

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program N2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Aplikace moderních metod pro sledování změn plastového dílu po vyrobení

Application of modern methods for tracking the post-production changes of a plastic part

Bc. Lenka Kupcová

KSP – TP – 821

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. – KSP TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Ing. Jaroslav Langpaul – Grupo Antolin Turnov s.r.o.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	65
Počet tabulek	7
Počet příloh	3
Počet obrázků	37

Datum: 5.6.2009

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství

Posluchačka: Bc. Lenka Kupcová

Téma práce: Aplikace moderních metod pro sledování změn plastového dílu po vyrobení

Application of modern methods for tracking the post-production changes of a plastic part

Číslo DP: KSP – TP – 821

Vedoucí DP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. – KSP TU v Liberci

Konzultant: Ing. Jaroslav Langpaul – Grupo Antolin Turnov s.r.o.

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá aplikací moderních metod pro sledování změn rozměrů interiérových plastových dílů po vyrobení. Pro popis probíhajících dějů je zde použito metody bezkontaktního měření. Cílem této práce je tedy zvolení vhodné měřicí metody pro sledování probíhajících dějů ve výrobku.

Experiment je zaměřen na metodiku měření, zpracování výsledků s popisem probíhajících dějů a posouzení vhodnosti užitého měřicího systému pro tuto aplikaci.

Abstract:

This thesis is concerned with application of modern methods for tracking the post-production size changes of interior plastic parts. To describe ongoing processes the contactless measurement method is used. The objective of this thesis is a selection of an optimal measuring method for tracking the ongoing actions in the product.

The experiment is focused on the methodology of measurement, result processing together with description of ongoing actions and the suitability assessment of chosen measuring system for this application.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5. června 2009

.....

Bc. Lenka Kupcová

Přepeřská 1800

511 01 Turnov

Poděkování:

Chtěla bych touto cestou poděkovat všem, kteří mi zpracování mé diplomové práce umožnili a poskytli mi veškerou odborně – technickou pomoc a podporu, a to zejména vedoucímu diplomové práce Ing. Aleši Auspergerovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Sobotkovi, Ph.D. z KSP TU v Liberci.

Zvláštní poděkování patří Ing. Jaroslavovi Langpaulovi z Grupo Antolin Turnov s.r.o. nejen za odborné rady, ale i množství času, který mi věnoval.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodičům, partnerovi a všem ostatním, za jejich morální a materiální pomoc.



OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	8
1 ÚVOD	9
2 TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1 CHARAKTERISTIKA POLYPROPYLENU	11
2.2 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	12
2.2.1 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ	12
2.2.2 PRŮBĚH A ČASY VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	15
2.2.3 VLIV TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK	17
2.2.4 SMRŠTĚNÍ	17
2.2.4.1 Úvod	17
2.2.4.2 Definice smrštění a dosmrštění	18
2.2.5 VSTŘIKOVACÍ STROJE	20
2.3 ULTRAZVUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ	21
2.3.1 PRINCIP ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ	22
2.3.2 VLIV MATERIÁLU NA SVAŘITELNOST	24
2.3.3 DALŠÍ VLIVY NA SVAŘITELNOST	25
2.4 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ ROZMĚRŮ	25
2.4.1 PRINCIP BEZKONTAKTNÍHO MĚŘENÍ	26
2.4.1.1 Snímání, digitalizace a reprezentace dat v počítači	27
2.4.2 MĚŘENÍ ROZMĚRŮ V ROVINĚ (2D)	28
2.4.2.1 Princip 2D měření	28
2.4.2.2 Analýza vzniku chyb při 2D měření	29
2.4.2.3 Výsledky měření	30
2.4.3 MĚŘENÍ ROZMĚRŮ V PROSTORU (3D)	30
2.4.3.1 Stereovidění	30
2.4.3.2 Projekce proužků světla	32
2.4.4 BEZKONTAKTNÍ MĚŘÍCÍ SYSTÉM ARAMIS	33
2.5 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TEPLoty	36
2.5.1 TEORIE MĚŘENÍ TEPLoty, TEPLA A INFRARADICE	36
2.5.2 PRINCIP TERMOGRAFICKÉHO MĚŘENÍ	37
2.5.3 BEZKONTAKTNÍ MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ TERMOKAMERA	37



3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	39
3.1 CHARAKTERISTIKA DÍLŮ	39
3.1.1 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU EXXTRAL CMU 101	40
3.1.2 VSTŘIKOVÁNÍ DÍLŮ	41
3.1.3 MONTÁŽ A ULTRAZVUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ DÍLŮ	42
3.2 METODA HODNOCENÍ ZMĚN ROZMĚRŮ BEZKONTAKTNÍM MĚŘÍCÍM SYSTÉMEM ARAMIS	44
3.2.1 PRŮBĚH MĚŘENÍ PO DOBU PRVNÍCH PĚTI MINUT	48
3.2.1.1 Hodnocení dosažených výsledků a jejich diskuze ..	52
3.2.2 PRŮBĚH MĚŘENÍ PO DOBU OSMI DNÍ	54
3.2.2.1 Hodnocení dosažených výsledků a jejich diskuze ..	55
3.2.3 OHŘEV DÍLŮ V PECI	57
3.2.3.1 Hodnocení dosažených výsledků a jejich diskuze ..	59
4 ZÁVĚR	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
SEZNAM PŘÍLOH	65



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

GAT		Grupo Antolin Turnov
VW		Volkswagen
PSA		Peugeot Société Anonyme
PP		polypropylen
PE		polyethylen
PS		polystyrén
ABS		akrylonitril-butadien-styren
PA		polyamid
PC		polykarbonát
SAN		styren-akrylonitril
PMMA		polymethylmethakrylát
POM		polyoximethylen
UZ		ultrazvukové
2D		dvoudimenzionální prostředí
3D		trojdimenzion�ln� prostředí
CCD snímač		zařizování pro sn�mav�n� obrazu pracující na principu vázaných nábojů (Charge-Coupled Device)
CMOS snímač		zařizování pro sn�mav�n� obrazu vyroben� CMOS technologií (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor)
CAD		po�t�a�em podporovan� konstruování (Computer-Aided Design)
IR		infra�erven� (Infrared)
UV		ultrafialov� (ultraviolet)
p	[bar]	tlak
v	[m ³ .kg ⁻¹]	měrný objem
t	[s]	�as
T	[�C]	teplota
l_0	[mm]	po�ate�n� nam�řev� vzdálenost bod�
l_k	[mm]	kone�n� nam�řev� vzdálenost bodů
ε	[%]	deformace (změna rozměrů)



1 ÚVOD

Téma diplomové práce „Aplikace moderních metod pro sledování změn plastového dílu po vyrobení“ vzniklo ve spolupráci s firmou Grupo Antolin Turnov.

Historie této společnosti sahá do 1. poloviny 20. století, kdy byla založena rodinou Antolinů. Společnost začínala jako výrobce kulových čepů pro vozidla a postupem času se její výrobní sortiment rozšířil i o další odvětví výroby automobilových součástí jako např. interiérové a dveřní komponenty. Pobočka této společnosti, nacházející se v Turnově, vznikla v roce 2002. Její výroba je zaměřena především pro vozy značky Škoda, VW, Ford a v posledních letech i koncernu PSA Peugeot Citroën.

Tato diplomová práce je zaměřena na sledování změn rozměrů interiérových plastových dílů, kterými jsou obložení C a D sloupku vozu A58. Díly byly zvoleny na základě rozměrových problémů během výrobního procesu s cílem alespoň částečného odhalení dějů v nich probíhajících. Zmiňované díly jsou použity jako pohledové díly v zadní části automobilu a tedy velice záleží na jejich přesných rozměrech a vzájemných spárách z důvodu lícování s ostatními součástmi vozu. Po celém výrobním procesu je požadováno dodržení minimálních spár (tzv. ideálních nulových spár) spolu s odpovídající plošnou návazností (hladké přechody). Velký vliv na výsledný tvar, pomineme-li výrobní proces, má transportní balení a teploty okolního prostředí. Nesmíme zapomenout na skutečnost, že díl může být i určitou dobu skladován, kde je opět důležitá pozice uložení, vlhkost a okolní teplota. Shrneme-li tyto skutečnosti, můžeme říci, že proces výsledné kvality dílu zdaleka nekončí výrobní linkou a pokud bude špatně zajištěno skladování s přepravou výrobku, nedosáhneme nikdy uspokojivých výsledků.

Pro zjištění deformace bylo v této práci použito metody bezkontaktního měření. Tato metoda byla zvolena s ohledem na celkovou složitost dílů a také s vědomím, že nebude v podstatě žádným způsobem ovlivňovat měřený předmět. Podstata tohoto principu spočívá ve snímání požadovaného objektu kamerou nebo kamerami z definované vzdálenosti a přenosu získaného obrazu do vyhodnocovacího softwaru. Nevýhodou by se mohla zdát nutnost počáteční kalibrace, kdy se zpravidla každé zařízení musí nastavit, aby měření měla následně vypovídající charakter. V dnešní době však kalibrace nepředstavuje již složitou změť úkonů, jako v minulosti, ale dá se říci, že celý proces pokud není plně zautomatizován je otázkou



několika málo minut. V této práci je použito zařízení firmy GOM - řady Aramis, které funguje na principu nanesení speciální vrstvy na předmět nebo definováním kontrastních bodů na povrchu tělesa. Více je tento systém popsán v teoretické části této práce. Experimentální část se zabývá především zvolenou metodikou měření, technologickým postupem výroby dílů a reálnými podmínkami skladování. Výsledkem pak jsou soubory vyhodnocených dat popisujících chování měřených dílů C a D sloupku spolu s jejich finálním svařením.



2 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část diplomové práce se zabývá popisem výroby plastových dílů a jejich ultrazvukového svařování, kde je důraz kladem na technologický postup a podmínky výroby. Dále je zde popisováno využití možností bezkontaktního měření rozměrů a teplot, které mají oproti kontaktním metodám řadu výhod. Mezi nejdůležitější můžeme zařadit minimální ovlivnění měřeného předmětu.

2.1 CHARAKTERISTIKA POLYPROPYLENU [1], [2]

Polypropylen patří do skupiny termoplastů nazývané polyolefiny, vyznačujících se zejména těmito vlastnostmi:

- z hlediska nadmolekulární struktury se jedná o plasty semikrystalické, které vykazují určitý náznak uspořádanosti vnitřní struktury (50 % a více).
- vykazují dobrou pevnost a za běžné teploty i přijatelnou houževnatost, která závisí na stupni krystalinity.

Z hlediska časového se jedná o plast, jehož stáří se pohybuje kolem 50-ti let a vzhledem k jeho vlastnostem se řadí na druhé místo v žebříčku používaných plastů. Polypropylen se dá snadno přizpůsobovat jednotlivým potřebám v průmyslových odvětvích, protože lze velice jemně ovlivňovat jeho vlastnosti např. aditivami či krystalickými činidly.

Díky výzkumu a následně zjištěným poznatkům se polypropylen dá snadno zpracovávat všemi běžnými technologiemi vyvinutými pro termoplasty. Uplatňovat se tak může téměř všude, zejména v automobilovém průmyslu a v oblasti kompozitních materiálů, přičemž jeho výhodou je snadná úprava vlastností pomocí aditiv. Další jeho velkou výhodou je přijatelná cena a především snadná recyklovatelnost, neboť termoplasty lze „teoreticky“ znovu zpracovat. K degradaci dochází pouze při vyšších teplotách, naopak okolo bodu mrazu a níže začíná křehnout. Jak již bylo řečeno, polypropylen nachází v poslední době významné uplatnění v oblasti kompozitních materiálů, přičemž v kombinaci s rostlinnými vlákny dosahuje výborných mechanických vlastností a zároveň umožňuje toto spojení i dobrou recyklovatelnost. V dalších odvětvích průmyslové výroby nachází polypropylen uplatnění při výrobě např. lopatek ventilátorů, bubnů a krytů praček, klimatizačního potrubí, plynových pedálů, reflektorů, trubek, desek aj.



Pro dosažení požadovaných užitných vlastností dochází k jeho modifikaci, která může nastat:

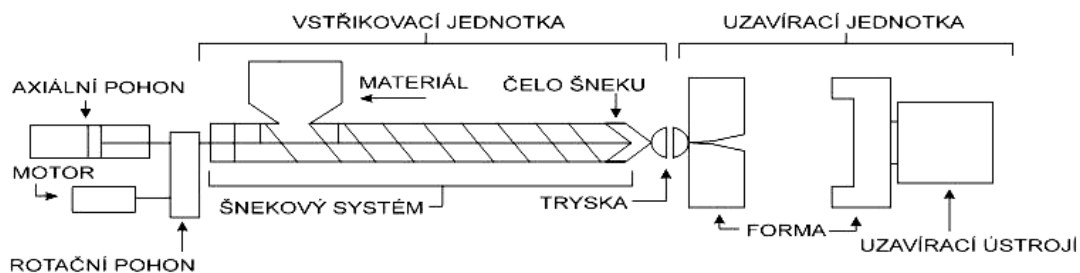
- během polymerizace (produkcí homopolymeru, nebo kopolymeru)
- při zpracování (aditivy nebo vytvořením polymerní směsi např. z kaučuku)
- finální povrchovou úpravou hotového výrobku

2.2 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ [1], [3]

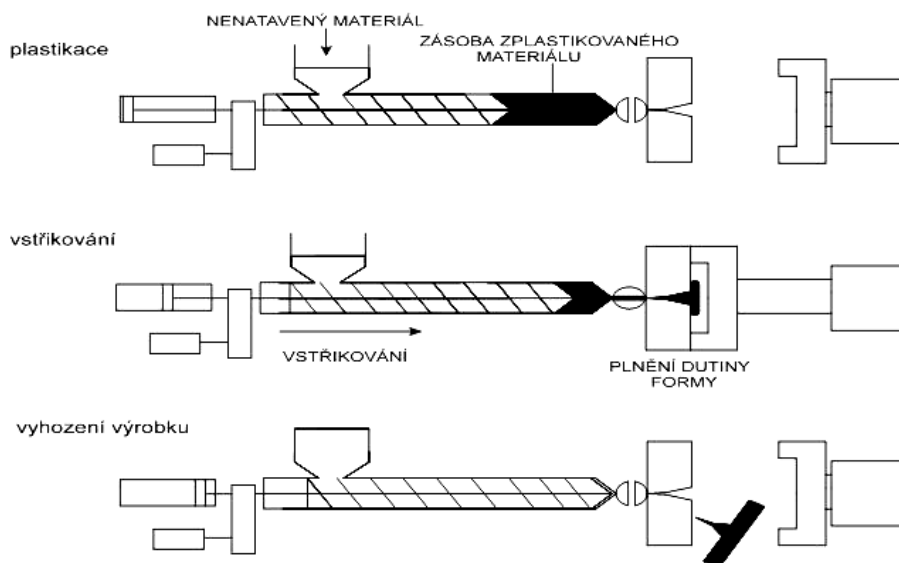
Technologie vstřikování je v současnosti nejrozšířenější a rychle se rozvíjející technologií zpracování polymerních materiálů. Jeho velkou předností je celkem velká produktivita práce, relativně velká přesnost výstřiku a také možnost proces vysoce automatizovat. Pro vstřikování termoplastů se používá zrněného plastu (granulátu), který se plastifikuje ve vstřikovací jednotce a přes vtokovou trysku a vtokový systém formy se vstřikuje do uzavřené formy. Z hlediska svého principu jde o jednoduchý, cyklický, nestacionární děj, při kterém je plast vystaven anizotermickému tváření. Ve skutečnosti se však jedná o proces složitý, kdy na plast v podobě taveniny působí značně velké mechanické síly a kdy tvářený plast prochází současně složitými tepelnými ději při nichž je tavenina ve vstřikovací formě nejprve tvářena, poté tuhne a dále chladne.

2.2.1 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ [4], [5], [6], [7]

Vstřikováním rozumíme způsob tváření, při kterém je dávka roztaveného plastu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené temperované kovové dutiny formy, kde ztuhne ve finální výrobek (viz obr. 2.1). Ztuhlý výstřik je pak po otevření formy vyhozen. Vstřikovací cyklus tak tvoří sled přesně specifikovaných úkonů a za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy.



Obr. 2.1: Vstřikovací cyklus (část 1)



Obr. 2.1: Vstřikovací cyklus (část 2)

Plastikace – účelem plastikace je roztavení a zhomogenizování plastu v granulované nebo práškové podobě a připravení tak dávky před čelo šneku pro vstříknutí do dutiny formy. Velikost zplastikované dávky musí zabezpečit nejenom naplnění tvarové dutiny formy a vtokového systému, ale kompenzovat změnu objemu, vyvolanou smrštěním. Postup: Plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebíráán šnekem, který se otáčí a zároveň koná zpětný axiální pohyb. Šnek materiál hřeje a současně ho dopravuje do tavíci komory vyhříváné elektrickými odporovými pásy. Teplo potřebné k roztavení jedné dávky je asi z jedné třetiny dodáváno z elektrického odporového topení a asi ze dvou třetin z tření hmoty při hnětení.

Vstříknutí taveniny do formy – úkolem této fáze je dokonale naplnit tvarovou dutinu formy. Při vstřikování se šnek již neotáčí, ale koná pouze axiální pohyb, kterým jako píst vstřikuje roztavený plast tryskou do dutiny formy.

Vstříknutí lze rozdělit na :

- plnění dutiny formy
- stlačení hmoty ve formě.

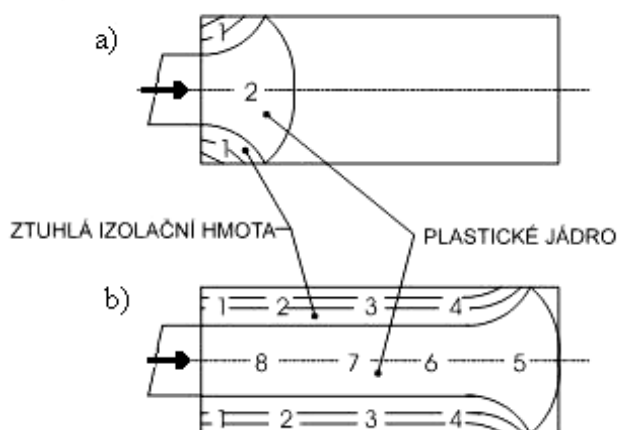
Plnění dutiny formy – Jakmile tavenina přijde do styku s vnitřním povrchem dutiny formy, okamžitě tuhne a na stěně formy vytváří vrstvu nepohyblivé hmoty. Směrem k ose válce se teplota plastu zvyšuje, protože povrchová vrstva působí jako tepelný izolátor a uvnitř dutiny zůstává zóna hmoty s nízkou viskozitou, která

umožňuje další průtok taveniny plastu do dutiny formy, která se roztéká směrem ke stěnám. Tato zóna se nazývá plastické jádro (viz obr. 2.2). Nejdříve se zaplní prostor u ústí vtoku a dále pak prostory vzdálenější od vtoku až do úplného zaplnění dutiny formy. Vztah mezi rychlostí ochlazování hmoty a rychlostí plnění dutiny do značné míry rozhoduje o tom, zda je vůbec možné požadovaný tvar výrobku zhotovit.

Stlačení hmoty ve formě – Po naplnění tvarové dutiny formy následuje stlačování hmoty, kdy tlak prudce stoupne a rychlost náhle klesne. Pokud by tlak zůstal na původní hodnotě, došlo by ke vzniku tlakové špičky, ke zvětšení hmotnosti a rozměrů výstřiku a k vysokému namáhání formy.

Pro většinu výrobků se volí konstantní vstřikovací rychlost. U výstřiků složitých tvarů, výstřiků s vysokými požadavky na jakost povrchu a při vstřikování tepelně citlivých plastů se volí programovatelná vstřikovací rychlost.

ČISLA OZNAČUJÍ POŘADÍ V JAKÉM HMOTA VSTOUPILA DO FORMY



Obr. 2.2: Plnění formy taveninou polymeru

Dotlak – úsek dotlaku má výrazný vliv na vlastnosti výrobku. V tomto úseku je nahrazován úbytek materiálu způsobený smršťováním hmoty při jejím tuhnutí. Velikost dotlaku je nutno určit pro každý výstřik individuálně. Příliš velký dotlak omezuje pohyblivost makromolekul a vyvolává pnutí ve výrobku. Příliš malý dotlak je příčinou vzniku povrchových vad jako jsou propadliny apod.. Dotlačování je neúčinné v okamžiku jakmile ztuhne ústí vtoku.

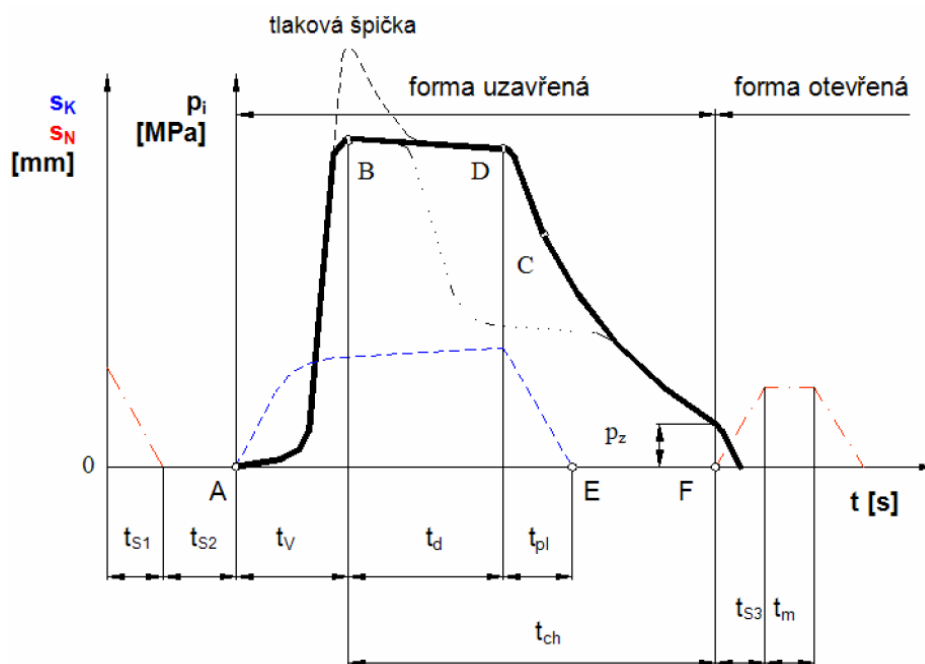
Chladnutí taveniny ve formě – proces chladnutí představuje největší část cyklu a pohybuje se od několika sekund u tenkostěnných výstřiků do několika málo minut. Začíná již během fáze vstřikování a probíhá zvláště během dotlaku. Během procesu chladnutí dochází ke značným změnám stavových veličin, tlaku p , měrného

objemu v a teploty T . Průběh těchto veličin je v různých místech výstřiku odlišný a je ovlivněn především vstřikovacím tlakem, dotlakem, vstřikovací rychlostí, teplotou taveniny, teplotou formy, tloušťkou stěn a tvarem výstřiku. Změny stavových veličin během fáze chladnutí ovlivňují nejenom vznik struktury, tj. orientaci, krystalizaci a vnitřní pnutí, ale také kvalitu povrchu (zejména lesk), hmotnost a rozměry výstřiku.

Vyhození výrobku z formy – ochlazený výstřik je během otevírání formy vyhozen z její dutiny. Vyhazování výstřiku z formy je buď mechanické (pohyb odvozen od pohybu formy), hydraulické nebo pneumatické. Vyhazovací zařízení musí být umístěno na té straně formy, ve které zůstane výstřik během chlazení (smrštění). Dráha otevření formy je dána rozměrem výstřiku ve směru otevírání formy a musí být tak velká, aby bylo možno výrobek z formy vyjmout, případně aby bylo dost prostoru pro činnost manipulátoru ve formě.

2.2.2 PRŮBĚH A ČASY VSTŘIKOVACÍHO CYKLU [4]

Vstřikovací cyklus se může posuzovat i z hlediska zpracovávaného plastu a vyjádřit jej jako závislost tlaku v dutině formy na čase (viz obr. 2.3). Tento tlak se nazývá *vnitřní tlak* a značí se p_i , na rozdíl od *vnějšího tlaku* označovaného písmenem p , kterým se myslí tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku.



Obr. 2.3: Průběh tlaku p_i v dutině formy během vstřikovacího cyklu
— p_i - průběh tlaku - - - s_K - pohyb šneku - - - s_N - pohyb formy



V čase $t = 0$, kdy je dutina formy prázdná a forma otevřená, stroj dostane impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. V časovém úseku t_{s1} se pohyblivá část formy přisune k pevné části, forma se zavře a uzamkne. V časovém úseku t_{s2} se k formě přisune tavicí komora. Úseky t_{s1} a t_{s2} představují tzv. strojní časy.

V okamžiku A se dává do pohybu šnek v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a vlastně plní funkci pístu.

Doba během níž probíhá plnění dutiny formy se nazývá doba plnění nebo doba vstřikování a značí se t_v . Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty. Tento děj je ukončen v bodě B. Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo formě a chladne.

Proces chlazení probíhá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku a tato doba se nazývá doba chlazení a je označena t_{ch} . V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a při klesajícím tlaku. Během chlazení se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby na výstřiku nevznikly staženiny, je nutno zmenšení objemu kompenzovat dodatečným dotlačením malého množství taveniny do dutiny formy.

Tento úsek cyklu se nazývá doba dotlaku a značí se t_d . Dotlak může být po celou dobu t_d stejně vysoký jako maximální tlak p_i nebo se může po několika sekundách snížit a další chlazení probíhá při sníženém tlaku.

Doba dotlaku končí v bodě D, kdy začíná doba plastikace t_{pl} nové dávky plastu. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak.

Z hlediska vlastností výstřiku je důležitý bod C označující okamžik ztuhnutí roztavené hmoty ve vtokovém kanálu. Vtokový kanál spojuje dutinu formy s dutinou tavicí komory a dokud je hmota v kanálu ve stavu tekutém může šnek ve fázi dotlaku ovlivňovat tlakové poměry v dutině formy.

Po dokonalém ztuhnutí a zchlazení výstřiku se forma otevře (bod F) a výstřik se z formy vyhodí najetím pohyblivé části formy na vyhazovací tyč. Z formy je pak vysunut vyhazovacími kolíky. Na tuto operaci je potřeba strojní doba t_{s3} . Je-li výstřik vyjímán z formy manipulátorem, je k tomu navíc vymezena manipulační doba t_m .



2.2.3 VLIV TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK [6], [7]

Vliv na smrštění :

- vyšší dotlak, delší doba dotlaku \Rightarrow značně zmenšené smrštění
- nižší teplota formy, vyšší teplota taveniny \Rightarrow mírně zmenšené smrštění

Změna vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti znatelně neovlivňují smrštění.

Vliv na orientaci makromolekul :

- vyšší teplota taveniny, vyšší teplota formy \Rightarrow menší orientace makromolekul
- vyšší dotlak \Rightarrow větší orientace makromolekul
- vyšší vstřikovací rychlost \Rightarrow na povrchu větší a uvnitř průřezu menší orientace makromolekul

Vliv na vnitřní pnutí :

- nižší teplota formy, vyšší dotlak \Rightarrow větší orientační pnutí
- nižší teplota formy \Rightarrow větší orientační pnutí a ochlazovací pnutí
- nadměrný vstřikovací tlak \Rightarrow větší expanzní pnutí

2.2.4 SMRŠTĚNÍ [8], [9]

2.2.4.1 Úvod

U plastů zpracovávaných technologií vstřikování nelze zabránit odchylkám od jmenovitých rozměrů vstřikovací formy. Tyto odchylky od nominálního rozměru jsou způsobeny smrštěním vstřikovaného dílu. Vyplývá to z vyšší teplotní roztažnosti plastů (resp. kontrakci při ochlazování) vůči nástrojovým ocelím, ze stupně zesílení (u reaktoplastů), resp. ze stupně krystalinity (u semikrystalických plastů) a samozřejmě ze způsobu odformování. Pro stabilitu rozměrů plastů je významné také tzv. dosmrštění (dodatečné smrštění), které je způsobeno chemickými reakcemi, emisí chemických látek, dokrystalizací a relaxací. K tomu se přičítají vlivy tvaru výlisku (tloušťky stěn, délky toku taveniny, okrajové jevy) a vlivy zpracovatelských podmínek (teploty, časové intervaly, tlaky, typy vtoků) na chování smrštění, které se dají zjistit jen jednotlivě a empiricky.

2.2.4.2 Definice smrštění a dosmrštění

U technologie vstřikování je smrštění s_L definováno podle normy ČSN ISO 294 jako rozdíl mezi libovolným rozměrem v dutině formy a korespondujícím rozměrem lisovaného dílu, který byl v dané formě vstřikován, se vztahem k rozměru dutiny formy. Matematicky vyjádřeno vztahem (2.1).

$$s_L = \frac{l_F - l_D}{l_F} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$

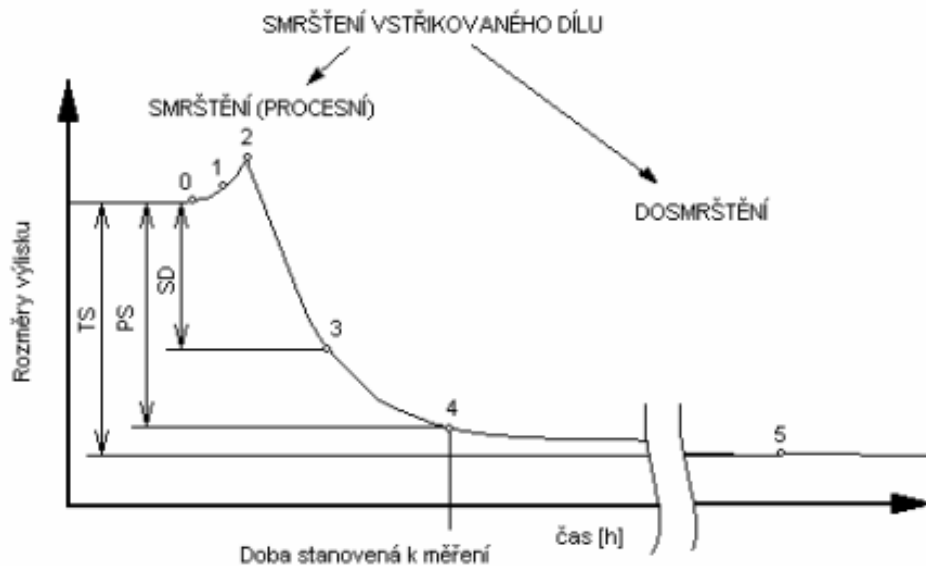
kde je:

l_F ... libovolný rozměr dutiny formy [mm]

l_D ... korespondující rozměr vstřikovaného dílu [mm].

Samozřejmě tato definice není nejednoznačná. Z jedné strany je to změna rozměrů způsobená termální expanzí formy ($0 \rightarrow 1$) a mechanickým plněním během vstřikování ($1 \rightarrow 2$). Na straně druhé musí být brán v úvahu účinek času na stabilitu rozměrů vstřikovaného dílu ($2 \rightarrow 5$), viz. obr. 2.4.

Je nutné rozlišovat smrštění výstřiku (bod 3), který je měřen ihned po vyjmutí z formy, a následném smršťování s dalším účinkem času, po který je již výstřik mimo formu (bod 4). Postup smršťování je měřen po uskladnění výstřiku v standardním klimatu ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) po dobu 24 hodin. Po tomto intervalu by již měl být výstřik rozměrově stabilní.



Obr.2.4: Průběh smrštění vstřikovaného dílu



Rozměrové změny jako funkce času:

- 0 Rozměr ve studené formě
- 1 Rozměr v temperované formě
- 2 Rozměr dílu pod působením uzavírací síly a dotlaku
- 3 Rozměr dílu po primárním smrštění
- 4 Měřicí operace procesu smrštění
- 5 Rozměr po uskladnění

Smrštění ve směru rovnoběžném i kolmém vůči směru toku taveniny se stanovuje ve středu šířky resp. délky zkušebního tělesa. Při měření se předpokládá, že rozměry jsou již ustáleny. Čas potřebný k ustálení je pro daný typ plastu závislý hlavně na teplotě vyjímání výrobku a na tloušťce stěny. Jednotlivé plasty se dále liší rychlostí dějů způsobujících smršťování (krystalizace, vytvrzování). Podstatný podíl výrobního smrštění se realizuje při fázi chlazení po otevření nástroje.

Dodatečné smrštění (dosmrštění) s_D je změna rozměrů výlisku po delším časovém odstupu po vyrobení. Někdy se tímto termínem označuje změna rozměrů po vystavení výrobku zvýšené teplotě. Dosmrštění se měří a hodnotí dle stejného předpisu jako smrštění.

Příčinou dosmrštění mohou být emise látek (plynů) po zpracování technologií vstřikování, dokrystalizace, relaxace vnitřních napětí. Dosmrštění se urychluje při vyšších teplotách a dá se tak z části předem realizovat tepelným zpracováním (temperováním v horké komoře při teplotě přiřazené danému konkrétnímu plastu). Nejnižší dosmrštění (pod 0,2 %) je u plastů plněných minerály. Stejně tak u amorfních plastů je nižší (0,2 - 0,5 %) než u plastů semikrystalických. U hmot s organickými plnivými a při nevhodném tvaru, stejně tak i nevhodných zpracovatelských podmínkách může dosahovat samotné dosmrštění až těsně pod 1 % výchozího rozměru.

Smrštění dílu lze tedy obecně definovat vzhledem k délce dílu nebo k objemu dílu. Označení pro délku na výlisku je l_D a l_F je odpovídající délka v dutině formy.

Rozeznáváme tedy:

lineární (rozměrové) smrštění definované výše uvedeným vztahem:

$$s_L = \frac{l_F - l_D}{l_F} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$



z něhož můžeme odvodit také:

objemové smrštění, které definujeme jako:

$$s_V = \frac{V_F - V_D}{V_F} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.2)$$

kde je:

V_F ... objem dutiny formy [m^3]

V_D ... objem vstřikovaného dílu [m^3].

Lineární smrštění s_L tvoří tedy cca 1/3 objemového smrštění s_V pro izotropní díly. Skutečné smrštění se vypočítává z rozměrů horké formy. Lineární nebržděné smrštění s_L izotropního (na směru vlastnostmi nezávislého) materiálu se odvodí z objemového s_V s výsledným vztahem:

$$s_L = 1 - \sqrt[3]{1 - s_V} \quad [\%] \quad (2.3)$$

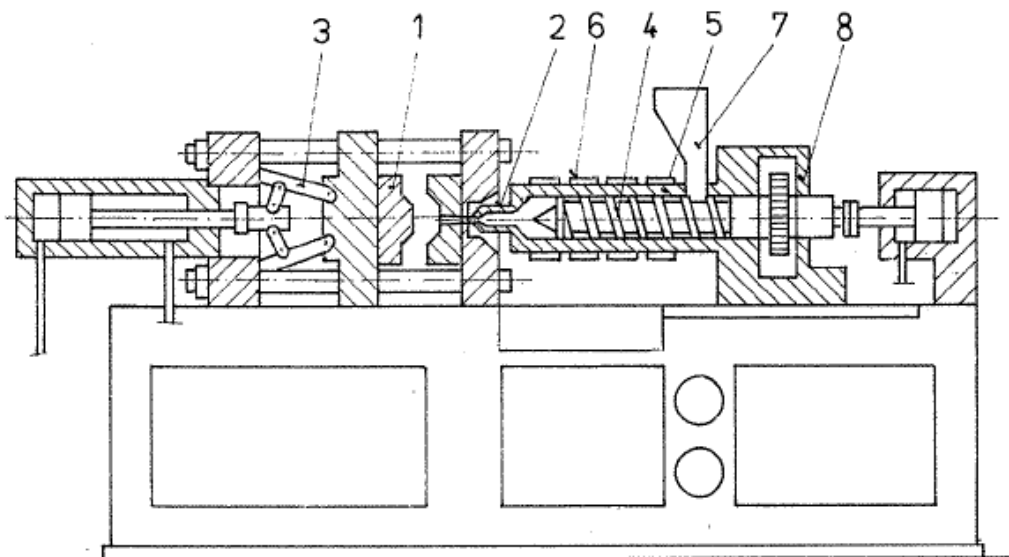
Smrštění výlisku není v podstatě až tak materiálovou vlastností jako vlastností kompletního systému závislou na materiálových vlastnostech, tvaru dílu, nástroji a výrobních podmínkách.

2.2.5 VSTŘIKOVACÍ STROJE [10]

Všechny vstřikovací stroje se skládají ze dvou základních mechanismů: vstřikovací jednotky a uzavírací jednotky. Podle uspořádání těchto jednotek rozeznáváme několik základních řešení vstřikovacích lisů :

- vodorovný vstřikovací lis se vstřikem do osy formy
- lis s vertikálním zavíráním formy a vstřikem horizontálním
- vertikální vstřikovací lis se vstřikem do osy formy
- vertikální vstřikovací lis se vstřikem do dělicí roviny.

Nejpoužívanější jsou horizontální vstřikovací stroje se vstřikem do osy formy (obr.2.5) a to z důvodu snadného vypadávání výstřiků i vtokového zbytku z otevřené formy. Tímto je i usnadněna možnost zavádění automatizace provozu a možnost optimálního umístění vtoků do středu dna miskovitých výrobků nebo do středu vtokové růžice u vícenásobných forem.



Obr. 2.5: Horizontální vstřikovací stroj se vstřikem do osy formy

1 - nástroj, 2 - vstřikovací tryska, 3 – uzavírací mechanismus,
4 – šnek, 5 – tavící komora, 6 – topné pásy, 7 – násypka, 8 – převodovka

2.3 ULTRAZVUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ [11], [12], [13], [14]

Za ultrazvukové svařování plastů je možné pokládat takový způsob pevného spojení plastů (termoplastů, plněných termoplastů, kompozitních materiálů a jiných), kdy je budoucí spoj (svar) zahřán pomocí ultrazvukové energie. Různé termoplastické materiály, které je potřeba svařit (desky, pásy, folie, tvarované dílce apod.), se svaří jakmile v místě sváru zajistíme určitou statickou sílu, čímž zaručíme akustickou vazbu při současném působení ultrazvukových vibrací v kolmém směru na rovinu spojovaných ploch. Svařováním vzniká nerozebíratelný spoj.

Tento způsob spojování se nejčastěji využívá pro spojování polotovarů a výlisků z termoplastických hmot a plně se osvědčil v nejrozmanitějších odvětvích průmyslu. Vlivem vysoké rychlosti procesu, čistotě provozu a účinnosti se tato technika prosadila ve velkosériové výrobě automobilů, elektroniky, lékařské techniky a v řadě dalších.

Ultrazvukové svařování je vhodné k čistému a trvalému spojení polotovarů a výlisků kovů a plastů bez jakýchkoliv dalších přídavných spojovacích materiálů. Díky této technologii mohou být např. kovy spojené i s keramickými a skleněnými materiály. Díly je možno svařovat i při mírném znečištění svařovaných ploch např. prachem nebo olejem. Ultrazvukové svařování se uplatňuje při svařování termoplastických hmot (PE, PP, PS, ABS, PA atd.).



Dobré výsledky svařování s ohledem na pevnost, těsnost a optický vzhled se dají docílit jen tehdy, jestliže jsou spojované díly správně konstrukčně řešené s ohledem na proces a materiál. Správným nastavením podmínek je možno docílit vysokou pevnost a čistý vzhled svarového spoje. Podle tvaru svarového spoje usnadňuje právě konstrukce oblasti spoje stříkaných dílů jeho způsobilost a rozměrovou stálost.

Výhody ultrazvukového svařování :

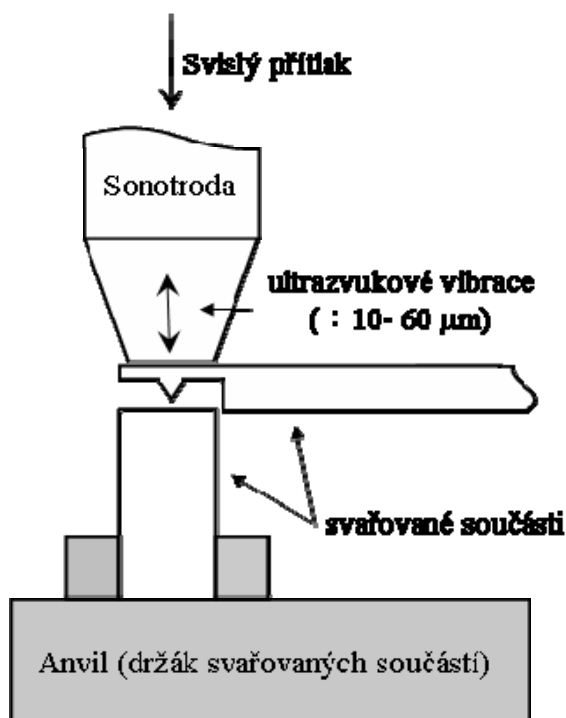
- při správném použití jsou vyloučeny materiálové změny mimo svářenou zónu
- velice precizní
- možnost ručního nebo strojního svařování
- velké množství aplikací
- lze svářet i vzhledové díly
- vzhledem k tepelnému sváření je rychlejší
- malá spotřeba energie

Nevýhody ultrazvukového svařování :

- potřeba použití speciální elektrody (sonotrody)
- zpravidla nelze svářet odlišné druhy plastů (pokud je rozdíl teplot tavení vyšší než 10-15°C)
- díly musí být konstruovány pro ultrazvukové sváření - tzn. musí mít „návarové hrany“

2.3.1 PRINCIP ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ [11], [13], [15], [16]

Svařování ultrazvukem je založeno na přeměně kinetické energie v tepelnou. Při ultrazvukovém svařování plastů se spoj vytváří kolmým působením ultrazvukových kmitů na rovinu spoje při současném působení přítláčné síly (viz obr. 2.6). Působením tepla, které vzniká vlivem molekulárního tření a tření na styčných plochách (kontakt představující akustický odpor) nebo absorpcí ultrazvukové energie v materiálech na místě sváru, dochází nejdříve ke změknutí a potom tavení. Tím dochází ke vzájemnému promíchání styčných materiálů až vznikne v místě pevná vazba. Přítláčná síla se nechává působit ještě po ukončení ultrazvukových kmitů, aby spoj přešel z plastického do tuhého stavu a také aby došlo k odlepení roztaveného plastu od sonotrody.



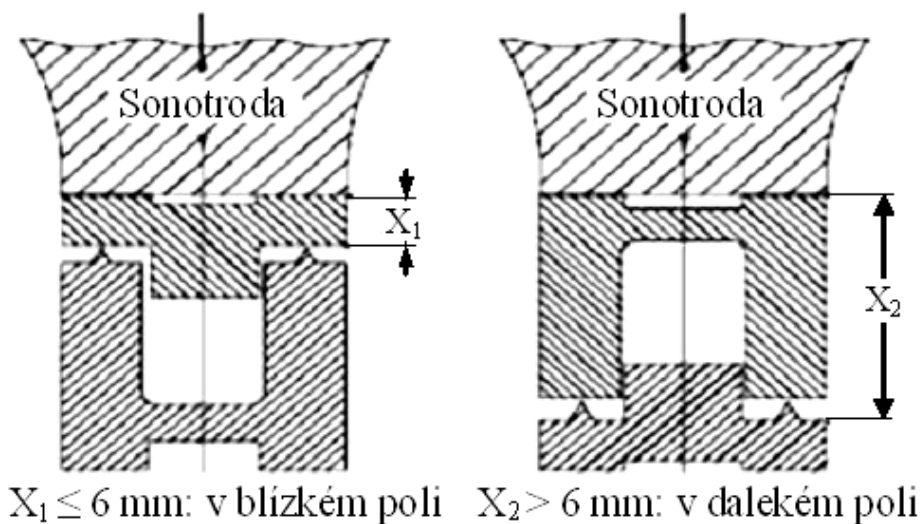
Obr. 2.6: Uspořádání pro svařování plastických materiálů

Zdrojem ultrazvukového kmitání je generátor. Je to měnič napětí a frekvence. Na mechanické kmitání převádí tento elektrický signál zařízení nazývané konvertor. Kmity jsou pak odsud přenášeny svislým vibračním nástavcem (nazývaným také sonotroda) na plastickou hmotu a tou procházejí až na plochy určené ke svaření. Tyto plochy musí být opatřeny výstupkem. Zde vlivem vznikajícího tepla oba díly změknou a tlakem se svaří. Ke svařování se používá ultrazvukových přístrojů pracujících s kmitočtem 20 - 50 kHz. Pro každý termoplastický materiál je vhodná určitá optimální amplituda vibrací ultrazvuku. Na přístroji se musí nastavit správný tlak, který působí na svařované plochy a doba působení kmitů. Pro svaření se používá malého tlaku sonotrody cca 0,2 - 0,3 MPa a svařovací tlak působí v ose sonotrody. Svařování probíhá velmi rychle a celkový svařovací čas je poměrně krátký, obvykle nepřesahuje 2 - 3 s. Pevnost svarů závisí na energii kmitů, době jejich působení, velikosti přítlačné síly a na čistotě svarových ploch. Aby se energie během svařování při průchodu termoplastem neztrácela, musí být sonotroda co nejbližší místa svaru.



2.3.2 VLIV MATERIÁLU NA SVAŘITELNOST [5], [11]

Ultrazvukem je možné svařovat všechny stejnorodé vstříkované termoplasty. Amorfnní termoplasty (např. PC, PS, SAN, ABS a PMMA) mají příznivé přenášecí vlastnosti pro ultrazvuk a to i na větší vzdálenosti. U těchto plastů je tudíž dovolena vzdálenost od místa svaru až 20 mm – tzv. *svařování v dalekém poli*. Semikrystalické termoplasty (např. PA, PE, PP a POM) mají vysoký tlumicí faktor, který zavedené kmity silně tlumí. Tyto materiály jsou tedy svařitelné jen v bezprostřední blízkosti sonotrody. U těchto plastů je dovolena vzdálenost maximálně 6 mm – tzv. *svařování v blízkém poli* (viz. obr. 2.7). V praxi se doporučuje svařovat v blízkém poli (pokud to tvar součásti dovolí). Narozdíl od svařování v dalekém poli jsou potřeba menší amplitudy, kratší svařovací časy, menší tlaky a je možné svařovat amorfnní i semikrystalické plasty. Svary v dalekém poli jsou možné jen u tvrdých (amorfnních) termoplastů s dostatečně vysokým modulem pružnosti, který umožní dobré vedení zvuku.



Obr. 2.7: Ultrazvukové svařování v blízkém a dalekém poli

Nejvíce tedy záleží na vlastnostech materiálu: hustotě, modulu pružnosti, součiniteli tření a tvarové stálosti za tepla. Dalšími faktory pak jsou parametry stroje (tlak, amplituda, doba svařování, zvolená UZ frekvence), délka svaru, spojované plochy, provedení nástroje a upevnění svařovaných součástí.

U amorfnních termoplastů nezpůsobuje zbytkové kmitání při ultrazvukovém svařování žádná vnitřní pnutí, proto doba svařování amorfnních termoplastů může



odpovídat rychlosti vstřikování. U semikrystalických termoplastů se musí naproti tomu dodržet minimální doba uskladnění 24 hodin po vystříknutí, aby se vyloučilo strukturou podmíněné zbytkové pnutí. V praxi je však tato podmínka těžko splnitelná, obvykle je z důvodu výrobně podmíněných (např. automatizovaných) procesů vyžadováno ultrazvukové svařování bezprostředně po vystříknutí dílů. Z tohoto důvodu je naléhavě nutné prověření procesu, aby se zabezpečila požadovaná kvalita svařovaného dílu.

2.3.4 DALŠÍ VLIVY NA SVAŘITELNOST [5], [11]

Špatně navržené nástroje pro vstřikování vedou k chybám vyráběného dílu :

- kolísání v rozměrech a hmotnosti
- chyby povrchu a nehomogenosti (lunkry)
- pnutí materiálu a další.

Bezchybné díly jsou však předpokladem pro vysokou kvalitu ultrazvukového svařování. Zásadně musí být konstrukce dílů, uspořádání zóny spojování a volba svařovacích parametrů přizpůsobeny vlastnostem materiálů. Pomocí odpovídajících zkušebních svarů (referenčních vzorků) se definují optimální rámcové podmínky pro dobrý svařovací proces. Zejména tolerance rozměrů u velkých stříkaných dílů nebo stříkaných dílů z nástrojů s více hnízdy dílů jsou nejčastějšími příčinami chybných svarů v sériové výrobě. Kromě toho mohou kvalitu svarů ovlivňovat také dělicí prostředky a nečistoty v zóně spojování.

2.4 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ ROZMĚRŮ [17], [21], [22]

Spočívá v rovinném (2D), tak i v prostorovém (3D) měření tvarů součástí. Při měření rovinných profilů součástí klasickým způsobem se používá např. univerzálního profilprojektoru. Běžně používaným zařízením pro měření prostorových tvarů je souřadnicový měřicí stroj, obvykle s dotekovou měřicí sondou. Tyto metody jsou při měření složitějších tvarů časově náročné, pracné a často i relativně málo objektivní. Dalším důvodem proč se začínají používat jiné metody než dotekové 3D měřicí stanice je neschopnost provést měření po čase. Nadefinují-li se body, změří a po měsíci se zjistí problém na jiném místě, není již možné toto měření opakovat na stejném díle, jelikož už tento díl není a data nejsou archivována. Proto se s rozvojem optoelektroniky a počítačové techniky stále více rozvíjí a rozšiřují



metody bezkontaktního měření rozměrů a tvarů v rovině i prostoru digitální kamerou, u něhož jsou pak výsledky měření získávány pomocí zpracování digitálních obrazů měřené součásti.

K hlavním výhodám bezkontaktního měření, založeného na zpracování digitálního obrazu, patří relativně vysoká rychlost a objektivita měření. Rychlost měření je dána možností změřit najednou celý viditelný profil měřené součásti v rovině nebo velký počet jednotlivých bodů povrchu měřené součásti v prostoru. Díky automatickému zpracování obrazu pomocí počítače roste i objektivita měření. Využitím bezkontaktního měření je možné měřit i rozměry, které klasickými způsoby měřit nelze nebo jen s velkými obtížemi.

Proto se v současné době, díky svým výhodám, poměrně rychle rozvíjí praktické využívání bezkontaktního měření rozměrů na základě zpracování digitálního obrazu, ať už pro přesná rovinná měření nebo pro digitalizaci prostorových tvarů.

Mezi hlavní nevýhody tohoto způsobu měření patří hlavně velká citlivost na vnější vlivy, především okolní světlo a nečistoty. Největší nevýhodou, která je zatím hlavním argumentem pro pořízení dotykových stanic, je neschopnost měření hlubokých otvorů. Zanedbatelné nejsou ani pořizovací náklady měřících systémů.

Konkrétní algoritmy takovýchto systémů, založených na metodách zpracování obrazu, však nejsou obecně známy. Základní údaje o jednotlivých výrobcích je možné obvykle najít na internetu.

V literatuře jsou popsány obecné metody zpracování digitálního obrazu, které lze použít v nejrůznějších aplikacích založených na počítačovém vidění. Při řešení konkrétního úkolu je však třeba z této komplexní množiny metod vybrat a aplikovat optimální metody vedoucí k jeho realizaci.

2.4.1 PRINCIP BEZKONTAKTNÍHO MĚŘENÍ [17], [21]

Obrazem se zde rozumí běžně chápaný optický obraz ve viditelném spektru elektromagnetického vlnění. Matematickým modelem obrazu může být tzv. obrazová funkce $f(x,y)$ dvou souřadnic v rovině. Hodnotou této funkce je nejčastěji jas, který vyjadřuje vlastnosti obrazového signálu stejným způsobem jako vnímání člověka. Pro účely počítačového zpracování je obrazová funkce brána jako diskrétní.



Dvojměrná (2D) obrazová funkce je výsledkem perspektivního zobrazení části trojrozměrného (3D) prostředí.

Prvním krokem je snímání a digitalizace obrazu a přenos obrazových dat do počítače. Při snímání se převádějí vstupní optické veličiny na spojitý elektrický signál, který je následně digitalizován a připraven v počítači k dalšímu zpracování. Následuje jeden z nejdůležitějších kroků vedoucí k analýze obsahu zpracovávaných obrazových dat – segmentace. Jejím cílem je rozčlenit obraz do částí souvisejících se snímanými objekty a nezajímavého pozadí. Pokud byly objekty v obraze nalezeny, je možné je např. matematicky popsat, roztřídit a vyhodnotit jejich vzájemné relace apod.

2.4.1.1 Snímání, digitalizace a reprezentace dat v počítači [17], [18]

Nejběžnějším zařízením pro snímání obrazu reálné scény a přenos obrazových dat do počítače je kamera. V minulosti to byly především kamery s vakuovou snímací elektrodou, v současné době se používají stále více kamery s polovodičovým snímacím prvkem. K nim patří i dnes pravděpodobně nejrozšířenější kamery s CCD snímačem. Jejich předností jsou hlavně malé rozměry, vysoká citlivost, linearita, široký spektrální rozsah a minimální geometrická zkreslení. Mezi polovodičové snímací prvky patří i CMOS snímače, které se vzhledem k rostoucí kvalitě obrazu začínají v posledních letech stále více rozšiřovat. V porovnání s CCD snímači jsou rychlejší, mají nižší spotřebu, vyšší rozlišení obrazu a jsou i výrobně levnější.

Digitální obraz je vždy složen z jednotlivých bodů (pixelů), kde každý pixel odpovídá jednomu vzorkovacímu bodu a nese informaci o jasové úrovni získané pomocí kvantování obrazové funkce.

V současné době jsou stále ještě v praxi nejpoužívanější analogové kamery, kde je analogový obrazový signál digitalizován až v převodníku na kartě v počítači. U digitálních kamer je převodník co nejbližší snímači, což vede k podstatnému snížení šumu v obraze, protože z kamery je obrazový signál do počítače přenášen v digitální podobě bez ztráty kvality. Výhodou digitálních kamer bývá vyšší rozlišení, rychlejší snímání a vyšší počet jasových úrovní. Nevýhodou potom jejich cena.



2.4.2 MĚŘENÍ ROZMĚRŮ V ROVINĚ (2D) [21]

Pro bezkontaktní měření rovinných rozměrů pomocí technik zpracovávání digitálního obrazu stačí použít sejmutý obraz součásti z jednoho místa, tj. jednou kamerou. Pro převod třírozměrné reálné scény do dvourozměrné digitální formy je nejčastěji využívána kamera umožňující kontinuální měření. Lze však použít i snímky pořízené pomocí digitálního fotoaparátu, který má větší rozlišení a tím umožňuje i zvětšit přesnost měření.

Standardní zařízení se skládá z:

- kamery, popř. fotoaparátu s optickým systémem (zařízení pro digitalizaci obrazu)
- osvětlení
- kalibračního tělesa
- počítače se softwarovým vybavením pro zpracování obrazu a řízení celého systému.

2.4.2.1 Princip 2D měření [21]

Princip bezkontaktního měření založeného na zpracování digitálního obrazu spočívá v porovnávání známých rozměrů v obraze kalibračního tělesa s velikostí měřené součásti v jejím obraze.

Samotnému měření předchází kalibrace, která slouží k ocejchování kamery, tj. stanovení rozměrů obrazových bodů pomocí kalibračního tělesa, jehož tvar a přesné rozměry jsou známy. Pomocí kalibrace je také možné eliminovat geometrická zkreslení, jimiž je obraz zpravidla zatížen. Při samotném měření je pak obvykle třeba dodržet stejné podmínky snímání jako při kalibraci, zejména stejné nastavení kamery, stejné osvětlení apod.

Přesnost tohoto způsobu měření závisí hlavně na velikosti rozlišení použité kamery (tj. počtu bodů obrazu ve vodorovném a svislém směru) společně s velikostí snímané plochy a také s velikostí měřeného objektu v obraze. Častou aplikací tohoto způsobu měření v praxi jsou např. digitální profilprojektory pro automatická měření a seřizování nástrojů pro obráběcí stroje. Jejich úkolem je, v případě seřizování nástrojů, přesně změřit rozměry a polohu břitu nástroje vůči pevně danému referenčnímu bodu vztaženému např. k nástrojovému držáku.



Protože je přesnost měření u těchto přístrojů závislá na velikosti zorného pole kamery, často se pro měření větších součástí využívají ještě pomocné snímače polohy, které měří vzdálenost mezi kamerou a objektem. Pak je buď kamera s optickým systémem nebo měřená součást umístěna na dvou nebo tříosém posuvovém kříži umožňujícím pohyb zpravidla v kartézském souřadném systému. Pomocí kamery jsou pak získávány pouze relativní rozměry vztažené k danému bodu obrazu, absolutní rozměry jsou pak dopočítávány z okamžité polohy kamery vůči měřenému objektu. Takto lze při zachování vysoké přesnosti měření, vyplývají z malého zorného pole kamery, měřit i poměrně rozměrné objekty. Celková přesnost měření je pak závislá i na přesnosti odměřování polohy kamery vůči měřenému objektu.

2.4.2.2 Analýza vzniku chyb při 2D měření [19], [21]

Vhodným nastavením měřícího zařízení při snímání obrazu lze výrazně ovlivnit přesnost celého měření. Je třeba dát pozor na uspořádání kamery, měřené součásti a osvětlení. Zásadou pro dosažení co největší přesnosti je, aby byla měřená součást v obraze co největší. Obraz součásti je pak tvořen největším možným počtem obrazových bodů (pixelů) a obsahuje maximum detailů.

Používané snímače jsou obecně citlivé na osvětlení, kdy jeho příliš velká nebo naopak malá intenzita znemožní celé měření. Problémem jsou rovněž vysoce odrazivé povrchy měřených součástí, které mohou znemožnit získání informací potřebných pro následné zpracování obrazu. V praxi je tento problém často řešen nástřikem povrchu měřené součásti materiálem s konstantní odrazivostí, jakým je např. poměrně snadno smyvatelný křídový prach.

Svoji úlohu hraje i správná volba optiky, správné nastavení parametrů snímání jako je čas, clona, správné zaostření. Určitou nevýhodou je skutečnost, že nastavení výše zmíněných parametrů často závisí na zkušenostech člověka.

Z uspořádání zařízení při měření vyplývá další možnost zanesení chyby do měření. Prostorový obraz je totiž kamerou převeden středovým promítáním do rovinného, a tak se ztrácí informace o prostorovém tvaru měřené součásti. Tím je dáno použití takového zařízení pro měření tvarů rovinných součástí např. jako zmiňovaného profilprojektoru pro seřizování nástrojů obráběcích strojů.



Protože měření probíhá obvykle ve dvou fázích (kalibraci a vlastním měření), je nutné přesně dodržet podmínky nastavené při kalibraci zařízení i při vlastním měření. K největší chybě dojde vzhledem ke středovému promítání při nedodržení stejné vzdálenosti (popř. také úhlu pohledu) kamery od snímaného objektu při kalibraci a vlastním měření. Čím je velikost ohniskové vzdálenosti objektivu kratší, tím je tato chyba výraznější.

2.4.2.3 Výsledky měření [19], [21]

Přes veškeré zde nastíněné problémy je možné s běžnou kamerou dosáhnout přesnosti měření okolo 0,002 násobku velikosti zorného pole. Při použití kvalitní kamery pak může být přesnost měření až desetkrát lepší, tj. 0,0002 násobek velikosti zorného pole kamery. Takže pro měřený předmět v zorném poli velikosti 10x10 mm může být přesnost podle použitého snímače obrazu, optiky a způsobu zpracování obrazu v rozmezí 0,02 mm až 2 μm .

Výsledek zmiňovaného bezkontaktního měření v rovině lze dostat ve formě výsledného protokolu, podobně jako při klasických způsobech měření, nebo např. jako výkres měřené součásti se zobrazenými naměřenými odchylkami vůči údajům převzatých např. z CAD dat.

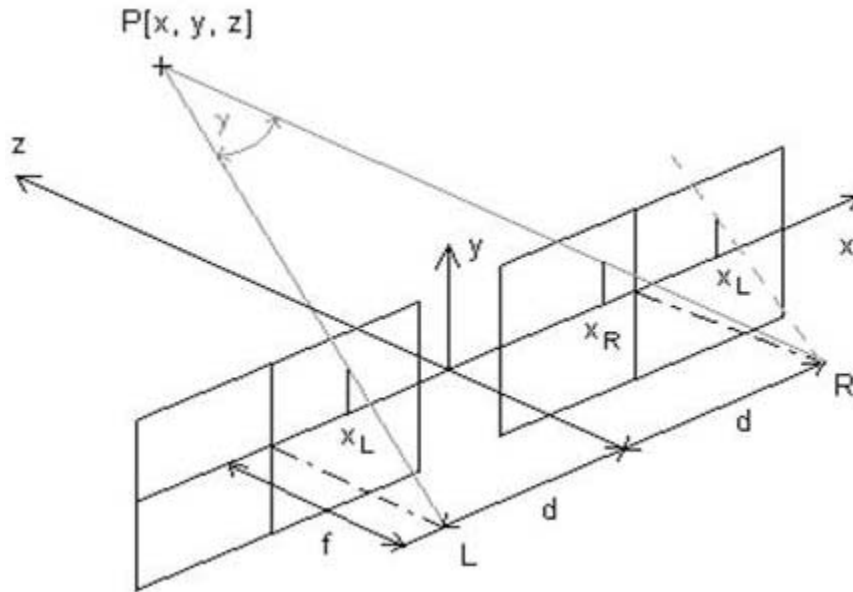
2.4.3 MĚŘENÍ ROZMĚRŮ V PROSTORU (3D) [21]

Dvourozměrný obraz sebou nenesou výslovnou informaci o hloubce, proto nemůže být přímo použit k popisu trojrozměrného prostředí (tj. o třech dimenzích, tedy 3D). Pro získání prostorových dat je třeba sejmout obraz alespoň ze dvou různých míst nebo použít pomocná zařízení umožňující určit hloubku v obraze. Zde jsou zmíněny jen dvě základní techniky, které však nacházejí uplatnění v praxi nejčastěji:

- stereovidění
- projekce proužků světla

2.4.3.1 Stereovidění [19], [20], [21], [22], [23]

Technika stereovidění vychází z principu vidění lidí a většiny zvířat. Použitím dvou nebo pro větší robustnost měření i více kamer je možné odhadnout hloubku v obraze z podobných trojúhelníků, jak je znázorněno na obr. 2.8. Problémem je automatické nalezení odpovídajících si bodů v obrazech jednotlivých kamer. Pro jejich hledání je možné využít např. informace o hranách objektů.



Obr. 2.8: Určení polohy bodu v prostoru pomocí stereovidění

Hledáním odpovídajících si bodů v jednotlivých obrazech pomocí význačných míst měřené součásti však zpravidla omezí výsledky měření. Pomocí stereovidění je pak tato součást obvykle popsána jen pomocí několika bodů na jejím povrchu. Tyto body je však možné s výhodou využít např. jako referenčních při sesazování dílčích výsledků měření do jednoho celku. Jednotlivé dílčí výsledky měření povrchu součásti je možné získat např. pomocí metody projekce proužků světla.

Techniku stereovidění je možné aplikovat i pomocí jedné kamery. Snímáním obrazu měřené součásti z několika různých míst a následným zpracováním všech získaných obrazů lze vypočítat prostorové souřadnice význačných bodů na měřeném povrchu. Je však třeba předem znát polohu kamery pro jednotlivé snímky nebo je možné jednotlivé umístění kamery v prostoru počítat pomocí vhodně rozvržených referenčních bodů, zobrazených v každém snímku.

První způsob vyžaduje použít přídavné zařízení pro přesné odměřování polohy kamery. Následně se zpracování obrazu principiálně neliší od klasického stereovidění použitím dvou nebo více kamer.

Druhý způsob měření je založen na digitální fotogrammetrii, která je již řadu let aplikována např. při územním průzkumu. Není tedy třeba znát polohu snímače předem, snímky je možné pořídít z libovolného místa. Jedinou podmínkou je, aby byly v každém snímku zobrazeny alespoň tři referenční body, pro větší robustnost měření je vhodné sejmout najednou bodů více. Vzájemná poloha alespoň čtyř ze



všech těchto bodů musí být známá předem. Používají se zpravidla kódované body, aby je bylo možné jednoznačně identifikovat a následně analyticky vypočítat polohu kamery. Z vypočtených poloh snímku je opět možné určit polohu význačných bodů na součásti.

2.4.3.2 Projekce proužků světla [19], [21], [22], [23], [24]

Další způsob, jak získat prostorový popis objektu, je technika projekce proužků světla. Scéna osvětlená proužkem světla z projektoru je sejmuta kamerou, která je vhodně umístěna v prostoru vzhledem ke zdroji osvětlení. V získaném obraze je zachyceno zakřivení světelného proužku na měřeném povrchu, z něhož je možné určit tvar a orientaci součásti.

Pro získání prostorového popisu povrchu měřené součásti je tedy kromě snímače (např. kamery) nezbytný projektor proužku světla. K nejjednodušším zdrojům proužků světla patří v praxi často používaný nízkovýkonný laser, jehož původně bodový paprsek je možné pro vytvoření proužku světla buď rozmítat nebo rozptýlit např. pomocí válcových čoček. Každý z těchto principů má své výhody i nevýhody.

Pro získání kompletního popisu objektu je třeba postupně přeskenovat světelným paprskem celou součást. Protože je takto prováděné měření poměrně pomalé, není praktické tímto způsobem skenovat celý povrch měřené součásti.

Na obr. 2.9 je ukázka mobilního optického 3D digitalizačního (skenovacího) zařízení ATOS II firmy GOM, které pracuje na principu promítání variace proužků světla na měřený objekt. Zde je každý snímek zpracován dvěma kamerami z různých úhlů, což vede k vyšší přesnosti a robustnosti metody. Současně se ale zvyšuje náročnost výpočtu. Absolutní přesnost tohoto zařízení je dle údajů výrobce 0,02 až 0,002 mm.



Obr. 2.9: Bezdotykový optický 3D skener ATOS II firmy GOM



2.4.4 BEZKONTAKTNÍ MĚŘICÍ SYSTÉM ARAMIS [25], [26]

Systém ARAMIS (viz. obr. 2.10) je optický měřicí systém firmy GOM pro bezkontaktní měření reálných 3D deformací. Princip měření je založen na analýze zobrazení změn oproti původnímu stavu. Přístroj umožňuje stanovit deformaci materiálu na základě posunutí bodů povrchu materiálu mezi referenčním – nezatíženým stavu a stavu při zatěžování při téměř libovolném počtu kroků. K tomuto účelu je vybaven dvěma kamerami, které snímají povrch tělesa ze dvou směrů (úhlů). Prováděné měření tak probíhá ve 3D souřadnicích. Kamery jsou osazeny CCD čipy, které dovolují rychlé snímání sekvence snímků (ARAMIS HS – High Speed). To předurčuje využití systému především pro měření rychlých dějů rázových zkoušek, rychlého deformačního zatěžování apod. Systém lze však používat i pro statické zatěžování.

V prvním kroku se definují body nepravidelné sítě na povrchu měřeného objektu v původním stavu. Potom se pro každý krok zatížení přesně vypočítají 3D souřadnice těchto bodů sítě s použitím fotogrammetrických principů. Na základě těchto souřadnic je přesně vypočteno posunutí, prodloužení a tvar s vysokým rozlišením. Výsledkem je barevná mapa rozložení deformací na objektu zatěžovaném buď staticky nebo dynamicky. Výsledky mohou být uvedeny v grafických formátech TIFF nebo JPEG a dále mohou být exportovány v uživatelsky definovaném ASCII formátu pro další zpracování.

Proces měření může být spouštěn v pravidelných časových intervalech (např. s prodlevou 1s) nebo může být řízen externím signálem (např. ze zatěžovacího stroje). Maximální rychlost snímání může být až 8000 snímků za sekundu u systému HS. Při měření rotačních objektů se dá propojit více systémů ARAMIS do jednoho měřicího systému. Měřicí rozsah (deformace) všech typů systémů ARAMIS je 0,01 % až několik set % a přesnost měření (deformace) 0,01 %.

Přednosti systému :

- velký rozsah měření (objekty od velikosti 1 mm do 1000 mm)
- rozsah měření deformace (od 0,01% až do několika set %)
- jednoduchá příprava povrchu objektu (nástrík může být pravidelný i náhodný)
- vysoká hustota naměřených dat (bodů na povrchu objektu)
- mobilita (systém lze převážet v osobním automobilu)



- flexibilita (snadná změna velikosti záběru a rozlišitelnosti systému)
- přehledná analýza výsledků měření (grafické vizualizace)

Proces měření :

- na objekt je pomocí spreje nanesen kontrastní vzor (tzv. pattern)
- pattern se deformuje zároveň se zatěžovaným objektem
- objekt je pro každou úroveň zatížení (tzv. stage) sejmut 2 CCD kamerami
- ze snímků jsou pomocí image processingu vypočteny 3D souřadnice bodů ležících na povrchu objektu
- porovnáním odpovídajících si bodů v jednotlivých úrovních zatížení systém vypočítá 3D posuvy a následně tvar deformovaného objektu a 3D deformace

Výstupy z měření :

- hodnoty 3D posunutí bodů na povrchu objektu
- hodnoty 3D posunutí bodů v radiálním směru
- hodnoty 3D deformace měřené na povrchu objektu (Mises, Tresca strain)
- hodnoty hlavních a vedlejších deformací (Major, Minor strain)
- tvar objektu v jednotlivých fázích deformace (mrak bodů)
- hodnoty změny tloušťky materiálu (např. u plechů)
- velikost deformace vůči limitní tvářecí křivce (FLC)
- grafické nebo tabulkové výstupy naměřených hodnot

Oblasti využití systému ARAMIS :

- dimenzování součástí
- zkoušky materiálu
- testování nových materiálů
- výpočty stability
- zkoumání materiálu v nelineárních oblastech deformace
- optimalizace procesu tváření (limitní křivka tváření FLC)
- zjišťování materiálových vlastností
- charakteristika procesu tečení
- charakteristika procesu stárnutí



Základní rozdělení systémů :

- **ARAMIS 2M** je určen pro základní úlohy měření deformací, kde není požadováno vysoké rozlišení. Rozlišení CCD čipu u tohoto modelu je 2 000 000 pixelů. Vhodný je pro středně rychlé dynamické zatěžování, u kterého stačí snímkovací frekvence do 12 Hz (resp. 24 Hz při snížení rozlišení CCD čipu na polovinu).
- **ARAMIS 4M** je vhodný pro měření deformací, kde je důležitým aspektem jak vysoké rozlišení CCD čipu, které u tohoto modelu je 4 000 000 pixelů, tak i rychlost kamer. Díky novému typu kamer je možno snímat vzorkovací frekvencí 55 Hz za plného rozlišení, případně frekvencí až 440 Hz při zmenšení rozlišení čipu v jednom směru, což umožňuje snímání středně rychlých dějů při vysokém rozlišení.
- **ARAMIS 5M** je vzhledem k vyššímu rozlišení CCD čipu vhodný pro měření velkých objektů nebo pro měření s vyšším rozlišením detailů. Na rozdíl od systému ARAMIS 4M je zde rozlišení CCD čipu 5 000 000 bodů a snímkovací frekvence 15 Hz (resp. 30Hz při snížení rozlišení CCD čipu).
- **ARAMIS HS** je systém speciálně přizpůsobený pro měření velmi rychlých dynamických dějů. Rozlišení CCD čipu je 1 300 000 pixelů a snímkovací frekvence může být v plném rozlišení až 500 Hz. Při snížení rozlišení CCD čipu může být dosaženo frekvence snímků až 8000 Hz. Snímkování lze řídit externím signálem nebo dle předem připravených instrukcí.



Obr. 2.10: Bezkontaktní optický měřicí systém ARAMIS firmy GOM



2.5 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TEPLoty [27], [28]

Teplota je jednou z nejdůležitějších stavových veličin ovlivňujících téměř všechny stavy a procesy v přírodě. K měření teploty lze použít různých fyzikálních principů, jako např. teplotní roztažnost, změny elektrického odporu, vznik elektrického napětí.

2.5.1 TEORIE MĚŘENÍ TEPLoty, TEPLA A INFRARADICE [27],[28],[29]

Teplota je mírou termální energie obsažené v jakémkoli objektu. Teplota kteréhokoli objektu se dá změřit množstvím metod a prostředků a je definován teplotní stupnicí. Teplota nám ve své podstatě říká, kterým směrem poteče tok mezi dvěma objekty.

Existují tři základní typy přenosů tepla: vedení (kondukce), proudění (konvekce) a záření (radiace). Všechno teplo je přenášeno jedním z těchto tří typů přenosů, obvykle kombinací dvou nebo všech tří typů přenosů. Infračervená termografie je pochopitelně nejbližší radiálnímu přenosu tepla.

Podobně jako světelná energie je tepelná radiace záležitostí fotonů v elektromagnetickém spektru. Zatímco přenos energie světla se děje ve viditelné oblasti spektra od 0,4 μm do 0,75 μm , přenos tepla radiací zabírá oblast spektra mezi 0,75 μm až 100 μm , ačkoliv většina praktických měření se provádí v okolí 20 μm (μm jsou mikrometry nebo „mikony“ a jsou to jednotky pro měření vlnové délky radiční energie).

Všechny povrchy těles, které jsou teplejší než absolutní nula, vysílají energii v infračerveném spektru. Velmi teplá tělesa ve spektru viditelného světla. IR tepelné obrazy měří a zobrazují na displeji obrazy z této infračervené oblasti spektra.

Termokamera pracuje při snímání obrázků při vlnové délce 8-14 μm . Měření pomocí termokamery umožňuje získat viditelnou informaci a rozložení teploty na povrchu snímaného zařízení. Měření lze provádět za provozu bez jakéhokoli poškození měřeného objektu. Pomocí termovizní techniky lze provádět kontrolu (diagnostiku) stavu elektrických zařízení (stav a kvalita spojů a svorek, zatížení transformátorů a izolátorů), stavu vyzdívek a izolací sklářských pecí, kontrolu úniku tepla u pecí, tepelné zátěžové charakteristiky pohonů, strojů a zařízení.



2.5.2 PRINCIP TERMOGRAFICKÉHO MĚŘENÍ [29], [30], [31]

Termografické měření je bezkontaktní měření teploty. Využívá pro nás neviditelného infračerveného záření pro bezpečné měření povrchových teplot předmětů. Je možné měřit i vzdálenější a nepřístupné povrchy i elektrická zařízení v provozu pod napětím. Termografické měření je navíc schopno zaznamenat mnohem rychleji teplotní změny než kontaktní měření.

Rozborem teplotního pole je pak možné posoudit stav zařízení. Termovizní kameru lze využít mimo jiné ke kvalitativnímu určování nepravidelností v obvodových pláštích budov. Tato metoda využívá infračervené části spektra a je založena na skutečnosti, že každá nepravidelnost v tepelně technických vlastnostech materiálu tvořícího obvodový plášť se projeví odchylkami v rozložení povrchové teploty na vnější stěně objektu. Rozložení teplot je na termogramu odlišeno barevně, popř. v šedé škále. Způsob lze zvolit dle potřeb snímaného objektu.

V podstatě se jedná o nepravé barvy. Smyslem je jasná a přehledná vizualizace rozložení povrchových teplot na objektu. Skutečné vyhodnocení ale tak jednoduché a jasné není. Je k němu nutná znalost stavební fyziky, ale i zákonitostí šíření infračerveného záření a emisivity jednotlivých materiálů. Zejména emisivita může značně ovlivnit vzhled termogramu a výrazné rozdíly v zobrazované teplotě.

Emisivita reálného tělesa je definována jako poměr radiačních energií emitovaných z povrchu daného tělesa a tělesa černého při stejné teplotě. Ačkoliv černé těleso je pouze teorie, v praxi neexistuje, povrchy mnohých těles jsou šedé, což znamená, že emisivita tělesa je téměř konstantní s vlnovou délkou.

Na výsledek může mít vliv i silný a nepravidelný vítr způsobující různé těžko definovatelné ochlazování jednotlivých stran budovy.

2.5.3 BEZKONTAKTNÍ MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ TERMOKAMERA [29],[30],[31]

Bezkontaktní měřicí zařízení termokamera (viz obr. 2.11) patří k nejprogresivnějším metodám měření teplotních polí. Jedná se o metodu zjišťování teplotních polí na povrchu materiálů pomocí měření intenzity infračerveného záření. Termovizní systém zaznamená tuto energii bezkontaktním měřicím systémem a převede ji na elektrické signály pomocí citlivého infračerveného detektoru. Výstupem je dvourozměrný barevný nebo monochromatický obraz tepelného pole.

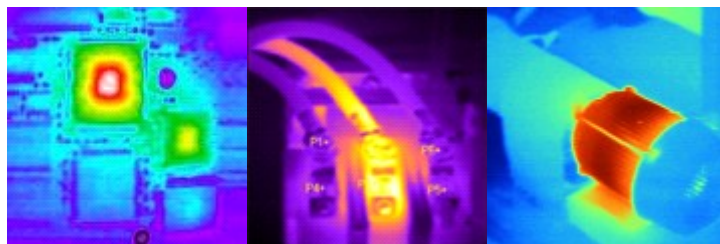


Termovizní systémy mají široké uplatnění ve stavebnictví, elektrotechnice, průmyslu, zemědělství, lékařství, atd.



Obr. 2.11: ThermaCAM™ E320

V dnešních kvalitních termokamerách se používají téměř výhradně IR senzory ve formě čipů - tzv. bolometry. Bolometry (z řeckého bole: paprsek) jsou senzory pro bezdotykové měření teploty (thermometers) pracující na principu pyrometrie, tzn. měření celkového vyzářeného tepelného výkonu prostřednictvím infračerveného záření. Tvoří tak alternativu k ostatním sensorům pro bezdotykové měření teploty, infratermočlánky, pyroelektrické senzory a fotonové snímače. Častěji se však bolometry vyskytují v podobě integrovaných obvodů obsahující uspořádání několika desítek, stovek nebo i tisíců bolometrů do matice, obecně označované jako mikrobolometry. Využívají se nejčastěji pro potřeby termovize, tzn. infračerveného snímání obrazu předmětů s následnou možností měření nebo detekce jejich teploty. Příklady obrázků získaných infračervenými kamerami používajícími mikrobolometry jsou znázorněny v obr. 2.12. Není zde použita standardní optika – sklo, ale speciální filtr propouštějící jenom IR záření.



Obr. 2.12: Příklady obrázků získané infračervenými kamerami používající mikrobolometry



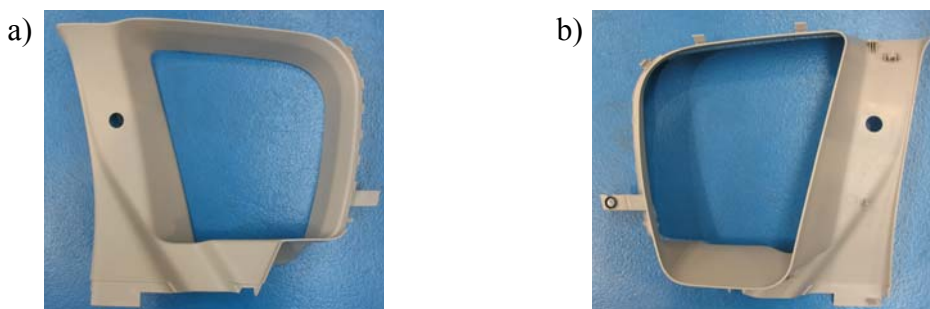
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část diplomové práce se zabývá sledováním rozměrových změn plastových dílů. Díly jsou vyrobeny pomocí technologie vstřikování. Pro experiment bylo vybráno obložení C a D sloupku, u kterých docházelo v závislosti na čase k deformaci hrany určené pro vzájemné svaření. To mělo za následek (při procesu svařování) nerovnoměrnost spáry v oblasti svaru, která se i po vzájemném svaření obou sloupků měnila v závislosti na čase. Vzhledem k tomu, že obložení C a D sloupku (levé i pravé strany vozu) je zrcadlově shodné a problémy jsou totožné, bylo vybráno pro experiment pouze obložení pravé strany vozu (dále jen C a D sloupku). Pro porovnání chování celého kompletu byl sledován také jejich svařenec, kde bylo cílem zjištění případných odchylek rozměrů spáry v závislosti na čase. Vzhledem k technickým a finančním možnostem byl tento experiment prováděn na systému ARAMIS v rámci katedry strojírenské technologie a firmy GAT. Pro prohloubení experimentu bylo také použito zařízení ThermoCAM™ E320.

Systém ARAMIS je výrobcem určen pro bezkontaktní měření reálných 3D deformací rychlých i pomalých dějů, např.: rázových zkoušek, rychlého deformačního zatěžování, deformací závislých na čase apod. Použit lze samozřejmě i pro statické zatěžování. ThermoCAM™ E320 pak byla zvolena jako sekundární zařízení pro objasnění změn rozměrů v jednotlivých částech dílů vzhledem k jejich průběhu chladnutí, resp. snímání teploty během měřeného procesu deformace.

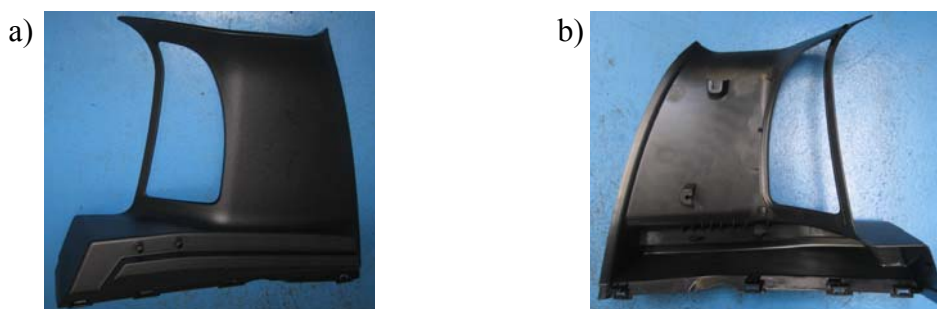
3.1 CHARAKTERISTIKA DÍLŮ

K experimentálnímu měření bylo použito 5 dílů C a D sloupku a 5 svařenců těchto CD sloupků (viz. obr. 3.1 až 3.3). Díly se vyrábějí z materiálu Exxtral CMU 101 s příměsí hnědého barviva u C sloupku a s příměsí černého barviva u D sloupku.



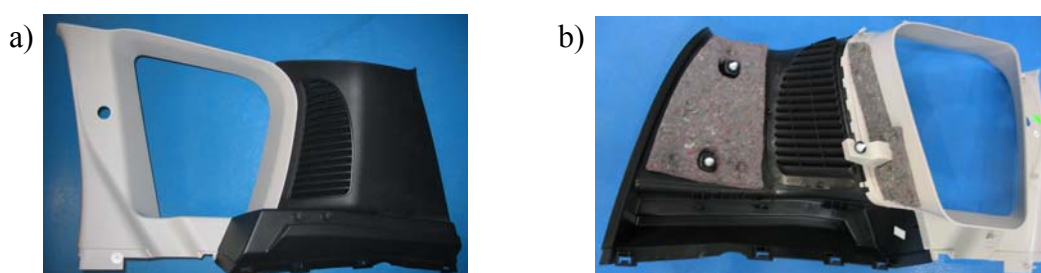
Obr. 3.1: C sloupek

a) z pohledové strany (lící), b) z nepohledové strany (rubové)



Obr. 3.2: D sloupek

a) z pohledové strany (lící), b) z nepohledové strany (rubové)



Obr. 3.3: Svařenec CD sloupku

a) z pohledové strany (lící), b) z nepohledové strany (rubové)

3.1.1 CHARAKTERISTIKA MATERIÁLU EXXTRAL CMU 101 [32], [33]

Tento plněný PP rázově houževnatý kopolymer Exxtral pro automobily nabízí firma ExxonMobil Chemical. Jedná se o kopolymer polypropylenu, který obsahuje jen 10% minerálních plniv, ačkoliv nabízí stejnou tuhost jako typy s 20 % minerálních plniv. Výsledkem je o 17 % vyšší houževnatost a o 7 % nižší hustota ($0,97 \text{ g/cm}^3$), ačkoliv odolnost proti poškrábání je nižší. Má velmi dobrou povrchovou úpravu, tvarovou stálost a UV stabilitu. Používá se převážně pro interiérové aplikace v automobilovém průmyslu, jako například dveřní výplně, námi použité obložení sloupků a jiné vnitřní vybavení automobilů.

Tab. 3.1: Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu Exxtral CMU 101 [32]

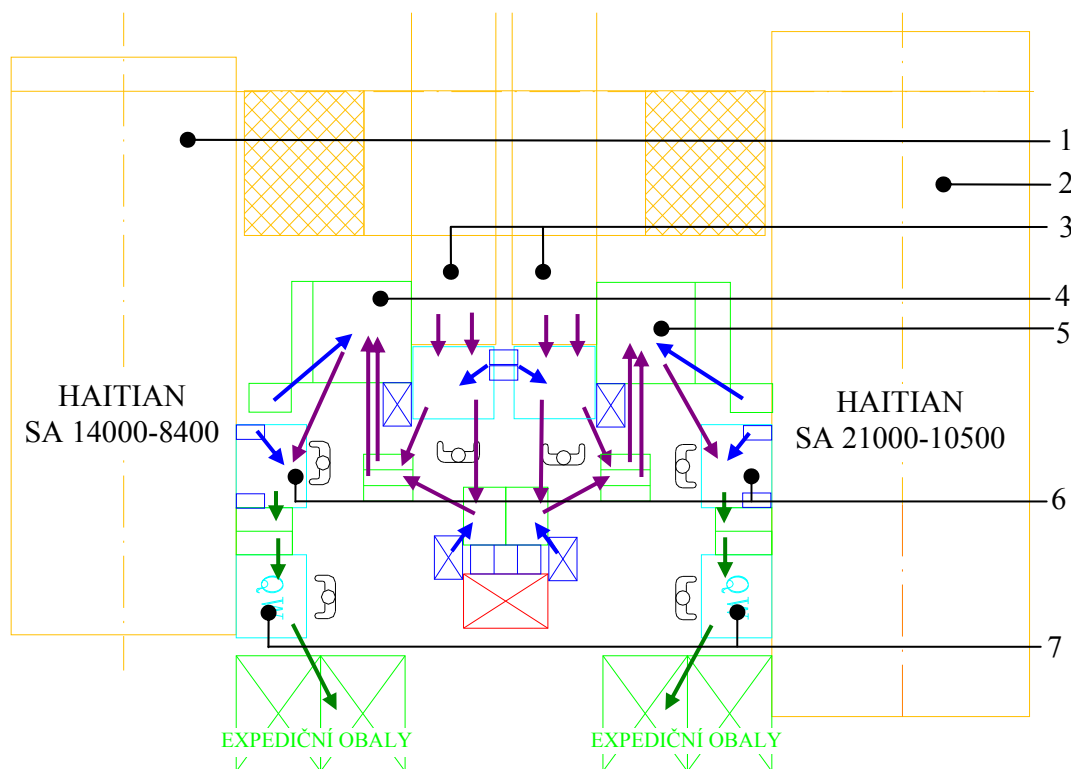
Vlastnost	Hodnota	Jednotka	Norma	
Hustota	+23°C	0,97	g/cm^3	ISO 1183
Objemový index toku taveniny	MVR 230/2,16	14	$\text{cm}^3/10\text{min}$	ISO 1133
Hmotnostní index toku taveniny	MFR 230/2,16	11	$\text{g}/10\text{min}$	ISO 1133
Napětí na mezi kluzu v tahu	50 mm/min	27	MPa	ISO 527-2
Napětí ve zlomu	50 mm/min	18	MPa	ISO 527-2
Prodloužení v mezi kluzu	50 mm/min	4	%	ISO 527-2
Modul pružnosti v tahu		1900	MPa	ISO 527-2
Vrubová houževnatost dle Charpy	+23°C	7C	kJ/m^2	ISO 179/1eA
Tvarová stálost	HDT A	58	°C	ISO 75



3.1.2 VSTŘIKOVÁNÍ DÍLŮ [34]

Výroba C a D sloupku probíhá na dvou vstřikovacích lisech značky Haitian. Na prvním vstřikovacím lise Haitian SA 14000/8400 je vstřikována levá a pravá strana C sloupku a na druhém lise Haitian SA 21000/10500 je vstřikována levá a pravá strana D sloupku, společně s příslušnou mřížkou. Schéma výrobní linky je znázorněno na obr. 3.4, technologické podmínky vstřikování pak v tab. 3.2.

Po vystříknutí levé i pravé strany C a D sloupku s mřížkou jsou díly odebírány manipulátorem z forem a přemísťovány na pásový dopravník, odkud následně pokračují k dalšímu zpracování. Manipulace s těmito díly zde trvá od samotného vystříknutí cca 2 minuty. Po tuto dobu zde díly volně chladnou.



Obr. 3.4: Schéma výrobní linky pro obložení CD sloupku [34]

- 1 – vstřikovací lis pro C sloupek, 2 – vstřikovací lis pro D sloupek,
3 – pásový dopravník, 4 – ultrazvukové svařovací zařízení CD sloupku levé strany vozu, 5 - ultrazvukové svařovací zařízení CD sloupku pravé strany vozu,
6 – předmontáž před operací sváření 7 – stůl pro dokončovací operace

→ Základní materiál → Polotovar → Výrobek



Tab. 3.2: Technologické podmínky vstřikování [34]

Nastavení teplot - komora [°C]							
				Zóna 1	230 ± 10	Zóna 5	220 ± 10
				Zóna 2	230 ± 10	Zóna 6	210 ± 10
				Zóna 3	230 ± 10	Zóna 7	200 ± 10
				Zóna 4	230 ± 10		
Nastavení teplot - horký vtok [°C]							
Zóna 1 - 15				230 ± 10			
Parametry vstřikování							
C sloupek				D sloupek			
Vstřik	Tlak [bar]	Rychlost [mm/s]		Vstřik	Tlak [bar]	Rychlost [mm/s]	
1	100 ± 30	30 ± 10		1	80 ± 30	30 ± 10	
2	----	----		2	80 ± 30	3 ± 3	
Dotlak	Tlak [bar]	Rychlost [mm/s]	Čas [s]	Dotlak	Tlak [bar]	Rychlost [mm/s]	Čas [s]
1	40 ± 30	90 ± 10	6 ± 2	1	40 ± 20	10 ± 10	3 ± 1
2	----	----	----	2	40 ± 20	20 ± 10	3 ± 1
Čas cyklu [s]		Čas vstřiku [s]	Polštář [mm]	Čas cyklu [s]		Čas vstřiku [s]	Polštář [mm]
70 ± 2		6 ± 1	9 ± 2	70 ± 2		12 ± 2	37 ± 2
Plastifikace							
C sloupek				D sloupek			
Dávkován	Tlak [bar]	Rychlost [mm/s]	Protitlak [bar]	Dávkován	Tlak [bar]	Rychlost [mm/s]	Protitlak [bar]
	100 ± 30	80 ± 10	6 ± 3		150 ± 20	100 ± 10	5 ± 3
Dekomprese (po plastifikaci)		Tlak [bar]	Rychlost [mm/s]	Dekomprese (po plastifikaci)		Tlak [bar]	Rychlost [mm/s]
		50 ± 20	20 ± 10			50 ± 20	20 ± 10
Chlazení a uzavírací síla nástroje							
C sloupek				D sloupek			
Teplota temperačního přístroje [°C]		45 ± 5		Teplota temperačního přístroje [°C]		55 ± 5	
Pevná strana		6+1 okruhů		Pevná strana		6+1 okruhů	
Pohyblivá strana		10 okruhů		Pohyblivá strana		8 okruhů	
Čas chlazení [s]		16 ± 2		Čas chlazení [s]		20 ± 2	
Uzavírací síla [tuny]		min. 1000		Uzavírací síla [tuny]		min. 1600	

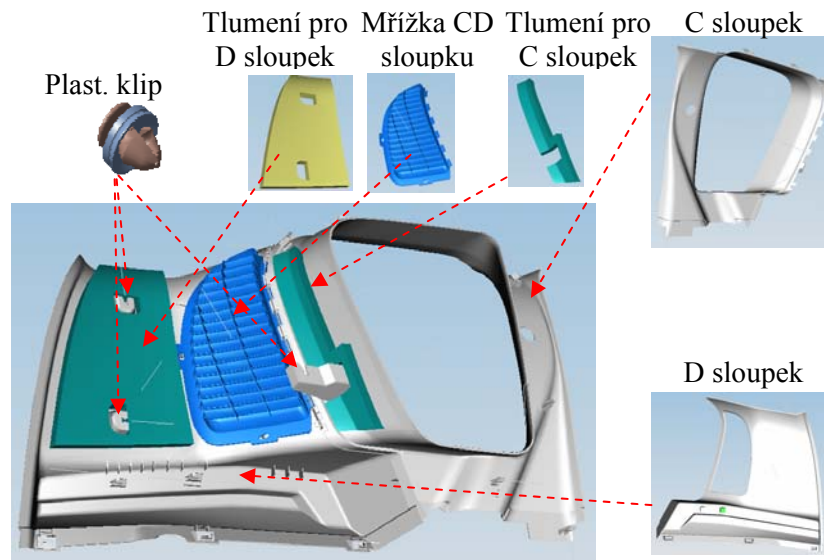
3.1.3 MONTÁŽ A ULTRAZVUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ DÍLŮ [34]

Po odebrání z pásového dopravníku se na D sloupek nasadí dva klipy, mřížka a tlumení. Následně se tato sestava založí do lůžka svařovacího zařízení. Na C sloupek se nalepí tlumení, nacvakne klip a sestava C sloupku se sesadí ve svařovacím zařízení s již založenou sestavou D sloupku (viz obr. 3.5 a 3.6). Po založení všech komponentů následuje spuštění svařovacího cyklu.

Ultrazvukové svařování zde probíhá automaticky v jednoúčelovém zařízení při stanovených technologických podmínkách (viz. tab. 3.3). Proces je zde rozdělen na dva kroky. V prvním kroku, kdy je lůžko s díly v zadní poloze, dojde k přivaření mřížky k D sloupku. Následně lůžko poodjede do druhé polohy, kde v dalším kroku dojde k přivaření tlumení na D sloupek a ke svaření vzájemné polohy C a D sloupku



ve svarových bodech znázorněných na obr. 3.7. Po ukončení procesu ultrazvukového svařování obsluha vizuálně zkontroluje provedené operace, nalepí etikety a hotový výrobek uloží do expedičního obalu. Výrobek „svařenec CD sloupku“ je takto finálně dokončen do cca 3,5 minut od samotného vystříknutí dílů.



Obr. 3.5: Komponenty svařence CD sloupku [34]

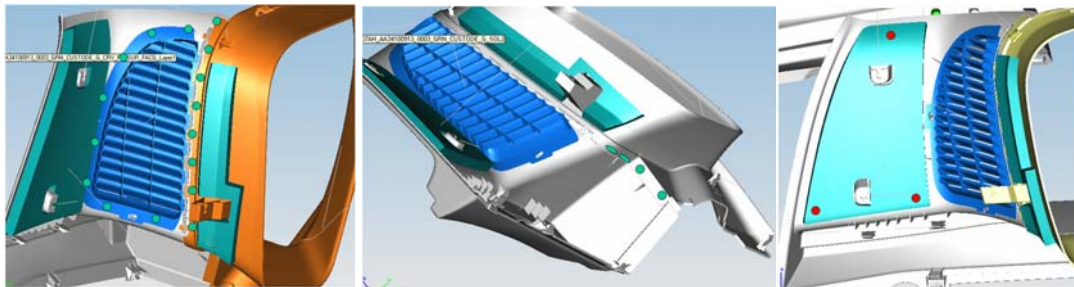


Obr. 3.6: Ultrazvukové svařovací zařízení se založenými komponenty CD sloupku [34]



Tab. 3.3: Technologické podmínky ultrazvukového svařování [34]

poloha sonotrody před svařením	plast	3 - 13	mm
	tlumení	0,3 - 2	mm
svařovací čas sonotrody		0,2 - 2	s
svařovací tlak		1,8 - 3	bar
poloha sonotrody po svaření	plast	8 - 13	mm
	tlumení	17 - 21	mm
max.chladicí čas		0 - 1	s
čas cyklu		30	s



Obr. 3.7: Svařovací body [34]

● - svařové body na dílech ● - svařové body v oblasti tlumení

3.2 METODA HODNOCENÍ ZMĚN ROZMĚRŮ

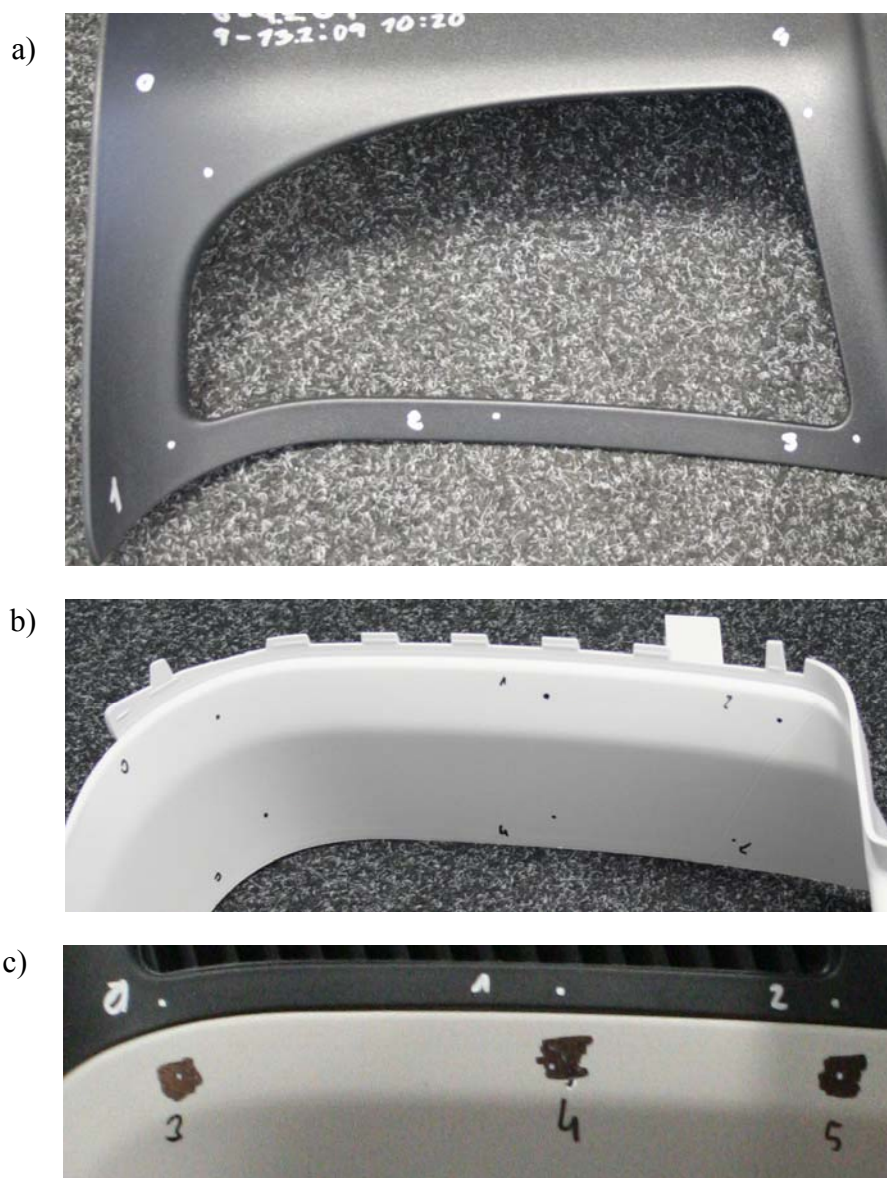
BEZKONTAKTNÍM MĚŘÍCÍM SYSTÉMEM ARAMIS

Pro hodnocení rozměrových změn týkajících se prostorové deformace plastu bylo nutné stanovit určitý postup. Vzhledem k tomu, že v době vypracování experimentu nebylo nikde stanoveno (normy, předpisy apod.) jakým postupem provádět měření, přistoupilo se k metodě vyhovující pro vzorky C a D sloupku a zároveň objektivní pro měření.

V normálním případě (např. pro kovy) je postup měření následující. Na měřený vzorek se nanese antireflexní vrstva (barva), na kterou se pak nanáší reflexní body, které jsou pro systém Aramis výchozí a snímají se. To vše lze udělat v ideálním případě. Pro experiment v této diplomové práci to nebylo bohužel možné aplikovat z důvodu vysoké teploty snímaného dílu. Problémy byly v tom, že barva po nanesení nedržela a stékala ze vzorku. Další možností bylo nalepení bodů na měřený vzorek, ale opět vzhledem k vysoké teplotě vzorku body nedržely na své pozici. Následně se přistoupilo k vytvoření bodů pomocí nesmyvatelného fixu za předpokladu, že barva musela být stejně kontrastní jako původní lepené body dodávané výrobcem zařízení.



Dalším omezením byly rozměry měřených dílů, které přesahovaly oblast, kterou byl systém Aramis schopen snímat. Proto bylo tedy přistoupeno k tomu, že snímány budou jen hrany dílů určené k jejich vzájemnému svaření. Na této hraně pak byly v místech předpokládaných největších deformací vytvořeny (nadefinovány) zmiňované body nesmývatelným fixem (viz obr. 3.8). Body byly na vzorku vyznačovány podle prvního vzorku, který sloužil jako etalon. Tento postup označování vzorků bylo nutné dodržet z důvodu výsledné objektivnosti měření.



Obr. 3.8: Nadefinované body v místech předpokládaných největších deformací
a) D sloupek, b) C sloupek, c) svařenec CD sloupku



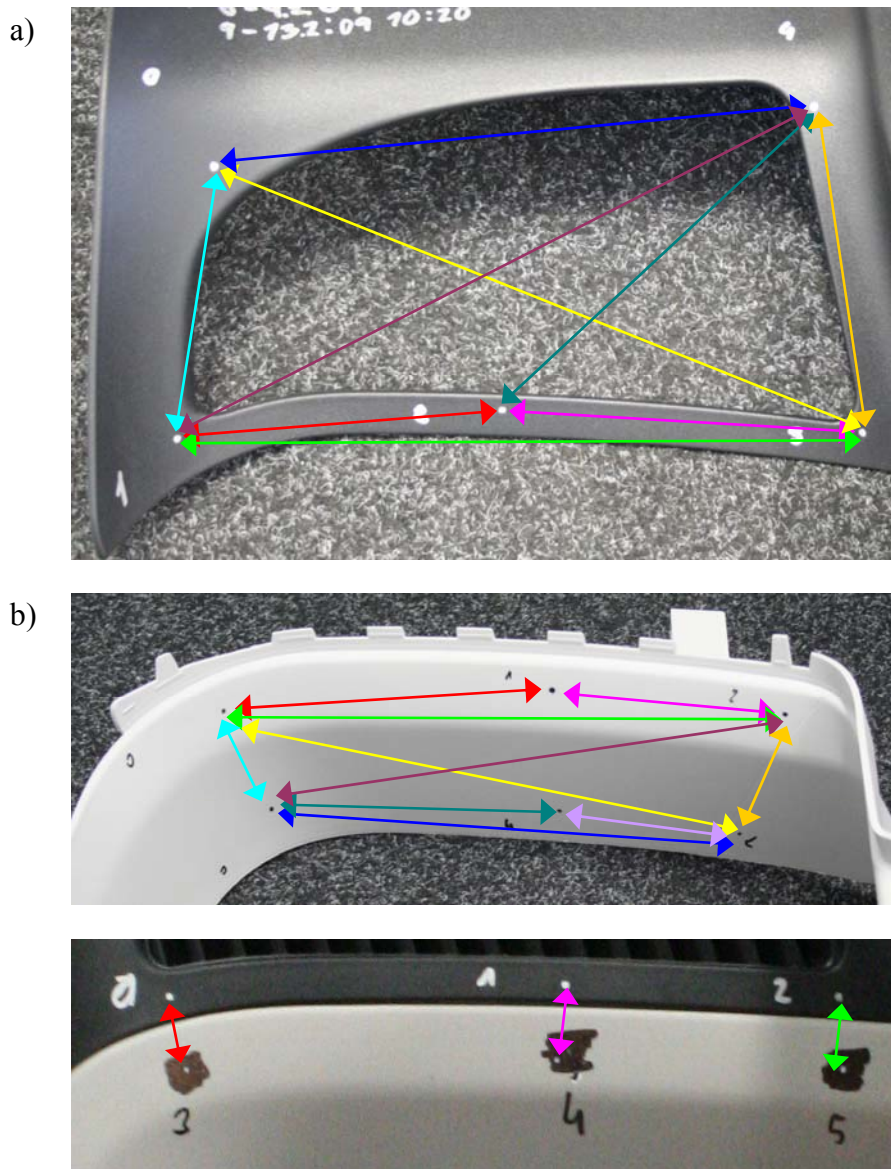
Před měřením se musela provést kalibrace snímacích kamer zařízení, čímž byl získán definovaný zkalibrovaný prostor, ve kterém se mohlo provádět měření (viz tab. 3.4). Kalibrace vždy probíhala s určitou výslednou přesností, která byla dle výrobcem definované výchozí konfigurace 0,003 mm a nakalibrovaným objemem 350/280/280 (výška / šířka / hloubka). Následně byl označený vzorek vložen do měřené oblasti (viz obr. 3.9), kde poté probíhalo vlastní měření (snímání) vzdáleností jednotlivých bodů. Tyto vzdálenosti jsou znázorněny na obr. 3.10.

Tab. 3.4: Výchozí konfigurace zařízení [35]

objektiv [mm]	23
měřený obsah [mm x mm]	300 x 220
vzájemná vzdálenost kamer [mm]	470
min. délka supportu [mm]	600
vzdálenost kamer od měřeného předmětu [mm]	1040
úhel mezi kamerami [°]	25
typ kalibrační desky	CP20 350x280



Obr. 3.9: Sestava měřícího zařízení



Obr. 3.10: Měřené vzdálenosti bodů na dílech
a) D sloupek, b) C sloupek, c) svařenec CD sloupku

Vzhledem k možnostem (konstrukčnímu uspořádání) celé výrobní linky a rychlosti nanášení nadefinovaných bodů bylo možné snímat díly C a D sloupků po cca 4 minutách od samotného vystříknutí. Svařence CD sloupku bylo možné snímat po cca 5 minutách (z důvodu předmontáže dílů a pracovního cyklu ultrazvukového svařovacího zařízení). Z důvodu pomalé změny rozměrů měřených vzorků byla zvolena frekvence snímání 1 sním./sec. Díly byly od nanesení zvolených bodů snímány prvních pět minut a následně pak změřeny po půl hodině, hodině, jednom dni, čtyřech dnech a osmi dnech. Měření v rámci prvního dne byla prováděna ve firmě GAT. Zbylá měření již probíhala na katedře strojírenské technologie, kam bylo



zařízení společně s vyrobenými díly převezeno. Tím bylo dosaženo změření průběhu rozměrových změn oproti počátečním hodnotám. Získaná data nebylo bohužel možné porovnávat s konstrukčními CAD daty, jelikož vybavení systému Aramis zapůjčeného z katedry to neumožňovalo. Získaná data s rozměrovými změnami byla tedy porovnáována s daty získanými při prvním nasnímání dílu (počátečními hodnotami) a vyhodnocována dle vztahu (3.1).

$$\varepsilon = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.1)$$

kde je:

ε ... vyhodnocovaná hodnota deformace (změny rozměrů) [%]

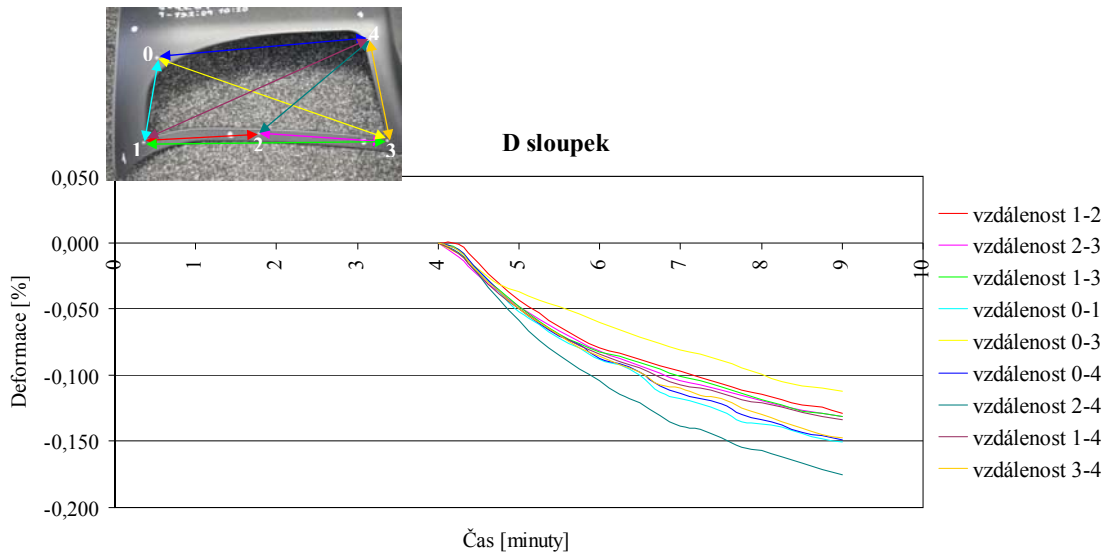
l_K ... konečná naměřená vzdálenost bodů [mm]

l_0 ... počáteční naměřená vzdálenost bodů [mm].

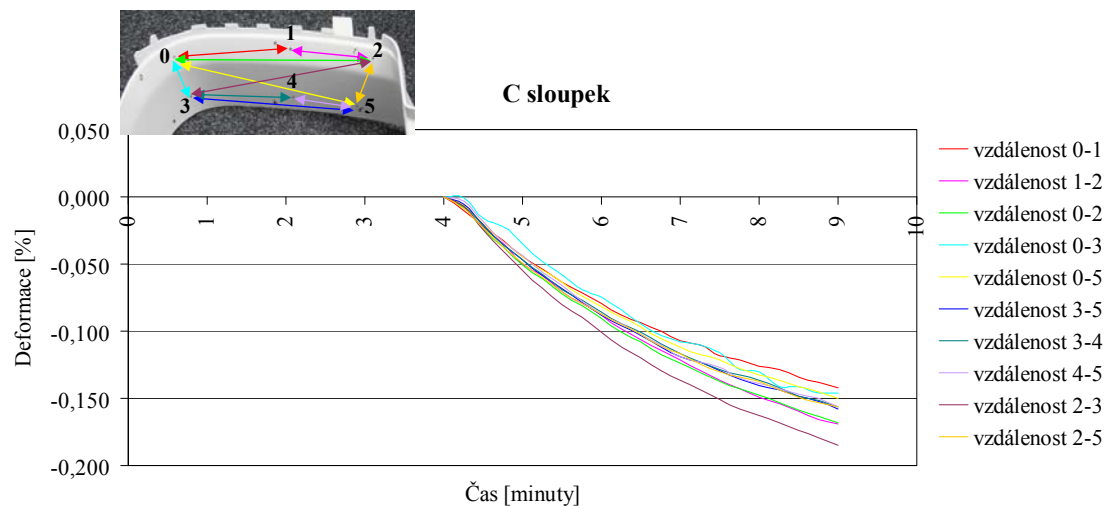
3.2.1 PRŮBĚH MĚŘENÍ PO DOBU PRVNÍCH PĚTI MINUT

Díly byly nepřetržitě snímány po dobu pěti minut od označení a vložení do měřené oblasti z důvodu předpokladu nejvýraznějšího průběhu změn během chladnutí. Během měření bylo zjištěno, že díly není možné nepřetržitě snímat déle než pět minut z důvodu přisvětlování reflektorem o výkonu 400 W (viz. obr. 3.9), který díly přehříval. Ty by pak chladly ještě pomaleji, což neodpovídalo reálným podmínkám, ve kterých jsou díly zpracovávány. Souběžně s tímto snímacím systémem Aramis bylo použito zařízení ThermoCAM™ E320 pro objasnění teplotních vlivů na změnu rozměrů v jednotlivých částech dílu. Snímání teploty probíhalo během celého sledovaného procesu deformace. Emisivita na tomto zařízení byla nastavena dle tabulky uvedené v uživatelské příručce na hodnotu 0,94.

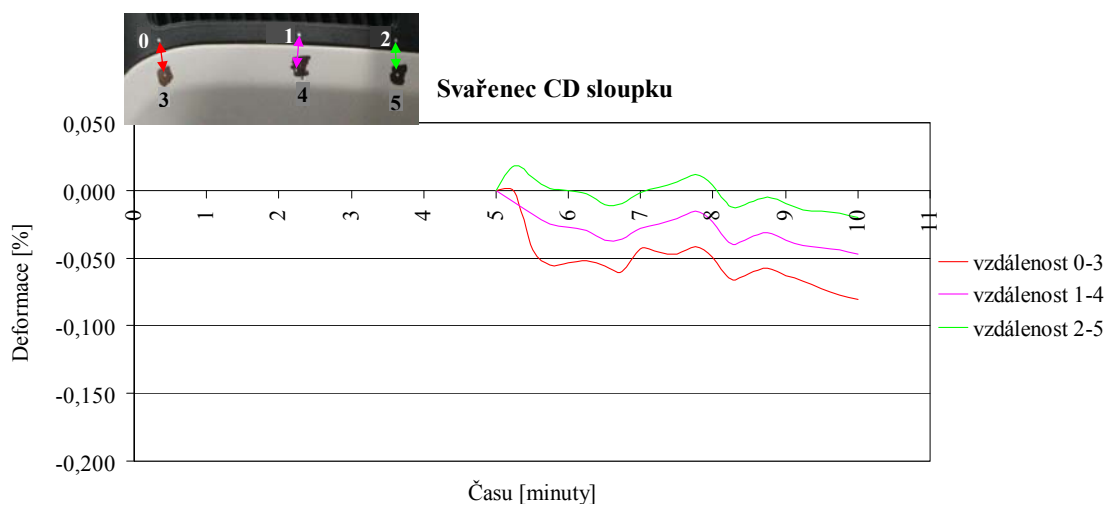
Průběhy deformací jednotlivých dílů jsou graficky zpracovány na obr. 3.11 - 3.13. Na obr. 3.14 - 3.16 je znázorněn průběh teploty na sledovaném díle po dobu prvních pěti minut, kdy byl snímán Aramisem. Pro vytvoření představy o průběhu chladnutí dílů během delšího časového úseku je zde zobrazen teplotní snímek po patnácti minutách.



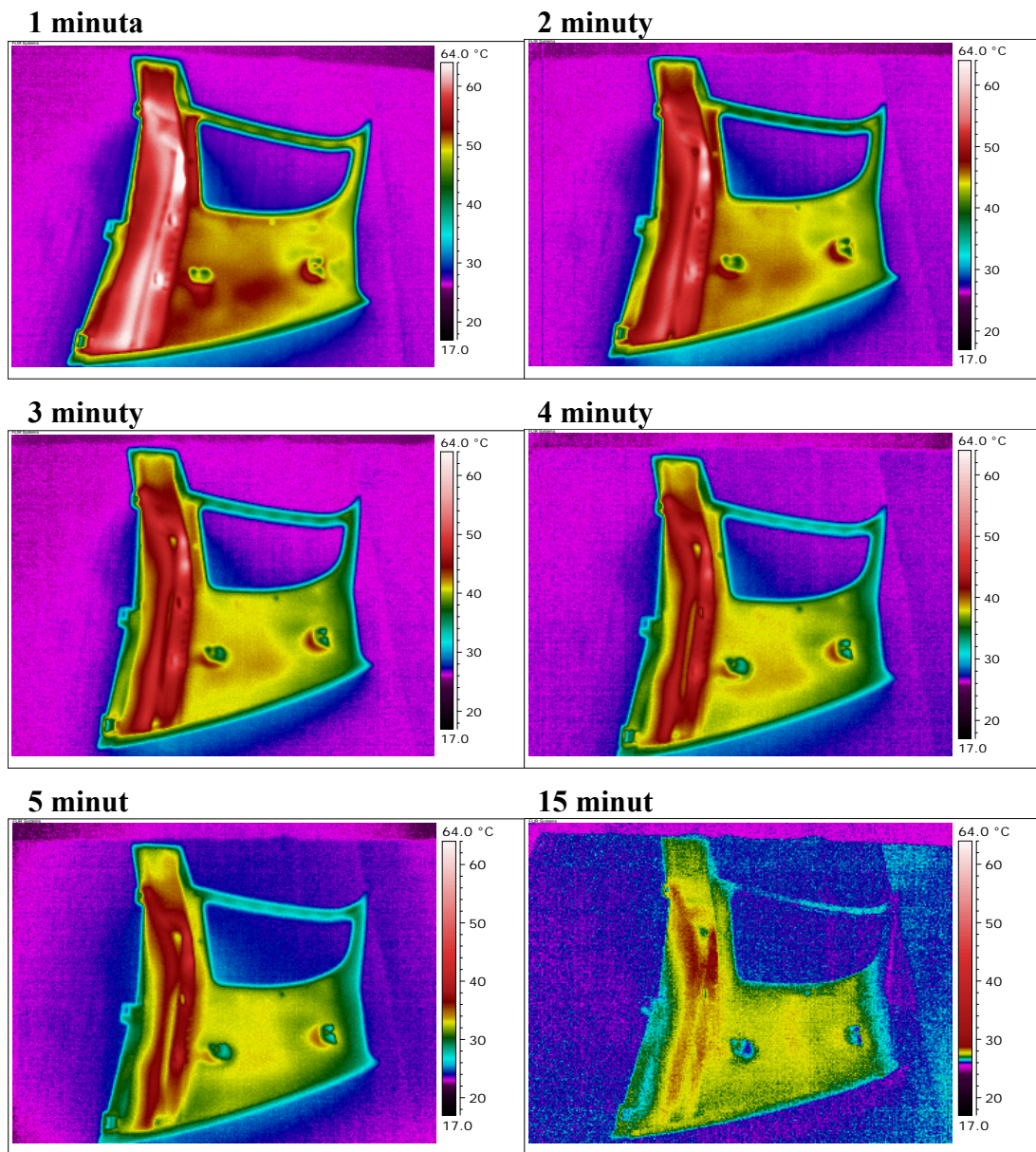
Obr. 3.11: Průběh deformace D sloupku v závislosti na čase - doba snímání prvních pět minut



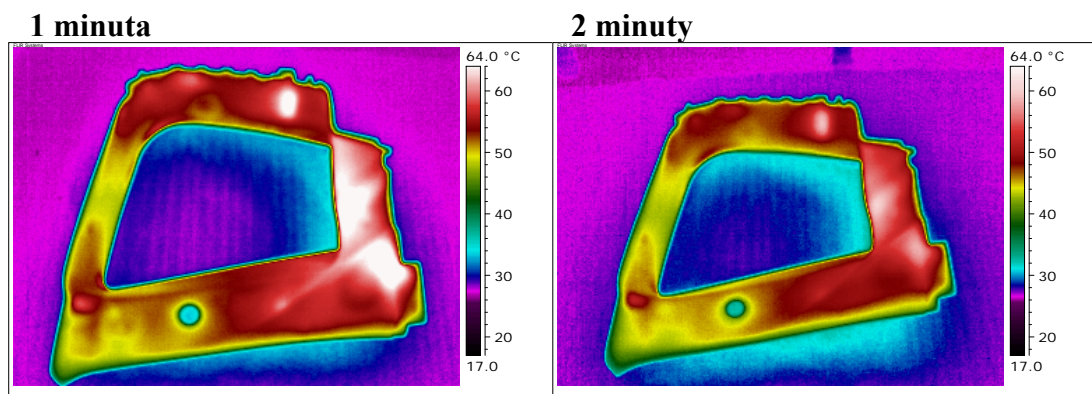
Obr. 3.12: Průběh deformace C sloupku v závislosti na čase - doba snímání prvních pět minut



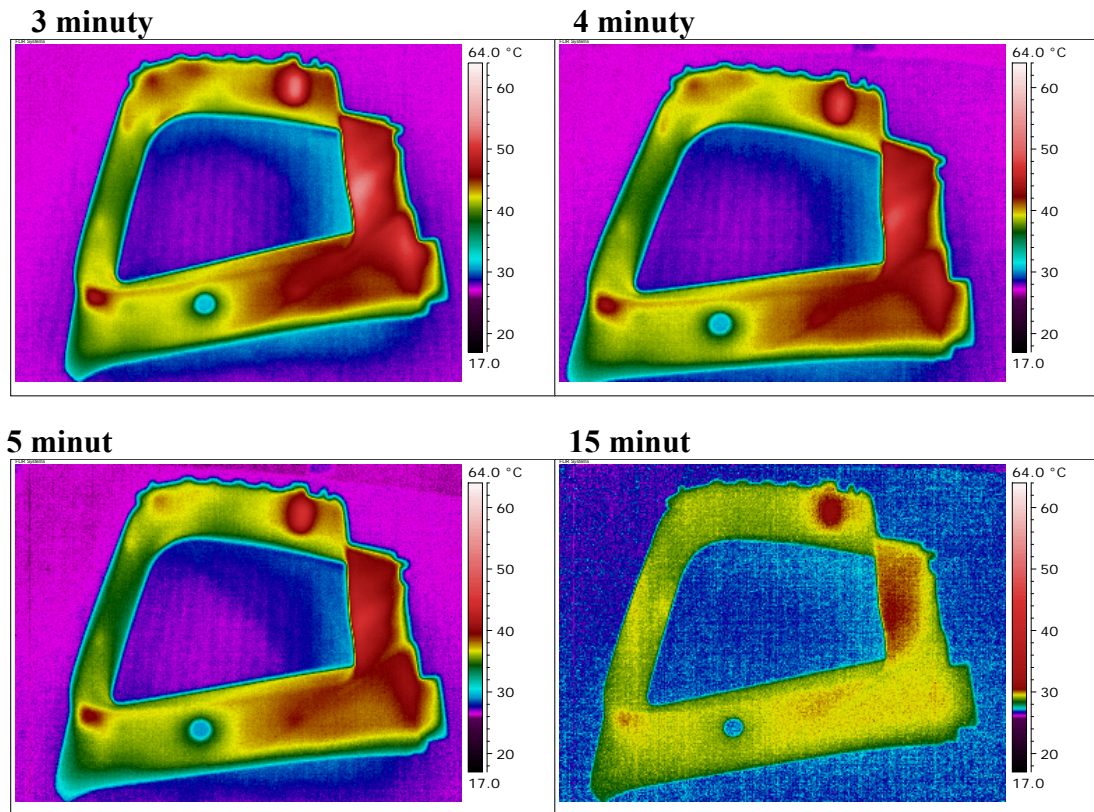
Obr. 3.13: Průběh deformace svařence CD sloupku v závislosti na čase - doba snímání prvních pět minut



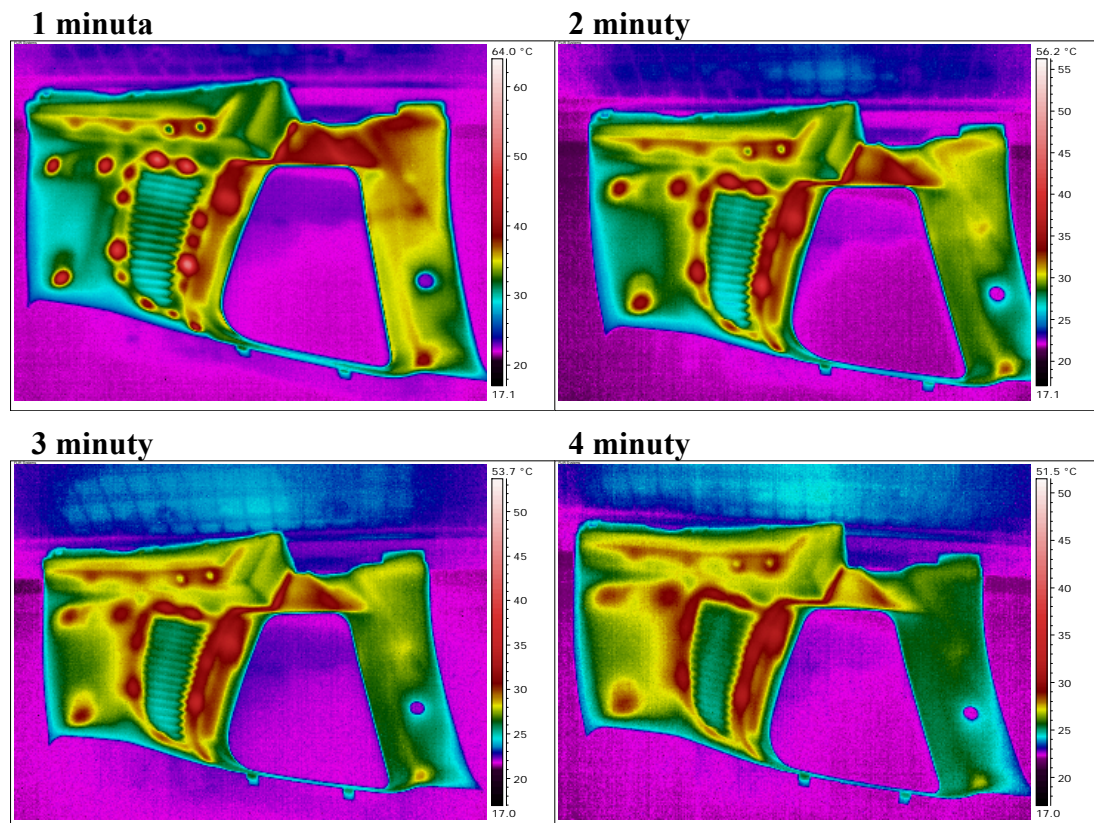
Obr. 3.14: Rozložení teplot D sloupku v závislosti na čase



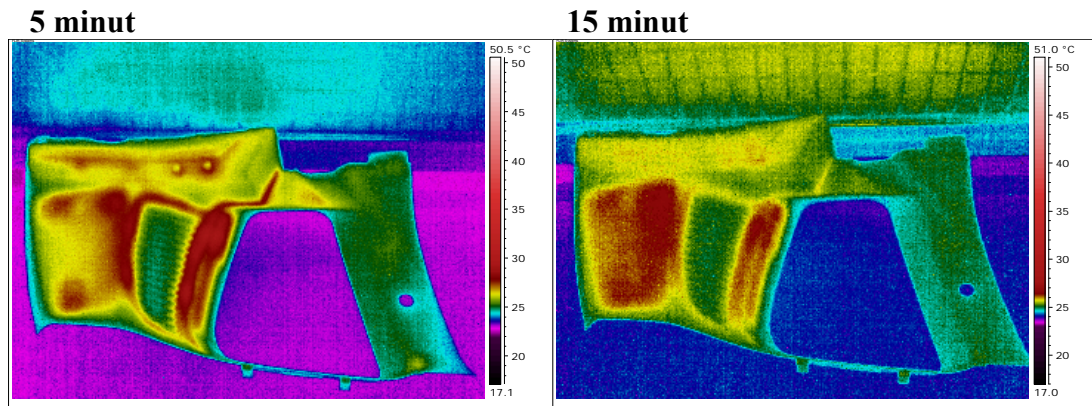
Obr. 3.15: Rozložení teplot C sloupku v závislosti na čase (část 1)



Obr. 3.15: Rozložení teplot C sloupku v závislosti na čase (část 2)



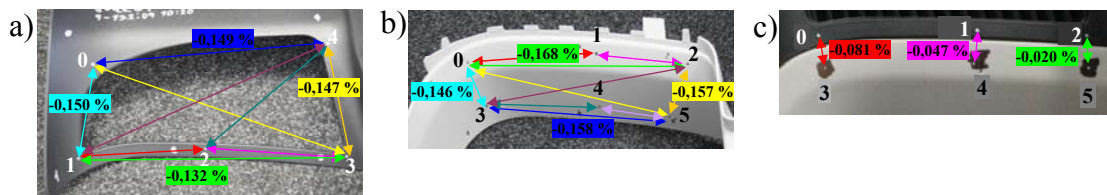
Obr. 3.16: Rozložení teplot svařence CD sloupku v závislosti na čase (část 1)



Obr. 3.16: Rozložení teplot svařence CD sloupku v závislosti na čase (část 2)

3.2.1.1 Hodnocení dosažených výsledků a jejich diskuze

Ze získaných hodnot je patrný trend smrštění, který můžeme pozorovat mezi všemi sledovanými bodovými vzdálenostmi. Zdá se, že smrštění má průběh s nepatrnou dávkou linearitu. Lze z toho usuzovat, že během prvních pěti minut se hodnota smrštění může zvětšovat úměrně s časem. Na obr. 3.17 jsou znázorněny výsledné deformace dílů po prvních pěti minutách snímání.



Obr. 3.17: Výsledné deformace dílů po prvních pěti minutách snímání

a) D sloupek, b) C sloupek, c) svařenec CD sloupku

Na obr. 3.11 jsou vyneseny hodnoty smrštění dosaženého během prvních pěti minut. Nalézáme zde patrný rozestup křivek v oblasti posledních 2,5 minut, výjimku zde tvoří vzdálenosti 0-3 a 2-4, kde jejich rozdílný průběh začíná hned z kraje měření. U vzdálenosti 0-3 zde dochází k mnohem menšímu smrštění ($-0,112 \pm 0,041 \%$) oproti ostatním vzdálenostem a u vzdálenosti 2-4 to platí naopak ($-0,175 \pm 0,035 \%$). Z toho plyne, že už během prvních pěti minut průběhu smrštění se projevuje malá torzní tuhost dílu. Můžeme se domnívat, že tento efekt je způsoben celkovým tvarem dílu a jeho konstrukcí. Velký podíl na tom má zřejmě otvor pro vložení mřížky, která je s tímto dílem spojena až v následující operaci. Podíváme-li se na příložené snímky znázorňující distribuci teplot v materiálu D sloupku, je vidět,



že nejvyšší teplota se drží v oblasti s nejvyšší masou materiálu a naopak. Rozložení teplot v tomto případě je předvídatelné a dá se říci, že odpovídá struktuře a objemu materiálu v daném místě.

V případě C sloupku znázorněném v obr. 3.12 může být průběh křivek na první pohled relativně totožný s průběhem křivek D sloupku. Nicméně zde vzorek vykazuje nepatrné odlišnosti. Rozdíl spočívá v tom, že rozptyl křivek pozorovatelný v obr. 3.12 je zde nepatrně menší. Tento odlišný výsledek spočívá především v rozdílné konstrukci dílů a odlišné volbě bodů, které zde sledujeme. Pozorovaný rozdíl vzdálenosti 2-3, vykazující nejvyšší hodnotu smrštění ($-0,185 \pm 0,039 \%$), se nachází v úhlopříčném sledovaném směru, kde je možné se domnívat, že působí taktéž velké smršťovací síly. Podíváme-li se na průběh chladnutí a distribuci teplot v díle, je patrné, že v místě umístění sledovaného bodu se nachází domek pro klip. Předpokládáme, že právě tento prvek má na průběh smrštění znatelný vliv. Z čehož plyne, že schopnost dílu držet si v tomto místě (v porovnání s okolím) relativně vysokou teplotu je nežádoucí. Vysvětlením vyššího úhlopříčného smrštění může tedy být předpoklad, že díl si v místě vysoké teploty stále drží tvar, kdežto v jiných částech se díl smršťuje nezávisle.

Průběh smrštění svařence CD sloupku, uvedeném v grafu 3.13, je možné vysvětlit objemem materiálu nacházejícího se v místech sledovaných bodů. Zelená křivka reprezentuje vzdálenost 2-5, kde ukazuje, že v tomto místě nedocházelo téměř k žádné deformaci ($-0,020 \pm 0,002 \%$), což by i odpovídalo objemu materiálu v daném místě a z toho plynoucí celkové tuhosti dílu ve sledované oblasti. Vzdálenost 1-4 může vypovídat o rozevírací tendenci svařence ($-0,047 \pm 0,003 \%$) od vzdálenosti 2-5. Podobné chování vykazuje i vzdálenost 0-3, kde trend smrštění a tedy i snaha svařence se rozevírat, je nejvyšší ($-0,081 \pm 0,004 \%$). Důvodem tohoto trendu je pravděpodobně méně materiálu v těchto místech, tudíž zde svařenec snáze podlehne nepříznivým vlivům oblasti s body 2-5. Podle teplotních snímků svařence CD sloupku se tato teorie dá potvrdit.

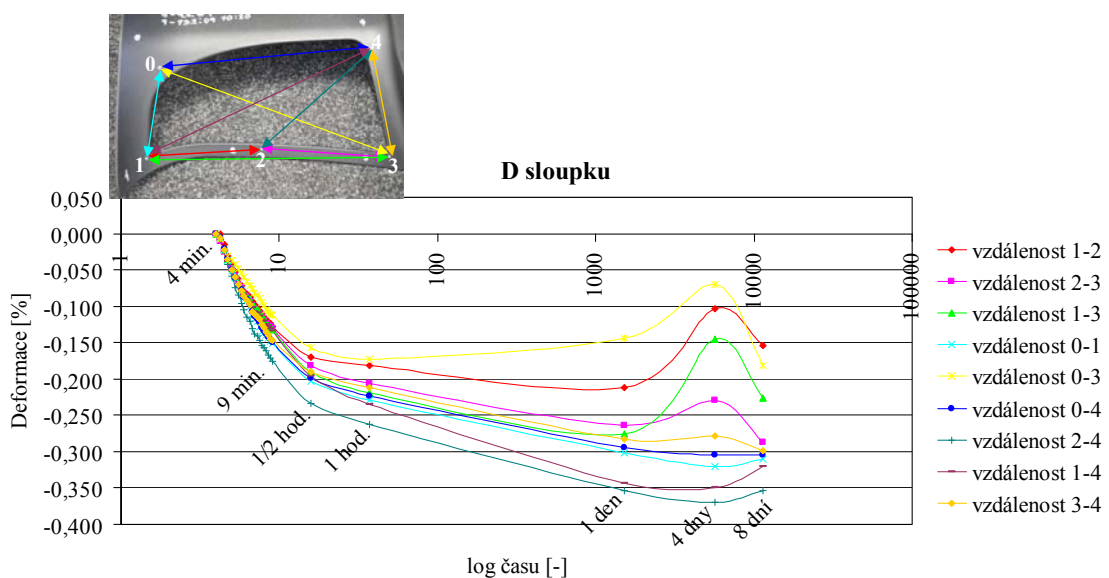
Celkově lze konstatovat, že sloupek C a D má po dobu prvních pěti minut relativně velmi shodný průběh smrštění. Specificky se pak projevuje chování svařence CD sloupku, vykazující zcela odlišný průběh. Minimální a maximální deformace dílů po prvních pěti minutách snímání jsou zobrazeny v tab. 3.5.

Tab. 3.5: Minimální a maximální deformace dílů po prvních pěti minutách snímání

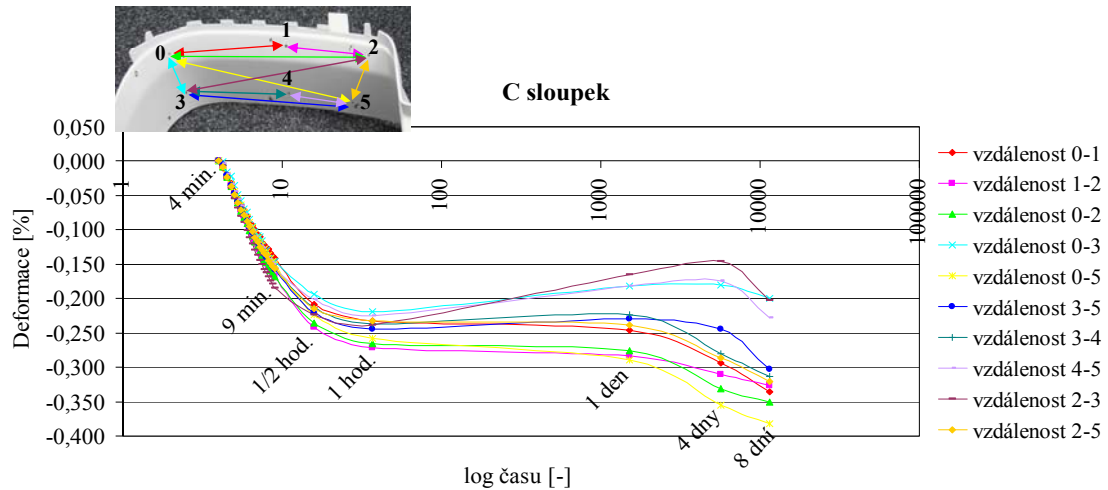
Díl \ Deformace	minimální deformace [%] / vzdálenost bodů	maximální deformace [%] / vzdálenost bodů
D sloupek	-0,112 ± 0,041 / 0-3	-0,175 ± 0,035 / 2-4
C sloupek	-0,142 ± 0,013 / 0-1	-0,185 ± 0,039 / 2-3
svařenec CD sloupku	-0,020 ± 0,002 / 2-5	-0,081 ± 0,004 / 0-3

3.2.2 PRŮBĚH MĚŘENÍ PO DOBU OSMI DNÍ

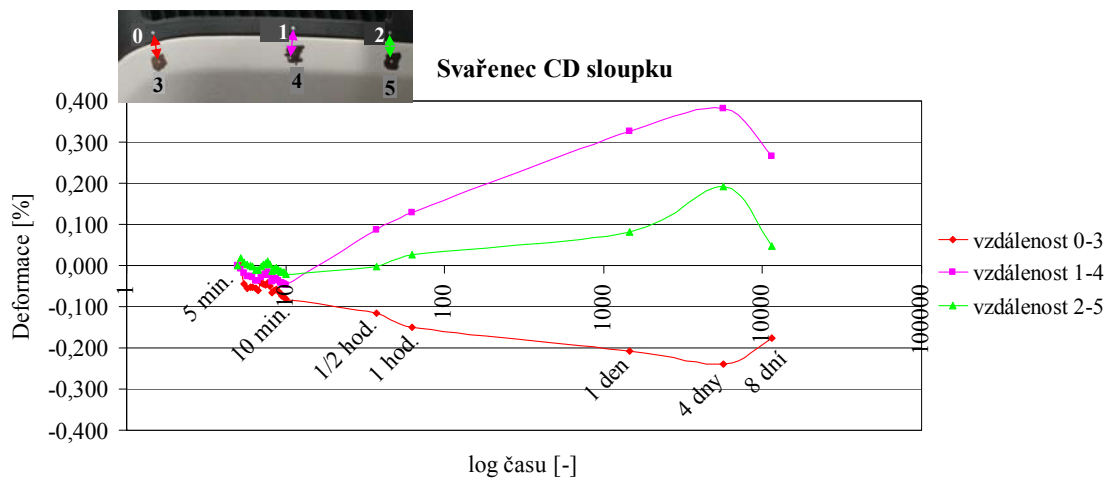
Pro zjištění chování materiálu po dobu kdy se balí, přepravuje, případně skladuje, než dojde k jeho montáži, bylo měření provedeno i v dalších časových intervalech. Proces, který zde nastává, můžeme již pojmenovat i deformační, neboť se dá říci, že do prvních 24 hodin od vyrobení je proces probíhající v materiálu nazýván smrštěním. Měření zde bylo prováděno za účelem simulace reálných dějů probíhajících při přepravě a reálných skladovacích podmínek a za účelem odhalit co možná nejvíce probíhajících dějů. Průběh chování dílů v dalších časových intervalech je znázorněn na obr. 3.18 – 3.20. Z důvodu velkého časového rozpětí je pro přehlednost časová osa uvedena v logaritmickém vyjádření.



Obr. 3.18: Průběh deformace D sloupku v závislosti na čase - doba snímání osm dní



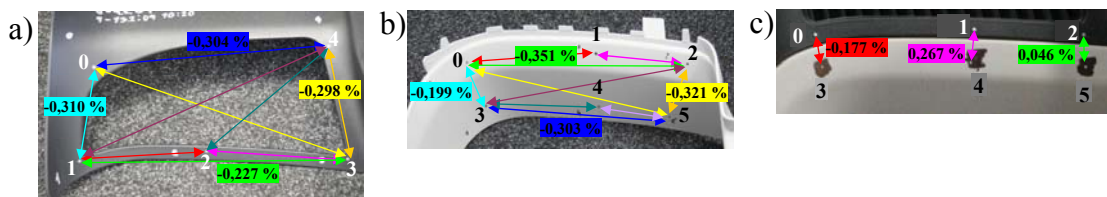
Obr. 3.19: Průběh deformace C sloupku v závislosti na čase - doba snímání osm dní



Obr. 3.20: Průběh deformace svařence CD sloupku v závislosti na čase - doba snímání osm dní

3.2.2.1 Hodnocení dosažených výsledků a jejich diskuze

Na obr. 3.21 jsou znázorněny výsledné deformace dílů po osmi dnech snímání.



Obr. 3.21: Výsledné deformace dílů po osmi dnech snímání
a) D sloupek, b) C sloupek, c) svařenec CD sloupku



Z obr. 3.18 je stále patrný trend, kdy se díl stále více smršťuje, ale nastává zde odchylka od původního průběhu popisovaného v kap. 3.2.1.1. Rozdíl spočívá v tom, že materiál již nemá tak příkrou křivku smrštění a prohlubuje se i rozdíl průběhu mezi vzdálenostmi jednotlivých bodů. Tyto výsledky, týkající se průběhu do jednoho dne (24 hodin) od vyjmutí z formy, je možné si vysvětlit konstrukcí dílu, kde se opět projevují slabší a silnější místa v materiálu. V případě následujícího průběhu, tedy již projevu deformačního cyklu na výrobku, je u některých sledovaných vzdáleností patrná řekněme tzv. polovina sinusové výchylky. Vzniklý jev je možné přisuzovat simulovaným reálným podmínkám zacházení, tedy uložení v balení, místě skladování a zacházení při transportu.

Chování dílu C sloupku, znázorněném v obr. 3.19, popisuje nepatrně odlišný trend od chování D sloupku. Křivky průběhu do 24 hodin mají více horizontální charakter následného průběhu smrštění a vzdálenost 2-3 ukazuje částečné zpětné narovnání výrobku. Lze usuzovat, že průběh horizontálního charakteru je zde způsoben taktéž konstrukcí dílu, kdy nepatrná hrana s horními třemi body může působit jako výztuž ve sledované ploše výrobku. Pokud se ale zaměříme na křížovou vzdálenost, tak zjistíme, že se zde opět projevuje jistá torzní houževnatost, nebo-li výrobek má větší nestabilitu právě do tohoto směru. Lze to přisuzovat domku pro klip, umístěnému v pravé horní sledované oblasti, kdy domek zřejmě působí jako podpůrná část oblasti.

U svařence CD sloupku je vidět úplně odlišný následný průběh křivky, než tomu bylo po dobu prvních pěti minut. Křivky 1-4 ($0,267 \pm 0,004$ %) a 2-5 ($0,046 \pm 0,005$ %) zde vykazují oddálení bodů a vzdálenost 0-3 ($-0,177 \pm 0,006$ %) naopak přiblížení pozorovaných bodů. Jev si je možné vysvětlit tvarem dílů v oblasti spáry a umístěním svařovacích bodů. Podrobným prostudováním je možno nalézt teorii, kdy vzdálenosti 1-4 a 2-5 se oddalují v závislosti na možném křížení ploch, na kterých jsou body umístěny. To může vznikat svařením dílů, čímž dojde k omezení jejich samotného pohybu a vzniká celek s pnutím projevujícím se právě na obr. 3.20. Naopak vzdálenost 0-3, která díky menšímu počtu svarových bodů a faktu, že se nachází v rádiu, těmto procesům podlehne a vykazuje vzájemné přiblížení. Navíc tomu může pomáhat fakt, kdy svarový bod je při pohledu na díl umístěn cca 2 cm vpravo od sledované vzdálenosti. Lze se domnívat, že vzhledem k tomuto umístění svarového bodu, jako posledního na pravé straně, může dojít okolo něho k jistému



nepatrnému rozevření spáry. Deformace u svařence je ovlivněná také přítomností mřížky (na rozdíl od volných měřených dílů). To však představuje realitu, kdy vystříknuté díly na pásovém dopravníku volně chladnou (bez zabudované mřížky) a po svaření už mřížka ovlivňuje D sloupek a tím následně i celý svařenec CD sloupku.

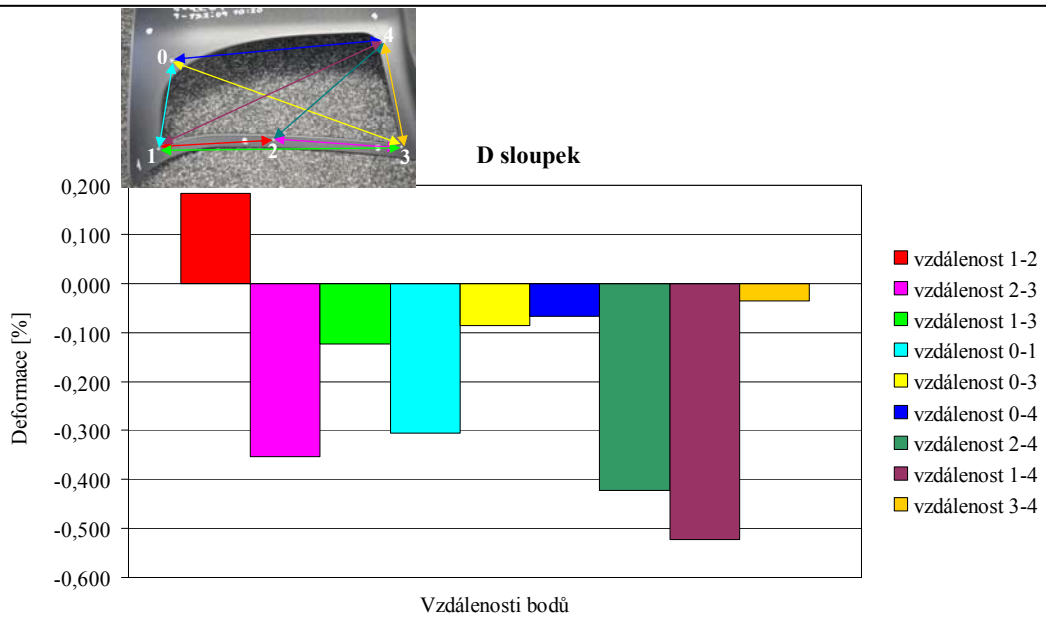
Skokový efekt všech křivek v poslední části průběhu je možné opět přisuzovat simulovanému reálnému zacházení, kdy díl je položen na jedné straně v transportním balení a má na něho vliv i okolní teplota. Další možnost pro vysvětlení skokového efektu může být použita metoda měření, kdy zařízení mezi jednotlivými měřeními bylo vždy nově sestaveno a zkalibrováno. Při těchto úkonech mohlo dojít k zanesení určitých nepřesností do výsledků měření. Minimální a maximální deformace dílů po osmi dnech snímání jsou zobrazeny v tab. 3.6.

Tab. 3.6: Minimální a maximální deformace dílů po osmi dnech snímání

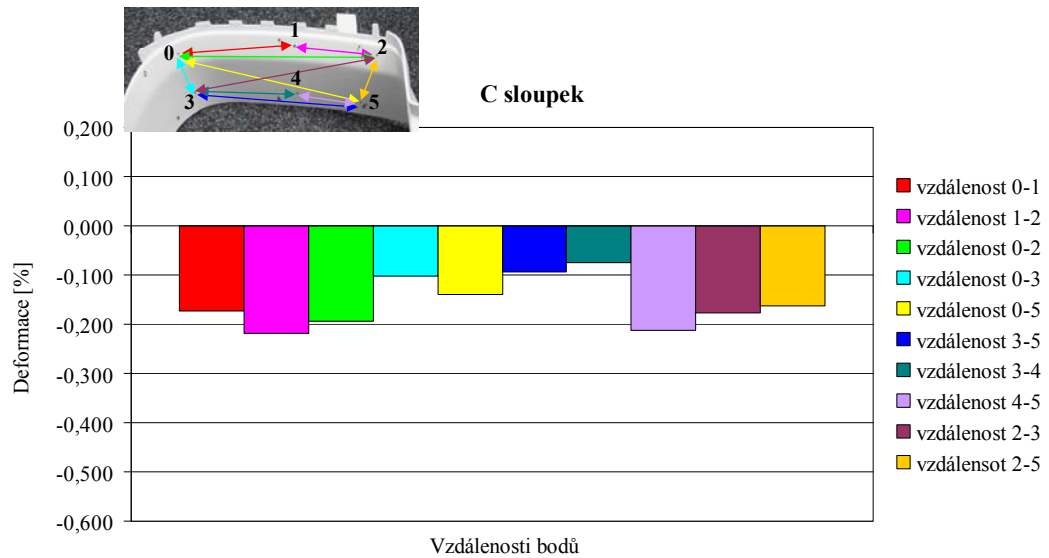
Díl	Deformace		minimální deformace [%] / vzdálenost bodů		maximální deformace [%] / vzdálenost bodů	
D sloupek	-0,155 ± 0,072	/	1-2	-0,353 ± 0,084	/	2-4
C sloupek	-0,199 ± 0,033	/	0-3	-0,382 ± 0,070	/	0-5
svařenec CD sloupku	0,046 ± 0,005	/	2-5	0,267 ± 0,004	/	1-4

3.2.3 OHŘEV DÍLŮ V PECI [37]

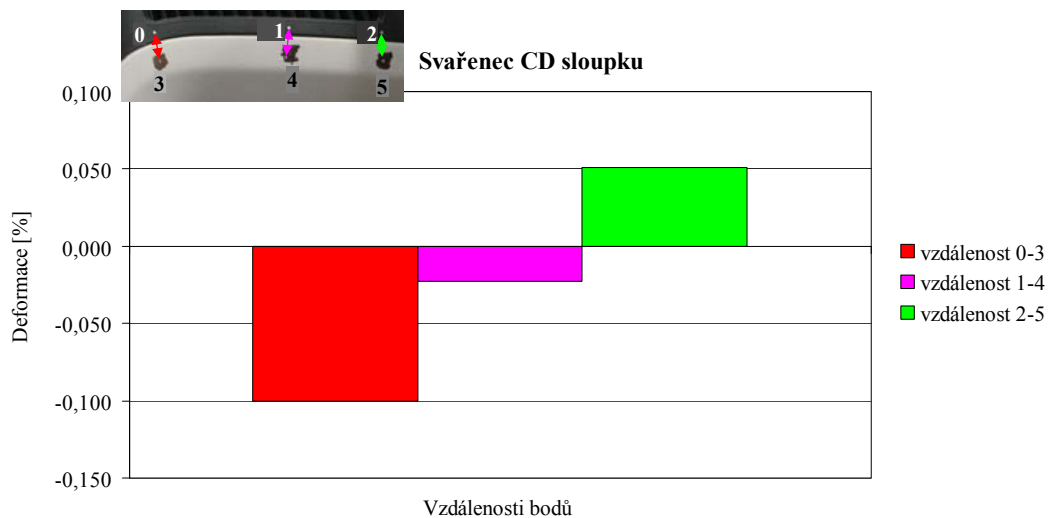
Po osmi dnech od vyrobení byly díly ohřáty v laboratorní peci dle normy EP 84 610.50 (klimatestu) za účelem zjištění změn rozměrů, které nastanou důsledkem uvolnění vnitřního pnutí v dílech. Díly byly ohřívány po dobu 16 hodin na teplotu 90°C a poté nechány volně vychladnout. Po 24 hodinách od vyndání z laboratorní pece byly díly změřeny systémem Aramis. Výsledky prezentují obr. 3.22 – 3.24, znázorňující průběhy deformací mezi jednotlivými body. Výchozí, respektive nulovou hodnotou, je zde konečná hodnota smrštění po prvních 24 hodinách.



Obr. 3.22: Deformace D sloupku po 24 h od ohřátí v laboratorní peci



Obr. 3.23: Deformace C sloupku po 24 h od ohřátí v laboratorní peci

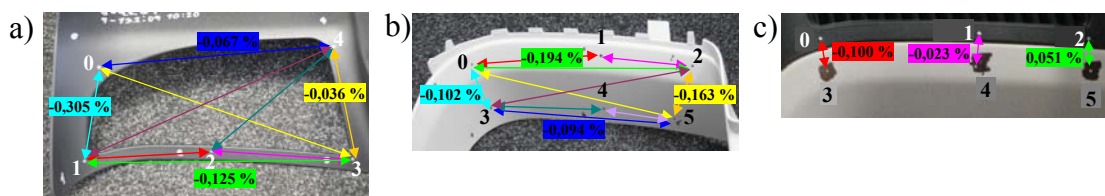


Obr. 3.24: Deformace svařence CD sloupku po 24 h od ohřátí v laboratorní peci



3.2.3.1 Hodnocení dosažených výsledků a jejich diskuze

Na obr. 3.22 – 3.24 je pozorovatelný vliv deformace způsobený ohřátím, které patrně zapříčinilo uvolnění vnitřního pnutí a dodatečná krystalizace ve sledovaných dílech. Na obr. 3.25 jsou znázorněny výsledné deformace dílů po 24 hodinách od ohřátí v laboratorní peci.



Obr. 3.25: Výsledné deformace dílů po 24 hodinách od ohřátí v laboratorní peci
a) D sloupek, b) C sloupek, c) svařenec CD sloupku

Na obr. 3.22 se tento fakt projevil deformací záporného charakteru téměř ve všech sledovaných vzdálenostech. Výjimku zde tvoří vzdálenost 1-2 ($0,183 \pm 0,034$ %), kde pravděpodobně vlivem tvaru a malého množství materiálu došlo k jakési deformaci části tvaru dílu v této partii. Tomu by odpovídala i poměrně značná deformace ($-0,423 \pm 0,044$ %) vzdálenosti bodů 2-4, ze které lze usuzovat pohyb bodu umístěného na spojnici obou stran dílu. Nasvědčuje tomu i poměrně výrazná záporná deformace ($-0,353 \pm 0,036$ %) vzdálenosti bodů 2-3, která potvrzuje tuto hypotézu. Další vybočující hodnotou ($-0,526 \pm 0,047$ %) je vzdálenost 1-4, která se projevovala už při měření v kap. 3.2.2. Dle získaných poznatků je možné se domnívat, že šlo o deformaci způsobenou konstrukcí dílu, respektive jeho torzní tuhostí.

Při deformaci C sloupku byla zjištěna taktéž záporná deformace, stejně jako u popisovaného dílu D sloupku. Probíhající deformace zde byla, v porovnání s D sloupkem, menší. Změna vzdálenosti mezi body 0-1 ($-0,172 \pm 0,029$ %) a 1-2 ($-0,219 \pm 0,038$ %) může poukazovat na skutečnost, že zde došlo k určitému vyklenutí této partie dílu směrem dovnitř. Pravděpodobně zde došlo k ovlivnění tvaru plochou a hranou, které jsou v podstatě na konci dílu, kde plocha nemá dostatečnou oporu zabraňující tomuto efektu. Je pravděpodobné, že tento efekt nastal i na protilehlé straně, kde se nachází vzdálenost 4-5 ($-0,213 \pm 0,042$ %) a 3-4 ($-0,075 \pm 0,009$ %). Deformace mezi body 2-3 ($-0,177 \pm 0,031$ %) může mít spojitost s tuhostí dílu, kde se nejspíše projevuje uvolněné napětí.



Svařenec CD ukazuje prohloubení záporné deformace bodů 0-3 ($-0,100 \pm 0,007$ %) a 1-4 ($-0,023 \pm 0,004$ %). Přičemž vzdálenost 1-4 vykazuje otočení směru deformace do vzájemného přibližujícího se trendu (viz. kap. 3.2.2). Lze si to vysvětlit deformací jednotlivých dílů svařence, na jejichž plochách jsou umístěny snímané body, v závislosti na místě svaření, kdy spára působí v bodě 1-4 jako relativně tuhý celek a krajní pozice se zde mohou deformovat. Druhým možným vysvětlením je, že při ohřátí dílu zřejmě došlo k nepatrnému změknutí svarových bodů a vzájemné pnutí jednotlivých částí svařence způsobilo vykázanou deformaci. S největší pravděpodobností se zde projevuje vliv množství materiálu v prostoru bodu 0-3 ($-0,100 \pm 0,007$ %), kde se ho nalézá nejméně a je ovlivněn prostorem bodu 2-5 ($0,051 \pm 0,006$ %), kde je materiálu naopak nejvíce. Tato skutečnost může přes bod 1-4 ($-0,023 \pm 0,004$ %) působit jako jakýsi bod otáčení vysvětlující výsledný průběh deformace. Není vyloučeno, že mohlo dojít i ke kombinaci obojího. Minimální a maximální deformace dílů po 24 hodinách od ohřátí v laboratorní peci jsou zobrazeny v tab. 3.7.

Tab. 3.7: Minimální a maximální deformace dílů po 24 hodinách od ohřátí v laboratorní peci

Díl \ Deformace	minimální deformace [%] / vzdálenost bodů	maximální deformace [%] / vzdálenost bodů
D sloupek	$-0,036 \pm 0,005$ / 3-4	$-0,526 \pm 0,047$ / 1-4
C sloupek	$-0,075 \pm 0,009$ / 3-4	$-0,219 \pm 0,038$ / 1-2
svařenec CD sloupku	$-0,023 \pm 0,004$ / 1-4	$-0,100 \pm 0,007$ / 0-3



4. ZÁVĚR

Automobilový průmysl klade na výrobky z plastu velice vysoké nároky. Například na jedné straně jsou požadavky na velice dlouhou životnost a na druhé straně požadavky na co možná nejlepší mechanické vlastnosti. Nelze opomenout i fakt, že plastové výrobky používané v automobilovém průmyslu musí splňovat i velmi přísné bezpečnostní předpisy, protože přímo obklopují posádku vozidla. Tyto podmínky jsou však dosažitelné, je-li splněna nejen technologičnost konstrukce, správná výroba, ale také zajištěna správná volba a především složení materiálu, z něhož se výrobky zhotovují.

Diplomová práce se zabývá smrštěním a následnou deformací plastových dílů za použití bezkontaktní metody měření na vnitřním obložení automobilu. K tomu účelu bylo použito zařízení Aramis, které za pomoci dvou kamer snímá požadovaný objekt a vytváří tak jeho 3D obraz, kde je vidět povrch tělesa. Systém byl aplikován na C a D sloupek spolu s jejich vzájemným svařencem, představujícím hotový díl. Důvodem volby těchto vzorků bylo prověření deformací vykazujících jisté nestandardní chování. Metodika měření spočívala ve vytvoření kontrastních bodů v předpokládaných problematických oblastech. Následně byly body zaneseny do systému Aramis a snímány. Průběh měření by se dal časově rozdělit na oblast snímání smrštění a oblast snímání deformací. První výsledky byly pořizovány takřka ihned po vyrobení dílu a poslední měření probíhalo po osmi dnech. Pro kompletnost výsledků bylo provedeno i měření po ohřevu dílů, kdy dochází k předpokládanému uvolnění napětí ve výrobku. Z důvodu lepšího porozumění probíhající dějů v díle se během prvních 15 minut (od doby kdy bylo možné s dílem již manipulovat) použila termokamera. Měřením se prokázalo, že na výrobek má vliv nejen jeho tvar konstrukce, ale i množství materiálu v dané oblasti. Vzorek D sloupku vykazoval poměrně nestabilní chování, pravděpodobně z důvodu relativně velkého otvoru, který ovlivňoval celý díl. Vzhledem k podobné konstrukci i druhého dílu, je možné konstatovat, že rozměrné otvory v plastových dílech značně ovlivňují jejich chování (pokud není dodržen stejný charakter a objem materiálu po jeho obvodu). Při operaci svařování se zjistil vliv velikosti, počtu a volby umístění jednotlivých svařovacích bodů. Jako nevhodné se ukázalo volit svařovací body mimo zaoblení dílu, stejně tak jako jejich nepravidelné rozestupy použité v krajních polohách. Navrhnout optimální rozložení a velikost svarových bodů je velice obtížné



a mělo by se podrobovat delším zkouškám. Lze se však domnívat, že pro svarové body by se mělo volit pokud možno rovnoměrné rozmístění a to po celém průběhu svařovaných částí. Zvláště pak tam, kde jsou spáry pohledového charakteru.

Vzhledem k charakteru zařízení Aramis by bylo vhodné pro další bezkontaktní měření takovýchto dílů zvolit systém, který by umožňoval objektivnější volbu snímaných bodů a možnost porovnávání naměřených hodnot s CAD daty. Dále by bylo vhodné zvolit systém, který by umožňoval širší pracovní oblast snímání. Možným vhodným kandidátem by mohl být systém Atos od stejného výrobce, který umožňuje aplikovat některé metody, jako například porovnávání výsledků s CAD daty apod. Systém Atos bohužel neumožňuje snímání v čase, jelikož samotné nasnímání dílu trvá delší dobu a tak díl by se deformoval už během načítání dat. Z toho vyplývá, že ani tento systém by nebyl zcela vyhovující.



SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SOVA, A.; KREBS, J. A KOL.: *Termoplasty v praxi*. Praha: Vellag Dashöffer Nakladatelství s.r.o. v Praze, 1999-2004. CD.
- [2] PETERA, P.: *Otěruvzdornost polypropylenu v závislosti na množství talku* [bakalářská práce], TU v Liberci, 2005
- [3] KOLEKTIV: *Plasty pro rozvod médií a svařované konstrukce*. GAS s.r.o.: Praha, 2001. 263 s. ISBN 80-86176-97-5.
- [4] KREBS, J. : *Teorie zpracování nekovových materiálů – část I*. Liberec: TU v Liberci, 2001. 250 s. ISBN 80-7083-449-8.
- [5] LENFELD, P. : *Technologie II. – 2.část (Zpracování plastů)*. Liberec: TU v Liberci, 2006. 139 s. ISBN 80-7372-037-X.
- [6] KOLOUCH, J. : *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. SNTL, Praha 1986.
- [7] ŠTĚPEK, J.; ZELINGER, J.; KUTA, A. : *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. SNTL, Praha 1989.
- [8] DOLEŽAL, J.: *Vliv vstřikovacích parametrů a relaxace napětí na tvarovou deformaci otevřených profilů z plastu*, Liberec: TU v Liberci, KSP, 2003. 87 s.
- [9] MENGES, G.; MICHAELI, W.; MOHREN, P.: *How to make injection molds*, Hansen, Third editon, 2001.
- [10] ŠAFAŘÍK, M.: *Nástroje pro tváření kovů a plastů I*. Liberec: TU v Liberci, 1987. 227 s., 621.77.002.54
- [11] www.welding.cz/ultrazvuk/ultrazvuk.htm (březen 2009)
- [12] www.thonauer.cz/svarovani.html (březen 2009)
- [13] www.ultratech.cz/ultrazvukove-svarovani-plastu/ (březen 2009)
- [14] www.uniplast.cz/cz/uniplast.html (březen 2009)
- [15] BLABOLIL, F.: *Svařování plastických hmot*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966
- [16] www.dukcorp.eu/cz/technologie/ultrazvukove-svarovani/ (březen 2009)
- [17] HLAVÁČ, V.; ŠONKA, M.: *Počítačové vidění*. Praha: Grada Publishing, 1992. 252 s. ISBN 80-85424-67-3.
- [18] www.grafika.cz/art/df/clanek465935372.html?vote=on&valve=1 (březen 2009)
- [19] SMUTNÝ, V.; PAJDLA, T.; HLAVÁČ, V.; PALATKA, P.: *Měření a inspekce s pomocí digitálního profil projektoru*. *Jemná mechanika a optika*, 1999, roč. 44, č. 3 str. 72-73. ISSN 0447-6441.
- [20] JAIN, R.; KASTURI, R.; SCHUNCK, B.: *Machine Vision*. 3 rd Title. McGraw-Hill, Inc. USA, 1995. ISBN 0-07-032018-7.



- [21] KELLER, P.: *Bezkontaktní měření rozměrů zpracováním digitálního obrazu*. [disertační práce], TU v Liberci, 2003
- [22] http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm
- [23] *Kulturní památka a moderní průmyslové metody*. Technický týdeník, květen 2001, roč. IL, č. 18, str. 16. ISSN 0040-1064
- [24] www.gom.com (březen 2009)
- [25] http://www.mcae.cz/ARAMIS_CS.html (srpen 2008)
- [26] http://www.mcae.cz/ARAMIS_CS.html (březen 2009)
- [27] KADLE, K.: *Měřicí a řídicí technika pro FCHI*, VŠCHT, 2005
- [28] ZELENKA, J.: *Mikroelektronika a měřicí technika pro řídicí systémy*. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní, 1991. 154 s. ISBN 80-7083-065-4.
- [29] <http://www.termokamera.cz> (březen 2009)
- [30] <http://www.flir.com/thermography/eurasia/en/> (březen 2009)
- [31] FLIR SYSTEMS™: *ThermaCAM™ E320* [uživatelská příručka], 2005. 115 s. Publ. No. 1 558 170
- [32] Materiálový list polymeru Exxtral CMU 101
- [33] <http://www.ides.com/grades/ds/E71131.htm> (duben 2009)
- [34] *firemní informace a materiály* Grupo Antolin Turnov
- [35] GOM mbH: *ARAMIS (User Information – Hardware)* [uživatelská příručka], 2007. 45 s. Publ.: aramic_hw_en_rev-c 29-Aug-2007
- [36] GOM mbH: *ARAMIS (User Manual – Software)* [uživatelská příručka], 2007. 122 s. Publ.: aramis_v6_1st_en_rev-c 25-Apr-2007
- [37] EP 84 610.50



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Rozložení teplot D sloupku v závislosti na čase

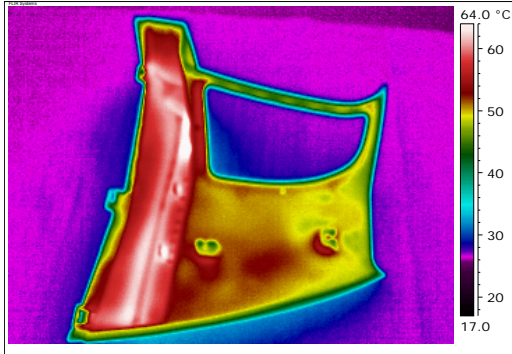
Příloha 2: Rozložení teplot C sloupku v závislosti na čase

Příloha 3: Rozložení teplot svařence CD sloupku v závislosti na čase

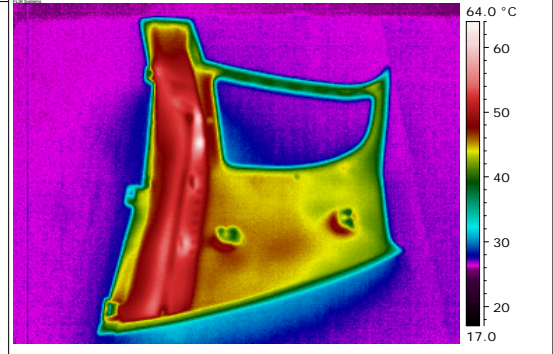


Příloha 1: Rozložení teplot D sloupku v závislosti na čase

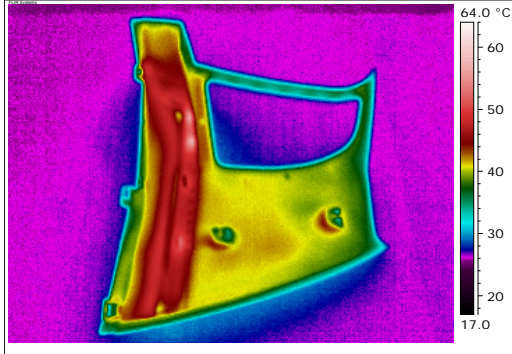
1 minuta



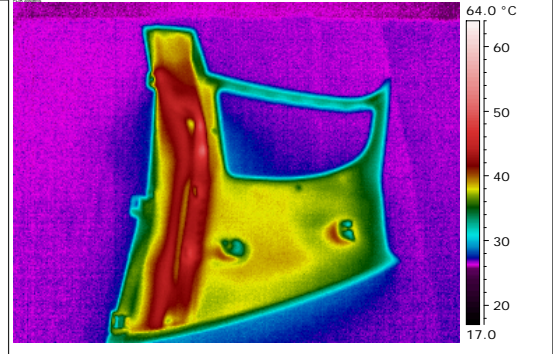
2 minuty



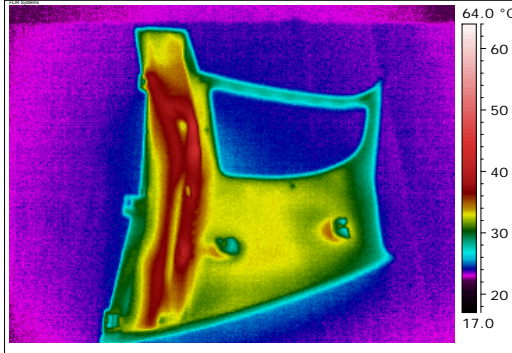
3 minuty



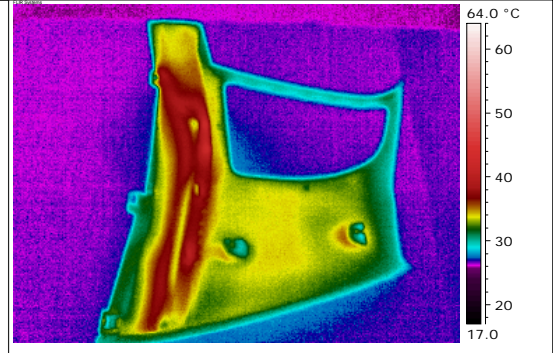
4 minuty



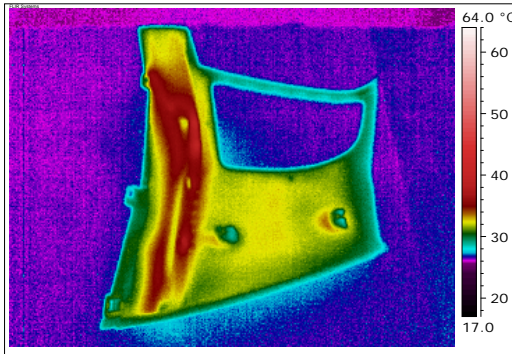
5 minut



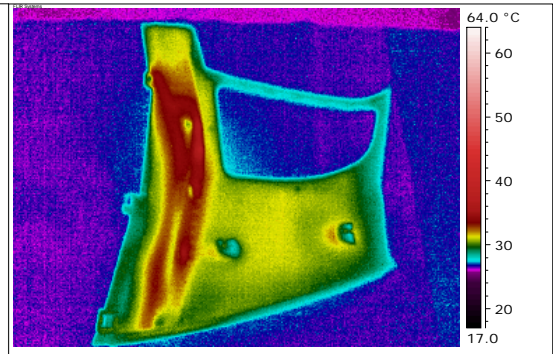
6 minut



7 minut

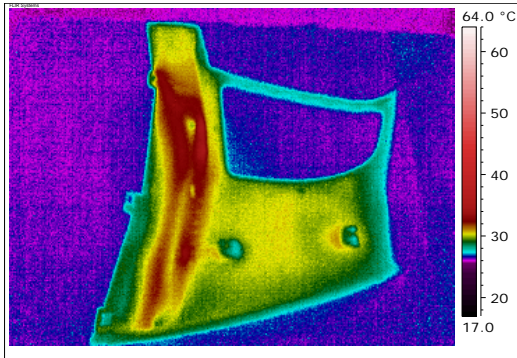


8 minut

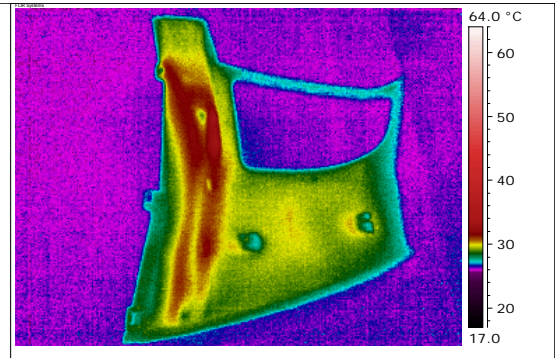




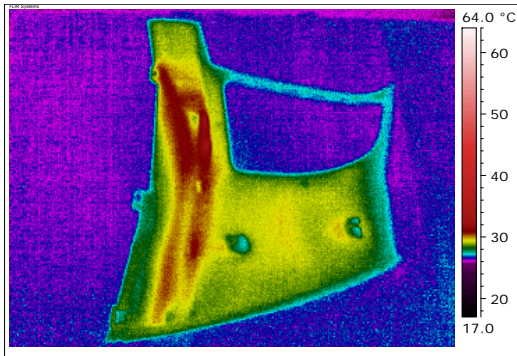
9 minut



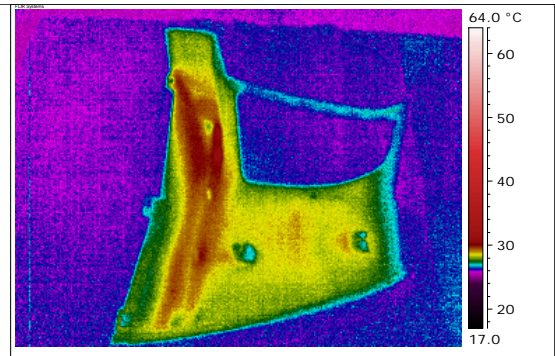
10 minut



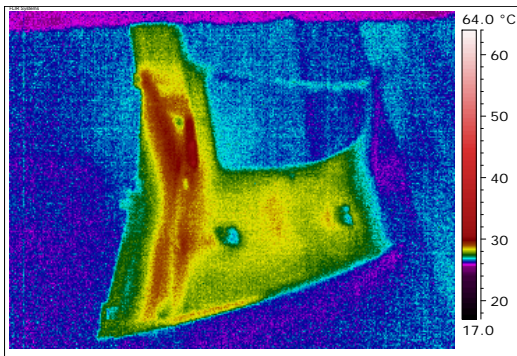
11 minut



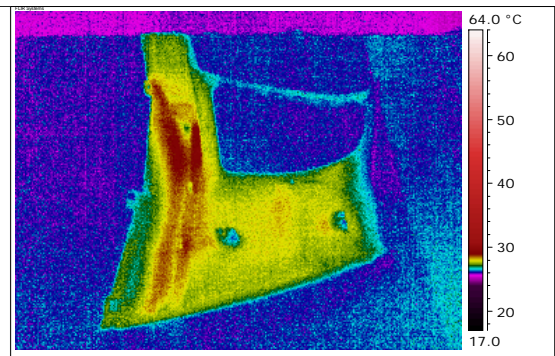
12 minut



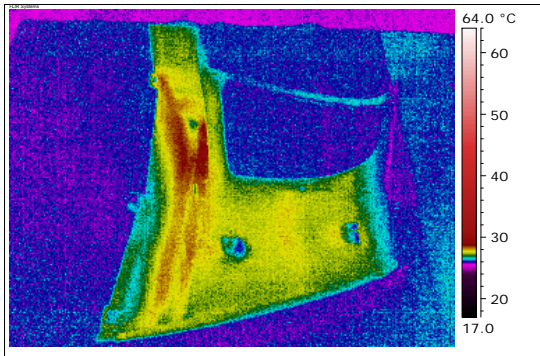
13 minut



14 minut



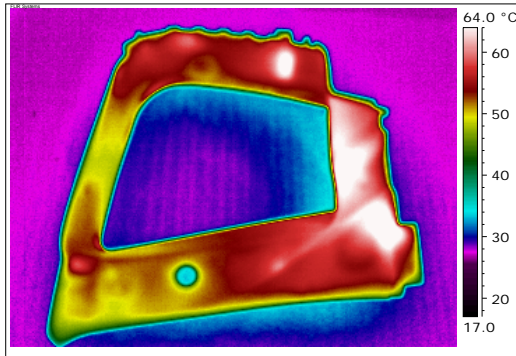
15 minut



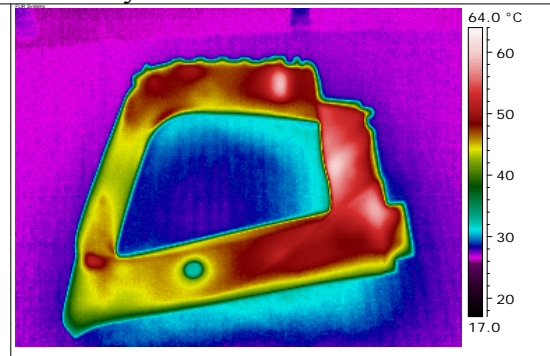


Příloha 2: Rozložení teplot C sloupku v závislosti na čase

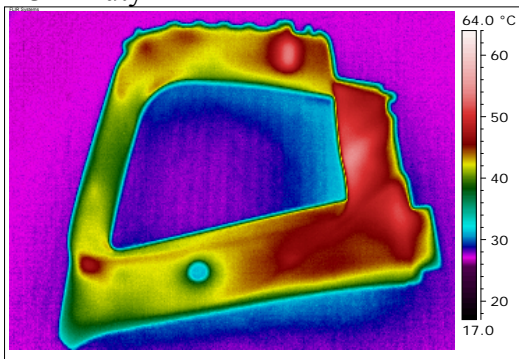
1 minuta



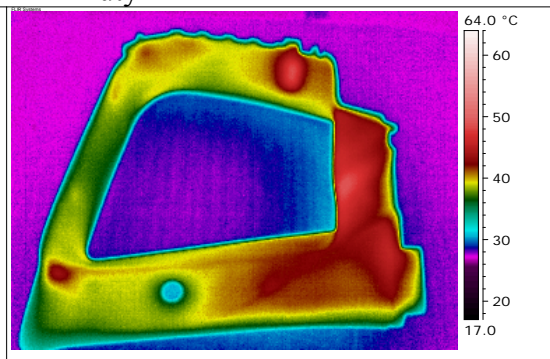
2 minuty



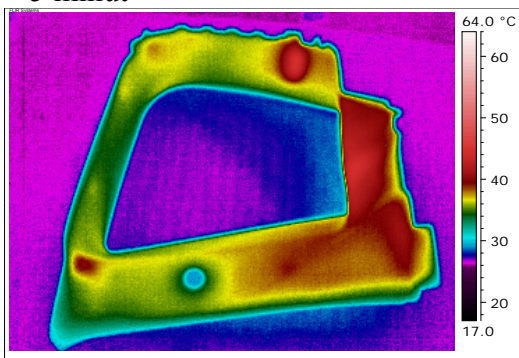
3 minuty



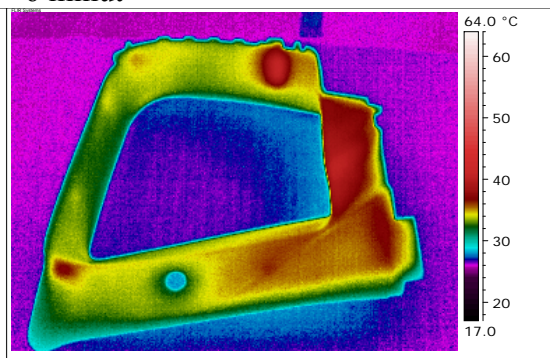
4 minuty



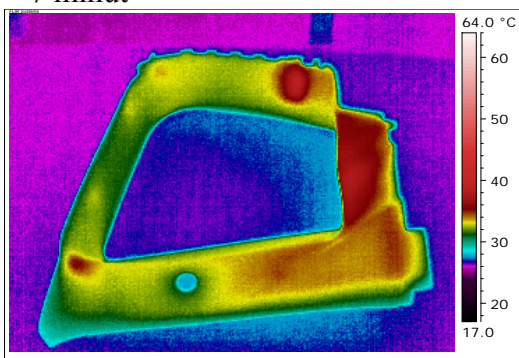
5 minut



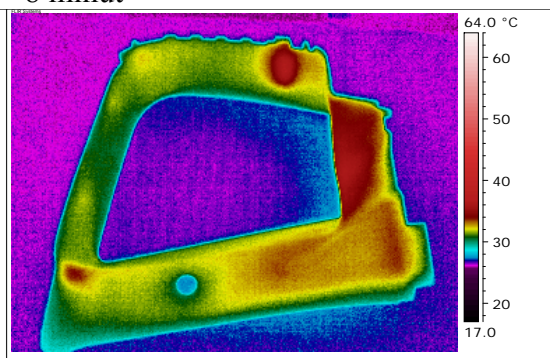
6 minut

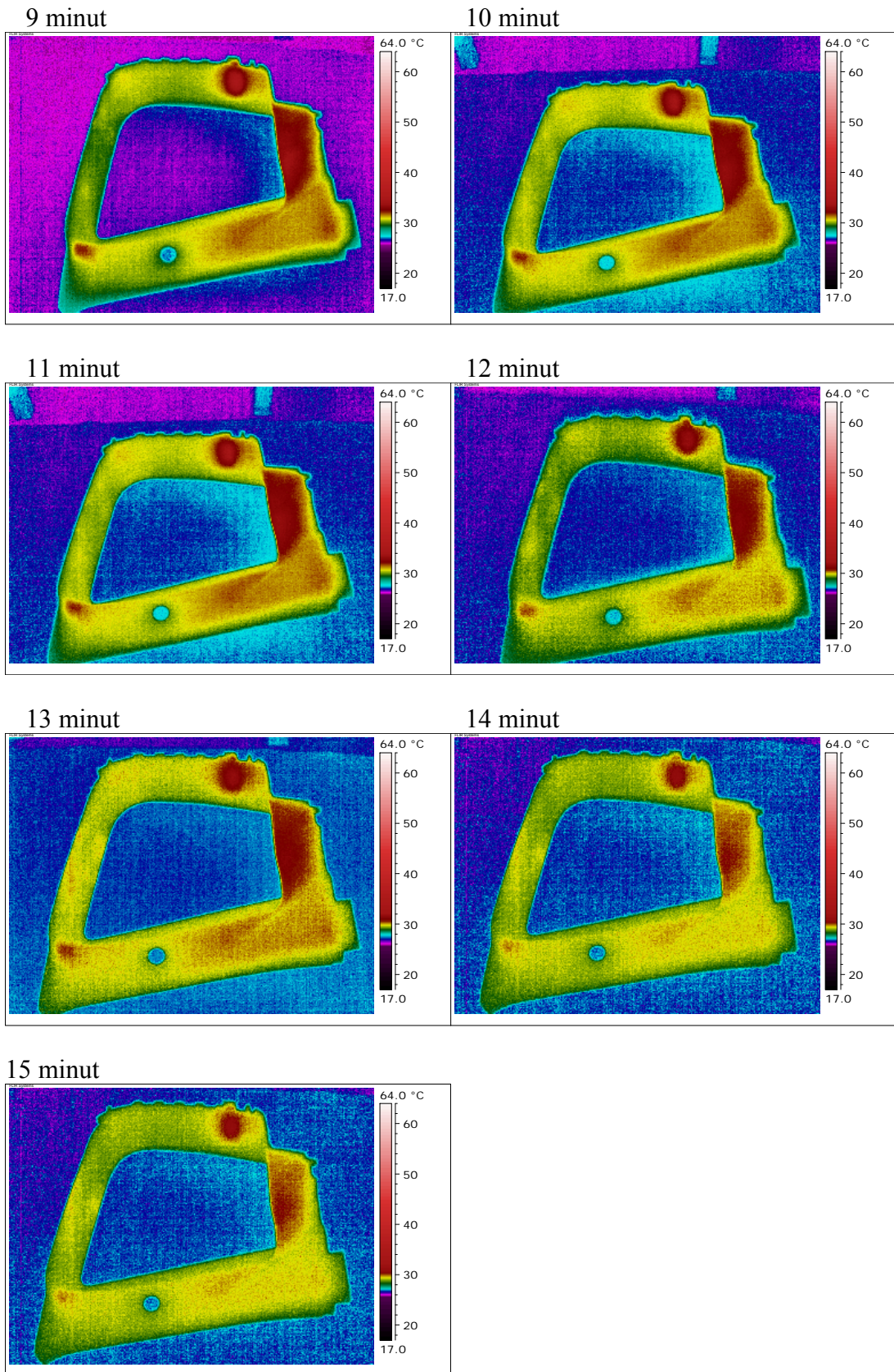


7 minut



8 minut

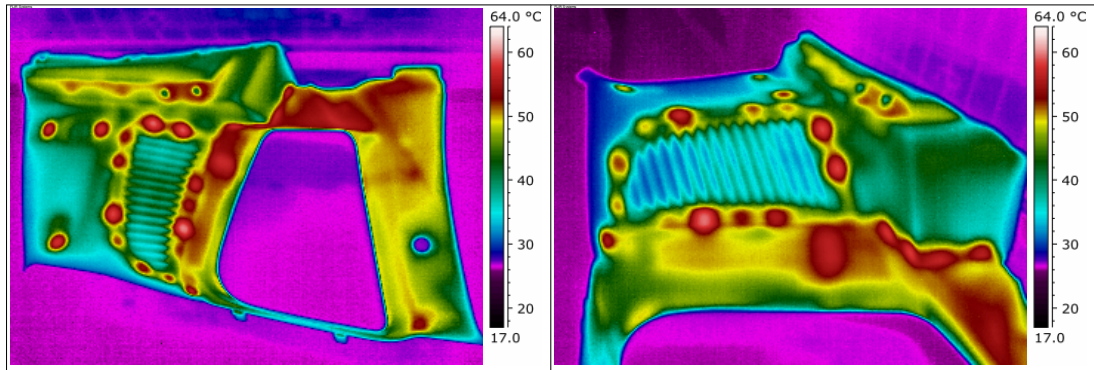




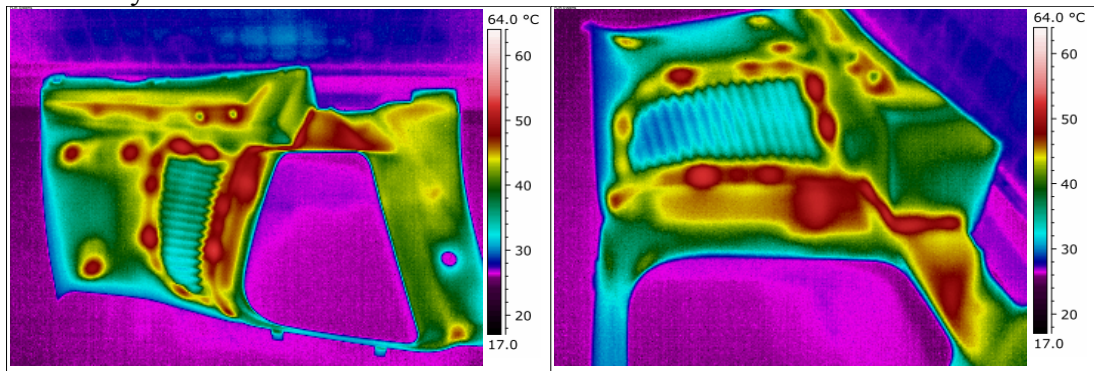


Příloha 3: Rozložení teplot svařence CD sloupku v závislosti na čase

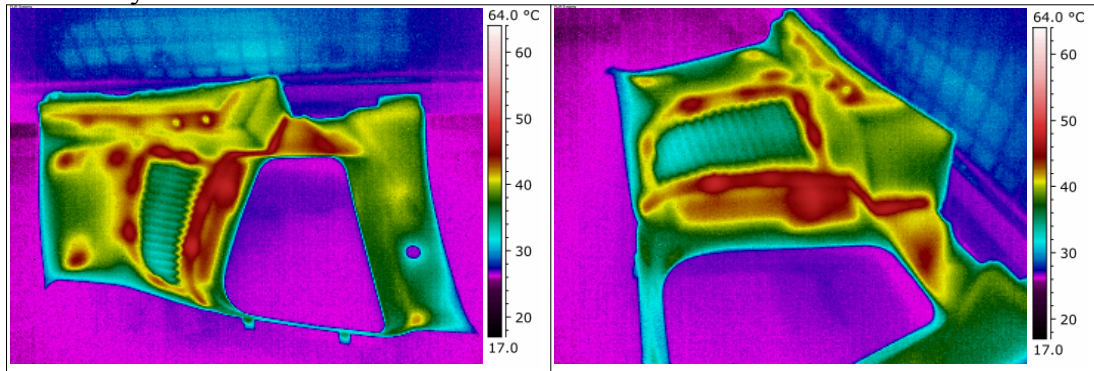
1 minuta



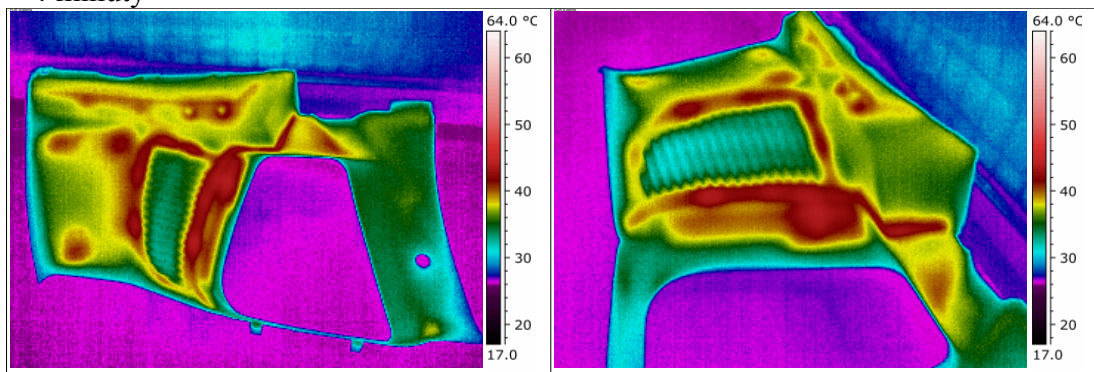
2 minuty



3 minuty

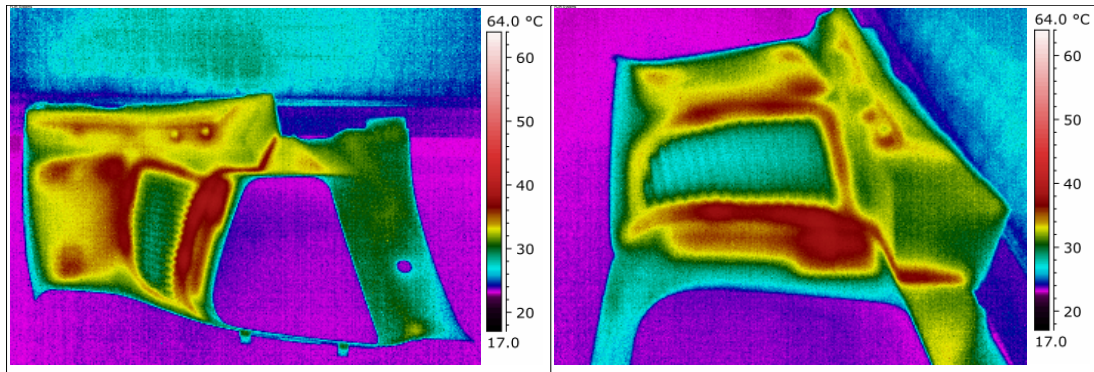


4 minuty

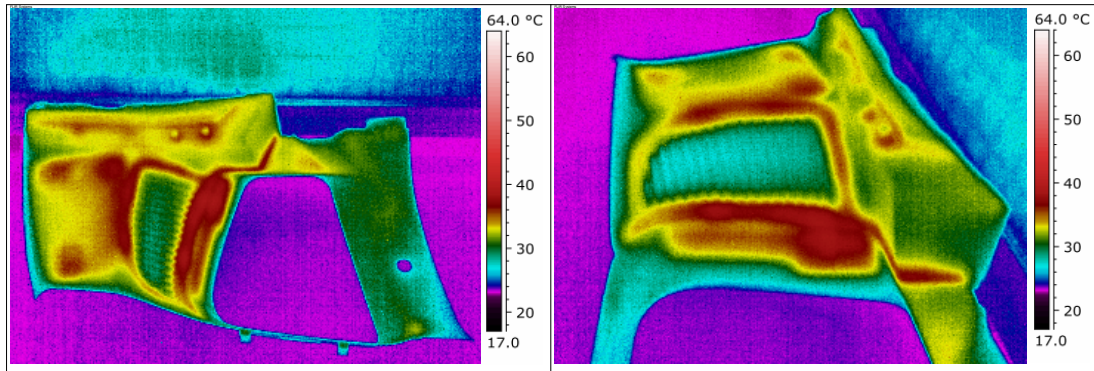




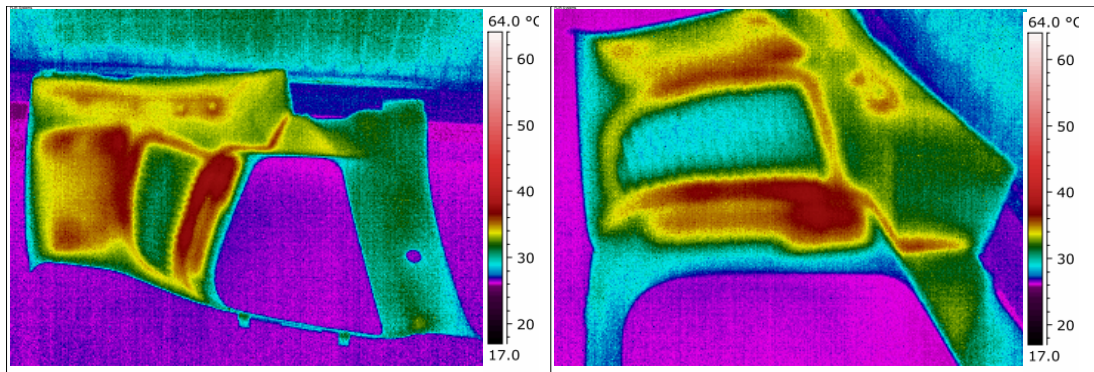
5 minut



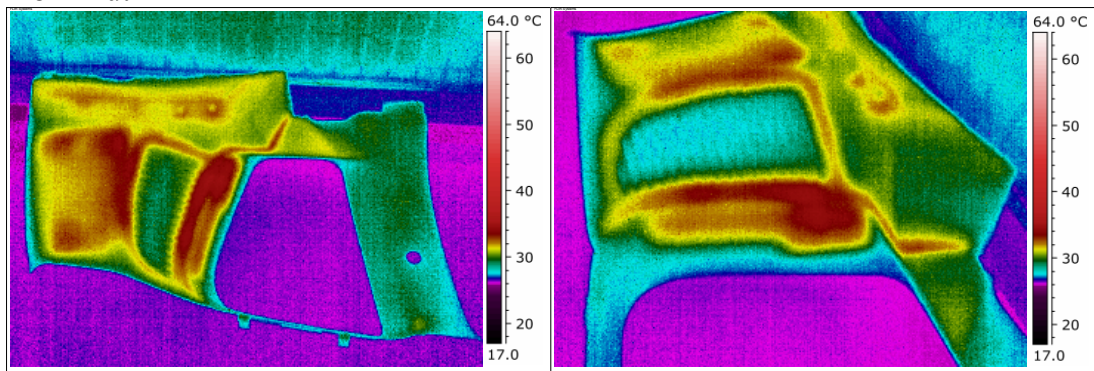
6 minut



7 minut

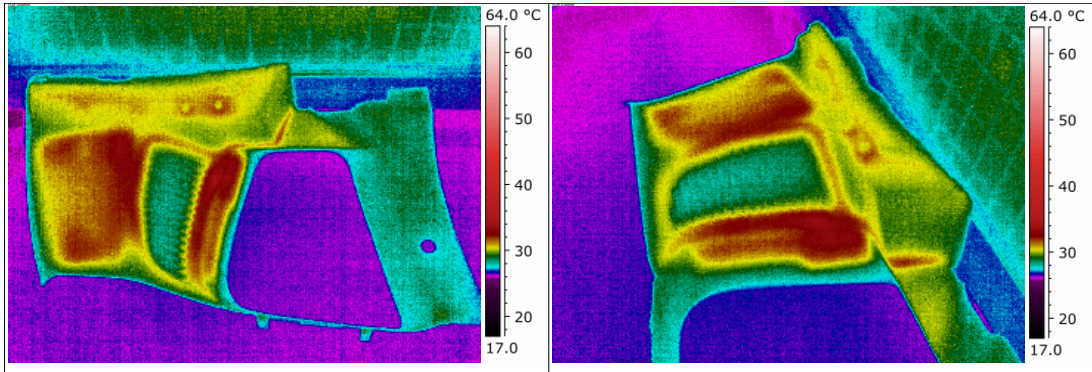


8 minut

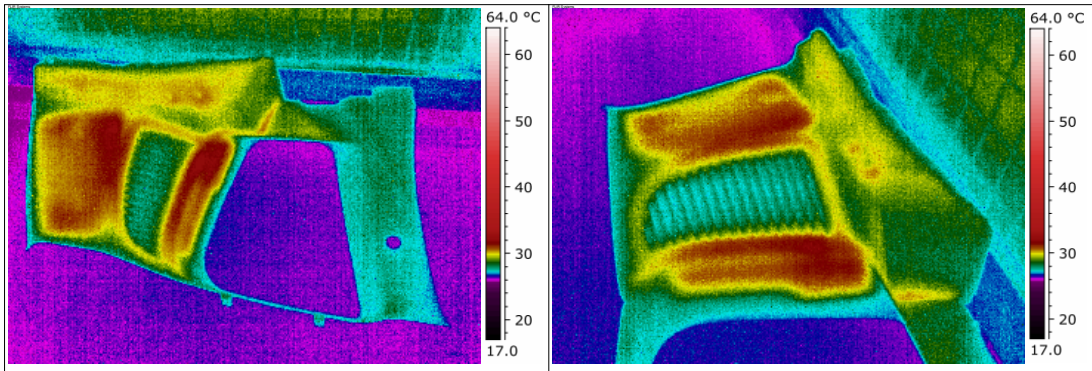




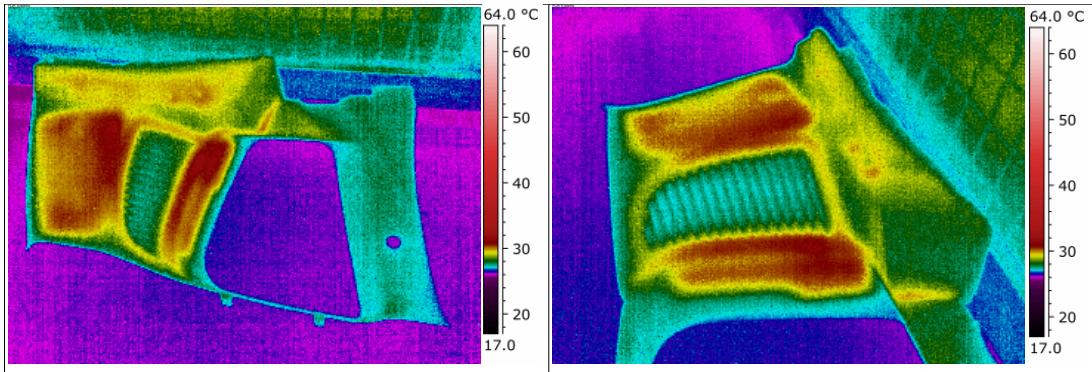
9 minut



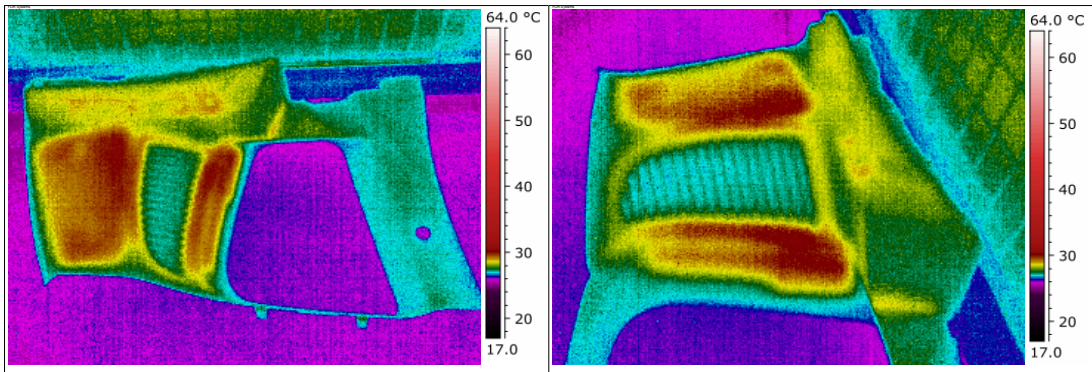
10 minut



11 minut

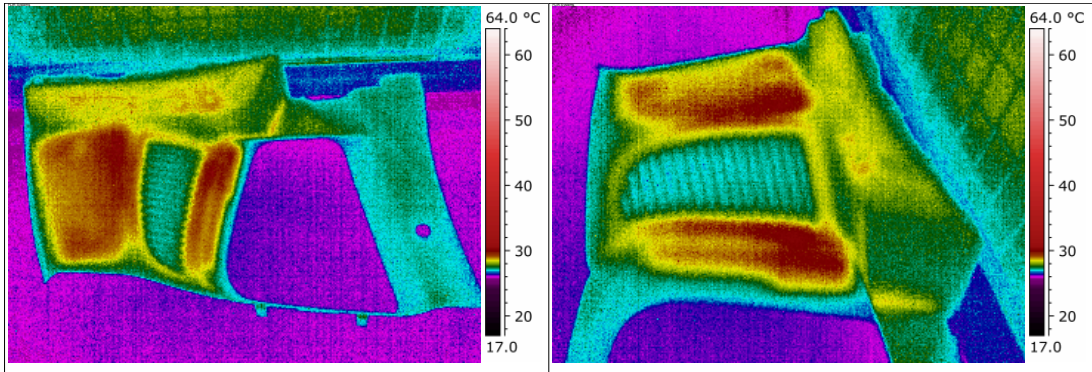


12 minut

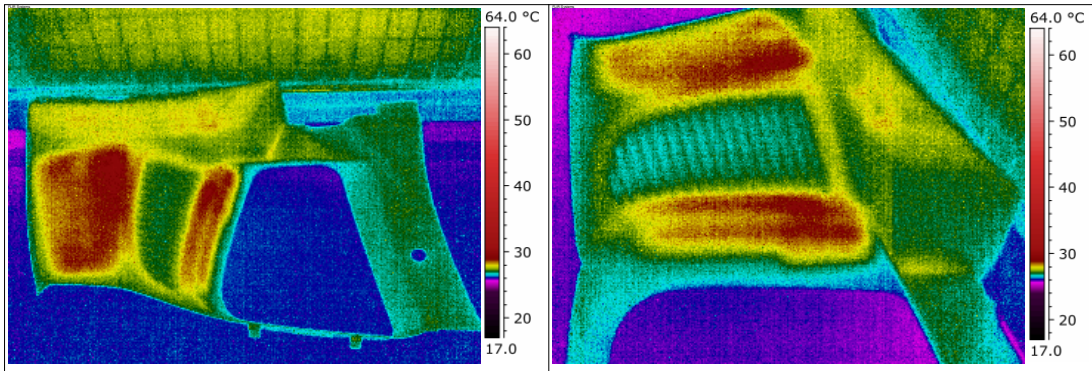




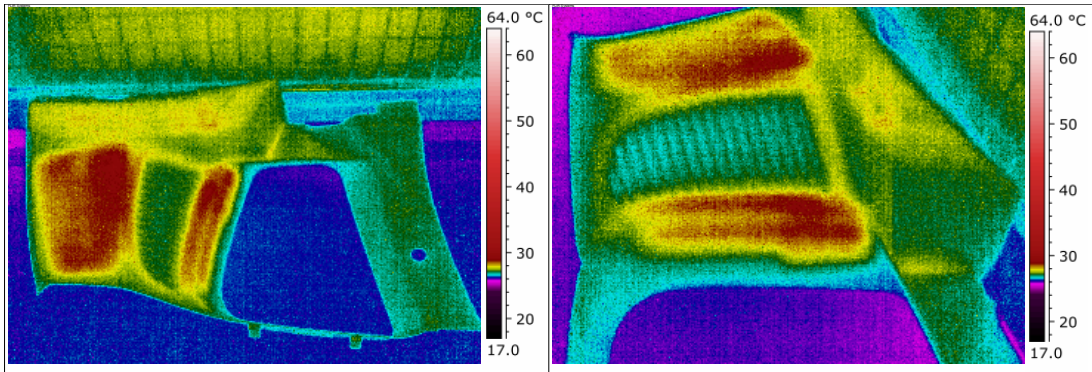
13 minut



14 minut



15 minut



Prohlášení:

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

5.6.2009

.....

Bc. Lenka Kupcová

Declaration:

I have been notified of the fact that Copyright Act No.121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

5.6.2009

.....

Bc. Lenka Kupcová