

Porovnání predikce tlaku a teploty pomocí Mold-flow analýzy s naměřenými hodnotami ve formě

Bc. Josef Daněk

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Josef Daněk**
Osobní číslo: **T15327**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Porovnání predikce tlaku a teploty pomocí Moldflow analýzy s naměřenými hodnotami ve formě**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracovat literární studii na dané téma**
- 2. Porovnat stávající stav dílu s predikcí z Moldflow analýzy**
- 3. Optimalizace teplot a tlaku dle reality do predikce**
- 4. Návrh optimalizace tloušťky stěny pro daný díl s cílem snížit tloušťku stěny skla**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Ovsík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2017

Ve Zlíně dne 26. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 12. 5. 2016



.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá okruhem problémů v oblasti vstřikovacího procesu, a to za pomoci simulačního softwaru Moldflow.

Teoretická část této práce je zaměřena právě na samotnou technologii vstřikování, popis softwaru, konstrukci forem a využití polymerních materiálů v procesu.

Praktická část popisuje stávající stav výrobku a analýzu provedenou v softwaru Moldflow. Poté je provedena optimalizace teploty a tlaku dle predikce. Výsledné hodnoty, získané pomocí analýz, jsou porovnávány s reálnými daty naměřenými v dutině formy. Také je řešena problematika optimalizace tloušťky stěny výrobku.

V závěru práce jsou shrnuty poznatky z jednotlivých částí práce a porovnány hodnoty vypočtené softwarem s reálnými hodnotami naměřenými čidly od firmy Kistler.

Klíčová slova: moldflow, optimalizace, analýza, vstřikování

ABSTRACT

The Diploma Thesis deals with problems in the injection molding process, with the help of Moldflow simulation software.

The theoretical part of this thesis focuses on injection technology process itself, software description, mold design and the use of polymer materials in the process.

The practical part describe the current state of the product and the analysis performed in the software Moldflow. Then the temperature and pressure optimization is performed according to the prediction. The resulting values obtained by the analyzes are compared with the real data measured in the mold cavity. The issue of optimizing the wall thickness of the product is also addressed.

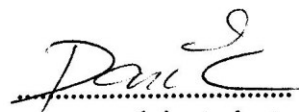
The conclusion of the thesis summarizes the findings from the individual parts of the work and compares the values calculated by the software Moldflow with the real values measured by the Kistler sensors.

Keywords: moldflow, optimization, analysis, injection

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a vynaložený čas, který mi věnoval při zpracování diplomové práce. Dále chci poděkovat panu Marákovi a panu Klusákovi z firmy Varroc Lighting Systems, s. r. o. za poskytnutá data k diplomové práci a cenné rady. Nakonec chci poděkovat mé rodině za morální a materiálovou podporu při studiu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty technologické UTB ve Zlíně a může být využita ke komerčním účelům se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FT UTB. Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.


.....
podpis studenta

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	13
1.1 ZÁKLADNÍ KLASIFIKACE POLYMERŮ	13
1.1.1 Termoplasty.....	13
1.1.2 Reaktoplasty.....	14
1.1.3 Elastomery.....	15
1.2 KONSTRUKČNÍ POLYMERY PRO VÝROBU SVĚTEL.....	15
1.2.1 Polykarbonát (PC).....	15
1.2.2 Polymethylmethakrylát (PMMA)	16
1.3 PODMÍNKY NÁVRHU VHODNÉHO MATERIÁLU	17
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	18
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	19
2.1.1 Plnění a dotlak.....	21
2.1.2 Chlazení.....	22
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	24
2.2.1 Vstřikovací jednotka	25
2.2.2 Uzavírací jednotka	26
2.2.3 Regulační a řídicí jednotka.....	27
3 MOLDFLOW ANALÝZY	28
3.1 EKONOMICKÉ HLEDISKO SIMULAČNÍCH PROGRAMŮ	28
3.2 SIMULACE	29
3.2.1 Simulace a optimalizace vtokového systému.....	30
3.2.2 Simulace a optimalizace temperačního systému.....	31
3.2.3 Simulace a optimalizace plnění a dotlaku	31
3.2.4 Simulace a optimalizace deformace a smrštění.....	32
3.2.5 Data a databáze materiálů	32
3.3 KATEGORIE SÍTÍ V MOLDFLOW A KOOPERACE S JINÝMI CAD SYSTÉMY	33
3.3.1 Import CAD modelu a trajektorií	34
3.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	34
3.4.1 Autodesk Moldflow Adviser.....	35
3.4.2 Autodesk Moldflow Communicator	35
3.4.3 Další nástroje pro komunikaci	35
3.5 KOMPARACE PRODUKTŮ MOLDFLOW.....	35
3.5.1 AMI Autodesk Moldflow Insight.....	36
3.5.2 AMA Autodesk Moldflow Adviser	37
4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	38
4.1 VTKOVÝ SYSTÉM	39
4.1.1 Studený vtokový systém	40
4.1.2 Horký vtokový systém	43
4.2 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	45
4.2.1 Temperační prostředky.....	45

4.2.2	Zásady pro volbu temperančního systému	46
4.3	MATERIÁLY PRO VÝROBU VSTŘIKOVACÍCH FOREM	48
4.3.1	Požadované vlastnosti ocelí	48
4.3.2	Používané třídy oceli	48
II	PRAKTICKÁ ČÁST	50
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	51
6	STÁVAJÍCÍ STAV	52
6.1	ZADANÝ MODEL	52
6.2	ZADANÁ FORMA	52
6.2.1	Temperace	54
6.2.2	Vtokový systém	55
6.2.3	Umístění snímacích čidel do formy	56
6.3	VSTŘIKOVACÍ STROJ	57
6.4	NASTAVENÍ SIMULACE	57
6.4.1	Generování sítě	57
6.4.2	Procesní podmínky	59
6.5	VÝSLEDKY SIMULACE	59
6.5.1	Čas plnění (Fill time)	59
6.5.2	Čas na dosáhnutí vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)	60
6.5.3	Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)	61
6.5.4	Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)	61
6.5.5	Teplota (Temperature)	62
7	OPTIMALIZACE TEPLOT A TLAKU	63
7.1	VSTŘIKOVACÍ PODMÍNKY	63
7.1.1	Vstřikovací stroj	63
7.1.2	Procesní podmínky	63
7.2	VÝSLEDKY PRO MAKROLON AL2647	64
7.2.1	Čas plnění (Fill time)	64
7.2.2	Čas na dosáhnutí vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)	65
7.2.3	Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)	66
7.2.4	Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)	66
7.2.5	Teplota (Temperature)	67
7.2.6	Pozice šneku (Ram position)	68
7.3	VÝSLEDKY PRO MAKROLON LED2245	68
7.3.1	Čas plnění (Fill time)	68
7.3.2	Čas na dosáhnutí vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)	69
7.3.3	Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)	69
7.3.4	Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)	70
7.3.5	Teplota (Temperature)	71
7.3.6	Pozice šneku (Ram position)	72
7.4	VÝSLEDKY PRO LEXAN EXL1112	72
7.4.1	Čas plnění (Fill time)	72

7.4.2	Čas na dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)	73
7.4.3	Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)	73
7.4.4	Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)	74
7.4.5	Teplota (Temperature)	75
7.4.6	Pozice šneku (Ram position).....	76
8	POROVNÁNÍ TEPLOT A TLAKU STANOVENÉ SOFTWAREM S HODNOTAMI NAMĚŘENÝMI ČIDLY V DUTINĚ FORMY	77
8.1	HODNOTY PRO PRIMÁRNÍ NÁVRH MAKROLONU AL2647	77
8.1.1	Tlak	77
8.1.2	Teplota.....	78
8.2	HODNOTY PRO OPTIMALIZOVANÝ MAKROLON AL2647	79
8.2.1	Tlak	79
8.2.2	Teplota.....	80
8.3	HODNOTY PRO OPTIMALIZOVANÝ MAKROLON LED2245	81
8.3.1	Tlak	81
8.3.2	Teplota.....	82
8.4	HODNOTY PRO OPTIMALIZOVANÝ LEXAN EXL1112	83
8.4.1	Tlak	83
8.4.2	Teplota.....	84
9	NÁVRH OPTIMALIZACE TLOUŠŤKY STĚNY S CÍLEM SNÍŽIT TLOUŠŤKU STĚNY	85
9.1	NAVAŘOVÁNÍ PŘÍDAVNÉHO MATERIÁLU	85
9.1.1	Navařování laserem.....	86
9.2	VLOŽKOVÁNÍ FOREM VYSOCE TEPELNĚ VODIVÝMI MATERIÁLY	86
9.3	TECHNOLOGIE S VYUŽITÍM INERTNÍHO PLYNU V NÁSYPCE	87
9.4	ÚPRAVA VTKOVÉHO SYSTÉMU	87
10	DISKUSE VÝSLEDKŮ	88
	ZÁVĚR	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	91
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	93
	SEZNAM OBRÁZKŮ	94
	SEZNAM TABULEK.....	97
	SEZNAM PŘÍLOH.....	98

ÚVOD

Nejčastěji používanou technologií v posledních letech se stalo vstřikování plastů. Nabízí hlavně rychlou a přesnou výrobu včetně geometricky náročných dílů. Výrobu celé škály různých dílů limituje pouze velikost dílu a způsob odformování. V současné době plasty nahrazují na mnoha místech tradiční materiály. Velké požadavky na díl s co možná nejrychlejším uvedením na trh a nejmenšími náklady jsou hlavními kritérii zadavatelů.

Současná doba v automobilovém průmyslu požaduje dodávky svých výrobků tzv. „just in time“ neboli na čas. Proto každý subdodavatel jako i společnost Varroc Lighting Systems, s.r.o. se snaží, aby každý díl byl vyroben optimálně. To hlavně zahrnuje mít kvalitně zhotovený díl, v přesně daném časovém úseku. Pro takové zkoumání se opíráme o počítačové technologie a za jejich pomoci se snažíme hledat, minimalizovat nebo odstranit případné problémy.

Na základě těchto příčin se začaly využívat simulační softwary, které se snaží predikovat chování polymerních materiálů v dutině formy. Hlavním důvodem jejich použití je snížení celkových nákladů už v samotném vývoji výrobku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymerní materiály dělíme zejména na přírodní a syntetické. Jejich velké molekuly tvoří mnohonásobně se opakující základní monomerní jednotka. Jsou tedy určitou chemickou stavebnicí, která umožňuje neobyčejnou proměnlivost struktur a vlastností cílových látek.

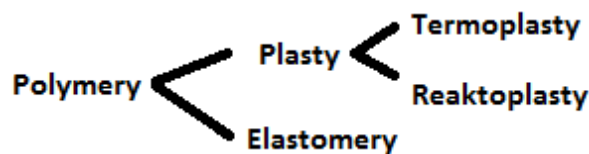
Názvem plasty rozumíme materiály, jejichž primární část tvoří organické makromolekulární látky (polymery). Kromě látek polymerního charakteru obsahují plasty ještě přísady (aditiva), jejichž úkolem je jednotlivá úprava vlastností.

Mezi hlavní aditiva patří stabilizátory, změkčovadla, barvicí činidla, plniva a síťovací činidla. [1]

1.1 Základní klasifikace polymerů

Polymery, jakožto chemické látky, které vykazují širokou škálu výjimečných vlastností, dělíme primárně na plasty a elastomery.

Plasty je možno rozdělit dle různých hledisek. Nejčastěji se však rozlišují podle chování za tepla (působení teploty), kdy rozlišujeme termoplasty a reaktoplasty.



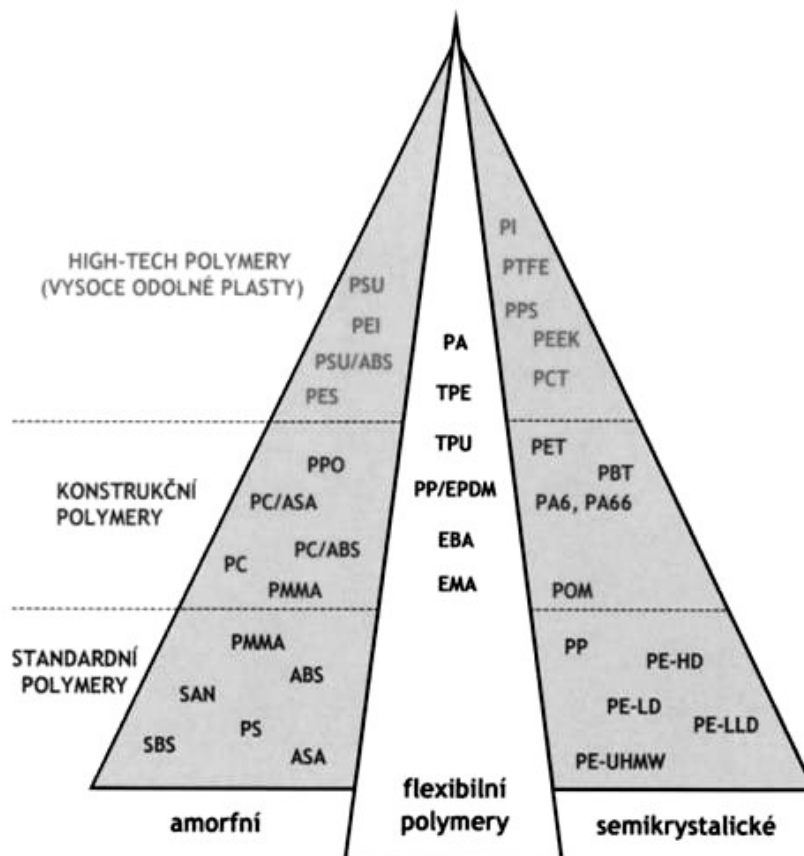
Obr. 1 Klasifikace polymerů

1.1.1 Termoplasty

Termoplasty je možné za působení tepla tvarovat. Teplotním účinkem začnou měknout a chemicky zůstávají stejné. Zahřívání a ochlazování je možno opakovat, aniž by to jakkoli ovlivnilo primární vlastnosti materiálu. Termoplasty umožňují zpětnou tepelnou modifikaci, tudíž nejsou tak náročné na recyklaci jako například reaktoplasty. Mezi významné zástupce řadíme například PE a PVC. [2]

- **Semikrystalické polymery** – značí určitý stupeň uspořádanosti tzv. stupeň krystalinity. Je to relativní podíl uspořádaných míst, vyskytujících se mezi amorfními místy. Nikdy nejde dosáhnout 100 % krystalinity. Odtud taky pojmenování semikrystalické. Jsou mléčně zakalené a mají vyšší index lomu. Řadíme zde např. PA, PE, PP a jiné. Použitelnost těchto materiálu je do teploty tání T_m . [5]

- **Amorfní polymery** – makromolekuly takovýchto materiálu mají zcela nahodilou pozici. Charakteristické vlastnosti amorfních polymerů jsou často křehkost, vysoká pevnost, tvrdost a jsou průhledné. Příčinou průhlednosti je nízký index lomu. Pro tento typ materiálu je použitelnost omezena teplotou zeskelnění T_g .



Obr. 2 Klasifikace polymerů podle aplikace a struktury [5]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty neboli termosety jsou materiály, které se v první fázi procesu zahřívají, měknou a po omezenou dobu je můžeme tvářet.

Při zpracovatelském procesu procházejí chemickou reakcí a účinkem tepla, záření nebo síťovacích činidel. Díky tomu vytvářejí hustě zesíťované struktury, v nichž jsou původní molekuly mezi sebou pospojovány kovalentními vazbami. Jde o tzv. vytvrzování. Jedná se o nevratný děj. Takto vytvrzené materiály nemůžeme opětovně roztavit ani rozpustit. Další ohřev reaktoplastického materiálu by způsobil rozložení hmoty (degradaci). [5], [6]

1.1.3 Elastomery

Kaučuky jsou polymerní materiály, které je možné tvářet. V první řadě je třeba je zahřát, poté je můžeme tvářet pouze omezenou dobu. Po dalším ohřevu proběhne tzv. proces vulkanizace, kdy dojde k zesíťování struktury. [5]

Materiály, které jsou schopny při mechanickém zatížení velkých deformací. Tato deformace je elastická, tudíž materiál se po odlehčení vrací do původní polohy. Mezi elastomery (kaučuky) řadíme například isoprenový nebo styrenbutadienový kaučuk. [4]

1.2 Konstrukční polymery pro výrobu světel

Velice důležitou skupinou polymerů jsou konstrukční polymery. Tyto polymery mají mnohem lepší mechanické a fyzikální vlastnosti než standardní polymery.

Například v automobilovém průmyslu se pro výrobu skel u světel používají dva druhy konstrukčních materiálů. Zejména PC pro výrobu předních skel a PMMA pro zadní skla. Právě rozdíly v mechanických vlastnostech těchto materiálů rozhodují o tom, na jaké sklo bude daný materiál použit.

1.2.1 Polykarbonát (PC)

Vysoce průhledný polymer, který dokáže propustit až 85% světla. Hodnota indexu lomu u tohoto materiálu je přibližně 1,5-1,6, což je hodnota mimořádně vysoká. Má dobrou tepelnou odolnost a odolnost proti nárazu. Díky těmto vlastnostem se používá v automobilovém průmyslu. Zejména pak při výrobě předních skel u světel.

Tento typ plastu se nejběžněji zpracovává vstřikováním či lisováním. U vstřikování je však důležitá molekulová hmotnost materiálu. Vstřikováním se zpracovávají druhy polykarbonátu s nižší molekulovou hmotností, protože s rostoucí molekulovou hmotností roste i odpor proti tečení tzv. viskozita.

Polykarbonát je nutné před zpracováním sušit. Tyto materiály jsou totiž schopny reagovat v tavenině i se sebemenšími stopami vody.

Zpracovatelská teplota při vstřikování u tohoto materiálu se pohybuje v rozmezí 280 až 310 °C. Vstřikovací forma v závislosti na tomto materiálu vyžaduje teplotu na 80 až 120 °C.

Vstřikováním PC vyrábíme především technické výrobky vystavené vyššímu tepelnému a mechanickému namáhání. [5]

Typické vlastnosti PC:

- odolnost proti UV-záření,
- stálost proti oxidaci,
- odolnost proti hydrolyze,
- nízká absorpce vody,
- vysoká rázová houževnatost,
- dobrá rozměrová stálost,
- malá odolnost proti páře a amidům.

1.2.2 Polymethylmethakrylát (PMMA)

Konstrukční materiál, jehož uplatnění najdeme skoro ve všech průmyslových odvětvích. Jednotlivé aplikace můžeme sledovat ve stavebnictví, zdravotnictví, automobilovém a leteckém průmyslu a mnoha dalších.

PMMA je amorfni materiál. Řetězce tohoto materiálu tedy nejsou schopny se pravidelně uspořádat s velkou těsností, nebo jen ve velmi malém množství. Naproti tomu je při běžných teplotách velmi pevný. Příčinou tepla mohou řetězce pevného, amorfniho polymeru po sobě volně klouzat, protože nejsou navzájem zesíťované.

Jde o tuhý, průhledný materiál na bázi vodíku, uhlíku a kyslíku. Tento materiál je bezbarvý a výjimečně čistý i v širokých vrstvách. Díky pigmentaci můžeme získat různou paletu barev a tónů s téměř neomezenými možnostmi. Charakteristické vlastnosti PMMA je odolnost proti koroziivním chemikáliím, odolnost proti stárnutí. Výborná světelná propustnost je ve srovnání s dalšími polymerními materiály naprosto bezkonkurenční. [7]

Typické vlastnosti PMMA:

- dobrá tvarová paměť,
- odolnost proti kyselinám,
- dobrá propustnost světla,
- nízká povrchová tvrdost,
- dobré elektroizolační vlastnosti.

1.3 Podmínky návrhu vhodného materiálu

Dobře navržený výrobek musí splňovat svůj předepsaný tvar a musí odolávat prostředí, kterému je vystaven. Pro zlepšení kvality výrobku se do výchozího materiálu doplňují různá aditiva, které jsou schopny zlepšit jak trvanlivost, tak mechanické vlastnosti. Dále pak musí odpovídat zpracovatelské technologii. Pro volbu materiálu je tedy nutné znát funkční i zpracovatelské hledisko.

Zpracovatelské hledisko:

- Při vstřikování musí být dutina formy zvětšena o hodnotu smrštění daného materiálu tak, aby byla zaručena výrobní přesnost.
- Důležitým faktorem je tekutost materiálu, která má značný vliv na tloušťku stěn u výrobku, rozměry vtokového ústí, představu zaformování (typ, poloha, atd.).
- Závislosti na procesních parametrech, např. přehřátí taveniny, doba chlazení atd.

Funkční hledisko:

- mechanické vlastnosti,
- fyzikální vlastnosti,
- chemické vlastnosti,
- tepelné vlastnosti,
- elektrické vlastnosti. [8]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Stále se rozvíjející aplikace plastů zařazují primárně obměny klasických materiálů za účelem zvýšení trvanlivosti, či snížení váhy výrobků. Tento trend se využívá zejména v automotive. Jednou z nejpoužívanějších a nejrozšířenějších technologií pro úpravu polymerních materiálů je vstřikování. I když pro úpravu polymerů existuje dostatek jiných technologií, vstřikování je naproti nim efektní a výhodné při výrobě velkých objemů a sérií. Tato technologie poskytuje produkci výrobků rychle, s přesnými detaily, vynikající geometrickou opakovatelností a navíc nízkou cenou. Termoplasty hrají prim při zpracovávání touto metodou, ale rozvoj posledních let se také posunul směrem k vstřikování elastomerů. [10]

Tab. 1 Využití vstřikovaných výrobků v Evropském průmyslu [16]

Typ průmyslového odběratele	Procento zastoupených vstřikovaných výrobků v odvětvích průmyslu [%]
Automotive	43
Energetika/Elektronika	40
Domácí aplikace	30
Obaly	26
Zdravotnictví	24
Spotřební zboží	22
Telekomunikace	22
Sport	19
Nábytkářství	17
Kancelářské vybavení	15
Hračky	14

Technologie jde taky popsat jako cyklické tváření polymerů do konečného vzhledu výrobku. Proces startuje výběrem vhodného materiálu. Ten je nejčastěji ve formě granulí či pelet, které se poté taví v plastikační jednotce vstřikovacího stroje. Pohybem šneku je pak tavenina vstříknuta do dutiny formy, která je negativem vyráběné součásti. Materiál ve formě se ochlazuje na vyhazovací teplotu a z formy je vyhozen pomocí vyhazovacího systému. Výrobek je pak vystaven okolnímu prostředí, kde dochází k sekundárnímu ochlazení. Proces je ovlivněn mnoha efekty, které jsou dále charakterizovány.

2.1 Vstřikovací cyklus

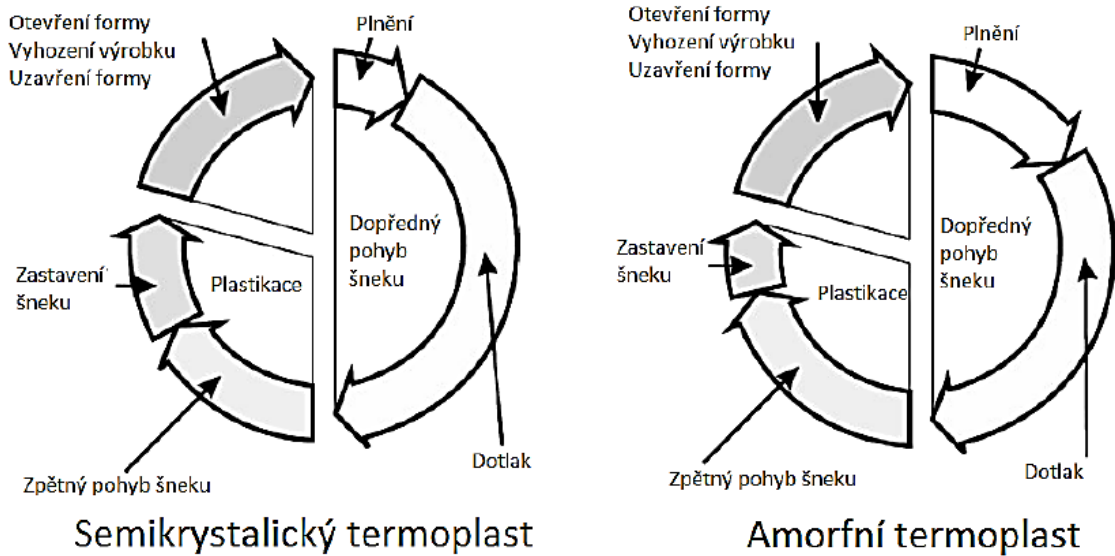
Při vstřikování dochází k přísunu plastikační jednotky k uzavřené formě a vstříknutí polymeru do dutiny formy. Čas, potřebný k naplnění dutiny formy se nazývá doba plnění. K přepnutí na dotlak většinou dochází při 90 - 99 % zaplnění formy. Dotlak může mít stejnou hodnotu jako vstřikovací, nebo je jeho hodnota snížena. V časovém horizontu, ve kterém dotlak působí, se označuje jako doba doplňování. Jeho úkolem je vybalancovat vliv smrštění výrobku, zbytková pnutí a neumožnit jakýkoliv únik materiálů z dutiny formy. Doba této části vstřikovacího procesu je však omezena zatuhnutím materiálu ve vtokovém systému. Po ukončení fáze plnění a dotlaku se odsouvá plastikační jednotka, která má za úkol připravit další objem materiálu pro další vstřik. Finální částí je chlazení výrobku, které probíhá jak ve formě, tak po vyjmutí za pokojové teploty. Ve vstřikovacím cyklu se též mohou objevit fáze přípravy formy, jež obsahují například operace typu čištění, nanášení separačních prostředků či umístování zástříků. [11]

Graficky lze tento proces vyjádřit dvěma soustřednými kružnicemi, kdy vnější charakterizuje procesy uzavírací jednotky, zatímco vnitřní kružnice procesy plastikační jednotky. [8]



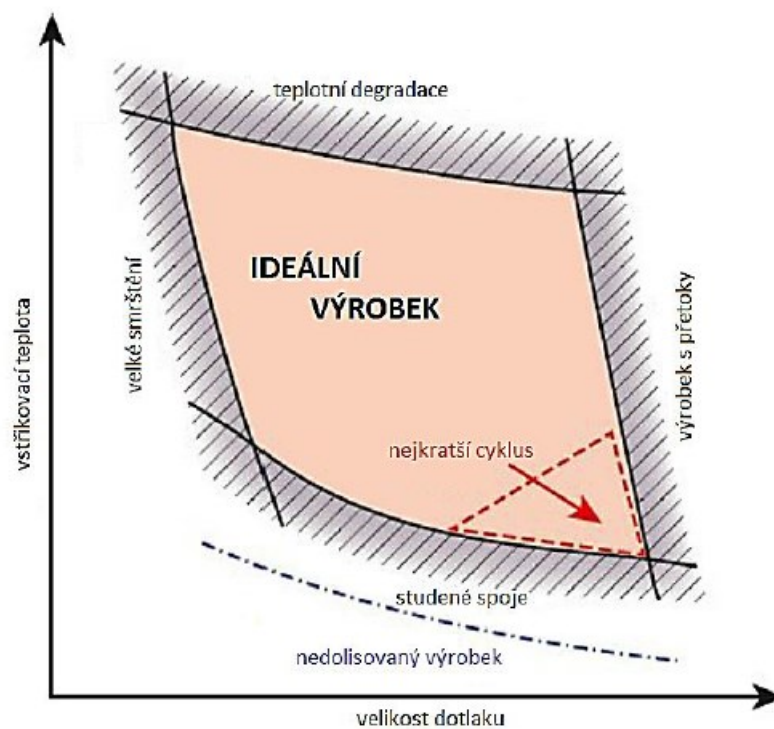
Obr. 3 Diagram vstřikovacího cyklu [8]

Vstřikovací cyklus se chová rozdílně u amorfních a semikrystalických polymerů. Proto dochází k značným odlišnostem v chování těchto materiálů. Rozdílný průběh procesu vstřikování znázorňuje Obr. 4.



Obr. 4 Vstřikovací rozdíly u termoplastů [29]

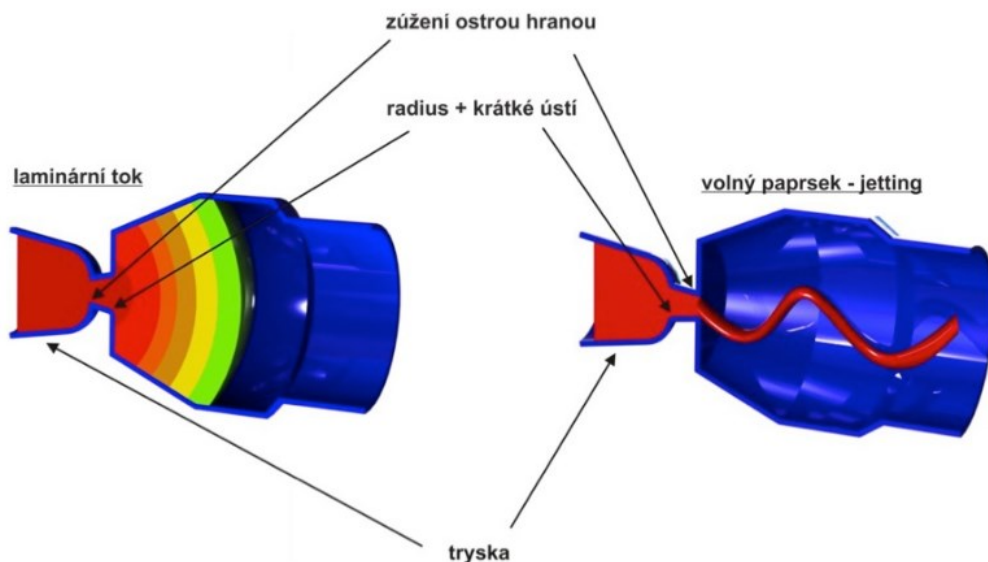
Hlavní procesní dopady vyskytující se na výrobě součásti v požadované jakosti jsou znázorněny na diagramu vstřikování Obr. 5. Časově nejúspornějšího cyklu lze docílit ideálním spojením vstřikovací teploty a velikosti dotlaku. Diagram je rozdílný pro každý polymerní materiál i pro každou vstřikovací formu. Sestavení tohoto diagramu je tedy odrazem praxe a teoretickou presumpcí. [29]



Obr. 5 Diagram ideálního výrobku [29]

2.1.1 Plnění a dotlak

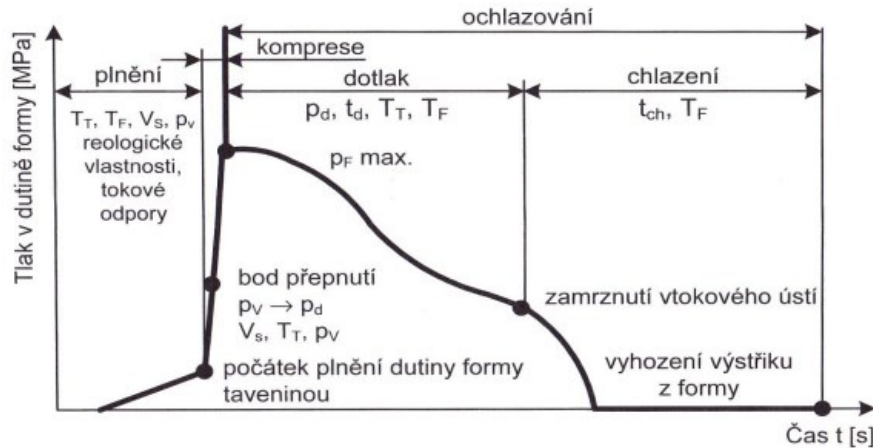
Fáze charakterizovaná reologickými vlastnostmi, která probíhá při dopředném pohybu šneku. Při styku horké taveniny se studeným povrchem formy lokálně narůstá viskozita materiálu a tuhne tavenina u stěn formy. Proudící taveninu od chladné stěny izoluje ztuhlá vrstva materiálu. Mezi těmito plochami nastává laminární tok a velké smýkání, to vše vede k produkci tepla. Teplo je disipované a jeho velikost je násobkem rychlosti smykové deformace a smykového napětí. Takový dopad disipovaného tepla vlivem lokálních ohřevů může vést až k degradaci materiálu. Do taveniny může být vnesena ztuhlá vrstva materiálu v důsledku příliš vysoké vstřikovací rychlosti, vytvoří se nekontrolované turbulentní proudění. Základem úspěšného plnění je tok fontánový. Vychází z předpokladu laminárního proudění, kde se polymerní tavenina stěhuje ke kraji a prodlužuje izolační neproudící vrstvu. Ztuhlá vrstva se po stěně dutiny formy nepohybuje. Tloušťka ztuhlé vrstvy závisí na teplotě taveniny, teplotě formy, a především na rychlosti plnění. Tloušťka ztuhlé vrstvy je větší při pomalém plnění. Naproti tomu nesprávné plnění je charakterizováno jako jetting neboli tryskový tok. Vznikají studené spoje vlivem velké rychlosti proudění taveniny. Vzhledové a mechanické vlastnosti takového dílu jsou zhoršené. [10]



Obr. 6 Principy procesu plnění[28]

Při naplnění dutiny formy, je tečení polymerního materiálu ukončeno a viskózní chování závisí jenom na teplotě taveniny. Dochází k objemovým změnám a k tuhnutí dílu. Součást poté bude mít po ochlazení v teplotě okolí velké hodnoty smrštění a defekty. Proto do cyklu zařazujeme fázi dotlaku tak, abychom se těchto vad vyvarovali. Jeho fáze může mít buďto proměnlivý (klesající) průběh, nebo průběh setrvalý. Po ukončení plnění vstřikovací

stroj zůstává do zamrznutí vtokového ústí na zvoleném tlaku, jehož primárním úkolem je vybalancovat objemové změny. Pro ovlivnění smrštění výrobku je tato fáze klíčová. Tlakový průběh během vstřikovacího cyklu je uveden na Obr. 7. [10]



Obr. 7 Záznam tlaku ve vstřikovacím cyklu [13]

Viskozita taveniny nám charakterizuje proces plnění a dotlaku. Samotná viskozita je závislá na teplotě, tlaku a smykové rychlosti (relativní posun myšlených vrstev). Její velikost též ovlivňuje čas, rychlost pohybu a rozměry (např. průměry kanálů). Zvonovitý profil smykové rychlosti je charakteristický pro ideální fontánový tok. S rostoucí smykovou rychlostí bude odpor proti tečení polymerních taven klesat. Avšak pro přesný popis viskozitního chování tavenin využíváme tokové křivky jednotlivých materiálů. Hledáme hodnotu ITT (index toku taveniny) charakterizující množství materiálu v gramech, které proteče přes kapiláru o přesně daných rozměrech a zatížení za 10 minut. Je to však pouze jeden bod na tokové křivce. [10]

2.1.2 Chlazení

Po kontaktu taveniny se stěnou formy dochází ihned k chlazení výrobku. Dochází k fontánovému toku a k vytvoření izolační vrstvy popsané výše. Chladnutím materiál ztrácí na objemu hned, jakmile skončí tlaková fáze. Forma se otevírá až poté co výrobek dosáhne vyhazovací teploty. Pod touto teplotou se neočekávají žádné rozhodující změny tvaru při chladnutí součásti. Jednotná teplota formy, výrobku a co nejjednodušší tloušťka stěn jsou parametry pro dosažení shodného výrobku. Naproti tomu u nestejnomyšného chlazení dochází k deformacím dílu a různým krystalizačním pochodům. Nelze zanedbat vliv teploty formy, protože s vyšší teplotou formy roste i velikost smrštění výrobku.

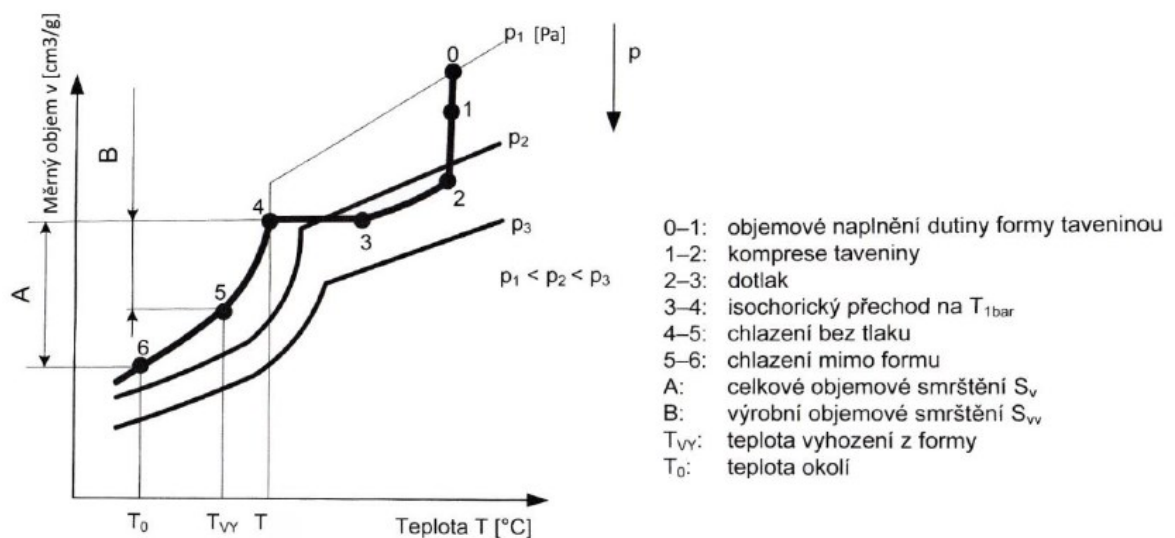
Například semikrystalické materiály pokračují i po vyjmutí z formy ve stavbě krystalické struktury. Po dobu 48 hodin většinou nastávají výrazné změny. Některé materiály, jako zejména nylon jsou hyroskopické a proto je musíme před zpracováním nejprve vysušit. Po vstříknutí absorbují vlhkost z okolí dutiny formy až do chvíle tzv. nasycení. Fyzikální a mechanické vlastnosti, jakožto i rozměry výstřiku jsou pod značným vlivem této schopnosti materiálu. Pro porovnání je suchý nylon například mnohem více křehký než nasycený, kdežto nylon s malým nebo skromným množstvím vody je poměrně houževnatý. [12]



Obr. 8 Vznik ohybu [10]

Striktně nelze dosáhnout doporučení u chlazení rohových objektů. Chladicí kanály nejsou tudíž vždy ve stejné vzdálenosti od dutiny. Výsledný díl je tedy svým způsobem určitým kompromisem výroby. K jeho stanovení nám pomáhají p v T diagramy.

Takový diagram určuje závislost mezi teplotou, tlakem a specifickým objemem. Lze z nich vyčíst změnu specifického objemu při změně teploty pro určitý tlak, nebo změnu specifického objemu při změně tlaku pro danou teplotu atd. Na vědomí musíme vzít i nezohledněné efekty, které ovlivňují smrštění jako časový průběh tlaku a gradient chlazení. Průběh cyklu zobrazený na Obr. 9 poukazuje na přibližné objemové změny a eventuelní tlakové a teplotní parametry. [10]



Obr. 9 Zaznačení vstřikovacího cyklu do p v T diagramu [13]

2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj tvoří primárně tři základní části a to uzavírací jednotku, vstřikovací (plastikační) jednotku a regulačně-řídící jednotku. Moderní stroje bývají většinou plně automatické, tudíž lze dosáhnout při procesu vstřikování vysoké produktivity práce. Tato technologie je zpravidla využita pro velkosériové výroby hlavně z důvodu pořizovací ceny stroje ale i vstřikovací formy. [13], [14]

Pokles jakosti vstřikované součásti se může projevit nevhodně zvoleným vstřikovacím strojem. Projevy jsou většinou s rozměry dílu, jeho pevností a životností v důsledku vzniku napětí. Vstřikovací stroj působí na design a rozměry výstřiku především tlakem, vstřikovací rychlostí a dobou chlazení a dotlaku. Řídící a regulační technika teplotou zase ovlivňuje vlastnosti mechanické a fyzikální. Dalším faktorem, který má dopad na kvalitu výrobku je tuhost a pevnost konstrukčního uspořádání stroje. [8]

Sestava vstřikovacího stroje je hlavně tvořena:

- vstřikovací (plastikační) jednotkou – vyvozuje tlak a dopravu taveniny do formy,
- uzavírací jednotkou – zajišťuje uzavření formy s vnitřním přetlakem,
- vstřikovací formou – udává tvar výrobku,
- řídící a ovládací jednotkou. [8]

Zákonitosti, které mají dopad na bezporuchovou funkci výroby, se monitorují výpočtem, kdy se zajišťuje a testuje:

- velikost uzavírací síly,
- velikost formy s ohledem na pevnost materiálu,
- množství taveniny, která putuje do formy a plastikační výkon stroje. [8]

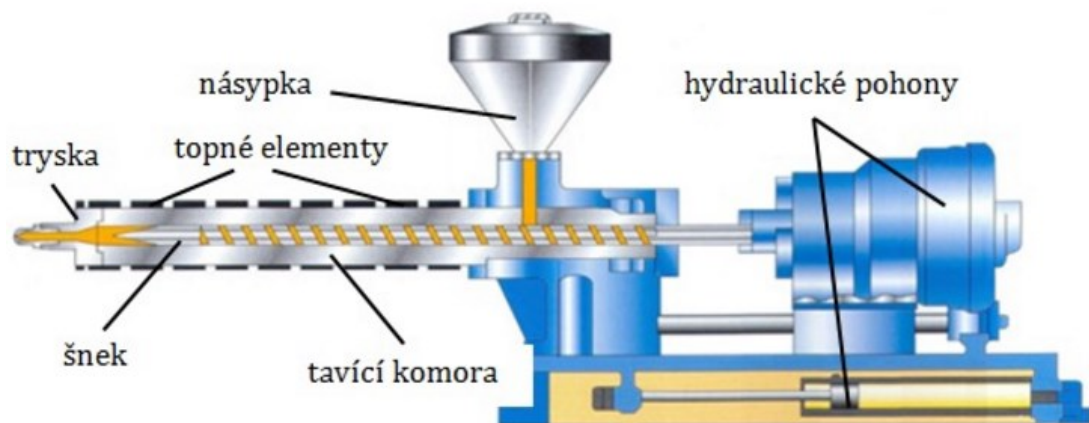


Obr. 10 Vstřikovací stroj [15]

2.2.1 Vstříkovací jednotka

Přípravu dávky taveniny z výchozího granulátu a její pozdější vstříknutí do formy uskutečňuje vstříkovací jednotka. Při chystání správného množství polymerního materiálu se nesmí stát žádný špatný technologický krok tak, aby nedošlo k degradaci materiálu. Do formy musíme dopravit taveninu v menším množství, než je kapacita plastikační jednotky při jednom zdvihu. [8], [15]

Vstříkovací jednotka funguje tak, že z násypky přivádíme požadovaný polymer, který se pomocí šneku obsahující vstupní, přechodové a výstupní pásmo dopravuje přes topný válec. U tohoto šneku můžeme měnit otáčky. Materiál se tak postupně plastikuje, homogenizuje a hromadí před šnekem. Proces se odehrává v několika vteřinách, ale může být i delší což se odvíjí od vstříkovaného výrobku. [8]



Obr. 11 Plastikační jednotka [13]

Mezi dvě základní charakteristiky vstříkovací jednotky patří:

➤ Vstříkovací kapacita

Charakterizuje maximální objem taveniny, který je na daném stroji vystříknout z tavící komory do volného prostoru dutiny formy během jednoho pracovního zdvihu šneku. Jedná se o maximální objem tavícího prostoru omezené čelem šneku a často je udáván v kubických centimetrech. Je to též informace o maximálním objemu výstřiku, který je možné na dané plastikační jednotce vyrobit. Samozřejmě musíme počítat i s objemem vtokového systému.

➤ Plastikační kapacita

Charakterizuje čas, za který je schopen převést maximální množství taveniny převést do plastického (zpracovatelného) stavu. Tento údaj se nejčastěji vyskytuje v kilogramech za

hodinu. Je to množství polymerního materiálu, který je převeden pouze rotačním pohybem šneku před jeho čelo a do volného prostoru. Orientační charakter této hodnoty se udává jako přibližný údaj pro provedení hrubého výpočtu času potřebného k plastikaci určeného množství materiálu. Faktory pro ovlivnění efektivní rychlosti jsou výše uvedené otáčky šneku, druh zpracovávaného polymeru, teplota, geometrie šneku a případně typ zpětného uzávěru. Hodnota plastikačních jednotek v katalogích se většinou uvádí pro zpracování polystyrénu. [16]

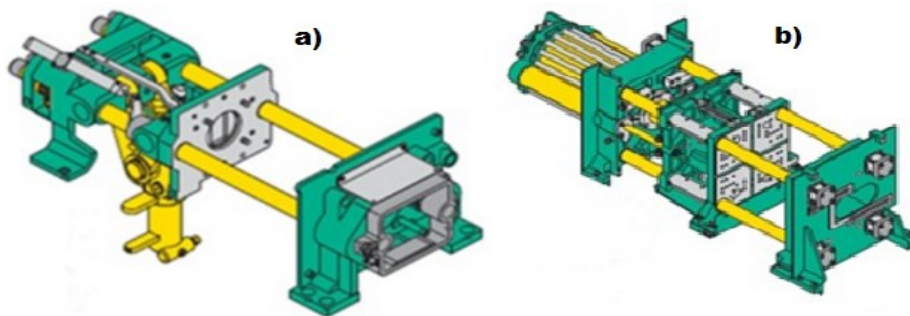
2.2.2 Uzavírací jednotka

Zajištění uzavírací síly, otevření, uzavření formy a její případné vyprázdnění dle procesu vstřikování. To jsou hlavní úkoly uzavírací jednotky. Činnost formy se rozděluje na přisouvací sílu a na sílu uzavírací. Rychlost i sílu uzavírání formy jsou si dnešní moderní uzavírací jednotky schopny naprogramovat. Tyto hodnoty jsou však závislé na velikosti vstřikovacího tlaku, ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině. Rychlost uzavření vstřikovací formy by měla být nastavena tak, aby dovírání bylo tzv. měkké. [8]

Mezi hlavní části uzavírací jednotky řadíme:

- pevnou opěrnou desku,
- pohyblivou desku upínací,
- vodící sloupky,
- vyhazovací systém,
- a uzavírací mechanismus.

Různé uzavírací systémy, které používají v této době vstřikovací stroje, mohou být např. hydraulické, mechanické, nebo kombinace hydraulického a mechanického způsobu (závorování). Vývoj v posledních letech zaznamenaly i elektrické uzavírací systémy. [8]



Obr. 12 Uzavírací mechanismus a) mechanický b) hydraulický [15]

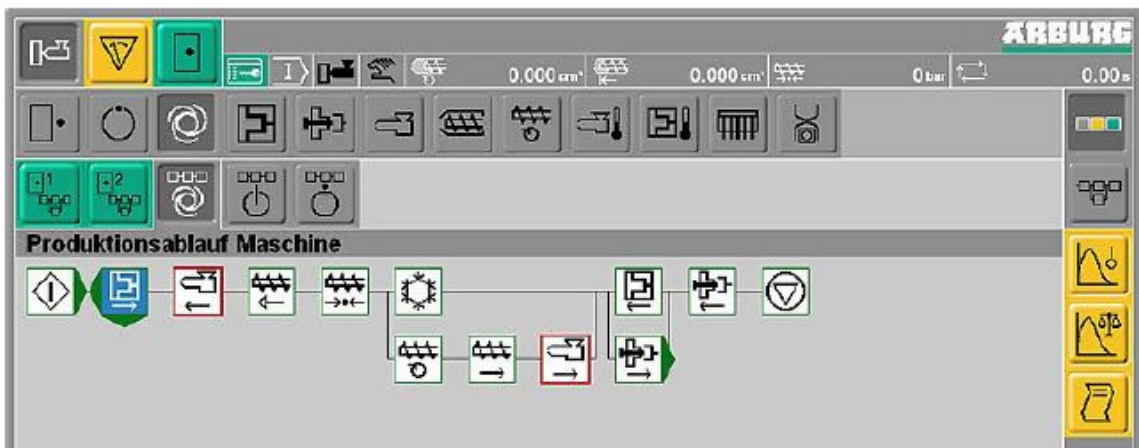
2.2.3 Regulační a řídicí jednotka

Výkonná procesorová technika je v současné době nezbytnou součástí vstřikovacích strojů. Grafická forma řízení prakticky nahradila textovou formu nastavování technologických parametrů. Pracuje se na dotykovém displeji s odděleným přístupem k jednotlivým parametrům stroje. Vstřikovací cyklus je tak snáze kontrolovatelný, protože je sestaven do potřebných programových částí, které lze dodatečně upravovat. Obsluha tedy využívá výbornou zpětnou vazbu vstřikovacího stroje. [8]

Znakem kvality vstřikovacího stroje je také jeho snadná obsluha a stupeň řízení. Nutným a význačným faktorem je stálá reprodukovatelnost technologických parametrů. Je-li zaznamenána kolísavost těchto parametrů, musí obsluha stroje řídicími a regulačními prvky tyto hodnoty vyrovnat. Mohlo by totiž dojít k nerovnoměrnosti na přesnosti a samotné kvalitě výrobku.

Samotné seřízení a nastavení vstřikovacího stroje je rozčleněno na:

- sestavení grafu vstřikovacího procesu,
- definice a nastavení technologických parametrů,
- kontrolou procesu.



Obr. 13 Řídicí panel vstřikovacího stroje [15]

3 MOLDFLOW ANALÝZY

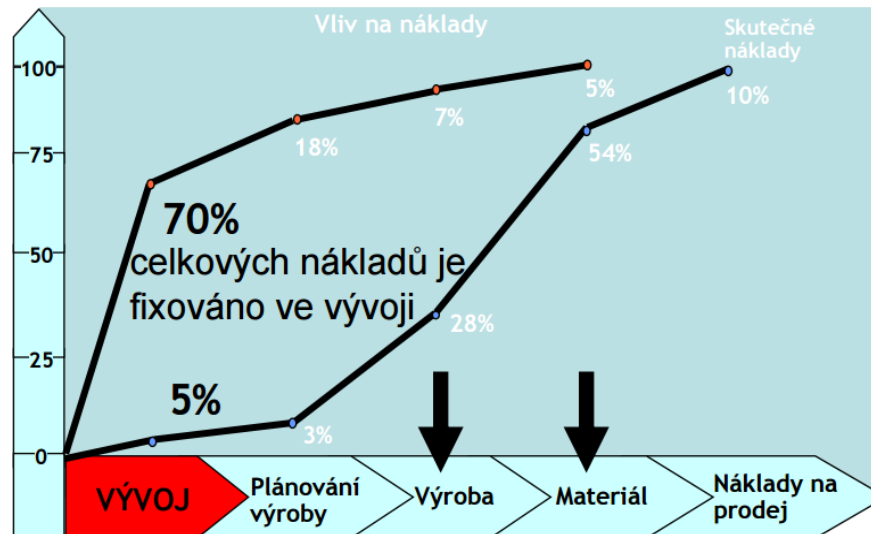
Rostoucím trendem ve společnostech zpracovávajících polymerní materiály je využívat analýzy vstřikovacího procesu. Tyto analýzy jsou využívány k stanovení co nejlepších procesních podmínek před samotným procesem vstřikování. Díky těmto simulacím jde upravit či vyhodnotit mnoho údajů potřebných k výrobě součásti. Program je tedy schopen předpovědět kde se budou například tvořit studené spoje a vzduchové kapsy, ale také je schopen simulovat plnění materiálu v dutině formy a vyhodnotit například smrštění takového materiálu.

3.1 Ekonomické hledisko simulačních programů

Příspěvek simulačních programů je zejména cítit u zkvalitňování vstřikovacího procesu, kdy výsledkem je snížení výrobních nákladů. Za pomoci simulačního programu můžeme optimalizovat tvar dílu. U takto optimalizovaného dílu můžeme tedy ušetřit materiál, zkrátit vstřikovací čas, zvýšit jakost dílu, snížit smrštění a deformace. [17]

Tvar výrobku udává konstruktér formy a designér. Kvalita jejich práce se ukáže až po výrobě formy, která je ihned podstoupena zkoušce. Dalším pracovníkem je technolog, který nastaví parametry vstřikování tak, aby byl proces co nejkvalitnější.

Hodnota výrobku se odvíjí od několika hledisek a to zejména cena vstřikovací formy, cena polymerního materiálu, doba vstřikovacího procesu, váha výrobku i s vtokovým systémem. Tyto ceny jsou dány za příspěvní nákladů na návrh dílu, konstrukcí vstřikovací formy a technologické přípravy výroby. Samostatný vývoj výrobku tvoří až 70% nákladů souvisejících s výrobou, zatímco vývojová část zahrnuje 5% nákladů. Proto je třeba dbát zvýšené pozornosti k vývojové části, protože díky částce, která odpovídá 5% výrobních nákladů, je reálné naspořit desítky procent celkových výrobních nákladů. [17], [18]



Obr. 14 Důvod proč optimalizovat [19]

3.2 Simulace

Simulační program Autodesk Moldflow nabízí širokou škálu analýz, např. vhodné umístění vtoku (vtokového systému), temperanční analýzy, analýzy plnění a dotlaku, nebo smrštění a deformace. Za pomoci takovýchto výpočtů určíme případné vady budoucích výrobků, nebo jejich samotný návrh. Výrobci forem mají tedy k dispozici pomoc ve formě softwaru, který jejich výrobek dělá na trhu více spolehlivý a konkurenceschopný. Samotná simulace procesu tedy umožňuje diskutovat se zákazníkem problémy, které se mohou případně objevit. Na základě provedených analýz a jednání se zákazníkem je poté možné upravit například procesní podmínky, vtoková ústí, teplotu či mnoho dalších aspektů, potřebných pro výrobu co nejkvalitnějšího dílu.

Například změnou tloušťky žeber a stěn u dílu je možné redukovat teploty v kritických místech výrobku, redukovat deformace výrobku způsobené přetlakem a snížení Von Misesova napětí. Další práci s geometrií součástí můžeme dosáhnout kratší doby pro ochlazení výrobku a snížit výskyt propadlin. [20]

Autodesk Moldflow také poskytuje vytvoření více výrobků ve vstřikovací formě tzv. násobnost formy. Široké spektrum materiálů v knihovně programu pomáhá nastavit vstřikovací proces tak, aby mohl být dokonale nasimulován a to s požadovanými parametry, teplotami, vtokovou soustavou a násobností formy.

Výsledná simulace se většinou dělí do čtyř skupin:

- Analýza vhodného umístění vtoku (Gate location) - do tohoto souboru řadíme analýzy indikátoru proti tečení a vhodnosti umístění vtokového systému. Výsledky přinášejí cenné zprávy zejména konstruktérům forem.
- Analýza temperace (Cool) - balíček obsahuje simulace teploty a tlaku v temperačním okruhu, Reynoldsova číslo, dobu potřebnou pro vyhození výrobku aj. V praxi využívají těchto výsledků nejvíce výrobci forem a konstruktéři.
- Analýza plnění a dotlaku (Fill+Pack) - obsáhlý soubor simulací ve kterém figurují např. analýzy času plnění, smykové rychlosti, vzduchových kapes, smykových napětí na stěně, studených spojů aj. Údaje z této skupiny nabývají hodnotu u výrobců forem a technologů.
- Analýza smrštění a deformace (Warp) - do podskupiny těchto analýz patří například celková deformace od všech vlivů, deformace vlivem chlazení, deformace vlivem smrštění materiálu. Od těchto výsledků se poté odráží konstruktér formy s pracovníky zodpovědnými za výrobu zadané součásti.

3.2.1 Simulace a optimalizace vtokového systému

Vtokovou soustavu můžeme navrhnout jako studenou (studený vtokový kanál), horkou (horký vtokový kanál), nebo jejich vzájemnou kombinaci. Vtokové ústí se poté dá vložit na jedno místo nebo více míst, kdy zhodnocujeme výsledné varianty. Výsledkem by měl být co nejkvalitnější povrch s redukováným rizikem deformací za nejkratší dobu plnění. [19]

System nabízí vytvoření vtoku přesně podle požadavků zákazníka. Vtokových ústí lze tvořit nezměrné množství, například u zajištění rovnoměrného toku taveniny. Software dokáže navolit detailní parametry jednotlivých vtokových soustav od tvarů, rozměrů, umístění a to vše s ohledem na budoucí výrobek. [19]

Simulace dokáže uspořádat vtoková ústí tak, aby se snížilo smykové namáhání. Změna se uskutečňuje přemístěním vtokových ústí do míst, kde bude splněno rovnovážné plnění celé tvarové části dutiny formy. Důsledek takto navržené vtokové soustavy ušetří též objem polymerního materiálu, který je potřeba dostat do dutiny formy. Samozřejmě je nutné navrhovat vtoky s ohledem na konstrukci nebo design součásti. [21]

S nevhodně navrženým vtokovým systémem se mohou objevovat problémy. Vtoková ústí jsou většinou dána zákazníkem a je možné, že bude docházet k nevyváženosti vtokové

soustavy. Takovýto problém lze eliminovat kaskádovým (postupným) plněním formy, zvýšením uzavírací síly, geometrií vtokového ústí nebo přechodem vtokového ústí do jiné lokace.

3.2.2 Simulace a optimalizace temperačního systému

Software Autodesk Moldflow nabízí navrhování temperačních soustav s různými temperačními okruhy a přepážkami. Pro okruhy lze navolit nezměrné množství procesních parametrů. Formou tak můžou cirkulovat různá chladicí média v přesně navrhnutém chladícím kanálu. Tento okruh se nakonec zkoumá na celkovou účinnost temperaci formy. Temperační soustavu si lze připravit i v jiném programu a do softwaru Autodesk Moldflow pak importovat. [19]

Simulace temperačního systému vyhodnocuje nejčastěji efekt temperační soustavy, která má dopad na jakost povrchu a rozměrovou stabilitu. Taktéž redukuje čas procesu celého cyklu. [19]

Optimalizace navrženého temperačního systému se řeší pomocí analýzy tak, aby temperování součásti bylo rovnoměrné a co nejkvalitnější. Redukcí doby temperace můžeme dosáhnout menších výrobních nákladů a zajistit pokles rizika deformace dílu. [21]

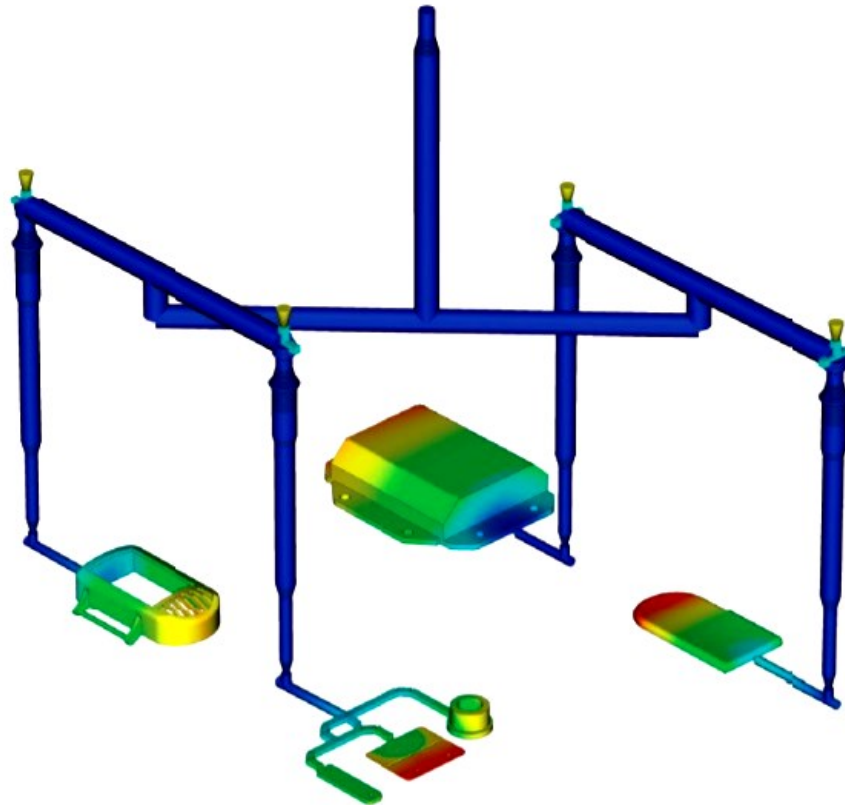
3.2.3 Simulace a optimalizace plnění a dotlaku

Simulace předpokládá průběh plnění dutiny formy taveninou. Plnění formy lze vybalancovat, což vede k poklesu zmetkovitosti. Další možností je například identifikace chyb, které úzce souvisí se stlačeným vzduchem ve formě.

Druh této simulace může rapidně snížit zmetkovitost výrobků zapříčiněnou výskytem například studenými spoji. Může též vést k zdokonalení tvaru součásti i celé vstřikovací formy. [19]

Autodesk Moldflow umožňuje nastavit bod přepnutí vstřikovacího stroje na dotlak. Optimalizací velikosti dotlaku a jeho průběhu v časové výseči se dá omezit tvorba deformací na polymerní součásti a výskyt propadlin a lunkrů. [19]

Analýza též předpovídá vady, které se mohou vyskytnout, mezi které řadíme třeba propadliny, místa se stlačeným vzduchem a studené spoje. Takto pojmenovaná místa (výsledky) se v protokolu vyhodnotí a snaží se co nejvíce eliminovat. [21]



Obr. 15 Náhled simulace plnění [21]

3.2.4 Simulace a optimalizace deformace a smrštění

Status technologické součásti a vstřikovací formy řeší výsledky simulace smrštění a deformace.

Predikcí smrštění dodržíme rozměrové tolerance výrobku. Tato predikce je získána z procesních parametrů a materiálových informací pro jednotlivý polymer. Materiálové charakteristiky i procesní parametry mají polymery odlišné. [19]

Napětí vznikající při vstřikování polymerů, deformují jednotlivé části dílu. Za pomoci analýzy můžeme lépe předpokládat místa, kde se budou deformace koncentrovat. Tyto znalosti využijeme při úpravě finálního designu součásti a procesních parametrech, tak aby splňoval tolerance předepsané zadavatelem. [21]

3.2.5 Data a databáze materiálů

Databáze materiálu disponuje více než 8,5 tisícem polymerů. Kterýkoli materiál má v knihovně své určité hodnoty, kterými se vyznačuje. Jsou to reologické a fyzikální hodnoty, které byly na daných materiálech změřeny. [19]

Abychom nastavili analýzu co nejideálněji, tak je důležité vybrat materiál, kterým se později bude plnit dutina formy. Pokud materiál v databázi nenajdeme, snažíme se o to, abychom nahradily vlastnostmi nejpodobnějším materiálem. [21]

All Thermoplastics material (System)						
	Manufacturer	Trade name	Family abbreviation	Filler data: Description	Filler data: Weight (%)	Melt mass-flow rate (MFR): Measured MFR (g/10min)
1	APPL Industries Ltd	APPCOM MF 1019 SR	PP+EPDM	Talc	20	10
2	BIP-PF	PF 236 X115	PP+EPDM	Talc	10	
3	Basell Korea	SIP3231	PP+EPDM			8
4	CEPLA Co Ltd	CW-452E	PP+EPDM	Talc	20	
5	CEPLA Co Ltd	CEW-670	PP+EPDM	Talc	20	
6	CEPLA Co Ltd	CEW-670U	PP+EPDM	Talc	20	
7	CEPLA Co Ltd	CW-452K	PP+EPDM	Talc	20	
8	CEPLA Co Ltd	CW-462E	PP+EPDM	Talc	20	
9	Exxon Chemical Company	Visaflex 150B	PP+EPDM			
10	Exxon Chemical Company	Vistaflex 206B	PP+EPDM			
11	Exxon Chemical Company	Vistaflex 240G	PP+EPDM			
12	Faurecia	FAU-20	PP+EPDM	Mineral	10	
13	Kingla Sci & Tech Co Ltd	API-240	PP+EPDM			
14	Kingla Sci & Tech Co Ltd	AIP-2015	PP+EPDM	Talc	20	15
15	Polykemi	Polyelast EC88R	PP+EPDM			2
16	Polykemi	Repro PP QS 102020	PP+EPDM	Talc	20	
17	Polymer-Chemie GmbH	Polyblend PB5208	PP+EPDM			8
18	Rehau AG & Co	RAU-EMPP6312-1300	PP+EPDM	Mineral	20	6
19	Rehau AG & Co	RAU EMPP 138 926 929 (R2360)	PP+EPDM	Mineral	32	8
20	Shanghai PRET Composites Co Ltd	PP+EPDM-T20	PP+EPDM	Talc	20	10
21	Shanghai PRET Composites Co Ltd	PP+EPDM-T20 (C3322T-M12)	PP+EPDM	Talc	20	
22	Shanghai PRET Composites Co Ltd	PP+EPDM-T20 (C3322T-1JS)	PP+EPDM	Talc	20	
23	Shanghai PRET Composites Co Ltd	PP+EPDM-T20 C3322T	PP+EPDM	Talc	20	11.4
24	Shanghai PRET Composites Co Ltd	PP+EPDM-T15 C3322T-1	PP+EPDM	Talc	15	14.4

Obr. 16 Náhled materiálové databáze Moldflow

3.3 Kategorie sítí v Moldflow a kooperace s jinými CAD systémy

Při nahrání modelu součásti do programu můžeme v prvním kroku označit geometrii nebo síť, se kterou budeme dále fungovat. Kořenem nastavení sítě většinou bývá tloušťka stěny finálního dílu.

Autodesk Moldflow pracuje s třemi druhy sítí:

a) Mildplane mesh (2D síť)

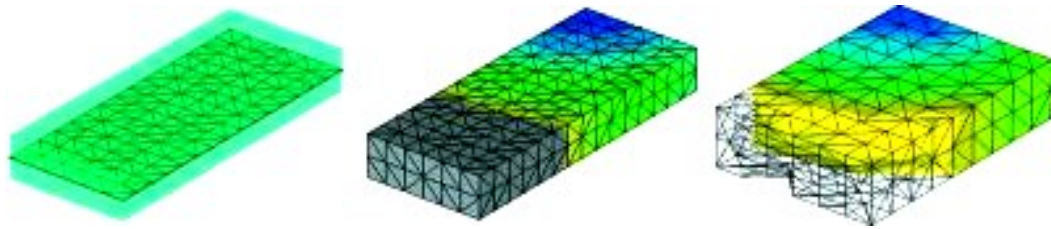
Síť tvoří trojúhelníkové elementy. Tloušťky stěn t výpočetního modelu jsou zjednodušeny na tzv. střednicovou plochu, která reprezentuje samotný tvar modelu. Aplikuje se zejména pro tenkostěnné součásti. [21]

b) Dual – Domain mesh (2,5D síť)

Síť konečných prvků představují trojúhelníky, přičemž tloušťka stěn se generuje automaticky. Aplikace sítě Dual – Domain se využívá hlavně u tenkostěnných výrobků. [19]

c) Tetrahedral mesh (3D síť)

Tloušťky stěn t výpočetního modelu jsou naplněny prostorovými elementy tzv. čtyřstěny. Takto je objekt vyplněn kompletně celý. Aplikace této sítě je zejména u výrobků s nepravidelnou tloušťkou stěn a tlustostěnných výrobků. [21]



Obr. 17 Náhled tří typů sítí v Moldflow [21]

K výpočtu analýzy volíme vždy jednu z výše uvedených sítí. S rostoucí kvalitou sítě roste i přesnost výpočtu. Kvalitní síť však je náročnější z hlediska času výpočtu. Nejvíce využívanou je 2,5 D Dual – Domain síť, avšak nejpřesnější je 3D síť tetrahedral mesh.

3.3.1 Import CAD modelu a trajektorií

Importování CAD modelu nabízí široké spektrum softwarů. Mezi podporované programy řadíme Autodesk Inventor, Creo, Siemens, Catia, Solid Works, Pro/Engineer a další. Pro import systému se využívá zejména přípon s koncovkou *.stp nebo *.igs. [21]

Program Autodesk Moldflow podporuje vytvoření vtokových a temperenčních systémů přímo v něm, avšak analýza se většinou požaduje provést v co nejkratší době. Proto se nahrávají vtokové a temperanční systémy z jiných CAD programů. Důležitým prvkem pro nahrání systému do Autodesk Moldflow je správný formát trajektorie. Nejčastější a nejvíc podporovanou koncovkou je *.igs. [21]

K samotné přípravě nahraných dat do analýzy se také dá použít nástroj CAD Doctor. Nabízí opravu chyb, zkontrolování a zjednodušení modelu či trajektorie tak, aby analýza proběhla bezchybně. [21]

3.4 Vyhodnocení výsledků

Autodesk Simulation Moldflow umožňuje simulovat vstřikování polymerů a zároveň je jedním z nejpoužívanějších simulačních programů na světě. Výrobci vstřikovacích forem mohou na základě výsledků, které program nabídne zjistit vady, optimalizovat vstřikovací formy a také vzhled dílu před zahájením výroby po domluvě se zákazníkem. [19]

Mezi další dva softwary, které se používají, patří Autodesk Simulation Moldflow Adviser a Autodesk Simulation Moldflow Insight. Příspěvek těchto softwarů minimalizuje tvorbu vad a uvádí na trh inovované výrobky v co nejkratším časovém pásmu. [19]

Značnou výhodou programu jsou nástroje pro pohotovější komunikaci se zadavatelem či spolupracovníky. Jednotlivé vizualizace dílů, analýzy a simulace jde tak jednoduše posílat

pověřeným osobám. Jak už bylo řečeno, Moldflow disponuje databází materiálů ze které lze vybrat konkrétní materiál a provést s ním analýzu. [19]

3.4.1 Autodesk Moldflow Adviser

Představuje nástroj, který řeší problematiku jakosti vyráběné součásti v závislosti na teplotě. Výstup se zobrazí po kliknutí na jakoukoliv část modelu a ukážou se samotné příčiny, které vedou k snížení jakosti dílu. Objeví se také rady, které lze použít pro odstranění chyb na výrobku. Jsou to nejčastěji informace o designu dílu, teplotě, vstřikovací formě nebo procesních parametrech. [19]

3.4.2 Autodesk Moldflow Communicator

Asi nejjednodušším prostředkem pro prezentování výsledků simulací a výpočtů analýzy je program Autodesk Moldflow Communicator. Tento produkt zasílá vytvořené simulace tak, že si příslušný člověk může prohlížet výsledky, hodnotit je a zároveň porovnávat na bázi vlastních nároků. Takto může označit například kritická místa, která jsou nutná opravit před samotnou výrobou vstřikovacího nástroje tak, aby zmetkovitost byla co nejlépe nulová. [21]

3.4.3 Další nástroje pro komunikaci

Pro dorozumívání se zadavatelem se využívá také software Report Generation, který poskytuje komentáře týkající se dané součásti případně úprav nezbytných pro zprostředkování výrobku. [21]

Prezentovat výstupy simulací a výsledků analýz jsme schopni též v programech Microsoft Word nebo v PowerPoint. [19]

3.5 Komparace produktů Moldflow

K porovnání jednotlivých produktů podniku Autodesk Moldflow slouží obr. 18. Srovnává dva hlavní produkty podniku, kde každý produkt nabízí ještě tři podskupiny s rozdílností ve vybavení softwaru. Případný uživatel si pak vybírá produkt, kteří chtějí jeho hlavní partneři. Tabulka na obrázku je rozdělena do skupin. První skupina obsahuje informace o využití sítě. Dále podle možností CAD programů, které je možné aplikovat, nabídky simulací, procesů nastavení formy a nabídky databází, který daný produkt obsahuje. Vše je

samozeřejmě záležitostí financí, které se dají investovat a celkových možností firmy na bázi implementace celého softwaru.

	Autodesk Simulation Moldflow Adviser Standard	Autodesk Simulation Moldflow Adviser Premium	Autodesk Simulation Moldflow Adviser Ultimate	Autodesk Simulation Moldflow Insight Standard	Autodesk Simulation Moldflow Insight Premium	Autodesk Simulation Moldflow Insight Ultimate
MESHING TECHNOLOGY						
Dual Domain	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3D		✓	✓	✓	✓	✓
Midplane				✓	✓	✓
CAD INTEROPERABILITY						
CAD Solid Models	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Parts	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Assemblies				✓	✓	✓
SIMULATION CAPABILITIES						
Thermoplastic Filling	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Part Defects	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gate Location	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Molding Window	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Thermoplastic Packing			✓	✓	✓	✓
Runner Balancing		✓	✓	✓	✓	✓
Cooling			✓		✓	✓
Warpage			✓		✓	✓
Fiber Orientation			✓		✓	✓
Insert Overmolding				✓	✓	✓
Two-Shot Sequential Overmolding						
Core Shift Control					✓	✓
MOLDING PROCESSES						
Thermoplastic Injection Molding	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reactive Injection Molding				✓	✓	✓
Microchip Encapsulation					✓	✓
Underfill Encapsulation						✓
Gas-Assisted Injection Molding						✓
Injection-Compression Molding						✓
Co-Injection Molding						✓
MuCell®						✓
Birefringence						✓
DATABASES						
Thermoplastics Materials	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Thermoset Materials				✓	✓	✓
Molding Machines				✓	✓	✓
Coolant Materials					✓	✓
Mold Materials					✓	✓

Obr. 18 Komparace nabízených programů firmy Autodesk [21]

3.5.1 AMI Autodesk Moldflow Insight

Tento software umožňuje kompletní analýzu vstřikovacího procesu. Generátor sítí konečných prvků zajišťuje analýzy 2D, 2,5D a 3D.

Nabízí simulaci dvoukomponentního vstřikování, zástřiků, vstřikování technologií GIT, vstřikování termosetů a jiné. Databáze materiálů nabízí přes 8 tisíc termoplastů s jejich charakteristikou, která je stěžejní pro optimalizaci návrhu součástí.

Taky samotný výběr sítě, kterou uskutečníme pro analýzu je klíčový, jelikož výsledky sítě konečných prvků ovlivňují finální hodnoty analýz. Zejména pak u výrobků tlustostěnných nebo dílů s proměnnou tloušťkou. Na takové součásti je třeba 3D síť s objemovými prvky (tetrahedrony). Finální výsledky pak nebudou ovlivněny a budou přesnější, tedy budou odpovídat více realitě. [17]

3.5.2 AMA Autodesk Moldflow Adviser

Produkt stanovený především pro konstruktéry jednotlivých dílů a vstřikovacích forem. Dává představu konstruktérovi v složitějších stádiích vývoje, pomocí parametrů vstřikování dokáže určit cenu výrobku. Podporuje CAD systémy a konstruktérovi tak dovolí vypočítat analýzu v každém úseku návrhu součástí. Poskytuje tedy detailní informace a popisy problémů s jejich řešením u vyvíjeného výrobku. Znalosti v okruhu vstřikování, reologie a polymerů nepotřebuje u tohoto produktu uživatel dokonale znát. [17]

4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

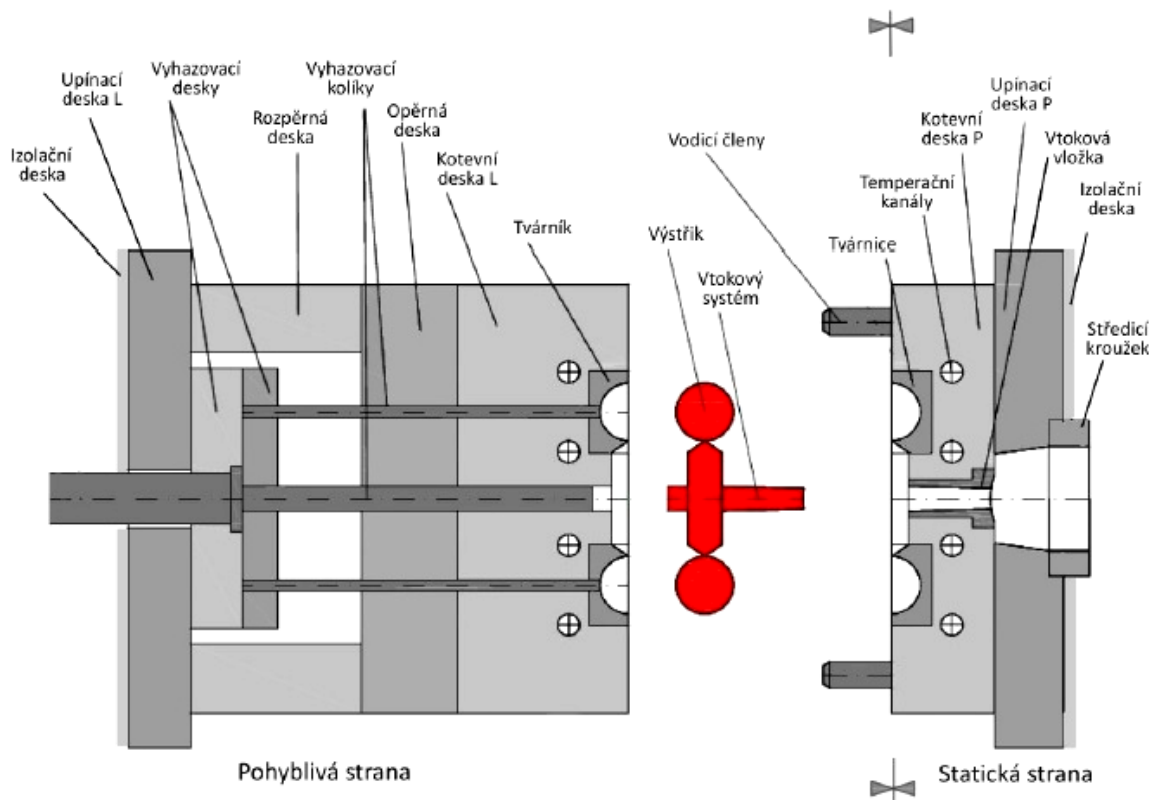
Nástroj pro výrobu výstřiků respektive vstřikovaných výrobků nazýváme vstřikovací formou. Její konstrukce v podstatě vystupuje z konstrukce výrobku. Konstruktor primárně určí technologii, která bude použita (standardní, GIT, WIT, 2K). Dále pak určí násobnost formy, od které se odráží rozměr formy a navrhne rozmístění a zaformování výrobků. Volí se použití typu vtokového systému a hledá správný materiál z hlediska konstrukčního stádia výrobku. Po obdržení uvedených parametrů se navrhne funkční skica, která je podrobena analýzám toku polymeru, ale také třeba analýzám, které popisují mechanické vlastnosti formy. Po uskutečnění a vyhodnocení analýz se vyrábí prototyp formy a po kontrole se může vyrobit sériový nástroj. Konečným stádiem projektu jsou zkoušky. Po úspěšném odzkoušení formy se forma předává do výroby. [23]

Vstřikovací forma Obr. 19 je jako celek konstrukčně velmi složitá a její koncepcí lze klasifikovat do několika skupin:

- upínací a vodící elementy,
- temperanční systém,
- vtokový systém,
- vyhazovací systém,
- tvarová dutina.

Mezi základní podmínky a požadavky, které musí vstřikovací forma během své životnosti splňovat, zejména řadíme:

- nízkou pořizovací cenu,
- zajištění zadaných rozměrů a jakosti výrobku,
- odolnost proti vysokým tlakům,
- rychlá a snadná výroba,
- automatizace provozu s minimální obsluhou,
- jednoduché vyjmutí výrobku
- maximální využitelnost zpracovávaného polymeru.



Obr. 19 Primární koncepce vstříkovací formy [23]

Základní složení vstříkovací formy podle standardní konstrukce vychází ze systému dvou deskového. Levá i pravá strana formy je složena z jednotlivých desek, které drží pohromadě šrouby. Statická strana pravá bývá většinou osazena středícím kroužkem, vtokovou vložkou a dalšími komponenty zajišťující tok polymeru. Dále pak obsahuje vodící prvky a tvarové vložky. Pohyblivá levá část je charakteristická vyhadzovacím systémem, vodícími prvky a tvarovými vložkami. Toto primární složení je modifikováno a doplňováno dle jednotlivých výrobků. Jako speciální formy můžeme uvést závitové, tandemové a s posuvnými členy. [14], [23]

4.1 Vtokový systém

Spojení mezi vstříkovací tryskou a dutinou formy zabezpečuje vtokový systém. Důležitou částí vtokového systému je tzv. ústí vtoku, což je místo kde tavenina vstupuje do dutiny formy. Druh a umístění vtoku má zásadní vliv na tok polymerního materiálu do dutiny formy, tvorbu propadlin, vznik studených spojů, anizotropii vlastností, orientaci plniv a vzhledových vlastnostech výrobku. Uvedené vlastnosti však mohou být ovlivněny i technologickými parametry. Například plastikace, rychlost plnění, průběh tlaku při plnění, délka dotlaku či chlazení. [24]

Optimálně navržený vtok naplní formu bez velkých teplotních a tlakových ztrát za co možná nejkratší časový úsek. Těchto výsledků lze docílit snadněji u tvarově méně složitých a menších součástí než u členitých a rozměrných. [24]

Vstřikovací formy klasifikujeme do dvou skupin dle aplikovaného vtokového systému. Levnější variantou, cenově přijatelnější a jednodušší jsou studené vtokové systémy. Naproti tomu dražší horké (vyhřívané) vtokové systémy jsou mnohem produktivnější a mezi velkou výhodou můžeme uvést menší spotřebu materiálu při plnění více kavit.

4.1.1 Studený vtokový systém

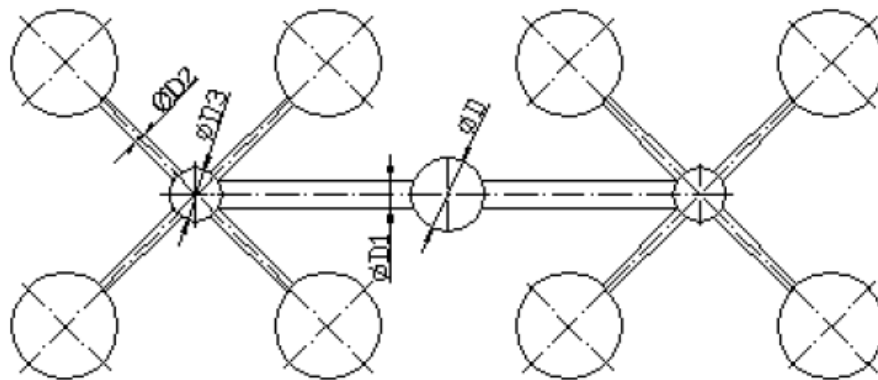
Volba daného vtokového systému musí zohledňovat předpoklady velké rychlosti vstřiku taveniny do poměrně studené formy. Během proudění taveniny ve vtokovém systému viskozita na vnějším povrchu rychle roste. Z toho plyne, že vysoké viskozitě taveniny musíme dodat potřebné množství tlaku (až 200 MPa).

Vnitřní proud taveniny je po celou dobu plnění v tepelné izolaci, kterou vytváří ztuhlá povrchová vrstva. Když je forma naplněna zaznamenáme prudký vzrůst odporu a pokles průtoku. Dojde k postupnému tuhnutí materiálu zapříčiněné odvodem tepla do stěn formy. Další materiál můžeme dostat do dutiny formy pouze elastickým stlačením. V takovém případě dochází k vzniku tepla v důsledku tlaku. Tavenina je tak oddálena tuhnutí. [8]

Ve vtokovém systému může taky dojít k nárůstu tepla vlivem tření taveniny. Koncentrace tepla do míst největšího smykového napětí, může mít za následek vzrůst teploty až o 200 °C. Teplotně citlivostní materiály proto mohou degradovat a znehodnocovat tak výsledný výrobek.

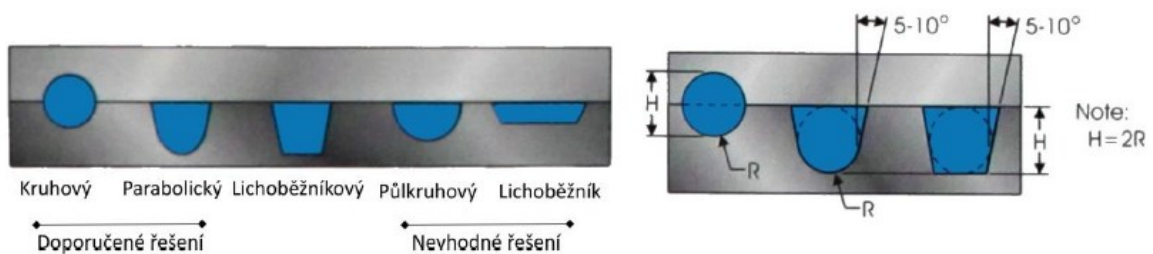
Vtokový systém musí být navržen tak, aby splňoval základní podmínky:

- délka toku taveniny musí být ke všem dutinám stejně dlouhá,
- co nejkratší délka toku taveniny bez zbytečných časových a tlakových úniků,
- rozfázování průřezů pro dodržení stejné rychlosti taveniny,
- dostatečně velký průřez vtokového kanálu, (při minimálním povrchu co největší průřez vtokového kanálu). [8]



Obr. 20 Vrtkový systém [8]

Generace nízkého odporu proti toku a rovnoměrné ochlazení taveniny jsou hlavní cíle konstrukce kanálů. Kruhové průřezy jsou nejvýhodnější z pohledu plochy a zároveň odporu proti toku, zatímco půlkruhové a lichoběžníkové průřezy se používají z pohledu nižší náročnosti výroby. Části, které podporují homogenitu materiálu, zachycují čela taveniny a jsou nezbytnou součástí kanálů, nazýváme jímky. Propočet geometrie kanálů je určena z tlakové ztráty, ke které je potřeba vzít v potaz viskozitu taveniny a tloušťku ztuhlých vrstev na stěně kanálu. Tedy funkcí délky toku je průměr. [10]



Obr. 21 Geometrie vrtkových kanálů [10]

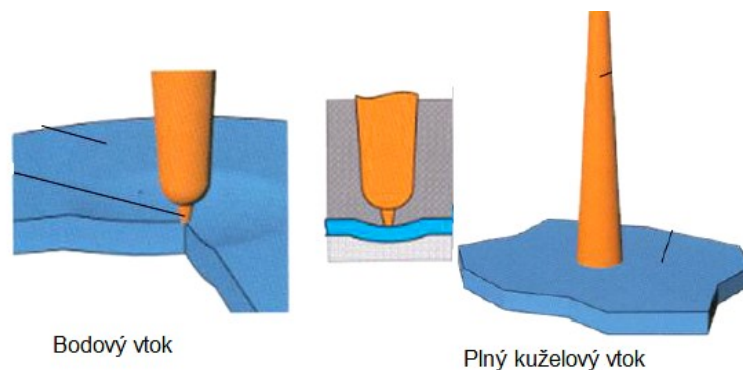
➤ Plný kuželový vtok

Velmi jednoduchý typ vrtkového systému je plný kuželový vtok. Charakteristické vlastnosti tohoto systému bývají malé tlakové ztráty, malá anizotropie smrštění a malé vnitřní pnutí. Negativní vlastnosti plného vtoku se odráží na obtížném oddělování vtoků a na prodloužení výrobního cyklu. Plný kuželový vtok nejčastěji aplikujeme u rozměrných a tlustostěnných součástí bez rozdílu druhu materiálu. [24], [25]

Kuželový vtok však zanechává stopu na výstřiku a jeho odstranění je poměrně pracné. Ústí vtoku při návrhu průměru by mělo být o 1 až 1,5 mm větší, než tloušťka stěny výrobku. [8]

➤ Bodový vtok

Tento druh zúženého vtokového ústí patří mezi nejznámější. Vyskytuje se hlavně v podobě kruhového průřezu, který může ležet v dělicí rovině nebo i mimo ni. Výhodou je, že může vycházet rovnou z vtokového kanálu, z předkomory nebo z rozvodných kanálů. Z toho plyne, že vtokový systém lze oddělit od výstřiku již ve formě. Během otevírání formy dochází k separaci vtoku od výstřiku a následuje vyhození výrobku. Aplikaci našel u tenkostěnných výrobků a průměr ústí vtoku se nejčastěji pohybuje okolo 1 mm. [8], [27]

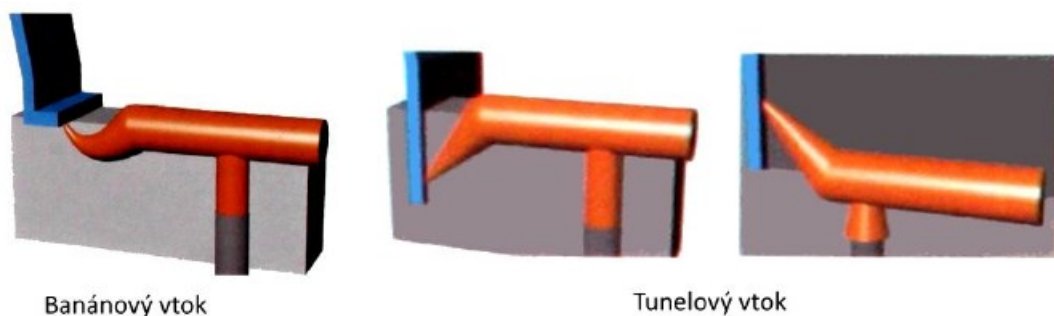


Obr. 22 Plný kuželový a bodový vtok [15]

➤ Tunelový vtok

Velká výhoda tohoto vtoku je, že vtokový zbytek se může objevit ve stejné dělicí rovině jako je výstřik. Jedná se vlastně o zvláštní případ bodového vtoku. Nejčastěji se vyskytuje u dvoudeskových konstrukcí forem. Je možné do vtokového kanálu zahrnout jímku pro zachycení studeného čela taveniny.

Určitou modifikací tunelového vtoku je vtok strpkovitý, nebo též banánový. Cílem je umístit vtokové ústí do místa na výrobku tak, aby neúčinkoval negativně (zbytková pnutí apod.). Jeho využití je nejčastěji u polymerů s vysokou elasticitou. Podmínkou aplikace srpkovitého vtoku je, aby nebyl vystaven zalamování. [8], [26], [27]

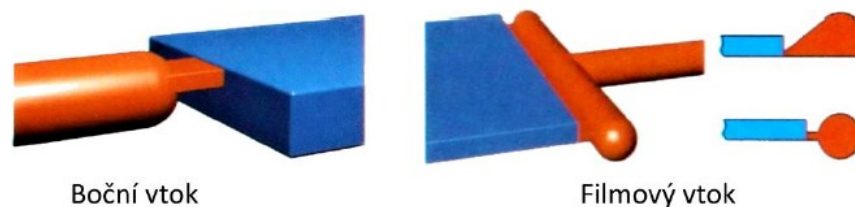


Obr. 23 Banánový a tunelový vtok [15]

➤ Boční vtoky

Průřezy u takových druhů vtoků bývají zpravidla obdélníkového průřezu, avšak vyskytují se i lichoběžníkové a kruhové. Vtok bývá nalepen na výstřiku a musí se použít další zařízení pro jeho oddělení od výstřiku. Pro automatizaci cyklu se využívají různá řezací ústrojí, která takový úkon provedou.

Do třídy bočních vtoků řadíme diskové, prstencové, deštníkové a především filmové vtoky. Uplatnění uvedených druhů vtoků se najde zejména při plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími nároky na jakost výrobku. Jednotlivá místa vtokového ústí nejsou rovnoměrně naplněna taveninou. U obdélníkového designu výrobku se ústí vtoku situuje do kratší hrany a to zejména u semikrystalických polymerů. Tímto způsobem lze docílit požadované pevnosti výrobku. [8], [27]



Obr. 24 Boční a filmový vtok [15]

4.1.2 Horký vtokový systém

Nárůst využití horkých (vyhříváných) vtokových systému se rapidně zvyšuje. Přibližně 30% nových vstřikovacích forem je obohaceno u tento systém. Velké výhody z hlediska úspory materiálu, práce a vstřikování bez vtokového zbytku si výrobci oblibují. Vše je uskutečněno pomocí vyhříváných vtokových soustav. Obsahují vyhříváné trysky, které jsou charakterizovány minimálním poklesem teploty i tlaku. Během posledních let vznikla řada firem, které jsou schopny vyrobit a dodat celý vyhříváný blok, který se poté pouze umístí do formy. [8], [26]

Důvody používání horkých vtokových soustav:

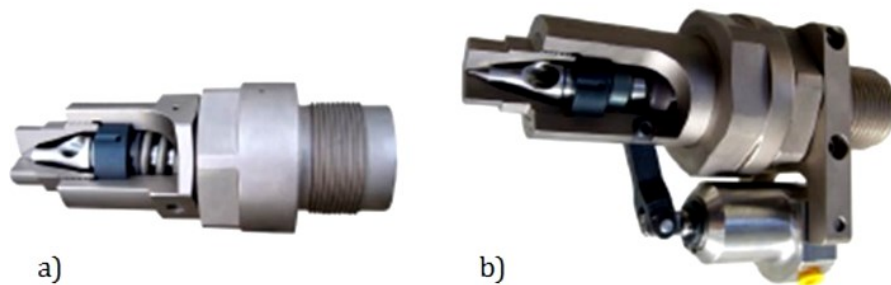
- automatizace výroby,
- redukce spotřeby materiálu,
- redukce výrobního cyklu,
- vymazání nákladů obsahující odstranění vtokových zbytků. [8]

Pro případný vtokový zbytek, který může vystupovat přes úroveň výrobku je vhodné zahĺoubení v místě vyústění. [27]

System však potrebuje výrazně náročnější a složitější vstřikovací formy a zároveň personál (technolog, konstruktér a obsluha stroje) na odpovídajícím technickém stupni. Ekonomickou výhodnost řešení je potřeba uvažovat v celém výrobním procesu. Proto je třeba si uvědomit stěžejní faktory výroby bez vtokových zbytků jako například ideální zpracovatelské vybavení, vhodné vlastnosti polymerního materiálu a nepřetržitý provoz.

➤ Horké trysky

Konstrukce horkých trysek umožňuje spojení dutiny vstřikovací formy se vstřikovacím strojem s vynikající teplotní stabilizací. Technologické podmínky vstřikování se při použití horkých trysek zlepšují. Horkou trysku tvoří topný článek a jeho regulace. Tryska může být ovšem ohřívána i jiným zdrojem vtokové soustavy. [8]



Obr. 25 Uzavíratelné trysky a) pružinová b) hydraulická [13]

➤ Horké rozvodné bloky

Ocelový horký rozvodný blok je mezi tvarovou a upínací deskou v pravé části vstřikovací formy uložen tak, aby nedošlo ke zbytečnému zahřátí těchto desek. Forma je tepelně izolována vzduchovou mezerou, ale kontakt v určitých místech s horkým blokem nastává. Jeho design je navrhnout konstruktérem, tak aby se adaptoval v potřebné poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění i uložení horkých trysek. Horké bloky se dodávají většinou ve tvarech H, I, Y, X, hvězdy aj. Konkrétní firma vyrábí a dodává horké bloky jako hotový systém, který se pouze zapasuje do formy. [8], [26]

Kompletní sestava horkého vtokového systému obsahuje vyhřívanou vtokovou vložku, horký rozvodný blok a horkou trysku. Polymerní materiál, který prochází rozvodným systémem, netuhne a snižují se náklady z hlediska vtokových zbytků. [27]



Obr. 26 Horké rozvodové systémy [13]

4.2 Temperační systém

K udržování neměnného teplotního režimu formy slouží temperace. Hlavním úkolem je docílit co nejkratší doby pracovního cyklu vstřikování při stejných technologických požadavcích na výrobu. Hlavní příčiny této redukce doby vyplývají z ochlazování či vytápění vstřikovací formy nebo pouze její části. [9]

Problematika teploty v dutině formy se odvíjí od samotného procesu vstřikování. Ihned po vstřiku teplota roste důsledkem styku formy s horkou taveninou vstřikovaného polymeru. Vlivem temperace však dále teplota klesá. Kolísání teplot je třeba co nejvíce minimalizovat a proces navrhnout co nejideálněji. Proto je důležitá znalost o velikosti a rozmístění temperačních kanálů v dutině formy, ale také rychlost a teplotu temperační kapaliny. [9]

Časová náročnost fáze chlazení může trvat i 80 % délky vstřikovacího procesu. Optimálním návrhem můžeme docílit optimálního tuhnutí výrobku s minimalizací deformace. [9], [28]

4.2.1 Temperační prostředky

Základním faktorem temperace je jeho médium. Účinnost odvodu tepla a teplotní spád určuje rychlost proudění a měrná tepelná kapacita pracovního média. V temperačním systému je žádoucí turbulentní proudění ($Re > 10\,000$), jelikož při něm dochází k maximálnímu odvodu tepla. Doporučená teplota temperace se pohybuje od 20 °C do 120 °C a teplotní spád by neměl překročit 5 °C. [22]

Temperační prostředky lze klasifikovat jako aktivní a pasivní. Aktivní prostředky působí přímo ve formě a odvádějí nebo přivádějí teplo, zatímco u pasivních prostředků ovlivňují režim formy fyzikální vlastnosti. Zařazujeme do nich tepelně vodivé a izolační materiály. Do aktivních prostředků spadají média jako voda, olej, glykoly, vzduch či topné elektrické články. [9]

➤ **Aktivní prostředky**

Voda – mezi největší výhody vody patří nízká cena, ekologická nezávadnost a vysoký přestup tepla. Z reologického hlediska je výhodná nízká viskozita vody. Naproti tomu však voda je použitelná jenom do 90 °C a může při její aplikaci vznikat koroze. Ta však lze potlačit vhodnou úpravou tohoto média. Dalším negativním účinkem může být výskyt vodního kamene.

Olej – temperace za použití oleje lze aplikovat i při teplotách vyšších než 100 °C. Negativní vlastností je zhoršený přestup tepla.

Glykoly – při použití glykolů v temperančním systému se vyhýbáme korozi a ucpání systému. Glykoly mohou v temperančních kanálech způsobit nečistoty a jsou náchylné na stárnutí.

Vzduch – médium takového typu využívá volné nebo nucené proudění tlaku nebo podtlaku. Aplikace vzduchu je především tam kde se nedá chladit vodou a jeho temperanční účinky jsou velmi malé.

Topné elektrické články – využití této temperace se zahrnuje ve formách s vyšší teplotou, kde tepelné ztráty do okolí jsou větší, než teplo dodávané polymerem.

➤ **Pasivní prostředky**

Tepelně vodivé materiály – používají se k přívodu a odvodu tepla z obtížně temperovaných míst (tam kde nemohou být použity jiné metody temperace). Jsou to například měděné nebo hliníkové tepelné trubice.

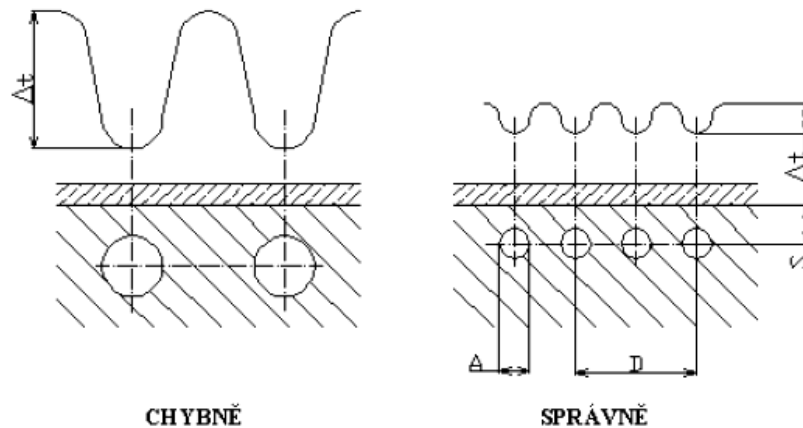
Materiály tepelně-izolační – takové materiály využíváme k redukci přestupu tepla mezi upínací deskou a formou. Většinou se jedná o nekovové materiály jako například reaktoplasty nebo sklo-textilní látky. [9]

4.2.2 Zásady pro volbu temperančního systému

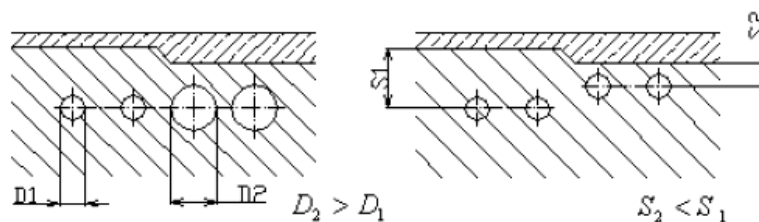
Rozmístění a rozměry kanálů a dutin se navrhuje s pozorností na celkové řešení vstříkovací formy. Temperační kanály by měly být optimálně vzdáleny od funkční dutiny s tím, že v potaz musíme vzít dostatečnou pevnost a tuhost její stěny. Přestupovou plochu pro teplo přestupující z formy do temperančního média slouží povrch temperančních kanálů. Základním pravidlem a vhodnějším variantou je použití většího počtu menších kanálů než menší počet větších. Kanály jsou rovnoměrně rozloženy kolem dutiny formy a ve stejné

vzdálenosti. V případě změny tloušťky stěny výrobku nebo v případě výskytu lokálního místa o vyšší teplotě se vzdálenost kanálu od dutiny snižuje. [9]

a) Vliv rozmístění kanálů na průběh teploty povrchu tvárnice



b) Chlazení výstřiku o různé tloušťce stěny



Obr. 27 Rozmístění temperačních kanálů [8]

Základní pravidla, které je třeba dodržovat při návrhu temperačního systému:

- umístění kanálů do optimální vzdálenosti od dutiny formy, při zachování její adekvátní tuhosti,
- regulace průtoku chladicího média je třeba zajistit od nejteplejšího místa k nejstudenějšímu,
- dimenzování a lokace kanálů do míst, kde je forma ve styku s proudem vstřikované taveniny,
- tvar výstřiku ovlivňuje průřez kanálů,
- temperační kanály by neměly obsahovat tzv. mrtvá místa, kde se mohou usazovat nečistoty a vznikat vodní kámen,
- zajistit, aby se větve kanálů daly propojit hadicemi,
- tam kde kanál neprochází celistvým materiálem, je třeba zajistit dokonalé těsné spojení. [9]

4.3 Materiály pro výrobu vstřikovacích forem

Formy sestavené z funkčních a pomocných dílů jsou velmi nákladné stroje. Pro výrobu forem se upotřebují zejména materiály, které splňují provozní požadavky v optimální velikosti. Nejčastěji jsou to neželezné slitiny kovů (Cu, Al,...), oceli s vhodnými vlastnostmi a ostatní materiály (izolační). [9]

Na ceně každé vstřikovací formě se podepíše materiál, ze které je vyrobena. U žádné formy nenajdeme pouze jeden druh materiálu. Podle druhu vstřikovaného plastu je forma namáhána na tlak, opotřebení a také korozi. Proto velmi důležitým faktorem při volbě materiálu je druh vstřikovaného polymeru, složitost a velikost výstřiku, odolnost proti korozi a opotřebení, násobnost formy, obrobitelnost, požadované mechanické a fyzikální vlastnosti a závěrem také jeho cena. [9]

4.3.1 Požadované vlastnosti ocelí

Každá jednotlivá součást má odlišnou funkci. Proto požadavky pro volbu vhodného materiálu jsou velice specifické. Při výběru proto doporučený typ má odpovídat úkolu s ohledem na opotřebení a životnost.

Vyžaduje se zejména:

- mechanická pevnost,
- odolnost proti korozi,
- obrobitelnost,
- dostatečnou kalitelnost a prokalitelnost
- leštitelnost
- zvýšenou odolnost proti otěru,
- brousitelnost,
- odolnost vůči chemickým vlivům. [9]

4.3.2 Používané třídy oceli

Nejpoužívanějšími, nejdůležitějšími a nenahraditelnými materiály pro výrobu vstřikovacích forem jsou oceli. Velké množství druhů a různé vlastnosti však redukuje okruh aplikace. Ocel nástrojová, cementační nebo legovaná se používá pro výrobu tvarových dutin ne-

bo různých mechanicky namáhaných částí formy. Tepelné zpracování ocelí, které je velice významné u funkčních a tvarových částech formy, může vést při špatném zpracování na znehodnocení celého nástroje. Některé společnosti si dokonce vyvíjí ocel přímo pro daný druh zpracovávaného plastu.

Tab. 2 Doporučené oceli pro konstrukci vstřikovacích forem [25]

DIN	ČSN	Vlastnosti a použití	Orient. cena [kč/kg]
1.2162	19 487	Cementační ocel, dobře obrobitelná, leštitelná. Použití pro tvarové díly a součásti forem s povrchovou odolností proti opotřebení, nevhodné pro větší úběr materiálu po kalení. V základním stavu dobře svařitelná. HRC 58 – 62	50
1.2312	19 520	Zušlechtnutá ocel pro namáhané desky a jiné součásti forem (desky tvarových vložek, kotevní desky vyhazovačů, atd.), vhodná i pro velké tvarové díly, dobře obrobitelná, dezénovatelná a leštitelná.	60
1.2343	19 552	Nejpoužívanější kalitelná ocel pro tvarové díly forem. Dobrá prokalitelnost, pevnost a houževnatost, vysoká odolnost proti tepelnému namáhání. Dobrá leštitelnost, vhodná k nitridaci a povlakování. Méně odolná proti opotřebení. Při zvýšených požadavcích na čistotu a strukturu (pro leštění) předepsat v provedení ESP (elektrostruskově přetavená). Použitelná pro těla šoupat a klíny. HRC 48 – 53	120, 145 (ESP)
1.2344	19 554	Kalitelná ocel pro tvarové díly forem. Obdobné vlastnosti a použití jako 1.2343, lepší leštitelnost.	140, 165 (ESP)
1.2379	19 573	Kalitelná ocel pro tvarové díly forem s vysokým namáháním a s odolností proti opotřebení (otěruvzdornost). Pro nejvíc namáhané vložky, vytáček trny, vtoková pouzdra, uzavírací a vodící lišty. Obtížně obrobitelná. HRC 58 – 62	135
1.2767	19 655	Kalitelná ocel pro tvarové díly forem se zvýšeným namáháním a s odolností proti opotřebení, s vysokou houževnatostí a tvarovou stálostí po tepelném zpracování. Dobrá leštitelnost. Při zvýšených požadavcích na čistotu a strukturu (pro leštění) předepsat v provedení ESU. HRC 50 – 56	120, 145 (ESP)
1.2842	19 312	Kalitelná ocel pro univerzální použití na menší tvarové díly forem, vodící a přítlačné lišty šoupat, trny, strhovací a vodící pouzdra, příložky. Vysoká tvrdost při dostatečné houževnatosti, nízkonákladová nástrojová ocel. HRC 56 – 64	65
1.1191	12 050	Jakostní konstrukční ocel pro méně namáhané díly forem, jako středící kroužky, vyhazovací tyče, táhla, podložky, přepravní třmeny a desky. Obtížně svařitelná.	30
1.7131	14 220	Cementační ocel. Použití pro součásti forem s povrchovou odolností proti opotřebení, jako vodící sloupky, pouzdra, šikmé kolíky. V základním stavu dobře obrobitelná a svařitelná.	30

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zásady pro vypracování:

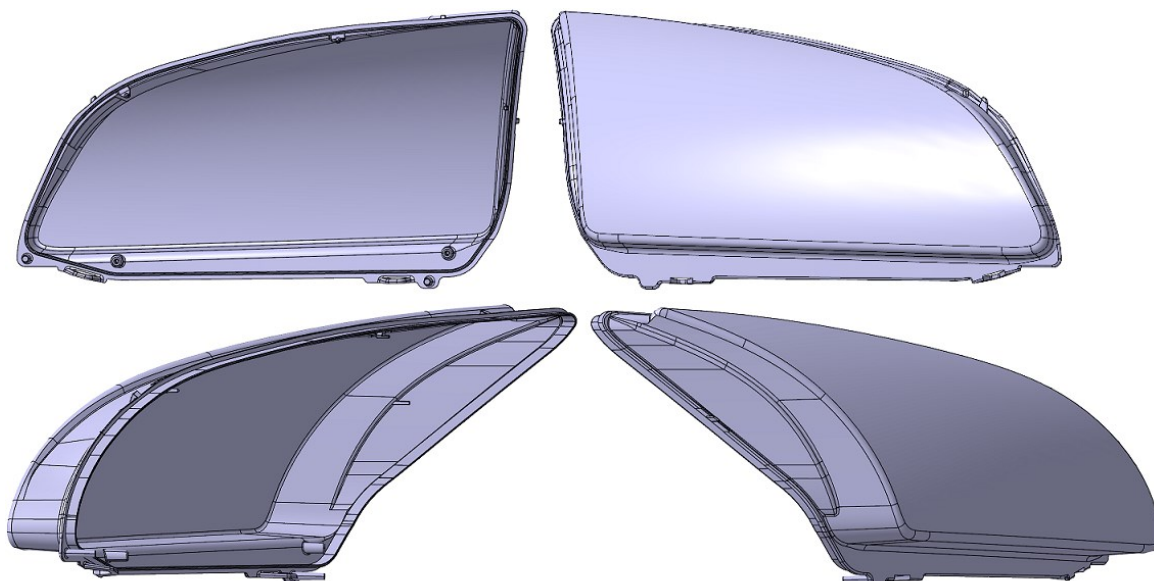
1. Vypracovat literární studii na dané téma
2. Porovnat stávající stav s predikcí z Moldflow analýzy
3. Optimalizace teplot a tlaku dle reality do predikce
4. Návrh optimalizace tloušťky stěny pro daný díl s cílem snížit tloušťku stěny skla

Cílem diplomové práce je vytvořit dle předložených 3D modelů od firmy Varroc Lighting Systems, s.r.o. simulační analýzy Moldflow. První část slouží k porovnání stávajícího stavu dílu s predikcí z Moldflow analýzy, kde se budeme zaměřovat speciálně na hodnoty tlaku a teploty v dutině formy. Dále je nutno optimalizovat analýzy tak, abychom je mohli porovnat s reálnými hodnotami naměřenými v dutině formy za pomoci čidel od firmy Kistler. Čili optimalizovat hodnoty teploty a tlaku dle reality do predikce. Poté je možno porovnat reálná data a data vypočtená simulačním programem. V poslední části budou posuzovány návrhy optimalizací, které vedou ke snížení tloušťky stěny výrobku.

6 STÁVAJÍCÍ STAV

6.1 Zadaný model

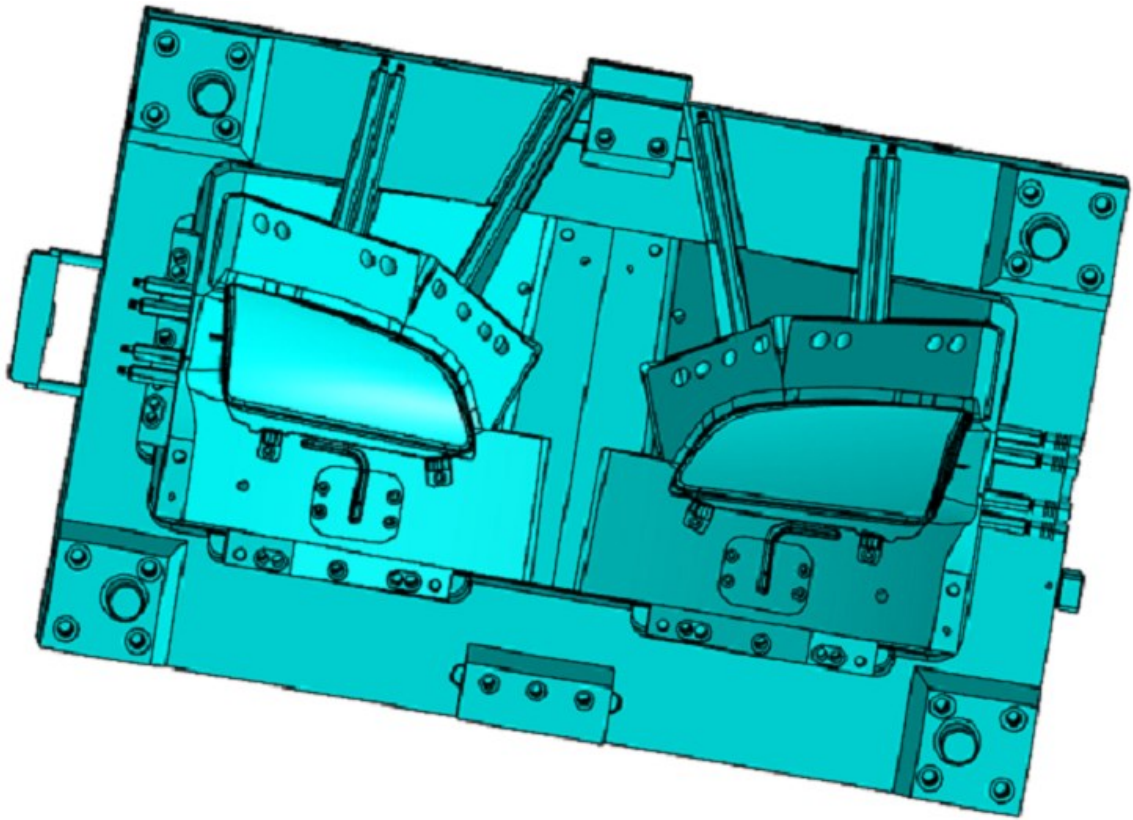
Pro diplomovou práci byl vybrán díl OUTER LENS z projektu C307 HL. Jedná se o díl skla předního světlometu, který je standardně vyráběn z materiálu polykarbonátu. V našem případě bylo domluveno použití PC typu Makrolon AL2647 od výrobce Bayer Material Science. Pro další zkoušky byly pak vybrány materiály Makrolon LED2245 rovněž od Bayer a Lexan LS2 od SABIC Innovative Plastics. Materiálové listy nalezneme v příloze.



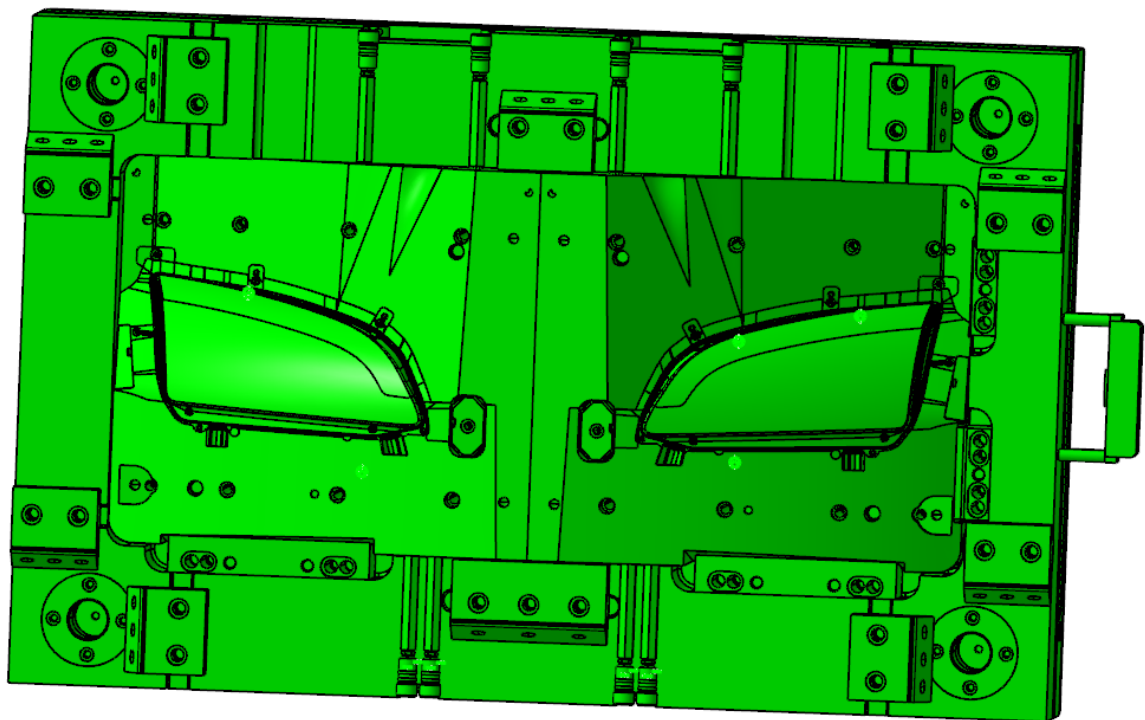
Obr. 28 Pohledy na vyhodnocovaný díl

6.2 Zadaná forma

Pro práci byla dodány taky data vstřikovací formy pro tento díl. Základem po obdržení těchto dat bylo získání temperačních kanálů. Poté byla zjištěna poloha a druh vtokového systému. Nejprve jsme museli dostat z formy tyto zásadní data tak, abychom je později mohli importovat do simulačního programu. Bylo tedy nutné získat zejména všechny trajektorie temperačního a vtokového systému.



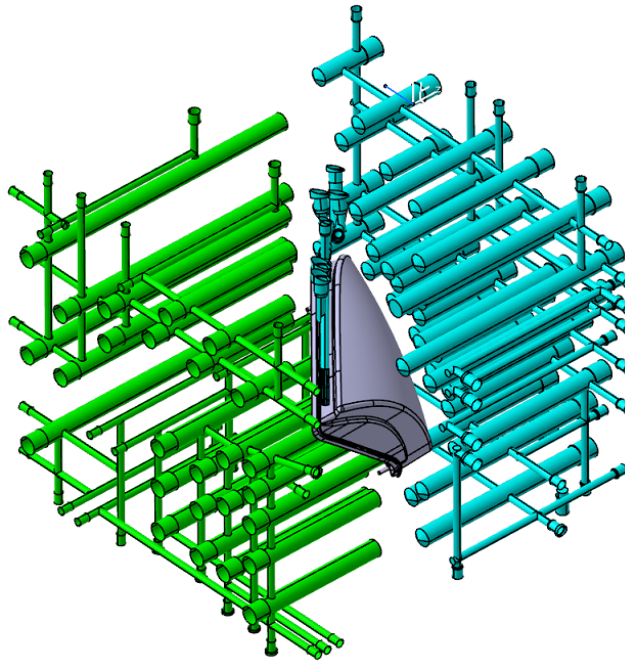
Obr. 29 Pohled na pevnou stranu formy



Obr. 30 Pohled na pohyblivou stranu formy

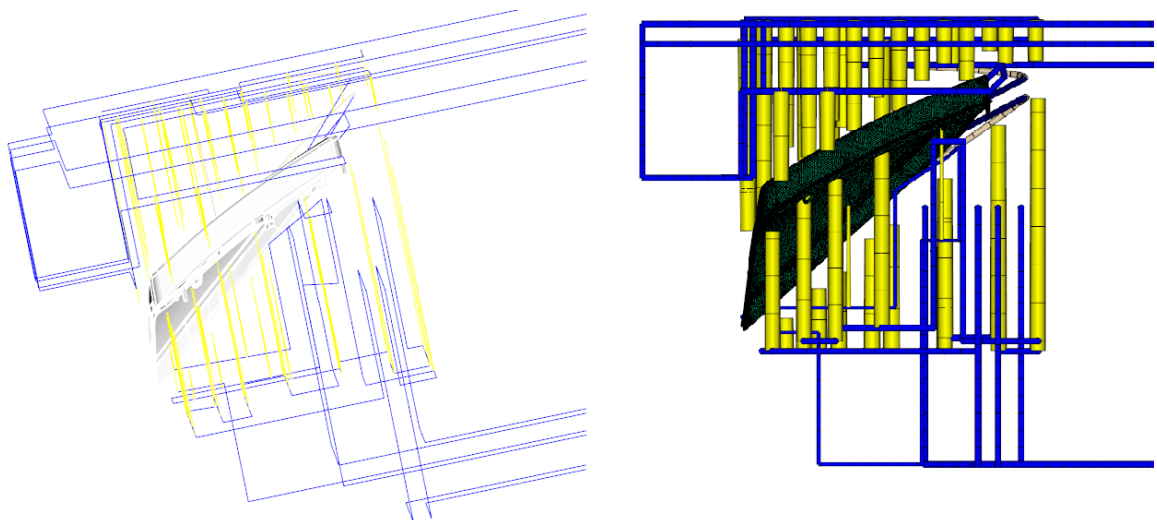
6.2.1 Temperace

Prací s obdržnýmimi daty zadané formy, jsme postupně získali tři chladicí okruhy v pohyblivé straně a také tři chladicí okruhy v pevné straně formy. Pro tyto okruhy byly vytvořeny jednotlivé trajektorie křivek, které byly následně převedeny do formátu iges. Tyto křivky jsou pak importovány do simulačního programu, kde jsou jim následně přiděleny geometrické i procesní parametry.



Obr. 31 Chladicí kanály formy

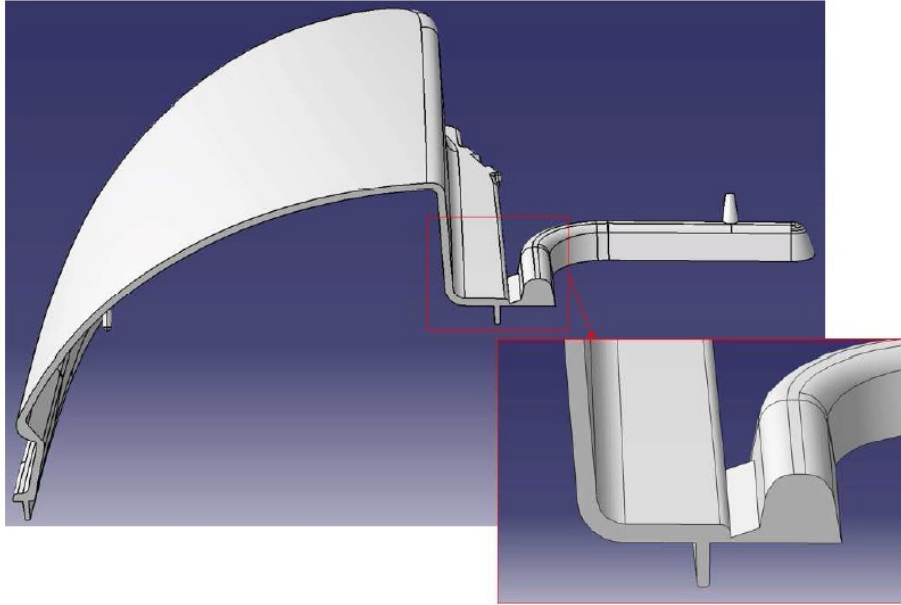
Rozměry přívodních kanálů byly nastaveny na průměr 10 mm a přepážky na průměr 12 mm. Teplota chladicího média byla stanovena na 90 °C.



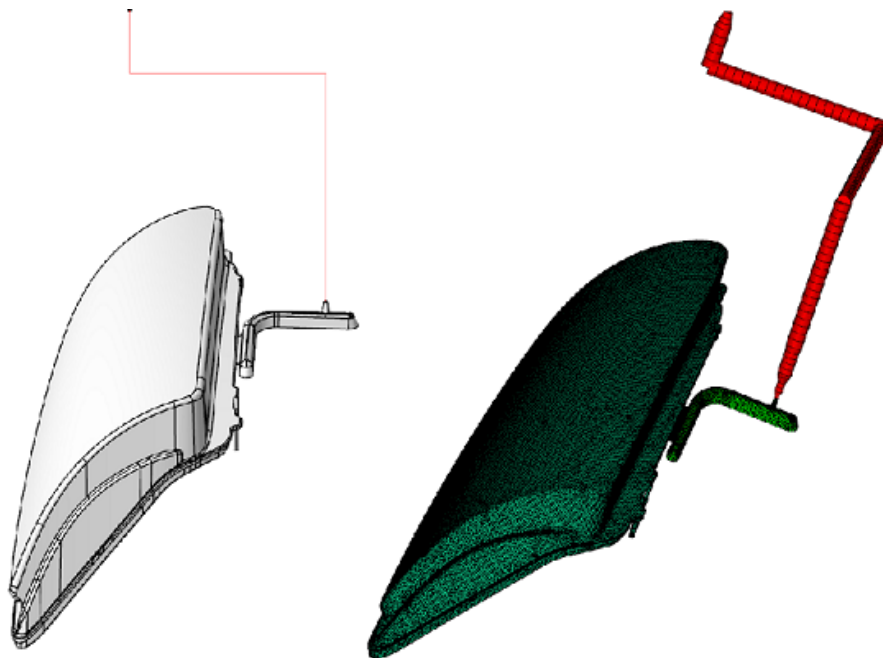
Obr. 32 Náhled temperace v simulačním programu

6.2.2 Vtokový systém

Vtokový systém je tvořen kombinací studeného a horkého kanálu. Sklo se plní štěrbinovým vtokem o délce 60 mm a šířkou ústí 1 mm. Horké kanály mají průměr 16 mm.



Obr. 33 Vtokové ústí dílu s jeho detailem

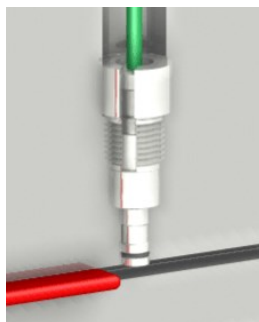


Obr. 34 Náhled vtokového systému v simulačním programu

6.2.3 Umístění snímacích čidel do formy

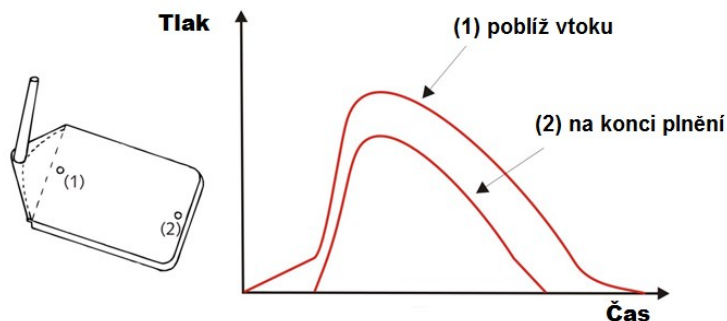
Svým způsobem je vlastně vybrána starší forma, která je uzpůsobena ke zkoumání námi zjišťovaných hodnot. Pro tento případ je nutné využít externí zařízení od firmy Kistler pro snímání tlaků a teploty v dutině formy.

Tedy jako další krok bylo třeba zajistit úpravu formy pro teplotně-tlaková čidla od firmy Kistler. Byly vyvrtány tři otvory pro čidla v pravém otisku formy.. Forma byla také obohacena o Kistler datacentrum, která bude snímané hodnoty zpracovávat a zobrazovat. Díky této technologii jsme schopni pozorovat co se děje v dutině formy a po celou dobu vše monitorovat. V našem případě bylo využito tzv. přímé snímání, které umožňuje vysoce přesné měření s minimální chybou. Jeho pozice uvnitř ve formě je prakticky ideální, protože čelo snímače lze zarovnat s formou.

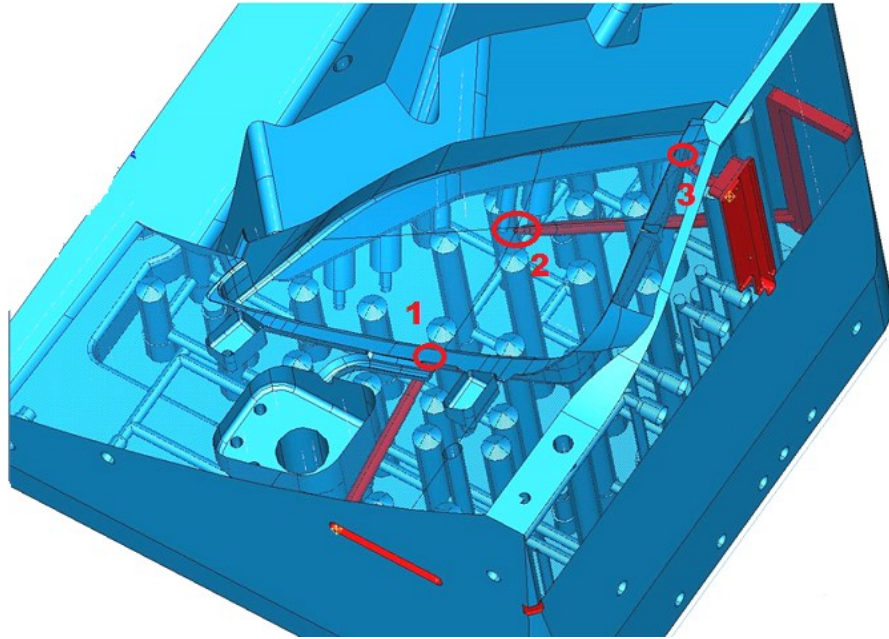


Obr. 35 Náhled snímacího čidla ve formě

Čidla jsou umístěna do formy tak, aby snímala vyhodnocované hodnoty v co možná největším rozsahu. První čidlo je situováno do místa poblíž vtoku, respektive do místa, kde co nejdříve přichází materiál do dutiny formy. Další čidlo je naopak umístěno do místa kde se materiál dostane co nejpozději. Třetímu čidlu pak odpovídá lokace přibližně mezi nimi.



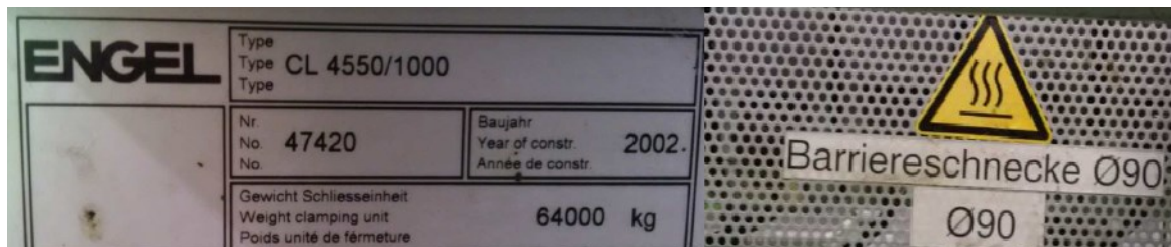
Obr. 36 Závislost tlaku na čase v různých místech výroby



Obr. 37 Lokace čidel ve formě 1- poblíž vtoku, 2 - uprostřed, 3 - konec toku

6.3 Vstřikovací stroj

Forma LRS 71-4030 pro vstřikování dílů outer lens je vhodná pro vstřikovací stroj s velikostí uzavírací síly 1000 tun. Díl je tedy vstřikován na vstřikovacím stroji od firmy ENGEL s označením CL4550/1000 a použitým bariérovým šnekem o průměru 90 mm.



Obr. 38 Použitý vstřikovací stroj

6.4 Nastavení simulace

Hlavním faktorem pro přesný výpočet jsou naměřená data polymerů. Nejnovější naměřená data už obsahují tzv. D3 koeficient (viskozita se mění v závislosti na tlaku), který významně ovlivňuje vstřikovací tlak.

6.4.1 Generování sítě

Neméně významnou roli při výpočtech však hraje i kvalita sítě. V našem případě bude proveden výpočet s typem sítě 3D a počet vrstev skrz tloušťku je 10. Ve vlastnostech

nastavení sítě jsme následně definovali tzv. zahuštění sítě k povrchu dílu s cílem zpřesnit finální výsledky. Při tvorbě sítě byla nejdříve provedena generace 2,5D sítě. Tato síť byla opravena na maximální hodnotu aspect ratio 14,31 s průměrnou velikostí elementu 1,7. Takto opravenou jsme vylepšili na 3D síť.

```

Triangles
-----
Entity counts:
Triangles          91196
Connected nodes    45596
Connectivity regions 1

Invisible triangles      0

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not included)
Surface Area:          2666.31 cm^2

Volume by element types:
Triangle:              353.8 cm^3

Aspect Ratio:
Maximum      Average      Minimum
14.31        1.70         1.16

Edge details:
Free edges          0
Manifold edges     136794
Non-manifold edges 0

Orientation details:
Elements not oriented 0

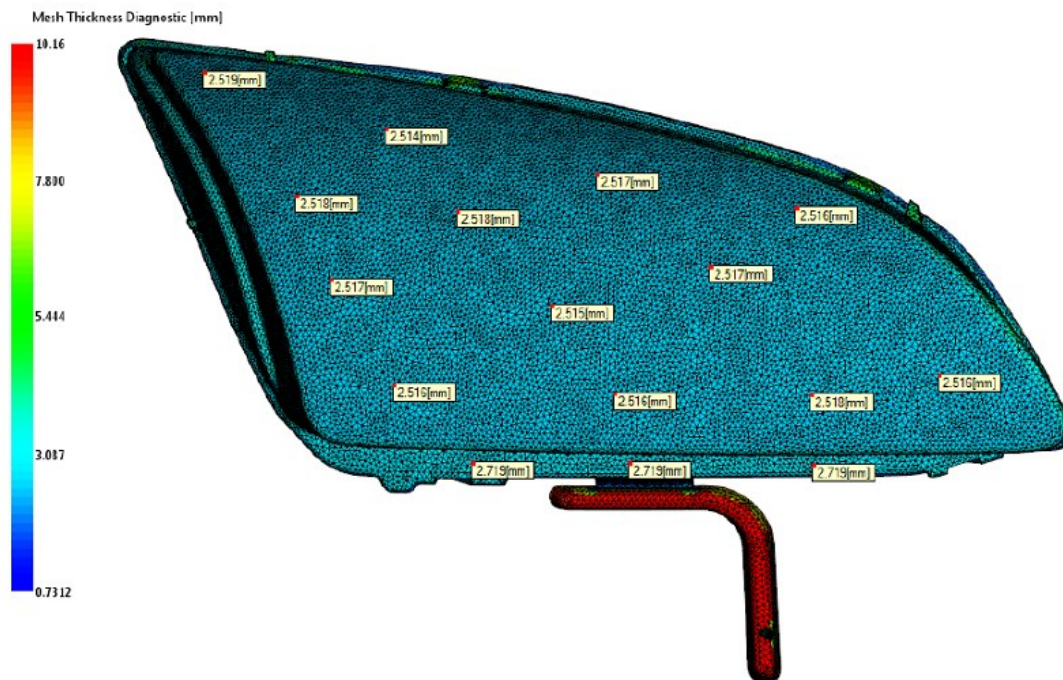
Intersection details:
Element intersections 0
Fully overlapping elements 0

Match percentage:
Match percentage     92.9%
Reciprocal percentage 91.2%

```

Obr. 39 Statistika sítě

Diagnostika tloušťky sítě odhalila nominální tloušťku dílu na 2,5 mm. V místech po obvodu a v oblastí flutů je větší (2,7 až 3 mm).



Obr. 40 Diagnostika tloušťky sítě

6.4.2 Procesní podmínky

Volba parametrů okrajových podmínek byla uskutečněna na základě doporučení defaultně nastavené analýzy pro daný materiál.

%Filling pressure vs time	
Duration s [0:300]	%Filling pressure % [0:200]
1	0
2	10

Obr. 41 Nastavené základní procesní podmínky pro Makrolon AL2647

V tomto okně bylo nastaveno základní procesní okno pro vybraný materiál Makrolon AL2647. Vstřikovací stroj byl nastaven s uzavírací silou 1000 tun a materiál formy 1.2343. Teplota taveniny odpovídá 300 °C, otevření formy 5 s, čas procesu zahrnující vstříknutí, dotlak a chlazení 30 s. Dále byl nastaven vstřikovací čas na 4 s. Přepnutí na dotlak bude provedeno po 99 % naplnění dutiny formy.

Obr. 42 Nastavené základní temperační podmínky

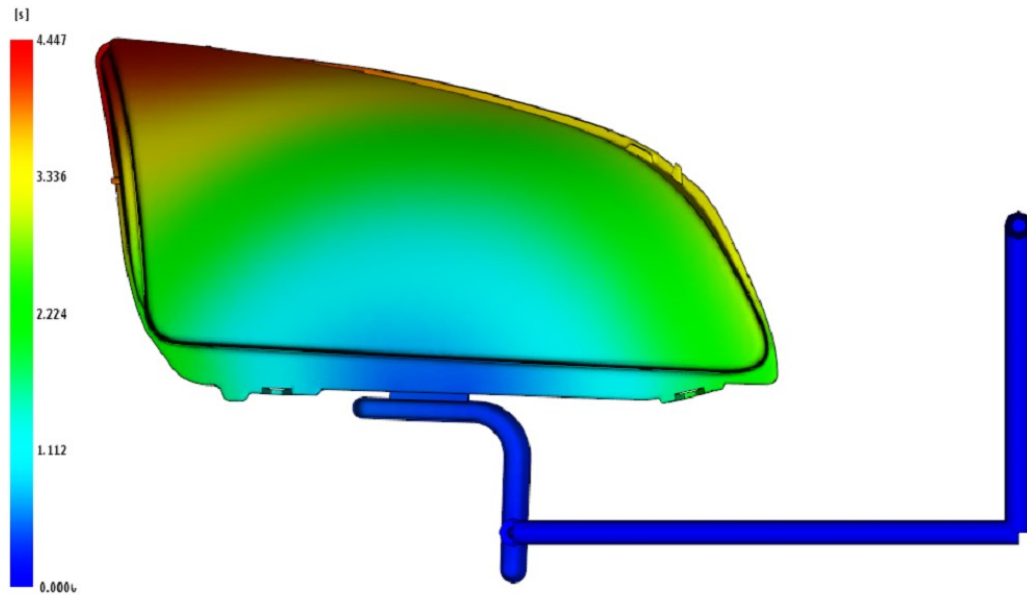
Chladicí okruhy, kterými bude proudit voda, jsou nastaveny na 90 °C. Celý systém temperace bude kontrolován na specifické Reynoldsovo číslo 10 000.

6.5 Výsledky simulace

Analýza byla spuštěna s výpočtem pro chlazení, plnění, dotlak a deformaci. Mezi výsledky jsou zahrnuty zejména ty, které jsou z oblasti tlaku a teploty pro daný díl.

6.5.1 Čas plnění (Fill time)

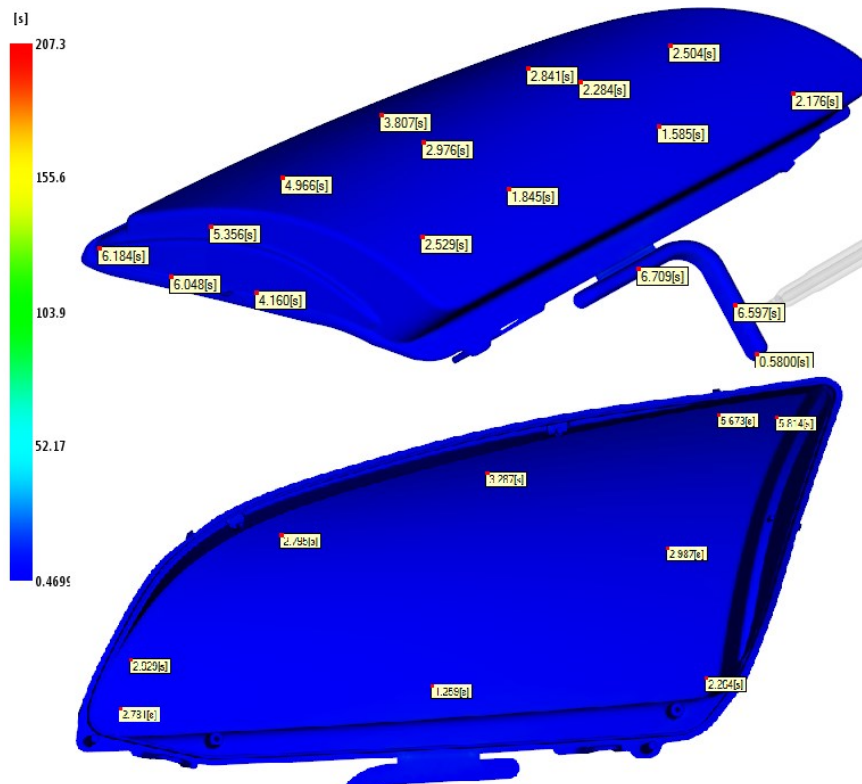
Jedná se o grafické a numerické vyjádření doby, která je potřebná pro zcela zaplněnou dutinu formy. Dle tohoto výsledku lze usoudit, zdali je samotná analýza vůbec správně nastavena. Čas plnění při tomto nastavení se bude pohybovat okolo 4,5 sekund.



Obr. 43 Čas plnění pro základní nastavení dílu

6.5.2 Čas na dosáhnutí vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

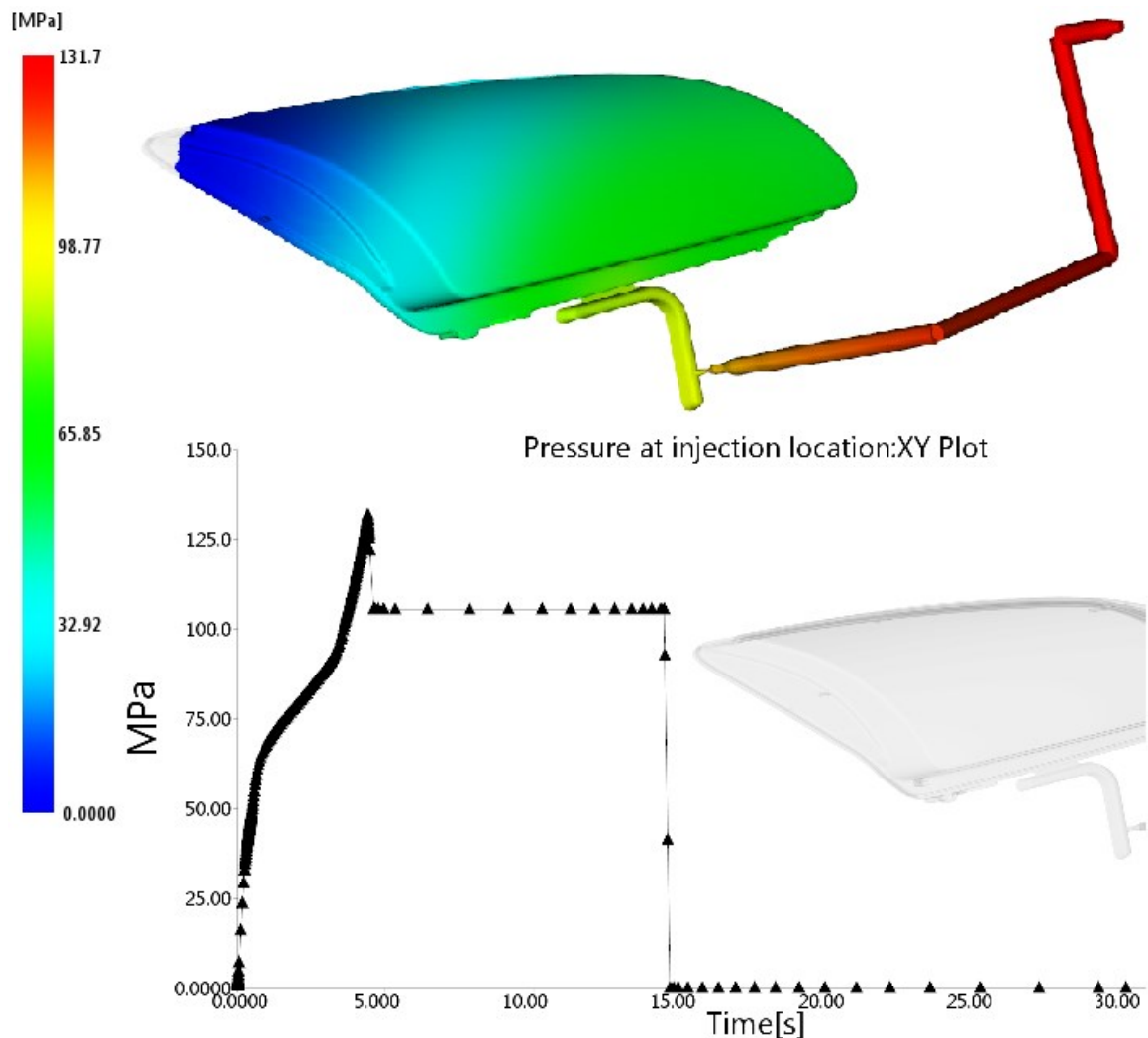
Zjištěné hodnoty nám poukazují na to, že výrobek je možné dle doporučené teploty, zjištěné k danému vstřikovanému materiálu, vyhazovat již po uplynutí doby, která činí přibližně 6 sekund od počátku cyklu.



Obr. 44 Čas potřebný na vyhození výrobku

6.5.3 Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)

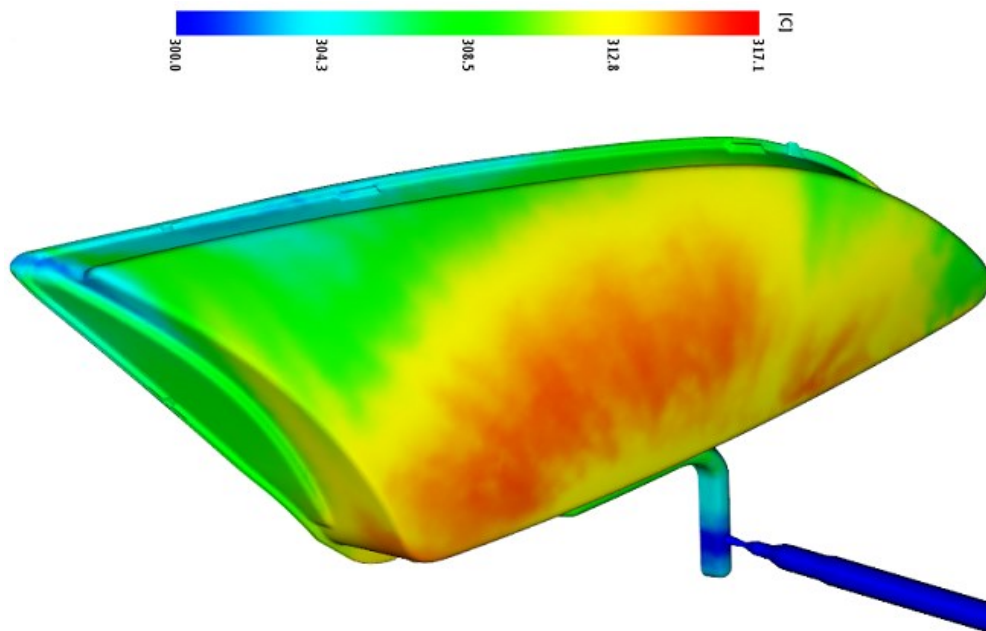
Výsledek obsahuje informace zejména o tlaku na trysce při přepnutí na dotlak. Hodnota tlaku se v tomto případě vyšplhala na 131,7 MPa. Na Obr. 45 lze vidět, že dutina formy není zcela naplněna materiálem před přepnutím na dotlak. Proto jsou velikost a doba dotlaku významné parametry pro zachování rozměrové stability vstřikovaného dílu.



Obr. 45 Tlak taveniny ve vtokovém ústí (tlak na trysce)

6.5.4 Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)

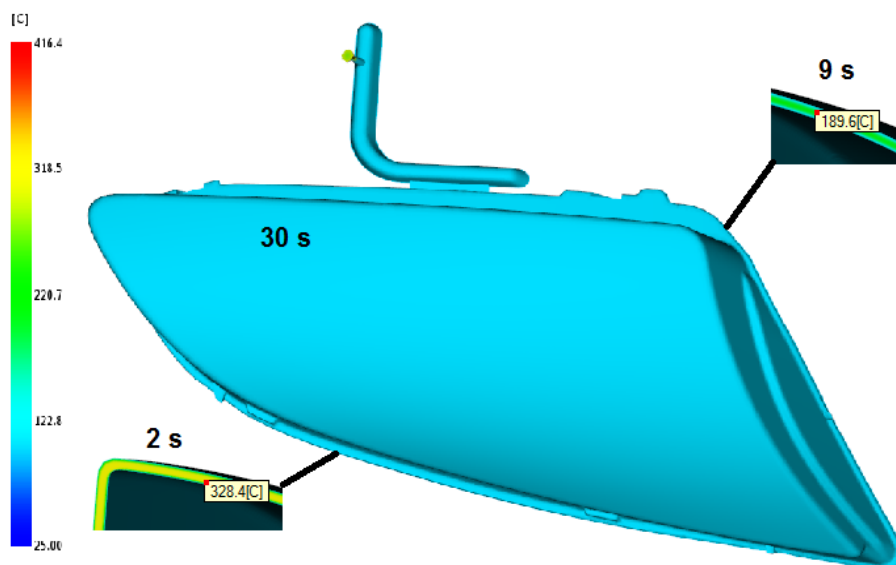
Tento výsledek ukazuje změny v teplotě čela taveniny při plnění dutiny formy. Při korekci teploty se prodlužuje vstřikovací čas, když je teplota taveniny moc vysoká. Naopak při nízké teplotě taveniny se může zvýšit teplota formy či taveniny, nebo zkrátit vstřikovací čas. V našem případě však teplota nepřesáhla 320 °C, takže jsme nepřekročili teplotní maximum uvedené v materiálovém listě a neměly by vznikat problémy.



Obr. 46 Maximální teplota čela taveniny

6.5.5 Teplota (Temperature)

Postupem času sledujeme, jak tuhne materiál v dutině formy. Tavenina ihned po styku s dutinou formy prudce snižuje svoji teplotu. Zobrazený výsledek poukazuje na to, že materiál, který není ihned ve styku formou, tuhne pomaleji. Po 2 sekundách má teplotu okolo 328 °C, zatímco po 9 sekundách už přibližně 190 °C. Hranice 30 s ukončuje dobu chlazení s vyhazovací teplotou dílu okolo 100 °C.



Obr. 47 Teplota dílu ve třech časových pásmech

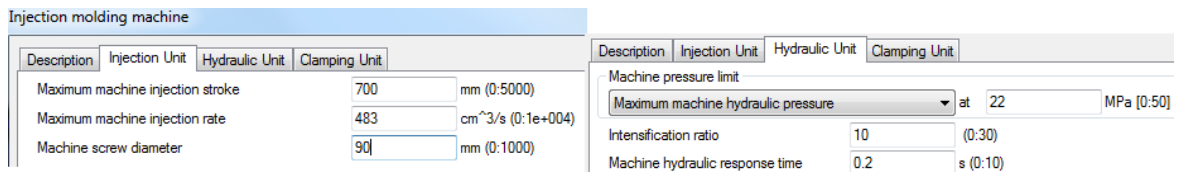
7 OPTIMALIZACE TEPLŮT A TLAKU

Pro optimalizaci dílu byly vybrány tři materiály (polykarbonáty). Dva typu Makrolon od firmy Covestro (dříve známé jako Bayer) a jeden typu Lexan od firmy Sabic. Podmínky pro vstřikování byly nastaveny pro všechny materiály stejně. Optimalizace proběhla prvotně na vstřikovacím stroji a poté byly zjištěné parametry přeneseny do softwaru Moldflow. Všechny výrobky zahrnují všechny požadavky z hlediska kvality dílu a nevykazují žádné problémy v oblasti vstřikování.

7.1 Vstřikovací podmínky

7.1.1 Vstřikovací stroj

Pro vybraný vstřikovací stroj jsme modifikovali podmínky i v softwaru, tak abychom se co nejvíce přiblížili realitě. Velikost uzavírací síly 1000 tun. Průměr šneku nastaven na 90 mm a hydraulický tlak zvýšen na 22 MPa. Vstřikování se zvýšeným specifickým tlakem.



Obr. 48 Vstřikovací stroj v Moldflow

7.1.2 Procesní podmínky

a) Parametry vstřikovací fáze

Vstřikovací fáze se nastavuje dle profilu vstřiku. Je to vlastně dráha šneku [mm] v závislosti na rychlosti posunu šneku [mm/s].



Realita

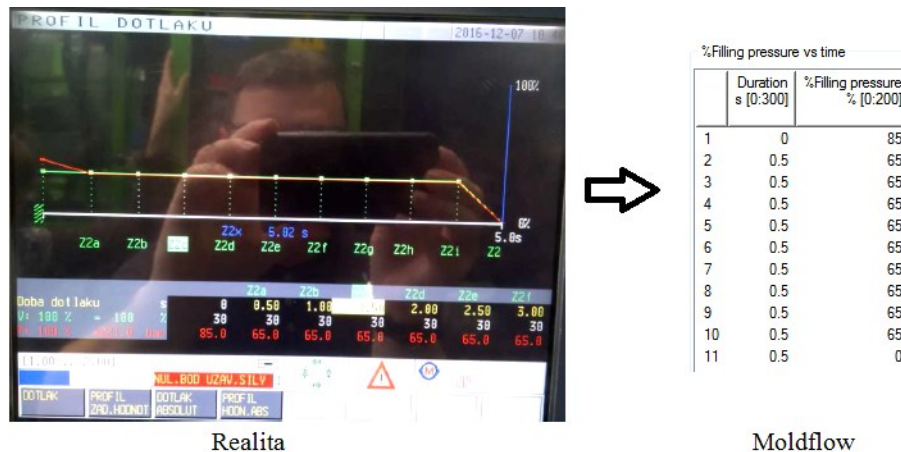
Ram speed vs ram position		
	Ram position mm [0:5000]	Ram speed mm/s [0:5000]
1	165.7	0
2	163	46
3	162	42
4	158	42
5	150	42
6	135	42
7	110	40
8	80	40
9	60	40
10	40	40
11	20	40
12	0	40

Moldflow

Obr. 49 Nastavení vstřikovací fáze

b) Parametry dotlakové fáze

Tato část nabízí možnosti modifikace dotlaku. Nastavujeme vlastně hodnoty tlaku v závislosti na čase. Pro dotlak je třeba též nastavit bod přepnutí. Ten je nastaven pomocí pozice šneku, která je pro tento díl stanovena na 22,5 mm.



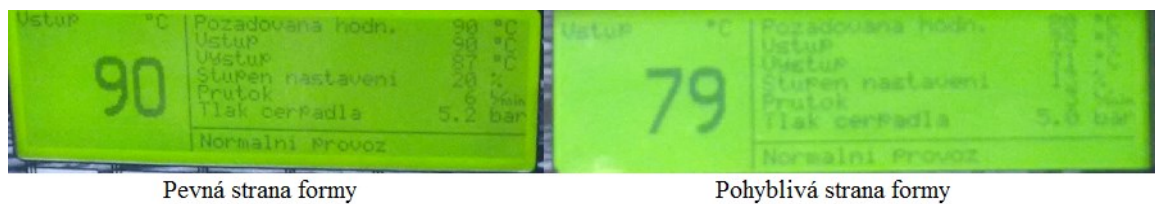
Realita

Moldflow

Obr. 50 Nastavení dotlakové fáze

c) Parametry chladících okruhů

Jelikož nelze přesně zjistit které okruhy a jak jsou spolu propojeny v Staubli konektoru, zvolili jsme hodnoty teplot a průtoků pro pevnou a pohyblivou stranu formy. Teplota pevné strany nastavena na 90 °C s průtokem 6 [l/min] a pohyblivá strana na 80 °C se stejným průtokem jako strana pevná.



Pevná strana formy

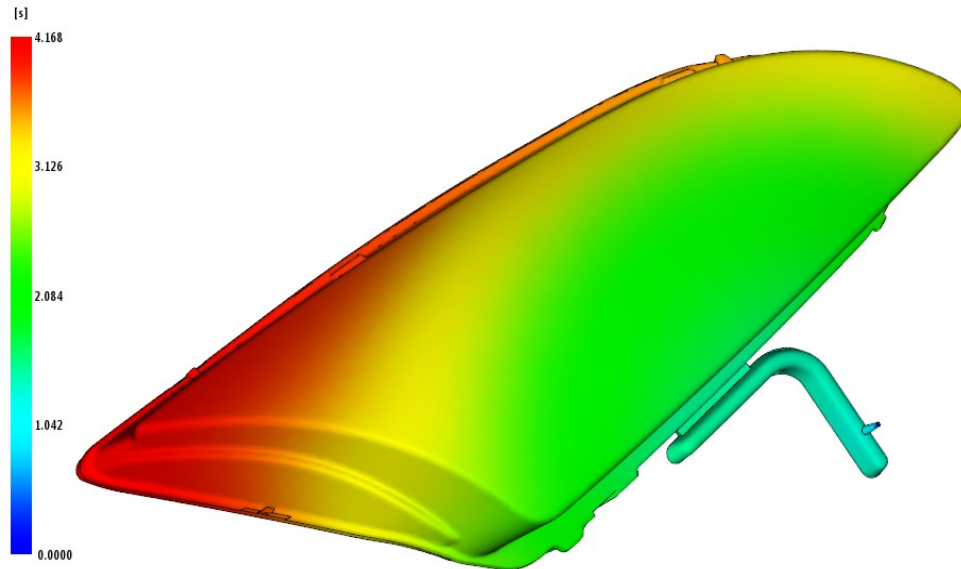
Pohyblivá strana formy

Obr. 51 Nastavení chladících parametrů

7.2 Výsledky pro Makrolon AL2647

7.2.1 Čas plnění (Fill time)

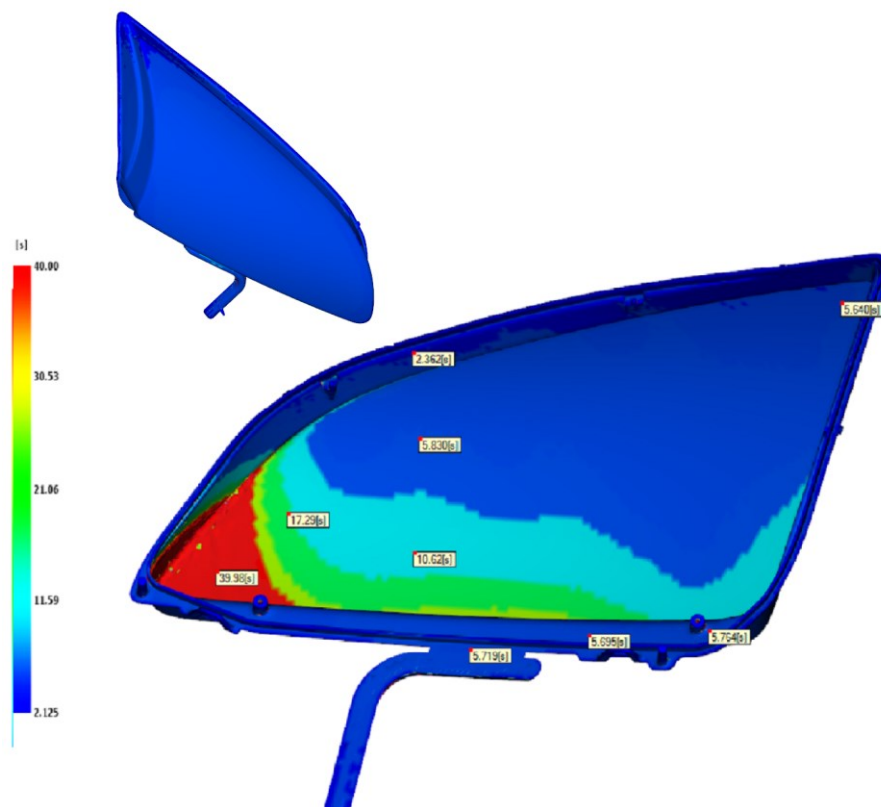
Výsledný čas plnění po optimalizaci u materiálu Makrolon AL2647 vyšel přibližně 4,2 sekundy, což je oproti základnímu návrhu malé časové zlepšení.



Obr. 52 Čas plnění pro Makrolon AL2647

7.2.2 Čas na dosáhnutí vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

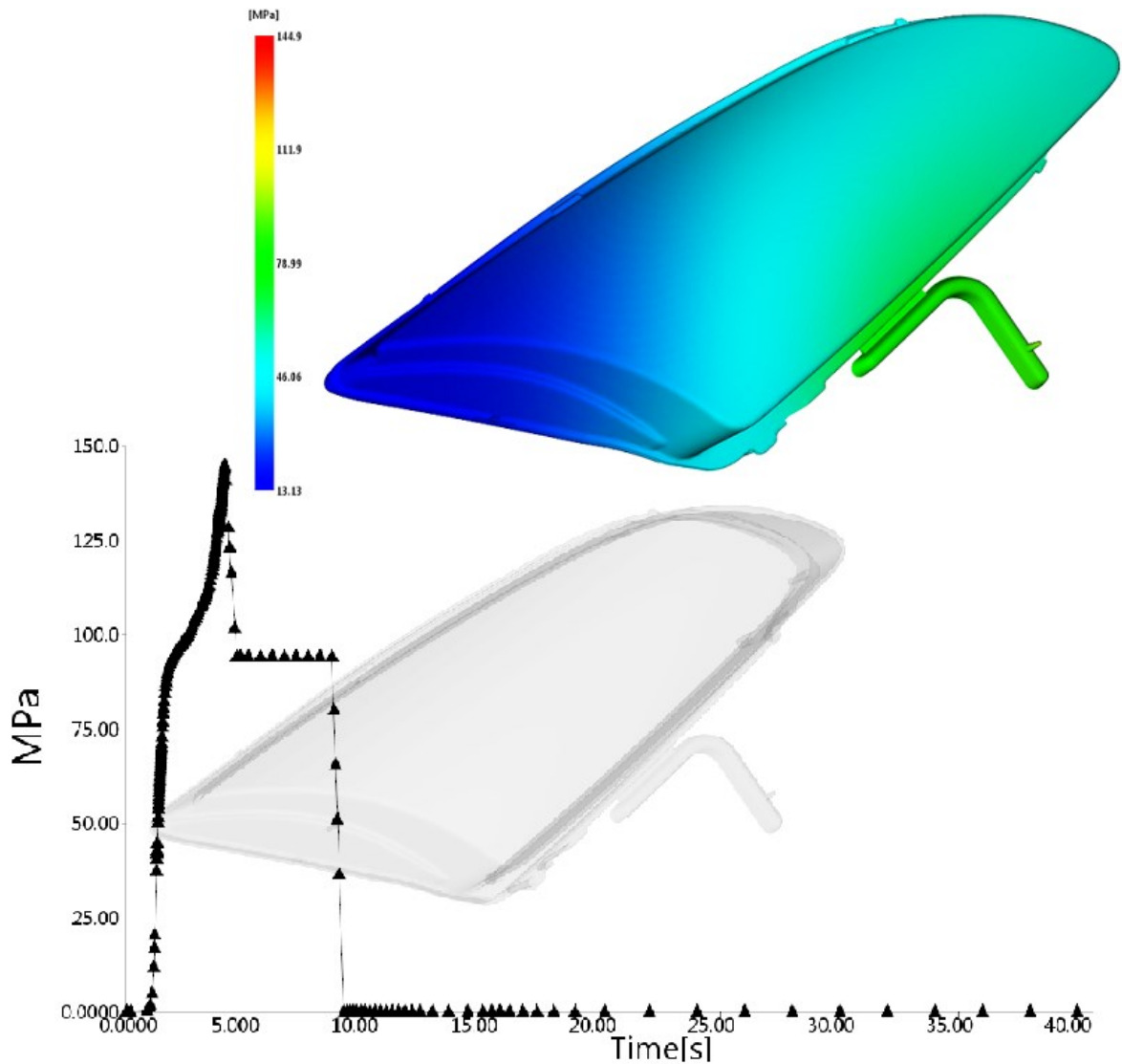
Simulace ukazuje, že výrobek je možné vyhodit po přibližně 40s. Pohledová strana výrobku je však ochlazena už okolo 6 s. Kritické místo v této problematice najdeme ve špičce světlometu, která je vyznačena na Obr. 53 červenou barvou.



Obr. 53 Čas potřebný pro vyhození optimalizovaného Makrolonu AL2647

7.2.3 Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)

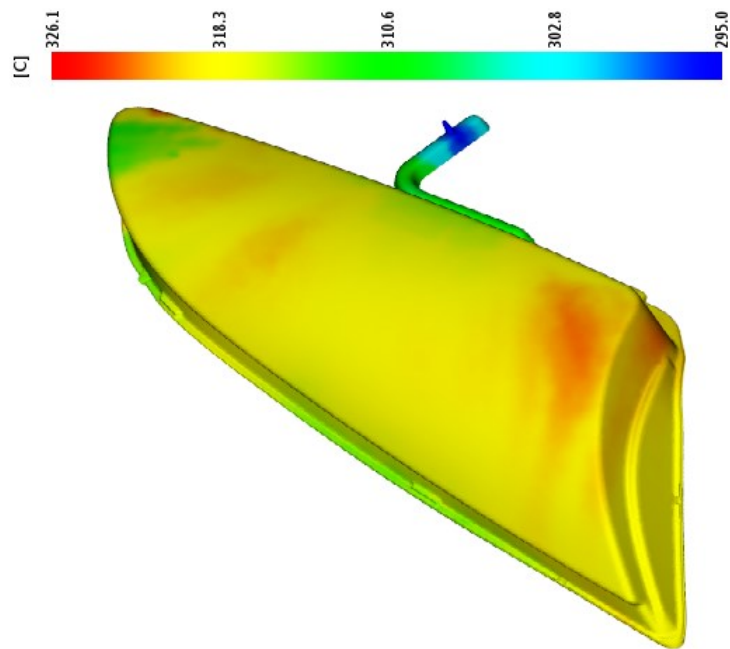
Výsledek obsahuje informace zejména o tlaku na trysce při přepnutí na dotlak. Hodnota tlaku se v tomto případě vyšplhala na 144,9 MPa. Tlak poté klesne k 95 MPa setrvává konstantní až do doby 10 s.



Obr. 54 Tlak taveniny ve vtokovém ústí pro Makrolon AL2647

7.2.4 Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)

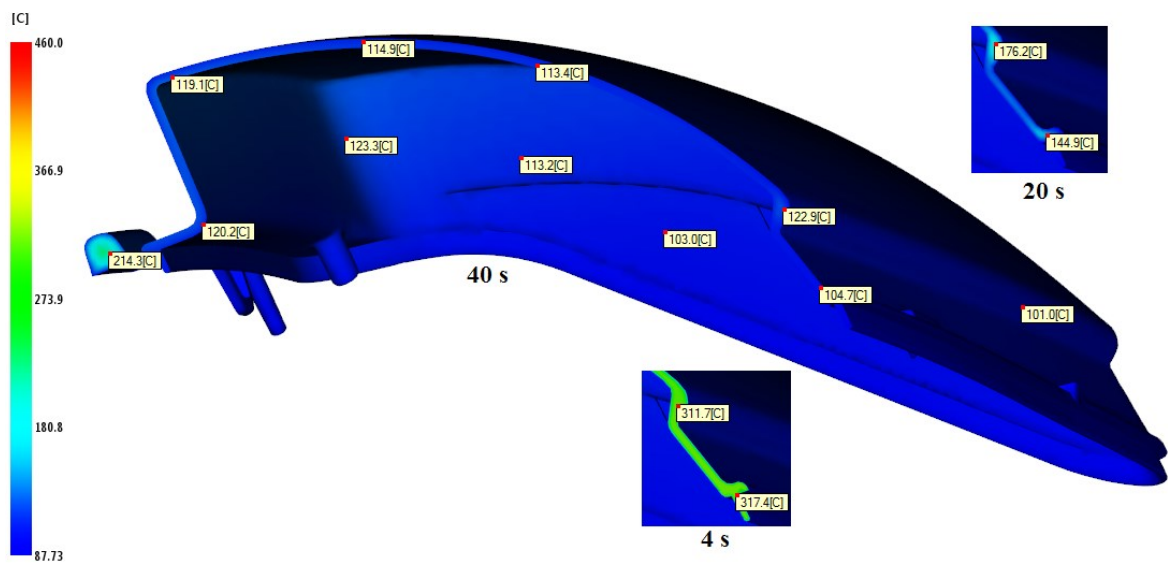
V tomto případě můžeme pozorovat nárůst teploty na 326 °C. Maximální dovolená dle materiálového listu je však 320 °C. Dle programu je takové vstříkávání nevyhovující, protože mohou vznikat vady v materiálu. Pro snížení teploty můžeme například prodloužit čas vstříknutí. V reálně vstříknutém dílu však k žádným problémům nedošlo. Na Obr. 55 lze spatřit, že tato teplota je pouze na malém povrchu dílu.



Obr. 55 Maximální teplota čela taveniny pro Makrolon AL2647

7.2.5 Teplota (Temperature)

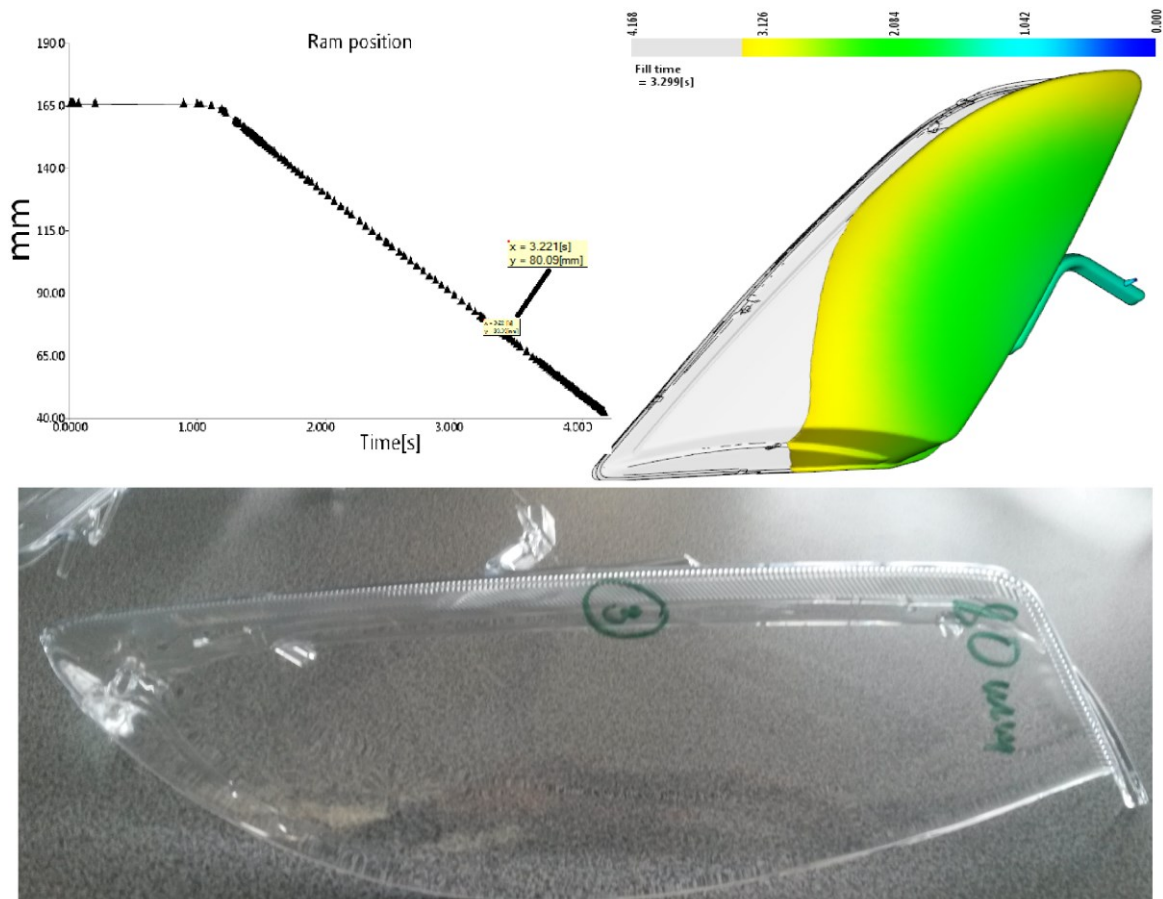
Simulace poukazuje na rychlost chlazení polymeru v dutině formy. Je to svým způsobem záznam velikosti teploty v závislosti na čase. Ve vybraných časových úsecích (4 s, 20 s, 40 s) sledujeme postupné ochlazování materiálu (317 °C, 176 °C, 122 °C). Po uplynutí doby 40 s je výrobek vyhozen z formy.



Obr. 56 Teplota dílu ve třech časových pásmech pro Makrolon AL2647

7.2.6 Pozice šneku (Ram position)

Účelem tohoto výsledku je zjistit, zda simulace v softwaru přibližně odpovídá realitě. Pozice šneku byla zastavena na hranici 80 mm. V této pozici je čas plnění okolo 3,2 s a dutina formy je v reálu naplněna skoro stejně jak ukazuje simulace.

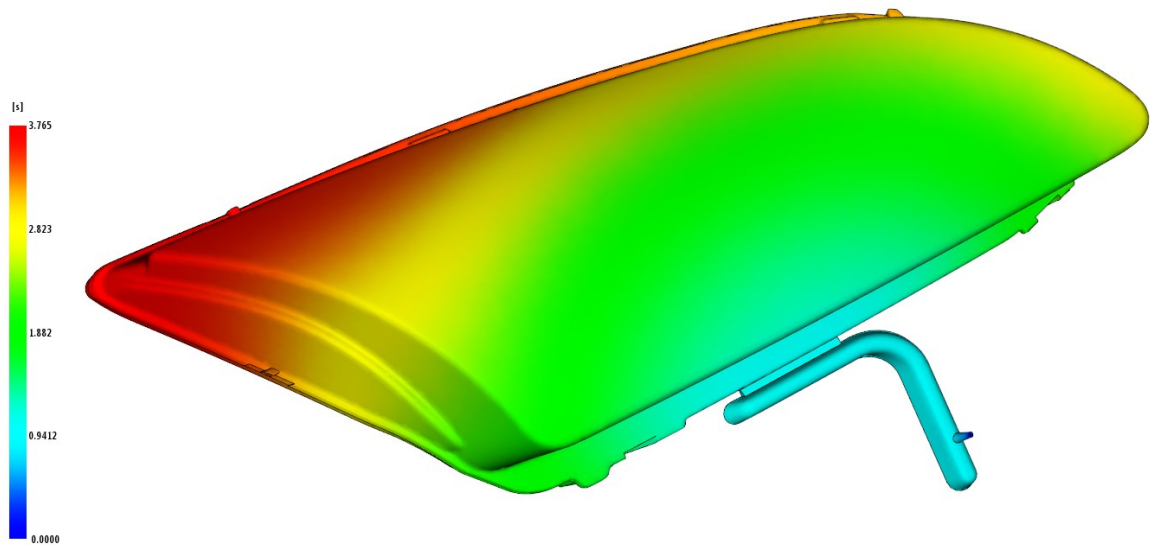


Obr. 57 Pozice šneku v závislosti na plnění formy pro Makrolon AL2647

7.3 Výsledky pro Makrolon LED2245

7.3.1 Čas plnění (Fill time)

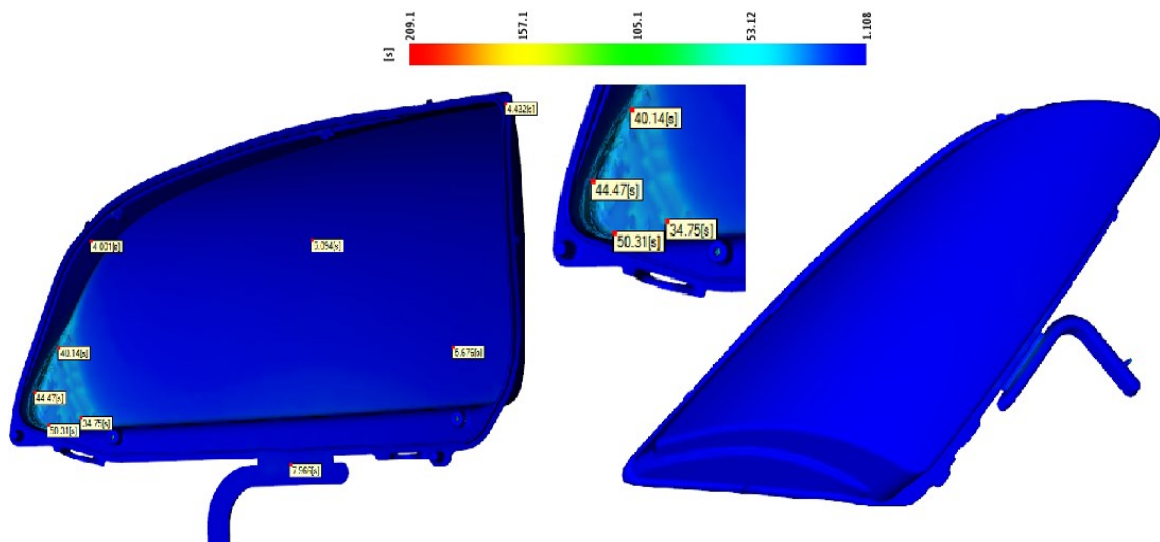
Rychlost zaplnění formy rozlišuje barevná stupnice. Modrá barva charakterizuje místa, kde bude tavenina nejdříve, naopak červená barva vysvětluje místa, kam materiál dotече nejpozději. Pro Makrolon LED2245, který má lepší tekutost než Makrolon AL2647 dosáhl čas plnění přibližně 3,7 s. Proces vstříku je tedy oproti původnímu návrhu skoro o 1 s kratší.



Obr. 58 Čas plnění pro Makrolon LED2245

7.3.2 Čas na dosáhnutí vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

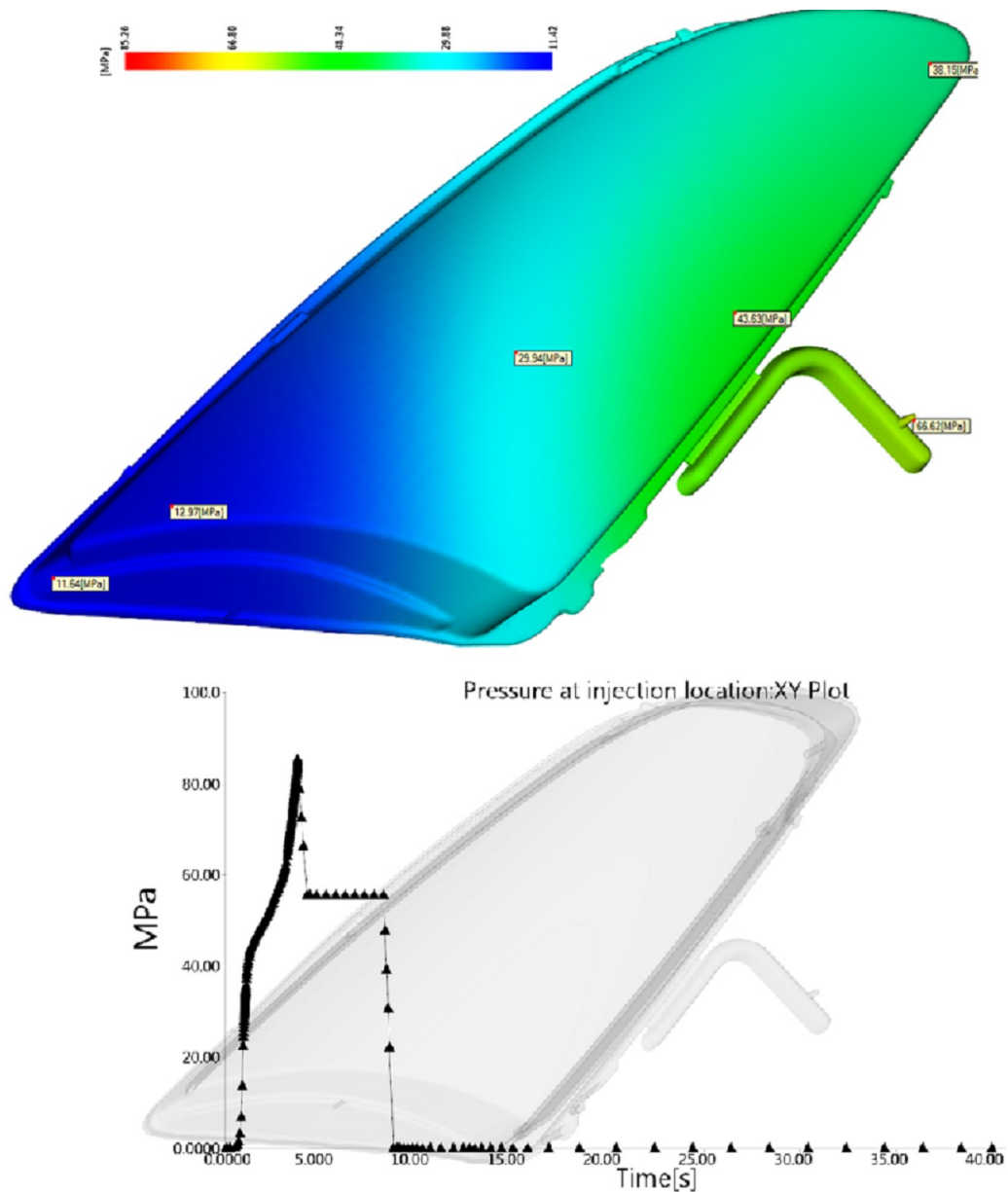
Problémové místo při času pro dosáhnutí vyhazovací teploty můžeme hledat opět ve špičce světlometu. Hodnoty času se vyšplhaly k 50 s. Čas procesu byl však nastaven na 40 s a po vyhození výrobku nebyl shledán jediný problém v této problematice.



Obr. 59 Čas potřebný pro vyhození optimalizovaného Makrolonu LED2245

7.3.3 Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)

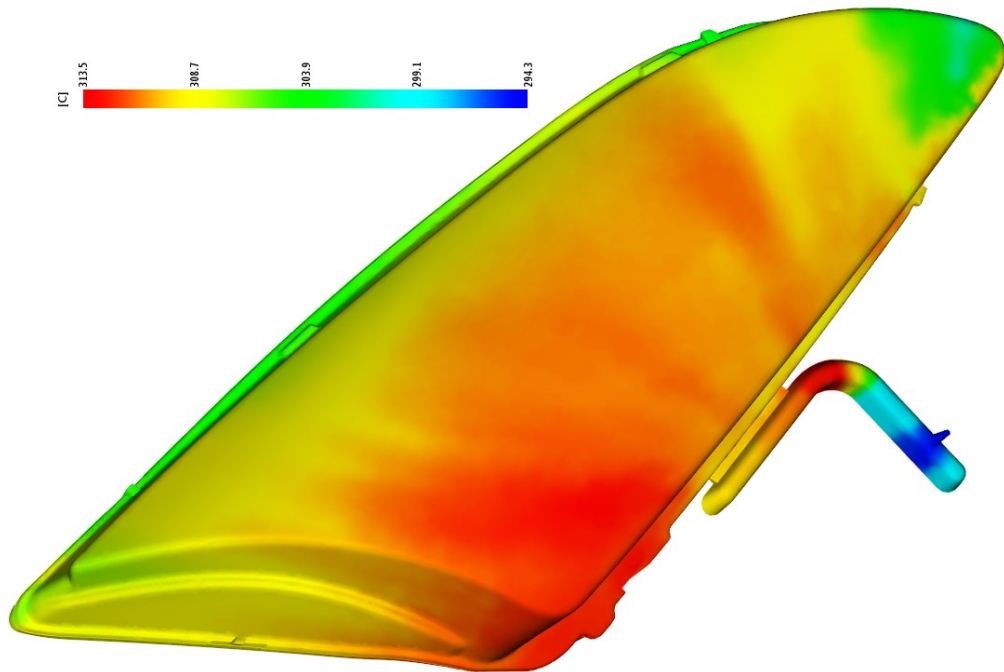
Tlak na trysce u materiálu Makrolon LED2245 je asi 85 MPa. Pro tento materiál tedy maximální tlak na trysce klesl o cca. 45 MPa oproti původnímu návrhu. Dotlak se poté drží okolo 55 MPa, tak aby byla zajištěna rozměrová stabilita výrobku.



Obr. 60 Tlak taveniny ve vtokovém ústí pro Makrolon LED2245

7.3.4 Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)

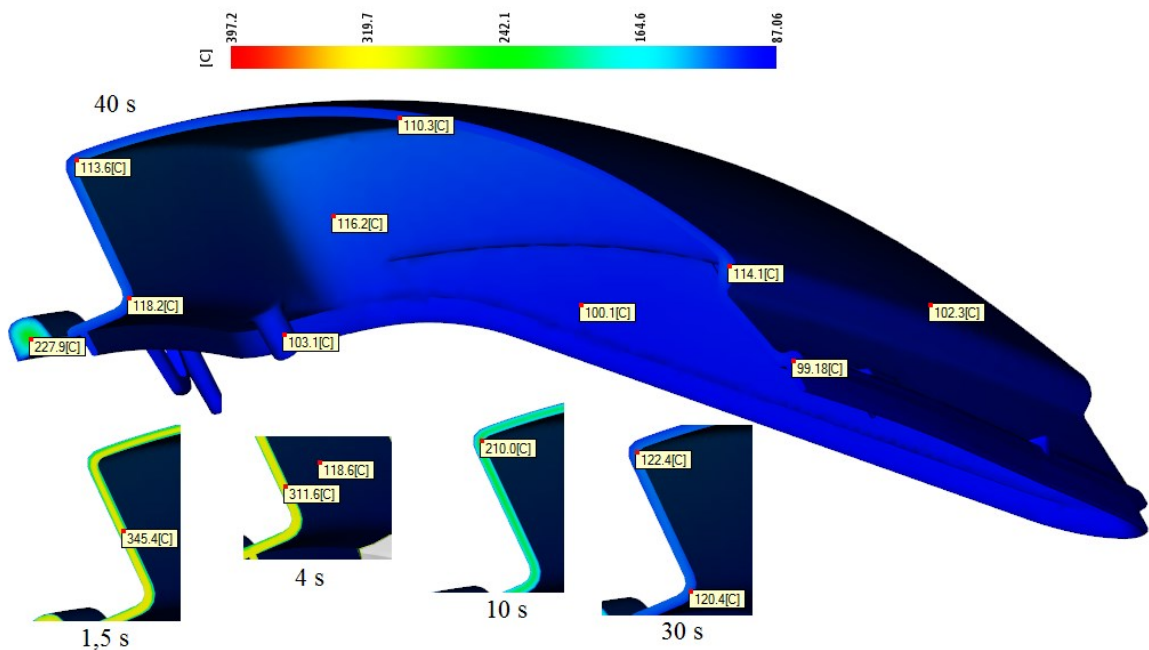
Maximální teplota taveniny pro Makrolon LED2245 je dle materiálového listu stanovena na 330 °C. Výsledky z oblasti simulace teploty čela taveniny tuto hranici nepřekročila. Maximální teplota dílu v tomto případě je 314 °C, takže teplotní stabilita je zajištěna a neměly by vznikat žádné anomálie.



Obr. 61 Maximální teplota čela taveniny pro Makrolon LED2245

7.3.5 Teplota (Temperature)

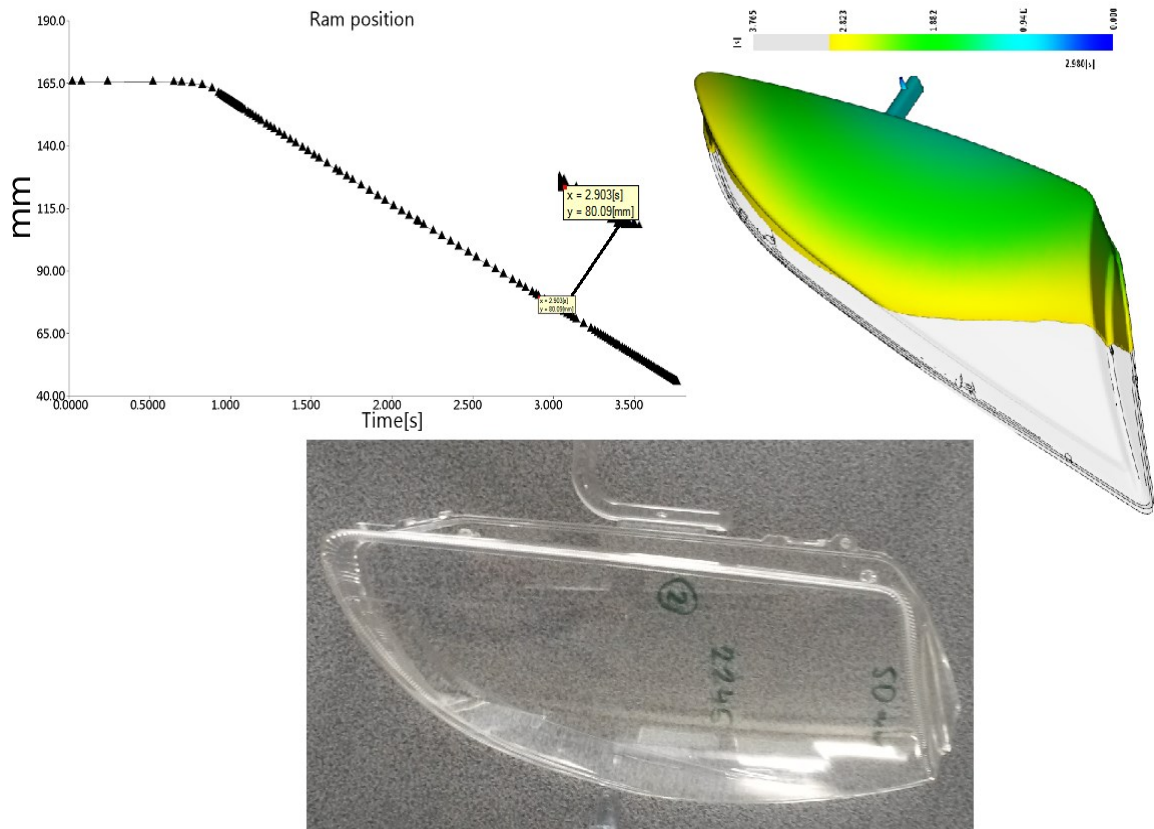
Postup ochlazování taveniny byl zaznamenán v tomto případě ve čtyřech časových pásmech (1,5 s, 4 s, 10 s, 30 s). Teplotní pole se pak pohybuje od 345 °C přes 210 °C až po 122 °C. Vyhazovací teplota je v materiálovém listu definována 130 °C. Po 40 s procesu není tato hodnota překročena.



Obr. 62 Teplota dílu v časových pásmech pro Makrolon LED2245

7.3.6 Pozice šneku (Ram position)

Pozice šneku byla zastavena na hranici 80 mm. V této pozici je čas plnění okolo 2,9 s. Zde je zřejmé, že Makrolon LED2245 má lepší tokové vlastnosti a dokáže zaplnit dutinu formy lépe. Reálně vystříknutý výrobek vizuálně téměř odpovídá predikci vytvořené v softwaru.

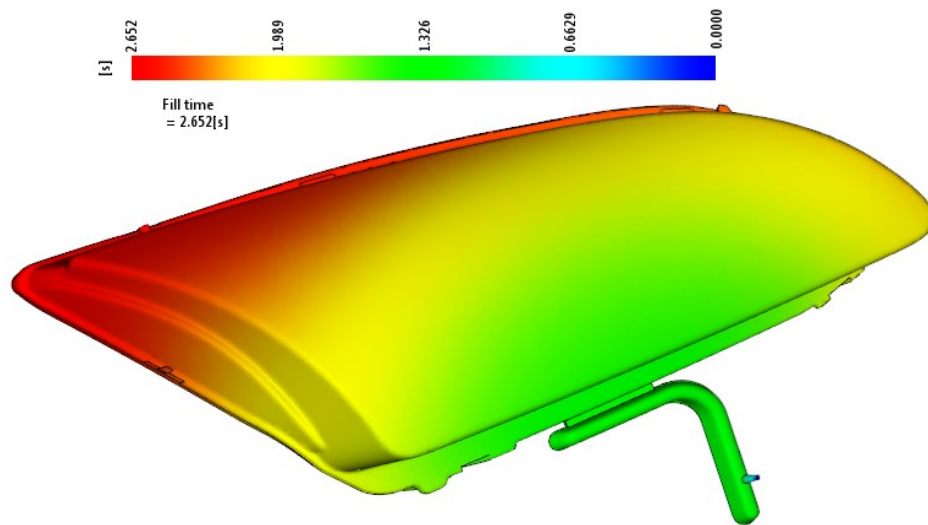


Obr. 63 Pozice šneku v závislosti na plnění formy pro Makrolon AL2647

7.4 Výsledky pro LEXAN EXL1112

7.4.1 Čas plnění (Fill time)

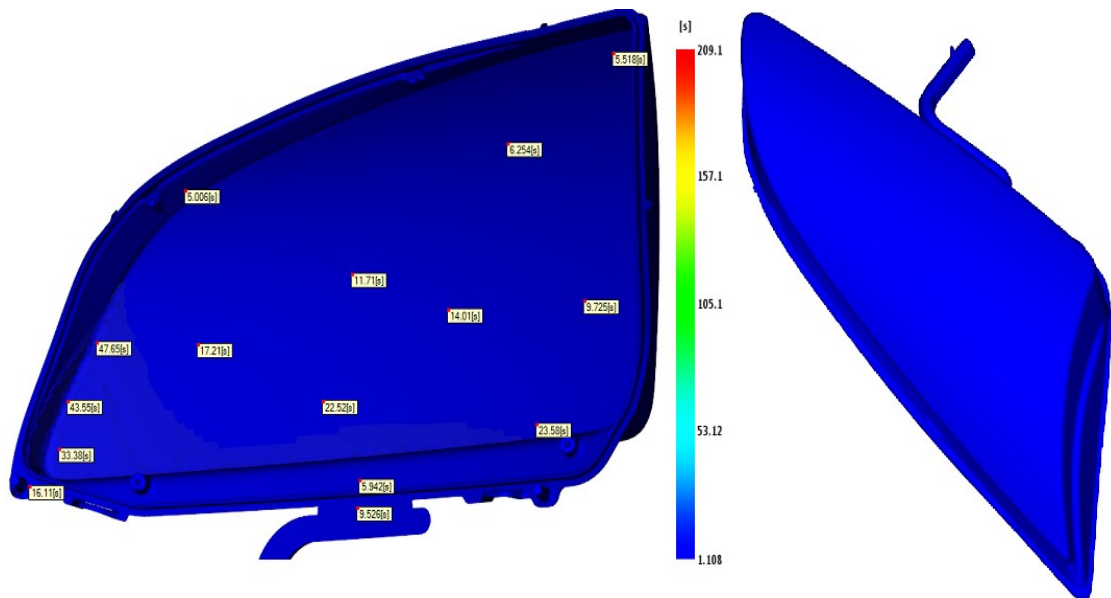
Pro LEXAN EXL1112 je patrná nízká doba vstřiku (2,6 s). V následujícím diagramu (Obr. 64) jsou zobrazeny vrstevnice barev, které reprezentují tok plastu do dutiny formy. Ze všech vybraných materiálů má nekratší dobu vstřiku a oproti původnímu návrhu je doba vstřiku zkráceno a přibližně 2 s.



Obr. 64 Čas plnění pro LEXAN EXL1112

7.4.2 Čas na dosáhnutí vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

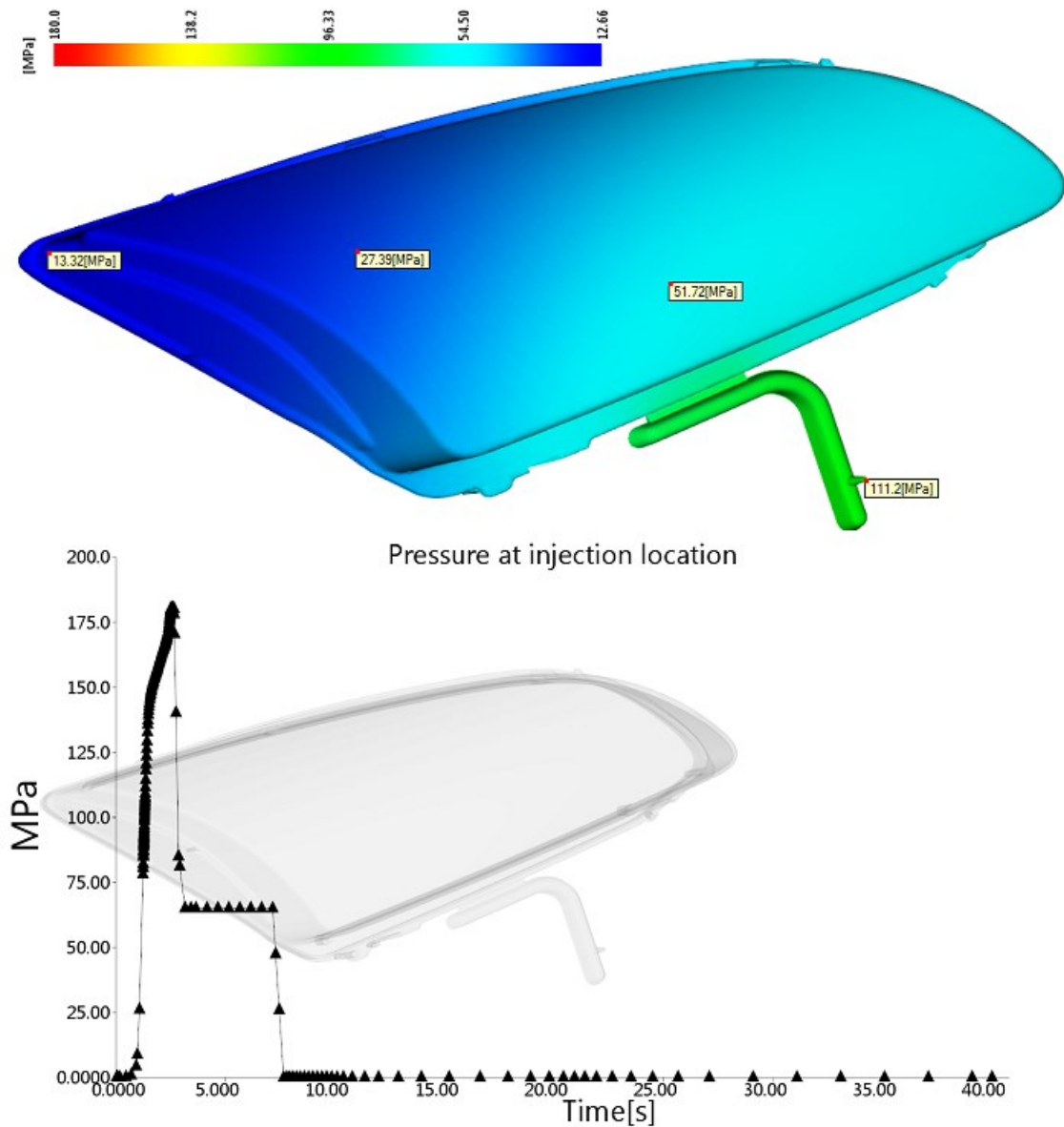
Čas potřebný pro vyhození výrobku z formy se pohybuje průměrně okolo 15 s. Ve špičce světloometu, které můžeme označit jako rizikové, se čas dostal k hodnotě 47 s. Vstřikovací proces je nastaven tak, aby vyhodil výrobek po 40 s.



Obr. 65 Čas potřebný pro vyhození optimalizovaného Makrolonu LED2245

7.4.3 Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)

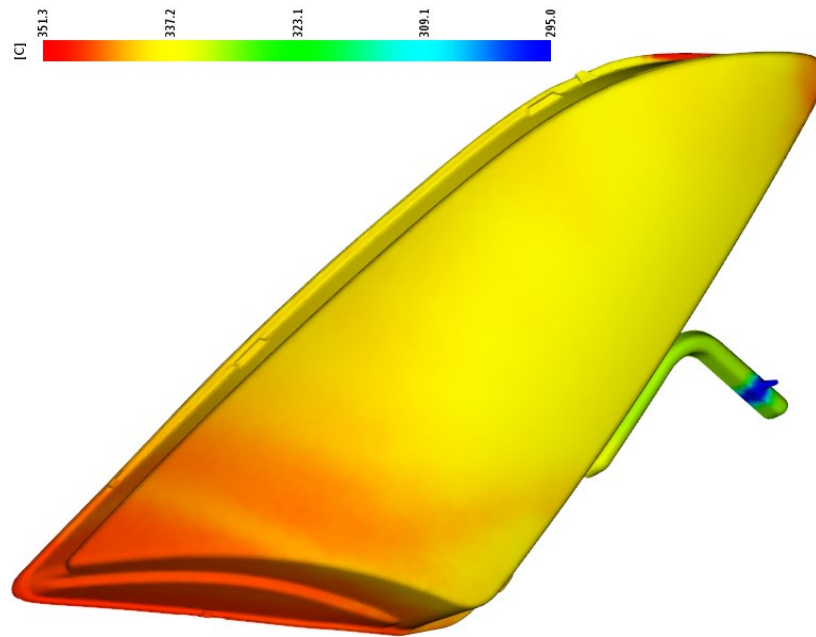
Tlak na trysce v případě LEXAN EXL1112 vyšel 180 MPa, což je nejvíce ze všech tří typů PC. Dotlaková fáze je poté držena okolo tlaku 70 MPa po dobu asi 5 s.



Obr. 66 Tlak taveniny ve vtokovém ústí pro LEXAN EXL1112

7.4.4 Teplota čela taveniny (Temperature at flow front)

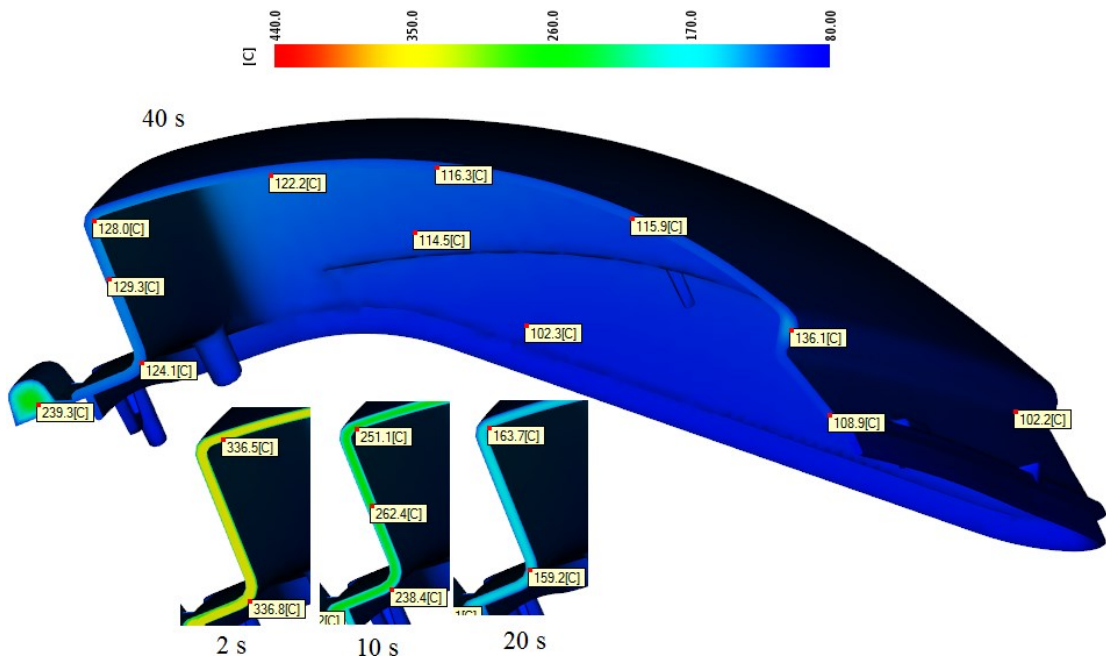
Maximální hodnota teploty taveniny stanovená materiálovým listem pro LEXAN EXL1112 je 340 °C. V softwaru jsme překročili tuto hodnotu o 10 °C, avšak v reálně vystríknutém výrobku nedochází k žádné problematice z tohoto hlediska.



Obr. 67 Maximální teplota čela taveniny pro LEXAN EXL1112

7.4.5 Teplota (Temperature)

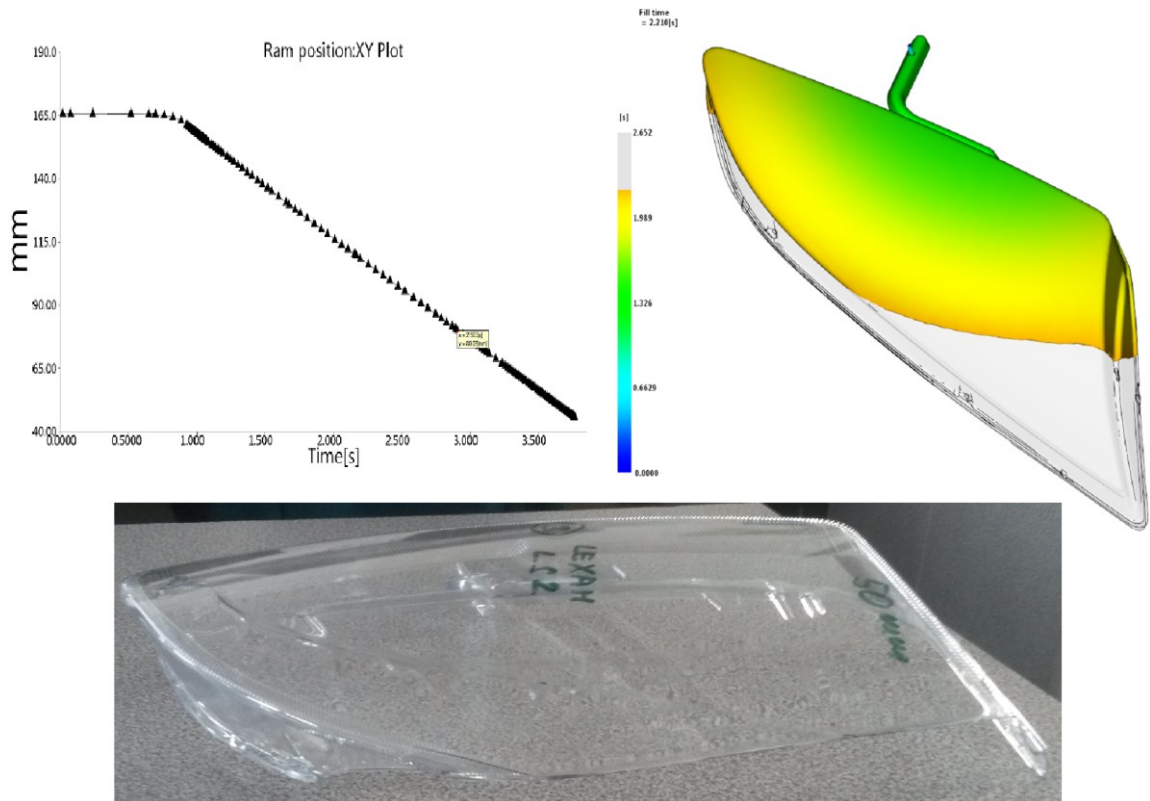
Výsledek popisuje průběh ochlazování taveniny v čase 2 s, 10 s a 20 s. Teplota taveniny postupně klesá až do času 40 s, kde spadne pod teplotu 130 °C ve všech částech výlisku. Takový výlisek je pak připraven na vyhození z formy.



Obr. 68 Teplota dílu v časových pásmech pro Makrolon LED2245

7.4.6 Pozice šneku (Ram position)

Taky pro LEXAN EXL1112 byla zastavena pozice šneku v 80 mm. Tomu odpovídá plnicí čas přibližně 2,2 s. Tok polymeru vypočtený softwarem je v porovnání s realitou trochu opožděný, ale rozdíl není nijak markantní.



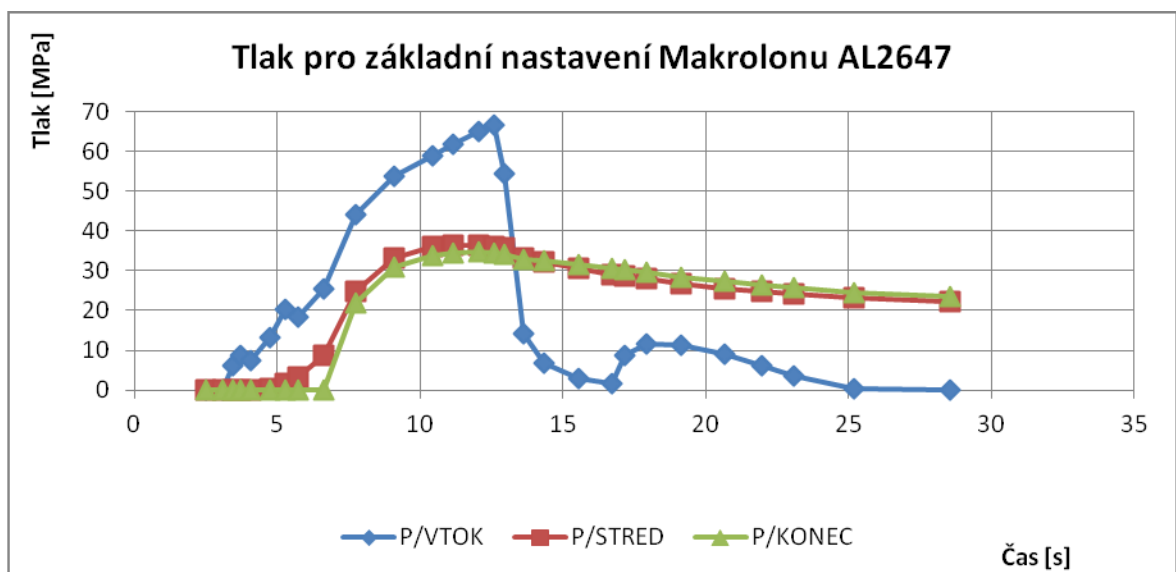
Obr. 69 Pozice šneku v závislosti na plnění formy pro LEXAN EXL1112

8 POROVNÁNÍ TEPLOT A TLAKU STANOVENÉ SOFTWAREM S HODNOTAMI NAMĚŘENÝMI ČIDLY V DUTINĚ FORMY

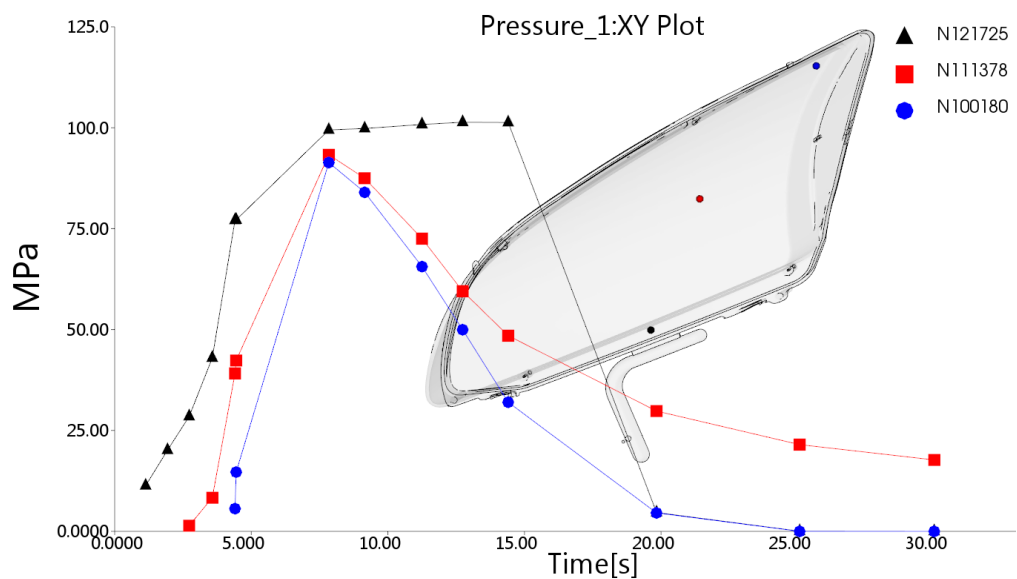
Pro naměření dat teplot a tlaku v dutině formy byla použita čidla od firmy Kistler a pro jejich vyhodnocení pak použito datacentrum od téže firmy. Vyhodnocené grafy pak řeší teplotu a tlaku v dutině formy v závislosti na čase.

8.1 Hodnoty pro primární návrh Makrolonu AL2647

8.1.1 Tlak



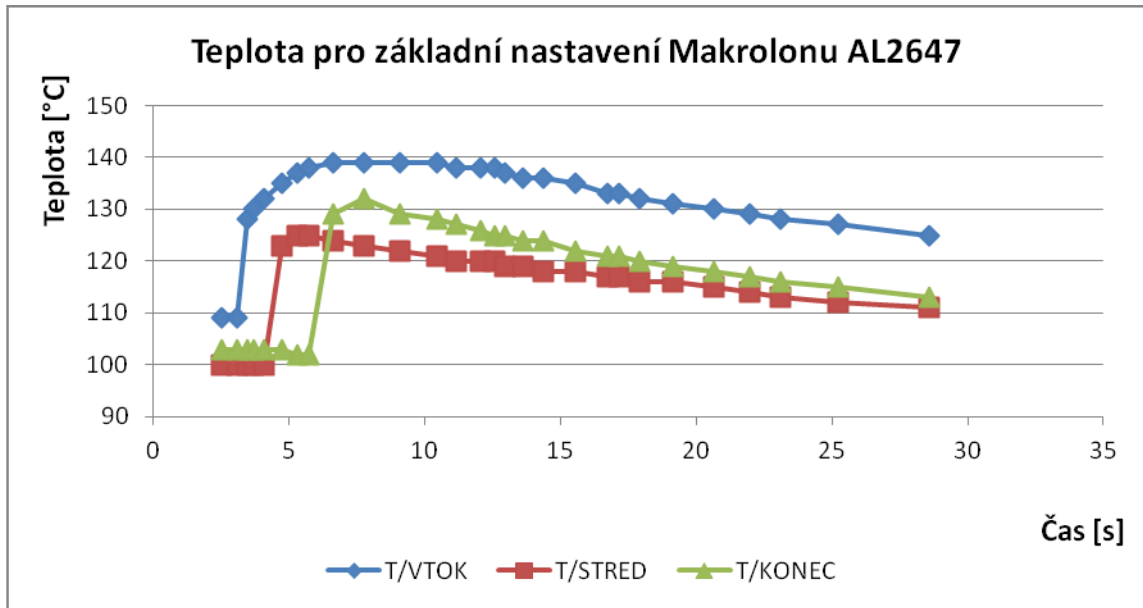
Obr. 70 Hodnoty tlaku naměřenými čidly u primárního návrhu Makrolonu AL2647



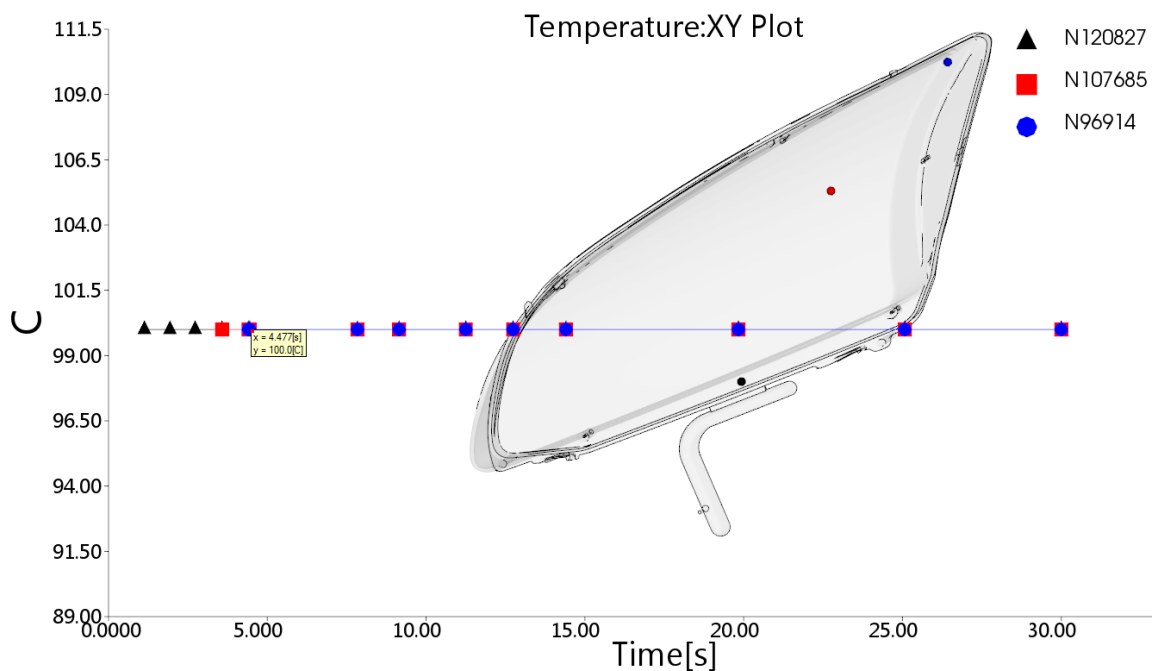
Obr. 71 Hodnoty tlaku naměřené softwarem u primárního návrhu Makrolonu AL2647

Pro základní návrh byl změřen čidly maximální tlak u vtoku o velikosti 66,5 MPa. Software predikoval tento tlak na hodnotu okolo 100 MPa. Čidlo, které zaznamenávalo tlak na konci plnění, ukazuje hodnotu 34,5 MPa. Naopak softwarem vytvořené čidlo předpovídá tlak na konci plnění o něco málo nižší než 100 MPa. Rozdíl tlaku u vtoku činí 33,5 MPa a na konci plnění přibližně 60 MPa.

8.1.2 Teplota



Obr. 72 Hodnoty teplot naměřenými čidly u primárního návrhu Makrolonu AL2647

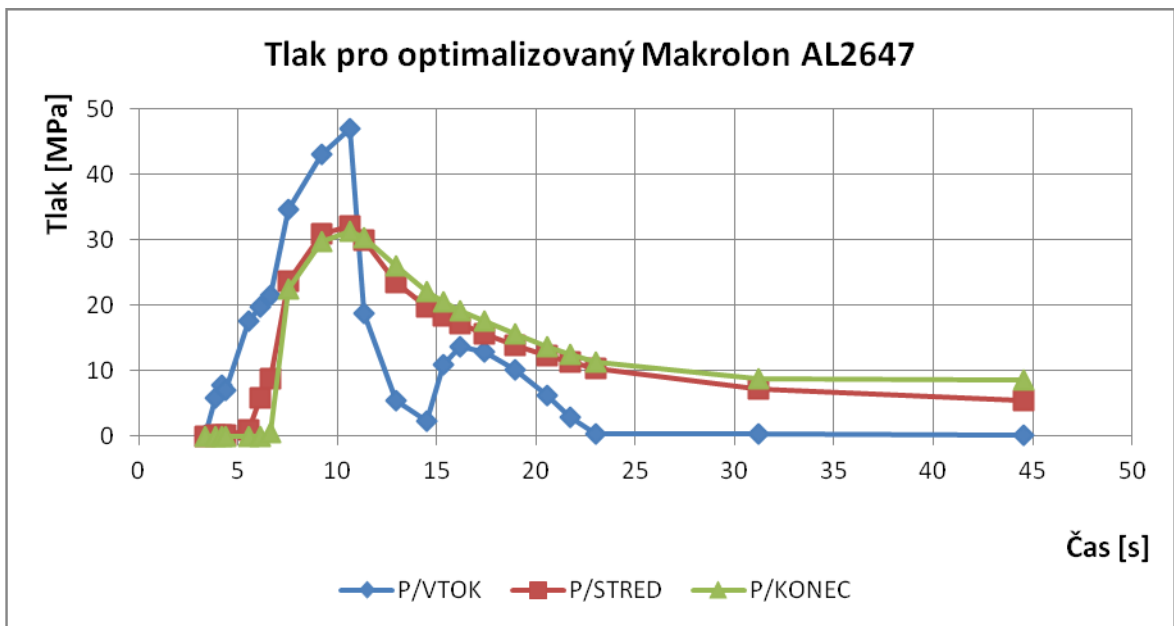


Obr. 73 Hodnoty teplot naměřené softwarem u primárního návrhu Makrolonu AL2647

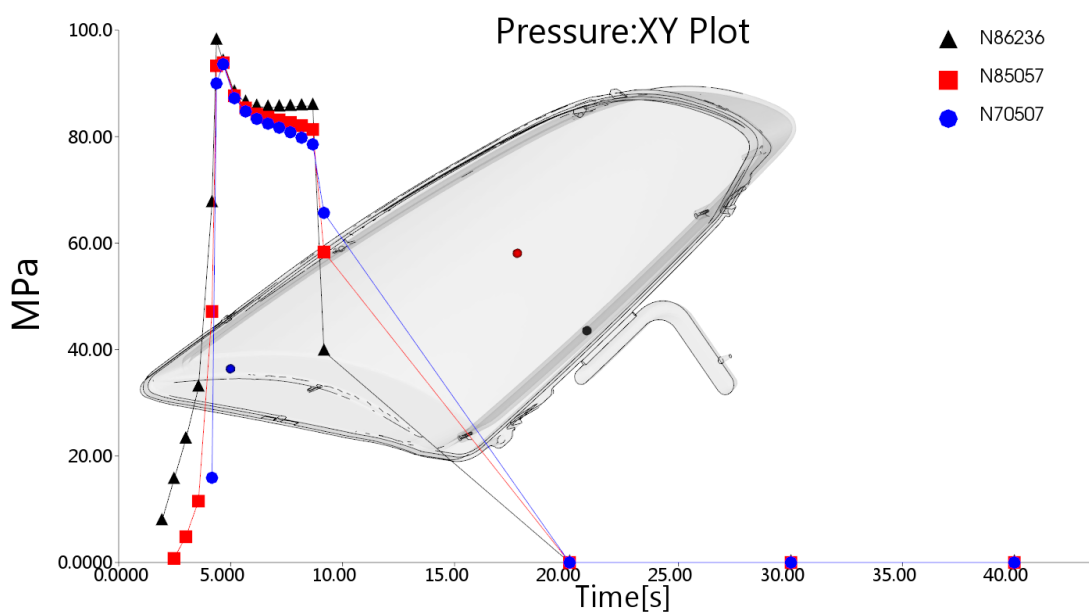
Zkoumání z hlediska teploty u primárního návrhu Makrolonu vykazuje *Obr. 72* a *Obr. 73*. Tyto grafy popisují teplotu taveniny v dutině formy v závislosti na čase. Snímací čidla vyhodnotila s různými průběhy teplotu u vtoku na 140 °C a na konci plnění lehce přes 130 °C, zatímco software drží konstantní teplotu 100 °C po celou dobu plnění.

8.2 Hodnoty pro optimalizovaný Makrolon AL2647

8.2.1 Tlak



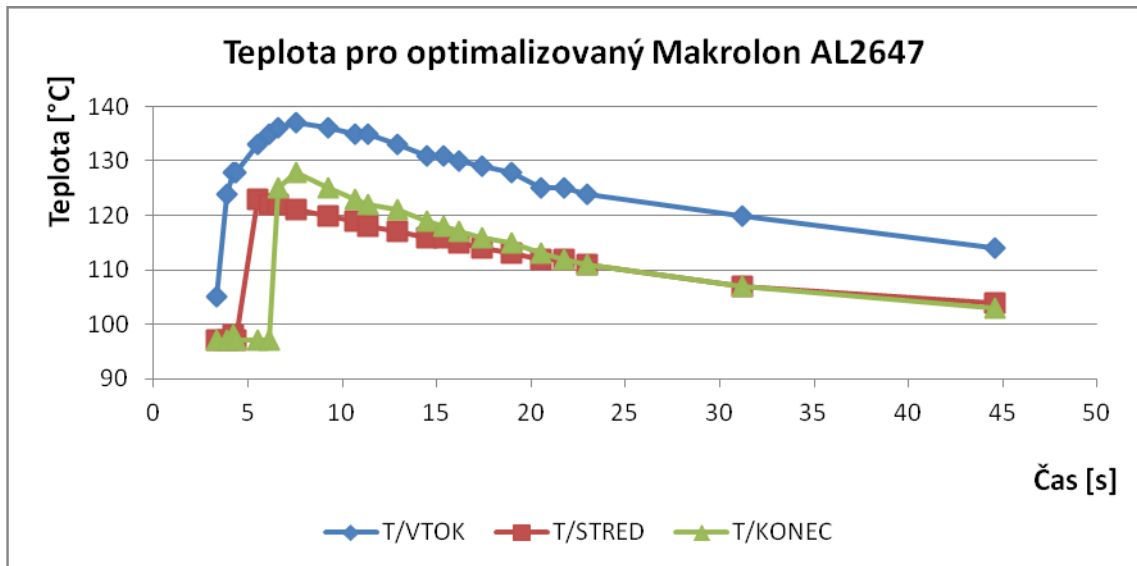
Obr. 74 Hodnoty tlaku naměřenými čidly u optimalizovaného Makrolonu AL2647



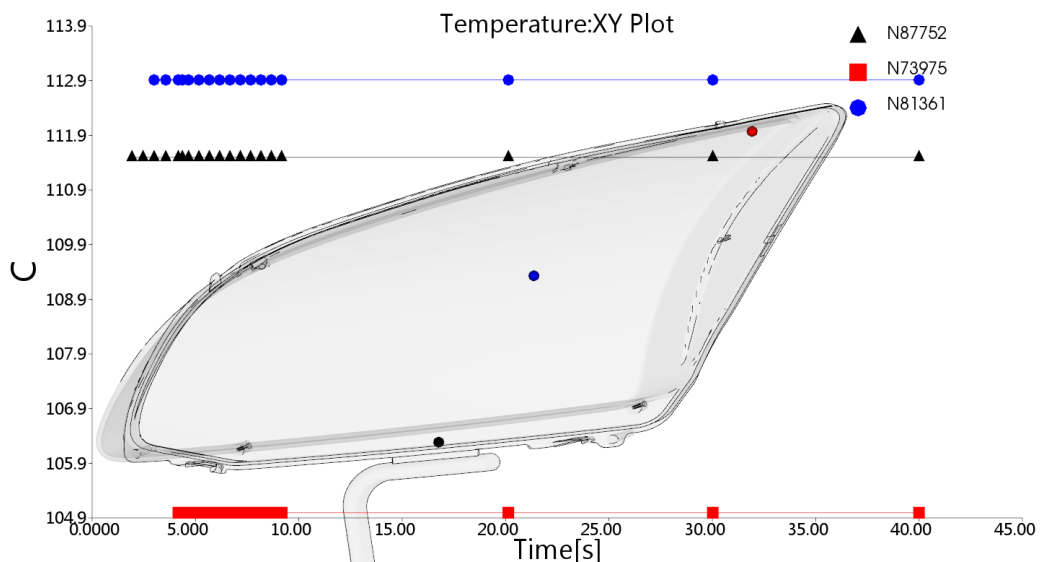
Obr. 75 Hodnoty tlaku naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu AL2647

Na Obr. 74 zachycujeme snímacími čidly průběh tlaku při plnění dutiny formy. Jsou vidět dvě tlakové špičky (46,9 MPa, 13,7 MPa) u čidla, které bylo umístěno poblíž vtoku. Software spočítal průběh s jednou tlakovou špičkou okolo 100 MPa. Tlak na konci plnění je v případě reality přibližně třikrát menší než u čidla vyhodnoceného programem.

8.2.2 Teplota



Obr. 76 Hodnoty teplot naměřenými čidly u optimalizovaného Makrolonu AL2647

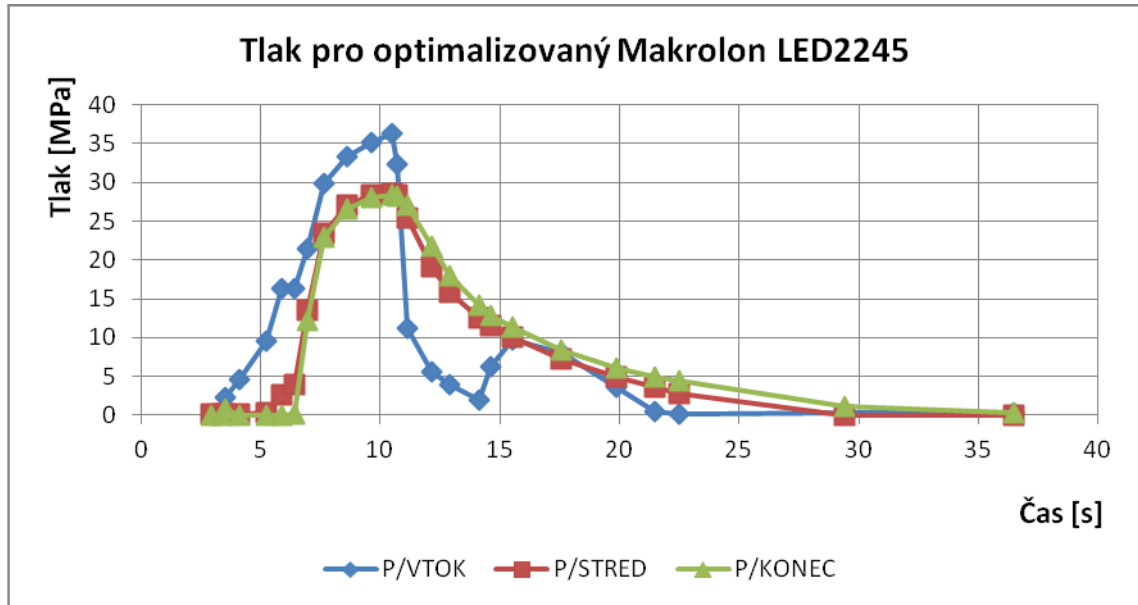


Obr. 77 Hodnoty teplot naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu AL2647

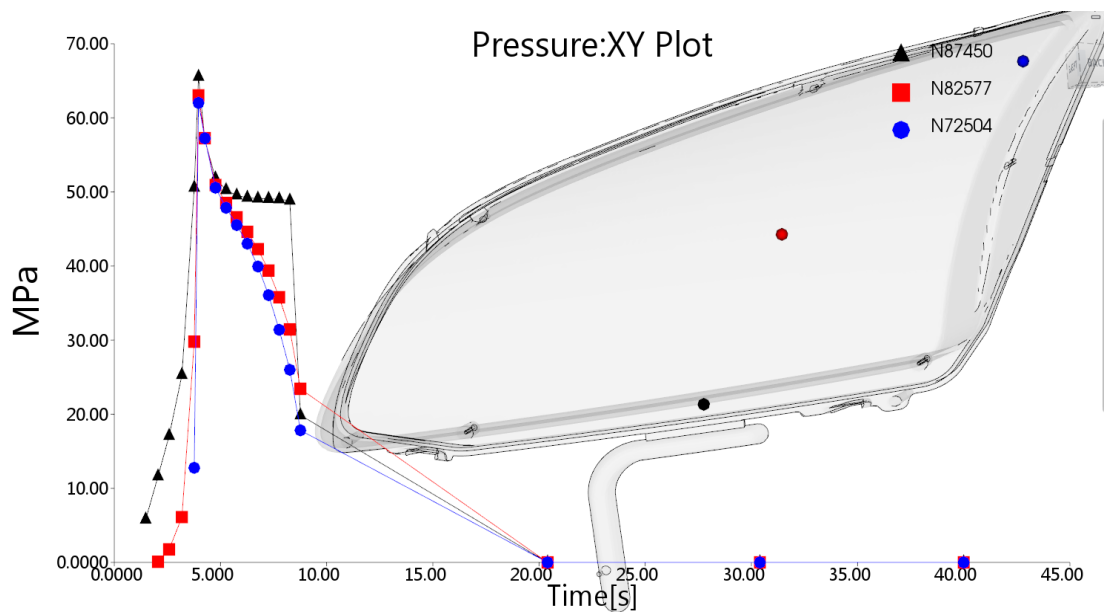
Software spočítal u každého čidla jinou teplotu s konstantním záznamem v čase. Oproti čidlům, které měřili reálnou teplotu, mají na první pohled jiný průběh a disponují i jinými hodnotami teplot.

8.3 Hodnoty pro optimalizovaný Makrolon LED2245

8.3.1 Tlak



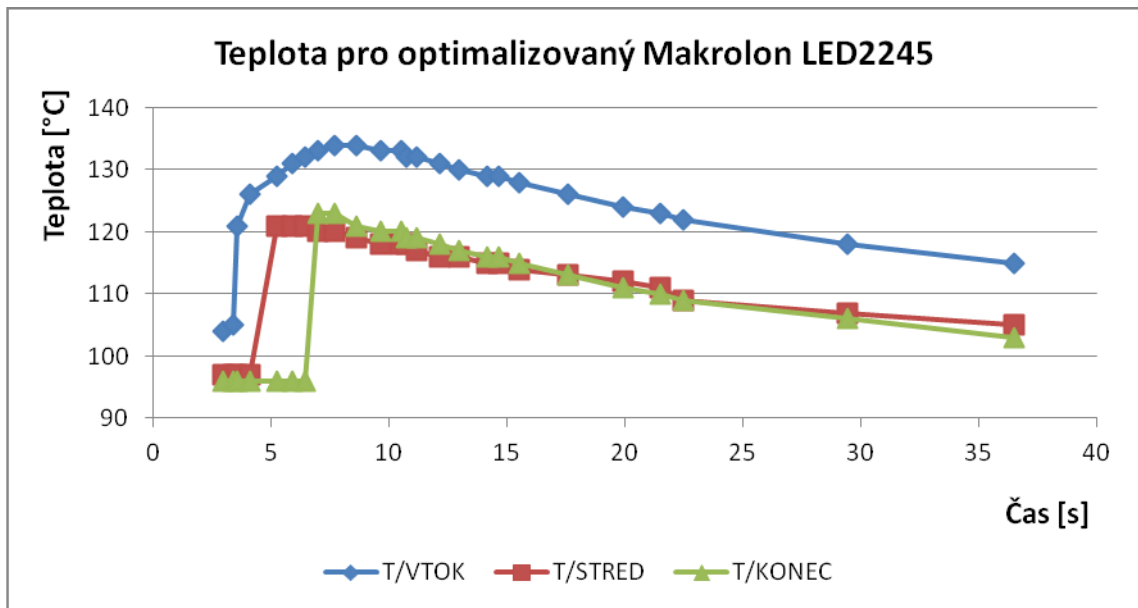
Obr. 78 Hodnoty tlaku naměřenými čidly u optimalizovaného Makrolonu LED2245



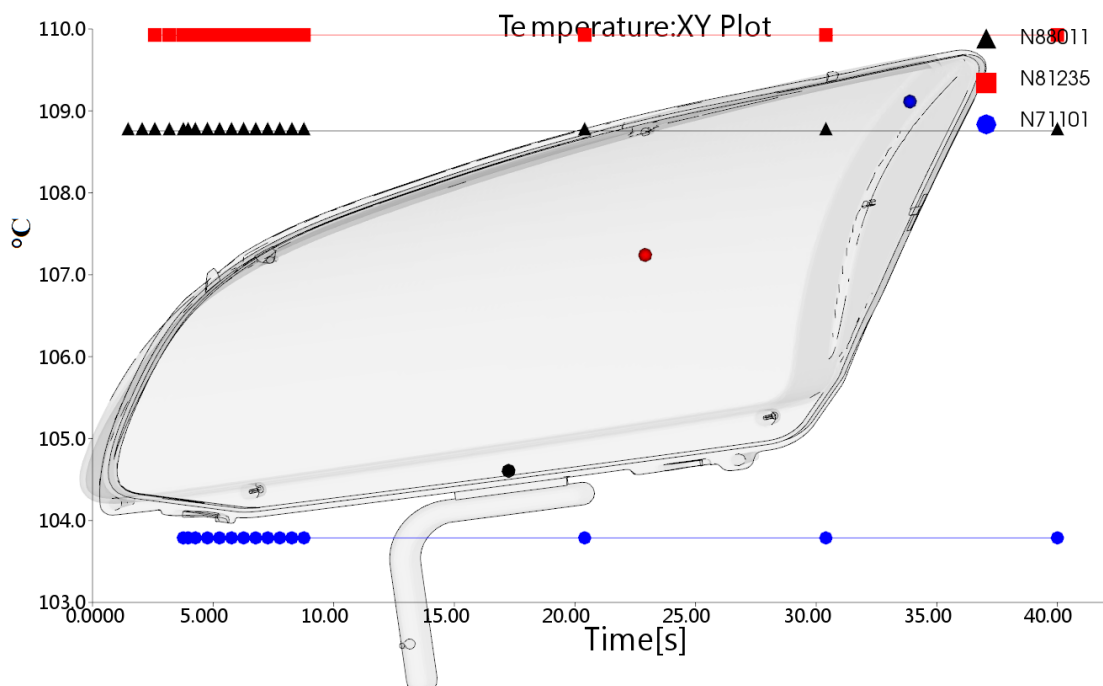
Obr. 79 Hodnoty tlaku naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu LED2245

Průběh tlaku vypočtený softwarem pro Makrolon LED2245 má tlakovou špičku okolo 65 MPa a to jak v místě čidla umístěného u vtoku, tak na konci plnění. Křivka vytvořená za pomoci dat naměřených v dutině formy u vtoku má naproti softwaru dvě tlakové špičky (35 MPa, 10 MPa). Tlak na konci plnění pak odpovídá přibližně 10 MPa. Rozdíl mezi predikcí a skutečností je tedy 30 MPa a 55 MPa.

8.3.2 Teplota



Obr. 80 Hodnoty teplot neměřenými čidly u optimalizovaného Makrolonu LED2245

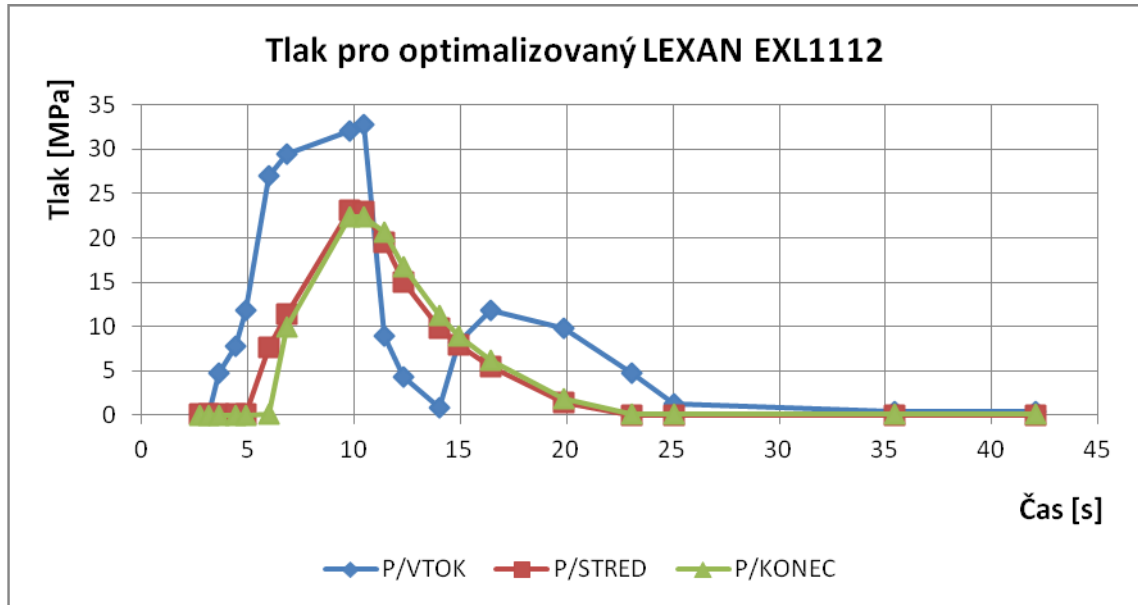


Obr. 81 Hodnoty teplot naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu AL2647

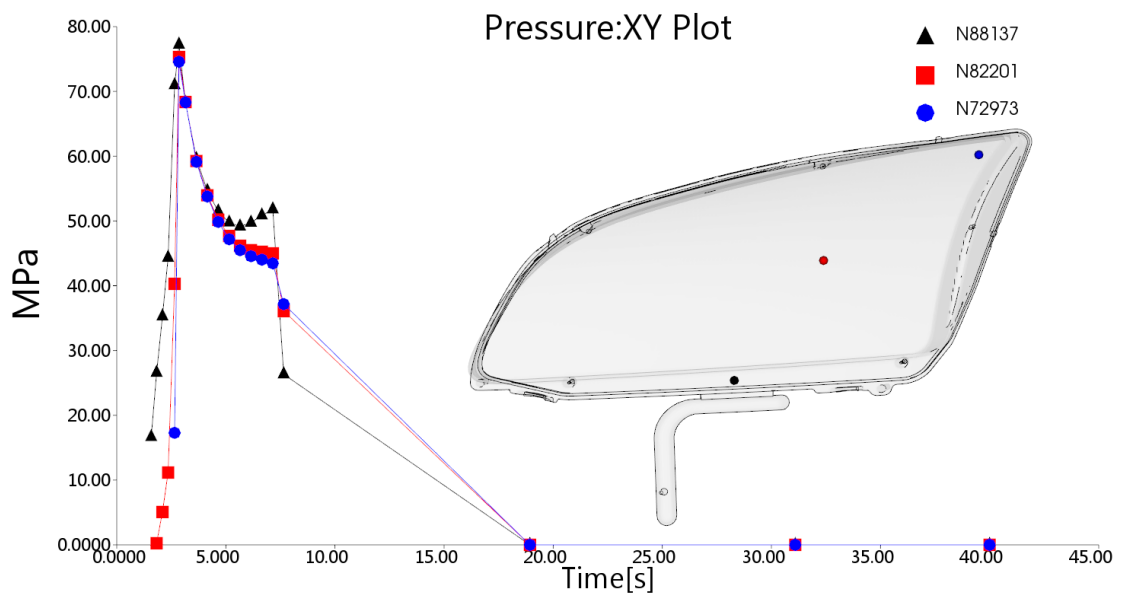
Porovnáním Obr. 80 a Obr. 81 jsme zjistili, že výsledky predikce a reality nejsou totožné. Zatímco v realitě vidíme teplotní špičky u vtoku 135 °C a na konci plnění 123 °C, hodnoty simulované u vtoku jsou necelých 109 °C a na konci plnění přibližně 104 °C. Navíc křivky simulace mají konstantní průběh teploty v čase, zatímco reálné vykazují jiný průběh. Rozdíl teplot ve špičkách je 20 °C, avšak rozdíl teplot při vyhazování činí maximálně 6 °C.

8.4 Hodnoty pro optimalizovaný LEXAN EXL1112

8.4.1 Tlak



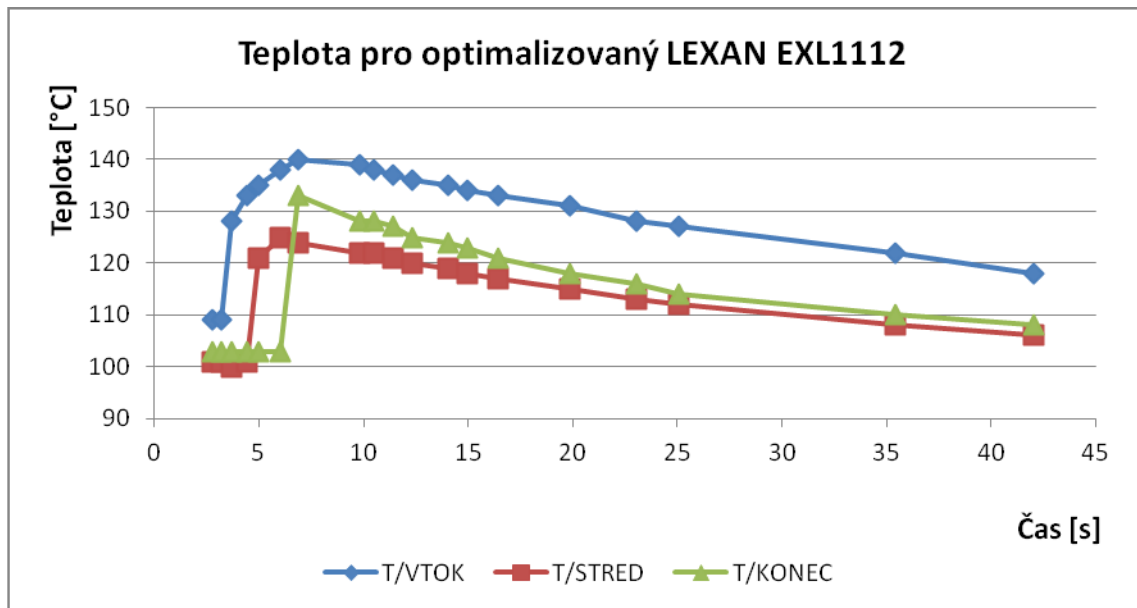
Obr. 82 Hodnoty tlaku naměřenými čidly u optimalizovaného LEXANU EXL1112



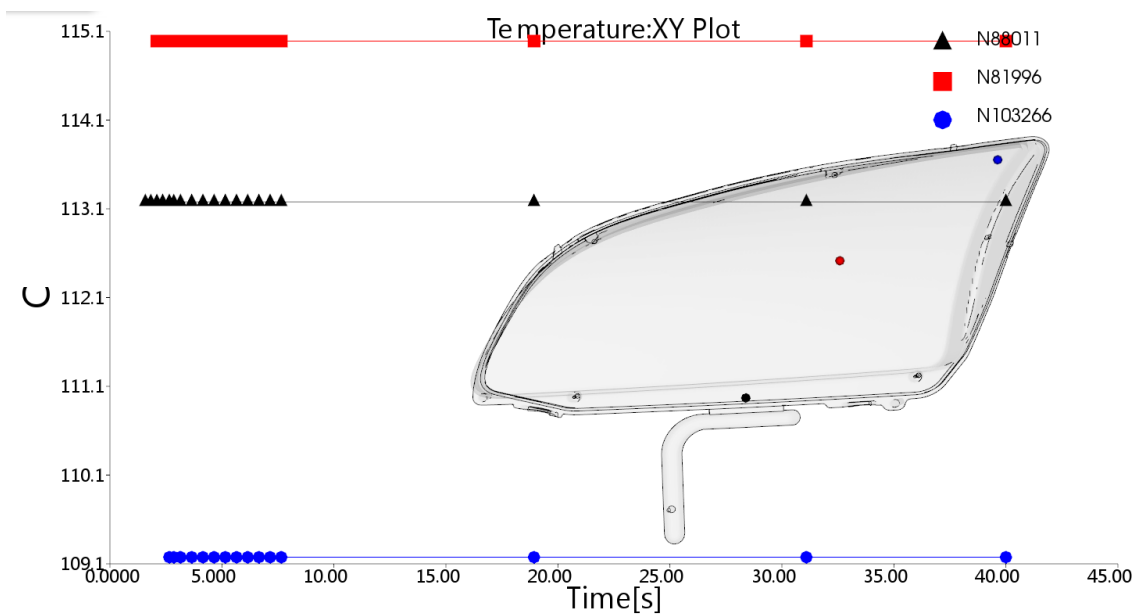
Obr. 83 Hodnoty tlaku naměřené softwarem u optimalizovaného LEXANU EXL1112

Špičky tlakových hodnot v případě softwaru dosahují pro tento typ materiálu 80 MPa. Po-
prvé je taky zaznamenána další malá tlaková špička u čidla poblíž vtoku (cca. 50 MPa).
Reálnou hodnotu tlaku poblíž vtoku reprezentuje maximum 33 MPa, což je rozdílově
47 MPa od hodnoty předpovídané. Druhá reálná tlaková špička zaznamenaná u vtoku má
velikost 12 MPa. Tento rozdíl hodnot se pohybuje okolo 48 MPa.

8.4.2 Teplota



Obr. 84 Hodnoty teplot neměřenými čidly u optimalizovaného LEXANU EXL1112

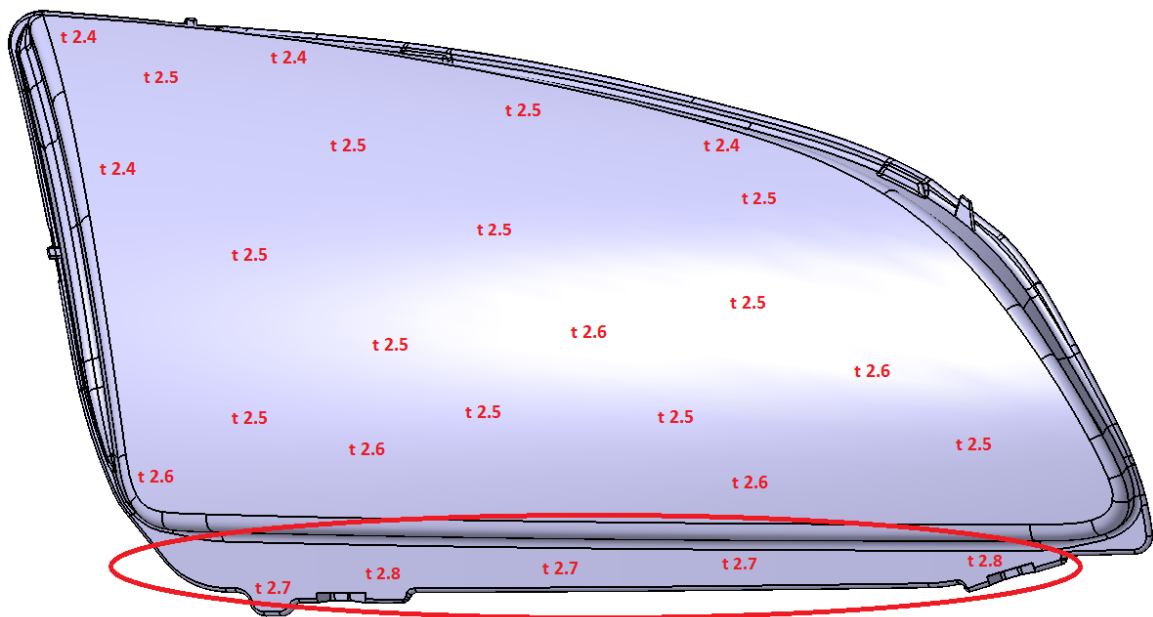


Obr. 85 Hodnoty teplot naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu AL2647

Ani v tomto případě simulace nezměnila teplota v závislosti na čase svůj lineární průběh. Velikost 113°C byla zaznamenána u místa vtoku a 109 °C na konci plnění. Reálné špičky teplot v dutině formy změřené na začátku plnění byly 140 °C a na konci 132 °C. Tedy rozdíl špiček teplot mezi softwarem a reálnem činí asi 25 °C. Vyhazovací teploty reálné a predikované se však liší maximálně o 3 °C.

9 NÁVRH OPTIMALIZACE TLOUŠŤKY STĚNY S CÍLEM SNÍŽIT TLOUŠŤKU STĚNY

Hlavním důvodem optimalizace je snížit tloušťku stěny skla. Největší odchylky od nominální hodnoty 2,5 mm najdeme v části skla poblíž vtoku. Zde jsou hodnoty tloušťky stěn mezi 2,7 mm a 2,8 mm. Rozměrové vady výrobku mohou být dány taky stářím formy, jelikož pro tento účel nemohla být vybrána forma nová a tedy nepostihnutá výrobou. V tomto případě se bude řešit návrh úpravy formy tzv. navařováním přídavného materiálu do rizikového místa ve formě. Jako další alternativu je možné navrhnout vložkování formy vysoce tepelně vodivými materiály. Také můžeme obohatit stroj o speciální násypku, která omezuje přísun kyslíku do plastikační jednotky a pomocí dusíku je schopna zvýšit teplotu taveniny bez její degradace. Firma Varroc Lighting Systems, s.r.o. však pracuje na pozměněném designu součásti s upravenou tloušťkou stěny skla pro ochranu chodců. Bude tedy vyrobena nová tvárnice i tvárník pro zatím vyvíjený díl.



Obr. 86 Místa s rozdílnou tloušťkou vstříkovaného dílu

9.1 Navařování přídavného materiálu

Významnou technologií v oblasti renovace součásti, při kterém lze dosáhnout původních rozměrů a tvaru dílu s totožnými, ale i lepšími vlastnostmi povrchu je metoda navařování.

Efektivita této metody úpravy stávajícího dílu se pohybuje do přibližně 70 % ceny nového výrobku. Faktory, které ovlivňují proces, jsou zejména: cena a dostupnost nového dílu,

cena přídavných materiálů, náročnost výroby, rozsah poškození dílu. Hlavním kritériem je správný rozbor třídy opotřebení, pracovních podmínek, vlivu prostředí a na základě této analýzy zvolit odpovídající přídavný materiál a technologii navařování.

9.1.1 Navařování laserem

Princip navařování spočívá v přívodu práškového přídavného a materiálu a jeho následném tavení. V závislosti rozložení energie laseru na ploše a rychlosti pohybu svazku je možné tavit přídavný materiál do návaru s difúzním spojením, nebo zčásti natavit i výchozí materiál a zajistit metalurgické spojení. Lze navařovat jakýkoliv typ plochy do tloušťky až 1 mm. Nejčastěji aplikované přídavné materiály jsou na bázi niklových a kobaltových slitin s tvrdostí okolo 62 HRC.



Obr. 87 Princip navařování laserem

9.2 Vložkování forem vysoce tepelně vodivými materiály

Pro členité součásti, které se špatně temperují, jako jsou například tenké výstupky atd., tak jako pro součásti s nesterodným teplotním polem, lze s výhodou použít možnosti temperace pomocí vložek. Možností aplikace je také popřípadě nástřik na povrch tvarové dutiny formy. Tyto materiály jsou na bázi Cu, Co (materiály Moldmax, Ampcoloy, aj) a podporují temperační systém s nucenou konvekcí vody.

Aplikací v blízkosti tvarové dutiny formy lze dosáhnout lepšího vyrovnání teplot v celém objemu součásti ve stejném čase, zmenšení rozdílu teplot ve vstřikovací formě, a k zvýšení podílu krystalické fáze optimálním průběhem krystalizace. Důležitým faktorem z hlediska optimalizace tloušťky je poté lepší zatečení taveniny do vzdálených míst od vtoku bez lokálních studených spojů a celkové redukce doby cyklu.

9.3 Technologie s využitím inertního plynu v násypce

Moderní trendem je také použití speciální násypky (Nitrogen Purge Hopper), která přivádí materiál do plastikační jednotky prakticky bez vzduchu (respektive kyslíku). Kyslík je nahrazen inertním plynem (dusíkem) který je netečný k chemickým reakcím. Vytváří vlastně ochranou atmosféru pro zpracováváný polymer. Takto obohacená násypka přivádí polymerní materiál s inertním plynem do plastikační jednotky skoro bez kyslíku a dokáže zvýšit teplotu taveniny až o 30 °C. Takový materiál má poté lepší tokové vlastnosti a není potřeba vysokých tlaků pro vyplnění formy. Lépe a rychleji tedy zaplní dutinu formy a zvyšuje tedy efekt pro optimalizaci tloušťky stěny skla.

9.4 Úprava vtokového systému

Jak bylo několikrát řečeno, fáze plnění a dotlaku je stěžejní pro zachování rozměrové stability a tvaru výrobku. S tím se váže také tloušťka stěny výrobku. Tavenina, kterou drží povrch dutiny je ve formě stlačována vysokými tlaky. Následky expanzivních napětí uvnitř vstřikovaného výrobku vypovídají o roztahování polymeru ke stěnám dutiny formy. Při chlazení dochází k poklesu teploty taveniny a tedy i k uvolnění napětí. Vstřikovaný výrobek bude tedy podléhat smrštění všude tam, kde nebude nějakým způsobem pevně fixován (jako například v oblastech bočních stěn výrobku apod.)V těchto místech není dovoleno dílu se smršťovat a dochází tedy většinou k tahovým pnutím, které mají za následek vznik vnitřních pnutí. Po odformování je výrobek ještě vystaven dodatečnému smrštění.

Pro zachycení většího množství reziduálních napětí je možné upravit studený vtokový systém. Ten se u výrobků tohoto typu používá především za tímto účelem. Zvětšením jeho stávajícího tvaru můžeme zachytit více zbytkových napětí právě v něm a nemusejí se pak v takovém množství dostat do dutiny formy.

10 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Praktická část diplomové práce řeší problematiku 3D modelu zadaného dílu a vstřikovací formy za pomoci programu CATIA V5R19. Pomocí tohoto programu byly vytvořeny potřebné křivky a data, které byly následně importovány do programu Moldflow. V tomto simulačním programu jsme nejprve řešili stávající stav dílu, ke kterému byla zhotovena analýza chování polymeru v dutině formy. Tato forma byla doplněna o tři teplotně-tlaková čidla od firmy Kistler, která zaznamenávala zkoumané hodnoty.

Jelikož stávající forma byla už starší, při vstřikování dílu jsme řešili problém z hlediska zamrznání jednoho z vtoku. Tento problém jsme se snažili nasimulovat i do softwaru tak, že jsme nastavovali opoždění otevření trysky, nebo jsme zužovali ústí vtoku. I tak jsme se nedokázali věrohodně přiblížit realitě, respektive hodnotám a průběhům, které naměřili čidla.

Optimalizace dílu s využitím tří rozdílných druhů PC však proběhla na vstřikovacím stroji a hodnoty teplot a tlaku byly dle reality nastaveny do procesních parametrů softwaru. Reálné hodnoty naměřené ve formě jsme porovnali s hodnotami predikovanými. Pro komparaci bylo vybráno především čidlo, které bylo vyvrtáno poblíž vtoku. Při porovnání tlaku i teploty můžeme říci, že predikce neodpovídá realitě. Popsání teploty je v tomto ohledu značně náročné, protože snímací čidla jsou zarovnána s dutinou formy. Tavenina totiž při kontaktu s povrchem formy ihned chladne a snímací čidlo není schopno popsat teplotu v celém jejím průřezu. Tlakové hodnoty disponují jiným průběhem a tlakové špičky se liší v průměru o přibližně 40 MPa. Tyto rozdíly může mít na svědomí již zmíněné zamrznání vtoku. Odborníci se zkušenostmi se softwarem tvrdí, že predikované hodnoty jsou prakticky vždycky značně vychýlené od reality a popsat co se opravdu děje v dutině formy je během na dlouho trať. Software dokáže bezpečně predikovat polohu vtoku, odhalit vzduchové kapsy, stokové čáry a vytvořit podklad pro základní nastavení vstřikovacího stroje. Samotná optimalizace dílu je však řešena až na něm.

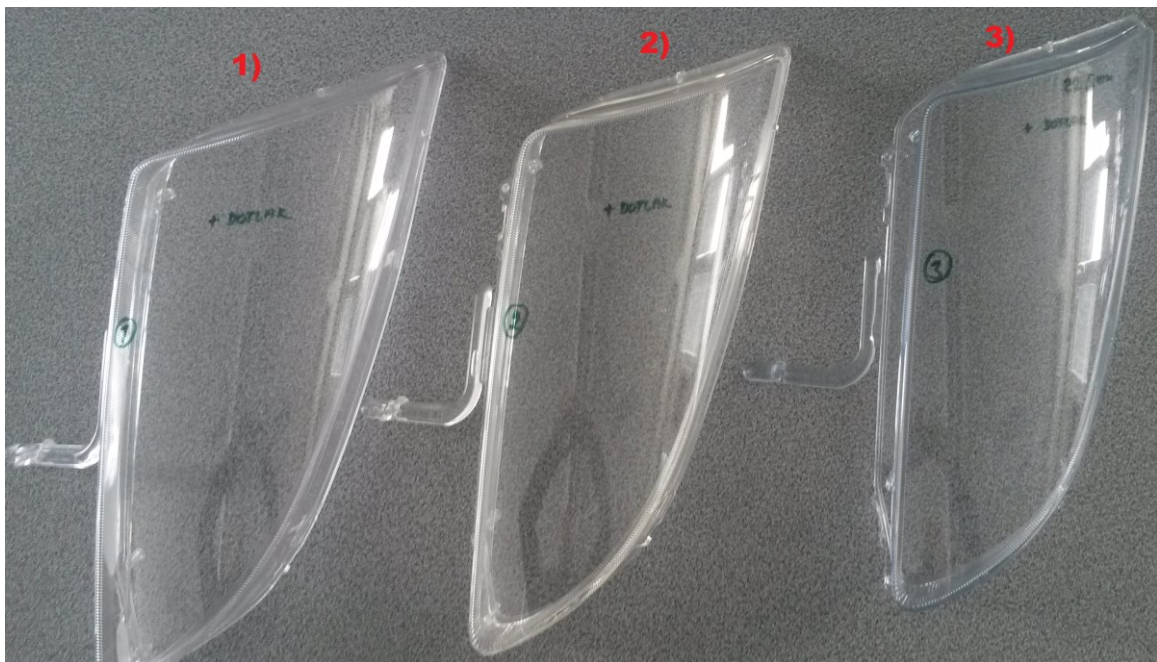
V poslední fázi praktické části jsme provedli návrhy technologií, které povedou k optimalizaci tloušťky stěny skla, kdy cílem bylo snížení tloušťky skla. Snažili jsme se vybrat řešení jak z pohledu konstrukce, tak z pohledu technologie.

Tab. 3 Srovnání naměřených hodnot s predikovanými

	Naměřené hodnoty	Čidlo	Software
Stávající Makrolon AL2647	Tlak	66,5 MPa	100 MPa
	Teplota	140 °C	100 °C
Optimalizovaný Makrolon AL2647	Tlak	46,9 MPa	100 MPa
	Teplota	136 °C	111,5 °C
Optimalizovaný Makrolon LED2245	Tlak	35 MPa	65 MPa
	Teplota	135 °C	109 °C
Optimalizovaný LEXAN EXL1112	Tlak	33 MPa	80 MPa
	Teplota	140 °C	113 °C

Tab. 4 Přehled vybraných výsledků pro jednotlivé materiály

	Čas plnění	Tlak na trysce	Teplota čela taveniny
Stávající Makrolon AL2647	4,45 s	131,7 MPa	317 °C
Optimalizovaný Makrolon AL2647	4,17 s	144,9 MPa	326 °C
Optimalizovaný Makrolon LED2245	3,77 s	85,4 MPa	314 °C
Optimalizovaný LEXAN EXL1112	2,65 s	180 MPa	351 °C



Obr. 88 Optimalizované díly

1) Makrolon AL2647 2) Makrolon LED2245 3) LEXAN EXL1112

ZÁVĚR

Základním cílem diplomové práce bylo sestavit teoretickou část na danou problematiku. Tato část pojednává především o polymerních materiálech, technologii vstřikování, softwaru Moldflow a konstrukci vstřikovacích forem.

Práce v praktické části začaly činností na obdržném modelu vstřikovací formy a dílu, které byly dodány firmou Varroc Lighting Systems, s.r.o. S podporou CATIA V5R19 byla po zpracování připravena data ze stávající formy k importu do simulačního programu Moldflow.

Pro stávající díl byla vytvořena kompletní analýza (Cool + Fill + Pack + Warp). Vlivem této simulace byly zjištěny základních poznatky o vstřikovacím procesu tohoto dílu.

Samotná optimalizace dílu byla provedena na vstřikovacím stroji. Reálné aplikované procesní podmínky byly převedeny z tohoto stroje do softwaru Moldflow. Takto nastavené podmínky měli sloužit k porovnání výsledků vytvořeného softwarem s hodnotami naměřenými pomocí snímacích čidel uvnitř dutiny formy. Pro tuto studii byly vybrány tři druhy polykarbonátů.

V poslední části diplomové práce byly předloženy návrhy pro optimalizaci tloušťky stěny skla vedoucí k jejímu snížení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PTÁČEK, L a kol. Nauka o materiálu I. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 505 s.
- [2] JARUŠEK, Jaroslav. Metody zkoumání polymerů. 1.vyd. Pardubice: VŠCHT,1989
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vydání. Praha: Vysoká škola chemická, 2006. 280 s
- [4] Materiály ve strojírenství, [online], [cit. 2013-04-08], Dostupný z WWW: <http://www.fme.vutbr.cz/opory>
- [5] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Sobotka,1993, 525 s. ISBN 80-901570-4-1.
- [6] RYBNÍKÁŘ, František. Analýza a zkoušení plastických hmot. SNTL, 1965
- [7] MCMURRY, John. *Organic chemistry*. 6th ed. Belmont, CA: Thomson-Brooks/Cole, 2004, 1 v. (various pagings). ISBN 0534390013.
- [8] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů 1. díl*. 2. opr. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 133 s.
- [9] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [10] BEAUMONT, John P, R NAGEL a R SHERMAN. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich: Hanser Publishers, 2002, xiii, 362 s. ISBN 1-56990-291.
- [11] TOMIS, F. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 2. nezměněné. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická, 1980, 278 s..
- [12] ROSATO, Dominic V.; ROSATO, Donald V.; ROSATO, Marlene G.: *Injection Molding Handbook 3 th. ed*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2000. 1457 s. ISBN 0-7923-8619-1.
- [13] Vstřikování plastů [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm.
- [14] KAMAL, Musa R, Avraam I ISAYEV a Shih-Jung LIU. *Injection molding: technology and fundamentals*. Munich: Hanser, c2009, xxviii, 926 s. ISBN 978-1-56990-434-

- [15] Arburg [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<<http://www.arburg.com/cs/cz/>>.
- [16] JOHANNABER, Friedrich. *Injection molding machines: a user's guide*. 4th ed. Munich: Carl Hanser Publishers, 2008, xii, 378 s. ISBN 978-1-56990-418-3.
- [17] Snižování výrobních nákladů pomocí simulační analýzy. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-vyrobnich-nakladu-pomoci-simulacni-analyzy.html>
- [18] Snižování výrobních nákladů pomocí Autodesk® Moldflow® analýzy. *Istrojirenství* [online]. 2010 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z:
<http://www.istrojirenstvi.cz/it/precist.php?nazev=snizovani-vyrobnich-nakladu-pomoci-autodesk-moldflow-analyzy&id=21>
- [19] Vstřikování plastů dovedené k dokonalosti. *CAD studio* [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/dl/Autodesk-Simulation-Moldflow.pdf>
- [20] Snižování výrobních nákladů pomocí analýzy vstřikovacího procesu. *SMARTPLAST* [online]. 2010 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z:
http://smartplast.cz/data/smartplast/halaska_snizovani_vyrobnich_nakladu_prezentace_cz.pdf
- [21] Vstřikování plastů dovedené k dokonalosti. *SMARTPAST* [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://smartplast.cz/data/official/simulation_moldflow_brozura_cz.pdf
- [22] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser, 2002, xxiii, 688 s. ISBN 3446216596.nwemecek
- [23] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding injection molds*. Munich: Hanser, 2013, xii, 145 s. ISBN 978-1-56990-527-2.
- [24] KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986. 229. Svoboda
- [25] TOMIS, F., J. HELŠTÝN. *Formy a přípravky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické, 1985, 278 s..
- [26] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 1st ed. Munich: Hanser, c2004, xvi, 286 s. ISBN 1569903476.
- [27] Vtokové soustavy [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/V5.pdf>.
- [28] *GOMT* [online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.gom.com/>
- [29] OSSWALD, T., G. MENGES. *Material science of polymers for engineers*. 3rd edition. Hanser Publishers, 2012. ISBN 978-1-56990-514-2.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
CAE	Computer Aided Engineering - počítačová podpora inženýrských analýz
3D	3 Dimensional – třírozměrný
GIT	Gas Inject Technology – technologie vstřikování za pomoci plynu
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
T _m	Teplota tání
T _g	Teplota skelného přechodu
T _f	Teplota viskózního toku
MPa	Jednotka tlaku
D	Průměr
t	Tloušťka
mm	Jednotka délky
s	Jednotka času
HRC	Tvrдость podle Rockwela
Cu	Měď
Co	Kobalt

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Klasifikace polymerů</i>	13
<i>Obr. 2 Klasifikace polymerů podle aplikace a struktury [5]</i>	14
<i>Obr. 3 Diagram vstřikovacího cyklu [8]</i>	19
<i>Obr. 4 Vstřikovací rozdíly u termoplastů [29]</i>	20
<i>Obr. 5 Diagram ideálního výrobku [29]</i>	20
<i>Obr. 6 Principy procesu plnění[28]</i>	21
<i>Obr. 7 Záznam tlaku ve vstřikovacím cyklu [13]</i>	22
<i>Obr. 8 Vznik ohybu [10]</i>	23
<i>Obr. 9 Zaznačení vstřikovacího cyklu do pvT diagramu [13]</i>	23
<i>Obr. 10 Vstřikovací stroj [15]</i>	24
<i>Obr. 11 Plastikační jednotka [13]</i>	25
<i>Obr. 12 Uzavírací mechanismus a) mechanický b) hydraulický [15]</i>	26
<i>Obr. 13 Řídící panel vstřikovacího stroje [15]</i>	27
<i>Obr. 14 Důvod proč optimalizovat [19]</i>	29
<i>Obr. 15 Náhled simulace plnění [21]</i>	32
<i>Obr. 16 Náhled materiálové databáze Moldflow</i>	33
<i>Obr. 17 Náhled tří typů sítí v Moldflow [21]</i>	34
<i>Obr. 18 Komparace nabízených programů firmy Autodesk [21]</i>	36
<i>Obr. 19 Primární koncepce vstřikovací formy [23]</i>	39
<i>Obr. 20 Vtokový systém [8]</i>	41
<i>Obr. 21 Geometrie vtokových kanálů [10]</i>	41
<i>Obr. 22 Plný kuželový a bodový vtok [15]</i>	42
<i>Obr. 23 Banánový a tunelový vtok [15]</i>	42
<i>Obr. 24 Boční a filmový vtok [15]</i>	43
<i>Obr. 25 Uzavíratelné trysky a) pružinová b) hydraulická [13]</i>	44
<i>Obr. 26 Horké rozvodové systémy [13]</i>	45
<i>Obr. 27 Rozmístění temperačních kanálů [8]</i>	47
<i>Obr. 28 Pohledy na vyhodnocovaný díl</i>	52
<i>Obr. 29 Pohled na pevnou stranu formy</i>	53
<i>Obr. 30 Pohled na pohyblivou stranu formy</i>	53
<i>Obr. 31 Chladicí kanály formy</i>	54
<i>Obr. 32 Náhled teploty v simulačním programu</i>	54

<i>Obr. 33 Vtokové ústí dílu s jeho detailem</i>	55
<i>Obr. 34 Náhled vtokového systému v simulačním programu</i>	55
<i>Obr. 35 Náhled snímacího čidla ve formě</i>	56
<i>Obr. 36 Závislost tlaku na čase v různých místech výrobku</i>	56
<i>Obr. 37 Lokace čidel ve formě 1- poblíž vtoku, 2 - uprostřed, 3 - konec toku</i>	57
<i>Obr. 38 Použitý vstřikovací stroj</i>	57
<i>Obr. 39 Statistika sítě</i>	58
<i>Obr. 40 Diagnostika tloušťky sítě</i>	58
<i>Obr. 41 Nastavené základní procesní podmínky pro Makrolon AL2647</i>	59
<i>Obr. 42 Nastavené základní temperační podmínky</i>	59
<i>Obr. 43 Čas plnění pro základní nastavení dílu</i>	60
<i>Obr. 44 Čas potřebný na vyhození výrobku</i>	60
<i>Obr. 45 Tlak taveniny ve vtokovém ústí (tlak na trysce)</i>	61
<i>Obr. 46 Maximální teplota čela taveniny</i>	62
<i>Obr. 47 Teplota dílu ve třech časových pásmech</i>	62
<i>Obr. 48 Vstřikovací stroj v Moldflow</i>	63
<i>Obr. 49 Nastavení vstřikovací fáze</i>	63
<i>Obr. 50 Nastavení dotlakové fáze</i>	64
<i>Obr. 51 Nastavení chladících parametrů</i>	64
<i>Obr. 52 Čas plnění pro Makrolon AL2647</i>	65
<i>Obr. 53 Čas potřebný pro vyhození optimalizovaného Makrolonu AL2647</i>	65
<i>Obr. 54 Tlak taveniny ve vtokovém ústí pro Makrolon AL2647</i>	66
<i>Obr. 55 Maximální teplota čela taveniny pro Makrolon AL2647</i>	67
<i>Obr. 56 Teplota dílu ve třech časových pásmech pro Makrolon AL2647</i>	67
<i>Obr. 57 Pozice šneku v závislosti na plnění formy pro Makrolon AL2647</i>	68
<i>Obr. 58 Čas plnění pro Makrolon LED2245</i>	69
<i>Obr. 59 Čas potřebný pro vyhození optimalizovaného Makrolonu LED2245</i>	69
<i>Obr. 60 Tlak taveniny ve vtokovém ústí pro Makrolon LED2245</i>	70
<i>Obr. 61 Maximální teplota čela taveniny pro Makrolon LED2245</i>	71
<i>Obr. 62 Teplota dílu v časových pásmech pro Makrolon LED2245</i>	71
<i>Obr. 63 Pozice šneku v závislosti na plnění formy pro Makrolon AL2647</i>	72
<i>Obr. 64 Čas plnění pro LEXAN EXL1112</i>	73
<i>Obr. 65 Čas potřebný pro vyhození optimalizovaného Makrolonu LED2245</i>	73

<i>Obr. 66 Tlak taveniny ve vtakovém ústí pro LEXAN EXL1112</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 67 Maximální teplota čela taveniny pro LEXAN EXL1112</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 68 Teplota dílu v časových pásmech pro Makrolon LED2245</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 69 Pozice šneku v závislosti na plnění formy pro LEXAN EXL1112</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 70 Hodnoty tlaku naměřenými čidly u primárního návrhu Makrolonu AL2647.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 71 Hodnoty tlaku naměřené softwarem u primárního návrhu Makrolonu AL2647</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 72 Hodnoty teplot naměřenými čidly u primárního návrhu Makrolonu AL2647.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 73 Hodnoty teplot naměřené softwarem u primárního návrhu Makrolonu AL2647</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 74 Hodnoty tlaku naměřenými čidly u optimalizovaného Makrolonu AL2647.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 75 Hodnoty tlaku naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu AL2647.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 76 Hodnoty teplot naměřenými čidly u optimalizovaného Makrolonu AL2647.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 77 Hodnoty teplot naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu AL2647.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 78 Hodnoty tlaku naměřenými čidly u optimalizovaného Makrolonu LED2245</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 79 Hodnoty tlaku naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu LED2245</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 80 Hodnoty teplot neměřenými čidly u optimalizovaného Makrolonu LED2245</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 81 Hodnoty teplot naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu AL2647.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 82 Hodnoty tlaku naměřenými čidly u optimalizovaného LEXANU EXL1112</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 83 Hodnoty tlaku naměřené softwarem u optimalizovaného LEXANU EXL1112</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 84 Hodnoty teplot neměřenými čidly u optimalizovaného LEXANU EXL1112</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 85 Hodnoty teplot naměřené softwarem u optimalizovaného Makrolonu AL2647.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 86 Místa s rozdílnou tloušťkou vstříkovaného dílu</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 87 Princip navařování laserem</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 88 Optimalizované díly 1) Makrolon AL2467 2)Makrolon LED2245 3)LEXAN EXL1112</i>	<i>89</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Využití vstříkovaných výrobků v Evropském průmyslu [16]</i>	18
<i>Tab. 2 Doporučené oceli pro konstrukci vstříkovacích forem [25]</i>	49
<i>Tab. 3 Srovnání naměřených hodnot s predikovanými</i>	89
<i>Tab. 4 Přehled vybraných výsledků pro jednotlivé materiály</i>	89

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA PI: MATERIÁLOVÝ LIST MAKROLON AL2647
- PŘÍLOHA PII: MATERIÁLOVÝ LIST MAKROLON LED2245
- PŘÍLOHA PII: MATERIÁLOVÝ LIST LEXAN EXL1112

PŘÍLOHA PI: MATERIÁLOVÝ LIST MAKROLON AL2647



Makrolon® AL2647

Grades / Automotive lighting

MVR (300 °C/1.2 kg) 12 cm³/10 min; Automotive lighting; medium viscosity; UV stabilized; easy release; injection molding - melt temperature 280 - 320 °C; available in clear transparent colors and in various signal colors; headlamp lenses for automotive forward lighting

ISO Shortname

ISO 7391-PC, MLR, (...) -18-9

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Rheological properties				
C Melt volume-flow rate	300 °C; 1.2 kg	cm ³ /10 min	ISO 1133	12
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2 mm; 500 bar	%	ISO 294-4	0.7
C Molding shrinkage, normal	60x60x2 mm; 500 bar	%	ISO 294-4	0.75
Molding shrinkage, parallel/normal	Value range based on general practical experience	%	b.o. ISO 2577	0.6 - 0.8
Melt mass-flow rate	300 °C; 1.2 kg	g/10 min	ISO 1133	13
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2400
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	67
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	6.1
C Nominal strain at break	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	> 50
Stress at break	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	70
Strain at break	50 mm/min	%	b.o. ISO 527-1,-2	130
C Tensile creep modulus	1 h	MPa	ISO 899-1	2200
C Tensile creep modulus	1000 h	MPa	ISO 899-1	1900
C Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	2400
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178	98
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178	7.0
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178	74
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N
Charpy impact strength	-60 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N
Charpy notched impact strength	23 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 179-1eA	70P
Charpy notched impact strength	-30 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 179-1eA	14C
Izod notched impact strength	23 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 180-A	70P
Izod notched impact strength	-30 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 180-A	15C
C Puncture maximum force	23 °C	N	ISO 6603-2	5400
C Puncture maximum force	-30 °C	N	ISO 6603-2	6300
C Puncture energy	23 °C	J	ISO 6603-2	60
C Puncture energy	-30 °C	J	ISO 6603-2	65
Ball indentation hardness		N/mm ²	ISO 2039-1	115



Makrolon® AL2647

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Thermal properties				
C Glass transition temperature	10 °C/min	°C	ISO 11357-1,-2	144
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	123
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	136
C Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°C	ISO 306	143
C Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	144
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	0.75 mm	Class	UL 94	V-2
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	2.5 mm	Class	UL 94	HB
C Oxygen index	Method A	%	ISO 4589-2	28
C Thermal conductivity, cross-flow	23 °C; 50 % r. h.	W/(m·K)	ISO 8302	0.20
C Resistance to heat (ball pressure test)		°C	IEC 60695-10-2	135
C Relative temperature index (Tensile strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	125
C Relative temperature index (Tensile impact strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	115
C Relative temperature index (Electric strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	125
C Flash ignition temperature		°C	ASTM D1929	480
C Self ignition temperature		°C	ASTM D1929	550
Electrical properties (23 °C/60 % r. h.)				
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	3.1
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.0
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	5
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	90
C Volume resistivity		Ohm·m	IEC 60093	1E14
C Surface resistivity		Ohm	IEC 60093	1E16
C Electrical strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	34
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	250
C Comparative tracking index CTI M	Solution B	Rating	IEC 60112	125M
C Electrolytic corrosion		Rating	IEC 60426	A1
Other properties (23 °C)				
C Water absorption (saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	0.30
C Water absorption (equilibrium value)	23 °C; 50 % r. h.	%	ISO 62	0.12
C Density		kg/m ³	ISO 1183-1	1200
C Water vapor permeability	23 °C; 85 % RH; 100 µm film	g/(m ² ·24 h)	ISO 15106-1	15
C Gas permeation	Oxygen; 100 µm film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	670
C Gas permeation	Oxygen; 25.4 µm (1 mil) film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	2760
C Gas permeation	Nitrogen; 100 µm film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	120
C Gas permeation	Nitrogen; 25.4 µm (1 mil) film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	510
C Gas permeation	Carbon dioxide; 100 µm film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	3800
C Gas permeation	Carbon dioxide; 25.4 µm (1 mil) film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	16900
C Bulk density	Pellets	kg/m ³	ISO 60	660
Material specific properties				
C Refractive index	Procedure A	-	ISO 489	1.587
C Haze for transparent materials	3 mm	%	ISO 14782	< 0.5
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	1 mm	%	ISO 13468-2	89
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	2 mm	%	ISO 13468-2	89
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	3 mm	%	ISO 13468-2	88
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	4 mm	%	ISO 13468-2	> 87



Makrolon® AL2647

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Processing conditions for test specimens				
C Injection molding-Melt temperature		°C	ISO 294	290
C Injection molding-Mold temperature		°C	ISO 294	80
C Injection molding-injection velocity		mm/s	ISO 294	200

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Impact properties: N = non-break, P = partial break, C = complete break



Makrolon® AL2647

Disclaimer

Typical value

These values are typical values only. Unless explicitly agreed in written form, they do not constitute a binding material specification or warranted values. Values may be affected by the design of the mold/die, the processing conditions and coloring/pigmentation of the product. Unless specified to the contrary, the property values given have been established on standardized test specimens at room temperature.

General

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance, information and recommendations to determine to your own satisfaction whether our products, technical assistance and information are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by Covestro. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale which are available upon request. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance, and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with any claim of any patent relative to any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent. With respect to health, safety and environment precautions, the relevant Material Safety Data Sheets (MSDS) and product labels must be observed prior to working with our products.

Disclaimer Non Medical Grade

This product is not designated for the manufacture of a medical device or of intermediate products for medical devices (1). [This product is also not designated for Food Contact (2), including drinking water, or cosmetic applications. If the intended use of the product is for the manufacture of a medical device or of intermediate products for medical devices, for Food Contact products or cosmetic applications Covestro must be contacted in advance to provide its agreement to sell such product for such purpose.] Nonetheless, any determination as to whether a product is appropriate for use in a medical device or intermediate products for medical devices, for Food Contact products or cosmetic applications must be made solely by the purchaser of the product without relying upon any representations by Covestro. 1) Please see the "Guidance on Use of Covestro Products in a Medical Application" document. 2) As defined in Commission Regulation (EU) 1935/2004.

Covestro AG
Polycarbonates Business Unit
Kaiser-Wilhelm-Allee 60
51373 Leverkusen
Germany
plastics@covestro.com
www.plastics.covestro.com

Page 4 of 4 pages

Edition 01.09.2015

 **Makrolon®**
ISO Datasheet

PŘÍLOHA PII: MATERIÁLOVÝ LIST MAKROLON LED2245



Makrolon® LED2245

Grades / Light guides

MVR (300 °C/1.2 kg) 34 cm³/10 min; light guides; optics and lenses; PC with highest transmission; low viscosity; easy release; injection molding - melt temperature 280 - 320 °C

ISO Shortname

ISO 7391-PC,MRT,(...)-24-9

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Rheological properties				
C Melt volume-flow rate	300 °C; 1.2 kg	cm ³ /10 min	ISO 1133	34
C Molding shrinkage, parallel	80x80x2 mm; 500 bar	%	ISO 294-4	0.65
C Molding shrinkage, normal	80x80x2 mm; 500 bar	%	ISO 294-4	0.7
Mechanical properties (23 °C/80 % r. h.)				
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2350
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	63
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	6.0
C Nominal strain at break	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	> 50
Stress at break	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	60
Strain at break	50 mm/min	%	b.o. ISO 527-1,-2	125
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	2350
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178	97
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178	7.1
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178	73
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N
Charpy impact strength	-60 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N
Charpy notched impact strength	23 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 179-1eA	80P(C)
Charpy notched impact strength	-30 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 179-1eA	12C
Izod notched impact strength	23 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 180-A	56P
Izod notched impact strength	-30 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 180-A	12C
C Puncture maximum force	23 °C	N	ISO 6603-2	4900
C Puncture maximum force	-30 °C	N	ISO 6603-2	5900
C Puncture energy	23 °C	J	ISO 6603-2	55
C Puncture energy	-30 °C	J	ISO 6603-2	60
Ball indentation hardness		N/mm ²	ISO 2039-1	115



Makrolon® LED2245

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Thermal properties				
C Glass transition temperature	10 °C/min	°C	ISO 11357-1,-2	145
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	125
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	138
C Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°C	ISO 306	145
C Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	146
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	0.75 mm	Class	UL 94	V-2 (CL)
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	2.9 mm	Class	UL 94	HB (CL)
C Oxygen index	Method A	%	ISO 4589-2	28
C Thermal conductivity, cross-flow	23 °C; 50 % r. h.	W/(m·K)	ISO 8302	0.20
C Resistance to heat (ball pressure test)		°C	IEC 60695-10-2	136
C Relative temperature index (Tensile strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	125
C Relative temperature index (Tensile impact strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	115
C Relative temperature index (Electric strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	125
C Glow wire test (GWF)	1.0 mm	°C	IEC 60695-2-12	850
C Glow wire test (GWF)	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-12	875
C Glow wire test (GWF)	3.0 mm	°C	IEC 60695-2-12	930
C Glow wire test (GWT)	0.75 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
C Glow wire test (GWT)	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
C Glow wire test (GWT)	3.0 mm	°C	IEC 60695-2-13	900
C Burning rate (US-FMVSS)	>=1.0 mm	mm/min	ISO 3795	passed
C Flash ignition temperature		°C	ASTM D1929	480
C Self ignition temperature		°C	ASTM D1929	550
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	3.1
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.0
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	5
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	95
C Volume resistivity		Ohm·m	IEC 60093	1E14
C Surface resistivity		Ohm	IEC 60093	1E16
C Electrical strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	34
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	250
C Comparative tracking index CTI M	Solution B	Rating	IEC 60112	125M
Other properties (23 °C)				
C Water absorption (saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	0.30
C Water absorption (equilibrium value)	23 °C; 50 % r. h.	%	ISO 62	0.12
C Density		kg/m ³	ISO 1183-1	1190
C Bulk density	Pallets	kg/m ³	ISO 60	660
Material specific properties				
C Refractive index	Procedure A	-	ISO 489	1.584
C Haze for transparent materials	3 mm	%	ISO 14782	< 0.5
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	1 mm	%	ISO 13468-2	90
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	2 mm	%	ISO 13468-2	90
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	3 mm	%	ISO 13468-2	> 89
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	4 mm	%	ISO 13468-2	> 89



Makrolon® LED2245

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Processing conditions for test specimens				
C Injection molding-Melt temperature		°C	ISO 294	280
C Injection molding-Mold temperature		°C	ISO 294	80
C Injection molding-Injection velocity		mm/s	ISO 294	200

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Impact properties: N = non-break, P = partial break, C = complete break



Makrolon® LED2245

Disclaimer

Typical value

These values are typical values only. Unless explicitly agreed in written form, they do not constitute a binding material specification or warranted values. Values may be affected by the design of the mold/die, the processing conditions and coloring/pigmentation of the product. Unless specified to the contrary, the property values given have been established on standardized test specimens at room temperature.

General

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance, information and recommendations to determine to your own satisfaction whether our products, technical assistance and information are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by Covestro. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale which are available upon request. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance, and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with any claim of any patent relative to any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent. With respect to health, safety and environment precautions, the relevant Material Safety Data Sheets (MSDS) and product labels must be observed prior to working with our products.

Disclaimer Non Medical Grade

This product is not designated for the manufacture of a medical device or of intermediate products for medical devices (1). [This product is also not designated for Food Contact (2), including drinking water, or cosmetic applications. If the intended use of the product is for the manufacture of a medical device or of intermediate products for medical devices, for Food Contact products or cosmetic applications Covestro must be contacted in advance to provide its agreement to sell such product for such purpose.] Nonetheless, any determination as to whether a product is appropriate for use in a medical device or intermediate products for medical devices, for Food Contact products or cosmetic applications must be made solely by the purchaser of the product without relying upon any representations by Covestro. 1) Please see the "Guidance on Use of Covestro Products in a Medical Application" document. 2) As defined in Commission Regulation (EU) 1831/2004.

Covestro AG
Polycarbonates Business Unit
Kaiser-Wilhelm-Allee 60
51373 Leverkusen
Germany
plastica@covestro.com
www.plastica.covestro.com

Page 4 of 4 pages

Edition 01.09.2015

 **Makrolon®**
ISO Datasheet

ПРІЛОHA ПIII: МАТЕРІАЛОВІ LIST LEXAN EXL1112



LEXAN™ Resin EXL1112 Europe-Africa-Middle East: LIMITED USE

LEXAN EXL1112 polycarbonate (PC) siloxane copolymer resin is a high flow opaque injection molding (IM) grade. This resin offers good low temperature (-20 C) ductility in combination with excellent processability and release with opportunities for shorter IM cycle times compared to standard PC. LEXAN EXL1112 resin is a product available in wide range of opaque colors and may be an excellent candidate for a wide variety of applications.

TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
MECHANICAL			
Tensile Stress, yld, Type I, 2.0 in/min	8400	psi	ASTM D 638
Tensile Stress, brk, Type I, 2.0 in/min	8500	psi	ASTM D 638
Tensile Strain, yld, Type I, 2.0 in/min	5.8	%	ASTM D 638
Tensile Strain, brk, Type I, 2.0 in/min	109	%	ASTM D 638
Tensile Modulus, 2.0 in/min	330000	psi	ASTM D 638
Flexural Stress, yld, 0.05 in/min, 2 in span	13700	psi	ASTM D 790
Flexural Modulus, 0.05 in/min, 2 in span	336000	psi	ASTM D 790
Tensile Stress, yield, 50 mm/min	57	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 50 mm/min	55	MPa	ISO 527
Tensile Strain, yield, 50 mm/min	5	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 50 mm/min	100	%	ISO 527
Tensile Modulus, 1 mm/min	2150	MPa	ISO 527
Flexural Stress, yield, 2 mm/min	85	MPa	ISO 178
Flexural Modulus, 2 mm/min	2240	MPa	ISO 178
Hardness, H358/30	95	MPa	ISO 2039-1
IMPACT			
Izod Impact, notched, 73°F	14	ft-lb/in	ASTM D 256
Izod Impact, notched, -22°F	12.5	ft-lb/in	ASTM D 256
Instrumented Impact Total Energy, 73°F	615	in-lb	ASTM D 3763
Izod Impact, unnotched 80°10'3 +23°C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, unnotched 80°10'3 -30°C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, notched 80°10'3 +23°C	55	kJ/m ²	ISO 180/1A

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 294.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.
 (3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.
 (4) Internal measurements according to UL standards.
 (5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded article.
 (6) Needs hard coat to consistently pass 50 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

DISCLAIMER: THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE (I) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS, UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE. SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

© 2017 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).



LEXAN™ Resin EXL1112
Europe-Africa-Middle East: LIMITED USE

TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
IMPACT			
Izod Impact, notched 80°10'3 -30°C	20	kJ/m ²	ISO 1801A
Charpy 23°C, V-notch Edgew 80°10'3 sp=62mm	60	kJ/m ²	ISO 1791eA
Charpy -30°C, V-notch Edgew 80°10'3 sp=62mm	25	kJ/m ²	ISO 1791eA
Charpy 23°C, Unnotch Edgew 80°10'3 sp=62mm	NB	kJ/m ²	ISO 1791eU
Charpy -30°C, Unnotch Edgew 80°10'3 sp=62mm	NB	kJ/m ²	ISO 1791eU
THERMAL			
Vicat Softening Temp, Rate B/50	291	°F	ASTM D 1525
HDT, 66 psi, 0.125 in, unannealed	278	°F	ASTM D 648
HDT, 264 psi, 0.125 in, unannealed	255	°F	ASTM D 648
CTE, flow, -40°F to 100°F	4.E-05	1/°F	ASTM E 831
CTE, xflow, -40°F to 100°F	4.2E-05	1/°F	ASTM E 831
CTE, 23°C to 80°C, flow	7.5E-05	1/°C	ISO 11359-2
CTE, 23°C to 80°C, xflow	7.5E-05	1/°C	ISO 11359-2
Ball Pressure Test, 125°C +/- 2°C	PASSES	-	IEC 60695-10-2
Vicat Softening Temp, Rate B/50	144	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/120	145	°C	ISO 306
HDT/Ae, 1.8 MPa Edgew 120°10'4 sp=100mm	125	°C	ISO 75/Ae
HDT/Be, 0.45 MPa edgew. Annealed 80°C, 4 hrs	136	°C	ISO 75/Be
Relative Temp Index, Elec	130	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/impact	120	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/o impact	125	°C	UL 746B
PHYSICAL			
Specific Gravity	1.18	-	ASTM D 792
Mold Shrinkage, flow, 0.125" (5)	0.4 - 0.8	%	SABIC Method
Mold Shrinkage, xflow, 0.125" (5)	0.4 - 0.8	%	SABIC Method

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 294.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.

(3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

(4) Internal measurements according to UL standards.

(5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded article.

(6) Needs hard coat to consistently pass 60 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

DISCLAIMER: THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE (I) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.
 ©2017 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).



LEXAN™ Resin EXL1112
Europe-Africa-Middle East: LIMITED USE

TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
PHYSICAL			
Melt Flow Rate, 300°C/1.2 kgf	17	g/10 min	ASTM D 1238
Density	0.04	lbf/in ³	ISO 1183
Water Absorption, equilibrium, 73°F	0.35	%	ISO 62
Moisture Absorption (23°C / 50% RH)	0.15	%	ISO 62
Melt Volume Rate, MVR at 300°C/1.2 kg	16	cm ³ /10 min	ISO 1133
FLAME CHARACTERISTICS			
Glow Wire Flammability Index 850°C, passes at	0.031	in	IEC 60695-2-12
Glow Wire Flammability Index 960°C, passes at	0.118	in	IEC 60695-2-12
Glow Wire Ignitability Temperature, 1.0 mm	875	°C	IEC 60695-2-13
Glow Wire Ignitability Temperature, 3.0 mm	875	°C	IEC 60695-2-13
Oxygen Index (LOI)	32	%	ISO 4589

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 294.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.

(3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

(4) Internal measurements according to UL standards.

(5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded articles.

(6) Needs hard coat to consistently pass 60 sec Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

DISCLAIMER: THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE (I) THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (II) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

©2017 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).



LEXAN™ Resin EXL1112
Europe-Africa-Middle East: LIMITED USE

PROCESSING PARAMETERS	TYPICAL VALUE	Unit
Injection Molding		
Drying Temperature	250	°F
Drying Time	3 - 4	hrs
Drying Time (Cumulative)	48	hrs
Maximum Moisture Content	0.02	%
Melt Temperature	580 - 600	°F
Nozzle Temperature	550 - 590	°F
Front - Zone 3 Temperature	580 - 600	°F
Middle - Zone 2 Temperature	540 - 580	°F
Rear - Zone 1 Temperature	420 - 560	°F
Mold Temperature	160 - 200	°F
Back Pressure	50 - 100	psi
Screw Speed	40 - 70	rpm
Shot to Cylinder Size	40 - 60	%
Vent Depth	0.001 - 0.003	in

• NOTE: Back Pressure, Screw Speed, Shot to Cylinder Size and Vent Depth are only mentioned as general guidelines. These may not apply or need adjustment in specific situations such as low shot sizes, thin wall molding and gas-assist molding.

(1) Typical values only. Variations within normal tolerances are possible for various colors. All values are measured after at least 48 hours storage at 23°C/50% relative humidity. All properties, except the melt volume and melt flow rates, are measured on injection molded samples. All samples tested under ISO test standards are prepared according to ISO 294.

(2) Only typical data for selection purposes. Not to be used for part or tool design.

(3) This rating is not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

(4) Internal measurements according to UL standards.

(5) Measurements made from laboratory test coupon. Actual shrinkage may vary outside of range due to differences in processing conditions, equipment, part geometry and tool design. It is recommended that mold shrinkage studies be performed with surrogate or legacy tooling prior to cutting tools for new molded article.

(6) Needs hard coat to consistently pass 50 sec-Vertical Burn.

Source GMD, last updated:

PLEASE CONTACT YOUR LOCAL SALES OFFICE FOR AVAILABILITY IN YOUR AREA

DISCLAIMER: THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SAUDI BASIC INDUSTRIES CORPORATION (SABIC) OR ITS SUBSIDIARIES OR AFFILIATES (SELLER) ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH ARE AVAILABLE UPON REQUEST. INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED IN THIS DOCUMENT ARE GIVEN IN GOOD FAITH. HOWEVER, SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED REPRESENTATION, WARRANTY OR GUARANTEE, IN THAT ANY RESULTS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (B) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN OR APPLICATION INCORPORATING SELLER'S MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS, UNLESS OTHERWISE PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE. SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS MATERIALS, PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS DESCRIBED IN THIS DOCUMENT.

Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's materials, products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use and other testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. Statements by Seller concerning a possible use of any material, product, service or design do not, are not intended to, and should not be construed to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of any material, product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC and brands marked with ™ are trademarks of SABIC or its subsidiaries or affiliates.

©2017 Saudi Basic Industries Corporation (SABIC).