

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE TLOUŠŤKY STĚNY TĚLESA SVĚTLOMETU

OPTIMIALIZATION OF WALL THICKNESS FOR HEADLAMP BODY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. RADIM PROKEŠ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Prokeš Radim, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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

Optimalizace tloušťky stěny tělesa světlometu

v anglickém jazyce:

Optimization of wall thickness for headlamp body

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě stávajícího tvaru plastového dílce vypracovat řešení na technologii vstřikování plastů do forem včetně technologie vstřikování s podporou plynu, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy včetně potřebných výpočtů pro minimalizaci tloušťky stěny plastového dílce.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je stanovení optimální technologie výroby pro minimalizaci tloušťky stěny a tím i snížení ceny daného plastového dílce na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na těleso světlometu z plastu podložený technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

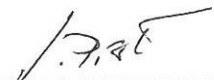
- ŠTĚPEK, Jiří, ZELINGER, Jiří, KUTA, Antonín. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava : SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- SOVA, Miloš, KREBS, Josef. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
- MENGES, Georg, MOHREN, Paul. How to Make Injection Molds. 2nd edition. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus


Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 18.11.2009





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

PROKEŠ Radim: Optimalizace tloušťky stěny tělesa světlometu.

Tento projekt se zabývá problematikou optimalizace tloušťky stěny plastového tělesa světlometu pomocí simulační moldflow analýzy. Jsou zde zmíněny základní informace o plastech a jejich dělení. Dále pak popis vstřikovacího procesu, vstřikovacích strojů a forem. Zmíněny jsou i zásady pro návrh a konstrukci plastového dílce.

V aplikaci Moldflow Plastics Insight 6.0 je pro navržené těleso světlometu provedena simulace zatékání taveniny. Na základě analýzy je vypracován návrh redukce tloušťky stěny tělesa světlometu se zohledněním požadovaných vlastností na těleso. Obsahuje též technicko-ekonomické zhodnocení přínosu optimalizace.

Klíčová slova: Světlomet, těleso světlometu, vstřikování, termoplast, moldflow analýza, vstřikovací forma.

ABSTRACT

PROKEŠ Radim: Optimization of wall thickness for headlamp body.

This project is concerned with the issue of the thickness optimization of the wall thickness of the plastics headlamp housing by the simulation Moldflow analyse. There are mentioned the basic information about the plastic materials and their dividing over there. Furthermore the description of the injection process, the injection machines and the tools is included. The principles of the proposal and the construction of the plastics part is also mentioned here.

In the application of the Moldflow Plastics Insight 6.0 there is provided the simulation of the melt moldflow for the proposed headlamp housing. Based on this analyse the proposal of the thickness reduction of the wall thickness of the headlamp housing is worked out with the aspect on the required qualities. It also contains the techno-economic estimation of the benefit optimization.

Key words: Headlamp, housing, injection, thermoplast, moldflow analysis, injection form.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PROKEŠ, Radim. *Optimalizace tloušťky stěny tělesa světlometu*. Brno, 2010. 56 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci na téma "Optimalizace tloušťky stěny tělesa světloometu" jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené odborné literatury a pramenů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 25.5.2010

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Bohumilu Kandusovi za vedení a technické konzultace. Zároveň děkuji vedoucímu konstrukční kanceláře firmy Automotive Lighting s.r.o. Ing. Pavlu Zemanovi za poskytnutí výpočetní techniky pro zpracování výkresové dokumentace.

OBSAH

Titulní list

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Prohlášení

Poděkování

| Obsah | Str. |
|---|------|
| 1 ÚVOD | 11 |
| 2 TEORIE PLASTŮ | 12 |
| 2.1 Základní informace o plastech | 12 |
| 2.2 Struktura polymerů | 12 |
| 2.3 Výroba polymerů | 13 |
| 2.4 Rozdělení polymerů | 13 |
| 2.5 Příspěvy polymerů | 16 |
| 2.6 Chování polymerů při vstřikování | 17 |
| 3 VSTŘIKOVÁNÍ | 18 |
| 3.1 Zařízení pro vstřikování plastů | 18 |
| 3.1.1 Rozdělení vstřikovacích strojů | 18 |
| 3.1.2 Vstřikovací jednotka | 18 |
| 3.1.3 Uzavírací jednotka | 19 |
| 3.1.4 Pohon stroje | 20 |
| 3.2 Technologické parametry | 20 |
| 3.3 Fáze vstřikování | 21 |
| 3.4 Vstřikování s podporou plynu | 23 |
| 4 VSTŘIKOVACÍ FORMA | 25 |
| 4.1 Části forem | 25 |
| 4.2 Vtokový systém | 26 |
| 4.3 Temperační systém | 26 |
| 4.4 Vyhazovací mechanismy | 26 |
| 4.5 Postup při konstrukci formy | 26 |
| 5 OBECNÉ ZÁSADY PRO KONSTRUKCI PLASTOVÝCH DÍLŮ | 27 |
| 5.1 Dělicí rovina | 27 |
| 5.2 Tloušťka stěn | 27 |
| 5.3 Výstužná žebra | 27 |
| 5.4 Zaoblení hran, úkosy | 27 |
| 6 PROJEKT DC 204 FL | 28 |
| 6.1 Světlomet DC 204 FL | 28 |
| 6.2 Těleso světlometu | 29 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 7 | POUŽITÉ APLIKACE | 30 |
| | 7.1 Catia V5 R19 | 30 |
| | 7.2 Molflow Plastics Insight 6.0 | 30 |
| 8 | MOLDFLOW ANALÝZA | 31 |
| | 8.1 Specifikace podmínek pro analýzu | 31 |
| | 8.2 Návrh testovaných variant | 32 |
| | 8.3 Test A | 32 |
| | 8.3.1 Návrh vtoku | 32 |
| | 8.3.2 Čas plnění | 33 |
| | 8.3.3 Tlak na konci plnění | 34 |
| | 8.4 Test B | 35 |
| | 8.4.1 Oblast redukované tloušťky stěny | 35 |
| | 8.4.2 Návrh vtoku | 36 |
| | 8.4.3 Čas plnění | 36 |
| | 8.4.4 Tlak na konci plnění | 38 |
| | 8.5 Test C | 38 |
| | 8.5.1 Oblast redukované tloušťky stěny | 38 |
| | 8.5.2 Návrh vtoku | 39 |
| | 8.5.3 Čas plnění | 40 |
| | 8.5.4 Tlak na konci plnění | 41 |
| | 8.6 Test D | 42 |
| | 8.6.1 Oblast redukované tloušťky stěny | 42 |
| | 8.6.2 Návrh vtoku | 43 |
| | 8.6.3 Čas plnění | 43 |
| | 8.6.4 Tlak na konci plnění | 45 |
| 9 | TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ | 46 |
| | 9.1 Technické zhodnocení | 46 |
| | 9.2 Ekonomické zhodnocení | 46 |
| 10 | VSTŘIKOVACÍ FORMA | 47 |
| 11 | ZÁVĚR | 50 |
| 12 | RESUMÉ | 51 |
| | Seznam použitých zdrojů | 52 |
| | Seznam použitých symbolů a zkratk | 53 |
| | Seznam obrázků a tabulek | 54 |
| | Seznam příloh | 56 |

1 ÚVOD

Od svých počátků prodělalo odvětví automobilového průmyslu velice dynamický růst. A to nejen co do množství vyráběných automobilů, ale především ve vývoji a používání nových materiálů a technologií.

Světelná technika, jakožto nedílná součást automobilu, tohoto procesu nebyla ušetřena. Na osvětlení byly v průběhu času kladeny stále nové požadavky. Byly požadovány nové funkce. Od pouhého osvětlení prostoru před vozidlem postupně přibývaly ukazatel směru, rozlišení potkávacího a dálkového světla, světla do mlhy, rohová světla. Z hlediska bezpečnosti provozu se klade důraz na stále lepší osvětlení a tím je nutné vyvíjet i nové zdroje světla. Plynové svítilny byly nahrazeny elektrickým osvětlením žárovkami, Xenonovými výbojkami a dnes trend směřuje k využívání LED diod.



Obr. 1.1 Vývoj světlometů

Vývojem prošly i používané materiály. Dnes se většinou používají pro světlometry plasty. Díky novým materiálům se otevřely možnosti zejména pro design, je možné vyrobit i tvarově složité díly. S tím souvisí i používané výrobní technologie. Převládající je vstřikování plastů do forem.

Tlak na zkracování doby vývoje a výroby světlometu a na snížení nákladů vedl k většímu využívání různých simulačních aplikací, které umožňují provádět analýzy vstřikovacího procesu, mechanického namáhání součástí, simulace montáží již v průběhu vývoje.

Tato práce se zabývá jen jednou částí tohoto procesu a to simulací vstřikování taveniny do formy a optimalizací tloušťky stěny dílce. Úspora materiálu je pak přínosem nejen ekonomickým, ale také ekologickým, neboť každé snížení celkové hmotnosti vozidla se projeví na snížených emisích škodlivin do ovzduší.

Jedním z předních výrobců automobilové světelné techniky je koncern Automotive Lighting, z jehož české pobočky vzešlo zadání této práce. Firma Automotive Lighting má 30% podíl na trhu a mezi její zákazníky patří automobilky jako např. BMW, Daimler, VW, Škoda, Audi, Peugeot, Honda, Kia, Hyundai a další.

2 TEORIE PLASTŮ

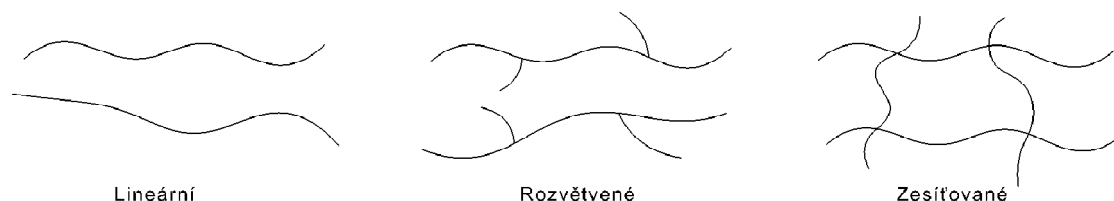
2.1 Základní informace o plastech

Plasty jsou materiály, jejichž základem jsou makromolekulární látky - polymery. Polymer je makromolekula, v níž jsou vzájemně pospojovány chemickými vazbami jednoduché látky, zvané mery (monomery). Jednotka, která vznikla z molekuly monomeru, se nazývá monomerní jednotka (nebo také stavební či strukturální jednotka).

Polymery dle svého vzniku dělíme na přírodní (bílkoviny, polysacharidy, kaučuky, přírodní pryskyřice) nebo syntetické (termoplasty, reaktoplasty, syntetické elastomery aj.). V kombinaci s dalšími látkami vznikají vícekomponentní materiály. [4]

2.2 Struktura polymerů

Podle struktury makromolekul dělíme polymery na lineární, rozvětvené a síťované.



Obr. 2.1 Polymerní řetězce

Pro polymery připravované z bifunkčních monomerů je typické, že jsou jejich monomerní jednotky spojeny do lineárních řetězců. V některých případech jsou řetězce ve skutečnosti mírně rozvětvené v důsledku nepravidelnosti polymeračního procesu. Trojrozměrná síťovaná struktura může vzniknout buď v procesu přípravy polymeru, anebo dodatečným spojením hotových lineárních řetězců prostřednictvím příčných vazeb.

Velikost makromolekul charakterizuje jejich molární hmotnost M nebo polymerační stupeň P , mezi nimiž platí vztah $P = \frac{M}{M_0}$, kde M_0 je molekulární hmotnost monomeru.

Struktura polymerů určuje fyzikální, chemické vlastnosti a také mechanické chování materiálu. Pro výsledné vlastnosti má veliký vliv velikost mezimolekulárních sil. Jsou-li tyto síly malé, výsledný materiál je pak relativně ohebný a pružný. Jakmile jsou mezimolekulární síly veliké, polymer má velkou odolnost proti deformacím.

Polymerní látky, zejména lineární a málo větvené, jsou schopné částečné krystalizace a to buď z velmi zředěných roztoků anebo taveniny. Všechny polymery ve formě taveniny jsou prakticky amorfní. Při ochlazování dochází k částečnému uspořádání makromolekul a tvorbě nadmolekulární krystalické struktury. Makromolekuly příliš větvené nebo s prostorově velkými substituenty nebo síťované zůstávají i po ochlazení amorfní. [1,4]

2.3 Výroba polymerů

Syntetické polymery vznikají polyreakcemi, což je chemický proces, při němž přecházejí monomerní jednotky na makromolekulární látky - polymery. Rozeznáváme tři základní typy polyreakcí.

- **Polymerace**
molekuly monomeru se slučují ve větší celky, aniž při reakci vzniká vedlejší produkt. Polymerace probíhá řetězovým mechanismem a je podmíněna přítomností nenasycených vazeb. [4]
- **Polyadice**
dochází při ní ke spojování sloučenin s několikanásobnými vazbami adičními reakcemi se sloučeninami s vhodnými funkčními skupinami. [4]
- **Polykondenzace**
makromolekuly vznikají z jednoduchých molekul obsahujících alespoň dvě reaktivní skupiny za současného odštěpování malých molekul - nízkomolekulární zplodiny. Polykondenzáty mají proto jiné složení než látky, ze kterých vznikly. [4]

2.4 Rozdělení polymerů

A) Termoplasty

Makromolekuly jsou zde poutány jen fyzikálními vazbami. Při zvýšené teplotě proto postupně měknou a přecházejí do taveniny. Při opětovném ochlazení tvrdnou.

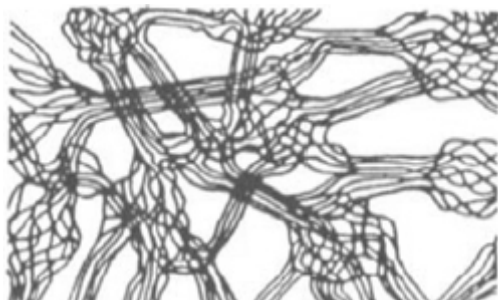
Termoplasty ještě můžeme rozlišit

- Amorfní - náhodná nepravidelná struktura. Neobsahují žádné krystaly, jsou většinou transparentní. Relativně nízké smrštění proti formě (<1%) a dominantní význam teploty T_g jak pro vstřikování, tak jako hranice teplotního použití výstřiku.



Obr. 2.2 Struktura amorfního termoplastu [5]

- Semikrystalické - mají místa pravidelné struktury, kde makromolekuly tvoří krystaly. V důsledku toho nemohou být transparentní. Čím vyšší stupeň krystality tím vyšší modul pružnosti, ale klesá sklon k tečení a houževnatost. Mají větší smrštění (>1%). Dominantní teplotou není T_g , ale teplota tání krystalického podílu T_m . Do této teploty si materiál zachovává určitou pevnost a tuhost.



Obr. 2.3 Struktura semikrystalického termoplastu [5]

Následující tabulka zobrazuje porovnání amorfních a semikrystalických termoplastů a jejich chování:

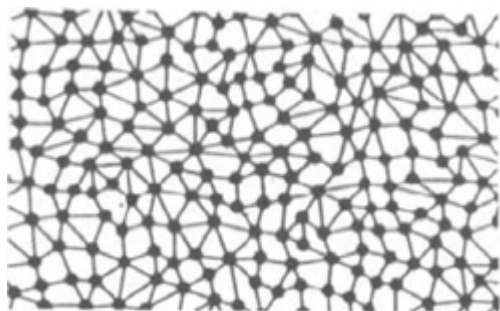
| Vlastnost | Amorfní termoplasty | Semikrystalické term. |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| Mechanické vlastnosti | 0 | + |
| Tok za studena | + | 0 |
| Chemická odolnost | - | + |
| Ohybová pevnost | - | + |
| Vrubová citlivost | - | 0 |
| Teplota použití | 0 | + |
| Kritická teplota ohřevu | T_g | T_m |
| smrštění | 0,3-0,8% | 1-3% |

+ výhodnější ; - méně výhodné ; 0 stejné

Tabulka 2.1 Amorfní a semikrystalické termoplasty a jejich chování [4]

B) Reaktoplasty (termosety či duroplasty)

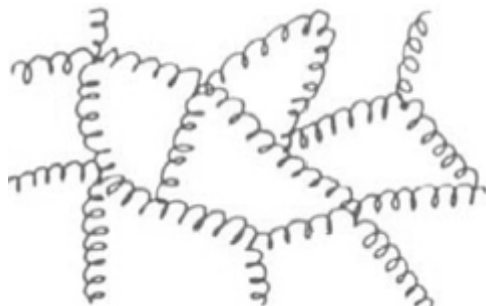
Makromolekuly jsou propojeny do husté souvislé sítě. To má za následek, že se ze vzrůstající teplotou netaví, naopak ještě obvykle zvyšují svoji tuhost a tvrdost. Při příliš vysoké teplotě reaktoplasty degradují či dokonce hoří.



Obr. 2.4 Struktura reaktoplastu [5]

C) Elastomery (kaučuky)

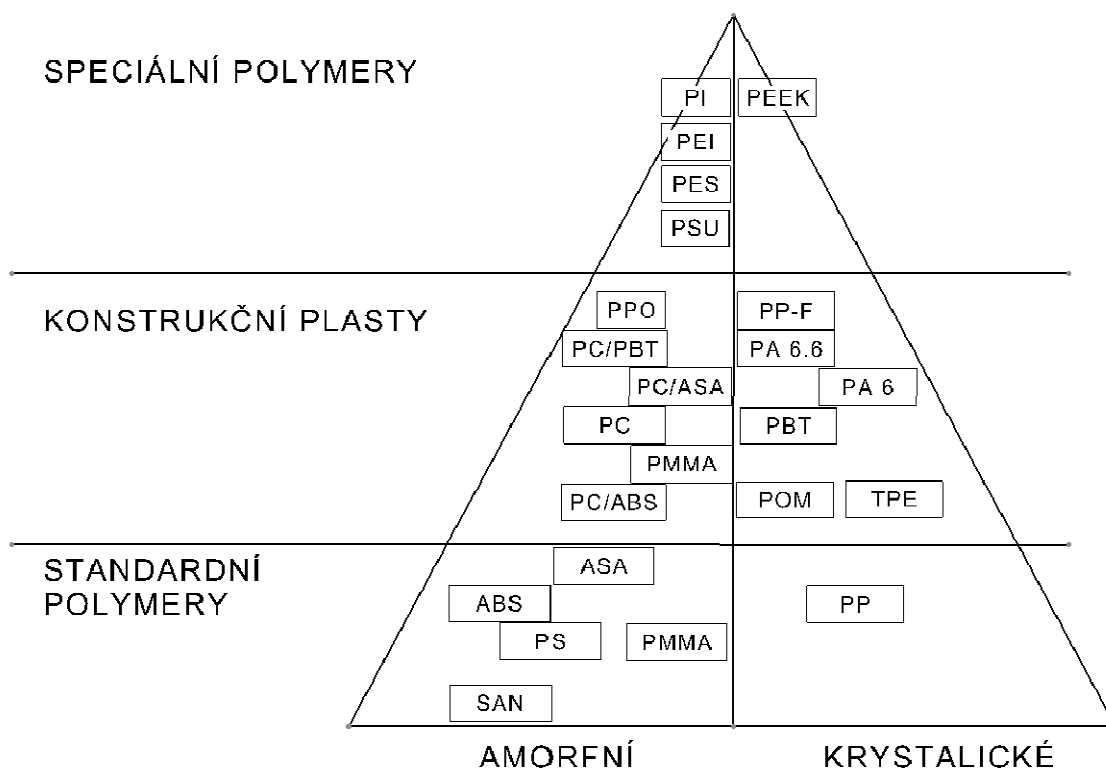
Makromolekuly mají prostorově zesíťovanou strukturu s nízkou hustotou sítě. Mezimolekulární síly jsou zde velice nízké. Elastomery jsou schopné velkých deformací.



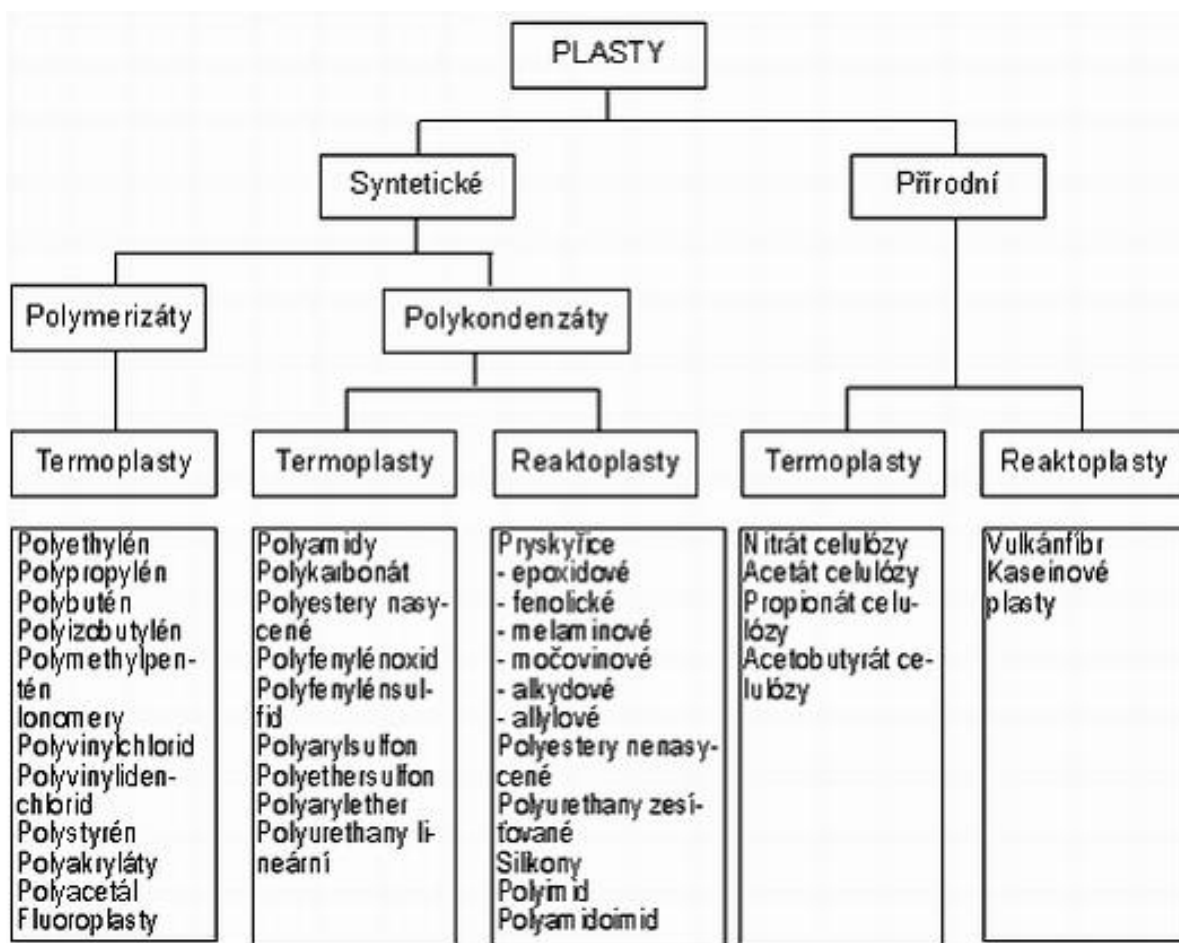
Obr. 2.5 Struktura elastomeru [5]

Rozdělení polymerů můžeme provést také dle použití v praxi.

- standardní polymery - největší objem výroby, nejlevnější
- konstrukční plasty - vyšší užitné vlastnosti, vyšší tepelná odolnost, výrazně dražší
- speciální polymery - velice drahé, ale nabízejí vysoké užitné vlastnosti



Obr. 2.6 Přehled plastů dle použití [6]



Obr. 2.7 Schema rozdělení přírodních a syntetických polymerů [2]

2.5 Přísady polymerů

Za účelem zlepšení některých vlastností polymerů se přidávají různé přísady. Ty jsou rozptýleny v materiálu a ovlivňují jak chování polymeru při zpracovatelském procesu tak i výsledné vlastnosti výrobku.

Podle svého účinku na základní vlastnosti polymeru lze přísady rozdělit na:

A. Přísady s ochranným účinkem

- stabilizátory termooxidační - zvýšení hranice teploty a doby použití
- UV stabilizátory - odolnost vůči atmosférickému stárnutí
- zhášedla - snížení či zamezení hořlavosti plastu
- antioxidanty

B. Přísady měnící fyzikální vlastnosti

- změkčovadla (plastifikátory) - snížení tuhosti a tvrdosti, zvýšení ohebnosti, tažnosti a houževnatosti základního polymeru
- maziva
- pigmenty
- optické zjasňovací prostředky
- nadouvadla

- antistatické přísady
- plniva - grafit, práškový kov, skleněná, uhlíková a bavlněná vlákna, křída, kaolin, mastek, čedič...

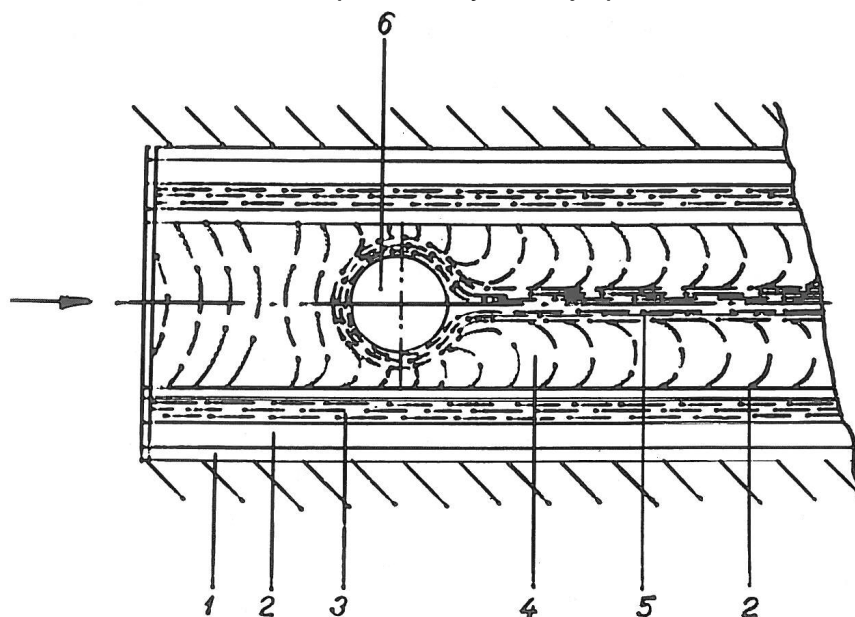
2.6 Chování polymerů při vstřikování

Při vstřikování nastává u polymerů díky působení značného smykového namáhání k orientaci makromolekulárních řetězců, popřípadě u vlákniny vyztužených termoplastů k orientaci vláken.

Orientace je příčinou anizotropie pevnostních hodnot materiálu, smrštění a má významný vliv na rozměrovou stálost výstřiku. U amorfních termoplastů byl experimentálně vysledován vliv teploty taveniny a vstřikovací rychlosti na anizotropii výstřiku. Obecně platí, že čím je vstřikovací rychlost vyšší, tím vyšší je anizotropie výstřiku a se vzrůstající teplotou taveniny, anizotropie klesá. [8]

Jak již bylo zmíněno, při vstřikování dochází i k orientaci vláknitých plniv. Vláknitá plniva mají významný vliv na anizotropii smrštění. Zatímco u neplněných termoplastů je anizotropie smrštění velmi malá, u vlákniny vyztužených je značná. S tím je nutno počítat zejména při navrhování tvarových dutin forem. [8]

Samotná orientace vláken v průřezu výstřiku je patrná z obr. 2.8.



Obr. 2.8 Orientace vláken po průřezu výstřiku [4]

1 - povrchová vrstva, 2 - nepravidelné uspořádání, 3 - orientace ve směru toku, 4 - orientace kolmo ke směru toku, 5 - orientace ve směru toku, 6 - zálisek, jádro

Těsně u povrchu je uspořádání vláken nepravidelné, pod povrchem převládá orientace ve směru toku taveniny. Ve středu výstřiku jsou vlákna orientována kolmo ke směru toku. V případě, že tavenina narazí na překážku, změní se orientace ve střední části – převládne orientace ve směru toku. [4]

3 VSTŘIKOVÁNÍ

Při tváření plastů vstřikováním se zpracovává polymer v roztaveném stavu tlakem vstřikuje do tvarové dutiny formy. Mezi vstřikováním termoplastů a reaktoplastů se vyskytují rozdíly. Obecně lze říct, že při vstřikování termoplastů je teplota taveniny mnohem vyšší než teplota formy, kde pak roztavený polymer chladne a tuhne. Zatímco při vstřikování reaktoplastů je teplota formy vyšší než teplota taveniny a materiál se v ní tedy nejen formuje do požadovaného tvaru, ale vytvrzuje a vytváří tak tuhý výstřik snadno vyjmutelný z formy.

3.1 Zařízení pro vstřikování plastů

Úkolem vstřikovacího stroje je převést granulát do taveniny, tuto taveninu dopravit a vstříknout do tvarové dutiny formy a po ochlazení vyhodit výstřik.

Nejdůležitější části vstřikovacího stroje jsou uzavírací a plastikační jednotka. V součinnosti se vstřikovacím strojem se používá celá řada periferních zařízení, jako jsou: zásobníky granulátu, sušárny granulátu, manipulátory, pásové dopravníky a další.

3.1.1 Rozdělení vstřikovacích strojů

Dle vstřikovaného materiálu:

- vstřikování termoplastů
- vstřikování reaktoplastů
- vstřikování pryží

Dle způsobu plastikace:

- se šnekovou plastikační jednotkou
- s pístovou plastikační jednotkou

Dle způsobu vyvození uzavírací síly:

- s plně hydraulickou uzavírací jednotkou
- s mechanicko-hydraulickou uzavírací jednotkou
- s kombinovanou uzavírací jednotkou

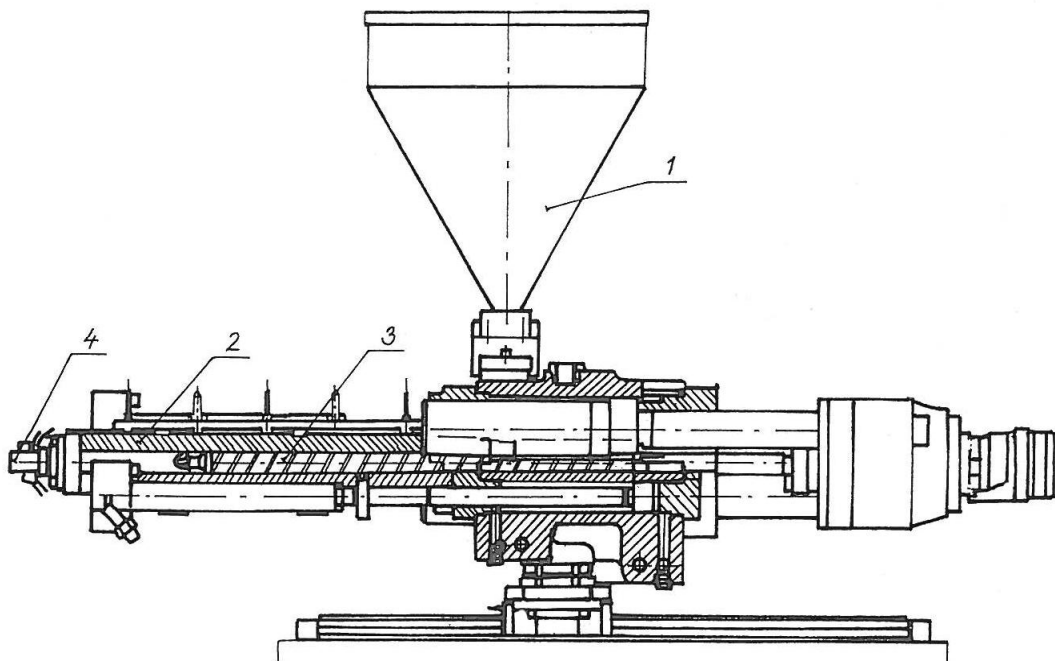
Dle polohy uzavírací a vstřikovací jednotky:

- se vstřikem kolmo na dělicí rovinu
- se vstřikem do dělicí roviny

3.1.2 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka má dvě hlavní funkce. První je připravit taveninu polymeru tak, aby byla viskózně homogenní. Druhou funkcí je dopravit tuto taveninu do formy.

Mezi hlavní části šnekové vstřikovací jednotky (obr. 3.1.) patří: násypka (1), tavná komora s elektrickým odporovým topením (2), šnek se zpětným uzávěrem (3), vstřikovací tryska (4).



Obr. 3.1 Vstřikovací jednotka [4]

Z násypky je granulát dopravován radiálním pohybem šneku do tavné komory. Natavovaný materiál je posouván a hromadí se před čelem šneku. Ten je současně posouván do předem definované zadní polohy. Poloha je definována velikostí dávky.

Elektrické odporové topení tavné komory je obvykle rozděleno do 3-5 pásem. Část tepelné energie potřebné k natavení granulátu vzniká třením mezi materiálem a stěnou tavného válce.

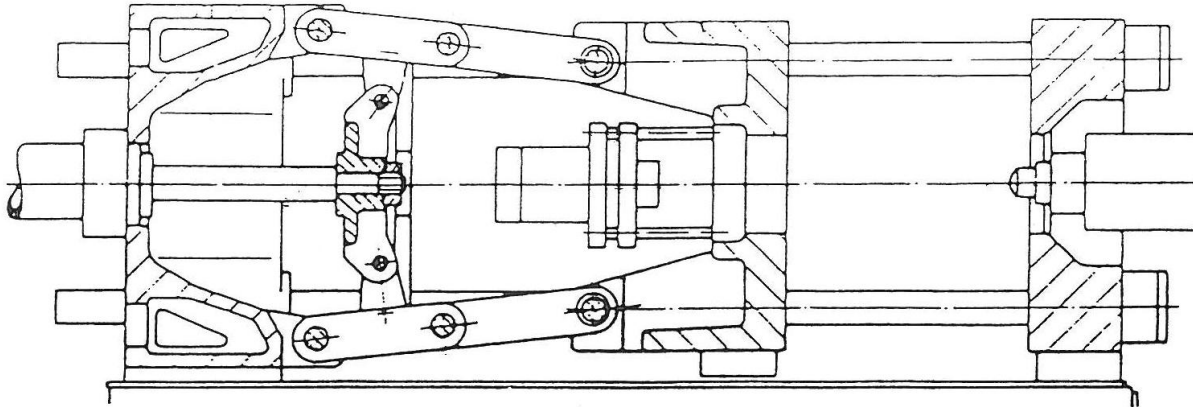
Tavná komora je pak zakončena tryskou, ta má své topení.

3.1.3 Uzavírací jednotka

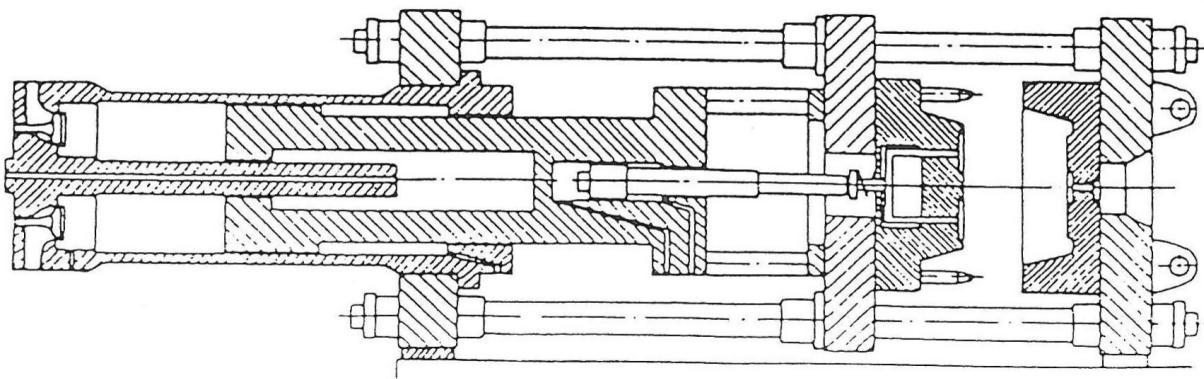
Úkolem uzavírací jednotky je zajistit uzavření a otevření formy a vyvinout požadovanou uzavírací sílu.

Hlavní části uzavírací jednotky jsou upínací desky, opěrná deska, vodící tyče, uzavírací a vyhazovací mechanismus.

Jak již bylo zmíněno dříve, uzavírací mechanismus může být plně hydraulický (obr. 3.3.), hydraulicko-mechanický (obr. 3.2.) nebo kombinovaný. Výhodou hydraulického je možnost snadného programování rychlosti uzavírání a otevírání, uzavírací síly a hloubky otevření formy. Hydraulicko-mechanická jednotka je konstruována jako kloubový mechanismus, který umožňuje o něco vyšší rychlost uzavírání a otevírání formy než hydraulická jednotka.



Obr. 3.2 Hydraulicko-mechanický kloubový uzávěr [4]



Obr. 3.3 Hydraulický uzávěr s centrálním válcem [4]

3.1.4 Pohon stroje

Pohony vstřikovacích strojů jsou převážně hydraulické. U menších strojů se můžeme setkat s pohonem pneumatickým. U některých nových strojů se objevuje pohon plně elektrický či kombinace hydraulicko-elektrický pohon.

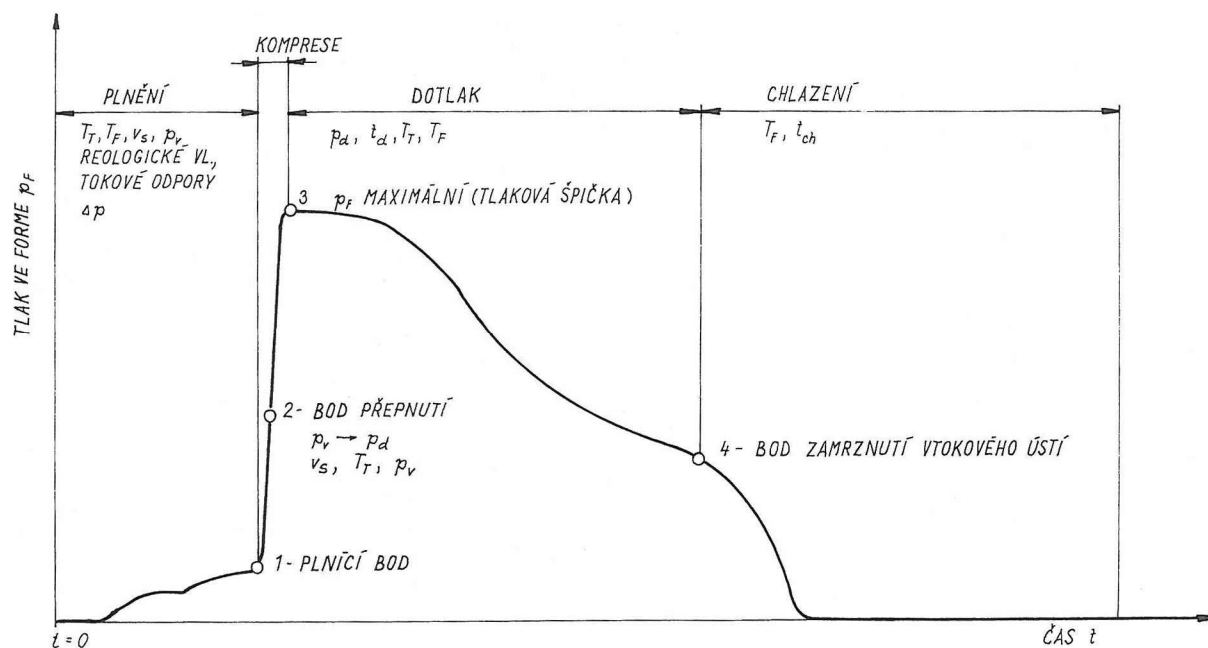
3.2 Technologické parametry

- Teplota taveniny - teplota roztaveného plastu před vstupem do vtokové soustavy a tvarové dutiny formy.
- Teplota formy – teplota povrchu formy po otevření a vyjmutí výstřiku. Tato teplota se během procesu mění, hodnota je tedy informativní pro výpočet doby chlazení a teploty temperanční kapaliny.
- Vstřikovací tlak a dotlak – tlak na čele šneku ve fázi plnění a dotlaku
- Tlak ve formě – nejpřesnější obraz o stavu taveniny, informace o tlakových ztrátách v trysce, vtokové soustavě a v tvarové dutině.
- Vstřikovací rychlost – množství taveniny plastu, obvykle uvedené v objemových jednotkách, které proteče definovaným průřezem trysky vstřikovacího stroje za 1 s.
- Vstřikovací cyklus – určuje jednotlivé fáze vstřikování důležité z hlediska kvality výstřiku.

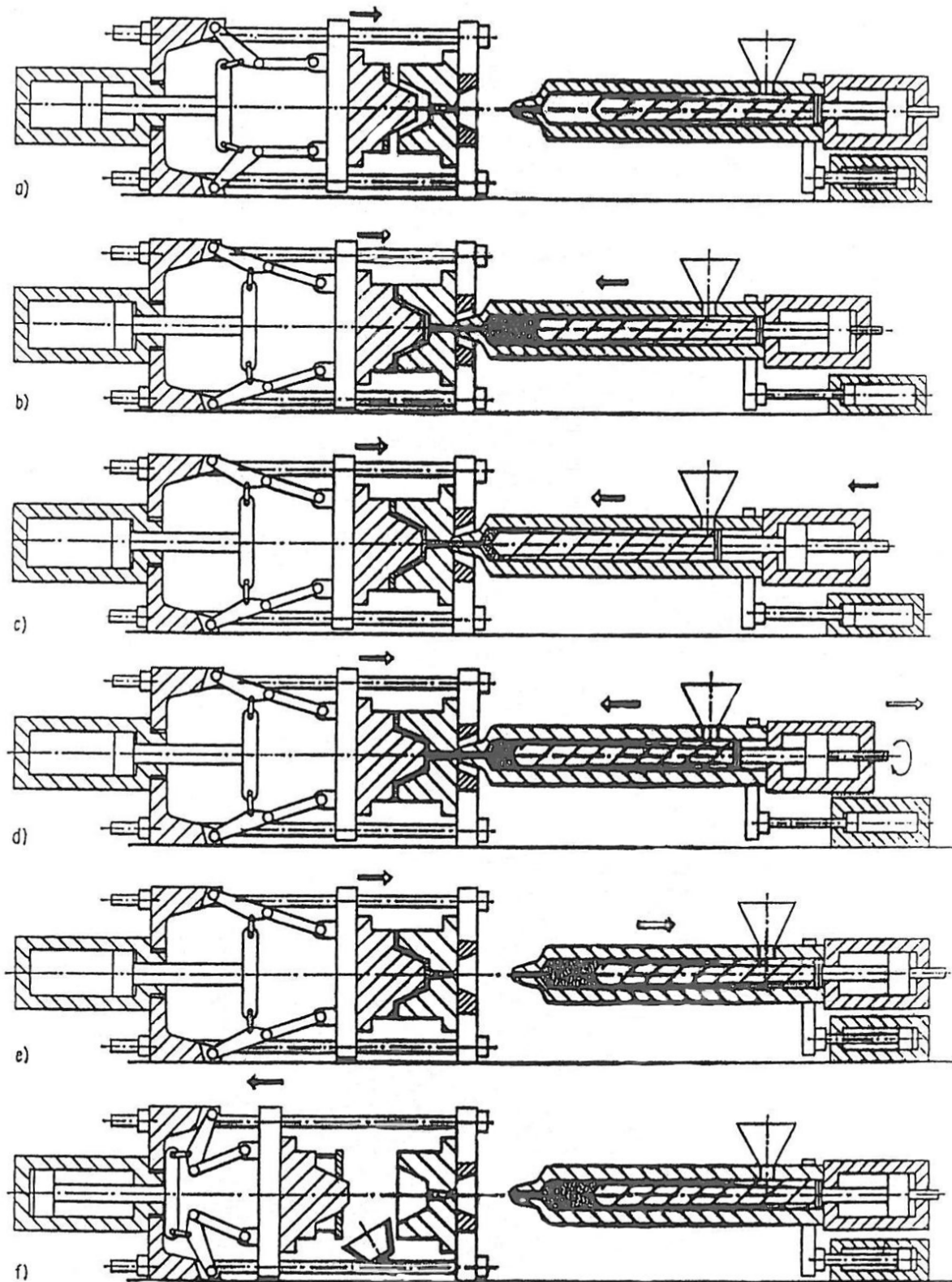
3.3 Fáze vstřikování

Jednotlivé fáze vstřikovacího cyklu jsou znázorněny na obr. 3.5.

Prvním krokem je uzavření formy (a). Současně s tím dochází k převedení granulátu v taveninu v plastikační jednotce. Šnek zde vykonává rotační pohyb a tavenina je shromažďována před čelem šneku. Po uzavření formy je vyvolána přidržovací síla a plastikační jednotka přijíždí k formě (b). Následuje vstřik taveniny axiálním pohybem šneku, přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak a také začíná chlazení výstřiku (c). Po skončení dotlaku se dávkuje nový granulát, který se opět převádí v taveninu (d) a plastikační jednotka odjíždí od formy (e). Po dostatečném ochlazení výstřiku se forma otevírá a výstřik je vyhozen (f).



Obr. 3.4 Průběh tlaku ve formě během vstřikovacího cyklu [4]



Obr. 3.5 Schéma vstřikovacího cyklu [4]

3.4 Vstřikování s podporou plynu

Jedná se o speciální technologii (GIT), která je ekvivalentem vstřikování termoplastů s možností vyrábět díly s uzavřenými dutinami, které jsou vytvořeny „ničím“, kdy se do určitých míst výstřiku za účelem vytvoření dutiny přivádí plyn, většinou dusík, čímž se vytvoří výlisek o zdánlivě velkém průřezu, přičemž odpadne nutnost chladit velké množství roztavené plastické hmoty. Jako plynu je použito vysoce čistého dusíku (čistota min. 99,8 %) s možností jeho stlačování v rozsahu 10 až 30 MPa.

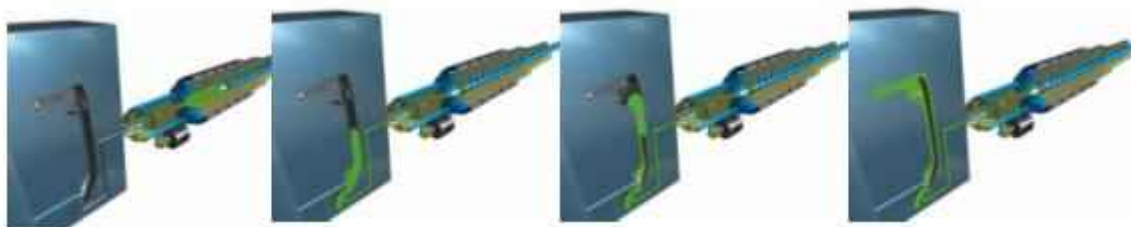
Přínosem GIT (*gas injection technology*) je snížení uzavíracích sil, snížení smrštění, zkrácení délky cyklu (zkrácení doby chlazení vlivem zmenšení tloušťky stěny při zachování chladicí plochy nástroje), snížení hmotnosti výrobku, nízká deformace ploch výrobků, vysoký stupeň tuhosti u dílů s žebry a zachování požadovaných mechanických vlastností. Dále pak minimalizace deformací výstřiku, vzniku staženin, snížení spotřeby plastů a tím i výraznou úsporu nákladů na granulát.

Technologie GIT se dá použít pro většinu plastů, např. pro PE, PP, PS, ABS, PA, SAN, PPO, PC, PBT, PC/PBT, TPU, TPE, ale i pro plněné termoplasty. Nevýhodou technologie GIT je vyšší cena nástroje a stroje, problematické chlazení v místech kanálů, řízení procesu.

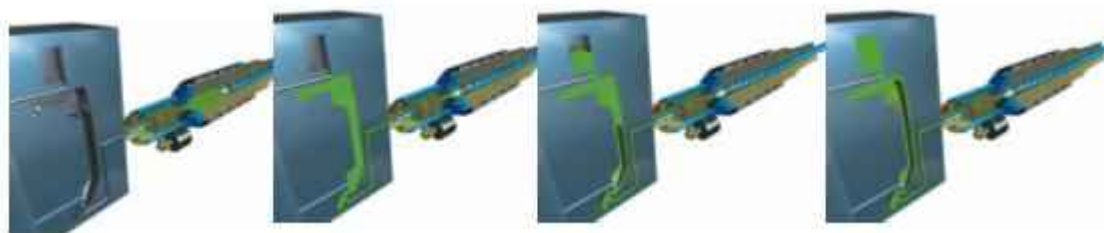
Průběh vstřikovacího cyklu je obdobný jako u klasické technologie vstřikování. Tedy zavření formy, vstřik, dotlak, chlazení, otevření formy a vyhození výrobku. Tlak plynu zde však přebírá funkci dotlaku. K tomu je ovšem nezbytné kontrolovat směr pohybu plynu pomocí konstrukce tvaru. Žebra a rozdílné tloušťky stěn potom slouží k vedení plynu.

Rozlišit můžeme dvě možné techniky tvorby dutiny.

- Jedná se o tzv. krátký vstřik, dofukovací způsob, kdy je dutina formy naplněna jen částečně (objem taveniny je 50 až 90 %) a následně je tlakem plynu zcela vytvarována dutina formy. (obr. 3.6.)
- Druhý způsob je tzv. dlouhý vstřik, vyfukovací způsob, při kterém se plyn vstřikuje do dutiny formy až po té, co plast úplně vyplní tvarovou dutinu a tavenina je vytlačována buď zpět před čelo šneku nebo do pomocné dutiny. (obr. 3.7.)



Obr. 3.6 Postup vstřikování u GIT technologie – krátký vstřik [5]

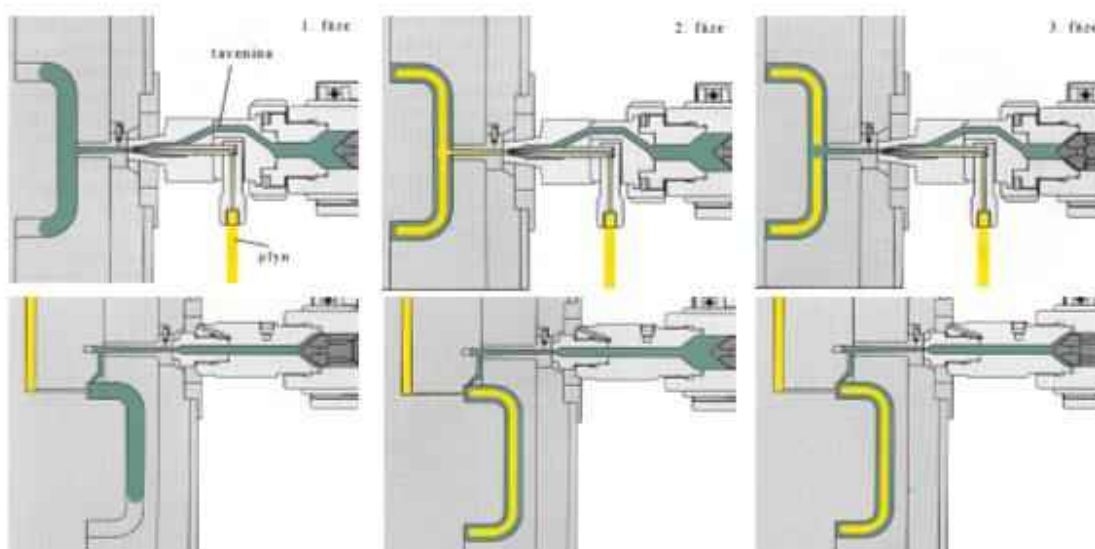


Obr. 3.7 Postup vstřikování u GIT technologie – dlouhý vstřík [5]

U krátkého vstříku klesá tloušťka stěny se vzdáleností dráhy plynu, u dlouhého vstříku je rovnoměrnější po délce kanálu.

Aby se zabránilo tomu, že se plyn dostane na povrch výstřiku, je nejdříve vstříknut polymer (nejlépe s pomocí horkých vtoků pro ideální homogenitu a teplotu taveniny) a následně plyn. Plyn musí být přiveden do určeného místa výstřiku v přesně stanovený okamžik, kdy plast ještě nestačil ztuhnout vlivem dotyku se stěnou formy anebo do míst, kde není tavenina plastu v nečinnosti. To klade vysoké nároky na konstrukci formy. Z počátku se přivádí plyn o nižším tlaku, aby nedošlo ke vzniku povrchových vad (vytvoření dutiny). Po úplném naplnění tvarové dutiny formy se tlak plynu zvýší, aby se dosáhlo přesného dotvarování dílu. Kontrolu tlaku plynu provádí tlaková jednotka, která je součástí vstřikovacího stroje a může být řízena z hlediska kontroly objemu nebo tlaku. V zásadě však platí, že pro tekutější hmoty je potřeba nižší tlak a naopak.

Plyn lze přivést v zásadě dvěma způsoby, a to tryskou nebo injektorem.

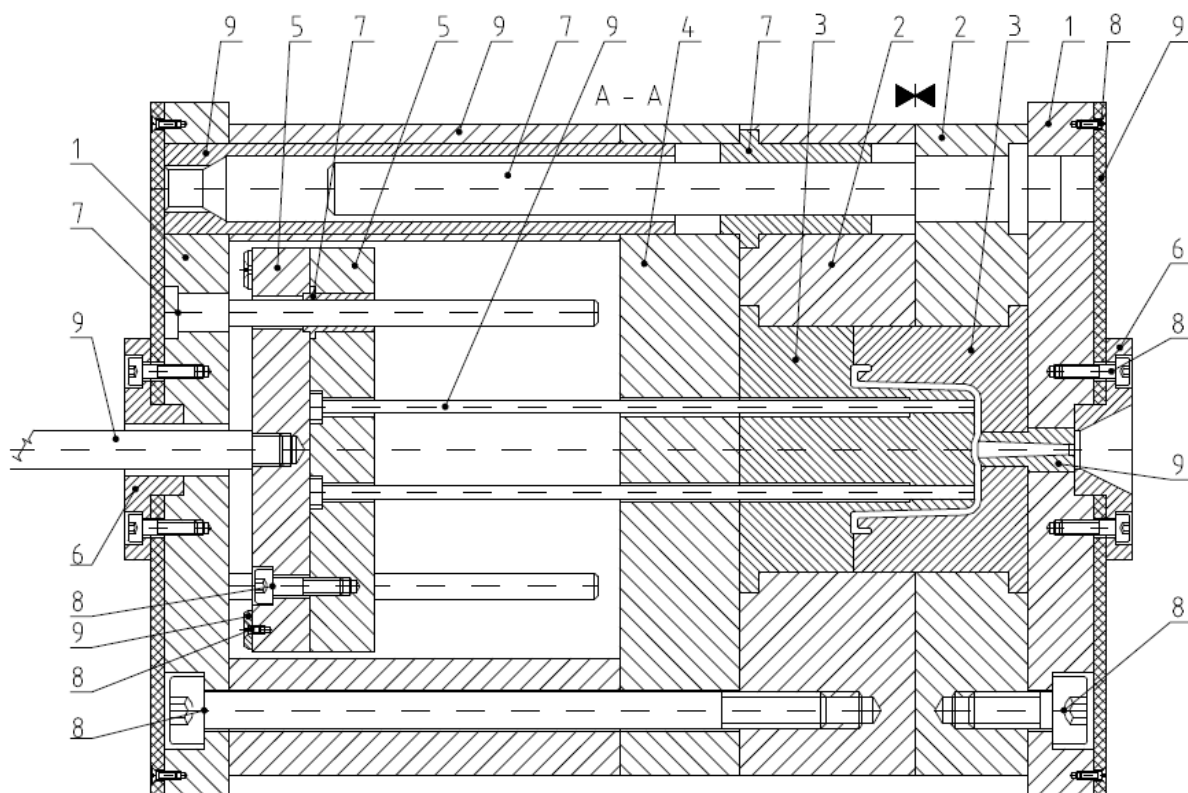


Obr. 3.8 Varianty přívodu plynu (nahore – tryskou, dole – jehlou, injektorem) [5]

Důležitým parametrem u technologie GIT je doba prodlevy mezi vstřikováním taveniny a přívodem plynu, protože s rostoucí dobou prodlevy roste i tloušťka stěny výrobku vlivem chlazení. Stejně závěry platí i pro teplotu taveniny a teplotu formy, které také ovlivňují hmotnost výrobku a tloušťku stěny. [5]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Neméně důležitou částí vstříkovačeho stroje je vstříkovačí forma. Ta má za úkol dát tavenině konečnou podobu a tvar výstřiku. Forma musí splňovat celou řadu požadavků např. zajistit požadovanou tvarovou a rozměrovou přesnost výstřiku, odolávat vysokým tlakům a teplotám, zajistit snadné a rychlé vyjmutí výstřiku, mít dlouhou životnost a možnost pracovat v automatizovaném procesu.



Obr. 4.1 Řez vstříkovačí formou [4]

1 upínací desky, 2 kotevní desky, 3 tvarové vložky, 4 opěrná deska, 5 vyhazovací desky, 6 středící kroužky, 7 vodící součásti, 8 spojovací součásti, 9 další součásti

4.1 Části forem

Součásti formy je možno rozdělit do 3 skupin:

- díly rámu formy
 - opěrné desky
 - kotevní desky
 - upínací desky
 - vodící sloupy
 - rozpěrky
 - vodící pouzdra
 - středící kroužky
 - části temperačního systému
 - spojovací díly

- díly mechanizovaného systému -
 - vyhazovací tyče
 - vyhazovací desky
 - pneumatické a hydraulické válce
 - pružiny
 - šikmé kolíky
- tvarové části -
 - tvárník
 - tvárnice
 - tvarové vložky, jádra
 - vtokové vložky

4.2 Vtokový systém

Vtokový systém je systém kanálů a ústí vtoku, který zajišťuje správné plnění tvarové dutiny formy. Má také největší vliv na jakost a kvalitu výstřiku. Složitost konstrukčního řešení vtokového systému je závislá na tvaru výstřiku, násobnosti formy a zda se jedná o studený nebo horký vtok.

Vtok by měl být navrhován tak, aby tvarová dutina byla naplněna co nejkratší cestou bez tlakových a teplotních ztrát. U vícenásobných forem je pak logickým požadavkem plnění všech dutin současně za stejné teploty taveniny a při stejném plnicím tlaku. Samotná poloha vtoku má pak vliv na plnění dutiny a správnou volbou polohy můžeme předejít tvorbě studených spojů, staženinám a pod.

4.3 Temperační systém

Temperační systém je soustava chladících kanálů, kterou protéká chladící médium. Má za úkol udržovat teplotu formy na požadované výši a zajistit co možná nejrovnoměrnější ochlazování výstřiku tak, aby se minimalizovalo vnitřní pnutí nebo deformace výstřiku.

4.4 Vyhazovací mechanismy

Při ochlazení výstřiku dojde k jeho smrštění. V důsledku toho ulpívá na tvarové části formy. Proto je potřeba použít mechanismy k vyhození výstřiku z formy. Nejčastějším způsobem je vyhazování mechanické, pomocí vyhazovacích kolíků či tyčí nebo pomocí stíracích kroužků a desek. Pro tenkostěnné výstřiky, kdy by při použití mechanického vyhazovače hrozilo nebezpečí poškození výstřiku, je vhodné použít například pneumatického vyhazovače.

4.5 Postup při konstrukci formy

- Musí být k dispozici výkresová dokumentace součástí, která se má vyrábět. Případně ekonomické údaje - počet kusů, termíny. Součást je nutné posoudit z hlediska tvaru, rozměrů a tloušťky stěn. Popřípadě provést úpravy ostrých hran a rohů.

- Určení dělicí roviny, hlavních směrů odformování, případně zda jsou nutné pohyblivé tvarové vložky a násobnosti formy. Při zaformování je třeba brát zřetel na řešení vhodného umístění vtokového ústí a vyhazovačů.
- Volba vtokového systému, stanovení velikosti průřezu hlavního vtokového kanálu a rozváděcích kanálů včetně jejich tvaru. Určení tvaru a rozměrů vtokových ústí.
- Stanovení vyhazovacího a temperačního systému, případně odvzdušnění tvarové dutiny formy.
- Návrh rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet a rozmístění dutin, systém temperace a vyhazování.
- Uspořádání středění a upínání formy na stroj.
- Kontrola funkčních parametrů formy, hmotnosti výstřiku, jeho průmětné plochy, vstřikovacího tlaku a uzavírací síly s ohledem na vstřikovací stroj. [8]

5 OBECNÉ ZÁSADY PRO KONSTRUKCI PLASTOVÝCH DÍLŮ

5.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina je místo, kde na sebe dosedají části formy při uzavření. Je většinou kolmá na směr uzavírání formy. Zpravidla se umísťuje na hranu nebo vypouklou plochu výrobku a to tak, aby bylo snadné vyjmout výstřik z formy, stopy po dělicí rovině netvořily vzhledové a funkční vady výrobku.

5.2 Tloušťka stěn

Na návrh tloušťky stěny má vliv nejen hledisko konstrukční, tedy požadavky na tuhost dílu, pevnost dílu apod., ale také musíme zohlednit zatékavost vybraného materiálu, tvarovou složitost dílu a délku dráhy toku. Se zohledněním výše uvedených hledisek je snahou volit tloušťku stěny co nejmenší. Menší tloušťka dílce znamená úsporu nákladů na použitý materiál, tenčí stěny vyžadují kratší dobu chlazení a tedy kratší výrobní cyklus. Rozdílná tloušťka stěny může díky různé době chlazení způsobovat vnitřní pnutí nebo povrchové vady výstřiku jako např. propadliny a lunkry.

5.3 Výztužná žebra

Žebra se používají zejména ke zvýšení tuhosti výrobku či jeho části. Pro tloušťku stěny výztužných žeberek platí obecná zásada, že by neměla být větší než-li stěna, do které žebro vstupuje. Příliš tlustá žebra mohou způsobit propad materiálu či dokonce deformaci dílce vlivem vnitřního pnutí a rozdílu ve smrštění.

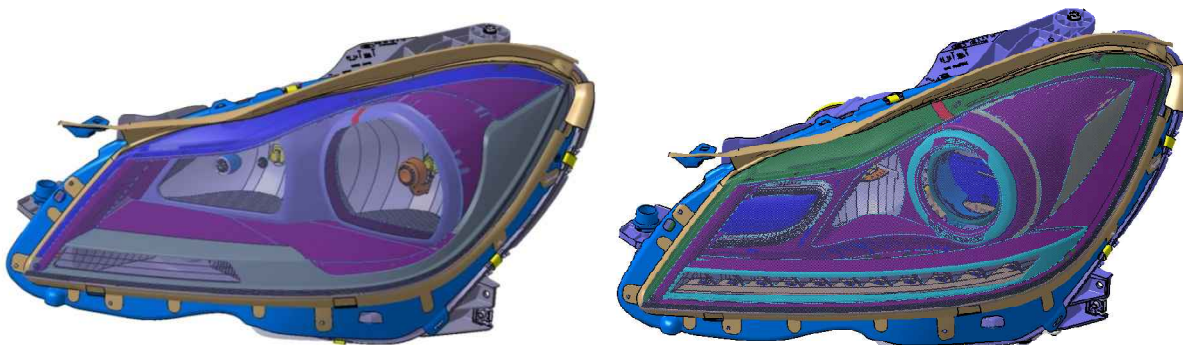
5.4 Zaoblení hran, úkosy

Pokud je to možné z konstrukčního či designového hlediska, měly by být všechny hrany (vnitřní i vnější) zaobleny. A to z důvodu lepšího tečení taveniny, díky snížení odporu proti tečení, a snadnějšího vyhazování výstřiku z formy.

Na snadnost vyhazování výstřiku z formy má nezanedbatelný vliv volba úkosů. Ty jsou pro každý materiál různé, ale je možno říct, že běžný úkos by měl být 2°-3°. Ve výjimečných případech až 0,5°.

6 PROJEKT DC 204 FL

Projekt světlometů DC 204 FL je v označení automobilky Daimler - Mercedes C -Klasse a to "face-lift" stávající modelové řady. Vyvíjeny byly dvě varianty světlometů. A to varianty halogen a AFX (xenon). Dále se budeme zabývat jen verzí halogenovou.

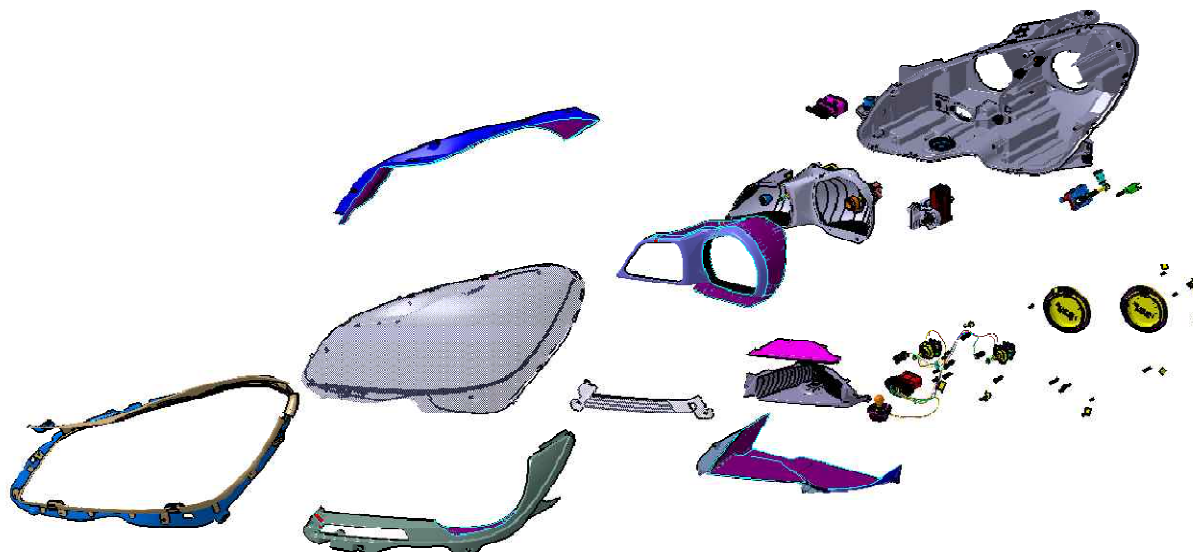


Obr. 6.1 Srovnání halogenové (vlevo) a AFX (vpravo) varianty

6.1 Světlomet DC 204 FL

Koncepce světlometu je následující. Reflektorová skupina zajišťující hlavní světelné funkce (potkávací a dálkové světlo) je pomocí vodících držáků uchycena do tělesa. Tato skupina musí umožňovat vertikální i horizontální nastavení polohy tak, jak je definováno v předpisech ECE. Pro tuto skupinu je důležité, aby těleso světlometu bylo v oblasti uchycení vodících držáku dostatečně tuhé.

Reflektor ukazatele směru je pak umístěn pod hlavním reflektorem. Další skupinou dílu jsou designové díly - rámečky, vnitřní a vnější sklo.



Obr. 6.2 Rozpad světlometu

6.2 Těleso světlometu

3D model tělesa světlometu byl vytvořen v programu Catia V5 R19. Hlavní stěny mají úhel odformování 3° , žebra a funkční plochy pak $0,5^\circ$. Všechny ostré hrany byly opatřeny zaobleními. Tloušťka stěny byla pro daný materiál (a na základě zkušeností z předchozích projektů) stanovena na 1,7mm.

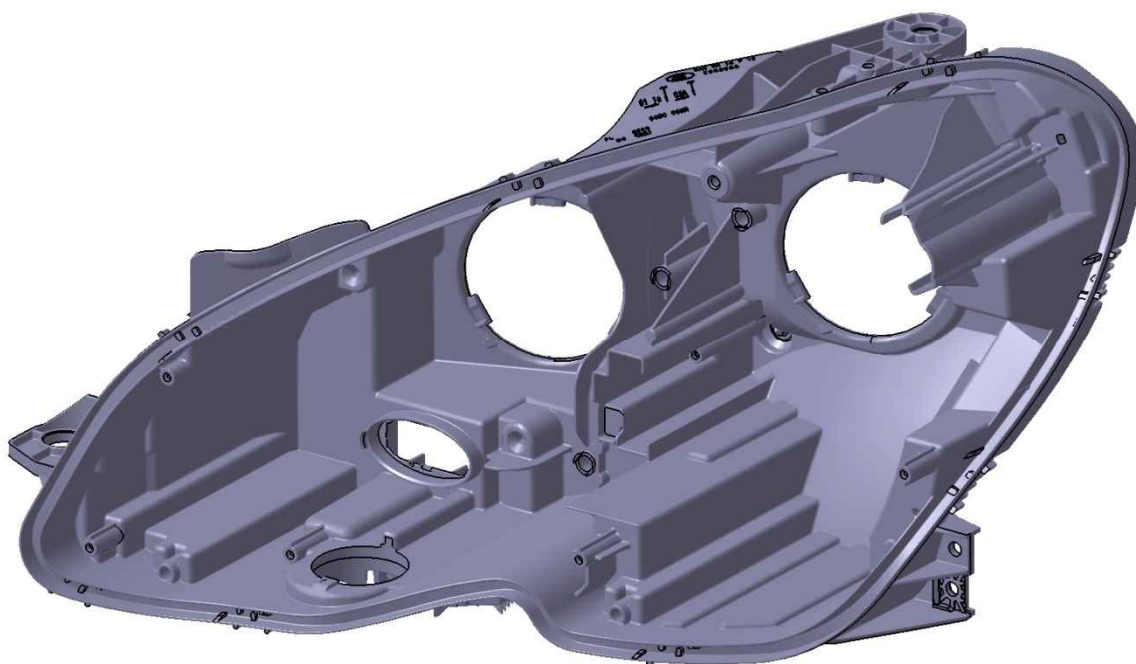
Jedná se o tenkostěnný, tvarově složitý výrobek, na který jsou kladeny požadavky na tuhost, rozměrovou a teplotní stálost. Materiál tělesa je PP TD20 GF10 konkrétně Tecnoprene VKM24 od firmy P-Group. (Příloha 1) Tedy polypropylen s plnivý – 10% skelných vláken, 20% mastek.

Mechanické vlastnosti:

| | |
|-------------------------|--------------------|
| - mez pevnosti v ohybu | 90 MPa |
| - mez pevnosti v tahu | 58 MPa |
| - ohybový modul | 4200 MPa |
| - tvrdost dle Rockwella | 108 R (ASTM D 785) |

Z hlediska konceptu světlometu jsou důležité oblasti:

- uchycovací body - požadavek na rozměrovou přesnost kvůli uchycení světlometu do vozidla
- vnitřní domečky šroubů a vedení vodících držáků - požadavek na tuhost a taktéž na rozměrovou přesnost (možnost montáže)



Obr. 6.3 Těleso halogenového světlometu

7 POUŽITÉ APLIKACE

7.1 Catia V5 R19

Řešení CATIA V5 poskytuje jedinečná řešení pro integrované procesy vývoje produktu a optimalizaci týmové práce. Je skvělým produktem ve smyslu konkurenceschopnosti v oblasti propojení tvorby návrhu, modelování tvarů a digitálního modelování. Otevřená architektura umožňuje zákazníkům budovat řešení pro digitální definici a simulaci 3D výrobků. Flexibilní řešení poskytuje špičkové řešení pro přechod na kompletní technické zpracování v oblasti 3D. CATIA V5 plně pokrývá celý proces od návrhu a upřesňování výrobku, přes integrovanou analýzu až po přípravu výroby. Do systému byly začleněny četné požadavky zákazníků včetně katalogů standardních součástí, kompletní integrace návrhu plechových součástí, strukturálního navrhování, velkých sestav a správy kusovníku. Integrace CATIA V5 a produktu ENOVIA VPM vybavuje uživatele možností podpory konfigurovaných digitálních procesů modelování pomocí produktu ENOVIA. Produkt DMU Navigator nabízí nové konferenční možnosti, automatické montážní dráhy nástrojů, automatické definice kinematiky a podporu zobrazování složeného 2D CAD dokumentu. [9]

7.2 Moldflow Plastics Insight 6.0

Moldflow Plastics Insight (MPI) je komplexní software s nástroji pro simulaci, analýzu, optimalizaci a kontrolu při konstrukci plastových dílů a nástrojů. Přes jeho velký rozsah zůstává MPI snadno ovladatelný a nabízí devatenáct specializovaných modulů, pomocí kterých lze simulovat devět výrobních postupů.

Simulační analýza vstřikovacího procesu umožňuje hodnotit vzájemně působení vlivu geometrie dílu, volby materiálu, konstrukce nástroje a procesních podmínek vyrobitelnosti dílu a optimalizovat je již ve fázi vývoje, ještě před zahájením výroby. V tomto okamžiku totiž představují změny pouze minimální náklady a nabízí vysoký potenciál.

Funkce analýzy MPI simulují plnění, dotlak a chlazení u vstřikování termoplastů, termosetů a materiálů s plnivem a se skelnými vlákny. Kromě toho lze předpovědět následné efekty, např. deformaci dílu. MPI může dále simulovat tok materiálu a vytvrzování v reaktivním vstřikovacím procesu.

Se 7800 materiály představuje MPI světově nejrozsáhlejší specializovanou databanku materiálů termoplastů a termosetů pro CAE analýzy. Dále jsou k dispozici detailní informace o chladicích médiích, materiálech pro výrobu nástrojů a možnostech hlavních značek a modelů vstřikovacích strojů.

Software Moldflow Plastics Insight představuje nástroje pro detailní simulaci procesu, díky kterým můžete rozpoznat a odstranit potencionální výrobní problémy. Kromě toho software umožňuje optimalizaci konstrukci dílu a nástroje i samotného vstřikovacího procesu. [10]

8 MOLDFLOW ANALÝZA

8.1 Specifikace podmínek pro analýzu

Procesní podmínky pro simulaci vstřikování:

| | |
|---------------------|-----------------------------------|
| Material | Tecnoprene® VKM 24 |
| Teplota formy | 60°C |
| Teplota vstřikování | 235 |
| Doba plnění | Ca. 3 sec. |
| Vypnutí při | 98% |
| Dotlak | 40 MPa - 3 sec. 25 MPa - 4 sec |
| Doba ochlazování | 45 sec. |

Tabulka 8.1 Procesní podmínky pro simulaci vstřikování

Parametry vstřikovacího lisu:

Lis **ENGEL ES 5550/900 DUO**

| Zdvihový objem šneku (cm ³) | Průměr šneku (mm) | Zdvih šneku (mm) | Specifický vstřikovací tlak | Průchod mezi sloupy (mm) | Maximální vzdálenost mezi deskami (mm) | |
|--|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--|-----|
| 2740 | 80 | 430 | 1910 | 1170x1000 | 2500 | |
| Montážní výška min. (mm) | Montážní výška max. (mm) | Uzavírací síla (kN) | Způsob upnutí | Počet tahačů jader | Velikost středícího kroužku pevná pohyblivá | |
| 500 | 1500 | 9000 | T-drážky (M24) | 3+3 | 250 | 250 |

Tabulka 8.2 Parametry vstřikovacího lisu ES 5550/900 DUO

8.2 Návrh testovaných variant

| Test | Model | Vtok | Redukce hmotnosti |
|------|--------------|----------|-------------------|
| A | Původní | Řešení 1 | - |
| B | Modifikace 1 | Řešení 1 | 6 % |
| C | Modifikace 1 | Řešení 2 | 6 % |
| D | Modifikace 2 | Řešení 2 | 5 % |

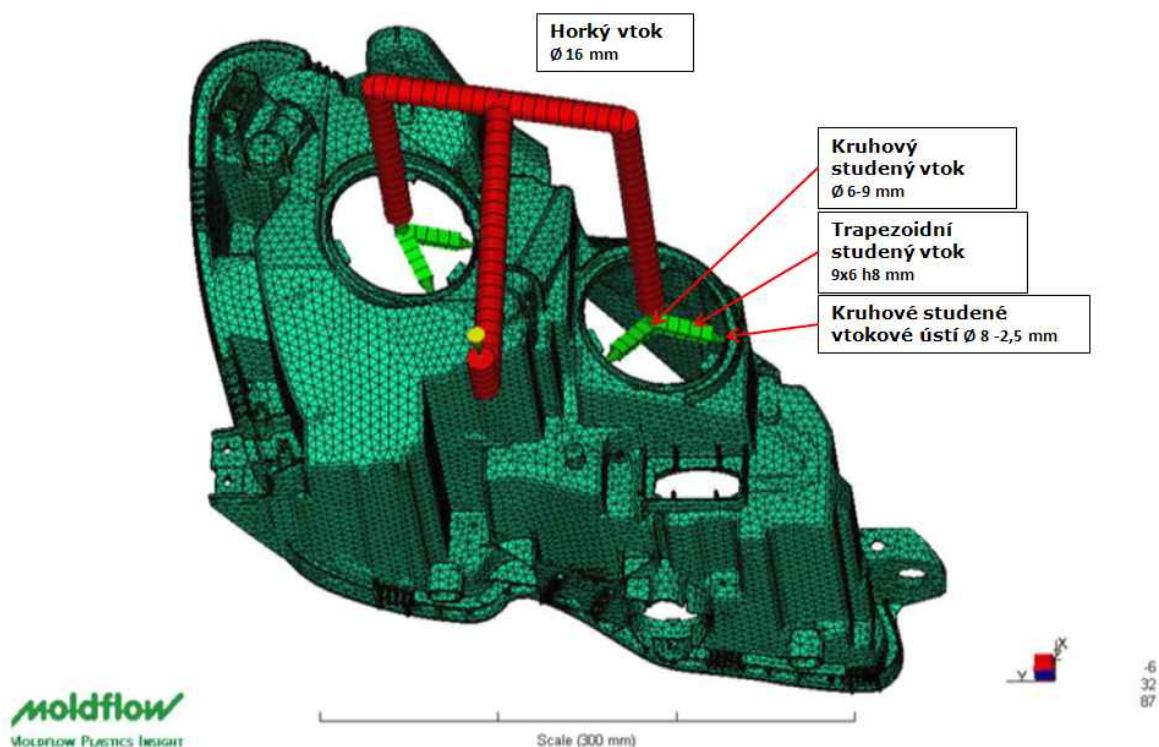
Tabulka 8.3 Přehled testovaných variant

8.3 Test A

Pro Test A byl použit původní model bez jakékoliv redukce tloušťky stěny. Jak už bylo zmíněno v kapitole 6.2, tloušťka stěny je konstantní v celém tělesu a je 1,7 mm.

8.3.1 Návrh vtoku

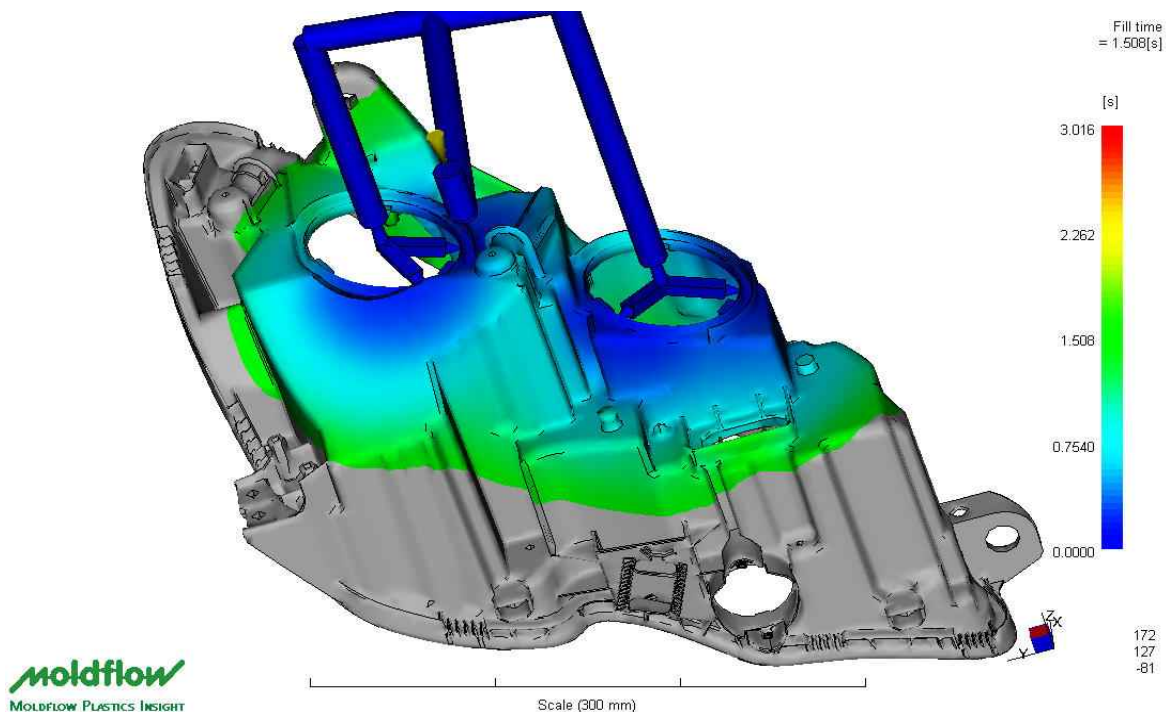
Z důvodu nepřetržité výroby a bezodpadového vstřikování byla zvolena horká vtoková soustava. Použitím horké vtokové soustavy lze použít nižších tlaků. Umístění vtoků bylo voleno tak, aby plnění tvarové dutiny bylo co nejvíce rovnoměrné. Vhodnost volby ukáže samotná simulace plnění formy.



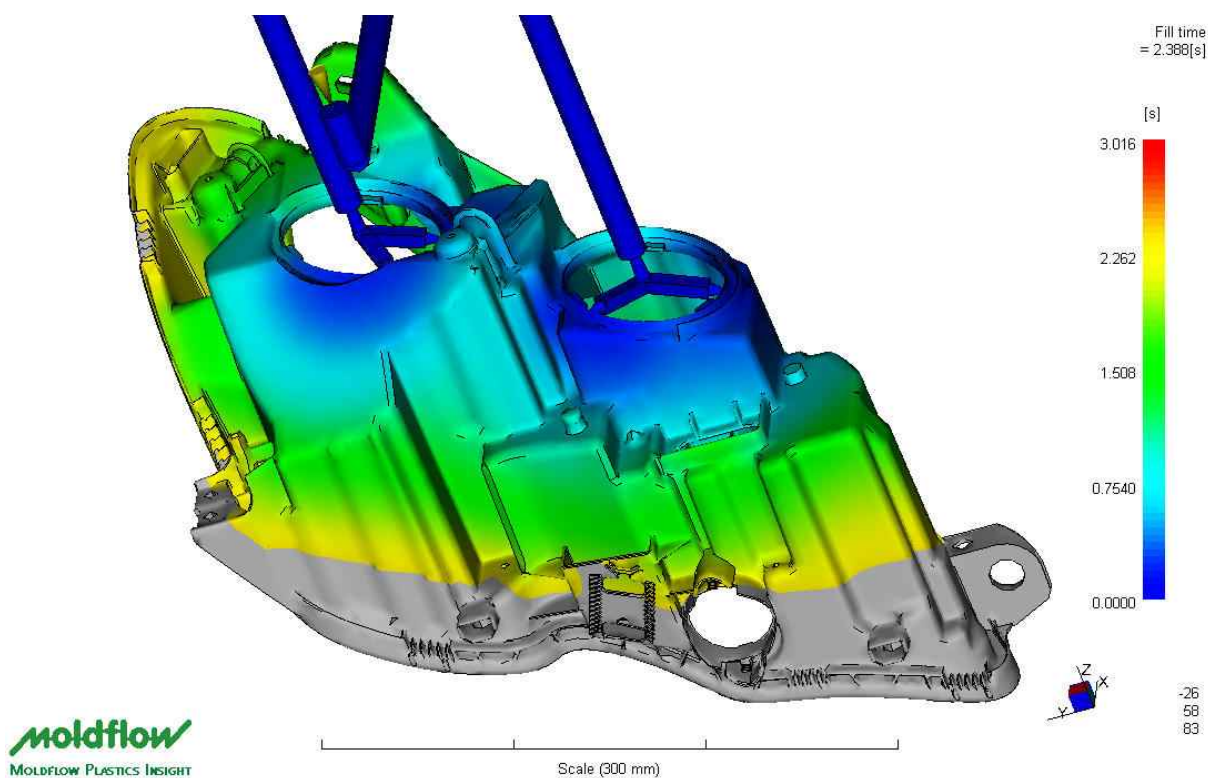
Obr. 8.1 Návrh vtoku

8.3.2 Čas plnění

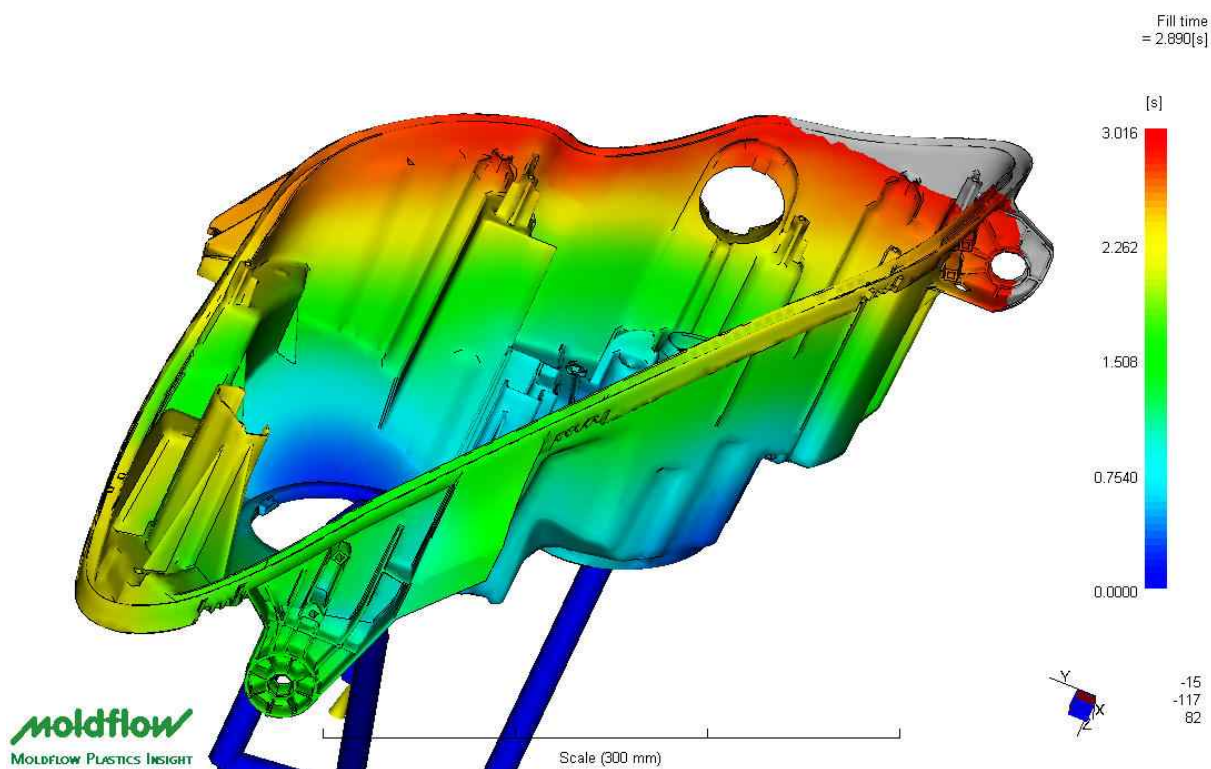
Na následujících obrázcích je vidět časový průběh plnění tvarové dutiny formy. Z obr. 8.4. je patrné, že zatékání není zcela rovnoměrné.



Obr. 8.2 Čas plnění tvarové dutiny formy(1,5 s)



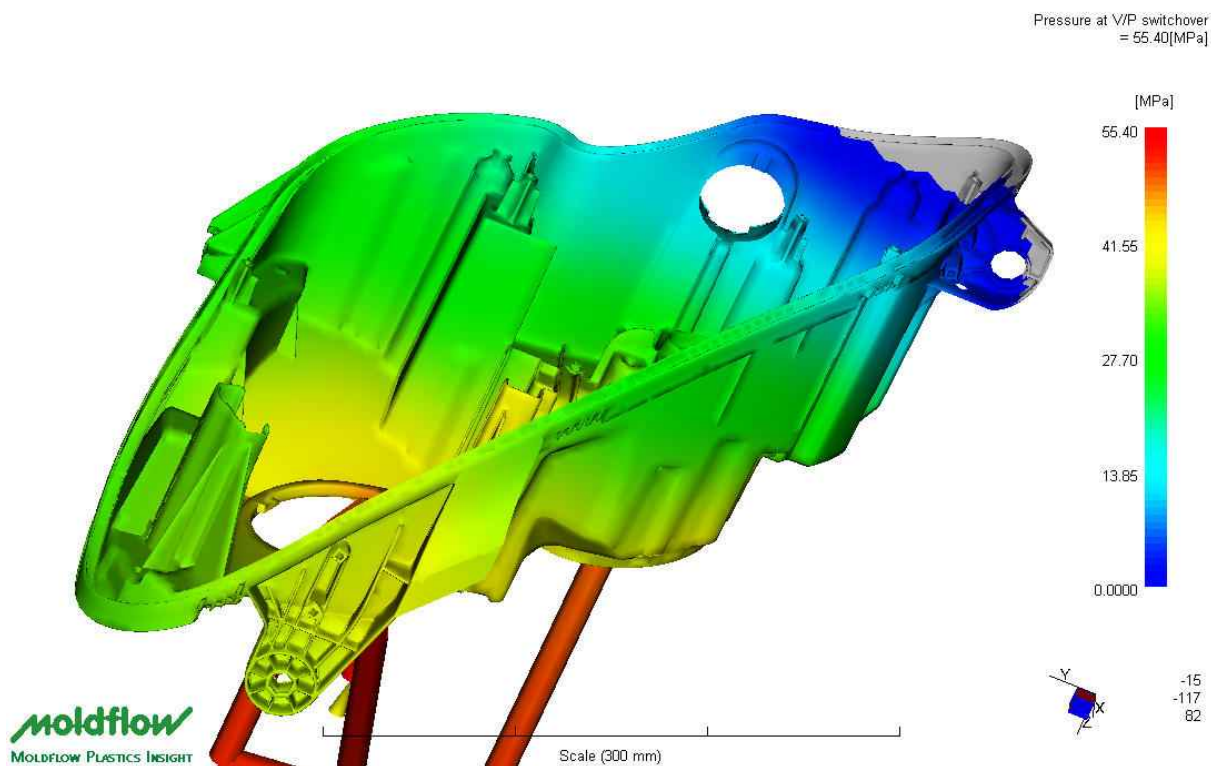
Obr. 8.3 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,4 s)



Obr. 8.4 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,9 s)

8.3.3 Tlak na konci plnění

Při simulaci dosáhl plnicí tlak maximální hodnoty 55,4 MPa.

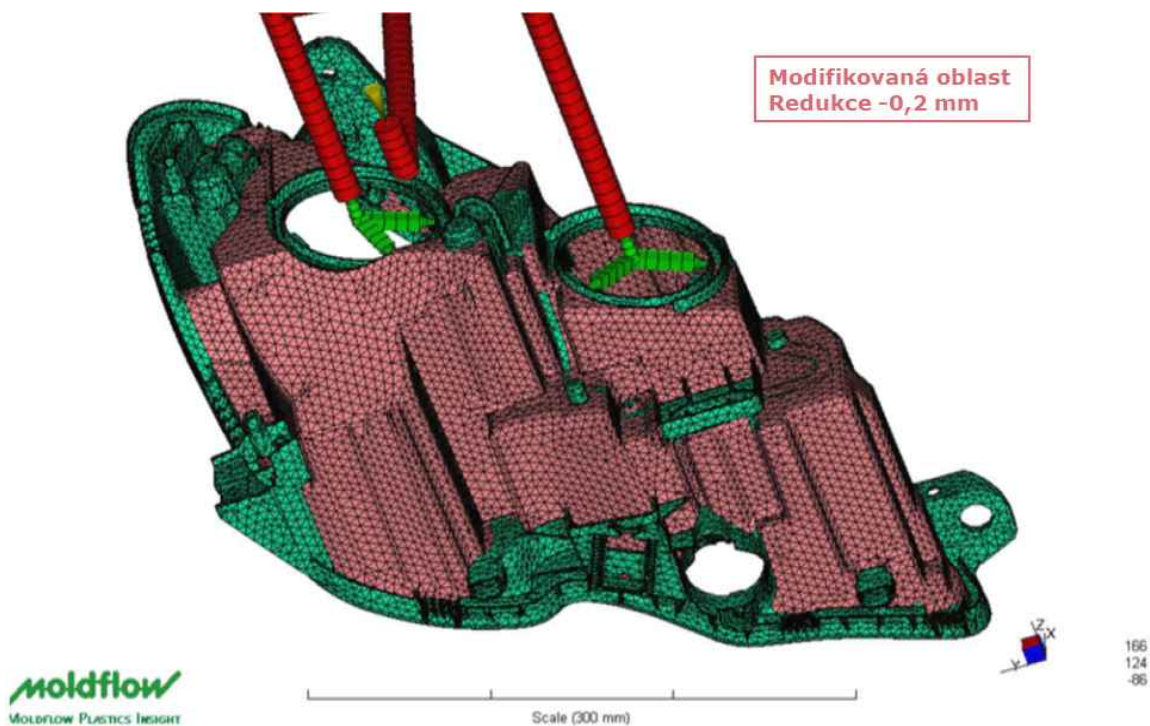


Obr. 8.5 Tlak na konci plnění

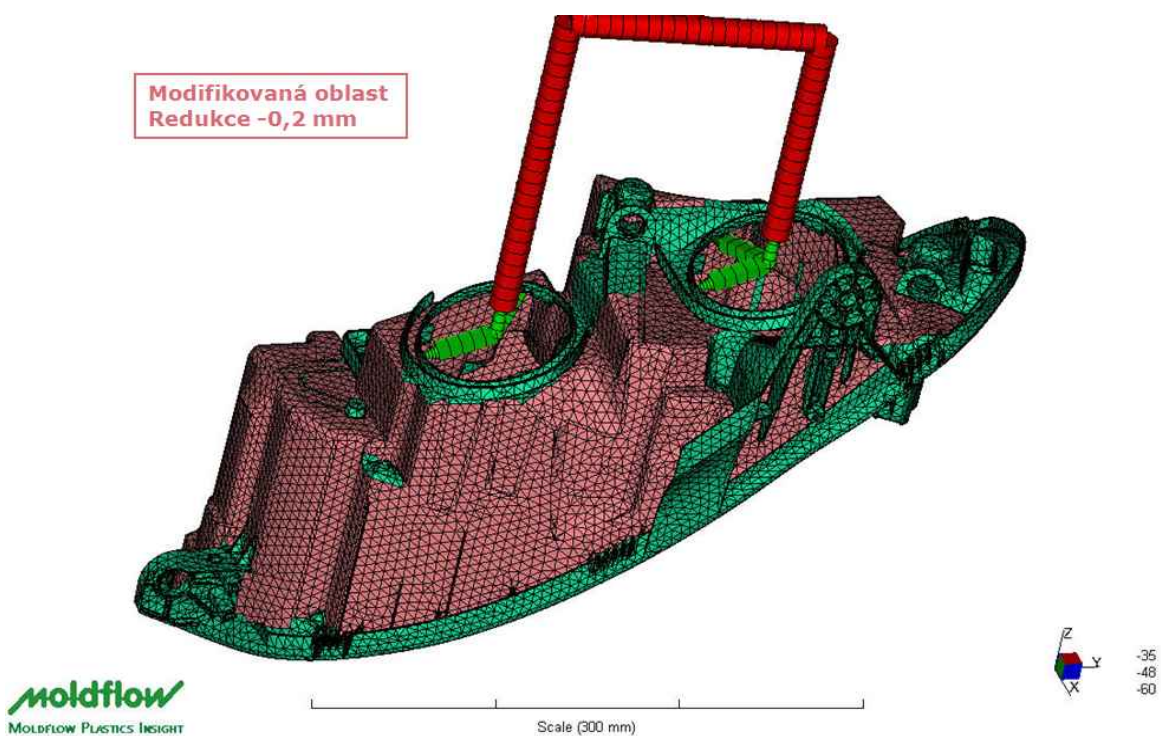
8.4 Test B

8.4.1 Oblast redukované tloušťky stěny

Pro Test B byla tloušťka stěny téměř ve všech částech tělesa redukována o 0,2 mm na 1,5 mm. Redukovaná oblast je znázorněna na obr. 8.6. a obr. 8.7.



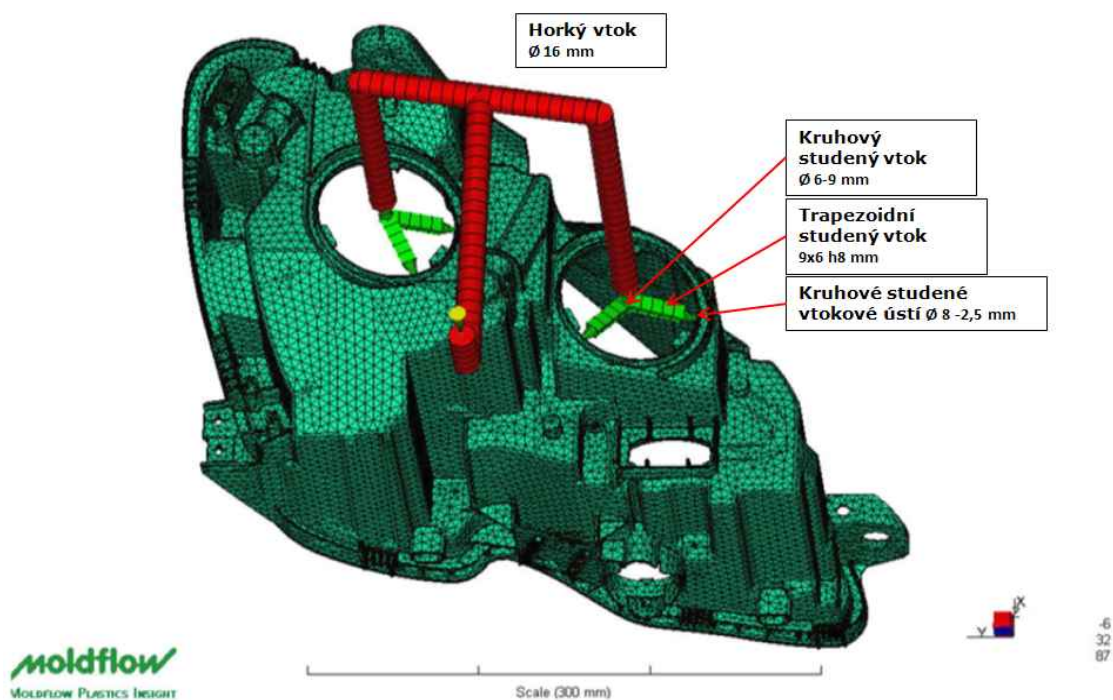
Obr. 8.6 Místa redukované tloušťky stěny



Obr. 8.7 Místa redukované tloušťky stěny

8.4.2 Návrh vtoku

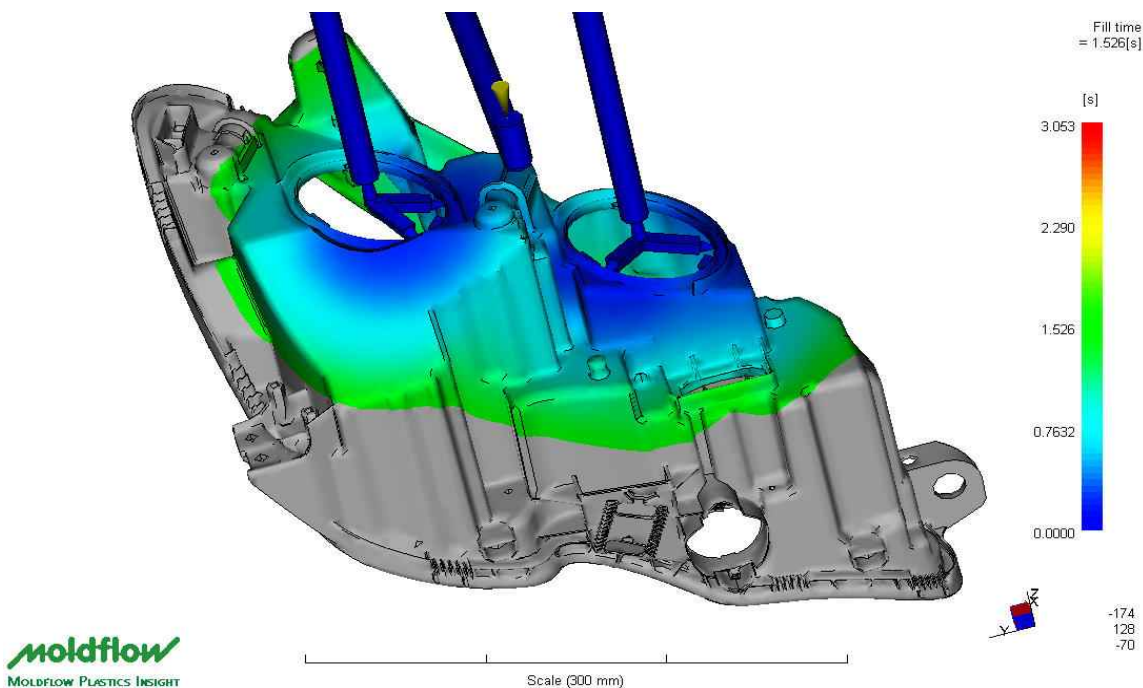
Vtok byl zachován stejný jako v Testu A.



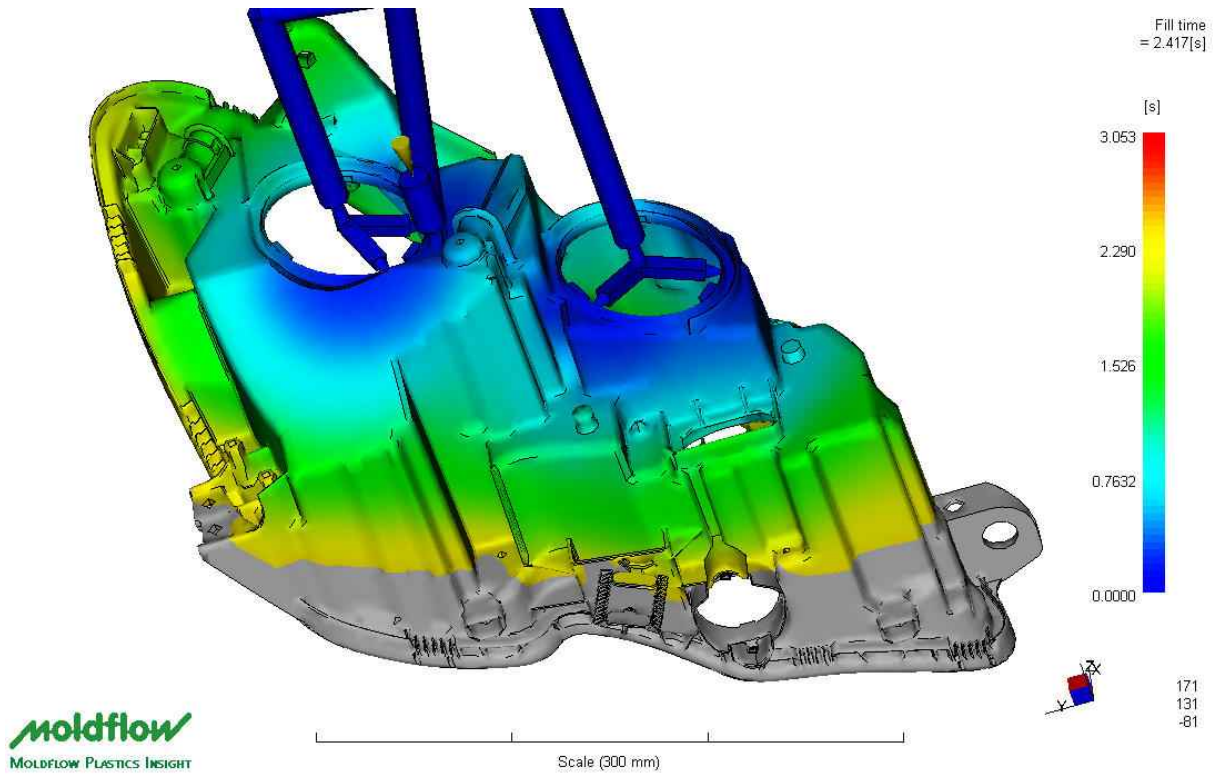
Obr. 8.8 Návrh vtoku

8.4.3 Čas plnění

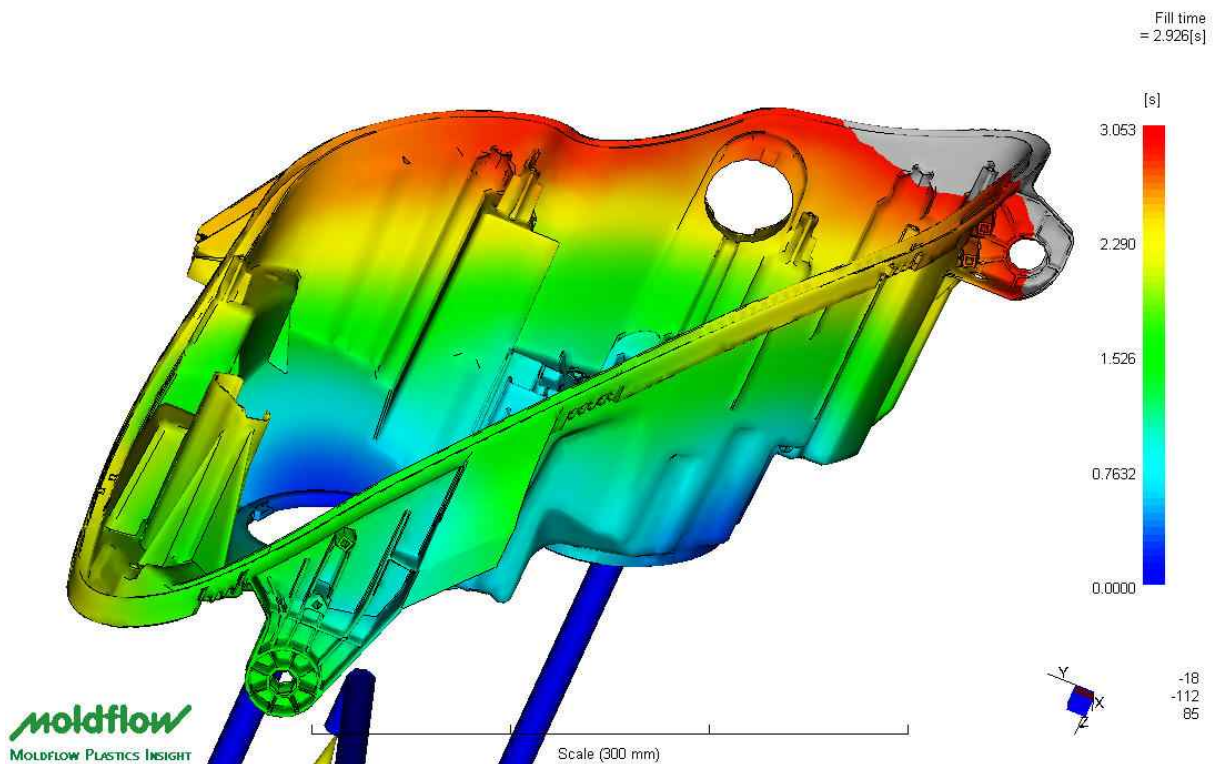
Průběh plnění dutiny formy je velice podobný předchozímu testu. Rozdíl v čase plnění je zanedbatelný. Stejná je i nerovnoměrnost zatékání.



Obr. 8.9 Čas plnění tvarové dutiny formy (1,5 s)



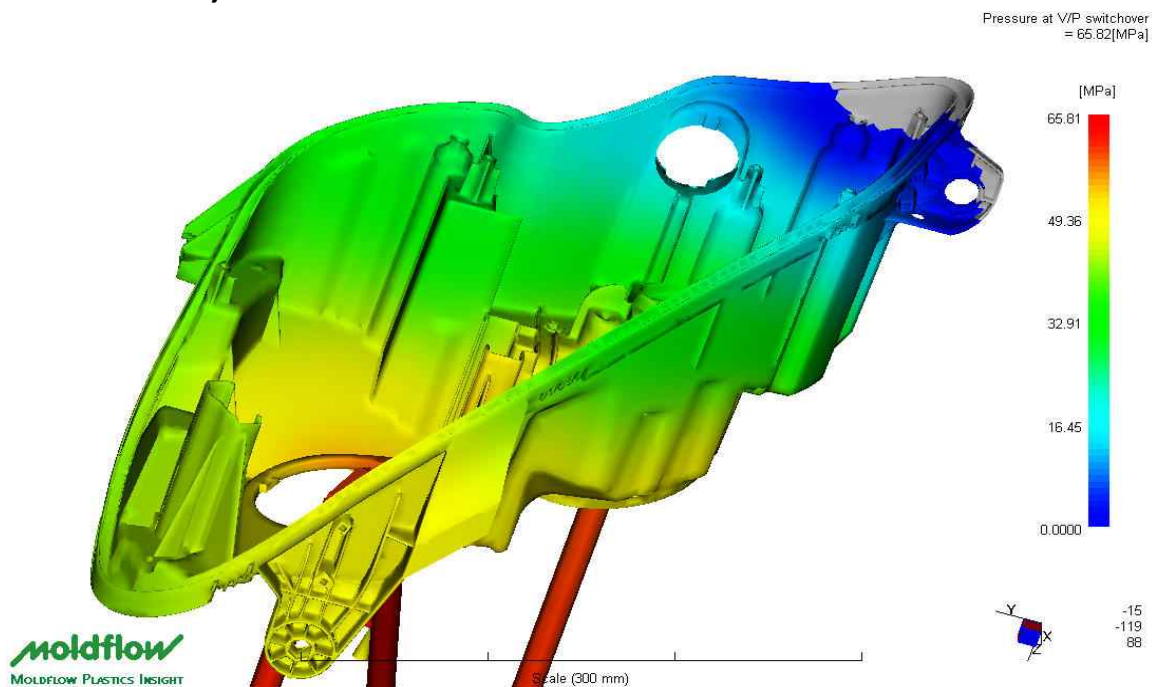
Obr. 8.10 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,4 s)



Obr. 8.11 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,9 s)

8.4.4 Tlak na konci plnění

V tomto případě je zde patrný významný nárůst plnicího tlaku. Jeho hodnota stoupla na hodnotu 65,8 MPa. Tento tlak je ještě akceptovatelný. Limitní hodnota tlaku ve formě je na základě zkušeností 80 MPa.

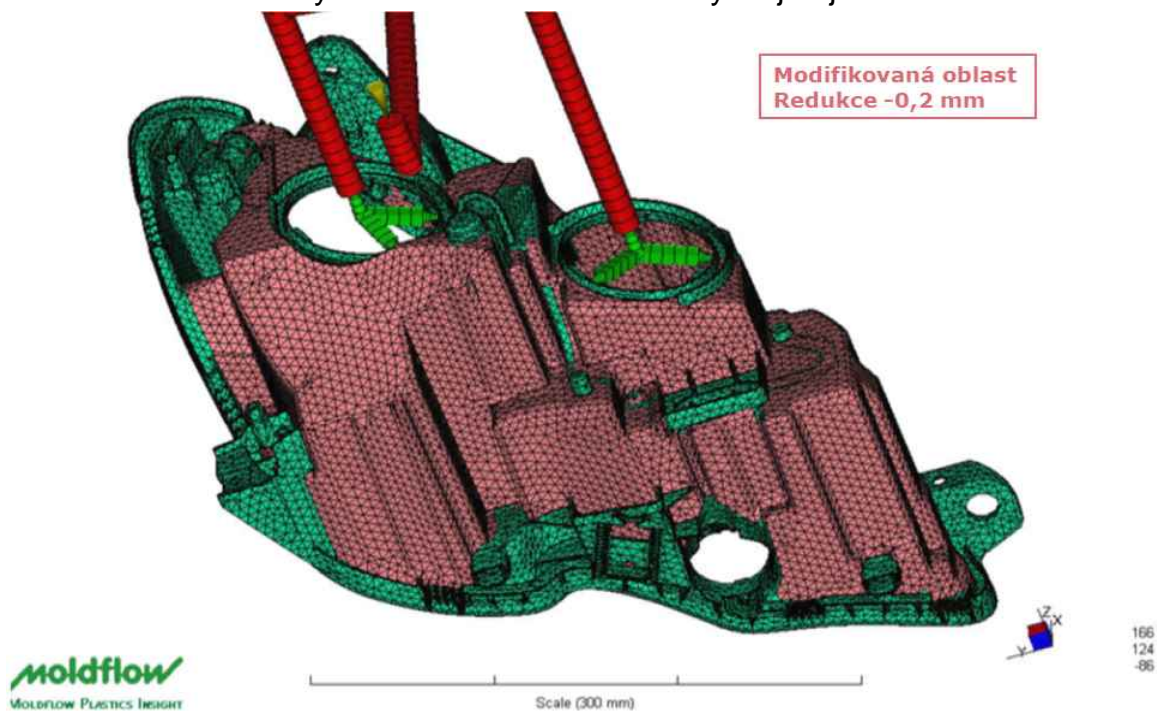


Obr. 8.12 Tlak na konci plnění

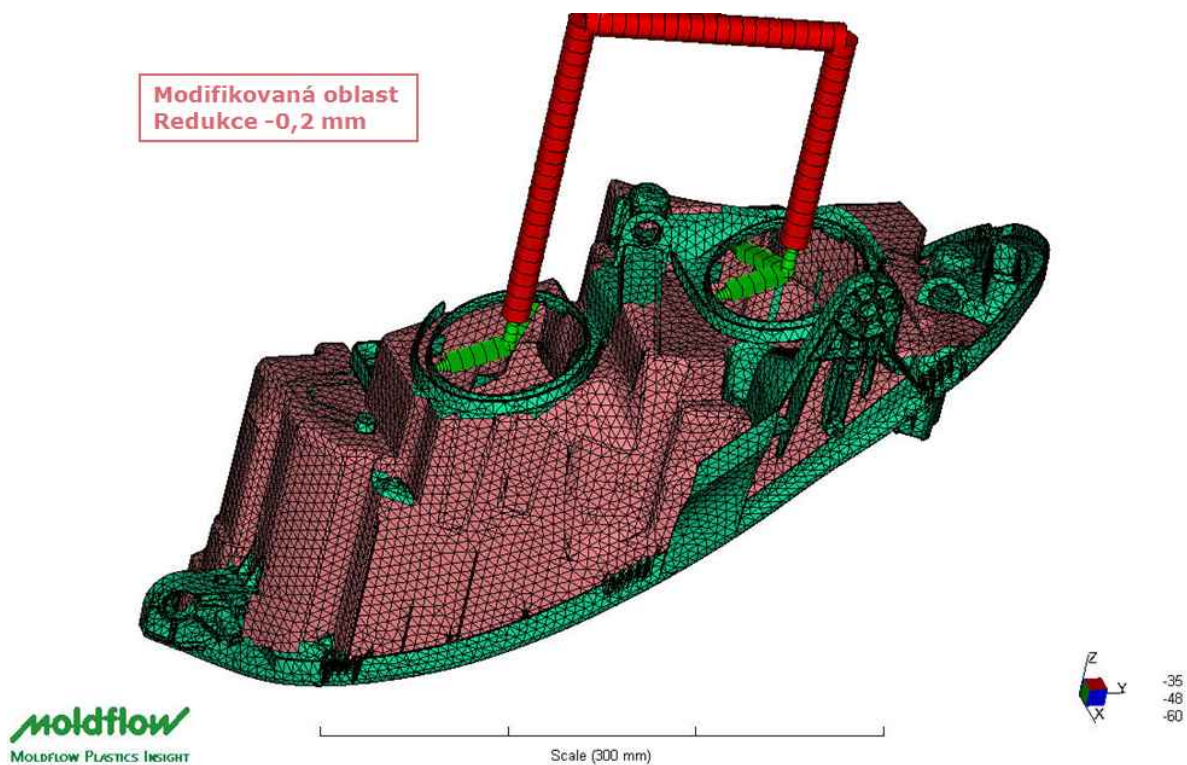
8.5 Test C

8.5.1 Oblast redukované tloušťky stěny

Pro tento test byla zachována tloušťka stěny stejná jako v Testu B.



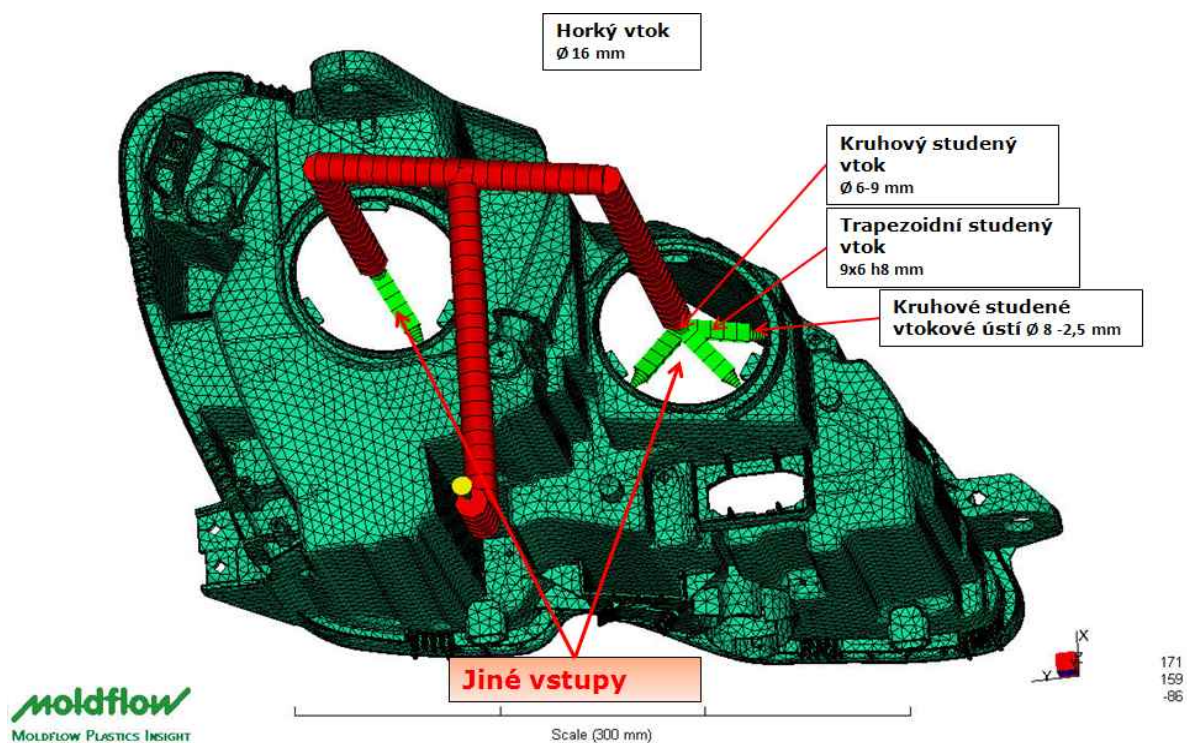
Obr. 8.13 Místa redukované tloušťky stěny



Obr. 8.14 Místa redukované tloušťky stěny

8.5.2 Návrh vtoku

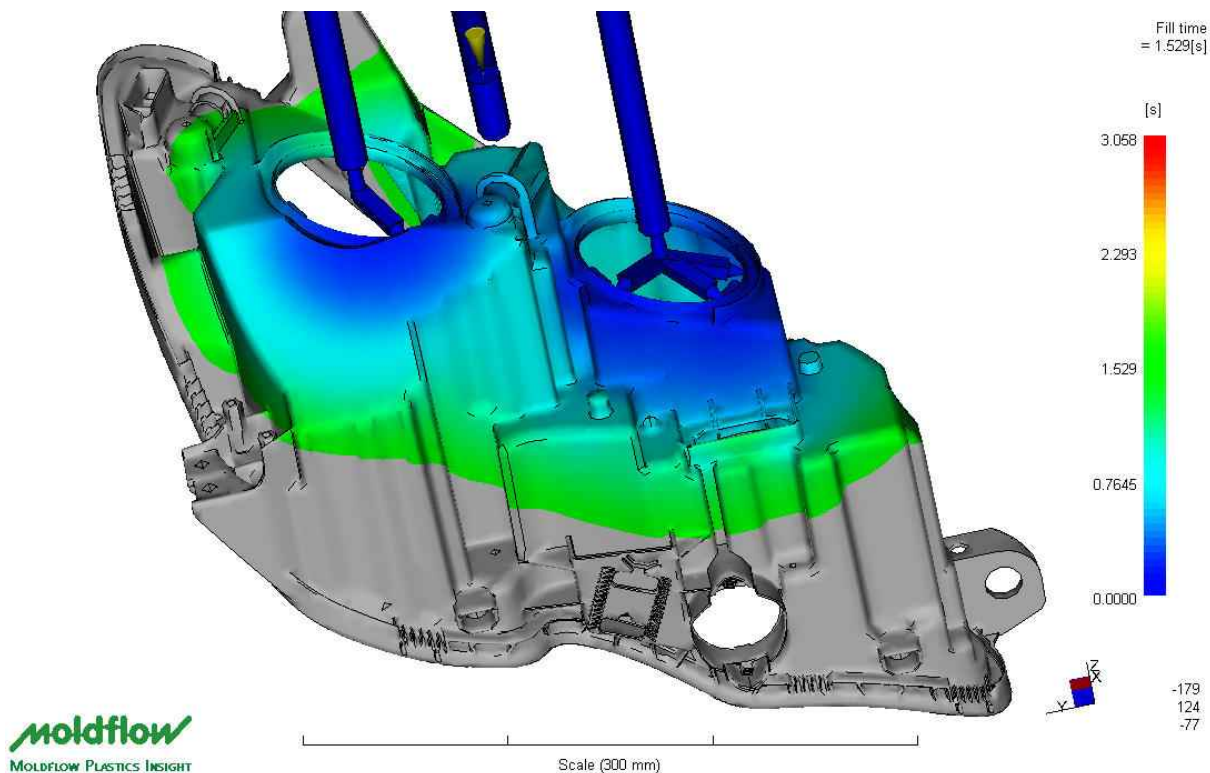
Pro zajištění větší rovnoměrnosti zatékání taveniny byla navržena úprava vtoku dle obr. 8.15., kde se v jedné části zredukovalo vtokové ústí na jedno. Naopak v druhé části se rozšířilo o jedno na tři vtoková ústí.



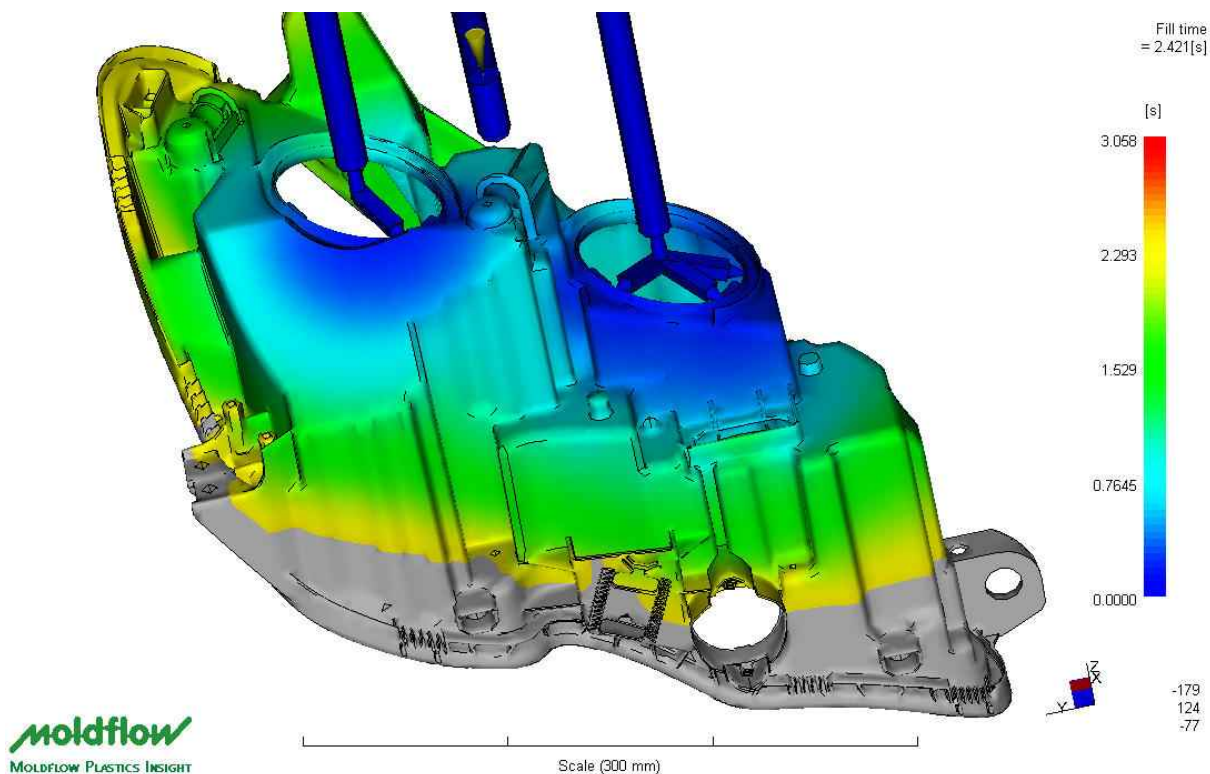
Obr. 8.15 Návrh vtoku

8.5.3 Čas plnění

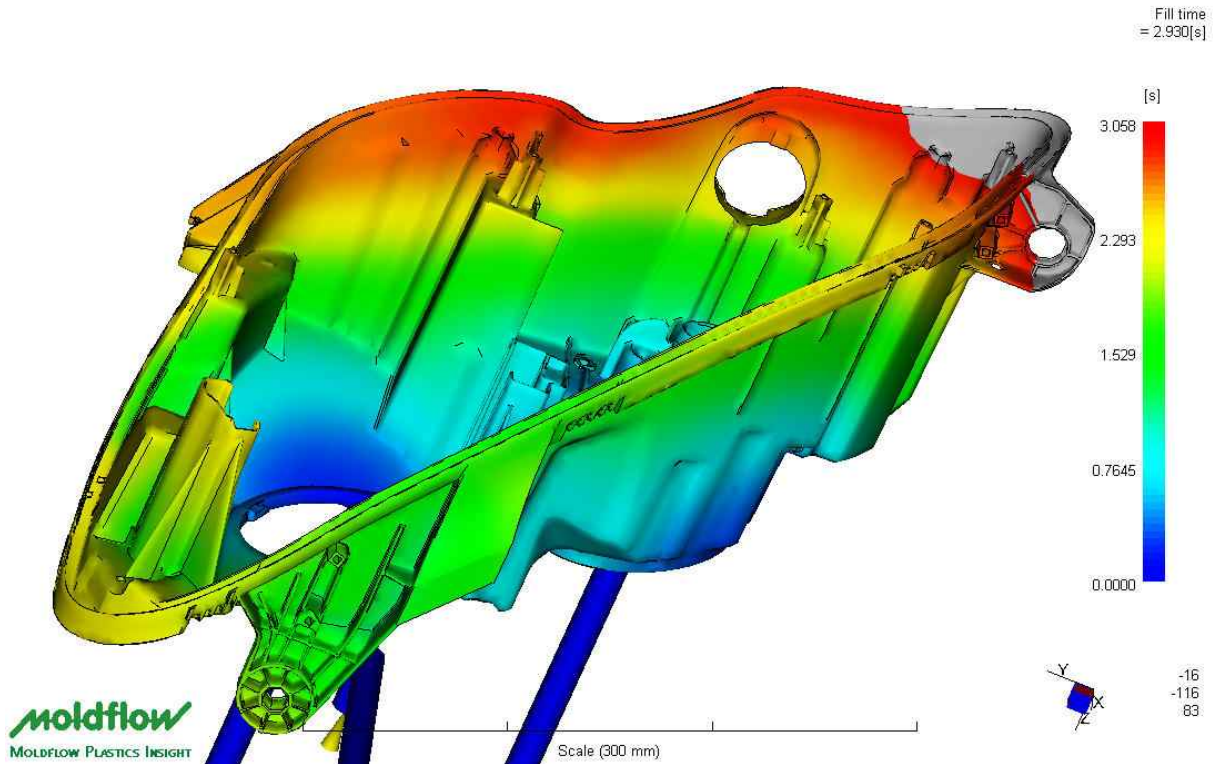
Změna vtokových ústí nepřinesla výrazné zlepšení rovnoměrnosti zatékání, což je patrné z následujících obrázků.



Obr. 8.16 Čas plnění tvarové dutiny formy (1,5 s)



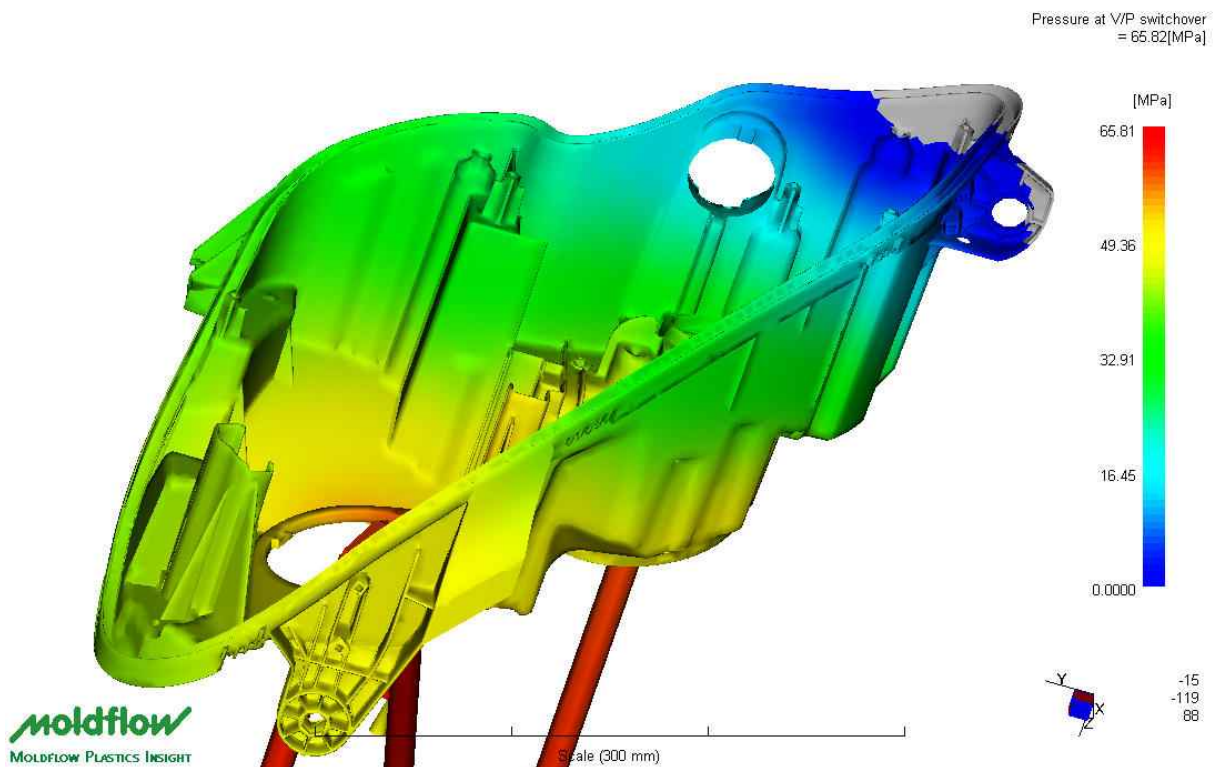
Obr. 8.17 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,4 s)



Obr. 8.18 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,9 s)

8.5.4 Tlak na konci plnění

I maximální tlak plnění zůstal zachován na hodnotě 65,8 MPa.

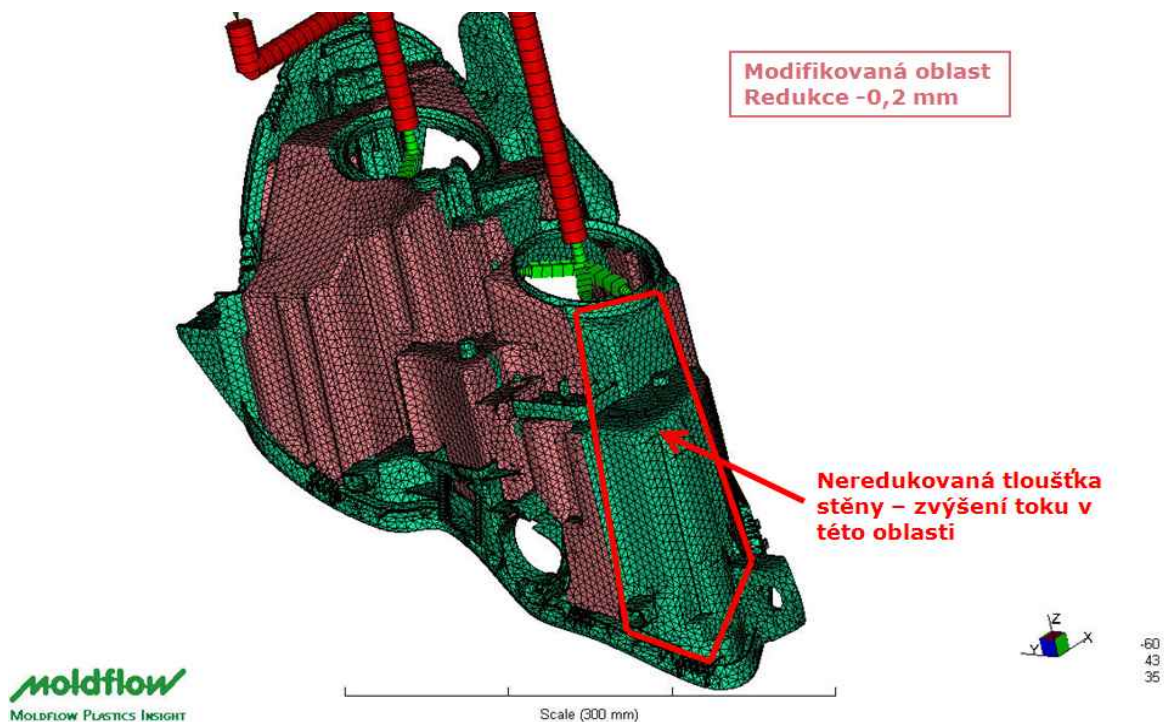


Obr. 8.19 Tlak na konci plnění

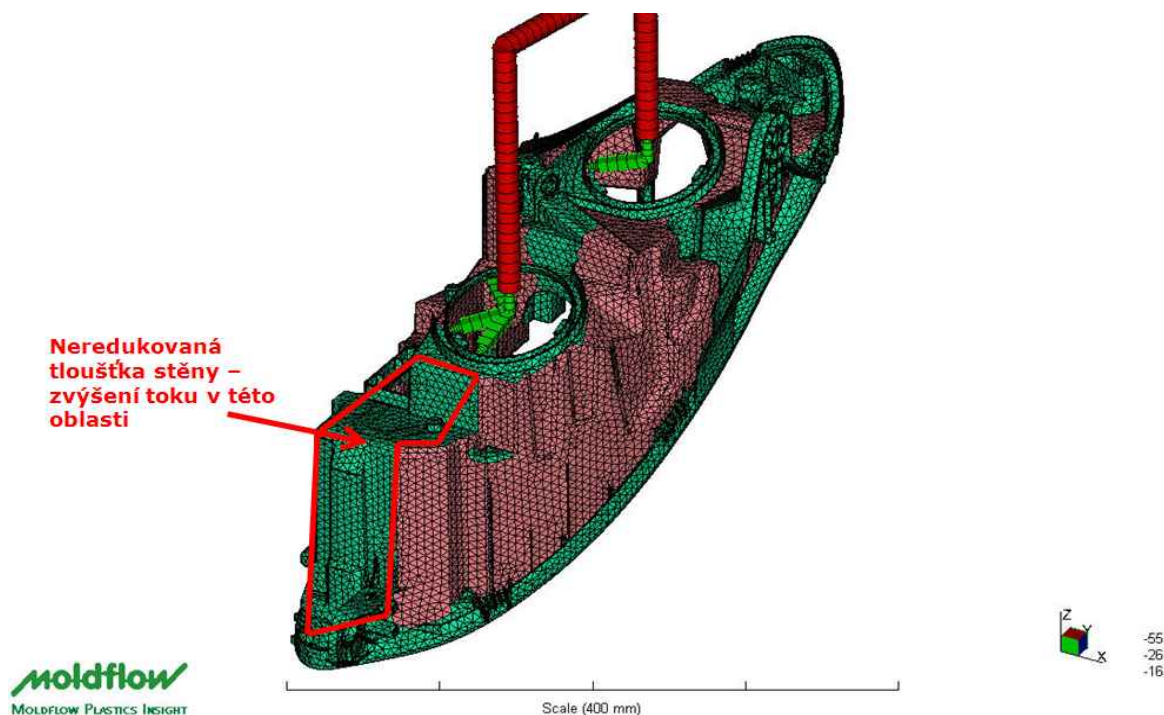
8.6 Test D

8.6.1 Oblast redukované tloušťky stěny

Dalším krokem byla úprava tloušťky stěny v kritické oblasti, kde docházelo ke špatné zatékavosti. Obr. 8.20. a obr. 8.21. ukazují oblast kde byla tloušťka stěny zvětšena na původní hodnotu 1,7 mm. Cílem bylo zajistit v této oblasti lepší tečení taveniny.



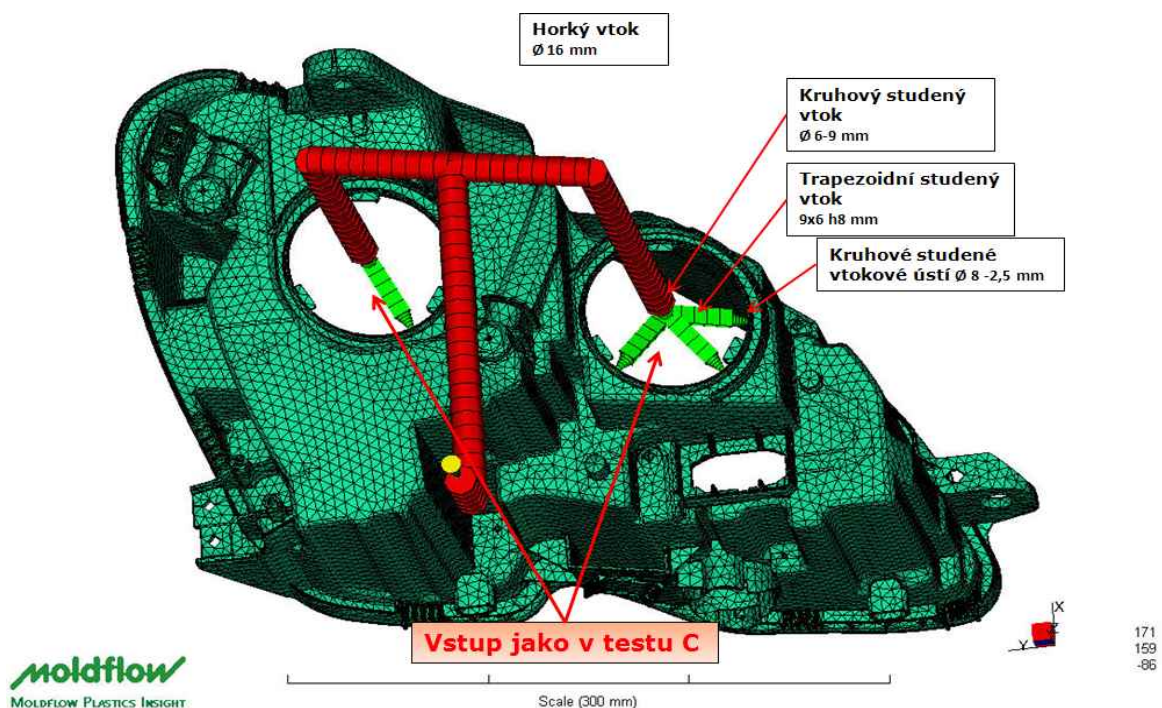
Obr. 8.20 Místa redukované tloušťky stěny



Obr. 8.21 Místa redukované tloušťky stěny

8.6.2 Návrh vtoku

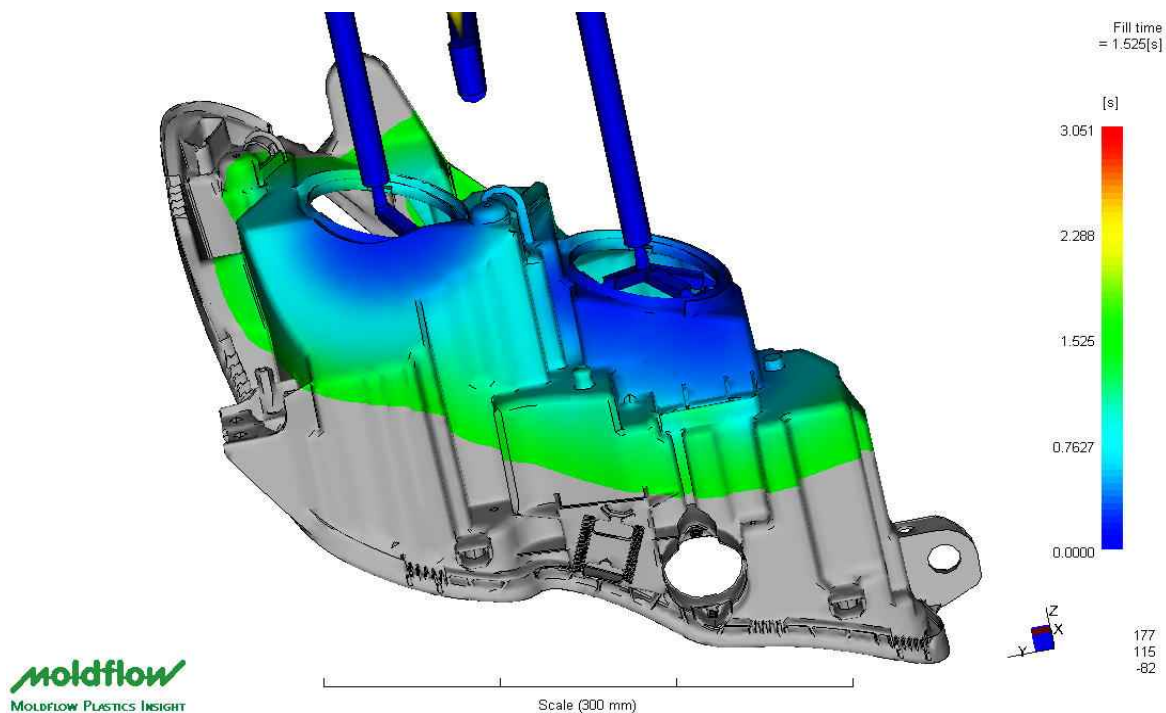
Vtok zůstal zachován totožný s Testem C.



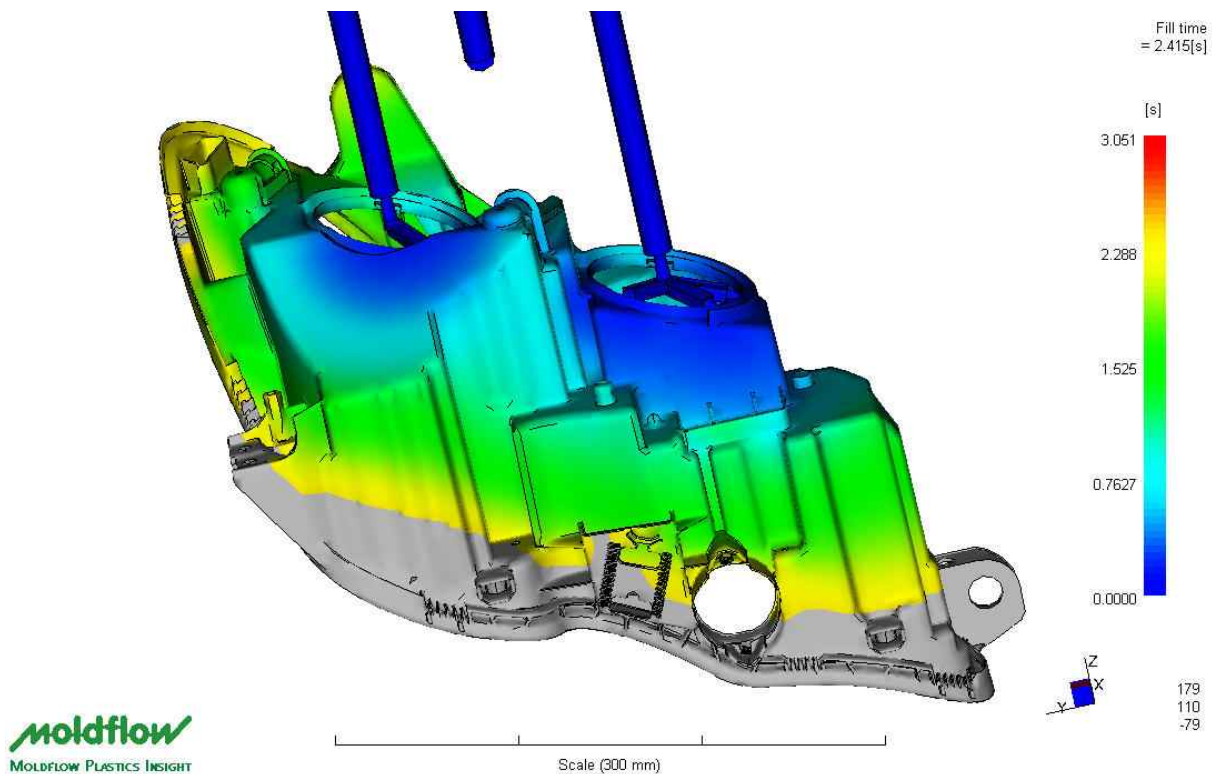
Obr. 8.22 Návrh vtoku

8.6.3 Čas plnění

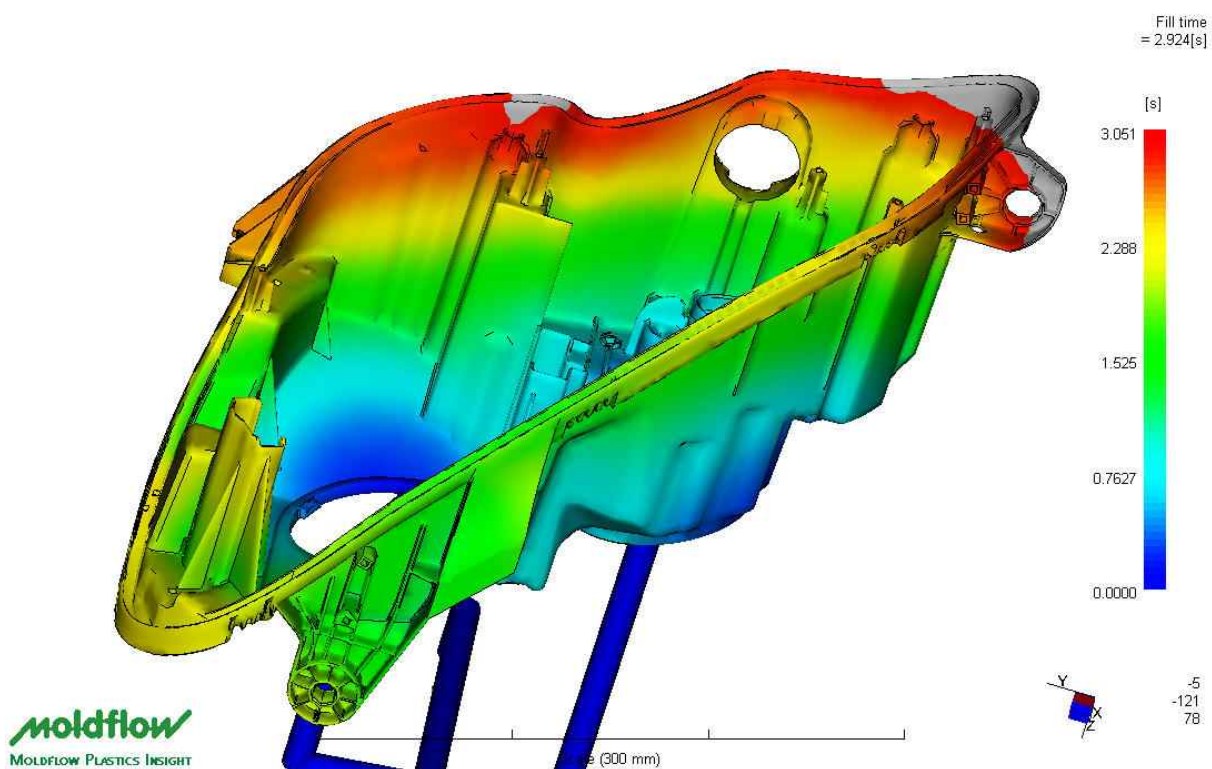
Při této kombinaci vtoku a redukce tloušťky stěny bylo dosaženo nejrovnoměrnějšího zatékání taveniny do tvarové dutiny formy.



Obr. 8.23 Čas plnění tvarové dutiny formy (1,5 s)



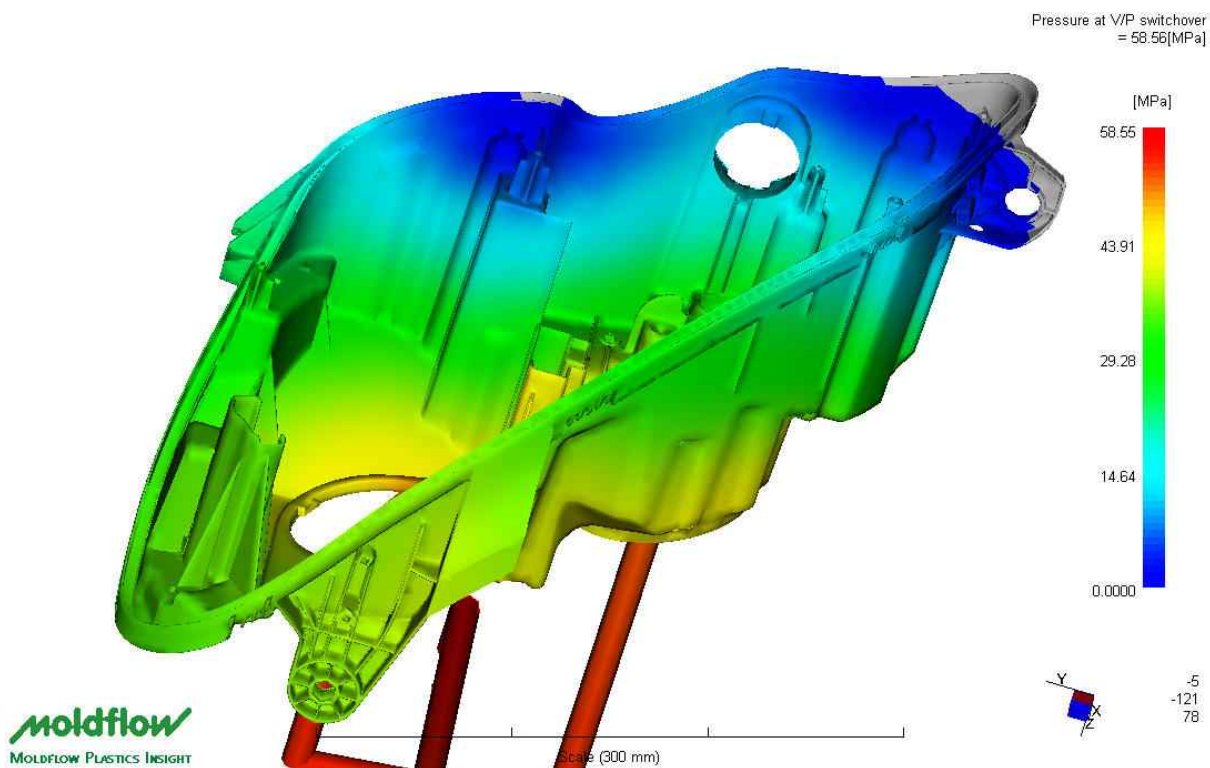
Obr. 8.24 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,4 s)



Obr. 8.25 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,9 s)

8.6.4 Tlak na konci plnění

Výsledný tlak na konci plnění doznal výrazného snížení. Jeho hodnota dosáhla 58.6 MPa.



Obr. 8.26 Tlak na konci plnění

9 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

9.1 Technické zhodnocení

První Test A byl prováděn na originálním modelu s konstantní tloušťkou stěny 1,7 mm. Zatékání taveniny bylo nerovnoměrné.

Test B byl proveden za stejných podmínek jako Test A, ale tloušťka stěny byla redukována o 0,2 mm. Z hlediska tečení je u tohoto materiálu redukce možná až na 1,2 mm, ale pro zachování požadované tuhosti tělesa je maximální možná redukce 0,2 mm. Tlak je vyšší než při předchozí simulaci, ale ještě akceptovatelný.

Z tohoto bodu bylo možné začít zlepšovat vyváženost zatékání.

U Testu C byla provedena modifikace vtoku ovšem výraznější zlepšení vyváženosti zatékání přinesl až Test D, kde byla v kritické oblasti tloušťka stěny vrácena na původní hodnotu 1,7 mm. Také hodnota tlaku u Testu D je lepší.

9.2 Ekonomické zhodnocení

Hmotnost původního tělesa byla 630 g. Redukcí tloušťky stěny se hmotnost snížila na 599 g. Rozdíl 31 g představuje 5% úsporu materiálu.

Plánovaná produkce je u halogenové verze 250.000 sad (levá + pravá strana) za rok po dobu 5ti let. Celkem to tedy činí 2.500.000 ks těles.

Při současné ceně granulátu 1,3 €/kg je možno vyčíslit celkovou úsporu:

$$= \cdot \cdot = 2.500.000 \cdot 0,031 \cdot 1,3 = 100.750 \text{ €}$$

10 VSTŘIKOVACÍ FORMA

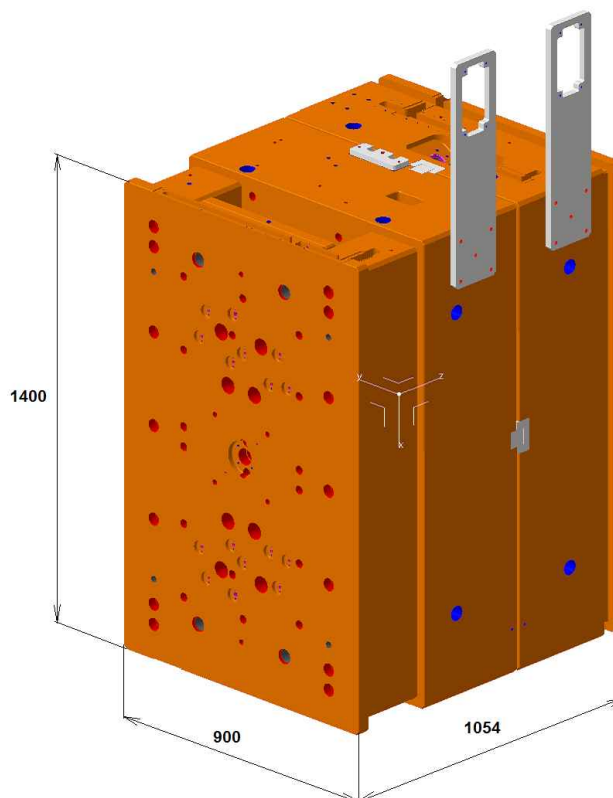
Vzhledem k velkým rozměrům tělesa není možné realizovat formu s více jak dvěma tvarovými dutinami. Jelikož se těleso bude vyrábět ve dvou provedeních a to pro levou a pravou stranu, forma je koncipována tak, že jedna tvarová dutina je pro levé těleso a druhá pro pravé těleso.

Z hlediska nepřetržité výroby, bezodpadového vstřikování je vtoková soustava řešena jako horká.

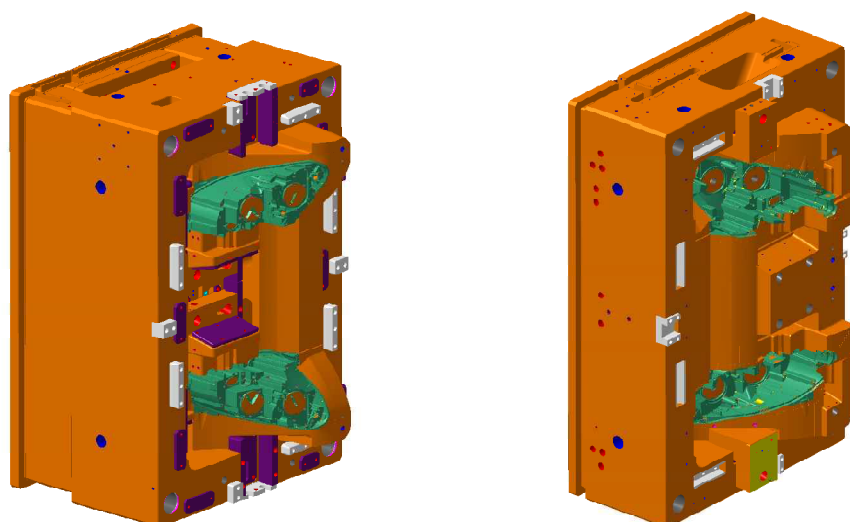
Požítí pohyblivých tvarových vložek bylo vynuceno již samotnou konstrukcí tělesa světloometu. Koncepce těchto vložek je znázorněna na obr. 10.3.

Těleso je tenkostěnné, proto bylo nutné použít větší množství vyhazovacích kolíků. Konkrétně je pro jedno těleso navrženo 22 vyhazovačů. K tomu dalších 5 pro vyhození vtokového ústí.

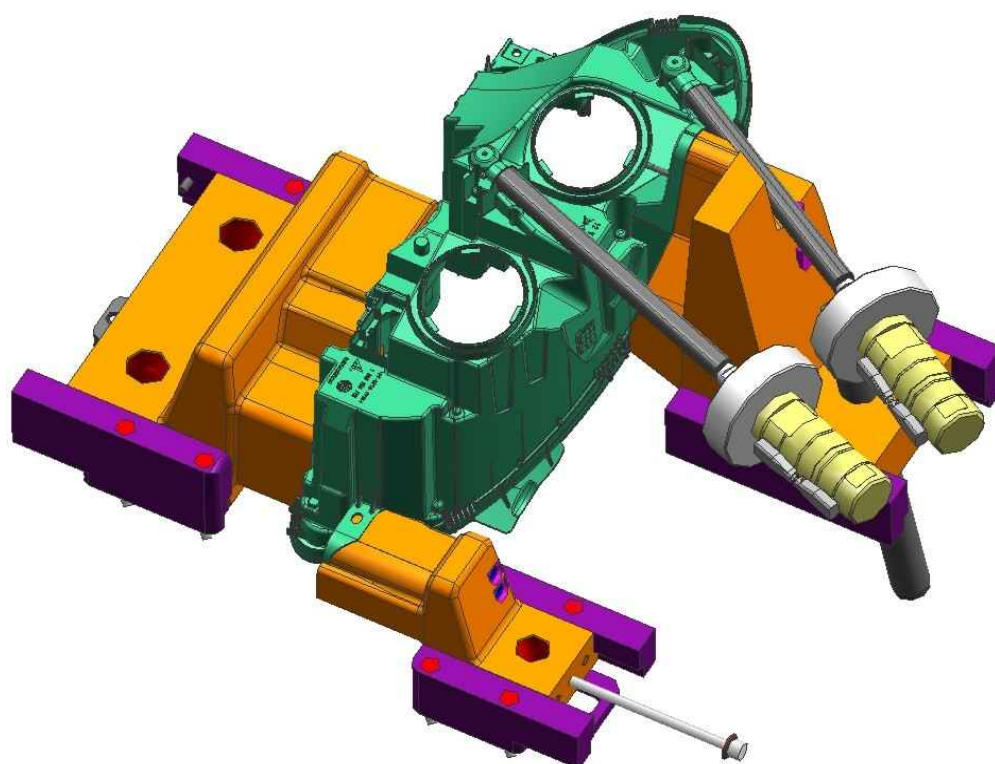
Samotnou realizací formy byla pověřena Italská společnost SPM, S.p.A. Eufemia. Ta na základě 3D dat a výkresové dokumentace optimalizovaného dílce navrhla a vyrobila vstřikovací formu.



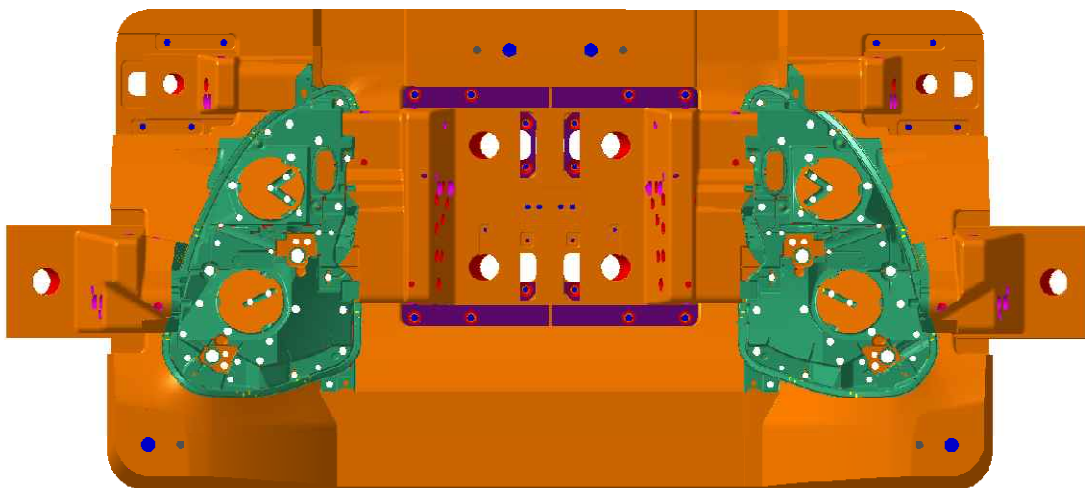
Obr. 10.1 Hlavní rozměry vstřikovací formy



Obr. 10.2 Pohled na tvarové vložky



Obr. 10.3 Pohyblivé tvarové vložky



Obr 10.4 Vyhazovače výstřiku

Detailnější informace o formě jsou patrné z výkresové dokumentace, která je přílohou této práce.

11 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo využitím simulační aplikace optimalizovat tloušťku stěny plastového tělesa světloometu. Záměrem bylo redukovat celkovou hmotnost tělesa, při zachování požadovaných mechanických vlastností. Tím dosáhnout snížení nákladů na materiál.

Těleso světloometu bylo vytvořeno v 3D modeláři Catia V5 R19 A to se zohledněním funkčních požadavků a zásad pro konstrukci plastového dílce. Následně byl model tělesa převeden do simulační aplikace Moldflow Plastics Insight 6.0.

V této aplikaci pak probíhaly simulace zatékání taveniny. Byly provedeny čtyři simulace. Procesní podmínky byly zvoleny dle použitého materiálu tělesa, předpokládaného vstřikovacího lisu a na základě zkušeností z předchozích projektů.

Test A byl prováděn na původním modelu bez jakýchkoliv redukcí tloušťky stěny. Byla navržena horká vtoková soustava. Simulace ukázala, že zatékání není zcela vyvážené.

Pro Test B byla provedena redukce tloušťky stěny z 1,7 mm na 1,5 mm. Procesní podmínky i vtoková soustava byly zachovány stejné jako v Test A. I v tomto případě bylo zatékání nevyvážené a došlo i k výraznému nárůstu plnicího tlaku.

Simulace Test C probíhala na tělese s redukovanou tloušťkou stěny na 1,5 mm jako v Testu B. Změny doznalo uspořádání vtokových ústí. Snahou bylo zlepšit rovnoměrnost zatékání. Toho ovšem dosaženo nebylo. Prokázalo se, že samotná změna vtokových ústí nestačí.

Proto v Testu D byla provedena změna na tělese. V oblasti kde docházelo k pomalejšímu zatékání byla tloušťka stěny vrácena na původní hodnotu 1,7 mm. Následná simulace přinesla pozitivní výsledek. Zatékání bylo více rovnoměrné a také došlo k poklesu plnicího tlaku.

Jako optimální se ukázal Test D. Redukcí tloušťky stěny se dosáhlo 5% úspory na hmotnosti dílce, což při dané ceně materiálu a plánované produkci představuje úsporu 100.750 €.

Výsledné optimalizované těleso a provedená analýza byly použity pro návrh a výrobu vstřikovací formy, jejíž realizací byla pověřena italská společnost SPM, S.p.A Eufemia.

12 RESUMÉ

Tato práce se zabývá využitím simulační aplikace na optimalizaci tloušťky stěny plastového tělesa světloometu. Hlavním cílem bylo dosáhnout snížení hmotnosti tělesa a tím snížení nákladů na materiál.

Provedené simulace prokázaly, že je možno optimalizovat tloušťku stěny dílce a to ještě ve fázi vývoje. Lze tím optimalizovat i rovnoměrnost zatékání.

Využitím simulačních aplikací lze dosáhnout výrazného snížení nákladů i zkrácení celé předvýrobní fáze, neboť je možné optimalizovat dílec i vstřikovací proces ještě před samotnou výrobou formy. Je tudíž možno eliminovat zásahy do formy, které jsou časově i finančně nákladné.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŠTĚPEK, Jiří; ZELINGER, Jiří; KUTA, Antonín. *Technologie zpracování a vlastností plastů*. 1. vydání. Praha, Bratislava : SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT678.5(075.8).
- [2] SOVA, Miloš; KREBS, JOSEF. *Termoplasty v praxi*. 1. vydání. Praha : Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.) ISBN 80-86229-15-7.
- [3] MENGES, Georg; MOHREN, Paul. *How to Make Injection Molds*. 2nd edition. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.
- [4] NEUHÄUSL, Emil; ZEMAN, Lubomír. *Vstříkování plastů – teorie a praxe*. 119 s.
- [5] LENFELD, P. *Technologie II, Část II – zpracování plastů* [online], Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm>
- [6] *Technologie zpracování plastů*. Příloha Technického týdeníku č.18, 20.zář 2005, XI. ročník
- [7] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*, Brno:VUT, 1985. 278 s.
- [8] BOBČÍK, Ladislav a kol. *Formy pro zpracování plastů I. a II. díl - Vstříkování termoplastů*. 2.opr. vydání Brno: UNIPLAST, 1999. 133, 214 s.
- [9] Propagační materiály *CATIA V5* [online], Dytron - dodavatel PLM řešení. Dostupné na World Wide Web : <www.dytron.cz/catia-popis/catia-v5.aspx>
- [10] Propagační materiály *Moldflow Plastics Insight* [online], Smartplast. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.smartplast.cz/software.php>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Označení | Legenda | Jednotka |
|-----------------|--|-------------------------|
| M | molární hmotnost | [kg.mol ⁻¹] |
| P | polymerační stupeň | [-] |
| M _o | molekulární hmotnost monomeru | [kg.mol ⁻¹] |
| T _g | teplota zeskenění | [°C] |
| T _m | teplota tání polymeru | [°C] |
| T _f | teplota viskózního toku | [°C] |
| U _{Nm} | úspora nákladů za materiál | [€] |
| N _T | celkový počet těles světloometu | [ks] |
| m _u | úspora materiálu na jednom tělese | [kg] |
| c _m | cena za 1kg granulátu | [€] |
| ABS | Akrylonitrilbutadienstyren | |
| ASA | Akrylonitrilstyrenakryester | |
| PA 6 | Polyamid 6 | |
| PA 6.6 | Polyamid 6.6 | |
| PBT | Polybutentereptalát | |
| PC | Polykarbonát | |
| PEEK | Polyetheretherketon | |
| PEI | Polyetherimid | |
| PES | Polyethersulfon | |
| PI | Polyimid | |
| PMMA | Polymethylmetakrylát | |
| POM | Polyoxymetylén | |
| PP | Polypropylen | |
| PP-F | Polypropylen plněný | |
| PPO | Polyfenylenoxid | |
| PS | Polystyren | |
| PSU | Polysulfon | |
| SAN | Styrenakrylnitrid kopolymer | |
| TPE | Termoplastický polyolefin fluorelastomer | |

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

| Obrázek | Str. |
|--|------|
| Obr. 1.1 Vývoj světlometů | 11 |
| Obr. 2.1 Polymerní řetězce | 12 |
| Obr. 2.2 Struktura amorfního termoplastu | 13 |
| Obr. 2.3 Struktura semikrystalického termoplastu | 14 |
| Obr. 2.4 Struktura reaktoplastů | 14 |
| Obr. 2.5 Struktura elastomeru | 15 |
| Obr. 2.6 Přehled plastů dle použití | 15 |
| Obr. 2.7 Schéma rozdělení přírodních a syntetických polymerů | 16 |
| Obr. 2.8 Orientace vláken po průřezu výstřiku | 17 |
| Obr. 3.1 Vstřikovací jednotka | 19 |
| Obr. 3.2 Hydraulicko-mechanický kloubový uzávěr | 20 |
| Obr. 3.3 Hydraulický uzávěr s centrálním válcem | 20 |
| Obr. 3.4 Průběh tlaku ve formě během vstřikovacího cyklu | 21 |
| Obr. 3.5 Schéma vstřikovacího cyklu | 22 |
| Obr. 3.6 Postup vstřikování u GIT technologie - krátký výstřik | 23 |
| Obr. 3.7 Postup vstřikování u GIT technologie - dlouhý výstřik | 24 |
| Obr. 3.8 Varianty přívodu plynu | 24 |
| Obr. 4.1 Řez vstřikovací formou | 25 |
| Obr. 6.1 Srovnání halogenové a AFX varianty | 28 |
| Obr. 6.2 Rozpad světlometu | 28 |
| Obr. 6.3 Těleso halogenového světlometu | 29 |
| Obr. 8.1 Návrh vtoku | 32 |
| Obr. 8.2 Čas plnění tvarové dutiny formy (1,5 s) | 33 |
| Obr. 8.3 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,4 s) | 33 |
| Obr. 8.4 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,9 s) | 34 |
| Obr. 8.5 Tlak na konci plnění | 34 |
| Obr. 8.6 Místa redukované tloušťky stěny | 35 |
| Obr. 8.7 Místa redukované tloušťky stěny | 35 |
| Obr. 8.8 Návrh vtoku | 36 |
| Obr. 8.9 Čas plnění tvarové dutiny formy (1,5 s) | 36 |
| Obr. 8.10 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,4 s) | 37 |
| Obr. 8.11 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,9 s) | 37 |
| Obr. 8.12 Tlak na konci plnění | 38 |
| Obr. 8.13 Místa redukované tloušťky stěny | 38 |
| Obr. 8.14 Místa redukované tloušťky stěny | 39 |
| Obr. 8.15 Návrh vtoku | 39 |
| Obr. 8.16 Čas plnění tvarové dutiny formy (1,5 s) | 40 |
| Obr. 8.17 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,4 s) | 40 |
| Obr. 8.18 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,9 s) | 41 |
| Obr. 8.19 Tlak na konci plnění | 41 |
| Obr. 8.20 Místa redukované tloušťky stěny | 42 |

| | |
|---|------|
| Obr. 8.21 Místa redukované tloušťky stěny | 42 |
| Obr. 8.22 Návrh vtoku | 43 |
| Obr. 8.23 Čas plnění tvarové dutiny formy (1,5 s) | 43 |
| Obr. 8.24 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,4 s) | 44 |
| Obr. 8.25 Čas plnění tvarové dutiny formy (2,9 s) | 44 |
| Obr. 8.26 Tlak na konci plnění | 45 |
| Obr. 10.1 Hlavní rozměry vstřikovací formy | 47 |
| Obr. 10.2 Pohled na tvarové vložky | 48 |
| Obr. 10.3 Pohyblivé tvarové vložky | 48 |
| Obr. 10.4 Vyhazovače výstřiku | 49 |
| | |
| Tabulka | Str. |
| Tabulka 2.1 Amorfnní a semikrystalické termoplasty a jejich chování | 14 |
| Tabulka 8.1 Procesní podmínky pro simulaci vstřikování | 31 |
| Tabulka 8.2 Parametry vstřikovacího lisu ES 5550/900 DUO | 31 |
| Tabulka 8.3 Přehled testovaných variant | 32 |

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 materiálový list Tecnoprene VKM24
- Příloha 2 výkres tělesa světloometu
- Příloha 3 výkres vstříkovací formy
- Příloha 4 rozpiska k výkresu formy