



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VLIV TEMPERACE NA ROZMĚRY DVOUKOMPONENTNÍCH POLYKARBONÁTOVÝCH VÝLISKŮ

INFLUENCE OF TEMPERING TO DIMENSION OF TWO-COMPONENT  
POLYCARBONATE MOLDING

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Hana Svobodová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2018

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Studentka: **Hana Svobodová**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Vliv teploty na rozměry dvoukomponentních polykarbonátových výlisků**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Analýzovat současný stav teploty dvoukomponentních výlisků a zhodnotit adekvátnost stávajícího řešení. Nadefinovat možnosti dalšího rozvoje tohoto zařízení s ohledem na finální znetkvnost.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- Teoretická část (lisování, teploty PC výlisků)– Experimentální část (rozměry výlisků – měření, vyhodnocení, statistické zpracování za účelem snížení znetkvnosti)
- Technicko–ekonomické zhodnocení

#### **Seznam doporučené literatury:**

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0617-6.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na změnu rozměrů dvoukomponentního polykarbonátového výlisku během procesu temperace. V práci je uveden kompletní popis výroby vnější čočky pro automobilový světlomet. Experimentální část je zaměřena pouze na část procesu, na temperaci. Předmětem experimentu je určit vliv teploty v temperační peci a vliv používaných lamel na rozměry polykarbonátového výlisku. K vyhodnocení správnosti rozměrů je použito 3D měření. Míra vlivu lamel je zkoumána se třemi typy lamel.

### Klíčová slova

výlisek, polykarbonát, rozměry, lamely, temperace

## ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on changing the dimensions of two-component polycarbonate holding during the tempering process. In the thesis there is a complete description of the production of the external lens for the automobile headlight. The experimental part is focused only on the part of the process, the tempering. The subject of the experiment is to determine the effect of the temperature in the tempering furnace and the effect of the used slats on the dimensions of the polycarbonate molding. 3D measurements are used to evaluate dimensionality. The influence of the slats is examined with free types of slats.

### Keywords

moulding, polycarbonate, dimension, slats, tempering

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODOVÁ, H. *Vliv temperace na rozměry dvoukomponentních polykarbonátových výlisků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 42 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Vliv teploty na rozměry dvoukomponentních polykarbonátových vylisků** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Hana Svobodová

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce, doc. Ing. Josefovi Sedlákov, Ph.D., za pomoc a vedení při tvorbě této práce. Dále bych chtěla poděkovat celému týmu předvýroby společnosti Automotive Lighting s.r.o. za poskytnutí potřebných informací, cenných rad a možnosti provést experiment. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a Michalovi Vrbkovi za podporu a toleranci, které se mi dostávalo po celou dobu bakalářského studia.

## OBSAH

ABSTRAKT .....	3
PROHLÁŠENÍ .....	4
PODĚKOVÁNÍ .....	5
OBSAH .....	6
ÚVOD .....	7
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	8
1.1    Problematika výrobků z polykarbonátů .....	8
1.1.1    Polymery .....	8
1.1.2    Polykarbonáty .....	11
1.1.3    Zpracování polykarbonátu vstřikováním .....	12
1.2    Popis procesu výroby výlisku .....	14
1.2.1    Proces lisování .....	14
1.2.2    Temparační zařízení .....	19
1.2.3    Lakování skel .....	20
1.3    Popis měření 3D rozměrů výlisků .....	23
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	25
2.1    Rozvržení experimentální části .....	25
2.2    Experiment číslo 1 .....	25
2.2.1    Návrh experimentu číslo 1 .....	25
2.2.2    Provedení a analýza experimentu číslo 1 .....	26
2.2.3    Zhodnocení experimentu číslo 1 .....	27
2.3    Experiment číslo 2 .....	30
2.3.1    Návrh experimentu číslo 2 .....	30
2.3.2    Provedení a analýza experimentu číslo 2 .....	31
2.3.3    Zhodnocení experimentu číslo 2 .....	31
2.4    Experiment číslo 3 .....	33
2.4.1    Návrh experimentu číslo 3 .....	33
2.4.2    Provedení a analýza experimentu číslo 3 .....	34
2.4.3    Zhodnocení experimentu číslo 3 .....	34
3 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	36
3.1    Technické zhodnocení .....	36
3.2    Ekonomické zhodnocení .....	37
ZÁVĚR .....	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	41
SEZNAM PŘÍLOH .....	42

## ÚVOD

V současné době dochází k nejrychlejšímu vývoji v oblasti automobilového průmyslu. Rozvoj nastává nejen ve výrobě automobilů, ale i v odvětvích, které jsou součástí konstrukce automobilů. Do této oblasti patří výroba světlometů. Nejenže dochází k rozvoji používaných technologií, tedy přechodu z používání klasických žárovek a xenonů na novodobé LED diody a začínající laserovou technologií. Zároveň se budují inteligentní světlometry, které dokážou rozpoznat chodce, zatačku či auto.

Součástí každého světlometu zůstává ve všech zmíněných případech sklo světlometu neboli vnější čočka světlometu. Jedná se o hlavní komponentu světlometu vyráběnou vstřikováním polykarbonátu. Vnější čočka má za úkol plnit několik funkcí. Jednou z nich je estetická funkce. Rozvíjí se design čoček různých tvarů, s čímž souvisí složitější technologické postupy. Čočka musí splňovat také ochrannou funkci. Vnější čočka světlometu musí odolat všem povětrnostním i vnějším vlivům, a zároveň se musí zajistit, aby nedocházelo k vnějšímu zamlžení skel.

Téma bakalářské práce vzniklo ve spolupráci s jihlavskou pobočkou firmy Automotive Lighting s.r.o., která patří mezi světové výrobce předních světlometů. Jedná se o reálné řešení problému nevyhovujících rozměrů dvoukomponentních skel světlometů, ke kterému dochází během procesu temperace.

## 1 TEORETICKÁ ČÁST

V rámci teoretické části práce bude analyzován současný stav temperace dvoukomponentních výlisků pro světlomety a zhodnocena adekvátnost stávajícího řešení. Teoretická část obsahuje problematiku spojenou s výrobky z polykarbonátů a celý popis procesu výroby výlisku.

### 1.1 Problematika výrobků z polykarbonátů

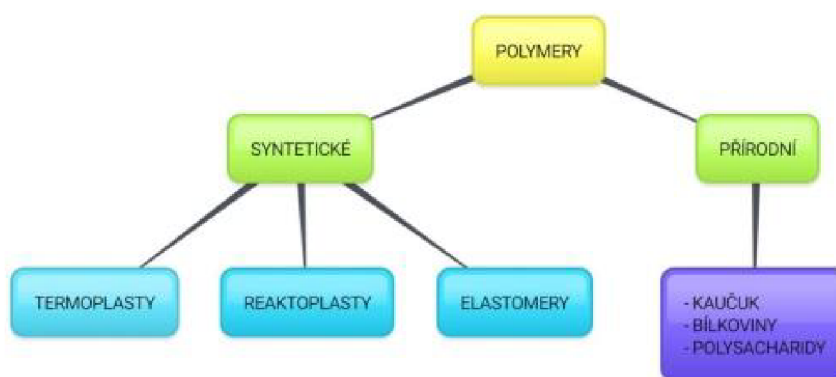
#### 1.1.1 Polymery

Polymery jsou makromolekuly, jejíž obrovské molekuly obsahují prvky nejčastěji jednoho nebo více atomů. Jedná se o atomy uhlíku, vodíku a kyslíku. Často se zde vyskytují i atomy dusíku, chloru nebo jiných prvků. Tyto atomy jsou vázány chemickými vazbami do dlouhých řetězců, které jsou tvořeny pravidelně se opakujícími částmi. Nazývají se stavební či monomerní jednotky – mery [1].

O celkové struktuře makromolekuly, a tím i o jejím složení, rozhoduje počet stavebních jednotek a jejich uspořádání. Pro označení počtu stavebních jednotek je používán polymerační stupeň  $n$ . Pro polymery se udává polymerační stupeň vyšší než 10. Polymery s nižším stupněm mají kratší řetězce a menší molekulovou hmotnost. Delší řetězce se vyznačují větší pevností, více odolávají rozpouštědlům a mají vyšší teplotu měknutí [1, 2].

Polymery jsou v tuhém stavu až ve formě výrobku. Během zpracování se objevují nejčastěji v kapalném stavu. To umožňuje, za zvýšeného tlaku a teploty, upravovat si výrobek do požadovaného tvaru. Díky širokému spektru možných tvarů mají polymery široké využití. Polymery se vyznačují pevností nebo elasticitou. Mohou být transparentní, průsvitné nebo neprůsvitné. Jsou odolné vůči povětrnostním vlivům a také vůči vysokým a nízkým teplotám. Mají velkou škálu podob a mohou být tvrdé, nebo i měkké, proto se využívají ve vláknech, nátěrových hmotách, aditivech do polymerních látek, lepidel, kaučuků, a především v plastech. Plast se používá téměř ve všech průmyslových odvětvích [3].





Obr. 1.1 Schéma znázorňující základní rozdělení polymerů [3].

### ***Dělení polymerů dle původu***

Polymery lze rozdělit podle mnoha hledisek. Na obr. 1.1 je nejdříve použito rozdělení na základě původu, a to na přírodní a syntetické polymery. Přírodní polymery – biopolymery – se běžně vyskytují v přírodě. Od syntetických se liší především stavbou řetězce a složitější strukturou molekul. Do této skupiny patří polysacharidy, bílkoviny, nukleonové kyseliny a polyterpeny (přírodní kaučuk). Syntetické polymery jsou získávány uměle řízenou výrobou. Řetězce těchto polymerů tvoří atomy téhož prvku. Nejčastěji se jedná o atomy uhlíku [2].

### ***Dělení polymerů podle teplotního chování***

Na obr. 1.1 je znázorněno rozdělení syntetických polymerů na tři kategorie. Dělení je provedeno podle teplotního chování polymerů. Rozlišují se na termoplasty, reaktoplasty a elastomery [3].

Elastomer je vysoce elastický polymer. Do skupiny elastomerů patří především kaučuky, z nichž se vyrábí pryž. Za běžných podmínek ho lze malou silou zdeformovat bez porušení. Deformace je vratná. Během první fáze zahřívání elastomeru materiál měkne a lze tvářet. Během dalšího zahřívání nastává chemická reakce zvaná vulkanizace. Jde o prostorové zesíťování struktury [3].

Reaktoplasty a termoplasty se řadí do kategorie plastů. Ty jsou tvrdé nebo křehké. Při vyšších teplotách jsou velmi snadno tvarovatelné a plastické. Pokud je změna z plastického stavu do tuhého stavu opakovatelná (vratná), jedná se o termoplasty. Za předpokladu, že je tato změna nevratná, nazývají se reaktoplasty. V první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ovšem jen omezenou dobu [1, 4, 5].

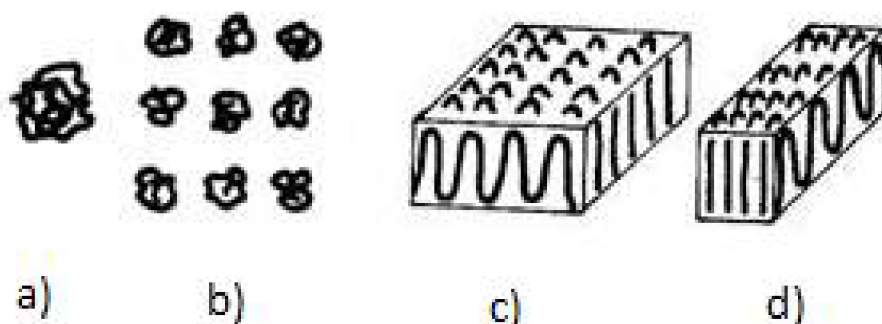
Při dalším zahřívání reaktoplastu dochází k vytvrzování. Jedná se o zesíťování struktury. Tento chemický děj je nevratný. Reaktoplast poté nelze ani roztavit, či rozpustit. Při dalším ohřívání by došlo k degradaci materiálů [4, 5].

### ***Dělení polymerů podle nadmolekulární struktury plastů***

Nadmolekulární struktura znamená stupeň uspořádanosti makromolekul. Lze ji rozdělit na amorfní a krystalickou. Termoplasty mohou mít jak amorfní, tak i krystalickou strukturu. Zatímco reaktoplasty obsahují pouze amorfní strukturu [3].

Amorfní struktura, označována jako struktura chaotická, je bez jakéhokoli uspořádání. Základním útvarem jsou globuly (viz obr. 1.2). Jedná se o klubíčka o velikosti 10 až 30 nm, které jsou chaoticky stočenými makromolekulami [5].

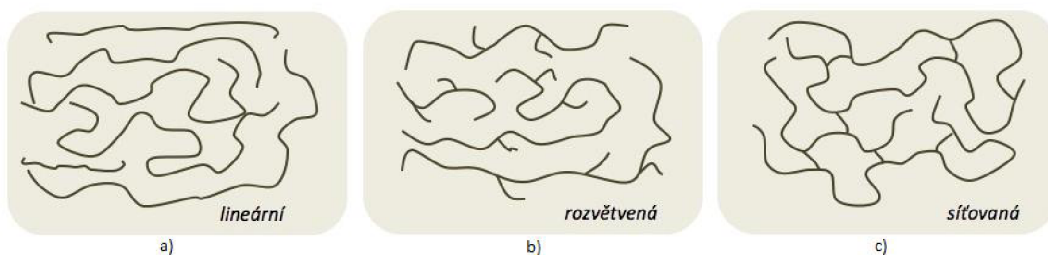
Krystalická struktura se vyznačuje určitým stupněm uspořádanosti. Základními útvary jsou lamely a fibrily (viz obr. 1.2) [5].



Obr. 1.2 Základní morfologické útvary struktur [5]: a) globula, b) uspořádání globul, c) lamela, d) fibrila.

### ***Dělení podle tvaru molekul***

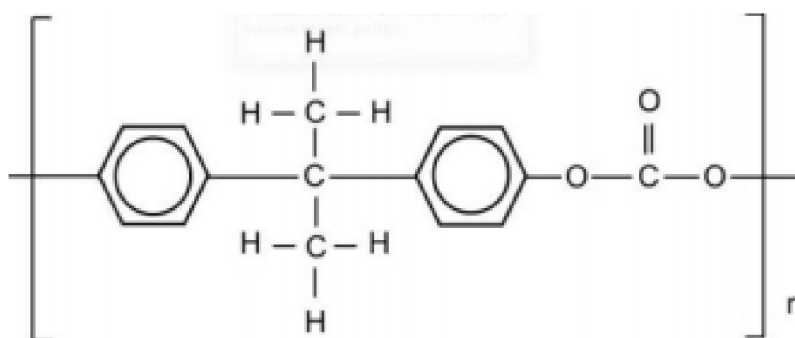
Další dělení polymerů lze provést podle tvaru molekul. Rozlišují se lineární polymery, které mají uspořádány stavební jednotky (také atomy v hlavním řetězci) jedním směrem za sebou, což je znázorněno na obr. 1.3 varianta a). Vyznačují se dobrou tekutostí taveniny, vyšší teplotní odolností, vyšší hustotou materiálu a vyšší pevností, než je u rozvětvených polymerů. Dalším tvarem jsou rozvětvené polymery (viz obr. 1.3 varianta b). Vznikají spojováním lineárních řetězců pomocí příčných chemických vazeb. Pokud se pospojují všechny lineární řetězce do jednoho celku, vzniknou zesíťované polymery (viz obr. 1.3 varianta c). Prostorově zesíťované polymery lze získat tehdy, když se stavební jednotky vážou do trojrozměrné sítě [1,2, 3, 6].



Obr. 1.3 Tvary polymerů: a) lineární, b) rozvětvené, c) zesíťované polymery [7].

### 1.1.2 Polykarbonáty

Název polykarbonát (PC), je odvozen od funkčních karbonátových uhlíčitanových skupin a dihydroxysloučenin, které v řetězci spojují monomerní jednotky. Přesné chemické složení polykarbonátu je uvedeno na obr. 1.4[8].



Obr. 1.4 Chemické složení polykarbonátu [8].

Polykarbonát je přirozeně průhledný materiál. Propustnost světla je 85 % až 90 %. Vyznačuje se velmi vysokým indexem lomu  $n_D^{20} = 1,587$ . Především díky těmto vlastnostem se hojně využívá v průmyslovém odvětví, kde nahrazuje sklo. Často se používají i v automobilovém průmyslu. Vyrábějí se z nich takzvaná skla světlometů, nárazníky, nebo ochranné štíty motocyklů. V praxi se označuje polykarbonát komerčním názvem Makrolon nebo Lexan. Polykarbonát lze dobarvovat. Tímto se stává ještě využitelnějším díky nejrozličnějším barevným variantám [3, 5, 7].

#### **Výhody a nevýhody polykarbonátu**

Některé výhody polykarbonátu byly už zmíněny v úvodu kapitoly o polykarbonátech. Polykarbonát se vyznačuje i jinými vlastnostmi [6]. Jeho výhodou je vysoká rázová houževnatost i při velmi nízkých teplotách. Zároveň vyniká rozměrovou stabilitou až do 140 °C. Jedná se o jediný termoplast, který má až do takto vysoké teploty dobrou stálost rozměrů. Je to způsobené tím, že po celou dobu je hodnota modulu pružnosti konstantní [3].

Vyniká vysokou mechanickou pevností a dobrými elektroizolačními vlastnostmi. Mezi výhody polykarbonátu patří odolnost vůči UV záření a relativně nízká absorpce vody. Odolává roztokům zředěných kyselin, mýdel či alkoholu [3].

Polykarbonáty mají ovšem nedostatečnou odolnost vůči dlouhodobému působení vroucí vody, amoniakům a aminům. Při vystavení polykarbonátu gama zářením vzniká fotodegradace. Polykarbonát vyniká velkou náchylností k praskání. Především po mechanickém namáhání, působení vysoké teploty a rozpouštědel. Dlouhodobější působení metanolu způsobí degradaci materiálu [3, 6].

### ***Struktura a výroba polykarbonátu***

Molekula polykarbonátu se vyznačuje tuhostí, dlouhými opakujícími segmenty a omezenou rotací fenolických jader, z toho vyplývá vysoká teplota skelného přechodu, velká viskozita a vyšší interval teploty tání. V důsledku toho nevykazuje polykarbonát krystalickou strukturu. Při speciálních podmínkách lze vytvořit malé krystalické domény. K vytvoření domén dosáhneme například velmi pomalém ochlazování polymeru. Na tyto podmínky ve výrobě ovšem nelze narazit, proto je polykarbonát většinou označován za amorfni. Polykarbonát se vyrábí pomocí mezifázové polymerace nebo rozpouštěcího esterifikačního procesu. Podle zvolené metody výroby lze získat příslušné vlastnosti polymeru. Při zvolení první zmíněné metody výroby jsou polykarbonáty méně stabilní při vyšších teplotách a méně houževnaté, než když je použita druhá zmíněná metoda – rozpouštěcí esterifikaci [6, 9].

#### **1.1.3 Zpracování polykarbonátu vstřikováním**

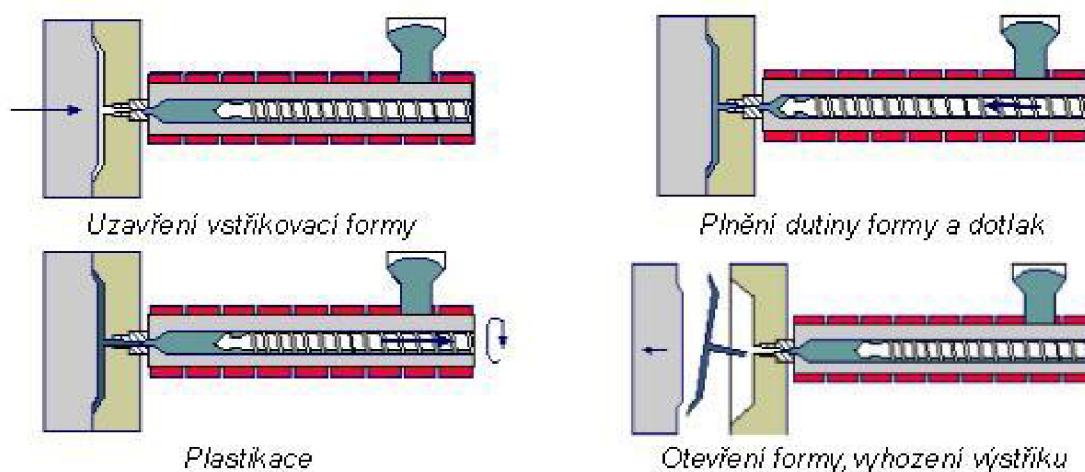
Výrobky z polykarbonátu se vyrábějí nejčastěji vyfukováním, tvarováním za tepla, vytlačováním nebo vstřikováním. Všechny tyto výrobní procesy se provádějí zahřátím polymeru nad teplotu tání, tedy převedení polymeru na taveninu. Polykarbonáty jsou před procesem ve formě granulí. Ty mohou obsahovat různé příměsi upravující jejich vlastnosti. Nejpoužívanější metodou pro zpracování polykarbonátu je vstřikování. Tímto procesem se vyrábějí výrobky, které mají charakter konečného produktu, nebo polotovary sloužící pro další zpracování. Výrobky zhotovené vstřikováním mají dobrou rozměrovou i tvarovou přesnost. Metodu vstřikování lze použít na všechny druhy termoplastů. Dokonce ji lze použít na určitý typ reaktoplastu a kaučuku [5, 6].

Při zpracování polykarbonátu vstřikováním je potřeba věnovat pozornost technickým požadavkům procesu. Polykarbonáty se obtížněji zpracovávají. Mají nižší tekutost, a proto se musejí používat vysoké vstřikovací tlaky. Vnitřní tlak ve formě dosahuje 800 barů oproti běžné hodnotě 500 barů [3, 4].

Polykarbonáty jsou náchylné k přehřátí. Může zde nastat tepelná degradace. V případě vlhkého materiálu může nastat i degradace hydrolytická. S tím souvisí i jedna z vlastností, a to vysoká navlhavost a zpětná navlhavost po vysušení (do cca 20 min opět navlhne) [4].

Výhodou vstřikování je možnost vyrábět složité součásti s velmi dobrou tolerancí rozměrů a dobrou povrchovou úpravou. Další výhodou je krátký čas cyklu. Mezi nevýhody této metody patří vysoké investiční náklady a dlouhé časové intervaly nutné pro výrobu forem [6].

Polykarbonát je ve formě granulí nasypán do násypky, ze které si stroj sám odebrá potřebné množství materiálu, a to za pomoci šneku nebo pístu. Materiál putuje do tavicí komory, kde je za pomoci tření a topení převeden na taveninu. Tavenina je hned vstřikována do dutiny formy. Tavenina celou formu zaplní a zaujme tvar dutiny formy. Následuje tlaková fáze, během které dochází ke smrštění. Polykarbonát předává formě teplo a je ochlazován až do doby, kdy se z něho stává finální výrobek. Následně se forma opět otevře, vyjme se výrobek a proces je možné opakovat. Celý proces je stručně zobrazen na obr. 1.5 [3, 6].



Obr. 1.5 Vstřikovací cyklus [5].

***Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku [4, 5]:***

- velikost vnitřního pnutí – měla by být co nejnižší,
- tekutost plastu – musí být dostatečná a nesmí rychle klesat s teplotou,
- rychlost plastikace polymeru – požaduje se co nejkratší,
- uvolňování těkavých látek,
- smrštění plastu,
- dostatečná tepelná stabilita plastu.

Z technologických parametrů má na vlastnosti konečného výrobku největší vliv vstříkovací tlak. Ten ovlivňuje např. rychlost plnění, vnitřní pnutí, smrštění, atd. Dalším důležitým parametrem je teplota taveniny. Teplota taveniny závisí na konkrétním druhu plastu a ovlivňuje především tekutost materiálu. Důležitá je také teplota formy, z technologického hlediska by měla být co nejvyšší. Tento parametr ovlivňuje především lesk a povrch výrobku. Teplota formy je definovaná podle jednotlivého typu plastu a charakteru výrobku. Nejen teploty a tlaky patří mezi důležité parametry ovlivňující vlastnosti výstřiku, ale i rychlost plnění dutiny formy. Rychlost plnění by měla být co nejvyšší. Je potřebné si dávat pozor na teplotu taveniny, mohlo by totiž dojít k degradaci hmoty. Mezi další významné technické parametry patří doba trvání dotlaku, která ovlivňuje především rozměry a smrštění výrobku [4, 5].

## **1.2 Popis procesu výroby výlisku**

V následujících podkapitolách je popsán celý proces výroby skla světlometu. Nejdříve vznikne výlisek technologií lisování, který následně pokračuje do temperační pece, aby se odstranilo vnitřní pnutí. Poté je výlisek operátorem nasazen na dopravník projíždějící lakovnou. Hotový výlisek je zkontrolován ve vykládce operátorem a dobré kusy jsou převezeny na montážní linku, kde jsou namontovány do světlometu.

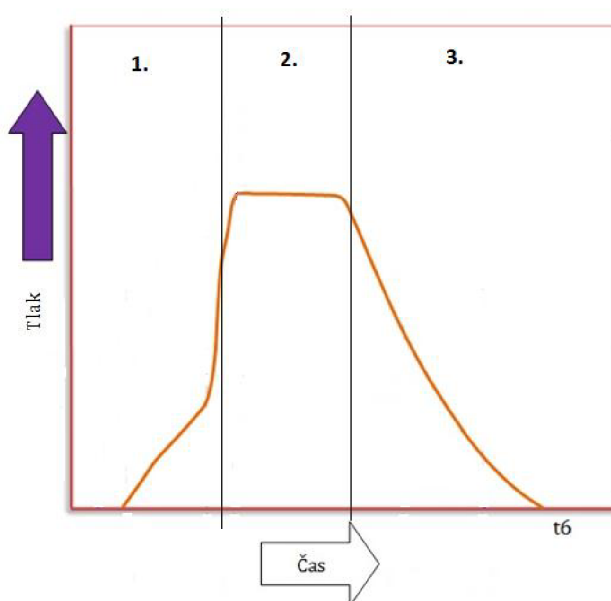
### **1.2.1 Proces lisování**

K výrobě výlisku se používá technologie vstřikování. Jedná se o tvářecí technologii, kterou mohou být zpracovány všechny druhy termoplastů. Ve speciálních případech lze technologii vstřikování použít na reaktoplasty nebo kaučuky [5].

Vstřikovací proces lze rozdělit na čtyři fáze [11]:

- sušení a plastikace materiálu,
- vstřikování taveniny do formy,
- dotlačení taveniny a její chladnutí,
- vyjmutí vylisku z formy.

Na obr. 1.6 je znázorněna závislost tlaku na čase během procesu lisování. V první fázi plnění formy tlak prudce narůstá. Během druhého intervalu dotlačování tlak pouze mírně klesne, ovšem v poslední fázi celého procesu je vylisek ochlazován a tlak klesne výrazně.



1 - vstřikování, 2 - dotlačování, 3 - chlazení

Obr. 1.6 Závislost tlaku na čase během lisování vylisku [7].

### ***Sušení a plastikace materiálu***

Termoplasty, které jsou na začátku procesu ve formě granulí, mohou pohlcovat vlhkost z okolního prostředí. Jedná se o tzv. navlhavé plasty, což vede ke zhoršení vlastností vylisku. Změní se fyzikální i mechanické vlastnosti a sníží se hustota, pevnost tvarového spoje i tuhost. Pokud je vlhkost vázaná v materiálu, vznikají vady, které se projevují na povrchu výrobku vlhkostními šmouhami. Dalšími možnými vadami mohou být nedostatky jako nerovnoměrný lesk nebo stříbření. Sušení materiálu probíhá v sušičkách (obr. 1.7), kde se v uzavřené nádobě vytvoří podtlak, pomocí kterého je vlhkost z granulí vysáta. Vysušený materiál je následně transportován přímo do násypky umístěné na lise [5, 10, 11].



Obr. 1.7 Sušičky granulátu.

Jakmile je materiál vysušený, začíná fáze plastikace. Účelem plastikace je příprava vstupního materiálu na vstříknutí do formy. Vysušený tuhý granulát je postupně změněn na taveninu. Nejdříve je vysušený granulát veden pomocí potrubí ze sušiček do násypky umístěné na vstřikovacím lisu. Zde je hlídána hladina pomocí snímačů. Z násypky si následně lis odebírá potřebné množství materiálu automaticky, a to za pomoci šnekového dopravníku. Šnek může být nahrazen pístem. Šnek dopravníku je umístěn v tavném válci. Tavicí komora je rozdělena na tři části. Každá část má samostatné topení a regulaci. Nejvyšší teplota je nastavena v pásmu nejbližší vstřikovací trysky. Naopak nejnižší teplota je nastavena v pásmu u násypky. Na začátku procesu plastikace je šnekem odebrána část granulátu ze zásobníku, která se postupným posouváním šneku v prostoru ohřívaného válce začne natavovat. Šnek umožňuje zároveň hnětení taveniny a dopravování směsi do prostoru ve válci před čelo šneku, během něhož ustupuje šnek dozadu. Tavicí komora je zakončena tryskou. Ta slouží jako spojení mezi formou a komorou, dopravuje taveninu do vtokových kanálů nacházejících se ve formě [5, 11].

### ***Vstřikování taveniny do formy***

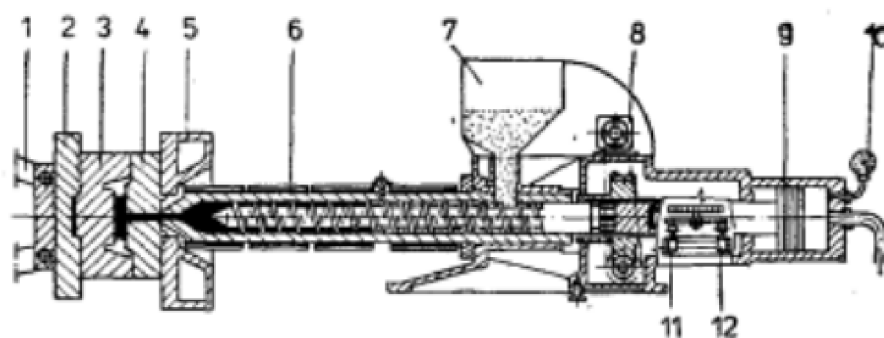
Na začátku fáze vstřikování je forma prázdná a otevřená. Jakmile začne proces, dostane forma impuls, aby se uzavřela a uzamkla. Uzamknutí formy je důležité, aby se forma během procesu neotevřela vlivem vysokých tlaků. Šnek se začne axiálně pohybovat dopředu, nerotuje. V této fázi by mohl být šnek nahrazen pístem.



Následuje vstříknutí taveniny do formy. Vstříkovací lis a schéma procesu vstříkování je umístěno níže (obr. 1.8, obr. 1.9). Doba plnění trvá pět sekund. Interval by měl být co nejkratší, neboť při dlouhém plnění by taveniny ztratila svoji tekutost, hmota by nezaplnila celou dutinu a vznikla by nedostříknutá neshodná součást. Během plnění je také důležitý tok taveniny. Nejvhodnější je plnění postupné, neboli laminární plnění, kdy dochází k postupnému tuhnutí vrstev taveniny. Díky tomuto způsobu plnění vzniká plastické jádro, které je možné následně stlačit [3, 5, 11].



Obr. 1.8 Vstříkovací lis.



Obr. 1.9 Schéma vstříkovacího lisu [11].

1 - uzavírací mechanismus, 2 - pohyblivá upínací deska, 3 - tvárnice, 4 - tvárník, 5 - nepohyblivá upínací deska s otvorem pro trysku, 6 - vstříkovací válec, 7 - násypka, 8 - hydraulický motor pro pohon šneku, 9 - hydraulický válec, 10 - tlakoměr, 11 - koncový spínač dotlačování, 12 - koncový spínač zpětného posunu šneku

### ***Dotlačení taveniny a její chladnutí***

Jakmile je celá forma naplněna, přechází se ke stlačení taveniny. Během stlačení dochází k nejvyššímu tlaku. Proto se může stát, že dojde k nepatrnému otevření formy, pokud není forma dostatečně uzamčena. Tento jev se projeví vznikem otřepů.

Následné dotlačení nahrazuje úbytek materiálu, čímž je kompenzováno smrštění během chladnutí výlisku. Zabrání se tak vzniku staženin a propadlin. Dotlačování bývá řízeno, aby se mohl na začátku dotlaku použít vyšší tlak, a s klesající tekutostí výlisku dotlak snížit. Dotlačení významně ovlivňuje konečný tvar a hmotnost výlisku. Výlisky mají stejnou hmotnost, ale liší se rozměry. Z tohoto důvodu se provádí na výliscích zkouška rozměrů [5, 11].

Chladnutí výlisku začíná již během vstříknutí taveniny do formy. Forma má obvykle nižší teplotu než je teplota vstříknuté tekutiny. Chlazení pokračuje současně během dotlačování. Doba chlazení představuje nejdelší část cyklu vstřikování, obvykle se pohybuje od několika sekund do několika minut. Cílem je, aby tato doba byla co nejnižší, proto se využívá účinné chlazení formy [5, 11].

### ***Vyjmutí výlisku z formy***

Jakmile výlisek dostatečně zchladne, forma se otevře a je možné výrobek vyjmout z formy. Tuto operaci provádí manipulační robot, který za pomoci podtlakových přísavek uchopí výlisek. Robot je vybaven nůžkami sloužící k odstranění vtoků vzniklých na výlisku. Následně robot výlisek přemístí k plazmě, která zajistí rovnoměrné rozložení náboje a eliminuje tak zachytávání prachových nečistot na výlisek. Dále odloží výlisek na lamelový dopravník (obr. 1.10), jenž vede do temperační pece [3, 11].

Speciálním případem lisování jsou dvoukomponentní výlisky. Výroba těchto dílců je technologicky náročnější oproti jednokomponentním výliskům. Dvoukomponentní výlisek je vyroben ze dvou odlišných barev granulátu. Nejčastěji se jedná o kombinaci čirého a černého granulátu, ale lze použít i šedý. Při výrobě se nejdříve vstříkne čirá hmota a vylisuje. Poté dojde k otočení rotačního stolu a je stejnou technologií vyroben černý okraj výlisku. Na rotačním stole se vyrobí v jednom cyklu dva čiré výlisky a dva výlisky s černou hranou.



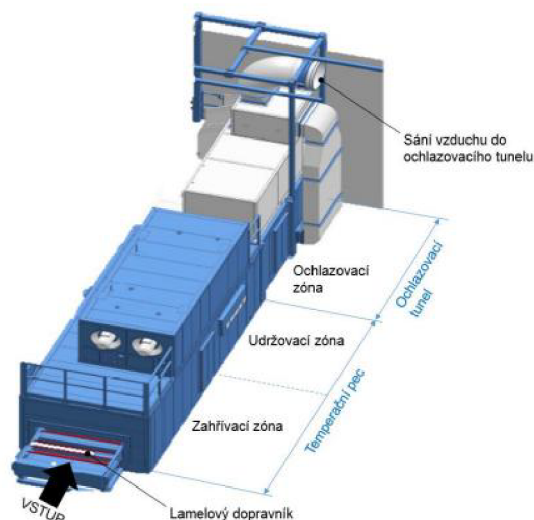
Obr. 1.10 Odkládání výlisku robotem na dopravník.

### 1.2.2 Temperační zařízení

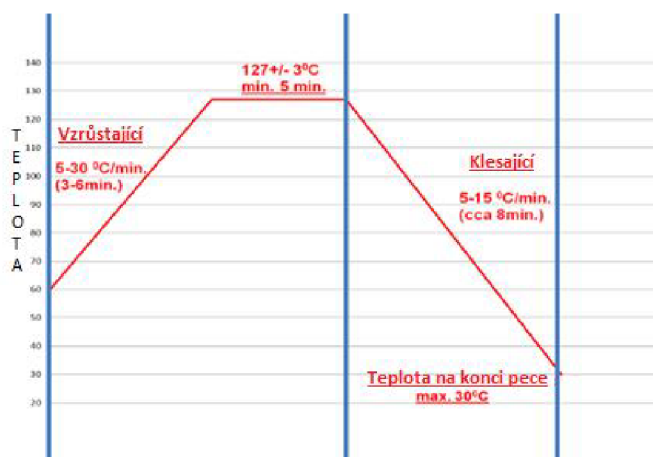
Temperační pec (obr. 1.11) je navržena tak, aby odstranila z PC skel vnitřní pnutí. Temperační pec bývá označena jako žíhací pec, jelikož proces temperace je obdobný jako proces žíhání. Temperační proces je rozdělen na čtyři části. První část se nazývá nakládka. Zde jsou robotem položena skla na lamelový dopravník. Obvykle se pokládají dvě skla vedle sebe. Skla jsou přepravována přes temperační pec do nakládací zóny lakovny. Lamelový dopravník se pohybuje v krocích, délka jednoho kroku se provádí rozměrem rozteče - 750 mm.

Další fáze se nazývá ohřívací, během níž dochází k prudkému zahřátí na teplotu blízkou teplotě skelného přechodu materiálu. Následuje výdrž na dané teplotě alespoň po dobu pěti minut. Změny teplot během temperace jsou znázorněny na obr. 1.12. K zahřátí se využívá plynový nebo elektrický topný systém. Rozložení teploty je rovnoměrné ve všech částech pece v tolerancích  $\pm 1$  °C.

Třetí fáze je chladicí. Aby bylo docíleno postupného ochlazení výlisku, využívá se dlouhý chladicí tunel, který funguje na principu proudění chladného vzduchu v otevřeném systému. Ke chlazení skel se využívá neochlazený vzduch, který je nasáván z prostředí výrobní haly, tj. pasivního chladicího systému bez chladiče. Na konci chladicího tunelu by neměla teplota výlisku překročit 30 °C. Lamelový dopravník končí ve vykládce, kde operátor vyjme skla z lamelového dopravníku, provede vizuální kontrolu výlisku a nastává proces lakování.



Obr. 1.11 Temperační pec [3].



Obr. 1.12 Průběh teplot během temperace [13].

### 1.2.3 Lakování skel

Lakování skel je prováděno nanášením tenké vrstvy akrylátového laku na vnější stranu polykarbonátových skel. Aplikovaný lak zaručuje mechanickou a chemickou odolnost plastových skel světlometů. Celý postup procesu je možné vidět na obr. 1.13.



Obr. 1.13 Popis procesu lakování skel.

Po procesu lisování jsou výlisky vyjmuty robotem z formy a pásovým dopravníkem jsou přemístěny přes temperační zařízení do nakládací zóny. Zde jsou skla vizuálně kontrolována operátorem.

V případě, že je výlisek bez vad, je nasazen na dopravník pomocí příslušného upínacího zařízení. Následně je výlisek otřen antistatickou utěrkou. Upínací zařízení na dopravníku je velmi důležité pro zajištění stabilní polohy a naklonění během procesu lakování. Tvar musí být přesný, aby byl výlisek zajištěn proti pádu na podlahu, případně do strojního zařízení, či protijeho poškrábání. Pro každý projekt jsou používány specificky navržené přípravky (obr. 1.14).

V první části lakovací linky jsou umístěny LED světla a snímače, které identifikují obsazenost trnu výliskem. Neobsazené pozice nejsou následně lakovány. Výlisek pokračuje pod ofukovacím systémem – ionizátory. Zde dochází k deionizaci skla, kdy je neutralizován povrch výlisku, z důvodu snížení přilnavosti prachu a odstranění nečistot z výlisku před lakováním.



Obr. 1.14 Specificky navržené přípravky.

Výlisek je následně dopraven pod lakovací systém, polévání (viz obr. 1.15). K lakování je používán akrylátový lak (UVT 610 smíchan s rozpouštědly, tj. směs isopropanolu a isobutanolu). Lakování je prováděno v lakovací zóně, kde ze štěrbin lakovacího systému vytéká souvislá clona laku a polévá vnější stranu výlisku. Kontinuálně jsou kontrolovány vlastnosti laku a vzduchu v lakovací zóně. Pro lak je kontinuálně kontrolována i hustota a pro vzduch teplota a vlhkost. Tyto parametry by mohly totiž negativně ovlivnit výslednou kvalitu lakovaného povrchu výrobku. U hustoty platí, že čím vyšší je hustota laku, tím je větší vrstva laku. V lakovací zóně dochází následně i k odkapávání přebytečného laku.

Po odkapu přebytečného laku je výlisek dopraven do odpařovací pece. Dochází zde k odpařování rozpouštědla a vzniká IPL vrstva (interpenetrační vrstva laku). Doba i teplota při odpařování je pevně stanovena a musí jí být přizpůsobená i rychlost dopravníku, aby byl zde výlisek předepsanou dobu.

Po odpaření rozpouštědla je výlisek dopraven do vytvrzovací zóny, kde dojde k jeho vytvrzení pomocí UV záření. Dochází zde k polymeraci, tedy k zesíťování laku a propojení vrstvy laku s polykarbonátovým výliskem. UV lampy jsou umístěovány s dvojí orientací, aby docházelo k vytvrzení přední strany skla, a zároveň i bočních stran.

Předposlední částí procesu je ochlazení polakovaného výlisku. Výlisek postupuje do chladicí zóny, kde je cirkulujícím vzduchem ochlazován na teplotu takovou, aby mohl být uchopen do ruky a také i částečně kvůli balení, do kterého se výlisky uzavírají, jelikož obalové materiály jsou z plastu s nízkou teplotní odolností.



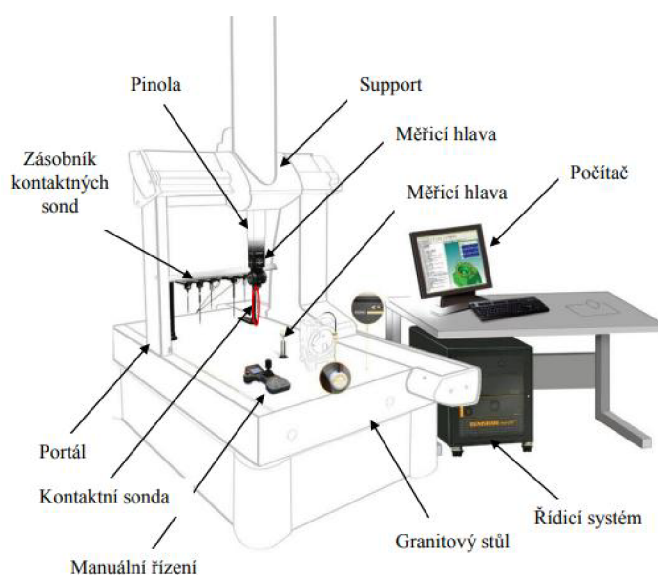
Obr. 1.15 Lakování výlisku poléváním.

Následuje vykládací zóna, kde je opět provedena vizuální kontrola operátorem a uložení výlisku do balení pro transport na montážní linky světlometů.

V lakovací lince je využíváno cirkulujícího okruhu, nevzniká zde žádný odpad. Přebytečný lak, který je sváděn do van pod dopravníkem, je následně pomocí pump odveden do míchárny. V míchárně je automaticky smíchán s lakem, případně naředěn rozpouštědlem na požadovanou hustotu a veden zpět do lakovacího systému.

### 1.3 Popis měření 3D rozměrů výlisků

Základním přístrojem pro 3D měření je souřadnicový měřicí stroj CMM (CMM – Coordinate Measuring Machine). Každý CMM se skládá z několika částí a jednotlivých subsystémů, které jsou vzájemně propojeny (obr. 1.16). Systém CMM lze rozdělit podle konstrukce na čtyři druhy: stojanový, výložníkový, mostový, portálový. Portálový typ patří mezi nejrozšířenější. Vyrábí se buď s pohyblivým stolem a pevným portálem, nebo naopak. Důležitou součástí souřadnicového měřicího stroje je sonda, která využívá dotykové senzory. V současnosti se vyrábějí i bezdotykové CMM, kde probíhá měření pomocí optických senzorů [12].



Obr. 1.16 Portálový měřicí přístroj [12].

Měření výlisků i světlometů je prováděno na již zmíněném portálovém CMM s měřicí sondou. Během měření je využíván kartézský souřadnicový systém. K uchycení skel slouží speciální přípravky, které jsou pro každý projekt jiné. Nejdříve se umístí na stůl stroje přípravek, který má na sobě nadeřinované body, které sonda nasnímá jako první. Jedná se o tzv. nulové body. Následně se upevní sklo do přípravku. Sklo obsahuje na svém povrchu tři dopředu vyrobené referenční body, jsou to nejdůležitější body měření, které jsou sondou nasnímány. Na skle dochází následně k sérii měření dalších bodů.

Jedno z významných měření u skel je měření obvodu skla, a to z toho důvodu, aby mohlo být sklo namontováno do světlometu. Všechny naměřené hodnoty musí vyhovovat hodnotám zadaných od zákazníka.

Měření skel se provádí i ve výrobě, nikoliv jen v rozměrové laboratoři. Toto měření je prováděné pracovníky pomocí tzv. hodinek a přípravků, které slouží k změření významných míst na skle. Pomocí toho si ověří, zda výroba jede správně či nikoliv. Pokud jsou zjištěny hodnoty, které výrazně překročí předem stanovenou toleranci, je nutné zastavit výrobu daného projektu a upravit proces výroby.

Součástí celého procesu měření je validace a kalibrace. Na začátku každého měření v rozměrové laboratoři se musí provést validace měření. Dva, případně tři, metrologové uskuteční na novém skle sérii měření, aby byla zajištěna stabilita procesu měření. Důležitá součást měřícího procesu je kalibrace. V určitých časových intervalech musí být metrologem provedena kalibrace měřících přístrojů.



## 2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V průběhu výroby vnějších čoček světlometů dochází ke změně rozměrů výlisku. S tímto problémem souvisejí komplikace při montování skla do světlometu na montážní lince.

První vyskytnutí změny rozměrů nastává při chladnutí vylisované čočky světlometu, kdy dochází ke smrštění výlisku. Další změna rozměrů nastává během procesu temperace. Právě tato oblast bude testována v experimentální části. Cílem experimentu je snížit počet nevyhovujících výlisků s nevycházejícími rozměry.

Během následujícího experimentu bude demonstrován výzkum, který proběhl již dříve ve firmě Automotive Lighting z důvodu dlouhodobě nevyhovujících rozměrů výlisků.

### 2.1 Rozvržení experimentální části

Celý experiment se skládá ze tří částí. Během každé části byla testována jiná lamela. Jedná se o součást z korozivzdorné oceli, která je umístěna v temperační peci, a jsou na ni odkládány výlisky. Zpravidla jsou umístěny v peci dvě až tři lamely za sebou a jsou na ně umístěny dva nebo čtyři kusy výlisků. Všechny tři lamely se liší pouze ve drážkování. První dva typy lamel byly používány v pecích dříve. Třetí typ lamely je používán nyní.

Byl testován vliv tvaru lamely na rozměry dvoukomponentního polykarbonátového výlisku a zároveň byl testován vliv teploty na výlisek. Rozměry byly kontrolovány na 3D měření pomocí souřadnicového měřicího stroje. Průběh teploty během temperace se testoval pomocí systému DATAPAQ. Všechny tři experimenty byly následně vyhodnoceny.

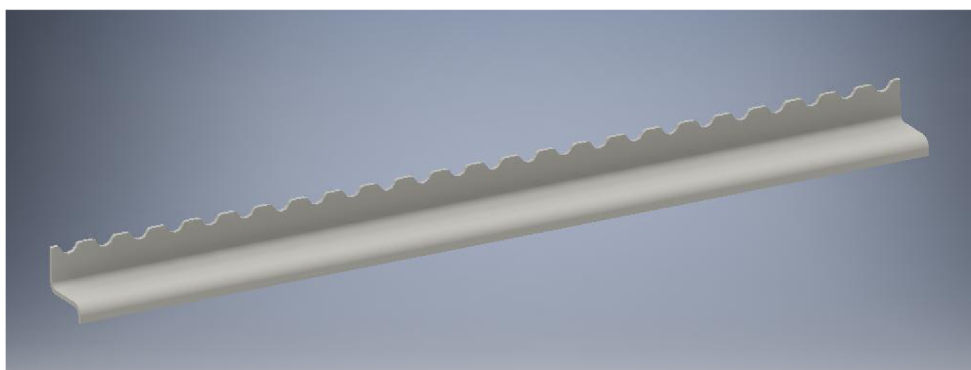
### 2.2 Experiment číslo 1

První experiment proběhl s dvoukomponentním polykarbonátovým výliskem a lamelou číslo 1. Profil této lamely je znázorněn na obr. 2.1 a obr. 2.2. Drážkování je po celé délce lamely a profil drážkování je zaoblený, tvořící tvar U. Lamela číslo 1 byla dříve používána v pecích. Nastavení temperační pece nebylo pro tento experiment měněno. Cílem prvního experimentu bylo určit vliv lamely a vliv procesu temperace na výlisek.

#### 2.2.1 Návrh experimentu číslo 1

Byla provedena temperace výlisku na lamele číslo 1 (viz obr. 2.1 a obr. 2.2) za nastavené teploty vzduchu 168 °C. Čas jednoho cyklu byl 54 s. Měření probíhalo na šabloně vyrobené z polykarbonátového výlisku a bylo opakováno celkem třikrát.

Teplota byla měřena pomocí pěti čidel. První čidlo (č. 5) měří aktivní teplotu vzduchu v peci. Ostatní čtyři (1. a 2. pro levý kus, 3. a 4. pro pravý kus) měří aktuální teplotu daného kusův šablony. Na závěr experimentu proběhlo vyhodnocení rozměrů kusů.



Obr. 2.1 Model lamely č. 1.



Obr. 2.2 Detail profilu lamely č. 1.

### 2.2.2 Provedení a analýza experimentu číslo 1

Byla připravena šablona pro měření teplotního průběhu temperování polykarbonátových výlisků. Čtyři čidla byla vpravena do výlisku natavením. Páté čidlo bylo upevněno k rámu šablony, aby bylo stále ve stejné pozici.

Šablona byla umístěna na lamely dopravníku dle umístění ostatních kusů, viz obr. 2.3, a čidla byla zapojena do měřicího přístroje DATAPAQ. Šablona následně projela temperační pecí společně s ostatními kusy ve standardním časovém cyklu.

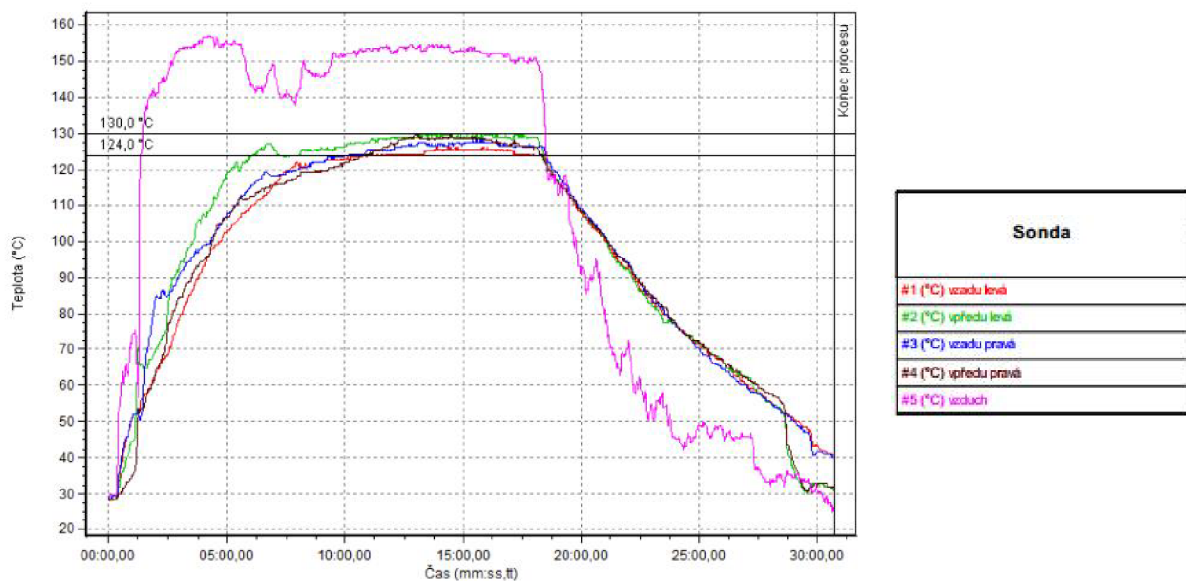
Po ukončení měření byl vyhodnocen průběh teplot a proběhlo 3D měření rozměrů dvou sad polykarbonátových výlisků. Experiment byl proveden třikrát v odstupech dvou dnů pro ověření správnosti.



Obr. 2.3 Měření lamely pomocí šablony.

### 2.2.3 Zhodnocení experimentu číslo 1

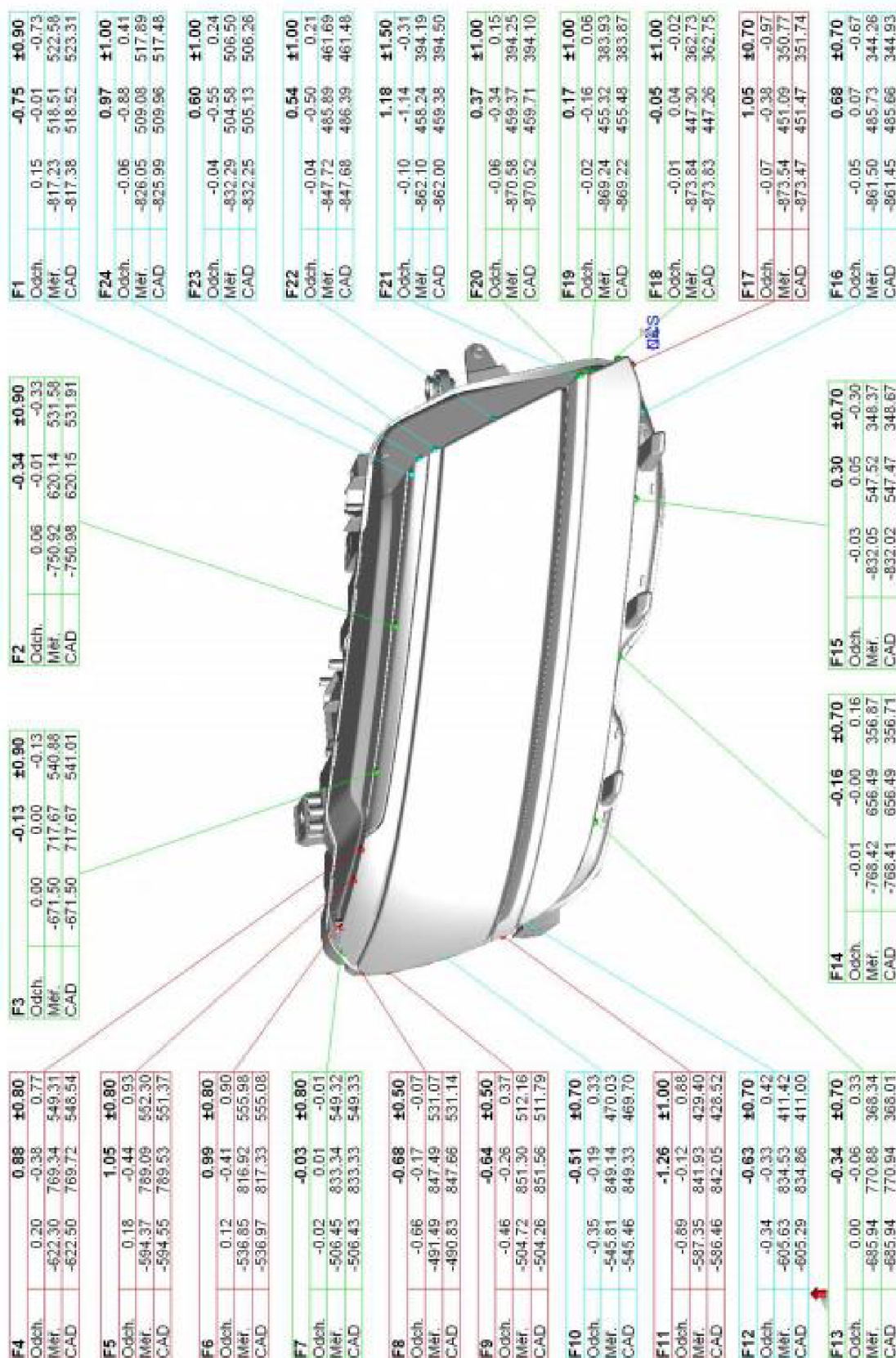
Měřicí přístroj DATAPAQ byl připojen k počítači. Byl získán teplotní průběh, který byl vyhodnocen dle požadavků zákazníka jako vyhovující, tj. výlisky ve všech měřených částech byly po dobu déle než pět minut zahřáty na 124 °C až 130 °C, což lze vidět na obrázku 2.4 (celá grafická závislost je přiložena v příloze P1). Výsledky měření prokázaly, že proces temperace proběhl správně.



Obr. 2.4 Vyhodnocení teplotního průběhu při experimentu č. 1.

Měřené kusy byly odvezeny do rozměrové laboratoře, kde byly za pomoci souřadnicového měřicího přístroje změřeny. Výsledek měření 3D rozměrů nebyl vyhodnocen dle požadavků zákazníka jako vyhovující, tj. odchylky byly mimo stanovenou toleranci, viz obr. 2.5 (ostatní výsledky měření viz příloha P2). Červená barva označuje hodnoty, které nebyly v dané toleranci. Modrá barva označuje hodnoty, jež se nacházejí na okraji tolerance. Zelené hodnoty se nacházejí ve stanoveném intervalu.

Z vyhodnocení teploty a rozměrů tedy vyplývá, že odchylky byly způsobeny nevyhovující pozicí výlisku na lamelách.



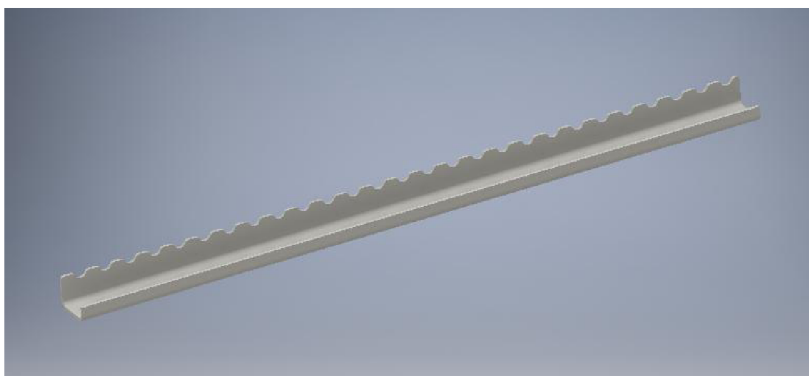
Obr. 2.5 Výsledek 3D měření rozměrů výlisku při experimentu číslo 1.

## 2.3 Experiment číslo 2

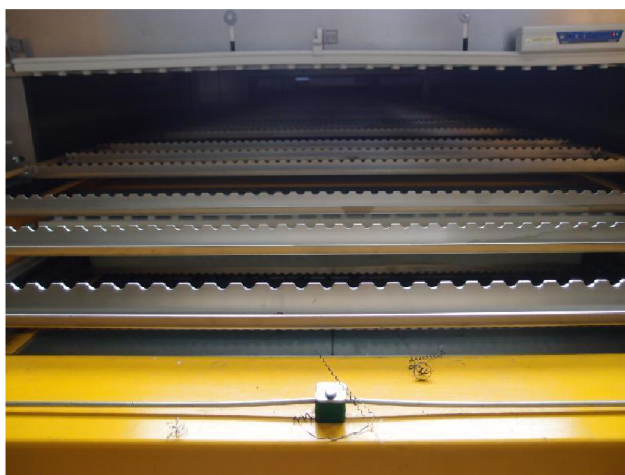
Druhý experiment proběhne s dvoukomponentním polykarbonátovým výliskem a lamelou číslo 2. Tato lamela má stejný tvar drážkování jako předchozí typ lamely. Liší se pouze zakončením spodní strany lamely. Profil této lamely je znázorněn na obr. 2.6 a obr. 2.7. Nastavené temperační pece zůstalo stejné jako při předchozím experimentu. Cílem druhého experimentu bylo určit vliv lamely a vliv procesu temperace na výlisek.

### 2.3.1 Návrh experimentu číslo 2

Byla provedena temperace výlisku na lamele č. 2 (viz obr. 2.6 a obr. 2.7) za nastavené teploty vzduchu 168 °C. Čas jednoho cyklu byl 54 s. K měření byla využita šablona z polykarbonátového výlisku. Ke sledování průběhu teploty během temperace byla použita čidla. První čidlo (č. 5) měří aktivní teplotu vzduchu v peci. Ostatní čtyři (1. a 2. pro levý kus, 3. a 4. pro pravý kus) měří aktuální teplotu daného kusu v šabloně. Na závěr experimentu proběhlo vyhodnocení rozměrů kusů.



Obr. 2.6 Model lamely č. 2.



Obr. 2.7 Detail profilu lamely č. 2.

### 2.3.2 Provedení a analýza experimentu číslo 2

Nejdříve byla přichystána šablona pro měření teplotního průběhu temperování polykarbonátových výlisků. Polykarbonátová šablona byla ve čtyřech místech nahřáta propanbutanovým hořákem a byla do ní vpravena čtyři čidla pro měření teploty. Páté čidlo, které měří aktuální teplotu v peci, bylo upevněno k rámu šablony, aby bylo stále ve stejné pozici.

Šablona byla umístěna na lamely dopravníku stejně jako ostatní kusy a čidla byla zapojena do měřicího přístroje DATAPAQ. Šablona následně projela temperační pecí společně s ostatními kusy ve standardním časovém cyklu. Po ukončení měření byl vyhodnocen průběh teplot a proběhlo 3D měření rozměrů dvou sad polykarbonátových výlisků. Experiment byl proveden třikrát v odstupu dvou dnů pro ověření správnosti.

### 2.3.3 Zhodnocení experimentu číslo 2

Teplotní průběh byl vyhodnocen dle požadavků zákazníka jako vyhovující, tj. výlisky ve všech měřených částech byly po dobu déle než pět minut zahřáty na 124 °C až 130 °C (viz příloha P3).

Měření 3D rozměrů nebylo vyhodnoceno dle požadavků zákazníka jako vyhovující, tj. odchylky byly mimo stanovenou toleranci, viz obr. 2.8 (ostatní výsledky měření viz příloha P4), což lze vidět na přiloženém protokolu. Většina hodnot je označena červeně, protože se nenacházejí ve stanovené toleranci.

Z experimentu číslo 2 vyplývá, že odchylky byly způsobeny nevhovující pozicí výlisku na lamelách, nikoliv procesem temperace.



Obr. 2.8 Výsledek 3D měření rozměrů výlisku při experimentu číslo 2.



## 2.4 Experiment číslo 3

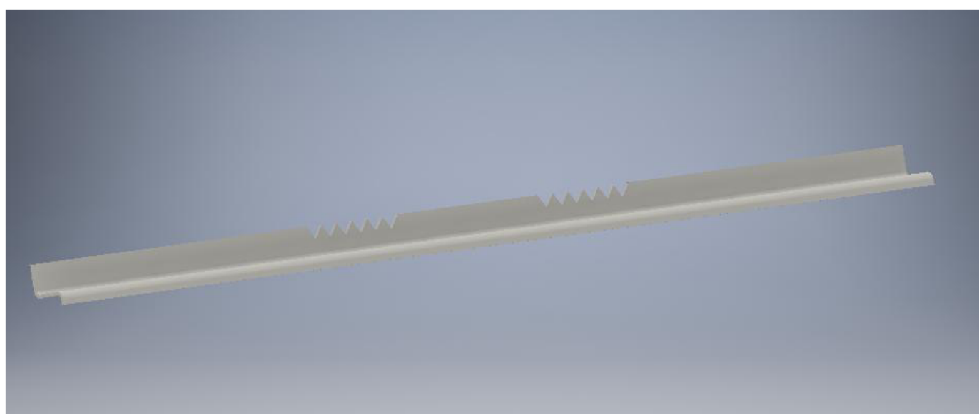
Třetí experiment byl proveden s dvoukomponentním polykarbonátovým výliskem a lamelou číslo 3. Jedná se o lamelu, která má drážkování pouze v místech, kam je robotem odkládán výlisek. Drážkování lamely číslo 3 je změněno. Je zde využit profil tvaru V, který je znázorněn na obr. 2.9 a obr. 2.10. Tento typ lamely je v současnosti využíván na temperančních pecích. Nastavení temperační pece nebylo pro experiment měněno. Cílem třetího experimentu bylo určit vliv lamely a vliv procesu temperace na výlisek.

### 2.4.1 Návrh experimentu číslo 3

V experimentu číslo 3 byla provedena temperace výlisku na lamele č. 3 (viz obr. 2.9 a obr. 2.10). Temperační pec byla nastavena za teplotu vzduchu 168 °C a čas jednoho cyklu byl 54 s. Měření probíhalo na šabloně vyrobené z polykarbonátového výlisku a bylo opakováno celkem třikrát pro ověření správnosti.

Teplota byla měřena pomocí pěti čidel. První čidlo (č. 5) měří aktivní teplotu vzduchu v peci. Ostatní čtyři (1. a 2. pro levý kus, 3. a 4. pro pravý kus) měří aktuální teplotu daného kusu v šabloně.

Na závěr experimentu proběhlo vyhodnocení rozměrů kusů a teploty.



Obr. 2.9 Model lamely č. 3.



Obr. 2.10 Detail profilu lamely č. 3.

### 2.4.2 Provedení a analýza experimentu číslo 3

Byla připravena šablona pro měření teplotního průběhu temperování polykarbonátových výlisků. Čtyři čidla byla vpravena do výlisku natavením. Páté čidlo bylo upevněno k rámu šablony, aby bylo stále ve stejné pozici.

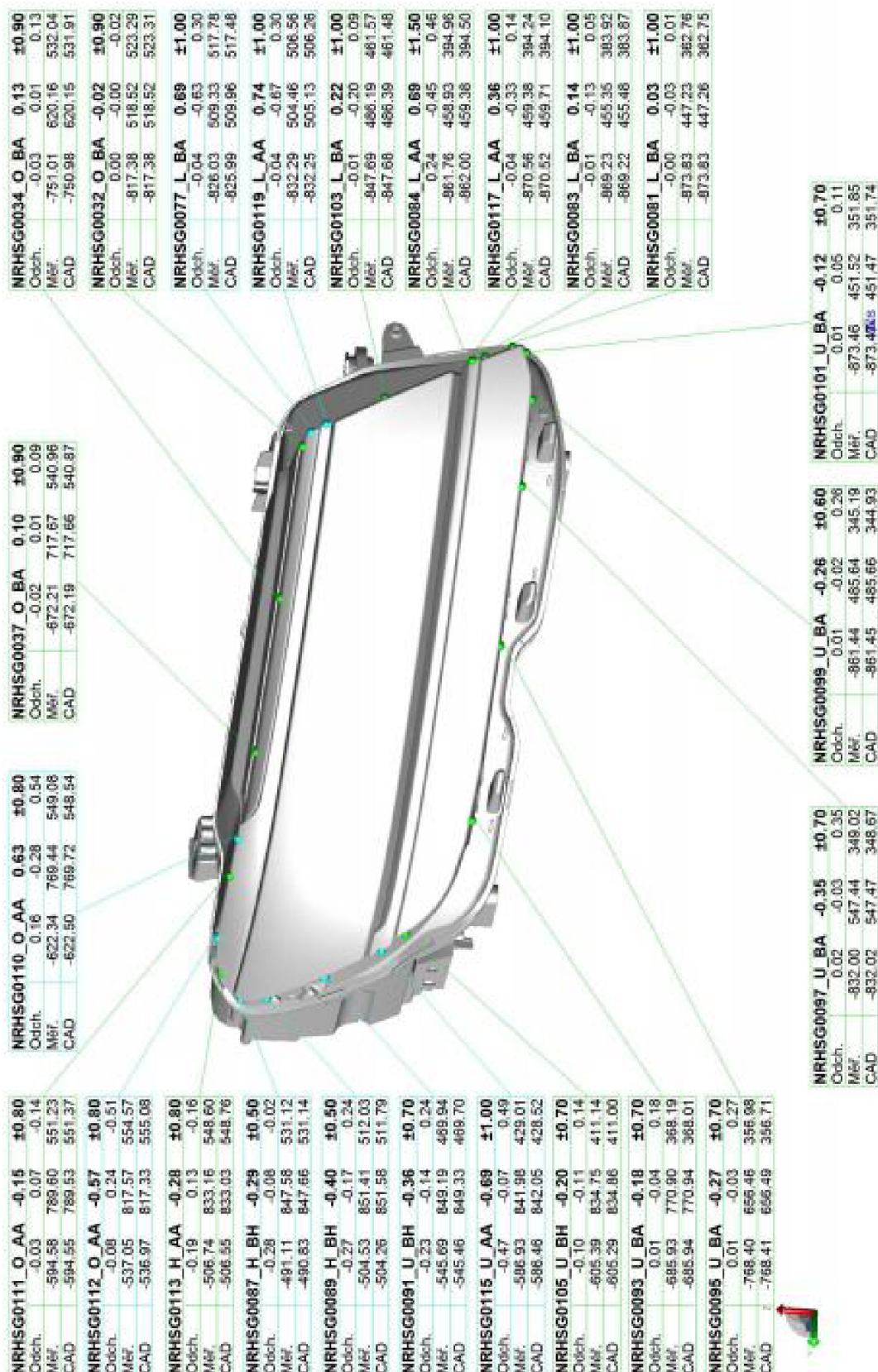
Šablona byla umístěna na lamely dopravníku dle umístění ostatních kusů a čidla byla zapojena do měřicího přístroje DATAPAQ. Šablona následně projela temperační pecí společně s ostatními kusy ve standardním časovém cyklu.

Po ukončení měření byl vyhodnocen průběh teplot a proběhlo 3D měření rozměrů dvou sad polykarbonátových výlisků. Experiment byl proveden třikrát v odstupu dvou dnů pro ověření správnosti.

### 2.4.3 Zhodnocení experimentu číslo 3

Teplotní průběh byl vyhodnocen dle požadavků zákazníka jako vyhovující, tj. výlisky ve všech měřených částech byly po dobu déle než pět minut zahřáty na 124 °C až 130 °C (viz příloha P5).

Měření 3D rozměrů bylo vyhodnoceno dle požadavků zákazníka jako vyhovující, tj. odchylky byly ve stanovené toleranci, viz obr. 2.11 (ostatní výsledky měření viz P6). Na přiloženém výsledném protokolu je většina měřených bodů označena zeleně, občas modře. Z toho vyplývá, že při použití lamely číslo 3 vycházejí, dle měření, nejlepší rozměry výlisku. Rozměry výlisku nejvíce ovlivňuje tvar lamely, nikoliv proces temperace.



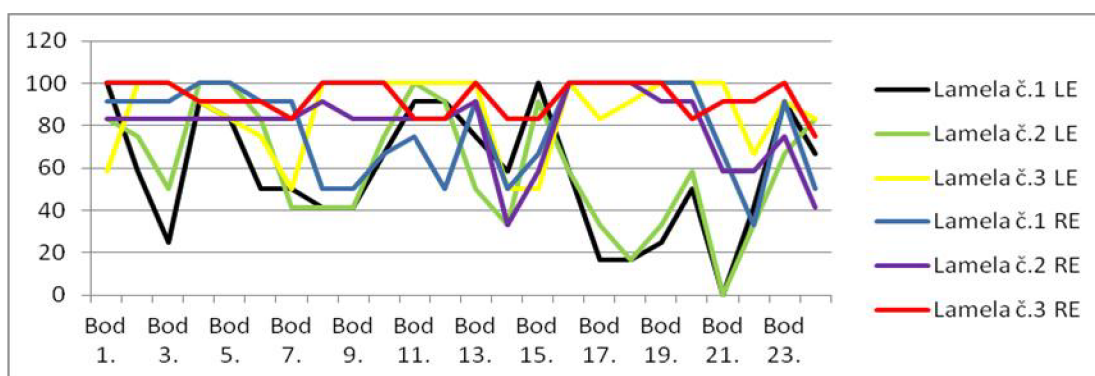
Obr. 2.11 Výsledek 3D měření rozměrů výlisku při experimentu č. 3.

### 3 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

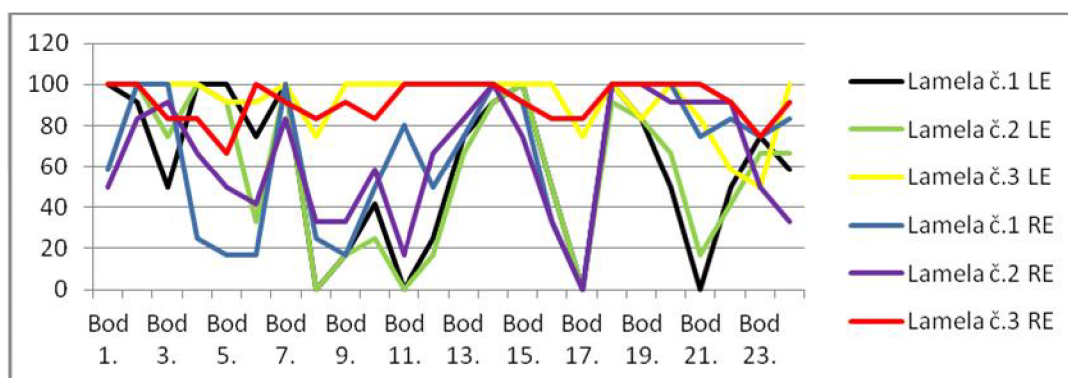
V této kapitole byl zhodnocen experiment ze dvou hledisek, a to prvně z technického a následně z ekonomického, kde byla porovnána zmetkovitost při původním stavu a zmetkovitost při současném stavu.

#### 3.1 Technické zhodnocení

Všechny výlisky použité během experimentu byly následně poslány k vyhodnocení na oddělení 3D měření. Výsledné protokoly jsou uvedeny v příloze. Během kontrolního měření se rozlišovalo měření plochy výlisku neboli „*flush*“. Druhý typ měření se nazývá „*gap*“ a jedná se o kontrolu rozměrů obvodu skla. Po vyhodnocení všech protokolů se ukázalo, že nejlepší rozměry vyšly při experimentu s lamelou číslo 3. Tento typ lamely je v současnosti využíván v temperační peci. Na grafickém znázornění (viz obr. 3.1 a obr. 3.2) je dokázáno, že lamela číslo 3 měla v obou případech, levá i pravá čočka světloometu, nejlepší vliv na rozměry výlisku. Tabulky vyhodnocení rozměrů jsou uvedeny v příloze P7 a P8.



Obr. 3.1 Vyhodnocení měření flush skla světlometu.



Obr. 3.2 Vyhodnocení měření gap skla světlometu.

Po dlouhodobém výzkumu trvajícím půl roku, který je stručně demonstrován v této bakalářské práci, se postupným testováním dospělo k závěru, že rozměry výlisku neovlivňuje nejvíce temperační pec, ale tvar drážkování lamely. V případech, kdy byly použity lamely se zaobleným drážkováním po celé délce, byly výsledky měření nejhorší. Skla světlometů byla robotem položena na lamely, a jelikož okraje výlisku nezapadly přesně do drážek, neudržely během temperace stálý tvar. Po následné úpravě drážkování lamely, tedy profil tvaru U byl změněn na tvar V, drážkování nebylo již po celé délce, ale pouze v místech, na které bylo odkládáno sklo, došlo k výraznému zlepšení rozměrů výlisků. Každé sklo mělo zajištěnou stejnou stálou pozici během procesu temperace. Tato menší úprava drážkování lamely vyřešila problém s dlouhodobými nevycházejícími rozměry.

### 3.2 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení je provedeno na základě dat získaných v průběhu jednotlivých experimentů. Zhodnocení je postaveno na základě porovnání počtu vyhovujících kusů a kusů, které jsou mimo toleranci.

Během prvního týdne testování, kdy byla použita lamela číslo 1, bylo vyrobeno dohromady 5 000 sad vyhovujících výlisků. Sadou je myšleno levé a pravé sklo. Na vadu nevyhovujících rozměrů bylo vyřazeno celkem cca 500 sad. Cena jedné vnější čočky činí 153,50 Kč, tedy cena za jednu sadu je 307 Kč.

Náklady za neshodné kusy experimentu číslo 1:

$$N_{z1} = 500 \times 307 = 153\,500 \text{ Kč}$$

Při druhém experimentu, kdy byla využita lamela číslo 2, bylo během celého týdne vyrobeno opět 5 000 vyhovujících sad výlisků. Výlisků, kterých bylo vyřazeno z důvodu nevyhovujících rozměrů, bylo cca 500 sad. Náklady za neshodné kusy experimentu číslo 2 činí, stejně jako u prvního experimentu, celkem 153 500 Kč.

V průběhu třetího týdne byla testována lamela čísla 3. U výlisků, které byly během temperace na této lamele, vyšel podle 3D měření vždy rozměr výlisku v toleranci. Na základě toho se výpočtem došlo k závěru, že zmetkovitost na vady neshodných rozměrů bude nulová.

Náklady za neshodné kusy experimentu číslo 3:

$$N_{z3} = 0 \text{ Kč}$$

Jelikož zde nejsou žádné nevyhovující kusy, tak při srovnání s předchozími dvěma experimenty, zde dochází k teoretické úspoře za nevyřazené kusy. Tedy to, co bylo v předešlých případech označeno za náklady, je zde označeno za úsporu.

Teoretická úspora za týden:

$$U_1 = 500 \times 307 = 153\,500 \text{ Kč}$$

Teoretická úspora za měsíc:

$$U_2 = 153\,000 \times 4 = 612\,000 \text{ Kč}$$

Teoretická úspora za rok:

$$U_3 = 612\,000 \times 12 = 7\,344\,000 \text{ Kč}$$

Pokud bychom lamelu číslo 3, při jejímž použití vyšly vždy rozměry v pořádku, chtěli rozšířit na celou temperační pec, musíme připočítat pořizovací náklady. Jedna celá temperační pec obsahuje 30 lamel. Cena jedné lamely je 1 500 Kč. Do nákladů je nutno připočítat nejen nové lamely do temperační pece, ale i testovací lamelu číslo 1 a číslo 2, které byly použity během experimentu. Dohromady tedy 32 kusů lamel.

Náklady na pořízení lamel:

$$N_L = 32 \times 1500 = 48\,000 \text{ Kč}$$

---

## ZÁVĚR

Předmětem této bakalářské práce bylo analyzovat současný stav temperace dvoukomponentních polykarbonátových výlisků a nadefinovat další možnost zlepšení s ohledem na výsledné ekonomické zhodnocení.

V teoretické části práce byla popsána problematika výrobků z polykarbonátu. Dále pak jednotlivé technologie procesu výroby krycích skel světloometu, což zahrnuje lisování, lakování a proces temperace.

V experimentální části byl stručně demonstrován půlroční výzkum technologií, který proběhl ve firmě Automotive Lighting s.r.o. Z důvodu dlouhodobě nevyhovujících rozměrů byl zkoumán vliv temperace na rozměry výlisků.

V bakalářské práci byly provedeny celkem tři experimenty v temperační peci, kde byly testovány tři různé lamely. Každá lamela byla odlišná tvarem drážkování. Byla hledána souvislost mezi jejím tvarem a rozměry polykarbonátových výlisků. Dále byl zkoumán vliv teploty během temperace na výlisek. Výsledkem experimentu bylo zjištění, že nevyhovující odchylky výlisku jsou způsobeny nevhodným uložením výlisku na lamely, nikoliv procesem temperace. Z celého experimentu vyšla lamela číslo 3 jako jediná obsahující nejefektivnější druh drážkování. Tato lamela neobsahovala drážky po celé ploše, ale pouze ve dvou částech, kam se ukládá sklo. Drážky lamely nebyly již zaoblené, nýbrž obsahovaly profil tvaru V. To zapříčinilo přesnější uložení výlisku na lamely v temperační peci a zajištění stabilní polohy výlisku během procesu temperace.

Na závěr proběhlo ekonomické zhodnocení, ze kterého vyplývá, že při použití třetí lamely zde nevznikají žádné nevyhovující kusy a vzniká zde teoretická úspora za nevyřazené kusy. Při použití lamely číslo 3 je teoreticky možné ušetřit přes 7 000 000 Kč za rok. Přitom náklady na lamely činí 48 000 Kč.

Závěr této práce bude využit v provozu předvýroby na temperačních zařízeních. Ve výsledku změna drážkování lamel povede k úplnému snížení počtu neshodných dílů s nevyhovujícími rozměry na minimum a zároveň i k výrazné roční úspoře.

Závěrem lze říci, že všechny cíle bakalářské práce byly splněny.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DUCHÁČEK, Vratislav. *Polyмеры: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 8070806176.
2. MAKROMOLEKULÁRNÍ LÁTKY (POLYMERY) [online]. [cit. 2017-10-18]. Dostupné z: <https://www.mallic.cz/chemie/mml.pdf>
3. SELUCKÝ, Jaroslav. *Eliminace vnitřního pnutí v polykarbonátových výliscích*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 71 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Chladil, CSc.
4. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
5. LENFELD, Petr. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. [cit. 2017-10-18]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm)
6. FIALOVÁ, Aneta. *Polykarbonát a jeho využití nejen v oblasti optických aplikací*. Zlín, 2015. 68 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 68 s. Vedoucí práce doc. Ing. Sedláček Tomáš, Ph.D.
7. *Termoplasty – základní druhy*. [online]. [cit. 2017-11-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/18.html>
8. WIBBEKE, Andrea a Volker SCHOPNER. Fabrication of self-reinforced polycarbonate films. In: *SPE PRO* [online]. 2013 [cit. 2017-11-01]. Dostupné z: <http://www.4spepro.org/view.php?article=005152-2013-10-30>
9. KINCL, Jaromír, Miroslav RÁMEK a Antonín PÁNEK. *Polykarbonáty*. Praha: Státní nakl. technické literatury, 1966, 159 s.
10. BĚHÁLEK, Luboš. *Navlhavost a sušení plastů* [online]. In: Katedra strojírenské technologie, s. 34 [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Suseni.pdf>
11. BASTL, Jiří. *Technologie vstřikování termoplastů*. České Budějovice, 2009. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce RNDr. František Špulák.
12. ČEPOVÁ, Lenka, PETŘKOVSKÁ Lenka. *Legislativa ve strojírenské technologii a přesné měření 3D ploch*. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, 2011, 125 s. ISBN 978-80-248-2514-4
13. SMĚRNICE S26-33. *Výroba PC skel*. 2.0. Jihlava: ALCZ, 2016.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
atd		a tak dále
CMM		Coordinate Measuring Machine (souřadnicový měřicí stroj)
IPL		interpenetrační vrstva laku
LED		Light Emitting Diode (elektroluminiscenční dioda)
PC		polykarbonát
UV		Ultraviolet (ultrafialové záření)
%		procenta
°C		stupně Celsia
bar		jednotka tlaku
Kč		koruna česká
min		minuty
$n_D^{20}$		index lomu měřený při 20 °C a při vlnové délce světla shodné s vlnovou délkou žluté D-čáry v emisním spektru sodíku
$N_L$	Kč	náklady za lamely
$N_{Z1}$	Kč	náklady za neshodné kusy experimentu číslo 1
$N_{Z3}$	Kč	náklady za neshodné kusy experimentu číslo 3
nm		nanometr
s		sekunda
$U_1$	Kč	úspora za týden
$U_2$	Kč	úspora za měsíc
$U_3$	Kč	úspora za rok

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1      Vyhodnocení teplotního průběhu experimentu číslo 1
- Příloha 2      Výsledky 3D měření experimentu číslo 1
- Příloha 3      Vyhodnocení teplotního průběhu experimentu číslo 2
- Příloha 4      Výsledky 3D měření experimentu číslo 2
- Příloha 5      Vyhodnocení teplotního průběhu experimentu číslo 3
- Příloha 6      Výsledky 3D měření experimentu číslo 3
- Příloha 7      Tabulka odchylek při měření typu FLUSH
- Příloha 8      Tabulka odchylek při měření typu GAP