1,2	20,0	85	2,7	33,0	132	4,2	51,2	178	5,7	65,4
39	1,3	20,1	86	2,8	33,2	133	4,2	51,8	179	5,7	65,4
40	1,3	20,6	87	2,8	33,6	134	4,3	52,0	180	5,7	65,3
41	1,3	21,1	88	2,8	33,7	135	4,3	52,6	181	5,8	65,4
42	1,4	21,4	89	2,8	34,0	136	4,3	52,7			
43	1,4	21,7	90	2,9	34,1	137	4,4	53,5			
44	1,4	21,9	91	2,9	34,4	138	4,4	53,6			
45	1,5	22,0	92	2,9	34,7	139	4,4	54,2			
46	1,5	22,4	93	3,0	35,2	140	4,5	54,3			
47	1,5	22,9	94	3,0	35,6	141	4,5	55,1			

## Příloha 17 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 22 imerzní cín

Tabulka 15: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 22, imerzní cín, první řada

DPS č. 22, imerzní cín, první řada											
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,6	30,5	95	3,1	53,2	142	4,6	74,5
2	0,0	5,6	49	1,6	31,2	96	3,1	53,9	143	4,7	75,0
3	0,1	7,4	50	1,6	31,4	97	3,2	54,1	144	4,7	75,4
4	0,1	7,6	51	1,7	32,1	98	3,2	54,9	145	4,7	76,0
5	0,2	9,2	52	1,7	32,8	99	3,2	55,1	146	4,8	76,1
6	0,2	9,6	53	1,7	32,9	100	3,2	55,9	147	4,8	76,8
7	0,3	11,1	54	1,8	33,7	101	3,3	56,0	148	4,8	77,2
8	0,3	11,5	55	1,8	34,0	102	3,3	56,7	149	4,9	77,8
9	0,3	13,1	56	1,8	34,1	103	3,4	56,8	150	4,9	78,1
10	0,4	13,5	57	1,9	34,3	104	3,4	57,5	151	4,9	78,2
11	0,4	15,2	58	1,9	34,7	105	3,4	57,7	152	5,0	78,8
12	0,4	15,4	59	1,9	35,0	106	3,5	58,4	153	5,0	79,1
13	0,5	16,8	60	2,0	35,4	107	3,5	58,5			
14	0,5	17,1	61	2,0	35,7	108	3,5	59,1			
15	0,6	18,1	62	2,0	36,3	109	3,6	59,3			
16	0,6	18,4	63	2,1	36,6	110	3,6	59,8			
17	0,6	19,5	64	2,1	37,1	111	3,6	60,0			
18	0,7	19,8	65	2,1	37,4	112	3,7	60,7			
19	0,7	20,8	66	2,2	37,9	113	3,7	60,8			
20	0,7	20,9	67	2,2	38,2	114	3,7	61,9			
21	0,8	22,0	68	2,2	38,6	115	3,8	62,0			
22	0,8	22,1	69	2,2	38,8	116	3,8	63,0			
23	0,8	23,2	70	2,2	40,0	117	3,8	63,2			
24	0,8	23,3	71	2,3	40,1	118	3,9	64,2			
25	0,9	24,1	72	2,3	40,8	119	3,9	64,4			
26	0,9	24,3	73	2,3	40,9	120	3,9	65,4			
27	0,9	24,8	74	2,4	41,4	121	4,0	65,6			
28	1,0	25,0	75	2,4	41,5	122	4,0	66,3			
29	1,0	25,3	76	2,4	42,2	123	4,0	66,7			
30	1,0	25,4	77	2,5	42,5	124	4,1	67,4			
31	1,1	25,7	78	2,5	43,5	125	4,1	67,7			
32	1,1	25,7	79	2,5	43,7	126	4,1	68,3			
33	1,1	25,8	80	2,6	44,9	127	4,2	68,6			
34	1,1	25,8	81	2,6	45,1	128	4,2	69,1			
35	1,2	25,9	82	2,6	46,1	129	4,2	69,2			
36	1,2	25,9	83	2,7	46,4	130	4,2	69,7			
37	1,2	26,2	84	2,7	47,5	131	4,3	69,7			
38	1,3	26,3	85	2,7	47,7	132	4,3	70,4			
39	1,3	26,9	86	2,8	48,7	133	4,4	70,7			
40	1,3	27,1	87	2,8	48,9	134	4,4	71,4			
41	1,4	27,7	88	2,8	50,1	135	4,4	71,5			
42	1,4	27,8	89	2,9	50,3	136	4,4	72,2			
43	1,4	28,5	90	2,9	51,3	137	4,5	72,6			
44	1,5	28,8	91	3,0	51,4	138	4,5	73,0			
45	1,5	29,5	92	3,0	52,2	139	4,6	73,5			
46	1,5	29,6	93	3,0	52,2	140	4,6	73,7			
47	1,6	30,2	94	3,0	53,0	141	4,6	74,1			

**Tabulka 16: Průměrné hodnoty pro DPS č. 22, imerzní cín, druhá řada**

DPS č. 22, imerzní cín, druhá řada											
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,6	26,6	95	3,1	39,7	142	4,6	59,2
2	0,0	5,5	49	1,6	26,8	96	3,1	39,9	143	4,7	59,4
3	0,1	6,6	50	1,6	27,5	97	3,2	40,1	144	4,7	59,6
4	0,1	6,9	51	1,7	27,8	98	3,2	40,4	145	4,7	60,0
5	0,2	7,7	52	1,7	28,1	99	3,2	40,7	146	4,8	60,4
6	0,2	8,2	53	1,7	28,3	100	3,2	41,0	147	4,8	61,0
7	0,3	9,2	54	1,8	28,5	101	3,3	41,5	148	4,8	61,4
8	0,3	9,8	55	1,8	28,5	102	3,3	41,9	149	4,9	61,6
9	0,3	10,9	56	1,8	28,7	103	3,4	42,5	150	4,9	61,7
10	0,4	11,4	57	1,9	28,9	104	3,4	43,1	151	4,9	62,1
11	0,4	12,5	58	1,9	29,3	105	3,4	43,7	152	5,0	62,7
12	0,4	13,2	59	1,9	30,0	106	3,5	44,2	153	5,0	63,0
13	0,5	14,0	60	2,0	30,3	107	3,5	44,8	154	5,0	63,1
14	0,5	14,5	61	2,0	31,0	108	3,5	45,3	155	5,0	63,2
15	0,6	15,1	62	2,0	31,2	109	3,6	45,4	156	5,0	63,5
16	0,6	15,7	63	2,1	31,7	110	3,6	46,2	157	5,1	63,6
17	0,6	16,2	64	2,1	31,9	111	3,6	46,6	158	5,1	64,4
18	0,7	17,1	65	2,1	32,4	112	3,7	47,1	159	5,1	64,7
19	0,7	17,4	66	2,2	32,5	113	3,7	47,6	160	5,2	65,0
20	0,7	18,2	67	2,2	32,7	114	3,7	48,0	161	5,2	65,0
21	0,8	18,7	68	2,2	32,7	115	3,8	48,7			
22	0,8	19,3	69	2,2	32,8	116	3,8	48,8			
23	0,8	19,9	70	2,2	32,9	117	3,8	48,9			
24	0,8	20,5	71	2,3	33,3	118	3,9	49,3			
25	0,9	21,1	72	2,3	33,4	119	3,9	49,6			
26	0,9	21,6	73	2,3	33,8	120	3,9	50,1			
27	0,9	21,8	74	2,4	34,0	121	4,0	50,5			
28	1,0	22,2	75	2,4	34,4	122	4,0	50,8			
29	1,0	22,3	76	2,4	34,5	123	4,0	51,1			
30	1,0	22,7	77	2,5	34,9	124	4,1	51,6			
31	1,1	22,8	78	2,5	34,9	125	4,1	52,0			
32	1,1	23,0	79	2,5	35,3	126	4,1	52,4			
33	1,1	23,2	80	2,6	35,4	127	4,2	52,7			
34	1,1	23,4	81	2,6	35,8	128	4,2	53,0			
35	1,2	23,5	82	2,6	36,0	129	4,2	54,0			
36	1,2	23,7	83	2,7	36,3	130	4,2	54,2			
37	1,2	23,8	84	2,7	36,7	131	4,3	54,9			
38	1,3	24,1	85	2,7	37,0	132	4,3	55,0			
39	1,3	24,2	86	2,8	37,4	133	4,4	55,4			
40	1,3	24,5	87	2,8	37,8	134	4,4	55,9			
41	1,4	24,5	88	2,8	38,1	135	4,4	56,3			
42	1,4	24,8	89	2,9	38,4	136	4,4	56,8			
43	1,4	24,9	90	2,9	38,5	137	4,5	57,2			
44	1,5	25,2	91	3,0	38,7	138	4,5	57,4			
45	1,5	25,3	92	3,0	38,9	139	4,6	57,9			
46	1,5	25,8	93	3,0	39,2	140	4,6	58,2			
47	1,6	25,9	94	3,0	39,4	141	4,6	58,8			

# Příloha 18 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 26 ENIG

Tabulka 17: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 26 ENIG, první řada

DPS č. 26, ENIG, první řada								
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,3	48	1,5	23,7	95	3,1	48,2
2	0,0	5,8	49	1,5	23,8	96	3,1	48,5
3	0,1	7,6	50	1,6	23,9	97	3,1	49,5
4	0,1	7,9	51	1,6	23,9	98	3,2	49,7
5	0,2	9,5	52	1,6	24,2	99	3,2	50,6
6	0,2	9,9	53	1,6	24,4	100	3,2	50,8
7	0,2	11,3	54	1,7	25,0	101	3,2	51,8
8	0,3	11,7	55	1,7	25,2	102	3,3	52,0
9	0,3	13,0	56	1,7	26,0			
10	0,3	13,3	57	1,8	26,2			
11	0,4	14,3	58	1,8	26,7			
12	0,4	14,6	59	1,8	27,2			
13	0,5	15,6	60	1,9	27,8			
14	0,5	15,8	61	1,9	28,2			
15	0,5	16,5	62	1,9	28,7			
16	0,5	16,6	63	2,0	29,4			
17	0,6	17,1	64	2,0	29,8			
18	0,6	17,4	65	2,0	30,3			
19	0,6	17,8	66	2,1	31,0			
20	0,7	18,2	67	2,1	31,2			
21	0,7	18,7	68	2,1	31,7			
22	0,7	19,0	69	2,1	32,0			
23	0,8	19,3	70	2,2	32,6			
24	0,8	19,6	71	2,2	33,2			
25	0,8	19,8	72	2,2	34,0			
26	0,8	20,0	73	2,3	34,6			
27	0,9	20,3	74	2,3	35,2			
28	0,9	20,5	75	2,3	35,8			
29	0,9	20,9	76	2,4	36,4			
30	1,0	21,2	77	2,4	37,3			
31	1,0	21,5	78	2,5	38,2			
32	1,0	21,7	79	2,5	39,1			
33	1,0	21,9	80	2,5	40,0			
34	1,1	22,0	81	2,6	40,6			
35	1,1	22,1	82	2,6	40,9			
36	1,1	22,2	83	2,6	40,9			
37	1,2	22,3	84	2,7	41,3			
38	1,2	22,3	85	2,7	41,9			
39	1,2	22,3	86	2,7	42,5			
40	1,3	22,4	87	2,8	43,1			
41	1,3	22,4	88	2,8	43,5			
42	1,3	22,6	89	2,8	44,5			
43	1,4	22,8	90	2,9	44,8			
44	1,4	23,2	91	2,9	45,6			
45	1,4	23,3	92	2,9	45,9			
46	1,4	23,6	93	3,0	47,1			
47	1,5	23,7	94	3,0	47,4			

**Tabulka 18: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 26 ENIG, druhá řada**

DPS č. 26, ENIG, druhá řada					
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	5,3	5,3	48	1,5	24,5
2	5,9	5,8	49	1,5	24,5
3	8,0	7,6	50	1,6	25,0
4	8,4	7,9	51	1,6	25,4
5	10,3	9,5	52	1,6	25,7
6	10,8	9,9	53	1,6	26,5
7	12,6	11,3	54	1,7	26,7
8	13,0	11,7	55	1,7	27,2
9	14,6	13,0	56	1,7	27,3
10	15,0	13,3	57	1,8	27,9
11	16,2	14,3	58	1,8	28,0
12	16,5	14,6	59	1,8	28,6
13	17,4	15,6	60	1,9	28,7
14	17,5	15,8	61	1,9	29,7
15	18,3	16,5	62	1,9	30,0
16	18,6	16,6	63	2,0	31,1
17	19,0	17,1	64	2,0	31,4
18	19,2	17,4	65	2,0	32,1
19	19,8	17,8	66	2,1	32,3
20	19,9	18,2	67	2,1	32,9
21	20,4	18,7	68	2,1	33,4
22	20,5	19,0	69	2,1	34,2
23	20,8	19,3	70	2,2	34,9
24	20,9	19,6	71	2,2	35,8
25	21,3	19,8	72	2,2	36,8
26	21,6	20,0	73	2,3	37,6
27	22,0	20,3	74	2,3	38,3
28	22,1	20,5	75	2,3	39,2
29	22,4	20,9	76	2,4	39,9
30	22,5	21,2	77	2,4	40,9
31	22,6	21,5	78	2,5	41,5
32	22,7	21,7	79	2,5	42,3
33	22,7	21,9	80	2,5	42,6
34	22,8	22,0	81	2,6	43,4
35	22,8	22,1	82	2,6	43,7
36	22,9	22,2	83	2,6	44,7
37	22,9	22,3	84	2,7	44,9
38	22,9	22,3	85	2,7	45,7
39	23,0	22,3	86	2,7	45,6
40	23,0	22,4	87	2,8	46,5
41	23,1	22,4	88	2,8	46,6
42	23,2	22,6	89	2,8	47,4
43	23,4	22,8	90	2,9	47,4
44	23,6	23,2	91	2,9	47,9
45	23,7	23,3			
46	24,0	23,6			
47	24,1	23,7			

## Příloha 19 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 26 imerzní cín

Tabulka 19: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 26 imerzní cín, první řada

DPS č. 26, imerzní cín, první řada								
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,1	48	1,5	25,1	95	3,1	44,9
2	0,0	5,5	49	1,6	25,3	96	3,1	45,3
3	0,1	6,6	50	1,6	25,8	97	3,1	45,7
4	0,1	6,7	51	1,6	25,9	98	3,2	46,7
5	0,2	7,8	52	1,7	26,3	99	3,2	46,8
6	0,2	8,1	53	1,7	26,4	100	3,2	47,4
7	0,2	9,1	54	1,7	26,9	101	3,3	47,5
8	0,3	9,6	55	1,7	26,9	102	3,3	48,2
9	0,3	10,4	56	1,8	27,4	103	3,3	48,3
10	0,3	10,8	57	1,8	27,5	104	3,4	49,1
11	0,4	11,8	58	1,8	28,1	105	3,4	49,2
12	0,4	12,2	59	1,9	28,1	106	3,4	49,7
13	0,4	13,2	60	1,9	28,5	107	3,5	49,9
14	0,5	13,6	61	1,9	28,6	108	3,5	50,3
15	0,5	14,4	62	2,0	29,1	109	3,5	50,4
16	0,5	14,8	63	2,0	29,2	110	3,6	51,3
17	0,6	15,6	64	2,0	29,6	111	3,6	51,5
18	0,6	15,9	65	2,0	29,8	112	3,6	52,1
19	0,7	16,7	66	2,1	30,3	113	3,7	52,2
20	0,7	17,2	67	2,1	30,7	114	3,7	52,6
21	0,7	17,9	68	2,1	31,2	115	3,7	52,7
22	0,7	18,2	69	2,2	31,6	116	3,7	53,4
23	0,8	18,9	70	2,2	31,7	117	3,7	53,6
24	0,8	19,3	71	2,2	32,0	118	3,8	54,1
25	0,8	19,8	72	2,3	32,4	119	3,8	54,2
26	0,9	20,3	73	2,3	32,9	120	3,9	54,5
27	0,9	20,9	74	2,3	33,7	121	3,9	54,5
28	0,9	21,3	75	2,4	34,3	122	3,9	55,1
29	1,0	21,5	76	2,4	35,1	123	4,0	55,2
30	1,0	21,8	77	2,4	35,8	124	4,0	55,8
31	1,0	21,9	78	2,5	36,5	125	4,0	55,9
32	1,0	21,9	79	2,5	37,1	126	4,1	56,3
33	1,1	22,0	80	2,6	37,6	127	4,1	56,4
34	1,1	22,0	81	2,6	38,0	128	4,1	57,0
35	1,1	22,1	82	2,6	38,3	129	4,2	57,1
36	1,2	22,2	83	2,7	38,7	130	4,2	57,4
37	1,2	22,3	84	2,7	39,0	131	4,2	57,4
38	1,2	22,3	85	2,7	39,7	132	4,3	57,7
39	1,3	22,6	86	2,8	40,2	133	4,3	57,8
40	1,3	22,7	87	2,8	40,7	134	4,3	58,2
41	1,3	23,0	88	2,8	41,2	135	4,3	58,3
42	1,3	23,1	89	2,8	41,8	136	4,4	58,5
43	1,4	23,5	90	2,9	42,3	137	4,4	58,5
44	1,4	23,6	91	2,9	42,8	138	4,5	58,7
45	1,4	23,9	92	3,0	43,3	139	4,5	58,7
46	1,5	24,3	93	3,0	43,9	140	4,5	59,1
47	1,5	24,7	94	3,0	44,4	141	4,5	59,2

**Tabulka 20: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 26 imerzní cín, druhá řada**

DPS č. 26, imerzní cín, druhá řada								
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,5	21,9	95	3,0	38,8
2	0,0	5,7	49	1,5	22,0	96	3,1	39,4
3	0,1	7,0	50	1,6	22,2	97	3,1	39,6
4	0,1	7,3	51	1,6	22,6	98	3,1	40,1
5	0,2	8,7	52	1,6	22,8	99	3,2	40,4
6	0,2	9,1	53	1,7	23,2	100	3,2	40,7
7	0,2	10,4	54	1,7	23,2	101	3,2	41,0
8	0,3	10,8	55	1,7	23,5	102	3,3	41,5
9	0,3	12,0	56	1,7	23,6	103	3,3	41,7
10	0,3	12,4	57	1,8	23,7	104	3,3	42,0
11	0,4	13,4	58	1,8	23,7	105	3,3	42,1
12	0,4	13,6	59	1,8	23,9	106	3,4	42,6
13	0,5	14,4	60	1,9	24,0	107	3,4	42,7
14	0,5	14,5	61	1,9	24,3	108	3,5	43,4
15	0,5	15,2	62	1,9	24,6	109	3,5	43,5
16	0,5	15,4	63	2,0	25,3	110	3,5	44,1
17	0,6	15,9	64	2,0	25,6	111	3,5	44,1
18	0,6	16,1	65	2,0	26,3	112	3,6	44,8
19	0,6	16,6	66	2,1	26,9	113	3,6	44,7
20	0,7	16,9	67	2,1	27,1	114	3,6	45,2
21	0,7	17,3	68	2,1	27,6	115	3,7	45,7
22	0,7	17,6	69	2,1	27,7	116	3,7	45,9
23	0,8	18,1	70	2,2	28,2	117	3,7	46,7
24	0,8	18,4	71	2,2	28,6	118	3,8	46,9
25	0,8	18,7	72	2,2	28,7	119	3,8	47,4
26	0,9	19,0	73	2,3	29,2	120	3,9	47,6
27	0,9	19,2	74	2,3	29,3	121	3,9	47,8
28	0,9	19,4	75	2,3	29,7	122	3,9	48,0
29	0,9	19,7	76	2,4	29,9	123	4,0	48,2
30	1,0	19,9	77	2,4	30,5	124	4,0	49,2
31	1,0	20,1	78	2,4	30,9	125	4,0	49,5
32	1,0	20,3	79	2,5	31,8	126	4,1	50,2
33	1,1	20,4	80	2,5	32,3	127	4,1	50,4
34	1,1	20,5	81	2,5	33,1	128	4,1	51,6
35	1,1	20,6	82	2,6	33,6	129	4,1	51,8
36	1,1	20,7	83	2,6	34,4	130	4,2	52,5
37	1,2	20,8	84	2,7	34,9	131	4,2	52,6
38	1,2	20,8	85	2,7	35,6	132	4,3	53,4
39	1,2	20,9	86	2,7	36,0	133	4,3	53,5
40	1,3	21,0	87	2,7	36,3	134	4,3	54,1
41	1,3	21,0	88	2,8	36,7	135	4,3	54,2
42	1,3	21,2	89	2,8	37,1	136	4,4	54,8
43	1,3	21,2	90	2,9	37,5	137	4,4	54,9
44	1,4	21,4	91	2,9	37,8	138	4,4	55,4
45	1,4	21,4	92	2,9	38,2	139	4,5	55,5
46	1,4	21,6	93	3,0	38,4	140	4,5	55,7
47	1,5	21,7	94	3,0	38,8			

## Příloha 20 - Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 31 ENIG

Tabulka 21: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 31, ENIG, první řada

DPS č. 31, ENIG, první řada											
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,2	48	1,5	22,0	95	3,0	34,7	142	4,5	57,5
2	0,0	5,5	49	1,5	22,3	96	3,0	35,2	143	4,5	57,5
3	0,1	6,5	50	1,6	22,3	97	3,1	35,7	144	4,6	57,9
4	0,1	6,7	51	1,6	22,5	98	3,1	36,0	145	4,6	58,0
5	0,2	7,7	52	1,6	22,5	99	3,1	36,3	146	4,6	58,7
6	0,2	7,9	53	1,6	22,7	100	3,2	36,5	147	4,7	58,9
7	0,2	9,0	54	1,7	22,7	101	3,2	36,7	148	4,7	59,6
8	0,3	9,5	55	1,7	22,9	102	3,2	37,2	149	4,7	59,7
9	0,3	10,2	56	1,7	23,0	103	3,3	37,6	150	4,8	60,2
10	0,3	10,8	57	1,8	23,2	104	3,3	38,1			
11	0,4	11,7	58	1,8	23,2	105	3,3	38,7			
12	0,4	12,1	59	1,8	23,3	106	3,4	39,4			
13	0,4	12,7	60	1,9	23,3	107	3,4	40,0			
14	0,5	13,3	61	1,9	23,4	108	3,4	40,6			
15	0,5	14,0	62	1,9	23,4	109	3,5	41,3			
16	0,5	14,6	63	1,9	23,4	110	3,5	42,0			
17	0,6	15,3	64	2,0	23,6	111	3,5	42,7			
18	0,6	15,7	65	2,0	23,7	112	3,6	43,2			
19	0,6	16,3	66	2,0	24,1	113	3,6	43,7			
20	0,7	16,6	67	2,1	24,2	114	3,6	44,3			
21	0,7	17,1	68	2,1	24,5	115	3,7	44,9			
22	0,7	17,5	69	2,1	24,7	116	3,7	45,4			
23	0,8	17,8	70	2,2	25,0	117	3,7	46,0			
24	0,8	18,1	71	2,2	25,2	118	3,8	46,7			
25	0,8	18,4	72	2,2	25,5	119	3,8	47,4			
26	0,8	18,6	73	2,3	25,8	120	3,8	47,8			
27	0,9	18,9	74	2,3	26,0	121	3,9	48,3			
28	0,9	19,1	75	2,3	26,3	122	3,9	48,7			
29	0,9	19,3	76	2,4	26,6	123	3,9	49,1			
30	1,0	19,4	77	2,4	27,0	124	3,9	49,8			
31	1,0	19,6	78	2,4	27,3	125	4,0	50,2			
32	1,0	19,7	79	2,4	27,5	126	4,0	50,9			
33	1,1	19,9	80	2,5	27,9	127	4,1	51,3			
34	1,1	20,0	81	2,5	28,2	128	4,1	51,9			
35	1,1	20,2	82	2,5	28,5	129	4,1	52,1			
36	1,1	20,3	83	2,6	28,9	130	4,2	52,3			
37	1,2	20,5	84	2,6	29,2	131	4,2	52,4			
38	1,2	20,6	85	2,6	29,6	132	4,2	53,1			
39	1,2	20,8	86	2,7	30,0	133	4,3	53,3			
40	1,3	20,9	87	2,7	30,4	134	4,3	54,2			
41	1,3	21,1	88	2,7	30,9	135	4,3	54,3			
42	1,3	21,2	89	2,8	31,3	136	4,3	54,8			
43	1,3	21,5	90	2,8	31,9	137	4,4	54,9			
44	1,4	21,6	91	2,8	32,4	138	4,4	55,3			
45	1,4	21,8	92	2,9	32,9	139	4,4	55,5			
46	1,4	21,8	93	2,9	33,5	140	4,4	56,6			
47	1,5	22,0	94	2,9	34,1	141	4,5	56,8			

**Tabulka 22: Průměrné hodnoty pevnosti pro DPS č. 31, ENIG, druhá řada**

DPS č. 31, ENIG, druhá řada								
číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]	číslo měření	čas [s]	F [N]
1	0,0	5,1	48	1,5	19,9	95	3,1	38,8
2	0,0	5,5	49	1,6	20,3	96	3,1	38,8
3	0,1	6,8	50	1,6	20,4	97	3,1	39,0
4	0,1	7,1	51	1,6	20,8	98	3,2	39,1
5	0,2	8,1	52	1,6	20,8	99	3,2	39,7
6	0,2	8,5	53	1,7	21,3	100	3,2	39,8
7	0,2	9,3	54	1,7	21,4	101	3,3	40,5
8	0,3	9,8	55	1,7	22,0	102	3,3	40,6
9	0,3	10,6	56	1,8	22,2	103	3,3	41,7
10	0,3	11,0	57	1,8	22,8	104	3,4	41,9
11	0,4	11,6	58	1,8	22,9	105	3,4	42,5
12	0,4	11,9	59	1,9	23,3	106	3,4	42,6
13	0,4	12,4	60	1,9	23,6	107	3,5	43,7
14	0,5	12,7	61	1,9	23,7	108	3,5	43,9
15	0,5	12,9	62	2,0	23,9	109	3,5	44,5
16	0,5	13,1	63	2,0	23,9	110	3,6	44,6
17	0,6	13,4	64	2,0	24,2	111	3,6	45,2
18	0,6	13,6	65	2,0	24,4	112	3,6	45,3
19	0,6	13,9	66	2,1	25,1	113	3,7	46,3
20	0,7	14,1	67	2,1	25,3	114	3,7	46,4
21	0,7	14,3	68	2,1	26,0	115	3,7	46,9
22	0,7	14,4	69	2,2	26,2	116	3,8	47,0
23	0,7	14,8	70	2,2	26,8	117	3,8	47,6
24	0,8	14,9	71	2,2	26,9	118	3,8	47,7
25	0,8	15,2	72	2,3	27,7	119	3,9	48,4
26	0,8	15,3	73	2,3	27,9	120	3,9	48,5
27	0,9	15,7	74	2,3	28,8			
28	0,9	15,9	75	2,4	29,3			
29	0,9	16,3	76	2,4	30,3			
30	0,9	16,5	77	2,4	30,9			
31	1,0	17,0	78	2,5	31,6			
32	1,0	17,1	79	2,5	32,2			
33	1,1	17,5	80	2,6	33,0			
34	1,1	17,6	81	2,6	33,5			
35	1,1	17,8	82	2,6	33,9			
36	1,1	17,8	83	2,7	34,3			
37	1,2	17,9	84	2,7	34,7			
38	1,2	18,0	85	2,7	35,1			
39	1,2	18,0	86	2,8	37,2			
40	1,3	18,3	87	2,8	37,6			
41	1,3	18,5	88	2,8	37,6			
42	1,3	18,6	89	2,9	37,7			
43	1,4	19,0	90	2,9	37,6			
44	1,4	19,1	91	2,9	37,6			
45	1,4	19,5	92	3,0	37,7			
46	1,5	19,5	93	3,0	37,9			
47	1,5	19,9	94	3,0	38,0			