

# Pájení v ochranné atmosféře

Martin Mach

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin MACH**  
Osobní číslo: **T08207**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Pájení v ochranné atmosféře.**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte studii na dané téma.
2. Popište výrobu součástky pájením.
3. Proveďte kontrolu pájecího procesu.
4. Vyhodnoťte kontrolu pájecího procesu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Knedlová**  
Fakulta technologická

Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2011**

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Mach Martin

Obor: Technologická zařízení

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....<sup>23/5/2011</sup>.....

..........

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

<sup>2)</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).*

<sup>3)</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

V bakalářské práci popisuji pájení v ochranné atmosféře při výrobě automobilových chladičů. V teoretické části je uvedeno obecně pájení jako technologie spojování kovů. Představuji fyzikální podstatu pájení, difúzi, hlavní složky pájení, jako jsou např. pájka, tavidlo, dále druhý pájených spojů a jejich použití, způsoby pájení, apod.

V praktické části seznamuji s výrobou automobilového chladiče. Popisuji průběžnou pájecí pec, pro pájení automobilových chladičů v ochranné atmosféře a kontroluji pájecí proces. Výsledky těchto kontrol jsou uvedeny v příloze. Po kontrole pájecího procesu a vyhodnocení pájecích podmínek doporučuji způsob pájení konkrétního výrobku.

Klíčová slova: pájka, tavidlo, průběžná pájecí pec, datapaq, vložka chladiče, pájecí proces.

## **ABSTRAKT**

In this treatise I present brazing in controlled atmosphere, as proces of car water cooler manufacturing. In the teoretical part I describe brazing as technological proces of metal joining. I introduce all important terms, for example flux, brazing paste, types of brazing joints, ability of using and brazing methods.

In practical part I introduce watter cooler manufacturing, furnace owen, datapaq furnace tracker system and brazing proces. Then I monitored brazing proces, make results and recomended way to succesfull brazing for concrete part. Results of monitoring proces are enclosed.

Keywords:brazing paste flux, brazing furnace, datapaq, core cooler, brazing proces.

Poděkování:

Děkuji tímto ing. Janě Knedlové, za odborné a metodické vedení bakalářské práce, za poskytnutí rad, podnětů, připomínek a času stráveného na konzultacích.

Motto:

*Vědění je poklad, praxe je klíč k němu.* ( Thomas Fuller)

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 PODSTATA PÁJENÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 DIFÚZE .....	16
1.2 SROVNÁNÍ PÁJENÍ A SVAŘOVÁNÍ .....	19
1.3 PÁJKY.....	21
1.4 TAVIDLA .....	24
<b>2 VLASTNOSTI PÁJENÝCH SPOJŮ</b> .....	<b>28</b>
2.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI PÁJENÝCH SPOJŮ .....	28
2.2 ODOLNOST PÁJENÝCH SPOJŮ PROTI KOROZI A OXIDACI.....	29
<b>3 KONSTRUKCE PÁJENÉHO SPOJE</b> .....	<b>32</b>
3.1 ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ PÁJENÝCH SPOJŮ .....	34
3.2 VADY PÁJENÝCH SPOJŮ .....	36
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>38</b>
<b>4 PÁJENÍ V PECI</b> .....	<b>39</b>
4.1 VÝROBA SOUČÁSTI PÁJENÍM.....	39
4.2 PRŮBĚŽNÁ PÁJECÍ PEC PRO PÁJENÍ V OCHRANNÉ ATMOSFÉRE DUSÍKU .....	43
4.3 PÁJECÍ PROCES. ....	45
4.4 DATAPAQ – SYSTÉM PRO SLEDOVÁNÍ TEPLOT. ....	46
<b>5 KONTROLA PÁJECÍHO PROCESU</b> .....	<b>50</b>
<b>6 VYHODNOCENÍ PÁJECÍCH PODMÍNEK</b> .....	<b>59</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>60</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>61</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>62</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>63</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>65</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>66</b>



## ÚVOD

Pájení se řadí k nejstarším způsobům spojování za tepla. Přestože, byla tato metoda ve světě používána dávno před n. l. a na našem území už v devátém století, rozsáhlé rozšíření použití této metody, jsme zaznamenali, zejména v průmyslové výrobě až od roku 1930.

Počáteční neúspěchy, které se vyskytly při zavádění pájení do výroby v důsledku nedodržení optimálních konstrukčních a technologických podmínek, způsobily jeho pomalé průmyslové uplatnění i v případech, kdy bylo pájení ze všech způsobů nejekonomičtější.

Proces pájení se dlouhodobě úspěšně realizuje ve společnosti Visteon- Autopal, kde pracuji a kde se s touto problematikou často setkávám.

Výroba pájených tepelných výměníků je hlavní náplní společnosti Visteon- Autopal s.r.o. Hluk. Základní kámen podniku položil v roce 1879 v Novém Jičíně jistý Josef Rotter, rodnák z Dolních Rakous, který otevřel malou klempířskou dílnu, zaměřoval se na výrobu lamp pro kočáry a motorová vozidla. V roce 1950 byl zřízen n.p. Autopal, který byl monopolním dodavatelem svítlen, světlometů a chladičů pro tuzemské výrobce osobních a užitkových automobilů, zemědělských strojů a kolejových vozidel. V roce 1993 byl podnik privatizován společností Ford Motor Company a stal se jejím významným dodavatelem, v září 1998 Ford založil dceřinnou společnost Visteon, pod kterou Autopal od roku 2000 patří. [6]

Visteon-Autopal Nový Jičín je centrem vývoje a předním světovým výrobcem světelné, chladič a klimatizační techniky, forem a nástrojů pro automobilový průmysl, dodává své produkty výrobcům automobilů. Mezi hlavní zákazníky společnosti patří společnost Ford, VW, PSA, Jaguar a Land Rover, GM, Mercedes a další.

S téměř 4000 zaměstnanci se Visteon-Autopal řadí mezi největší zaměstnavatele v České republice, provozuje dvě specializovaná vývojová centra zaměřena na klimatizaci, chladič a světelnou techniku, pět výrobních závodů a nástrojárnu nacházející se v Novém Jičíně, Hluku a Rychvaldě. Vývojová centra v Novém Jičíně a Hluku také podporují celosvětové vývojové týmy společnosti Visteon Corporation.

Visteon-Autopal je součástí Visteon Corporation, který je přední světový dodavatel pro automobilový průmysl. Visteon Corporation navrhuje, vyvíjí a vyrábí inovační produkty pro klimatizaci, interiéry, elektroniku a světelnou techniku pro výrobce automobilů.

Visteon Corporation se sídlem Van Buren Township, stát Michigan v USA, zaměstnává přibližně 26 000 zaměstnanců ve 26 zemích. [5]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 PODSTATA PÁJENÍ

Pájení definujeme jako způsob metalurgického spojování kovových součástí roztavenou pájkou, kdy pájené plochy nejsou nataveny, ale jen smáčeny použitou pájkou.

Prvním a důležitým předpokladem je dobrá smáčivost spojovaného materiálu tekutou pájkou. Povrchové atomy tekuté pájky a základního materiálu se přitom dostávají do tak malé vzdálenosti, že se vytvoří podmínky pro účinek adhezních a kohezních sil. Mnohokrát přitom dojde i k vzájemnému rozpouštění a difúzi některých prvků spojovaných materiálů.

Adhezní povrchové spojení tak můžeme považovat za zvláštní případ pájení.

Pod vlivem kapilárního tlaku, jenž je právě hnací silou pájení a který se výrazně projevuje při mezerách menších než 0,5 mm, nastává tečení pájky všemi směry v mezeře spoje. [1]

Od pájeného spoje je vyžadována buď jen těsnost, elektrická vodivost, dále korozivzdornost, nebo mechanická pevnost při statickém, popř. dynamickém namáhání, pěkný povrchový vzhled spoje a plynulý přechod.

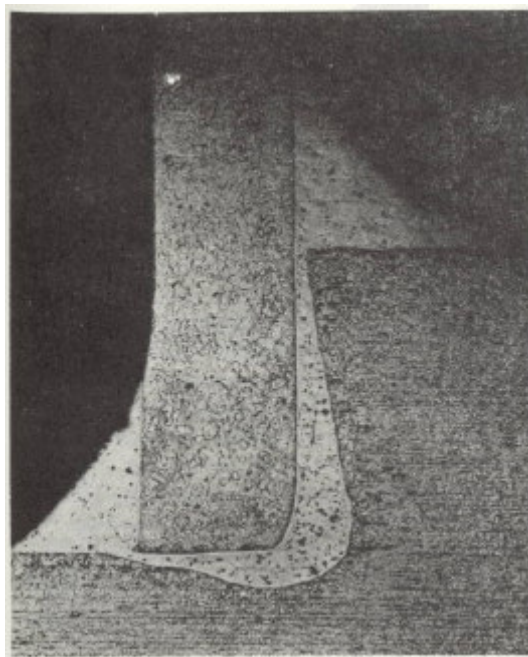
Výhodou pájení, je schopnost spojování kombinovaných železných a neželezných materiálů (upevnění břitové destičky ze slinutých karbidů na nosnou část nástroje z konstrukční oceli [7]), dále složitých výrobků ze žárovevých, žáruvzdorných a korozivzdorných ocelí a slitin s vysokou pevností a všude tam, kde není možno, ať už s metalurgických, nebo technologických důvodů použít svařování, lepení, nebo jiné možnosti spojování. Např. výroba oběžných kol turbokompresorů, plynových a parních turbín, tepelných výměníků a palivových článků v jaderných elektrárnách.

Od pájeného spoje, je vyžadována vysoká odolnost proti oxidaci, dobrá houževnatost, popř. creepová pevnost. (creep- pomalá plastická deformace vyvolaná dlouhodobým působením teploty a času.) V takových případech se používají speciální pájky na bázi niklu, palladia, nebo zlata.

Při pájení nedochází v místě spoje k roztavení základních spojovaných materiálů, ale pouze k jejich ohřátí asi na 50°C nad likvidus použité pájky, teplota pájení, je tedy podstatně nižší, než je teplota tání spojovaných materiálů. Spojení nejčastěji nastává v důsledku vzájemné difúze a rozpustnosti pájky a základních materiálů. [1]

Mezi hlavní výhody pájení patří:

- menší spotřeba tepelné energie, větší pracovní rychlost
- velká produktivita práce (možnost zhotovení více spojů stejné jakosti zároveň)
- možnost mechanizace a automatizace pájení
- velká rozměrová přesnost součástí po pájení
- možnost spojení pájení s tepelným zpracováním, pro dosažení vysoké únosnosti spoje
- vzhledný povrch spoje, popř. celé součásti
- vzniká menší vnitřní pnutí ve spoji, zároveň dochází i k menším strukturním změnám základního materiálu [1]

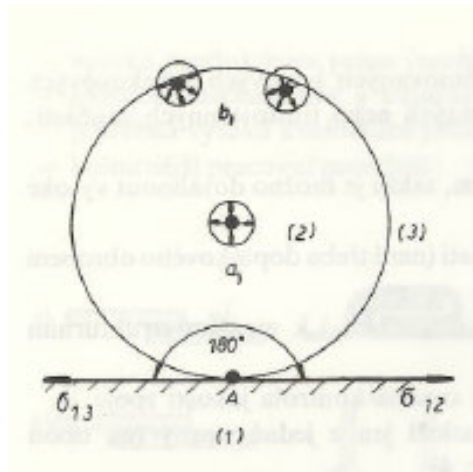


*Obr. 1 Snímek pájeného ocelového spoje. (zvětšeno 32krát) [1]*

### Povrchové pájení

Vznik povrchového napětí v kapce tekuté pájky, vysvětlujeme vzájemnou přitažlivostí, která existuje mezi různými částicemi tekutiny (Viz. obr.2)

Vzájemně přitahující síly částic uvnitř tekutiny **a** se navzájem vyrovnávají. Na jejich přesunutí uvnitř tekutiny se nevynaloží žádná práce, protože síly, které na ně ze všech stran působí, jsou stejné a jejich výslednice se rovná nule. Odlišné je to u částic **b**, které jsou na hladině tekutiny, přitažlivé síly molekul tekutiny působí na jejich spodní část, kde se jich dotýkají, kdežto na jejich horní část tyto síly nepůsobí, povrchové pnutí vzniká tím, že molekuly na povrchu tekutiny nejsou ze všech stran obstoupeny jinými molekulami stejného druhu a jsou proto molekulovými silami vtahovány do vnitřku tekutiny. [1]



Obr. 2 Znáznornění povrchového napětí kapaliny [1]

#### Důležité pojmy při pájení:

- smáčivost, je definována jako schopnost tekuté pájky přilnout k čistému povrchu spojovaného materiálu při dané teplotě
- roztékavost, je definována jako schopnost tekuté pájky roztéci se při určité teplotě po vodorovném povrchu základního materiálu
- vzlínavost, je definována jako schopnost tekuté pájky vyplnit při pracovní teplotě úzkou mezeru spoje působením kapilárních sil

### Metalurgické reakce při pájení

Tekutá pájka a tuhý základní materiál jsou při pájení určitou dobu (několik sekund až minut, podle druhu ohřevu) ve vzájemném styku. Tím je dodržen, nejdůležitější předpoklad metalurgických reakcí v oblasti spoje.

Podle druhu základního materiálu a pájky, může nastat některá z těchto reakcí:

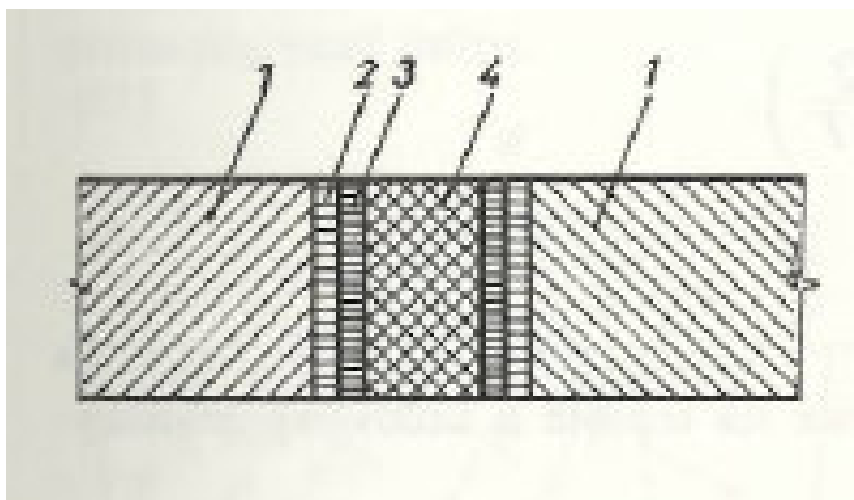
- adhezní spojení
- vzájemná difúze prvků pájky a základního materiálu
- rozpouštění základního materiálu použitou pájkou
- reakce složek pájky s povrchovým oxidem základního materiálu

Adhezním spojováním je nazýván takový případ spojování, při němž nedochází k vzájemné rozpustnosti pájky a základního materiálu, jako je tomu např. u kombinací typu: Pb – Fe, Pb – Cu, Pb – Zn, Pb – Ni apod.

Adhezní spojení má dobrou elektrickou vodivost, ale menší pevnost v ohybu a smyku. Tohoto druhu spojování využíváme, jestliže nesmí dojít ke změně chemického složení spojovaných materiálů, jako je tomu např. u výroby Si – diod.

Při pájení se ve většině případů vytvoří přechodové oblasti určité tloušťky, které mají jiné chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti, než spojované materiály. [1]

Pájený spoj, je nejčastěji složen ze čtyř oblastí, znázorněných na obr. 3, jedná se o základní materiál s nezměněným chemickým složením **1** a jeho přechodová oblast **2**, na straně pájky se jedná o její přechodovou oblast **3** a oblast pájky ve vytaveném stavu **4**.



Obr. 3 Schéma pájeného spoje [1]

## Způsoby pájení

Rozdělujeme způsoby pájení podle teploty:

- pájení na měkko, do 450°C s tavidlem
- pájení natvrdo, nad 450°C s tavidlem ve vakuu, nebo v ochranné atmosféře
- vysokoteplotní pájení, nad 900°C ve vakuu, nebo v ochranné atmosféře

Rozdělujeme způsoby pájení podle způsobu přívodu pájky:

- při pájení přikládanou pájkou, se nejprve ohřejí spojované díly na pracovní pájecí teplotu a přikládaná pájka se taví dotykem s ohřátými díly
- při pájení vloženou pájkou, se ohřívají spojované díly současně s vloženou pájkou
- při ponorném pájení jsou spojované díly ve vzájemně zajištěné poloze ponořeny do roztavené pájky, která díly ohřeje a vyplní pájecí mezeru [7]

### 1.1 Difúze

Difúzí nazýváme proces, při němž jsou částice hmoty rozptýlovány do prostoru. Všechny látky mají snahu přecházet z prostředí s nižší koncentrací do prostředí s vyšší koncentrací, takže dokud se její částice mohou pohybovat tak se rozptýlí do celého prostoru, kterého mohou dosáhnout, a postupně ve všech jeho částech vyrovnají svou koncentraci.[2]

Předpokladem vzniku difúze při pájení je přemístění atomů základního materiálu a pájky.

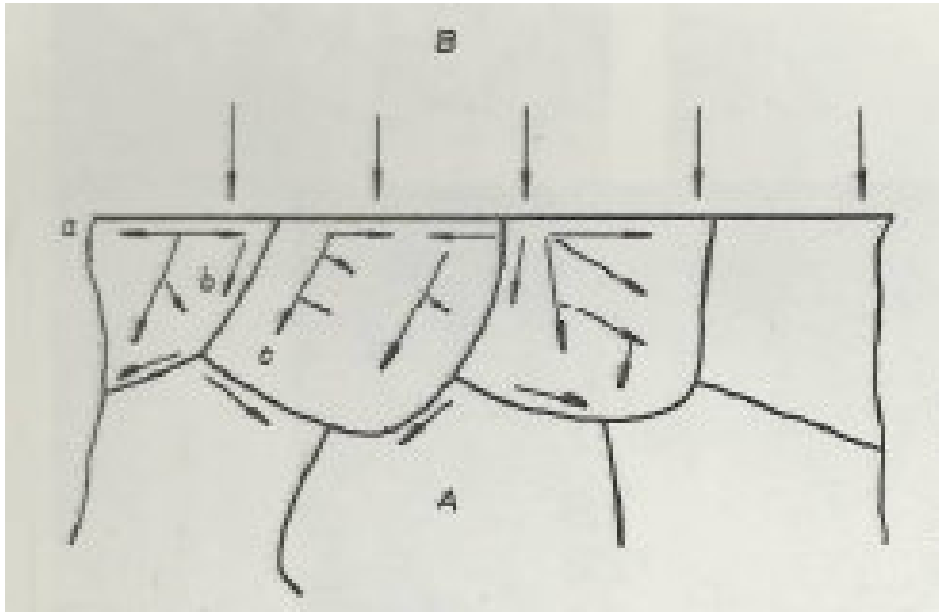
Toto přemístění je podmíněno nehomogenitou složení. Dle gradientu koncentrace je dán směr pohybu. Na difúzi mají vliv poruchy struktury, gradient teploty apod.

Difúzní pochody v pevných kovech jsou závislé na nepravidelnosti a typu stavby jejich krystalické mřížky. Difúze probíhá rychleji v kovech s prostorově centrovanou kubickou mřížkou než v kovech, které mají mřížku s nejhustějším uspořádáním atomů. Difúze elementů pájky je menší u materiálů s horší tepelnou vodivostí, např. u vysokolegovaných ocelí.

Na charakter a šířku difúzní oblasti základního materiálu, mají mimo druhu pájky a základního materiálu vliv i podmínky pájení. Se vzrůstající teplotou i dobou pájení se zvětšuje šířka difúzního pásma pájky po hranicích zrn základního materiálu.



V obr. 4 je znázorněna difúze pájky do základního materiálu **a** – po povrchu; **b** – po hranicích zrn; **c** – uvnitř zrn. Místo **A** znázorňuje základní materiál, místo **B** znázorňuje tekutou pájku.



Obr.4 Difúze pájky do základního materiálu [1]

### Rozpustnost základního materiálu v tekuté pájce

Současně s difúzí pájky do základního materiálu, nastává jeho rozpouštění v tekuté pájce (Erosion). Základem tohoto rozpouštění je přechod atomů ze stykové plochy základního materiálu do tekuté pájky. Pokles teploty tavení stykové plochy základního materiálu nastává důsledkem změny chemického složení této stykové plochy a je způsobeno vzájemnou difúzí pájky a základního materiálu.

Rozpouštění ovlivňují jak materiál základního materiálu, pájky, tak i podmínky pájení. [1]

Zvyšováním teploty pájení, se intenzita rozpouštění základního materiálu v tekuté pájce zásadně zvyšuje. Na průběh rozpouštění má vliv i množství pájky, resp. šířka mezery spoje.

U širší mezery spoje je rozpustnost větší. Pájky, které ve větší míře difundují po hranicích zrn základního materiálu, způsobují také jeho větší rozpustnost. Tak je tomu např. u měkkých cínových pájek s vyšším obsahem Sn, mosazných pájek s obsahem Ni, nebo vysokoteplotních pájek s obsahem B, resp. C.

Rozpouštění základního materiálu nastává i u pájek, které výrazně nedifundují do základního materiálu, jako jsou např. B Ni- 5 a nízkotavitelná pájka B Ni- 7.

Účinnost rozpouštění, jež je nežádoucím jevem nejen u spojování tenkostěnných materiálů (zmenšuje účinnou tloušťku materiálu), ale i při pájení povlakovaných materiálů tenkými vrstvami Sn, Ag nebo Au (např. u elektronických součástí).

Pokles rozpustnosti základního materiálu v tekuté pájce můžeme dosáhnout následujícími způsoby:

- použít co možná nejnižší teplotu pájení
- nastavit co možná nejkratší dobu pájení
- použít minimální množství pájky

### **Krystalizace pájky v mezeře spoje**

Rozpouštění základního materiálu v tekuté pájce a intenzivní difúze pájky do základního materiálu, má vliv na změnu chemického složení pájky v mezeře spoje vůči výchozímu stavu pájky a tím i na změnu jejich fyzikálních a mechanických vlastností. Je jisté, že tím ovlivníme jak charakter, tak i kinetiku krystalizace pájky v mezeře spoje v době realizace pevné vazby mezi atomy tekuté pájky a pevným základním materiálem.

Krystalizace pájky v mezeře spoje, je při pájení řízena podobnými zákonitostmi, jaké existují pro odlévání. Kromě toho se vyznačuje některými zvláštnostmi, které je možno charakterizovat takto:

- aktivní vzájemné působení roztavené pájky a pevného základního materiálu
- řídící vliv základního materiálu
- závislost profilu krystalizace na množství roztavené pájky

Při pájení, které se vyznačuje úzkou mezerou spoje (přibližně 0,1 mm) tj. nepatrným množstvím pájky, velkou hmotou základního materiálu a velkou rychlostí ochlazování, jsou krystalizační poměry pájky velmi složité a je při nich velmi obtížné dosáhnout rovnovážných poměrů při tuhnutí pájky. Povrch pevného základního materiálu usnadňuje při krystalizaci pájky vytváření zárodků pevné fáze pájky a umožňuje krystalizaci při malých stupních podchlazení. [1]

## 1.2 Srovnání pájení a svařování

Na zákonitostech uvedených poznatků o podstatě pájení můžeme učinit vzájemné porovnání obou způsobů spojování součástí. Svařování podobně jako pájení je druhem metalurgického spojování součástí, kde se styk součástí dosahuje pomocí přídavného kovu. Abychom byly schopni zvolit pro daný případ vhodný způsob, je třeba vycházet při volbě z charakteristických znaků, které je možno shrnout do následujících bodů.

### Svařovací, resp. pájecí teplota

Svařovací teplota je při tavném svařování nad teplotou tání (tavení) základního a přídavného materiálu. Oproti tomu se při pájení taví jen přídavný materiál, přičemž základní materiál je ohřátý na výrazně nižší teplotu, než je jeho teplota tavení. Tato pájecí teplota bývá v rozsahu 50 až 450°C při měkkém pájení, 600 až 1200°C při tvrdém pájení. Z toho také potom vyplývají i technicko-ekonomické výhody.

### Kombinace základní- přídavný materiál

Zatímco u svařování mají základní i přídavný materiál chemické složení v podstatě stejné, při pájení můžeme pro jeden materiál, použít i několik druhů pájek, které volíme podle vlastností, jež jsou kladeny na pájený výrobek.

### Časový průběh svařovacího a pájecího pochodu

Do úzké oblasti materiálu, je při svařování vyžadována vysoká koncentrace tepelné energie, takže dochází k místnímu tavení spojovaných materiálů. Vyšší produktivity svařování, se dá dosáhnout zvýšeným odtavovacím výkonem za jednotku času. Tím se zvyšuje i svařovací rychlost.

Při pájení můžeme pozorovat jiné poměry. Zde je potřeba především vytvořit optimální podmínky pro tečení pájky v místě spoje. Při kapilárním pájení totiž vyplní pájka mezeru spoje všemi směry, tím se na jeden pájecí cyklus zhotoví i velké množství spojů. [1]

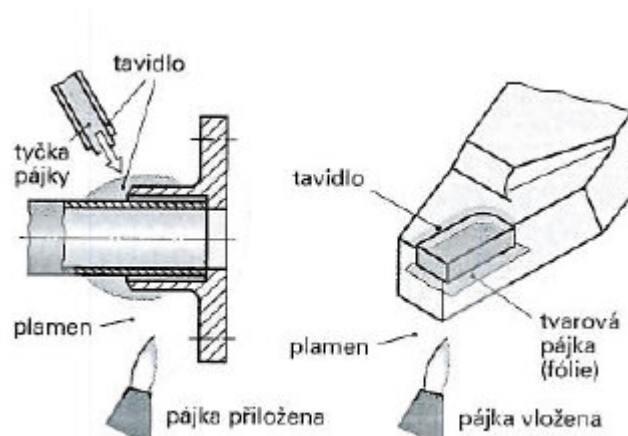
### Tepelné zdroje

Při svařování používáme různých tepelných zdrojů. Je to zejména elektrický oblouk s vysokou koncentrací tepelné energie do úzké oblasti svaru.

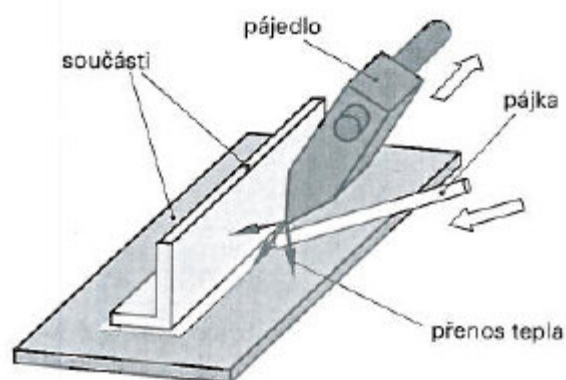
Pájení vyžaduje nižší pracovní teploty než svařování, přičemž oblast spoje, musí být rovnoměrně ohřátá na pracovní teplotu.

Pro ohřev se používá různých tepelných zdrojů, podle nich je určována i technologie pájení. Určitý rozdíl vzniká u měkkého a tvrdého pájení, hlavně pokud jde o dobu pájení. Zdroje tepla pro pájení jsou:

- plamen otevřeného plynového hořáku, pájení autogenem
- pájedlo, tj. rozehřáté pevné těleso
- roztavená pájka (ponoření, přelití)
- laserový paprsek (lokální ohřev pájecích míst)
- elektrický proud (odporový, nebo indukční ohřev) [7]



Obr. 5 Pájení plamenem [7]



Obr. 6 Pájení pájedlem [7]

### 1.3 Pájky

Pájkou se rozumí přídavný materiál používaný při pájení, vyrábí se většinou ze slitin a výjimečně z čistých kovů, jejich vlastnosti jsou posuzovány z několika hledisek:

- pájka má mít vždy nižší teplotu tání (tavení) než spojované kovy
- pro kapilární pájení je nutné, aby pájka měla dobré pájecí vlastnosti (smáčivost, roztékavost, vzlínavost), tyto vlastnosti jsou závislé na chemickém složení pájky a zároveň i na kombinaci látek základní materiál – tavidlo
- nečistoty obsažené v pájce výrazně zhoršují deformační vlastnosti přechodové oblasti spoje, resp. korozní odolnost pájeného spoje, je třeba vyžadovat vysokou čistotu surovin pro jejich výrobu
- výhodou je, když má pájka v roztaveném stavu malé povrchové napětí a nízkou viskozitu
- z důvodu možné pozdější koroze je výhodnější pájka, jejíž prvky mají malý rozdíl elektrochemického potenciálu ve styku s použitým základním materiálem
- pájka musí mít, nejen dobré mechanické vlastnosti (pevnost ve smyku, v tahu, tažnost, popř. tvrdost) sama o sobě, ale musí mít zvláštní schopnost vytvářet pevné spoje
- z technologických důvodů se požaduje vhodný výrobní tvar pájky, vhodný druh pájky pro daný způsob použití se volí podle těchto měřítek:
  - a) pro které základní materiály je pájka určena a jak je konstruován spoj
  - b) která z optimálních pájecích technologií je k dispozici
  - c) jaké provozní požadavky jsou kladeny na pájecí spoj, resp. jaký je způsob namáhání pájeného spoje (tah, smyk, ráz, únava, creep, koroze, oxidace, atd.)
  - d) hospodárnost výroby

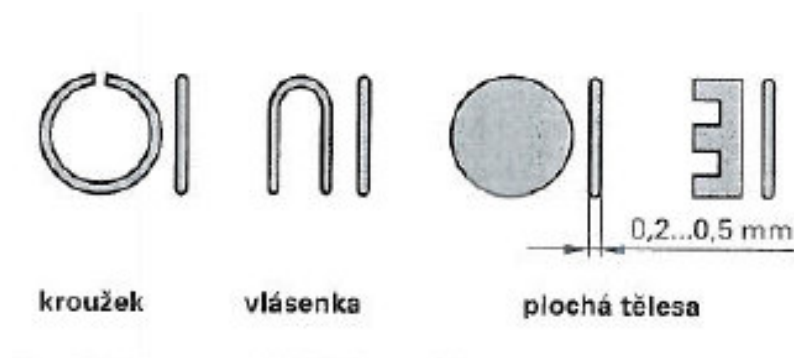
Z toho vyplývá, že je třeba mít k dispozici velký výběr pájek, jejich vývoj neustále pokračuje, zejména pro speciální způsoby pájení. Pro některé základní materiály je k dispozici i více druhů pájek, pro některé pouze jeden druh. [1]

### Značení pájek

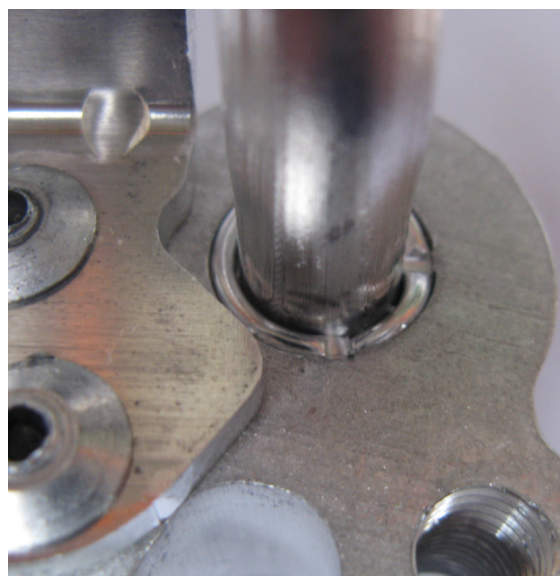
Prvním znakem je písmeno B – jde o přídatný materiál pro tvrdé pájení (brazing), nebo S – přídatný materiál pro měkké pájení (solder), např. S - Sn97Cu3. Čísla za chemickými značkami uvádějí podíl příslušného kovu v hmotnostních procentech. [8]

### Tvary dodávaných pájek

Pájky se dodávají ve formě bloků, pásů, folií, tyčí, drátů, tenkých drátů, tvarovaných tělísek, prášku, nebo pasty. [7]



Obr. 7 Tvarované pájecí kroužky a tělíška [7]



Obr. 8 Aplikace pájecího kroužku na bloku kondenzátoru klimatizace

Vyrábějí se litím a tvářením. Ty které mají špatné tvářecí vlastnosti se vyrábějí litím. Používají se pro klempířské pájení a pro ponorné pájení v kovové koupeli.

Těžko tvářitelné a křehké pájky se vyrábějí ve tvaru zrn, nebo prachu, tyto pájky se používají ve formě pasty, tvoří ji pájka a pojivo (nitrolak, glycerol, parafínový olej, apod.) Pájky ve formě pasty jsou hojně používány při automatizovaném pájení. Nanášejí se na pájená místa buď štětcem, injekční stříkačkou, nebo pomocí speciálního dávkovacího zařízení s automatickým, nebo ručním ovládním, dalším způsobem je nanesení pájky ve formě folie na lepenku, která se lepí na pájená místa. [1]

### Rozdělení pájek

Pájky se dělí na měkké pájky (s olovem a bezolovnaté biopájky), tvrdé pájky, vysokoteplotní pájky a pájky pro hliník a jeho slitiny.

Měkké pájky pro těžké kovy se dělí do skupin dle tab. 1.

Tab. 1 Měkké pájky pro těžké kovy[7]

Skupina	Číslo slitiny	Označení slitiny	Teplota tavení	Příklady použití
cín - olovo	1	S- Sn 63Pb37	183 °C	jemná mechanika, elektrotechnika, elektronika
	3	S- Pb50Sn50	183 až 215°C	elektrotechnika, pocínování
	10	S- Pb98Sn2	320 až 325°C	chladicí zařízení
cín – olovo - měď	24	S-Sn97Cu3	230 až 250°C	elektrotechnika,
	26	S- Sn50Pb49Cu1	183 až 215°C	jemná mechanika
cín – olovo - stříbro	28	S- Sn96Ag4	221°C	ocel, instalační měděné trubky
	34	S- Pb93Sn5Ag2	304 až 365°C	pro vysoké provozní teploty

Tvrdé pájky pro těžké kovy se rozdělují podle složení, použití a pracovní teploty dle tab. 2.

Tab. 2 Příklady tvrdých pájek pro těžké kovy[7]

Skupina	EN 1044	Označení ČSN EN ISO 3677	Teplota tavení	Příklady použití
Měděné pájky	CU 104	B- Cu100(P)- 1085	1083 °C	oceli, slinuté karbidy
	CU 303	B- Cu60Zn 870/900	870 až 900°C	ocel, Cu, Ni a jejich slitiny
Tvrdé pájky na bázi stříbra	AG 207	B- Cu48ZnAg 800/830	800 až 830°C	
	AG 203	B- Ag44CuZn- 675/735	675 až 735°C	ocel, Cu, Ni a jejich slitiny
Tvrdé pájky s obsa- hem fosforu	CP 105	B- Cu92PAg 650/810	650 až 810°C	měď a slitiny bez niklu, není vhodné pro ocel a nikl

**Měděné pájky** obsahují čistou měď, nebo slitiny mědi se zinkem (mosazi) a cínem (bronz). Používají se k tvrdému pájení železných kovů, mědi a niklu. Pracovní teploty jsou mezi 825°C až 1100°C.

**Stříbrné pájky** mají menší pracovní teploty než měděné pájky. Nejnižší pracovní teploty lze dosáhnout příměsí kadmia (Cd). Kadmium je velmi jedovaté a jeho pájky lze používat jen výjimečně a za příslušných bezpečnostních opatření. [7]

## 1.4 Tavidla

Tavidlem v metalurgii označujeme chemickou látku, jejímž úkolem je působit jako čisti-dlo při tvrdém či měkkém pájení, která má za cíl odstranit zoxidované kovy z míst, která jsou spojována a hlavně bránit proti vzniku oxidů a tím pádem zlepšovat smáčení základ-ního materiálu roztavenou pájkou.



Všeobecně je známo, že kov který je vystavený vlivu ovzduší se ihned pokryje vrstvičkou oxidu, jejíž tloušťka je závislá na teplotě, době ohřevu kovu na vzduchu a na druhu kovu. Oxidaci je možno zabránit pájením ve vakuu, nebo v ochranné atmosféře.

V procesu vysokoteplotního spojování kovů (pájení a svařování) je hlavním účelem tavidla zamezit oxidaci základního a výplňového materiálu. Pájka (např. cín-olovo) velice dobře přilne k mědi, ale velice špatně k jejím oxidům, které se při teplotách používaných při pájení rychle tvoří. Tavidlo je látka, které je při pokojové teplotě téměř nečinná, ale při zvýšených teplotách se stává silně redukční a brání tak tvorbě oxidů kovů. Navíc tavidlo umožňuje, aby pájka lehce tekla po pájených površích, namísto aby tvořila kuličky. [2]

Volba tavidla se určuje podle pájených materiálů, podle způsobu pájení, ale především podle pracovní teploty použité pájky. Tavidlo musí být účinné již pod pracovní teplotou pájky a také ještě nad maximální pájecí teplotou. Pro volbu tavidla je rozhodující rozsah jeho reakčních teplot, tzn. teplota tání musí být o 50 až 150°C nižší, než je teplota tání pájky. [7]

Běžně používaná tavidla jsou chlorid amonný nebo kalafuna pro pájení cínovou pájkou, kyselina chlorovodíková nebo chlorid zinečnatý pro pájení pozinkované oceli (nebo jiných zinkových povrchů), a borax pro tvrdé pájení či svařování železných kovů.

### **Funkce tavidla**

- musí dobře smáčet základní materiál i pájku, tj. musí mít dobrou adhezi k povrchu
- správná viskozita tavidla je důležitá pro výslednou jakost spoje
- hustota tavidla, musí být vždy nižší, než hustota pájky, důvodem je vyplavení tavidla na povrch lázně, její krytí tavidlem, odchod nečistot z pájky na povrch základního materiálu
- zbytky tavidla se musí dát po pájení snadno odstranit a nesmějí být příčinou koroze v případě, když se neodstraňují
- musí být zdravotně nezávadné, tj. nesmí uvolňovat plyny škodlivé zdraví

Tavidla se dodávají ve formě prášku, nebo suspenze, tzn. podle koncentrace může být, pasta, roztok, emulze, poslední z možností je ve formě plynu, resp. lehce zplynovatelné. [1]

### **Charakteristické vlastnosti tavidel**

Při pokojové teplotě jsou tavidla většinou pevná, tuhé materiály, které se při ohřevu taví.

Mezi důležité vlastnosti, které tavidla musí mít, patří:

- schopnost vytvářet s rozpouštědlem hladkou pastu bez shluků a velkých krystalů
- dlouhodobá použitelnost a schopnost nového promíchání
- po ohřevu a roztavení musí dobře krýt spoje

V praxi nemáme možnost, zkombinovat tyto vlastnosti a vyrobit univerzální tavidlo, které by bylo použitelné ke všem druhům kovů a proto jsou tavidla vyráběna tak, aby vyhovovala vždy pouze některým z uvedených požadavků. [1]

### **Druhy tavidel**

Ty rozdělujeme na měkké a tvrdé, podle způsobu pájení a podle účinku dělíme na tavidla s leptavým účinkem- anorganická skládají se z roztoků kyseliny solné, nebo fosforečné, chloridu zinečnatého a chloridů alkalických kovů ve formě roztoků a past.

Tavidla bez leptavého účinku – organická, se používají v případech, kde nelze korozi působící zbytky tavidel odstranit. Hlavní složkou těchto tavidel, je kalafuna, je to přirozená pryskyřice, která poskytuje ochranu proti korozi avšak ve vlhkém prostředí se vyžaduje věnovat pozornost její ochraně proti plísním, tavidlo působí v intervalu v rozsahu teplot od 180°C do 250°C, při vyšších teplotách se začíná vypařovat a přestává působit. Tavidlo jen pomalu odstraňuje tenké vrstvy oxidů, je vyžadováno pájet pomalu, protože hlavní funkce tavidla je ochranná, proto musí být pájené plochy čisté, jsou vhodné pro pájení Cu, mosazí, Ag, Ni, plechů s kadmiovaným povrchem, nejsou vhodná pro oceli. Tavidla bez lepkavého účinku, jsou stejně tak jako tavidla s leptavým účinkem dodávána ve formě roztoků a past. Používají se v elektrotechnickém průmyslu.[1]

**Tavidla rozdělujeme do těchto tří základních skupin:**

- tavidla které mají reakční teplotu **do 350°C** – základní složkou je organická látka, která je pojivem, má dobrou přilnavost k základnímu a přídavnému materiálu a zároveň dobrou smáčivost
- tavidla která mají reakční teplotu **do 400°C** jsou vhodná, pro odporové pájení, pro pájení v peci, ponorem, není vhodné je používat pro pájení kyslíkoacetylenovým plamenem, korozi materiálu způsobují zbytky tavidla, proto je nutné, je po pájení odstranit
- tavidla které mají reakční teplotu **nad 400°C** – anorganická. Jejich interval tání je 450 až 500°C je to o málo nižší, než u pájky a jejich účinná teplota je přibližně 500°C

**Zvláštní druhy tavidel.**

**Pastovitá tavidla** – disponují lepšími ochrannými vlastnostmi oproti práškovým tavidlům, protože je tlak plamene nemůže odfouknout z pájeného spoje a dobře drží i ve svislé poloze. Je možno je vyrábět přímo v provozech ředěním vodou, čistým etylalkoholem, nebo jiným ředidlem, nejvhodnější varianta je však nechat si tavidlo vyrobit přímo u výrobce, který je dodává v optimální konzistenci, s příslušnou přísadou pro zlepšení adheze, ve vhodném obalu apod.

Mají omezenou skladovací dobu, neboť většina pastovitých tavidel během času stárne, vysychají, tvrdnou a tím pádem se znehodnocují. Tavidla také musí být uskladněna v neprodyšných nádobách a v suchých skladech. [1]

## 2 VLASTNOSTI PÁJENÝCH SPOJŮ

Z hlediska materiálu jsou pájené spoje heterogenní, kdy vlastnosti základního materiálu se zpravidla neshodují s vlastnostmi pájky.

Pájený spoj je složen ze tří částí - základní materiál – pájka – přechodové oblasti, které mají různé mechanické a fyzikální vlastnosti, tzn. že není homogenní. Vlastnosti spoje následkem teploty a vzájemných difúzních pochodů se mohou po dobu pájení i měnit.

Tyto vlastnosti, nejen že závisí na vlastnostech použitých materiálů, ale i na tvaru a rozměrech spoje, podmínkách a způsobu pájení. Využitelnost pájených spojů v praxi se hodnotí z hlediska mechanických vlastností, odolnosti proti korozi a oxidaci, schopností vést elektrický proud apod. Korozní odolnost pájených spojů bývá horší, než u základního materiálu.

Předností pájení je pěkný vzhled spoje, kdy není třeba dalšího mechanického obrobění. [1]

### 2.1 Mechanické vlastnosti pájených spojů

Obvykle je pájený spoj v provozu namáhán jak staticky, tak i dynamicky různými druhy namáhání v určitém rozsahu teplot.

Na pevnost v tahu a ve smyku pájeného spoje při statickém namáhání, má zásadní vliv konstrukce spoje.

Mezi hlavní faktory patří tvar a rozměry spoje, hlavně tloušťka základního materiálu a velikost mezery spoje. Pevnost spoje roste se zmenšující se mezerou a opačně.

S velikostí pájené plochy lineárně klesá pevnost pájeného spoje, tento pokles je výraznější u materiálů s vyšší pevností. Příčinou, je to, že pro zhotovení spoje větší tloušťky je třeba většího množství tepla, které se nerozdělí rovnoměrně.

Únosnost spoje při použití tvrdé pájky při běžném namáhání dosahuje u vhodné konstrukční úpravy obvykle únosnosti základního materiálu v žíhaném stavu. Pro vyšší provozní teploty je nutno použít těžkotavitelné žárovečné pájky. [1]

### **Vliv stárnutí na pevnost spoje**

Stárnutí je provázeno strukturními změnami pájky v mezeře spoje, to souvisí se změnami mechanických vlastností pájeného spoje.

### **Vliv vlastností materiálu**

Mezi tyto faktory zahrnujeme pevnost základního materiálu, druh použité pájky, tavidla, jakost vniklé difúzní mezivrstvy atd. [1]

## **2.2 Odolnost pájených spojů proti korozi a oxidaci**

Spoj vytvořený pájením, je heterogenní soustava která koroduje a kterou tvoří velká plocha základního materiálu a relativně malá plocha pájky a difúzní mezivrstvy.

Napadení korozi se hodnotí měřením změn hmotnosti, změn rozměrů, změn mechanických a fyzikálních vlastností, vizuální kontrolou, lupou, mikroskopem, apod.

Metalografické vyhodnocování korozního napadení kovů, je norma která uvádí druhy a tvary korozního napadení. Druh a hloubka se určuje podle vzorku, který se vybere z míst zřetelně napadených, nebo funkčně důležitých. Místo se vybrušuje kolmo k povrchu, poté se výbrusy vyhodnocují před naleptáním a po něm. Podle schématu uvedeného v normě, se pozoruje napadení materiálu a porovnává se. [1]

### **Druhy koroze**

Obsáhlou skupinu poruch, představuje korozní poškození, které vzniká na povrchu kovů působením prostředí. Podle rozsahu poškození rozdělujeme korozi na celkovou (plošnou) která se vyskytuje na celém povrchu vystaveném koroznímu prostředí rovnoměrně a korozi nerovnoměrnou (lokalizovanou) která se vyskytuje intenzivněji jenom v některých částech sledovaného povrchu, tento druh koroze je důsledek poruchy pasivity kovu a s výjimkou poškození kovu vyvolaného vodíkem je hlavní mechanismus poškození anodické rozpouštění. Plošná koroze probíhá přibližně stejnou rychlostí po celém povrchu materiálu, dochází k ní, zejména tehdy, když je celý povrch kovu v pasivním stavu. Z hlediska prevence, je nejvhodnější spojovat materiály s blízkými korozními potenciály, nebo materiály které spojením nezmění korozní potenciál mimo pasivní oblast. Když spojíme korozivzdornou ocel s mědí, tak to má jen zanedbatelné důsledky, ale u uhlíkové oceli dochází k výraznému ovlivnění. [3]

### **Průběh koroze**

Jednotlivá místa spoje korodují nezávisle na sobě, rychlost koroze a typ rozrušení jsou dány korozními vlastnostmi a tedy do jisté míry chemickým složením a strukturou základního materiálu, pájky a difúzní mezivrstvy. Podle fáze, která je nejméně odolná vůči danému prostředí se posuzuje odolnost pájeného spoje.

Pro jednotlivé korozní prostředí volíme základní materiál s technicky vyhovující odolností, protože chceme, aby i spoj byl odolný proti korozi, volíme pájku alespoň se stejnou korozní odolností, při požadované pájitelnosti.

Z pohledu působení elektrochemické koroze představují pájené spoje problém, při pájení je totiž používán elektrochemicky odlišný přídavný materiál, který vzhledem k základnímu materiálu může být ušlechtilější (katoda), nebo méně ušlechtilý (anoda). V podstatě nastává nejméně vhodný případ tehdy, jestliže je pájka anodou, neboť proudová hustota je na poměrně malé tloušťce pájky velmi malá a způsobí její rychlé rozrušení. Mnohem příznivější je případ, kdy pájka je ušlechtilější než základní materiál, tyto skutečnosti však platí pouze pro určité prostředí, v jiném prostředí může mít pájka právě opačnou polaritu. Dalším problémem je existence difúzní mezivrstvy, která je třetí možnou složkou kovové soustavy a bývá často hlavní příčinou koroze spoje.[1]

Důsledky koroze lze omezit snížením agresivity prostředí. [3]

### **Vliv tavidel na korozi pájených spojů**

Agresivně budou na pájený spoj a jeho okolí působit zbytky tavidel, které ve vlhkém prostředí vlnou a tvoří elektrolyt. Musíme předpokládat to, že zbytky po pájení obsahují nejen tavidlo, u kterého už všechny reakce proběhly a je více méně nasycené sloučeninami jiných kovů jež jsou zúčastněny v procesu, ale že obsahují i tavidlo, jehož složení je jen velmi málo ovlivněno přetavením. Elektrolyt je korozním prostředím, ve kterém bude probíhat děj s kyslíkovou depolarizací. Většinou koroze začíná v místech neušlechtilé složky, nebo fáze systému při přechodu kovu do roztoku.

Při vzniku nerozpustných a nevlhnocích sloučenin, které vážou agresivní anionty původního elektrolytu se koroze zastaví. Kupříkladu při použití chloridového tavidla nekoroduje stříbrná pájka, protože chloridové ionty se vážou na stříbro za vzniku nerozpustného  $\text{AgCl}$ .

Na opačném příkladě můžeme uvést, že jsou-li sloučeniny rozpustné, bude koroze pokračovat až do úplného rozrušení spoje.

Výše uvedené skutečnosti platí jak pro měkké, tak i pro tvrdé pájení. Zbytky tavidel a jejich koroze, může být nebezpečná zvláště tehdy, jestliže nejvíce náchylnou oblastí je mezivrstva (např. při pájení hliníku na měkko, pájení korozivzdorných ocelí Ag pájkami), nebo jestli přicházejí v úvahu selektivní typy koroze (selektivní koroze – dochází k zániku jedné složky slitiny).

Důležitým činitelem pro vznik a průběh koroze je rozměr spoje, velkopřřezové spoje se mohou snadno čistit a jakost spoje není ovlivněna zbytky tavidla. V případě, že spojujeme dráty a tenké folie je však problém čištění o hodně závažnější a nebývá výjimkou, že tavidlo, které bylo vhodné pro rozměrné součásti, je zcela nevhodné pro např. jemné součásti v elektronice a elektrotechnice.

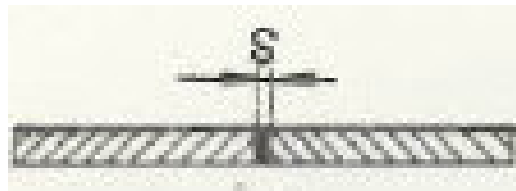
Není jednoduché vyslovit kategorické závěry, nebo doporučení jak zlepšit a zajistit odolnost proti korozi pro konkrétní kombinaci materiálů a prostředí, odolnost spoje proti korozi předem je vhodné modelově vyzkoušet, nebo se řídit praktickými zkušenostmi. [1]

### 3 KONSTRUKCE PÁJENÉHO SPOJE

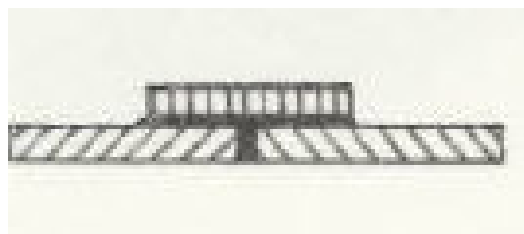
Návrh spoje je důležitým předpokladem správného pájení, obecně se vychází z fyzikální podstaty a základních technologických podmínek samotného pájení a z požadovaných vlastností výrobku. Při konstrukční přípravě dbáme na to, aby se vyřešily všechny problémy k dosažení jakostního pájeného spoje při co nejnižších nákladech a nezmetkové a bezporuchové výroby celé součásti. Kromě toho, že musíme znát hodnoty mechanické pevnosti, je nutné aby měl konstruktér představu o rozložení napětí ve spoji a znal možnosti jeho ovlivnění. Mechanické a fyzikální vlastnosti součásti budou odpovídat vlastnostem základního materiálu v žíhaném stavu. Při volbě vhodného typu pájeného spoje má důležitou úlohu druh, směr, velikost provozního namáhání a typ kombinace (základní materiál – pájka).[1]

#### Druhy spojů

**tupý spoj** - v případě, že nechceme aby v místě spoje došlo ke zvětšení průřezu použijeme tupý spoj, pro materiály tenčí než 2 mm je vhodný I spoj a V spoj je vhodný pro materiály tlustší než 2 mm a úhlem styku  $80^\circ$  až  $90^\circ$



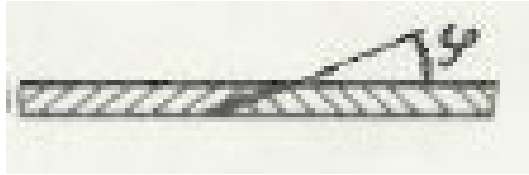
Obr. 9 Tupý spoj s vyznačenou tloušťkou spoje [1]



Obr. 10 Tupý spoj s příložkou [1]

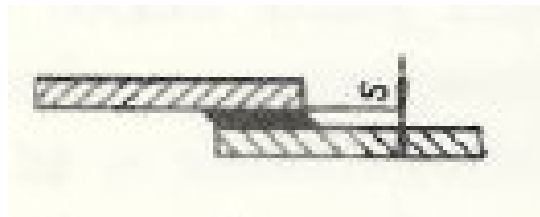


**šikmý spoj** – úkos pájených ploch je 45 až 60° je pevnější než tupý, i když je úprava pájených ploch pro tento druh spoje nákladnější, pájí se snadněji než tupé I spoje, používají se pro spojování materiálů namáhaných ohybem popř. dynamicky.

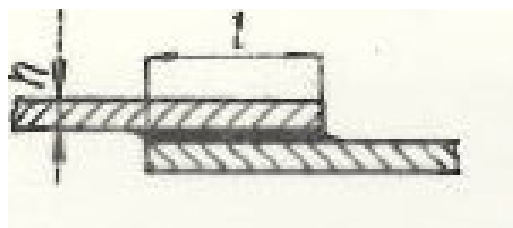


Obr. 11 Šikmý spoj [1]

**překládaný spoj** – technologicky nejjednodušší a nejspolehlivější typ spoje, není třeba při výrobě spoje používat fixačních přípravků, používá se převážně na spojování tenkých plechů a trubek

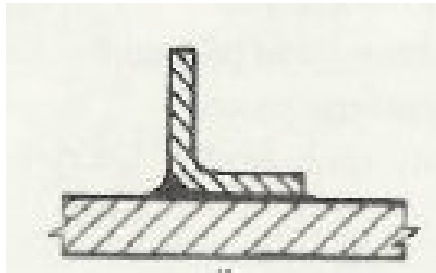


Obr. 12 Překládaný spoj s vyznačenou tloušťkou spoje [1]



Obr. 13 Překládaný spoj s vyznačenou délkou překlátování a tloušťkou základního materiálu [1]

**T – spoj** – se používá pro spojování materiálů širších než 2mm, důkazem správného zapájení je vytvoření koutového přechodu pájky na protilehlé straně spoje.



Obr. 14 Překlátovaný T- spoj [1]

**prohýbaný spoj** – se používá při pájení plechů na měkko, není vyžadována vysoká pevnost, ale těsnost proti plynům a kapalinám



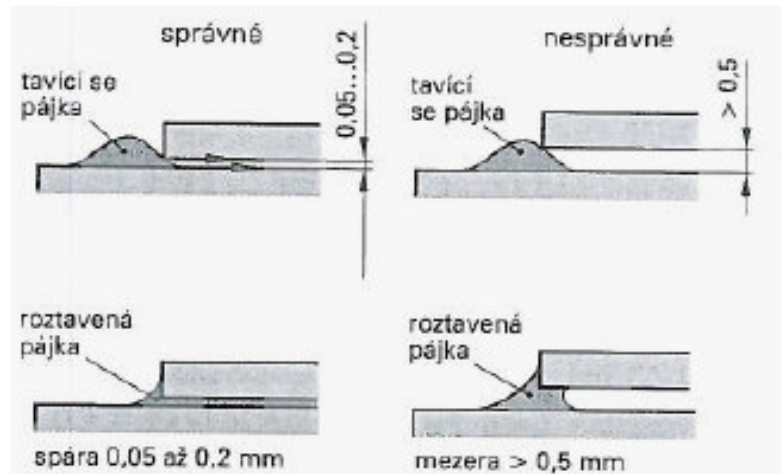
Obr. 15 Promáčknutý překlátovaný spoj [1]

### 3.1 Zásady navrhování pájených spojů

Při konstrukci pájených spojů nesmíme opomenout následující principy:

- určit optimální šířku mezery ve spoji, šířka se určuje jednak s přihlédnutím k mechanickým vlastnostem spoje a také se zřetelem k vytvoření optimálních podmínek tečení pájky (tavidla) při pájení a kombinaci pájka – základní materiál, z teoretického hlediska je snaha, aby mezera byla co nejužší

- mezera pro pájení by měla být široká 0,05 až 0,2 mm [7]
- je-li mezera širší než 0,3 až 0,5 mm, nepřekonají adhezní síly vztlínání kohezní síly pájky, případně ještě ještě tíhu pájky ve svislé mezeře, je-li naopak mezera příliš úzká, nedostane se do ní dostatek tavidla pro odstranění vrstvy oxidu [7]



Obr. 16 Kapilární jev při pájení [7]

- mezery pro pájení by neměly být kvůli zatékání pájky hlubší než 15 mm
- odvzdušnit před pájením dutá tělesa a nádoby, jinak hrozí nebezpečí expanze ohřátého vzduchu, což může být příčinou poruchy spoje, odvzdušňovací otvor se po ukončení pájení utěsní měkkou pájkou, nebo se zazátkuje
- stanovit vhodné množství a tvar pájky
- pájku umístit na vhodném místě
- zabránit zatékání pájky mimo spoj
- musíme brát v úvahu nerovnoměrné rozdělení napětí v zatíženém spoji, které je způsobeno jak vlivem materiálového vrubu (nestejně spojované materiály) tak vlivem konstrukčního vrubu (je to náhlá změna průřezu, nebo toku siločar), navrhovat stejné tloušťky průřezů pájených částí v místě spoje, ale i náhlé změně průřezu spoje, tímto se zabraní nejen přehřátí tenčí části, která při zatížení způsobí koncentraci napětí a tím i pokles únosnosti spoje.
- určit vhodnou úpravu pájeného místa, to se provádí různými způsoby, při obrobení řeznými nástroji se vytvoří rýhovaný povrch, tyto rýhy působí jako kapiláry (když

mají shodný směr s tečením pájky), nebo jako kapilární přepážky (směr rýh není shodný s tečením pájky), mikrotrhliny základního materiálu mohou mít při pájení podobný účinek v případě, že působí rýhy jako kapiláry, tato plocha je výhodnější, než leštění, neboť ta kapilární účinek neposkytuje

- zabezpečit polohu pájených dílců, ke změně polohy nesmí po dobu pájení docházet, to se zajišťuje různými způsoby, např. použít takový tvar spoje, který umožní středění jednotlivých spojovaných dílů, použít zajištění spojovaných částí nýtováním, vyhnutím, bodovým svařováním, spojení za pomoci šroubů [1]
- užít pomocných fixačních přípravků, ty by měli splňovat požadavky na tuhost a pevnost přípravku, být co nejjednodušší, mít co nejmenší hmotnost- sníží se tím absorpce tepla přípravkem, zjednoduší manipulace a klesne cena
- protože jsou použity různé materiály přípravku a pájeného předmětu je nutné vyloučit nežádoucí smršťování součástí a tím dosáhnout požadovanou přesnost
- přípravek musí umožnit snadné vkládání a vyjímání pájených součástí, životnost některých částí přípravku, zejména těch, které jsou při procesu tepelně namáhány je omezena, proto by měla být možnost jejich snadné výměny
- zvolit takový tvar spoje, který bude schopen přemístit všechny koncentrace napětí z okrajů spoje do základního materiálu
- abychom snížily vliv těchto nežádoucích napětí, použijeme různá konstrukční a technologická opatření, jestli je spoj správně zapájen, tak únavový lom nastane v základním materiálu a ne v místě spoje. [1]

### 3.2 Vady pájených spojů

Vady a jejich přítomnost v pájeném spoji ovlivňují jeho užité vlastnosti. V praxi jenom těžko dosáhneme dokonale spájeného spoje bez vad, podle požadavků kladených na pájený spoj se určuje jejich povolený rozsah.

Přípustnost vad závisí na:

- typu pájeného spoje a stavu jeho napjatosti

- orientaci, typu a velikosti vady
- prostředí, teplotě a provoznímu namáhání

Podle účinku na užité vlastnosti spoje řadíme vady do dvou skupin:

- plošné vady, např. zanesené zbytky tavidla do spoje, trhliny, nesmáčená místa
- prostorové vady, např. nedokonale vyplněný spoj pájkou, krápníky, dutiny, póry

Plošné vady jsou z hlediska poklesu mechanických vlastností nejvíce nebezpečné, protože vyvolávají velkou koncentraci napětí.

Je přirozené, že se snažíme množství vad při pájení snížit na minimum, ale k tomu je třeba znát příčiny jejich vzniku a to je především nedodržení předepsaných konstrukčních podmínek, vliv nevhodné kombinace základních a přídavných materiálů a také nedodržení technologických podmínek pájení. [1]

Z tohoto důvodu jsou např. při pájení hliníku v peci s ochrannou atmosférou, prováděny kontroly pájecích podmínek, protože jejich nedodržení, má za následek zvýšenou zmetkovitost a následně problémy s dodržím termínů objednávek. Zkouška se provádí pomocí zařízení zvaného datapaq, což je systém obsahující ochrannou schránku, datovou paměť a sondy, které jsou instalovány ve zkušebním vzorku chladiče. Spolu projedou pecí a snímají průběh pájecích podmínek.

Tímto úkolem se budu zabývat v praktické části bakalářské práce tzn. kontrolou pájecího profilu, jehož cílem je vyhodnocení pájecích podmínek při pájení tepelného výměníku v průběžné peci s ochrannou atmosférou dusíku.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 PÁJENÍ V PECI

Je to druh kapilárního pájení, při kterém je ohříván celý objem součásti. Tato metoda má výhodu v tom, že můžeme pájet více součástí složitého tvaru s různým počtem spojů najednou. Protože je součást ohřívána a ochlazována rovnoměrně, nevzniká ve výrobku vnitřní pnutí a deformace. Pájíme-li materiály, u kterých je požadováno doplňkové tepelné zpracování, můžeme tyto operace spojit.

Při pájení můžeme nastavit hodnoty pájecí teploty a dobu, po kterou se bude součást pájet, lze tak dosáhnout dobré kvality spojů u většího množství součástí najednou (opakovatelnost výsledků).

Pájení v peci rozdělujeme podle druhu použité atmosféry:

- v běžné atmosféře za použití tavidla
- v ochranné atmosféře za použití tavidla
- v redukční atmosféře

V závislosti na druhu základního materiálu, počtu a rozměrech pájených součástí volíme vhodný způsob pájení. Jedná se o zařízení s vysokými pořizovacími a provozními náklady. Proto používáme pájení v peci pouze při pájení velkého množství součástí, nebo když velikost součásti vyžaduje ohřev v peci. Většinou se jedná o případy, kdy není možné spojovat součásti svařováním, v takových případech se používají pece komorové, průběžné s normální, nebo ochrannou atmosférou. [1]

Při pájení v peci s ochrannou atmosférou, je ochranná atmosféra vytvořena argonem, heli-  
em, jejich směsí, popř. dusíkem. Ochranný plyn je vháněn do prostoru pece, ve které je  
uložena pájená součást, jeho hlavním úkolem, je ochrana povrchu pájené součásti před  
oxidací. [1]

### 4.1 Výroba součástí pájením.

#### Výroba chladičů ve společnosti Visteon - Autopal Hluk.

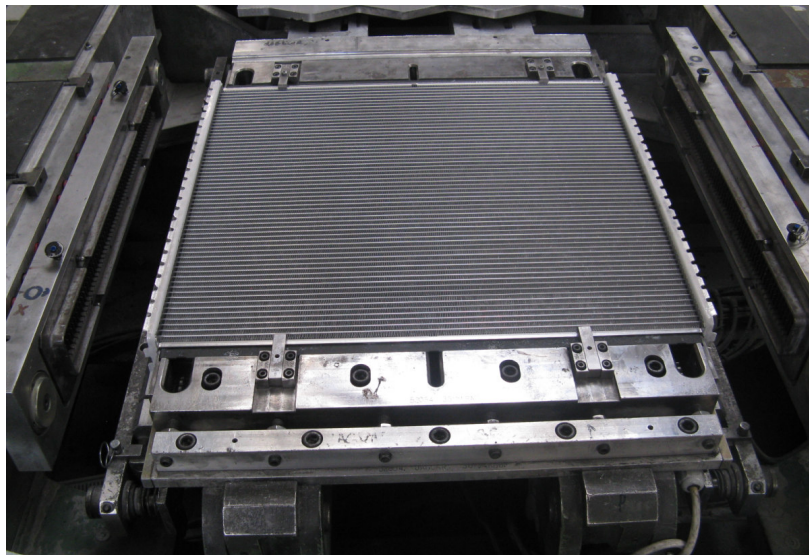
Ve Visteon - Autopal Hluk se vyvíjí a vyrábí automobilové chladiče, mezichladiče, kondenzátory do klimatizací, klimatizační hadice a tepelné EGR (Exhaust Gas Recirculation) výměníky. Ty byly zkonstruovány za účelem recirkulace výfukových plynů. Výměník je vložen do výfukového potrubí naftového motoru, kde ochlazuje určitou část spalin, které

jsou znovu vháněny do sání motoru, tímto se redukuje obsah vypouštěných škodlivin do ovzduší. Výměníky jsou vyráběny z nerezové oceli i hliníku a pájeny v indukčních pecích. EGR výměníky splňují emisní limity EURO IV, V a zkušebně EURO VI. Výroba EURO V se naplno rozběhla v roce 2010. Mezi největší odběratele patří Ford, PSA Peugeot Citroën a BMW.[2]

Výroba chladičů je v programu podniku od roku 1950, vyráběly se ocelové chladiče měkkým pájením, ponorem v cínové pájce. Dále tu byla výrobní linka Sofico, ta se specializovala na výrobu lisovaných chladičů a topení pro automobilky: Škoda Auto, Opel, Zetor aj. Od roku 2000 je v provozu moderní automatizovaná výroba z označením CAB - controlled atmosphere brazing (což v překladu znamená: Tvrdé pájení hliníku v ochranné atmosféře). Ve výrobě CAB se vyrábí hliníkové chladiče pro automobilky Audi, Ford, Jaguar, Mazda, McLaren, Alfa Romeo. Výrobě chladiče předchází nezbytné konstrukční práce, jež zahrnují samotný návrh výrobku, výrobu prototypů pro zákazníka a pro testování a následné zavedení do výroby.

Hliníkové chladiče jsou teplotně odmaštěny, tvrdě pájeny pomocí tavidla a pájecích rámců v ochranné atmosféře dusíku na lince pásového dopravníku.

Samotná výroba chladiče se sestává ze stavby chladičí vložky, to je největší část automobilového chladiče.



*Obr. 17 Vložka chladiče v poloautomatickém stroji*



Vyrábí se na poloautomatickém stroji, do kterého se prostřednictvím operátora vkládají potřebné komponenty. Chladicí vložka se skládá z vlnovce, to je hliníkový plechový pás o tloušťce v rozmezí 0,06 až 0,1 mm tvářený do požadované podoby, (Viz. obr. 18) dále pak z chladících trubek, které jsou do skládacího prostoru dodávány dopravníkem, ostatní zbývající díly, víka a bočnice dodá do stroje operátor manuálně. Stroj následně vložku zarovná do požadovaného tvaru. Operátor zasune na hotovou vložku pájecí rám, který má za úkol zafixovat chladicí vložku při její cestě pecí. Dále má za úkol podepírat trubky a vlnovce proti vypadnutí v peci z důvodu smrštění materiálu. Chladicí vložka takto uložena v pájecím rámu je položena na pásový dopravník průběžné pece. Po projetí všemi částmi pájecí pece, je vložka zapájena a operátorem vyjmuta z pájecího rámu. Následuje vizuální kontrola a poté odvoz na montážní pracoviště, kde je na každou stranu vložky nalisována plastová komora, vyrobená většinou z polyamidu PA66.

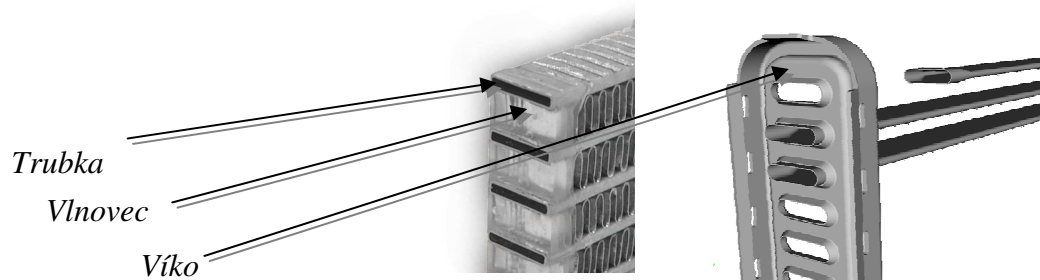
Ještě před vložením komory na víko vložky se mezi tyto dva díly vloží pryžové těsnění, které má zabránit nežádoucímu tečení chladicího media ven z chladicího okruhu. Po montáži následuje test těsnosti, při kterém se do chladiče přivede vzduch, nebo helium, které se natlakuje na předem vypočítanou a určenou hodnotu. Poté se přívod plynu zastaví a po určité době se vyhodnocuje tlakový rozdíl, pokud chladič projde suchým testem, je provedeno označení a příprava k expedici.



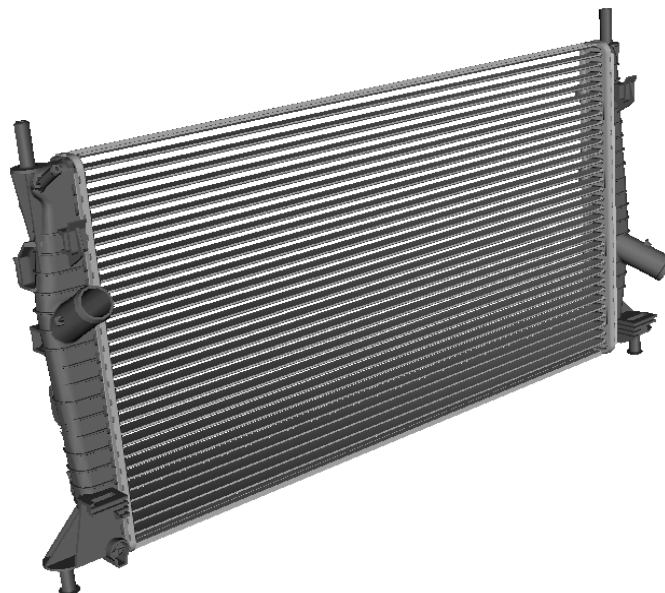
Obr. 18 Pájecí rám

Jednotlivé materiály pro výrobu hliníkových tepelných výměníků jsou:

- plátované a neplátované hliníkové slitiny třídy 3003 (AlMn1 – ČSN 42 4432)
- tavidlo + demineralizovaná voda
- odpařitelný olej
- pájecí rámy AISI 304, 304L, (DIN 1, 4301 a 1.4306)



Obr. 19 Průřez chladicí vložkou a znázornění nasunutí chladících trubek ve víku.



Obr. 20 Automobilový chladič EUCD (Ford Mondeo)

## 4.2 Průběžná pájecí pec pro pájení v ochranné atmosféře dusíku.

Tento systém byl navržen za účelem souvislého tvrdého atmosférického pájení v ochranné atmosféře tepelných výměníků, chladičů, mezichladičů a kondenzátorů. Pec se skládá z těchto částí, je to odstraňovač oleje, dávkovač tavidla, vysoušecí pec, předehřivací pec, systém chlazení a řídicí systém.

Kusy které se mají pájet jsou ručně vkládány na pásový dopravník, který je dopraví do odstraňovače oleje a poté pokračují, skrz celý systém pece, kde jsou v zadní vykládací části odebrány z pásu. Pás pece je vyroben z kvalitní žárovevne oceli. Tam kde to teploty dovolí, je pás vyroben z gumotextilie, popř. je určitá část pece opatřena válečkovým dopravníkem. Pás se pohybuje po kluzných podložkách a volná vratná část je nesena podpěrnými válečky. [4] Schéma pájecí pece, je v příloze 1.

### Popis jednotlivých částí pece.

- **termické zařízení pro odstranění odpařitelného oleje** - se skládá z pece pro odstranění mazacího oleje z tepelných výměníků a ze spalovací pece pro spalování olejových výparků, spalovna je vytápěna plynem, termická pec je částečně vytápěna plynem a částečně je využito teplo ze spalovny. Zařízení je mechanicky samostatné, je integrální jednotkou, s izolovanou ocelovou komorou a s recirkulačními větráky pro zvýšení účinnosti předávání tepla při ohřívání. Ovládání je zahrnuto v ovládacím panelu systému, výrobky jsou zahřívány na teplotu 150- 200°C. Při této teplotě dochází k odpaření oleje, tyto zplodiny jsou odsávány a spalovány ve spalovně při teplotě 800°C. Vytápění odmašťovací komory je zajištěno plynovými hořáky. Atmosféru uvnitř pece tvoří okolní vzduch a vzduch vypařující se z výrobků.
- **zařízení pro nanášení tavidla** – je to dopravníkový stroj, sloužící k aplikaci tavidla na výměníky. Skládá se ze dvou PVC nádob, které jsou opatřeny systémem stálého míchání a komory pro nanášení tavidla. Tavidlo je dopravováno systémem pump a trysek do komory, kde je aplikováno na výměník. Výměníky jsou do komory dopraveny z teplotní odmašťovny. Na výměník je aplikován roztok demineralizované vody a tavidla, přebytečný roztok je ofukován a vrácen zpět do nádoby na přípravu tavidla. Ovládání je v centrálním panelu systému.
- **sušící pec** – v sušící peci se z výměníku při provozní teplotě 200°C – 300°C odstraňuje voda použitá při nanášení tavidla, dochází zde k odpařování demineralizo-

vané vody a vysoušení výměníku. Mechanicky je pec zcela samostatná a není součástí pájecí pece. Je vytápěna plynem a má recirkulační ventilátory pro posílení vytápění a sušení.

- **předehřívací pec** – je součástí pece tvrdého pájení. V každé zóně jsou plynové hořáky, dále jsou zde recirkulační ventilátory k zajištění konvekčního přenosu tepla. Výměníky jsou předehřívány na teplotu 400 - 500°C v ochranné atmosféře dusíku, ochranná atmosféra je potom odsávána, filtrována a vypouštěna do ovzduší.
- **pec tvrdého pájení** – je vytápěna elektrickými topnými články, přenos tepla je radiací na teplotu 570°C – 630°C. Pec je rozdělena do sedmi zón. Chladiče jsou pájeny natvrdo při 600°C teplotě v ochranné atmosféře dusíku, ochranná atmosféra je odsávána, filtrována a vypouštěna do ovzduší.
- **chladičí systém** – se skládá se sekcí s vodním obalem a ventilátorem. Sekce chladičího systému s vodním obalem je součástí pece tvrdého pájení, je to uzavřený okruh, chlazený přes výměník tepla, ventilátor je samostatná část která slouží k dochlazení chladiče na pokojovou teplotu
- **odlučovač** je určen pro snižování škodlivých emisí (fluoridy) do ovzduší z ochranné atmosféry maffle předehřívací pece, pece tvrdého pájení a chladičího systému s vodním obalem. K čištění se používá náplň kryolitu (hexafluorohlinitan sodný, bílá krystalická látka, ve vodě téměř nerozpustná). [9]
- **kontrolní systém** – slouží k ovládání celé pájecí linky, nastavení, kontrole provozních parametrů, spuštění a zastavení, celá pájecí linka je řízena speciálním software.

Předností tohoto zařízení je vysoká produktivita práce, ekologický a bezpečný provoz, minimální výroba zmetků.



*Obr. 21 Průběžná pájecí pec pro tvrdé pájení hliníku v ochranné atmosféře dusíku.*

### 4.3 Pájecí proces.

Pájecí pec je klíčovým prvkem podniku. Kvalita a spolehlivost výrobků, v tomto případě tepelných výměníků je závislá na mnoha podmínkách. To jak probíhají jednotlivé kroky výroby výrobku můžeme ovlivňovat. Je, ale také důležité znát, jakým způsobem pracuje výrobek uvnitř pájecí pece.

Teplota v prostorech jednotlivých zón pájecí pece, není homogenní, proto se vyhodnocuje průměr teplot, ty se získávají z teplotních sond, které jsou rovnoměrně rozmístěny v prostorách jednotlivých zón pájecí pece, tyto teploty jsou zobrazovány na monitoru řídicího počítače a jsou regulovatelné, nicméně, ani tyto hodnoty nám dostatečně nevypovídají o schopnosti kvalitně zapájet výrobek. Teplota atmosféry není totožná s teplotou pájené součásti a nedozvídáme se, tedy jakých hodnot dosahují teploty na pájeném výrobku.

Pájecí proces je tedy souhrn všech charakteristik vstupujících do procesu pájení. Teplota, čas, rychlost, ochranná atmosféra, tedy faktory ovlivňující správné zapájení.

Jednotlivé procesy se od sebe liší dosahovanými pájecími teplotami a rychlostí dopravního pásu průběžné pájecí pece.

#### 4.4 Datapaq – systém pro sledování teplot.

Systém Datapaq furnace tracker poskytuje důležité informace o aktuální teplotě na i vevnitř pájeného výrobku a v jeho těsném okolí a to přímo v průběhu pájecího procesu. Znalost přesných teplot, při nichž tepelný výměník prochází pecí nám pomůže zvýšit produktivitu a optimalizovat pájecí proces.

Zařízení prochází současně s výrobkem pecí a neustále, s vysokou přesností zapisuje jeho teplotu v každém stupni procesu tepelného zpracování, jednoduše a efektivně rozpoznává, pracovní podmínky v pájecí peci. [12]

Tento teplotní monitorovací systém je přizpůsoben pro práci v nejobtížnějších podmínkách a umožňuje sledování teploty z více zdrojů najednou. Naměřené údaje jsou exportovány do počítače kde se za pomoci software, který je součástí zařízení vyhodnocují a archivují.[12] Dovoluje nám porovnání současných teplotních charakteristik s předchozími hodnotami a výsledná křivka nám zobrazuje možné nesrovnalosti pájecího procesu. Na základě této diagnostiky, která nám pomůže identifikovat problém, můžeme následně opravit neshodné parametry pájecího procesu.

K velkým výhodám patří nezávislost na elektrické síti (bateriové napájení), variabilita a velký sortiment příslušenství. [11]

Pájecí inženýr, popř. technolog, musí vědět jakou teplotou a jakou rychlostí se má konkrétní výrobek pájet. Odchytky od ideálního stavu mohou být příčinou potenciálních problémů s neakceptovatelnou kvalitou. Po analýze procesu a jeho správnosti, jsme schopni docílit výrobku o vysoké kvalitě a výrobu o vysoké produktivitě.

Systém je složen z datové paměti ochranné schránky a teplotních sond. Takto zkompletované zařízení, které cestuje přímo pecí je schopno monitorovat a vyhodnocovat teploty pájeného výrobku a bezprostředního okolí, bez nutnosti použití vedení vlečných kabelů termočlánků.



## Datová paměť

Zjišťuje hodnoty v naprogramovaných časových zónách a ukládá je do paměti. Základem datové paměti, je mikroprocesor napájený baterií, získávající informace, které popisují aktuální teploty pájeného výrobku. Před samotným měřením, je datová paměť naprogramována Datapaq tracker softwarem. Tyto informace mimo jiné obsahují, kdy požadujeme začátek monitorování. To může být spuštěno buď po dosažení určité teploty, nebo času, dále jsou tam informace o počtu sond které budeme používat a intervaly sbírání dat.



*Obr. 22 Systém Datapaq[12]*



*Obr. 23 Datová paměť*

Datová paměť má zpravidla rozpětí snímaných teplot od 0°C do 1370 °C s přesností  $\pm 1^\circ\text{C}$ , životnost baterie je do 100 hodin, snímací intervaly v rozmezí 0,1 sekund, až 10 minut.

### **Žárovzdorná ochranná schránka**

Robustní žárovzdorné ochranné schránky chrání datovou paměť před mechanickými, teplotními a chemicky agresivními účinky pracovního prostoru pece.

Výběr ochranné schránky, se určuje podle velikosti datové paměti. Také se určuje podle délky trvání testu, který nesmí přesáhnout dobu, do níž ochranné schránky zaručují nepropustnost vysokých teplot, jinak by hrozilo přehřátí datové paměti, některé typy jsou vybaveny teplotně citlivým senzorem měřící teplotu uvnitř schránky, kde teplota nesmí přesáhnout 77°C.

Schránky jsou dodávány s odolností teplot nepřesahující 850°C a 1000 °C.



*Obr. 24 Ochranná schránka s otvorem pro datovou paměť a před průjezdem pecí*

### **Kabely teplotních sond**

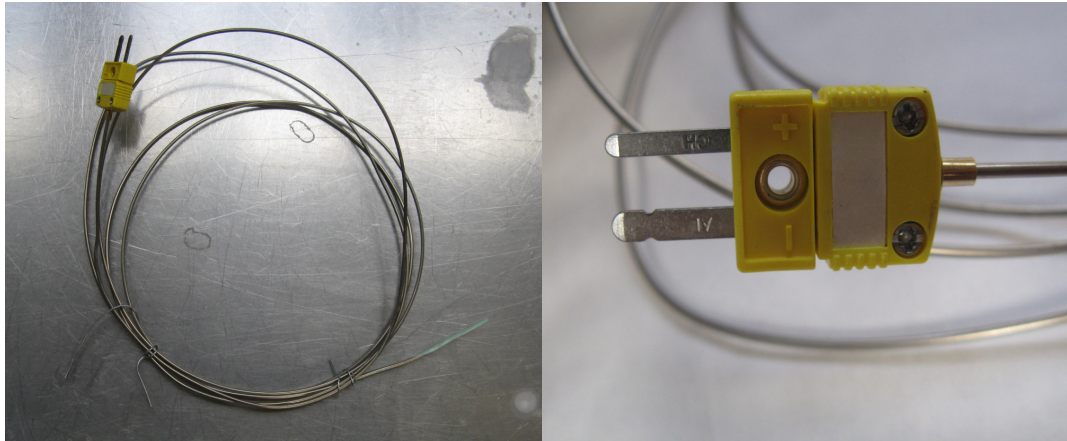
Praktické použití teplotních sond, je limitováno materiálovými charakteristikami kabelů, izolanty kabelů pro monitorování teplot v průběžné peci jsou vyrobeny z keramických vláken a jsou použitelné až do 1000°C

### **Teplotní sondy**

Teplota je snímána teplotními sondami, které jsou rozmístěny podle potřeby a podle počtu kusů na pájeném výrobku. Použité materiály teplotních sond zajišťují dlouhou životnost, maximální pružnost a jednoduché použití. [10]



Jsou určeny pro použití v rozmezí teplot od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $1370^{\circ}\text{C}$ , s přesností  $\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ , nebo  $0,4\%$ .



*Obr. 25 Teplotní sonda s kabelem a detail zásuvky*

### **Software Datapaq Furnace Tracker**

Graficky a číselně zobrazuje sledované oblasti pro přehledný rozbor pájecího procesu. Jednoduchou formou, dostáváme informace o teplotě, jakou výrobek dosáhl, po jak dlouhou dobu a v jakém konkrétním bodě. (Viz. přílohy 2-5)[12]

Software vyhodnocuje následující funkce:

Grafické znázornění dat - barevné grafy s polohami jednotlivých zón, názvy zón, maximálními hodnotami teplot a vlastními poznámkami na obrazovce.

Čas a teplota - zajišťuje, že výrobek dosáhne v určený čas zadané teploty.

## 5 KONTROLA PÁJECÍHO PROCESU

Kontrola pájecího procesu se provádí při jakémkoliv změně jak na samotném výrobku, tak při jakémkoliv zásahu na pájecí peci, koná se za těchto okolností:

**Po změně pájecího procesu** - ve výrobě se vyrábí více druhů automobilových chladičů, ty se od sebe liší rozměry a nároky, které mají na spotřebu tepla. Chladiče s velkými rozměry a tudíž s velkou schopností odebírat více tepla v závislosti na hmotnosti, mají pájecí teploty v peci a rychlost pájecího dopravníku, nastaveny tak, aby došlo k dokonalému prohřátí a tím i zapájení celého výrobku. V případě, že pájíme na takto nastaveném procesu výrobek rozměrově, nebo váhově menší, je zde velké riziko spálení chladiče, takto znehodnocený výrobek nemůže plnit požadovanou funkci. V opačném případě, kdy je na pájecí peci nastaven proces na kterém se pájí výrobky ne tak náročné na spotřebu tepla a je zde pájen výrobek s daleko většími požadavky na teplotu, je velká pravděpodobnost, že všechny spoje nebudou dokonale spájeny. Procesy se od sebe liší nastavenými teplotami v jednotlivých zónách pájecí pece a rychlostí pásového dopravníku. V současnosti je snaha mít jeden univerzální proces, pro co nejvíce druhů výrobků.

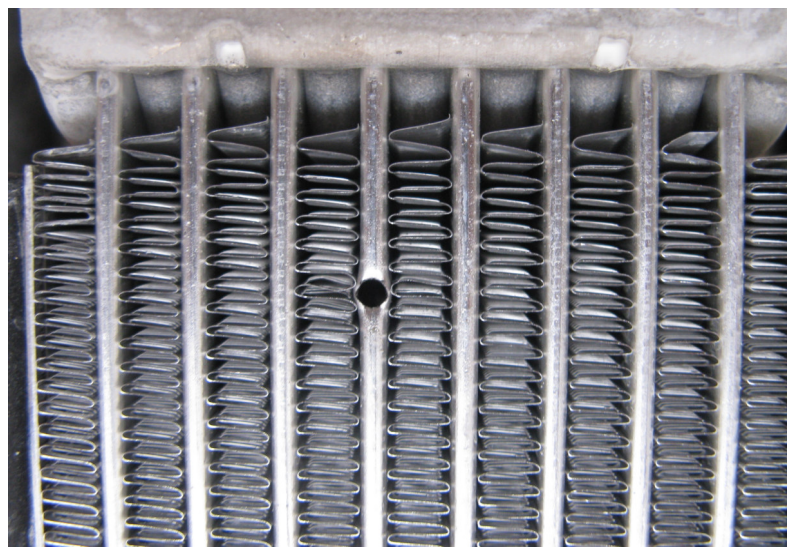
**Periodicky:** po pravidelných servisních prohlídkách, čištění apod., při každé z těchto operací je pec mimo provoz, po opětovném zapnutí se provádí kontrola pro ověření pájecích podmínek.

**Při výrobě nového kusu,** se profil měří jednak k ověření správnosti zapájení, ale také kvůli volbě konfigurace počtu kusů do pece vstupujících, pro co největší efektivitu sériové výroby a pro co největší využití kapacity pece.

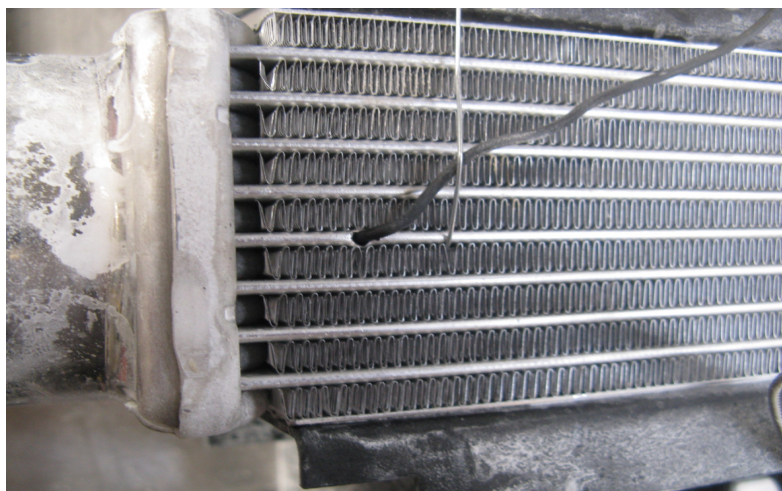
Při zavádění nového výrobku do výroby, se zkouší různé varianty nastavení teplotního procesu a umístění výrobků na dopravní pás pájecí pece, tak aby se zajistila nejenom bezproblémová zapájitelnost výrobku a byla zohledněna co nejvyšší efektivita, ale hlavně, aby následné testy vykazovaly co nejlepší výsledky. Pro výrobu nového vodního mezichladiče, který je specifický svými malými rozměry, jsem v tomto případě určil, že rozložení pájených kusů bude napříč pásem dopravníku.

### Montáž datapaqu

Pro co nejobjektivnější snímání teplot je důležité rozmístění teplotních sond na snímaném výrobku. Sondy jsem umístil v místech, kde nejvíce záleží na co nejlepším prohřátí výměníku tak, aby zaznamenali teplotu v místech, kde předpokládáme její největší spotřebu a zároveň co nejrovnoměrněji pokryli celou součást. Otvory pro teplotní sondy se provedou důlčíkem. Lihovým popisovačem jsem na výrobek popsal umístění jednotlivých teplotních sond.

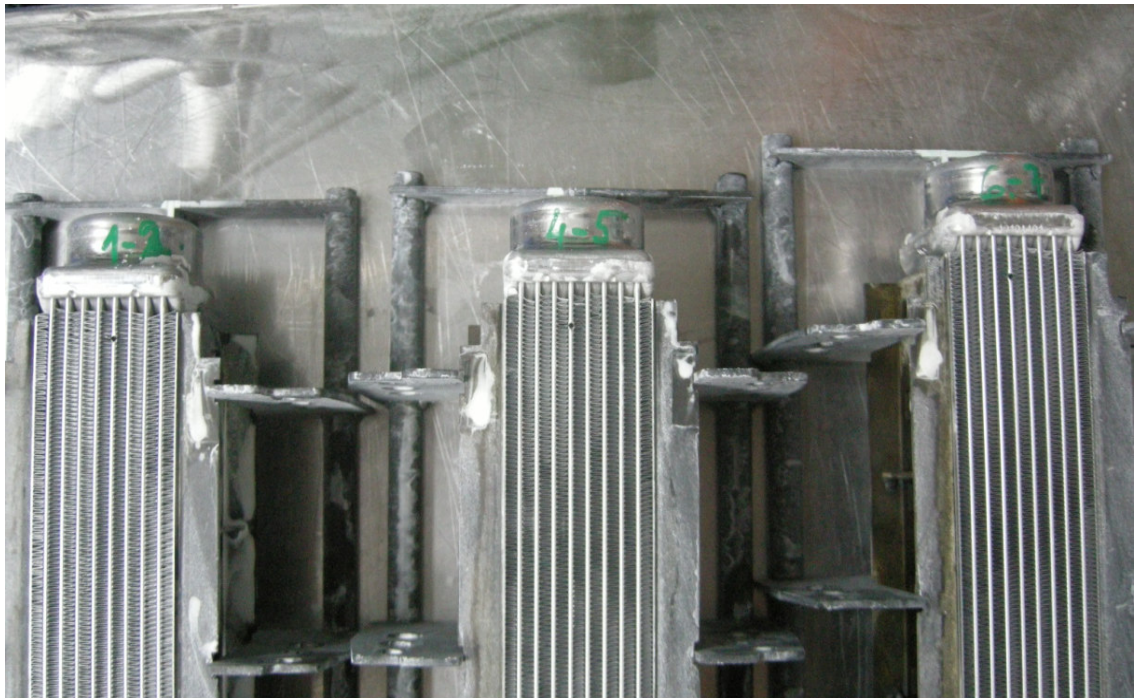


*Obr. 26 Otvor pro teplotní sondu v trubce chladiče*

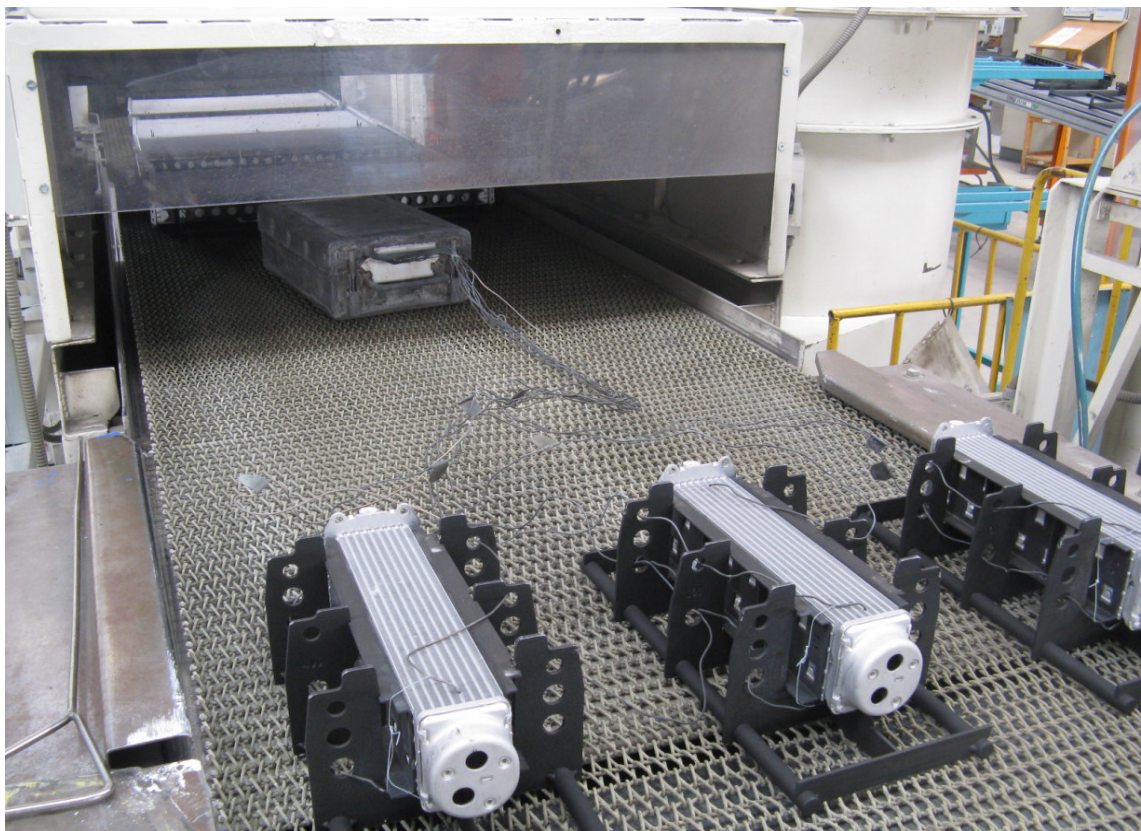


*Obr. 27 Kabel teplotní sondy v trubce chladiče*





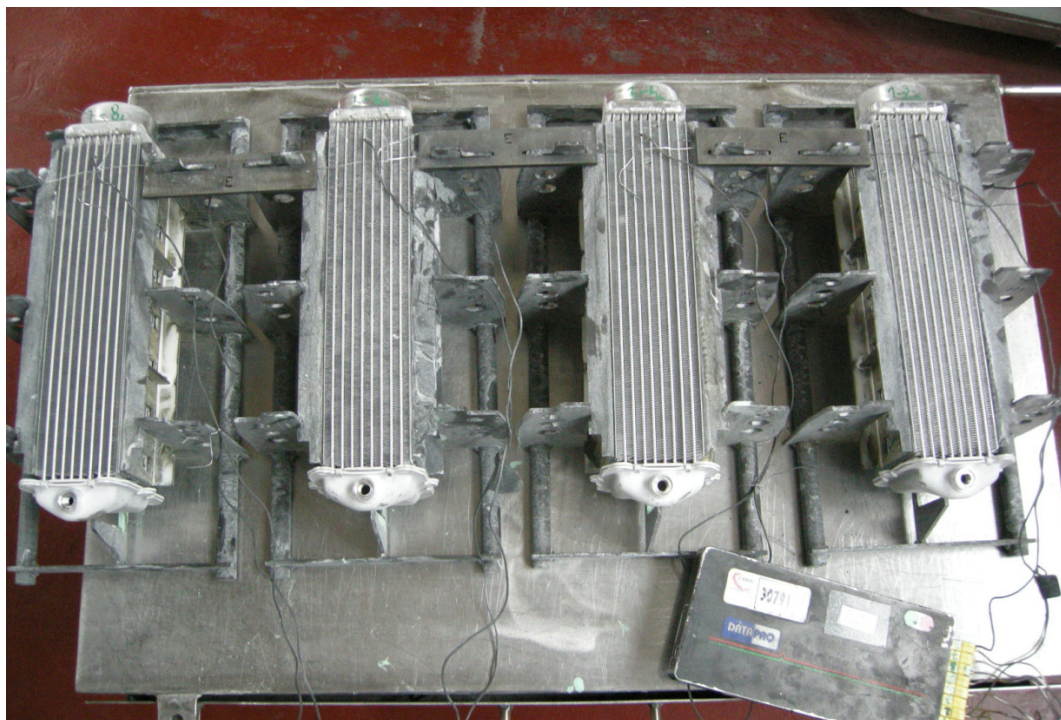
*Obr. 28 Detail značení umístění pořadových čísel teplotních sond*



*Obr. 29 Systém datapaq v procesu*



Pro co nejeftivnější využití kapacity pájecí pece jsem jako první variantu volil zapájení čtyř kusů vedle sebe. Teplotní sondy jsem umístil do trubky u víka chladiče, vždy na horní a spodní straně. Po instalaci a uzavření datové paměti do ochranné schránky jsem výrobky umístil na dopravní pás mezi dávkovač tavidla a vstup do vysoušecí pece.



Obr. 30 Pájecí konfigurace pro čtyři kusy výměníku

Nastavení teplot pájecího procesu je uvedeno v tabulce 3, rychlost pásového dopravníku nastavena na 1500mm/min. Z měřených kusů, které projeli pecí jsem demontoval teplotní sondy. Takto znehodnocené kusy jsou následně vyřazeny jako neshodné.

Tab. 3 Nastavení teplot pájecí pece [°C] pro uspořádání 4 výměníky.

Zóna	Sušící pec/zóna		Předehřívací pec/zóna			Pájecí pec/zóna						
	Z1	Z2	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Horní část zóny [°C]	310	350	565	575	585	630	615	600	592	608	604	604
Dolní část zóny [°C]	310	350	565	575	585	630	615	600	587	606	604	604

Přestože hodnoty této kontroly dosahovaly potřebné úrovně dostačující pro zapájení výměníků, tak ve výsledných maximálních teplotách můžeme sledovat značné rozdíly

Časy setrvání teplot nad 577°C byly hodně kolísavé a v některých místech nedostatečně dlouhé. (Viz. příloha 2) Důvodem, proč tomu tak bylo, je to, že čtyři výměníky vedle sebe si navzájem přebírali teplo, při předem dané rychlosti dopravního pásu nebylo možné je dokonale prohřát a tím zajistit dostatečné zapájení.

Hrozí zde reálné nebezpečí, že by výrobek nemusel projít požadovanými testy, např. pulsačním, nebo tlakovým testem.

*Tab. 4 Hodnoty pájecího procesu pro konfiguraci pro 4 výměníky.*

Sonda č.	Dosažené maximální teploty [°C]	Výdrž teplot nad 577°C [min.]	Výdrž teplot nad 590°C [min.]
1	599,7	7,20	3,0
2	599,4	6,10	3,0
3	593,6	5,10	1,10
4	594,9	4,20	1,40
5	591,7	4,40	0,40
6	593,6	4,50	1,30
7	595,4	4,50	2,00
8	598,7	7,20	2,50

Jako další možnost jsem volil způsob pájení tří výměníků vedle sebe. Hodnoty pájecího procesu oproti předchozí kontrole se čtyřmi výměníky zůstaly nezměněny.

Teplotní sondy, byly rozmístěny podobně jako při minulém měření, s tím rozdílem, že dvě sondy, které přebývaly s důvodu redukce počtu měřených kusů, jsem umístil vždy po jedné sondě do horní trubky na opačnou stranu krajních chladičů.

Při tomto rozestavení se zvětšily rozestupy mezi jednotlivými výrobky, došlo ke změně rozvrstvení tepla, k nárůstu maximálních teplot.

Doba setrvání pájených dílů nad teplotou 577°C, vykazovala rovnoměrnější a vyšší hodnoty výdrži na těchto teplotách. (Viz. příloha 3)

Takto pojaté rozložení kusů při pájení a při stávajících hodnotách teplot a rychlosti pájecí pece se ukázalo oproti předcházejícímu rozestavení jako výhodnější.



*Obr. 31 Pájecí konfigurace pro tři kusy výměníku*

Při druhé kontrole pájecího procesu se třemi výměníky vedle sebe, které má přispět k nalezení optimálnějších podmínek, jsem se rozhodl nastavit vyšší teploty v obou zónách sušící pece a nepatrně změnit teploty v zóně 6 a 7 pájecí pece. Červeně jsou tyto změny vyznačeny v tabulce 5. Navýšení teplot v sušící části pece, mělo za úkol výrobek dokonaleji vysušit před vstupem do předehřívací pece. Rychlost dopravníku pájecí pece byla zachována na stávajících 1500mm/min.

Takto nastavený proces vykazoval doposud nejlepší podmínky pro zapájení. Hned v pěti případech výdrž nad teplotou 577°C překročila sedm minut, také dosažené časy teplot přes 585°C zaznamenali oproti předchozímu nastavení procesu znatelný nárůst. (Viz. příloha 4)

Pro třetí kontrolu pájecího procesu se třemi výměníky vedle sebe, jsem navýšil teplotu v zóně 4 pájecí pece. (Viz. tabulka 6). Pro zefektivnění procesu se také rychlost pájení zvýšila na 1540 mm/min.

Výsledky této kontroly se podobají nastavení procesu jako při prvním měření tří výměníků vedle sebe. Hodnoty maximálních teplot poklesly. Taktéž setrvání na pájitelných teplotách zaznamenalo úbytek. (Viz. příloha 5)

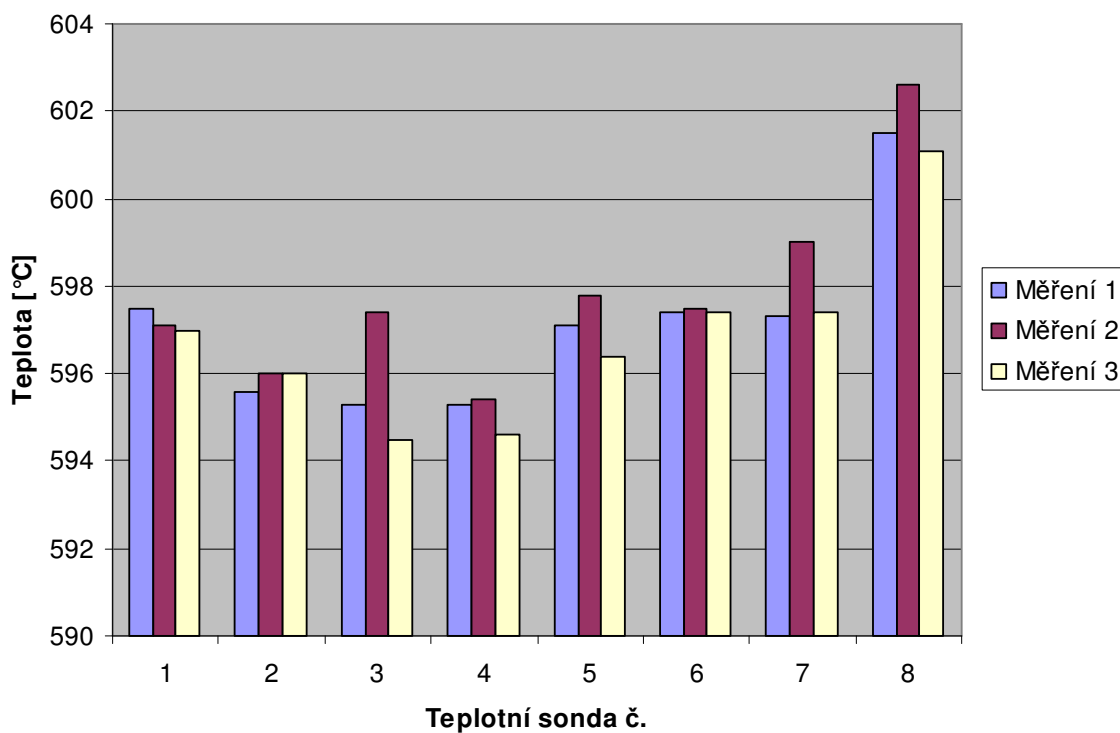
Tab. 5 Nastavení teplot pájecí pece[°C] pro uspořádání 3 kusy vedle sebe, měření 2

	Sušící pec/zóna		Předehřívací pec/zóna			Pájecí pec/zóna						
	Z1	Z2	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Horní část zóny [°C]	330	380	565	575	585	630	615	600	592	608	608	606
Dolní část zóny [°C]	330	380	565	575	585	630	615	600	587	606	604	602

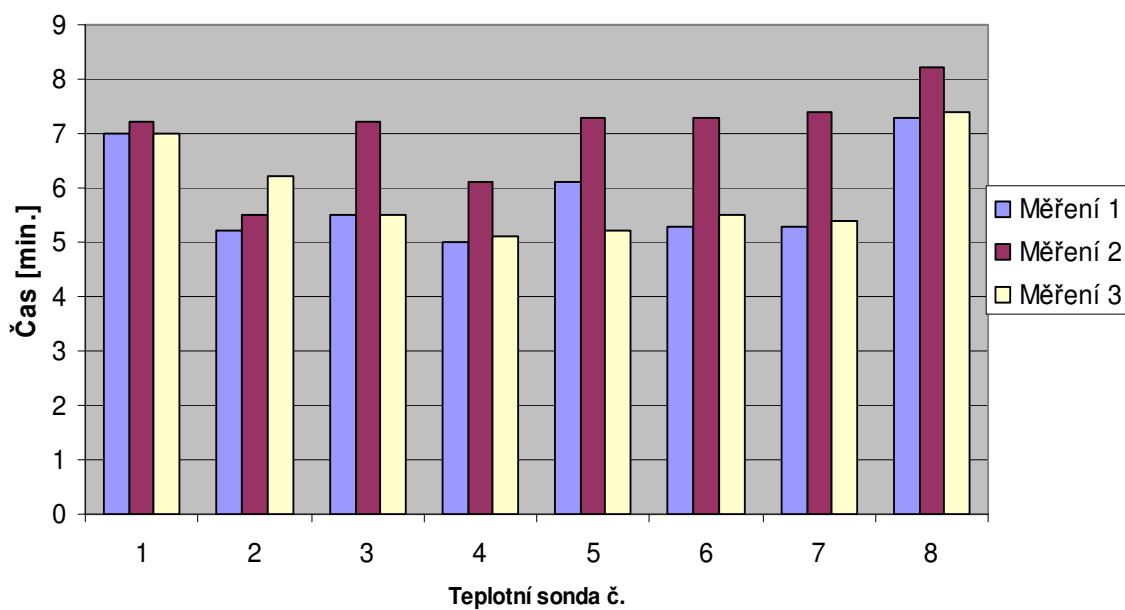
Tab. 6 Nastavení teplot pájecí pece[°C] pro uspořádání 3 kusy vedle sebe, měření 3

	Sušící pec/zóna		Předehřívací pec/zóna			Pájecí pec/zóna						
	Z1	Z2	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Horní část zóny [°C]	310	350	565	575	585	630	615	600	596	608	604	604
Dolní část zóny [°C]	310	350	565	575	585	630	615	600	590	606	604	604

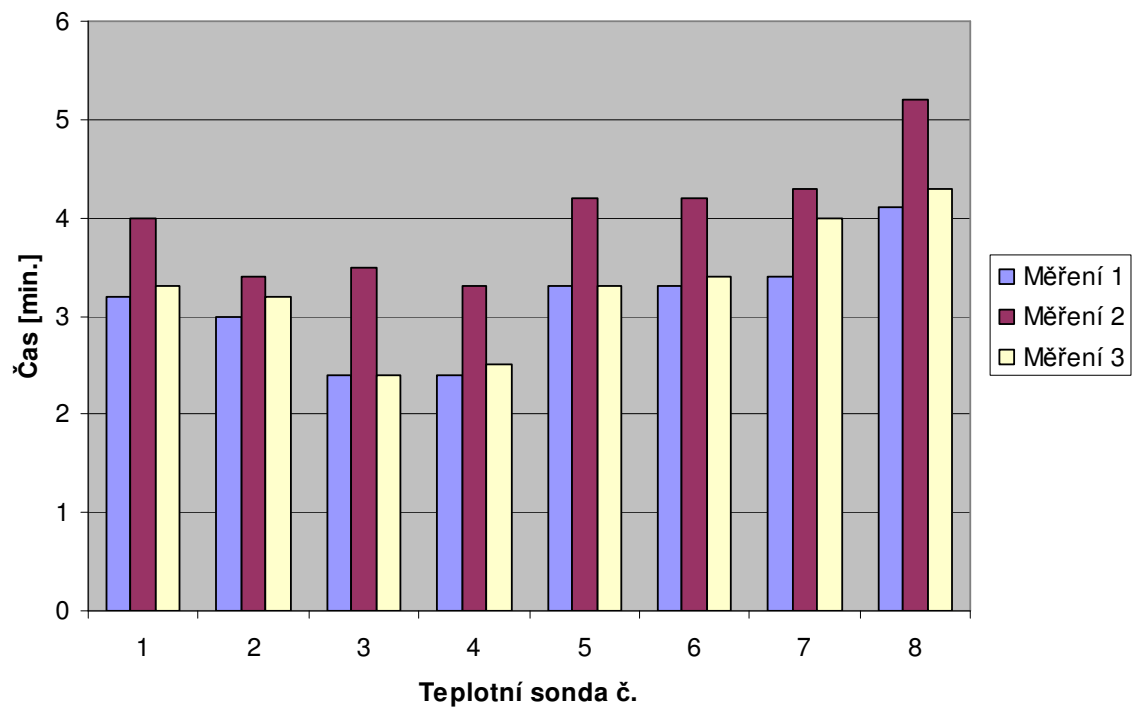




Obr. 32 Hodnoty maximálních teplot pro uspořádání se třemi výměníky.



Obr. 33 Doba setrvání teplot nad 577°C, pro uspořádání se třemi výměníky.



Obr 34 Doba setrvání teplot nad 585°C, pro uspořádání se třemi výměníky.

## 6 VYHODNOCENÍ PÁJECÍCH PODMÍNEK

Výše uvedené kontroly pájecího procesu, které jsem provedl na automobilových chladičích, měli za cíl najít optimální počet a rozmístění výrobků při pokládání na dopravní pás pájecí pece, a najít nejlepší nastavení parametrů pájecího procesu pro jejich kvalitní zapájení.

Prováděl jsem celkově čtyři měření, jedno pro konfiguraci se čtyřmi výměníky vedle sebe, další tři pro konfiguraci se třemi výměníky vedle sebe.

Všechny čtyři zkoušené nastavení teplotního procesu splnily svůj primární účel a tím bylo zapájení výrobku. Další aspekty, podle kterých se rozhoduje, zdali se konkrétní proces pro pájení hodí jsou už zmiňované testy. Každý automobilový chladič, před uvolněním do výroby, ale i v průběhu jeho výrobního cyklu se podrobuje, různým druhům testů, ať už jsou to výkonové, pulsační, korozní, nebo tlakové testy. Většina zákazníků má své požadavky, které musí výrobek při testech splnit. Na splnění těchto požadavků má vliv zejména konstrukční řešení výměníku, použité materiály a v neposlední řadě, také správný průběh pájení.

Podle výsledků kontrol, jejichž výstupem jsou protokoly o měření obsahující grafy s křivkami průběhů teplot v jednotlivých zónách pájecí pece, maximální dosažené teploty, časy setrvání výrobku na pájecích teplotách a jiné informace (Viz. přílohy 2 až 5), se jako nejideálnější teplotní proces pro pájení konkrétního typu výměníku osvědčilo nastavení, při němž se provádělo měření číslo 2 s uspořádáním pro tři kusy výměníku. (Viz. tabulka 4) Můžeme ho libovolně označit a uložit do řídicího systému pájecí pece. Takto nastavený proces vykazoval nejvyrovnanější a nejvyšší hodnoty pájecích teplot. Je tedy předpoklad že výrobky zapájené na takto nastaveném procesu, budou po celou dobu životnosti sloužit svému účelu.

## ZÁVĚR

Pájení je obor který se neustále vyvíjí a jeho rozsah použitelnosti nám nabízí stále nové možnosti.

Chtěl jsem toto téma přiblížit z trochu odlišného pohledu. Domnívám se, že spousta lidí má pod pojmem pájení vžitou představu manuálního pájení, tak jak ho známe např. z elektrotechniky při spojování vodičů ručním elektrickým pájedlem, nebo při spojování drobných součástí acetylenovým hořákem. Tvrdé pájení v průběžné peci s ochrannou atmosférou, je plně automatizovaný proces. Využívá se převážně ve velkoobjemových provozech a při produkci výrobků, u kterých musí být spájeno více spojů najednou a které by byly jinou metodou pájení jen těžko pájitelné. V tomto případě při výrobě automobilových chladičů.

K této technologii, samozřejmě patří také kontrola technologie pájení, její vyhodnocování a následně zpětná vazba., která musí zohledňovat výsledky tohoto procesu. Je to neustálé hledání nejlepších možných podmínek pro pájení. Jakákoliv odchylka provedená na výrobku, ať už změna tloušťky materiálu některého z komponentů vstupujících do chladiče, nebo jiné rozestavení na pájecím dopravníku, má za následek změnu těchto podmínek. Za účelem rozpoznání velikosti těchto změn, se za pomoci datapaqu provádí kontroly pájecího procesu, na základě těchto analýz, se provádí potřebné korekce, které zajistí, bezchybné zapájení výrobku.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] RUŽA, V., *Pájení*. 2. vydání. Praha : SNTL n.p. 1988. 456 s. ISBN
- [2] Wikipedia [online] Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tavidlo>  
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Difuze>
- [3] VSCHT [online] Dostupný z WWW  
>[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze\\_materialu\\_pro\\_restauratory/kadm/pdf/1\\_2.pdf](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_2.pdf)
- [4] ZEZ [online] Dostupný z WWW: [http://www.zez.cz/SIGMA\\_P.htm](http://www.zez.cz/SIGMA_P.htm)
- [5] VISTEON [online] 2011 [cit.2011-09-02]  
<http://www.visteon.com/worldwide/eu/cz/onas.html>
- [6] AUTOPAL REVUE 9/2009 časopis společnosti Visteon- Autopal s.r.o.
- [7] DILLINGER, J. a kol., *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. 1. vydání. Praha: Europa – Sobotáles cz. s.r.o. 2007. 612 s. ISBN 978 – 80 – 86706 – 19 – 1
- [8] MEDPORTAL [online] Dostupný z WWW:<http://www.medportal.cz/trubky-v-tzb/odborna-instalace-medenych-trubek/pajky-a-tavidla-pro-pajeni-namekko>
- [9] Wikipedia [online] Dostupný z WWW:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Hexafluorohlinitan\\_sodn%C3%BD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hexafluorohlinitan_sodn%C3%BD)
- [10] <http://produkty.topkontakt.idnes.cz/p/datapaq-kompletni-reseni-systemu-sledovani-teplot-ve-vasi-peci/677097/>
- [11] [http://www.prominent-km.cz/fa\\_datapaq/](http://www.prominent-km.cz/fa_datapaq/)
- [12] <http://www.datapaq.com/Home.htm?select=f>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

EURO IV,V,VI Emisní normy

AISI Norma USA pro nerezovou ocel.

DIN Norma pro průmyslovou normalizaci Spolkové republiky Německo.

PVC Polyvinilchlorid

ČSN Česká státní norma

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Snímek pájeného ocelového spoje. (zvětšeno 32krát) [1]</i> .....	13
<i>Obr. 2 Znázornění povrchového napětí kapaliny [1]</i> .....	14
<i>Obr. 3 Schéma pájeného spoje [1]</i> .....	15
<i>Obr. 4 Difúze pájky do základního materiálu [1]</i> .....	17
<i>Obr. 5 Pájení plamenem [7]</i> .....	20
<i>Obr. 6 Pájení pájedlem [7]</i> .....	20
<i>Obr. 7 Tvarované pájecí kroužky a tělíska [7]</i> .....	22
<i>Obr. 8 Aplikace pájecího kroužku na bloku kondenzátoru klimatizace</i> .....	22
<i>Obr. 9 Tupý spoj s vyznačenou tloušťkou spoje [1]</i> .....	32
<i>Obr. 10 Tupý spoj s příložkou [1]</i> .....	32
<i>Obr. 11 Šikmý spoj [1]</i> .....	33
<i>Obr. 12 Překlávaný spoj s vyznačenou tloušťkou spoje [1]</i> .....	33
<i>Obr. 13 Překlávaný spoj s vyznačenou délkou překlávání a</i> .....	33
<i>Obr. 14 Překlávaný T- spoj [1]</i> .....	34
<i>Obr. 15 Promáčknutý překlávaný spoj [1]</i> .....	34
<i>Obr. 16 Kapilární jev při pájení [7]</i> .....	35
<i>Obr. 17 Vložka chladiče v poloautomatickém stroji</i> .....	40
<i>Obr. 18 Pájecí rám</i> .....	41
<i>Obr. 19 Průřez chladicí vložkou a znázornění nasunutí chladících trubek ve víku</i> .....	42
<i>Obr. 20 Automobilový chladič EUCD (Ford Mondeo)</i> .....	42
<i>Obr. 21 Průběžná pájecí pec pro tvrdé pájení hliníku v ochranné atmosféře dusíku</i> .....	45
<i>Obr. 22 Systém Datapaq[12]</i> .....	47
<i>Obr. 23 Datová paměť</i> .....	47
<i>Obr. 24 Ochranná schránka s otvorem pro datovou paměť a před průjezdem pecí</i> .....	48
<i>Obr. 25 Teplotní sonda s kabelem a detail zásuvky</i> .....	49
<i>Obr. 26 Otvor pro teplotní sondu v trubce chladiče</i> .....	51
<i>Obr. 27 Kabel teplotní sondy v trubce chladiče</i> .....	51
<i>Obr. 28 Detail značení umístění pořadových čísel teplotních sond</i> .....	52
<i>Obr. 29 Systém datapaq v procesu</i> .....	52
<i>Obr. 30 Pájecí konfigurace pro čtyři kusy výměníku</i> .....	53
<i>Obr. 31 Pájecí konfigurace pro tři kusy výměníku</i> .....	55

---

<i>Obr. 32</i> Hodnoty maximálních teplot pro uspořádání se třemi výměníky.....	57
<i>Obr. 33</i> Doba setrvání teplot nad 577°C, pro uspořádání se třemi výměníky. ....	57
<i>Obr. 34</i> Doba setrvání teplot nad 585°C, pro uspořádání se třemi výměníky. ....	58



**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Měkké pájky pro těžké kovy[7].....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 2 Příklady tvrdých pájek pro těžké kovy[7] .....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 3 Nastavení teplot pájecí pece [°C] pro uspořádání 4 výměníky. ....</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 4 Hodnoty pájecího procesu pro konfiguraci pro 4 výměníky.....</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 5 Nastavení teplot pájecí pece[°C]) pro uspořádání 3 kusy vedle sebe, měření 2.....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 6 Nastavení teplot pájecí pece[°C] pro uspořádání 3 kusy vedle sebe, měření 3.....</i>	<i>56</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I: Schéma průběžné pájecí pece

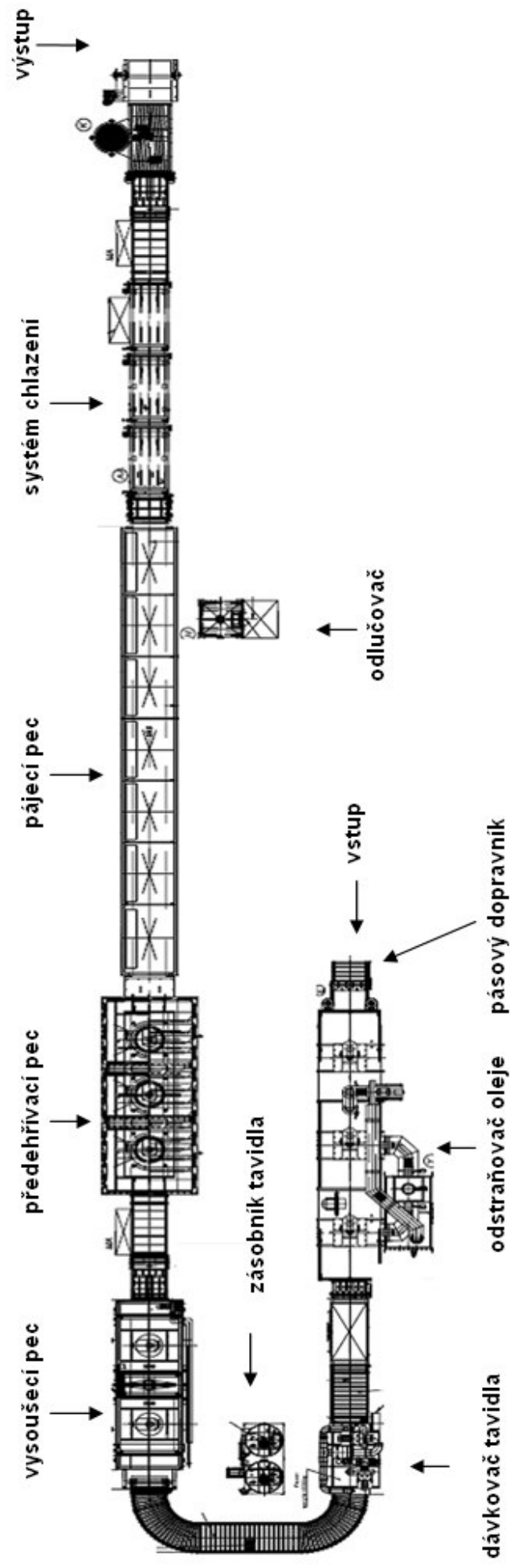
Příloha II: Protokol z měření pro rozmístění čtyř výměníků.

Příloha III: Protokol z měření pro rozmístění tří výměníků, měření 1.

Příloha IV: Protokol z měření pro rozmístění tří výměníků, měření 2.

Příloha V: Protokol z měření pro rozmístění tří výměníků, měření 3.

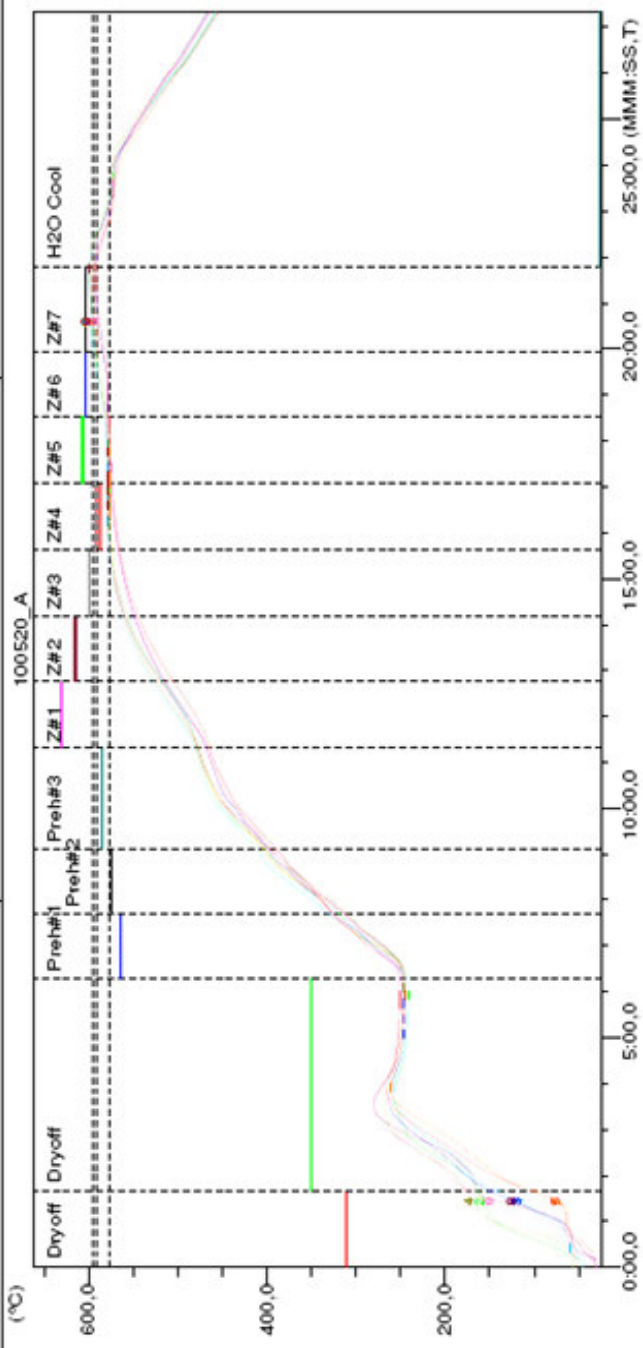
# Schéma průběžné pájecí pece.



Company Visteon Corp. Process CAB\_SW\_1500 Printed 16.05.2011  
 Site Autopal Hluk Product Rad2x32\_4xSBS Line Speed 1500,0 (mm/min)

Data Collection Details  
 Operator:  
 Cycle Time: 8  
 Number of Probes: 8  
 Sampling Interval: 0:10,0 (MMM:SS,T)  
 Trigger Mode: Temperature 50,0°C  
 Data Loaded:  
 Collection Started:  
 File Name: D811-2201-00  
 Max Internal Temp.: 75,5°C  
 Logger Id: DATAPAQ © 1990-2011, Furnace Tracker for Windows v4.10

Notes  
 Merene nezapajeny kus-stredni.  
 Fan Preheat 1,2,3 rychlosti-vykon 62-62-62%.  
 Dusik 143m3/h (34pr+15z#5+17z#6+18z#7+28+15+9+7).  
 Pájeno SBS-mezery 15+15mm.



Probe Map

Dimension: 1000 x 1000mm

Right Part Front Upper Tube	840	200
Right Part Front Lower Tube	790	200
R-Centr Part Front Upper Tube	610	200
R-Centr Part Front Lower Tube	560	200
L-Centr Part Front Upper Tube	380	200
L-Centr Part Front Lower Tube	330	200
Left Part Front Upper Tube	150	200
Left Part Front Lower Tube	100	200

Zone	Dryoff	Dryoff	Preh#1	Preh#2	Preh#3	Z#1	Z#2	Z#3	Z#4	Z#5	Z#6	Z#7	H2O Cool
Upper	310	350	565	575	585	630	615	600	592	608	604	604	27
Lower	310	350	565	575	585	630	615	600	597	606	604	604	27

Speed 1500,0 (mm/min)

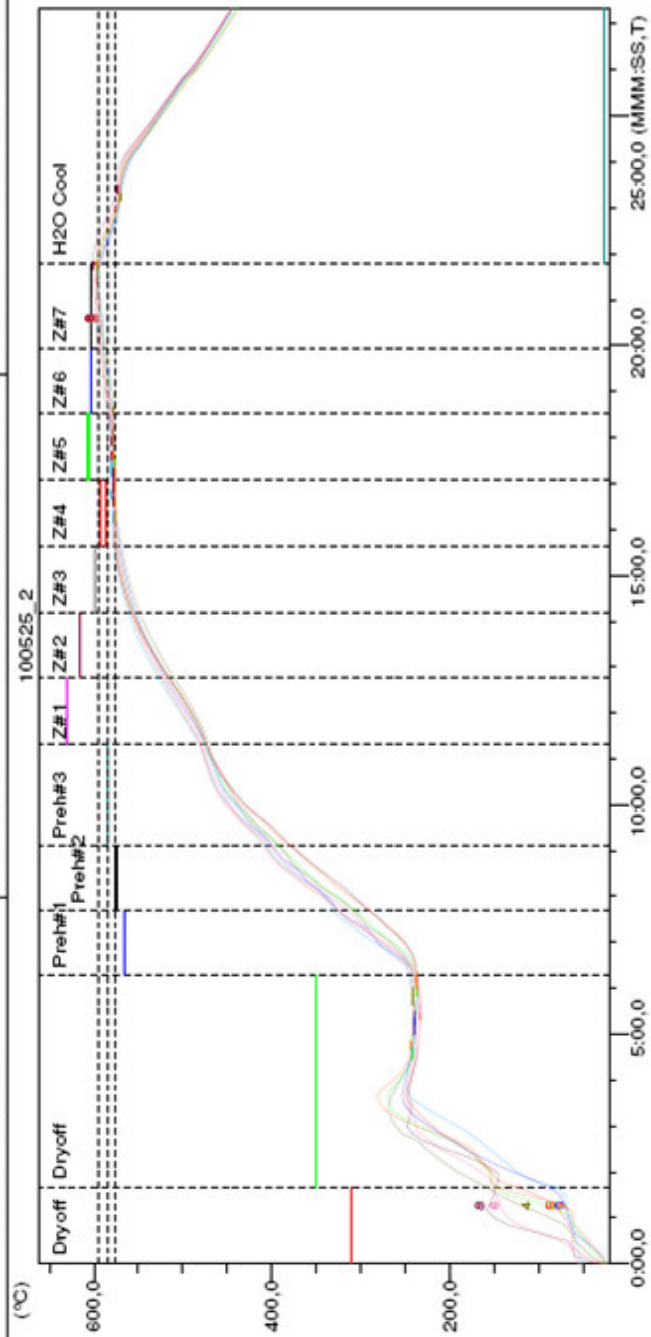
Probe Label	Max and Min Temperatures in °C		Time Above
	Max Temp	Time Above	
#1 Right Part Front Upper Tube	599,7	7:20,0	3:00,0
#2 Right Part Front Lower Tube	599,4	6:10,0	3:00,0
#3 R-Centr Part Front Upper Tube	593,6	5:10,0	1:10,0
#4 R-Centr Part Front Lower Tube	594,9	4:50,0	1:40,0
#5 L-Centr Part Front Upper Tube	591,7	4:40,0	0:40,0
#6 L-Centr Part Front Lower Tube	593,6	4:50,0	1:30,0
#7 Left Part Front Upper Tube	595,4	4:50,0	2:00,0
#8 Left Part Front Lower Tube	598,7	7:20,0	2:50,0

Company Visteon Corp.  
Site Autopal Hluk

Process CAB\_SW\_1500  
Product Rad2x32\_3xSBS

Printed 16.05.2011  
Line Speed 1500,0 (mm/min)

Data Collection Details



Operator:  
Cycle Time: 8  
Number of Probes: 8  
Sampling Interval: 0:10,0 (MMM:SS,T)  
Trigger Mode: Temperature 50,0°C  
Data Loaded:  
Collection Started:  
File Name:  
Max Internal Temp.: 75,5°C  
Logger Id: D811-2201-00  
DATAPAQ © 1990-2011, Furnace Tracker for Windows v4.10

Notes  
Merene nezapejany kus-stredni.  
Fan Preheat 1,2,3 rychlost-vykon 62-62-62%  
Dusik 140m3/h (34Pr+18z#5+15z#6+18z#7+26+15+8+7)  
Paleno SBS-mezery 135+135mm.

Probe Map

Dimension: 1000 x 1000mm

Left Part Front Upper Tube	150	150
Left Part Front Lower Tube	200	150
Centr Part Front Upper Tube	450	150
Centr Part Front Lower Tube	500	150
Right Part Front Upper Tube	750	150
Right Part Front Lower Tube	800	150
Left Part Center Lower Tube	200	350
Right Part Center Lower Tube	800	350

Zone	Dryoff	Dryoff	Preh#1	Preh#2	Preh#3	Z#1	Z#2	Z#3	Z#4	Z#5	Z#6	Z#7	H2O Cool
Upper	310	350	565	575	595	630	615	600	592	608	604	604	27
Lower	310	350	565	575	595	630	615	600	587	606	604	604	27

Time Above  
577,0 °C

Max and Min Temperatures in °C  
Max Temp

Probe Label

Time Above  
585,0 °C

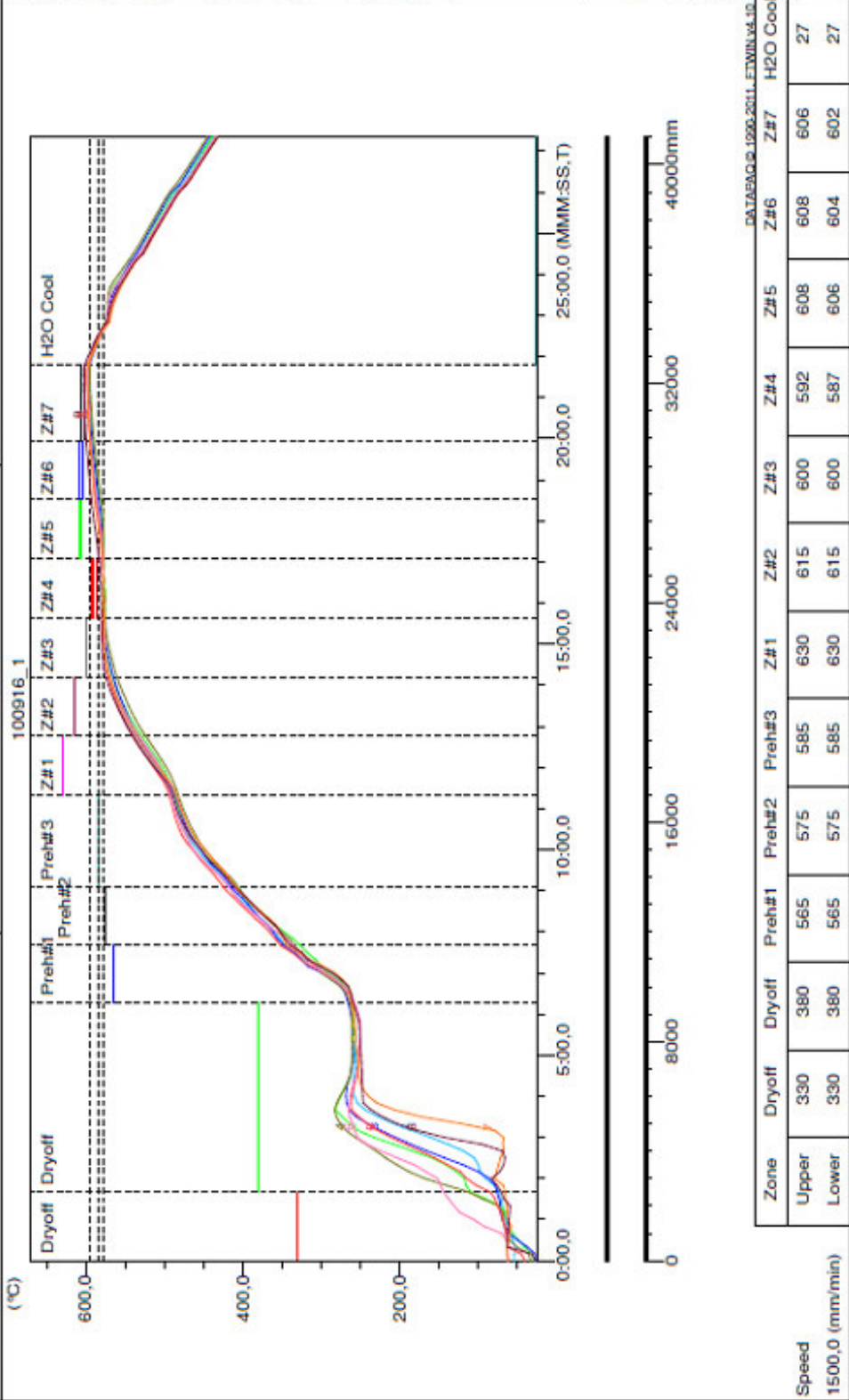
#1	597,5
#2	595,6
#3	595,3
#4	595,3
#5	597,1
#6	597,4
#7	597,3
#8	601,5

#1	Left Part Front Upper Tube	7:00,0
#2	Left Part Front Lower Tube	3:20,0
#3	Centr Part Front Upper Tube	3:00,0
#4	Centr Part Front Lower Tube	2:40,0
#5	Right Part Front Upper Tube	2:40,0
#6	Right Part Front Lower Tube	3:30,0
#7	Left Part Center Lower Tube	3:30,0
#8	Right Part Center Lower Tube	3:40,0
		4:10,0



Company Visteon Corp. Process CAB\_SW\_1500 Printed 20.05.2011  
 Site Autopal Hluk Product Rad2x26\_3xSBS Line Speed 1500,0 (mm/min)

Data Collection Details



Operator:  
 Cycle Time: 8  
 Number of Probes: 8  
 Sampling Interval: 0:10,0 (MMM:SS,T)  
 Trigger Mode: Temperature 50,0°C  
 Data Loaded:  
 Collection Started:  
 File Name:  
 Max Internal Temp.: 75,5°C  
 Logger Id: D811-2201-00

Merene nezapajeny kus-stredni.  
 Fan Preheat 1,2,3 nychlosti-vykon 62-62-62%  
 Dusik 162m3/h (39pr+16z#5+17z#6+20z#7+30cp+14+14+12)  
 Pajeno SBS-mezery 135+135mm.

Notes  
 DATAPAQ © 1990-2011, Furnace Tracker for Windows v4.10

Probe Map

Dimension: 1000 x 1000mm

Left Part Front Upper Tube	150	150
Left Part Front Lower Tube	200	150
Centr Part Front Upper Tube	450	150
Centr Part Front Lower Tube	500	150
Right Part Front Upper Tube	750	150
Right Part Front Lower Tube	800	150
Left Part Center Lower Tube	200	350
Right Part Center Lower Tube	800	350

Probe Label	Max and Min Temperatures in °C		Time Above
	Max Temp	Min Temp	
#1 Left Part Front Upper Tube	597,1		4:00,0
#2 Left Part Front Lower Tube	596,0		3:40,0
#3 Centr Part Front Upper Tube	597,4		3:50,0
#4 Centr Part Front Lower Tube	595,4		3:30,0
#5 Right Part Front Upper Tube	597,8		4:20,0
#6 Right Part Front Lower Tube	597,5		4:20,0
#7 Left Part Center Lower Tube	599,0		4:30,0
#8 Right Part Center Lower Tube	602,6		5:20,0

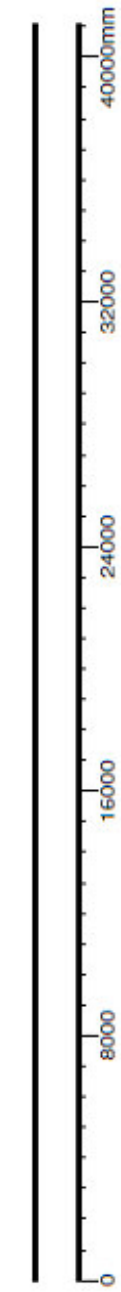
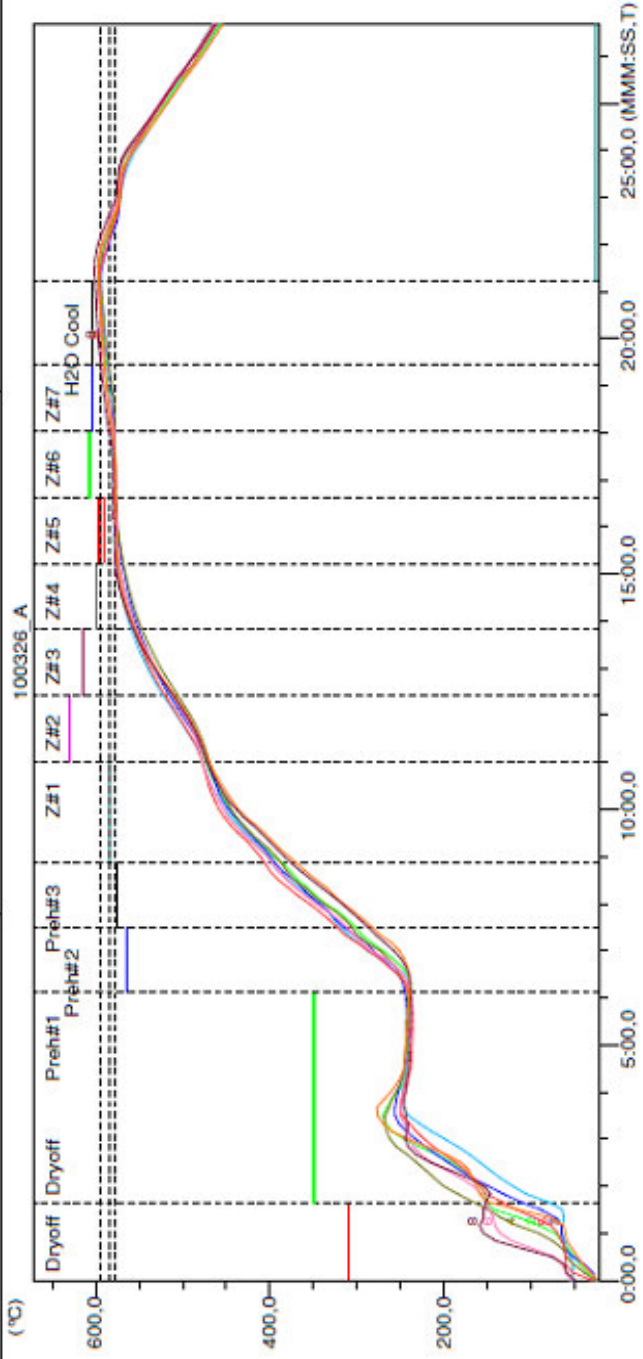
Company Visteon Corp. Process CAB\_SW\_1520 Printed 20.05.2011  
 Site Autopal Hluk Product Rad2x26\_3xSBS Line Speed 1540,0 (mm/min)

Data Collection Details

Operator:  
 Cycle Time: 8  
 Number of Probes: 8  
 Sampling Interval: 0:10,0 (MMM:SS,T)  
 Trigger Mode: Temperature 50,0°C  
 Data Loaded:  
 Collection Started:  
 File Name:  
 Max Internal Temp.: 75,5°C  
 Logger Id: D811-2201-00  
 DATAPAQ © 1990-2011, Furnace Tracker for Windows v4.10

Notes

Merene nezapajeny kus-sitredni.  
 Fan Preheat 1,2,3 rychlost-výkon 62-62-62%  
 Dusík 140m3/h (34pr+18z#5+15z#6+18z#7+26+15+8+7)  
 Pájeno SBS-mazery 135+135mm.



Zone	Dryoff	Preh#1	Preh#2	Preh#3	Z#1	Z#2	Z#3	Z#4	Z#5	Z#6	Z#7	H2O Cool
Upper	310	350	565	575	585	630	615	596	608	604	604	27
Lower	310	350	565	575	585	630	615	590	606	604	604	27

Probe Map

Dimension: 1000 x 1000mm

Left Part Front Upper Tube	150	150
Left Part Front Lower Tube	200	150
Center Part Front Upper Tube	450	150
Center Part Front Lower Tube	600	150
Right Part Front Upper Tube	750	150
Right Part Front Lower Tube	800	150
Left Part Center Lower Tube	200	350
Right Part Center Lower Tube	800	350

Max and Min Temperatures in  
 Max Temp

#1	Left Part Front Upper Tube	597,0
#2	Left Part Front Lower Tube	596,0
#3	Centr Part Front Upper Tube	594,5
#4	Centr Part Front Lower Tube	594,6
#5	Right Part Front Upper Tube	596,4
#6	Right Part Front Lower Tube	597,4
#7	Left Part Center Lower Tube	597,4
#8	Right Part Center Lower Tube	601,1

Time Above  
 577,0 °C

Time Above  
 585,0 °C

7:00,0	3:30,0
6:20,0	3:20,0
5:50,0	2:40,0
5:10,0	2:50,0
5:20,0	3:30,0
5:50,0	3:40,0
5:40,0	4:00,0
7:40,0	4:30,0