

Konstrukce nástroje pro výrobu mřížky palubní desky automobilu technologií vstřikování

Bc. Filip Vondráček

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Filip Vondráček
Osobní číslo:	T23512
Studijní program:	N0788A270008 Konstrukce nástrojů
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce nástroje pro výrobu mřížky palubní desky automobilu technologií vstřikování

Zásady pro vypracování

- Vypracovat literární studii pro dané téma.
- Provést konstrukci modelu zadané součásti.
- Navrhnout 3D konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na výrobitelnost.
- Ověřit funkčnost navrženého řešení pomocí simulace v software MoldFlow.
- Nakreslit 2D řez vstřikovací formou s kusovníkem.

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

Seznam doporučené literatury:

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, 2008. ISBN 978-1-56990-420-6
BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3
WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, 2018. ISBN 978-1-56990-619-4
KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018. ISBN 978-1-56990-645-3.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 3. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Teoretická část této práce se zabývá technologií vstřikování, zásadami správného návrhu vstřikovaných výrobků a vstřikovacích forem. V souvislosti se vstřikováním je rovněž diskutováno využití simulace v programech CAE. Nakonec jsou zmíněny oblasti použití plastů v automobilovém průmyslu a metoda reverzního inženýrství.

Praktická část práce se zabývá převodem vybraného fyzického výrobku do 3D modelu, konstrukcí vstřikovací formy pro tento výrobek, nastavením a popisem výsledků simulace vstřikování.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, konstrukce, vstřikovaný výrobek, simulace, CAE

ABSTRACT

The theoretical part of this thesis deals with the technology of injection moulding, the principles for the correct design of injection moulded products and injection moulds. The use of simulation in CAE programmes in the context of injection moulding is also discussed. Finally, the areas of application of plastics in the automotive industry and the reverse engineering method are mentioned.

The practical part of the thesis deals with the conversion of the selected physical product into a 3D model, the design of the injection mould for this product, the setup and description of the results of the injection moulding simulation.

Keywords: injection moulding, injection mould, design, injection moulded part, simulations, CAE

Chtěl bych poděkovat panu doc. Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při psaní diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi, Ph.D. za naskenování mřížky.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	15
1.1 VÝHODY VSTŘIKOVÁNÍ	15
1.2 NEVÝHODY VSTŘIKOVÁNÍ.....	15
1.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	16
1.4 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	17
2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	18
2.1 TENKÁ A ROVNOMĚRNÁ TLOUŠŤKA STĚN.....	19
2.2 ÚKOSY.....	21
2.3 ZAOBLENÍ A ZKOSENÍ	22
2.4 VÝZTUHY A ŽEBRA.....	23
2.5 PODKOSY.....	25
2.6 TYPY POVRCHŮ	25
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	28
3.1 SESTAVA VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	28
3.1.1 Desky forem.....	29
3.1.2 Příslušenství forem.....	29
3.1.3 Manipulace s formami.....	31
3.1.4 Identifikační štítky forem.....	31
3.2 VTOKOVÝ SYSTÉM.....	32
3.3 ROZMÍSTĚNÍ DUTIN VE VSTŘIKOVACÍ FORMĚ.....	32
3.3.1 Geometricky vyvážené rozvodné kanály	33
3.3.2 Geometricky nevyvážené rozvodné kanály.....	35
3.4 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM	36
3.4.1 Vtoková vložka	37
3.4.2 Rozvodné kanály	39
3.4.3 Vtoková ústí.....	41
3.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	45
3.5.1 Cíle návrhu chladicího systému	45
3.5.2 Temperační kanály kanály v deskách.....	46
3.5.3 Vzdálenost temperačních kanálů od otvorů a povrchů	48
3.5.4 Ucpávky a přepážky v deskách.....	49
4 VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH PROGRAMŮ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....	51
4.1 CAE (COMPUTER AIDED ENGINEERING).....	52
4.2 VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH A OPTIMALIZAČNÍCH PROGRAMŮ CAE.....	52

5	PLASTY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU.....	55
5.1	SOUČÁSTI EXTERIÉRU.....	56
5.2	SOUČÁSTI INTERIÉRU.....	57
5.3	SOUČÁSTI POD KAPOTOU	57
6	REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ.....	58
6.1	TECHNOLOGIE PRO 3D SKENOVÁNÍ	58
6.1.1	Pasivní metody.....	59
6.1.2	Aktivní metody.....	59
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	61
7	CÍLE PRÁCE.....	62
8	VÝROBEK.....	63
8.1	PŘEVEDENÍ SKUTEČNÉHO VÝROBKU NA 3D MODEL	66
8.2	VERZE 3D MODELU MŘÍŽKY	67
9	KONFIGURACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ.....	69
9.1	SÍŤ MODELU.....	69
9.2	PRIMÁRNÍ MATERIÁL ABS	69
9.3	ALTERNATIVNÍ MATERIÁL PP.....	70
9.4	ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ.....	71
9.4.1	Materiál ABS.....	71
9.4.2	Materiál PP	72
9.5	PŘEDBĚŽNÁ TOKOVÁ SIMULACE.....	72
9.5.1	Materiál ABS.....	72
9.5.2	Materiál PP	72
10	VSTŘIKOVACÍ FORMA	73
10.1	DĚLICÍ ROVINA.....	73
10.2	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	74
10.3	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	76
10.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	77
10.5	VEDENÍ A STŘEDĚNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	77
10.6	TVAROVÉ VLOŽKY	79
10.7	VYHAZOVACÍ PAKET	80
10.8	ŘEŠENÍ TRANSPORTU VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	81
11	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	83
12	NASTAVENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK SIMULACE.....	84
12.1	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	84
12.2	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	85

12.3	PROCESNÍ PARAMETRY PRO MATERIÁL ABS	88
12.4	PROCESNÍ PARAMETRY PRO MATERIÁL PP.....	89
13	VÝSLEDKY SIMULACE – MATERIÁL ABS.....	90
13.1	VÝSLEDKY TEMPERACE.....	90
13.1.1	Teplota média v okruhu.....	90
13.1.2	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty výrobku	92
13.1.3	Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu.....	94
13.2	VÝSLEDKY PLNĚNÍ A DOTLAKU	96
13.2.1	Doba zaplnění dutiny taveninou.....	96
13.2.2	Smykové napětí na stěně	96
13.2.3	Rychlost smykové deformace	97
13.2.4	Čas do zatuhnutí jakékoli části vtokového systému.....	98
13.3	VÝSLEDEK SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE.....	98
14	VÝSLEDKY SIMULACE – MATERIÁL PP	100
14.1	VÝSLEDKY TEMPERACE.....	100
14.1.1	Teplota média v okruhu.....	100
14.1.2	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty výrobku	100
14.1.3	Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu.....	101
14.2	VÝSLEDKY PLNĚNÍ A DOTLAKU	102
14.2.1	Doba zaplnění dutiny taveninou.....	102
14.2.2	Smykové napětí na stěně	103
14.2.3	Rychlost smykové deformace	104
14.2.4	Čas do zatuhnutí jakékoli části vtokového systému.....	105
14.3	VÝSLEDEK SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE.....	105
15	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	107
	ZÁVĚR.....	109
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	110
	SEZNAM OBRÁZKŮ	115
	SEZNAM TABULEK.....	119
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	120

ÚVOD

Vstřikování je univerzální a široce používaný výrobní proces pro velkoobjemovou výrobu plastových dílů. Tento proces zahrnuje roztavení plastových granulí a vstřikování roztaveného plastu do dutiny formy pod vysokým tlakem. Plast poté ztuhne a získá tvar formy, načež se forma otevře a díl je vyhozen. Vstřikování je obzvláště vhodné pro hromadnou výrobu díky své schopnosti vyrábět složité díly s úzkými tolerancemi efektivně a hospodárně.

Konstrukce vstřikovaných dílů zahrnuje několik kritérií, které zajišťují vyrobitelnost a optimální vlastnosti. Mezi klíčové faktory patří rovnoměrná tloušťka stěny, vhodné úhly úkosů a zamezení podkosům, které mohou vyžadovat složité prvky ve formě. Důležitá je také povrchová úprava.

Konstrukce vstřikovací formy má zásadní význam pro úspěšnou výrobu plastových dílů. Dobře navržená forma musí odolávat náročným podmínkám vstřikovacího procesu, včetně vysokých teplot a tlaků. Proces návrhu formy zahrnuje vytvoření dutiny, která odráží požadovaný tvar dílu, zvolení vhodného vtokového systému, začlenění temperačních kanálů pro usnadnění rovnoměrného odvodu tepla a zajištění snadného vyhození dílu.

Simulace CAE (Computer-Aided Engineering) hrají zásadní roli při optimalizaci procesu vstřikování. Tyto simulace pomáhají předpovídat chování roztaveného plastu ve formě a identifikovat potenciální problémy, jako jsou deformace, propadliny a nedotečení. Díky analýze faktorů, jako jsou vzorce proudění, rozložení teploty a tlakové gradienty, umožňují simulace zdokonalit návrhy forem a parametry zpracování před fyzickou výrobou prototypů.

Automobilový průmysl ve velké míře spoléhá na vstřikování plastů při výrobě široké škály plastových součástí, od malých přesných dílů až po velké konstrukční prvky. Plasty nabízejí několik výhod, včetně nízké hmotnosti a odolnosti proti korozi. Použití plastů v automobilovém průmyslu přispívá ke snížení spotřeby paliva a snížení emisí vozidel.

Reverzní inženýrství zahrnuje dekonstrukci stávajících dílů pro pochopení jejich konstrukce. Tento proces obvykle zahrnuje 3D skenování dílu za účelem vytvoření digitálního modelu, který lze následně analyzovat a upravit pomocí softwaru CAD. Reverzní inženýrství je obzvláště užitečné ve scénářích, kdy nejsou k dispozici původní konstrukční data nebo kdy je třeba vylepšit stávající konstrukce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je výrobní technologie pro hromadnou výrobu plastových dílů s dobrými tolerancemi. Při vstřikování se polymerní granule nejprve roztaví a poté se pod tlakem vstříknou do formy, kde se tekutý plast ochladí a ztuhne. Materiály používané při vstřikování jsou termoplastické polymery, které mohou být barevné nebo plněné jinými přísadami. [1]

Téměř každý plastový díl byl vyroben pomocí vstřikování: od automobilových dílů přes elektronické kryty až po kuchyňské spotřebiče. [1]

Vstřikování je tak oblíbené, protože při výrobě velkých objemů jsou náklady na jednotku dramaticky nízké. Vstřikování nabízí vysokou opakovatelnost a dobrou konstrukční flexibilitu. Hlavní omezení vstřikování obvykle spočívají v ekonomice, protože je nutná vysoká počáteční investice do formy. Také doba od návrhu k výrobě je pomalá (nejméně 4 týdny). [1]

1.1 Výhody vstřikování

- Efektivní vysoká produkce – po vyvinutí forem je proces extrémně rychlý s dobou cyklu i pod 10 sekund. Je vynikající pro středně a velkosériovou výrobu od 10 000 dílů až po výrazně více než 100 000 dílů. Výroba lze zvýšit použitím více dutinových forem.
- Nízké náklady na jeden díl – při vysokém objemu výroby jsou náklady na jeden díl velmi nízké.
- Opakovatelnost – identické výrobky lze vyrábět opakovaně. Ideální v případě potřeby mít díly s vysokou tolerancí a spolehlivostí ve velkých objemech.
- Velký výběr materiálů.
- Nízký odpad.
- Vysoká úroveň detailů.
- Malé nebo žádné následné zpracování. [2]

1.2 Nevýhody vstřikování

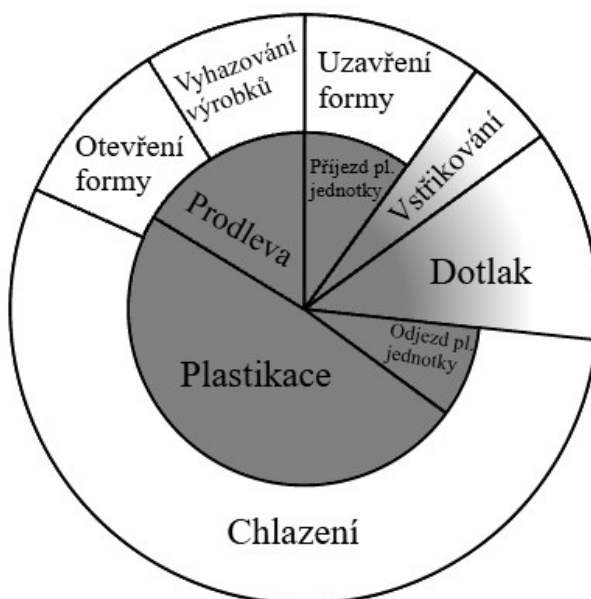
- Počáteční náklady.

- Omezení návrhu – nutnost brát v potaz určité konstrukční prvky, jako např: použití úkosů a poloměrů, které usnadňují vyhazování dílů, vyhnutí se podkosů a ostrým hranám, kontrola tloušťky stěn. Pokud je důležitá estetika, zvážení, kam umístit vtokové ústí, vyhazovače a temperační kanály.
- Malé série dílů nejsou vždy nákladově efektivní. [2]

1.3 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se skládá z fáze uzavření formy, vstřikování (plnění formy), dotlaku, chlazení a otevření formy. Během otevírání formy dochází k vyhazování výrobků. Plastikace nové dávky obvykle začíná na konci fáze dotlaku a končí během fáze chlazení formy. U běžných výrobků trvá fáze chlazení přibližně dvě třetiny celkové doby cyklu. Na začátku je forma studená a prvních dvacet nebo více výstřiků formu zahřeje. V této fázi je přenos tepla z horké taveniny větší než teplo odváděné chladicími prostředky v důsledku malého rozdílu teplot mezi povrchem chladicího kanálu a chladicími prostředky. Se zvyšující se teplotou formy se tento rozdíl zvětšuje a zvyšuje se i rychlost odvádění tepla. Když se teplo vstupující do formy z horké taveniny rovná teplu odevzdanému chladicímu médiu, vstřikovací cyklus dosáhne cyklického ustáleného stavu. Poté teplota formy v rámci každého cyklu mírně kolísá. Stabilní sériová výroba pak může probíhat za předpokladu, že lze udržet teplotu okolí a podmínky stroje. Konečné vlastnosti výrobku jsou určeny fázemi plnění, dotlaku a chlazení. Kromě správného nastavení stroje je pro dosažení vysoce kvalitních dílů stejně důležité porozumění vlastnostem taveniny při zpracování, jako je viskozita a smrštění, a také vhodná konstrukce formy. [3]

Vstřikovací cyklus je graficky znázorněný na obrázku 1. Cyklus začíná uzavřením formy a příjezdem plastikační jednotky. [3][4]



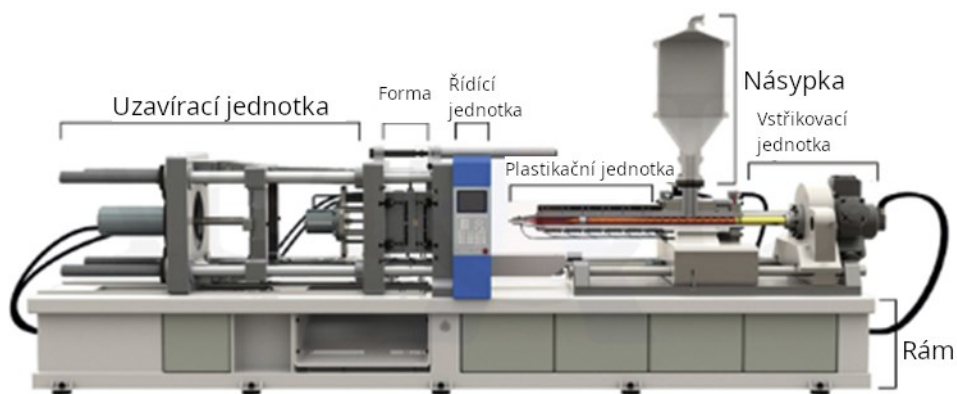
Obrázek 1 Vstřikovací cyklus

(zdroj: [4])

1.4 Vstřikovací stroj

Na obrázku 2 je zobrazen základní vstřikovací stroj, který je vhodný pro výrobu výrobků různých tvarů z termoplastů. Má dvě základní funkce: 1) zahřátí plastů do roztaveného stavu a 2) vstříknutí roztaveného plastu pod vysokým tlakem tak, aby zcela vyplnil dutinu formy. [5]

Systémy vstřikovacích strojů mají často různé součásti vzhledem k různým typům a použitím, ale obecně se skládají ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky, jednotky formy, plastikační jednotky, dávkovací jednotky a řídicí jednotky. [5]



Obrázek 2 Schéma vstřikovacího stroje

(zdroj: [5])

2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

Při konstrukci plastových dílů závisí úspěšnost na jednom hlavním faktoru: jak vhodně jsou využity rozmanité vlastnosti plastů a metod zpracování k dosažení optimálních výsledků. Cílem je volba nejlepšího polymerního materiálu, aby byl plně využit potenciál polymeru a aby vstříkovaný díl splňoval funkční i cenové požadavky (obrázek 3). [6]

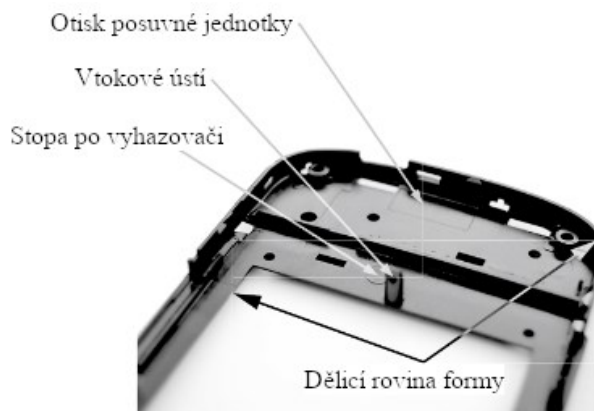


Obrázek 3 Příklady funkční integrace, původní funkce komponent rozšířeny jednoduchými prostředky

(zdroj: [6])

Před provedením analýzy návrhu je nutné vědět a pochopit, co musí konečný výrobek splňovat a za jakých podmínek bude fungovat. Pokud je to možné, měl by konstruktér vždy myslet na vyrobitelnost návrhu. Vstříkované díly mají tři speciální vlastnosti, které mají přímý vliv na optickou kvalitu:

- Tento proces vyžaduje minimálně dvě poloviny formy pro odformování. Dělicí rovina mezi polovinami formy je téměř vždy viditelná a hmatatelná. Pro odformování jsou často nutné posuvné jednotky, které se pohybují příčně k otevíracímu pohybu, aby se odformovaly podkoso, a rovněž vytvářejí dělicí čáry, které jsou viditelné a hmatatelné.
- Jedna z polovin formy obsahuje vyhazovací systém. Kolíky, které jsou v nejjednodušším případě válcové, vystupují na povrchu součásti (obrázek 4).
- Bod vtokového ústí obvykle zanechává jasně viditelný bod odtržení. [6]



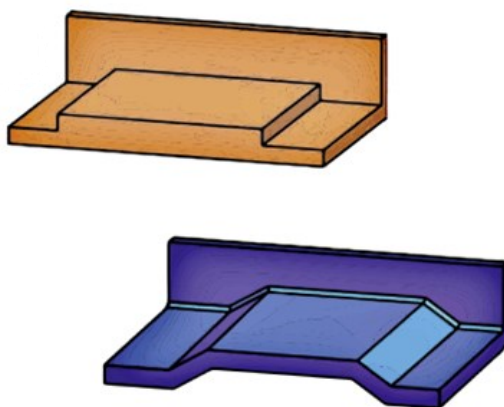
Obrázek 4 Nevyhnutelné otisky na vstříkovaných dílech

(zdroj: [6])

Často lze minimalizovat ztráty kvality přemístěním vtokového ústí do nekritických oblastí, tak aby dělicí rovina co nejvíce kopírovala hrany součásti, a případným přemístěním oddělování posuvných jednotek na neviditelnou stranu. Další možností je použití vhodné textury povrchu, která skryje výše uvedené stopy. [6]

2.1 Tenká a rovnoměrná tloušťka stěn

Základním pravidlem pro vstřikování termoplastických výrobků jsou rovnoměrné a symetrické tloušťky stěn. Nerovnoměrná nebo velká tloušťka stěny způsobuje smrštění, dutiny a povrchové propadliny. Tlusté stěny zároveň prodlužují dobu chlazení. Obrázky 5 až 8 ukazují nestejný průřez stěny, který by měl být nahrazen tenkou stejnoměrnou stěnou se stejnou pevností jako původní průřez s tlustou stěnou. [6][7][8]



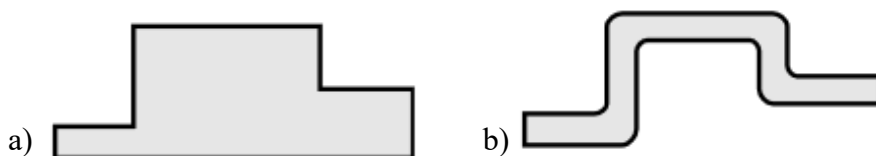
Obrázek 5 Nevhodné řešení – oranžově, vhodné řešení – modře

(zdroj: [6])



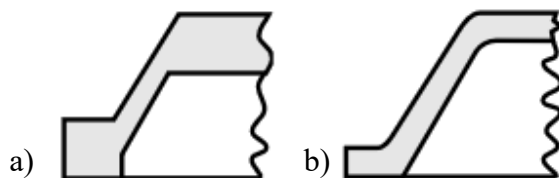
Obrázek 6 Tloušťka stěn: a) nevhodné řešení, b) vhodné řešení

(zdroj: [7])



Obrázek 7 Tloušťka stěn: a) nevhodné řešení, b) vhodné řešení

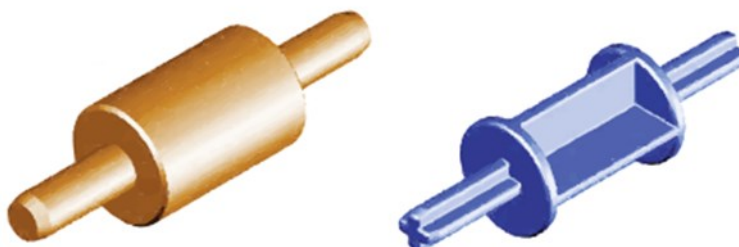
(zdroj: [7])



Obrázek 8 Tloušťka stěn: a) nevhodné řešení, b) vhodné řešení

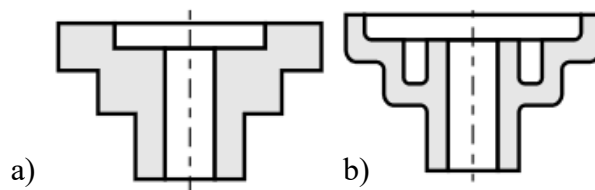
(zdroj: [7])

Obrázky 9 a 10 ukazují toto doporučení u rotačních součástí, obrázek 10 ukazuje příčný řez konstrukcí s nestejnou stěnou a doporučené řešení s jednotnou tloušťkou stěny, aby se zabránilo deformaci, vnitřním dutinám, propadlinám a dlouhým cyklům vstřikování. Vždy je třeba zvážit, zda je konvenční geometrie nezbytná, nebo zda je možné použít pro proces příznivější tvar. [6]



Obrázek 9 Nevhodné řešení – oranžově, vhodné řešení – modře

(zdroj: [7])



Obrázek 10 Rotační součásti: a) nevhodné řešení, b) vhodné řešení

(zdroj: [7])

2.2 Úkosy

Úhly úkosů vnitřních a vnějších stěn mají zásadní význam pro vyhazování výrobků z formy. Vnější stěny vyžadují menší úhly úkosu než vnitřní stěny. Nižší teplota uvnitř dutin iniciuje ochlazování a smršťování horké taveniny. Během procesu smršťování se vnější stěny výrobku smršťují směrem od vnějších stěn dutiny, zatímco vnitřní stěny se smršťují kolem povrchu nebo stěn jádra. [6][7][8]

Semi-krystalické termoplastické materiály mají vyšší charakteristiky smrštění než amorfni materiály. Díly vyrobené ze semikrystalických materiálů vyžadují vyšší úhly úkosů vnitřních stěn, zatímco amorfni materiály, které mají nižší charakteristiky smrštění, vyžadují vyšší úhly úkosu vnějších stěn, nižší teploty formy a delší dobu chlazení. [6][7][8]

U vnějších stěn bez textury z nevyztužených nebo vyztužených polymerů se doporučuje minimální úhel úkosu $0,25^\circ$ až $0,5^\circ$. U vnitřních stěn se doporučuje minimální úhel úkosu na stěnu $0,5^\circ$ až 1° . Příklad použití úkosů je na obrázku 11. [6][7][8]



Obrázek 11 Krabice s úkosy a bez úkosů

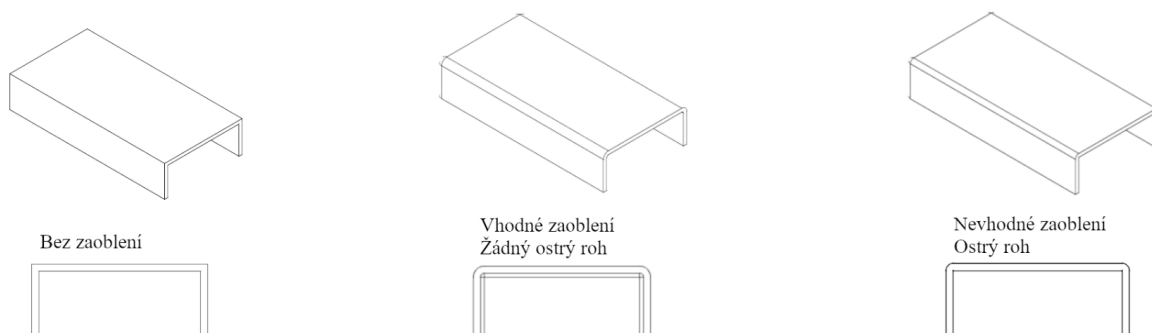
(zdroj: [9])

Výrazné úkosy se zpravidla nepoužívají, neboť mění estetickou podobu výrobku a zmenšují vnitřní objem výstřiku. [6][7][8]

2.3 Zaoblení a zkosení

Ostrým rohům je třeba se u vstřikovaných výrobků vyhnout z mnoha důvodů souvisejících s vlastnostmi výrobku, konstrukcí formy a vstřikováním:

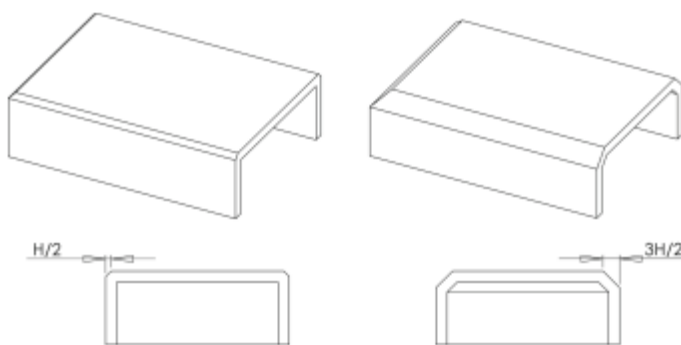
- Ostré rohy vedou ke koncentraci napětí, které mohou způsobit selhání, zejména u křehkých materiálů, při zatížení.
- Obtížná výroba ostrých rohů, je zapotřebí speciálních nástrojů nebo více nástrojů. Mnoho čelních fréz používaných při výrobě má poloměr rohu 0,2 až 0,8 mm.
- Některé běžné zásady pro zaoblení a zkosení rohů jsou uvedeny na obrázku 12. [8]



Obrázek 12 Porovnání návrhů zaoblení

(zdroj: [8])

Zkosení se často používá k přerušení ostrých rohů s jednou zkosenou plochou spojující vnější plochy, často pod úhlem 45° . Jak je znázorněno na obrázku 13, na vnějších rozích se často používá mělké zkosení menší než polovina tloušťky stěny, aby se zajistilo dostatečné odlehčení a zároveň se zabránilo potenciálním negativním problémům souvisejícím s tokem taveniny a pevností dílu. Podobně jako u zaoblení lze velké zkosení (viz obrázek 13 vpravo) použít před tvorbou skořepiny, aby se zajistila lepší tuhost dílu a přenos tepla v blízkosti rohů. [8]

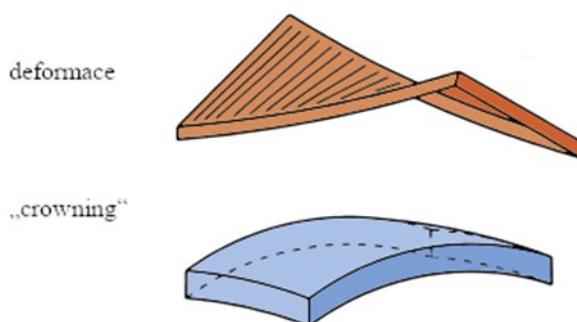


Obrázek 13 Porovnání návrhů zkosení hran

(zdroj: [8])

2.4 Výztuhy a žebra

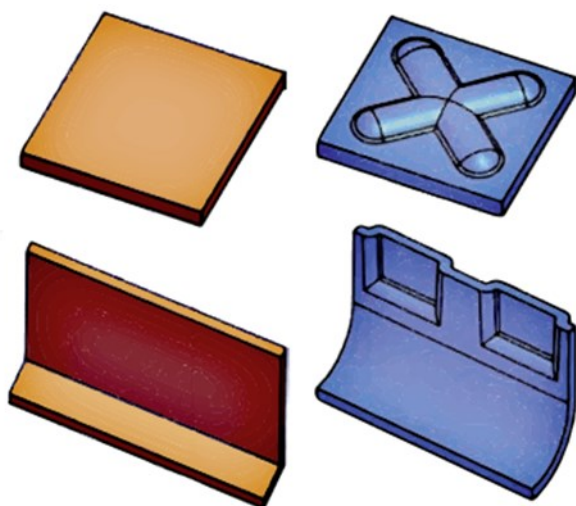
Plastové součásti se mohou po odformování deformovat nebo zkroutit (obrázek 14). Důvodem je nízká tuhost a případná zbytková napětí související s procesem ji mohou deformovat. To je problematické zejména u plochých součástí. Prohnuté součásti s mírně ven zakřivenými povrchy (crowning) jsou automaticky tužší a odolávají zbytkovým napětím způsobeným výrobním procesem. [6][7][8]



Obrázek 14 Plošné součásti se mohou deformovat, zatímco prohnuté součásti mají „základní tuhost“

(zdroj: [6])

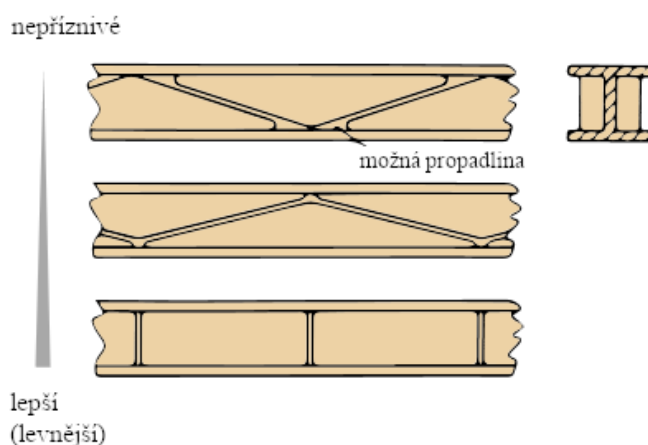
Drážky jsou obrysové výstupky, které rovněž ztužují povrchy. Mohou být navrženy také jako vzory nebo nápisy, v takovém případě je drážka prakticky otisknuta, tj. je vidět na obou stranách součásti (obrázek 15). [6][8]



Obrázek 15 Vyztužení rovinné geometrie pomocí drážek

(zdroj: [6])

Žebrováním (obrázek 16) se stejně jako v případě drážek zvyšuje tuhost ve směru žebra. [6]



Obrázek 16 Konstrukce žeber

(zdroj: [7])

Pro zvýšení pevnosti musí mít žebra dostatečně silný průřez, zato však vznikají propadliny na protilehlém povrchu součásti z důvodu akumulace materiálu s vyšším potenciálem smrštění. [6][7][8]

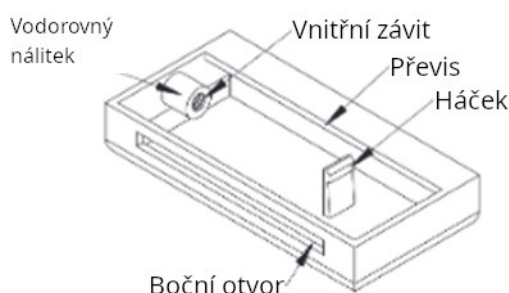
Pokud mají žebra pouze zvýšit vlastní tuhost součásti, je prosté žebrování (obrázek 16 dole) nákladově efektivnější a výhodnější pro výrobu. Při návrhu žeber pro vyztužení součásti je třeba vzít v úvahu následující skutečnosti:

- Výška žebra nejméně 2,5násobek tloušťky vyztužené plochy.

- Úkosy při odformování na obou stranách.
- Tloušťka žebra u základny menší než 75 % tloušťky vyztužené plochy. [6][8]

2.5 Podkosity

Podkos je prvek v konstrukci výrobku, který brání vyhození výrobku z formy. Čtyři typické konstrukční prvky, které vyžadují podkosity, jsou znázorněny na obrázku 17. Mezi tyto konstrukční prvky patří například okénko v boční stěně, převis nad spodní stěnou dílu, vodorovný nálitek a západkový nosník nebo „háček“. [6][7][8]



Obrázek 17 Konstrukční prvky vyžadující speciální odformování

(zdroj: [8])

Pokud je to možné, je třeba se těmto typům podkosových prvků vyhnout, protože pro výrobu a vyhazování výrobku je třeba navrhnout a opracovat složité mechanismy formy. Tyto dodatečné součásti formy mohou ztížit její používání a při nesprávném použití ji dokonce poškodit. Z těchto důvodů by měl konstruktér formy identifikovat problematické prvky, upozornit na ně zákazníka a ve spolupráci s konstruktérem výrobku odstranit podkosity. Ne všechny podkosity by však měly být z výrobku vyřazeny, pokud jejich funkce, kterou prvek (prvky) s podkosity zajišťuje, je pro výrobek důležitá nebo pokud by odstranění podkosů vyžadovalo další operace po vstřikování nebo přepracování jednoho dílu na více kusů. [6][7][8]

2.6 Typy povrchů

Povrchová úprava a textura jsou běžně specifikovány designérem výrobku, ale mají významný vliv na konstrukci formy a náklady. [8]

Povrchové úpravy se běžně hodnotí podle norem Společnosti plastikářského průmyslu (SPI). Tyto povrchové úpravy se pohybují od D3, která má pískovaný vzhled, až po A1,

která má zrcadlový povrch. V tabulce 1 jsou uvedeny některé běžné povrchové úpravy SPI, na obrázku 18 jsou seřazeny do kategorií. [8][10][11]

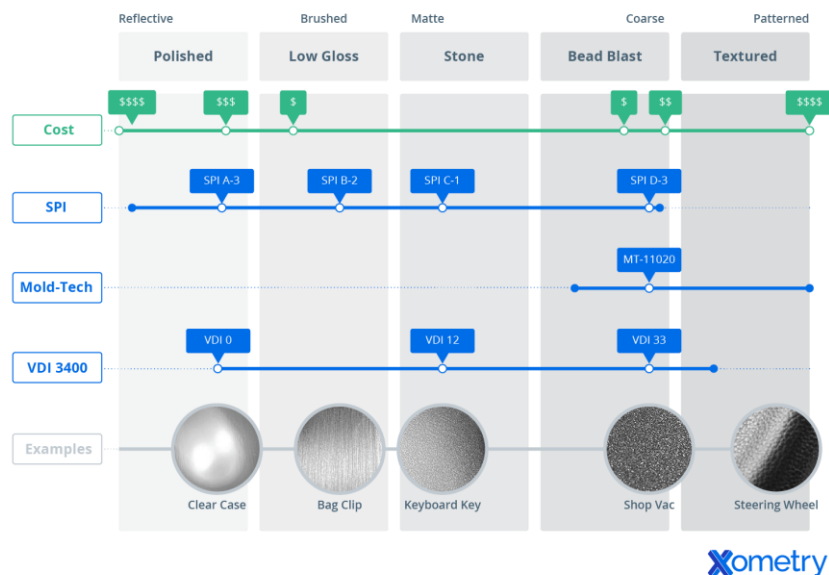
Tabulka 1 SPI povrchová úprava a drsnost

SPI povrchová úprava	Metoda povrchové úpravy	Drsnost [μm]	Drsnost povrchu [μm]
A1	#3 diamantové leštadlo	~ 1	~ 0,01
A3	#15 diamantové leštadlo	~ 2	~ 0,04
B3	#320 zrnité plátno	~ 6	~ 0,12
C3	#320 kámen	~ 12	~ 0,30
D2	#240 oxidové otryskávání	~ 30	~ 0,80
D3	#24 oxidové otryskávání	~ 160	~ 4,00

(zdroj: [8])

Cena vstřikovaných výrobků se může dramaticky zvýšit s vyššími stupni povrchové úpravy. Důvodem je, že použití dané povrchové úpravy vyžaduje, aby výrobce formy postupně použil všechny metody povrchové úpravy nižší úrovně. [8][10][11]

Injection Mold Finishes Guide



Obrázek 18 Průvodce povrchovými úpravami: v řádcích shora dolů: Cena, SPI, Mold-Tech a VDI 3400 a příklady; ve sloupcích zleva doprava povrchy: Reflektivní, Broušené, Matné, Hrubé, Texturované

(zdroj: [11])

Jako alternativa k hladké povrchové úpravě je u mnoha designů výrobků specifikována povrchová úprava s texturou. Jedním z běžných důvodů je, že textury mohou být použity

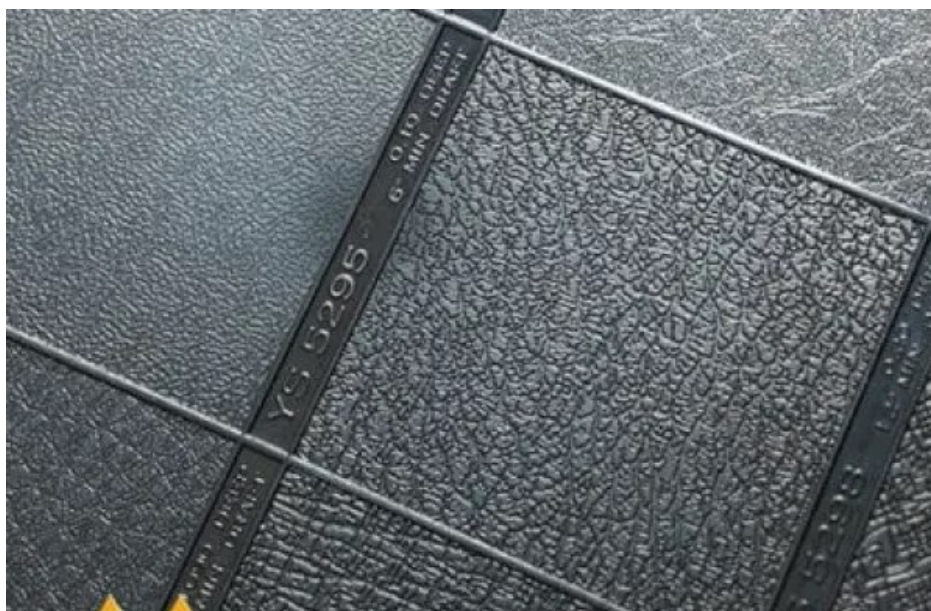
k dodání vzhledu dřeva, kůže nebo jiných materiálů, jak je uvedeno v tabulce 2 a na obrázku 19. V důsledku toho mohou textury zvýšit hodnotu plastového výrobku vnímanou konečným uživatelem. Dalším důvodem je, že texturované povrchy poskytují nerovnoměrnou hloubku, která může být využita k zakrytí vad. [8][10][11]

Tabulka 2 Příklady textur

Textura	Hloubka textury [μm]	Vyžadovaná SPI povrchová úprava
Písek	50	B
Kůže	125	C
Síťovina	150	C
Dřevo	250	D

(zdroj: [8])

Texturování výrazně zvyšuje náklady na formu. Aby bylo možné aplikovat texturu, musí být povrch formy nejprve upraven obvykle na třídu SPI B pro mělké textury (kde je hloubka textury řádově několik mikrometrů) nebo třídu C pro hrubé textury. V opačném případě může být po nanesení textury viditelná nedostatečná povrchová úprava. Po povrchové úpravě se textura do povrchů forem vnáší pomocí chemického leptání nebo laserového obrábění. [8][10][11]



Obrázek 19 Typy texturovaných povrchů

(zdroj: [10])

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj, který při správném návrhu, konstrukci a údržbě bude mít předpokládanou životnost mnohem delší, než je doba, kdy samotný výrobek zastará. Společnou podmínkou všech vstřikovacích forem je nutnost výrobek vyjmout bez zničení formy. Základní forma se skládá ze dvou polovin, přičemž v jedné polovině formy je alespoň jedna tvárnice (dutina) a v druhé polovině formy je odpovídající tvárník (jádro). Tyto dvě poloviny se stýkají v dělicí rovině. Jakmile je vstřikovaný plast dostatečně ochlazen, forma se otevře a výrobek lze vyjmout ručně nebo jej lze automaticky vyhodit. Některé konstrukční prvky výrobku mohou vyžadovat pohyblivá boční jádra, což jsou buď vložky, nebo celé části dutiny, které se pohybují kolmo ke směru otevření formy. Jiné mohou vyžadovat speciální vytáčecí mechanismy, a to buď v tvárníku, nebo v boční části tvárnice. [12]

3.1 Sestava vstřikovací formy

Rám formy je součet všech desek formy, které ji tvoří, včetně šroubů a středících prvků. U jednoduchých forem mohou být dutiny a jádra opracovány přímo do desek formy. Konstruktor má na výběr z několika možností:

1. Není použit žádný rám formy. Celá forma se tedy v podstatě skládá pouze ze dvou částí, plus středících prvků a vzduchových ventilů.
2. Standardní rám formy. Rámy forem lze zakoupit v dodavatelských firmách pro výrobce forem, jako jsou DME, PCS, Hasco atd. (viz obrázek 20).



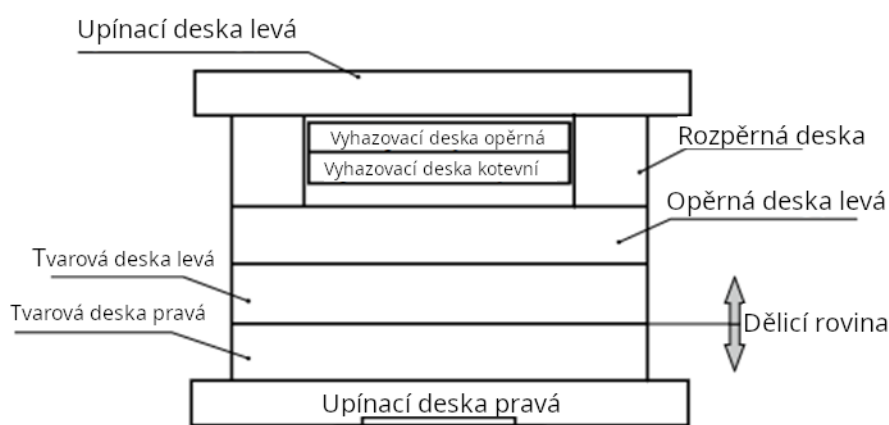
Obrázek 20 Standardní rám formy a standardní součásti

(zdroj: [12])

3. Podomácku vyrobené rámy forem. Rám formy lze vyrobit ve vlastní režii z ocelových desek, které si výrobce formy může zakoupit od oceláren nebo prodejců.
4. Speciální rámy forem. To se týká hlavně speciálních forem, pro které nejsou komerčně dostupné vhodné standardní rozměry, a forem s velmi vysokou produkcí.
5. Univerzální rámy forem. Pro nízkosériové a relativně malé výrobky nabízí univerzální rám formy další řešení pro výrobu relativně levné formy. [12]

3.1.1 Desky forem

Deska formy je jakákoli deska potřebná k vytvoření kompletní formy. Na obrázku 21 jsou znázorněny hlavní desky, z nichž se skládá rám formy, ačkoli ve složitých formách jich může být použito mnohem více. [12]



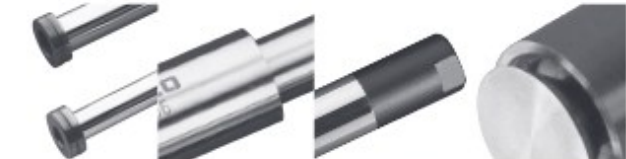
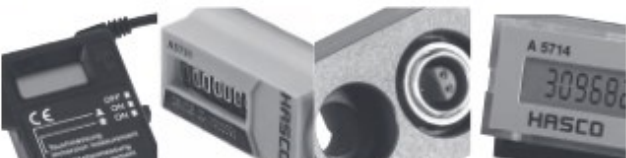
Obrázek 21 Desky formy jako součást rámu formy

(zdroj: [12])

3.1.2 Příslušenství forem

Příslušenství zahrnuje vodící čepy, pouzdra, vyhazovací kolíky, šrouby atd. Všechny jsou uvedeny v katalozích vydávaných různými dodavatelskými firmami pro výrobce forem. Jsou vyráběny sériově, z vysoce kvalitních materiálů a obráběny s velmi přesnými tolerancemi. [12]

Např. společnost HASCO má na svých internetových stránkách k dispozici katalog ve formátu PDF, viz obrázek 22. [13]

	Z1 Führungselemente Guide elements Éléments de guidage	1
	Z2 Allgemeine Werkzeugbauteile General mould components Éléments généraux d'outils	2
	Z3 Auswerfen Ejection Ejection	3
	Z4 Entformen Demoulding Démoulage	4
	Z5 Angießen Injection Injection	5
	Z6 Regeltechnik Control engineering Technique de régulation	6
	Z7 Messtechnik Measuring technology Technique de mesure	7
	Z8 Temperier-System Cooling system Système de refroidissement/chauffe	8
	Z9 Bearbeitungswerkzeuge, Hilfsmittel, Betriebsstoffe Processing tools, auxiliary aids, operating materials Outils, produits auxiliaires, produits d'entretien	9

HASCO 5

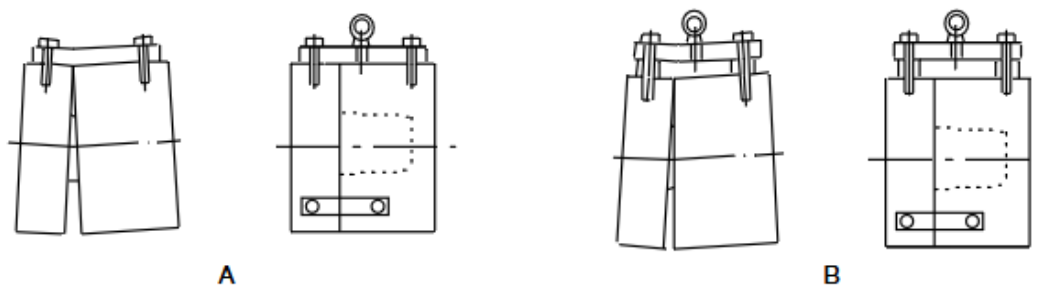
Obrázek 22 Seznam katalogovaných dílů společnosti HASCO

(zdroj: [13])

3.1.3 Manipulace s formami

Všechny formy musí mít zvedací ramena a zámky navržené tak, aby umožňovaly bezpečnou manipulaci s formou. [12]

- Transportní ramena – pokud není možné zajistit další zvedací otvor pro zvedání celé sestavy z důvodu kolize s jiným otvorem apod., musí být zavedeno transportní rameno s otvory rozmístěnými tak, aby zachytily alespoň dva zvedací otvory dílů tvořících sestavu. Transportní rameno má pak nad novým těžištěm otvor se závitem pro šroub s okem. Transportní rameno nebo otvor pro šroub s okem musí být vždy umístěn tak, aby bylo možné manipulovat s celou částí formy, aniž by při manipulaci mohlo dojít k vypadnutí dílů.
- Zámky – forma, která je závislá pouze na kuželech pro středění bez použití těsně přiléhajících vodicích čepů, by se mohla při zvedání otevřít ve spodní části. To by mohlo způsobit poškození kuželů a povrchů tvarových vložek, zejména u forem pro tenkostěnné výrobky. Tomuto stavu, který je přehnaně znázorněn na obrázku 23, lze předejít použitím zámků. Všechny formy musí být opatřeny zámkem, které jsou umístěny na bocích formy tak, aby byly přístupné ze strany obsluhy a ze zadní části formy. [12]



Obrázek 23 Zámky zabráňují otevření forem

(zdroj: [12])

3.1.4 Identifikační štítky forem

Všechny formy by měly mít na viditelném místě na formě trvale připevněný výrobní štítek. Obvykle se nachází na straně obsluhy formy ve výšce očí. Identifikační štítek formy by měl obsahovat všechny klíčové informace o formě. Minimálně by měl obsahovat následující údaje: číslo zakázky a/nebo číslo formy, datum výroby, popis formy, maximální přípustnou tonáž upnutí, hmotnost formy, maximální teplota taveniny, teplota formy, napětí. [12]

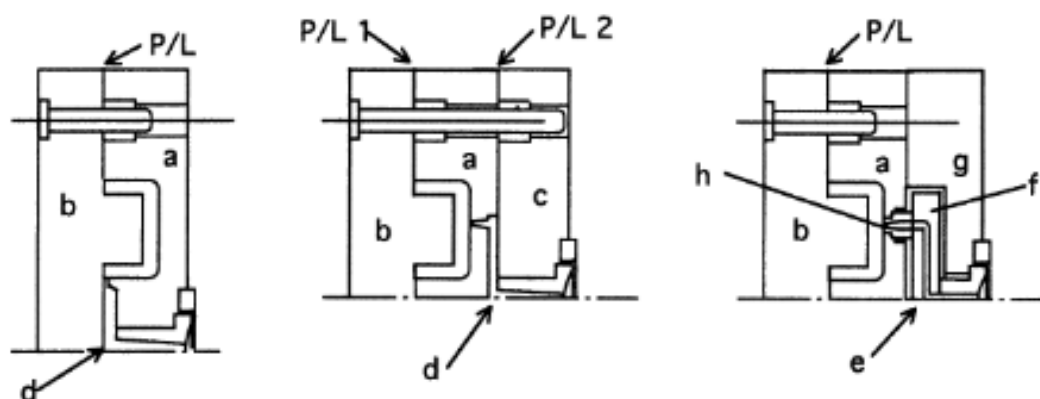
Další položky přidané na výrobní štítky forem jsou následující: schéma vedení chladicího potrubí formy, elektrická připojení formy. [12]

3.2 Vtokový systém

Aby bylo možné vstřikovací formu naplnit roztaveným plastem, je třeba zajistit, aby se tavenina dostala do těchto dutin. To musí být provedeno s dostatečným tlakem, aby byly prostory dutin zcela zaplněny dříve, než se vstřikovaný plast ochladí natolik, že již nemůže téct (tzv. zmrznutí). Části vtokových kanálů jsou:

- Vtoková vložka, odkud se tryska stroje dotýká formy.
- Rozvodné kanály, které rozvádějí taveninu do jednotlivých dutin.
- Vtoková ústí, což jsou (obvykle) malé otvory vedoucí z rozvodných kanálů do prostoru dutiny. [12]

Obrázek 24 ukazuje tři základních typy rozvodných kanálů používaných při vstřikování. [12]



Obrázek 24 Schéma forem: (vlevo) Dvoudesková forma; (uprostřed) Třidesková forma; (vpravo) Forma s horkým vtokem. (a) Dutinová deska, (b) jádrová deska, (c) třetí deska, (d) studený kanál, (e) horký kanál, (f) rozdělovač horkého kanálu, (g) opěrná deska horkého kanálu, (h) tryska. P/L = dělicí rovina

(zdroj: [12])

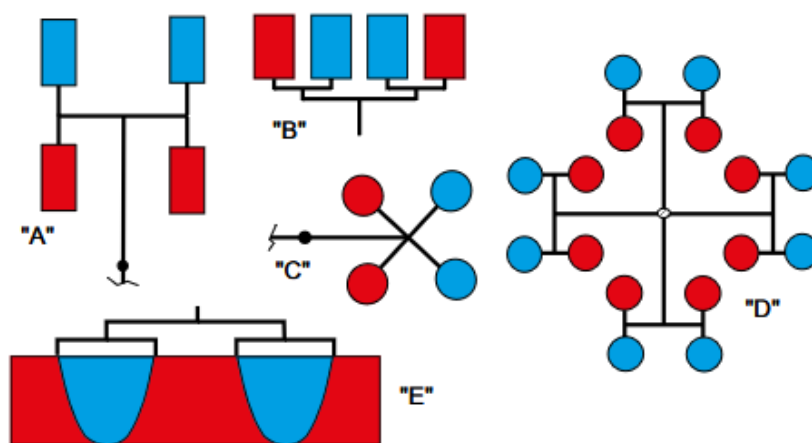
3.3 Rozmístění dutin ve vstřikovací formě

Uspořádání vtokového systému ve formě je obecně založeno na zajištění nejkratší cesty od trysky stroje k vtoku, minimalizaci objemu vtokového systému a zohlednění jednoduchosti obráběcích operací potřebných k vytvoření vtokového systému, jakož i na zajištění geometricky vyvážené cesty toku. [14]

Konvenční rozvodný kanál „H“ ve dvoudeskové formě se studeným vtokem vyžaduje, aby počet dutin byl 2 na určitou mocninu (např. 2, 4, 8, 16, 32, 64 atd.). Je možné použít i hvězdicový vzor. [14]

3.3.1 Geometricky vyvážené rozvodné kanály

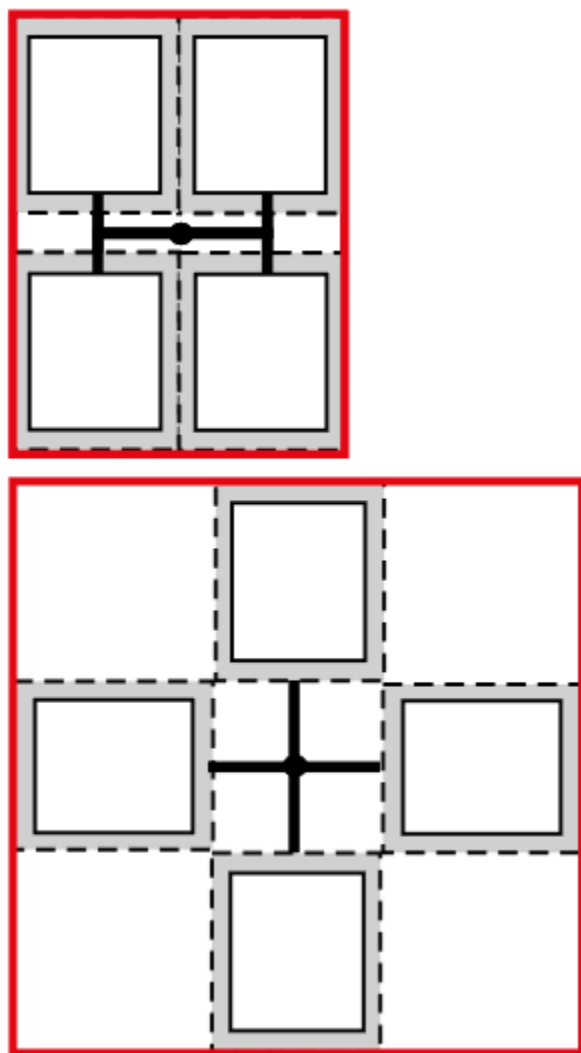
Navzdory geometrické vyváženosti téměř vždy existují určité rozdíly mezi dutinami blíže středu formy (červené dutiny na obrázku 25) ve srovnání s dutinami dále od středu. Rozdíly ve vlastnostech taveniny vzniklé v kanálu formy jsou tak významné, že způsobí, že se dutiny plní různou rychlostí navzdory geometrické rovnováze v kanálu. Tento vliv je nejzřetelnější, pokud jsou ve formě více než čtyři dutiny. [14]



Obrázek 25 Ukázka geometricky vyváženého uspořádání rozvodných kanálů, které vede k nevyváženým podmínkám plnění; červené oblasti obdrží vysoce smýkanou taveninu.

(zdroj: [14])

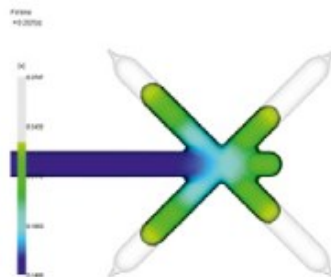
Obrázek 26 porovnává potřebnou velikost vstřikovací formy mezi „H“ vtokovým systémem a křížovým vtokovým systémem. Vtokový systém „H“ je výrazně kompaktnější. [14]



Obrázek 26 Požadované velikosti formy „H“ oproti křížovému vtokovému systému

(zdroj: [14])

Ačkoli jsou v této části zahrnuty větve rozvodných kanálů se vzorem X, ve skutečnosti nejsou geometricky vyvážené. Při podrobném zkoumání průsečíků větve X je zřejmé, že dráha proudění ke dvěma dovnitř se větvicím úsekům rozvodných kanálů je kratší, než ke dvěma ven se větvicím úsekům rozvodných kanálů (viz obrázek 27). [14]



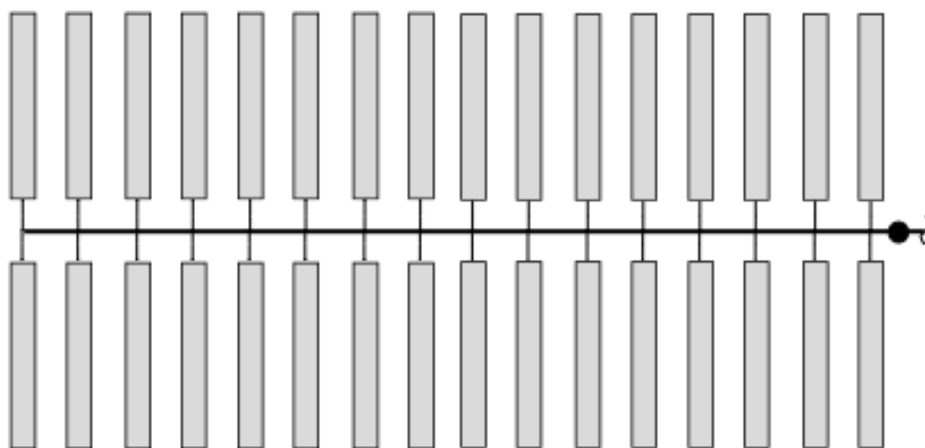
Obrázek 27 Simulace plnění formy ukazující geometricky nevyvážené podmínky vytvořené ve větvcím se kanálu X

(zdroj: [14])

3.3.2 Geometricky nevyvážené rozvodné kanály

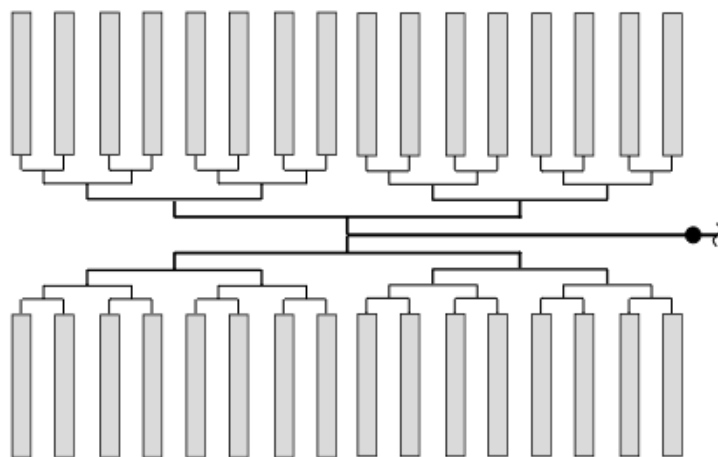
Pro většinu aplikací se nedoporučují geometricky nevyvážené rozvodné kanály. Nerovnováha vzniklá v geometricky nevyvážených rozvodných kanálech je horší než v geometricky vyvážených a nelze ji korigovat. [14]

Geometricky nevyvážené rozvodné kanály jsou často uspořádány ve tvaru „stromu“, „rybí kosti“ nebo „žebříku“, jak je vidět na obrázku 28. Obrázky 28 a 29 kontrastují geometricky nevyvážené a geometricky vyvážené uspořádání vtokové dráhy používané ve formě se 64 dutinami. [14]



Obrázek 28 Geometricky nevyvážená 64násobná forma (zobrazena polovina)

(zdroj: [14])



Obrázek 29 Geometricky vyvážená 64násobná forma (zobrazena polovina)

(zdroj: [14])

3.4 Studený vtokový systém

Výrobky a vtokový systém zůstávají při vyhazování pohromadě a po vyhození z formy se musí oddělit. Existují i jiné způsoby vtokového ústí, z nichž některé se při otevírání formy samy od sebe oddělují, ale výrobky a vtoky jsou stále smíšené a je nutné je od sebe oddělit. [12]

Výhodou systému studených vtoků s jednou dělicí rovinou:

- Jednoduchost.
- Nízké náklady.
- Snadná změna barvy. [12]

Nevýhody:

- Delší vstřikovací cykly kvůli delší době potřebné k ochlazení často velkých vtoků.
- Hmotnost vtoků se musí přičíst k hmotě, která se má plastifikovat pro výrobky.
- Následné zpracování odpadu vtokového systému.
- Zvýšení uzavírací síly. [12]

Ve dvoudeskových formách, se plast vstřikuje buď do samotné dutiny, nebo do rozvodného kanálu – systému „cold-runner“. Tento studený kanál je umístěn v dělicí rovině formy a bude vyhozen společně s výrobky, jakmile jsou výrobky i kanál dostatečně chladné (viz obrázek 30). [12]



Obrázek 30 Příklady dvoudeskových vtokových systémů

(zdroj: [12])

3.4.1 Vtoková vložka

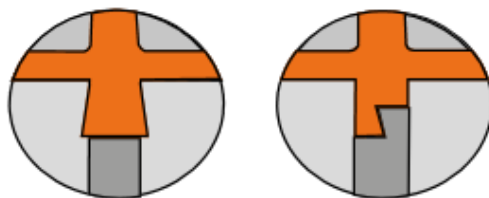
Vtoková vložka přivádí taveninu z trysky vstřikovacího stroje buď do vtokového systému, nebo přímo do dutiny dílu. U formy s jednou dutinou je dutina obvykle umístěna ve středu formy, odkud může vtoková vložka dopravovat taveninu přímo do středu dutiny. Ve vícedutinové formě vtok přivádí taveninu do vtokového systému, které ji následně přivádí do dutin dílů. Tento postup lze použít také u formy s jednou dutinou. [12][14]

Studená vtoková vložka je obvykle vytvořena pomocí vtokového pouzdra. Vtokové pouzdro je navrženo tak, aby se dalo snadno vyměnit, a obvykle se kupuje od dodavatele standardizovaných součástí formy. [12][14]

Vyměnitelné vtokové pouzdro poskytuje řadu různých vlastností. Z konstrukčního hlediska musí odolávat opakovaným nárazům vstřikovací trysky, kdykoli se dotýká vtokového pouzdra. Rozhraní mezi vtokovým pouzdrem a tryskou se nesmí deformovat, protože by mohlo dojít k problémům s netěsností nebo vyhazováním. Vtokové těleso je také vystaveno jedněm z nejvyšších průtoků taveniny a tlaků taveniny kdekoli ve formě. Aby vtokové pouzdro odolalo těmto konstrukčním výzvám, je běžně vyráběno z kalené oceli. Vtokové pouzdro musí také umožňovat jeho vyhození z formy. Za tímto účelem je vtokový kanál vtoku obvykle zúžený a leštěný ve směru odformování. [12][14]

Při otevírání formy je plastový vtok vytažen z vtokové vložky buď podkosem v levé tvarové desce, nebo podkosem přidržovače vtoku. Přidržovač vtoku je vyhazovací kolík, který po posunutí dopředu buď vytlačí vtok z podkosu v levé tvarové desce, nebo

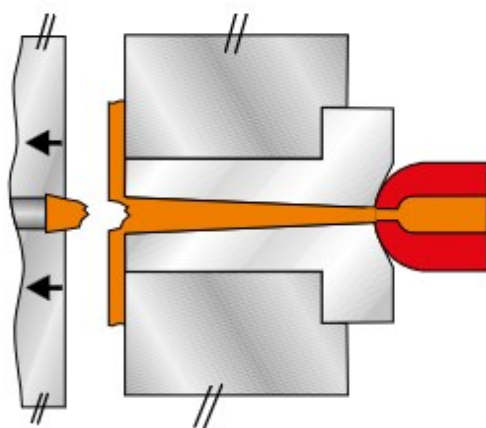
po vytlačení z tvarové desky uvolní podkos, čímž umožní vtoku a vtokovému systému volný pád. Obě tyto metody by měly zajistit vybrání na základně vtoku, které bude sloužit jako jímka pro studené čelo taveniny (viz obrázek 31). [14]



Obrázek 31 Běžné konstrukce přídržovačů vtoku

(zdroj: [14])

Studený vtoková vložka je často rozhodujícím faktorem, který určuje délku vstřikovacího cyklu. Průměr studené vtokové vložky je zřídka menší než 2,5 mm. Požadavky na vyhazování vyžadují, aby byl kuželovitý. V křížení vtokové vložky a rozvodných kanálů se nachází přídržovač vtoku, který je nutný k vytažení studeného vtoku z vtokové vložky při otevírání formy. Pokud tato silná oblast není v době otevření formy dostatečně zatuhlá, dojde k jejímu porušení a vtok zůstane zaseknutý ve vtokové vložce (viz obrázek 32). Pokud k tomu dojde, je třeba prodloužit cyklus chlazení, aby vtok dostatečně ztuhl a bylo možné jej z vtokové vložky vyjmout bez porušení. Tato dodatečná doba může značně přesáhnout dobu potřebnou k ochlazení dílu. [14]

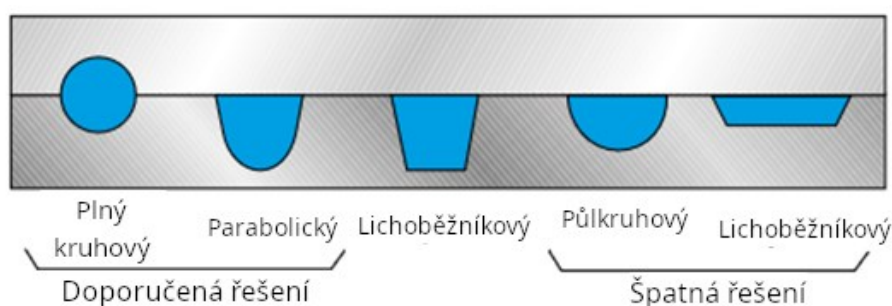


Obrázek 32 Velká hmota na křížení vtoku a vtokového systému může způsobit, že se vtok při otevření formy zlomí, pokud není dostatečně ztuhlý

(zdroj: [14])

3.4.2 Rozvodné kanály

Ideální vtok má tvar plného kruhového průřezu, který zajišťuje optimální poměr obvodu geometrie vtoku k ploše průřezu vtoku. Plně kruhový vtok má však tu nevýhodu, že vyžaduje, aby byly obě poloviny vtoku opracovány v každé z obou polovin formy. Tyto dvě poloviny vtokové dráhy pak musí těsně přiléhat k sobě, aby po uzavření formy tvořily plnou kruhovou vtokovou dráhu. Vzhledem k dodatečným nákladům na plný kruhový vtokový kanál a možnosti nesouososti se často používají alternativy k plným kruhovým vtokovým kanálům. Možné typy průřezů rozvodných kanálů na obrázku 33. [14]

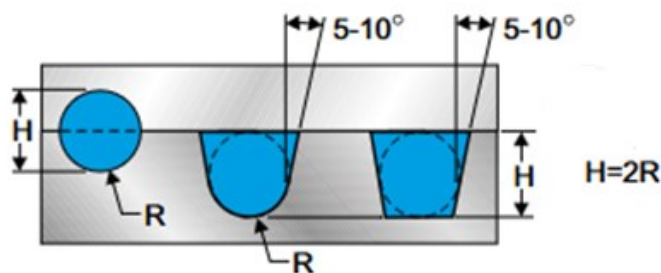


Obrázek 33 Průřezy rozvodných kanálů používané ve vstřikovacích formách

(zdroj: [14])

Mezi alternativní tvary vtoků patří: lichoběžníkový, parabolický a půlkulatý. Tyto alternativy se často mnohem snadněji obrábějí, protože odpadá starost o sladění polovin kanálů jako u plného kulatého kanálu. Tyto alternativní kanály jsou však méně účinné, protože mají vyšší tlakovou ztrátu na objem kanálu než plné kulaté kanály. Vyšší tlaková ztráta na objem kanálu je důsledkem většího poměru obvodu průřezu kanálu k jeho průřezové ploše. [14]

Jediné neúplně kruhové tvary, které by měly být zvažovány pro vstřikování, jsou správně navržené parabolické a lichoběžníkové tvary (vhodné konstrukce viz obrázek 34). Konstrukce by měly vycházet z průměru požadovaného plného kruhového kanálu. Poloměr použitý u parabolického kanálu by měl být shodný s poloměrem požadovaného plného kruhového kanálu. Úkos na obou stranách obou návrhů vychází z požadavků na odformování. Úkos 10° je snazší pro vyhazování a doporučuje se pro většinu materiálů s nízkou smrštitelností. Úkos 5° lze použít při dobrém vyhazování kanálu a u materiálů s vysokou smrštitelností. [14]



Obrázek 34 Doporučená provedení rozvodných kanálů;
zleva doprava – kruhový; parabolický; lichoběžníkový

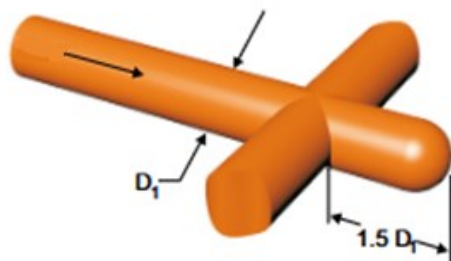
(zdroj: [14])

Dimenzování rozvodných kanálů

Velikost studených rozvodných kanálů obvykle určuje pouze na základě dostupnosti standardní velikosti nástroje nebo podle tradice. Pro zajištění kompenzace průtoku se běžně doporučuje, aby průměr kanálu nebyl menší než 1,5násobek tloušťky stěny dílu, ke které je připojeno vtokové ústí. Cílem je zabránit tomu, aby kanál zamrzl před dutinou dílu. Předčasné zamrznutí kanálu by znemožnilo řádné zaplnění dutiny. [14]

Jímky pro zachycení čela taveniny

Jímky pro zachycení čela taveniny se hojně používají u forem se studenými vtoky, aby se předešlo problémům spojeným se studenými čely taveniny. Studené čelo taveniny jsou pevné nebo částečně pevné kusy plastového materiálu, které se tvoří ve špičce proudu v důsledku jejího kontaktu se studenou formou. Může uvíznout ve vtokovém kanálu a způsobit zablokování nebo narušení toku taveniny. Jímky jsou prodloužené rozvodné kanály za rozvětveními. Toto prodloužení poskytuje místo, kde se studené čelo taveniny může usadit (viz obrázek 35). [14]



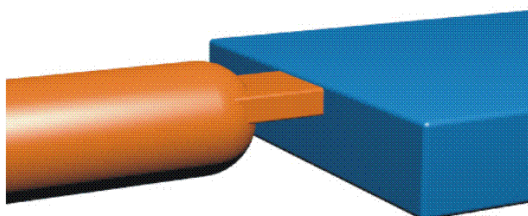
Obrázek 35 Doporučená konstrukce jímky
pro studené čelo taveniny

(zdroj: [12])

3.4.3 Vtoková ústí

Malé vtoky jsou důležité pro vzhled výrobku. Existují však určitá omezení. Pokud je vtok příliš malý, zpomaluje plnění dutiny nebo dokonce znemožňuje její plnění před zamrznutím. Ostrý roh na vstupu do dutiny zajistí, že se ústí v tomto místě čistě zlomí a nezůstane po ní žádný nebo jen minimální výstupek (stopa). U většiny forem je přijatelný velmi malý výstupek a na konci vtoku se doporučuje krátký rovný úsek o velikosti 0,1 – 0,2 mm pro zajištění téměř ostrého rohu. [12]

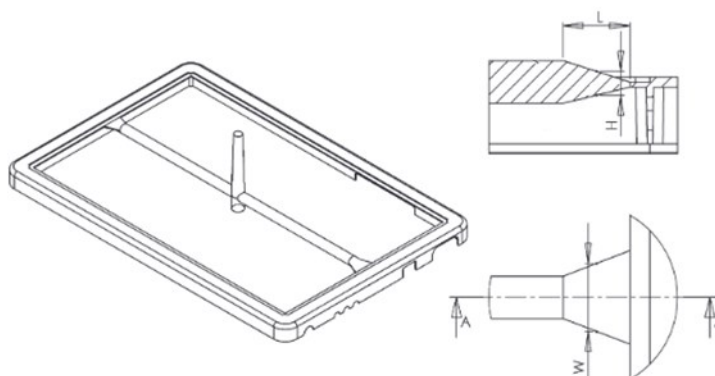
Boční vtokové ústí (obrázek 36) je nejjednodušší forma ústí a používá se všude tam, kde výrobek může nebo musí být bráněn z dělicí roviny a kde není požadováno nebo praktické samočinné oddělování. [12][14]



Obrázek 36 Boční vtokového ústí

(zdroj: [14])

Vějířové vtokové ústí (obrázek 37) jsou variantou bočních vtokových ústí. Šířka ústí W je mnohem větší, výška ústí h může být pouze 0,1 mm a W může být 10 mm nebo více. Vějířová vtoková ústí se používají všude tam, kde boční vtoková ústí s tím rozdílem, kdy je potřeba se vyhnout typické stopě po vtokovém ústí. [12][14]



Obrázek 37 Konstrukce vějířového vtokového ústí

(zdroj: [8])

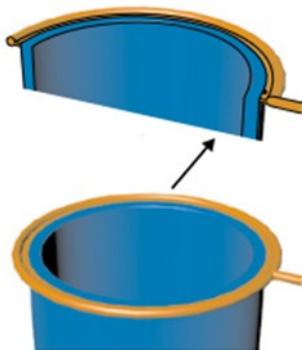
Filmové vtokové ústí se snaží zachytit výhody vějířového ústí, přičemž spotřebuje méně místa a materiálu. V této konstrukci se vtok připojuje k rozvodnému kanálu ústí, který rozvádí taveninu podél široké tenké výstupní štěrbině ústí připojené přímo k dílu (viz obrázek 38). Nevýhodou tohoto typu ústí je rozložení průtoku přes vtokové ústí a rychlost průtoku vtokovým ústím jsou méně předvídatelné než u vějířového vtokového ústí. Filmové vtokové ústí funguje nejlépe při vysokých rychlostech vstřikování, kdy je zdržení taveniny minimalizováno. [12][14]



Obrázek 38 Typické konstrukce filmových vtokových ústí

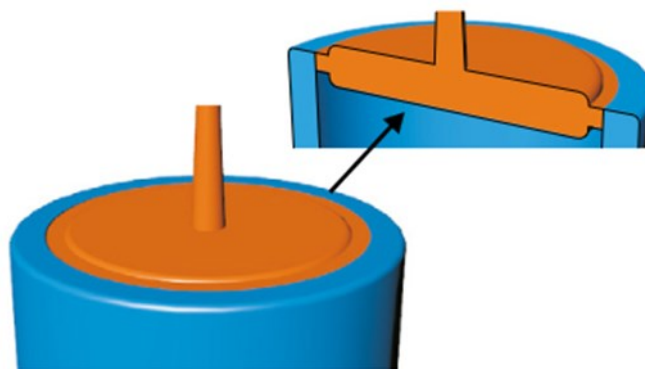
(zdroj: [14])

Prstencová a membránová vtoková ústí (obrázek 39 a 40) jsou další variantou bočních vtokových ústí. Tato ústí jsou vlastně obvodová vějířová ústí. Výška ústí je obvykle asi 0,1 - 0,15 mm a tvar je podobný vějířovému ústí, s šikmým přechodem z disku nebo kruhového rozvodného kanálu, zakončeným krátkou rovnou částí. Ideální použití pro tento typ ústí je tam, kde je v dílu otvor nebo kolem vnější strany kruhového dílu. Velkou výhodou tohoto typu ústí je, že výrobek zůstane kruhový a nedojde k jeho deformaci, jako by tomu bylo u jednoho či malého počtu ústí. Protože plast vstupuje do dutiny po celém obvodu přes membránové ústí, nevznikají žádné studené spoje (slabá místa). [12][14]



Obrázek 39 Typické prstencové vtokové ústí

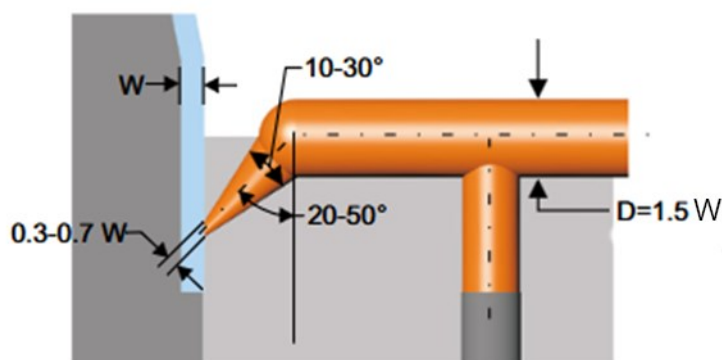
(zdroj: [14])



Obrázek 40 Typické membránové ústí a jeho průřez

(zdroj: [14])

Tunelové vtokové ústí (obrázek 41) se běžně používají u dvoudeskových forem k automatickému oddělení výrobku od vtokového systému ve formě. U většiny forem je žádoucí automatické oddělování. [12][14]

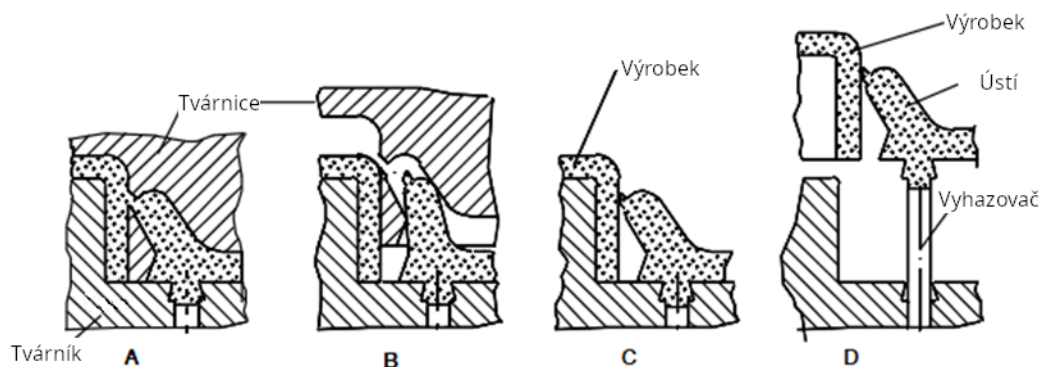


Obrázek 41 Detail konstrukce tunelového ústí

(zdroj: [14])

Je důležité, aby průměr tunelového ústí byl co nejmenší, aby se usnadnilo ustřížení, aniž by vznikla nevzhledná stopa nebo deformace výrobku. [12][14]

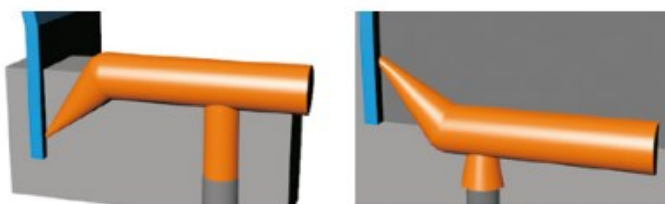
Obrázek 42 ukazuje, jak funguje sekvence odformování tunelového ústí. Výrobek zůstává s tvárníkem, když se forma otevírá a stříhá ústí v ostrém rohu, kde ústí vstupuje do prostoru dutiny. Po otevření dutiny se vyhazovač může posunout dopředu a vyhazovat díl a oddělený vtokový systém. [12]



Obrázek 42 Schéma sekvence vysunutí tunelového ústí

(zdroj: [12])

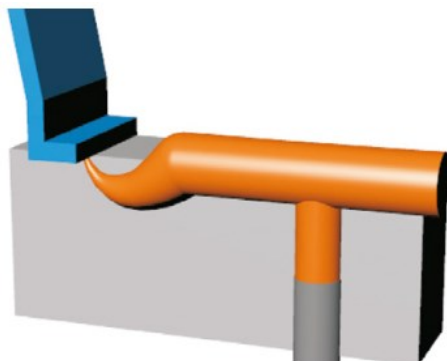
V závislosti na dostupném prostoru může být kanál tunelového ústí vyroben buď do strany tvárníku, nebo strany tvárnice (obrázek 43). [14]



Obrázek 43 Typické konstrukce tunelových ústí

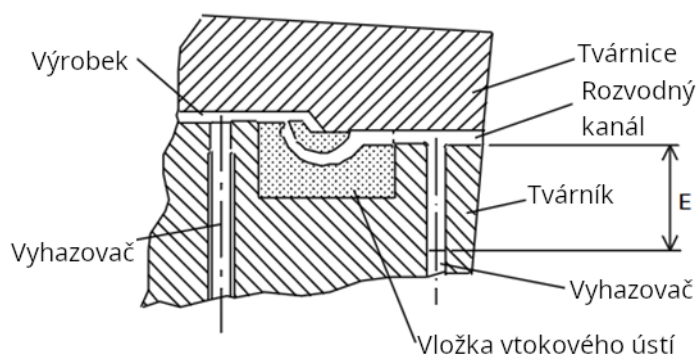
(zdroj: [14])

Banánové vtokové ústí (obrázek 44 a 45) lze zvolit v případech, kdy není přijatelné plnění z boku výrobku. Tato metoda se používá zřídka, protože je v podstatě omezena na pružné materiály. Je také velmi nákladná kvůli potřebě přesných vložek.



Obrázek 44 Banánové vtokové ústí

(zdroj: [14])



Obrázek 45 Příklad banánového vtokového ústí

(zdroj: [12])

3.5 Temperační systém

Chladicí systém je nesmírně důležitý pro ekonomiku a provoz navržené formy. Nesprávně navržené chladicí systémy mají často za následek nejméně dva nežádoucí výsledky. Jsou to:

- Doba chlazení a cyklů je mnohem delší, než jaké by bylo možné dosáhnout.
- Vznikají značné teplotní gradienty napříč formou, které způsobují rozdílné smršťování a deformace výstřiků. [12]

3.5.1 Cíle návrhu chladicího systému

- Maximalizace rychlosti přenosu tepla – v ustáleném stavu je rychlost přenosu tepla úměrná tepelné vodivosti k a teplotnímu gradientu formy. Z toho vyplývají dva důsledky. Jednak rychlost přestupu tepla je úměrná tepelné vodivosti (měď nebo hliník, má tepelnou vodivost několikanásobně vyšší než všechny oceli), jednak k přenosu tepla je zapotřebí teplotní gradient (rychlost přenosu tepla lze zvýšit posunutím temperačních kanálů blíže k povrchu dutiny formy).
- Udržení rovnoměrné teploty stěn – vstřikovací forma je při spuštění „studená“ a teplota se v každé fázi procesu neustále zvyšuje a snižuje. Teplo je z formy odebíráno po celou dobu cyklu, nejen během chlazení. Při spuštění má forma teplotu temperačního média. Během vstřikovacího cyklu se teplota formy zvýší v důsledku vstřikování horkého plastu, zatímco temperační médium nadále odvádí teplo z formy. Na konci vstřikování a dotlaku se do formy nepřidá žádné další teplo, ale temperační médium pokračuje v odvádění tepla z formy až do dalšího vstřikování. Forma nakonec dosáhne rovnovážného stavu, kdy je množství tepla vstupujícího do formy stejné jako

množství tepla odebraného z formy. Teplota formy je v ten moment mírně vyšší, než je teplota temperačního média.

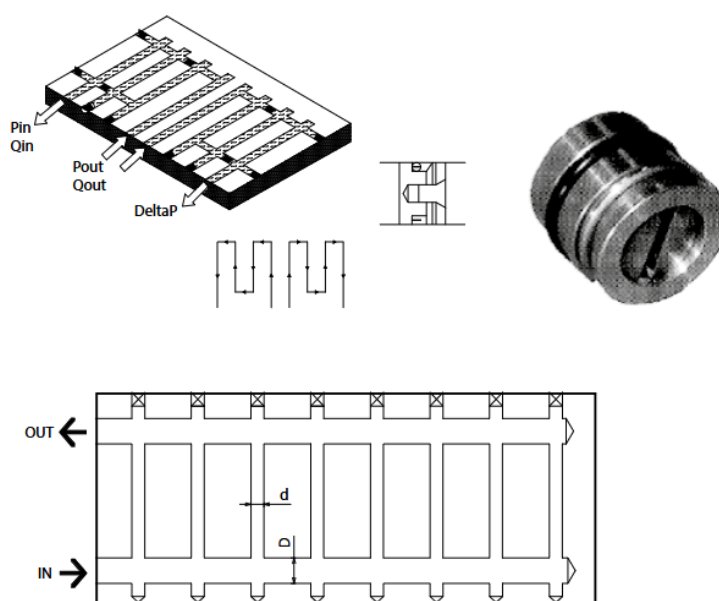
- Minimalizace nákladů na formu – klíčem k návrhu nákladově efektivní formy je vědět, kam investovat. Vysoce vodivé materiály jsou v některých aplikacích mimořádně účinné a obvykle se snadněji obrábějí, ale nejsou univerzálně nejlepší. Stejně tak uspořádání temperačních okruhů může být od velmi jednoduchého až po velmi složité. Složité konstrukce temperačních okruhů často vyžadují značné obrábění, ucpávky, těsnění, montáž a údržbu.
- Minimalizace objemu a složitosti – velmi významným problémem při návrhu chladicích systémů je, že jsou často v rozporu s umístěním ostatních součástí. Umístění mnoha těsně rozmístěných chladicích linek sice zajišťuje rychlé a rovnoměrné chlazení, ale v důsledku této konstrukce vznikne ve formě velmi málo místa pro umístění vyhazovačů, vtokového systému, spojovacích prvků atd. Menší průměr kanálů je sice náročnější na výrobu a přenáší méně tepla, ale může mít menší dopad na okolní součásti a umožňuje použití více kanálů k dosažení rovnoměrnější teploty.
- Usnadnění používání formy – obsluha vstřikovacího stroje by měla být schopna obsluhovat vstřikovací formu s minimem informací. Počet vnějších přípojek by měl být omezen na minimum, nejlépe dvě přípojky (jedna vstupní a jedna výstupní) na polovinu formy. Každá z přípojek by měla být označena jako „vstupní“ a „výstupní“, aby se obsluha vyhnula vytvoření mrtvého chladicího okruhu. Mnoho výrobců forem barevně označuje přívodní vedení (modře) a zpětná vedení (červená). [12]

3.5.2 Temperační kanály v deskách

Uspořádání temperačních kanálů se řídí potřebou zajistit rovnoměrný a dostatečný průtok do každé dutiny, přesností výrobního zařízení a požadovaným chlazením v tvárníku a tvárnici. Přestože většina tepla ve formě je odváděna chlazením dutin a jader, určité množství tepla putuje do desek. Desky formy je třeba chladit a zároveň dostatečně chladit jádra a dutiny. [12]

Sériová a paralelní temperace desek

Obrázek 46 ukazuje typické uspořádání sériového a paralelního temperačního okruhu desek. Průtok závisí pouze na rozdílu tlaků ΔP mezi vstupem a výstupem a na odporu uvnitř kanálů. Čím delší je obvod, tím větší je odpor. Čím větší jsou průměry kanálů v okruhu, tím menší je odpor. Jak temperační kapalina protéká kanály, odebírá teplo z okolního kovu, a tím se zvyšuje její teplota. Proto je účinnost temperace větší v blízkosti vstupního otvoru než v blízkosti výstupu, kde je chladicí kapalina teplejší. To je důvod, proč se doporučuje udržovat maximální rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem na minimu. [12]

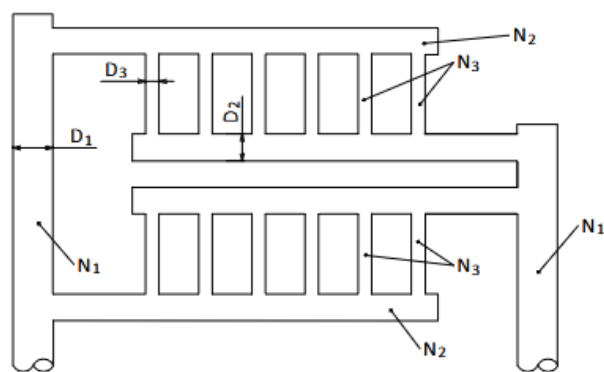


Obrázek 46 Temperační okruh sériový (nahore) a paralelní (dole) v desce

(zdroj: [12])

U paralelního uspořádání chladicích kanálů je důležité, aby průřez kanálů IN a OUT D byl dostatečně větší než součet průřezů d paralelních větví. Pokud by d bylo stejné jako D , temperační médium by se vydalo nejkratší cestou (první větví) z IN do OUT. [12]

V mnoha formách se používá kombinace paralelního a sériového chlazení. Např. desky mohou být temperovány sériově, tvárnice a tvárníky sériově/paralelně (viz obrázek 47). [12]



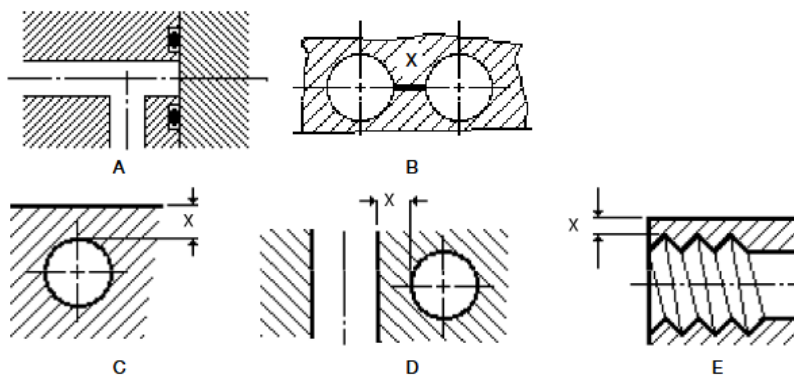
Obrázek 47 Kombinovaný sériový a paralelní temperační okruh

(zdroj: [12])

Uspořádání temperačních okruhů na straně tvárnice a na straně tvárníku nemusí být stejné. Často je poměrně snadné zajistit paralelní chlazení tvárníků, zatímco u tvárnice je to obtížnější. Velmi častým přístupem je použití sériových nebo sériově-paralelních temperačních okruhů pro tvárnice a paralelních nebo sériově-paralelních pro tvárníky. [12]

3.5.3 Vzdálenost temperačních kanálů od otvorů a povrchů

Čím větší je délka a čím menší je průměr vrtaného otvoru, tím více může vrták vybočit ze své zamýšlené dráhy. Na obrázku 48 jsou uvedeny minimální doporučené vzdálenosti mezi otvory a plochami. Na začátku vrtaného kanálu může být tato vzdálenost menší. To platí i pro dlouhé otvory vyrobené vrtáky pro hluboké díry, i když ty se drží v linii mnohem lépe než šroubovité vrtáky. [12]

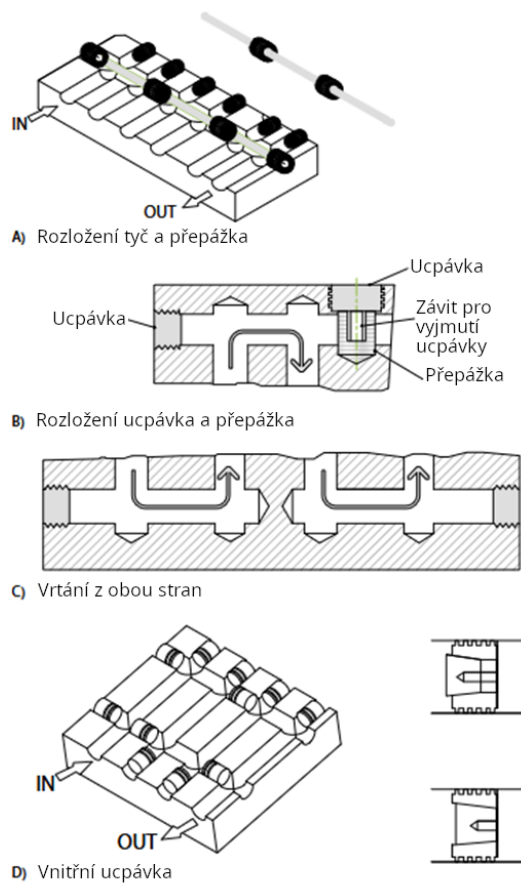


Obrázek 48 Minimální vzdálenosti mezi temperačním kanálem a prvky v deskách formy: (A) > 1 mm od drážky O-kroužku; (B) $x > 5$ mm; (C) $x > 5$ mm; (D) $x > 5$ mm; (E) $x > 4$ mm

(zdroj: [12])

3.5.4 Ucpávky a přepážky v deskách

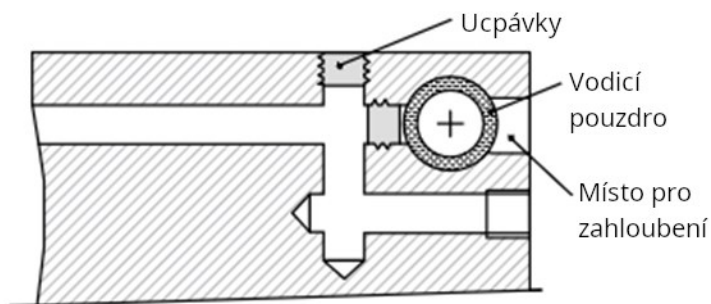
Obrázek 49 ukazuje konec desky se zátkami na konci otvorů a přepážkami pro usměrnění proudění. V případě obrázku 49A jsou přepážky připevněny k tyči pomocí kolíků, šroubů nebo pájky. Tyč zajišťuje, aby přepážky zůstaly na svém místě. Tato metoda je relativně levná. Nevýhodou přepážek a tyčí je, že jejich uložení ve vývrtu musí být volné, aby je bylo možné smontovat, v důsledku toho se otvor postupně zanáší usazeninami nebo rzi. Obrázek 49B ukazuje jiný způsob instalace přepážek. Přepážka je umístěna tak, aby její osa přibližně protínala osu chladicího kanálu. Volbou průměru a délky přepážky, které jsou o něco větší než průměr kanálu, se průtok zcela uzavře. Otvor se závitem v přepážce usnadňuje její demontáž. Zátka na boku desky uzavírá přístup k přepážce a eliminuje možný únik. Obrázek 49C znázorňuje běžně používanou praxi vrtání z obou stran desky, aby se zabránilo vkládání přepážek. Tato metoda by se měla používat pouze v případě, že je třeba vyvrtat další otvory z obou stran, protože se tím ušetří další čas na seřízení stroje, který může být dražší než přepážka. Obrázek 49D ukazuje jinou variantu s použitím zátek, které mají expanzní funkci pro zajištění jejich polohy uvnitř jádra chladicího kanálu. Tyto zátky jsou sice pohodlné a poskytují velkou flexibilitu, ale musí být pevně upevněny, jinak se v chladicím kanálu pohybují a potenciálně blokuji nebo zkratují chladicí cestu. [12]



Obrázek 49 Typické uspořádání zátek a přepážek v deskách pro vytvoření chladicího okruhu

(zdroj: [12])

Pokud kritický prvek formy, jako je vodící kolík, pouzdro, vyhazovací mechanismus nebo šroub, stojí v cestě uspořádání temperačních kanálů, pak obrázek 50 ukazuje běžně používané uspořádání vrtání. Není bezpodmínečně nutné, aby se osa temperačního kanálu a osa otvoru protínaly. [12]



Obrázek 50 Uspořádání temperačních kanálů ve formě z důvodu vyhnutí se funkčnímu prvku formy

(zdroj: [12])

4 VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH PROGRAMŮ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ

Simulace procesu vstřikování a další typy výpočtů zapadají do konceptu digitálního, virtuálního prototypu, což je nástroj, který umožňuje výstřik před vlastní výrobou komplexně testovat a ověřovat. [15]

Simulace výrazně zkracují časovou náročnost vývoje, napomáhají k pochopení příčin vzniku problémů v reálném výrobním procesu, včetně zkoumání možností nápravy chyb vzniklých při návrhu výstřiku a případně i zpětně po vzniku chyby ve výrobě. Určitou nevýhodou je nutnost odbornosti jak pro zadání úkolů simulace, tak i pro interpretaci získaných výsledků. [15]

Pro simulační analýzy konstrukce výstřiku a jeho vlastností, vstřikovací formy a vstřikovacího procesu je k dispozici řada softwarů, mezi nejznámější a nejčastěji používané patří následující programy a produkty:

- Autodesk Simulation Moldflow.
- Cadmould 3D-F.
- Moldex 3D.
- Visi.
- SolidWorks Pastics. [15]

Spolehlivost, přesnost a rychlost simulačních výpočtů je závislá na možnostech příslušného hardwaru a softwaru, na kvalitě materiálových dat výstřiku a v neposlední řadě na tom jaké rozdíly jsou mezi analyzovanou podobou konstrukce výstřiku (formy), výpočty nastavenými technologickými parametry vstřikování a poté skutečnou výrobní realizací výstřiku. Přesnost simulačních výsledků je výrazně ovlivněna vstupními daty, především zadanými daty konkrétního vstřikovaného materiálu. Simulační programy obsahují databáze vstřikovaných materiálů spolu s daty potřebnými pro simulační výpočty, databáze materiálů forem, chladicích kapalin atd. [15]

Zadáním je kromě materiálových dat 3D model výstřiku v některém CAD formát (STEP, IGS, X-T, CATPART, STL apod.), návrh vtokového a temperačního systému formy včetně definice zadání, tedy cíl simulačních analýz, s jejichž vypovídající schopností bude uživatel dále pracovat: zpřesňovat a optimalizovat další předvýrobní i výrobní kroky. [15]

4.1 CAE (Computer Aided Engineering)

CAE je metoda pro využití počítačového softwaru k usnadnění inženýrských analýz a optimalizací. Termín CAE obecně zahrnuje simulace, validace a optimalizace výrobků a výrobních nástrojů. [15]

Podstatou modelování je náhrada zkoumaného systému jeho modelem, přičemž cílem je získat pomocí pokusů s modelem informace o původním zkoumaném systému. Simulace je technika, při níž se zkoumaný dynamický systém nahradí jeho modelem, se kterým se provádějí experimenty pro zjištění informací o původním zkoumaném dynamickém systému. Cílem experimentů je lepší pochopení chování studovaného systému nebo posouzení různých variant činností systému. [15]

Modely se obvykle dělí do dvou základních skupin:

- Fyzické modely jsou hmatatelné, vycházejí z fyzikální nebo geometrické podobnosti mezi modelovaným systémem a modelem.
- Matematické modely jsou abstraktní, virtuální modely, neumožňují provádět experimenty fyzikální podstaty, ale umožňují zkoumat jevy pomocí matematického popisu jejich průběhu. [15]

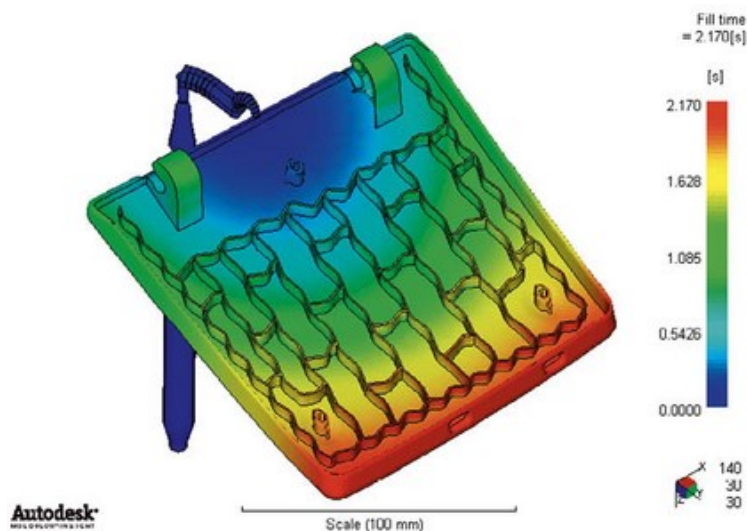
Pro implementaci modelů do simulačního prostředí se používá metoda MKP, Metoda konečných prvků (FEM, Finite Element Method; FEA, Finite Element Analysis). Metoda vychází z Lagrangeova principu, který říká, že těleso je v rovnováze, jestliže celková potenciální energie deformace soustavy je minimální. Metoda MKP má tři kroky – preprocesor (příprava modelu, jeho diskretizace), výpočtový modul (solver, řešitel) a postprocesor (zobrazení). [15]

4.2 Využití simulačních a optimalizačních programů CAE

CAE programy umožňují provádět řadu analýz procesu vstřikování, např.:

- Analýzu plnění tvarových dutin formy: predikce slabých míst, například neodpovídajících technologičnosti konstrukce výstřiků z termoplastů; návrh nejvýhodnější polohy ústí vtoku; odhalení míst se studenými spoji; s uzavíráním vzduchu; zjištění orientace vláken u vyztužených kompozitů s polymerní maticí a jejich vliv na konečný tvar a vlastnost výstřiku; určení míst, ve kterých dochází vlivem vysokého smykového namáhání nebo vlivem malého odvodu tepla

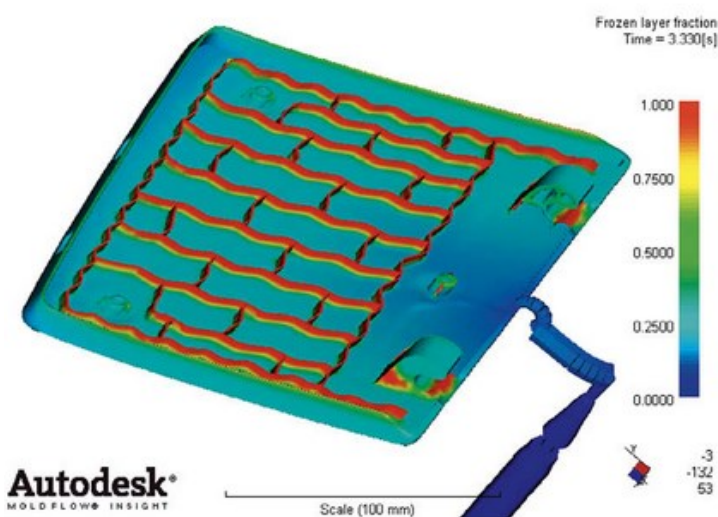
k přehřívání vstřikovaného materiálu. Výsledek plnění dutiny taveninou – obrázek 51. [15][16]



Obrázek 51 Plnění tvarové dutiny taveninou

(zdroj: [15])

- Analýzu dotlakové fáze: prověření konstrukce vtokového rozvodu a polohy ústí vtoku – variantní simulace; návrh optimální doby dotlaku a jeho tlakové úrovně nebo časového průběhu. Jeden z výsledků dotlaku – obrázek 52 - zamrzání vrstev. [15][16]

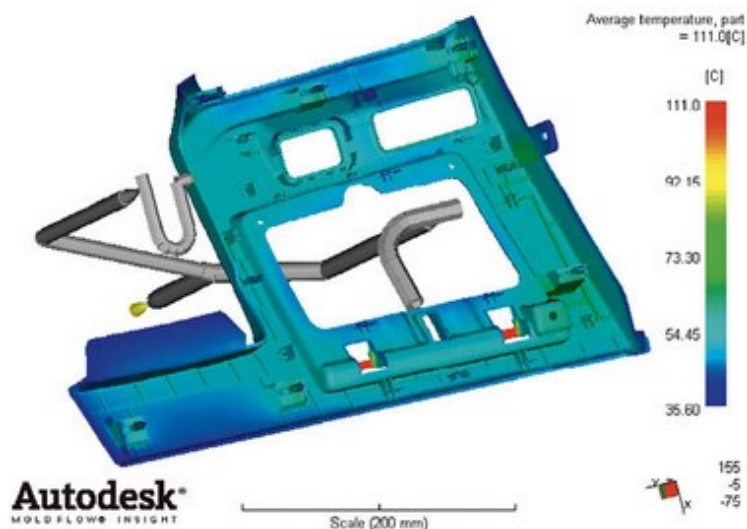


Obrázek 52 Výpočet zamrzání

(zdroj: [15])

- Analýzu chladicího systému formy: zvýšení účinnosti a efektivnosti systému a jednotlivých temperačních okruhů; návrh změn v konstrukci temperačních

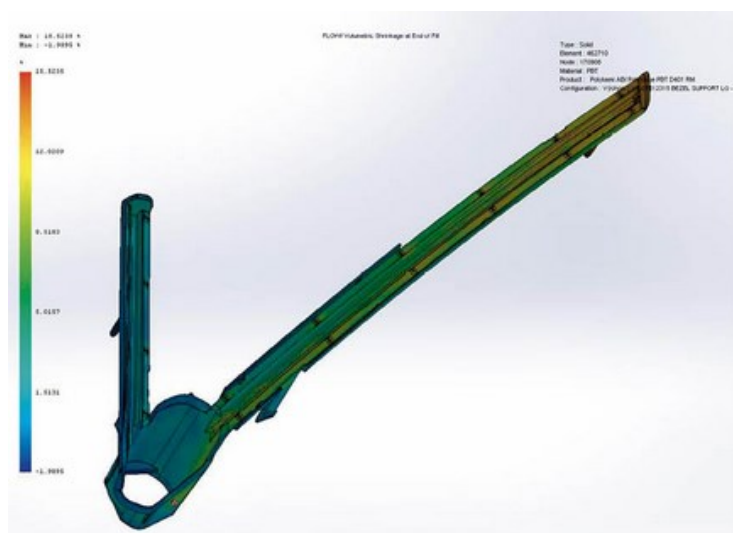
systémů – konformní chlazení, použití vložek z vysoce vodivých materiálů atd. Jeden z výsledků chlazení – obrázek 53 - teplota při vyhazování. [15][16]



Obrázek 53 Rozložení průměrné teploty na rubové straně výstřiku v okamžiku jeho vyhození z formy

(zdroj: [15])

- Analýza smrštění a deformací: výpočet objemového smrštění (obrázek 54), výpočet průměrného smrštění a současně i možnost měření velikosti smrštění mezi dvěma libovolně zvolenými místy výstřiku. [15][16]



Obrázek 54 Výpočet objemového smrštění výstřiku

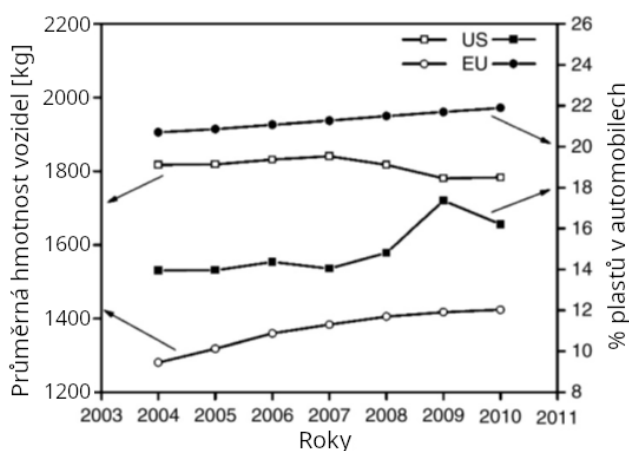
(zdroj: [15])

5 PLASTY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Moderní automobil zaznamenal pozoruhodnou změnu v typech materiálů používaných při jeho výrobě. Od kovového kolosu v 50. letech 20. století se současný automobil posunul k rozsáhlému využití alternativních lehčených materiálů. Tento dramatický posun v průběhu let lze přičíst rostoucím požadavkům na snižování hmotnosti vozidel s cílem zlepšit spotřebu paliva a splnit legislativní a regulační požadavky. Mezi tyto legislativní a regulační požadavky patří i požadavky na boj proti změně klimatu, které výrobcům automobilů nařizují snížit spotřebu paliva, a tím i emise CO₂. [17][18]

Snížení hmotnosti lze dosáhnout konsolidací dílů, náhradou materiálů a optimalizací konstrukce. Mezi nimi je například nahrazení materiálu, zejména plasty, poskytuje lehké, snadno zpracovatelné a korozivzdorné díly pro automobilový průmysl. [18]

Používání plastů v automobilovém průmyslu lze vysledovat až do období od roku 1900. Nejvýrazněji se však projevilo v roce 1941, kdy Henry Ford představil svůj automobil s plastovou karoserií vyrobený z plastů na bázi konopí, sisalu a celulózy. Množství plastů v automobilech se v průběhu let neustále zvyšuje. Obrázek 55 ukazuje srovnání obsahu plastů v automobilech mezi evropským a americkým automobilovým segmentem v letech 2003 až 2011. Termoplasty a elastomery (např. polypropylen (PP), polyethylen (PE), polyamid (PA) a termoplastický polyolefin (TPO)) se tradičně používají v palubních deskách, sedadlech, pásech, těsněních, těsnicích lepidlech a pneumatikách. Kompozity z reaktoplastů, vyztužené uhlíkovými a skelnými vlákny, se však stále častěji používají v konstrukčních součástech automobilu, listová pružina a sloupce A a B. [18]



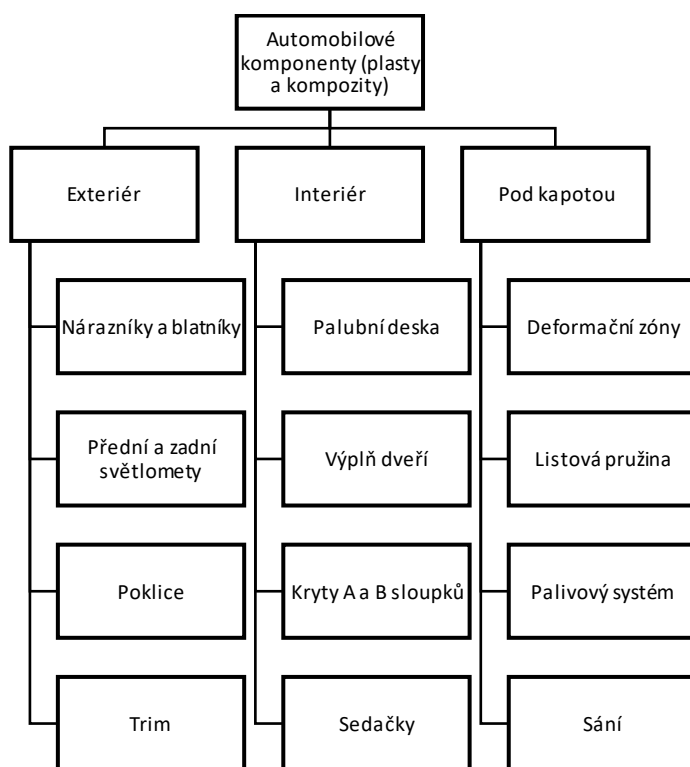
Obrázek 55 Trend obsahu plastů v evropských a amerických automobilech

(zdroj: [18])

Použití plastů a jejich derivátů (tj. kompozitů) v několika automobilových komponentech, rozdělených do tří segmentů:

- Exteriér.
- Interiér.
- „Pod kapotou“. [18]

Seznam jednotlivých součástí v každé části je uveden na obrázku 56. [18]



Obrázek 56 Kategorizace automobilových komponentů vyrobených z plastů a kompozitů.

(zdroj: [18])

5.1 Součásti exteriéru

Vnější součásti vozu se skládají z dílů, jako jsou nárazníky, kola, kryty zrcátek, světla a vnější struktury karoserie. Obecně se od vnějších konstrukcí očekává vysoká pevnost, vysoká odolnost proti nárazu a hladká, estetická povrchová úprava. Kromě toho se vzhledem k obavám o zlepšení spotřeby paliva a v poslední době i o ekologickou udržitelnost očekává, že vnější součásti budou také lehké a recyklovatelné. [18]

5.2 Součásti interiéru

Vnitřní součásti vozidla se skládají především z palubní desky, dveřních výplní a sedadel; ty dohromady tvoří největší podíl plastů v automobilu, a to 38 %. Od těchto součástí se očekává především uspokojení požadavků na pohodlí, zápach, estetický vzhled, ergonomické uspořádání a trvanlivost. Například většina interiérových panelů musí mít povrchovou úpravu třídy A. Z hlediska bezpečnosti musí všechny materiály použité k výrobě interiérových součástí splňovat požadavky hořlavosti. Kromě toho se od interiérových prvků také vyžaduje, aby měly mlžící a akustické vlastnosti. [18]

5.3 Součásti pod kapotou

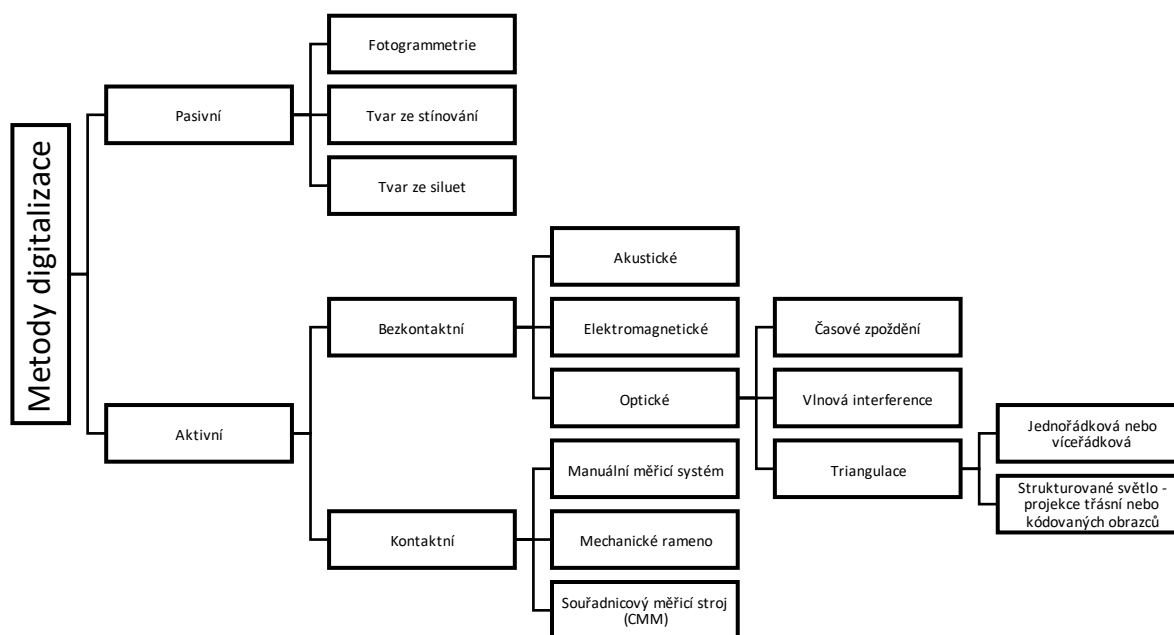
Konstrukční a mechanické části umístěné pod kapotou vozu, jako je motor a související díly, palivový systém, chladicí systém a nárazové prvky. Nahrazení kovů kompozity se v průběhu let prosadilo kvůli rostoucím obavám o snížení spotřeby paliva a zajištění čistšího a zdravějšího životního prostředí. V prvních letech výroby a používání automobilů nebylo použití kompozitů v dílech pod kapotou příliš časté, na rozdíl od dílů v interiéru a exteriéru, kvůli obavám o jejich odolnost vůči korozi, opotřebení a vysokým teplotám a o jejich vlastnosti v podmínkách hluku, vibrací a drsnosti. Situace se však výrazně změnila a dnes je možné pod kapotou vidět řadu dílů vyrobených z kompozitů. [18]

6 REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ

3D skenování je proces označovaný jako využití zařízení, technik a softwarových nástrojů schopných zachytit realitu a převést ji do digitálních modelů s opačným přístupem, než je tradiční: nevychází se z digitálního modelu 3D CAD, který má být vyroben, ale digitálně se reprodukuje, přičemž se vychází z fyzického předmětu. Taková je základní myšlenka reverzního inženýrství. Termín reverzní inženýrství se používá pro celý proces od získání fyzického objektu až po jeho digitální rekonstrukci na různých úrovních detailů v závislosti na oblasti použití. Volba zařízení a zvoleného postupu závisí na cíli úlohy reverzního inženýrství: přesně rekonstruovat fyzický objekt nebo vytvořit model, z něhož lze provádět další konstrukční činnosti v systému CAD. [19][20]

6.1 Technologie pro 3D skenování

Ačkoli mnoho současných zařízení může pracovat v několika oblastech, některé aplikace vyžadují specifické vlastnosti skeneru, jako je jeho přenosnost, vysoká přesnost, zachycení barev, bezkontaktní použití, jednoduché nastavení, možnost snímání velmi malých nebo velkých objektů, schopnost snímat lesklé nebo velmi odrazivé povrchy, možnost automatizace procesu snímání pro opakované úlohy atd. 3D skenovací systémy dostupné na současném trhu lze rozdělit podle obrázku 57. [20]



Obrázek 57 Klasifikace metod digitalizace

(zdroj: [20])

Pasivní metody založené na obrazu simulují fungování lidského zrakového aparátu a generují 3D měření ze staničních snímků pomocí projektivní geometrie nebo perspektivního modelu kamery. Aktivní metody využívají zdroj energie vysílaný zařízením, který interaguje s měřeným objektem a je zpětně zachycen snímačem uvnitř zařízení. [20]

6.1.1 Pasivní metody

Do pasivních metod se řadí fotogrammetrie, využívající zákonů optiky a projekční geometrie k získání trojrozměrnosti objektu zachyceného kamerou z více úhlů (obrázek 58). Tato technika se používá především při snímání velkých objektů a rekonstrukci prostředí. [20][21]



Obrázek 58 Skenování pomocí fotogrammetrie

(zdroj: [21])

Fotogrammetrie je mezi uživateli poměrně rozšířená technika pro svou snadnou přenositelnost (vyžaduje v podstatě digitální fotoaparát) a nízké náklady ve srovnání s jinými aktivními zařízeními. [20]

6.1.2 Aktivní metody

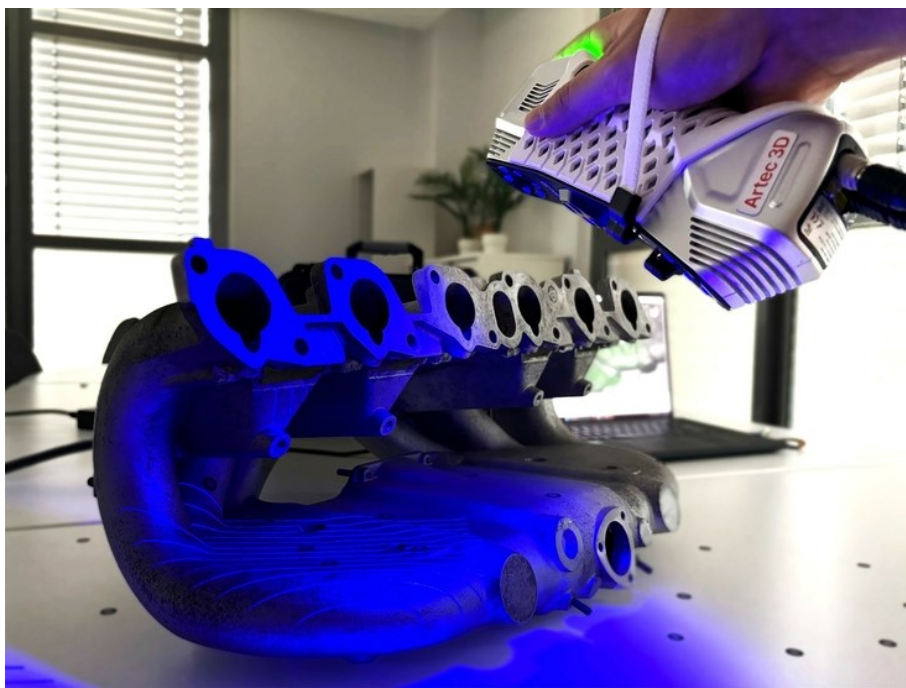
Tyto metody využívají zdroj energie interagující s objektem k zachycení jeho celého tvaru (nebo jen několika bodů) a stávají se běžným přístupem k měření objektů a standardním zdrojem vstupních geometrických dat. Lze je rozdělit do dvou kategorií, jak ukazuje obrázek 57:

1. Systémy založené na kontaktu: mezi sondou a snímaným povrchem je fyzický kontakt.

2. Systémy založené na bezkontaktním snímání: hardware využívá fyzikální jevy, jako je světlo, zvuk nebo elektromagnetické vlny. [20]

Do první skupiny snímacích systémů patří souřadnicové měřicí stroje (CMM), ruční dotykové měřicí systémy a mechanická ramena s dotykovou sondou. Naopak systémy založené na optických, elektromagnetických a akustických metodách patří do kategorie bezkontaktních systémů. Zařízení založená na optice poskytují tisíce až miliony bodů během několika sekund a často jsou schopna zachytit i barvu objektu. [20][21]

Laserová technologie je referenční technologií pro většinu 3D skenerů dostupných na trhu, a to díky své jednoduchosti, kompaktnosti a širokému spektru použití. V laserovém systému se na objekt promítá linie laserového proužku nebo více linií dohromady a kamera pak pořizuje sérii snímků laserového proužku, modulovaných podle tvaru objektu, zatímco se objekt nebo laserový proužek pohybuje vpřed (obrázek 59). [20][21]



Obrázek 59 Skenování pomocí laseru

(zdroj: [22])

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE PRÁCE

V praktické části této diplomové práce jsou vytyčeny následující cíle:

1. Konstrukce modelu zadané součásti.
2. Návrh 3D konstrukce vstřikovací formy pro zadaný díl s ohledem na výrobitelnost.
3. Ověření funkčnosti navrženého řešení pomocí simulace v softwaru Autodesk Moldflow.
4. Tvorba výkresové dokumentace a kusovníku.

Primární návrh vstřikovací formy je řešen pro materiál mřížky ABS, alternativní návrh je pro materiál PP.

Vstřikovací forma je čtyřnásobná se studeným vtokovým systémem.

Programy použité v praktické části jsou: Polyworks, Catia V5 6R2020, Moldflow Insight 2024.

8 VÝROBEK

Jedná se o mřížku výdechu z palubní desky, která slouží k odmlžení čelního skla. Fyzický díl mřížky je na obrázku 60 a 61. Mřížka se nachází na čtyřech místech v palubní desce viz obrázek 62. Pozice mřížky v palubní desce je fixována hubicí (obrázek 63).



Obrázek 60 Mřížka, pohled shora

(zdroj: vlastní)



Obrázek 61 Mřížka, pohled zespodu

(zdroj: vlastní)



Obrázek 62 Pozice mřížek v palubní desce

(zdroj: vlastní)



Obrázek 63 Hubice (vlevo) a mřížka (vpravo)

(zdroj: vlastní)

Mřížka a zobrazené přidružené komponenty pochází z vozidla Range Rover Classic, pohled do interiéru vozidla je na obrázku 64.



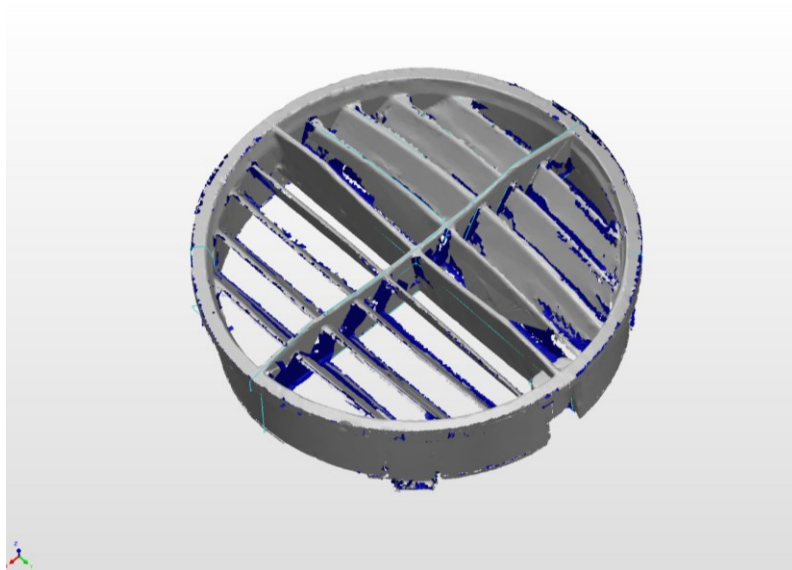
Obrázek 64 Interiér vozidla Range Rover Classic

(zdroj: [31])

8.1 Převedení skutečného výrobku na 3d model

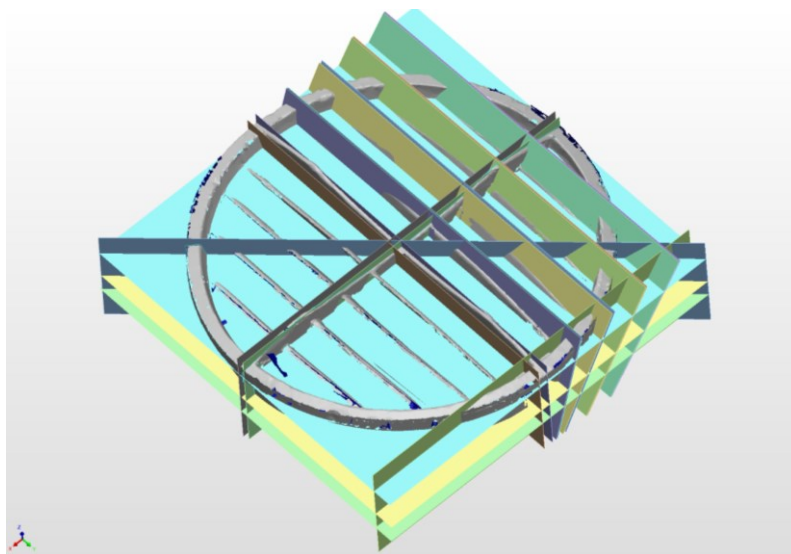
Mřížka je naskenována do programu Polyworks laserovým skenovacím zařízením Nikon ModelMaker H120.

Naskenovaný model mřížky je upraven v programu Polyworks tak, aby jej bylo možné zarovnat s globálním souřadnicovým systémem (obrázek 65). Takto zarovnaný sken je proložen několika rovinami (obrázek 66) a v těchto rovinách jsou provedeny řezy mřížkou. V každém řezu je pomocí křivek získán obrys, který je zakótován. Tyto pomocné náčrty (obrázek 67) slouží k vymodelování mřížky v programu Catia.

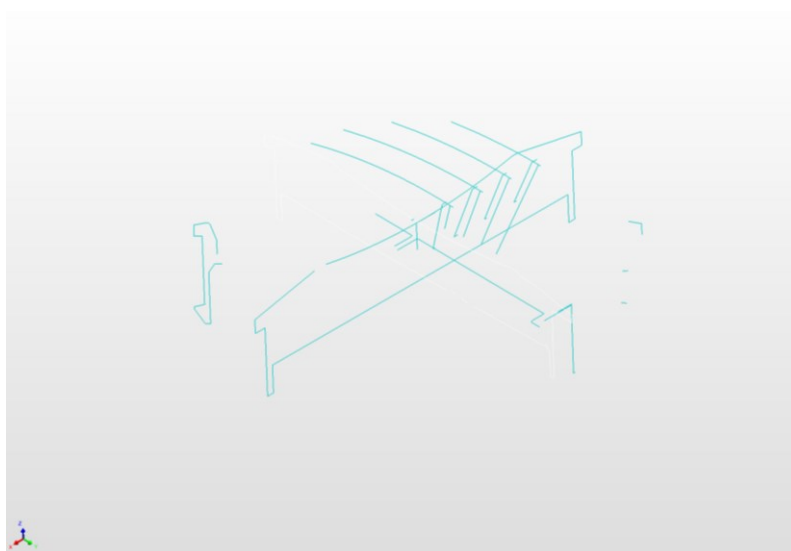


Obrázek 65 Upravený a zarovnaný sken mřížky

(zdroj: vlastní)



Obrázek 66 Sken mřížky proložený rovinami

(zdroj: vlastní)

Obrázek 67 Potřebné řezy sloužící k vymodelování mřížky

(zdroj: vlastní)

8.2 Verze 3D modelu mřížky

3D model mřížky je zhotoven ve čtyřech verzích. První verze (obrázek 68) je model v měřítku 1:1 s reálnou mřížkou bez technologických rádiusů, jedná se o výchozí model. Druhá verze (obrázek 69) je 1:1 model s technologickými rádiusy. Takto by vypadala mřížka po výrobě. Třetí verze je model bez technologických rádiusů zvětšený o hodnotu smrštění použitého plastu, který je použit v simulacích. Čtvrtá verze je model s technologickými

rádusy zvětšený o hodnotu smrštění použitého plastu. Tato verze je použita pro modelování tvárníku, tvárnice a bočního odformování.



Obrázek 68 Model mřížky bez rádusů

(zdroj: vlastní)



Obrázek 69 Model mřížky s rádusy

(zdroj: vlastní)

9 KONFIGURACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

V této kapitole je definovaná síť modelu pro všechny následující simulace, volba materiálů a vstřikovacího stroje z výsledků zjištěných z předběžné tokové analýzy.

9.1 Síť modelu

Následující statistika sítě platí pouze pro jeden model (tabulka 3).

Tabulka 3 Statistika sítě modelu v programu Moldflow

Parametr	Hodnota
Délka hrany trojúhelníku [mm]	1,80
Počet trojúhelníků	52214
Poměr stran (maximum)	19,02
Poměr stran (průměr)	1,60
Poměr stran (minimum)	1,16
Počet volných hran elementů	0
Počet neorientovaných elementů	0
Počet překrývajících se elementů	0
Počet nepropojených hran elementů	0
Počet protínajících se elementů	0
Kvalita sítě [%]	95,10

(zdroj: vlastní)

9.2 Primární materiál ABS

ABS (akrylonitrilbutadienstyren) je univerzální a odolný termoplastický amorfni polymer široce používaný v různých průmyslových odvětvích. ABS je známý svou houževnatostí, odolností proti nárazu a schopností odolávat různým teplotám, a proto se běžně používá při výrobě výrobků, jako jsou automobilové díly, elektronické kryty a domácí spotřebiče.

Materiál, pro který je navržena vstřikovací forma a tvarové vložky: INEOS ABS: Lustran ABS Elite HH 1891 (tabulka 4).

Tabulka 4 Vlastnosti materiálu Lustran ABS Elite HH 1891

Parametr	Hodnota
Doporučené podmínky zpracování:	
Teplota povrchu formy [°C]	80
Teplota taveniny [°C]	260
Rozsah teploty povrchu formy [°C]	60 – 85
Rozsah teploty taveniny [°C]	220 – 280
Nejvyšší teplota taveniny [°C]	310
Vyhazovací teplota [°C]	97
Maximální smykové napětí [MPa]	0,28
Maximální rychlost smykové deformace [s ⁻¹]	50000
Vlastnosti smrštění:	
Průměrné nominální smrštění [%]	0,5294

(zdroj: vlastní)

9.3 Alternativní materiál PP

Polypropylen (PP) je termoplastický semikrystalický materiál, který je rozšířený kvůli své vysoké odolnosti, lehkosti a snadné zpracovatelnosti. Je odolný vůči chemikáliím, vlhkosti a teplu, což ho činí vhodným pro širokou škálu aplikací, včetně obalů, spotřebního zboží a průmyslových součástek. Díky svým výborným mechanickým vlastnostem a nízké ceně je polypropylen často nejlepší volbou pro výrobu různých produktů, od plastových lahví po automobilové díly.

Alternativní materiál s podobnou hodnotou smrštění jako ABS je vybrán: Sumitomo Chemical Company: Sumitomo Noblen BP1009L (tabulka 5).

Tabulka 5 Vlastnosti materiálu Sumitomo Noblen BP1009L

Parametr	Hodnota
Doporučené podmínky zpracování:	
Teplota povrchu formy [°C]	40
Teplota taveniny [°C]	200
Rozsah teploty povrchu formy [°C]	20 – 60
Rozsah teploty taveniny [°C]	180 – 200
Nejvyšší teplota taveniny [°C]	240
Vyhazovací teplota [°C]	128
Maximální smykové napětí [MPa]	0,25
Maximální rychlost smykové deformace [s ⁻¹]	100000
Vlastnosti smrštění:	
Průměrné nominální smrštění [%]	0,5294
Paralelní nominální smrštění [%]	0,4455
Kolmé nominální smrštění [%]	0,5294

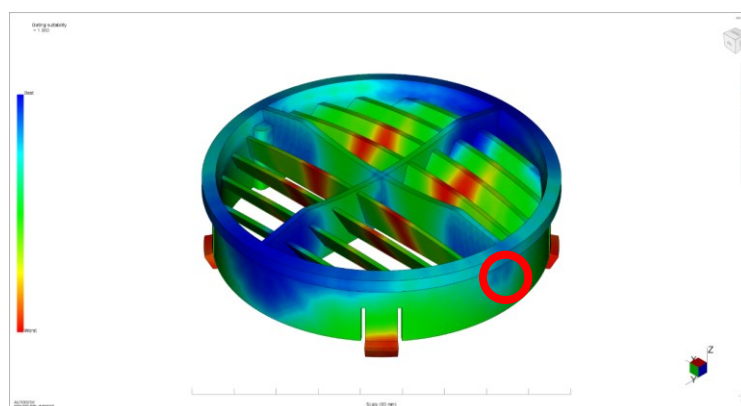
(zdroj: vlastní)

9.4 Analýza umístění vtokového ústí

Nastavení procesních podmínek ponecháno na výchozích hodnotách.

9.4.1 Materiál ABS

Na obrázku 70 je zobrazen výsledek nejvhodnějšího umístění vtokového ústí (modrá nejlepší, červená nejhorší). Zvolené místo vtokového ústí je označeno červeným kruhem.

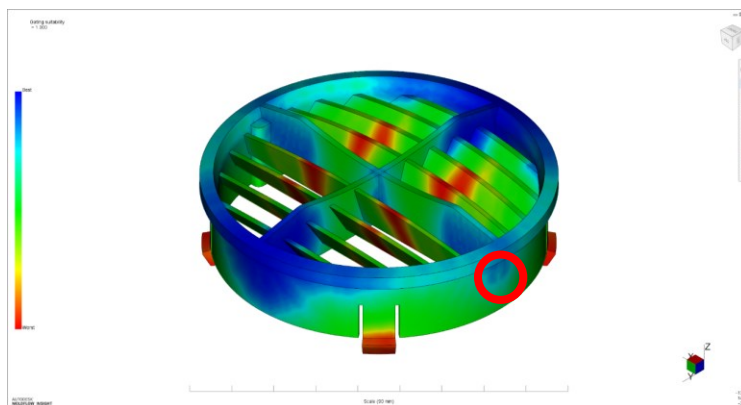


Obrázek 70 Nejvhodnější umístění vtokového ústí (ABS)

(zdroj: vlastní)

9.4.2 Materiál PP

Na obrázku 71 je zobrazen výsledek nejvhodnějšího umístění vtokového ústí (modrá nejlepší, červená nejhorší). Zvolené místo vtokového ústí je označeno červeným kruhem.



Obrázek 71 Nejvhodnější umístění vtokového ústí (PP)

(zdroj: vlastní)

9.5 Předběžná toková simulace

Cílem této simulace je zjistit potřebnou vstřikovanou dávku materiálu pro zaplnění dutiny formy a maximální uzavírací sílu pro stanovení vhodného vstřikovacího stroje. Typ analýzy je plnění + dotlak. Výsledky jsou vypočteny pouze pro jednu dutinu vstřikovací formy bez vtokového systému. Procesní podmínky jsou nastaveny na výchozích hodnotách.

9.5.1 Materiál ABS

Celková hmotnost výrobku na konci fáze dotlaku: 20,43 g.

Maximální uzavírací síla: 9 tun = 90 kN.

9.5.2 Materiál PP

Celková hmotnost výrobku na konci fáze dotlaku: 18,3 g.

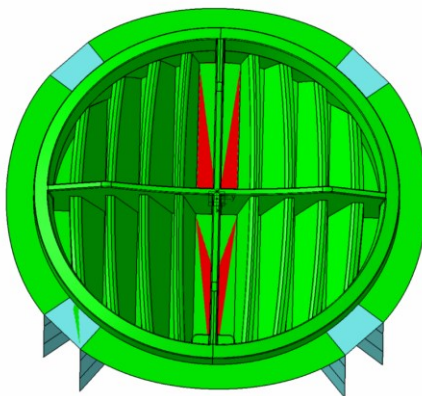
Maximální uzavírací síla: 3,93 tun = 39,3 kN.

10 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Tato kapitola se věnuje návrhu vstřikovací formy mřížky. Vstřikovací forma je sestavena s pomocí normálií firmy Meusbürger.

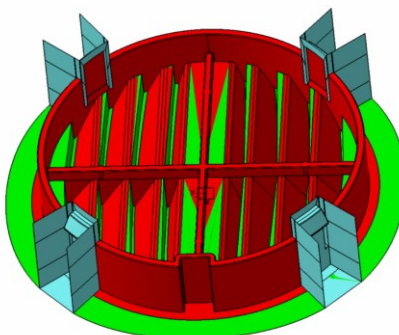
10.1 Dělicí rovina

Mřížka má jednu hlavní dělicí rovinu a čtyři vedlejší dělicí roviny (viz obrázky 72 a 73). Zelenou barvou jsou zbarveny plochy tvárnice, červenou barvou jsou zbarveny plochy tvárníku a světle modrou barvou jsou zbarveny plochy bočního odformování, které je řešeno formou šikmých vyhazovačů.



Obrázek 72 Rozdělení ploch na tvárnici a boční odformování

(zdroj: vlastní)



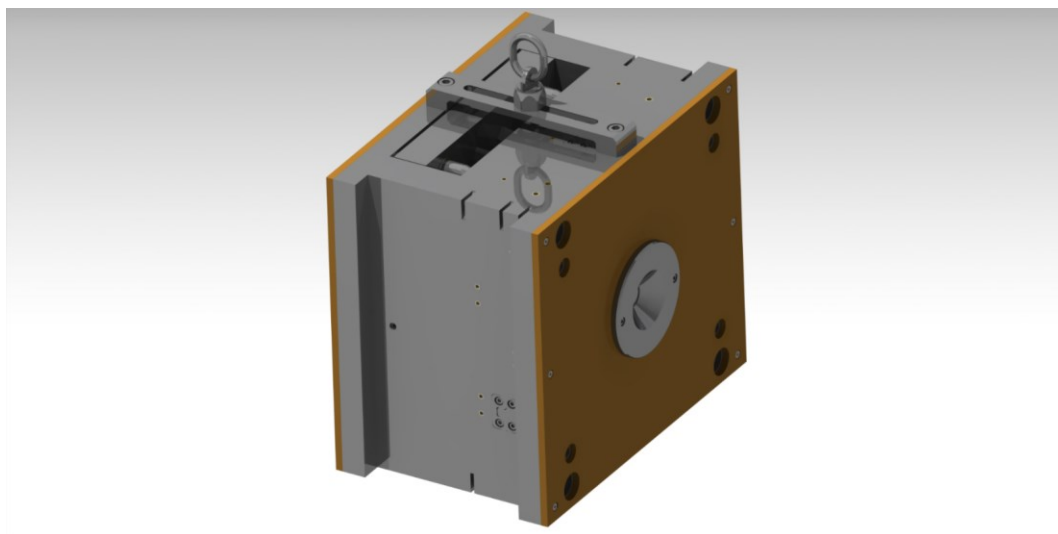
Obrázek 73 Rozdělení ploch na tvárník a boční odformování

(zdroj: vlastní)

10.2 Rám vstříkovací formy

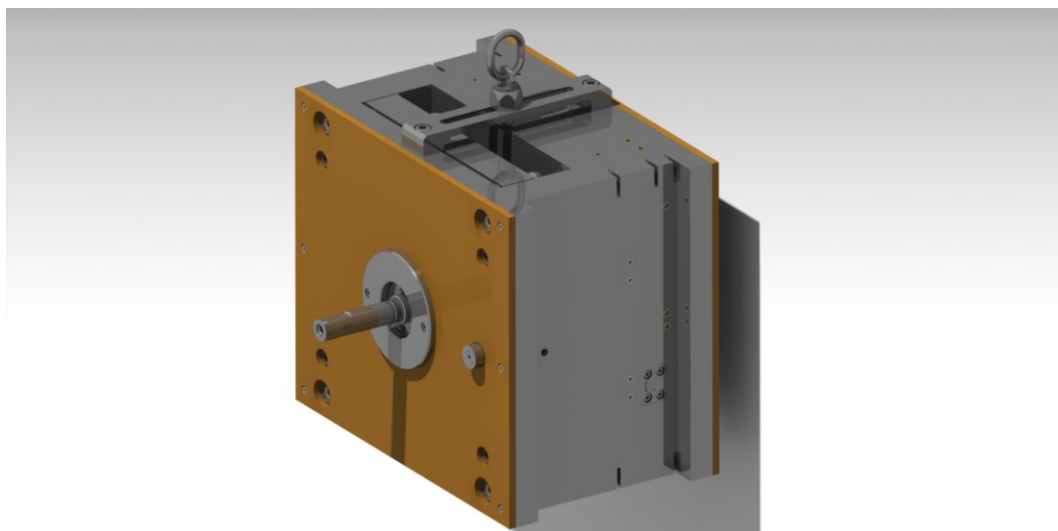
Vstříkovací forma je čtyřnásobná se studeným vtokovým systémem. Rozměry vstříkovací formy jsou 396 x 346 x 240 mm (šířka x výška x délka). Hmotnost vstříkovací formy je 217 kg.

Na obrázku 74 a 75 je pohled z vnějšku na vstříkovací formu. Na obrázku 76 je potom pohled skrz vstříkovací formu. Pohled do dělicí roviny je na obrázku 77 a 78.



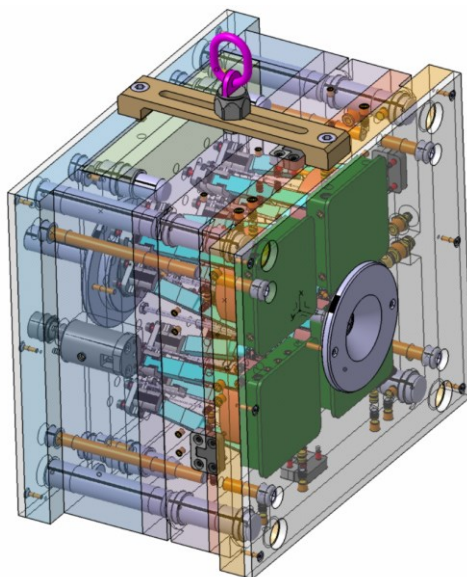
Obrázek 74 Vstříkovací forma – pohled od vstříkovací jednotky

(zdroj: vlastní)

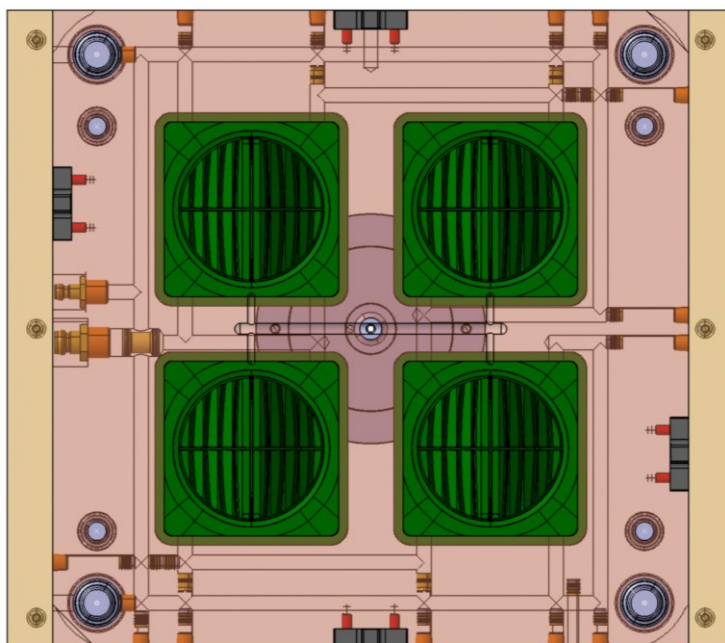


Obrázek 75 Vstříkovací forma – pohled od uzavírací jednotky

(zdroj: vlastní)

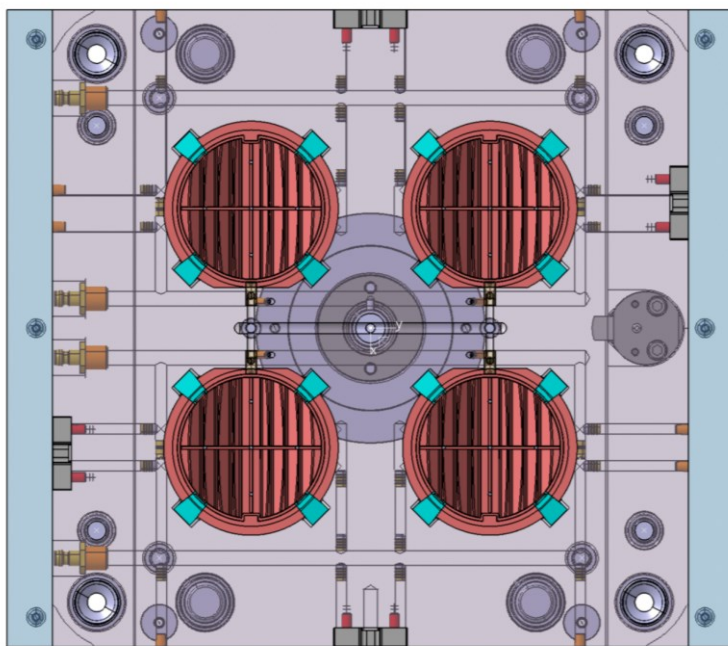


Obrázek 76 Pohled do vstřikovací formy

(zdroj: vlastní)

Obrázek 77 Pohled do dělicí roviny pravé poloviny vstřikovací formy

(zdroj: vlastní)

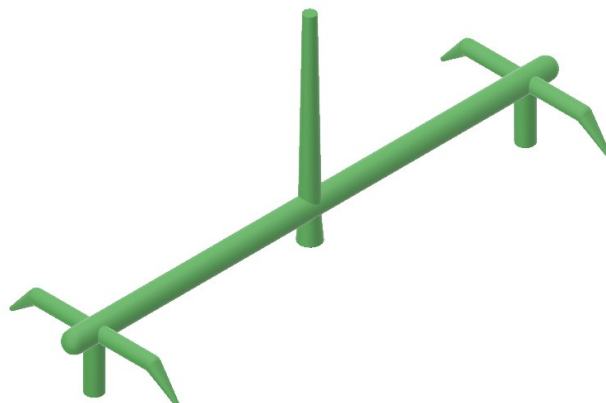


Obrázek 78 Pohled do dělicí roviny levé poloviny vstříkovací formy

(zdroj: vlastní)

10.3 Vtokový systém

Studený vtokový systém má kruhový průřez. Je výhodou je nejlepší tok taveniny ze všech možných průřezů, nevýhodami je nutnost obrábět kanál v obou deskách a dodržení lícování obou polovin. Na obrázku 79 je vizualizace vtokového systému. Studený vtokový systém je ve tvaru písmene „H“. Rozměry vtokového systému jsou uvedeny v kapitole 12.1. Vtokový systém tvoří vtoková vložka E 1610, přídržovač vtoku E 1660, vložky vtokového ústí E 1696 a obrobené kanály v deskách formy.



Obrázek 79 Vizualizace vtokového systému

(zdroj: vlastní)

10.4 Temperační systém

Ve vstřikovací formě se nachází tři temperační okruhy, jeden na pravé (nepohyblivé) straně a dva na levé (pohyblivé) straně. Jsou tedy potřeba tři temperační jednotky, jedna na každý okruh.

Přípojky hadic (E 2020) jsou vybaveny ventilkou, které brání vytečení temperačního média z formy po odpojení hadic. Detailní popis temperačních systémů viz kapitolu 12.2. V pravém temperačním okruhu se nachází křížení chlazení (E 21480, obrázek 80), temperační médium vstupuje středem křížení a opouští formu přes vnější kanál.

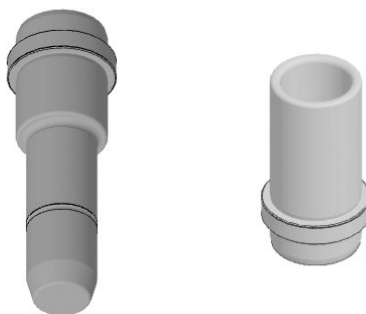


Obrázek 80 Křížení chlazení

(zdroj: vlastní)

10.5 Vedení a středění vstřikovací formy

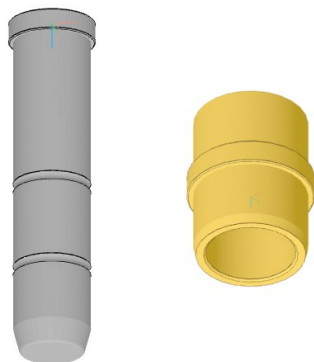
Vedení levé (pohyblivé) poloviny vstřikovací formy je zajištěno pomocí vodícího čepu (E 1000) a vodícího pouzdra (E 1100) o průměru vodící části 20 mm (obrázek 81).



Obrázek 81 Vodící čep (vlevo) a vodící pouzdro (vpravo)

(zdroj: vlastní)

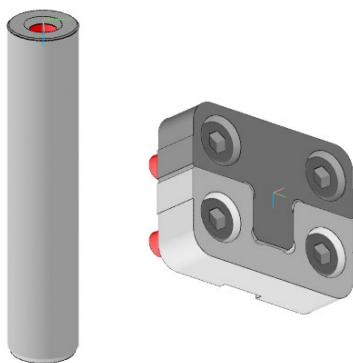
Vedení vyhazovacího paketu je zajištěno pomocí vodícího čepu vyhazovacího paketu (E 1020) a vodícího pouzdra vyhazovacího paketu (E 1120) o průměru vodící části 22 mm (obrázek 82).



Obrázek 82 Vodící čep vyhazovacího paketu (vlevo) a vodící pouzdro vyhazovacího paketu (vpravo)

(zdroj: vlastní)

Středění desek levé poloviny vstříkovací formy, kromě levé tvarové desky, je zajištěno pomocí středící trubky. Středění levé a pravé poloviny vstříkovací formy je zajištěno pomocí horizontálního koncového středění (E1308). Výhodou horizontální verze jsou úspora místa a snadná údržba. Středící prvky viz obrázek 83.

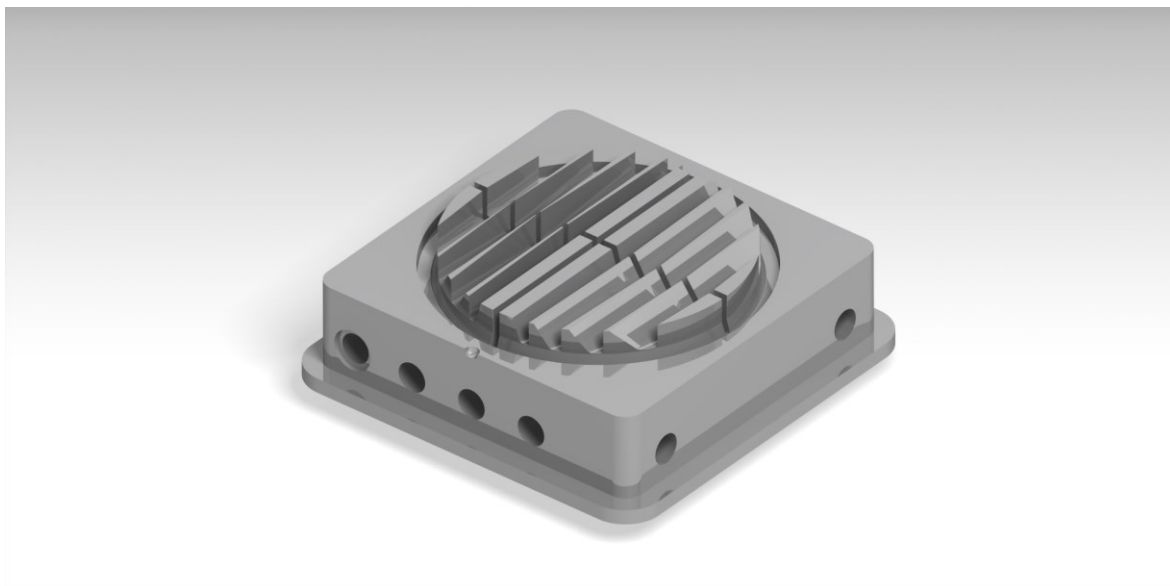


Obrázek 83 Středící trubka (vlevo) a horizontální koncové středění (vpravo)

(zdroj: vlastní)

10.6 Tvarové vložky

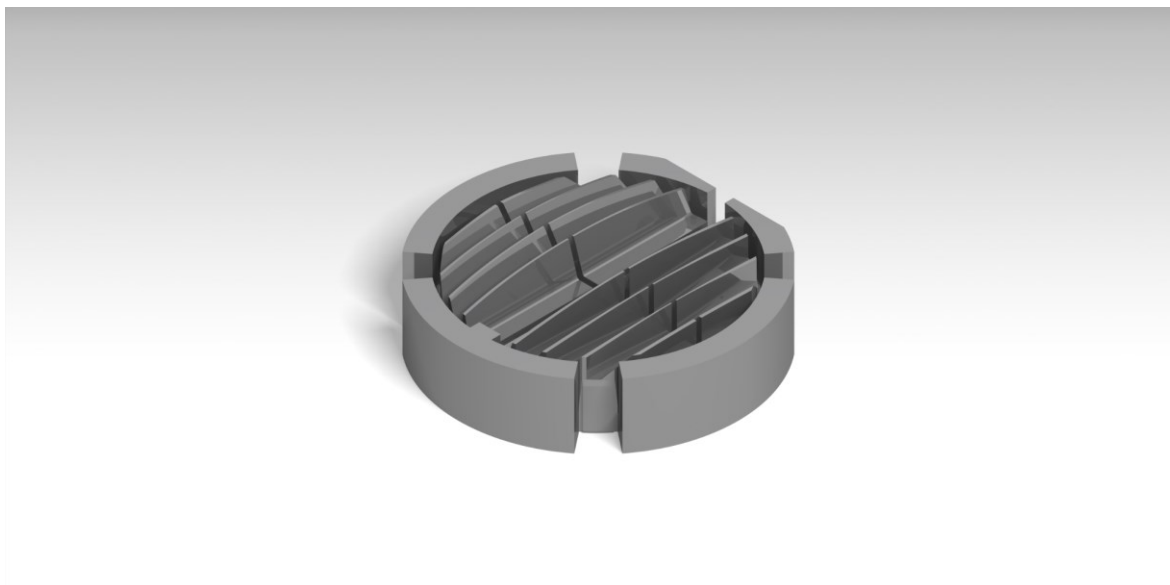
Tvarová vložka tvárnice (obrázek 84) má čtvercový půdorys a má v sobě vyvrtané temperační kanály, její pozice je ve formě fixována pomocí obvodového osazení.



Obrázek 84 Tvárnice

(zdroj: vlastní)

Tvarová vložka tvárníku (obrázek 85) má kruhový půdorys a její pozice je ve formě fixována pomocí šroubu a vložky vtokového ústí, která je zajištěna stavěcím šroubem.

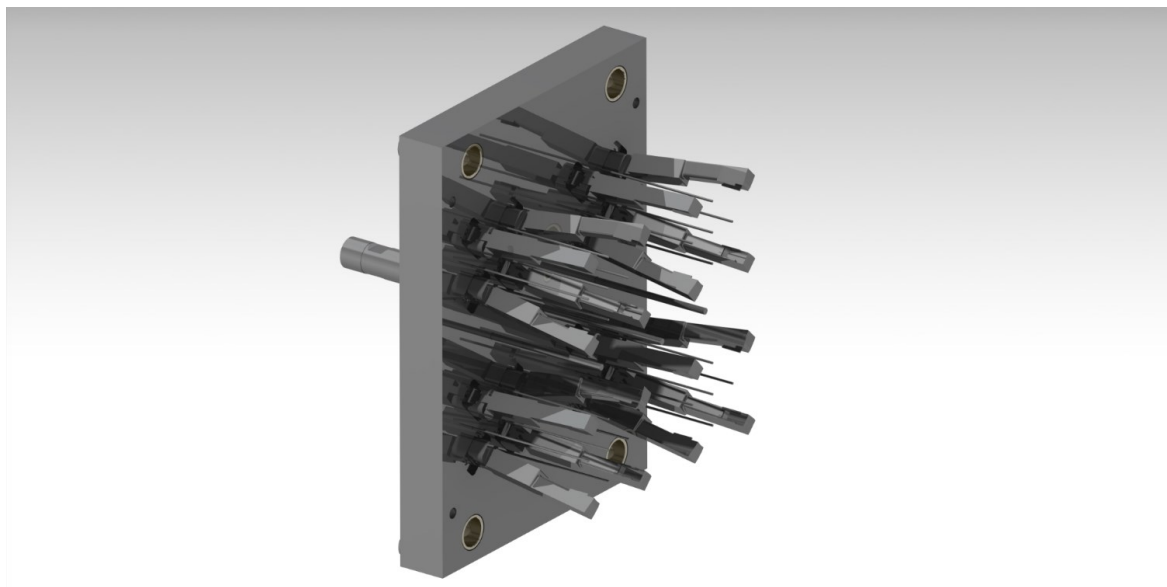


Obrázek 85 Tvárník

(zdroj: vlastní)

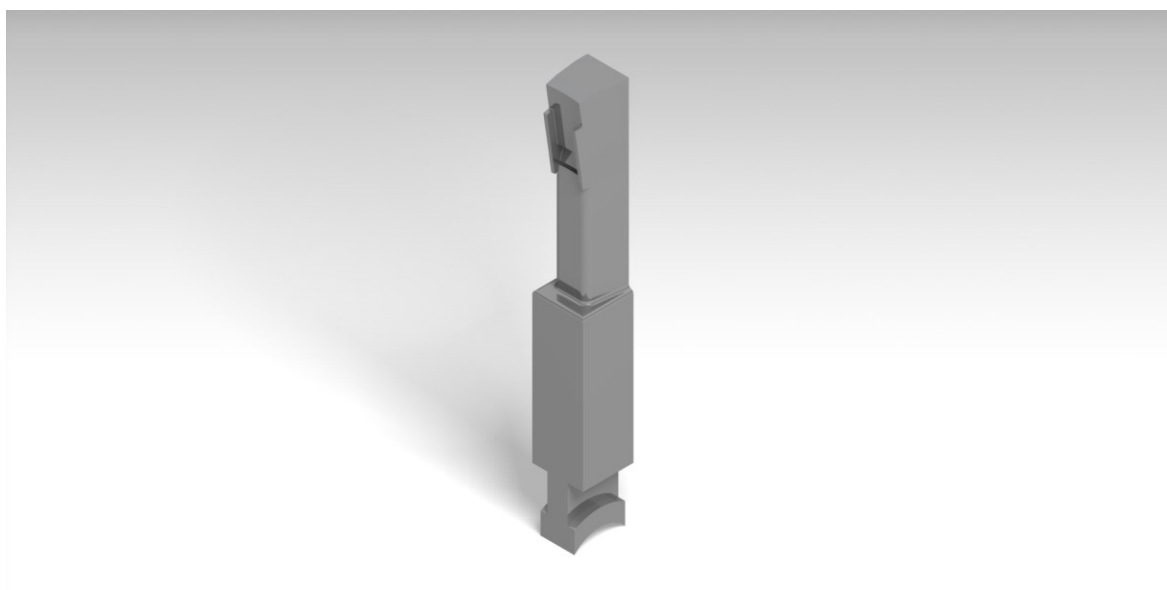
10.7 Vyhazovací paket

Součástí vyhazovacího paketu (obrázek 86) je dvacet válcových vyhazovacích kolíků a šestnáct šikmých vyhazovačů. Šikmý vyhazovač (obrázek 87) umožňuje zhotovit podkoso, aniž by bylo zapotřebí použít posuvné jednotky a tím šetří místo ve vstřikovací formě. Při vyhazování výrobků jedou běžné vyhazovače vpřed, šikmý vyhazovač je skloněn pod malým úhlem (do 10°) a kromě pohybu vpřed odjíždí od stěny výrobku do strany.



Obrázek 86 Vyhazovací paket

(zdroj: vlastní)

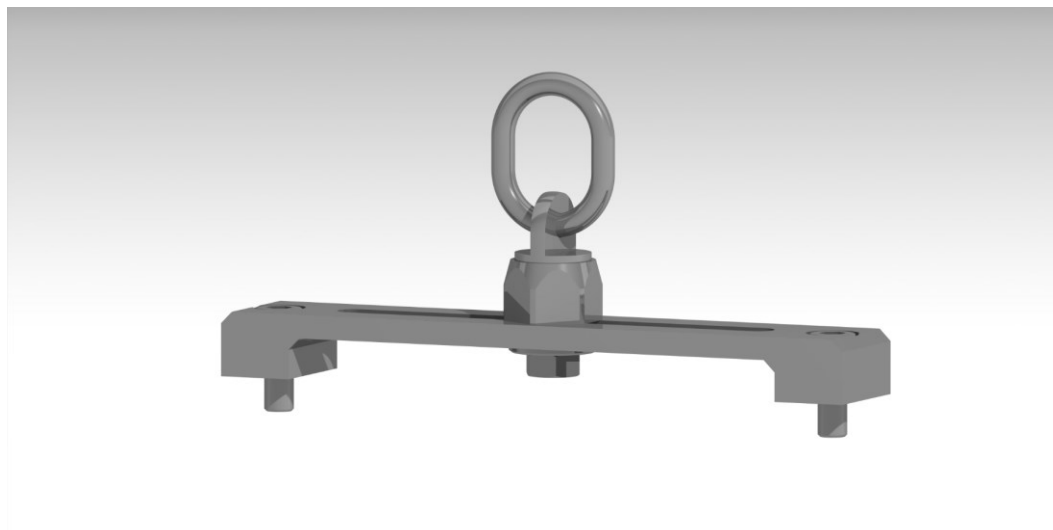


Obrázek 87 Šikmý vyhazovač

(zdroj: vlastní)

10.8 Řešení transportu vstřikovací formy

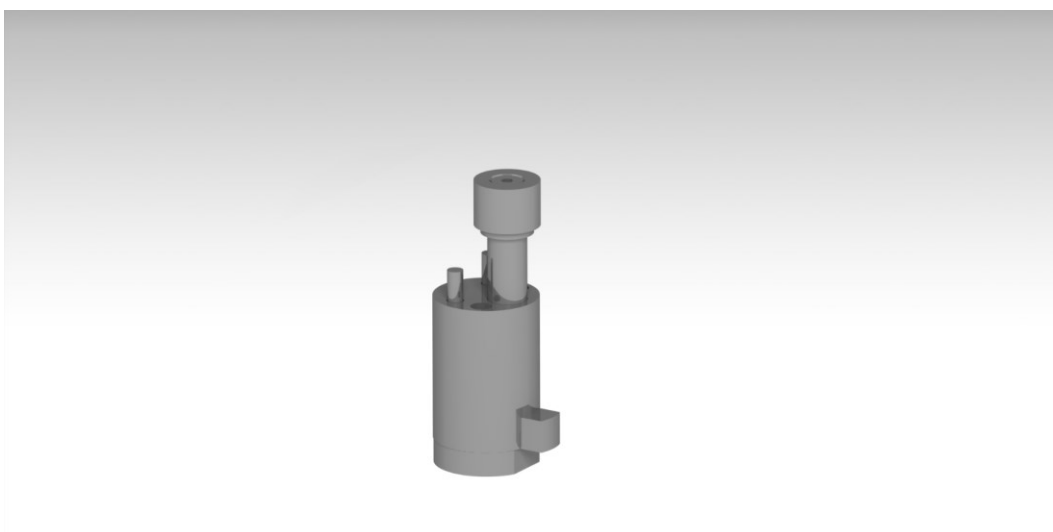
Transport vstřikovací formy je řešen pomocí transportního můstku (obrázek 88), které je přišroubováno k levé a pravé upínací desce vstřikovací formy. Tím je také zamezeno otevření vstřikovací formy. Otočný a výkyvný šroub s okem má nosnost 450 kg. Závěsný šroub je přestavitelný pro zabezpečení vyváženosti vstřikovací formy na jeřábu.



Obrázek 88 Transportní můstek

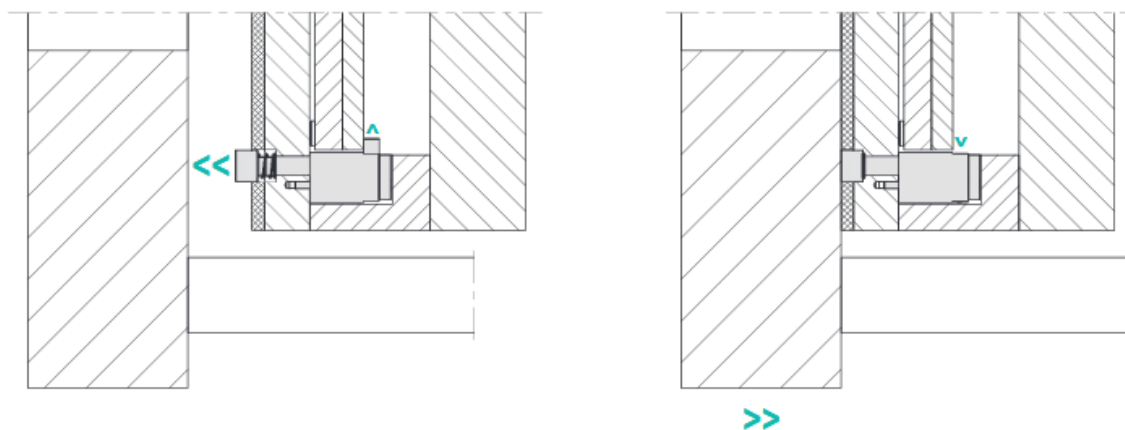
(zdroj: vlastní)

Pojistka vyhadzovacího paketu (obrázek 89) brání nežádoucímu pohybu vyhadzovacího paketu při transportu vstřikovací formy. Popis její funkce znázorňuje infografika na obrázku 90.



Obrázek 89 Pojistka vyhadzovacího paketu

(zdroj: vlastní)



Obrázek 90 Automatické zamykání a odemykání pojistky vyhazovacího paketu

(zdroj: [32])

11 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Požadovaná minimální hmotnost vstřikovaného materiálu (M) pro čtyřnásobnou formu a vtokový systém. V rovnici (1) je hmotnost jednoho výrobku vynásobena čtyřikrát a tato hmotnost zvětšena o 25 % kvůli zahrnutí vtokového systému a 20% rezervy.

$$M = (m_1 \cdot 4) \cdot 1,25 \quad (1)$$

$$M = (20,43 \cdot 4) \cdot 1,25 = \mathbf{102,15 \text{ g}} \quad (2)$$

Minimální zdvihová hmotnost plastu vstřikovacího stroje je 102,15 g.

Požadovaná minimální uzavírací síla vstřikovacího stroje (F_U) pro čtyřnásobnou formu a vtokový systém. V rovnici (3) je uzavírací síla jednoho výrobku vynásobena čtyřikrát a tato uzavírací síla zvětšena o 25 % kvůli zahrnutí vtokového systému a 20% rezervy.

$$F_U = (f_{U1} \cdot 4) \cdot 1,25 \quad (3)$$

$$F_U = (90 \cdot 4) \cdot 1,25 = \mathbf{450 \text{ kN}} \quad (4)$$

Minimální uzavírací síla vstřikovacího stroje je 450 kN.

Vzdálenost mezi vodicími sloupky musí být větší než 396 mm, nebo větší než 346 mm v případě, kdy vstřikovací stroj umožňuje demontáž vodicích sloupů.

Na základě těchto požadavků je zvolen vstřikovací stroj **Arburg ALLROUNDER 420 C – 1000 – 290 (35)**.

12 NASTAVENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK SIMULACE

V této části jsou prezentovány vstupní parametry zadané do programu Autodesk Moldflow. Simulace pro materiál ABS má tři varianty řešení temperačního systému, simulace pro materiál PP pouze jednu variantu.

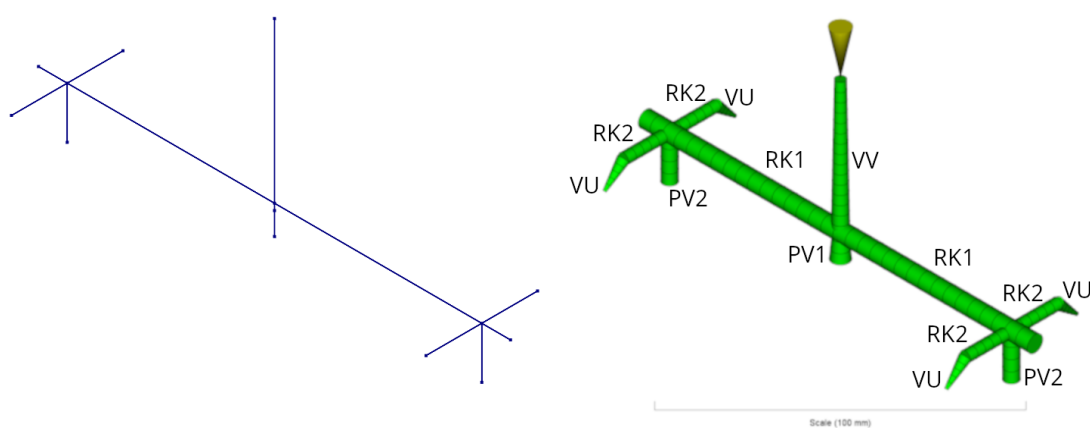
12.1 Vtokový systém

V tabulce 6 jsou uvedeny rozměry jednotlivých kanálů. Na obrázku 91 jsou zobrazeny osy a beam elementy vtokového systému, vtokové ústí je dokresleno v programu Moldflow (souřadnice $Z = -7$).

Tabulka 6 Parametry vtokového systému

Název	Počáteční průměr [mm]	Koncový průměr [mm]	Úhel úkosu [°]
Vtoková vložka (VT)	3,5	-	1
Přidržovač vtoku (PV1)	5	-	-5
Přidržovač vtoku (PV2)	5	-	-
Rozvodný kanál (RK1)	6	-	-
Rozvodný kanál (RK2)	4	-	-
Vtokové ústí (VU)	4	1,2	-

(zdroj: vlastní)



Obrázek 91 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) vtokového systému

(zdroj: vlastní)

12.2 Temperační systém

V tabulce 7 jsou uvedeny parametry temperačních systémů. Varianty 1, 2 a 3 levého temperačního systému jsou použity v analýze vstřikování ABS. Varianta 3 levého temperačního systému je použita v analýze vstřikování PP.

Tabulka 7 Temperační okruhy

Temperační okruh	Temperační médium	Teplota [°C]	Průtok [l/min]
Pravý	Voda	75	30
Levý varianta 1	Voda	75	30
Levý varianta 2	Voda	75	30
Levý varianta 3	Voda	75	30

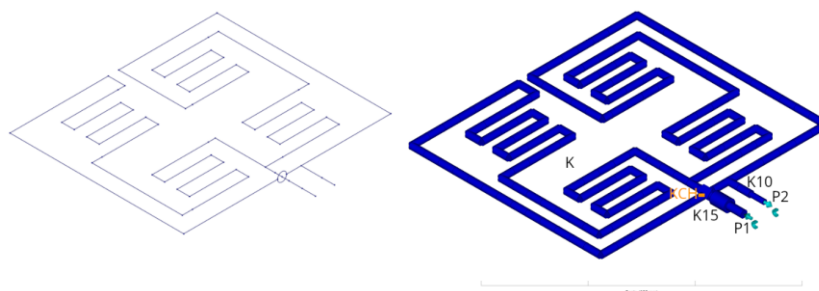
(zdroj: vlastní)

V tabulce 8 jsou uvedeny rozměry jednotlivých kanálů, na obrázku 92 jsou zobrazeny osy a beam elementy pravého temperačního systému.

Tabulka 8 Parametry pravého temperačního systému

Název	Průměr [mm]	K-faktor [-]	Materiál	Rozměry obdélník. kanálu [mm]
Vstupní přípojka (P1)	9	0	P20	-
Výstupní přípojka (P2)	6	0	P20	-
Vstupní kanál (K15)	15	1	P20	-
Výstupní kanál (K10)	10	1	P20	-
Křížení chlazení (KCH)	8,5	1	Mosaz	Šířka: 12, výška: 2
Ostatní kanály (K)	8	1	P20	-

(zdroj: vlastní)



Obrázek 92 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) pravého temperačního systému

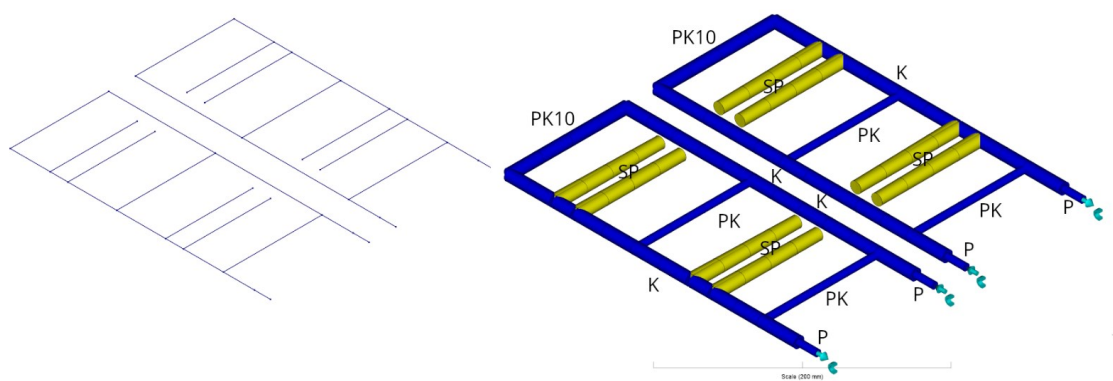
(zdroj: vlastní)

V tabulce 9 jsou uvedeny rozměry jednotlivých kanálů, na obrázku 93 jsou zobrazeny osy a beam elementy levého temperačního systému (varianta 1).

Tabulka 9 Parametry levého temperačního systému – varianta 1

Název	Průměr [mm]	K-faktor [-]
Vstupní a výstupní přípojky (P)	6	0
Vstupní a výstupní kanály (K)	10	1
Propojovací kanály (PK)	6	1
Propojovací kanál (PK10)	10	1
Spirálové přepážky (SP)	10	0,75

(zdroj: vlastní)



Obrázek 93 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) levého temperačního systému – varianta 1

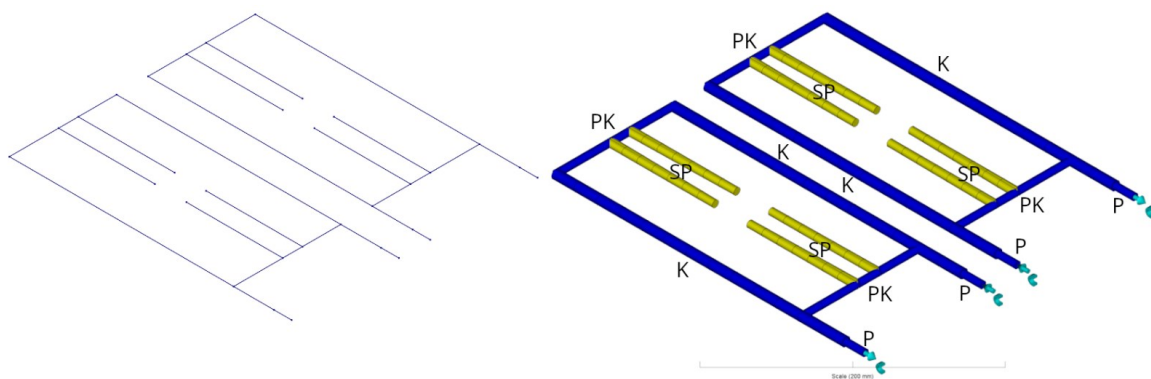
(zdroj: vlastní)

V tabulce 10 jsou uvedeny rozměry jednotlivých kanálů, na obrázku 94 jsou zobrazeny osy a beam elementy levého temperačního systému (varianta 2).

Tabulka 10 Parametry levého temperačního systému – varianta 2

Název	Průměr [mm]	K-faktor [-]
Vstupní a výstupní přípojky (P)	6	0
Vstupní a výstupní kanály (K)	8	1
Propojovací kanály (PK)	6	1
Spirálové přepážky (SP)	6	0,75

(zdroj: vlastní)



Obrázek 94 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) levého temperačního systému – varianta 2

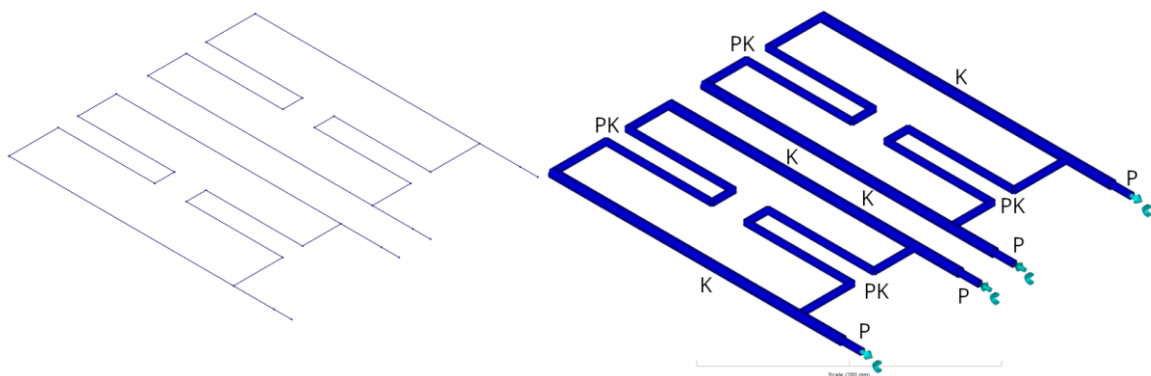
(zdroj: vlastní)

V tabulce 11 jsou uvedeny rozměry jednotlivých kanálů, na obrázku 95 jsou zobrazeny osy a beam elementy levého temperačního systému (varianta 3).

Tabulka 11 Parametry levého temperačního systému – varianta 3

Název	Průměr [mm]	K-faktor [-]
Vstupní a výstupní přípojky (P)	6	0
Vstupní a výstupní kanály (K)	8	1
Propojovací kanály (PK)	6	1

(zdroj: vlastní)



Obrázek 95 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) levého temperačního systému – varianta 3

(zdroj: vlastní)

12.3 Procesní parametry pro materiál ABS

V tabulce 12 jsou popsány nastavené procesní parametry simulace pro materiál ABS.

Tabulka 12 Procesní parametry simulace ABS

Sekce	Parametr	Hodnota/popis
Obecné	Celková doba cyklu [s]	85
	Blok vstřikovací formy	
	Materiál	P20
	Rozměry [mm]	346 x 346 x 240
Fáze plnění	Doba plnění [s]	2,5
	Přepnutí na fázi dotlaku	Podle % zaplněného objemu – 96 %
	Teplota taveniny [°C]	270
Fáze dotlaku	Kontrola dotlaku	Podle relativního plnicího tlaku
	Relativní plnicí tlak [%]	70 (0 s)
		70 (16 s)
Fáze chlazení	Doba otevření formy [s]	5
	Ideální teplota povrchu tvárnice [°C]	80
	Ideální teplota povrchu tvárníku [°C]	80
	Teplota okolí [°C]	24
	Vyhazovací teplota [°C]	97
	Minimální procento zatuhlých vrstev ve výrobku [%]	90

(zdroj: vlastní)

12.4 Procesní parametry pro materiál PP

V tabulce 13 jsou popsány nastavené procesní parametry simulace pro materiál PP.

Tabulka 13 Procesní parametry simulace PP

Sekce	Parametr	Hodnota/popis
Obecné	Celková doba cyklu [s]	25
	Blok vstřikovací formy	
	Materiál	P20
	Rozměry [mm]	346 x 346 x 240
Fáze plnění	Doba plnění [s]	2,5
	Přepnutí na fázi dotlaku	Podle % zaplněného objemu – 96 %
	Teplota taveniny [°C]	210
Fáze dotlaku	Kontrola dotlaku	Podle relativního plnicího tlaku
	Relativní plnicí tlak [%]	70 (0 s)
		70 (16 s)
Fáze chlazení	Doba otevření formy [s]	5
	Ideální teplota povrchu tvárnice [°C]	40
	Ideální teplota povrchu tvárníku [°C]	40
	Teplota okolí [°C]	24
	Vyhazovací teplota [°C]	128
	Minimální procento zatuhlých vrstev ve výrobku [%]	90

(zdroj: vlastní)

13 VÝSLEDKY SIMULACE – MATERIÁL ABS

V této kapitole jsou prezentovány výsledky analýz vstřikování materiálu ABS.

13.1 Výsledky temperace

Výsledky analýzy temperace se nachází ve studiích *ABS Analyza V1*, *ABS Analyza V2* a *ABS Analyza V3* pro první, druhou a třetí variantu temperačních okruhů. Nastavení procesu vstřikování, vstřikovacího stroje ani temperačního média se nemění mezi variantami temperačních kanálů.

13.1.1 Teplota média v okruhu

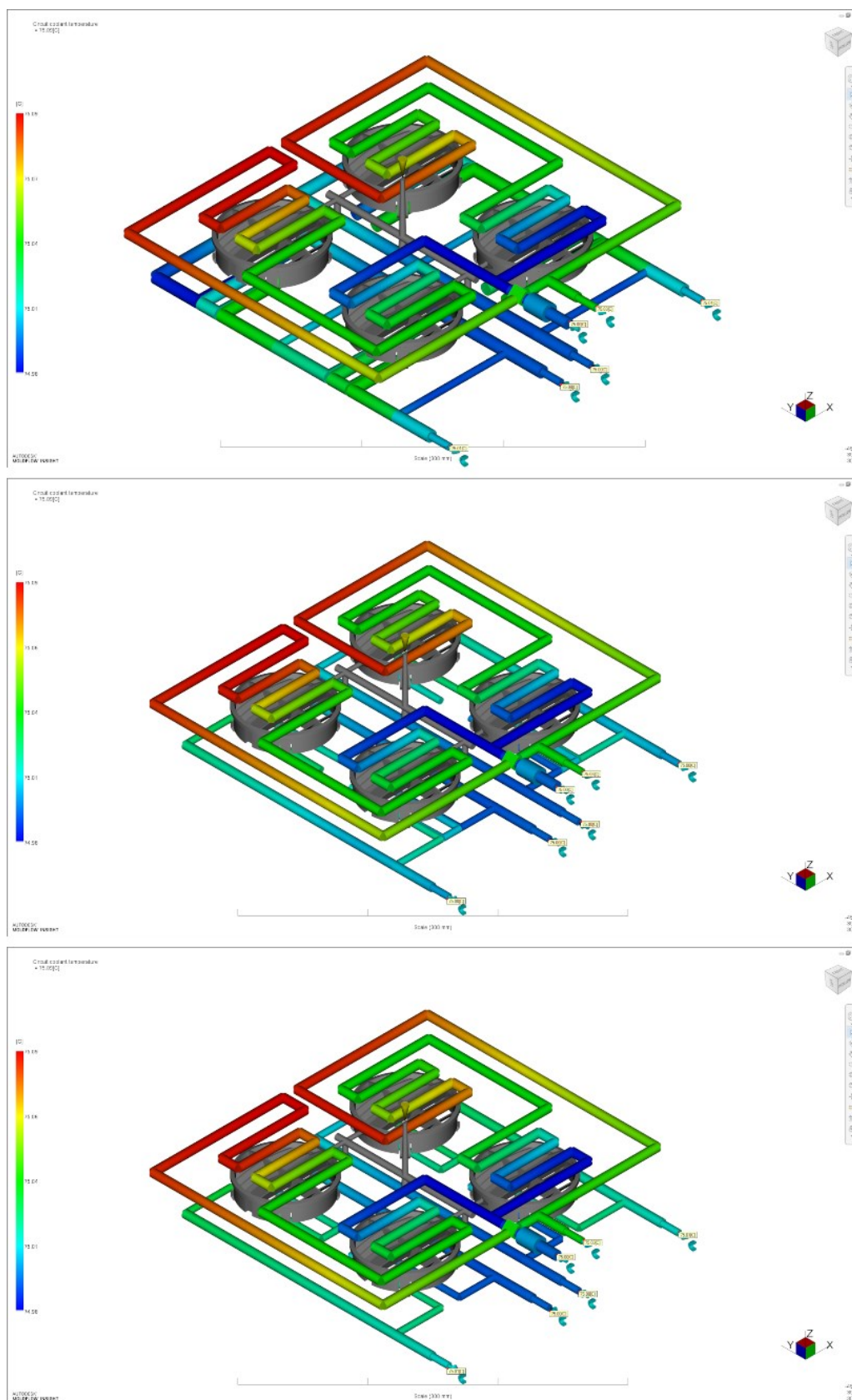
Maximální přípustný rozdíl teplot jsou 3 °C, vyšší rozdíl teplot by znamenal nerovnoměrný odvod tepla z výrobku a formy. U paralelních kanálů je nutné sledovat vývoj teploty po celé délce kanálů z důvodů míchání teplot jednotlivých větví, což má za následek zkreslení výsledků.

V pravém temperačním okruhu je rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem 0,3 °C. Maximální nárůst teploty v kanálech je 0,9 °C. Rozdíl se mezi variantami nemění. Podmínka je splněna.

Varianta 1: Na obrázku 96 nahoře je rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem 0,1 °C. Maximální nárůst teploty v kanálech je 0,4 °C. Podmínka je splněna.

Varianta 2: Na obrázku 96 uprostřed je rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem 0 °C. Maximální nárůst teploty v kanálech je 0,3 °C. Podmínka je splněna.

Varianta 3: Na obrázku 96 dole je rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem 0,1 °C. Maximální nárůst teploty v kanálech je 0,4 °C. Podmínka je splněna.



Obrázek 96 Teplota média v temperačních okruzích: varianta 1 (nahore), varianta 2 (uprostřed), varianta 3 (dole)

(zdroj: vlastní)

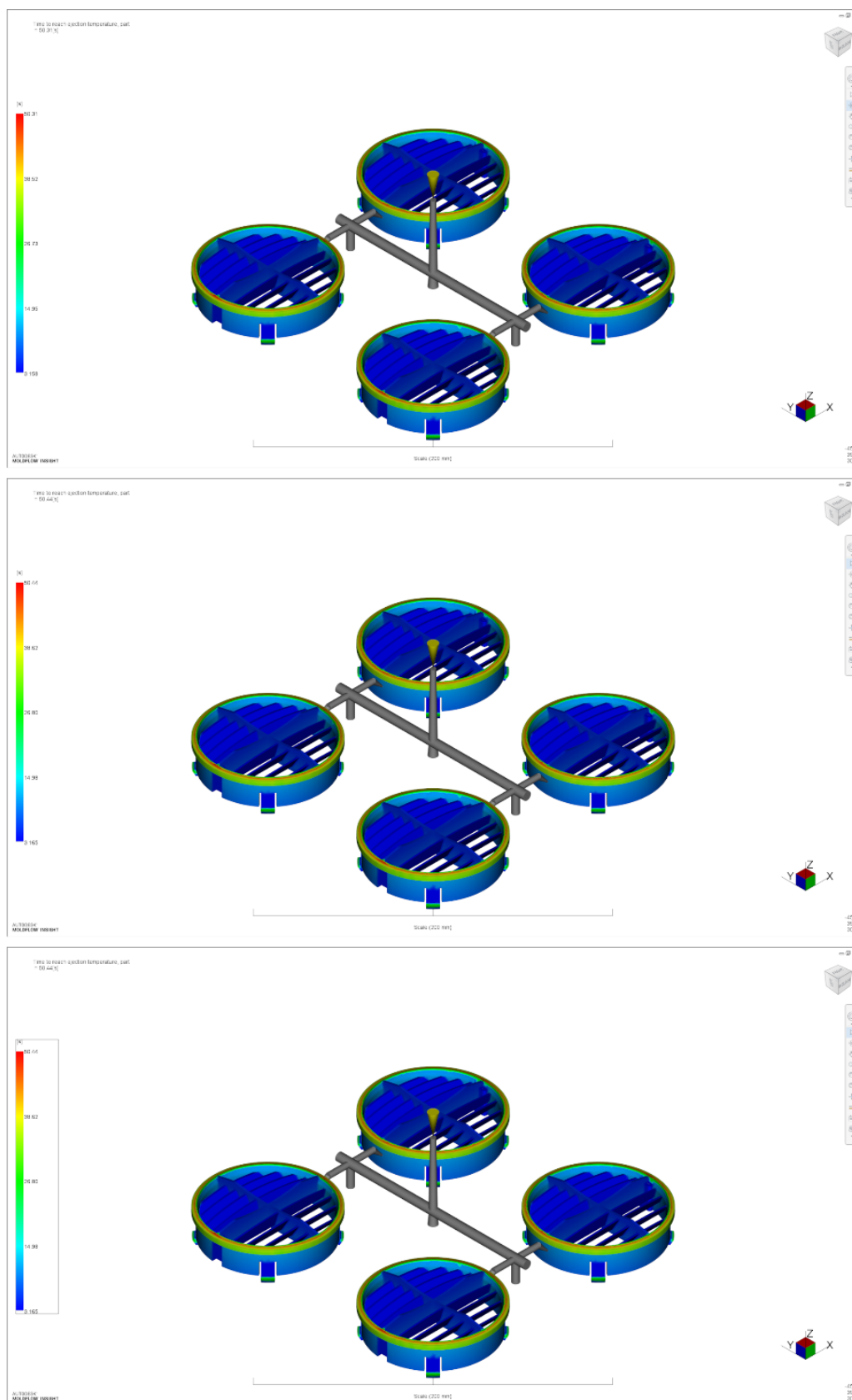
13.1.2 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty výrobku

Výsledek zobrazuje čas potřebný k dosažení teploty vyhození, měřený od začátku cyklu. Na začátku se předpokládá, že díl je naplněn materiálem o teplotě taveniny (T_M). V ideálním případě by měl díl zatuhnout rovnoměrně. Místa, kterým trvá zatuhnutí déle, jsou silnější průřezy. Místa zbarvená žlutou až červenou barvou nebo místa šedá by se při pádu během vyhazování mohla poškodit.

Čas do dosažení vyhazovací teploty výrobku je nejrychlejší u varianty 1 – 50,31 s oproti variantě 2 a variantě 3 viz obrázek 97. Rozdíl je ale pouze 0,1 s.

Čas do dosažení vyhazovací teploty vtokového systému nejrychlejší u varianty 1 – 68,09 s oproti variantě 2 a variantě 3. Rozdíl je ale pouze 0,6 s.

Ve všech třech případech je nastavený vstřikovací cyklus (90 s) příliš dlouhý a je možné ho zkrátit.



Obrázek 97 Čas do dosažení vyhazovací teploty výrobku: varianta 1 (nahore), varianta 2 (uprostřed), varianta 3 (dole)

(zdroj: vlastní)

13.1.3 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu

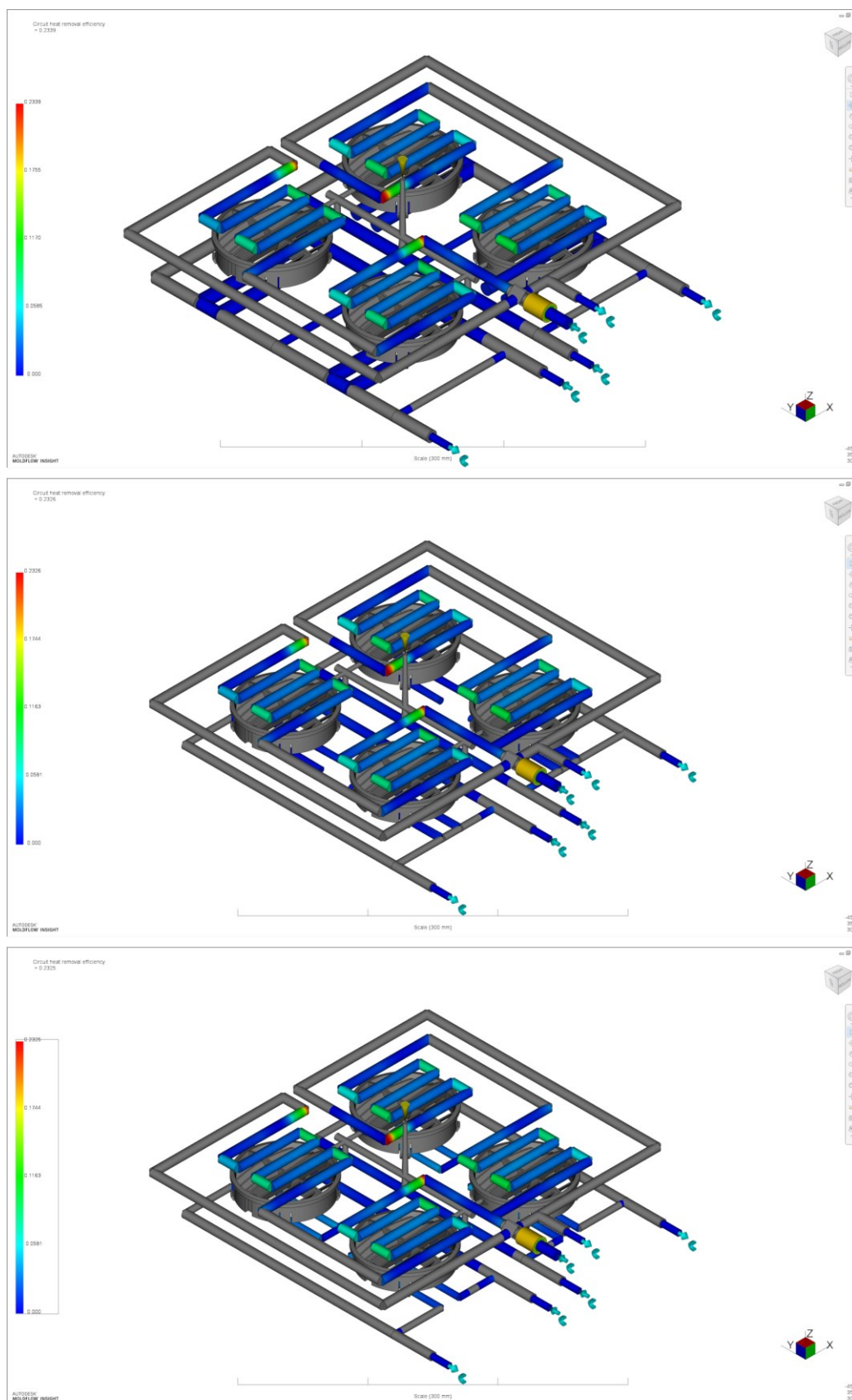
Výsledek účinnosti odvodu tepla z okruhu poskytuje měřítko účinnosti každé části temperačního kanálu při odvádění tepla z formy během vstřikovacího cyklu. Tato veličina ukazuje relativní účinnost v rámci temperačního systému.

Ve většině případů temperační kanály chladí formu a hodnoty jsou kladné. Úseku s nejvyšší účinností je přiřazena hodnota 1. Všechny ostatní účinnosti odvodu tepla jsou znázorněny jako podíl menší než 1. V případech, kdy temperační kanály formu ohřívají, jsou hodnoty záporné. Úseku, který zajišťuje největší přívod tepla, je přiřazena hodnota -1 a všechny ostatní účinnosti přívodu tepla jsou znázorněny jako zlomek větší než -1.

Varianta 1: Na obrázku 98 nahoře jsou zbarveny úseky kanálů, které ochlazují vstřikovací formu. Nejvyšší účinnost odvodu tepla je 23,39 %.

Varianta 2: Na obrázku 98 uprostřed jsou zbarveny úseky kanálů, které ochlazují vstřikovací formu. Nejvyšší účinnost odvodu tepla je 23,26 %.

Varianta 3: Na obrázku 98 dole jsou zbarveny úseky kanálů, které ochlazují vstřikovací formu. Nejvyšší účinnost odvodu tepla je 23,25 %.



Obrázek 98 Účinnost odvodu tepla – chlazení formy: varianta 1 (nahore), varianta 2 (uprostřed), varianta 3 (dole)

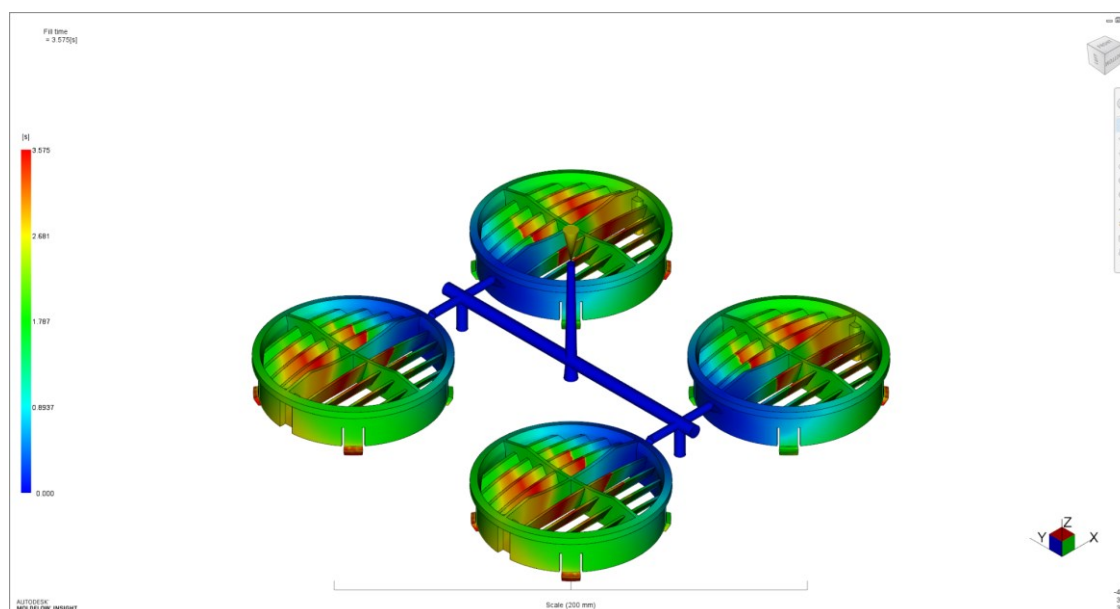
(zdroj: vlastní)

13.2 Výsledky plnění a dotlaku

Výsledky analýzy plnění a dotlaku se nachází ve studii s označením *ABS Analyza V3*. Rozdíly výsledků mezi variantami jsou minimální a dají se přičíst k chybě zaokrouhlení.

13.2.1 Doba zaplnění dutiny taveninou

Výsledek ukazuje pozici čela taveniny v pravidelných časových intervalech v průběhu plnění dutiny. Obrázek 99 ukazuje dutinu formy plněnou z jedné strany. Doba zaplnění je 3,575 s. Lze očekávat tvorbu studených spojů na opačné straně mřížky od vtokového ústí a také v lamelách mřížky. Všechna místa dutiny mřížky jsou zaplněna.

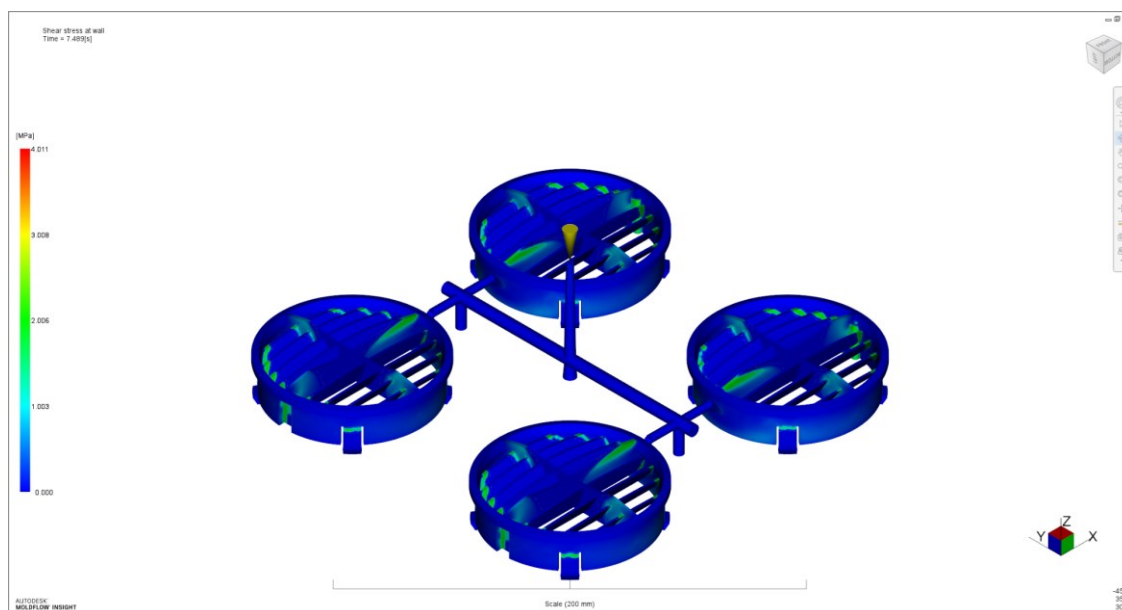


Obrázek 99 Doba zaplnění dutiny taveninou

(zdroj: vlastní)

13.2.2 Smykové napětí na stěně

Maximální hodnota z materiálového listu je 0,28 MPa. Nad touto hodnotou dochází k nadměrnému namáhání materiálu, které se může projevit praskáním výrobku během vyhazování nebo během funkce. Během dotlaku dochází k výraznému překročení maximální hodnoty smykového napětí na stěně (místa zbarvená jinou než tmavě modrou barvou). Na obrázku 100 v čase 7,489 s dosahuje smykové napětí na stěně nejvyšší hodnoty 4,0113 MPa. Limit nejvyšší dovolené rychlosti smykové deformace je překročen v téměř všech místech mřížky. Tyto problémy se dají zmírnit zvýšením teploty taveniny nebo použitím méně viskózního materiálu.



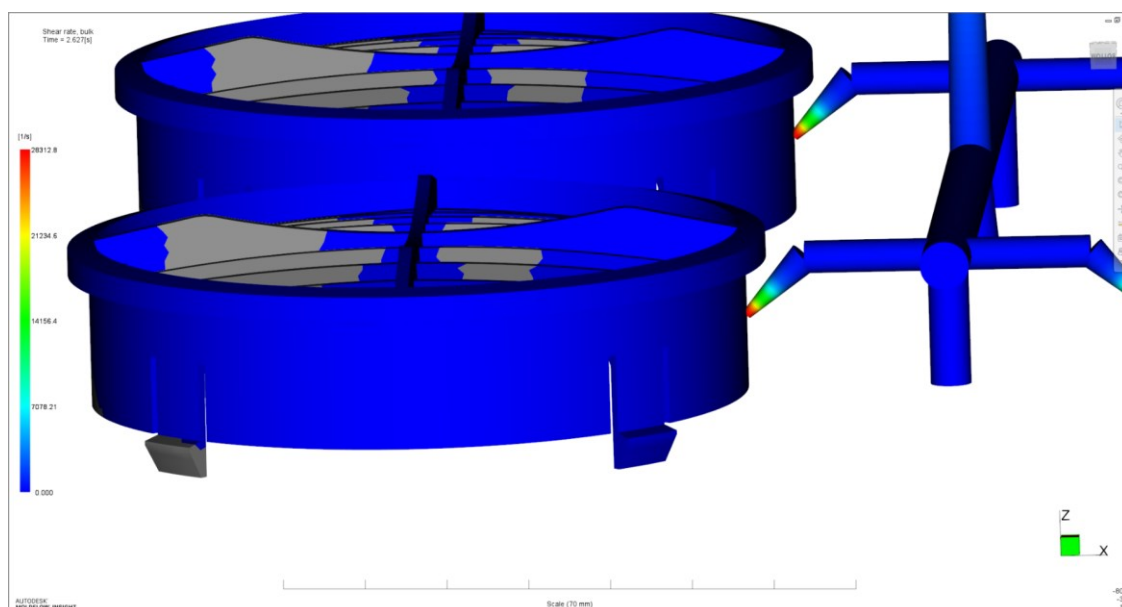
Obrázek 100 Smykové napětí na stěně v čase 7,489 s

(zdroj: vlastní)

13.2.3 Rychlost smykové deformace

Maximální hodnota rychlosti smykové deformace je dle materiálového listu 50000 s^{-1} . Překročení této hodnoty vede k degradaci materiálu.

Obrázek 101: maximální rychlost smykové deformace je $28312,8 \text{ s}^{-1}$. Limit 50000 s^{-1} nebyl překročen.



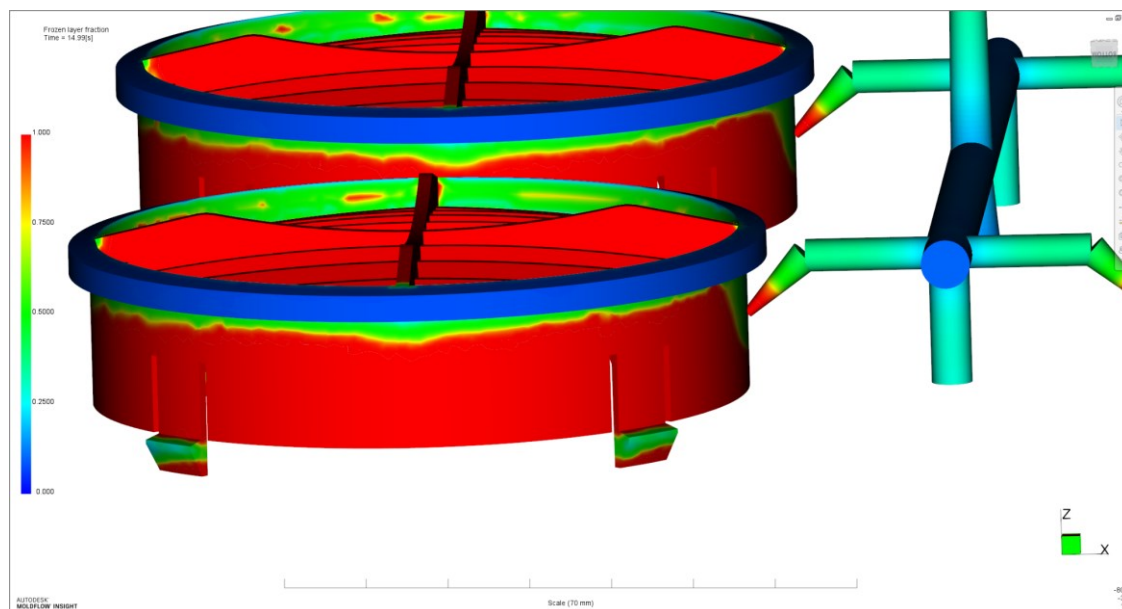
Obrázek 101 Rychlost smykové deformace ve vtokovém systému

(zdroj: vlastní)

13.2.4 Čas do zatuhnutí jakékoli části vtokového systému

Vtoková ústí jsou v čase 14,99 s od začátku vstřikovacího cyklu zcela zatuhlé (obrázek 102). Po uplynutí této doby nemá smysl, aby stroj působil dotlakem a zbytečně se namáhal. Aktuálně je fáze dotlaku ukončena v čase 18,92 s od začátku vstřikovacího cyklu. Fázi dotlaku je možné o pár sekund zkrátit.

Nejtlustší místa na obrázku 102 nejsou zatuhlá v celém průřezu (na škále zobrazena modrou až oranžovou barvou), pokud by okolní tenčí místa nezatuhla dříve, mohl dotlak působit déle. V těchto místech lze očekávat propadliny. Zvětšením průřezu vtokového ústí by se dala situace zlepšit.



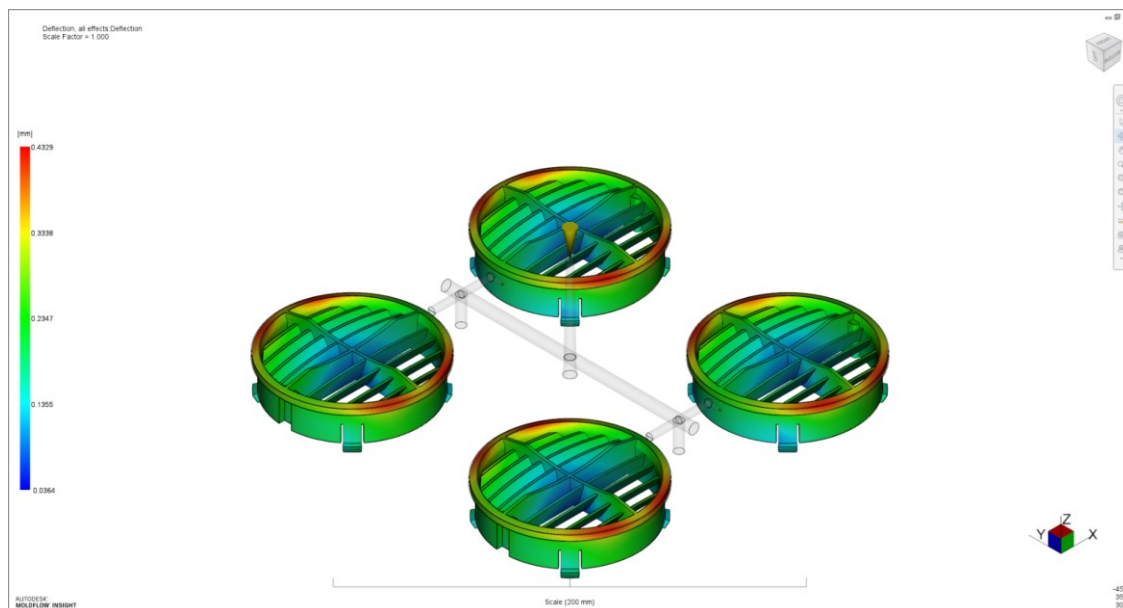
Obrázek 102 Čas zatuhnutí jakékoli části vtokového systému

(zdroj: vlastní)

13.3 Výsledek smrštění a deformace

Výsledky analýzy deformace se nachází ve studii s označením *ABS Analyza V3*. Rozdíly výsledků mezi variantami jsou minimální a dají se přičíst k chybě zaokrouhlení.

Celkový výsledek deformace od všech vlivů (smrštění, orientace, chlazení, vliv rohů). Největší deformace je na horním obvodovém prstenci mřížky (obrázek 103) a činí 0,4329 mm. Na tento výsledek má největší vliv smrštění. Výsledek je pouze orientační, skutečné hodnoty smrštění a deformace je nutné změřit na vyrobeném výrobku.



Obrázek 103 Celková deformace

(zdroj: vlastní)

14 VÝSLEDKY SIMULACE – MATERIÁL PP

V této kapitole jsou prezentovány výsledky analýz vstřikování materiálu PP.

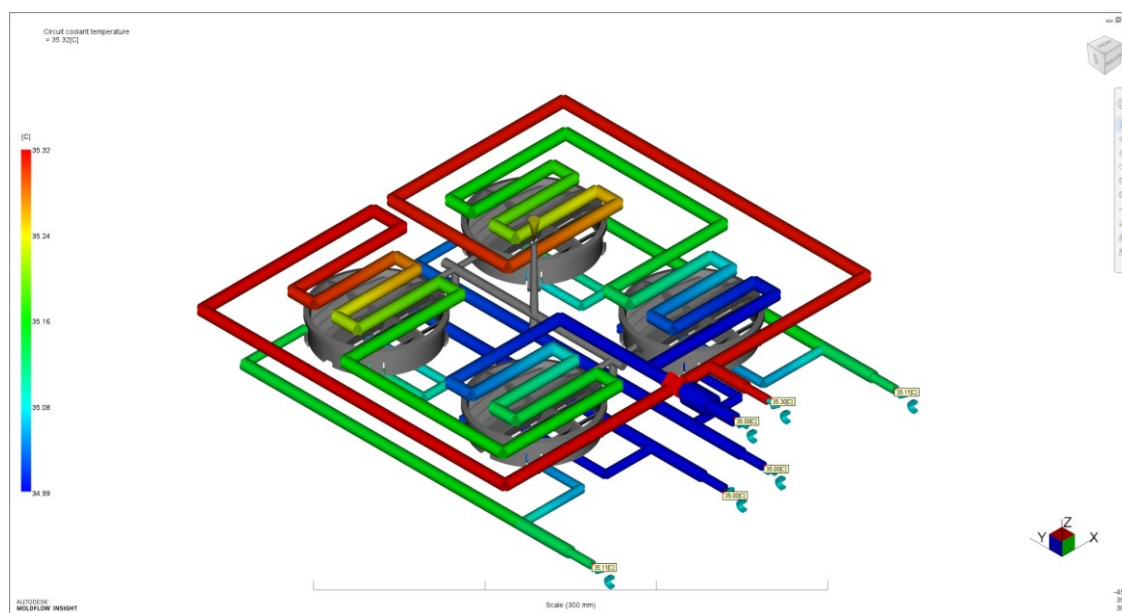
14.1 Výsledky temperace

Výsledky analýzy temperace se nachází ve studiích *PP Analyza*.

14.1.1 Teplota média v okruhu

Maximální přípustný rozdíl teplot jsou 3 °C, vyšší rozdíl teplot by znamenal nerovnoměrný odvod tepla z výrobku a formy. U paralelních kanálů je nutné sledovat vývoj teploty po celé délce kanálů z důvodů míchání teplot jednotlivých větví, což má za následek zkreslení výsledků.

Obrázek 104: V pravém temperačním okruhu je rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem 0,3 °C. Maximální nárůst teploty v kanálech je 0,32 °C. Podmínka je splněna. V levém temperačním okruhu je rozdíl teplot mezi vstupem a výstupem 0,11 °C. Maximální nárůst teploty v kanálech je 0,16 °C. Podmínka je splněna.



Obrázek 104 Teplota média v temperačních okruzích

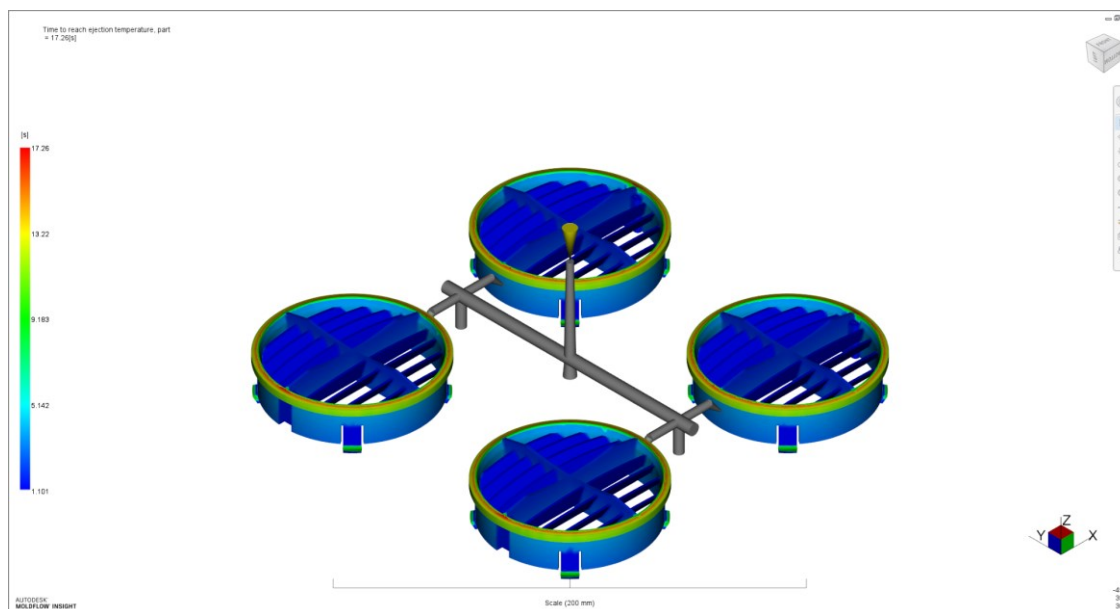
(zdroj: vlastní)

14.1.2 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty výrobku

Výsledek zobrazuje čas potřebný k dosažení teploty vyhození, měřený od začátku cyklu. Na začátku se předpokládá, že díl je naplněn materiálem o teplotě taveniny (T_M). Doba

dosažení vyhazovací teploty se počítá pro každý element na základě teploty stěn formy. Pokud je teplota stěn formy u určitého elementu vyšší než teplota vyhazování (T_E), pak se v protokolu analýzy zobrazí varování a u těchto elementů se nezapiše žádný výsledek. V ideálním případě by měl díl zatuhnout rovnoměrně. Místa, kterým trvá zatuhnutí déle, jsou silnější průřezy. Místa zbarvená žlutou až červenou barvou nebo místa šedá by se při pádu během vyhazování mohla poškodit. Pokud je to nutné, je potřeba provést tyto kroky: prodloužení doby cyklu chlazení, snížení teploty chladicího média, umístění temperačního kanálu do nezatuhlých míst.

Čas do dosažení vyhazovací teploty výrobku je 17,26 s (obrázek 105). Čas do dosažení vyhazovací teploty vtokového systému je 21,42 s. Nastavený vstřikovací cyklus (30 s) je přijatelně dlouhý.



Obrázek 105 Čas do dosažení vyhazovací teploty výrobku

(zdroj: vlastní)

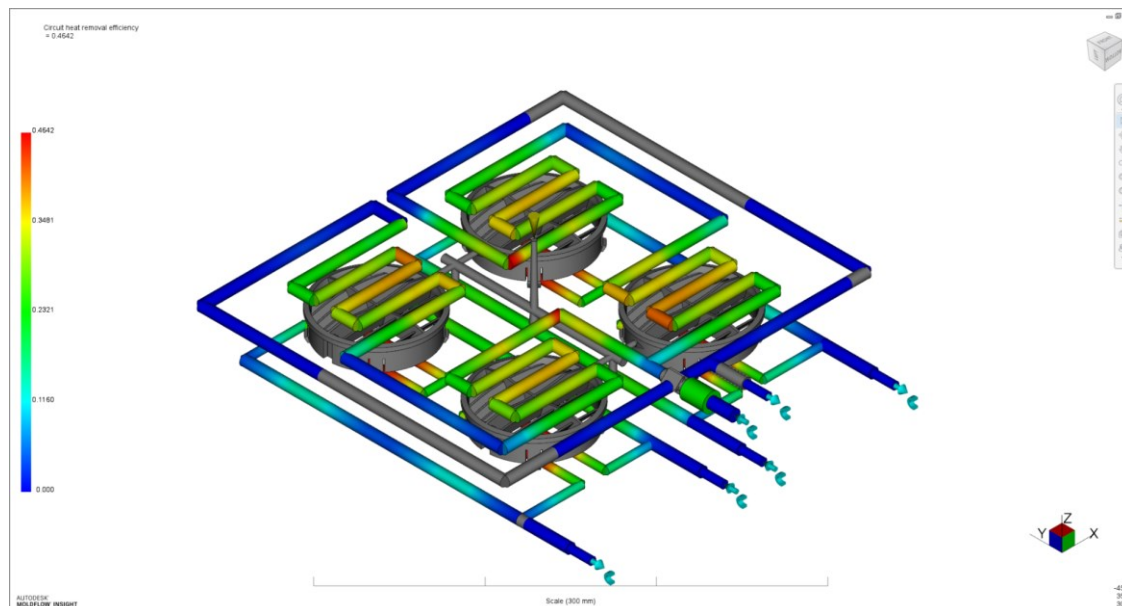
14.1.3 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu

Výsledek účinnosti odvodu tepla z okruhu poskytuje měřítko účinnosti každé části temperačního kanálu při odvádění tepla z formy během vstřikovacího cyklu. Tato veličina ukazuje relativní účinnost v rámci temperačního systému.

Ve většině případů temperační kanály chladí formu a hodnoty jsou kladné. Úseku s nejvyšší účinností je přiřazena hodnota 1. Všechny ostatní účinnosti odvodu tepla jsou znázorněny jako podíl menší než 1. V případech, kdy temperační kanály formu ohřívají, jsou

hodnoty záporné. Úseku, který zajišťuje největší přívod tepla, je přiřazena hodnota -1 a všechny ostatní účinnosti přívodu tepla jsou znázorněny jako zlomek větší než -1.

Temperační kanály, které chladí části vstřikovací formy, jsou zbarveny na obrázku 106. Nejvyšší účinnost odvodu tepla je 46,42 %.



Obrázek 106 Účinnost odvodu tepla – chlazení formy

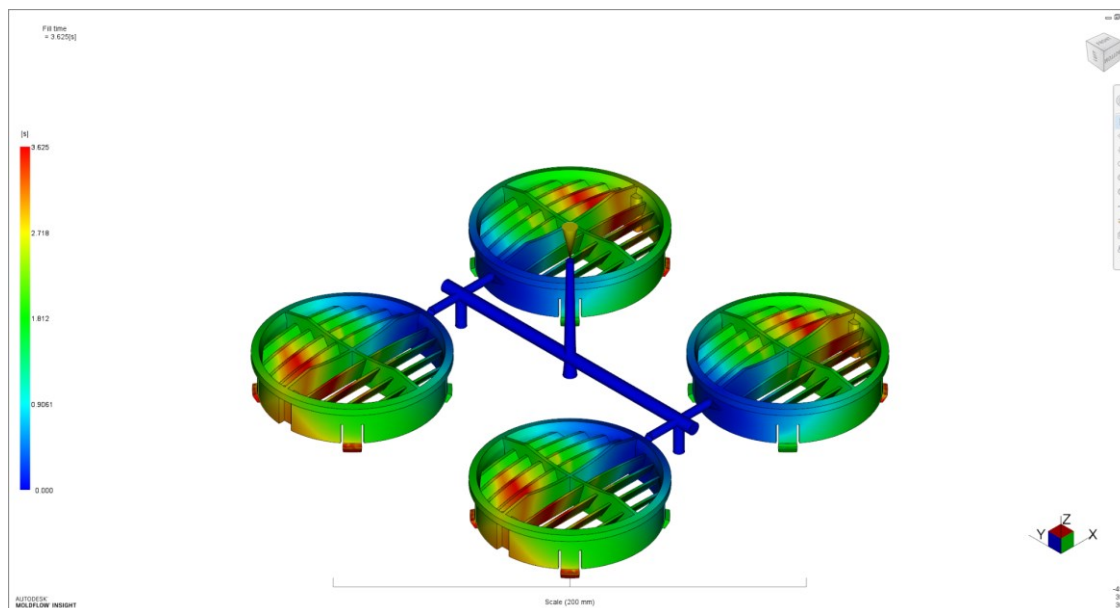
(zdroj: vlastní)

14.2 Výsledky plnění a dotlaku

Výsledky analýzy plnění a dotlaku se nachází ve studii s označením *PP Analyza*. Rozdíly výsledků mezi variantami jsou minimální a dají se přičíst k chybě zaokrouhlení.

14.2.1 Doba zaplnění dutiny taveninou

Výsledek ukazuje pozici čela taveniny v pravidelných časových intervalech v průběhu plnění dutiny. Obrázek 107 ukazuje dutinu formy plněnou z jedné strany. Doba zaplnění je 3,625 s. Lze očekávat tvorbu studených spojů na opačné straně mřížky od vtokového ústí a také v lamelách mřížky. Všechna místa dutiny mřížky jsou zaplněna.



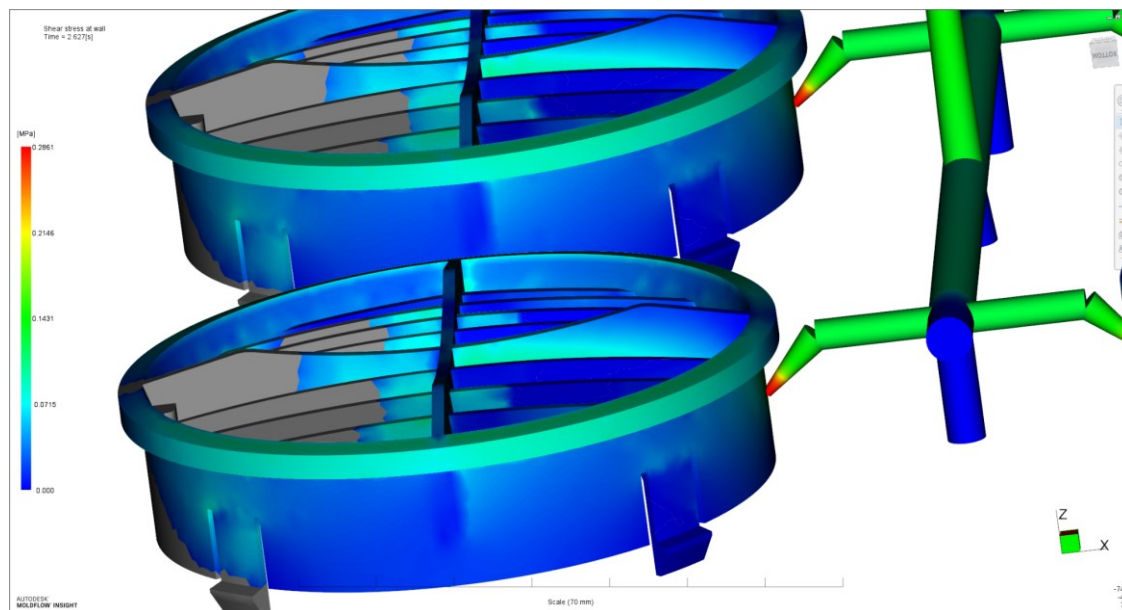
Obrázek 107 Doba zaplnění dutiny taveninou

(zdroj: vlastní)

14.2.2 Smykové napětí na stěně

Maximální hodnota z materiálového listu je 0,25 MPa. Nad touto hodnotou dochází k nadměrnému namáhání materiálu, které se může projevit praskáním výrobku během vyhazování nebo během funkce.

Během plnění a dotlaku dochází k překročení maximální hodnoty smykového napětí na stěně ve vtokovém ústí na hodnotu 0,2861 MPa (obrázek 108, místa zbarvena červenou barvou). Tyto problémy se dají zmírnit zvýšením teploty taveniny nebo použitím méně viskózního materiálu.



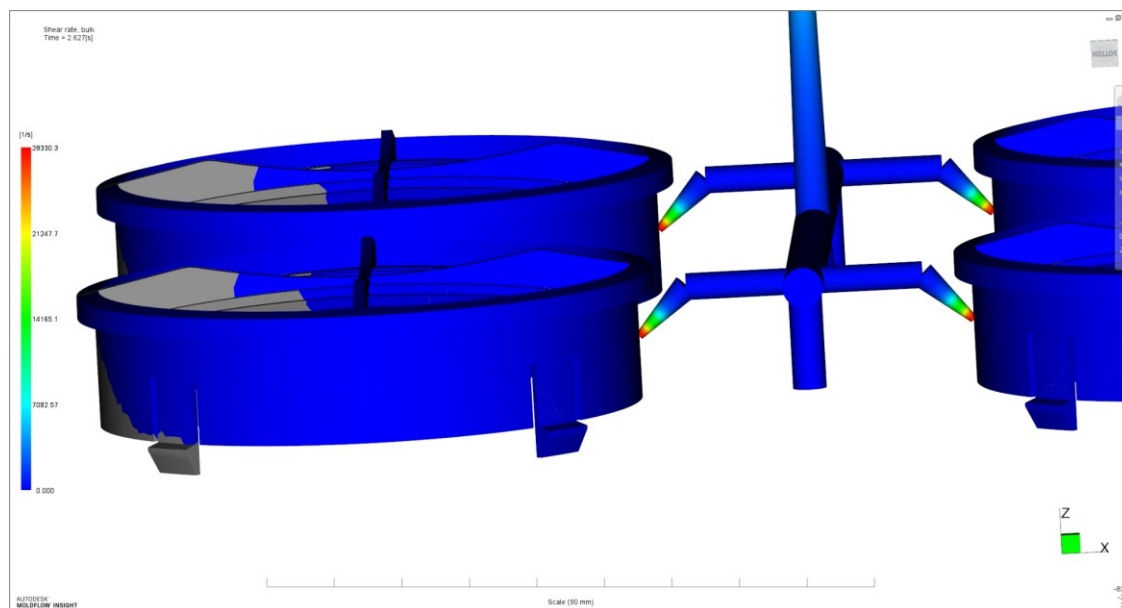
Obrázek 108 Smykové napětí na stěně

(zdroj: vlastní)

14.2.3 Rychlost smykové deformace

Maximální hodnota rychlosti smykové deformace je dle materiálového listu 100000 s^{-1} . Překročení této hodnoty vede k degradaci materiálu.

Na obrázku 109 dosáhla rychlost smykové deformace hodnoty $28330,3 \text{ s}^{-1}$ a hranice nebyla překročena.



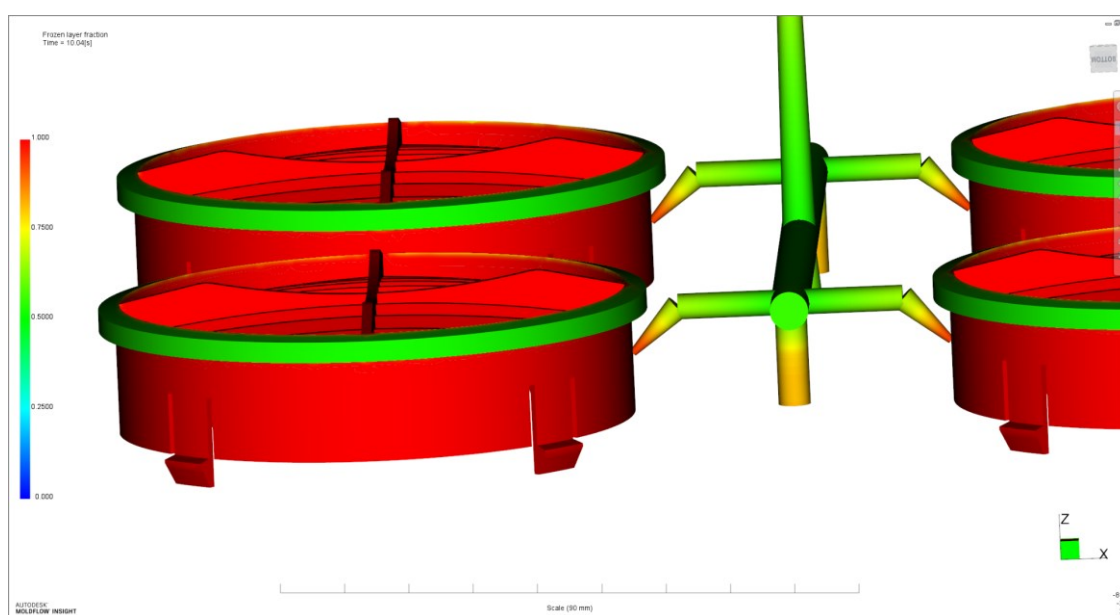
Obrázek 109 Rychlost smykové deformace

(zdroj: vlastní)

14.2.4 Čas do zatuhnutí jakékoli části vtokového systému

Vtoková ústí jsou v čase 10,04 s od začátku vstřikovacího cyklu zcela zatuhlé (obrázek 110). Po uplynutí této doby nemá smysl, aby stroj působil dotlakem a zbytečně se namáhal. Aktuálně je fáze dotlaku ukončena v čase 16,93 s od začátku vstřikovacího cyklu. Fázi dotlaku je možné zkrátit.

Nejtlustší místa na Obrázek 110 nejsou zatuhlá v celém průřezu (na škále zobrazena zelenou barvou), pokud by okolní tenčí místa nezatuhla dříve, mohl dotlak působit déle. V těchto místech lze očekávat propadliny.



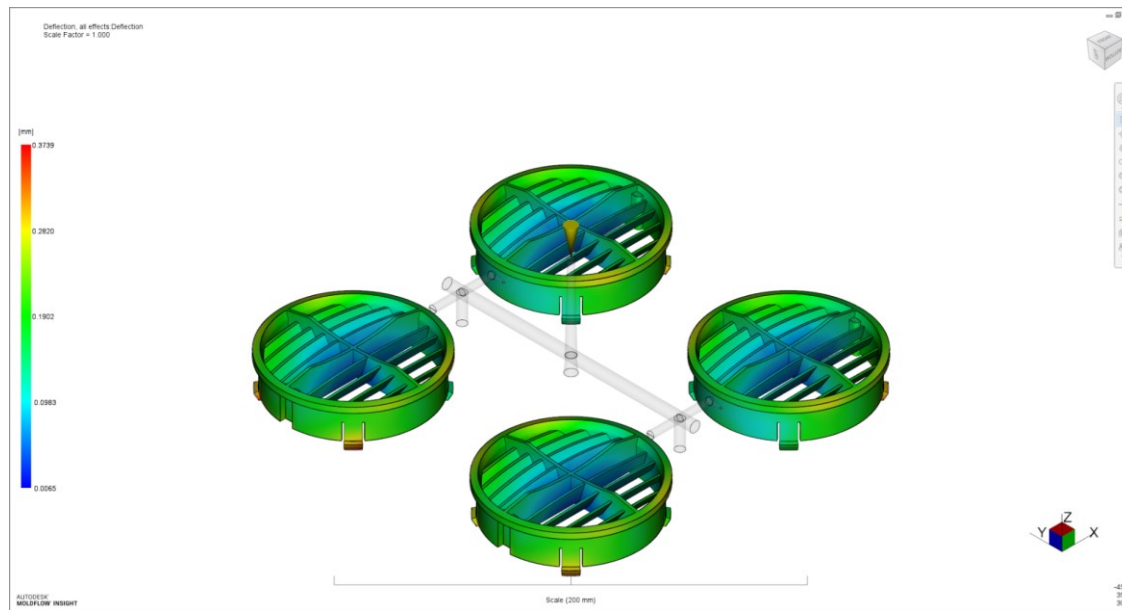
Obrázek 110 Čas zatuhnutí jakékoli části vtokového systému

(zdroj: vlastní)

14.3 Výsledek smrštění a deformace

Výsledky analýzy deformace se nachází ve studii s označením *ABS Analyza V3*. Rozdíly výsledků mezi variantami jsou minimální a dají se přičíst k chybě zaokrouhlení.

Celkový výsledek deformace od všech vlivů (smrštění, orientace, chlazení, vliv rohů). Největší deformace je na horním obvodovém prstenci mřížky (obrázek 111) a činí 0,3739 mm. Na tento výsledek má největší vliv smrštění. Výsledek je pouze orientační, skutečné hodnoty smrštění a deformace je nutné změřit na vyrobeném výrobku.



Obrázek 111 Celková deformace

(zdroj: vlastní)

15 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V této kapitole jsou srovnány výsledky vlastností temperace mezi jednotlivými variantami temperačních okruhů a výsledky mezi materiálem ABS a PP.

V tabulce 14 jsou porovnány různé varianty temperačních okruhů pro materiál ABS. Jednotlivé varianty jsou barevně rozlišeny podle jejich vhodnosti. Zelená = dobrá, žlutá = přijatelná, červená = špatná.

Tabulka 14 Porovnání variant temperačních okruhů

Kategorie	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Distribuce temp. média v okruzích	špatná	dobrá	dobrá
Čas dosažení vyhazovací teploty výrobku	50,31 s	50,44 s	50,44 s
Účinnost odvodu tepla ze vstřikovací formy	23,39 %	23,26 %	23,25 %
Nejvyšší tlak v temp. systému	616,5 kPa	2664,7 kPa	616,5 kPa
Složitost temp. systému	špatná	přijatelná	dobrá

(zdroj: vlastní)

- **Varianta 3** se jeví jako nejlepší volba, protože má dobrou distribuci temperačního média, přijatelný čas dosažení vyhazovací teploty, vysokou účinnost odvodu tepla a nízkou složitost systému.
- **Varianta 2** má výrazně vyšší nejvyšší tlak, ten je možné zmenšit snížením průtoku temperačního média, ale to bude mít za následek zhoršené temperační vlastnosti.
- **Varianta 1** je nejméně vhodná kvůli špatné distribuci temperačního média a vysoké složitosti systému.

Varianta 3 je použita ve vstřikovací formě a v simulaci alternativního materiálu PP.

V tabulce 15 jsou porovnány výsledky mezi materiály ABS a PP. Jednotlivé parametry jsou barevně rozlišeny podle toho, který materiál je výhodnější. Zelená = dobrá, žlutá = přijatelná, červená = špatná.

Tabulka 15 Porovnání materiálu ABS a PP

Kategorie	Materiál ABS	Materiál PP
Čas dosažení vyhazovací teploty výrobku	50,44 s	17,26 s
Účinnost odvodu tepla ze vstřikovací formy	23,25 %	46,42 %
Doba zaplnění dutiny taveninou	3,575 s	3,625 s
Nejvyšší smykové napětí na stěně	4,0113 MPa	0,2861 MPa
Čas do zatuhnutí jakékoli části vtokového systému	14,99 s	10,04 s
Délka vstřikovacího cyklu	90 s	30 s
Smrštění a deformace	0,4329 mm	0,3739 mm

(zdroj: vlastní)

Celkově lze konstatovat, že materiál PP je v mnoha ohledech výhodnější než ABS, zejména co se týče rychlosti vstřikovacího procesu, účinnosti odvodu tepla a menšího smrštění a deformace.

ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce je úspěšně navržen a vytvořen 3D model mřížky a s pomocí simulací odpovídající vstřikovací forma.

V rámci ověření funkčnosti vstřikovací formy je tato forma podrobena simulaci vstřikovacího cyklu.

Jsou vytvořeny tři verze temperačních systémů. Třetí varianta je z nich nejlepší a je proto použita ve vstřikovací formě.

Jako alternativa k materiálu ABS byl zvolen materiál PP, který se také používá v prvcích interiéru vozidel. Byla využita třetí varianta temperačního systému. Ačkoli je vstřikovací forma navržena pro materiál ABS, simulace ukazují, že materiál PP vychází podstatně lépe. Materiál PP je tedy výhodnější pro použití.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PROTO LABS NETWORK, c2025. *Injection molding*. Online. PROTO LABS NETWORK. Dostupné z: <https://www.hubs.com/guides/injection-molding/>. [cit. 2025-04-02].
- [2] HATCH, Matthew, 2022. *Injection moulding – What are the advantages and disadvantages?* Online. PROTO LABS. 7. 1. 2022. Dostupné z: <https://www.protolabs.com/en-gb/resources/blog/injection-moulding-what-are-the-advantages/>. [cit. 2025-04-02].
- [3] CHEN, Shia-Chung a TURNG, Lih-Sheng, 2019. *Advanced Injection Molding Technologies*. Hanser. ISBN 978-1-56990-603-3.
- [4] MARUFSAIYAD, 30 Mar 2022. *Arburg practical guide to injection moulding.pdf*. Online. In: SlideShare. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/slideshow/arburg-practical-guide-to-injection-mouldingpdf/251472211>. [cit. 2025-01-17].
- [5] WANG, Maw-Ling; CHANG, Rong-Yeu a HSU, Chia-Hsiang, 2022. *Molding Simulation – Theory and Practice*. Online. 2nd edition. Hanser. ISBN 978-1-56990-885-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpMSTP0013/toc>. [cit. 2025-04-02].
- [6] JAROSCHEK, Christoph, 2022. *Design of Injection Molded Plastic Parts*. Online. Hanser. ISBN 978-1-56990-894-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpDIMPP001/toc>. [cit. 2025-03-13].
- [7] CAMPO, E. Alfredo, 2006. *Complete Part Design Handbook – For Injection Molding of Thermoplastics*. Online. Hanser. ISBN 978-1-60119-152-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpCPDHFIM1/toc>. [cit. 2025-03-13].
- [8] KAZMER, David O., 2022. *Injection Mold Design Engineering*. Online. 3rd edition. Hanser. ISBN 978-1-56990-892-1. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMDE0011/toc>. [cit. 2025-04-03].
- [9] DANGEL, Rainer. *Injection Molds for Beginners (3rd Edition)*. Online. 2023. Hanser. ISBN 978-1-56990-924-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMB00018/toc>. [cit. 2025-03-13].

- [10] BENNETT, Lucas, 12 February 2022. *Different Types of Mold Textures for Injection Molding*. Online. Rapid Direct. Dostupné z: <https://www.rapiddirect.com/blog/mold-surface-textures/>. [cit. 2025-04-02].
- [11] PAULSEN, Greg, 7 October 2020. *An Overview of Injection Molded Surface Finishes*. Online. Xometry. Dostupné z: <https://d27ze05algd7ka.cloudfront.net/resources/injection-molding/choosing-the-right-finish-for-your-injection-molded/>. [cit. 2025-04-02].
- [12] CATOEN, Bruce a REES, Herbert, 2021. *Injection Mold Design Handbook*. Online. Hanser. ISBN 978-1-5231-4500-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMDH0003/toc>. [cit. 2025-04-02].
- [13] HASCO HASENCLEVER GMBH + CO KG, 2025. *Katalog Z-normálií*. Online. HASCO HASENCLEVER GMBH + CO KG. HASCO. Dostupné z: https://media.hasco.com/marketing/Produkt/KAT/Z_Kat.pdf. [cit. 2025-04-02].
- [14] BEAUMONT, John P., 2019. *Runner and Gating Design Handbook – Tools for Successful Injection Molding*. Online. 3rd edition. Hanser. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpRGDHTSI1/toc>. [cit. 2025-04-02].
- [15] ZEMAN, Lubomír, 2021. *Vstřikování plastů 2*. Online. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-1294-4. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/vstrikovani-plastu-2-10379/>. [cit. 2025-04-02].
- [16] ASAHI KASEI, c2025. *Simulation of Injection Molding*. Online. Asahi KASEI. Dostupné z: <https://www.asahi-kasei-plastics.com/en/technology/cae03/>. [cit. 2025-04-14].
- [17] TOLINSKI, Michael a CARLIN, Conor P., 2021. Applications: Demonstrations of Plastics Sustainability. Online. In: *Plastics and Sustainability, Grey is the New Green – Exploring the Nuances and Complexities of Modern Plastics*. 2nd edition. John Wiley, s. 127-158. ISBN 978-1-5231-4372-6. Dostupné z: https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpPSGNGEN2/cid:kt012XN7D2/viewerType:khtml/root_slug:plastics-sustainability/url_slug:applications-demonstrations?q=Applications%3A%20Demonstrations%20of%20Plastics%20Sustainability&b-q=Applications%3A%20Demonstrations%20of%20Plastics%20Sustainability&include_synonyms=no&s_page_no=0&sort_on=default&view=collapsed&zoom=1&page=1

&q=Applications%3A%20Demonstrations%20of%20Plastics%20Sustainability. [cit. 2025-03-31].

- [18] SAI ADITYA, Pradeep; RAKESH K., Iyer; HAKAN, Kazan; SRIKANTH, Pilla a KUTZ, Myer, 2017. Automotive Applications of Plastics: Past, Present, and Future. Online. In: *Applied Plastics Engineering Handbook – Processing, Materials, and Applications*. 2nd edition. Elsevier, s. 651-673. ISBN 978-0-323-39041-5. Dostupné z: https://app.knovel.com/hotlink/pdf/rcid:kpAPEHPMA5/id:kt011DYPW5/applied-plastics-engineering/automotive-applications?_q=Automotive%20Applications%20of%20Plastics%3A%20Past%2C%20Present%2C%20and%20Future&b-q=Automotive%20Applications%20of%20Plastics%3A%20Past%2C%20Present%2C%20and%20Future&include_synonyms=no&q=Automotive%20Applications%20of%20Plastics%3A%20Past%2C%20Present%2C%20and%20Future&s_page_no=0&sort_on=default. [cit. 2025-03-31].
- [19] ADMIN, 5 December 2023. *Reverse Engineering: Explained with Process Steps and Examples*. Online. Penta 3D. Dostupné z: <https://penta3d.com/reverse-engineering/>. [cit. 2025-03-01].
- [20] GERBINO, Salvatore; MARTORELLI, Massimo; PEI, Eujin; BERNARD, Alain; GU, Dongdong et al., 2023. Reverse Engineering. Online. In: *Springer Handbook of Additive Manufacturing*. Springer Nature, s. 16. ISBN 978-3-0312-0752-5. Dostupné z: https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSHAM0002/cid:kt013NETDC/viewerType:khtml/root_slug:16-reverse-engineering/url_slug:reverse-engineering?b-toc-cid=kpSHAM0002&b-toc-title=Springer%20Handbook%20of%20Additive%20Manufacturing&b-toc-url-slug=reverse-engineering&view=collapsed&zoom=1&page=1. [cit. 2025-03-01].
- [21] 3DSOURCED, 20 February 2024. *What is 3D Scanning? – Definition, Advantages and Uses*. Online. 3DSOURCED. Dostupné z: <https://www.3dsourced.com/guides/what-is-3d-scanning-guide/>. [cit. 2025-03-01].
- [22] KONEVA, Varvara, 2025. *What is laser 3D scanning?* Online. Artec 3D. Dostupné z: <https://www.artec3d.com/learning-center/laser-3d-scanning>. [cit. 2025-04-20].

- [23] KERKSTRA, Randy a BRAMMER, Steve, 2021. *Injection Molding Advanced Troubleshooting Guide*. Online. 2nd edition. Hanser. ISBN 978-1-5231-4506-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMATGE02/toc>. [cit. 2025-04-02].
- [24] OSSWALD, Tim A.; TURNG, Lih-Sheng a GRAMMAN, Paul J., 2008. *Injection molding handbook*. 2nd edition. Hanser. ISBN 978-3-446-40781-7.
- [25] ZEMAN, Lubomír, 2018. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Online. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0614-1. [cit. 2025-04-02].
- [26] KURASOV, D.A., 2022. Injection Molding Technology. Online. In: . 2022-02-25, s. 251-254. Dostupné z: <https://doi.org/10.21741/9781644901755-44>. [cit. 2025-04-21].
- [27] GODEC, Damir; BRNADIĆ, Vladimir a BREŠKI, Tomislav, 2021. Optimisation of Mould Design for Injection Moulding – Numerical Approach. Online. *Technical Journal*. Roč. 2021, č. 15, s. 258-266. ISSN 848-5588. Dostupné z: <https://doi.org/10.31803/tg-20210531204548>. [cit. 2025-04-21].
- [28] MATIN, Ivan; HADZISTEVIC, Miodrag; HODOLIC, Janko; VUKELIC, Djordje a LUKIC, Dejan, 2012. A CAD/CAE-integrated injection mold design system for plastic products. Online. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Roč. 2012, č. 63, s. 595-607. Dostupné z: <https://doi.org/DOI:10.1007/s00170-012-3926-5>. [cit. 2025-04-21].
- [29] SZETEIOVÁ, Katarína, 2010. AUTOMOTIVE MATERIALS PLASTICS IN AUTOMOTIVE MARKETS TODAY. Online. *Internetový časopis STUBA*. Roč. 2010, č. 3, s. 27-33. Dostupné z: https://www.mtf.stuba.sk/buxus/docs/internetovy_casopis/2010/3/szeteiova.pdf. [cit. 2025-04-21].
- [30] ABEDSOLTAN, Hossein, 2024. Applications of plastics in the automotive industry: Current trends and future perspectives. Online. *Polymeric Engineering and Science*. Roč. 64, č. 3, s. 929-950. ISSN 0032-3888. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/pen.26604>. [cit. 2025-04-21].
- [31] *PJX 559X – 1981 Classic Range Rover 2 Door*, c2025. Online. In: The Land Rover Centre Huddersfield. Dostupné z: https://www.landrovercentre.com/product/*pjx599x/. [cit. 2025-04-24].

- [32] *Automatic ejector set lock*, c2025. Online. Meusburger. Dostupné z: https://rt-oem.meusburger.com/image-optimizer/prod/pim/236443/assets/236443/GD_PG_%24KT-DBL-F-ETEILE-%24KP-EANB-%24PG-E1940_%23SDE_EN_%23AIN_%23V1.pdf. [cit. 2025-04-29].
- [33] *ALLROUNDER 420 C GOLDEN EDITION*, c2025. Online. Arburg. Dostupné z: https://www.arburg.com/media/daten/publications/technical_data/hydraulic_machines/golden_edition/ARBURG_ALLROUNDER_420C_GOLDEN_EDITION_TD_523677_en_GB.pdf. [cit. 2025-04-29].
- [34] AUTODESK, c2025. *Nápověda Autodesk Moldflow Insight 2023*. Online. Dostupné z: <https://help.autodesk.com/view/MFIA/2023/ENU/>. [cit. 2025-04-26].
- [35] *E 2020 Přípojka s ventilkem*, c2025. Online. Meusburger. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/cs-cz/1000233244?categoryId=2441>. [cit. 2025-04-26].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vstřikovací cyklus	17
Obrázek 2 Schéma vstřikovacího stroje	17
Obrázek 3 Příklady funkční integrace, původní funkce komponent rozšířeny jednoduchými prostředky.....	18
Obrázek 4 Nevýhnutelné otisky na vstřikovaných dílech	19
Obrázek 5 Nevhodné řešení – oranžově, vhodné řešení – modře	19
Obrázek 6 Tloušťka stěn: a) nevhodné řešení, b) vhodné řešení	20
Obrázek 7 Tloušťka stěn: a) nevhodné řešení, b) vhodné řešení	20
Obrázek 8 Tloušťka stěn: a) nevhodné řešení, b) vhodné řešení	20
Obrázek 9 Nevhodné řešení – oranžově, vhodné řešení – modře	20
Obrázek 10 Rotační součásti: a) nevhodné řešení, b) vhodné řešení	21
Obrázek 11 Krabíčka s úkosy a bez úkosů	21
Obrázek 12 Porovnání návrhů zaoblení	22
Obrázek 13 Porovnání návrhů zkosení hran	23
Obrázek 14 Plošné součásti se mohou deformovat, zatímco prohnuté součásti mají „základní tuhost“	23
Obrázek 15 Vyztužení rovinné geometrie pomocí drážek	24
Obrázek 16 Konstrukce žeber	24
Obrázek 17 Konstrukční prvky vyžadující speciální odformování	25
Obrázek 18 Průvodce povrchovými úpravami: v řádcích shora dolů: Cena, SPI, Mold-Tech a VDI 3400 a příklady; ve sloupcích zleva doprava povrchy: Reflektivní, Broušené, Matné, Hrubé, Texturované	26
Obrázek 19 Typy texturovaných povrchů	27
Obrázek 20 Standardní rám formy a standardní součásti	28
Obrázek 21 Desky formy jako součást rámu formy	29
Obrázek 22 Seznam katalogovaných dílů společnosti HASCO	30
Obrázek 23 Zámky zabraňují otevření forem	31
Obrázek 24 Schéma forem: (vlevo) Dvoudesková forma; (uprostřed) Třidedková forma; (vpravo) Forma s horkým vtokem. (a) Dutinová deska, (b) jádrová deska, (c) třetí deska, (d) studený kanál, (e) horký kanál, (f) rozdělovač horkého kanálu, (g) opěrná deska horkého kanálu, (h) tryska. P/L = dělicí rovina	32
Obrázek 25 Ukázka geometricky vyváženého uspořádání rozvodných kanálů, které vede k nevyváženým podmínkám plnění; červené oblasti obdrží vysoce smýkanou taveninu.	33
Obrázek 26 Požadované velikosti formy „H“ oproti křížovému vtokovému systému	34
Obrázek 27 Simulace plnění formy ukazující geometricky nevyvážené podmínky vytvořené ve větvicím se kanálu X	35

Obrázek 28 Geometricky nevyvážená 64násobná forma (zobrazena polovina).....	35
Obrázek 29 Geometricky vyvážená 64násobná forma (zobrazena polovina).....	36
Obrázek 30 Příklady dvoudeskových vtokových systémů	37
Obrázek 31 Běžné konstrukce přídržovačů vtoku	38
Obrázek 32 Velká hmota na křížení vtoku a vtokového systému může způsobit, že se vtok při otevření formy zlomí, pokud není dostatečně ztuhlý	38
Obrázek 33 Průřezy rozvodných kanálů používané ve vstřikovacích formách	39
Obrázek 34 Doporučená provedení rozvodných kanálů; zleva doprava – kruhový; parabolický; lichoběžníkový	40
Obrázek 35 Doporučená konstrukce jímky pro studené čelo taveniny.....	40
Obrázek 36 Boční vtokového ústí.....	41
Obrázek 37 Konstrukce vějířového vtokového ústí	41
Obrázek 38 Typické konstrukce filmových vtokových ústí	42
Obrázek 39 Typické prstencové vtokové ústí	42
Obrázek 40 Typické membránové ústí a jeho průřez	43
Obrázek 41 Detail konstrukce tunelového ústí	43
Obrázek 42 Schéma sekvence vysunutí tunelového ústí	44
Obrázek 43 Typické konstrukce tunelových ústí	44
Obrázek 44 Banánové vtokové ústí	44
Obrázek 45 Příklad banánového vtokového ústí	45
Obrázek 46 Temperační okruh sériový (nahore) a paralelní (dole) v desce	47
Obrázek 47 Kombinovaný sériový a paralelní temperační okruh	48
Obrázek 48 Minimální vzdálenosti mezi temperačním kanálem a prvky v deskách formy: (A) > 1 mm od drážky O-kroužku; (B) $x > 5$ mm; (C) $x > 5$ mm; (D) $x > 5$ mm; (E) $x > 4$ mm	48
Obrázek 49 Typické uspořádání zátek a přepážek v deskách pro vytvoření chladicího okruhu	50
Obrázek 50 Uspořádání temperačních kanálů ve formě z důvodu vyhnutí se funkčnímu prvku formy.....	50
Obrázek 51 Plnění tvarové dutiny taveninou	53
Obrázek 52 Výpočet zamrznání	53
Obrázek 53 Rozložení průměrné teploty na rubové straně výstřiku v okamžiku jeho vyhození z formy	54
Obrázek 54 Výpočet objemového smrštění výstřiku	54
Obrázek 55 Trend obsahu plastů v evropských a amerických automobilech	55
Obrázek 56 Kategorizace automobilových komponentů vyrobených z plastů a kompozitů.	56
Obrázek 57 Klasifikace metod digitalizace	58

Obrázek 58 Skenování pomocí fotogrammetrie	59
Obrázek 59 Skenování pomocí laseru	60
Obrázek 60 Mřížka, pohled shora	63
Obrázek 61 Mřížka, pohled zespodu.....	63
Obrázek 62 Pozice mřížek v palubní desce	64
Obrázek 63 Hubice (vlevo) a mřížka (vpravo)	64
Obrázek 64 Interiér vozidla Range Rover Classic	65
Obrázek 65 Upravený a zarovnaný sken mřížky	66
Obrázek 66 Sken mřížky proložený rovinami	67
Obrázek 67 Potřebné řezy sloužící k vymodelování mřížky	67
Obrázek 68 Model mřížky bez rádiusů	68
Obrázek 69 Model mřížky s rádiusy	68
Obrázek 70 Nejvhodnější umístění vtokového ústí (ABS).....	71
Obrázek 71 Nejvhodnější umístění vtokového ústí (PP)	72
Obrázek 72 Rozdělení ploch na tvárnici a boční odformování.....	73
Obrázek 73 Rozdělení ploch na tvárník a boční odformování	73
Obrázek 74 Vstřikovací forma – pohled od vstřikovací jednotky	74
Obrázek 75 Vstřikovací forma – pohled od uzavírací jednotky	74
Obrázek 76 Pohled do vstřikovací formy	75
Obrázek 77 Pohled do dělicí roviny pravé poloviny vstřikovací formy	75
Obrázek 78 Pohled do dělicí roviny levé poloviny vstřikovací formy	76
Obrázek 79 Vizualizace vtokového systému	76
Obrázek 80 Křížení chlazení.....	77
Obrázek 81 Vodicí čep (vlevo) a vodicí pouzdro (vpravo)	77
Obrázek 82 Vodicí čep vyhazovacího paketu (vlevo) a vodicí pouzdro vyhazovacího paketu (vpravo).....	78
Obrázek 83 Středicí trubka (vlevo) a horizontální koncové středění (vpravo).....	78
Obrázek 84 Tvárnice	79
Obrázek 85 Tvárník	79
Obrázek 86 Vyhazovací paket	80
Obrázek 87 Šikmý vyhazovač	80
Obrázek 88 Transportní můstek.....	81
Obrázek 89 Pojistka vyhazovacího paketu	81
Obrázek 90 Automatické zamykání a odemykání pojistky vyhazovacího paketu	82
Obrázek 91 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) vtokového systému	84

Obrázek 92 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) pravého temperačního systému	85
Obrázek 93 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) levého temperačního systému – varianta 1.....	86
Obrázek 94 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) levého temperačního systému – varianta 2.....	87
Obrázek 95 Osy (vlevo) a beam elementy (vpravo) levého temperačního systému – varianta 3.....	87
Obrázek 96 Teplota média v temperačních okruzích: varianta 1 (nahore), varianta 2 (uprostřed), varianta 3 (dole)	91
Obrázek 97 Čas do dosažení vyhazovací teploty výrobku: varianta 1 (nahore), varianta 2 (uprostřed), varianta 3 (dole)	93
Obrázek 98 Účinnost odvodu tepla – chlazení formy: varianta 1 (nahore), varianta 2 (uprostřed), varianta 3 (dole)	95
Obrázek 99 Doba zaplnění dutiny taveninou.....	96
Obrázek 100 Smykové napětí na stěně v čase 7,489 s.....	97
Obrázek 101 Rychlost smykové deformace ve vtokovém systému.....	97
Obrázek 102 Čas zatuhnutí jakékoli části vtokového systému	98
Obrázek 103 Celková deformace.....	99
Obrázek 104 Teplota média v temperačních okruzích.....	100
Obrázek 105 Čas do dosažení vyhazovací teploty výrobku	101
Obrázek 106 Účinnost odvodu tepla – chlazení formy.....	102
Obrázek 107 Doba zaplnění dutiny taveninou.....	103
Obrázek 108 Smykové napětí na stěně	104
Obrázek 109 Rychlost smykové deformace.....	104
Obrázek 110 Čas zatuhnutí jakékoli části vtokového systému	105
Obrázek 111 Celková deformace.....	106

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 SPI povrchová úprava a drsnost.....	26
Tabulka 2 Příklady textur.....	27
Tabulka 3 Statistika sítě modelu v programu Moldflow	69
Tabulka 4 Vlastnosti materiálu Lustran ABS Elite HH 1891	70
Tabulka 5 Vlastnosti materiálu Sumitomo Noblen BP1009L	71
Tabulka 6 Parametry vtokového systému	84
Tabulka 7 Temperační okruhy	85
Tabulka 8 Parametry pravého temperačního systému	85
Tabulka 9 Parametry levého temperačního systému – varianta 1.....	86
Tabulka 10 Parametry levého temperačního systému – varianta 2.....	86
Tabulka 11 Parametry levého temperačního systému – varianta 3.....	87
Tabulka 12 Procesní parametry simulace ABS	88
Tabulka 13 Procesní parametry simulace PP	89
Tabulka 14 Porovnání variant temperačních okruhů	107
Tabulka 15 Porovnání materiálu ABS a PP	108

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D 3-Dimension (Třírozměrná)

ABS Akrylonitrilbutadienstyren

CAD Computer Aided Design (počítačem podporovaná konstrukce)

CAE Computer Aided Engineering (počítačem podporované inženýrství)

CMM Coordinate Measuring Machine (souřadnicové měřicí přístroje)

F_U Celková minimální uzavírací síla

f_{U1} Uzavírací síla potřebná pro jeden výrobek

M Celková hmotnost potřebného plastu

m_1 Hmotnost jednoho výrobku

PDF Portable Document Format (přenosný formát dokumentů)

PP Polypropylen

SPI Society of Plastic Industry (společnost plastikářského průmyslu)