

# Optimalizace návrhu vstřikovací formy

Bc. Jan Němeček

---

Diplomová práce  
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Němeček**  
Osobní číslo: **T14518**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Optimalizace návrhu vstřikovací formy**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Nakreslete 3D model zvoleného dílu
3. Navrhněte konstrukci vstřikovací formy
4. Provedte analýzy vstřikovacího procesu
5. Provedte optimalizaci se zaměřením na finanční úsporu

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle zadání vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Michal Staněk, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**8. ledna 2016**

Termín odevzdání diplomové práce:

**13. května 2016**

Ve Zlíně dne 26. ledna 2016



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



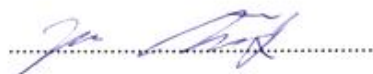
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## 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<sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji 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 ..... 21.4.2016



<sup>21</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

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

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

<sup>22</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

<sup>23</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Zpracování diplomové práce vychází z požadavků útvaru technologie ve společnosti Kasko spol. s r.o. za účelem snížit náklady na výrobu plastového dílu. V úvodní teoretické části práce je rozebrána problematika technologie vstřikování se zaměřením na technologie využívané ve společnosti.

Praktická část přináší dva pohledy na optimalizaci procesu. Prvním pohledem je úprava procesních parametrů a konstrukční úprava vybraných částí současné formy. Druhým pohledem je kompletní přepracování konstrukce formy. V závěru práce jsou shrnuty poznatky z jednotlivých částí práce a na základě kritéria finančních úspor a využití lidských zdrojů je stanoveno doporučení úprav.

Klíčová slova:

vstřikování, procesní parametry, optimalizace, konstrukce formy

## **ABSTRACT**

This thesis is based on the requirements of the department of technology in Kasko spol. s r.o. company. Main purpose is reduce the cost production on the plastic parts. In the introductory theoretical part of this thesis is described injection molding technology with a focus on the technology used in the company.

Practical part presents two views on the process optimization. The first view is the adjustment of process parameters and structural modification of selected parts of a current mold. The second view is a complete rework of the mold design. The conclusion summarizes the findings of the individual thesis parts and the recommendations for adjustments are based on these criteria – financial saving and the use of human resources.

Keywords:

Injection Molding, Process Parameters, Optimization, Mold Design

Poděkování patří všem, kteří mi byli oporou nejen při tvorbě této diplomové práce, ale i během celého studia. Zvláště děkuji svému vedoucímu práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a cenné rady a připomínky. Dále pak Ing. Pavlu Horákovi, vedoucímu útvaru technologie Kasko spol. s r.o., za poskytnutí zázemí, dodání všech vstupních dat a rozšíření praktického rozhledu v oboru vstřikování termoplastů.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>13</b>
1.1    TECHNOLOGIE .....	13
1.1.1    Vstřikovací cyklus.....	14
1.1.2    Parametry procesu .....	15
1.1.3    Plnění a dotlak.....	15
1.1.4    Chlazení.....	17
1.2    VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	18
1.2.1    Vstřikovací jednotka .....	19
1.2.2    Uzavírací jednotka .....	21
1.3    PERIFERIE VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ A FOREM .....	23
1.3.1    Sušárny .....	23
1.3.2    Doprava a dávkování.....	23
1.3.3    Temparační jednotky.....	24
1.3.4    Roboty a manipulátory .....	24
1.4    SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE .....	24
1.4.1    Vícekomponentní vstřikování .....	24
1.4.2    GIT .....	25
1.4.3    WIT .....	25
1.5    VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	26
1.5.1    Přetoky .....	26
1.5.2    Neúplné výstřiky .....	27
1.5.3    Propadliny .....	27
1.5.4    Lokální spálení .....	27
1.5.5    Tvorba bublinek .....	27
1.5.6    Odlesky na dezénu .....	28
<b>2 VSTŘIKOVANÉ POLYMERY</b> .....	<b>29</b>
2.1    TERMOPLASTY .....	30
2.1.1    Amorfní.....	30
2.1.2    Semikrystalické .....	31
2.2    PŘÍPRAVA MATERIÁLŮ .....	32
2.3    RECYKLACE .....	33
<b>3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ</b> .....	<b>34</b>
3.1    VÝROBNÍ POŽADAVKY .....	34
3.1.1    Plnění.....	34
3.1.2    Smrštění a deformace .....	35
3.1.3    Odformování .....	37
3.2    KVANTIFIKACE KONSTRUKČNÍCH PROBLÉMŮ.....	38
3.2.1    Typy vyztužení.....	38
3.3    VÝBĚR MATERIÁLU .....	39
3.4    PODPORA NÁVRHU CAE.....	40
<b>4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM</b> .....	<b>41</b>



4.1	V TOKOVÉ SYSTÉMY .....	42
4.1.1	Studené vtokové systémy .....	42
4.1.2	Horké vtokové systémy .....	45
4.2	ODFORMOVACÍ SYSTÉMY .....	46
4.3	TEMPERACE FOREM .....	47
4.3.1	Temperační média .....	48
4.3.2	Chladicí systémy .....	49
4.4	NORMÁLIE.....	49
4.4.1	Základní konstrukční díly .....	50
4.4.2	Vodící elementy .....	50
4.4.3	Ostatní normálie .....	50
4.5	MATERIÁLY FOREM.....	50
4.6	ÚDRŽBA .....	51
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>STANOVENÍ POŽADAVKŮ A CÍLŮ.....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>POŽADAVKY ÚTVARU TECHNOLOGIE.....</b>	<b>54</b>
6.1	ZÁKLADNÍ INFORMACE VÝROBY .....	54
6.1.1	Technologické parametry .....	54
6.2	POPIS VÝROBKU .....	55
6.3	ODSTRANĚNÍ VAD - SPÁLENÁ MÍSTA .....	56
6.3.1	Popis vady .....	56
6.3.2	Technologické řešení .....	56
6.3.3	Konstrukční řešení .....	57
6.4	ODSTRANĚNÍ VAD – ODLESKY .....	60
6.4.1	Popis vady .....	60
6.4.2	Technologické řešení .....	61
6.4.3	Konstrukční řešení .....	63
6.4.4	Výsledek řešení z praktické zkoušky .....	64
6.5	OPTIMALIZACE PROCESU .....	65
6.5.1	Společné parametry .....	66
6.5.2	Analýza původního stavu .....	68
6.5.3	Analýza zvoleného optima .....	73
6.5.4	Praktická zkouška.....	77
6.5.5	Závěry optimalizace nastavení .....	79
6.6	ÚPRAVA V TOKOVÉ VLOŽKY .....	79
6.6.1	Popis závady.....	80
6.6.2	Řešení.....	80
6.6.3	Návrh 1.....	82
6.6.4	Návrh 2.....	83
6.6.5	Návrh 3.....	84
6.6.6	Závěrečné shrnutí a doporučení .....	85
<b>7</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY .....</b>	<b>86</b>
7.1	MODEL JR95.....	86
7.2	ZPŮSOB ZAFORMOVÁNÍ .....	86
7.2.1	Analýza polohy vtoku a vtoková soustava.....	86

7.2.2	Návrh tvárníku a tvárnice.....	87
7.3	SESTAVA VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	89
7.3.1	Pevná strana formy.....	89
7.3.2	Pohyblivá strana formy.....	90
7.3.3	Vyhazovací systém.....	92
7.3.4	Vodící systém a středění.....	94
7.3.5	Shrnutí.....	95
7.4	ANALÝZY NAVRŽENÉ KONSTRUKCE.....	95
7.4.1	Nastavení analýz.....	95
7.4.2	Optimalizace.....	97
7.4.3	Analýza zvoleného optima.....	98
7.5	ZÁVĚR NÁVRHU KONSTRUKCE A JEJÍ OPTIMALIZACE.....	101
<b>8</b>	<b>FINANČNÍ VYHODNOCENÍ.....</b>	<b>102</b>
8.1	VYHODNOCENÍ PRÁCE STROJE A TVORBY NESHODNÝCH VÝROBKŮ.....	102
8.2	VYHODNOCENÍ VSTŘIKOVÁNÍ.....	104
8.3	VYHODNOCENÍ SEŘIZOVÁNÍ STROJE.....	105
8.4	NÁKLADY ÚPRAV.....	106
8.5	SHRnutí ÚSPOR.....	107
<b>9</b>	<b>DISKUZE NÁVRHŮ A VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>108</b>
9.1	TECHNOLOGICKÁ ČÁST.....	108
9.2	KONSTRUKČNÍ ČÁST.....	109
9.3	SHRnutí.....	109
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>110</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>111</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>113</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>114</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>117</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>118</b>

## ÚVOD

Zavádění inovace obecně vyžadují důkladný výzkum a vývoj. V automobilovém průmyslu, na který je přednostně orientována jako subdodavatel i společnost Kasko spol. s r.o., probíhá vývoj nového vozu přibližně dva roky. Za tuto dobu musí být proveden kompletní cyklus vývoje výrobku až po jeho výrobu. Po zavedení výrobku do sériové výroby, probíhá většina dodávek tzv. „just in time“ neboli na čas. Tím odpadá automobilkám nutnost skladování, ale o to více musí být dodavatel schopen výrobky dodat včas. Při tomto koloběhu není prostor na prodlevy a jedinou možností úspor jsou časové a s tím související i kvalitativní optimalizace. Za účelem předcházení těmto prodlevám, byl útvarem technologie Kasko spol. s r.o. (zadavatel práce) definován kritický výrobek s označením JR95.

Jedná se o vstříkovaný kryt elektroniky v automobilu, rozdělený na část pohledovou a část funkční, při jehož výrobě dochází k častému projevu vad. Hlavním požadavkem zadavatele je návrh řešení odstranění vad a návrh optimalizace procesu s cílem maximálních finančních a časových úspor při zachování či zvýšení kvality výrobku. Pro splnění těchto požadavků bude vytvořena literární studie zabývající se technologií vstříkování, ale i konstrukčními zásadami plastových výrobků a forem, jež poslouží jako teoretický podklad praktické části. Praktická část bude rozdělena na tři sekce analyzování problematiky. V první části bude zkoumán vliv změny technologie s cílem optimalizovat současnou vstříkovací formu i celý proces výroby. Náplní dále bude vytvoření návrhů na odstranění vad, analýza současného vstříkovacího procesu a následná optimalizace, která bude i prakticky odzkoušena během výroby. Nové konstrukční řešení formy s totožným cílem optimalizace bude náplní druhé části. Závěrečná část bude věnována finančnímu vyhodnocení současného stavu a finančních možností navržených úprav. Veškeré analýzy vstříkovacího procesu budou provedeny virtuálně v software Cadmould 3D-F s nastavením parametrů odpovídajícím reálnému nastavení.

V závěru této práce budou shrnuty všechny poznatky jednotlivých částí do formy doporučených úprav. Realizace této práce přinese zadávající společnosti podklad pro možnou metodiku řešení optimalizace konstrukčních návrhů i samotného procesu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

V posledních dekádách byl zaznamenán výrazný nárůst využití polymerních materiálů. Stále se rozvíjející aplikace polymerů zahrnují především náhrady tradičních materiálů za účelem zvýšení trvanlivosti či redukce hmotnosti výrobků. Tento směr je prioritní v oblasti automotive. Další důležitou aplikací polymerů je inovativní přístup ke konstrukci výrobků, které by nebylo možné vyrobit z jiných materiálů nežli polymerních. Jednou z velkých výhod těchto materiálů je jednoduché tváření při nízkých teplotách v porovnání s kovy.

### 1.1 Technologie

Vstřikování je jednou z nejrozšířenějších technologií pro zpracování polymerů. Ačkoli existuje pro zpracování polymerů mnoho alternativních výrobních metod, je vstřikování efektivní a výhodné při produkci velkých objemů a sérií. Technologie vstřikování nabízí výrobu produktů rychle, s precizními detaily, skvělou tvarovou a rozměrovou opakovatelností a především nízkou cenou. Majoritní podíl má tato technologie především při zpracování termoplastů, nicméně v posledních letech se stále více rozvíjí a využívá vstřikování elastomerů. Vzhledem na zaměření této práce budou dále popsány pouze spojitosti s termoplasty. [7]

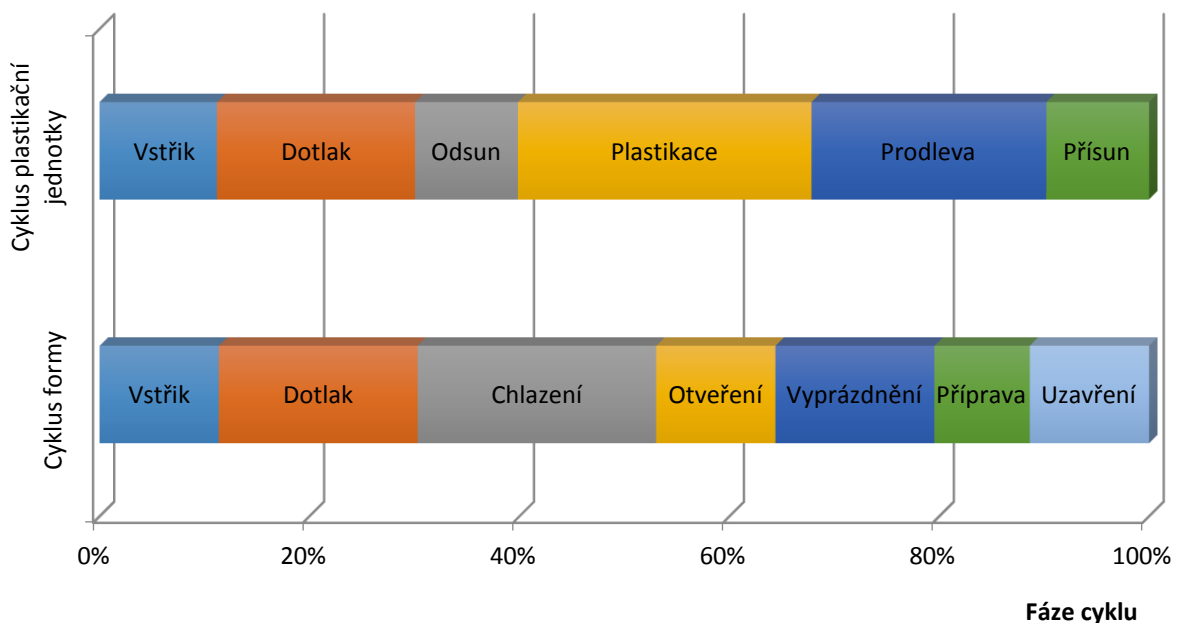
Tab. 1 Rozdělení trhu se vstřikovanými výrobky (Evropa) [11]

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

Základem technologie je cyklické tváření plastu do finální podoby produktu. Proces začíná výběrem vhodného materiálu. Pro vstřikování se nejčastěji dodávají granule či pelety, které jsou následně taveny v plastikační jednotce vstřikovacího stroje. Po roztavení je tavenina pod tlakem vstříknuta do dutiny formy, která je negativem výrobku. V temperované formě materiál tuhne na vyhazovací teplotu, při níž opouští formu. Následuje dochlazení okolním prostředím. Celý proces ovlivňuje několik parametrů, které jsou dále rozebrány.

### 1.1.1 Vstřikovací cyklus

Na diagramu je časové rozložení jednotlivých operací během jednoho vstřikovacího cyklu. Během vstřikování probíhají v podstatě cykly dva. První je cyklus formy a druhý je cyklus plastikační jednotky. První fází je přísun plastikační jednotky a uzavření formy. Následuje vstříknutí taveniny do dutiny formy a případný dotlak. Po ukončení těchto dvou společných fází se odsouvá plastikační jednotka. Forma je stále uzavřena a výrobek v ní chladne. Po dosažení vyhazovací teploty se forma otevírá a vyprázdňuje. Během chlazení, otevírání a vyhazování dochází v plastikační jednotce k plastikaci další dávky materiálu. Do cyklu může být zařazena příprava formy, jež zahrnuje operace jako čištění, nanášení separačního prostředku či umístění zástríků. [7]



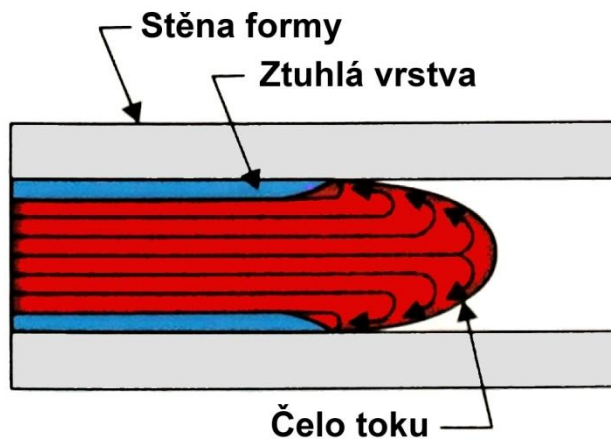
Obr. 1 Vstřikovací cyklus

### 1.1.2 Parametry procesu

Proces vstřikování je charakterizován dvěma veličinami – vysokým tlakem a teplotou. Vstřikovací tlaky mohou být různé od 50 MPa do stovek MPa a závisí na typu stroje. V každém případě by měl být vstřikovací tlak dostatečný na vyplnění dutiny i přes veškeré odpory, které působí během toku taveniny. Teplota taveniny během procesu kolísá. Je to dáno jednak nižší teplotou formy (termoplasty) a jednak velikostí disipace, která naopak taveninu ohřívá. Proto je nutné již při konstrukci formy dbát na lokální disipaci. V průměru se teploty tavenin pohybují v rozmezí 120 °C – 350 °C. Pro správné nastavení procesu je nutné temperování formy. Temperace forem probíhá kapalinou, proudící v temperačních kanálech formy. Důležitým parametrem pro posouzení odvodu tepla je měrná tepelná kapacita kapaliny. Teplota forem se pohybuje od 0 °C do 150 °C a je doporučena výrobcem granulátu. Proces je také ovlivněn druhem použitého materiálu a jeho reologických vlastnostech. [7]

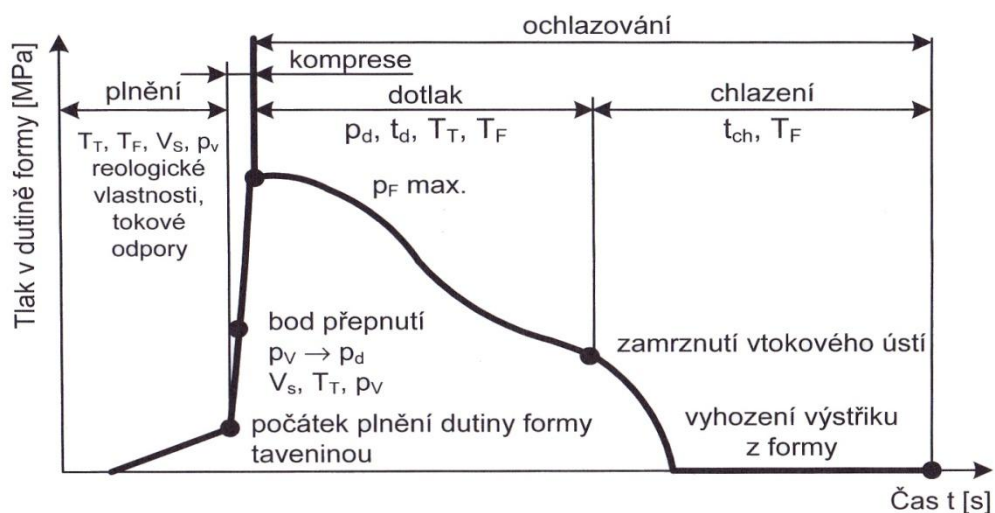
### 1.1.3 Plnění a dotlak

Tato fáze probíhá při dopředném pohybu šneku a je charakterizována reologickými vlastnostmi zvoleného plastu. Při dotyku taveniny s chladným povrchem formy dochází k lokálnímu navýšení viskozity a ztuhnutí materiálu u stěn. Tato ztuhlá vrstva izoluje proudící taveninu od chladné stěny. Mezi těmito vrstvami dochází k laminárnímu toku a velkému smýkání, čímž se produkuje disipované teplo. Velikost disipace (disipační výkon) je součinem rychlosti smykové deformace a smykového napětí. Důsledkem lokálních ohřevů může být až degradace materiálu. Pokud je rychlost plnění příliš vysoká, vytvoří se nekontrolovatelné turbulentní proudění, které strhává ztuhlé vrstvy a vnáší tak do taveniny již ztuhlý plast. Fontánový tok je základem úspěšného plnění. Vychází z předpokladu laminárního proudění, kde tavenina migruje ke kraji a prodlužuje izolační neproudící vrstvu. Ztuhlá vrstva se po stěně formy nepohybuje. Tloušťka ztuhlé vrstvy závisí na teplotě taveniny, teplotě formy a především na rychlosti plnění. Při pomalém plnění je tloušťka ztuhlé vrstvy větší. Symbolem nesprávného plnění je tryskový tok neboli jetting. Materiál proudí velkou rychlostí a vznikají sklady – studené spoje. Takový výrobek má zhoršené mechanické i vzhledové vlastnosti. [7]



Obr. 2 Fontánový tok [6]

Při naplnění kavity, je ukončeno tečení materiálu a viskozita závisí pouze na teplotě taveniny. Dochází k tuhnutí a objemovým změnám. Při ochlazení na teplotu okolí bude výrobek vykazovat velké smrštění a defekty. Za účelem omezení těchto vad se do cyklu zařazuje fáze dotlaku. Po ukončení plnění stroj setrvává do zamrznutí ústí na zvoleném tlaku, který má za úkol vyrovnat objemové změny. Dotlaková fáze může mít setrvalý i proměnlivý (klesající) průběh. Dotlak je nevýznamnějším parametrem ovlivňující smrštění. Na Obr. 3 je znázorněn tlakový průběh během vstřikovacího cyklu. [6]



Obr. 3 Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu [2]

Proces plnění a dotlaku je charakterizován viskozitou taveniny. Viskozitu ovlivňuje jak teplota, tlak, tak i relativní posun myšlených vrstev, který je nazýván smyková rychlost. Její velikost závisí na čase, rychlosti pohybu a rozměru (např. průměru kanálu). Fontánový tok má zvonový profil smykové rychlosti. Je to dáno pohybem vrstev, které tuhnou na stěně. Se zvyšující se smykovou rychlostí bude viskozita polymerních tavenin klesat. Pro



přesný popis viskozitního chování tavenin slouží tokové křivky. V praxi se však často uvádí ITT (index toku taveniny) udávající množství materiálu [g], které vyteče přes kapiláru o definovaných rozměrech a zatížení za 10 min. Vyjadřuje v podstatě jeden bod na tokové křivce.[6],[7]

#### 1.1.4 Chlazení

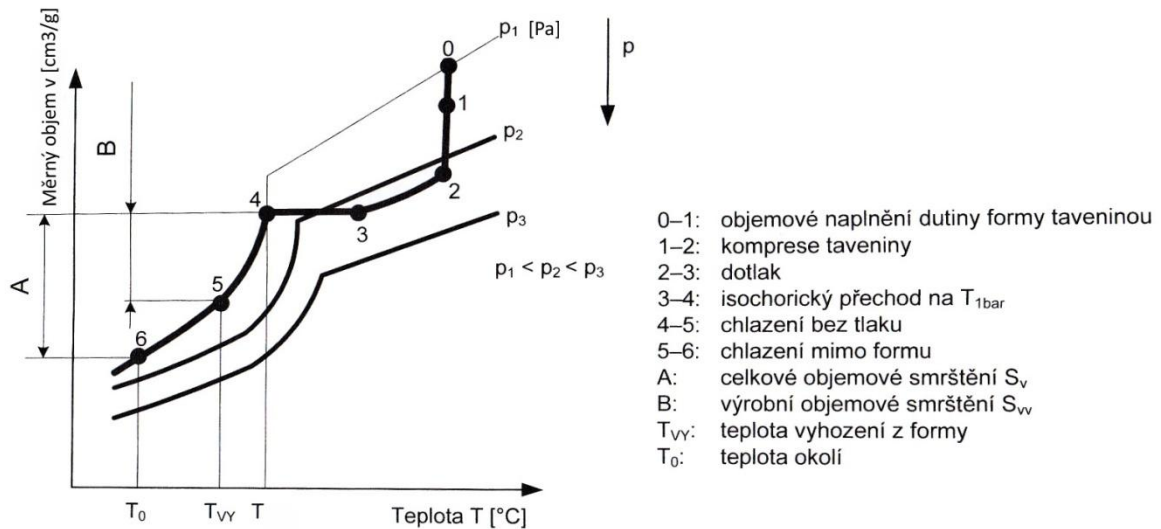
Chlazení výrobku začíná ihned po kontaktu taveniny se stěnou formy. Dochází k vytvoření izolační vrstvy a fontánovému toku popsanému výše. Jakmile dojde k ukončení tlakových fází, materiál chladnutím ztrácí na objemu. K otevření formy dochází při teplotě vyhození. Při chladnutí výrobku pod tuto teplotu se neočekávají zásadní změny tvaru. Pro dosažení shodného výrobku by měla být jednotná teplota formy, co nejjednodušší tloušťka stěny (umístění výztuh, za účelem snížení tloušťky a rozdílné doby chlazení) a jednotná teplota výrobku. V opačném případě dochází k nestejnomyšlnému chlazení, tedy i různým krystalizačním pochodům a vznikají deformace. Podstatný vliv má i teplota formy, protože se vzrůstající teplotou roste i velikost smrštění.



Obr. 4 Vliv teplotního rozložení, vznik ohybu [6]

Je patrné, že nelze striktně dosáhnout doporučení například u chlazení rohů, protože chladící kanály nejsou vždy ve stejné vzdálenosti od dutiny. Výsledný výrobek je tedy vždy určitým výrobním kompromisem, k jehož určení dopomáhají pvT diagramy.

Tyto diagramy jsou závislostmi mezi specifickým objemem  $v$  [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ], teplotou  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] a tlakem  $p$  [Pa]. Skrze pvT diagramy lze určit změnu specifického objemu při změně tlaku pro určitou teplotu, či změnu specifického objemu při snížení teploty (taveniny) pro určitý tlak, atd. Je nutno brát zřetel na nezohlednění časového průběhu tlaku a gradientu chlazení, které ovlivňují smrštění. Z Obr. 5, v němž je zakreslen průběh cyklu, lze stanovit pouze přibližné objemové změny a případné teplotní a tlakové parametry. [6],[7]



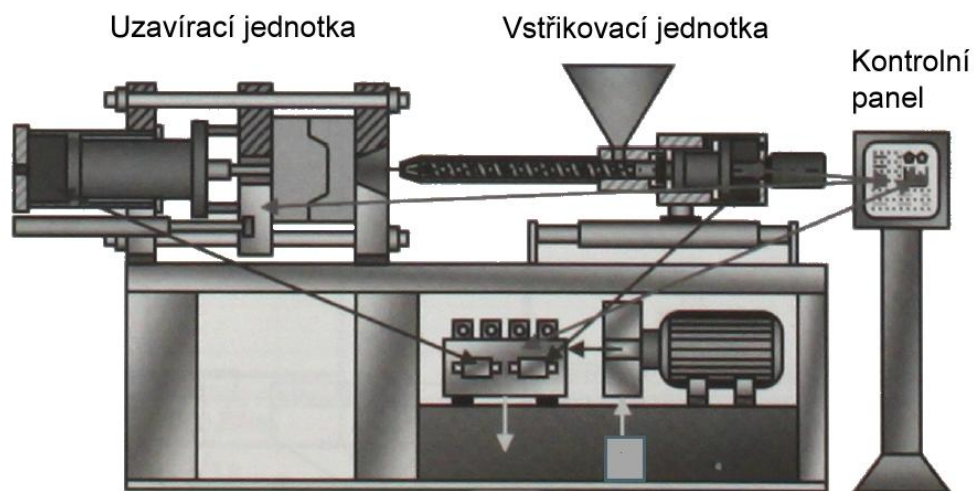
Obr. 5 pvT diagram pro semikrystalický polymer se zaznačením vstřikovacího cyklu [2]

## 1.2 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroj lze definovat jako cyklicky pracující stroj produkující tvářené výrobky z převážně makromolekulárních materiálů. Tváření zplastikovaného materiálu se provádí dodáním vstřikovacího tlaku, čímž se skrze rozvodné kanály vyplní dutina formy. První vstřikovací stroj byl patentován v Německu roku 1921. Jednalo se o ručně uzavíratelný systém s pneumatickým vstřikováním. Základními komponenty vstřikovacího stroje jsou:

- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka.

Téměř 100 let vývoje vedlo ke konstrukci a výrobě mnoha typů vstřikovacích strojů. Prodejci nabízí široké spektrum různých typů, velikostí, modelů a především periferních doplňků. Na Obr. 6 je vyobrazen základní koncept vstřikovacího stroje. Vlevo uzavírací jednotka, vstřikovací jednotka uprostřed a kontrolní panel vpravo. Většina strojů se vyrábí v horizontálním provedení. Vertikální konstrukce však není výjimkou např. u vícekomponentního vstřikování. Rozšířením automatizace mohou stroje pracovat v různých režimech od ručního ovládání po plně automatický chod (například se zařazením robota). [11]



Obr. 6 Vstřikovací stroj s hydraulickým pohonem [11]

Volba vstřikovacího stroje závisí na jeho parametrech. Mezi nejdůležitější patří následující:

- velikost uzavírací síly,
- vzdálenost sloupků (prostor pro ukotvení formy),
- vstřikovací kapacita (hmotnost dávky jednoho cyklu),
- plastikační výkon (hmotnost materiálu zplastikovaného za hodinu),
- maximální zdvih (prostor otevření formy),
- vstřikovací tlak.

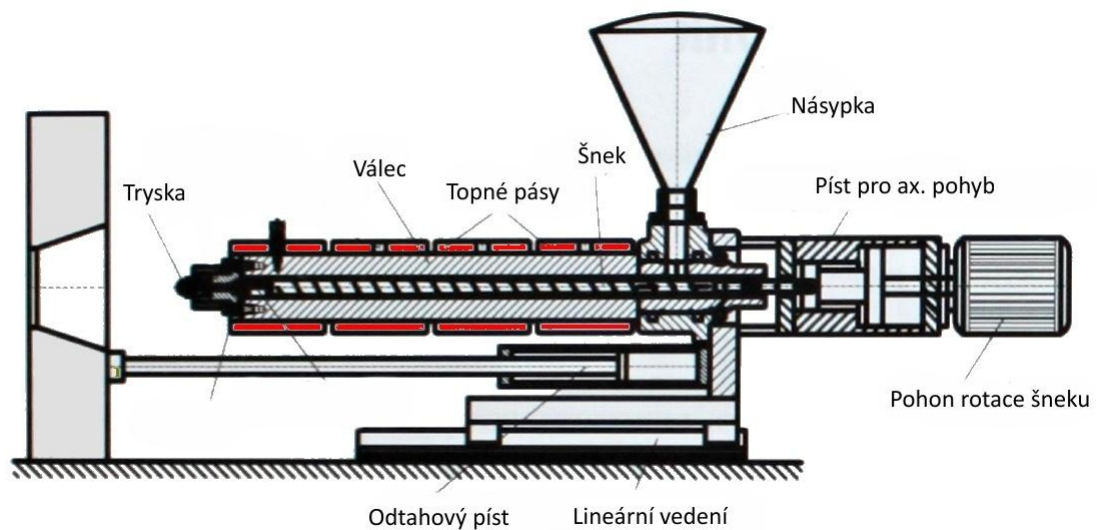
### 1.2.1 Vstřikovací jednotka

Základní funkcí vstřikovací jednotky je příprava materiálu (tvorba a homogenizace taveniny) a následné dodání potřebného vstřikovacího tlaku. Lze použít několik typů jednotek viz Obr. 7.



Obr. 7 Rozdělení vstřikovacích jednotek [20]

Dnes jsou nejpoužívanější jednotky s plastikací a vstřikování šnekem. Princip chodu stroje je následující. Válec plastikační jednotky je zásobován plastovými granulemi. Následně dochází ke kontaktu mezi granulemi a válcem a mezi granulemi a šnekem. Díky šroubovitému řešení šneku a třecích koeficientů válce a šneku dochází k posouvání granulí a disipaci tepla. Granule se posunují díky rotaci šneku a změnou kompresního poměru (1,5 - 4,5) dochází k další disipaci. Až 70 % potřebného tepla na roztavení je dodáno z disipace. Zbylé teplo je do systému dodáváno skrze topné pásy umístěnými na válci. Natavený materiál se hromadí před špičkou šneku, která je tvořena jednocestným ventilem. Při plastikaci se šnek posouvá vzad. Jakmile je dosaženo požadované dávky taveniny, šnek se začne posouvat vpřed, čímž dodá tavenině tlak na vyplnění dutiny formy. Tavenina putuje skrze trysku, vtokovou vložku, rozvodné kanály až do dutiny formy, kde chladne. Po zaplnění se stroj přepíná na fázi dotlaku. V žádném případě by neměla být vstříknuta celá naplastikovaná dávka, ale měl by se vytvořit tzv. polštář. Řízení objemu dávky, rychlosti vstřiku, velikosti polštáře, dekomprese, apod. se nejčastěji nastavuje v závislosti na posunutí šneku. V převážné většině se k rotačnímu pohybu šneku využívá elektromotorů. Hlavní části vstřikovací jednotky jsou popsány na následujícím obrázku. [7], [11]

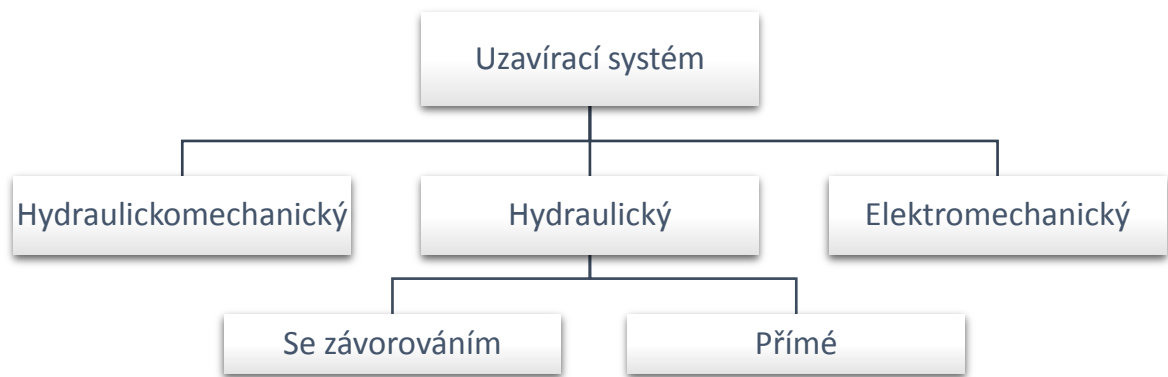


Obr. 8 Vstřikovací jednotka [11]

Plastikační výkon stroje se udává dle průměru použitého šneku. Šneky pro termoplasty jsou normalizované a jeho parametry se odvíjí od poměru délky a průměru. Využívají se také šneky se zařazenou evakuační zónou a míchacími prvky. Pro barvené materiály je finančně výhodné zařadit statický směšovač v podobě mísící trysky. Výrobci využívají několik systémů zabezpečující axiální posun šneku. První typ je hydraulický píst. Další řešení jsou mechanické a využívají buď šroubového, nebo klikového mechanismu v kombinaci s ozubeným převodovým soukolím. [11]

### 1.2.2 Uzavírací jednotka

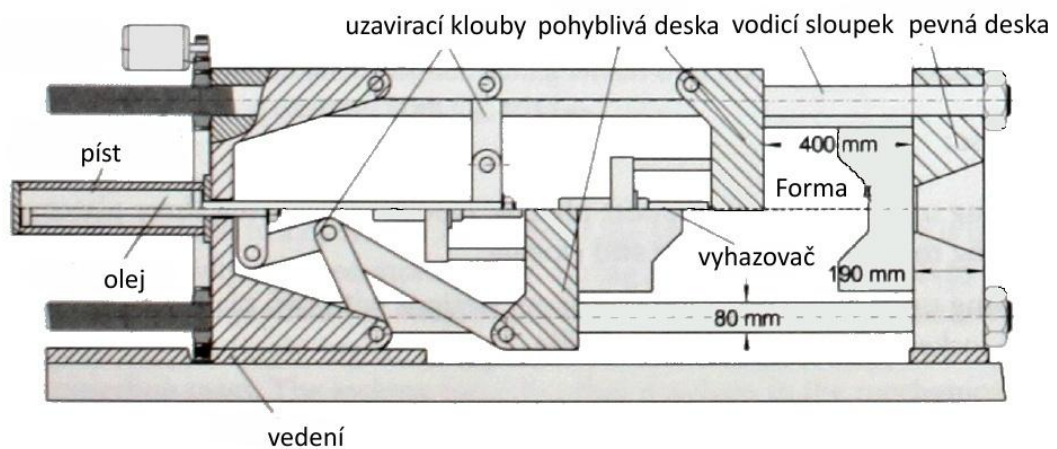
Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje zajišťuje pohyby pro otevření, uzavření a uzamčení formy a musí vyvíjet dostatečnou negativní sílu vstřikovacímu tlaku. Standardní je sloupová konstrukce se stacionární a pohyblivou deskou. K dostání jsou též konstrukce bezsloupové umožňující snazší výměnu forem. Vstřikovací jednotky se dělí dle použitého systému pohonu, viz Obr. 9. Například hydraulické stroje dovolují velké uzavírací síly, ale jsou podstatně pomalejší, nežli stroje elektrické. [11]



Obr. 9 Rozdělení uzavíracích jednotek [20]

Dalším rozdílem je cca o 20 % vyšší energetická náročnost hydraulických strojů. Nelze však s jistotou určit obecně nejvýhodnější systém. Důležitým parametrem uzavíracích jednotek je tuhost. Má velký vliv na přesnost výroby a životnost resp. opotřebení stroje. Tuhost stroje ovlivňuje jednak jeho konstrukce, ale také například upínací desky. Nízká tuhost desek může vést k jejich deformacím, které se projeví na přesnosti lícování formy. Totéž platí pro vodící sloupce.

Uzavírací síla je silně ovlivněna konstrukcí. Hydraulické mechanismy využívají kapalinu, která však není ideálně nestlačitelná. Ekvivalentem je u elektrických strojů například vůle v závitech pohybových šroubů. Pro vyvolání dostatečné uzavírací síly se do jednotlivých konstrukcí zařazují mechanické uzamykací prvky. Těmito prvky bývají závory, západky, kloubové mechanismy, apod. Příklad mechanického uzavírání je na Obr. 10.



Obr. 10 Hydraulicko-mechanické uzavírání [11]

Nedílnou součástí uzavíracích jednotek jsou odformovací systémy. I zde se využívá především elektrických servopohonů méně často pak hydraulických. Na tyto systémy bývají napojeny vyhazovače a jejich charakteristikou jsou zdvih a vyvolaná síla. [11]

Jedním z předních výrobců vstřikovacích strojů je společnost Battenfeld. Nabízí celé spektrum vstřikovacích strojů. V roce 2008 došlo ke sloučení společností Wittmann a Battenfeld díky čemuž je Wittmann group schopen dodat veškeré zařízení pro vstřikování včetně periferií. Výroba ve společnosti Kasko probíhá v převážně většině právě na strojích Battenfeld. Nejvíce jsou využívány elektrické stroje s kloubovým uzavíráním.

### **1.3 Periferie vstřikovacích strojů a forem**

Nedílnou součástí moderní výbory jsou kompaktní periferní zařízení. Jejich hlavním cílem je urychlení a automatizace procesu. Mezi nejčastěji využívané patří sušárny materiálu, komplexní rozvody pro jeho dopravu, dávkovače, temperační jednotky forem, roboty, drtiče a mlýny.

#### **1.3.1 Sušárny**

Vysušený materiál má zásadní vliv na úspěšné vstřikování. Existuje několik typů sušáren dělicích se podle typu proudění vzduchu, podle tlaku v sušárně, či podle umístění. Jednoduchým řešením jsou násypkové sušárny. Ohřátý vzduch proudí ze dna násypky skrze materiál a po nasycení vlhkostí se odvádí. Nevýhodou je krátká doba sušení (přibližně 2h do vyprázdnění) a nestejnomyšernost vysušení. Tyto nevýhody odstraňují centrální sušičky. Jejich konstrukce je závislá na typu přiváděného vzduchu a využívaného tlaku (např. podtlak). Princip odvádění vlhkosti z materiálu je totožný s předchozím typem. Dovolena vlhkost a tím i doba setrvání v sušárně je dána tabelárně pro určitý druh materiálu. Sušárny bývají zásobovány ručně nebo centrálně. Odvod materiálu je řešen centrálním potrubím, aby nedocházelo k opětovnému přijímání vzdušné vlhkosti. [15]

#### **1.3.2 Doprava a dávkování**

V sériové výrobě se využívá centrálních rozvodů materiálu. Granulát je dopravován podtlakově nebo přetlakově i na větší vzdálenosti. Rozvody jsou tvořeny trubkami a hadicemi umístěnými po obvodu výrobní haly. Tím je umožněna efektivní doprava materiálu ze skladu (sušáren) přímo do násypky stroje. Dávkovače a směšovače

bývají umístěny nad násypkou a využívají se nejčastěji k barvení. Hmotnostní nebo objemové dávkování zajišťuje programovatelná řídicí jednotka.

### 1.3.3 Temperační jednotky

Slouží k nastavení a udržování teploty formy. Jejich mobilní konstrukce umožňuje využití u různých strojů. K dostání jsou jednotky s jedním i více okruhy, různých velikostí a typů. Teplota použitého temperačního média se stejně jak průtočné množství nastavuje elektronicky na čelním panelu. Propojení formy a jednotky se provádí hadicemi. Temperační jednotka musí být schopna chlazení, ale i ohřívání kapaliny. Nejvyužívanější temperační kapalinou je voda. Pokud však teplota přesahuje bod varu, přechází se k olejům. [15]

### 1.3.4 Roboty a manipulátory

Základem efektivní výroby jsou roboty. Jejich hlavní náplní práce je vyjímání výstřiků z formy a umístění na pás. Běžnými typy jsou lineární roboty upevněné na rámu stroje. Výhodou je jednoduché naprogramování a umístění i více uchopovacích komponent. V jednom cyklu lze savkou vyjmout výstřík a svorkou oddělit vtok. Nenahrazují však zcela práci operátora.

## 1.4 Speciální technologie

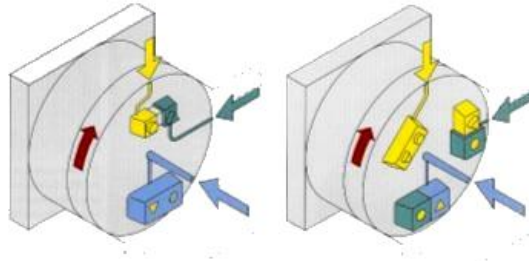
Požadavky dutých a silnostěnných výrobků či řešení konstrukcí z více materiálů vedly k vývoji mnoha typům speciálních technologií vstřikování. U všech je zachován základní princip vstřikování. Změna spočívá v použití podpurných prostředků a odlišné konstrukci formy. Společnost Kasko se zaměřuje na klasické způsoby vstřikování a 2K technologii, proto budou speciální technologie pouze stručně popsány.

### 1.4.1 Vícekomponentní vstřikování

Jedná se o technologii, v níž se kombinují 2 a více materiálů nebo barev na jednom výrobku. Začátkem technologie bylo zpracování vícebarevných materiálů, na něž později navázalo zpracování více typů materiálů. Velký rozvoj byl zaznamenán vstřikováním termoplastických elastomerů. Princip vstřikování se nemění, ale každý materiál (barva) musí mít svou vstřikovací jednotku. Nejjednodušší je dvoukomponentní vstřikování (2K) s horizontální a vertikální vstřikovací jednotkou (úspora místa). Hlavní rozdíl je v konstrukci nástroje. Forma se během jednoho cyklu otvírá, otáčí a uzavírá podle počtu



komponent. Dále mohou být výstřiky přesouvány do kavit roboty. Touto technologií lze vytvářet vícevrstvé či vícebarevné výrobky. Velmi důležitým parametrem je adheze povrchu jednotlivých materiálů. Nízká adheze či nesnášenlivost jednotlivých povrchů může být žádoucí při výrobě kloubových spojů. [13]



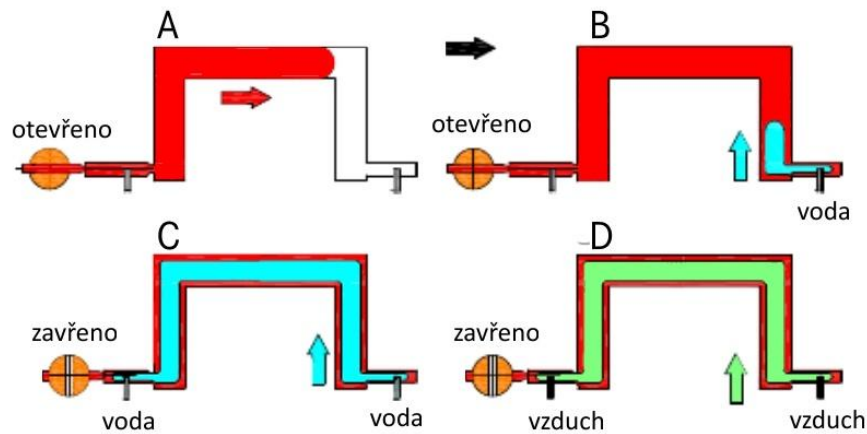
Obr. 11 Vícekomponentní vstřikování [13]

#### 1.4.2 GIT

Vstřikování s podporou plynu je technologie (gas injection technology), s níž lze vyrábět duté výrobky. Princip spočívá ve standardním procesu vstřikování a následným naplněním taveniny skrze injektor inertním plynem (dusík, příp. oxid uhličitý). Plyn přitlačí taveninu ke stěnám dutiny formy a vytvoří uvnitř výstřiku dutinu. Velkou výhodou je zkrácení doby cyklu, protože vytváříme objemné výrobky s tenkou stěnou chlazenou i zevnitř plynem. Navíc tlak plynu vyrovnává deformace a nahrazuje fázi dotlaku. Výrobek vyniká dobrou kvalitou povrchu. Technologií GIT lze docílit až 50% redukce hmotnosti a délky cyklu. Nevýhodou lze spatřit při složitějším nastavení procesu a vyšších pořizovacích nákladech na zařízení. [1]

#### 1.4.3 WIT

Další technologií umožňující výrobu dutých výstřiků je vstřikování s podporou vody (water injection technology). Princip je obdobný GIT, ale plyn je nahrazen vodou. Voda je vpuštěna do taveniny a tlakem je vyplněna celá dutina formy. Voda působí na taveninu jako píst a zanechává za sebou hladké stěny. Finální fází je odsátí vody zpět. Teplotní parametry se musí volit, tak aby se voda neodpařovala, a vstřikování musí být dostatečně rychlé. V opačném případě hrozí hydrolytický rozklad plastu. Voda způsobí účinnější chlazení stěn a pokles doby cyklu až o 15%. [1]



Obr. 12 WIT [1]

Další technologie vychází z jednotlivých požadavků. Například sendvičové vstřikování je svým principem podobné GIT. Do jádra se vstřikuje recyklát při zachování kvalitního povrchového materiálu.

## 1.5 Vady vstřikovaných výrobků

Výše byly rozebrány principy technologie vstřikování, které jsou základem pro řešení problémů vyskytujících se během výroby. Nejčastějšími problémy jsou nastavující parametry procesu. Cílem je dosažení optimálních hodnot z hlediska kvality (rozměrové, vzhledové) výrobku. Optimalizace by měla probíhat již při návrhu vstřikovací formy s doladěním parametrů ve výrobě. Ideální je využití CAE softwaru, který přináší dostatečný pohled na danou problematiku bez finančního zatížení. Základem analýzy vad je identifikace fyzikální příčiny výskytu. Teprve správná identifikace vede k odstranění a zabránění opětovnému výskytu vad. V následující části budou popsány běžně se vyskytující technologické vady a jejich možnosti odstranění. Jedná se o vady, jejichž oprava spočívá v přenastavení jednoho nebo více parametrů. O konstrukčních vadách bude pojednáno později.

Vady vyskytující se při vstřikování lze rozdělit do dvou hlavních skupin a to vady zjevné a skryté. Mezi zjevné patří vady tvaru a povrchu. Vnitřní pnutí, bubliny, studené spoje patří do vad skrytých. Proces mohou negativně ovlivnit vady stroje či formy (např. netěsnost ventilu šneku).

### 1.5.1 Přetoky

Příčinou může být příliš vysoký vstřikovací tlak, rychlost nebo teplota taveniny. Materiál s nízkou viskozitou má pak tendenci vytvářet přetoky. Dalším důvodem vzniku

jsou nedostatečná uzavírací síla případně znečištěná dělicí rovina. Odstranění vad plyne z opaku příčin vzniku. [2], [9]

### 1.5.2 Neúplné výstřiky

Neúplnost výstřiku bývá důsledkem nízkého vstřikovacího tlaku či nízké teploty. Jedná se v podstatě o opak problematiky přetoků. Tyto vady však mohou vznikat díky špatné konstrukci formy nedostatečným nadimenzováním vtokové soustavy. Může se také jednat o netěsnící zpětný uzávěr šneku nebo nedostatečný plastikační výkon stroje. Nejběžnějším řešením bývá zvýšení vstřikovacího tlaku a bodu přepnutí na dotlak, případně zvýšení teploty taveniny. [2], [9]

### 1.5.3 Propadliny

Propadliny bývají často konstrukční vadou. Například u napojení žeber na stěnu nelze propadliny zcela kompenzovat dobou dotlaku. Další možnosti odstranění jsou: zvýšení teplot formy i taveniny, zvětšení dávky materiálu, zvýšení bodu přepnutí na dotlak nebo použití materiálu s vyšším ITT. Strojní zařízení může vykazovat poruchu topení či špatnou souosost a dosed trysky. [2], [9]

### 1.5.4 Lokální spálení

Vznikají v důsledku uzavření a stlačení vzduchu. Tento jev bývá označován jako „Diesel efekt“. Materiálovou příčinou je nízká viskozita taveniny. Technologicky lze odstranit snížením vstřikovací rychlosti nebo teplotou taveniny. Další příčinou může být příliš velká uzavírací síla, která znemožní únik vzduchu skrze dělicí rovinu. S tím také souvisí ucpání odvdzušnění. Vliv na lokální spálení může mít velká dekomprese po plastikaci materiálu. [2], [9]

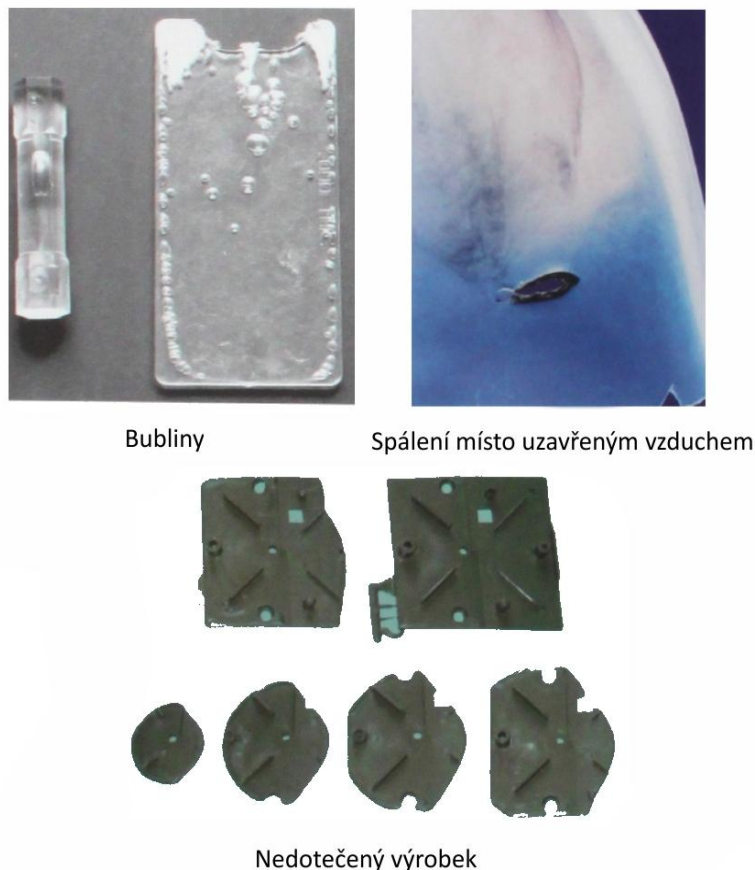
### 1.5.5 Tvorba bublinek

Mezi hlavní příčiny patří zbytková vlhkost materiálu, tedy nedostatečné vysušení. Nízkomolekulární látky se během procesu odpařují, ale nemají možnost úniku, a proto se uzavírají do výstřiku. Pro odstranění této vady můžeme prodloužit dobu sušení. Dalším důvodem bublinek bývá uzavřený vzduch například vlivem netěsnosti vstřikovací jednotky. Problematika bublinek se odstraňuje snížením teploty taveniny, vstřikovací rychlosti, otáček šneku a protitlaku šneku. [2], [9]

### 1.5.6 Odlesky na dezénu

Z materiálového hlediska má vliv znečištěný a vlhký granulát. Při výskytu odlesků se zkracuje prodleva před šnekem a kontrolují se nastavení teplot. Příčinou bývá nerovnoměrné teplotní rozloženíavity. Velký vliv mají propadliny, protože materiál v těchto místech nepřilne k formě. Při řešení se optimalizují teploty taveniny, formy, vstřikovací rychlost a dotlaková fáze. [2], [9]

Z tohoto krátkého výčtu vad je zřejmé jejich vzájemné ovlivnění. Ve výrobním procesu se vyskytuje velké množství vad a věnují se jim rozsáhlé publikace. Nelze předpokládat, že posunutím jednoho parametru lze kompletně vyřešit problém. Vždy se jedná o určitou míru kompromisu. Dobrým pomocníkem k optimalizačnímu řešení nebo k předvídání problémů slouží tokové FEM analýzy.

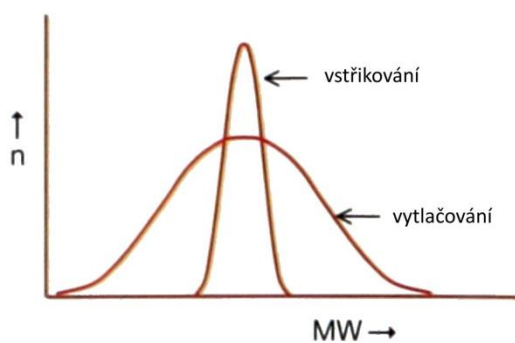


Obr. 13 Příklady vad vstřikovaných výrobků [7]

## 2 VSTŘIKOVANÉ POLYMERY

Materiály využívané pro vstřikování mají zásadní vliv na úspěšnost procesu. Polymery jsou materiály skládající se z molekul o vysoké molekulové hmotnosti – nazývané makromolekuly. Molekulární struktura odráží unikátní vlastnosti polymerů a možnosti všestranného zpracování různými metodami. Díky nízké hustotě a jednoduchému tváření při nízkých teplotách jsou polymery velmi žádaným artiklem. Pro vstřikování se využívají syntetické polymery, ale vývoj biodegradabilních polymerů možná v budoucnu ovlivní i tuto oblast.

Základním prvkem je monomer, který se během polymerace slučuje s ostatními monomery a vzniká polymer. Nejčastěji jsou v makromolekulách zastoupeny prvky uhlíku, vodíku, dusíku, kyslíku a chlóru. Délka vzniklého řetězce je charakterizována stupněm polymerace a chemické složení odpovídá jednotlivým monomerům. V makromolekulách a mezi nimi působí vazebné síly. Základem jsou primární kovalentní vazby mezi atomy uhlíku. Tyto vazby mají nejvyšší energii. Sekundární vazby mají nižší vazebnou energii a mají důležitou roli na termodynamické chování polymeru. Hlavním zástupcem jsou Vander-Waalsovy síly. Je patrné, že makromolekuly nabývají různých délek. Kvantifikace se řeší vynesemím závislosti distribuce molekulových hmotností na délce řetězce (molekulové hmotnosti). Tento parametr je důležitý pro správný výběr materiálu pro určitý druh zpracování, jelikož silně ovlivňuje reologické vlastnosti. [12, 16]



Obr. 14 Distribuce molekulových hmotností [16]

Selektovat polymery lze z různých pohledů, například dle původu (přírodní, syntetické), struktury (lineární, rozvětvené, síťované), typu polymerace, polaritě, nadmolekulární struktury, atp. Nejběžnější je rozdělení dle chování za vyšších teplot na plasty a elastomery. Plasty můžeme dále rozdělit do dvou hlavních skupin podle jejich chemické struktury

a procesního chování na termoplasty a zesíťované termosety (reaktoplasty). Během zpracování elastomerů (kaučukových směsí) dochází k vulkanizaci – procesu síťování a elastomery jsou poté v podobě pryže hyperelastické. Nevýhodou je obtížnost recyklace, protože nejsou tavitelné a vyšší teploty způsobují degradaci. Specifickou skupinou jsou termoplastické elastomery, které se vyznačují snadnou a velkou deformovatelností a opakovatelnou tavitelností. [12]

## 2.1 Termoplasty

Termoplasty jsou majoritně vstřikovaným polymerem. Jsou specifické možností opakovatelného převedení do podoby taveniny. Dělí se na amorfnní a semikrystalické. Jelikož termoplasty dominují vyprodukovanými objemy, bylo zavedeno další dělení podle vlastností a výrobních objemů:

- Komoditní

Jsou produkovány ve velkých objemech. Jsou zpracovávány především vytlačováním. Typickými zástupci jsou LDPE, HDPE, PP, PVC,

- Konstrukční

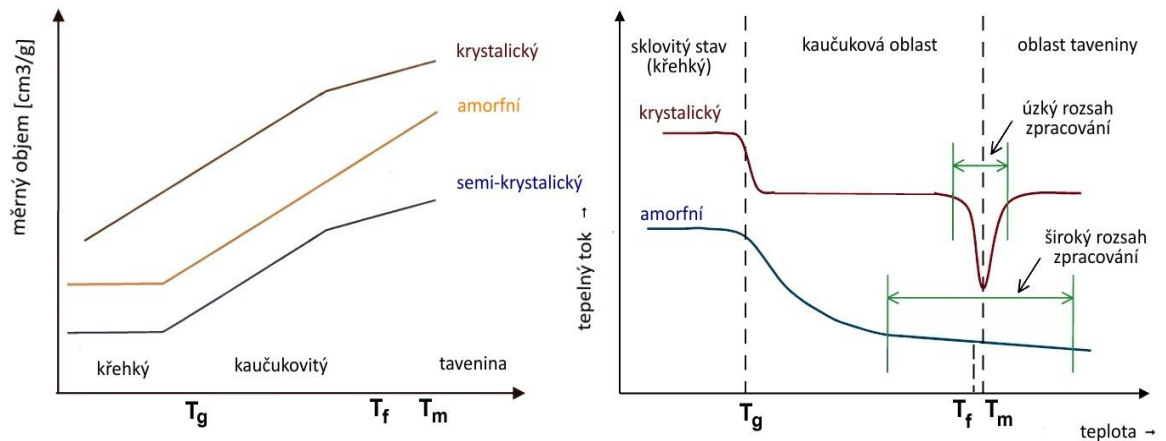
Využívají se pro inženýrské aplikace. Hlavní zpracovatelskou technologií je vstřikování. Konstrukčními plasty jsou například PA66, PC, PBT, ABS, SAN, POM a jejich blendy.

- High-tech

Nejméně produkovány plasty jsou high-tech. Využívají se pouze pro speciální aplikace vyžadující například vysokou teplotní odolnost. Nevýhodou je jejich cena. Zástupci high-tech plastů: PI, PEEK, PSU, PEI, PPS, aj. [11]

### 2.1.1 Amorfnní

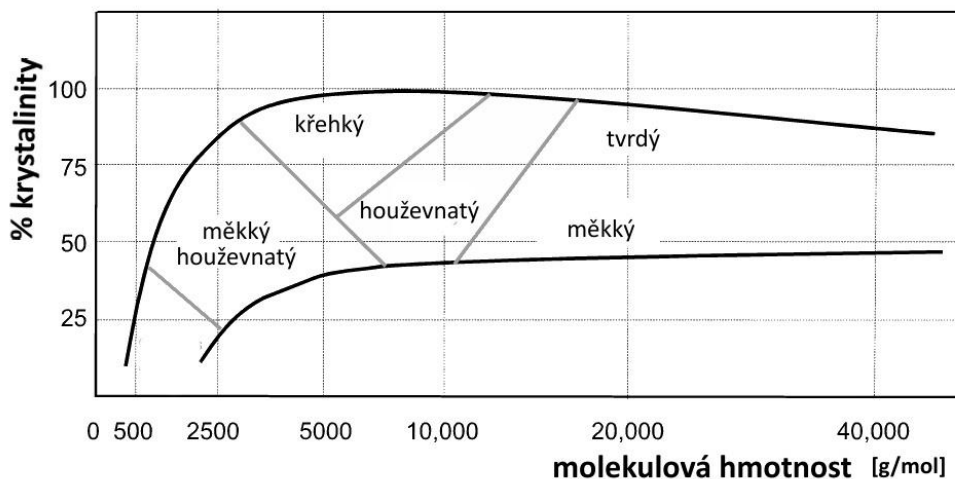
Struktura amorfnních termoplastů je analogická klubku špaget. Vzhledem k jejich náhodné struktuře je velikost uspořádaných oblastí charakterizována velikostí vazeb. Tato hodnota je menší než vlnová délka viditelného světla, což způsobuje transparentnost amorfnních polymerů. Amorfnní termoplasty se vyznačují hranicí mezi sklovitým a kaučukovitým stavem – teplotou skelného přechodu –  $T_g$ . Uživatelská oblast se nachází pod  $T_g$  v oblasti sklovité, naopak zpracovatelská oblast je dána teplotou tečení  $T_f$ . Výrobky z amorfnních termoplastů jsou tedy často křehké a transparentní. [12, 16]



Obr. 15 Teplotní přechody termoplastů [16]

### 2.1.2 Semikrystalické

Uspořádání molekulární struktury je u semikrystalických polymerů mnohem rozmanitější nežli u amorfních. Typickým představitelem krystalické struktury je PE. Krystalická lamelární struktura vytváří sferolity. Sferolity mají specifické uspořádání a jejich velikost přesahuje vlnovou délku světla, důsledkem čehož jsou semikrystalické polymery mléčně zakalené. Polymery nedosahují stoprocentní krystalické struktury, a proto se stanovuje stupeň krystalinity, který má vliv na houževnatost či termodynamické chování. Díky zastoupení obou částí mají semikrystalické polymery teplotu skelného přechodu  $T_g$  i teplotu tání krystalů  $T_m$ . Z toho plyne uživatelská oblast nad  $T_g$ . [12, 16]



Obr. 16 Vliv krystalinity na vlastnosti výrobku

Vliv druhu termoplastu silně ovlivňuje jeho smrštění. Při ochlazování se uklidňují pohyby molekul a výsledkem je ztráta objemu. Uplatňuje se zde význam volného objemu (mezimolekulárního objemu), ten závisí na těsnosti uspořádání. To znamená, že chlazením semikrystalických polymerů dochází k velké redukci volného objemu, protože makromolekuly vytváří krystalické útvary. Na druhé straně amorfní polymery nevytváří těsná seskupení, a proto vykazují menší smrštění. Rozdíly smrštění mohou dosahovat až 2%. [16]

## 2.2 Příprava materiálů

Termoplasty nelze zpracovávat ihned po polymeraci. V první fázi přípravy materiálu je nutné přidat aditiva vylepšující vlastnosti mateřského polymeru a vytvořit tvar pro další zpracování například granule. V této formě se již materiál dodává zákazníkovi. Během setrvání materiálu na vzduchu, přijímá vlhkost. Míra přijaté vlhkosti závisí na typu polymeru. Nezbytným krokem k eliminaci vad je tedy jeho vysušení. To se provádí v sušárnách, které jsou popsány v kapitole periferní zařízení. Průběh sušení vyžaduje posouzení vazby vlhkosti v materiálu. Voda může být vázána pouze na povrchu přilnavostí nebo v celém objemu kapilárními silami. V tomto případě je odvod par závislý na rychlosti difuze. Příliš vysoká teplota odpaří celou mezní vrstvu a může dojít až k degradaci materiálu. Proto je nutné dbát doporučené doby sušení, viz Tab. 2. Porovnáním je zřejmá vysoká navlhavost polyamidů a naopak polyolefiny se sušit nemusí. Materiál lze vysušit pouze do tzv. rovnovážné vlhkosti. Ta závisí na relativní vlhkosti okolí (vzduchu v sušárně). Po sušení je žádoucí, aby materiál znovu nepřišel do kontaktu se vzduchem a nepřijímal vlhkost např. až do rovnovážné hodnoty. Další možné fáze přípravy spočívají v mísení s recyklátem, barvení či mísení s nadouvadly. [13]

Tab. 2 Parametry sušení vybraných plastů [3]

Plast	PE	PP	PA6	PA66	PC	POM
Teplota sušení [°C]	50 – 70	80	80	60 – 70	120 – 130	120 – 130
Doba sušení [hod]	1	1	5 - 7	6	4 – 15	4
Dovolená vlhkost [%]	0,01	0,01	0,1	0,1	0,02	0,1



## 2.3 Recyklace

Udržitelnost životního prostředí a snižování emisí je možné pouze za předpokladu recyklace materiálů. Je také zásadní otázkou ekonomického využití odpadu. Jedním z bodů této práce je optimalizace vtokové vložky za účelem odebrání vtoků robotem a následné drčení. Přestože automotive v převážné většině nedovoluje používání recyklátu, jsou odvětví méně technicky zaměřená, kde má výsledný výrobek až 100% podíl recyklovaného materiálu. Jedinečnou výhodou termoplastu je opakovatelná tavitelnost, takže lze materiál opětovně převádět do požadovaných tvarů. Tento koloběh však ovlivňuje tepelná paměť, a proto po určitém počtu přetavení materiál degraduje. Recyklačním problémem jsou však kompozity. Přidávání výztužných materiálů omezuje recyklaci a možnost kombinace s podobným typem termoplastu.

Zpracování odpadu probíhá nejčastěji v drtičích a mlýnech, které mohou být součástí periferií stroje. Nejběžnějším odpadem bývá vtokový systém, který po odebrání např. robotem putuje ihned do mlýna, čímž je připraven materiál pro přidání do granulátu nebo k prodeji. Mechanickou recyklací neshodných výrobků či vtoků se získává čistý materiál bez nutnosti oddělovat pevné částice. [13]

### 3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

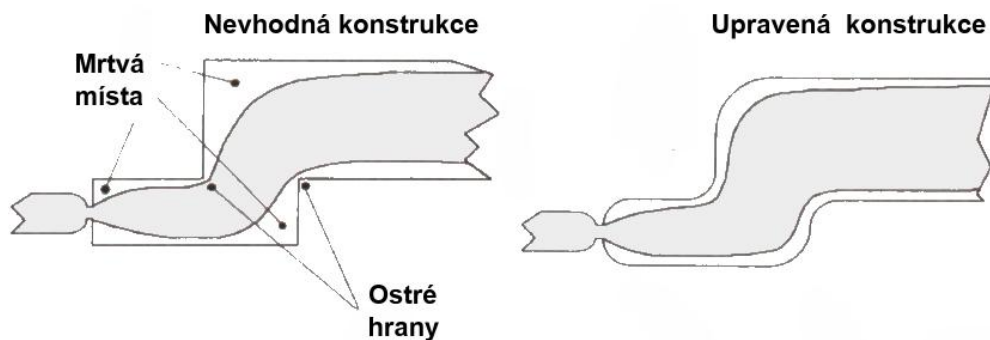
Vstřikované výrobky podléhají odlišným pravidlům než klasické kovové materiály. Dobrý konstrukční návrh je základem úspěšné výroby. Proto se již při návrhu výrobku musí uvažovat nad technologií výroby a všemi omezeními. Hlavním vodítkem konstruktéra by měla být vyrobiteľnosť návrhu, v níž by měla být zahrnuta zřetel na smrštění materiálu, plnění, chlazení a odformování. Obecně platí, čím jednodušší bude konstrukční návrh, tím snazší bude jeho výroba. [7]

#### 3.1 Výrobní požadavky

Za účelem dosažení výše zmíněného je třeba dodržet výrobní požadavky. Jedná se o souhrn doporučení, která se vzájemně ovlivňují. Vývoj nové konstrukce by měl být jistým kompromisem doporučení. V každé fázi projektu je třeba uvažovat nad ostatními možnostmi a ovlivňujícími faktory. Poloha dělicí roviny ovlivňuje téměř všechny dále rozebírané aspekty.

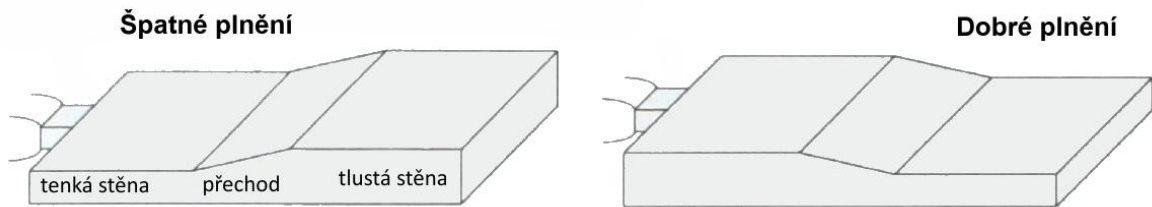
##### 3.1.1 Plnění

Postup plnění dutiny je jeden z prvotních parametrů k posouzení. Správné umístění jednoho či více vtoků může silně ovlivnit mechanické parametry výstřiku, a to nejen u plněných materiálů. Základem dobrého plnění je fontánový tok, ale ten mohou ovlivnit konstrukční chyby jako ostré rohy nebo nedostatečná zaoblení. Dalším kritériem pro umístění vtoku jsou tlakové ztráty během plnění. Ty jsou ovlivněny především tloušťkou stěn, proto je nejjednodušší volit malou variabilitu tloušťek. Pokud to výrobek nedovoluje, volí se pozvolné přechody, které nevyvolávají velké tlakové změny. [5]



Obr. 17 Vliv ostrých hran [5]

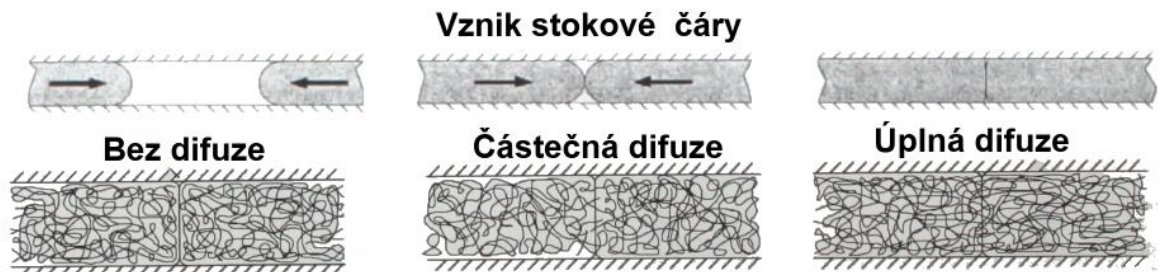
Zásadou je plnění z prostor větší tloušťky do menší, viz fontánový tok. Pomine-li se vznik anizotropie materiálu vlivem plnění, jsou největším problémem vyvolávající mechanické změny studené spoje (stokové čáry).



Obr. 18 Plnění výrobku různých tloušťek [5]

- Studené spoje

Studené spoje nebo lépe stokové roviny vznikají během plnění vlivem rozdělení toku a setkání ochlazených čel taveniny. Tato místa vykazují vzhledové vady (povrchové praskliny) a pokles mechanických vlastností (především pevnosti). Důvodem vzniku je nedostatečná difuze setkaných toků. Stokové čáry působí jako vrub a koncentrátor napětí a tedy i časté místo poruch. Navíc tyto oblasti vykazují až 50% pokles pevnosti (hodnota pro plněné materiály).



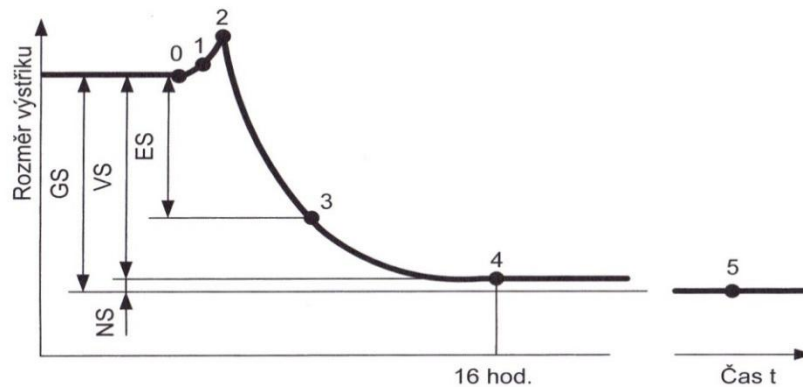
Obr. 19 Vznik stokových rovin [5]

Metodika odstranění spočívá ve změně systému plnění. Použitím více vtokových ústí se sice zvýší počet stokových ploch, ale zlepší se difuze. Další možností je využití jiného typu vtoku či doplnění nálitků. Nezanedbatelný vliv má také druh polymeru. Amorfni polymery jsou méně náchylné vůči studeným spojům než semikrystalické díky větší pravděpodobnosti zapletení řetězců. [5]

### 3.1.2 Smrštění a deformace

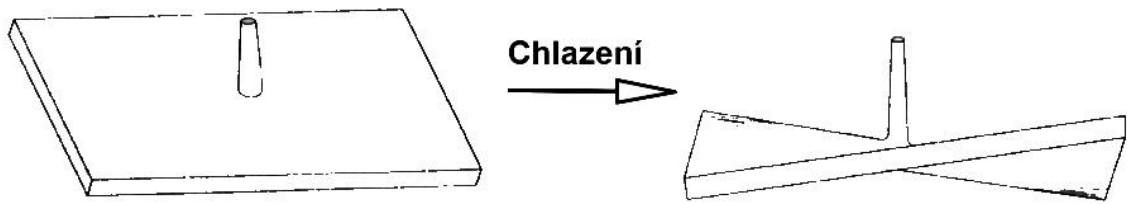
Zásadní problematikou konstrukce plastových výrobků jsou smrštění a deformace. Požadavky zákazníků na přesné rozměry s úzkými tolerancemi nutí vývojáře k přesnému prostudování této problematiky.

Smrštění polymerů je dáno jejich strukturou. V praxi se využívá parametr lineárního objemového smrštění, který vyjadřuje změnu objemu celého prvku. Může dosahovat až 4%. Určit velikost smrštění je možno z pVT diagramu. Dále je smrštění závislé na čase a podíl vlhkosti v objemu. Z Obr. 18 je zřejmý časový průběh smrštění, proto se měření rozměrů provádí až po 48 hodinách.



Obr. 20 Časový průběh smrštění (VS – výrobní smrštění, ES – smrštění v době vyhození, GS – celkové smrštění, NS – do-smrštění) [2]

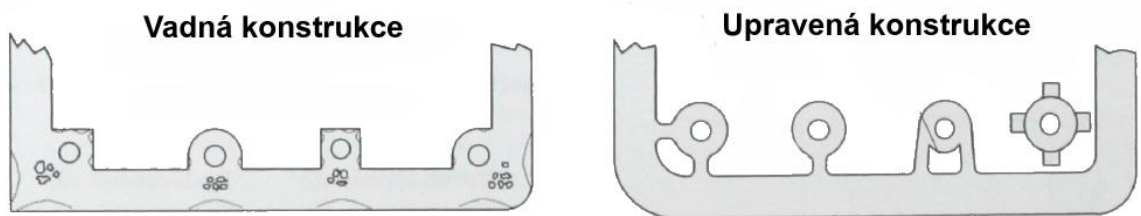
Hlavním problémem je anizotropní smrštění a deformace výrobku. Právě anizotropie smrštění je hlavní doménou technologie vstřikování a vede k obtížnému dosažení přesných rozměrů. Tyto vady jsou nejčastěji důsledkem nestejnomyšerného rozložení teploty, nejednotného objemového smrštění (především plněných materiálů) a různé teplotní napjatosti vlivem geometrie. Nestejnomyšerné chlazení může způsobit deformaci výrobku nebo zamrznutí zbytkových napětí. Teplejší povrchy mají obecně tendenci k většímu smrštění. Dosažení optimálního teplotního pole je zvláště obtížné u rohů, kde nelze umístit teplotní kanál. Pro optimalizaci této problematiky by muselo být využito nekonvenčních typů chladicích systémů. Dalšími parametry ovlivňujícími smrštění jsou polohy vtoků, rozdíly tlaků v kavitě, typ toku apod. Například plnění desky centrální vtokovou vložkou ovlivní radiální plnění, které způsobí zkroucení, dále pak bude smrštění ovlivněno délkou toku a různými působeními tlaků během chlazení.



Obr. 21 Vznik deformací [5]

- Tloušťka stěn

Plastové výstřiky jsou obecně tenkostěnné skořepiny. Jedním z důvodů, proč je tendence k redukci tloušťky, je fakt že tlustostěnné výrobky se velmi obtížně chladí a dochází k velkým deformacím. Dlouhé chlazení má za následek vytvoření gradientu teploty a výsledkem jsou vnitřní pnutí a deformace. Z procesního hlediska je tlak při výskytu tenkých a tlustých oblastí (plnění, dotlak) primárně spotřebován v místech s menším odporem, tedy v tlustých stěnách a výrobek vykazuje defekty v podobě propadlin, vakancí, apod. Proto je nutno tloušťku minimalizovat, což má také pozitivní vliv na ekonomickou stránku. Redukce tloušťky většinou probíhá při zachování stejné tuhosti či pevnosti využitím různých výztužných prvků. [5]



Obr. 22 Vznik propadlin, kavit a zbytkového u tlustých stěn [5]

### 3.1.3 Odformování

Vyjímání výstřiků z formy podléhá následujícím aspektům:

- úkosity stěn,
- struktura povrchu,
- estetické požadavky,
- přítomnost zářezů a děr,
- poloha dělicí roviny.

Úkosy stěn kolmé k dělicí rovině jsou hlavním požadavkem na vyjmutí výrobku z dutiny formy. Úkosovitost stěn je minimálně  $0,5^\circ$  a zahrnuje úkosy tvárníku i tvárnice. Velikost úhlu snižuje vyhazovací sílu a snižuje tím složitost odformovacího systému.

Struktura povrchu výrobku a tím i dutiny ovlivňuje tření. Proto je nejvýhodnější lesklý povrch. Z estetických důvodů jsou rozšířené dezénované povrchy. Ty však mají hrubou strukturu a vyžadují větší úkosy. Třecí koeficienty efektivně snižuje nanesení maziva nebo povlakování tvarových vložek (např. PTFE+Ni). Další estetická hlediska vyplývají z funkce výrobku a bývají ovlivněny polohou vyhazovačů. Nicméně přítomnost děr, zářezů a podobných těžce odformovatelných částí zásadně ovlivňuje estetické aspekty, protože je zapotřebí pohyblivých částí a jejich lícování se vždy na výrobku projeví. [5]

### 3.2 Kvantifikace konstrukčních problémů

První fází konstrukčního návrhu je specifikace funkcí výrobku. Na základě funkce se určí koncept a materiál výrobku. Je třeba přesně definovat podmínky zatížení, teplotu provozu a ostatní parametry prostředí. Parametry pro analytické vyhodnocení konstrukce jsou:

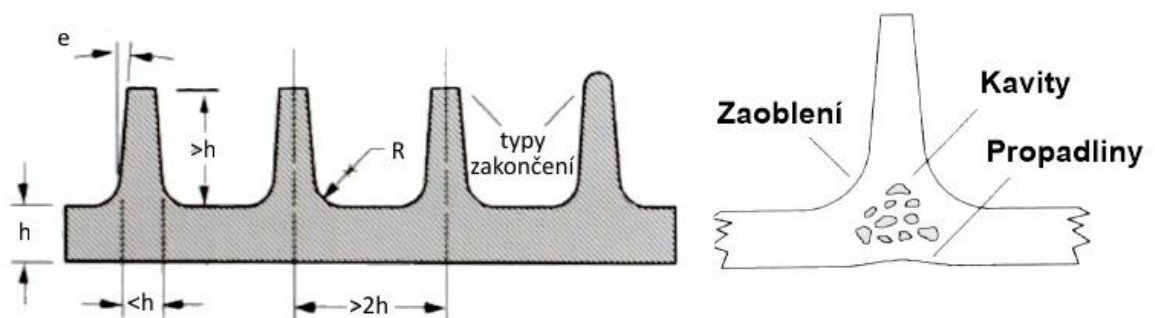
- geometrie výrobku,
- typ uložení,
- druh zatížení,
- vliv prostředí,
- materiálové charakteristiky,
- bezpečnost.

U konstrukčních výrobků je velmi podstatná znalost okolního prostředí. Do návrhu je nutno zahrnout snižující se modul pružnosti s teplotou či navlhavost polymeru, která také ovlivňuje modul pružnosti například u polyamidů. Obzvláště při dynamickém namáhání termoplastů dochází vlivem disipace k lokálnímu změkčení. Dále je nezanedbatelná teplotní roztažnost, která je přibližně desetkrát větší než u kovů. K analytickému přístupu je třeba zjednodušit konstrukci, na kterou se následně aplikují uložení a zatížení. Opět je výhodné využití FEM a stanovení kritických částí. [5]

#### 3.2.1 Typy vyztužení

Jak bylo uvedeno, výrobky z plastů jsou tenkostěnné. To by však znamenalo výrazné omezení pro konstrukční účely kde je tuhost a pevnost základním předpokladem. Proto se především ke zvýšení tuhosti využívají vyztužná žebra - technická. Princip vyztužení vychází

z rozložení materiálu kolem střednice a závisí tedy na hodnotě kvadratického momentu. Nejběžnější jsou žebra na Obr. 15. Žebra mají obvykle tloušťku 40-80% vyztužující stěny ( $h$ ) a umísťují se na nepohledovou stranu. Poloha také závisí od vyztužované oblasti. Výška žebíků bývá obvykle  $2,5 - 3 h$ , zaoblení  $0,25 - 0,4 h$  a rozteč mezi žebry  $2 - 3 h$ . Důvodem umístění žebíků mohou být také technologické požadavky. Technologická žebra mají za úkol usnadnit plnění. Problémem aplikace žebíků jsou propadliny. Ty vznikají v oblasti napojení žebíku, protože se zde koncentruje materiál. Existují však konstrukční řešení, například umístění jádra, které tyto deformace vyrovnávají či skrývají. [5]



Obr. 23 Vyztužení žebry [5]

Další možností náhrady tlustých stěn je použití strukturních pěn a tvorba sendvičové konstrukce. Vytvořením tenké skořepiny a vyplněním lehčeným materiálem se plně využije kvalitního povrchového konstrukčního materiálu.

### 3.3 Výběr materiálu

Výběr vhodného materiálu pro vstříkovaný výrobek probíhá ve třech fázích. V první se vybere skupina materiálů a zvolí se jeden typ. V další fázi se aplikuje materiál na navrženou konstrukci a v poslední fázi proběhne ověření a konečný výběr vhodného materiálu.

Základními parametry pro výběr materiálu je jeho funkčnost. Musí se zohlednit reologické vlastnosti, mezi nimiž je hlavní hodnota ITT, maximální smyková rychlost či smykové napětí. Dále pak jsou rozhodující mechanické vlastnosti, chemická odolnost, teplota skelného přechodu a ostatní omezující teploty, transparentnost či povrchové napětí. Například pro potiskované výrobky nejsou vhodné materiály s nízkou povrchovou energií. Aditiva často komplikují výběr materiálů, na druhou stranu jsou plněné materiály velmi výhodné pro náročné konstrukce díky vysokým modulům pružnosti.

V další fázi je prvotně vybraný materiál zaveden na návrh konstrukce výrobku. To může vést k dalším konstrukčním úpravám, protože by se měly zohlednit vlastnosti vybraného

materiálu. Opět je žádoucí využití CAE softwaru pro zjištění problémů. Jednoduchým příkladem volby materiálu může být deska vyztužená žebry. V první fázi výběru byly navrženy PA66, PP a HDPE. Pokud by byla hlavním aspektem cena materiálu, je nejvýhodnější HDPE, ale pokud zohledníme množství materiálu i délku cyklu, bude nejvýhodnější nejdražší PA66. V konečné výběrové fázi je nutno zahrnout i ostatní materiálové parametry. [5]

### 3.4 Podpora návrhu CAE

Ověření správnosti návrhu pro výrobu zvolenou technologií probíhá virtuální simulací. Tato metoda je velmi produktivní a pro společnost znamená výraznou finanční i časovou úsporu. Simulací se rozumí virtuální průběh reálného procesu. Základem je model výrobku a správné nastavení okrajových podmínek. Princip spočívá ve výpočtu diferenciálních rovnic pro každý uzel konečné prvkové sítě. Přesnost výpočtu tedy velmi závisí na hustotě této sítě a přesnosti vstupních parametrů (např. materiálových vlastnostech).

Za účelem vytvoření procesních předpokladů (např. nastavení tlaku), je nutno znát vztah mezi tokem polymeru, teplotou a přechodovými stavy. Vzhledem k nenewtonskému chování pseudoplastických materiálů je nutno do analýz zahrnout co nejpřesnější materiálové charakteristiky. Pro tokové analýzy plnění, dotlaku a chlazení jsou nezbytné následující vlastnosti: viskozita, měrná tepelná kapacita, teplotní vodivost, přechodové teploty, pVT data. K určení smrštění a deformací je třeba zahrnout i smykový modul, modul pružnosti a koeficient teplotní roztažnosti. [17]

Určení přesnosti výpočtu není exaktní. Prvním kritériem posouzení je vylepšení konstrukce. Záleží, ale na posouzení konstruktéra a jeho rozhodnutí o úpravách. Druhým kritériem je stanovení procesních parametrů pro vstříkovací stroj. Zde se výsledky mohou lišit, protože se nejedná o laboratorní stroj a korelace výsledků nelze uplatnit. Obecně lze říci, že simulace budou tak přesné, jak přesné budou vstupní data. [17]

Analýzy procesu vstříkování budou zpracovány v software Cadmould 3D-F, protože jím disponuje zadávající společnost. Výhodou tohoto softwaru je rychlost výpočtu.

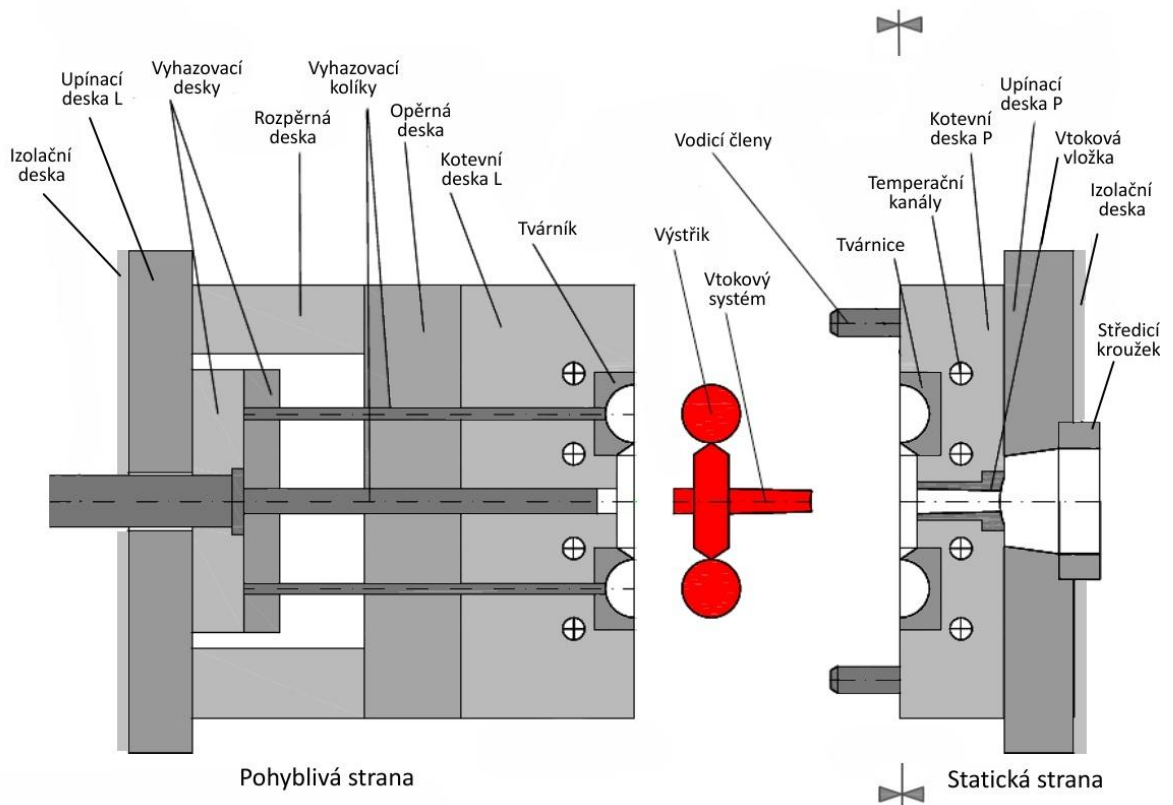


## 4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Vstřikovací forma je nástroj pro výrobu vstřikovaných výrobků – výstřiků. Konstrukce formy úzce souvisí s konstrukcí výrobku. Konstruktor formy nejprve specifikuje použitelnou technologii (standardní, 2K, GIT). V dalším kroku se stanoví násobnost formy, čímž jsou předběžně určeny rozměry formy a určí rozmístění a zaformování výrobků. Současně se rozhodne o typu vtokového systému a diskutuje se vhodnost doporučeného materiálu z konstrukční fáze výrobku. Na základě zmíněných podkladů se navrhne funkční koncept, který se ověří tokovými a mechanickými analýzami. Následuje výroba prototypu a po ověření výroba sériového nástroje. Závěrečnou fází projektu jsou zkoušky a předání formy do výroby. [1]

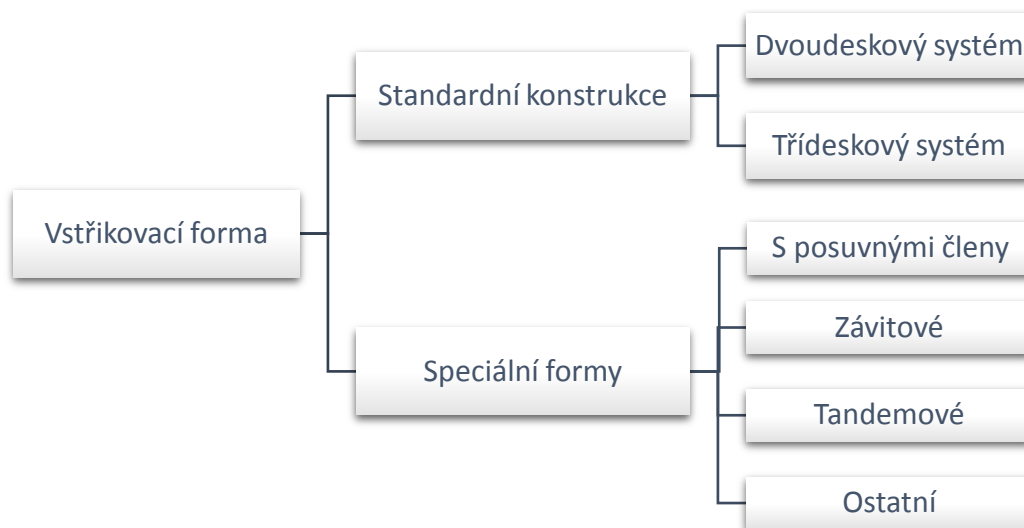
Formy pro vstřikování termoplastů jsou zpravidla složeny z následujících komponent:

- části upínané ke stroji a desková kostra formy,
- vtokové systémy (vtoková vložka, rozvodné kanály a ústí),
- tvarové vložky,
- chladicí prvky,
- odformovací (vyhazovací) systém.



Obr. 24 Základní koncepce vstřikovací formy [1]

Základní koncepce vstřikovací formy dle Obr. 23 vychází z dvou deskového systému. Každá strana je sestavena z jednotlivých desek, které jsou spojeny šrouby. Pravá, statická strana je zpravidla osazena středícím kroužkem (dle stroje), vtokovou vložkou a celým rozvodným systémem, vodícími členy a tvarovými vložkami. Levou, pohyblivou část formy tvoří tvarové vložky, vodící elementy a především vyhazovací systém. Tato základní koncepce je upravována a doplňována dle specifik výrobků.



Obr. 25 Rozdělení forem se studeným vtokovým systémem [18]

Základním parametrem pro konstrukci formy je její násobnost, udávající počet výstřiků vyrobených během jednoho cyklu. Ovlivňuje tedy ekonomickou stránku produkce, ale také stránku konstrukční. Násobnost formy určuje mimo jiné potřebné parametry stroje a rozměry formy. Dále je nutno počítat s vysokou přesností výroby k dosažení uniformity jednotlivých kavit.

## 4.1 Vtokové systémy

Vstřikovací formy jsou řazeny do dvou kategorií dle použitého vtokového systému. Studené vtokové systémy jsou jednodušší a cenově přijatelnější. Na druhé straně horké vtokové systémy jsou dražší, ale mnohem produktivnější. Velkou výhodou je úspora materiálu při plnění více dutin.

### 4.1.1 Studené vtokové systémy

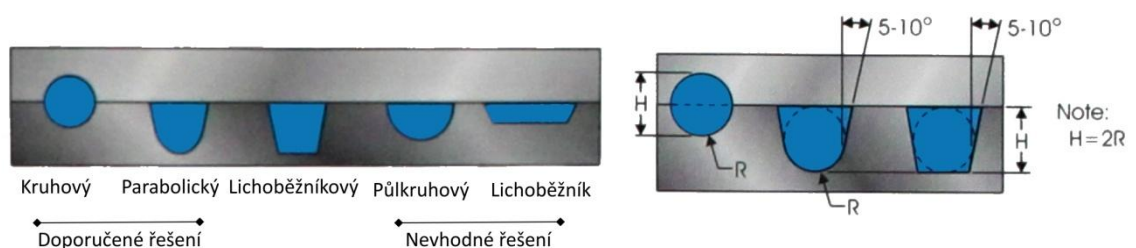
Studené vtokové systémy jsou řazeny dle typu konstrukčního provedení formy. Nejpoužívanější je dvou nebo třidedkový systém. Dvoudeskový systém formy je složen z pohyblivé a stacionární části. Celý vtokový systém bývá zpravidla rozložen v dělicí rovině. Výhodou

je jednoduchá a levná konstrukce, díky níž se objevuje méně závad. Dvoudeskový systém je ideální pro automatizaci procesu a dovoluje využití různých typů vtokových ústí. Nevýhodou je nutnost dodatečného oddělování vtoků. Tuto problematiku řeší třideskový systém, kde je mezi pohyblivou a stacionární část přidána třetí deska. Hlavní funkcí je oddělování vtoků přímo ve formě. Tento systém však vyžaduje striktní údržbu mechanických částí. Speciální formy vychází z výše zmíněných typů, ale jsou doplněny o specifické součásti a vyžadují individuální konstrukční řešení. [1, 18]

Ze vstřikovací jednotky tavenina proudí přes vtokovou vložku, rozvodné kanály a vtokové ústí do dutiny formy. Vtoková vložka musí odpovídat trysce vstřikovací jednotky. Již zde může dojít k nedokonalému styku a výskytu vad nasátím vzduchu. Vtoková vložka, je vyrobena z otěruvzdorných materiálů odolávajících tepelnému namáhání. Kanál vtokové vložky má tvar kužele, který usnadňuje vyjímání z formy.

- Rozvodné kanály

Rozvodné kanály spojují vtokovou vložku s ústím. Konstrukce kanálů by měla generovat pouze nízký odpor proti toku a neměla by způsobit přílišné ochlazení taveniny. Nejvýhodnější z hlediska plochy a tím i odporu toku jsou kruhové průřezy kanálů. Z hlediska nižší náročnosti výroby se používají půlkruhové či lichoběžníkové kanály viz Obr. 26. Nezbytnou součástí kanálů jsou jímky ochlazených čel taveniny, které podporují homogenitu materiálu. Výpočet rozměrů kanálu vychází z tlakové ztráty, do které je nutno zahrnout viskozitu taveniny a tloušťku ztuhlých vrstev na stěně kanálu. Průměr je tedy funkcí délky toku.



Obr. 26 Průřezy vtokových kanálů [6]

Plnění vícenásobných forem vyžaduje tzv. vyvážené rozvodné kanály, které musí zabezpečit plnění všech dutin ve stejném okamžiku. Vyvážení se řeší změnou délky jednotlivých větví nebo omezením toku změnou průřezu kanálu. Vyvážení z hlediska plnění však nemusí zaručit totožnou strukturu výstřiků (mohou vznikat různá napětí),

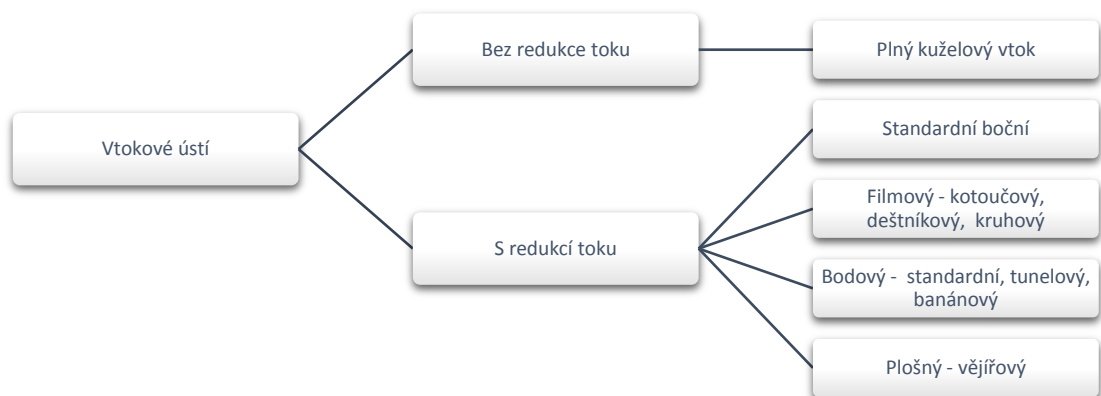
proto se do rozvodného systému zařazují tzv. „melt rotation“ prvky, které kladně ovlivní homogenitu taveniny a tím i strukturu výsledného výrobku. [6]

- Vtoková ústí

Zakončení rozvodných kanálů jsou tvořeny vtokovými ústími, která již navazují na dutinu formy. Konstrukce ústí je zásadní pro správné plnění dutiny. Hlavní funkce jsou:

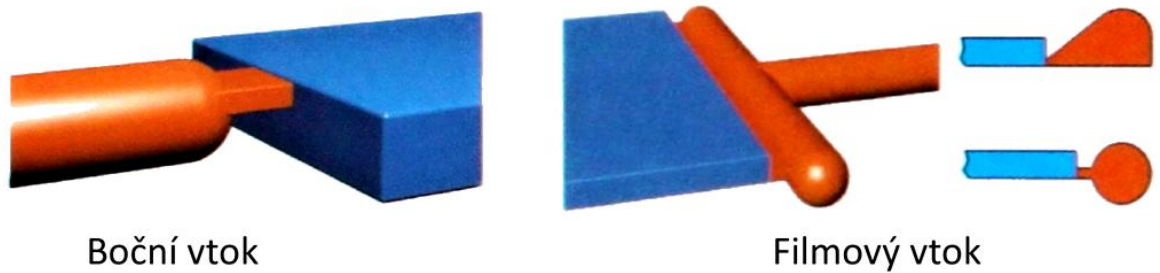
- redukce objemu a směru toku taveniny,
- uzavření taveniny uvnitř dutiny a zabránění zpětného toku do rozvodných kanálů,
- generování tepla disipací taveniny,
- zabezpečení jednoduchého oddělování vtoku od výstřiku,
- vyvážení plnění u vícenásobných forem.

Je patrné, že každý výrobek vyžaduje posouzení a zvolení vhodné polohy, počtu, geometrie a velikosti vtokového ústí. Lze se řídit doporučeními umístění vtoku: do nejtlustších míst, do geometrického středu, s ohledem na únik vzduchu, apod. U složitých výrobců je pro ověření správnosti volby nezbytné použití CAE analýz. Rozdělení geometrií vtokových ústí viz Obr. 26.



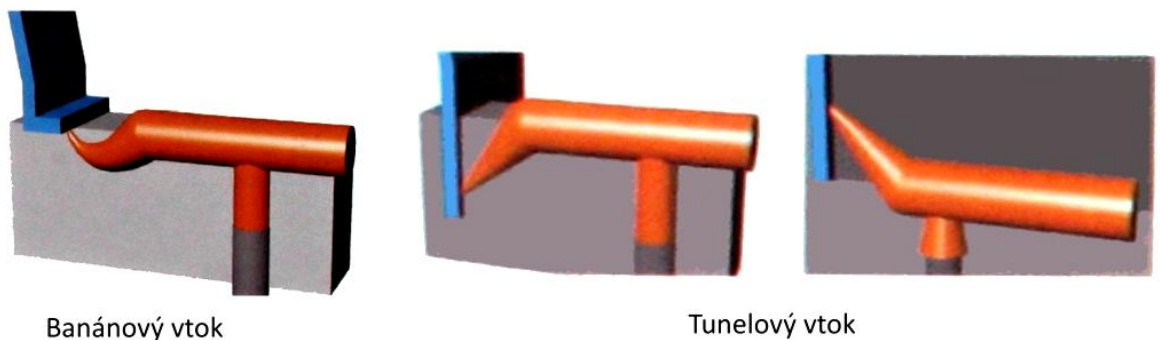
Obr. 27 Rozdělení základních typů vtokových ústí [18]

Jednotlivé geometrie jsou používány většinou za účelem rovnoměrnosti plnění. Například standardní boční vtok má doporučenou šířku přibližně třikrát větší než tloušťku výstřiku a výšku 30% - 40% tloušťky výstřiku. Mezi střídavěji využívané patří filmový vtok, který se využívá především k minimalizaci zbytkového napětí a redukci zkroucení. Je tvořen úzkou štěrbinou.



Obr. 28 Boční a filmový vtok [6]

Výhodným řešením jsou bodové vtoky, díky nimž lze oddělit vtokový systém od výstřiku již ve formě. Během otevírání dojde k oddělení vtokového systému od výstřiku a následuje vyhození vtokového systému.



Obr. 29 Bodové vtoky [6]

Do úsudku o poloze vtokového ústí je nutno zahrnout předpoklad míst s uzavřeným vzduchem. Forma je po uzavření naplněna vzduchem, který je při plnění polymerní taveninou vytlačován. Nejčastějšími místy úniku jsou dělicí rovina a vůle u vyhazovačů. Pokud se však vzduch v dutině uzavře a způsobuje vady je nutno použít odvzdušnění. Účinnost odvzdušnění by měla stoupat s rostoucí rychlostí vstříkávání. Rozměry odvzdušňovacích drážek se odvíjí od viskozity taveniny (štěrbiny od 0,01 mm). Lze také využít odvzdušňovacích ventilů. [6, 18]

#### 4.1.2 Horké vtokové systémy

Kompletní horký vtokový systém se skládá z vyhřívané vtokové vložky, horkého rozvodného bloku a trysky. Tavenina tedy při průchodu rozvodným systémem netuhne.

Horké rozvodné bloky bývají uzpůsobeny počtu dutin do tvarů I, X, apod. Základem je tedy blok vyhřívaný odporovým drátem, v němž jsou vyvrtány rozvodné kanály. Důležitým prvkem je izolace celého bloku.

Trysky jsou napojeny na rozvodný blok a jsou přímo napojeny na dutinu – vytváří vtokové ústí. Horké trysky lze klasifikovat podle typu vyhřívání a podle typu vtokového ústí. První typ vyhřívání je externí. Topný člen obaluje a zahřívá celou trysku. Výhodou je tok polymeru v celém kanálu. Druhým systémem je umístění vyhřívajícího torpéda přímo do kanálu, kde se polymer přímo stýká s topným členem. Toto řešení neohřívá okolí a podporuje chlazení výrobku, ale způsobuje větší tlakové ztráty a rozdílné viskozity taveniny u torpéda a u stěny trysky. Volně průtočné trysky nedovolují kontrolovat teplotu taveniny v oblasti ústí a vyskytují se problémy s odformováním. Proto vstřikování polymerů o různých reologických vlastnostech vedlo k zavedení uzavíratelných trysek. Především polymery, které táhnou vlas, vyžadují použití uzavíratelných trysek. Samotné uzavírání ústí zajišťuje jehla a konstrukční rozdíly jsou především v typu ovládání polohy jehly. Kompletní sestavy horkých vtoků bývají součástí nabídky výrobců normálií. [18]

## 4.2 Odformovací systémy

Úkolem odformovacích systémů je dodržení kvality a stabilního automatického chodu. Odformování ovlivňuje tvar výrobku a jeho tuhost. Pokud dochází ke kroucení, mohou se na výstřiku objevit praskliny a škrábance, v krajním případě nedojde k odformování. Nejběžnějším způsobem odformování je mechanické, mezi které patří:

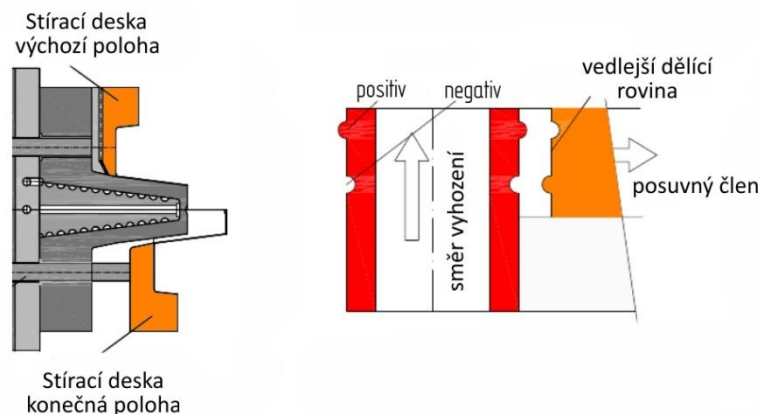
- vyhazovací kolíky,
- stírací desky,
- speciální způsoby.

Mechanické vyhazovače jsou napojeny na vyhazovací systém stroje, který většinou zabezpečuje i navrácení vyhazovačů do výchozí polohy. Mezi méně využívané odformovací systémy patří pneumatické a hydraulické vyhazování. Pneumatické vyhazování je výhodné například u jednoduchých a velkých výstřiků.

- Vyhazovací kolíky

Tento systém vyhazování je velmi jednoduchý, zaručující dlouhou životnost a nízké náklady na opravu a údržbu. Na druhou stranu je zde nebezpečí průniku vyhazovačů do výstřiku, což může způsobit další vady a koncentraci napětí. Kolíky se dodávají v širokém spektru rozměrů a tvarů. Důležité je lícování děr vyhazovačů. Opatřením mohou vznikat velké tolerance, které dovolí zatečení taveniny. Aplikace prizmatických vyhazovačů pak vyžaduje korekci k zabránění pootočení. [10]

- Stírací desky  
Aplikace stíracích desek je především u válcových produktů. Tato metoda vytváří po celém obvodu spojitě zatížení, takže je výrobek méně náchylný na praskliny i při velkých vyhazovacích silách. Stírací desky jsou umístěny do dělicí roviny a vyžadují třideskový systém formy. Tato metoda se využívá tam, kde nejsou dovoleny stopy po vyhazovačích a pro tenkostěnné výrobky. [9, 10]
- Speciální způsoby vyhazování  
Odformování složitých tvarů většinou nelze provést pouhým axiálním posunem. Speciální způsoby tedy zahrnují odformování dráže, háčků, podkosů, apod. K tomuto účelu se využívají pružné nebo šikmé vyhazovače, posuvné části, víceúhlové vyhazování atp. Odformování jader obstarávají hydraulické tahače jader, jež jsou obvykle napojeny na automatizovaný chod stroje. Zvláštní konstrukce jsou zapotřebí k odformování vnitřních závitů (vytáčecí formy, sklopné závitové trny). [1]



Obr. 30 Vyhazovací systémy: stírací deska vlevo, posuvný člen vpravo [1]

Nutno dodat, že podstatný vliv na schopnost vyhození má struktura povrchu a úkoly stěn výstřiku. Některé konstrukční řešení mají do forem zabudovány tzv. ochranné prvky. Ty mají za úkol navrácení vyhazovačů do výchozí polohy, aby nedošlo ke zlomení, apod. Mohou to být kolíky, které při uzavírání vyhazovače zasunou, nebo se užívá elektronického řešení (optické závory, kamery), které navíc kontroluje, zdali nezůstal výrobek ve formě. [1, 18]

### 4.3 Temperace forem

Temperace forem je velmi důležitá z hlediska rentability, protože fáze chlazení zaujímá podstatnou část vstřikovacího cyklu. Temperace je velmi sofistikovaným odvětvím, které

ovlivňuje konstrukci formy, a přesné stanovení tepelných dějů je složité, protože je závislé na mnoha parametrech včetně toku polymeru. Cílem temperace je dosažení rovnoměrného teplotního pole formy v každé fázi cyklu. V opačném případě různé teplotní gradienty způsobují rozdíly smrštění a deformace. Pro stanovení tepelného toku a účinnosti temperace jsou analýzy nezbytné. Temperace, tedy v případě termoplastů, odvádí z formy přebytečné teplo, které je odebíráno tavenině polymeru. Celková tepelná bilance však zahrnuje, kromě temperačního systému, sdílení tepla přestupem z povrchu formy do okolí, sálání a vedení do rámu stroje. Poslední se snažíme omezit izolačními deskami. Ke stanovení parametrů temperace jsou nezbytné informace z Tab. 3. [8, 19]

Tab. 3 Vstupy a výstupy pro konstrukci temperace [8, 19]

Vstupní parametry a požadavky	Konstrukční cíle
Typ polymeru	Maximalizace odvodu tepla
Materiál formy	Uniformní teplota povrchu dutiny
Typ stroje	Vytvoření komplexního temperačního vedení bez kolizí s ostatními prvky formy
Očekávaná produkce	Minimalizace nákladů
Cena výrobku a formy	Minimalizace napětí
Přesnost a rozměry výrobku	Dodržení rozměrových a geometrických tolerancí

Do návrhu temperačního systému by měly být zahrnuty všechny konstrukční součásti odformovacích členů.

#### 4.3.1 Temperační média

Temperační médium je základní faktor temperace, protože jeho měrná tepelná kapacita a rychlost proudění určují teplotní spád a účinnost odvodu tepla. Pokud dochází v systému k turbulentnímu proudění ( $Re > 10000$ ), nevzniká nehybná vrstva u stěny a dochází tak k maximálnímu odvodu tepla. Běžná teplota temperace je 20 °C – 120 °C a bývá doporučena výrobcem materiálu. Teplotní spád media je doporučen max. na 5°C. Nejpoužívanějším médiem je voda (ekologicky nezávadná s ideální tepelnou kapacitou). Nevýhodou je

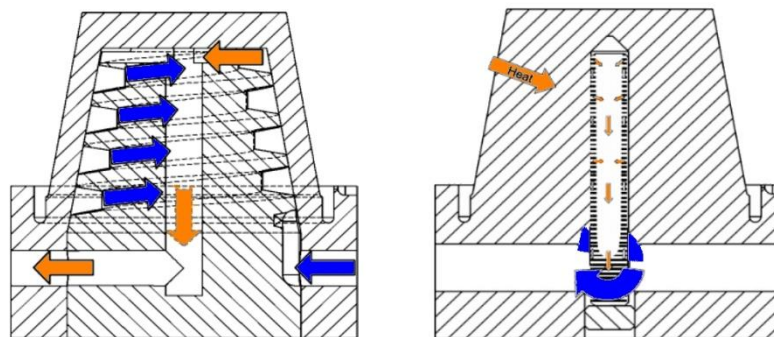


usazování vodního kamene a použitelnost pouze do teplot okolo 90 °C, pro vyšší teploty se používají oleje.[8]

### 4.3.2 Chladicí systémy

Nejjednodušší a nejpoužívanější jsou vrtané kanály kruhového průřezu. Doporučené průměry jsou 6 – 18 mm. Jejich rozložení je individuální dle výstřiku, doporučuje se více kanálů s menšími průřezy (lepší uniformita). Využívá se sériového i paralelního řazení, čemuž odpovídá i tok tekutiny.

Pro chlazení jader jsou výhodné obtokové vložky. Přívod média může být středem vložky a médium pak odtéká po vnější spirále nebo se použije obyčejná přepážka a médium proudí jednou polovinou dovnitř a druhou ven. Dalšími prvky k odvodu tepla z těžko dostupných míst jsou tepelné trubice a kovové prvky s vysokou tepelnou vodivostí. Ačkoli je k dispozici množství produktů usnadňujících chlazení, nelze konvenčním způsobem dosáhnout u složitých výrobků uniformního rozložení teploty. Proto se rozvíjí nové nekonvenční metody využívající spékání kovového prášku, které dovoluje vytvářet kanály konvenčními způsoby nevyrobitelné. [8]



Obr. 31 Obtoková vložka vlevo a tepelná trubice vpravo [19]

Žádný z chladicích systémů by neměl zásadně ovlivňovat tuhost formy nebo její části. Z toho důvodu není doporučeno umísťovat kanály do těsné blízkosti stěny dutiny, dále pak umísťovat kanály do rohů dutiny a těsně vedle sebe. Většina součástí temperačních systémů je v nabídce normálií.

## 4.4 Normálie

Rozšíření technologie a zvýšení poptávky vedlo k vyšší produkci výrobků. Vzhledem k požadavkům inovace např. v automotive jsou pro každou novou sérii výrobků zapotřebí

nové formy. Jelikož se základní koncepce forem často opakují, jsou na trhu k dostání normalizované díly - normálie. Ulehčují výrobu a především snižují celkové náklady. Nejedná se však o normalizaci např. dle EN či ASTM, ale pouze o sériové začlenění, a produkty jednotlivých výrobců mohou být rozdílné.

#### 4.4.1 Základní konstrukční díly

Základem každé formy je tělo, tvořené deskami. V normáliích jsou dodávány především z konstrukčních a nástrojových ocelí různých tříd (běžně např. 1.1730). Hlavním požadavkem na desky forem je vysoká tuhost a malá deformovatelnost. Během vstřikování nesmí docházet k prohnutím.

#### 4.4.2 Vodící elementy

Vodící prvky jsou nezbytné ke správnému uzavření a lícování formy. Nejpoužívanější jsou vodící kolíky a pouzdra. Kolíky jsou zušlechťeny a případně povrchově upraveny k dosažení dobré otěruvzdornosti. Vodící pouzdra se vyrábí i v bezúdržbových variantách (samomazné grafitové pouzdra). Důležité je precizní uložení všech vodících částí. Větší formy se ještě doplňují středícími prvky. [1]

#### 4.4.3 Ostatní normálie

Téměř všechny součásti formy mohou být použity z normálií. Jedná se však o formu použitelnosti. Normálie lze využít jako polotovary, které se následně upraví dle požadavků. Proto mohou být nakupovány různé posuvné odformovací celky, součásti vtoků, posuvné systémy třídeskových a speciálních forem, vytáčeční prvky, atd. Nezbytnou sekcí normálií jsou elektrokomponenty a hydraulika. [1]

### 4.5 Materiály forem

Výroba vstřikovacích forem, jakožto nástrojů vyžaduje použití kvalitních materiálů. Z ekonomického hlediska je snaha dosáhnout minimálních nákladů. Kompletní sestava formy se kromě ocelí skládá také z materiálů izolačních (nevodivých) a naopak i z materiálů vodivých, které podporují přenos tepla.

Oceli jsou základním konstrukčním materiálem při výrobě vstřikovacích forem a díky mechanickým vlastnostem jsou těžko nahraditelné. V sestavě formy je použito několik typů ocelí od méně jakostních desek (1.1730) po kvalitní nástrojové oceli tvarových vložek.

Hlavním požadavkem na tvarové vložky je vysoká pevnost, otěruvzdornost, únavová i teplotní odolnost, rozměrová stálost. Materiál by měl mít přijatelnou teplotní vodivost i vysokou tvrdost. Důležitým parametrem je vhodnost k tepelnému zpracování (prokalitelnost) a povrchovým úpravám. Těmito materiály se vložkují vtokové systémy, přednostně pro plněné materiály způsobující větší opotřebení. Mezi běžně používané materiály přicházející do styku s taveninou patří 1.2312 (dobře obrobitelná, nitridovatelná), 1.2343 (legovaná pro práci za tepla), 1.2738 (stejněměrná tvrdost, dobrá leštitelnost) a další. [19]

Povlakování je doplňková operace zvyšující odolnost abrazivnímu opotřebení. Tloušťka vrstev dosahuje 1 – 6  $\mu\text{m}$  a využívají se materiály na bázi nitridů titanu (TiN, TiAlN). Pro výrobu tvarových vložek s nekonvenčním chlazením lze využít technologie spékání kovového prášku. Pevnost takových vložek je odpovídající ocelím např. 1.2343.

Ostatní materiály se ve formě vyskytují v menší míře. Jedná se především o vložky, které odvádí teplo, kluzné členy (Cu) nebo izolují formu (izolační desky). Při vývoji formy se však prototypy vytváří z hliníku, který se následně recykluje. Použitelný je i vysokopevnostní hliník 3.4365 (Fortal), který dosahuje pevnosti ocelí. [4]

## 4.6 Údržba

Významný podíl na životnosti forem má pravidelná údržba. Výrobci obvykle garantují 500 000 cyklů. Údržbu lze rozdělit do dvou kategorií prováděnou během výroby a při odstávce. Během výroby se jedná nejčastěji o promazávání kluzných částí a odstraňování nečistot z dutin a dělicí roviny. Po ukončení výroby je nutno nástroj zakonzervovat. Vše se řídí dle příslušných technologických postupů, ve kterých je stanovena četnost úkonů i doba provedení (dle odpracovaného času nebo počtu cyklů). Během odstávky se také provádí kompletní údržba formy, která vyžaduje rozložení všech částí.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ POŽADAVKŮ A CÍLŮ

Úkolem oddělení technologie je řešit problémy, které se vyskytují během procesu vstřikování. Technolog se pak snaží proces upravit v mezích procesního okna, za účelem dosažení co nejvyšší kvality výroby a stability procesu. Vstřikování je ovlivněno mnoha faktory, podrobněji rozebranými v teoretické části, které se často ovlivňují navzájem. Stanovení optima pak může být zdlouhavé a ne vždy přesné. Neméně důležitý parametr štíhlé výroby pod kontrolou technologů je četnost údržby a poruch forem. Tento parametr má za následek více práce a prodlení stroje.

Útvar technologie ve společnosti Kasko opakovaně řešil problémy se vstřikováním výrobku s označením JR95. Vady vstřikovaného výrobku vyžadovaly častou úpravu technologických parametrů a nestabilita procesu vedla až k zavedení optické kamerové kontroly přímo na pracovišti. Pro eliminaci těchto problémů byly stanoveny následující požadavky:

- odstranění nedotečených a spálených míst v oblasti háčků,
- minimalizace odlesků v oblasti vyhazovačů,
- kompletní optimalizace procesu s dodržení rozměrových tolerancí a maximálních úspor finančních a energetických,
- úprava vtoku.

V další fázi byl stanoven požadavek na návrh kompletního konstrukčního řešení vstřikovací formy s ohledem na odstranění výše popsaných závad.

Hlavním cílem práce je na základě důkladné analýzy stávajícího procesu vstřikování výrobku JR95 určit původ vad a odstranit je. Aby mohl být proces virtuálně analyzován v software Cadmould 3D-F verze 8.01 (dále jen Cadmould) je nejprve potřebné vytvořit model výrobku a ostatní náležitosti. Výsledné virtuální optimalizace budou prakticky ověřeny během výroby na vstřikovacím stroji. Analýzy budou výchozí pro konstrukční části práce. Veškeré konstrukce budou prováděny v software Catia V5R19.

Závěrečným oddílem praktické části bude finanční zhodnocení stávajícího procesu a návrhů úprav.

## 6 POŽADAVKY ÚTVARU TECHNOLOGIE

Na základě stanovených požadavků budou v této kapitole analyzována vstupní data a utvořeny patřičné závěry.

### 6.1 Základní informace výroby

Výroba JR95 probíhá přednostně na stroji s označením BAT210/1000 - V20. Jedná se o stroj Battenfeld 210 s uzavírací silou 2100 kN a vstřikovací jednotkou s označením 1000. Stroj disponuje řídicí jednotkou B4, průměrem šneku 50 mm a maximální vstřikovanou dávkou 491 cm<sup>3</sup>. Horizontální rozteč sloupků je 570 mm a vertikální 510 mm, s možností otevření formy v rozmezí 200 – 630 mm. Materiál je ke stroji dopravován centrálním potrubím ze sušáren. V násypce je základní materiál smíchan s barvivem. Po vystříknutí je výrobek odebírán robotem pomocí savek a přesunut na dopravník, odkud je dále odebírán operátorem a uskladněn. Vtokové zbytky odpadávají do spodního zásobníku stroje. Periodicita výroby je přibližně 1500 hodin ročně.

#### 6.1.1 Technologické parametry

Název výrobku:	Cover JR95
Materiál výstřiku:	Ultramid B3EG natur (PA630GF), Masterbatch, barva šedá
Počet otisků:	2 ks
Rychlost vstřikování:	180 (160, 140) cm <sup>3</sup> /s
Vstřikovací tlak:	1450 bar
Dávka:	150 cm <sup>3</sup>
Dotlak:	400 bar
Doba dotlaku:	4 s
Chlazení:	20 s
Doba otevřené formy:	16 s
Teploty topných pásem:	244 °C, 239 °C, 228 °C, 225 °C,
Teplota trysky:	242 °C
Teplota temperace:	okruh 1 – 60 °C, okruh 2 – 60 °C
Průtok temperací:	5,5 l/min
Doba vstřikování:	0,92 s
Plastikace:	12,2 s
Cyklus:	41 s

Technologické parametry aktuální ke dni 18. 10. 2015. Ostatní parametry viz příloha.

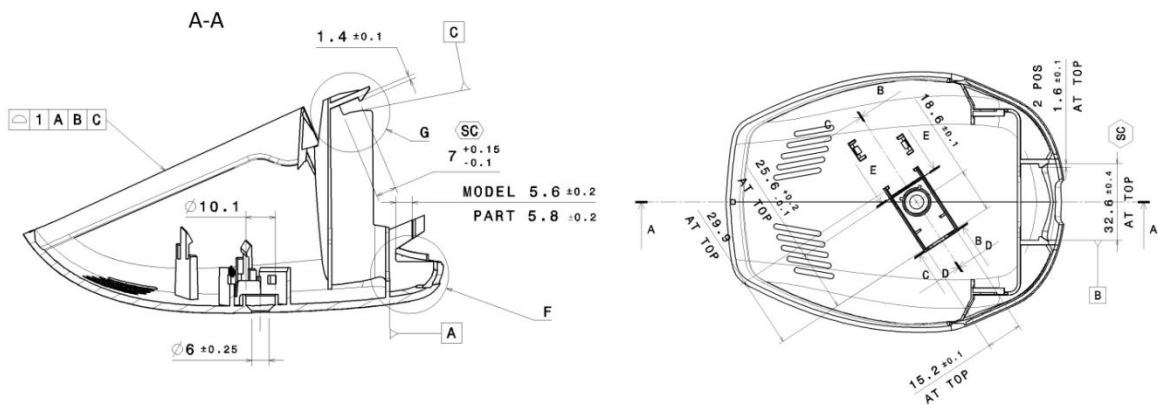
## 6.2 Popis výrobku

Výrobek JR95 slouží jako krytka elektroniky v automobilu. Jedná se o pohledový díl z materiálu Ultramid B3EG6 – PA6 s 30% podílem skelných vláken. Pohledová strana – horní – je tvořena strukturovaným dezénovým povrchem s ventilačními otvory a otvorem pro přívod kabeláže.



Obr. 32 Výrobek JR95

Funkční vnitřní strana je tvořena středovým úchytem elektroniky. Ostatní háčky slouží pro připevnění do sestavy. Rozměry vyznačené na Obr. 33 podléhají všeobecným tolerancím dle DIN 16901-130. Rozměrová kontrola se zaměřuje především na toleranci tvaru spodní lícované hrany a roztečí mezi háčky. Dále se posuzuje pouze vzhledová kvalita výrobku.



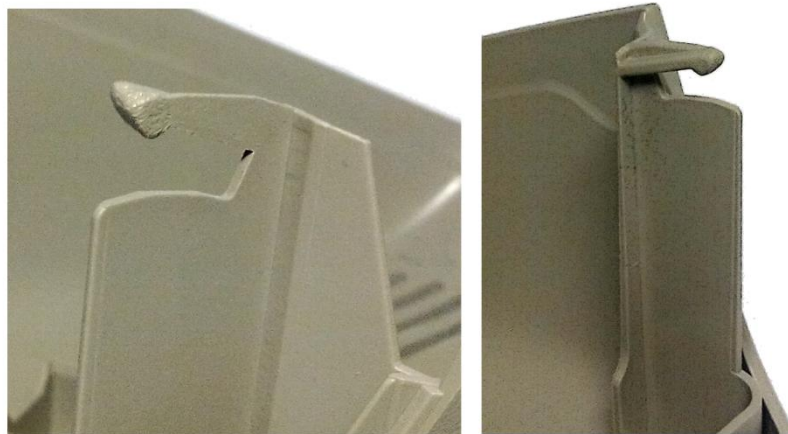
Obr. 33 Základní rozměry výrobku

### 6.3 Odstranění vad - Spálená místa

Hlavní nestabilitou vstřikování je častý vznik vad. Jedná se především o nedotečení či spálení v oblasti háčků, nedodržení rozměrových tolerancí a výskyt odlesků na dezénové části.

#### 6.3.1 Popis vady

Příčinou vzniku tzv. Diesel efektu je stlačování vzduchu, který má za následek lokální zvýšení teploty a spálení polymeru. Uzavřený vzduch také brání polymeru ve vyplnění celého háčku. Vzduch může být uzavřen do objemu polymeru a vytvořit vnitřní vakance. Tyto vakance se mohou projevit snížením pevnosti až poruchou háčku při kompletaci.

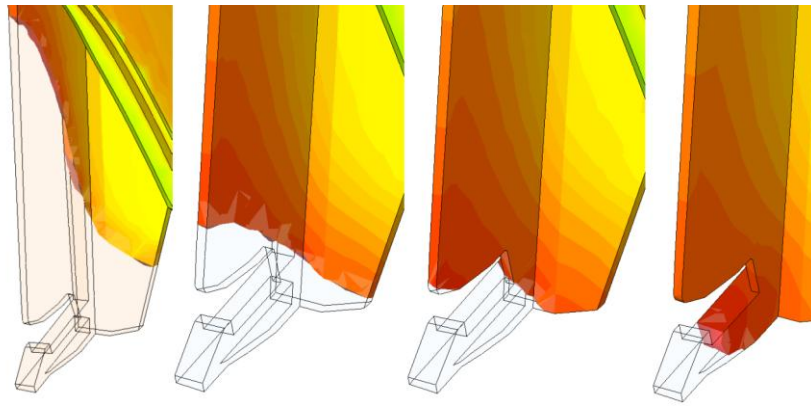


Obr. 34 Detail vadného háčku

#### 6.3.2 Technologické řešení

Celá problematika je založena v odvodu vzduchu z dutiny formy. Z hlediska technologie lze za účelem eliminace těchto spálených míst snížit vstřikovací rychlost tak, aby měl vzduch možnost uniknout skrze výrobní tolerance či dělicí rovinu. Snížení rychlosti vstřikování, sníží rychlost stlačování vzduchu před čelem taveniny a nárůst teploty není dostatečný pro vznik Diesel efektu. Redukce rychlosti vstřikování však může negativně ovlivnit další parametry a prodloužit dobu cyklu. Další možnou příčinou je znečištění lícujících částí vyhazovačů. Čištění vyžaduje kompletní rozebrání formy a je součástí pravidelné údržby. Četnější údržba by znamenala nepříjemný nárůst režijních nákladů. Proto je výhodnější věnovat pozornost konstrukčnímu řešení odvzdušnění.

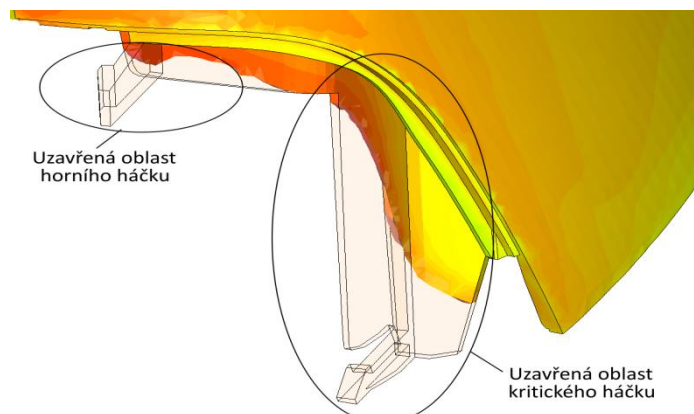




Obr. 35 Průběh plnění háčku

### 6.3.3 Konstrukční řešení

Při plnění dutiny formy dochází k plnění z protilehlé strany háčků. Jakmile čelo taveniny narazí na tvarový vyhazovač, přitlačí jej na protilehlou stěnu tvárníku, čímž se uzavřou místa úniku vzduchu v oblasti špičky. V porovnání s ostatními místy uzavírání vzduchu je toto kritické, protože tavenina uzavírá větší objem vzduchu, nežli je tomu např. u háčku horního (viz následující obrázek).



Obr. 36 Porovnání uzavřených objemů

Byly navrženy dvě konstrukční varianty odvzdušnění. Obě jsou tvořeny kanálky v oblasti špičky háčku. Stanovení rozměrů odvzdušnění zahrnuje následující předpoklady.

Tab. 4 Předpoklady odvzdušnění

<b>Vstříkovací rychlost (flow rate)</b>	180 cm <sup>3</sup> /s (cc/s)	
<b>Počet dutin</b>	2	
<b>Úniky vzduchu</b>	Dělicí rovina	10 %
	Střední tvarové vyhazovače	25 %
	Vyhazovače horních háčků	25 %
	Šikmé vyhazovače kritických háčků	40 %

<b>Minimální tolerance uložení</b>	0,015 mm
<b>Délka a šířka kanálu</b>	L = 2 mm, W = 3 mm

Výpočet byl proveden dle literatury [19] a vychází z objemového průtoku vzduchu kanálem. Dle zavedených předpokladů byl stanoven finální objemový průtok v oblasti háčku na  $18 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Pro výpočet výšky kanálu byl použit následující vztah:

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \eta_{vz} \cdot \dot{V} \cdot L}{\Delta P_{vz} \cdot W}} \quad (1)$$

kde h výška kanálu [ mm ]

L, W délka a šířka kanálu [mm]

$\eta_{vz}$  dynamická viskozita vzduchu [Pa.s]

$\dot{V}$  objemový průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\Delta P$  tlaková ztráta [Pa]

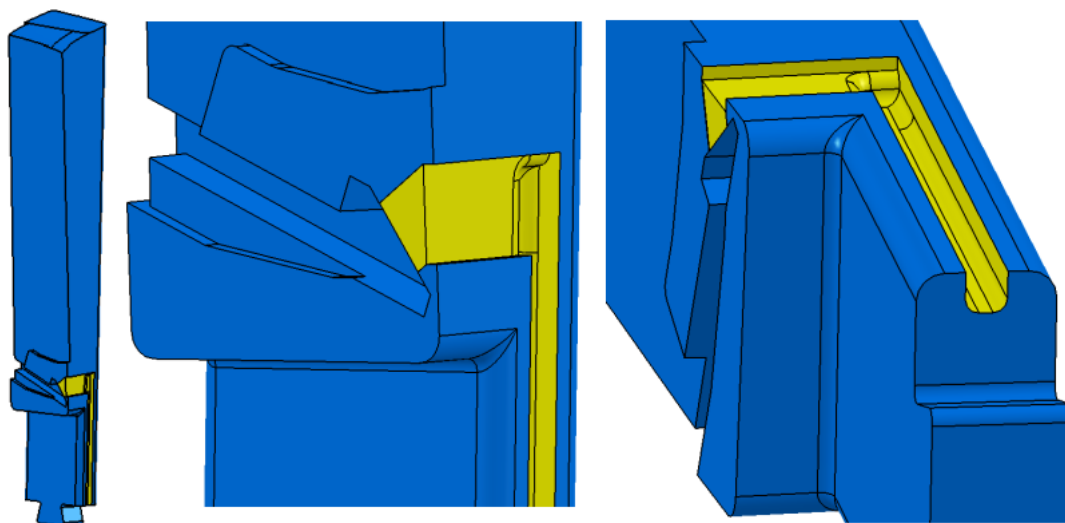
Hodnoty pro výpočet:  $\eta_{vz}=1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Pa.s}$ ,  $\dot{V}= 18 \cdot 10^{-6} \text{ Pa.s}$ ,  $\Delta P = 0,1 \text{ MPa}$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \eta_{vz} \cdot \dot{V} \cdot L}{\Delta P_{vz} \cdot W}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 0,002}{1 \cdot 10^5 \cdot 0,003}} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,03 \text{ mm}$$

Po zahrnutí minimální tolerance uložení je  $h = 0,015 \text{ mm}$ . Doporučené hodnoty výšky kanálu pro PA6+GF dle literatury [8], [15], [18], jsou 0,01 – 0,03 mm.

- Varianta odvzdušnění 1

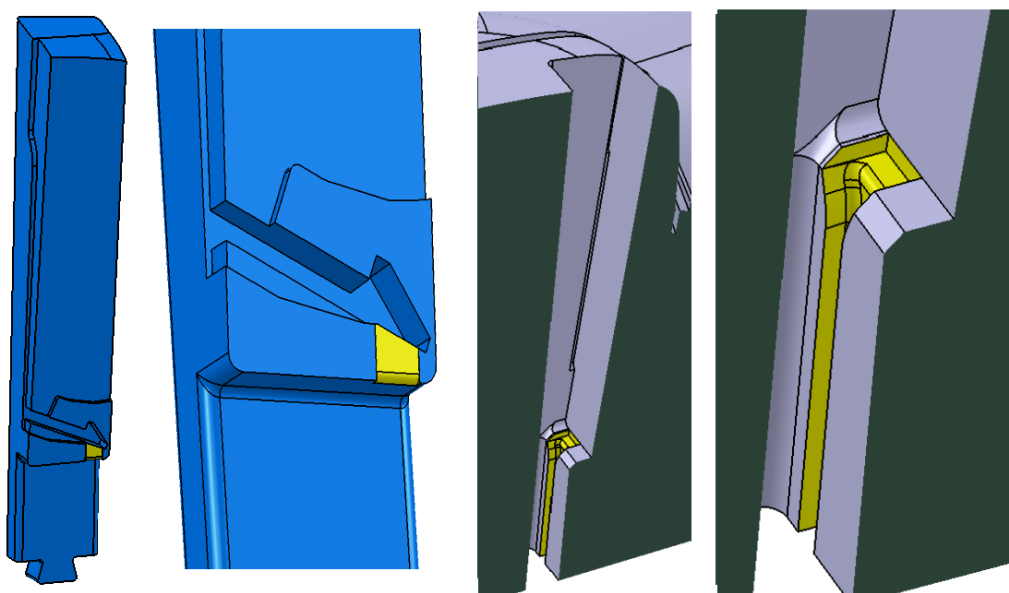
Vychází z vypočtených rozměrů kanálu a zahrnuje vytvoření drážky do šikmého vyhazovače bez zásahu do okolních částí. Hloubka kanálu se z 0,015 mm zvětšuje na 0,5 mm až na 1,5 mm v podélné části vyhazovače. Na následujícím obrázku je celý odvzdušňovací kanál zvýrazněn žlutě.



Obr. 37 Odvzdušnění varianta 1

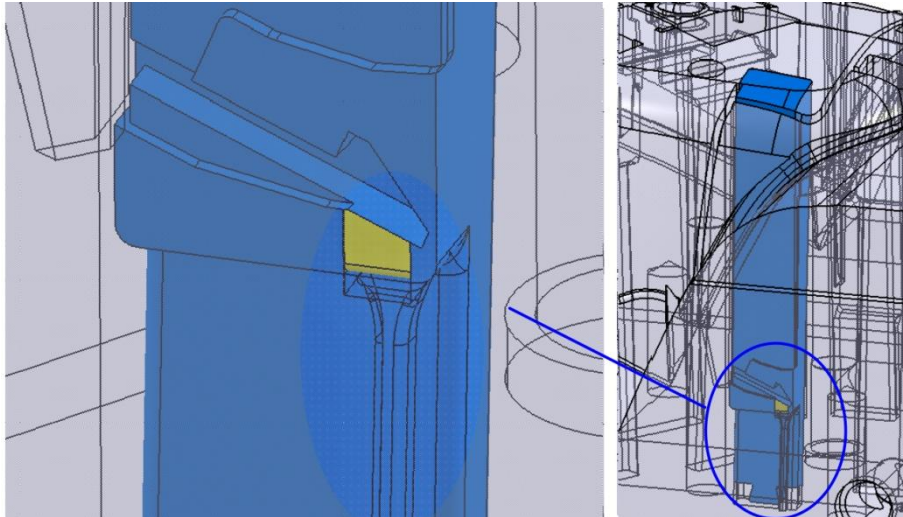
- Varianta odvzdušnění 2

Druhá varianta zahrnuje vytvoření drážky o vypočtených rozměrech do tvarového vyhazovače doplněnou o hlubší kanál v tvárníku.



Obr. 38 Odvzdušnění varianta 2

Při natlačení vyhazovače na stěnu může vzduch uniknout skrze dosedací plochu vyhazovače. V obou návrzích zasahují úpravy pouze vyobrazených částí, protože v kotevní desce tvárníků se očekávají větší vůle dostatečné k odvodu vzduchu.



Obr. 39 Sestava varianty odvzdušnění 2

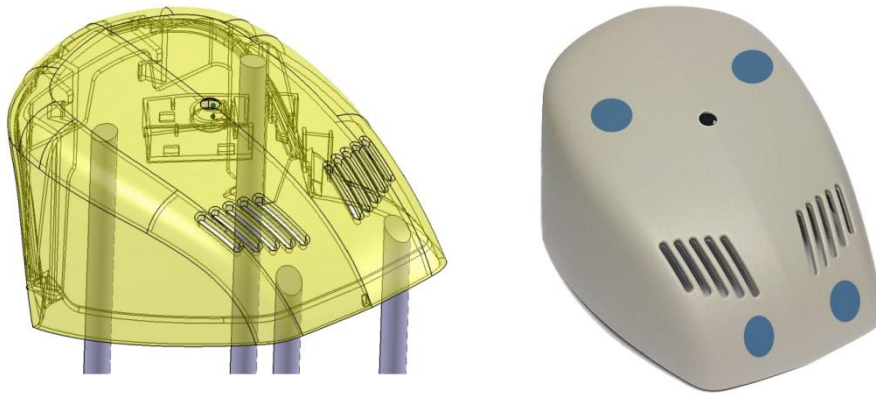
Zásadním předpokladem všech odvzdušňovacích systémů je jejich čistota. Bez řádného čištění nelze docílit požadovaného účinku. Velmi důležitá je správná aplikace mazacích prostředků a tloušťka nanesených vrstev.

## 6.4 Odstranění vad – Odlesky

Významným defektem na pohledových částech vstřikovaných výrobků bývají například propadliny, ale také méně časté odlesky. Odlesky jsou v převážné většině problémem kopolymerů (ABS) či polymerů plněných skelnými vlákny. Problematiku odlesků lze rozdělit do dvou skupin, podle typu povrchu. První skupinou jsou výrazné lokální odlesky na matném (dezénovaném) povrchu a druhou skupinou jsou matné části na lesklých površích.

### 6.4.1 Popis vady

Hodnota dotlaku nad 550 bar způsobí zjasnění a zvýšení odrazivosti světla v oblasti vyhazovačů na dezénové části výrobku viz Obr. 40. Odlesky mají zpravidla tvar kopírující vyhazovač. Problematika odlesků se vyskytuje pouze v okolí vyhazovačů, nikoli v oblasti tvarů a převážně v horní části výstřiku. Výrobek JR95 se vyrábí v šedé barvě, která lehké odlesky skryje. Další sériová úprava výrobku JR95 se vyrábí v černé verzi polyamidu, která je naopak na odlesky značně náchylná. Současné operativní odstranění odlesků se řeší snížením hodnoty dotlaku na cca 400 bar a redukcí teploty na 60 °C.



Obr. 40 Polohy odlesků

### 6.4.2 Technologické řešení

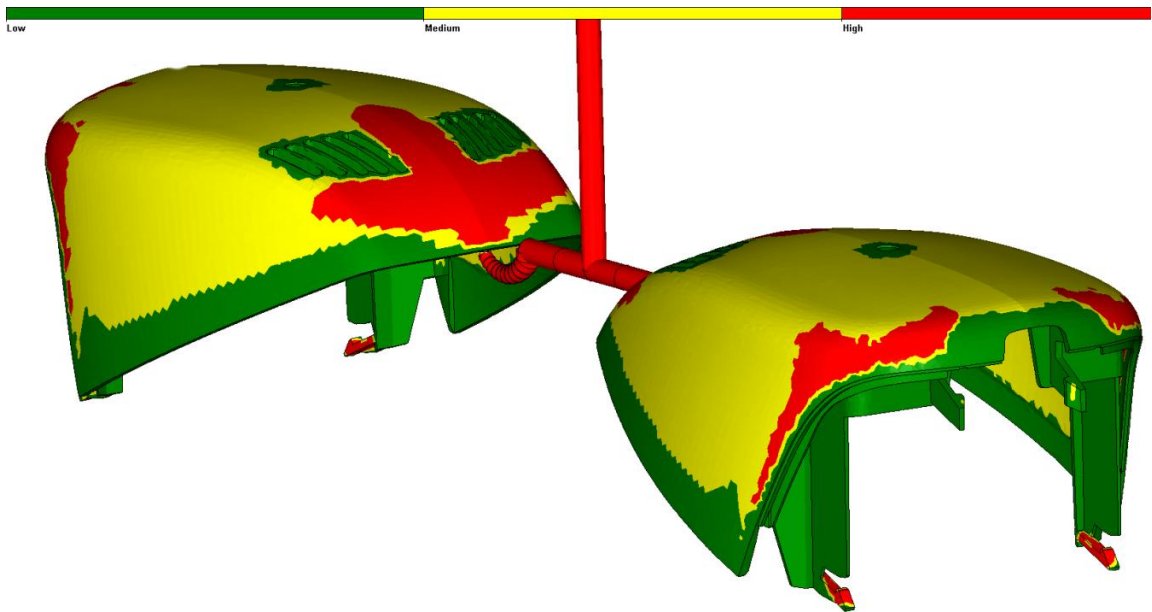
Hlavními parametry ovlivňující vznik rozdílného odlesku (lokálních odlesků) jsou:

- vstřikovací tlak,
- velikost a doba dotlaku,
- teplota taveniny,
- teplota formy,
- zatékavost polymeru,
- tloušťka stěn.

Povrch taveniny, který ulpívá při fontánovém toku na povrchu kavity a definuje tak strukturu výsledného výrobku, je z hlediska mikrostruktury porézní. Problém nastává při smýkání polymeru a skelných vláken, které mají tendenci se od polymeru oddělit. Vytváří se tak na povrchu vrstva bohatá na polymer, vykazující zvýšený odlesk. Dalším parametrem je tuhost jednotlivých částí materiálu. Při plnění se materiál přitlačí na stěnu kavity a je nutno vyrovnat případné nerovnosti. Tuhost skla je mnohonásobně vyšší než polymeru, a proto může být obtížnější sklo deformovat a vyplnit lokální nerovnosti. Tento jev může mít vliv na kvalitu texturovaných i leštěných povrchů. [15, 21, 22]

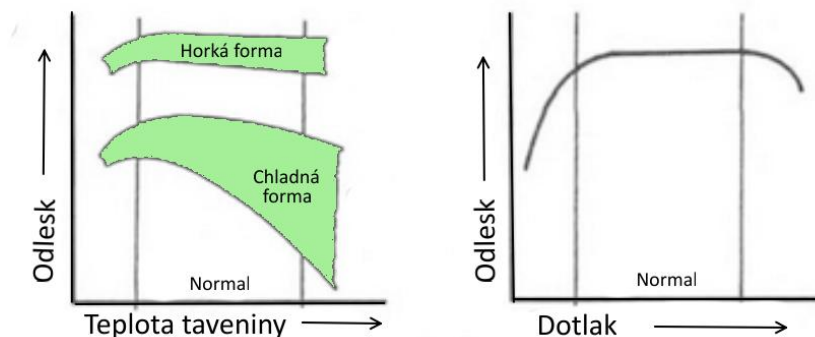
Prvním analyzovaným parametrem je vstřikovací tlak. Jeho nízká hodnota obvykle způsobí předčasné ztuhnutí taveniny ještě před dotlakovou fází cyklu. Doporučená hodnota pro PA6 je přibližně 550 bar a s nastavenou hodnotou 1450 bar je mnohonásobně překročena. Analogicky je tomu s rychlostí plnění. Fáze dotlaku nemá na odlesky v některých případech vliv. Nicméně posouzením analýzy propadlin, může být vliv dotlaku pro JR95 zásadní. V oblasti odlesků, dochází k mírnému propadnutí, což může mít za následek nedosta-

tečný otisk textury a projeví se výše popsáný jev separované vrstvy polymeru. Naopak dle dosavadních zkušeností, po snížení dotlaku odlesky vymizely.[20, 21]



Obr. 41 Poloha propadlin na výrobku

Největší vliv na tvorbu odlesků mají nastavené teploty taveniny a formy. Pokud po úpravách technologických parametrů, které zahrnovaly změnu dotlaku i teplot, došlo k vymizení odlesků, mohlo být odstranění vady pouze záležitostí teploty. Materiál je plněn dostatečnou rychlostí i tlakem a díky snížené teplotě formy se vytvoří regulérní otisk, protože se nevytvoří vrstva separovaného polymeru. Obecně platí, že horké formy ( $66\text{ }^{\circ}\text{C} - 82\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) produkují více lesklý povrch než formy chladné ( $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), z důvodu delšího setrvání materiálu ve stavu taveniny. Stávající nastavení odpovídá dolní hodnotě, tudíž lze předpokládat nepatrnou významnost dotlaku. [20, 21]



Obr. 42 Vliv teploty a dotlaku na odlesk [21]

Analýzou vzniku vady byla stanovena následující řešení:

- zvýšit velikost dotlaku na hodnotu konstantního průběhu odlesku viz Obr. 42 (přibližně 500 bar) a zvýšit tím rozměrovou přesnost výrobku,
- prodloužit dobu dotlaku (dle analýz),
- přiblížit teploty taveniny a formy doporučeným hodnotám.

Nejvýznamnějším parametrem řešení bude úprava teploty formy a teploty taveniny. Současné nastavení nesplňuje doporučené intervaly od výrobce materiálu. Pro Ultramid B3EG6 jsou doporučeny následující hodnoty:

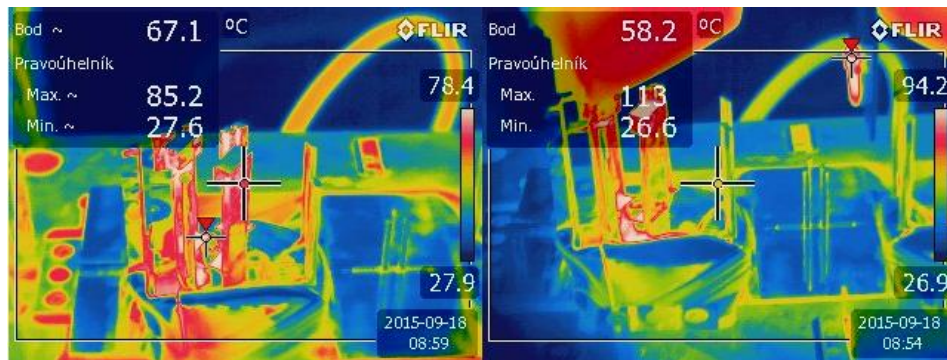
Tab. 5 Procesní teploty

	Doporučeno	Nastaveno
<b>Teplota taveniny [°C]</b>	270 – 295	260
<b>Teplota formy [°C]</b>	80 – 95	60

Zvýšením procesních teplot se pozitivně ovlivní výsledné rozměry výrobku. Problémy mohou být současně způsobeny rozdílnou tepelnou vodivostí materiálů.

#### 6.4.3 Konstrukční řešení

Současný trend konformního chlazení se snaží optimalizovat teplotu na minimální dobu cyklu s vynikajícími rozměrovými výsledky. Tento typ temperace výrazně podporuje obtížně temperovaná místa, mezi která patří vyhazovače. Rozdílná teplota vyhazovačů a rozdílná tepelná vodivost jednotlivých částí mohou být další příčinou vzniku odlesků. Nejednotvárnost temperace způsobí odlišný průběh krystalizace, důsledkem čehož se mohou objevit v okolí válcových vyhazovačů odlesky. Šikmé vyhazovače jsou vyrobeny stejně jako tvarové vložky z materiálu 1.2343, ale kupované válcové vyhazovače z materiálu 1.2516. Přestože materiál 1.2516 má vyšší tepelnou vodivost cca o  $10 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  není pravděpodobně odvod tepla dostatečně intenzivní. Z Obr. 43 je patrný špatný odvod tepla z vyhazovačů (hodnoty jsou pouze informativní kvůli reflektivitě povrchu).



Obr. 43 Rozložení teploty v oblasti vyhazovačů

Doporučené konstrukční řešení vychází ze zvýšení účinnosti temperace vyhazovačů. Lze využít temperačních vyhazovačů s měděnou vložkou tzv. termal pins například od firmy Noren products incorporated. K dostání jsou tři druhy rozdělené dle teplotního použití. Pro formu výrobku JR95 byl doporučen model TPhcS pro teplotní rozsah do 90 °C. Druhou variantou je využití kompletního vyhazovače ze slitiny mědi od firmy DME pod označením PCM.

#### 6.4.4 Výsledek řešení z praktické zkoušky

Primárně nastavené parametry na stroji viz Tab. 6 nevykazovaly žádné vady. Viditelné jsou pouze mírné propadliny v oblastech navázání stěn.

Tab. 6 Původní parametry stroje k 11. 4. 2016

<b>Rychlost plnění I</b>	160 cm <sup>3</sup> /s	<b>Rychlost plnění II</b>	180 cm <sup>3</sup> /s
<b>Velikost dotlaku</b>	400 bar	<b>Čas dotlaku</b>	4 s
<b>Čas chlazení</b>	21 s	<b>Cyklus</b>	41 s
<b>Teperace pevná strana</b>	60 °C	<b>Teperace pohyblivá strana</b>	60 °C

Nastavením optimalizovaných parametrů, které snižují dobu cyklu, se taktéž odlesky neobjevily. Byla zachována stabilita procesu i při změně parametrů dle Tab. 7.

Tab. 7 Optimalizační parametry

<b>Rychlost plnění I</b>	150 cm <sup>3</sup> /s	<b>Rychlost plnění II</b>	155 cm <sup>3</sup> /s
<b>Velikost dotlaku</b>	300 bar	<b>Čas dotlaku</b>	6 s
<b>Čas chlazení</b>	15 s	<b>Cyklus</b>	37 s
<b>Teperace pevná strana</b>	75 °C	<b>Teperace pohyblivá strana</b>	60 °C



Za účelem výraznějšího potlačení propadlin byl dotlak nastaven na hodnotu 550 bar, při zachování ostatních parametrů dle Tab. 7. Výsledkem byl vznik odlesků v oblasti vyhazovačů horních háčků nikoliv v oblasti válcových vyhazovačů. Dále bylo provedeno kontaktní měření povrchu kavity a ostatních vyhazovačů (temperační teplota nastavena na 60 °C).

Tab. 8 Teploty povrchů

Poloha	Průměrné hodnoty [°C]
Plocha tvaru	74 ± 1
Tvarové vyhazovače	79 ± 1
Válcové vyhazovače	67 ± 1

Byl tedy prokázán významný vliv teploty, ale i dotlaku. Nízká teplota formy potvrzuje tvrzení o potlačení odlesků. Pro výrobek JR95, jsou výhodnější hodnoty dotlaku pod konstantní úrovní (viz Obr. 42), kde se odlesky vyskytují minimálně. I při zvýšené hodnotě teploty na 75 °C je méně pravděpodobný výskyt odlesků v oblasti válcových vyhazovačů a doporučené konstrukční řešení by mělo být aplikováno spíše na šikmé tvarové vyhazovače. Kontaktní měření i termokamera prokázaly špatný odvod tepla tvarovými vyhazovači, ale také vliv lepší tepelné vodivosti válcových vyhazovačů. Vznik odlesků v horní části může být také způsoben uzavíráním vzduchu, kdy dochází k místnímu ohřátí vlivem stlačování vzduchu. Další variantou může být rozdílné rozložení plniva, kdy v inkriminované oblasti dochází ke snížení plnění a vzniká lesklá povrchová vrstva.

Závěrečné doporučení obsahuje přenastavení temperačního okruhu na vyšší teplotu za účelem dosažení přesnějších tolerancí, ale hodnotu dotlaku snížit pod 400 bar. Doba dotlaku na základě zkoušky může být nastavena na 6 s.

## 6.5 Optimalizace procesu

Optimalizace procesu vstřikování byla provedena v simulačním software Cadmould 3D-F verze 8. 01. První fáze optimalizace zahrnuje virtuální analýzu plnění i temperace původního nastavení. V dalším kroku byly v rámci procesních parametrů nastaveny nominální hodnoty vypočítané analýzou originálu, které byly následně variovány. Variace hodnot proběhla u rychlosti plnění, délky plnění, velikosti a době dotlaku a délce chlazení. Dále byl zkoumán vliv teplot temperace.

### 6.5.1 Společné parametry

V rámci optimalizace kvůli zachování opakovatelnosti analýz byly pro všechny analýzy totožné parametry materiálu, polohy výrobku a velikosti sítě. Úprava těchto parametrů proběhla až v konstrukční části práce.

- Materiál

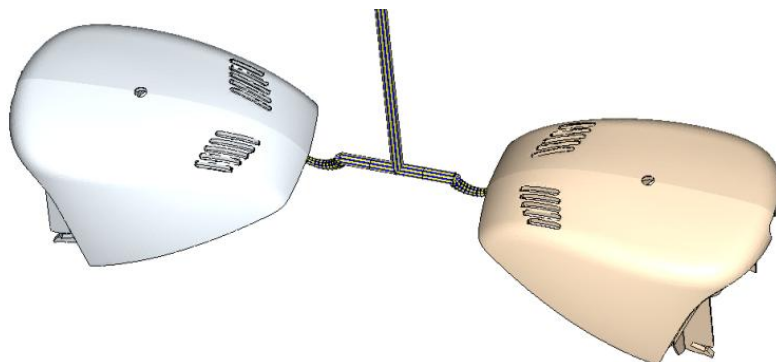
JR95 je vyráběn z polyamidu plněného skelnými vlákny od společnosti BASF. Obchodní označení pro tento typ materiálu je ULTRAMID B3EG6. V analýzách není zahrnuta aplikace barviva, jedná se pouze o čistý ultramid. Zvolený materiál má ITT měřený při 275 °C téměř 60 g / 10 min, což jej předurčuje k dobré zatékavosti. Všechna materiálová data jsou dodávána společností Simcon a pochází ze spojení dat dodaných výrobcem a dat ze zkoušek. Diagram pvT je součástí přílohy.

Melt Temperatures		Mold Temperatures		Thermal conductivity	0,21 [W/m °C]
Maximum	290 [°C]	Maximum	90 [°C]	Specific Heat	2150 [J/kg °C]
Optimal	280 [°C]	Optimal	85 [°C]	Solid density	1360 [kg/m³]
Minimum	270 [°C]	Minimum	80 [°C]	Melt density	1199 [kg/m³]
Degradation Melt Temperature	[°C]	No-Flow Temperature	185 [°C]		
		Ejection Temperature	160 [°C]		
Melt Mass Flow Rate (MFR/MFI)		Temperature	275	Load	5 [kg]
Melt Index	59,95 [g/10min]				

Obr. 44 Materiálové charakteristiky z Cadmould

- Poloha výrobku a vtokový systém

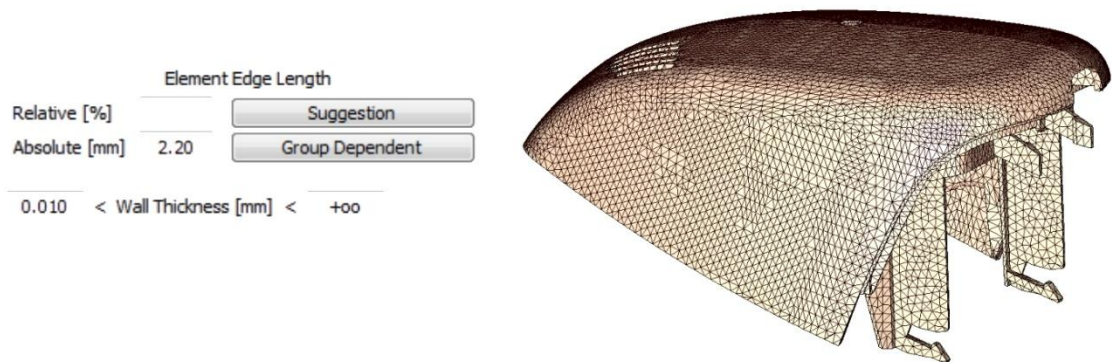
Poloha výrobku v analýze odpovídá přesnému rozložení ve formě. Totožné rozměry byly přiřazeny vtokovému systému se zanedbáním přidržovače vtoku. Směr vyhazování odpovídá kladné ose Z.



Obr. 45 Rozložení výrobku pro analýzy

- FEM síť

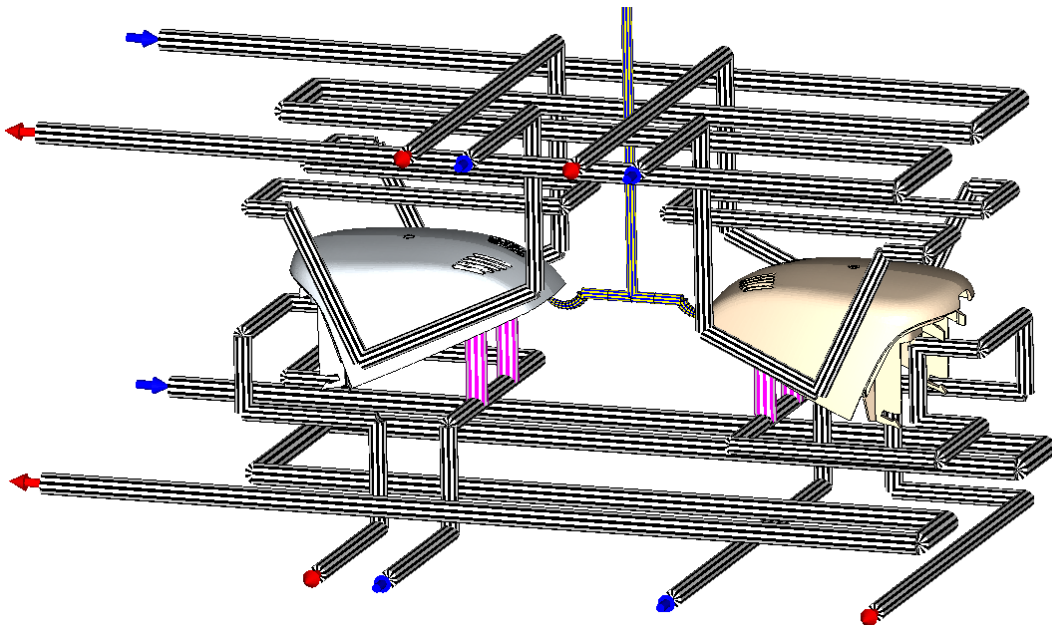
Významný vliv na přesnost výpočtu má velikost aplikované sítě. Oproti navržené hodnotě byla absolutní délka elementu sítě snížena na 2,2 mm. Tloušťka stěny byla ponechána na 0,01 mm kvůli přesnějšímu výpočtu v oblasti hran.



Obr. 46 Velikost sítě

- Temperační systém

Trajektorie temperačního systému, byly vytvořeny na základě reálného modelu. Celkem čtyři okruhy jsou u stroje napojeny pouze na dvě temperační jednotky. To znamená, že změnu temperační teploty lze provést pouze v rámci jedné poloviny formy a ne v rámci okruhu. Růžovou barvou jsou znázorněny obtokové vložky (Baffle).



Obr. 47 Temperační systém

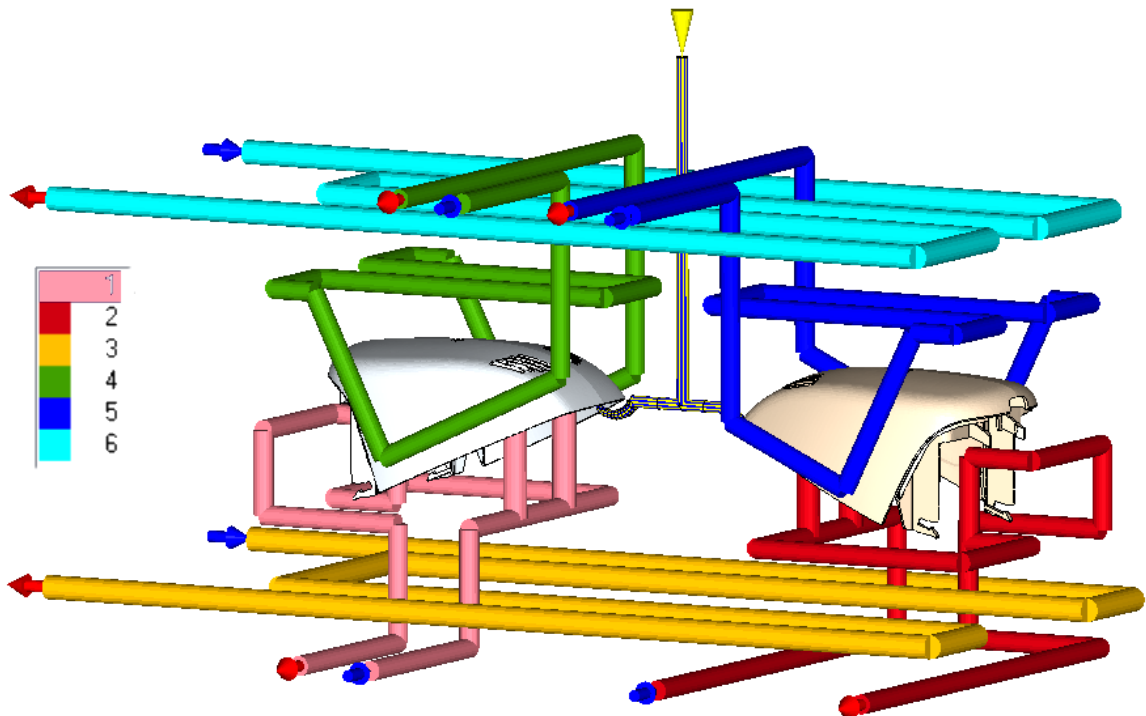
### 6.5.2 Analýza původního stavu

Úkolem této analýzy je odhalení kritických míst stávajícího procesu, a proto nastavení musí odpovídat samotnému nastavení na stroji. Následující obrázky detailně popisují nastavení délky plnění, teplotu taveniny, nastavení smrštění a deformací. Velikost dotlaku byla nastavena na konstantní průběh 400 bar. Profil plnění odpovídá skokové změně ze  $180 \text{ cm}^3/\text{s}$  na  $160 \text{ cm}^3/\text{s}$  při 0,45 s.

Filling Time [s]	0.920	Process	
Pressure-Controlled Filling [%]	99.0	Cooling Time inside Mold after Filling [s]	20.000
Melt Temperature [°C]	260.0	Heat transfer coefficient ambient [W/(m.K)]	8.0
Snapshot Element-Based WT [°C]		Ambient Temperature [°C]	25.0
Ejection Temperature [°C]	160.0	Filling Time [s]	0.920
<input checked="" type="checkbox"/> Packing	Packing Time [s] 4.000	Cooling Time [s]	20.000
<input checked="" type="checkbox"/> S + W	Cooling Time [s] 20.000	Ancillary Time [s]	16.000

Obr. 49 Nastavení analýzy původního stavu

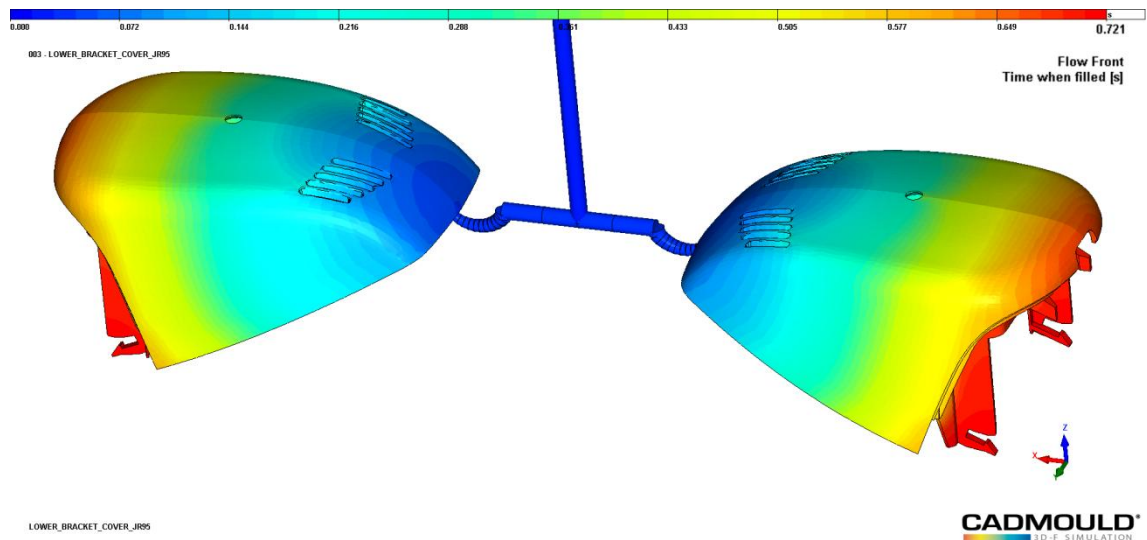
Nastavení temperačních okruhů opět odpovídá reálnému nastavení. Jedná se o konstantní objemový průtok vody ve všech okruzích 5,5 l při teplotě 60 °C. Analýza chlazení proběhla v systému nastavení Cadmould 3D-F Cool.



Obr. 48 Rozložení temperačních okruhů

- Výsledky stávajícího procesu

Výsledky jednotlivých analýz lze rozdělit do čtyř podkategorií, a to kategorii analýzy plnění, dotlaku, smrštění a deformace a analýzy teploty. Prvním významným výsledkem analýz je postup plnění jednotlivých kavit. Lze pomocí ní odhalit kritická místa uzavírání vzduchu, nedotečená místa nebo čas naplnění dutiny.

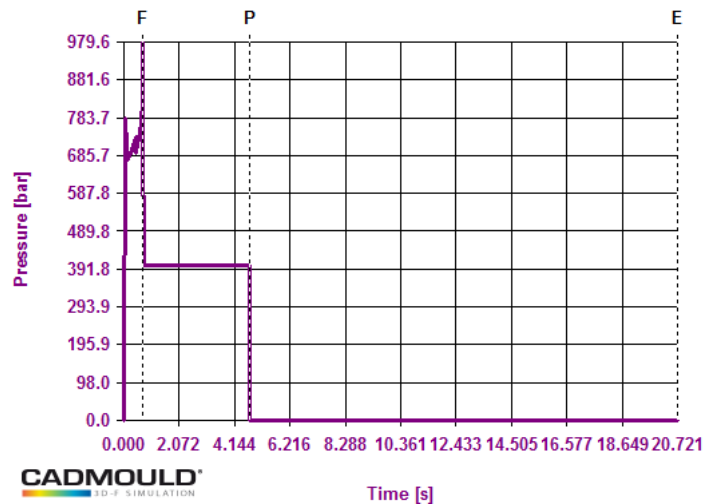


Obr. 50 Analýza doby plnění dutin

Dle Obr. 50 je patrný čas stoprocentního vyplnění dutin 0,72 s, což je o 0,2 s rychleji než nastavení. Delší plnění může mít za následek zvýšení špičkového tlaku. Plnění v oblasti háčků probíhá až v konečné fázi, a proto lze očekávat problémy s uzavřeným vzduchem.

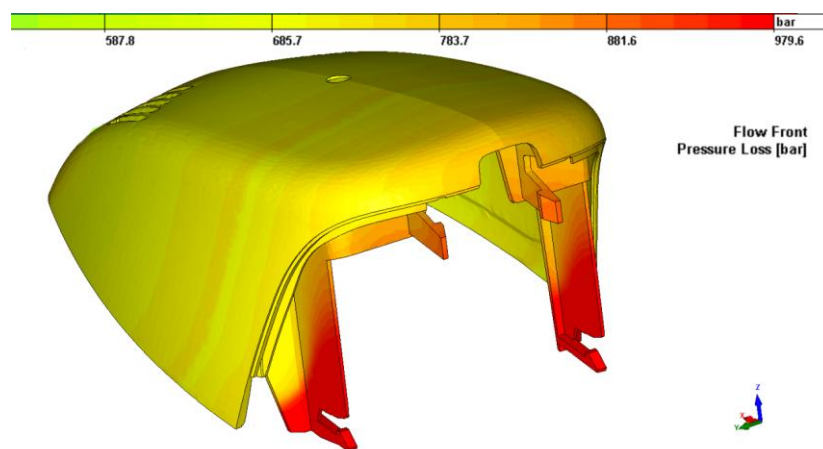
Na nedotečení háčků řešené v předchozích kapitolách může mít vliv nízké teploty taveniny. Analýzou byl zjištěn teplotní průběh na čele taveniny v intervalu 258 °C – 264 °C, což lze považovat za stabilní teplotní interval. Během plnění nedochází k výrazným teplotním výkyvům, které by způsobovaly degradaci či nedotečení. Ani teplota v celém objemu během plnění (snapshot filling) nepřesáhla 270 °C. Přesto se teploty pohybují na dolní teplotní hranici doporučené výrobcem. Důvod tohoto současného nastavení je v potlačení odlesků.

Na Obr. 51 je vyobrazen průběh tlaku během celého cyklu. F označuje konec plnění, P – konec dotlaku a E – vyhození výrobku. Dle analýzy je zapotřebí tlaku 979,6 bar, aby došlo k úplnému naplnění kavity. Tento tlak vyvolá potřebnou uzavírací sílu, která byla vypočtena na hodnotu 1400 kN.



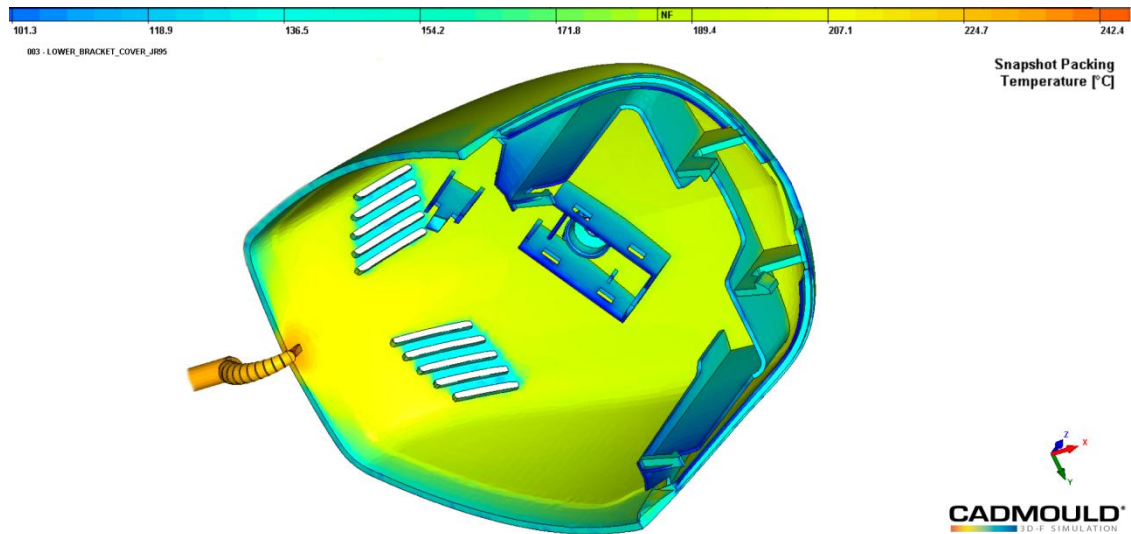
Obr. 51 Průběh tlaku během cyklu

Posouzením tlakového průběhu, by bylo lepší volit mírnější náběh (odstranění tlakové špičky na počátku plnění), tzn. upravit profil rychlosti plnění. Z následujícího obrázku je zřejmá poloha nejvyšší tlakové potřeby. Na dostříknutí háčků vzroste tlak téměř o 200 bar. Vzhledem k nastavení špičkového tlaku na 1450 bar je zde přibližně 30% rezerva.



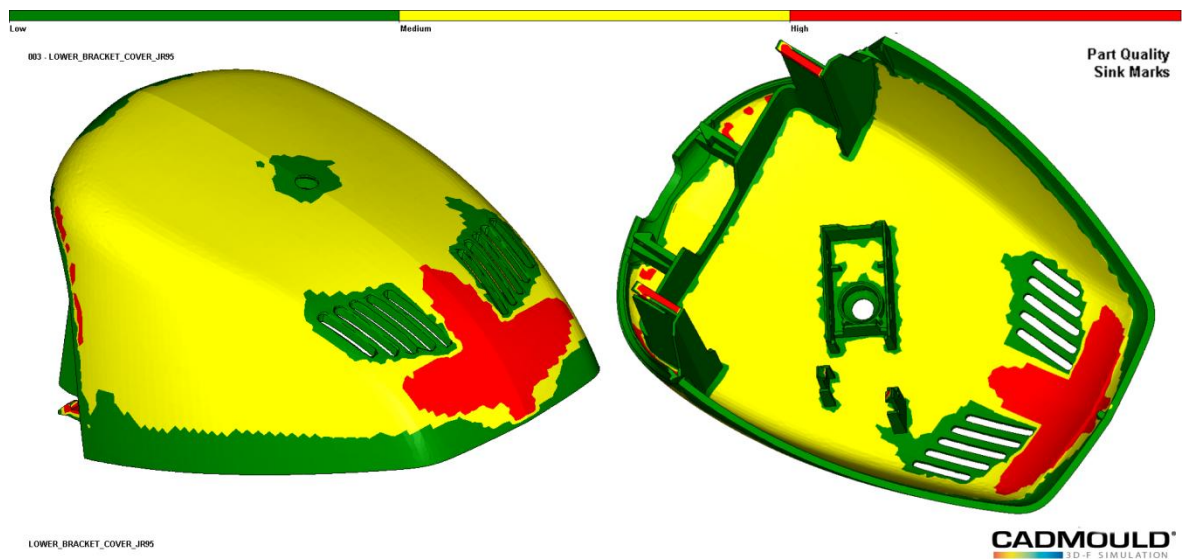
Obr. 52 Tlaková ztráta čela taveniny

Fáze plnění byla ukončena v čase 0,72 s a dále následovalo skokové snížení tlaku na 400 bar s dobou setrvání 4 s. Dotlaková fáze má velmi významný vliv na finální rozměry výstřiku. Následující obrázek je výsledkem teplotního rozložení na konci fáze dotlaku (v 5. s). Teplota NF (no flow) označuje teplotu, pod kterou tavenina není schopna téci.



Obr. 53 Rozložení teploty na konci fáze dotlaku

Je patrné, že dotlak dostatečně vyrovná poklesy v tvarově složitých funkčních oblastech (plně ztuhlé), ale základní pohledový tvar a okolí vtoku mají i na konci dotlaku možnost tečení, což zvyšuje výsledné smrštění i deformace. Pro optimalizaci je nutno prodloužit délku dotlaku až do zatuhnutí okolí vtoku.

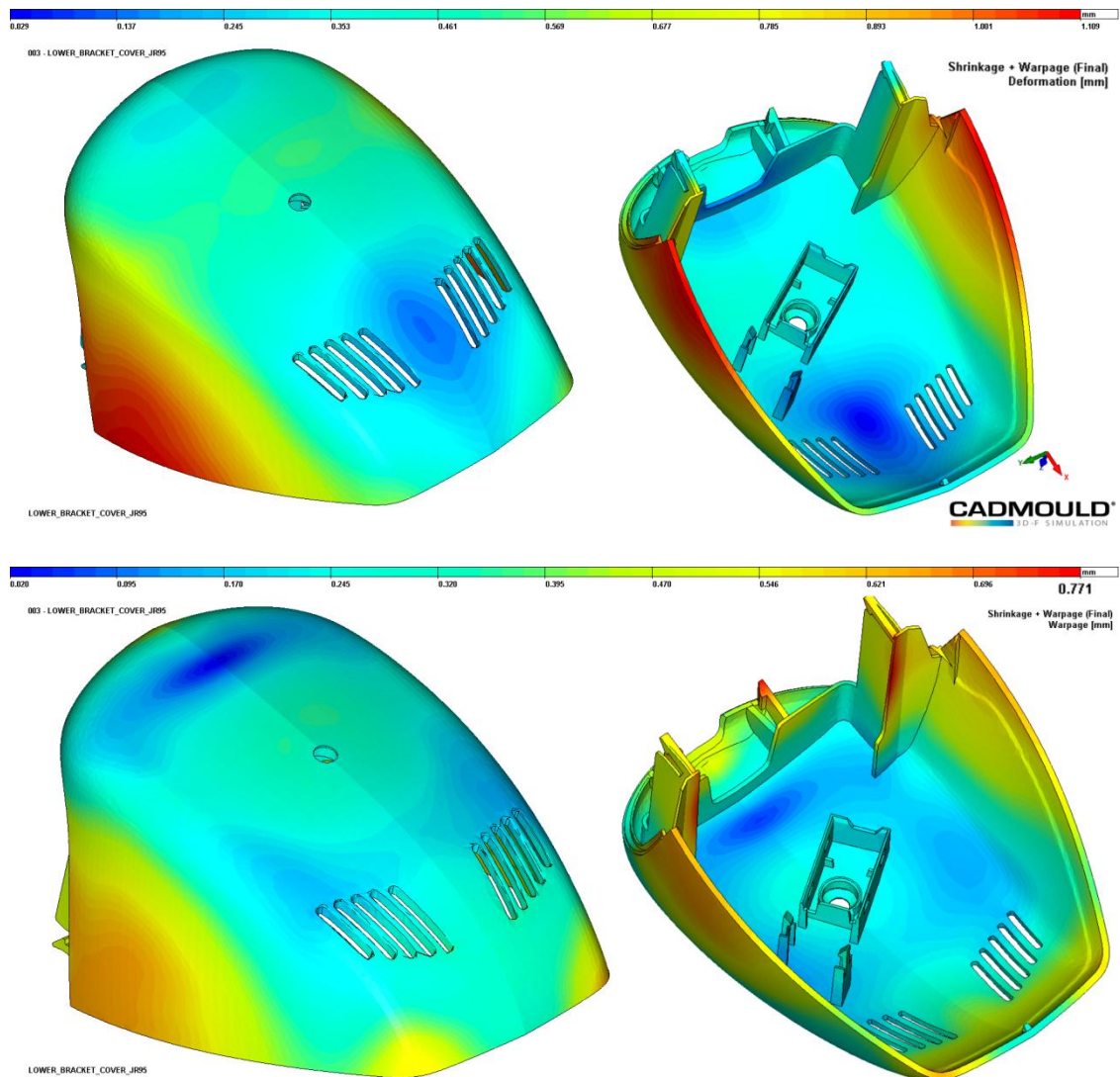


Obr. 54 Propadliny na výrobku

Obr. 54 potvrzuje krátkou dobu dotlaku, jenž se projeví propadlinami. Nejvyšší propadliny jsou v oblastech, kde má tavenina na konci dotlaku nejvyšší teplotu.

Pro stanovení přesnosti výstřiku jsou k dispozici analýzy smrštění a deformace. Velikost smrštění byla stanovena na 0,8 %. Deformace označují deformace vlivem smrštění, kde maximální hodnota dosáhla na volných krajích 1,1 mm. Warpage označují de-

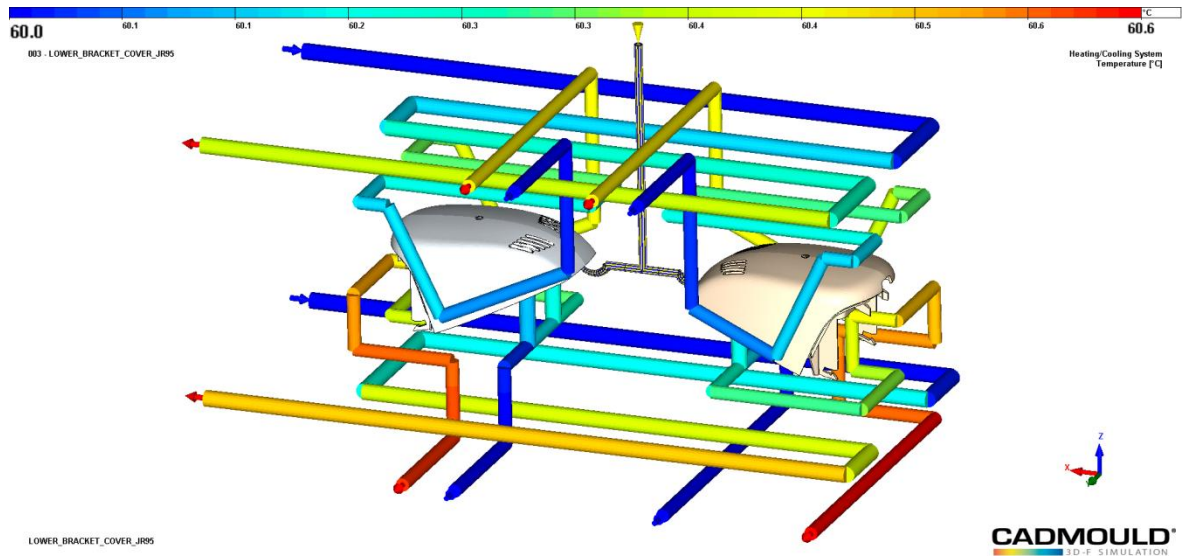
formace způsobené zkroucením např. vlivem rozdílného chlazení. Poloha maxima se od předchozích odlišuje a je situována do oblasti ukotvení háček.



Obr. 55 Oba typy deformací (Deformation nahoře, Warpage dole)

Posledním výsledkem, který také značně ovlivňuje deformace je analýza teploty. Teplotní spád v okruzích dosahuje pouze 0,8 °C a velikost Reynoldsova čísla ( $Re_{min} = 20300$ ) odpovídá turbulentnímu proudění. Je tedy dosaženo podmínek ideálního odvodu tepla. Vzhledem k nízkému teplotnímu spádu nedochází k rozdílnému chlazení jednotlivých polovin kavit. Výsledky této analýzy budou zohledněny při návrhu nové formy.





Obr. 56 Rozložení teploty v temperačních okruzích

### 6.5.3 Analýza zvoleného optima

Analýzou původního nastavení byly zjištěny referenční hodnoty. Celkem proběhlo 45 analýz s variováním hodnot vůči referenci. Následně byla zvolena varianta, která vykazovala nejmenší deformace a smrštění při nejnižších hodnotách rychlosti plnění, dotlaku a především době cyklu. Dalším posuzovaným parametrem byla hodnota rychlosti smykové deformace, která u původního nastavení přesahovala  $1808000 \text{ s}^{-1}$  (doporučeno  $20000 \text{ s}^{-1}$ ). Bohužel výrazné snížení rychlosti smykové deformace nebylo možné kvůli nutnosti zachování rozměrů vtokového ústí.

Tab. 9 Nejvhodnější nastavení 1/2

VARY	ID	Doba plnění [s]	Rychlost plnění I [ $\text{cm}^3/\text{s}$ ]	Rychlost plnění II [ $\text{cm}^3/\text{s}$ ]	Doba dotlaku [s]	Velikost dotlaku [bar]	Délka chlazení [s]	Temperace pevná [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Temperace pohyblivá [ $^{\circ}\text{C}$ ]
8	7	0,70	180	135	6	450	10	75	60
8	5	0,82	150	155	6	450	15	75	60
11	7	0,70	180	135	6	450	10	75	65
11	5	0,82	150	155	6	450	15	75	65
8	6	0,83	150	155	6	300	10	75	60
8	4	0,76	180	135	6	300	15	75	60
10	6	0,83	150	155	6	300	10	85	70
10	4	0,76	180	135	6	300	15	85	70
<b>Originál</b>		0,72	180	160	4	400	20	60	60

Tab. 10 Nejvýhodnější nastavení 2/2

VARY	ID	Deformace [mm]	Zkroucení [mm]	Propadliny [%]	Smyková rychlost [s <sup>-1</sup> ]	Délka cyklu [s]
8	7	0,752	0,833	3,35	1807854	32,85
8	5	0,753	0,785	2,68	1509766	37,65
11	7	0,804	0,794	3,32	1806608	32,85
11	5	0,811	0,749	2,8	1509387	37,65
8	6	0,844	0,791	3,28	1509863	32,85
8	4	0,853	0,748	3,18	1807853	37,65
10	6	0,871	0,826	3,89	1511020	32,85
10	4	0,884	0,791	3,46	1806093	37,65
<b>Originál</b>		1,109	1,343	12,4	1808847	40,92

V Tab. 9 a 10 jsou nastavení a výsledky osmi nejvýhodnějších analýz (kompletní seznam viz příloha). Primární řazení je na základě deformace. Jako nejvýhodnější bylo stanoveno nastavení dle VARY 8 ID 6. Splňuje podmínku nízkého dotlaku pro odstranění odlesků (ty analýzy nezjistí), podmínky rychlosti plnění i krátkou dobu cyklu. Smykovou rychlost se podařilo snížit o 300 000 s<sup>-1</sup>. Kompletní nastavení VARY 8 ID 6 včetně výsledků bude rozebráno dále.

V nastavení byly měněny pouze procesní parametry a teploty temperačních okruhů. Ostatní nastavení odpovídá původní analýze. Okruhy 1 – 3 nastaveny na 60 °C a okruhy 4 – 6 nastaveny na 75 °C.

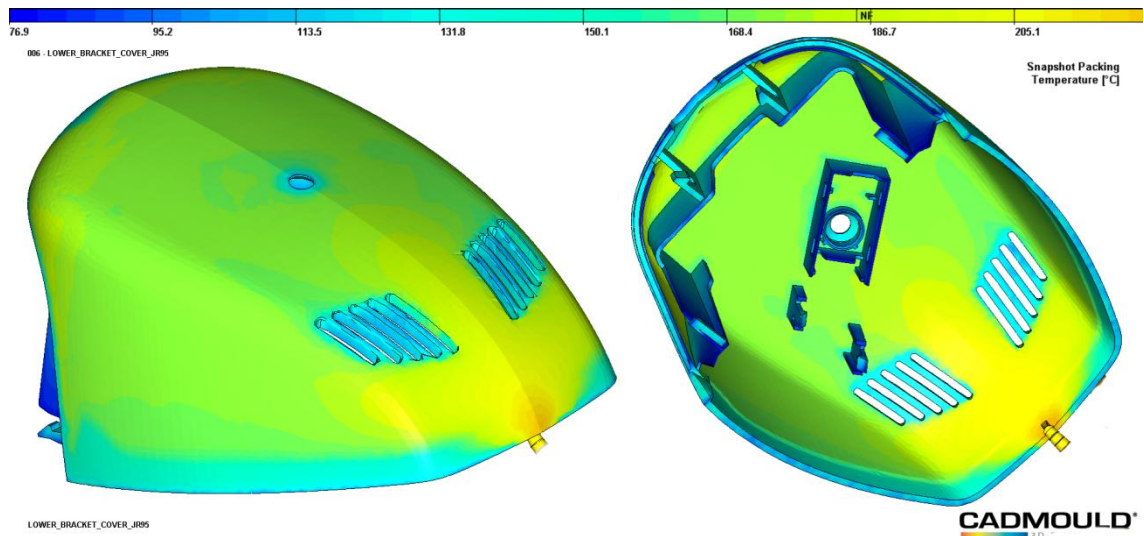
Flow-Rate/Pressure Input	0.850	Process	
Pressure-Controlled Filling [%]	99.0	Cooling Time inside Mold after Filling [s]	10.000
Melt Temperature [°C]	260.0	Heat transfer coefficient ambient [W/(m.K)]	8.0
Snapshot Element-Based WT [°C]		Ambient Temperature [°C]	25.0
Ejection Temperature [°C]	160.0	Filling Time [s]	0.850
<input checked="" type="checkbox"/> Packing	Packing Time [s] 6.000	Cooling Time [s]	10.000
<input checked="" type="checkbox"/> S + W	Cooling Time [s] 10.000	Ancillary Time [s]	16.000

Obr. 57 Optimální procesní nastavení

Postup plnění byl zvolen rostoucím profilem. Nejprve se plní rychlostí 150 cm<sup>3</sup>/s, v čase 0,55 následuje přepnutí na 155 cm<sup>3</sup>/s.

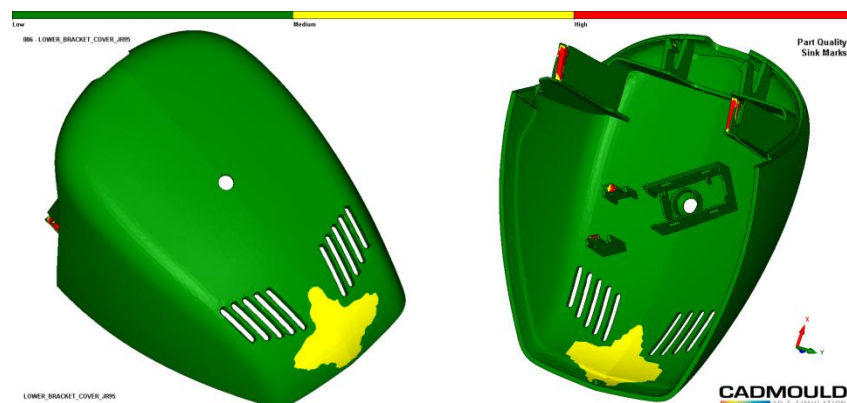
- Výsledky optimalizace

Z hlediska délky plnění nedošlo k příliš výrazným změnám. Snížením vstřikovací rychlosti je pouze umožněn pomalejší únik vzduchu. Teplotní rozložení čela taveniny i teplotní rozložení v objemu během plnění byly vypočteny obdobně originálu. Stále se tyto teploty pohybují na spodní doporučené hodnotě. Velikost špičkového tlaku poklesla na 972 bar a odpovídající uzavírací síla má hodnotu 1350 kN. Podstatných změn bylo dosaženo ve fázi dotlaku, kdy při 6 s je většina výrobku pod hodnotou NF.



Obr. 58 Upravená fáze dotlaku (stav 6 s)

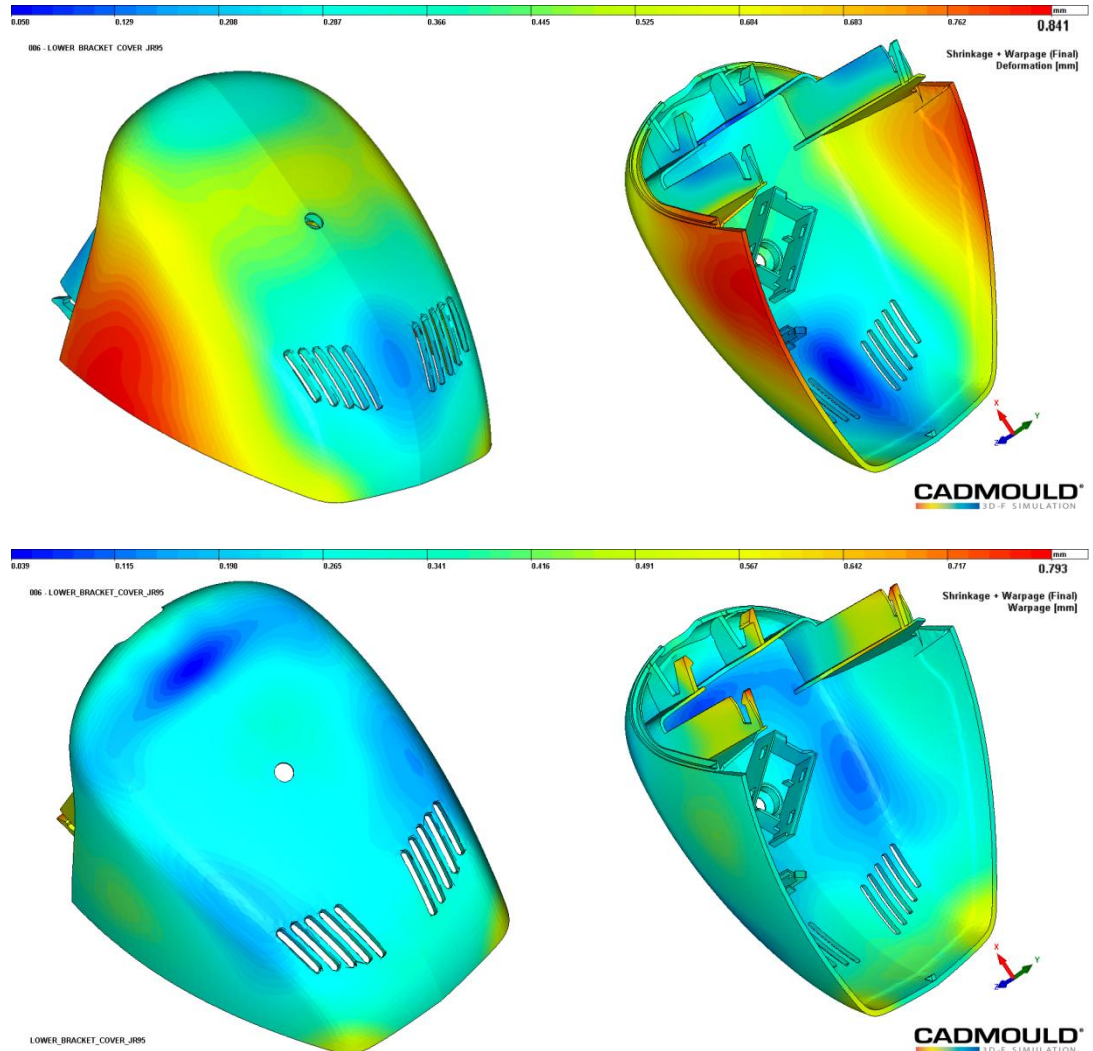
Navýšení délky dotlaku i při nižší hodnotě tlaku, znamenalo potlačení propadlin, viz Obr. 59. Propadliny byly zaznamenány pouze na 3,3 % objemu výrobku.



Obr. 59 Propadliny

Lokace propadlin odpovídá méně ztuhlým oblastem patrným na Obr. 58. Propadliny v oblasti háčků nebyly potlačeny a vyžadovaly by pravděpodobně zvýšení teploty taveniny, což by se odrazilo ve vzniku odlesků.

Analýzou smrštění a deformace bylo zjištěno zlepšení v obou sledovaných parametrech. Deformace byly sníženy o 0,27 mm a zkroucení o 0,53 mm. Tyto pozitivní změny jsou především důsledkem úpravy dotlaku a teploty formy. Průměrné objemové smrštění nezaznamenalo změn.



Obr. 60 Výsledky deformace a zkroucení s upraveným nastavením

Analýza teploty pouze potvrdila správné nastavení z hlediska Reynoldsova čísla ( $Re_{\min} = 20269$ ) i ostatních parametrů. Teplotní spád v okruzích pohyblivé strany formy nepřesahuje 1 °C a na straně pevné nepřesahuje 0,2 °C. Odvod tepla je intenzivnější na pohyblivé straně důsledkem difference nastavení. Doporučený čas chlazení výrobku byl analýzou stanoven na 13,3 s.

### 6.5.4 Praktická zkouška

Navržené technologické parametry byly prakticky odzkoušeny přímo na pracovišti v Kasko spol. s r.o. Celkem bylo nastaveno 6 variant parametrů. Po dvou hodinách od vystříknutí byly změřeny orientační parametry. Směrodatné měření rozměrů v oblasti horních i dolních háčků a volných rohů bylo provedeno po 24 hodinách (zahrnut vliv dosmrštění). Celkový záznam měření je uveden v příloze.



Obr. 61 Pracoviště výroby JR95 vlevo a vyhazování zkušebního vzorku vpravo

Varianty a souslednost přenastavování parametrů proběhly dle Tab. 9. Nastavení s označením 0 odpovídá původnímu, zavedenému, nastavení technologických parametrů. Během zkoušky byly z časových důvodů vytvořeny pro každou variantu 4 referenční vzorky.

Tab. 11 Nastavení technologických parametrů zkoušky

Nastavení	Čas plnění [s]	Rychlost plnění I [cm <sup>3</sup> /s]	Rychlost plnění II [cm <sup>3</sup> /s]	Dotlak [bar]	Délka dotlaku [s]	Doba chlazení [s]	Cykl us [s]	Teplota 1 [°C]	Teplota 2 [°C]
0	1,05	180	160	400	4	21	41	60	60
1	1,04	180	135	450	6	15	37	60	60
2	1,05	150	155	300	6	15	37	60	60
3	1,09	150	155	300	6	21	41	75	60
4	1,09	150	155	300	5	15	35	75	60
5	1,05	180	135	450	6	15	37	75	60
6	1,05	180	160	550	4	21	40	75	60

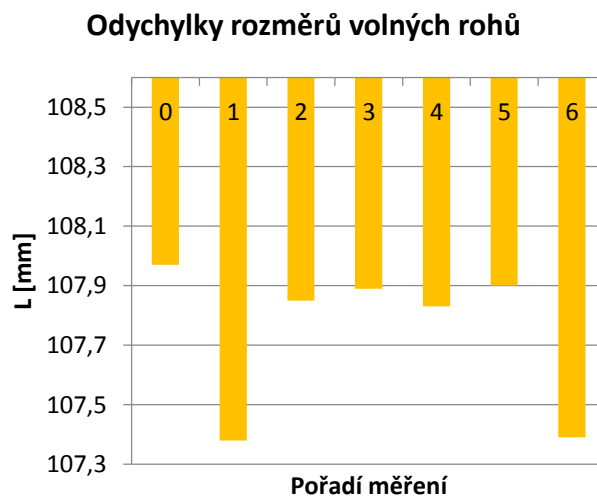
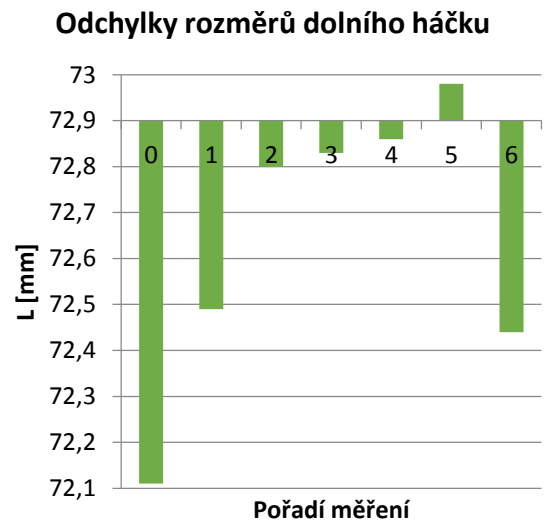
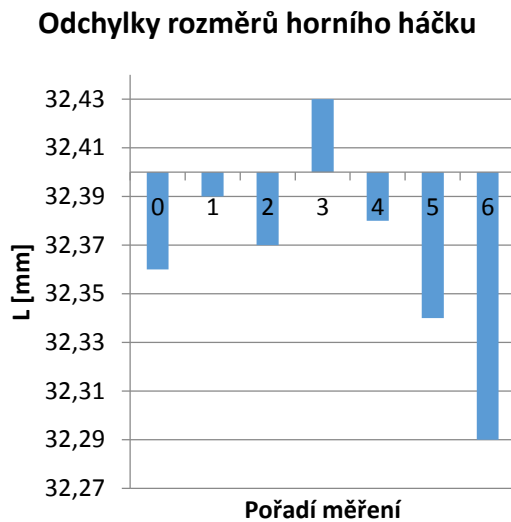
V následující tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty měřených rozměrů. Referenční jmenovité hodnoty byly odečteny z výkresu:

Horní háček	$L = 32,6 \pm 0,4 \text{ mm}$
Dolní háček	$L = 72,9 \pm 0,9 \text{ mm}$
Volné rohy	$L = 108,6 \pm 1 \text{ mm}$

Horní háčky mají na výkrese předepsanou toleranci, ostatní rozměry podléhají všeobecným tolerancím dle DIN 16901-130.

Tab. 12 Průměrné naměřené hodnoty

Č. nastavení		0	1	2	3
Průměrná délka [mm]	Horní háček	72,11 ± 0,05	72,49 ± 0,04	72,8 ± 0,07	72,83 ± 0,07
	Dolní háček	72,11 ± 0,05	72,49 ± 0,04	72,8 ± 0,07	72,83 ± 0,07
	Volné rohy	107,97 ± 0,05	107,38 ± 0,05	107,85 ± 0,07	107,89 ± 0,05
Č. nastavení		4	5	6	
Průměrná délka [mm]	Horní háček	72,86 ± 0,06	72,98 ± 0,05	72,44 ± 0,04	
	Dolní háček	72,86 ± 0,06	72,98 ± 0,05	72,44 ± 0,04	
	Volné rohy	107,83 ± 0,08	107,9 ± 0,05	107,39 ± 0,06	



Obr. 62 Grafické porovnání rozměrů jednotlivých nastavení

Nejhorších výsledků bylo dosaženo variantou nastavení 6. Vysoký dotlak spolu se zvýšenou teplotou způsobil vznik odlesků, ale také horší rozměrovou stabilitu. V ostatních případech optické vady ani spáleniny nevznikaly. Praktickou zkouškou bylo ověřeno zvolené optimální nastavení vycházející z virtuálních analýz.

### 6.5.5 Závěry optimalizace nastavení

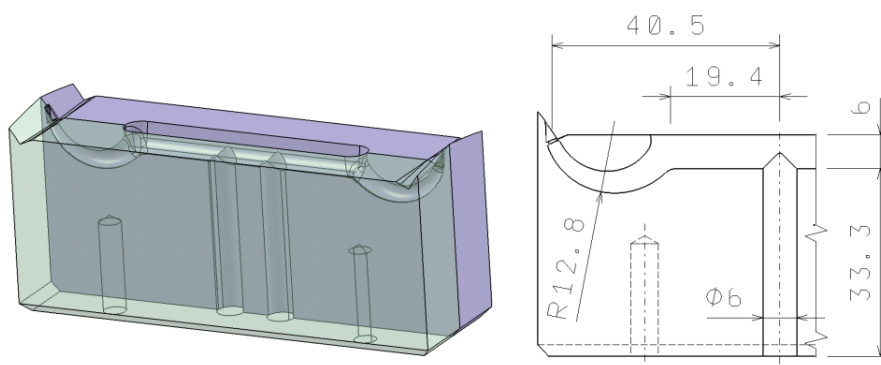
V rámci ověření praktickou zkouškou došlo při nastavení č. 4 dle Tab. 11 k přiblížení rozměrů obou háčků ke jmenovité hodnotě. Naopak u volných rohů byl zaznamenán mírný nárůst. Vůči analyzovaným parametrům byla upravena délka plnění, doba dotlaku a délka chlazení. Shrnutím všech poznatků bylo vytvořeno závěrečné doporučení nastavení technologických parametrů, viz Tab. 13.

Tab. 13 Doporučené nastavení technologických parametrů

Čas plnění [s]	Rychlost plnění I [cm <sup>3</sup> /s]	Rychlost plnění II [cm <sup>3</sup> /s]	Dotlak [bar]	Délka dotlaku [s]	Doba chlazení [s]	Cyk lus [s]	Temperace 1 [°C]	Temperace 2 [°C]
1,05	150	155	300	5	15	35	70	60

## 6.6 Úprava vtokové vložky

Vtoková vložka je situována do dělicí roviny a centrální části pohyblivé strany formy. Plynule navazuje na horkou trysku a rozvádí taveninu až do vtokového ústí výrobku. Půlkruhový kanál o poloměru 3 mm přechází do zužujícího se banánového vtoku. Vložka je doplněna o dvě kruhové díry průměru 6 mm pro vyhazovače vtoku. Sestavu vložky tvoří dvě zrcadlové poloviny.



Obr. 63 Původní vtoková vložka

### 6.6.1 Popis závady

Během vyhazování dochází ke značným deformacím celého vtokového systému. Banán se musí deformovat o celou hodnotu průměru, aby opustil vložku. Během tohoto děje se také deformuje rameno půlkruhového průřezu. Součet obou deformací by neměl přesáhnout délku přídržovacích částí. V tomto případě jsou hodnoty deformace a délka přídržovače na limitní hodnotě a dochází tak k vystřelení vtokového systému z formy. Nekontrolovaná dráha vtoku se odrazí od pevné strany formy a padá do spodního zásobníku stroje. Problematikou je zapadávání vtoků za tvarové vyhazovače, následkem čehož došlo k jejich zalomení. Kinetická energie vtoku je i při pádu do spodního zásobníku tak vysoká, že vtoky vyletují ven do prostoru kolem stroje.

Hlavním požadavkem je zamezení poruch vyhazovacího systému úpravou vtokové vložky. Řádná funkce přídržovačů poslouží k další technologické operaci robotického odebírání výstřiku a vtoku. Robot současně odebere pomocí savek výrobky a pomocí kleštiny vtokový systém. Dále bude vtok umístěn do kontejneru, čímž se zamezí kontaminaci okolí stroje.

### 6.6.2 Řešení

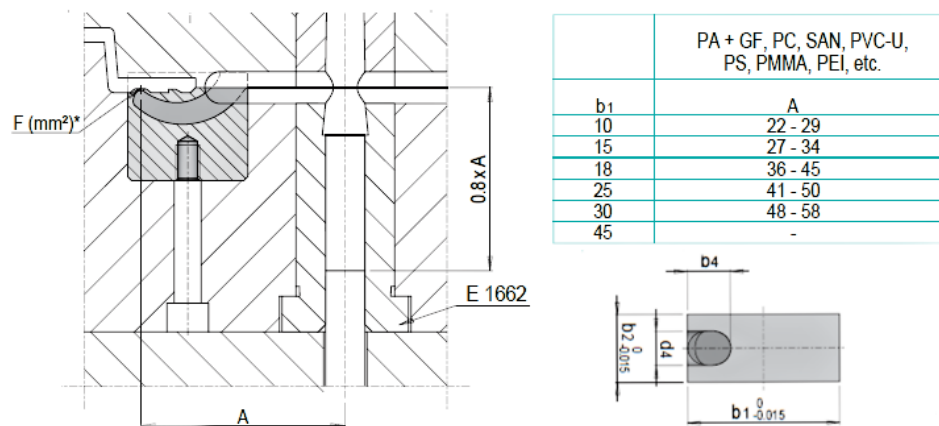
Jak bylo popsáno výše, primárním problémem je nedostatečná délka přídržovače. Na původní vtokové vložce je délka přídržovací části přibližně 25 mm. Její prodloužení by spočívalo pouze ve zkrácení přídržovače, jenže lícovaná je pouze část vtokové vložky, tedy 33,3 mm. Při započítání rezervy 8 mm, bude délka přídržovací části 25 mm. Díry v kotevní desce disponují širším tolerančním polem a nelze přídržovací část prodloužit (zatečení polymeru). Současná vtoková vložka splňuje funkční požadavky, ale nikoliv požadavky technologické.

Návrh řešení spočívá v kompletní úpravě vtokové vložky, při zachování vnějších rozměrů a všech průměrů rozvodného kanálu. Jako podklad návrhům slouží pevnostní analýzy vtokového systému. Originální vtoková vložka i ostatní návrhy byly podrobeny pevnostním analýzám v software Marc 2014.1.0. Výsledky jsou pouze orientační a silně zkreslené, a to z důvodů vysoké teploty vtoku při vyhazování (160 °C) a celkové teplotní nelinearity po délce vtoku i průřezu. Analýza předpokládá lineární chování na základě definovaného modulu pružnosti. Z těchto důvodů byl zvolen originál jako referenční vzorek, k němuž byly ostatní návrhy porovnávány. Dalším podkladem návrhu byly doporučené rozměry výrobců normálií Hasco a Meusburger, které vychází z praktických zkoušek.



- Řešení dle doporučení Meusburger

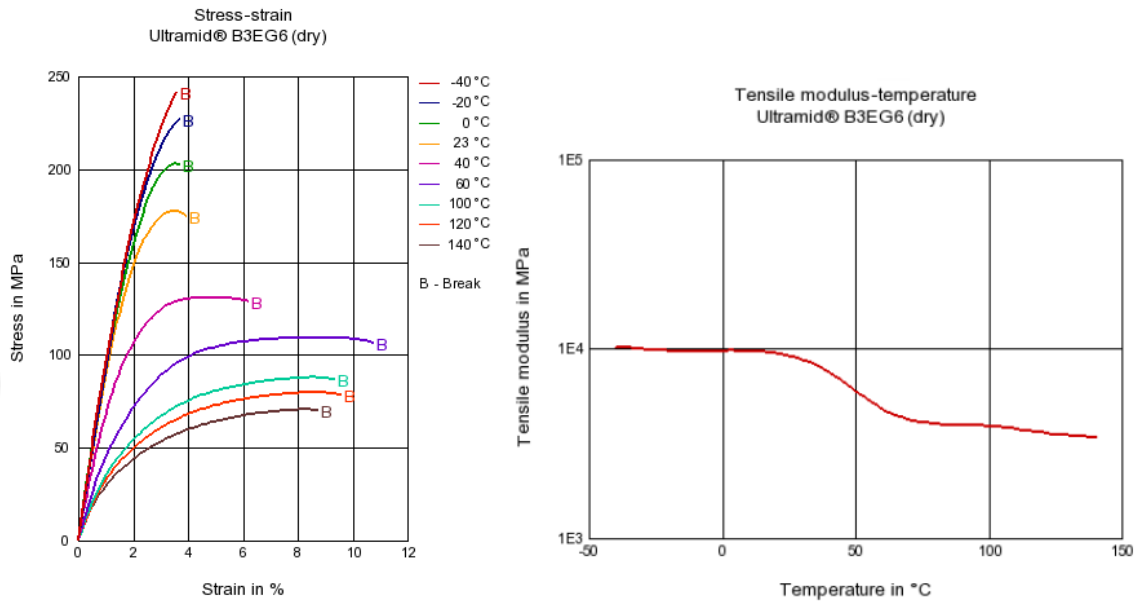
Vychází se z předpokladu úpravy rezervy na 5 mm a navýšení přidržovací části na 28 mm. Délka přidržovací části tvoří 80 % délky ramena od přidržovače po vtokové ústí, viz Obr. 4. Jestliže byla stanovena délka přidržovací části na 28 mm, délka ramena může být maximálně 33,6 mm (A). Tato hodnota spadá do intervalu 27 – 34 mm, pro další výpočet byla zvolena zaokrouhlená střední hodnota 31 mm. Reverzním postupem byla vypočítána délka přidržovací části cca 25 mm. Hodnota délky banánu ( b1) se různí dle typu banánu. Tato hodnota byla zvolena 14,5 mm.



Obr. 64 Doporučení konstrukce banánových vtoků dle Meusburger

- Podpora analýzami Marc

Do prostředí software Marc byla importována rovinná skica vtokového systému přesně odpovídající originální vložce. Dále byla zvolena hustota síť 180 x 180 čtyřstěnných elementů. Jelikož se jedná o kontaktní úlohu, bylo nutno nadefinovat kontaktní body v oblasti banánového ústí a na spodní hraně přidržovače, která navíc zahrnuje vertikální pohyb. Při výpočtu odpovídá jednomu kroku horizontální posun o 0,25 mm a pohyb byl nastaven na konstantní rychlost. Vzhledem k průběhu vyhazování byl omezen pouze jeden stupeň volnosti, a to v horizontálním směru přidržovací části. Jedná se o rovinnou úlohu, tudíž se deformace ve třetí ose zanedbávají. Důležitou částí, silně ovlivňující výsledek, jsou materiálové charakteristiky. Veškerá použitá data jsou volena na základě materiálových dat dodaných výrobcem Ultramid.



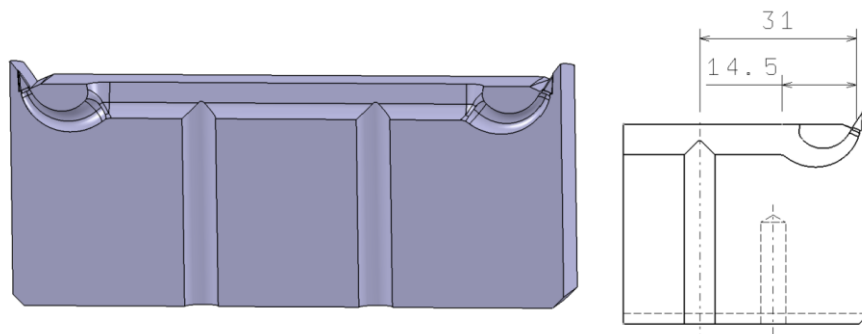
Obr. 65 Materiálové vlastnosti Ultramid B3EG6 (vysušený) [14]

Průběh teplotní závislosti modulu na Obr. 65 je stanoven pro lineární oblast a vzhledem k dimenzování na mezní stav poruchy je nepoužitelný. Podle doporučení byly vypočítány sečné moduly pro limitní hodnotu poruchy u tahových zkoušek. Nejvyšší měřená hodnota činí 140 °C, což je o 20 °C nižší hodnota nežli vyhazovací teplota. Sečný modul pružnosti pro 140 °C činí 830 MPa. Hodnota byla zaokrouhlena na 900 MPa spolu s Poissonovým číslem 0,35 a použita u všech návrhů. Finální nastavení zahrnuje potvrzení výpočtu s velkými deformacemi a určení zatížení.

Původní banánové ústí opouští vtokovou vložku až při 138. kroku, k čemuž je zapotřebí vertikálního posunu o 34,5 mm. Z tohoto důvodu není přidržovač schopen plnit svou funkci a jakékoli úpravy délky přidržovače v rámci vložky jsou zbytečné. Nejvyšší napjatosti Von Mises 635 MPa bylo dosaženo v kroku 124. Poměrná deformace dosáhla maxima přibližně na 17 %. Jak bylo popsáno výše, tyto hodnoty jsou silně zatíženy chybou.

### 6.6.3 Návrh 1

První návrh vychází z originální vložky a odpovídá doporučení Meusburgeru. Bylo zachováno původní vtokové ústí s úpravou délky banánu na 14,5 mm a polohy přidržovací části. Rameno ohybu je nyní 31 mm. Poloměr střednice banánového ústí byl upraven na 7,5 mm. U všech návrhů byly dále zachovány polohy děr pro kotvící šrouby.

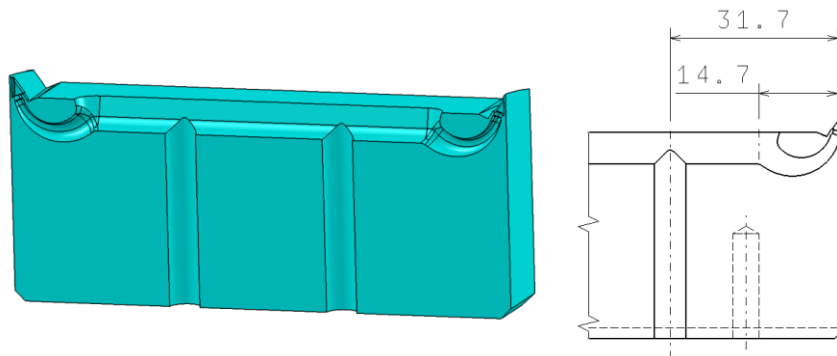


Obr. 66 První návrh úpravy

Podle analýzy vtok opustí vložku ve 105. kroku odpovídající posunu 26,25 mm. Definovaná hodnota posunu není stanovena exaktně a odpovídá toleranci, která byla vytvořena zaokrouhlením. Účinnost přidržovače by měla být splněna. Maximální napětí 633 MPa bylo stanoveno v kroku 98 a nejvyšší hodnota poměrné deformace činí cca 18,5 %.

#### 6.6.4 Návrh 2

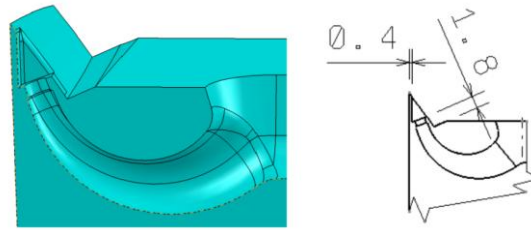
První návrh sice řeší primární problematiku přidržení vtokové soustavy, ale nezohledňuje odstranění víceprací operátora. Održení vtoku v definovaném místě způsobí vznik otřepů, které naruší základní lem výrobku. Operátor tyto otřepy musí ručně odstraňovat. Tento důvod vedl k posunutí vtokového ústí směrem od dělicí roviny a lemu o 1,8 mm. Bylo využito polohy přidržovačů z návrhu č. 1, ale díky posunu ústí se prodloužilo rameno na 31,7



Obr. 67 Druhý návrh vtokové vložky

mm. Délka banánu se taktéž navýšila o 0,2 mm při zachování poloměru střednice 7,5 mm. Posunutím vtokového ústí se docílí zakrytí vzniklých otřepů a eliminují se tak dodatkové operace.

Nevýhodou druhého návrhu je vznik stěny o šířce pouze 0,4 mm. V sestavě formy se tato stěna opírá o tvarovou vložku, ale například při manipulaci během výroby nebo údržby by mohlo dojít k odlomení.

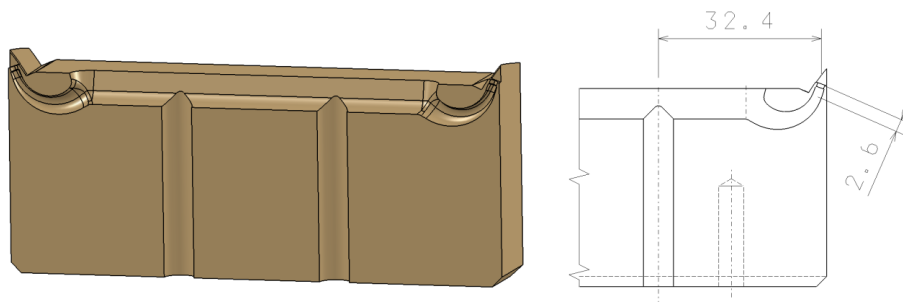


Obr. 68 Detail banánového ústí

Analýzou deformací bylo zjištěno posunutí 27,25 mm odpovídající kroku 109. Hodnota posunu se blíží krajní hodnotě, ale stále je v tolerančním intervalu. Posunutí vyhazovacího systému by znamenalo navýšení napětí a v krajním případě by mohlo dojít k zalomení banánu. V kroku 102 bylo vypočítáno nejvyšší napětí 728 MPa. Hodnota poměrné deformace dosáhla téměř 28 %.

### 6.6.5 Návrh 3

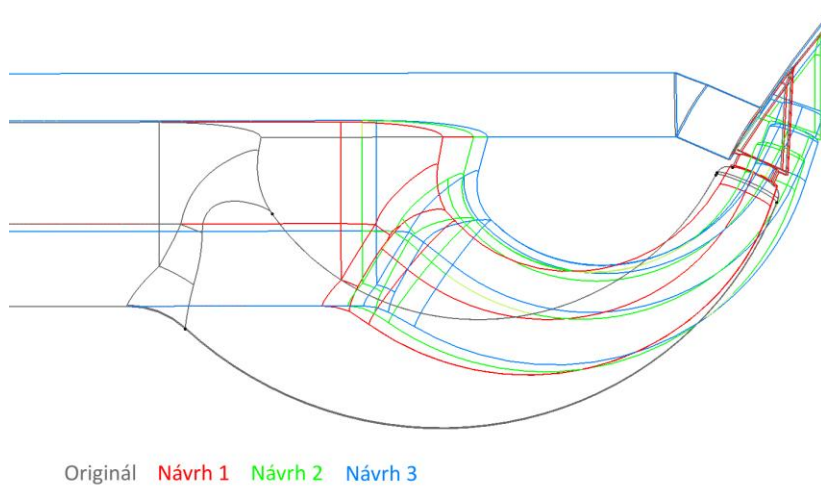
Odstraněním kritické stěny a dalším posunem vznikla třetí varianta návrhu vtokové vložky. Zde posun činí 2,6 mm a zaručuje dokonalé skrytí otřepů. Na druhou stranu má tento návrh několik nevýhod. Výrazným posunutím se prodloužila délka ramene i banánu. Rameno má 32,4 mm a pravděpodobně by vyžadovalo i posunutí přídržovačů. Přestože byla odstraněna opěrná stěna, posunutím vzniklo další zúžení v oblasti vtoku. Minimální tloušťka stěny v těchto místech je pouze 0,5 mm.



Třetí varianta návrhu opět splňuje základní požadavek na přidržení vtoku, protože vysunutí činí 27,75 mm v kroku 111. Maximální hodnota napětí u třetí varianty návrhu dosáhla 738 MPa. Poměrná deformace nepřekročila 28 %.

### 6.6.6 Závěrečné shrnutí a doporučení

Byly vytvořeny tři návrhy vtokových vložek, z nichž dvě splňují i dodatkové kritérium skrytí otřepů. Hlavní parametry z doporučení Meusburgeru byly u všech variant ověřeny pevnostní analýzou. Originálnímu referenčnímu vzorku se vypočtenými hodnotami přiblížil pouze první návrh. Ostatní návrhy disponují výrazným navýšením napětí i poměrné deformace, a to z důvodů prodloužení banánového vtokového ústí. Jako nejvýhodnější byla doporučena varianta 2, protože splňuje všechny požadavky. Zvýšené parametry vůči referenci nemusí být příliš směrodatné, protože vtok disponuje vysokou plasticitou při vyhazovací teplotě 160 °C. Obr. 69 slouží ke srovnání všech variant včetně originální vložky. Z obrázku je patrné výrazné zmenšení banánového ústí.



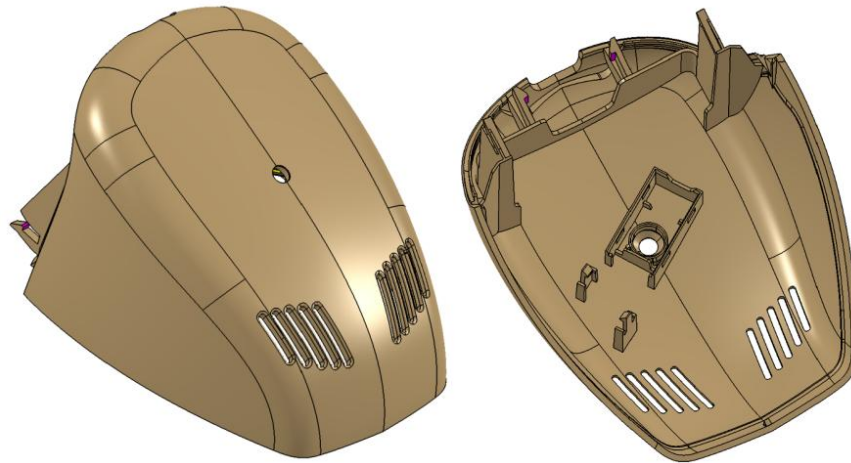
Obr. 69 Srovnání návrhů

## 7 KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY

Další částí práce je vytvoření konstrukčního návrhu vstřikovací formy. Data získaná předchozí optimalizací současné vstřikovací formy jsou hlavními vstupními parametry pro nový návrh.

### 7.1 Model JR95

Vytvoření modelu proběhlo na úplném začátku vypracovávání praktické části. Ze společnosti Kasko byly dodány vnější plochy tvaru výrobku a výkresová dokumentace. Ostatní funkční části byly domodelovány na základě výkresu a fyzického modelu výrobku. Výsledný model byl použit pro všechny části práce.



Obr. 70 Model JR 95

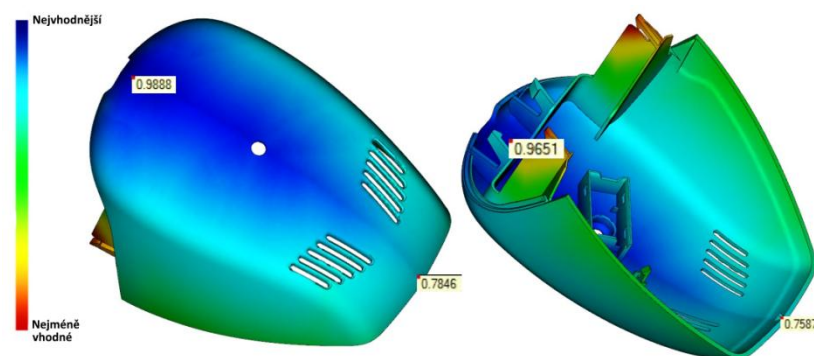
### 7.2 Způsob zaformování

Způsob zaformování se odráží ve složitosti konstrukčního řešení, a proto je vhodné volit polohu kavit s ohledem na plnění, ale i odformování výrobku. Čím jednodušší řešení, tím nižší výrobní náklady i poruchovost formy. Vhodným pomocníkem pro určení zaformování je analýza nejvhodnější polohy vtoku.

#### 7.2.1 Analýza polohy vtoku a vtoková soustava

Analýza polohy vtoku proběhla v software Autodesk Moldflow Synergy 2016. Modrou barvou je na Obr. 71 zobrazena nejvýhodnější poloha vtoku z hlediska plnění výrobku. Z tohoto důvodu bylo zvoleno plnění právě ze strany háčků. Současná poloha vtoku je vhodná ze 70 %.

Dále byla navržena vtoková soustava tvořena horkou tryškou s průměrem 3,2 mm a studenými půlkruhovými rozvodnými kanály o průměru vepsané kružnice 6 mm. Bylo zachováno banánové vtokové ústí kvůli nutnosti plnění ze strany vyhazovací. Změnou polohy však odpadá problematika otřepů, která byla řešena v technologické části. Znamka po vtoku bude patrná, ale nijak nezasáhne do lícovaných hran výrobku. Průměr vtokového ústí byl navýšen na 1,6 mm, což razantně sníží rychlost smykové deformace. Důležitou součástí je přidržovač vtoku, který délkou odpovídá doporučeným násobkům deformovaného ramena. Celý vtokový systém je situován do dělicí roviny na pohyblivou stranu formy.

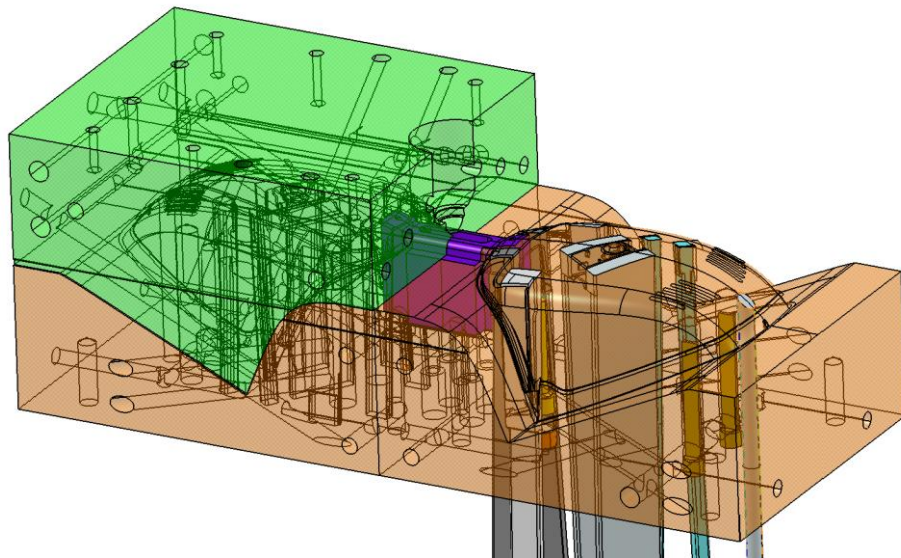


Obr. 71 Analýza polohy vtoku

### 7.2.2 Návrh tvárníku a tvárnice

Od způsobu zaformování výrobku se odvíjí další konstrukční řešení. Pro případ JR95 byla zvolena dělicí rovina na lemu oddělující pohledovou část od části vnitřní. Tvárnice tedy tvoří otisk pohledové strany a tvárník otisk vnitřních částí. Odformování háčků a děr bylo navrženo pomocí šikmých tvarových vyhazovačů doplněných válcovými vyhazovači. Jedná se o jednoduché řešení bez zbytečných pohyblivých mechanismů.

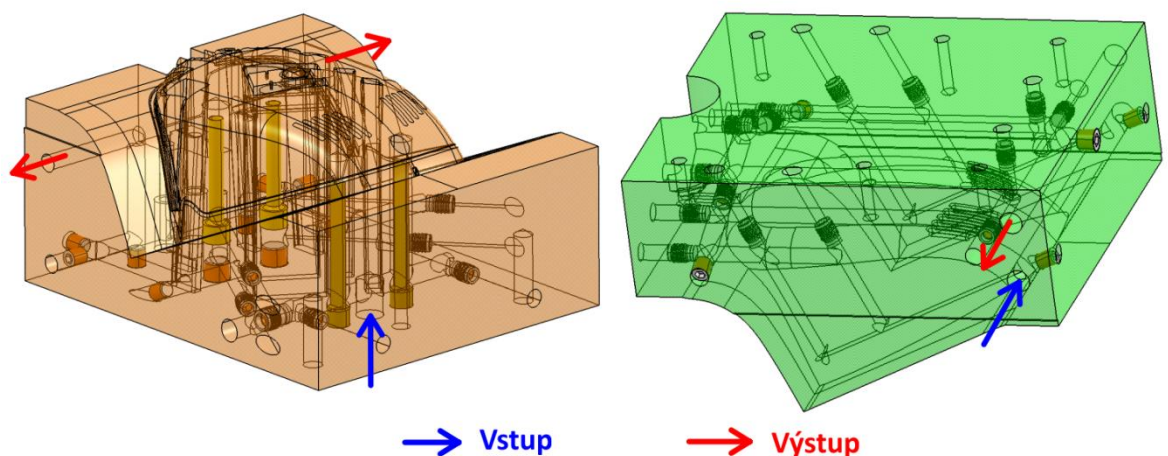
Násobnost formy byla také zachována, protože se předpokládá využití stejného stroje Battenfeld 210/1000 HM. Bylo zvoleno zrcadlové rozložení tvarových vložek. Toto řešení je výhodné i z hlediska výroby dvou totožných vložek. Materiál vložek byl zvolen 1.2343. Součástí sestavy tvarových vložek je i vložka vtoková, respektive obě její poloviny. Vtoková vložka je do tvárníků přišroubována čtyřmi šrouby M6.



Obr. 72 Návrh tvárníku (červeně) a tvárnice (zeleně)

- Temperace

Temperační okruhy v tvárníku a tvárnici představují hlavní temperaci. Bylo navrženo zintenzivnění odvodu tepla na obou částech. Temperační médium do tvárnice vstupuje z boční strany a následně se dělí a obtéká nejprve boční strany, postupuje přes celý povrch a ve střední části se opět proudy spojují a opouštějí tvárnici. Na straně tvárníku je médium přiváděno ze spodní části a ihned po vstupu se proud dělí a postupuje do obtokových vložek. Dále voda proudí do oblasti tvarových vyhazovačů, kde vstupuje ze spodní strany do chladicí trysky a opouští ji ve vyšší úrovni kanálu. Poslední temperovaná část se nachází vně tvarových vyhazovačů a blízkosti vtokové vložky. Voda opouští tvárník ve dvou rozdělených proudech. Na tvorbu temperace je zapotřebí značné množství ucpávek a uzavíracích šroubů.

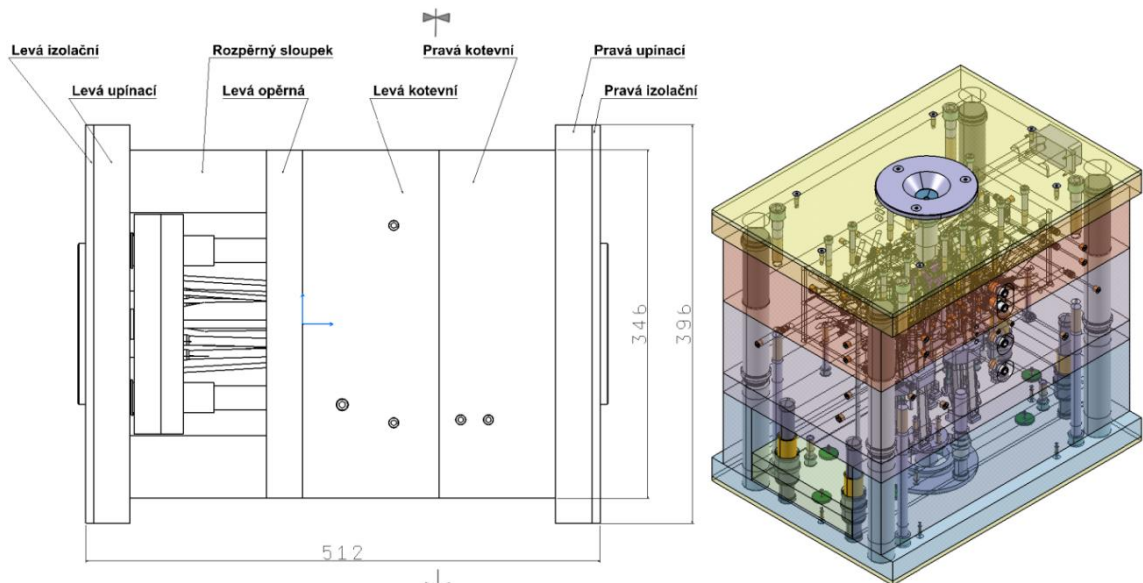


Obr. 73 Temperace tvarových vložek



### 7.3 Sestava vstřikovací formy

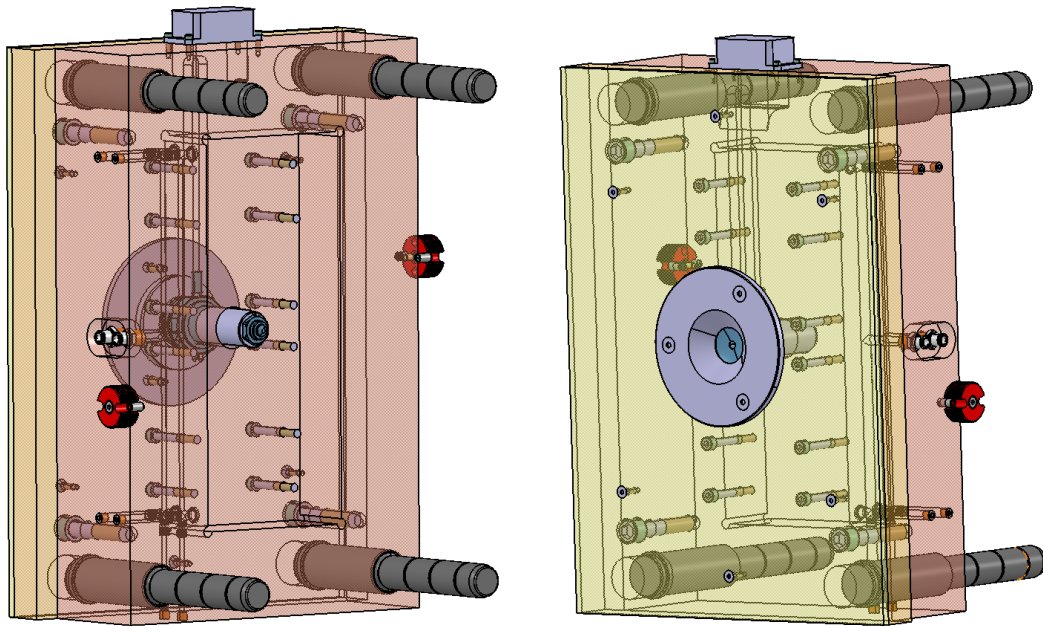
Sestava formy je tvořena standardním dvoudeskovým systémem. Jsou využity následující desky: pravá upínací, pravá kotevní tvarová, levá kotevní tvarová, levá opěrná, rozpěrné sloupky, levá upínací, kotevní a opěrná deska vyhazovačů a samozřejmě izolační desky na obou stranách. Materiál kotevních tvarových desek byl zvolen 1.2312 a ostatních desek 1.1730. Základní rozměr formy byl stanoven na 346 mm x 546 mm. Celková hloubka formy činí 512 mm.



Obr. 74 Popis desek – sestava formy

#### 7.3.1 Pevná strana formy

Hlavní části pevné strany tvoří kotevní tvarová deska o tloušťce 116 mm a deska upínací o tloušťce 36 mm, které jsou k sobě sešroubovány šrouby M12. Na základě parametrů stroje byl navržen středící kroužek o průměru 160 mm. Nezbytnou součástí ke zvýšení tepelné stability formy je izolační deska o tloušťce 8 mm. Všechny zmíněné součásti jsou normálie Meusburger. Ukotvení tvarových vložek je řešeno pomocí šesti šroubů M10 na každé vložce. V pevné straně formy jsou taktéž uloženy vodící sloupky s průměrem 32 mm, které zároveň středí obě desky. Doplnkovou součástí pevné strany jsou transportní zámky na obou stranách formy.



Obr. 75 Pevná strana formy

- Vtokový systém

Aby nevznikal příliš velký vtokový zbytek, byl navržen kombinovaný vtokový systém tvořený horkou tryskou a studenými rozvodnými kanály. Horká tryska Hasco Z3440 má průměr kanálu 8 mm a výstupní průměr trysky je 3,2 mm. Tryska ústí do půlkruhového kanálu vyfrézovaného na pohyblivé straně. Přívod elektřiny pro vytápění trysky je přes standardní zásuvku na horní straně formy.

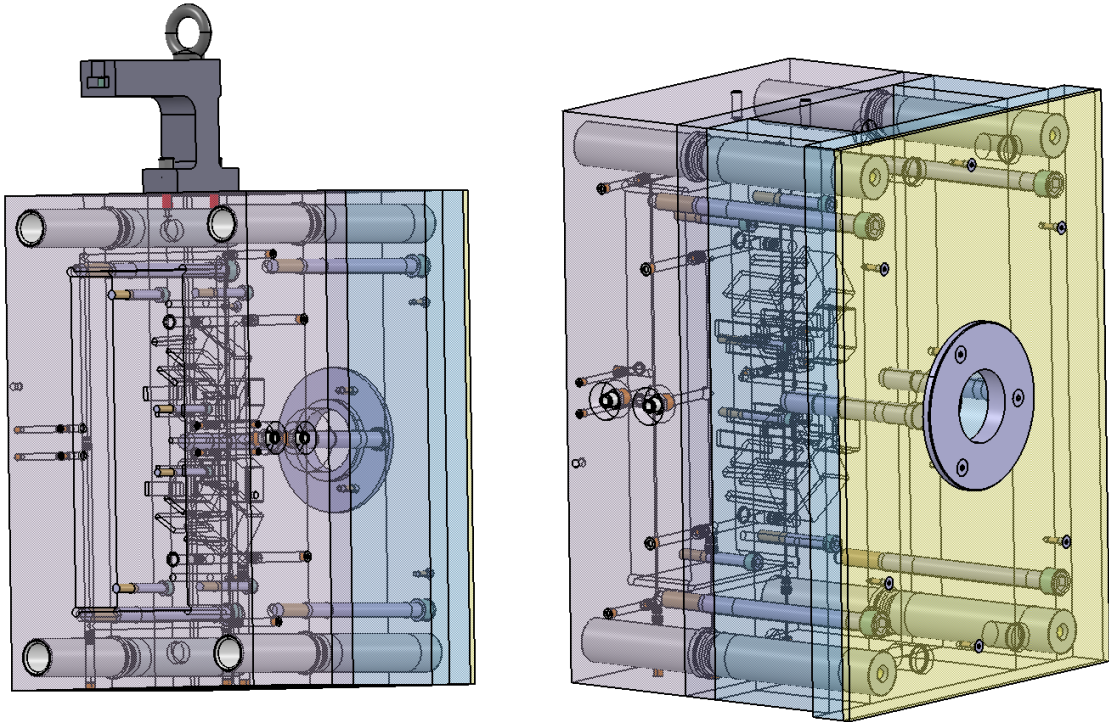
- Temperace

Převážná část temperace je vytvořena přímo ve tvarové vložce a pouze přívodní a odvodní kanály jsou vyvrtány do kotevní desky. Vyústění temperačního okruhu bylo navrženo na boční straně formy za účelem pohodlného přepojení hadic. Pro přívodní a odvodní kanály byly navrženy průměry 10 mm a temperaci vložky tvoří kanály s průměrem 8 mm.

### 7.3.2 Pohyblivá strana formy

Řešení pohyblivé části formy vyplývá z klasické dvoudeskové konstrukce. Kotevní tvarová deska ( $t = 136$  mm), opěrná deska ( $t = 36$  mm), rozpěrné sloupky ( $t = 136$  mm) a upínací deska ( $t = 36$  mm) jsou sešroubovány čtyřmi šrouby M16. Středění všech desek zabezpečují čtyři vodící pouzdra a čtyři středící trubky. Opět je využito středícího kroužku s průměrem 160 mm, doléhajícího na izolační desku totožnou s deskou na straně pohybli-

vé. Fixace obou tvárníků je řešena celkem šesti šrouby M10. V případě zvýšení přesnosti navádění, by bylo možno zvětšit dutinu pro tvarové vložky a umístit zde boční středící prvky. Další pomocné středění by mohlo být vloženo přímo do dělicí roviny. V kotvící desce jsou vytvořeny nezbytné otvory vyhazovačů s většími vůlemi, aby bylo umožněno

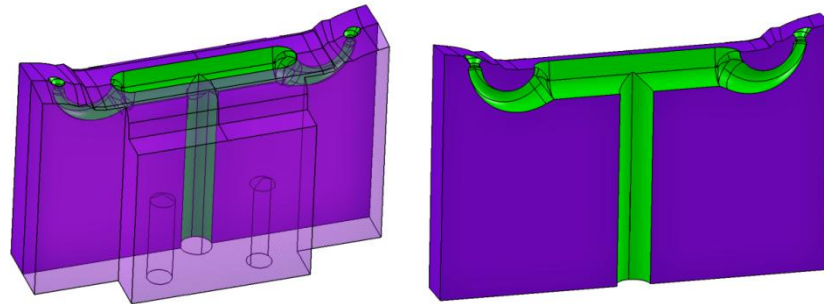


Obr. 76 Pohyblivá strana formy

dobré odvětrání. Poloha vyhazovačů je určena vodítky umístěnými do opěrné desky. Tyto kluzné části zaručují přesný pohyb vyhazovačů. Dále bylo navrženo ukotvení všech šesti vodících čepů do upínací desky. Doplňkové transportní zařízení je umístěno na horní plochu a umožňuje nastavitelnou polohu transportního oka.

- Vtokový systém

Objem vtokového systému byl oproti původní formě redukován téměř o 50 % a to díky, změně polohy vtoku a celkovému přiblížení obou kavit. Studená část vtokového systému umístěná na pohyblivé straně je tvořena půlkruhovým kanálem s průměrem vepsané kružnice 6 mm, který plynule přechází do banánového ústí s konečným průměrem 1,6 mm. Konstrukce vtokové vložky vychází z navržených úprav a byl zde navržen pouze jeden přidržovač vtoku, kvůli úspoře materiálu.



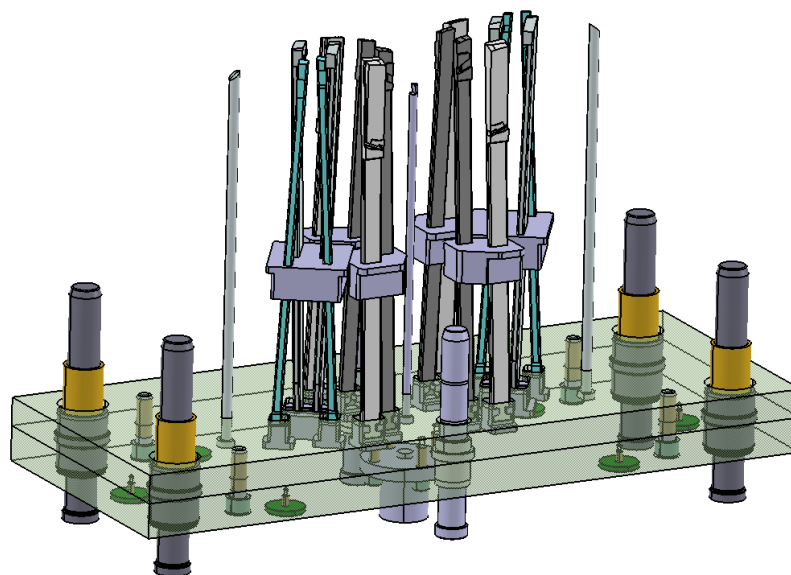
Obr. 77 Vtoková vložka

- Temperace

Temperace pohyblivé strany je řešena obdobně jako u strany pevné, protože převážná část kanálů je situována do tvárníku. V kotevní desce je vyvrtán přívodní kanál o průměru 12 mm, který přivádí vodu do tvárníku ze spodní strany. Odvodní kanál o průměru 10 mm obíhá kolem tvarových částí, protože vyústění temperace je na obou stranách tvárníku. Analogicky je poloha přípojek situována na boční stěnu.

### 7.3.3 Vyhazovací systém

Nejsofistikovanější částí formy je vyhazovací systém. Jedná se o kombinaci klasických válcových vyhazovačů a vyhazovačů šikmých. Nejdůležitější fází návrhu bylo stanovení vyhazovacích úhlů –  $\alpha$ . Pro všechny byl zaveden předpoklad nutnosti odformování na dráze 50 mm. Na výrobku se nachází celkem tři oblasti s podkosy (háčky) a jedna oblast s dírou.



Obr. 78 Vyhazovací systém formy

- Oblast 1 – dolní háčky

Odformování dolních háčků bylo navrženo pomocí dlouhého šikmého vyhazovače, který zasahuje do celé kotvící části háčku. Na tomto vyhazovači byly vytvořeny úpravy odvodu vzduchu. Druhý háček je odformován obdobně, protože se jedná o symetrický výrobek, tudíž i vyhazovač je pouze zrcadlová kopie.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2,8}{50} = 0,056 \rightarrow 3,21^\circ$$

Podkos k odformování	2,8 mm	Odformovací úhel	3,3 °
----------------------	--------	------------------	-------

- Oblast 2 – horní háčky

Vyhazovače horních háčků zabírají podstatně menší styčnou část nežli předchozí. Naopak je zde vyžadováno nejvyššího odformovacího úhlu. I zde je využito symetrie a zrcadlové kopie.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{3,4}{50} = 0,068 \rightarrow 3,89^\circ$$

Podkos k odformování	3,4 mm	Odformovací úhel	4 °
----------------------	--------	------------------	-----

- Oblast 3 – vnitřní háčky

Tvorba vyhazovačů vnitřních háčků proběhla analogicky k předchozím. Pouze se ne jedná o symetrický tvar z důvodů tvarové plochy.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2,6}{50} = 0,052 \rightarrow 2,98^\circ$$

Podkos k odformování	2,6 mm	Odformovací úhel	3 °
----------------------	--------	------------------	-----

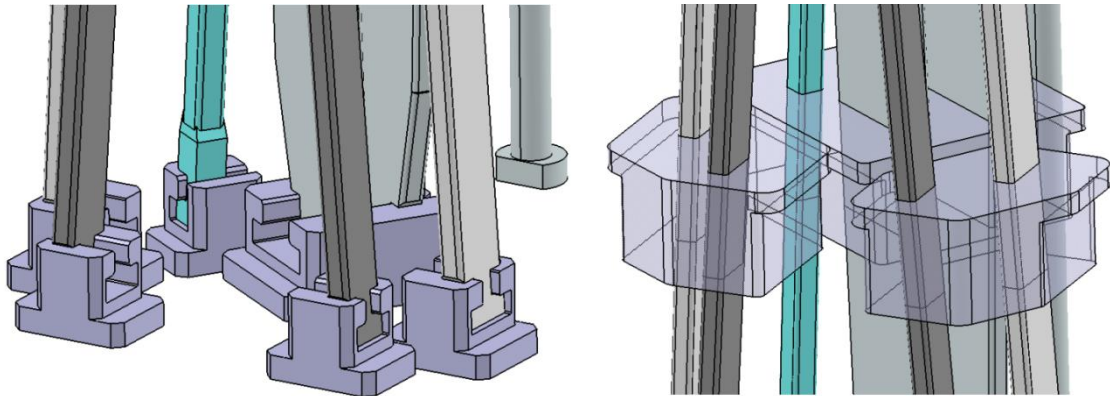
- Oblast 4 – díry

Na vnitřní části bylo nutno vytvořit odformování čtyř děr. Jelikož se jedná pouze o díry v tenké stěně 1,1 mm, bylo možno využít šikmých vyhazovačů. Navržené vyhazovače tvoří otisk obou bočních stěn vnitřního obdélníkového úchyty.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1,1}{50} = 0,022 \rightarrow 1,26^\circ$$

Podkos k odformování	1,1 mm	Odformovací úhel	1,5 °
----------------------	--------	------------------	-------

Základní částí vyhazovacího systému jsou kotvící a opěrná vyhazovací deska, středěné pomocí šesti středících bodů. Vyšší počet byl zvolen kvůli velkým rozměrům desek a obavám z jejich prohnutí a potřebě přesného vedení vyhazovačů. Všechny vyhazovače jsou fixovány v desce kotvící. Šikmé vyhazovače vyžadují zvláštní pohyblivé ukotvení, to je analogické normáliím Meusburger. Vyhazovači je umožněn pohyb v jedné ose.



Obr. 79 Detail vedení šikmých vyhazovačů

Tyto elementy dále vyžadují doplnění o přesné navádění, které je umístěno v opěrné desce pohyblivé strany (popsáno výše). Maximální zdvih vyhazovačů je navržen dle výšky výrobku na 78 mm. Připojení celého systému ke stroji je řešeno pomocí tahače určeného pro BAT 210.

#### 7.3.4 Vodící systém a středění

Návrh formy zahrnuje použití normálií všude tam, kde to podmínky umožnily. Využití normálií značně sníží náklady na výrobní operace. Z toho důvodu byl i celý vodící systém navržen z normálií.

Základem vedení je vodící sloupek E1000 s průměrem 32 mm. Délka uložení odpovídá tloušťce desky. V pohyblivé straně formy jsou uloženy vodící pouzdra E1105 s vnitřním průměrem 32 mm. Poslední částí je středící trubka E1160. Všechny tyto elementy odpovídají normáliím Meusburger.

K vymezení pohybu vyhazovacích desek bylo využito více vodících členů (důvod popsán výše). Čtyři krajní elementy jsou dodávány jako vodící sestava pod označením E 1325. Jedná se o čep průměru 24 mm doplněný o kuličkovou klec usnadňující pohyb ve vodícím

pouzdrě. Střední vedení vyhazovacího systému je spíše doplňkové, jehož součástí je vodící pouzdro Hasco Z10 a vodící čep Hasco Z011.

### 7.3.5 Shrnutí

Sestava formy byla navržena s úsporou materiálu, protože se rám zmenšil na výšce i šířce o 50 mm. Obdobné zmenšení rozměru bylo aplikováno na hloubce formy. Konstrukční návrh byl zaměřen na úpravu temperace, která byla soustředěna především do blízkého okolí dutiny. Její účinnost bude rozebrána v kapitole analýz. Z hlediska finančních nákladů na výrobu nové formy přibližně 2 mil. Kč by byla výroba nerentabilní. Proto je velmi důležité posoudit všechna možná kritická místa již na počátku konstrukce například pomocí FEM analýz.

## 7.4 Analýzy navržené konstrukce

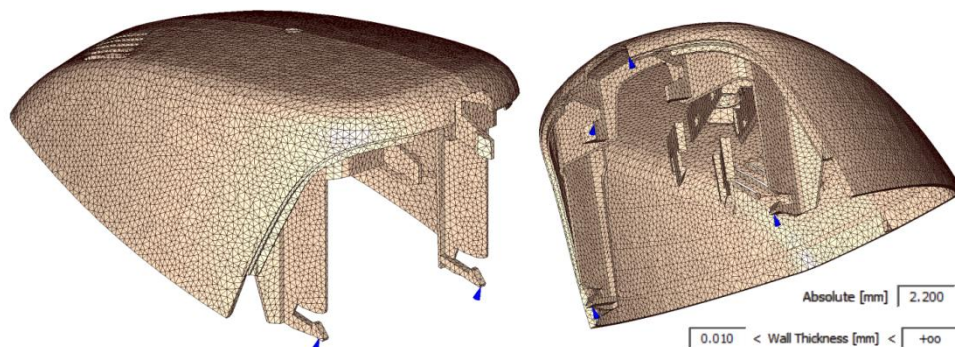
Konstrukční návrh vstřikovací formy byl analyzován obdobně jako stávající forma, avšak pro analýzy zůstaly zachovány pouze materiálové charakteristiky. Opět bylo vytvořeno několik analýz, ze kterých bylo vybráno optimum na základě stejných parametrů, jako v kapitole technologických úprav, aby bylo možné konečné výsledky porovnat.

### 7.4.1 Nastavení analýz

Všechny provedené analýzy měly společné, kromě materiálu, následující nastavení:

- FEM síť

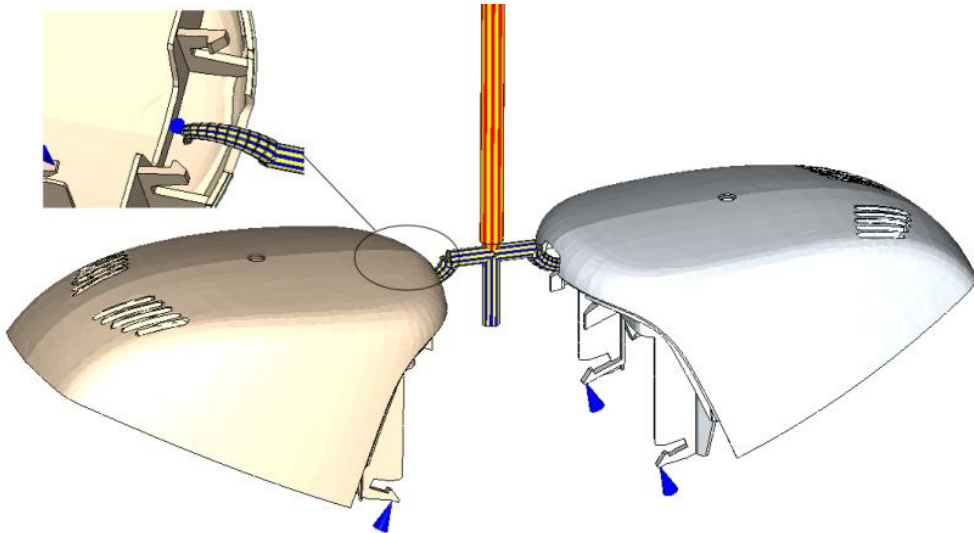
Vzhledem k tomu, že na výrobku nemohlo dojít k žádným úpravám, byla i velikost sítě zachována. Délka elementu byla nastavena na 2,2 mm, viz Obr. 80.



Obr. 80 Nastavení sítě

- Rozložení výrobků

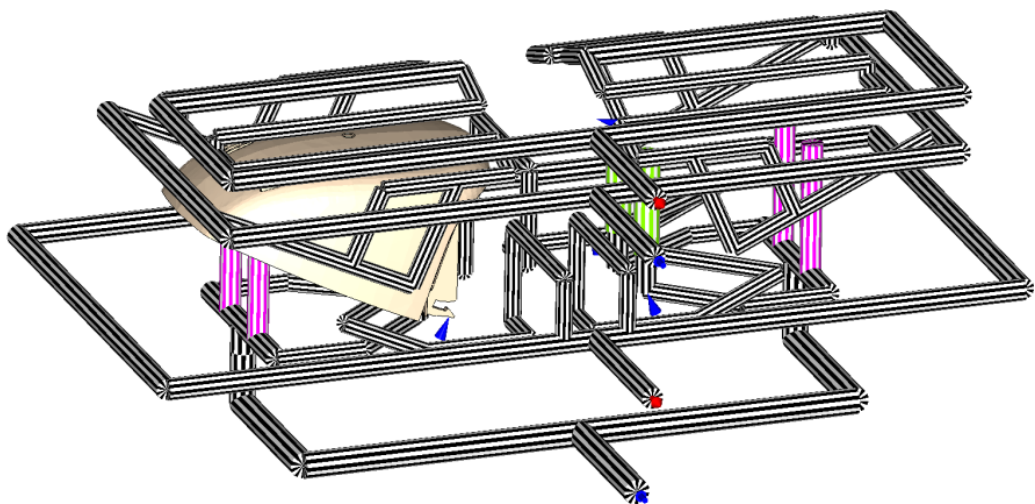
Po importování modelu výrobku do Cadmould bylo vytvořeno následující rozložení, které odpovídá rozložení ve formě, včetně rozměrů vtokového systému. Do vtokového systému byla připojena i přídržovací část.



Obr. 81 Rozložení výstřiků

- Temperace

Byly vytvořeny dva temperační okruhy. Pod označením okruh 1 se nachází temperace pevné strany a pod označením 2 temperace strany pohyblivé. Všechny rozměry kanálů odpovídají navržené konstrukci. Během analýz byla měněna teplota i průtoky jednotlivými okruhy.



Obr. 82 Temperační systém nového návrhu formy



### 7.4.2 Optimalizace

V rámci optimalizování procesu vstřikování na nové konstrukci formy bylo vytvořeno 24 analýz, ve kterých se měnily doba dotlaku a jeho velikost, teploty temperačních okruhů i průtoky, teplota taveniny a délka chlazení. V Tab. 14 je zobrazeno 7 nejlepších výsledků z hlediska rozměrové stability. Jako nejpříjemnější byla vybrána varianta Vary 2 ID 4, protože má teplotní rozdíl temperačních okruhů pouze 15 °C a dosahuje nejkratší doby cyklu. Navržená forma výrazně zlepšila výsledné zkroucení, ale ani optimalizací se nepodařilo snížit deformace. Ve výsledku však bude rozměrová stabilita lepší právě díky výrazně menšímu zkroucení. Vybraná optimální varianta procesních parametrů nové formy zkracuje cyklus obdobně jako vybraná varianta procesních parametrů stávající formy. Nebylo však dosaženo tak výrazného zlepšení. Na druhou stranu nový konstrukční návrh by znamenal stejnou úsporu jako technologické úpravy stávající formy při zachování současné kvality výroby. Z tohoto hlediska je mnohem výhodnější provést pouze rychlé úpravy technologie nežli vyrábět novou formu.

Tab. 14 Nejvýhodnější nastavení nové formy

VAR Y	I D	Doba plnění [s]	Rychlost plnění I [cm <sup>3</sup> /s]	Rychlost plnění II [cm <sup>3</sup> /s]	Doba dotlaku [s]	Velikost dotlaku [bar]	Délka chlazení [s]	Teplota pevná [°C]	Teplota pohyblivá [°C]
3	6	0,76	150	160	8	400	10	60	90
1	8	0,754	160	160	7	300	12	80	60
1	4	0,863	140	140	7	500	12	60	60
2	4	0,763	150	160	6	400	11	80	65
3	5	0,763	150	160	8	400	16	100	90
2	1	0,764	150	160	6	330	12	75	60
2	5	0,763	150	160	6	400	11	90	75
<b>Originál</b>		0,72	180	160	4	400	20	60	60
VA-RY	I D	Deformace [mm]	Zkroucení [mm]	Propadliny [%]	Smyková rychlost [s <sup>-1</sup> ]	Teplota taveniny [°C]	Délka cyklu [s]		
3	6	0,89	0,94	2,05	221432	295	34,76		
1	8	1,22	0,83	0,51	215530	260	35,75		
1	4	1,22	0,89	0,33	194696	260	35,86		
2	4	1,23	0,86	0,70	218034	260	33,76		
3	5	1,24	0,86	0,36	217199	255	40,76		
2	1	1,27	0,88	0,70	219261	265	34,76		
2	5	1,27	0,90	1,06	221707	260	33,76		
<b>Originál</b>		1,109	1,343	12,4	1808847	260	40,92		

### 7.4.3 Analýza zvoleného optima

Základní nastavení optima popisuje Tab. 14. Rychlostní profil plnění je do 20 % času plnění na hodnotě  $150 \text{ cm}^3/\text{s}$  a následně vzroste na  $160 \text{ cm}^3/\text{s}$ , kde setrvá až do konce fáze plnění. Rozšířené nastavení viz Obr. 83. Tlakový profil dotlaku je konstantní 400 bar po celou dobu této fáze. Do délky cyklu je započítána doba otevření formy, která se díky manipulátoru nedá snížit.

Filling Time [s]	0.800	Process	
Pressure-Controlled Filling [%]	99.0	Cooling Time inside Mold after Filling [s]	11.000
Melt Temperature [°C]	260.0	Heat transfer coefficient ambient [W/(m <sup>2</sup> .K)]	8.0
Uniform Hot-Runner Temperature [°C]	260.0	Ambient Temperature [°C]	25.0
Snapshot Element-Based WT [°C]		Ancillary Time [s]	16.000
Ejection Temperature [°C]	160.0		
<input checked="" type="checkbox"/> Packing	Packing Time [s] 6.000		
<input checked="" type="checkbox"/> S + W	Cooling Time [s] 11.000		

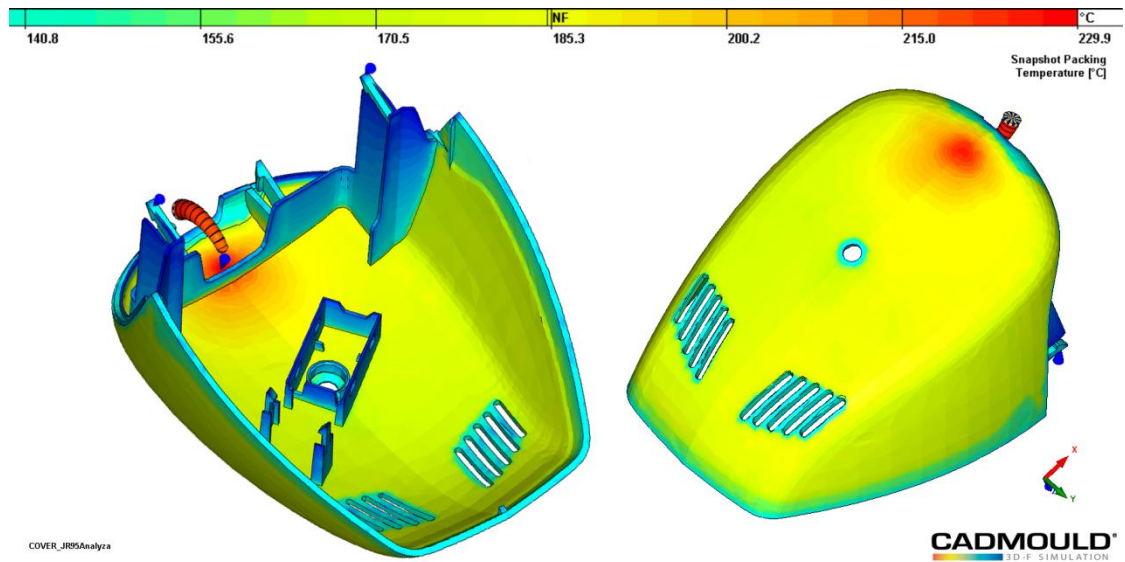
Obr. 83 Nastavení optima – nová forma

Teplota temperačního okruhu 1 byla nastavena na  $80 \text{ °C}$  a průtok  $9 \text{ l/min}$ , teplota temperačního okruhu 2 pak na  $65 \text{ °C}$  a  $12 \text{ l/min}$ . Průtok byl zvýšen z důvodů vícenásobného dělení proudu temperačního média.

- Výsledky analýz

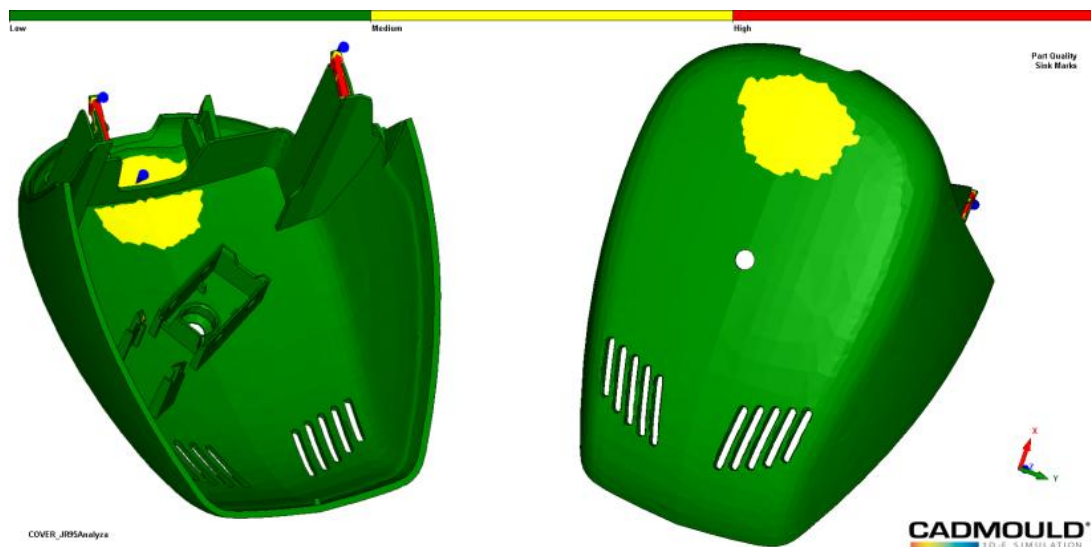
Postup plnění zaznamenal vůči originálu výrazných změn, protože plnění dolních háčků a nejvzdálenějšího místa v oblasti původního vtokového ústí probíhá současně na konci plnění. Délka zaplnění 100 % dutiny zabíhá časový úsek  $0,763 \text{ s}$ . Zvýšení účinnosti temperace dokládá i teplotní rozložení čela taveniny, kde v oblasti ukotvení dolních háčků dochází k poklesu teploty na  $247 \text{ °C}$ . Ke snížení teploty docházelo i u původního nastavení, ale nedosahovalo výraznějších hodnot. Maximální teplota na čele taveniny byla zaznamenána při plnění dolních háčků, a to  $263 \text{ °C}$ . Ani teplotní rozložení v celém objemu během plnění neprokázalo výrazné diference. Díky nastavené teplotě taveniny  $260 \text{ °C}$  se teploty během plnění pohybují v intervalu na dolní doporučené hranici přibližně  $245 - 270 \text{ °C}$ . Nejvyšší tlaková ztráta na zaplnění kavit činí 905 bar, což vyvolá potřebu uzavírací síly 1434 kN. Nejvýznamnějšího poklesu bylo zaznamenáno u rychlosti smykové deformace, která nyní činí pouze  $218\,034 \text{ s}^{-1}$ . Doporučená hodnota je sice o  $18\,000 \text{ s}^{-1}$  nižší, ale v porovnání s původní analýzou došlo ke snížení o  $1\,590\,000 \text{ s}^{-1}$ . Tento pokles je důsledkem rozšíření vtokového ústí.

Po přepnutí na dotlak dochází ke skokové změně tlaku na 400 bar, jejíž hodnota setrvává v konstantní výši po dobu 6 s. Na Obr. 84 byla zaznamenána situace na konci dotlakové fáze. Převážná většina objemu výrobku se nachází v okolí bodu NF, pouze blízké okolí vtoku tuto hodnotu značně překračuje. V této inkriminované oblasti lze očekávat vznik propadlin.



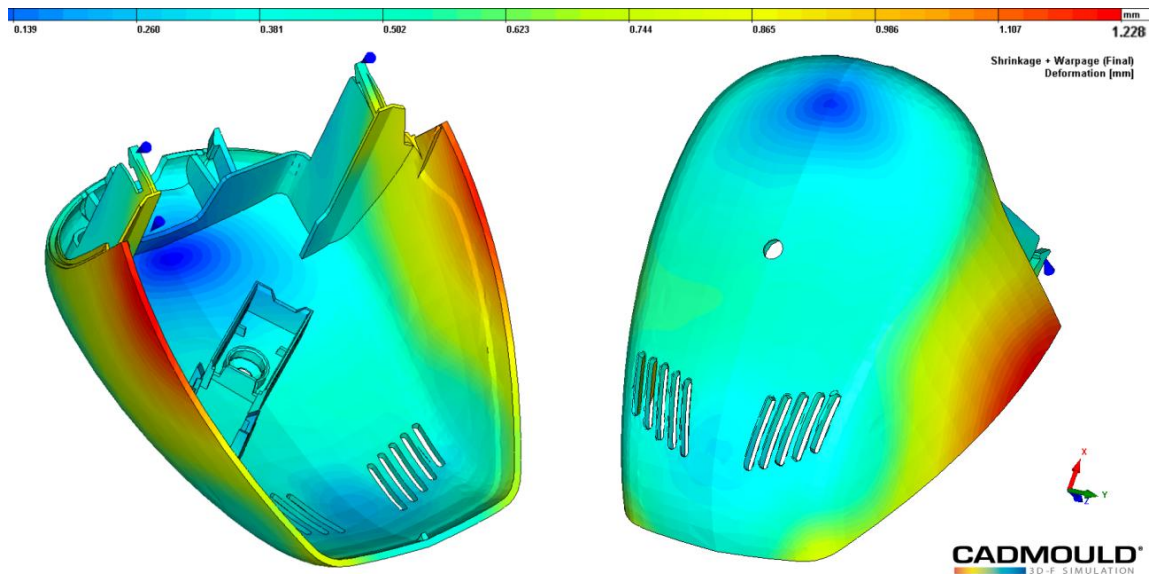
Obr. 84 Teplotní rozložení na konci fáze dotlaku

To ostatně dokazuje následující obrázek. V porovnání s optimem původní formy došlo ještě ke snížení projevu propadlin až na 0,7 %. Nejvýraznější propadliny byly opět vypočítány v oblasti dolních háčků.

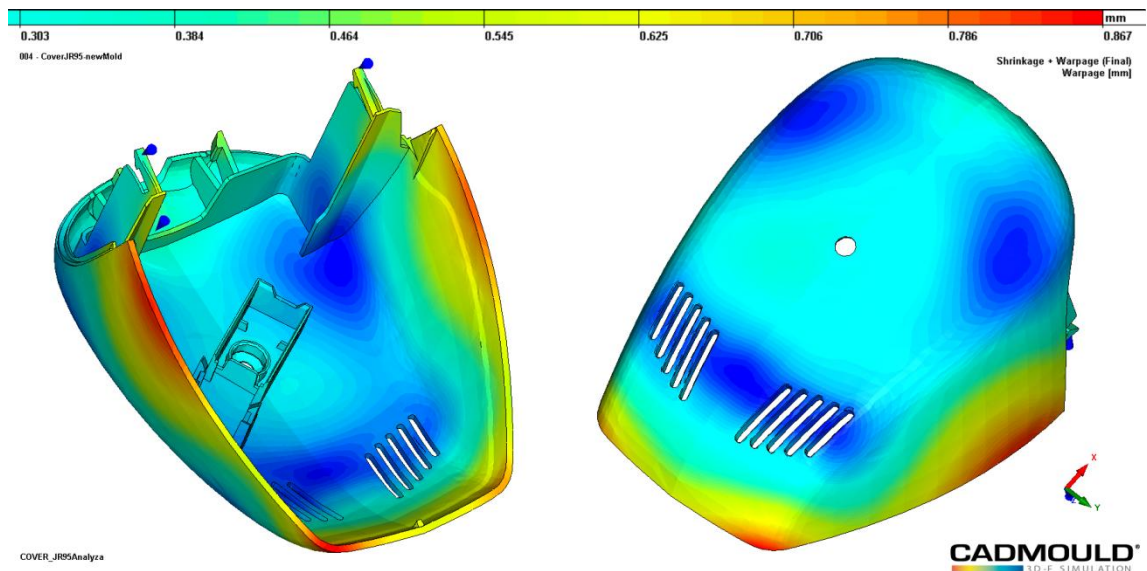


Obr. 85 Propadliny

Jedinou analýzou, která nezaznamenala zlepšení, byl výpočet deformací vlivem smrštění. Přestože hodnoty celkového průměrného smrštění jsou v případech originálu i optimalizace podobné, dochází zde k navýšení hodnoty přibližně o 0,1 mm. Toto mírné navýšení je však částečně kompenzováno snížením deformací zkroucením a výsledné hodnoty vykazují přiblížení jmenovité hodnotě i zlepšení vůči stávajícímu nastavení.



Obr. 86 Analýza deformací - Deformation



Obr. 87 Analýza deformací - Warpage

Teploty temperačních okruhů byly přiblíženy doporučeným hodnotám, přesto je však výhodné rozdílné teplotní nastavení pevné a pohyblivé strany. Teplotní spád pevné strany činí 0,4 °C a na straně pohyblivé došlo k navýšení téměř o 1 °C. Vzhledem k nastavení vyšších objemových průtoků je zaručeno turbulentní proudění v celém temperačním systému.

## **7.5 Závěr návrhu konstrukce a její optimalizace**

Z konstrukčního hlediska byla forma minimalizována pouze na nezbytné rozměry. Dále byl zachován standardní dvoudeskový systém, doplněný o šikmé vyhazovací prvky. Pro vedení a středění formy bylo využito čtyř prvků umístěných do rohů formy. Vedení vyhazovacího systému bylo doplněno ve střední části o další dva prvky z důvodů nutnosti přesného pohybu vyhazovačů. Celá konstrukce je zaměřena na maximální využití normálií a normalizovaných dílů.

Analýzou nového návrhu vstřikovací formy bylo zjištěno mírné zlepšení celkových deformací, ale výraznější zlepšení v odvodu tepla z tvárníku. To se odrazí v délce cyklu, která byla snížena na 34 s při mírném zlepšení jakosti výrobku. Výroba a zavedení nové formy do výroby by sice znamenaly značné roční úspory především na délce cyklu, ale z hlediska celkových nákladů by byl proces nerentabilní.

## 8 FINANČNÍ VYHODNOCENÍ

Podstatou optimalizací procesu je buď dosažení požadované kvality, nebo finanční úspora. Kapitola 6 se zabývá optimalizací kvality výroby, na základě níž bude vyhodnocena finanční stránka optimalizace. Zkoumané období výroby je od 8. 1. 2015 do 20. 12. 2015. Budou posuzovány tři parametry:

- odpracované hodiny stroje,
- počty neshodných kusů,
- četnost seřizování.

Finanční náklady na provoz:

Práce stroje	850 Kč / hod
Operátor	150 Kč / hod
Seřizovač	250 Kč / hod

### 8.1 Vyhodnocení práce stroje a tvorby neshodných výrobků

Tab. 15 Náklady na stroj

Operace	Odpracované hodiny strojem V 20 [hod]	Náklady [Kč]
<b>Vstřikování</b>	1313,1	1116135
<b>Seřizování</b>	57	48450
<b>Ostatní</b>	165,6	140760
<b>Celkem</b>	1535,7	1305345

V Tab. 15 je zobrazeno rozložení práce stroje během vstřikování, seřizování a ostatních prací, do kterých spadá výměna formy, uvolnění výroby, apod. Úspor nákladů stroje lze dosáhnout pouze snížením doby seřizování a doby jednoho cyklu. Původní cyklus zahrnuje dobu chlazení 21 s a v průměru činí délka cyklu celkem 41 s (během roku dochází k úpravám a časy se mohou měnit v závislosti nastavení, proto nemusí odpovídat čas nastavení Tab. 15 a Tab. 16). Optimalizací lze dosáhnout snížení průměrné doby cyklu na 35 s (prakticky ověřeno). Počet odvedených výstřiků je dvojnásobný vůči počtu cyklů, protože se jedná o dvounásobnou formu. Zkrácením doby cyklu o 6 s je možno ušetřit téměř

160 000 Kč za rok provozu stroje. O časovou úsporu 189,4 h je možno oprostít i operátora stroje, což znamená další úsporu 28 410 Kč.

Tab. 16 Úspora na délce cyklu

Průměrná doba cyklu [s]	Cyklů za rok [1]	Čas výroby [hod]	Cena provozu stroje [Kč]
41	113627	1294,1	1099985
35	113627	1104,7	938995
Úspora			160990

Problémem každé výroby je tvorba neshodných výrobků. Přestože se ještě před zaváděním výroby vypracovávají různá řešení předcházení vad, nelze neshodnost odstranit. Za kontrované roční období bylo vyrobeno 4677 vadných kusů, což přineslo celkovou ztrátu přibližně 56 000 Kč. Cena za jeden kus byla zaokrouhlena na 12 Kč. Nejvíce neshodných výrobků bylo vytvořeno, dle očekávání, během samotného vstřikování. Zde lze hodnoty snížit právě na základě optimalizovaných parametrů.

Tab. 17 Statistika vstříků

Operace	Odváděné vstříky [ks]	Neshodné vstříky [ks]	Náklady na neshodné vstříky [Kč]
<b>Vstřikování</b>	226893	3194	38328
<b>Seřizování</b>	0	654	7848
<b>Ostatní</b>	360	829	9948
<b>Celkem</b>	227253	4677	56124

## 8.2 Vyhodnocení vstřikování

Tab. 18 Finanční analýza vstřikování

Operace	Popis vady	Součet neshodných výrobků [ks]	Ztráta [Kč]
Vstřikování	Jiné vady	116	1392
	Lesky	103	1236
	Mapy	49	588
	Nečistoty- příměsi cizích látek	2072	24864
	Nedostříknutý výrobek	99	1188
	Poškrábaný	194	2328
	Prskance	72	864
	Spálený výrobek	24	288
	Šmouhy	60	720
	Vyřazeno strojem	362	4344
	Vzorky	7	84
	Neuvedeno	36	432
<b>Celkem ze vstřikování</b>		<b>3194</b>	<b>38328</b>

Z Tab. 18 je patrný význam tvorby odlesků, šmouh, nedostříknutého či spáleného výrobku a podstatná část vyřazena strojem. Toto vyřazení je součástí automatického režimu stroje při překročení některého z technologických parametrů. Součet vyprodukovaných NOK dílů z vyjmenovaných vad je 648 ks. Optimalizací se předpokládá snížení odlesků a šmouh o 70 %, aplikací odvzdušnění se sníží počet spálení a nedostříknutí alespoň o 90 % a stabilita procesu by měla narůst alespoň o 50 %. Na ostatní vady nebyla optimalizace zaměřena.

Zavedením optimálních parametrů se očekává úspora 4 872 Kč za rok provozu na bezvadnosti výrobků ze vstřikování. Další úspory mohou být zavedeny na potřebě seřizování stroje.



Tab. 19 Vyhodnocení úspor na neshodných kusech ze vstřikování

Popis vady	Procentuální snížení [%]	Předpokládané vady [ks]	Úspora [Kč]
Šmouhy	70	18	504
Odlesky	70	31	864
Nedostříknutí	90	10	1068
Spálení	90	3	252
Vyřazeno strojem	50	182	2184
<b>Celkem</b>			<b>4872</b>

### 8.3 Vyhodnocení seřizování stroje

Seřizování stroje zahrnuje operaci úpravy technologických parametrů, případně odstranění jiné vady a následné odzkoušení, čímž vznikají další neshodné výrobky. Snížením potřeby seřizování se automaticky sníží počty neshodných výrobků ze seřizování.

Tab. 20 Seřizování stroje

Operace	Popis akce	Součet neshodných výrobků [ks]	Ztráta na neshodných výrobcích [Kč]	Odpracovaný čas seřizovače [hod]	Náklady na práci seřizovače [Kč]
Seřízení	Dotlak/Přepnutí	51	612	0,9	225
	Chlazení	10	120	0,5	125
	Mastnota	26	312	0,2	50
	Nános na dezénu	36	432	0,9	225
	Porucha formy	6	72	0,5	125
	Porucha uchopovače	71	852	2,0	500
	Porucha manipulátoru	113	1356	3,6	900
	Porucha stroje	23	276	1,4	350
	Prasklá hadice	2	24	0,6	150
	Program manipulátoru	4	48	0,2	50
	Příčina neznámá	145	1740	2,2	550
	Uzavírací síla	0	0	0,2	50
	Vstřikovací rychlost	40	480	1,3	325

	<b>Vyhazovače</b>	40	480	0,8	200
	<b>Zastříknutá forma</b>	67	804	2,2	550
	<b>Zatečená tryska</b>	6	72	0,4	100
	<b>Znečištěný materiál</b>	14	168	0,5	125
	<b>Neuvedeno</b>	0	0	38,5	9625
<b>Celkem</b>		654	7848	57,0	14250

Optimalizací by se mělo zamezit potřebě seřizování dotlaku/přepnutí, chlazení, vyhazovačů a vstříkovací rychlosti, alespoň o 50 %.

Tab. 21 Vyhodnocení nákladů a úspor ze seřizování

<b>Operace</b>	<b>Předpokládané neshodné kusy [ks]</b>	<b>Úspora na neshodných kusech [Kč]</b>	<b>Předpokládaný čas seřizovače [hod]</b>	<b>Úspora na čase seřizovače [Kč]</b>
<b>Dotlak / přepnutí</b>	26	312	0,45	113
<b>Chlazení</b>	5	60	0,25	63
<b>Vyhazování</b>	20	240	0,4	100
<b>Rychlost vstříkování</b>	20	240	0,65	163
<b>Celkem</b>	71	852	1,75	439

Je zřejmé, že práce seřizovače a celý proces seřizování není příliš velkou zátěží výroby a tvoří pouze nízké procento všech nákladů.

#### 8.4 Náklady úprav

Částka přenastavení technologických parametrů je zanedbatelná, proto budou posuzovány pouze náklady navržených konstrukčních řešení odvzdušnění a úpravy vtokové vložky. Návrhy byly naceněny dceřinou společností Kasko formy s.r.o. a představují horní hranici nákladů.

Tab. 22 Náklady úprav

Úprava	Náklady [Kč]
Polovina vtokové vložky	14 000
Tvorba odvodušnění na jednom vyhazovači	6 500

## 8.5 Shrnutí úspor

Zavedením navržených technologických parametrů lze docílit úspor především na provozu stroje. Do cenové kalkulace je nutno zahrnout i náklady na navržené úpravy. Celkové možné úspory jsou součtem následujících údajů.

Název	Částka [Kč]
Časové úspory stroje zkrácením cyklu	160 990
Úspory na operátorovi	28 410
Úspory na neshodných kusech ze vstřikování	4 872
Úspory na neshodných kusech ze seřizování	852
Úspory na čase seřizování	439
Náklady úprav	- 41 000
<b>Celkem</b>	<b>154 563 Kč</b>

Přenastavením stávajících technologických parametrů a zahrnutím návrhů úprav lze docílit finančních úspor přibližně 150 000 Kč. Vyhodnocená částka sice zahrnuje jisté předpoklady úspor v jednotlivých fázích, ale vliv snížení nákladů je prokazatelný. Nejdůležitější stránku nákladů tvoří délka vstřikování. Každé snížení délky cyklu znamená v ročním zúčtování jisté úspory.

## 9 DISKUZE NÁVRHŮ A VÝSLEDKŮ

### 9.1 Technologická část

Vypracování celé technologické části vychází z požadavků útvaru technologie Kasko spol. s r.o. Byly stanoveny hlavní problémy k řešení, mezi které patří spálená či nedotečená místa a problematika odlesků.

První ze jmenovaných problémů byl řešen cestou konstrukční i cestou technologickou. Vzhledem k lokaci uzavírání vzduchu, byl navržen odvodušňovací kanál vedený v šikmém vyhazovači. Tato varianta je z hlediska výroby jednodušší než druhá varianta odvodušňování, která předpokládá úpravy i v tvarové vložce. Výška odvodušňovacího kanálu byla vypočtena na 0,015 mm. Z hlediska úpravy technologie bylo navrženo snížení vstřikovací rychlosti, což poskytne dostatečný čas pro únik vzduchu skrze výrobní tolerance.

Problematiku odlesků je důležité řešit, pokud se jedná o výrobky pohledové. V případě JR95 byl zjištěn významný vliv velikosti dotlaku. Praktická zkouška potvrdila výskyt odlesků při dotlaku nad 450 bar. Proto bylo pro redukci těchto projevů navrženo snížení dotlakové fáze pod 400 bar. Významným parametrem ovlivňující odlesky, je teplotní rozložení ve formě. Špatný odvod tepla skrze šikmé vyhazovače podporuje tvorbu mikrovrstvy ochuzené o plnivo, a tím i tvorbu odlesků právě v těchto oblastech. Teplotní vlivy nebylo možné povolenými úpravami eliminovat. Na efektivitu chlazení byl zaměřen až nový konstrukční návrh formy.

S ohledem na výše popsanou problematiku byla virtuálně analyzována různá nastavení technologických parametrů a následně mezi sebou porovnána. Hlavními posuzovanými parametry jsou velikosti deformací, velikosti dotlaku a rychlost plnění. Primární cíl optimalizace byl zaměřen na zkrácení délky cyklu. Z analýz bylo zjištěno nejvhodnější nastavení, které zahrnovalo sníženou velikost dotlaku na 300 bar, sníženou rychlost vstřikování o 30 cm<sup>3</sup>/s vůči původnímu nastavení a rozdílnou teplotu temperace na pevné a pohyblivé straně o 15 °C. Důsledkem teplotního rozdílu vznikla rozdílná krystalizace jednotlivých částí výrobku, která ve výsledku znamenala snížení celkových deformací o 0,3 mm. Délka cyklu byla virtuální analýzou stanovena přibližně na 33 s, což je snížení o 8 s vůči stávajícímu nastavení. Tyto vybrané parametry byly prakticky odzkoušeny a bylo potvrzeno výrazné zkrácení cyklu při zvýšení kvality výroby. Doba reálného optimálního cyklu je 35 s, což společnosti přinese značné roční úspory, a tím je také splněn požadavek společnosti na

finanční úspory. Zkrácení cyklu podle doporučených parametrů dokonce zvýší rozměrovou přesnost výroby. Tento závěr byl opět potvrzen praktickou zkouškou, kde byly stanoveny tři místa měření. Rozměry byly změřeny 24 h po vystříknutí a celkový záznam je součástí přílohy. Měřením bylo potvrzeno výrazné přiblížení jmenovité hodnotě, a to pouze změnou procesních parametrů na doporučené optimální nastavení.

Doplňujícím požadavkem technologické části byla změna vtokové vložky. Všechny tři návrhy jsou schopny přidržet vtokový systém na pohyblivé straně formy do doby odebrání manipulátorem. Požadavek na zachování průměrů vtokových ústí, znemožnil výrazné snížení rychlosti smykové deformace.

## 9.2 Konstrukční část

V konstrukční části byl vytvořen kompletní konstrukční návrh formy se zaměřením na efektivitu chlazení. Byla zvolena hustší síť temperačních kanálů a v tvárníku byly doplněny temperační trysky do oblasti šikmých vyhazovačů. Nový návrh formy je menší na každém z rozměrů přibližně o 50 mm. Konstrukce vychází ze standardního dvoudeskového systému a je doplněna šikmými vyhazovači pro odformování háčků a děr. I tento návrh byl obdobně analyzován v Cadmould s výsledkem optimálních technologických parametrů. Byla potvrzena zvýšená účinnost chlazení v okolí vyhazovačů, ale pro zachování rozměrové stability musí být aplikována rozdílná teplota temperace pevné a pohyblivé strany formy (teplotní rozdíl je obdobný původní formě). Analýzou bylo dále zjištěno výrazné zmenšení deformací vlivem chlazení a to i při různých technologických parametrech. Ve výsledku však nebyly překonány optimalizované hodnoty stávající formy a oba návrhy jsou tak z hlediska finální výroby srovnatelné. Nutno dodat, že i tento konstrukční návrh by přinesl zvýšení kvality výroby a snížení délky cyklu vůči stávajícímu stavu. Nová forma má výrazně lepší temperační systém zmírňující deformace.

## 9.3 Shrnutí

Oba návrhy technologický i konstrukční splňují požadavek společnosti na finanční úsporu. Na druhou stranu výroba nové formy je podstatně nákladnější než drobné úpravy stávající formy. V obou případech se délka cyklu sníží přibližně o 6 s a vzhledové či rozměrové parametry jakosti jsou v obou případech srovnatelné. Z těchto důvodů bylo shledáno výhodnější řešení technologickou optimalizací.

## ZÁVĚR

V úvodní části práce byl vytvořen teoretický přehled problematiky vstřikování, který byl následně použit pro realizaci části praktické. Praktická část byla rozdělena na část technologickou, konstrukční a finanční vyhodnocení.

V kapitole technologie byly zavedeny doplňující požadavky odstranění vad na vstřikovaných výrobcích. Bylo navrženo řešení odstranění odlesků i spálených míst a následně byl celý stávající proces vstřikování virtuálně optimalizován. Dle těchto optimalizací byla vybrána varianta, jež splňuje hlavní požadavky úspor, ale také podstatně zvýší rozměrovou kvalitu výrobku. Tento návrh byl i prakticky odzkoušen během výroby, a přes nepatrnou odlišnost v nastavení simulací a nastavení reálného, potvrdil vhodnost optimalizovaného návrhu.

Tvorba nového konstrukčního návrhu vycházela z již provedených analýz původního procesu. Byla vytvořena přepracovaná forma se zaměřením na úpravu temperace. Do temperačního okruhu tvárníku byly zařazeny prvky umožňující temperaci okolí těžko dostupných míst standardními vrtanými kanály. Úpravou se zvýšila účinnost temperace především v okolí šikmých vyhazovačů. Celý rám formy zaznamenal rozměrovou redukci na každém rozměru alespoň o 50 mm. Nový návrh byl opět virtuálně analyzován s cílem optimalizace. Posouzením všech výsledků bylo stanoveno optimum, které taktéž splnilo základní požadavek finančních i časových úspor. Kvalita výrobku se novou konstrukcí formy sice zvýšila, ale ne tak razantně jako u technologické optimalizace stávající formy.

Porovnáním výrobních nákladů nové formy a nákladů na změnu technologických parametrů je patrná rentabilita pouze u druhé varianty. Zavedením technologických úprav či úprav konstrukce by se navíc docílilo téměř stejného výsledku. Z tohoto důvodu byla závěrečná finanční část přednostně zaměřena pouze na úpravy technologické. Byl vytvořen přehled ročních ztrát výroby a následně byly vypočítány úspory zavedením úprav. Výsledek celkové finanční bilance je úspora přibližně 150 000 Kč za rok výroby.

Závěrečné doporučení plyne z výše uvedených faktů. Realizace nové formy by byla z hlediska poměru nákladů výroby a výsledné kvality nevhodná. Proto je hlavním doporučením zavedení drobných konstrukčních úprav (vycházejících z požadavků) doplněných o změnu technologických parametrů. Tímto závěrečným doporučením je splněn hlavní požadavek finanční úspory i zvýšení kvality výroby.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding injection molds*. Munich: Hanser, 2013, xii, 145 s. ISBN 978-1-56990-527-2.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [3] MÉZL, Milan. *Základy technológie vstrekovania plastov*. Olomouc: Mapro, 2012, 301 s. ISBN 978-80-970749-7-5.
- [4] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [5] MALLOY, Robert A. *Plastic part design for injection molding: an introduction*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, 2011, xiv, 549 s. ISBN 978-1-56990-436-7.
- [6] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, 2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.
- [7] BEAUMONT, John P, R NAGEL a R SHERMAN. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich: Hanser Publishers, 2002, xiii, 362 s. ISBN 1-56990-291-7.
- [8] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser, 2002, xxiii, 688 s. ISBN 3446216596.
- [9] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. 2. opr. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 133 s.
- [10] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. Díl – Vstřikování termoplastů*. 1. upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [11] 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.
- [12] OSSWALD, Tim A, Lih-Sheng TURNG a Paul J GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, 2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6.

- [13] LENFELD, Petr. *Vstřikování plastů* [elektronický zdroj]. [cit. 2015-12-14]. Dostupné z [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [14] *ULTRAMID B3EG6* [elektronický zdroj]. [cit. 2016-2-14]. Dostupné z: <http://www.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=iso&param=Ultramid+B3EG6>
- [15] BRYCE, Douglas M. *Plastic injection molding: manufacturing process fundamentals*. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, 1996, 1 online zdroj (xvii, 277 p.). ISBN 9781613449769. Dostupné také z: [http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPIMVIMP7/plastic\\_injection\\_molding\\_volume\\_i\\_\\_manufacturing\\_process\\_fundamentals](http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPIMVIMP7/plastic_injection_molding_volume_i__manufacturing_process_fundamentals)
- [16] KULKARNI, Suhas. *Robust process development and scientific molding: theory and practice*. Munich: Hanser Publications, 2010, xv, 256 s. ISBN 978-1-56990-501-2.
- [17] KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow analysis of injection molds*. 2nd ed. Munich: Hanser, 2013, xxviii, 349 s. ISBN 978-1-56990-512-8.
- [18] KAMAL, Musa R, Avraam I ISAYEV a Shih-Jung LIU. *Injection molding: technology and fundamentals*. Munich: Hanser, 2009, xxviii, 926 s. ISBN 978-1-56990-434-3.
- [19] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. Munich: Hanser Publishers, 2007, xx, 423 s. ISBN 978-3-446-41266-8. Dostupné také z: [http://katalog.k.utb.cz/F/?func=service&doc\\_library=UTB01&doc\\_number=000034265&line\\_number=0002&func\\_code=WEB-BRIEF&service\\_type=MEDIA](http://katalog.k.utb.cz/F/?func=service&doc_library=UTB01&doc_number=000034265&line_number=0002&func_code=WEB-BRIEF&service_type=MEDIA)
- [20] MAŇAS, Miroslav, František TOMIS a Josef HELŠTÝN. *Výrobní stroje a zařízení: gumárenské a plastikářské stroje*. Brno: VUT, 1990. ISBN 802140213X.
- [21] ROSATO, Dominick V, Donald V ROSATO a Marlene G ROSATO. *Injection molding handbook*. 3rd ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. ISBN 0792386191.
- [22] INJECTION MOLDING PLASTICS, *Gloss level of glass filled nylon* [elektronický zdroj]. [cit. 2015-10-14]. Dostupné z: <http://www.injectionmoldingplastic.com/gloss-level-of-glass-filled-nylon.html>



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CAE		Computer aided engineering, počítačové analýzy
FEM		Konečněprvková metoda
h	mm	Výška kanálu
ITT	g/10min	Index toku taveniny
L	mm	Délka
PA 6		Polyamid 6
PA 6+ GF		Polyamid 6 se skelnými vlákny
t	mm	Tloušťka
T <sub>g</sub>	°C	Teplota skelného přechodu
T <sub>m</sub>	°C	Teplota tání
V	m <sup>3</sup> /s	Objemový průtok
W	mm	Šířka kanálu
Δp	Pa	Tlakový spád
η <sub>vz</sub>	Pa.s	Dynamická viskozita
α	°	Odformovací úhel

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Vstřikovací cyklus .....	14
Obr. 2 Fontánový tok [6] .....	16
Obr. 3 Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu [2] .....	16
Obr. 4 Vliv teplotního rozložení, vznik ohybu [6] .....	17
Obr. 5 pVt diagram pro semikrystalický polymer se zaznačením vstřikovacího cyklu [2] .....	18
Obr. 6 Vstřikovací stroj s hydraulickým pohonem [11] .....	19
Obr. 7 Rozdělení vstřikovacích jednotek [20] .....	20
Obr. 8 Vstřikovací jednotka [11] .....	21
Obr. 9 Rozdělení uzavíracích jednotek [20] .....	22
Obr. 10 Hydraulicko-mechanické uzavírání [11] .....	22
Obr. 11 Vícekomponentní vstřikování [13] .....	25
Obr. 12 WIT [1] .....	26
Obr. 13 Příklady vad vstřikovaných výrobků [7] .....	28
Obr. 14 Distribuce molekulových hmotností [16] .....	29
Obr. 15 Teplotní přechody termoplastů [16] .....	31
Obr. 16 Vliv krystalinity na vlastnosti výrobku .....	31
Obr. 17 Vliv ostrých hran [5] .....	34
Obr. 19 Vznik stokových rovin [5] .....	35
Obr. 18 Plnění výrobku různých tloušťek [5] .....	35
Obr. 20 Časový průběh smrštění (VS – výrobní smrštění, ES – smrštění v době vyhození, GS – celkové smrštění, NS – dosmrštění) [2] .....	36
Obr. 21 Vznik deformací [5] .....	37
Obr. 22 Vznik propadlin, kavit a zbytkového u tlustých stěn [5] .....	37
Obr. 23 Vyztužení žebry [5] .....	39
Obr. 24 Základní koncepce vstřikovací formy [1] .....	41
Obr. 25 Rozdělení forem se studeným vtokovým systémem [18] .....	42
Obr. 26 Průřezy vtokových kanálů [6] .....	43
Obr. 27 Rozdělení základních typů vtokových ústí [18] .....	44
Obr. 28 Boční a filmový vtok [6] .....	45
Obr. 29 Bodové vtoky [6] .....	45
Obr. 30 Vyhazovací systémy: stírací deska vlevo, posuvný člen vpravo [1] .....	47

Obr. 31	Obtoková vložka vlevo a tepelná trubice vpravo [19].....	49
Obr. 33	Základní rozměry výrobku .....	55
Obr. 32	Výrobek JR95 .....	55
Obr. 34	Detail vadného háčku .....	56
Obr. 35	Průběh plnění háčku .....	57
Obr. 36	Porovnání uzavřených objemů .....	57
Obr. 37	Odvzdušnění varianta 1 .....	59
Obr. 38	Odvzdušnění varianta 2 .....	59
Obr. 39	Sestava varianty odvzdušnění 2.....	60
Obr. 40	Polohy odlesků .....	61
Obr. 42	Vliv teploty a dotlaku na odlesk [21] .....	62
Obr. 41	Poloha propadlin na výrobku.....	62
Obr. 43	Rozložení teploty v oblasti vyhazovačů .....	64
Obr. 44	Materiálové charakteristiky z Cadmould.....	66
Obr. 45	Roložení výrobku pro analýzy.....	66
Obr. 46	Velikost sítě .....	67
Obr. 47	Temperační systém.....	67
Obr. 48	Rozložení temperačních okruhů .....	68
Obr. 49	Nastavení analýzy původního stavu .....	68
Obr. 50	Analýza doby plnění dutin.....	69
Obr. 52	Tlaková ztráta čela taveniny .....	70
Obr. 51	Průběh tlaku během cyklu .....	70
Obr. 53	Rozložení teploty na konci fáze dotlaku.....	71
Obr. 54	Propadliny na výrobku.....	71
Obr. 55	Oba typy deformací (Deformation nahoře, Warpage dole).....	72
Obr. 56	Rozložení teploty v temperačních okruzích .....	73
Obr. 57	Optimální procesní nastavení .....	74
Obr. 59	Propadliny.....	75
Obr. 58	Upravená fáze dotlaku (stav 6 s) .....	75
Obr. 60	Výsledky deformace a zkroucení s upraveným nastavením.....	76
Obr. 61	Pracoviště výroby JR95 vlevo a vyhazování zkušebního vzorku vpravo.....	77
Obr. 62	Grafické porovnání rozměrů jednotlivých nastavení.....	78
Obr. 63	Původní vtoková vložka .....	79

Obr. 64 Doporučení konstrukce banánových vtoků dle Meusburger .....	81
Obr. 65 Materiálové vlastnosti Ultramid B3EG6 (vysušený) [14] .....	82
Obr. 66 První návrh úpravy .....	83
Obr. 67 Druhý návrh vtokové vložky .....	83
Obr. 68 Detail banánového ústí .....	84
Obr. 69 Srovnání návrhů .....	85
Obr. 70 Model JR 95 .....	86
Obr. 71 Analýza polohy vtoku .....	87
Obr. 72 Návrh tvárníku (červeně) a tvárnice (zeleně) .....	88
Obr. 73 Temperace tvarových vložek .....	88
Obr. 74 Popis desek – sestava formy .....	89
Obr. 75 Pevná strana formy .....	90
Obr. 76 Pohyblivá strana formy .....	91
Obr. 77 Vtoková vložka .....	92
Obr. 78 Vyhazovací systém formy .....	92
Obr. 79 Detail vedení šikmých vyhazovačů .....	94
Obr. 80 Nastavení sítě .....	95
Obr. 82 Temperační systém nového návrhu formy .....	96
Obr. 81 Rozložení výstřiků .....	96
Obr. 83 Nastavení optima – nová forma .....	98
Obr. 84 Teplotní rozložení na konci fáze dotlaku .....	99
Obr. 86 Propadliny .....	99
Obr. 85 Analýza deformací - Deformation .....	100
Obr. 87 Analýza deformací - Warpage .....	100


**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Rozdělení trhu se vstřikovanými výrobky (Evropa) [11] .....	13
Tab. 2 Parametry sušení vybraných plastů [3].....	32
Tab. 3 Vstupy a výstupy pro konstrukci temperace [8, 19] .....	48
Tab. 4 Předpoklady odvzdušnění .....	57
Tab. 5 Procesní teploty .....	63
Tab. 6 Původní parametry stroje k 11. 4. 2016.....	64
Tab. 7 Optimalizační parametry .....	64
Tab. 8 Teploty povrchů.....	65
Tab. 9 Nejvhodnější nastavení 1/2.....	73
Tab. 10 Nejvýhodnější nastavení 2/2.....	74
Tab. 11 Nastavení technologických parametrů zkoušky .....	77
Tab. 12 Průměrné naměřené hodnoty .....	78
Tab. 13 Doporučené nastavení technologických parametrů .....	79
Tab. 14 Nejvýhodnější nastavení nové formy .....	97
Tab. 15 Náklady na stroj.....	102
Tab. 16 Úspora na délce cyklu.....	103
Tab. 17 Statistika výstřiků .....	103
Tab. 18 Finanční analýza vstřikování .....	104
Tab. 19 Vyhodnocení úspor na neshodných kusech ze vstřikování .....	105
Tab. 20 Seřizování stroje .....	105
Tab. 21 Vyhodnocení nákladů a úspor ze seřizování .....	106
Tab. 22 Náklady úprav.....	107

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha I Materiálový list ULTRAMID B3EG
- Příloha II pVT diagram ULTRAMID B3EG6
- Příloha III Stávající technologické parametry
- Příloha IV Nastavení a výsledky analýz optimalizace původní formy
- Příloha V Záznam měření zkoušky po 24 h od vystříknutí
- Příloha VI Výsledky pevnostních analýz vtokových vložek MARC
- Příloha VII Nastavení a výsledky analýz optimalizace nové formy
- Příloha VIII Seznam položek nového návrhu vstřikovací formy
- Příloha IX Sestava formy – nový návrh

## Příloha I - Materiálový list ULTRAMID B3EG6

Product Information	<b>Ultramid® B3EG6</b> Polyamide 6	 <b>BASF</b> We create chemistry
Sep 2015		

**Product Description**

Ultramid B3EG6 is a 30% glass fiber reinforced injection molding PA6 grade.

**Applications**

Typical applications include industrial articles and electrical insulating parts.

PHYSICAL	ISO Test Method	Property Value	
Density, g/cm	1183	1.36	
Moisture, % (50% RH) (Saturation)	62	2.1 6.6	
RHEOLOGICAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Melt Volume Rate (275 C/5 Kg), cc/10min.	1133	50	-
MECHANICAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Tensile Modulus, MPa 23C	527	9,500	6,200
Tensile stress at break, MPa 23C	527	185	115
Tensile strain at break, % 23C	527	3.5	8.0
Flexural Strength, MPa 23C	178	270	180
Flexural Modulus, MPa 23C	178	8,600	5,000
IMPACT	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Izod Notched Impact, kJ/m <sup>2</sup> 23C	180	15	20
Charpy Notched, kJ/m <sup>2</sup> -30C 23C	179	11 15	- 30
Charpy Unnotched, kJ/m <sup>2</sup> -30C 23C	179	80 95	- 110
THERMAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Melting Point, C	3146	220	-
HDT A, C	75	210	-
HDT B, C	75	220	-
Coef. of Linear Thermal Expansion, Parallel, mm/mm C		0.23 X10 <sup>-4</sup>	-
Coef. of Linear Thermal Expansion, Normal, mm/mm C		0.65 X10 <sup>-4</sup>	-
ELECTRICAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Volume Resistivity	IEC 60093	1E13	1E10

BASF Corporation  
Engineering Plastics  
1609 Biddle Avenue  
Wyandotte, MI 48192

General Information: 800-BC-RESIN  
Technical Assistance: 800-527-TECH (734-324-5150)  
Web address: <http://www.plasticsportal.com/usa>

**Ultramid® B3EG6**



Dielectric Constant (1 MHz)	IEC 60250	3.8	6.8
Dissipation Factor (100 Hz)	IEC 60250	230	2,200
Dissipation Factor (1 MHz)	IEC 60250	230	2,200

UL RATINGS	UL Test Method	Property Value
Relative Temperature Index, 0.75mm Electrical, C	UL746B	120
Flammability Rating, 1.5mm	UL94	HB
Relative Temperature Index, 1.5mm Mechanical w/o Impact, C	UL746B	130
Mechanical w/ Impact, C		95
Electrical, C		120
Flammability Rating, 3.0mm	UL94	HB
Relative Temperature Index, 3.0mm Mechanical w/o Impact, C	UL746B	130
Mechanical w/ Impact, C		95
Electrical, C		120

**Processing Guidelines**

**Material Handling**

Max. Water content: 0.15%

Material is supplied in sealed containers and drying prior to molding in a dehumidifying or desiccant dryer is recommended. Drying parameters are dependent upon the actual percentage of moisture in the pellets and typical pre-drying conditions are 2-4 hours at 180F (83C). Recommended moisture levels for achieving optimum surface qualities and mechanical properties is 0.05% - 0.12%. Further information concerning safe handling procedures can be obtained from the Safety Data Sheet (MSDS), or by contacting your BASF representative.

**Typical Profile**

Melt Temperature 270-295 degC (518-563 degF)

Mold Temperature 80-95 degC (176-203 degF)

Injection and Packing Pressure 35-125 bar (500-1500 psi)

**Mold Temperatures**

This product can be processed over a wide range of mold temperatures; however, for applications where aesthetics are critical, a mold surface temperature of 80-95 degC (176-203 degF) is recommended.

**Pressures**

Injection pressure controls the filling of the part and should be applied for 90% of ram travel. Packing pressure affects the final part and can be used effectively in controlling sink marks and shrinkage. It should be applied and maintained until the gate area is completely frozen off.

Back pressure can be utilized to provide uniform melt consistency and reduce trapped air and gas. Minimal back pressure should be utilized to prevent glass breakage.

**Fill Rate**

Fast fill rates are recommended to ensure uniform melt delivery to the cavity and prevent premature freezing. Surface appearance is directly affected by injection rate.

**Note**

BASF Corporation  
 Engineering Plastics  
 1609 Biddle Avenue  
 Wyandotte, MI 48192

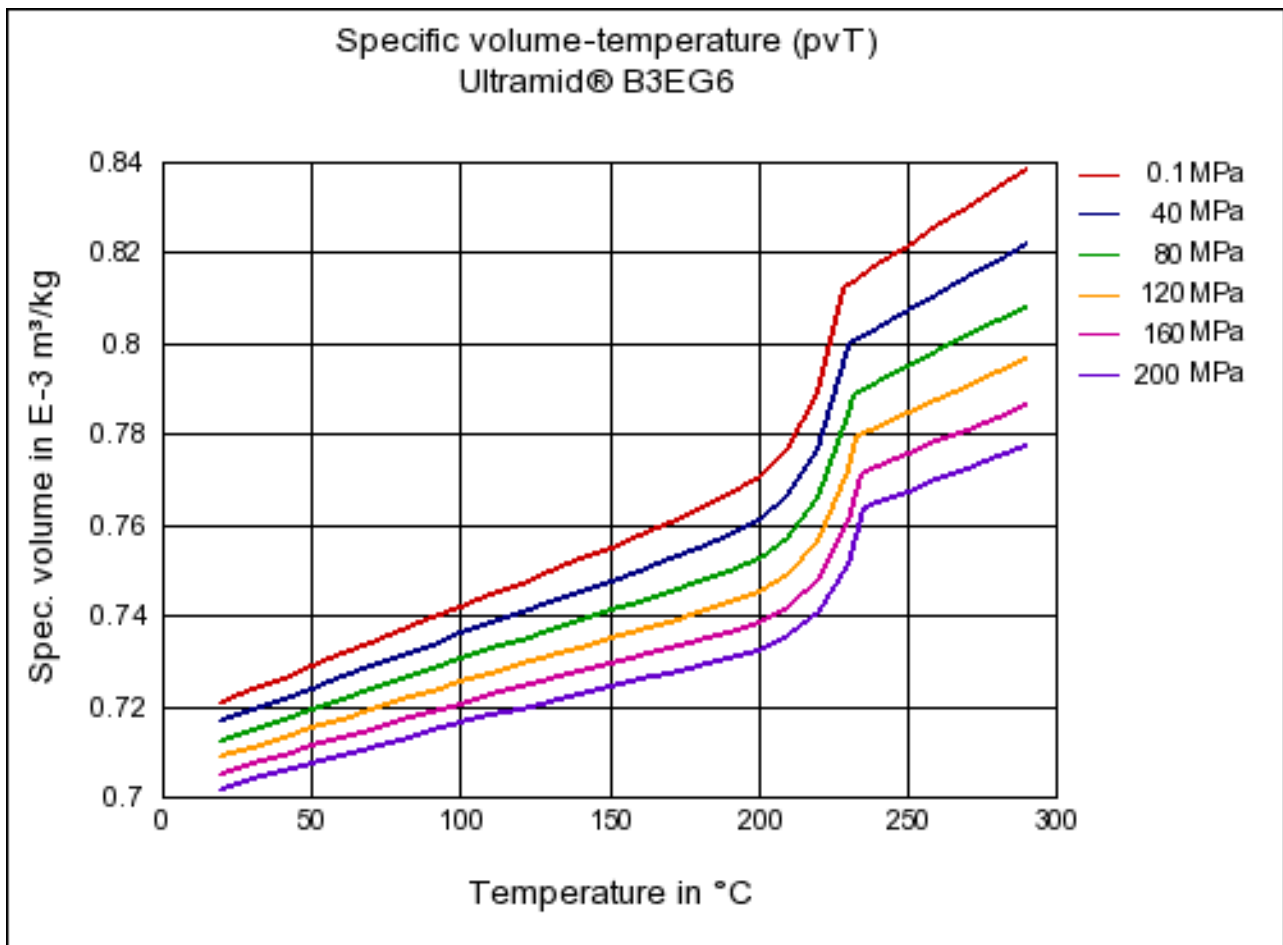
General Information: 800-BC-RESIN  
 Technical Assistance: 800-527-TECH (734-324-5150)  
 Web address: <http://www.plasticsportal.com/usa>



**Ultramid® B3EG6****Note**

Although all statements and information in this publication are believed to be accurate and reliable, they are presented gratis and for guidance only, and risks and liability for results obtained by use of the products or application of the suggestions described are assumed by the user. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH. Statements or suggestions concerning possible use of the products are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement and are not recommendations to infringe any patent. The user should not assume that toxicity data and safety measures are indicated or that other measures may not be required.

## Příloha II – pvT diagram Ultramid B3EG6 natur



### Příloha III - Stávající technologické parametry

<b>KASKO</b>	<b>Technologické parametry</b>						<b>F-07-05</b>		
Název výrobku: <b>Cover JR95</b>		číslo dílu / výkresu:							
Materiál výlisku: Ultramid B3EG6 natur		Barvivo: Masterbatch / na Ultramid B3EG6 17892		Barva: šedá					
Hmotnost: Čistá: <b>0,0729</b> kg/kus		Spotřební: <b>0,1502</b> kg/tah		Vtok: <b>0,0044</b> kg/tah					
<b>MANIPULÁTOR</b>		Program man.: <b>P22</b>		Rychlost man.: 50%					
		Označení greiferu: <b>ZD023 – C13</b>		Podprogram vyřazování: <b>ANO</b>					
<b>OCHRANA FORMY</b>		s – min <b>25</b> mm		v – max <b>120</b> mm/s		F – max <b>10</b> kN		t – max <b>0,5</b> s	
<b>VSTŘÍK</b>		rychlost: $v_1$ - <b>180</b> $v_2$ - <b>160</b> $v_3$ - <b>140</b> $v_4$ -		$v_5$ - $v_6$ -		$\pm 10$ cm <sup>3</sup> /s			
		tlak: $p_1$ - <b>1450</b> $p_2$ - <b>1450</b> $p_3$ - <b>1450</b> $p_4$ -		$p_5$ - $p_6$ -		$\pm 50$ bar			
		dráha: $s_1$ - <b>140</b> $s_2$ - <b>50</b> $s_3$ - <b>0</b> $s_4$ -		$s_5$ - $s_6$ -		$\pm 5$ cm <sup>3</sup>			
<b>DOTLAK</b>		tlak: $p_1$ - <b>400</b> $p_2$ - <b>400</b> $p_3$ -		$p_4$ -		$\pm 50$ bar			
		doba: $t_1$ - <b>0</b> $t_2$ - <b>4</b> $t_3$ -		$t_4$ -		$\pm 1$ s			
		přepnutí: <b>30</b> $\pm 5$ cm <sup>3</sup>		chlazení: <b>20</b>		$\pm 2$ s			
<b>TEPLOTY</b>		T tryska: <b>242</b> $\pm 5$ °C T 3: <b>228</b> $\pm 5$ °C T 6:		$\pm 5$ °C Prutok <b>5,5 l/min</b>		$\pm 5$ °C			
		T 1: <b>244</b> $\pm 5$ °C T 4: <b>225</b> $\pm 5$ °C T 7:		$\pm 5$ °C T poh.č.: <b>term1: 60</b>		$\pm 5$ °C			
		T 2: <b>239</b> $\pm 5$ °C T 5: $\pm 5$ °C T 8:		$\pm 5$ °C T pev.č.: <b>term2: 60</b>		$\pm 5$ °C			
		Horké vtoky: <b>1x260, 1x250</b>		$\pm 5$ °C		měření T <sub>nástroje</sub> <input type="checkbox"/>			
<b>DÁVKOVÁNÍ</b>		Otáčky šneku: <b>230 - 230</b> $\pm 50$ mm/s		Protitlak: <b>70 - 70</b> $\pm 10$ bar					
		Dávka: <b>150</b>		$\pm 5$ cm <sup>3</sup>					
		Dekomp. před: - $\pm 5$ (cm <sup>3</sup> /s) / cm <sup>3</sup>		Dekomp. po: <b>50/8</b> $\pm 5/\pm 5$ (cm <sup>3</sup> /s) / cm <sup>3</sup>					
<b>ČASY A KONTROLNÍ PARAMETRY</b>		cyklus: <b>41</b> -2 s polštář: <b>19,3</b> cm <sup>3</sup>		<b>TQ</b>					
<b>(informativní hodnoty)</b>		vstřik: <b>0,92</b> s špič. vstřik. tlak: <b>1500</b> bar		<input type="checkbox"/> cyklus		<input checked="" type="checkbox"/> polštář $\pm 2$			
		plastikace: <b>12,2</b> s tlak při přepnutí: <b>1500</b> bar		<input checked="" type="checkbox"/> vstřik $\pm 0,2$		<input type="checkbox"/> špič. vstřik. tlak			
				<input type="checkbox"/> plastikace		<input checked="" type="checkbox"/> tlak při přepnutí $\pm 60$			
Stav form.: 4/2015		Změna: (3)				Strana form.: 1 z 1			

## Příloha V - Záznam měření zkoušky po 24 h od vystříknutí

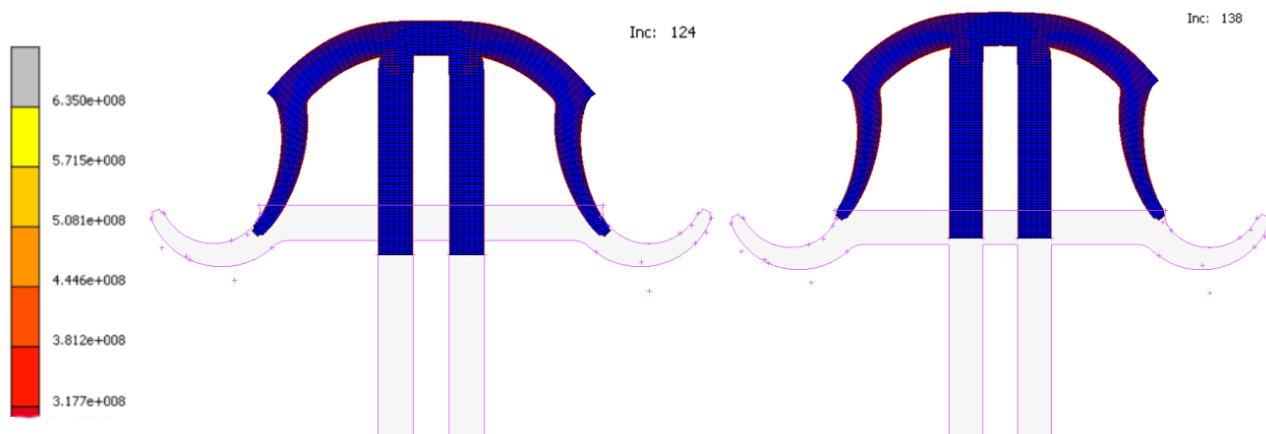
Nastavení	0			1			2		
Č. měření	L1 [mm]	L2 [mm]	L3[mm]	L1 [mm]	L2 [mm]	L3[mm]	L1 [mm]	L2 [mm]	L3[mm]
1	32,4	72,16	107,97	32,38	72,45	107,29	32,41	72,77	107,94
2	32,32	72,14	107,98	32,44	72,46	107,45	32,32	72,72	107,88
3	32,37	72,11	107,84	32,40	72,52	107,36	32,34	72,73	107,90
4	32,38	72,05	107,97	32,36	72,56	107,38	32,37	72,93	107,73
5	32,37	72,19	108,01	32,28	72,46	107,42	32,42	72,89	107,77
6	32,27	72,08	107,95	32,34	72,54	107,31	32,43	72,91	107,83
7	32,34	72,03	107,93	32,41	72,53	107,38	32,41	72,75	107,95
8	32,39	72,12	107,98	32,49	72,41	107,44	32,29	72,75	107,91
9	32,3	72,11	107,99	32,33	72,51	107,37	32,36	72,79	107,81
10	32,41	72,15	108,03	32,51	72,49	107,40	32,39	72,76	107,82
11	32,36	72,17	107,97	32,37	72,55	107,41	32,33	72,83	107,87
12	32,36	72,04	107,95	32,43	72,44	107,32	32,38	72,71	107,87
13	32,35	72,05	108,03	32,27	72,49	107,35	32,43	72,75	107,90
14	32,32	72,09	107,99	32,47	72,51	107,36	32,45	72,89	107,74
15	32,33	72,15	107,99	32,40	72,57	107,34	32,35	72,83	107,90
16	32,36	72,14	107,93	32,36	72,50	107,36	32,36	72,74	107,77
17	32,39	72,14	107,96	32,42	72,51	107,23	32,43	72,87	107,81
18	32,35	72,07	107,94	32,33	72,40	107,44	32,38	72,77	107,90
19	32,32	72,20	107,93	32,27	72,47	107,36	32,33	72,78	107,88
20	32,33	72,12	108,04	32,33	72,47	107,27	32,35	72,75	107,84
21	32,34	72,11	108,03	32,38	72,50	107,40	32,31	72,78	107,69
22	32,39	72,09	107,95	32,31	72,49	107,45	32,34	72,82	107,84
23	32,39	72,05	107,90	32,35	72,46	107,37	32,37	72,63	107,88
24	32,36	72,22	107,96	32,30	72,50	107,46	32,36	72,78	107,91
25	32,33	72,14	107,93	32,29	72,54	107,38	32,42	72,99	107,87
26	32,28	72,10	108,03	32,47	72,52	107,37	32,41	72,81	107,80
27	32,30	72,07	107,97	32,41	72,49	107,38	32,37	72,80	107,83
28	32,43	72,01	107,99	32,40	72,44	107,39	32,34	72,89	107,79
29	32,36	72,11	107,99	32,51	72,54	107,39	32,42	72,76	107,81
30	32,38	72,14	108,05	32,42	72,50	107,39	32,38	72,80	107,89
31	32,38	72,15	107,95	32,40	72,49	107,38	32,28	72,87	107,80
32	32,36	72,07	107,90	32,34	72,46	107,38	32,40	72,84	107,92
33	32,41	72,15	107,88	32,48	72,44	107,38	32,35	72,64	107,83
34	32,42	72,10	107,95	32,24	72,49	107,34	32,33	72,75	107,99
35	32,36	71,98	107,93	32,42	72,46	107,39	32,36	72,78	107,89
36	32,33	72,10	108,01	32,50	72,37	107,45	32,40	72,88	107,81
37	32,32	72,14	108,01	32,32	72,49	107,38	32,37	72,73	107,84
38	32,35	72,13	108,04	32,40	72,43	107,35	32,38	72,85	107,76
39	32,40	72,14	107,93	32,39	72,48	107,34	32,39	72,87	107,92
40	32,36	72,17	107,99	32,47	72,49	107,44	32,34	72,82	107,78
<b>Průměr</b>	32,36	72,11	107,97	32,39	72,49	107,38	32,37	72,80	107,85
<b>Odchylka</b>	0,04	0,05	0,05	0,07	0,04	0,05	0,04	0,07	0,06

Nastavení	3			4		
Č. měření	L1 [mm]	L2 [mm]	L3[mm]	L1 [mm]	L2 [mm]	L3[mm]
1	32,39	72,82	107,80	32,37	72,82	107,88
2	32,45	72,93	107,84	32,35	72,88	107,87
3	32,47	72,78	107,87	32,39	72,93	107,81
4	32,43	72,87	107,95	32,42	72,78	107,95
5	32,51	72,79	107,92	32,49	72,87	107,77
6	32,49	72,74	107,89	32,39	72,79	107,80
7	32,31	72,72	107,94	32,33	72,84	107,73
8	32,36	72,84	107,83	32,28	72,92	107,86
9	32,44	72,88	107,87	32,40	72,95	107,71
10	32,48	72,90	107,98	32,36	72,77	107,94
11	32,39	72,92	107,86	32,32	72,81	107,78
12	32,50	72,85	107,83	32,36	72,86	107,83
13	32,49	72,80	107,89	32,29	72,85	107,76
14	32,45	72,85	107,86	32,44	72,82	107,89
15	32,41	72,87	107,89	32,38	72,84	107,73
16	32,65	72,88	107,91	32,40	72,88	107,85
17	32,40	72,84	107,87	32,43	72,87	107,74
18	32,37	72,69	107,83	32,43	72,99	107,74
19	32,42	72,84	107,87	32,36	72,81	107,86
20	32,44	72,81	107,87	32,39	72,86	107,90
21	32,44	72,86	107,88	32,37	72,80	107,93
22	32,55	72,83	107,80	32,33	72,77	107,69
23	32,34	72,87	107,95	32,26	72,90	107,81
24	32,31	72,71	107,85	32,38	72,84	107,92
25	32,43	72,85	107,86	32,42	72,90	107,76
26	32,43	72,82	107,91	32,40	72,89	107,87
27	32,41	72,83	107,85	32,42	72,81	107,94
28	32,43	72,78	107,87	32,39	72,79	107,84
29	32,42	72,86	107,92	32,41	72,91	107,85
30	32,51	72,80	107,88	32,38	72,88	107,74
31	32,37	72,86	107,85	32,42	72,89	107,88
32	32,35	73,04	107,92	32,30	73,01	107,79
33	32,44	72,75	107,91	32,44	72,86	107,86
34	32,46	72,74	107,80	32,48	72,92	107,82
35	32,43	72,86	107,85	32,38	72,89	107,90
36	32,40	72,81	107,93	32,41	72,92	107,85
37	32,38	72,69	107,96	32,31	72,74	107,79
38	32,43	72,73	107,90	32,28	72,78	108,03
39	32,36	72,91	107,91	32,35	72,88	107,84
40	32,39	72,82	107,78	32,39	72,80	107,87
<b>Průměr</b>	32,37	72,80	107,85	32,38	72,86	107,83
<b>Odchylka</b>	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06	0,07

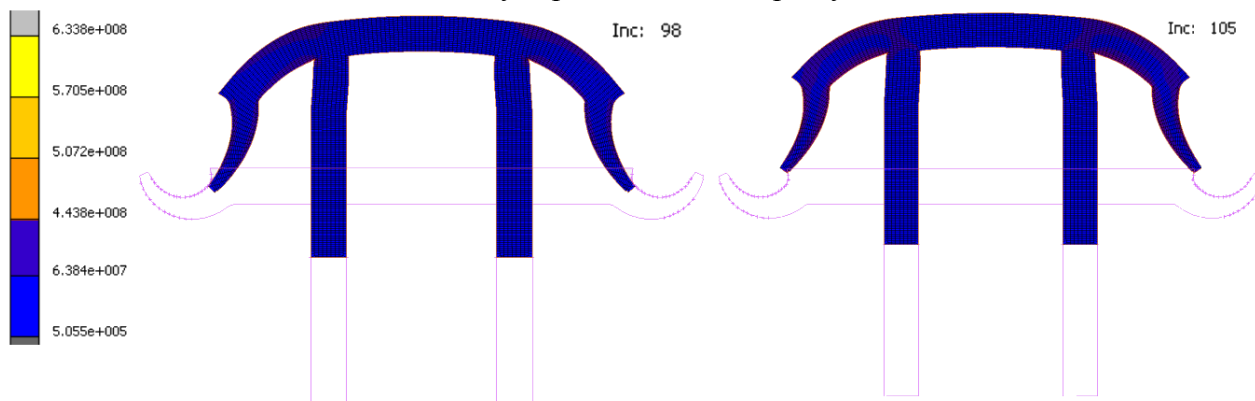
Nastavení	5			6		
	Č. měření	L1 [mm]	L2 [mm]	L3[mm]	L1 [mm]	L2 [mm]
1	32,31	72,96	107,90	32,28	72,51	107,27
2	32,30	73,05	107,96	32,30	72,45	107,38
3	32,36	73,06	107,97	32,34	72,46	107,40
4	32,32	73,01	107,87	32,27	72,43	107,41
5	32,27	72,97	107,87	32,30	72,40	107,33
6	32,39	72,99	107,85	32,39	72,40	107,39
7	32,44	73,03	107,91	32,17	72,53	107,44
8	32,29	72,92	107,82	32,21	72,44	107,35
9	32,38	72,96	107,94	32,33	72,39	107,42
10	32,35	72,89	107,95	32,29	72,41	107,48
11	32,32	73,00	107,97	32,21	72,40	107,35
12	32,26	72,96	107,80	32,39	72,48	107,48
13	32,38	73,07	107,89	32,14	72,44	107,36
14	32,36	72,97	107,91	32,29	72,45	107,32
15	32,41	73,03	107,96	32,34	72,47	107,41
16	32,34	72,91	107,89	32,28	72,38	107,48
17	32,46	73,01	107,90	32,24	72,45	107,45
18	32,30	72,99	107,85	32,33	72,38	107,35
19	32,33	72,99	107,95	32,19	72,49	107,36
20	32,24	73,00	107,94	32,38	72,44	107,44
21	32,37	72,96	107,83	32,19	72,44	107,49
22	32,28	72,95	107,93	32,38	72,39	107,51
23	32,38	72,93	107,84	32,32	72,43	107,42
24	32,32	72,91	107,90	32,30	72,42	107,43
25	32,30	72,98	107,86	32,34	72,46	107,30
26	32,33	72,88	107,86	32,32	72,48	107,38
27	32,32	73,00	107,94	32,37	72,37	107,32
28	32,39	73,00	107,88	32,29	72,45	107,35
29	32,37	73,02	107,91	32,18	72,39	107,37
30	32,38	73,03	107,91	32,21	72,40	107,44
31	32,40	72,99	107,89	32,34	72,48	107,36
32	32,28	72,95	107,84	32,33	72,56	107,39
33	32,38	72,92	107,91	32,34	72,41	107,38
34	32,31	73,02	107,81	32,36	72,39	107,35
35	32,34	73,01	107,88	32,34	72,43	107,36
36	32,33	72,92	107,89	32,28	72,44	107,39
37	32,39	73,02	107,85	32,30	72,45	107,33
38	32,43	73,00	107,94	32,29	72,40	107,39
39	32,30	72,97	107,92	32,26	72,48	107,35
40	32,34	72,95	108,00	32,33	72,39	107,42
<b>Průměr</b>	32,34	72,98	107,90	32,29	72,44	107,39
<b>Odchylka</b>	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05

## Příloha VI - Výsledky pevnostních analýz vtokových vložek MARC

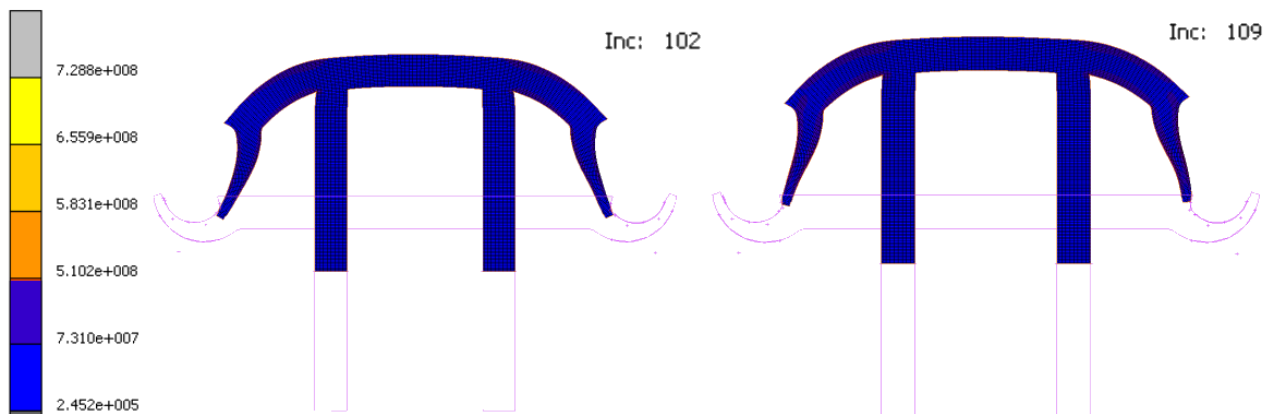
### Analýza originální vtokové vložky



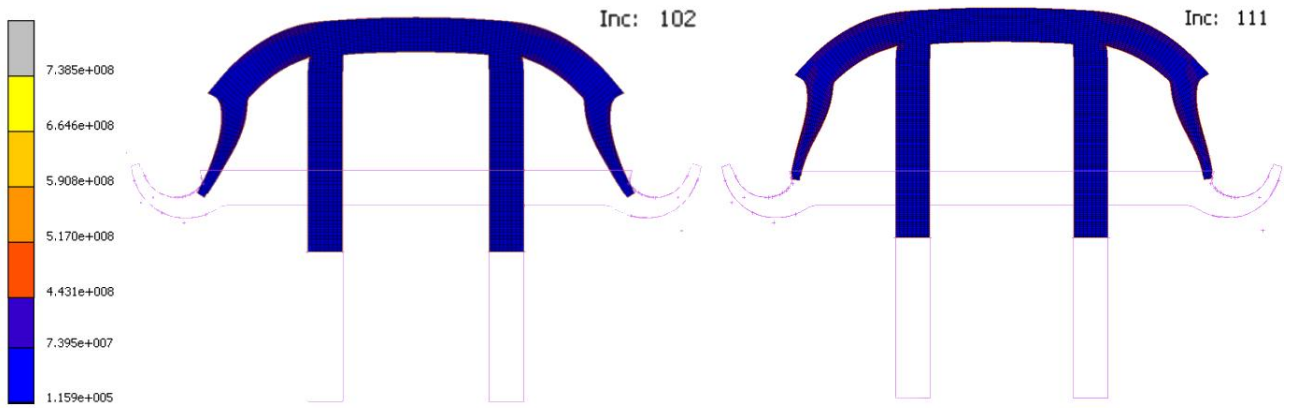
### Analýza prvního návrhu úpravy



### Analýza druhého návrhu úpravy



# Analýza třetího návrhu úpravy





## Příloha VIII - Seznam položek nového návrhu vstříkovací formy

č. pozice	Název, rozměr, polotovar	Výkres / norma	Materiál	Pozn.	Ks
1	Tvárnice	JR95-01-01	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
2	Tvárník	JR95-01-02	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
3	Upínací deska pravá F10/346x546/36/1730	JR95-01-03	1.1730	Meusburger	1
4	Kotevní deska tvárnice F55/346x546/116/2312	JR95-01-04	1.2312	Meusburger	1
5	Kotevní deska tvárníku F55/346x546/136/2312	JR95-01-05	1.2312	Meusburger	1
6	Opěrná deska tvárníku F60/346x46/36/173	JR95-01-06	1.1730	Meusburger	1
7	Rozpěrný sloupek F70/346x546/62/136/1730	JR95-01-07	1.1730	Meusburger	1
8	Upínací deska levá F10/346x546/36/1730	JR95-01-08	1.1730	Meusburger	1
9	Izolační deska E 1405/346x546/8	JR95-01-09		Meusburger	2
10	Středící kroužek P E1360/160/90x20	JR95-01-10		Meusburger	1
11	Středící kroužek L E1375/160/90x20	JR95-01-11		Meusburger	1
12	Vodítko 1	JR95-01-12	1.2312		2
13	Vodítko 2	JR95-01-13	1.2312		2
14	Vodítko 3	JR95-01-14	1.2312		2
15	Vtoková vložka	JR95-01-15	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
16	Kotevní deska vyhadovací F80/346x546/218/22/1730	JR95-01-16	1.1730		1
17	Opěrná deska vyhadovací F85/346x546/218/27/1730	JR95-01-17	1.1730		1
18	Tahač	JR95-01-18	1.1730		1
19	Přidržovač vtoku E1710/6x315	JR95-01-19	1.2516		1
20	Vyhazovač válcový E1710/8x315	JR95-01-20	1.2516		2
21	Šikmý vyhadovač 1.1	JR95-01-21	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
22	Šikmý vyhadovač 1.2	JR95-01-22	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
23	Šikmý vyhadovač 2.1	JR95-01-23	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
24	Šikmý vyhadovač 2.2	JR95-01-24	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
25	Šikmý vyhadovač 3.1	JR95-01-25	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
26	Šikmý vyhadovač 3.1	JR95-01-26	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
27	Šikmý vyhadovač 4.1	JR95-01-27	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
28	Šikmý vyhadovač 4.2	JR95-01-28	1.2343	Kaleno 54 HRC	2
29	Posuv šikmého vyhadovače 1.1	JR95-01-29	1.2312		2
30	Posuv šikmého vyhadovače 1.2	JR95-01-30	1.2312		2
31	Posuv šikmého vyhadovače 2.1	JR95-01-31	1.2312		2
32	Posuv šikmého vyhadovače 2.2	JR95-01-32	1.2312		2

33	Posuv šikmého vyhazovače 3	JR95-01-33	1.2312		2
34	Posuv šikmého vyhazovače 4.1	JR95-01-34	1.2312		2
35	Posuv šikmého vyhazovače 4.2	JR95-01-35	1.2312		2
37	Vodící kolík E1000/32-116/155			Meusburger	4
38	Vodící pouzdro E1105/32-136			Meusburger	4
39	Středící trubka E1160/42-180			Meusburger	4
40	Složené vedení E1325/24x180			Meusburger	4
41	Vodící kolík Z011/20x160			HASCO	2
42	Vodící pouzdro Z10/27/20			HASCO	2
43	Horká tryska Z3440/50x140			HASCO	1
44	El. konetor SHCB10+SIM10+PCB			Synventive	1
45	Přípojka Z811/13/16x1,5			HASCO	4
46	O kroužek Z98/10/2,4			HASCO	4
47	O kroužek Z98/8/2			HASCO	4
48	O kroužek Z98/12/2			HASCO	2
49	Obtoková vložka E2100/10/100		2.0401	Meusburger	4
50	Temperační tryska E21196/6,4/10x450		2.0401	Meusburger	4
51	Transportní zámky E1240/8x16			Meusburger	2
52	Transportní zařízení E19301/82			Meusburger	1
53	Ucpávka Z942/10			HASCO	17
54	Ucpávka Z942/12			HASCO	5
55	Ucpávka Z942/8			HASCO	48
56	Uzavírací šroub Z94/10			HASCO	10
57	Uzavírací šroub Z94/8/0,75			HASCO	30
58	Uzavírací šroub Z94/12/1,5			HASCO	7
59	Dorazy E1500/30			Meusburger	6

60	Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem Z31/16x80	ISO 4762		HASCO	4
61	Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem Z31/4x16	ISO 4762		HASCO	4
62	Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem Z31/8x65	ISO 4762		HASCO	12
63	Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem Z31/16x240	ISO 4762		HASCO	4
64	Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem Z31/10x80	ISO 4762		HASCO	6
65	Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem Z31/8x25	ISO 4762		HASCO	4
66	Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem Z31/12x35	ISO 4762		HASCO	4
67	Šroub se zápustnou hlavou a vnitřním šestihranem Z 33/8x30	ISO 10642		HASCO	6
68	Šroub se zápustnou hlavou a vnitřním šestihranem Z 33/6x20	ISO 10642		HASCO	12
69	Šroub se zápustnou hlavou a vnitřním šestihranem Z 33/5x12	ISO 10642		HASCO	6

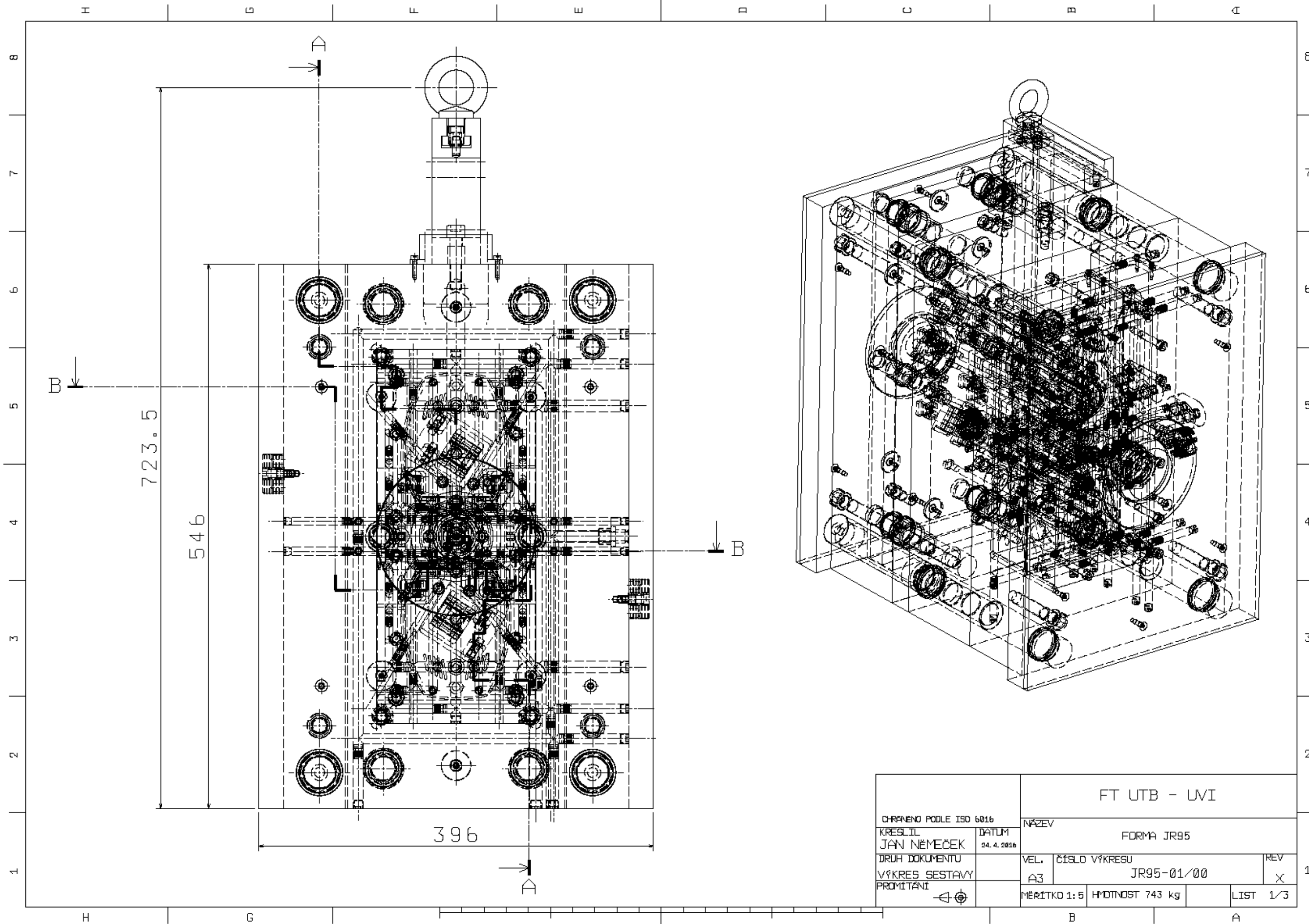
## Příloha IV - Nastavení a výsledky analýz optimalizace původní formy

	Rozměr	s	s	cm <sup>3</sup> /s	cm <sup>3</sup> /s	s	bar	s	°C	°C	mm	mm	mm	%	s <sup>-1</sup>	s	s
VARY	ID	Fill time set	Fil time real	Flow rate I	Flow rate II	Packing time	Pack pressure	Cool	HC Stat	HC move	SW Deformation	SW AV shrink	SW warp	Sink Marks	shear rate	Req Cooling time	Cycle time
8	1	0,75	0,779	165	145	5	375	12,5	75	60	0,842	0,78	0,859	4,55	1659233	11,26	34,25
8	2	0,65	0,868	150	135	4	300	10	75	60	0,99	0,837	0,843	18,26	1510156	10,87	30,65
8	3	0,65	0,722	180	155	4	450	10	75	60	0,909	0,82	0,92	16,6	1807988	10,72	30,65
8	4	0,65	0,757	180	135	6	300	15	75	60	0,853	0,754	0,748	3,18	1807853	11,2	37,65
8	5	0,65	0,82	150	155	6	450	15	75	60	0,753	0,723	0,785	2,68	1509766	11,2	37,65
8	6	0,85	0,825	150	155	6	300	10	75	60	0,844	0,772	0,791	3,28	1509863	13,3	32,85
8	7	0,85	0,704	180	135	6	450	10	75	60	0,752	0,742	0,833	3,35	1807854	13,1	32,85
8	8	0,85	0,697	180	155	4	300	15	75	60	1,22	0,823	0,794	20,93	1808075	11,3	35,85
8	9	0,85	0,851	150	135	4	450	15	75	60	0,907	0,798	0,862	13,9	1510343	11,25	35,85
9	1	0,75	0,779	165	145	5	375	12,5	85	60	0,797	0,793	0,98	5,21	1658349	11,9	34,25
9	2	0,65	0,868	150	135	4	300	10	85	60	0,942	0,846	0,952	20,76	1508942	10,87	30,65
9	3	0,65	0,722	180	155	4	450	10	85	60	0,869	0,83	1,03	19,18	1806438	10,72	30,65
9	4	0,65	0,757	180	135	6	300	15	85	60	0,774	0,77	0,889	3,39	1806547	12	37,65
9	5	0,65	0,82	150	155	6	450	15	85	60	0,699	0,741	0,961	2,87	1509034	11,98	37,65
9	6	0,85	0,825	150	155	6	300	10	85	60	0,774	0,783	0,916	3,34	1508986	13,97	32,85
9	7	0,85	0,704	180	135	6	450	10	85	60	0,703	0,754	0,987	3,57	1807443	13,8	32,85
9	8	0,85	0,697	180	155	4	300	15	85	60	0,973	0,833	0,888	23,8	1806604	12,1	35,85
9	9	0,85	0,851	150	135	4	450	15	85	60	0,862	0,808	0,979	16,6	1508993	12,06	35,85
10	1	0,75	0,779	165	145	5	375	12,5	85	70	0,888	0,811	0,871	5,94	1657715	12,53	34,25
10	2	0,65	0,868	150	135	4	300	10	85	70	1,04	0,863	0,851	22,9	1510867	16,97	30,65
10	3	0,65	0,722	180	155	4	450	10	85	70	0,956	0,847	0,927	21,87	1804527	18,68	30,65
10	4	0,65	0,757	180	135	6	300	15	85	70	0,884	0,788	0,791	3,46	1806093	12,39	37,65
10	5	0,65	0,82	150	155	6	450	15	85	70	0,786	0,761	0,86	2,75	1510828	12,51	37,65

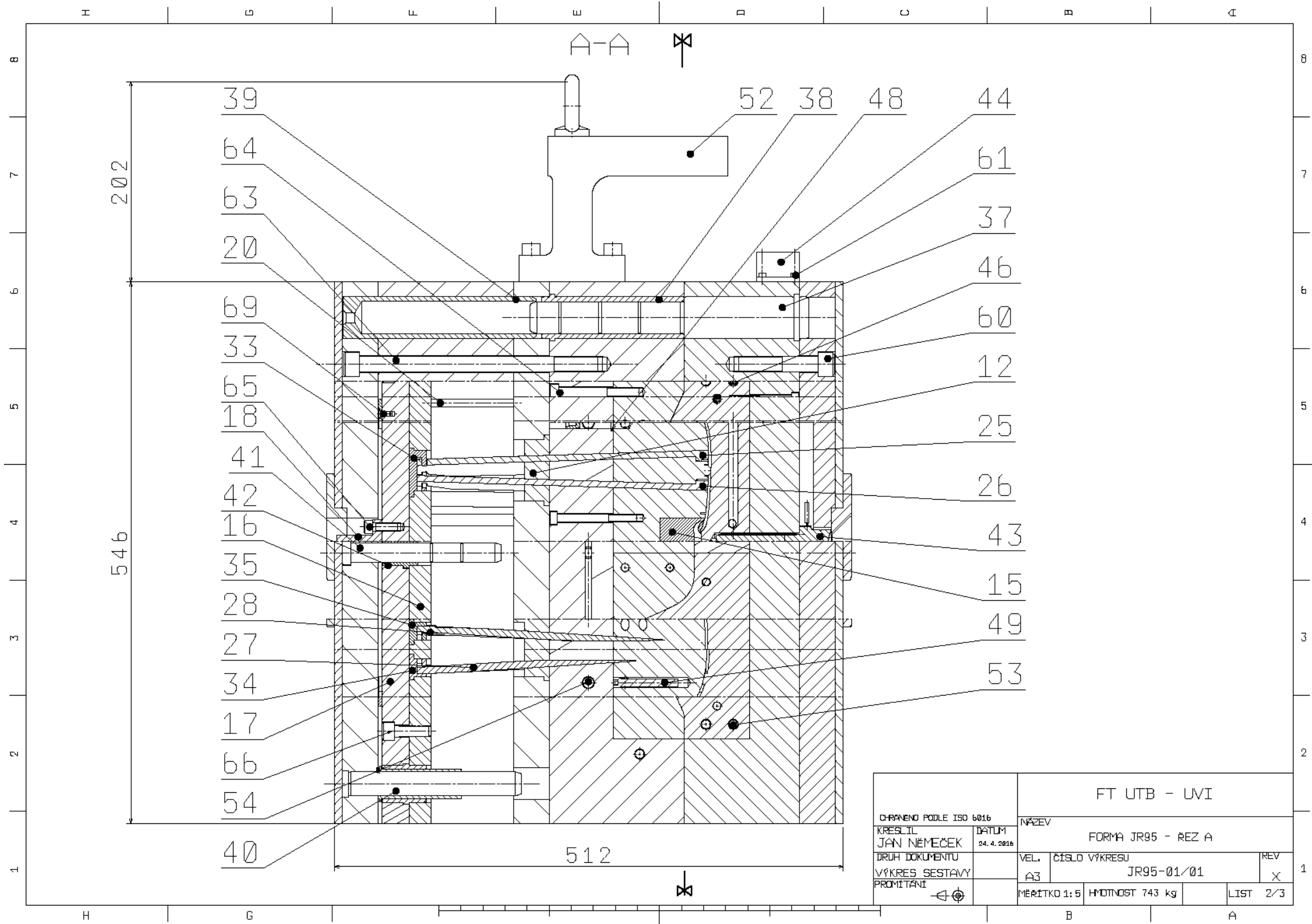
	Rozměr	s	s	cm3/s	cm3/s	s	bar	s	°C	°C	mm	mm	mm	%	s-1	s	s
VARY	ID	Fill time set	Fil time real	Flow rate I	Flow rate II	Packing time	Pack pressure	Cool	HC Stat	HC move	SW Deformation	SW AV shrink	SW warpage	Sink Marks	shear rate	Req Cooling time	Cycle time
10	5	0,65	0,82	150	155	6	450	15	85	70	0,786	0,761	0,86	2,75	1510828	12,51	37,65
10	6	0,85	0,825	150	155	6	300	10	85	70	0,871	0,799	0,826	3,89	1511020	13,84	32,85
10	7	0,85	0,704	180	135	6	450	10	85	70	0,787	0,773	0,881	3,62	1804690	13,52	32,85
10	8	0,85	0,697	180	155	4	300	15	85	70	1,087	0,855	0,826	26,4	1805678	12,59	35,85
10	9	0,85	0,851	150	135	4	450	15	85	70	0,963	0,832	0,88	19,28	1511188	12,7	35,85
11	1	0,75	0,779	165	145	5	375	12,5	75	65	0,893	0,791	0,81	4,82	1658852	11,5	34,25
11	2	0,65	0,868	150	135	4	300	10	75	65	1,052	0,845	0,81	20,23	1509582	10,87	30,65
11	3	0,65	0,722	180	155	4	450	10	75	65	0,958	0,828	0,865	17,79	1806540	10,72	30,65
11	4	0,65	0,757	180	135	6	300	15	75	65	0,915	0,768	0,725	3,17	1806933	11,38	37,65
11	5	0,65	0,82	150	155	6	450	15	75	65	0,811	0,733	0,749	2,8	1509387	11,3	37,65
11	6	0,85	0,825	150	155	6	300	10	75	65	0,908	0,782	0,749	3,59	1509644	13,3	32,85
11	7	0,85	0,704	180	135	6	450	10	75	65	0,804	0,751	0,794	3,32	1806608	12,97	32,85
11	8	0,85	0,697	180	155	4	300	15	75	65	1,101	0,832	0,807	22,17	1806995	11,58	35,85
11	9	0,85	0,851	150	135	4	450	15	75	65	0,96	0,807	0,811	15,12	1509185	11,47	35,85
12	1	0,75	0,779	165	145	5	375	12,5	60	60	0,972	0,767	0,73	3,96	1656363	10,1	34,25
12	2	0,65	0,868	150	135	4	300	10	60	60	1,117	0,822	0,806	15,41	1510788	10,54	30,65
12	3	0,65	0,722	180	155	4	450	10	60	60	1,002	0,804	0,787	13,38	1808593	10,32	30,65
12	4	0,65	0,757	180	135	6	300	15	60	60	1,036	0,736	0,705	2,8	1808377	10,75	37,65
12	5	0,65	0,82	150	155	6	450	15	60	60	0,925	0,702	0,661	2,56	1511014	10,52	37,65
12	6	0,85	0,825	150	155	6	300	10	60	60	1,012	0,756	0,708	3,4	1511171	10,82	32,85
12	7	0,85	0,704	180	135	6	450	10	60	60	0,912	0,722	0,676	3	1808933	10,53	32,85
12	8	0,85	0,697	180	155	4	300	15	60	60	1,177	0,807	0,813	17,67	1807939	10,38	35,85
12	9	0,85	0,851	150	135	4	450	15	60	60	1,01	0,782	0,768	10,55	1511196	10,24	35,85
Original	1	0,92	0,721	180	160	4	400	20	60	60	1,109	1,323	0,79	12,4	1808847	10,21	40,92

## Příloha VII - Nastavení a výsledky analýz optimalizace nové formy

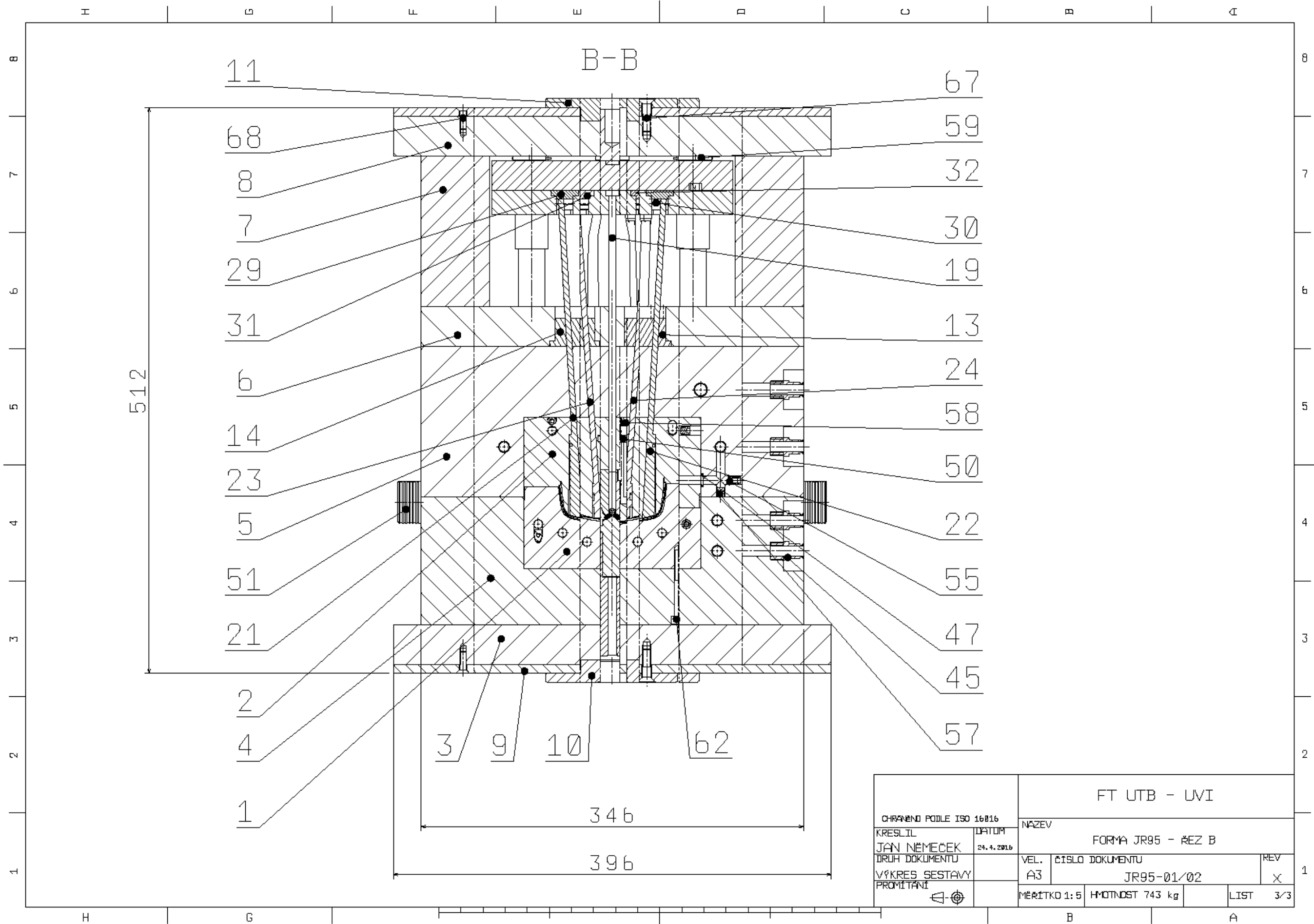
	Rozměr	s	s	cm <sup>3</sup> /s	cm <sup>3</sup> /s	s	bar	s	°C	°C	mm	mm	mm	%	s <sup>-1</sup>	s	s	°C
VARY	ID	Fill time set	Fil time real	Flow rate I	Flow rate II	Packing time	Pack pressure	Cool	HC Stat	HC move	SW Deformation	SW AV shrink	SW warpage	Sink Marks	shear rate	Req Cooling time	Cycle time	Melt temp
3	6	0,8	0,76	150	160	8	400	10	60	90	0,891	0,8	0,941	2,054	221432	41,41	34,76	295
1	8	0,8	0,754	160	160	7	300	12	80	60	1,22	0,76	0,83	0,51	215530	15,35	35,754	260
1	4	0,8	0,863	140	140	7	500	12	60	60	1,22	0,67	0,893	0,33	194696	12,35	35,863	260
2	4	0,8	0,763	150	160	6	400	11	80	65	1,228	0,773	0,863	0,7	218034	14,29	33,763	260
3	5	0,8	0,763	150	160	8	400	16	100	90	1,24	0,75	0,856	0,36	217199	15,56	40,763	255
2	1	0,8	0,764	150	160	6	330	12	75	60	1,267	0,769	0,875	0,7	219261	12,37	34,764	265
2	5	0,8	0,763	150	160	6	400	11	90	75	1,267	0,8	0,897	1,06	221707	16,39	33,763	260
2	2	0,8	0,76	150	160	6	400	11	75	60	1,28	0,78	0,909	1,9	220992	14,5	33,76	275
2	6	0,8	0,763	150	160	6	400	17	90	75	1,29	0,79	0,897	1,1	215744	13,19	39,763	260
3	4	0,8	0,763	150	160	8	400	16	60	60	1,32	0,66	0,987	0,24	218433	12,56	40,763	255
1	5	0,8	0,862	140	140	7	500	8	80	80	1,36	0,74	0,993	0,22	191002	15,47	31,862	260
3	1	0,8	0,764	150	160	6	400	13	80	75	1,476	0,82	1,06	3,36	220770	16,45	35,764	275
2	3	0,8	0,765	150	160	5	330	15	70	60	1,489	0,79	1,091	3,2	228276	11,99	36,765	265
1	1	0,8	0,805	150	150	5	400	10	70	70	1,541	0,82	1,131	2,32	204510	13,54	31,805	260
3	2	0,8	0,765	150	160	4	400	10	60	60	1,59	0,81	1,191	8,72	219332	10,18	30,765	255
3	3	0,8	0,765	150	160	4	400	10	100	90	1,67	0,89	1,218	28,45	220947	15,47	30,765	255
1	9	0,8	0,754	160	160	7	300	8	60	80	1,75	0,76	1,386	0,56	220122	14,29	31,754	260
3	7	0,8	0,76	150	160	8	400	10	60	90	1,824	0,81	1,427	2,018	222776	61,34	34,76	295
1	6	0,8	0,754	160	160	3	500	8	80	60	1,86	0,89	1,416	40,59	220052	11,96	27,754	260
1	2	0,8	0,863	140	140	3	300	8	60	60	2,178	0,88	1,745	34,4	192882	11,6	27,863	260
3	8	0,8	0,76	150	160	4	400	16	100	60	2,25	0,9	1,807	49,42	227324	15,69	36,76	295
1	3	0,8	0,863	140	140	3	500	12	80	80	2,44	0,91	2,01	47,58	195633	11,9	31,863	260
1	7	0,8	0,754	160	160	3	500	12	60	80	2,47	0,87	2,053	41,92	221591	10,57	31,754	260
3	9	0,8	0,76	150	160	4	400	16	60	90	3,23	0,91	2,798	47,9	226805	14,7	36,76	295



CHRANĚNO PODLE ISO 6016		NÁZEV FORMA JR95		
KRESLIL JAN NĚMEČEK	DATUM 24. 4. 2016	VEL. A3	ČÍSLO VÝKRESU JR95-01/00	REV X
DRUH DOKUMENTU VÝKRES SESTAVY PROMÍTÁNÍ		MĚŘITKO 1:5	HMOTNOST 743 kg	LIST 1/3







CHRÁNĚNO PODLE ISO 16816		FT UTB - UVI	
KRESLIL JAN NĚMEČEK	DATAUM 24. 4. 2015	NAZEV FORMA JR95 - ŘEZ B	
DŘUH DOKUMENTU VÝKRES SESTAVY PROMÍTÁNÍ		VEL. A3	ČÍSLO DOKUMENTU JR95-01/02
		MĚRITKO 1:5	HMOTNOST 743 kg
		LIST	3/3

