

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Optimalizace pájecích profilů
u průběžné přetavovací pece**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub JAKOUBEK**
Osobní číslo: **E13B0494P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Optimalizace pájecích profilů u průběžné přetavovací pece**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Seznamte se s problematikou a způsoby měkkého pájení.
2. Vypracujte přehled používaných technologií pro přetavení pájecí pasty.
3. Navrhněte a proveďte experiment pro stanovení optimálních pájecích profilů u průběžné pájecí pece pro zvolené pájecí slitiny.
4. Proveďte vyhodnocení realizovaného experimentu a doporučení optimálních pájecích profilů u průběžné pájecí pece pro zvolené pájecí slitiny.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

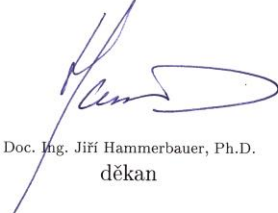
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **P. Mach, V. Skočil, J. Urbánek Montáž v elektronice**
2. **R. J. Klein Wassink Soldering in electronics**
3. **M. Abel, V. Cimburek Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi**
4. **Internetové zdroje**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Hirman**
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**


Doc. Ing. Jirí Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na optimalizaci pájecích profilů u průběžné přetavovací pece Mistral 260. V teoretické části jsou uvedeny základní poznatky o pájení olovnatém i bezolovnatém, dále hlavní technologické postupy pájení, zaměřené hlavně na pájení přetavením. V teoretické části jsou dále také popsány pájecí (teplotní) profily a průběžná přetavovací pec Mistral 260, která byla použita pro praktickou část. V praktické části je popsáno, jakým způsobem probíhala optimalizace pro vybrané pájecí pasty. Dále jsou zde uvedeny výsledky optimalizace pro každou vybranou pastu.

Klíčová slova

Pájení, pájecí slitiny, pájecí pasty, pájení přetavením, průběžná přetavovací pec, Mistral 260, optimalizace pájecích profilů.

Abstract

The bachelor thesis is focused on optimization solder profiles for continuous reflow oven Mistral 260. The theoretical part provides the basic knowledge of lead and free-lead soldering, further described the main technological methods of soldering, focusing mainly on reflow soldering. The theoretical part also describes solder (temperature) profiles and continuous reflow oven Mistral 260, which was used for practical part. The practical part describes how proceeded the optimization for the selected solder solder paste. Further there are presented results of the optimization for each selected paste.

Key words

Soldering, solder alloy, solder paste, reflow soldering, continuous reflow oven, Mistral 260.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 25.5.2016

Jakub Jakoubek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Hirmanovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 PÁJENÍ	11
1.1 OLOVNATÉ / BEZOLOVNATÉ PÁJKY	11
1.2 METODY PÁJENÍ	13
1.3 PÁJENÍ PŘETAVENÍM.....	14
1.3.1 Pájení infračerveným zářením.....	15
1.3.2 Pájení laserem.....	16
1.3.3 Pájení v parách.....	16
1.3.4 Konvekční pájení	17
2 PÁJECÍ (TEPLOTNÍ) PROFIL	20
2.1 PŘÍČNÝ TEPLOTNÍ PROFIL	20
2.2 PODÉLNÝ TEPLOTNÍ PROFIL	20
2.2.1 RSS (Ramp Soak Spike)	21
2.2.2 RTS (Ramp To Spike).....	22
3 PRŮBĚŽNÁ PŘETAVOVACÍ PEC MISTRAL 260	23
3.1 ZÁKLADNÍ POPIS.....	23
3.2 OVLÁDÁNÍ.....	23
3.2.1 Uvedení pece do provozu.....	23
3.2.2 Provozní menu	24
3.2.3 Proces pájení.....	25
4 PRAKTICKÁ ČÁST	26
4.1 PÁJECÍ PASTA SAC3-XF3+	27
4.2 PÁJECÍ PASTA PF602-P30.....	30
4.3 PÁJECÍ PASTA SN100C-OT2	32
4.4 PÁJECÍ PASTA S6M-XM3S	34
4.5 PÁJECÍ PASTA SCANGe071-OT2	36
4.6 VÝSLEDEK EXPERIMENTU	39
ZÁVĚR	41
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	42

Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na optimalizaci pájecích profilů u průběžné přetavovací pece Mistral 260. Cílem této bakalářské práce je experimentální provedení optimalizace pájecích profilů udávaných výrobcí se zaměřením na dosažení optimálního technologického postupu.

Práce je rozdělena do pěti částí. V první kapitole jsou popsány druhy pájecích slitin a metody pájení, se zaměřením na pájení přetavením. Druhá kapitola se zabývá pájecími (teplotními) profily. Třetí část je zaměřena na průběžnou přetavovací pec Mistral 260. Popisuje její nejdůležitější součásti, vlastnosti a ovládání. Čtvrtá kapitola představuje praktickou část – vlastní měření, vyhodnocení výsledků a stanovení optimalizovaného profilu na základě údajů od výrobce, které jsou udávány v katalogových listech. V praktické části bakalářské práce byla provedena optimalizace pájecích profilů u průběžné přetavovací pece Mistral 260 za využití pájecích past od výrobců Nevo a Balver – Zinn – Cobar. Jedná se o tyto pájecí pasty: SAC3-XF3+, PF602-P30, SN100C-OT2, S6M-XM3S, SCANGE071-OT2.

Seznam symbolů a zkratk

Ag	Stříbro
Bi	Bismut
BGA.....	Ball grid array
Cu	Měď
CO ₂	Oxid uhličitý (typ laseru)
DPS.....	Deska plošných spojů
Ge	Germanium
HP	Hewlett-Packard
IR	Infrared
Ni	Nikl
Pb.....	Olovo
RSS.....	Ramp Soak Spike
RTS.....	Ramp To Spike
RoHS	Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment
Sb.....	Antimon
Sn.....	Cín
WEEE.....	The Waste Electrical and Electronic Equipment
YAG	Yttrito-hlinitý granát (typ laseru)
Zn.....	Zinek

1 Pájení

Pájení je proces spojování dvou základních materiálů využitím třetího (přídavného) roztaveného kovu. Kov, kterým se spojuje, se obecně nazývá pájecí slitina. Spojovaný základní materiál má vyšší bod tání než pájecí slitiny. Spojované části tedy zůstanou v pevném stavu a taví se pouze pájecí slitina, která spolehlivě spojí tyto základní materiály. [1]

Základní rozdělení pájení je podle teploty tavení pájecí slitiny. Rozdělujeme měkké a tvrdé pájení. Při měkkém pájení je teplota tavení pájecí slitiny pod 450 °C a při tvrdém je teplota tavení nad 450 °C. Měkké pájení se v mnoha ohledech od tvrdého liší, ačkoliv jsou fyzikální principy stejné. Měkké pájení, které nás bude zajímat nejvíc, se využívá právě v elektrotechnice na vytváření vodivých spojů. Je to především hlavně díky nižším teplotám, kterými se pájí. Nehrozí zde tak velké riziko poškození součástek nebo přímo desky plošných spojů. S tvrdým pájením se setkáme především u spojů, které jsou hodně zatíženy, mají tedy vyšší nároky na pevnost. Například to můžou být příruby trubek. [1][2][3][4]

Pro správnou funkci elektrických zařízení je důležitá správná interakce elektrických komponentů. Jinak řečeno, je důležité správné a kvalitní propojení elektrických součástek. Pro toto správné propojení zpravidla používáme, v dnešní době nejvíce v praxi prověřenou a spolehlivou techniku, pájení. [3]

1.1 Olovnaté / bezolovnaté pájky

Před několika lety byly nejrozšířenější olovnaté pájecí slitiny, respektive slitina cín (Sn) – olovo (Pb), a to ve složení od 60 % Sn / 40 % Pb až po 65 % Sn / 35 % Pb. Tato slitina cínu a olova byla v elektrotechnickém průmyslu velmi oblíbená, nejen díky své příznivé ceně, ale i díky svým specifickým vlastnostem. Ačkoliv má samotný cín teplotu tání okolo 232 °C a olovo 327 °C spolu vytváří, v poměru uvedeném výše, slitinu s teplotou tání 183 – 189 °C. Při takto nízké teplotě nehrozilo, při pájení, poškození substrátů a součástek. Pájecí slitina má díky olovu výborné smáčecí charakteristiky

a případné oxidy odstraníme tavidly. Další výhodou této slitiny je, že nevytváří křehké intermetalické fáze. [2][5]

Ačkoli olovnatá pájecí slitina má své velké výhody, stejně tak má i významné nevýhody, kvůli kterým se již v elektrotechnickém průmyslu v současnosti nepoužívá. Největší problém slitiny cín – olovo je právě olovo. Olovo je toxické a z vyřazených přístrojů se nedá recyklovat. Při vyhození elektroniky na skládky hrozí, že se olovo vyluhuje do podloží a následně kontaminuje jak povrchovou tak i spodní vodu. Hrozí pak riziko, že se olovo dostane do lidského těla skrze kontaminovanou vodu. Otrava olovem se sice projevuje až po dlouhém vystavení kontaminaci, ale rozhodně by se neměla brát na lehkou váhu. Někteří historikové jsou přesvědčeni, že olovo bylo jednou z příčin, které vedly k zániku říše římské. K utěšňování římských akvaduktů a vodovodů se totiž používalo právě olovo. Olovo způsobuje nejen chronickou otravu, ale například i nemoci jater či nevratná poškození mozku, další vážné nemoci, a následně i smrt. Proto Evropská unie v roce 2003 vydala dvě směrnice, a to: 2002 / 96 / EC – „*Waste Electrical and Electronic Equipment*“ (zkratka: WEEE) a 2002 / 95 / EC – „*Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment*“ (zkratka: RoHS). Česky jsou to směrnice „o odpadních elektrických a elektronických zařízeních“ a „o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních“. Zjednodušeně, tyto směrnice striktně zakazují používání škodlivých látek do kterých patří, mimo jiné, již zmíněné olovo. Existují však i výjimky, kde se stále olovnatá pájecí slitina může používat, neboť za ní není žádná vhodná náhrada. Nové směrnice pro WEEE: 2012 / 19 / EU a RoHS: 2011 / 95 / EU obsahují v případech používání olova například tyto výjimky: „*Olovo v pájkách v přenosných pohotovostních defibrilátorech*“, „*Olovo v pájkách vysokovýkonných infračervených zobrazovacích modulů k detekci pásma 8 – 14 μm*“. Celý seznam těchto výjimek je uveřejněn na stránkách EU. (Odkaz je možné najít na konci této bakalářské práce, v seznamu použité literatury pod číslem [6]). [2][6][7]

Po zjištění škodlivosti olova se začaly hledat možnosti, jak nahradit olovnaté pájecí slitiny. Logickou volbou bylo nalézt pájecí slitiny, které neobsahují olovo, ale zároveň mají stejné nebo alespoň podobné vlastnosti jako pájecí slitiny olovnaté. Nalezením vhodných ekvivalentních slitin se mělo zabránit změnám technických postupů a zařízení, které se do této doby používaly. Další alternativou bylo použití mechanických spojů. Tato metoda, ale není pro povrchově montované součástky moc dobře použitelná. Další

možností bylo použití speciálních lepidel. Největší úspěch však měly zmíněné, a dnes již známé, bezolovnaté pájecí slitiny. [8]

Bezolovnaté pájecí slitiny musely obstát hned v několika požadavcích. Logicky tyto slitiny nesměly být toxické. Měly být cenově přijatelné, kvalitní a mechanicky odolné. Jinak řečeno, za rozumnou cenu vytvořit spolehlivý pájený spoj. Bezolovnaté slitiny měly být použitelné již do zavedených technologických postupů. Takových kandidátů bylo zpočátku opravdu mnoho, ale postupem času byla většina vyloučena z důvodů jejich různých nevýhod. Olovo se tedy většinou nahradilo větším podílem cínu ve slitině s příměsí jednoho nebo i více různých kovů. Vznikly tak dvojsložkové, třísložkové, ale i pětisložkové slitiny. Ne každý kov se ale dá použít. Logicky odpadají kovy s vysokou teplotou tání. Další kovy, jako například antimon (Sb) nebo zinek (Zn), zhoršují smáčecí charakteristiky. Přesto i tyto kovy můžeme vidět v různých pájecích slitinách. Ty se však používají jen zřídka. V dnešní době se například používají pájecí slitiny se složením: cín (Sn) / stříbro (Ag) / měď (Cu) – zkratka SAC. Jedním z nejpoužívanějších zástupců z této kategorie je SAC305. Se složením 96,5 % cínu, 3 % stříbra a 0,5 % mědi. Další pájecí slitina je např. cín (Sn) / měď (Cu) – v poměrech například 99 % cínu a 1 % mědi. Toto je pouze malá ukázka použitelných pájecích slitin a jejich složení. Každý výrobce pájecích slitin používá poněkud jiné poměry. Používaných pájecích slitin je tedy opravdu mnoho. Při výběru, jakou pájecí slitinu zvolit, je třeba vždy dbát na to, jakou technologii používáme a jaké požadujeme od pájeného spoje vlastnosti. [2][5][8]

1.2 Metody pájení

Metod pájení existuje mnoho. Základní rozdělení je na pájení ruční a strojní. V elektrotechnickém průmyslu se dnes ruční pájení používá spíše při kusové výrobě a při opravách. Při pájení se vyžaduje dodržení stálých podmínek, což při ručním pájení vyžaduje vysokou zručnost. Mezi zjevné nevýhody ručního pájení patří i malá produktivita, která také znamená prodražení montážních prací. [8]

Velmi rozšířené je strojní pájení, kdy všechny potřebné operace jsou prováděny automaticky. Obsluha do výroby přímo nezasahuje, to odstraňuje subjektivní vliv na výrobní proces, a tedy i případné chyby obsluhy. Mezi hlavní metody strojního pájení patří: [8][9]

- pájení vlnou,
- pájení přetavením,
- pájení vlečením,
- pájení ultrazvukem,
- pájení ponorem.

1.3 Pájení přetavením

Tato bakalářská práce si klade za cíl optimalizaci pájecích profilů v pájecí peci, která funguje na principu pájení přetavením (tzv. reflow). Proto je tato kapitola zaměřena právě na tento způsob pájení.

Pájení přetavením je založeno na principu, kdy se nejprve na pájené místo nanese pájecí pasta. Následným působením tepelné energie pak dochází k přetavení pasty. Nanášení pájecí pasty a samotné pájení je od sebe odděleno jak prostorově, tak i časově. Právě nanášení pájecí pasty před samotným pájením je charakteristickým znakem pro tuto metodu. Liší se tak od pájení vlnou – kdy se pájecí pasta nanáší přímo při procesu pájení. Pájecí pastu můžeme nanášet různými způsoby: dávkováním – pomocí dispenzeru, tiskem přes síto – tzv. sítotiskem nebo tiskem přes šablonu. Tyto způsoby nanášení pájecí pasty nám umožňují aplikaci pasty pouze na místo kde je třeba. To znamená úsporu materiálu, a tedy i levnější výrobu. Následné dodání tepelné energie může být provedeno třemi různými způsoby nebo jejich kombinacemi. Základní způsoby dodání tepelné energie jsou: vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a zářením (radiací). [2][5][8]

Vedení (kondukcce) – Vedení tepla nastává při těsném kontaktu dvou látek s rozdílnou teplotou. V našem případě je to deska plošných spojů a pájecí hrot. Tohoto principu se používá nejčastěji při lokálním pájení. [5][9]

Proudění (konvekce) – Přenos tepla prouděním nastává u kapalin nebo u plynu (např. vzduch, dusík), kde se míchá teplejší část s chladnější částí kapaliny nebo plynu. Proudění může být přirozené nebo nucené. Přirozené proudění je způsobeno změnou hustoty, která vzniká právě změnami teplot. Dalo by se tedy říci, že zde působí gravitační síly. Nucené proudění, jak už název napovídá, je vytvořeno uměle, za účelem přenosu většího množství tepla. Pohyb je vyvolán určitými mechanickými prostředky, například ventilátory. [5][9]

Záření (radiace) – Při tomto přenosu tepla máme těleso, které vyzařuje elektromagnetické vlny. Druhé těleso (pájecí pasta) vlnění pohlcuje. To má za následek zvýšení vnitřní energie a zahřívání pájecí pasty. [5][9]

Dodání tepelné energie, ať už použijeme jakýkoliv způsob, probíhá postupně. Nejsou zde žádné tepelné rázy a nehrozí tak zničení pájených součástek nebo i celých desek. Pájení přetavením pak můžeme rozdělit podle metody ohřevu:[5][8]

- pájení zářením (světelným, infračerveným),
- laserem,
- kondenzační (v parách),
- vyhřátým pásem nebo nástrojem,
- pájení proudem horkého plynu (konvekční pájení).

1.3.1 Pájení infračerveným zářením

Tento typ pájení je často označován jako IR pájení nebo pájení pomocí zářiče. Využívá principu záření (radiace). Jako těleso, které vyzařuje teplo, se používá např. wolframový zářič. Hlavní zastoupení mají průběžné infračervené pece, které mají zářiče nad i pod dopravníkovým pásem. V praxi pak dále využívají přirozené nebo nucené konvekce. Malé zastoupení pak mají vsázkové pece, které se používají pouze pro malosériovou produkci, případně pro výrobu prototypů. [2][5]

Problémem IR pecí je zejména samotné pohlcování záření (tepla) součástkami, které se nachází na DPS. Obecně lze říci, že tmavší součástky přijímají více tepla a na rozdíl od pájecí pasty se zahřívají rychleji. Pokud jsou tyto součástky tepelně citlivější, hrozí jejich zničení. Tento problém částečně řeší použití více vlnových délek v procesu pájení, protože se vzrůstající vlnovou délkou, klesá absorpce záření. Další problém nastává, když je pájený spoj „zastíněn“ součástkou. Teplo působí především shora, a je-li pájený spoj zastíněn, účinnost ohřevu se výrazně snižuje. Tím dochází ke snížení kvality pájení. Je tedy důležitý kvalitní a pečlivý návrh rozmístění součástek. Tato metoda pájení není vhodná pro pájení součástek typu BGA. Na druhou stranu, velkou výhodou těchto pecí je jejich jednoduchost v konstrukci a velká účinnost pájecího procesu. [2][5]

1.3.2 Pájení laserem

Při této metodě pájení je přetavení pájecí pasty zajištěno laserovým paprskem. Laserový paprsek vždy působí na vybrané místo, nikoliv na celou desku současně. Jde tedy o lokální pájení. Laserový paprsek pájí jeden spoj za druhým, po předem naprogramované cestě. Díky tomu, že teplo působí pouze na pájené místo, je tento způsob pájení vhodný pro součástky, které jsou tepelně citlivé. [5][9]

Na počátcích této metody pájení se používaly dva druhy laserů. Konkrétně pulsní laser YAG a plynový laser CO₂. Oba typy laserů mají rozdílné vlastnosti. Pulsní laser YAG pracuje s paprskem o vlnové délce 1,06 μm. Má tedy tu výhodu, že proniká sklem a většinou plastických hmot a zároveň je dobře absorbován kovy. To v praxi znamená, že není třeba vypínat paprsek při jeho přemísťování, protože nehrozí poškození součástek. Plynový laser CO₂ pracuje s paprskem o vlnové délce 10 μm. Nevýhodou je, že tento paprsek dobře pohlcují plasty a o něco méně jej pohlcují kovy. Hrozí tedy zničení plastových částí na DPS. V porovnání účinnosti těchto dvou laserů je plynový laser CO₂ mnohem lepší než pulsní laser YAG, což je jeho výhodou. [5][9]

V dnešní době jsou v oblibě takzvané výkonové diodové lasery. Tento typ laseru vyzařuje na vlnové délce 780 – 980 nm. Na rozdíl od ostatních laserů, které mají kruhový profil paprsku, mají diodové lasery spíše pravoúhlý průřez. Toho dokáže elektrotechnický průmysl využít. Při správném směřování paprsku, lze pájená místa přehřívat ještě před nanesením pájecí pasty. Zároveň, již roztavenou pájku, udržuje v tekutém stavu delší dobu. V konečném výsledku dochází nejen k zlepšení kvality pájeného spoje, ale i k zrychlení procesu. Další výhodou oproti laserům YAG a CO₂ jsou nižší provozní náklady. Podle některých průzkumů dokonce více jak poloviční. [10]

1.3.3 Pájení v parách

Této metodě pájení se také říká „kondenzační pájení“. Funguje na prosté metodě, kdy se zahřívá celá DPS pomocí vypařující se kapaliny. Pájená DPS se doslova ponoří do komory, která je zaplněna párou. Pára na chladné DPS kondenzuje, a tím zahřívá celou desku, tedy i pájený spoj. Teplota se postupně dostává až na teplotu, která je potřebná k přetavení pájecí pasty. Teplota použité kapaliny se pak dále zvyšuje až na teplotu varu.

Podle použitého typu kapaliny, lze „nastavit“ teplotu varu této kapaliny, a tím i maximální teplotu, které lze při pájení dosáhnout. [2][5][11]

Díky tomu, že páry zahřívají celou desku rovnoměrně, je tato metoda pájení vhodná pro DPS, které jsou hustě osazené součástkami, nebo kde je obtížný přístup k pájenému místu. Je tedy vhodná i pro pájení součástek typu BGA. V praxi se pak dají naskládat desky nad sebe a pájet tak více DPS najednou. Nevýhodou může být vyšší cena procesu. [2][5][11]

Na počátcích této metody pájení se používaly páry fluorovaných uhlovodíků. Pec, která využívala tuto metodu, musela být uzavřená, aby se zabránilo úniku par do okolí. Tyto páry jsou totiž ekologicky závadné. V dnešní době je již pájení v parách zcela ekologické. Byly vyvinuty kapaliny (např. perfluorpolyether nebo perfluoramin), které jsou ekologicky nezávadné. Zjednodušily se tak i pájecí pece, které není třeba mít nyní uzavřené. [2][5][11]

1.3.4 Konvekční pájení

K této metodě pájení se používají speciální pece, tzv. konvekční pece. Také se jim říká „reflow“ pece. Obecně tyto pece používají k ohřevu proudění horkého plynu, např. vzduchu. Konvekční pece můžeme tedy rozdělit podle proudění vzduchu, a to na pece s přirozenou konvekcí (prouděním) nebo s nucenou konvekcí. Nejrozšířenější jsou pak pece s nuceným prouděním vzduchu pomocí ventilátorů či trysek. Další rozdělení konvekčních pecí je na pece typu dávkové nebo průběžné. [2][5]

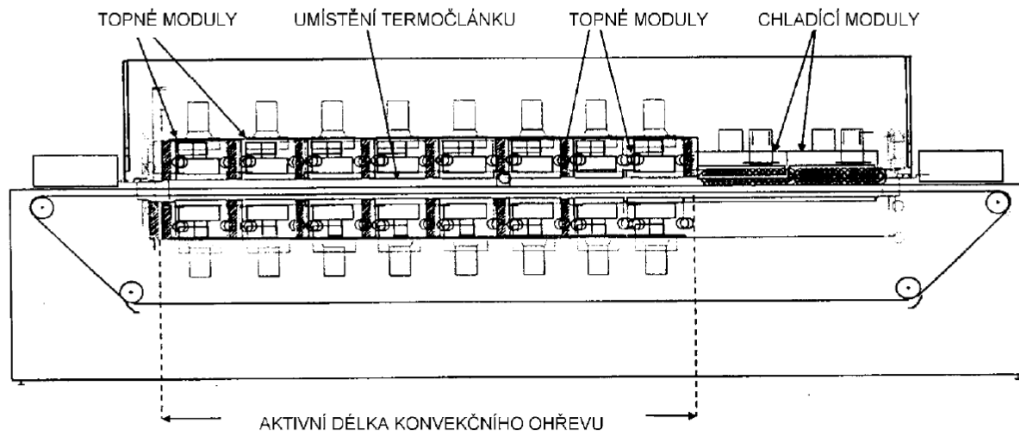
Dávkové přetavovací pece jsou určeny spíše pro použití v laboratořích, ve školách nebo v malých společnostech pro výrobu prototypů nebo malých sérií. Dávkové přetavovací pece se od průběžných liší v několika věcech. Především v ceně a rozměrech. Většinou jsou dávkové pece menší a levnější. Další odlišnost je patrná již z názvu. U průběžné přetavovací pece pájený vzorek projede skrz pec pomocí dopravníkového pásu. Zatímco u dávkové se pájený vzorek vloží dovnitř, kde už se většinou nijak nehýbe. Pro představu rozdíl těchto dvou pecí je vidět na obrázku níže (Obr. 1). [12]



Obr. 1: Dávková přetavovací pec (vlevo) a průběžná přetavovací pec (vpravo). Převzato z [13].

Na obrázku číslo 1 vlevo, můžeme vidět malou dávkovou přetavovací pec „Puhui T-937m“. Tato pec má rozměry 470(d) x 460(š) x 290(h) mm a váží pouze 20,7 kg. Cena pece Puhui T-937m je přibližně 16 000 Kč včetně DPH. Vpravo je pak vyobrazena větší průběžná přetavovací pec „GSD-L8“. Tato pec má dohromady 18 zón. Rozměry této pece jsou 5 500(d) x 1 500(š) x 1 550(h) mm a váha 1 800 kg. Cena pece „GSD-L8“ je 664 000 Kč včetně DPH. [14][15]

Průběžné přetavovací pece mají většinou několik oddělených zón, s možností regulace teploty v každé zóně. Zóny pak spojuje dopravníkový pás. Horký vzduch je po peci rozváděn pomocí ventilátorů nebo trysek. Některé pece umožňují měnit směr i průtok horkého vzduchu. Lze tedy pak horký vzduch usměrnit přímo na určitá místa. To má za následek rychlejší ohřev součástek. Nesprávné nastavení trysek, ale může zapříčinit např. posunutí součástek, a tím i nekvalitní pájený spoj a nefunkčnost zařízení. Pokud pece umožňují tyto možnosti, dbáme na správné nastavení trysek a ventilátorů. Samozřejmě, vzduch není jediný plyn, který lze použít pro rozvod tepla. Dále může být použit dusík, kde pájení probíhá v takzvané ochranné dusíkové atmosféře, u které je požadavek na velmi nízké znečištění kyslíkem. [2][5]



Obr. 2: Schématické znázornění konvekční reflow pece. Převzato z [5].

Velkou výhodou této metody pájení je, že celá deska plošných spojů je obklopena horkým plynem a rovnoměrně se tak zahřívá. Je tak možné pájet desky, které jsou osazeny součástkami z obou stran. Další velké plus spočívá v možnosti přesně nastavovat jednotlivé teploty nezávislých zón pece. A přesně tak nastavovat pájecí profily pro pájecí pasty. Další výhodou je, že tyto pece jsou většinou velice jednoduché na ovládání a obsluhu. [2][5][16]

2 Pájecí (teplotní) profil

S teplotním profilem se nejčastěji můžeme setkat ve formě grafu. Graf, který nám ukazuje závislost teploty během procesu pájení v čase. Teplotní profil je velice důležitý pro správné pájení. Říká nám, jak máme nastavit pec, aby přetavení pájecí pasty a následné vytvoření pájeného spoje, bylo co nejkvalitnější. Vznik defektů při procesu pájení je způsoben hlavně díky špatně nastavenému teplotnímu profilu. Obecně teplotní profily můžeme rozdělit na dva druhy: podélný a příčný. [5][17][18]

2.1 Příčný teplotní profil

Tento teplotní profil je dán zejména konstrukcí pece. Uživatel ho nemůže nijak záměrně ovlivnit. Jediná věc, která může lehce ovlivnit tento profil je velká hustota pájených součástek na DPS. Jde o teplotní profil, který popisuje nehomogenitu přetavovacího tunelu v příčném směru při procesu pájení. Pro optimalizaci pájecích profilů u naší pece Mistral 260 se tohoto profilu nijak nevyužívá. [5]

2.2 Podélný teplotní profil

Teplotní profil, který už měníme záměrně. Využívá se k optimalizaci procesu nových typů DPS nebo pájecích past. V dnešní době se používají dva hlavní profily: RSS (Ramp Soak Spike) a RTS (Ramp To Spike) nebo jejich kombinace. Samotný teplotní profil můžeme rozdělit na čtyři základní fáze: předehřívací, vyrovnávací, přetavovací a chladící. [5][17][18]

Fáze předehřívání – tato fáze je velice důležitá. Dochází zde k postupnému ohřívání pájených součástek a DPS. Tím se redukuje teplotní šok a zmenšuje se pravděpodobnost poškození součástek či přímo DPS. Tato fáze je zpravidla časově nejnáročnější. [17][19]

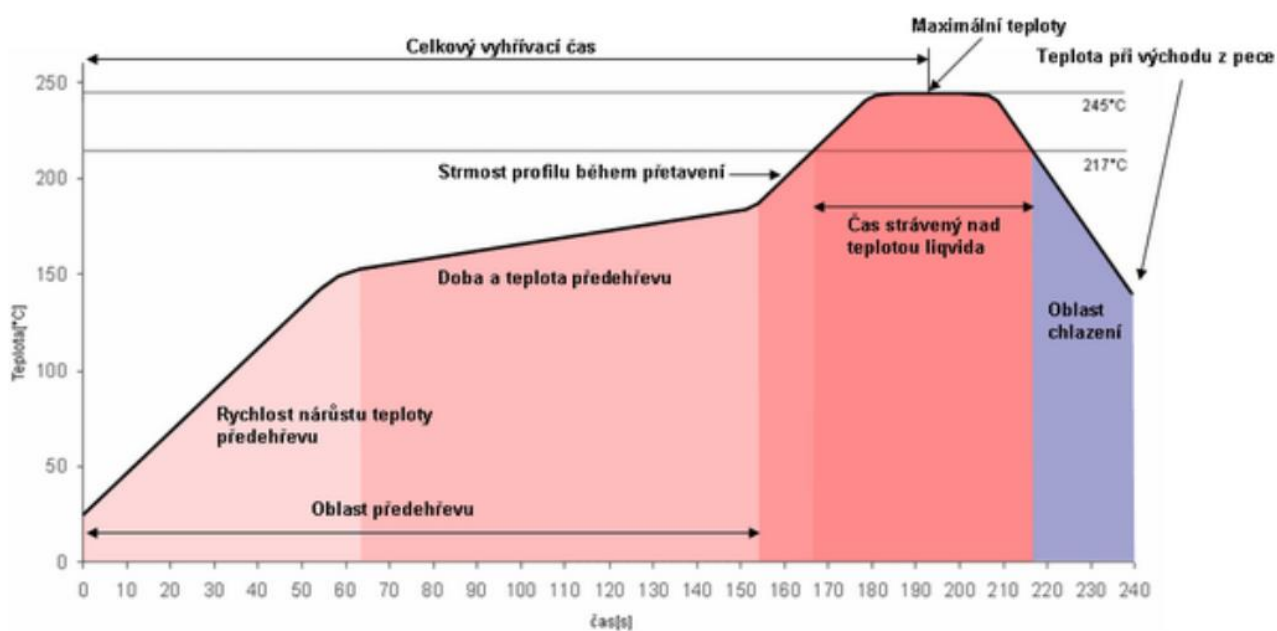
Fáze vyrovnávací (pouze u RSS) – během této fáze se teplota pece ustálí přibližně na stejné teplotě, aby se mohly všechny součástky správně zahřát. Je to proto, že se rozdílné součástky i rozdílně zahřívají. V této fázi se rovněž pomalu začínají aktivovat tavidla. [17][19]

Fáze přetavení – v této fázi se dosahuje maximální dovolené teploty a pájecí pasta je nyní v tekutém stavu. Tato fáze by neměla být moc dlouhá, hrozí zde poškození součástek. [17][19]

Fáze chlazení – poslední fází je chlazení celé desky. Pro kvalitní spoj je ideální chlazení 4-5 °C/s. [17][19]

2.2.1 RSS (Ramp Soak Spike)

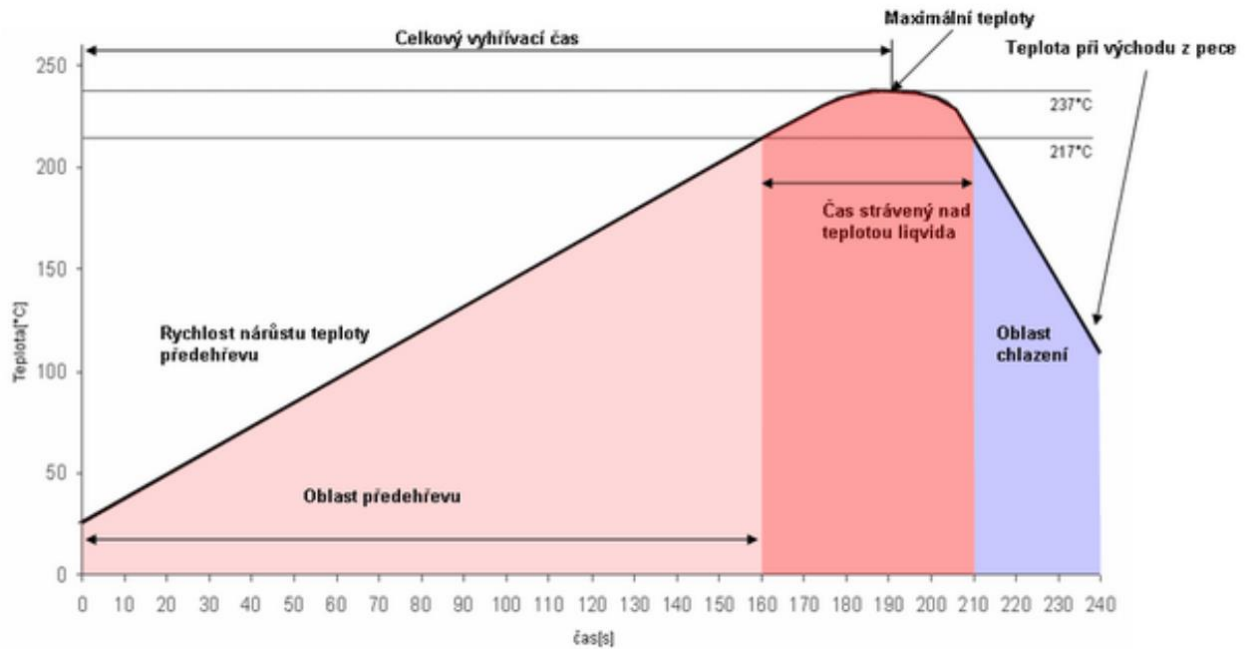
Jedná se o sedlový profil. Tento profil obsahuje všechny čtyři výše uvedené fáze. Na obrázku číslo 3 je vidět v první části fáze předehřevu, kde se teplota postupně zvyšuje. Následuje fáze vyrovnání, ve které se zvyšování teploty minimalizuje. Po této fázi se teplota zvýší až na teplotu přetavení – fáze přetavení. Na konci vidíme fázi chlazení, kde teplota klesá. [17]



Obr. 3: Teplotní profil RSS. Převzato z [18].

2.2.2 RTS (Ramp To Spike)

Jedná se o lineární profil. U tohoto profilu není vyrovnávací fáze. Teplota zde, oproti sedlovému profilu, roste lineárně až do maximální teploty. Aby se zamezilo teplotnímu šoku a nerovnoměrnému ohřátí součástek, teplota roste pomaleji než u RSS. Lineární profil je vyobrazen na obrázku číslo 4. [17]



Obr. 4: Teplotní profil RTS. Převzato z [18].

3 Průběžná přetavovací pec Mistral 260

Pro realizaci praktické části této bakalářské práce byla použita průběžná přetavovací pec Mistral 260, která je vyobrazena na obrázku číslo 5 a nachází se v laboratořích školy.



Obr. 5: Průběžná přetavovací pec Mistral 260.

3.1 Základní popis

Průběžná přetavovací pec Mistral 260 je svými rozměry poměrně malá, avšak poměrně výkonná. Je vhodná pro laboratorní účely nebo pro malovýrobu. Tuto pec lze využít pro pájení olovnatých i bezolovnatých pájek. Pec má tři nezávislé zóny, ve kterých lze jednotlivě nastavit teplotu až na 300 °C. Můžeme tak nastavit přesné pájecí profily pro různé pájecí slitiny. Krok nastavování teploty je 1 °C. Tyto nezávislé zóny protíná jeden dopravníkový pás, který zajišťuje posuv pájených vzorků. Rychlost dopravníkového pásu lze nastavit od rychlosti 15 cm/min, po kroku 1 cm/min, až do rychlosti 60 cm/min. K vyhřívání pec využívá nuceného proudění vzduchu, tedy konvekci. Celá pec se pak ovládá pomocí dotykového displeje. [20][21]

3.2 Ovládání

3.2.1 Uvedení pece do provozu

Pec Mistral 260 má jednoduché ovládání. Celá pec se zapne síťovým vypínačem, který se nachází na pravém boku pece. Vypínač má dva stavy - zapnuto a vypnuto. V okamžiku

kdy pec zapneme, objeví se na dotykovém displeji, který se nachází v přední části pece, hlášení ve kterém je napsáno: „Touch screen anywhere for operation“ (volně přeloženo: „Pro ovládání se kdekoliv dotkněte displeje“). Když se displeje dotkneme, zobrazí se nám provozní menu (obr. 4). [22]

Value	Preheat1	Preheat2	Reflow
Actual (°C)	21.9	22.2	21.2
Set (°C)	170	230	260
Product (°C)	Not connected		
Cur. recipe	REC_OLOVO		
Belt speed	20 cm/ min		
Status	Stop		

Start
Stop

Start
Profile

Trend

Recipe

Main
Menu

Obr. 6: Vzhled provozního menu. Převzato z: [22].

3.2.2 Provozní menu

Jak bylo zmíněno výše, celá pec se po zapnutí ovládá pomocí dotykového displeje. Zde vysvětlím základní údaje provozního menu. Jednou z hlavních věcí, která nás vždy zajímá je údaj „*Actual (°C)*“. Toto nám dává informaci o aktuální teplotě jednotlivých zón. Zde vidíme, zda je pec nahřata a tedy připravena pro pájení. Dalším údajem je „*Set (°C)*“. Zde nastavujeme teplotu jednotlivých zón. Nastavení se provádí stisknutím příslušného údaje na displeji. Následuje položka, která nám ukazuje aktuální teplotu z teplotního čidla označená „*Product (°C)*“. V případě, že není čidlo připojeno, vidíme na displeji hlášení „Not connected“. V překladu to doslova znamená „nepřipojeno“. Dalším bodem v menu je „*Cur. recipe*“. Ukazuje nám to náš pracovní list, resp. pájecí profil, který aktuálně používáme. Pokud máme v peci již optimalizované a uložené profily, můžeme je vybrat pod položkou „*Recipe*“. Při změně nastavení aktuálního pájecího profilu a následném vypnutí zařízení, se nám automaticky uloží poslední nastavení pece pod názvem aktuálního profilu, který právě používáme. Následující údaj „*Belt Speed*“ nám zobrazuje námi stanovenou rychlost dopravníkového pásu. Hodnotu, resp. rychlost pásu,

lze opět změnit, podobně jako u nastavování teplot, stisknutím příslušného údaje. Hodnotu bychom neměli při pájení měnit. Tato změna by významně ovlivnila celý proces pájení a v budoucnu bychom nebyli schopni takový proces přesně zopakovat. Posledním zajímavým údajem je údaj „*Status*“. Tento údaj nám ukazuje funkční stav pece. Můžeme u něj vidět dva stavy – „RUN“ a „STOP“. První údaj, který se nám po zapnutí pece zobrazí je „STOP“. Znamená to, že pec netopí a neprobíhá žádné udržování teploty. I ve stavu „STOP“ je však v chodu dopravníkový pás, který má rychlost přednastavenou na 20 cm/min. Po stisknutí položky „Start / Stop“ na displeji, se změni údaj na „RUN“. To znamená, že probíhá ohřev, a následně udržování teploty pece. Dále se nám také aktivuje dopravníkový pás na námi nastavenou rychlost. [22]

3.2.3 Proces pájení

Pokud chceme pájet v popisované přetavovací peci, musíme po zapnutí pece nastavit pájecí profil. To znamená zadat teplotu pro jednotlivé zóny a nastavit rychlost dopravníku. Po nastavení pájecího profilu spustíme pec tlačítkem „Start / Stop“. Pec se začne nahřívat na zvolené teploty. Položka „Actual“ by měla souhlasit s položkou „Set“. To však nenastane pokaždé. Je to dáno tím, že teplo se v jednotlivých zónách přelévá. Může se tedy stát, že skutečná teplota je vyšší než teplota nastavená. To je jeden z hlavních důvodů proč je důležitá optimalizace pájecích profilů, které s tímto počítají. Když je pec nahřátá, vkládáme vzorky, které chceme pájet, na pás dopravníku. Poté, co vzorky projedou pecí, následuje chlazení a vyjmutí vzorků z dopravníkového pásu. Pec Mistral 260 nemá své vlastní „odkladné místo“. Je tedy důležité vyjmutí vzorků z dopravníkového pásu, aby nedošlo k jejich poškození pádem z tohoto pásu. [22]

4 Praktická část

Jak již bylo uvedeno výše, cílem této bakalářské práce je optimalizovat pájecí profily pájecích past na průběžné přetavovací peci Mistral 260. Pro optimalizaci byly vybrány tyto pájecí pasty: SAC3-XF3+, PF602-P30, SN100C-OT2, S6M-XM3S, SCANGE071-OT2. U každé pasty jsem se snažil optimalizovat pájecí profil na dvě varianty, kde jsem se snažil dosáhnout minimálních a maximálních hodnot parametrů udávaných výrobcem. Dvě varianty byly zvoleny proto, aby bylo možné případně teplotně citlivé součástky pájet tak, aby nedošlo k jejich poškození. Toto však nelze provést u každé pájecí pasty vzhledem k jejím specifickým parametrům a parametrům naší průběžné přetavovací pece Mistral 260.

Optimalizace pájecích profilů v tomto případě spočívá v sérii měření, vyhodnocování a zkoumání výsledků, a následného stanovení vhodného pájecího profilu pro každou pájecí pastu. Pro měření bylo použito následující vybavení: senzor s platinovým teplotním čidlem PT1000, měřicí přístroj Metrahit a notebook Dell E5530.

Samotné čidlo PT1000 je velmi malé (několik mm) a samostatně by jej nebylo možno bezpečně umístit na dopravníkový pás. Proto byl na katedře technologií a měření vyroben přípravek, obsahující čidlo PT1000. Celý senzor pro měření teploty se tedy skládá z čidla PT1000, které bylo přilepeno teplovodným lepidlem k DPS a pomocí krimpování nakontakováno na teflonové drátky. Celý přípravek byl ještě umístěn na speciální mřížku, aby se opravdu zabránilo propadu pod dopravníkový pás.

Senzor tedy simuluje pájený vzorek na dopravníkovém pásu a reaguje na změnu teploty tak, že mění svůj elektrický odpor. Senzor je napojen do měřicího přístroje, který tento odpor měří. Měřicí přístroj je dále napojen na notebook, který obsahuje speciální aplikaci, vytvořenou v programu LabView. Tato aplikace, která byla také vytvořena na katedře technologií a měření, převádí odpor na teplotu a zaznamenává ji v určený čas. V našem případě probíhá zaznamenávání teploty každou sekundu. U měření sledujeme údaje, které právě udávají profil pájení dané pasty. Každá pájecí pasta má své specifické parametry, a tedy i jiný profil pájení. Tyto parametry jsou definovány výrobcem. Informace dodávané jednotlivými výrobci, se můžou mírně lišit. Tyto informace jsou

uváděny v katalogových listech (tzv. „datasheetech“) jednotlivých pájecích past. Zpravidla se udává především doba a teplota přehřevu, maximální teplota tavení (tzv. „peak“) a doba nad teplotou tavení.

U každé pájecí pasty je, v této bakalářské práci, uveden stručný popis pasty. Dále pak tabulky, ve kterých jsou vypsány důležité údaje z katalogového listu („datasheetu“), výsledné nastavení pece pro optimální pájecí profil a porovnání naměřených hodnot s minimálními a maximálními parametry z katalogového listu. Dále je uveden graf, ve kterém je znázorněn optimální pájecí profil. Neboli graf, ve kterém je znázorněn průběh teploty v čase.

4.1 Pájecí pasta SAC3-XF3+

Výrobce pasty SAC3-XF3+ je firma Balver Zinn - Cobar. Tato firma vyrábí rovněž další tři pasty, které byly vybrány k optimalizaci - SN100C-OT2, SCANGe071-OT2 a SM6-SM3S. Firma Balver Zinn – Cobar je významná evropská firma. Specializuje se nejen na výrobu pájecích past, ale také i na výrobu pájecích drátů a tavidel pro strojní pájení. Firmu založil Eli Westerlakenem, v Holandsku roku 1983. Dnes má firma Balver Zinn – Cobar velké množství výrobních podniků po celém světě. Jedná se o jednu z nejvýznamnějších firem v oblasti technologie pájení. Je uznávána velkými světovými výrobci elektroniky, např. Hewlett Packard (HP), Panasonic, Nokia a mnoho dalších. Mimo jiné je tato firma, zaměřena na vývoj ekologických produktů. [23]

SAC3-XF3+ je bezolovnatá pájecí pasta založená na bázi syntetické pryskyřice. Slitina této pasty má složení: Sn (cín) - 96,5 %, Ag (stříbro) – 3 %, Cu (měď) - 0,5 %. Podle těchto prvků tato pasta získala část svého názvu – SAC. Díky své vysoké tepelné stabilitě, může být pasta použita při dlouhých pájecích profilech – s délkou trvání až 6 min. Pasta je vhodná pro tisk přes šablonu, a díky své jemné zrnitosti prášku (25 – 45 μm), je vhodná pro tisk jemných kontur součástek s roztečí do 0,5 mm, například čipy integrovaných obvodů. Maximální rychlost, se kterou se smí tisknout tato pájecí pasta je 100 mm/s. Teplota tání pájecí pasty je okolo 217 – 219 °C. Tato pájecí pasta je určena pro všechny typy povrchových úprav DPS a vhodná pro pájení bez dusíkové atmosféry. [24]

V tabulce č. 1 jsou uvedeny nejdůležitější informace z katalogového listu (datasheetu), které potřebujeme, abychom mohli správně optimalizovat pájecí profil. Tabulka uvádí teplotu a čas předehřevu pájecí pasty. Dále je uvedena doba nad teplotou tavení (u této pasty je to teplota nad 217 °C). Posledním údajem je maximální teplota tavení („peak“). Pro kvalitní pájený spoj musí být dodrženo rozmezí těchto teplot, tj. 235 – 250 °C. Při nižší teplotě hrozí, že se pájecí pasta správně nepřetaví. Naopak při překročení této teploty může dojít k odsmáčení. Oba tyto případy znamenají, že pájený spoj nebude kvalitní.

Tabulka č. 1: Údaje z katalogového listu pro SAC3-XF3+.

Údaje z katalogového listu [25]	
Maximální teplota tavení	235 - 250 °C
Nad 217 °C	30-50 s
Předehřev	155 - 175 °C nebo 175 - 195 °C
Doba předehřevu	45 - 100 s

Tato pájecí pasta má specifické požadavky (parametry) na pájecí profil, které je obtížné splnit s použitou průběžnou přetavovací pecí Mistral 260. Po složitých a pečlivých měřeních se podařilo určit a optimalizovat alespoň jednu variantu teplotního profilu této pájecí slitiny, která vyhovuje požadavkům výrobce. V následující tabulce číslo 2 je uvedeno konečné nastavení pece pro danou variantu - tedy rychlost dopravníkového pásu a teplota jednotlivých zón.

Tabulka č. 2: Nastavení pájecí pece pro SAC3-XF3+.

Konečný výsledek měření (nastavení pece)		
Varianta	1.	2.
Rychlost [cm/min]	28	X
Zóna 1 [°C]	170	X
Zóna 2 [°C]	175	X
Zóna 3 [°C]	273	X

Pro dosažení optimálního pájecího profilu u bezolovnaté pájecí pasty SAC3-XF3+ je tedy nutno nastavit průběžnou přetavovací pec, přes dotykový displej, na rychlost dopravníkového pásu 28 cm/min. Teplotu zóny jedna na 170 °C, zóny dvě na 175 °C a zóny tři na 273 °C.

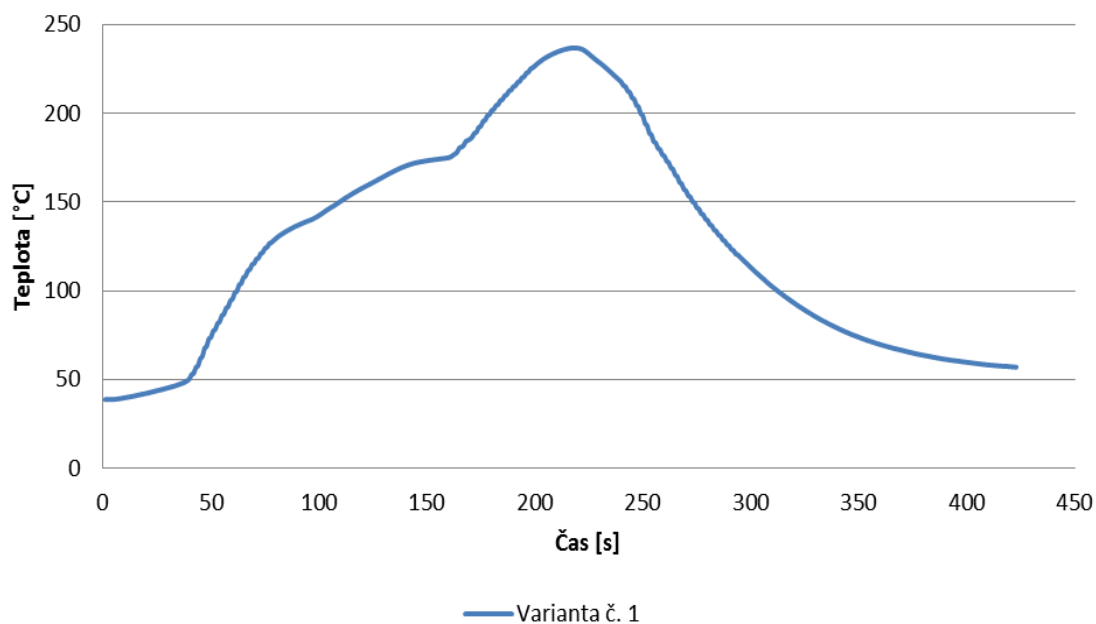
V tabulce číslo 3 je porovnání optimalizovaného profilu s katalogovým listem. Vidíme zde minimální a maximální hodnoty, které udává výrobce, a naše naměřené hodnoty pro optimalizovaný pájecí profil. Výrobce uvádí ve svém katalogovém listu maximální teplotu tavení („peak“) minimálně 235 °C. Náš optimalizovaný profil číslo jedna dosahuje teploty 237,1 °C. Doba předehřevu uvádí výrobce v rozmezí 45 – 100 sekund, náš optimalizovaný profil dosahuje čas 46 sekund. Dále vidíme, že optimalizovaný pájecí profil vyhovuje i rozmezí časů, ve kterých má pájecí pasta být nad teplotou 217 °C.

Z tabulky číslo 3 je patrné, že hodnoty našeho optimalizovaného profilu odpovídají požadavkům výrobce.

Tabulka č. 3: Porovnání naměřených hodnot s katalogovým listem pro SAC3-XF3+.

Naměřené hodnoty - porovnání s katalogovým listem				
Varianta	1.		2.	
	Minimální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty	Maximální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty
Maximální teplota tavení [°C]	235	237,1	250	X
Nad 217 °C [s]	30	49,0	50	X
Doba předehřevu [s]	45	46,0	100	X

Graf (obr. 7) znázorňuje námi optimalizovaný pájecí (teplotní) profil. Podle průběhu teploty v čase můžeme konstatovat, že se jedná o sedlový typ pájecího profilu označený jako RSS (Ramp Soak Spike).



Obr. 7: Pájecí profil pro SAC3-XF3+.

4.2 Pájecí pasta PF602-P30

Pájecí pasta PF602-P30 je jedinou pájecí pastou, v této bakalářské práci, která nepochází od výrobce Balver Zinn - Cobar. Výrobcem této pájecí pasty je firma Nevo. Jedná se o poměrně mladou firmu. Vznikla v Německu, ve městě Wolfratshausen, v roce 2013. V roce 2015 rozšířila tato firma svou výrobu i do České republiky. Nyní je výroba pájecích past situována v Brně. Tato firma má také výhradní právo na výrobu a prodej pájecích produktů firmy „Shenmao Technology“ pro Evropu, Střední východ a Afriku. [26]

PF602-P30 je bezolovnatá pájecí pasta, která je označena jako nízkoteplotní. Použití této pájecí pasty může být např. pro pájení součástek, které jsou tepelně citlivé. Teplota tání je už od 139 °C. Slitina pájecí pasty má složení Bi (bismut) – 58%, Sn (cín) – 42%. Tato pájecí pasta je opět vhodná pro tisk přes šablonu. Maximální rychlost tisku je 120 mm/s. Pasta vydrží na šabloně přes 8 hodin, aniž by došlo k významným degradačním účinkům. [27]

Tabulka číslo 4 obsahuje nejdůležitější údaje z katalogového listu pro tuto pájecí pastu. Vidíme, že tato pájecí pasta má nízkou maximální teplotu tavení.

Tabulka č. 4: Údaje z katalogového listu pro PF602-P30.

Údaje z katalogového listu [28]	
Maximální teplota tavení	165 - 185 °C
Nad 138 °C	30 - 100 s
Předehřev	90 - 120 °C
Doba předehřevu	30 - 120 s

U této pájecí pasty se podařilo optimalizovat dva pájecí profily. V tabulce číslo 5 jsou uvedena konečná nastavení pece pro dva profily. Skutečnost, že je pájecí pasta PF602-P30 nízkoteplotní, se promítne i na nastavených teplotách jednotlivých zón pece.

Tabulka č. 5: Nastavení pájecí pece pro PF602-P30.

Konečný výsledek měření (nastavení pece)		
Varianta	1.	2.
Rychlost [cm/min]	45	35
Zóna 1 [°C]	100	90
Zóna 2 [°C]	140	130
Zóna 3 [°C]	220	210

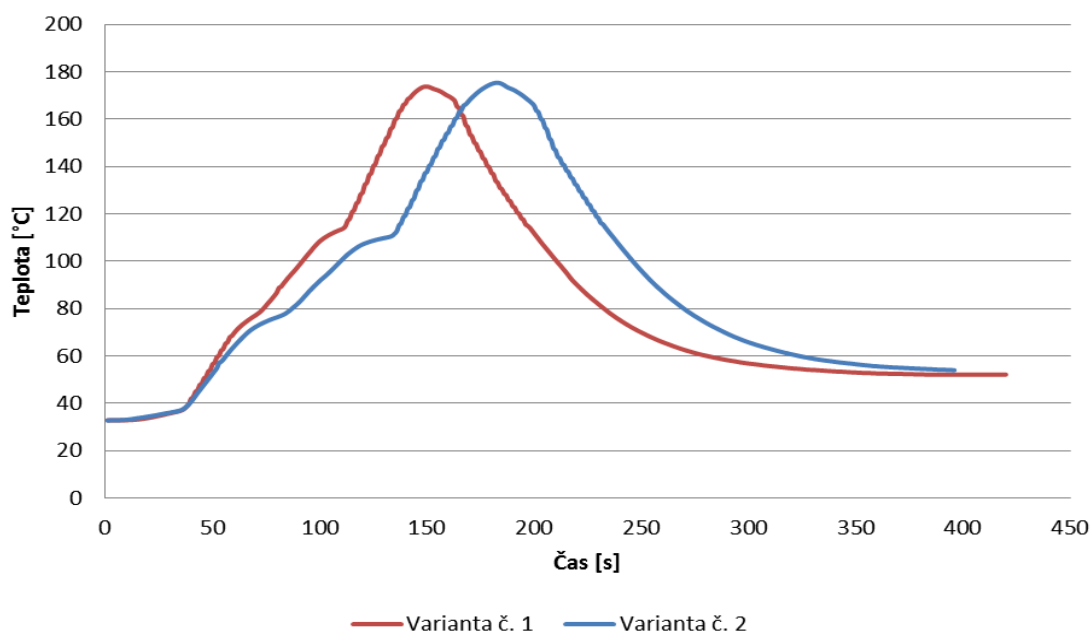
V poslední tabulce (tab. č. 6), pro tuto pastu, je uvedeno porovnání naměřených hodnot s katalogovým listem. Opět jsou zde uvedeny minimální a maximální hodnoty, které udává výrobce, a naše naměřené hodnoty pro optimalizovaný pájecí profil. Výrobce uvádí ve svém katalogovém listu maximální teplotu tavení („peak“) v rozmezí 165 – 185 °C. Námí optimalizovaný profil číslo jedna dosahuje teploty 173,5 °C. Profil číslo dvě dosahuje teploty 176,2 °C. Dále vidíme, že optimalizované pájecí profily vyhovují i rozmezí časů, ve kterých má být pájecí pasta nad teplotou 138 °C. Doba předehřevu uvádí výrobce v rozmezí 90 – 120 sekund. Náš optimalizovaný profil číslo jedna dosahuje čas 32,5 sekund. Optimalizovaný profil číslo dva 44,3 sekund.

Z tabulky číslo 6 vyplývá, že naměřené hodnoty z optimalizovaných profilů jsou v mezích, které udává výrobce.

Tabulka č. 6: Porovnání naměřených hodnot s katalogovým listem pro PF602-P30.

Naměřené hodnoty - porovnání s katalogovým listem				
Varianta	1.		2.	
	Minimální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty	Maximální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty
Maximální teplota tavení [°C]	165	173,5	185	176,2
Nad 138°C [s]	30	54,0	100	68,3
Doba předehřevu [s]	30	32,5	120	44,3

Na grafu (obr. 8) je znázorněn pájecí profil pro pájecí pastu PF602-P30. Vidíme, že fáze předehřevu a fáze vyrovnání zde poněkud splývají. Mohlo by se tedy zdát, že jde o lineární profil. Jedná se, ale opět o sedlový typ, tedy RSS pájecí profil.



Obr. 8: Pájecí profil pro PF602-P30.

4.3 Pájecí pasta SN100C-OT2

Výrobce pasty SN100C-OT2 je firma Balver Zinn - Cobar. Jedná se o bezolovnatou pájecí pastu. Pasta je založena na bázi cínu a mědi. Celkové složení slitiny je: Sn (cín) - 99.3 %, Cu (měď) - 0.7 %, Ni (nikl) - 0.05 %, Ge (germanium) - 0.005 %. Teplota tání je od 227 °C. Pasta je vhodná pro tisk přes šablonu. Rychlost, kterou můžeme

tuto pastu tisknout je až 200 mm/s. Aby nevznikly nežádoucí účinky, je nutné pastu přetavit do 24 hodin po natištění. [29]

V tabulce číslo 7, kde jsou vypsány údaje z katalogového listu, vidíme, že tato pájecí pasta SN100C-OT2 má poměrně vysokou teplotu přetavení. Na druhou stranu výhodou této pájecí pasty je její předeřev. Výrobce udává požadovanou dobu předeřevu už od 20 sekund a teplotu předeřevu mezi 150 a 200 °C.

Tabulka č. 7: Údaje z katalogového listu pro SN100C-OT2.

Údaje z katalogového listu [29]	
Maximální teplota tavení	240 - 260 °C
Nad 227 °C	30 - 120 s
Předeřev	150 - 200 °C
Doba předeřevu	20 - 150 s

V tabulce číslo 8 máme nastavení pece pro dvě optimalizované varianty pájecího profilu. Jak bylo zmíněno výše, tato pájecí pasta vyžaduje poměrně vysokou teplotu pro přetavení. Ve variantě číslo jedna vidíme, že pro zónu tři je nastavena maximální teplota, kterou lze pro pec Mistral 260 nastavit – 300 °C.

Tabulka č. 8: Nastavení pájecí pece pro SN100C-OT2.

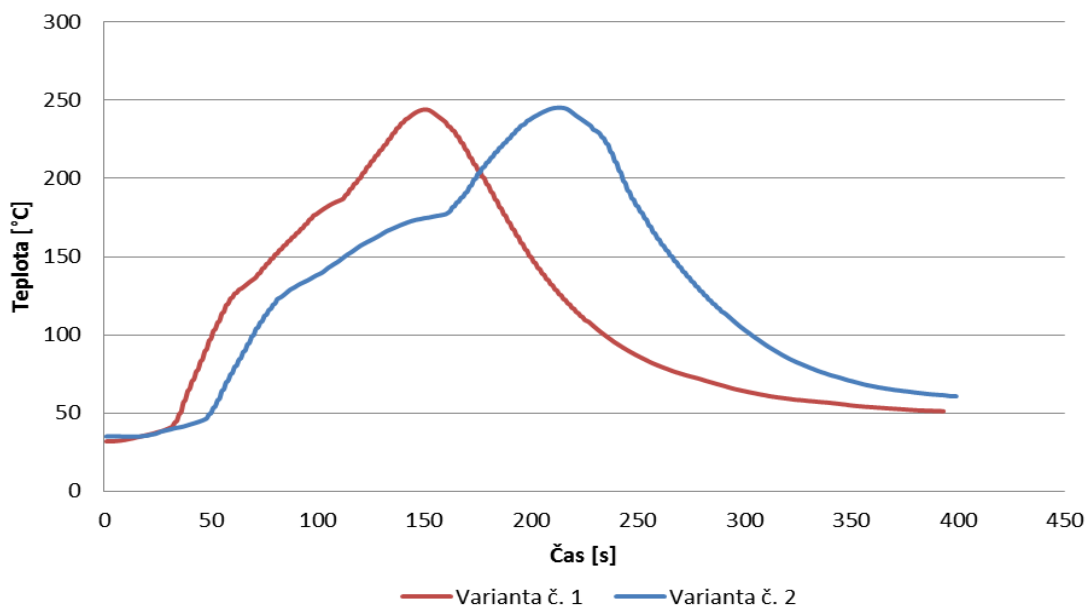
Konečný výsledek měření (nastavení pece)		
Varianta	1.	2.
Rychlost [cm/min]	43	30
Zóna 1 [°C]	195	170
Zóna 2 [°C]	240	200
Zóna 3 [°C]	300	285

V tabulce číslo 9 je porovnání naměřených hodnot z optimalizovaných pájecích profilů s parametry z katalogového listu od výrobce. Opět vidíme, že naměřené hodnoty spadají do rozmezí udávaného výrobcem.

Tabulka č. 9: Porovnání naměřených hodnot s katalogovým listem pro SN100C-OT2.

Naměřené hodnoty - porovnání s katalogovým listem				
Varianta	1.		2.	
	Minimální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty	Maximální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty
Maximální teplota tavení [°C]	240	245,2	260	244,5
Nad 227°C [s]	30	32,5	120	41,0
Doba předehřevu [s]	20	40,5	150	61,5

Na grafu (obr. 9) jsou znázorněny dvě varianty pájecího profilu. Obě varianty jsou sedlového neboli RSS typu. Pro variantu číslo jedna je zvolena větší rychlost dopravníkového pásu i vyšší teploty jednotlivých zón než pro variantu číslo dvě (viz tabulka č. 8). Varianta číslo jedna má rychlejší náběh teploty a celkově trvá kratší dobu než varianta číslo dvě.



Obr. 9: Pájecí profil pro SN100C-OT2.

4.4 Pájecí pasta S6M-XM3S

Výrobcem pasty SM6-SM3S je firma Balver Zinn - Cobar. Jedná se o olovnatou pájecí pastu, založenou na bázi syntetické pryskyřice. Slitina má složení: Sn (cín) - 62,5 %, Pb (olovo) - 36,5 %, Ag (stříbro) - 1 %. Bod tání této pasty je 179 – 183 °C.

Pasta je díky svému složení vhodná pro pájení hůře pájitelných povrchů a dále rovněž zabraňuje výskytu tzv. „tombstoning“ efektu – postavení součástek. [30][31]

V tabulce číslo 10 jsou vypsaná důležitá vybraná data z katalogového listu. Příměs olova v této pájecí pastě má za následek nižší maximální teplotu tavení („peak“), než ostatní pájecí pasty od firmy Balver Zinn – Cobar, které jsou bezolovnaté.

Tabulka č. 10: Údaje z katalogového listu pro S6M-XM3S.

Údaje z katalogového listu [32][33]	
Maximální teplota tavení	205 - 225 °C
Nad 183 °C	35 - 50 s
Předehřev	155 - 165 °C nebo 165 - 175 °C
Doba předehřevu	45 - 60 s

Tato pájecí pasta má, na své optimální přetavení, velice specifické požadavky. Kvůli požadavku na poměrně dlouhou dobu předehřevu a zároveň krátkou dobu nad teplotou tavení, se nepodařilo, na přetavovací peci Mistral 260, najít a správně optimalizovat vhodný pájecí profil. V tabulce číslo 11 jsou uvedeny nejlepší výsledky, které se podařilo naměřit, avšak ani tyto nevyhovují parametrům, které udává výrobce.

Tabulka č. 11: Nastavení pájecí pece pro S6M-XM3S.

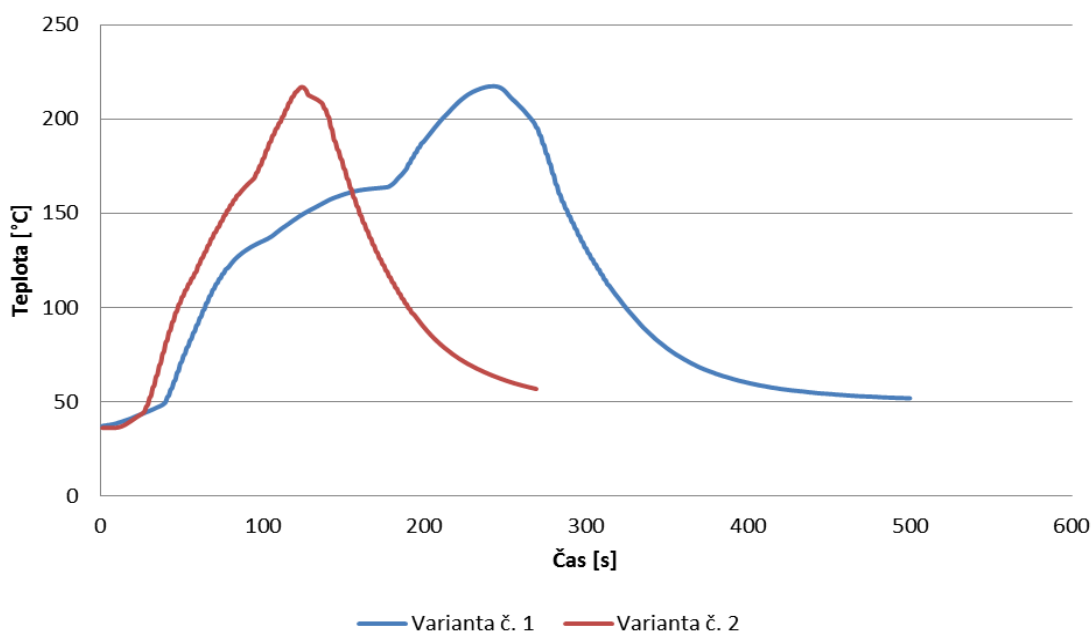
Konečný výsledek měření (nastavení pece)		
Varianta	1.	2.
Rychlost [cm/min]	25	50
Zóna 1 [°C]	160	180
Zóna 2 [°C]	175	220
Zóna 3 [°C]	242	270

V následující tabulce máme porovnání naměřených hodnot, vybraných dvou profilů, s katalogovým listem. Je zřejmé, že dva ze tří požadovaných parametrů jsou v mezích, které udává výrobce. Tyto dva parametry se podařilo určit pouze při „zanedbání“ parametru třetího. Pájecí pasta SM6-XM3S tedy není optimálně použitelná pro naši průběžnou přetavovací pec Mistral 260.

Tabulka č. 12: Porovnání naměřených hodnot s katalogovým listem pro S6M-XM3S.

Naměřené hodnoty - porovnání s katalogovým listem				
Varianta	1.		2.	
	Minimální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty	Maximální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty
Maximální teplota tavení [°C]	205	217,4	225	216,9
Nad 183 °C [s]	35	79,0	50	44,0
Přehřev [s]	45	45,0	60	10,0

V grafu (obr. 10) jsou znázorněny dvě varianty pájecího profilu této pájecí pasty. Varianta číslo jedna je klasický sedlový RSS profil, avšak má příliš dlouhý čas nad teplotou tavení a neodpovídá požadavkům výrobce. Varianta číslo dvě vypadá jako velmi strmý lineární profil. Při takovém profilu by došlo k velkému teplotnímu šoku a hrozilo by poškození pájených součástí.



Obr. 10: Pájecí profil pro S6M-XM3S.

4.5 Pájecí pasta SCANGe071-OT2

Výrobce pasty SCANGe071-OT2 je firma Balver Zinn - Cobar. Jedná se o bezolovnatou pájecí pastu, založenou na bázi přírodní kalafuny s práškem slitiny o složení Sn (cín) - 98.3 %, Cu (měď) - 0.7 %, Ag (stříbro) - 1.0 %, Ni (nikl) - 0.05 %,

Ge (germanium) - 0.005 %. Tato pasta je určena pro tisk přes šablonu. Teplota tání je okolo 217 – 224 °C. Dobrou vlastností této pasty je její dobrá roztékavost po pájecích ploškách, která zabraňuje vzniku tzv. „tombstoning“ efektu. [34]

V tabulce číslo 13 jsou uvedeny nejdůležitější informace z katalogového listu (datasheetu), které potřebujeme, abychom mohli správně optimalizovat pájecí profil. Tabulka uvádí teplotu a čas předehřevu pájecí pasty. Dále je uvedena doba nad teplotou tavení a maximální teplota tavení („peak“).

Tabulka č. 13: Údaje z katalogového listu pro SCANGe071-OT2.

Údaje z katalogového listu [35]	
Maximální teplota tavení	230 - 260 °C
Nad 224 °C	30 - 120 s
Předehřev	120 - 200 °C
Doba předehřevu	20 - 150 s

U této pájecí pasty se podařilo správně optimalizovat dva pájecí profily. V tabulce číslo 14 jsou uvedena konečná nastavení pece pro oba profily. Z tabulky číslo 13 je vidět že tato pájecí pasta má vysokou maximální teplotu přetavení („peak“). Tato skutečnost se promítne i na vysokých teplotách v zónách pece. V zóně číslo tři je pro první variantu nastavená maximální teplota, jakou lze pro jednotlivé zóny pece Mistral 260, nastavit – tedy 300 °C.

Tabulka č. 14: Nastavení pájecí pece pro SCANGe071-OT2.

Konečný výsledek měření (nastavení pece)		
Varianta	1.	2.
Rychlost [cm/min]	45	30
Zóna 1 [°C]	195	170
Zóna 2 [°C]	240	200
Zóna 3 [°C]	300	285

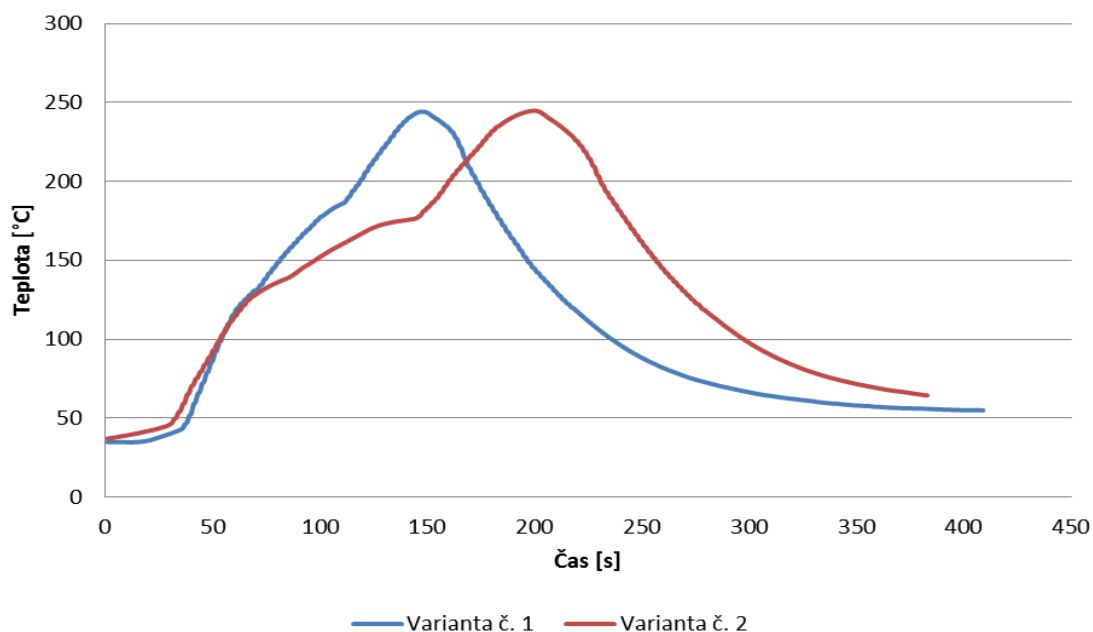
V tabulce číslo 15 je porovnání naměřených hodnot z optimalizovaných pájecích profilů s parametry z katalogového listu od výrobce. První varianta je optimalizována pro

rychlejší průchod průběžnou přetavovací pecí Mistral 260. Druhá varianta je optimalizovaná na dlouhou dobu předeřevu. V tabulce číslo 15 vidíme, že všechny naměřené hodnoty spadají do rozmezí udávaného výrobcem.

Tabulka č. 15: Porovnání naměřených hodnot s katalogovým listem pro SCANGe071-OT2.

Naměřené hodnoty - porovnání s katalogovým listem				
Varianta	1.		2.	
	Minimální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty	Maximální hodnoty z katalogového listu	Naměřené hodnoty
Maximální teplota tavení [°C]	230	243,1	260	244,8
Nad 224 °C [s]	30	33,0	120	46,0
Předeřev [s]	20	57,5	150	96,5

Na grafu (obr. 11) jsou znázorněny dvě varianty pájecího profilu. Obě varianty jsou sedlového neboli RSS typu. U varianty číslo jedna je rychlejší náběh teploty. Pro tuto variantu je zvolena větší rychlost dopravníkového pásu i vyšší teploty jednotlivých zón než pro variantu číslo dvě (viz tabulka číslo 14).



Obr. 11: Pájecí profil pro SCANGe071-OT2.

4.6 Výsledek experimentu

V tabulce číslo 16 je shrnutí nejdůležitějších údajů z katalogových listů pro jednotlivé pájecí pasty.

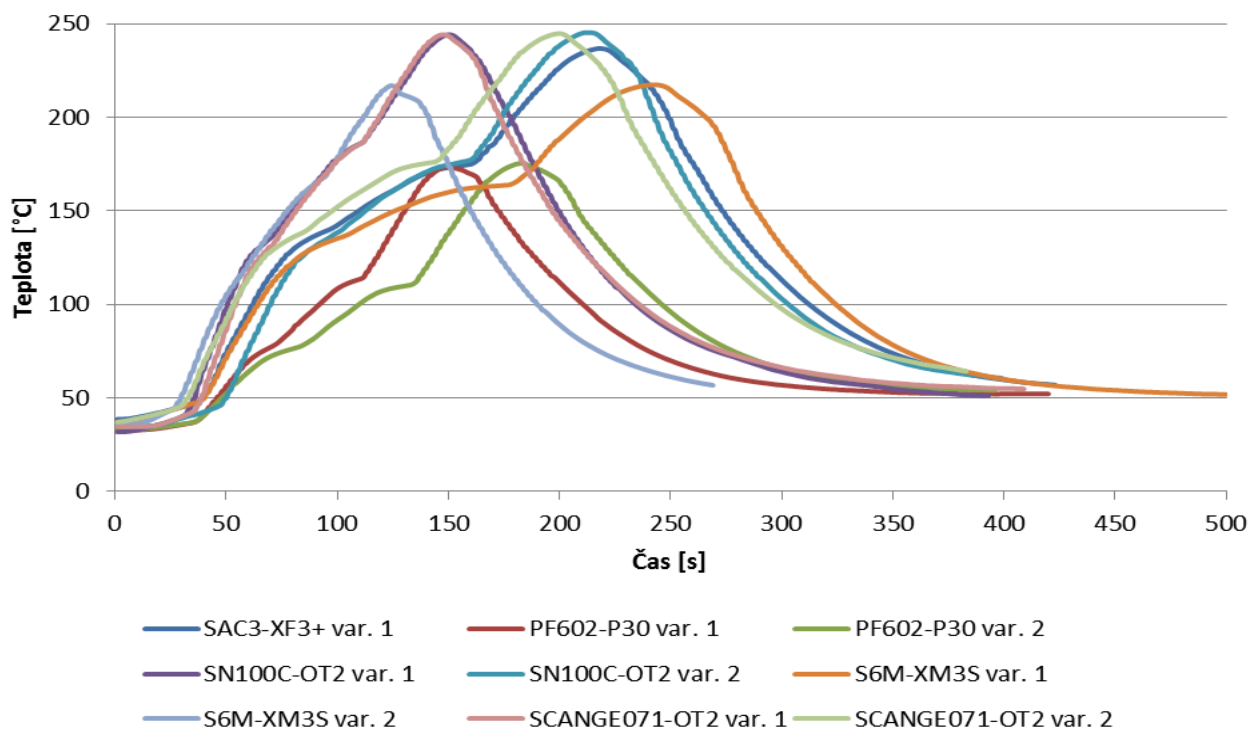
Tabulka č. 16: Shrnutí údajů z katalogových listů pro jednotlivé pájecí pasty

Údaje z katalogových listů					
	SAC3-XF3+	PF602-P30	SN100C-OT2	S6M-XM3S	SCANGE071-OT2
Maximální teplota tavení	235 - 250 °C	165 - 185 °C	240 - 260 °C	205 - 225 °C	230 - 260 °C
Nad teplotou tavení	Nad 217 °C po dobu 30 - 50 s	Nad 138 °C po dobu 30 - 100 s	Nad 227 °C po dobu 30 - 120 s	Nad 183 °C po dobu 35 - 50 s	Nad 224 °C po dobu 30 - 120 s
Předehřev	155 - 175 °C nebo 175-195 °C	90 - 120 °C	150 - 200 °C	155 - 165 °C nebo 165 - 175 °C	120 - 200 °C
Doba předehřevu	45 - 100 s	30 - 120 s	20 - 150 s	45 - 60 s	20 - 150 s

Tabulka číslo 17 dokumentuje konečné nastavení průběžné přetavovací pece Mistral 260 pro jednotlivé pájecí pasty a pro každou variantu optimalizovaného profilu. Z tabulky je vidět, že pro pájecí pastu SAC3-XF3+ byla provedena pouze jedna varianta optimalizovaného profilu. Pro pájecí pastu S6M-XM3S jsou uvedeny nejbližší varianty pájecího profilu, které ale v určitých parametrech neodpovídají požadavkům výrobce. Tyto dvě pájecí pasty mají totiž na své správné přetavení specifické požadavky, kterým nelze na průběžné přetavovací peci Mistral 260 vyhovět.

Tabulka č. 17: Konečné nastavení pece pro jednotlivé pasty a varianty

Konečné nastavení pece										
	SAC3-XF3+		PF602-P30		SN100C-OT2		S6M-XM3S		SCANGE071-OT2	
Varianta	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.
Rychlost [cm/min]	28	X	45	35	43	30	25	50	45	30
Zóna 1 [°C]	170	X	100	90	195	170	160	180	195	170
Zóna 2 [°C]	175	X	140	130	240	200	175	220	240	200
Zóna 3 [°C]	273	X	220	210	300	285	242	270	300	285



Obr. 12: Vyobrazení všech pájecích profilů pro vybrané pájecí pasty

Tento graf (obr. 12) je zobrazením všech pájecích profilů pro vybrané pájecí pasty. Z grafu je patrné, že každá pájecí pasta má rozdílný pájecí profil. Každá pájecí pasta tedy potřebuje svou optimalizaci. Nesprávný pájecí profil je totiž jedním z hlavních faktorů, který negativně ovlivňuje výsledný pájený spoj.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo optimalizovat pájecí (teplotní) profily u průběžné přetavovací pece Mistral 260. V první kapitole byly popsány druhy pájecích slitin a metody pájení. Druhá kapitola se zaměřila na různé metody pájení přetavením. Pájení infračerveným světlem, pájení laserem, pájení v parách a konvekční pájení. V této kapitole byl popsán způsob, jakým jsou jednotlivé druhy pájení realizovány a rovněž výhody a nevýhody použití těchto metod. Třetí kapitola této bakalářské práce se zabývala pájecími (teplotními) profily. Další kapitola byla věnována průběžné přetavovací peci Mistral 260, která byla použita pro realizaci praktické části této bakalářské práce. Jedná se o přetavovací pec vhodnou pro laboratorní účely nebo pro malovýrobu. Tato pec je vhodná pro pájení olovnatých i bezolvnatých pájek.

Praktická část práce byla zaměřena na proces optimalizace pájecích profilů. Pro optimalizaci byly vybrány tyto pájecí pasty: SAC3-XF3+, PF602-P30, SN100C-OT2, S6M-XM3S, SCANGE071-OT2. Kromě pájecí pasty PF602-P30, která je vyráběna firmou Nevo, je výrobcem vybraných pájecích past firma Balver Zinn – Cobar. Produkty těchto firem, Nevo a Balver Zinn Cobar, se řadí k nejlepším na světě a jsou používány řadou významných výrobců elektroniky (např. HP). Všechny pájecí pasty vybrané k optimalizaci byly, kromě pájecí pasty SM6-SM3S, bezolvnaté. Pro pájecí pasty PF602-P30, SN100C-OT2, SCANGe071-OT2, SAC3-XF3+ se podařilo nalézt optimální pájecí profil. U pájecí pasty SM6-SM3S se nepodařilo určit, pro průběžnou přetavovací pec Mistral 260, takový pájecí profil, který by odpovídal požadavkům výrobce. U každé pájecí pasty byly popsány její vlastnosti a specifiky.

Optimalizace pájecích profilů je velice důležitá. Provádí se pro každou pájecí pastu. Většina problémů s pájenými spoji, které při pájení vzniknou, jsou dány kvůli špatnému pájecímu profilu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] M. Schwartz, *Soldering: understanding the basics*. Ohio: ASM International, 2014.
- [2] M. ABEL a V. CIMBUREK, *Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi*, 1. vyd. Pardubice: ABE.TEC, s.r.o., 2005.
- [3] R. J. K. Wassink, *Soldering in Electronics: A Comprehensive Treatise on Soldeing Technology for Surface Mounting and Through-hole Techniques*, 2. vyd. Port Erin: Electrochemical Publications LTD, 1994.
- [4] „Pájení, pájení mědi, tvrdé pájení, měkké pájení, pájky, páječky, tavidla, pájení hliníku“, *Svářecí technika Schinkmann s.r.o.* [Online]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/pajeni-1>. [Viděno: 23-úno-2016].
- [5] J. Starý a P. Kahle, *Plošné spoje a povrchová montáž*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011.
- [6] „SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2011/65/EU ze dne 8. června 2011 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních (přepřacování)“, *EUR-Lex Přístup k právu Evropské unie*. [Online]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065&from=EN>. [Viděno: 16-bře-2016].
- [7] I. Szenduich, „Pájení a bezolovnaté pájky“. [Online]. Dostupné z: <http://www.printed.cz/assets/photos/pb-free.pdf>. [Viděno: 29-úno-2016].
- [8] P. Mach, V. Skočil, a J. Urbánek, *Montáž v elektronice. Pouzdření aktivních součástek, plošné spoje*. Praha: ČVUT, 2001.
- [9] M. ABEL, *SMT - Technologie povrchové montáže*, 1. vyd. Pardubice: Nakladatelství Platan, 2000.
- [10] „Mikronapájení a makropájení laserem“, *Průmyslové spektrum*. [Online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mikronapajeni-a-makropajeni-laserem.html>. [Viděno: 19-dub-2016].
- [11] „Virtuální laboratoř - Pájení v kondenzovaných parách“, *Ústav mikroelektroniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně*. [Online]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~vasko/virtualni-laborator/pajeni-v-parach/technologie/>. [Viděno: 20-dub-2016].
- [12] „Přetavovací pece“, *Pájecí technika, pájecí stanice, odpájecí stanice, rework, pájecí vaničky, osazování SMD, dávkování, antistatika*. [Online]. Dostupné z: <http://www.pajeci-technika.cz/www-pajeci-technika-cz/eshop/5-1-Pajeci-pece-a-lazne>. [Viděno: 27-dub-2016].

- [13] „Reflow Oven”, *Made-in-China.com - Manufacturers, Suppliers & Products in China*. [Online]. Dostupné z: http://www.made-in-china.com/products-search/hot-china-products/Reflow_Oven.html. [Viděno: 29-dub-2016].
- [14] „Hot Air SMT Reflow Oven (GSD-L8)”, *Made-in-China.com - Manufacturers, Suppliers & Products in China*. [Online]. Dostupné z: <http://grandseed.en.made-in-china.com/product/qXfmTDarFUVQ/China-Hot-Air-SMT-Reflow-Oven-GSD-L8-.html>. [Viděno: 29-dub-2016].
- [15] „Desktop Reflow Oven, Puhui T937m, Mini Reflow Oven, SMT Soldering Machine, Puhui T-937m, Benchtop Reflow Oven, Desktop Reflow Oven”, *Made-in-China.com - Manufacturers, Suppliers & Products in China*. [Online]. Dostupné z: <http://taiianpuhui.en.made-in-china.com/product/MKfJgNBuLsVX/China-Desktop-Reflow-Oven-Puhui-T937m-Mini-Reflow-Oven-SMT-Soldering-Machine-Puhui-T-937m-Benchtop-Reflow-Oven-Desktop-Reflow-Oven.html>. [Viděno: 29-dub-2016].
- [16] „Přetavovací pece”, *ABE.TEC*. [Online]. Dostupné z: <http://www.abetec.cz/eshop/category/pretavovaci-pece/>. [Viděno: 27-dub-2016].
- [17] M. Adánek, C. Vaško, a M. Drlík, „Pájení v elektrotechnické výrobě Kontrola jakosti spojů”, *FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ*. [Online]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/mmte/L04b_p%C3%A1jen%C3%AD_a_kontrola.pdf. [Viděno: 25-úno-2016].
- [18] „Pájení v elektrotechnice”, *Ústav mikroelektroniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně*. [Online]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~vasko/multimedialni-ucebnice/pajeni-v-elektrotechnice/>. [Viděno: 25-úno-2016].
- [19] „Profiling Basics – Reflow Phases”, *Indium Corporation Blog*. [Online]. Dostupné z: <http://www.indium.com/blog/profiling-basics-reflow-phases.php>. [Viděno: 25-úno-2016].
- [20] „Prototypové pracoviště”, *Katadra elektrotechnologie, Fakulta elektrotechnická, ČVUT v Praze*. [Online]. Dostupné z: <http://technology.feld.cvut.cz:8080/xwiki/bin/view/K13113/labrework?xpage=print&language=cs>. [Viděno: 24-úno-2016].
- [21] „Mistral-260 Small Convection Reflow Oven”, *Blundell: production equipment*. [Online]. Dostupné z: <http://www.blundell.co.uk/product/mistral-260-small-convection-reflow-oven/>. [Viděno: 20-dub-2016].
- [22] „Návod k obsluze pájecí pece MISTRAL 260”. [Online]. Dostupné z: <http://technology.feld.cvut.cz:8080/xwiki/bin/download/K13113/labrework/Mistral260.pdf>. [Viděno: 24-úno-2016].
- [23] „Balver Zinn - Cobar”, *PBT Rožnov p.R., s.r.o.* [Online]. Dostupné z: <http://www.pbt.cz/produkty/dodavatel/balver-zinn-cobar/4/>. [Viděno: 27-dub-2016].
- [24] „Pájecí pasty - Cobar SAC3-XF3+”, *Pájení, osazování, sítotisk, čištění elektronických zařízení PBT Rožnov p.R., s.r.o.* [Online]. Dostupné z:

- <http://www.pbt.cz/detail/cobar-sac3-xf3-/121/?path=produkty/dodavatel/balverzinn-cobar/4/>. [Viděno: 08-bře-2016].
- [25] „SAC3-XF3+“, *Solders, Anodes, alloys and wires for electronic industry and surface refinement - Balver Zinn*. [Online]. Dostupné z: http://www.balverzinn.com/tl_files/balverzinn/downloads/intern/TDB/UGL_SAC3-XF3+_SAC3-HF3+_DE.pdf. [Viděno: 20-kvě-2016].
- [26] „About us“, *Nevo | Partnership in Solder Technology Innovation*. [Online]. Dostupné z: <http://www.nevo-solder.com/about-us/>. [Viděno: 27-dub-2016].
- [27] „PF602-P30 T4 Lead Free Paste 600g Cartridge“, *Link Hamson*. [Online]. Dostupné z: <http://www.linkhamson.co.uk/Products/Consumables/Soldering/solder-paste/pb-free-low-temperature/pf602-p30-t4-lead-free-paste-600g-cartridge>. [Viděno: 08-bře-2016].
- [28] „PF602-P30“, *Nevo | Partnership in Solder Technology Innovation*. [Online]. Dostupné z: http://nevo-solder.com/wp-content/uploads/TDS_PF602-P30.pdf. [Viděno: 20-kvě-2016].
- [29] „Cobar-OT2-SN100C-T3/T4“, *Solders, Anodes, alloys and wires for electronic industry and surface refinement - Balver Zinn*. [Online]. Dostupné z: [http://www.balverzinn.com/solder-paste-cobar-ot2.html?file=tl_files/balverzinn/downloads/datenblaetter_en/Application Note COBAR-OT2-SN100C-T3%28T4%29.pdf](http://www.balverzinn.com/solder-paste-cobar-ot2.html?file=tl_files/balverzinn/downloads/datenblaetter_en/Application%20Note%20COBAR-OT2-SN100C-T3%28T4%29.pdf). [Viděno: 08-bře-2016].
- [30] „Pájecí pasty - Cobar S6M-XM3S“, *Pájení, osazování, sítotisk, čištění elektronických zařízení PBT Rožnov p.R., s.r.o.* [Online]. Dostupné z: <http://www.pbt.cz/detail/cobar-s6m-xm3s/123/?path=produkty/dodavatel/balverzinn-cobar/4/>. [Viděno: 08-bře-2016].
- [31] „KOKI to je sázka na jistotu a kvalitu“. [Online]. Dostupné z: <http://pajecipasta.cz/>. [Viděno: 30-dub-2016].
- [32] „Product data sheet Balver Zinn-Cobar“, *Solders, Anodes, alloys and wires for electronic industry and surface refinement - Balver Zinn*. [Online]. Dostupné z: http://www.balverzinn.com/solder-paste-xm3s.html?file=tl_files/balverzinn/downloads/datenblaetter_en/PDS_XM3S_20150709_EN.pdf. [Viděno: 20-kvě-2016].
- [33] „User's guidelines Cobar No-Clean Solder Paste SnPb X-Series“, *KASI*. [Online]. Dostupné z: http://www.smd-bg.com/pdf/SN62_XF3SMDOld.pdf. [Viděno: 20-kvě-2016].
- [34] „Pájecí pasta SCANGe071-OT2 (T3)“, *Internetový obchod PBT Rožnov p.R., s.r.o.* [Online]. Dostupné z: <http://eshop.pbt.cz/z21219-pajeci-pasta-scange071-ot2-t3-500g-kelimek>. [Viděno: 08-bře-2016].

- [35] „Cobar-OT2-SCANGe071-T3/T4“, *Solders, Anodes, alloys and wires for electronic industry and surface refinement - Balver Zinn*. [Online]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwj7ocih0OjMAhXDshQKHQXPCRkQFgghMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.balverzinn.com%2Fsolder-paste-cobar-ot2.html%3Ffile%3Dtl_files%2Fbalverzinn%2Fdownloads%2Fdatenblaetter_en%2FApplication%2520N. [Viděno: 20-kvě-2016].